

발간등록번호

76-6480078-000001-11

함께 만드는 완전히 새로운 경남

제16권

# 2020 보건환경연구원보

Annual Report of Gyeongsangnam-do  
Institute of Health and Environment



경상남도보건환경연구원

Gyeongsangnam-do Institute of Health & Environment



## 격려사



경상남도지사  
김 경 수

여러분, 반갑습니다. 경남도지사 김경수입니다.

「경상남도 보건환경연구원보」 제16권 발간을 진심으로 축하합니다.

올해도 미세먼지와 이상기후 등 보건환경 문제는 여전했습니다. 전례 없는 감염병인 코로나19도 출현했습니다. 보건환경연구원의 역할이 그 어느 때보다 중요해졌습니다. 도민의 건강과 안전을 지키기 위해 밤낮으로 애써주고 계시는 보건환경연구원 직원 여러분의 노고에 감사드립니다.

안전하고 쾌적한 환경은 우리의 권리이자 미래세대를 위한 의무이기도 합니다. 지금 우리가 노력하지 않으면 아이들의 건강한 미래를 보장할 수 없습니다. 우리의 건강과 환경을 위협하는 요소를 밝혀내고 예방대책을 수립하는 것이 중요합니다.

이를 위해서는 보건환경연구원의 역할이 핵심적입니다. 보건환경연구원보 제16권에는 보건분야 6편, 환경분야 9편의 연구 및 조사 결과가 실려 있습니다. 도민의 안전과 건강을 증진하기 위한 지난 2년 동안의 노력이 담겨 있습니다.

이번에 발간되는 보건환경연구원보가 우리 도 보건·환경 분야 현안 해결을 비롯해 여러 관계기관의 정책수립에 유용하게 활용되기를 바랍니다.

다시 한번 연구원보 제16권 발간을 축하드리며, 보건환경연구원이 제 역할을 다하고 계속 발전하기 위해서는 먼저 직원 여러분이 건강하고 행복하셔야 한다는 당부말씀도 함께 드립니다. 고맙습니다.

2020년 10월

경상남도지사

김경수



## 발간사



보건환경연구원장

최형섭

### “자연과 공존하는 도민, 도민과 함께하는 연구원”

창간 30주년을 맞아

건강하고 안전한 경남을 위해 보건과 환경분야 조사연구에  
매진한 결과물을 연구원보 제16권에 담아 발행합니다.

올해 초 COVID-19가 전 세계를 장악한 가운데 디지털 기술에 근간을 둔 그린뉴딜정책의 도입과 실행이 시급한 과제로 대두되고 있습니다.

기후변화로 인한 빙하가 없는 북극, 미세플라스틱이 잠식한 식탁, 국경을 무색하게 하는 감염병과 미세먼지, 예고 없이 침입하는 신종 바이러스 등이 우리의 일상을 위협하고 있어 보건·환경 관련 문제 해결이 절박하고 시급한 시대입니다.

보건환경연구원은 광역적 전파·이동의 특성을 지닌 신종 감염병과 미세먼지 등으로부터 도민을 보호하고 맑은 물과 안전한 먹거리에 대한 정보제공을 위해 검사 및 조사 사업을 적극적으로 수행하고 있습니다.

더불어 자연과 인간이 공존하는 지속가능한 지역사회 구현에 보탬이 되고자 매년 틈틈이 연구사업을 수행하고 있습니다. 최근 2년간의 연구사업 결과물을 경상남도보건환경연구원보 제16권에 실었습니다.

연구 결과물이 정책수립과 현안문제 해결에 도움이 되길 바라며, 앞으로도 생활밀착형 조사·연구를 통해 보건·환경 안전망 구축과 도민의 요구에 좀 더 가까이 다가갈 수 있도록 노력하겠습니다.

2020년 10월

경상남도보건환경연구원장



- ❖ 일반현황 ----- 327
- ❖ 연도별 연구사업 실적 ----- 333
- ❖ 역대 원장 및 현 직원명단 ----- 345





# 연구보고서

01 / 보 건 분 야

02 / 환 경 분 야

편집·감수 : 전미희, 윤혜정, 하연경



## 01 / 보건 분야

---

❖ 감염병 매개모기 병원체 보유특성 분석	15
❖ 신선편의식품과 농산물의 미생물 오염도 조사연구	29
❖ 유통 위생물수건의 안전성 조사연구	45
❖ 건조과채류의 안전성 실태 조사	61
❖ 가공식품의 인공감미료 사용실태 조사	75
❖ 농산물 중 잔류농약 다성분 동시분석법 적용 연구	93



01 :: 보건 분야

감염병 매개모기 병원체 보유특성 분석



# 감염병 매개모기 병원체 보유특성 분석

김윤지 · 허윤정 · 최수완 · 이다은 · 박정길 · 김혜정 · 정호혁 · 하강자  
감염병팀

## Analysis of mosquito-borne infectious diseases

Yunji Kim, Yunjung Hur, Suwan Choi, Daeun Lee, Jeonggil Park,  
Hyejeong Kim, Hohyuk Jeong, Gangja Ha  
Infectious Diseases Team

### Abstract

New infectious diseases are spreading rapidly around the world due to environmental changes such as climate change and increased international exchange including overseas travel. Accordingly, there is a growing concern about the influx of mosquito-borne infectious diseases. This study investigated the distribution of mosquito-borne viruses in samples collected from three sites in Gyeongsangnam-do between 2017 and 2019. In total, 1,252 mosquitoes were gathered by BG-sentinel traps. Species were identified and screened to detect the presence of flavivirus (Zika virus, Dengue virus, Japanese encephalitis-virus, West Nile virus or Yellow fever virus) and togavirus (Chikunguniya virus) using real time RT-PCR. We identified eight different species of mosquitoes. The most prevalent species were *Aedes albopitus*, *Ochlerotatus korericus* and *Aedes vexans*. No flavivirus nor togavirus were detected in any of mosquito. However, continuous monitoring is required to prevent potential outbreaks of mosquito-borne disease.

**Key words** : *Aedes* species, mosquito-borne infectious disease, flavivirus, togavirus

## I. 서론

최근 기후를 비롯한 환경변화와 해외여행 등 국제적 교류가 증가하여 물적 인적 교류가 활발해지면서 신종 감염병이 전 세계적으로 빠르게 확산되고 있다. 이에 따라 우리나라도 해외 매개 감염병의 유입에 대한 우려가 높다.<sup>1,2)</sup>

사람에게 질병을 일으키는 매개 모기는 숲모기(*Aedes*)와 집모기(*Culex*)로 나눌 수 있고 이들 모기가 지카바이러스, 땡기바이러스, 웨스트나일바이러스, 치쿤구니아바이러스, 일본뇌염 바이러스 등을 매개하여 사람에게 질병을 감염시킨다. 매개모기 감염병은 토가바이러스 속인 치쿤구니아바이러스를 제외하곤 나머지 감염병 모두는 플라비바이러스 속에 속해 있다. 지카바이러스나 땡기바이러스 같은 해외유입 감염병을 매개하는 모기는 이집트숲모기, 흰줄숲모기 등 숲모기종으로 알려져 있는데 이집트 숲모기는 열대·아열대 지역에서 서식 하는 특성상 아직 국내에는 발견되고 있지 않다.<sup>3,4)</sup>

전국적으로 2016년부터 2018년 까지 모기매개 감염병 환자가 발생한 현황과 경남에서 환자가 발생한 현황은 Table 1에 나타낸 것과 같다.<sup>5)</sup> 땡기열 바이러스 감염증 환자의 발생은 2016년 313명(경남 16명), 2017

년 171명(경남 6명), 2018년 159명(경남 8명)으로 집계되었다. 지카바이러스 감염증 환자는 2016년 국내에서 첫 발생 후 2016년 16명, 2017년 11명, 2018년 3명(경남 1명)이 보고되었다. 또한 치쿤구니아바이러스 감염증 환자는 2016년 10명, 2017년 5명, 2018년 3명으로 보고되었고, 이들 감염병 모두 편차는 있지만 매년 환자가 꾸준히 발생했다.

경남지역과 전국의 환자 발생빈도를 비교했을 때, 현재까지 도내 해외유입 매개모기 감염병 환자 발생수는 미미하지만 국제무역이나 해외여행의 활성화로 모기 매개 감염병 바이러스를 보유한 모기가 국내에 유입 되거나 혹은 해외에서 모기에 물려 감염된 환자가 관련 질병을 전파시키며 언제든지 환자가 증가할 수 있다.<sup>6)</sup> 또한 기후나 환경의 변화가 모기의 서식지를 확장시키면서 모기 개체수 증가로 이어져 매개체인 모기에 의한 감염병의 토착화 우려가 있기 때문에 지속적인 매개체 감시와 방역 대책이 필요하다.<sup>7)</sup>

따라서 2017 ~ 2019년까지 3년간 경남지역에 해외 유입 감염병을 매개하는 흰줄숲모기 등의 분포 및 바이러스 감염률을 조사하여 질병 발생을 예방하고 방역사업에 따른 기초자료를 제공하고자 본 연구를 수행하였다.



Table 1. Number of reported mosquito-borne viral infectious patients<sup>5)</sup>

Type of virus	2016		2017		2018	
	Nationwide	Gyeongnam	Nationwide	Gyeongnam	Nationwide	Gyeongnam
Dengue virus	313	16	171	6	159	8
Zika virus	16	0	11	0	3	1
Chikungunya virus	10	0	5	0	3	0

## II. 재료 및 방법

### 1. 모기 채집 및 분류

본 연구에 사용된 모기 종은 최근 3년간(2017 ~ 2019년) 경남 도내 서부청사, 집현면, 금산면 3개 지점을 선정하여 4~10월까지 매개모기를 채집하였다. 숲모기 종을 채집하기 위하여 BG sentinel trap을 설치하고 모기 유인을 위해 trap 주위에 dry-ice를 넣고 일출부터 일몰까지 채집하였다. 채집된 모기는 실험실로 운송하여 냉동고에서 질식시킨 후, 국내 서식 주요 모기 20종 전자정보매뉴얼(질병관리본부 제공)을 기준으로 실체현미경을 이용해 종을 분류하였다.

### 2. 모기 파쇄 및 RNA 추출

모기 종별로 최대 30마리를 1 pool로 기준을 잡았다. 분류된 모기를 2 mL tube에 넣고 모기 개체수와 상관없이 동일한 양의 PBS 1 mL을 넣었다. PRECELLY24 homogenizer로 5,000 rpm에서 20초씩 2회 모기 조직을

파쇄 후 ice에 5분간 정치하여 열을 식혀 주었다. 냉장원심분리기를 이용하여 4℃, 13,000 rpm에서 1분간 원심분리 후, 상층액 140 µL를 RNA 추출에 사용했고 핵산 추출은 QIAamp viral RNA mini kit를 사용하였다.

### 3. RT-PCR에 의한 유전자확인

플라비바이러스(덴기바이러스, 일본뇌염바이러스, 황열바이러스 등) 및 토가바이러스(치쿤구니아바이러스) 검출을 위해 Powercheck ZIKV/DENV/CHIKC real-time PCR kit와 Yang 등에 의해 고안된 SYBR Green 1-based real time RT-PCR법을 사용하였다.<sup>8)</sup>

ZIKV/DENV/CHIKC kit는 덴기바이러스, 지카바이러스, 치쿤구니아바이러스를 검출할 수 있고 SYBR Green 실험법은 일본뇌염바이러스, 덴기바이러스, 지카바이러스, 황열바이러스, 웨스트나일바이러스를 검출할 수 있도록 제작되었다.

ZIKV/DENV/CHIKC kit 및 SYBR Green 실험법으로 Table 2, 3과 같은

reaction mixture를 만들었다. 이를 PCR 튜브에 분주 후, RT-PCR 장비에 장착하여 the real-time reverse transcription polymerase chain reaction (RT-PCR)을 수행하였다. 특히 SYBR Green을 기반으로 한 실험법은 RT-PCR를 수행 후, 증폭

곡선 분석에서 보이는 형광 시그널이 바이러스 특이적인 산물인지 primer dimer나 비특이적 산물인지를 구분하기 위해 Table 4와 같은 조건으로 용해곡선분석(Melting curve analysis)을 수행하였다.

Table 2. The prepared reaction mixture for RT-PCR using Powercheck ZIKV/DENV/CHIKC real-time PCR kit

Composition	Volume (μL)
ZIKA/DENV/CHIKV real-time RT-PCR premix	15
Template RNA	5
Total	20

Table 3. The prepared reaction mixture for RT-PCR using SYBR Green 1-step qRT-PCR low ROX kit

Composition	Volume (μL)
Verso enzyme mix	0.25
2X 1-step qPCR SYBR low ROX mix	12.5
RT enhancer	1.25
Primer mix	2.5
RNase-free water	3.5
RNA	5
Total	25

Table 4. Melting curve program condition

Step	Temperature (°C)	Time (sec)
Denaturation	95	30
Starting temp.	60	30
Melting step <sup>a)</sup>	90	30

<sup>a)</sup> 1cycle 마다 0.5°C씩 올려 10초간 유지하며 형광 시그널 읽음

### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 모기 분포도 조사

##### 1.1. 전체 모기 채집 개체수

2017 ~ 2019년까지 3년 동안 채집한 모기개체수는 2017년은 총 8종 542개체로 흰줄숲모기 398개체(73.4%), 한국숲모기 1개체(0.2%), 금빛숲모기 58개체(10.7%), 토고숲모기 3개체(0.6%), 빨간집모기 2개체(0.4%), 작은빨간집모기 1개체(0.2%), 중국얼룩

날개모기 3개체(0.6%), 큰검정들모기 76개체(14.0%)를 채집하였고 2018년은 총 6종 290개체로 흰줄숲모기 252개체(86.9%), 한국숲모기 5개체(1.7%), 금빛숲모기 20개체(6.9%), 빨간집모기 2개체(0.7%), 중국얼룩날개모기 1개체(0.3%), 큰검정들모기 10개체(3.4%)를 채집하였다. 2019년은 총 4종 529개체로 흰줄숲모기 231개체(43.7%), 한국숲모기 270개체(51.0%), 금빛숲모기 17개체(3.2%), 큰검정들모기 11개체(2.1%)를 채집하였다(Table 5).

Table 5. Species and number of mosquitoes collected by BG sentinel trap from 2017 to 2019

Species	Korean name	No. of mosquitos (%)		
		2017	2018	2019
<i>Aedes albopictus</i>	흰줄숲모기	398(73.4)	252(86.9)	231(43.7)
<i>Ochlerotatus koreicus</i>	한국숲모기	1(0.2)	5(1.7)	270(51.0)
<i>Aedes vexans</i>	금빛숲모기	58(10.7)	20(6.9)	17(3.2)
<i>Ochlerotatus togoi</i>	토고숲모기	3(0.6)	0	0
<i>Culex pipiens</i>	빨간집모기	2(0.4)	2(0.7)	0
<i>Culex tritaeniorhynchus</i>	작은빨간집모기	1(0.2)	0	0
<i>Anopheles sinensis</i>	중국얼룩날개모기	3(0.6)	1(0.3)	0
<i>Amigeres subalbatus</i>	큰검정들모기	76(14.0)	10(3.4)	11(2.1)
Total (%)		542	290	529

##### 1.2. 월별 모기 채집 양상

2017~2019년까지 3년간 월별 모기 채집 수 추이를 Table 6에 나타냈다. 4월에는 모기가 채집되지 않았고, 5월부터 서서히 증가하여 9월

(2017년 235개체, 2018년 130개체, 2019년 346개체)에 정점을 찍고 10월(2017년 30개체, 2018년 90개체, 2019년 63개체)에 들어서 큰 폭으로 감소하는 경향을 보였다.

Table 6. The classification of collected mosquitoes by species and month

(2017)

Species	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Total
<i>Aedes albopictus</i>	0	4	8	50	97	212	27	398
<i>Ochlerotatus koreicus</i>	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Aedes vexans</i>	0	1	2	6	42	7	0	58
<i>Ochlerotatus togoi</i>	0	0	0	0	0	3	0	3
<i>Culex pipiens</i>	0	0	2	0	0	0	0	2
<i>Culex tritaeniorhynchus</i>	0	0	0	0	1	0	0	1
<i>Anopheles sinensis</i>	0	1	0	0	1	1	0	3
<i>Amigeres subalbatus</i>	0	1	52	2	6	12	3	76
Total	0	8	64	58	147	235	30	542

(2018)

Species	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Total
<i>Aedes albopictus</i>	0	6	11	12	32	114	77	252
<i>Ochlerotatus koreicus</i>	0	0	0	4	0	1	0	5
<i>Aedes vexans</i>	0	0	0	0	5	11	4	20
<i>Ochlerotatus togoi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Culex pipiens</i>	0	0	0	0	0	0	2	2
<i>Culex tritaeniorhynchus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Anopheles sinensis</i>	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Amigeres subalbatus</i>	0	0	0	0	0	4	6	10
Total	0	6	11	16	37	130	90	290

(2019)

Species	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.	Total
<i>Aedes albopictus</i>	0	20	15	19	21	109	47	231
<i>Ochlerotatus koreicus</i>	0	9	2	4	11	229	15	270
<i>Aedes vexans</i>	0	10	7	0	0	0	0	17
<i>Ochlerotatus togoi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Culex pipiens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Culex tritaeniorhynchus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Anopheles sinensis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Amigeres subalbatus</i>	0	2	0	0	0	8	1	11
Total	0	41	24	23	32	346	63	529

이는 날씨와도 밀접한 연관이 있는데 Table 7은 3년간 월별에 따른 최고, 최저 평균온도, 평균 강수량 정보를 기상청 자료를 참고하였다.<sup>9)</sup> 2017 ~ 2019년까지 3년간의 추이를 날씨와 관련지어 살펴볼 때, 날씨가 모기의 생활사에도 밀접한 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. 특히

2018년은 기록적인 폭염과 여름 가뭄까지 겹쳐 모기 산란지인 물웅덩이의 온도가 너무 높으면 말라붙어 번식할 곳이 사라져 모기 개체수가 다른 연도와 비교했을 때 크게 감소한 것을 알 수 있었다. 또한 무더운 여름철에는 모기의 개체수가 줄어드는 것을 알 수 있었으며 모기가 활동

하기 좋은 날씨인 가을(9월)에는 개체수가 현저히 증가한 것을 알 수 있었다. 10월에도 모기가 채집되었는데 앞으로 기후온난화 현상이 가속화 된다면 10월뿐만 아니라 11월에도 모기가 생존해서 활동할 수 있을 것으로 추정된다. 특히 흰줄숲모기는 현재까지 성충으로 월동하지 않아 다음해까지 감염모기로 이어지지 않는다고 알려져 있다. 하지만 국내 기후

의 온난화 현상이 가속화되어 아열대기후로 변한다면 흰줄숲모기가 성충으로 월동할 수 있는 서식 환경으로 변하기 때문에 바이러스가 토착화 될 수 있다는 우려가 나오고 있다.<sup>10)</sup> 따라서 흰줄숲모기가 주로 서식하는 대나무 숲, 소나무, 옹덩이, 페타이어 주변 등 번식과 생육에 적합한 장소에 11월까지의 지속적인 방제 작업이 필요할 것으로 생각된다.

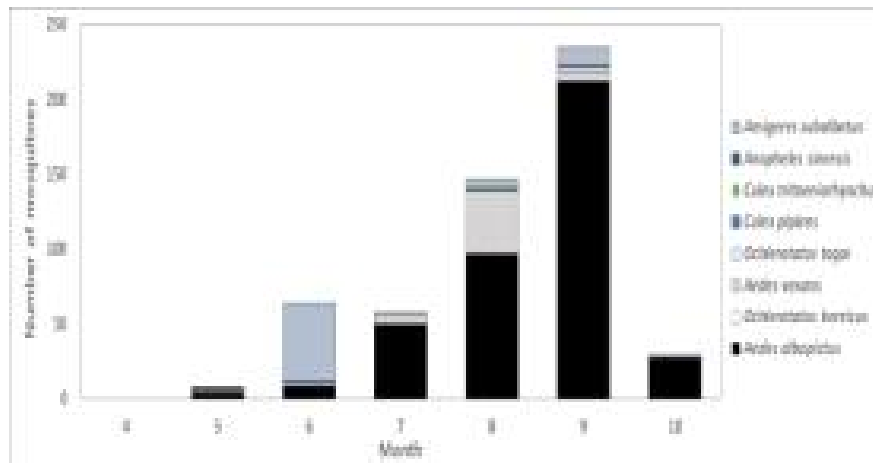
Table 7. The highest, lowest temperature and average precipitation by year and month from 2017 to 2019 in Gyeongsangnam-do

Weather condition		Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sept.	Oct.
highest temperature (°C)	2017	21.4	26.1	28.6	32.1	31.5	27.0	22.1
	2018	20.3	23.8	27.9	31.8	32.6	25.5	20.6
	2019	18.9	26.4	27.4	28.9	31.5	26.8	22.5
lowest temperature (°C)	2017	7.3	10.8	15.7	23.4	22.0	15.1	11.0
	2018	7.1	12.0	16.9	22.3	22.6	16.2	7.0
	2019	5.8	10.6	16.7	21.3	22.1	18.4	10.8
average precipitation (mm)	2017	94.9	43.8	52.0	96.0	166.4	116.6	105.7
	2018	127.8	94.3	207.7	240.8	212.7	201.6	224.1
	2019	114.6	132.3	243.7	234.0	65.4	352.2	177.4

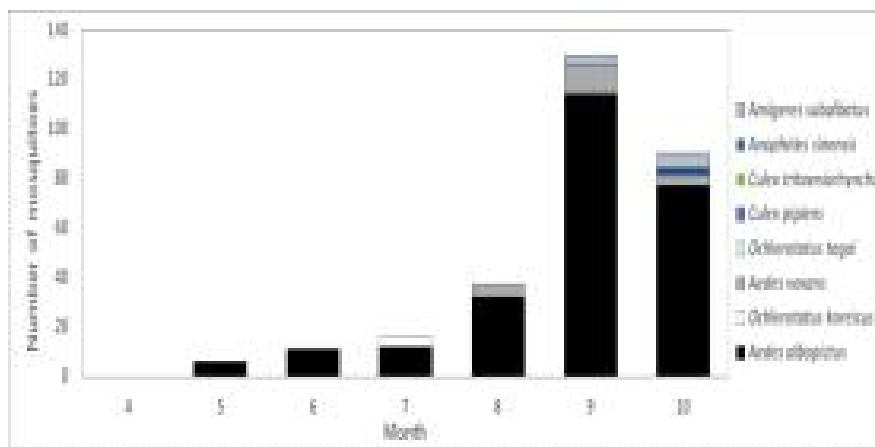
월별 우점종 양상을 살펴보면 2017 ~ 2018년 모두 5 ~ 10월까지 흰줄숲모기가 다른 숲모기 종에 비해 우세하게 나타났고 금빛숲모기가 다음으로 많이 채집되었으며 한국숲모기는 거의 채집되지 않았다. 반면 2019년에는 5 ~ 8월까지의 흰줄숲모기가 9월에는 한국숲모기가 다른 숲모기 종에 비해 우세하게 나타났으며 금빛숲모기는 거의 잡히지 않았다. 여기서 주목해야 할

점은 2017 ~ 2018년 두 해는 한국숲모기가 거의 채집되지 않았던 것과 비교했을 때, 2019년에는 한국숲모기의 개체수가 50배 이상 폭발적으로 증가했다는 점이다. 이것이 일시적인 현상인지 아니면 환경적인 요인으로 개체수 흐름의 판도가 바뀌고 있는 것인가는 앞으로 꾸준히 발생밀도를 조사해서 분석해 볼 필요가 있을 것으로 생각된다(Fig. 1).

(a) 2017



(b) 2018



(c) 2019

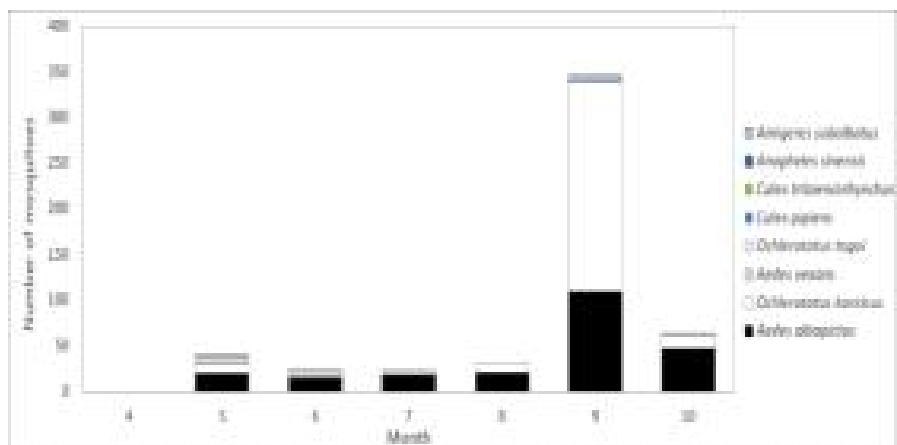


Fig. 1. Number of mosquitoes by month and species from 2017 to 2019

## 2. 바이러스 보유 감염률 조사

플라비바이러스(지카바이러스, 뎡기 바이러스, 일본뇌염바이러스, 웨스트 나일바이러스, 황열 바이러스) 및 토가 바이러스(치쿤구니아바이러스) 감염률 조사는 흰줄숲모기를 포함한 숲모기 개체수 30 마리 이하를 1 pool로 기준하여 지카바이러스, 뎡기 바이러스, 치쿤구니아바이러스(토가 바이러스), 일본뇌염바이러스, 웨스트 나일바이러스, 황열바이러스 6종에 대해 검사를 진행하였다.

2017년 채집한 숲모기 개체수 457 개체 중 흰줄숲모기 398개체(41 pools)만 선별하여 유전자 검사를 진행하였고, 2018년에는 채집한 숲모기 개체수 277개체 중 흰줄숲모기 252 개체(25 pools), 한국숲모기 5개체(1 pool)에 대한 유전자 검사를 진행하였다. 2019년에는 채집한 숲모기 전

체로 유전자 검사를 확대하여 흰줄 숲모기 231개체(29 pools), 한국숲모기(24 pools), 금빛숲모기 17개체(6 pools)에 대한 유전자 검사를 수행하였다(Table 8).

3년 동안 채집한 숲모기 개체수의 바이러스 검출률은 개체수 전체에서 6종의 플라비바이러스 및 토가 바이러스를 보유하고 있지 않음을 알 수 있었고 아직 국내에는 열대성 바이러스가 유입되어 확산되지 않는 것으로 추정된다. 하지만 특히 동남아시아 등 이미 모기 매개 바이러스가 확산되어 있는 나라에 여행을 하면서 모기에 물려 감염된 국내 환자는 지속적으로 증가 하고 있는 추세이다.<sup>11)</sup> 따라서 감시망을 강화 하는 등의 대책을 수립하고 지속적인 감시를 통한 예방 및 관리가 필요하다.

Table 8. The PCR result of flavivirus and togavirus of collected species from 2017 to 2019

Species	2017			2018			2019		
	No. of mosquito	No. of pool	PCR result	No. of mosquito	No. of pool	PCR result	No. of mosquito	No. of pool	PCR result
<i>Aedes albopictus</i>	398	41	ND	252	25	ND	231	29	ND
<i>Ochlerotatus koreicus</i>	0	0	-	5	1	ND	270	24	ND
<i>Aedes vexans</i>	0	0	-	0	0	-	17	6	ND

Note: ND(Not Detected)

## IV. 결론

본 연구는 2017 ~ 2019년까지 3년에 걸쳐 도내(진주 지역)에서 채집한 숲모기를 대상으로 숲모기 종의 발생 분포 및 바이러스 감염 여부를 확인하였다. 검사 결과를 토대로 연도별로 분석·비교하여 매개체 방제 및 관리에 기초 자료를 제공하고자 하였고 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 도내에서 3년(2017 ~ 2019년)동안 4 ~ 10월까지 채집된 숲모기 개체 수는 2017년에는 전체 542개체 중 457개체로 그 중 흰줄숲모기 398개체, 한국숲모기 1개체, 금빛숲모기 58개체로 확인되었다. 2018년에는 전체 290개체 중 총 277개체로 흰줄숲모기 252개체, 한국숲모기 5개체, 금빛숲모기 20개체로 확인하였으며 2019년에는 전체 529개체 중 총 518개체로 흰줄숲모기 231개체, 한국숲모기 270개체, 금빛숲모기 17개체로 확인하였다.
2. 월별 우점종 양상을 살펴보면 2017 ~ 2018년 두해 모두 5 ~ 10월까지 흰줄숲모기가 다른 숲모기 종에 비해 우세하게 나타났다. 금빛숲모기가 다음으로 많이 채집되었고 한국숲모기는 거의 채집되지 않았다. 반면 2019년은 5 ~ 8월까지 흰줄숲모기가 9월에는 한국숲모기가 다른 숲모기 종에

비해 우세하게 나타났으며 금빛숲모기는 거의 잡히지 않는 것을 확인하였다.

3. 채집된 숲모기 개체들을 종별로 분류하여 최대 30 마리까지 1 pool로 정했을 때 2017년 41 pools, 2018년 26 pools, 2019년 59 pools이 나왔다. 각 pool에 대한 지카바이러스, 땡기바이러스, 치쿤구니아바이러스, 일본뇌염바이러스, 웨스트나일바이러스, 황열바이러스까지 6종에 대한 플라비바이러스 및 토가바이러스 보유 여부 시험을 진행한 결과 바이러스는 검출되지 않았음을 확인 할 수 있었다.
4. 본 연구에서 매개 모기에 의한 바이러스는 검출 되지 않았지만 기후온난화와 해외여행의 증가 및 국제 교역 증가 등에 따라 언제든 감병염 매개 모기가 국내로 유입될 수 있다. 따라서 11월까지의 주변 소독 및 모기방제 작업이 계속해서 이루어져야 할 것으로 생각된다. 또한 4 ~ 11월까지 계절별 발생 양상과 모기 활동 시기 등 환경 및 기후변화에 따라 흰줄숲모기 등 숲모기 종들의 번식 및 생육에 대한 지속적인 조사가 필요하다고 판단된다. 본 조사를 토대로 모기 발생 양상 추이 등을 분석하여 적극적인 방제대책을 수립해야 할 것이다.



## V. 참 고 문 헌

1. Saiz JC, Vázquez-Calvo Á, Blázquez AB, Merino-Ramos T, Escribano-Romero E, and Martín-Acebes MA, Zika virus: the latest newcomer. *Frontiers in microbiology*, 7, 496, 2016.
2. Menne B, and Ebi K., *Climate change and adaptation strategies for human health*, 2006.
3. Gaunt M, Sall AA, de Lamballerie X, Falconar AK, Dzhivanian TI, and Gould EA, Phylogenetic relationships of flaviviruses correlate with their epidemiology, disease association and biogeography, *Journal of General Virology*, 82(8), 1867 -1876, 2001.
4. 손동철, 이은비, 박지영, 권오근, 경북지역의 모기매개 바이러스 검출, *Journal of GBIHE*, Vol. 29, p30-20, 2016.
5. 질병관리본부, 감염병포털, <https://www.cdc.go.kr/npt/>.
6. Kim, K. C., and McPheron, B. A., *Evolution of insect pests: patterns of variation*. John Wiley & Sons, 1993.
7. 장원철, 이두형, 이태진, 지구온난화 문제에 대한 국내외 동향과 그 대책에 관한 연구, *Environmental Research* ;18(1):21-31, 1998.
8. Yang CF, Chen CF, Su CL, Teng H., Lu LC, Lin C, and Wu HS, Screening of mosquitoes using SYBR Green I-based real-time RT-PCR with group-specific primers for detection of Flaviviruses and Alphaviruses in Taiwan, *Journal of virological methods*, 168(1-2), 147-151, 2010.
9. 기상청, 기상청 날씨누리, <https://www.weather.go.kr/weather/warning/status.jsp>.
10. 이동규, 국내 서식 감염병 매개체의 생태학적 특성과 현황, *Journal of the Korean Medical Association*, 60(6), 458-467, 2017.
11. 문봉춘, 김영주, 김언주, 문차성, 강승규, 양민영, 김미경, 텅기열매개모기 생태적 특성 및 병원체 감염연구, *Report of JIHE*, Vol 21, 13-25, 2010.



01 : 보건 분야

신선편의식품과 농산물의 미생물 오염도 조사연구



# 신선편의식품과 농산물의 미생물 오염도 조사·연구

장혜정 · 김혜정 · 조성숙 · 박지인 · 허윤정 · 강동훈 · 하강자  
미생물팀

## Study on Microbiological Quality of Fresh-cut and Agricultural produce

Hyejeong Jang, Hyejeong Kim, Seongsuk Jo,  
Jiin Park, Yunjeong Heo, Donghoon Kang, Gangja Ha  
Microbiology Team

### Abstract

The aim of this study was to assess microbiological quality of agricultural produce and raise awareness of the related food poisoning risk. 263 samples of fresh-cut and produce were tested for sanitary-indicative bacteria and food-borne pathogens. The aerobic bacterial count of fruits was higher in processed food ( $3.7 \pm 1.6$  log CFU/g) than agricultural produce ( $2.2 \pm 1.8$  log CFU/g), and the  $p$ -value was 0.0018. Non-pathogenic *Escherichia coli* was detected in nine samples (3.4%) of agricultural produce. Coliforms count exceeded 3.7 log CFU/g in 23 samples (8.8%), *Escherichia coli* count exceeded 100 CFU/g in two samples (0.8%). *Bacillus cereus* was detected in 53 samples (20.2%), *Clostridium perfringens* in 11 samples (4.2%), *Yersinia enterocolitica* in one sample (0.4%), and Enterohemorrhagic *Escherichia coli* in one sample (0.4%). *Staphylococcus aureus*, *Salmonella* spp, *Listeria monocytogenes* and *Campylobacter jejuni/coli* were not detected in any sample. The microbial contamination levels investigated in this study may be used as the primary data to execute microbial risk assessment of agricultural produces and set microbiological standards.

**Key words** : Agricultural produce, Aerobic bacteria, *Bacillus cereus*, Enterohemorrhagic *E. coli*, *Yersinia enterocolitica*

## I. 서 론

식품 산업 발전으로 인한 식생활 향상과 건강에 대한 관심 증대로 과채류, 샐러드 등의 소비가 증가하고 있다. 또한, 1인 가구 증가라는 사회 구조적인 변화로 간편함, 소포장을 추구하는 식품 산업의 트렌드가 형성되었고, 이에 따라 이용하기 편리한 농산물에 대한 수요가 늘어나고 있다.<sup>1-2)</sup> 한국의 신선편이농산물 시장은 연간 30% 이상 성장세를 보이며 2015년 시장규모 1조원대로 진입하였으며, 신선편의식품의 시장규모는 최근 5년 사이 51.1% 성장세를 보였다.<sup>3)</sup>

신선편의식품은 농·임산물을 세척, 박피, 절단 또는 세절 등의 가공공정을 거치거나 이에 단순히 식품 또는 식품첨가물을 가한 것<sup>4)</sup>으로서, 현재 주로 마트에서 바로 섭취할 수 있는 샐러드, 새싹채소, 조각 과일 등의 형태로 유통되고 있다. 이는 식품위생법에서 정의된 식품유형으로 미생물학적 기준이 있어 관리되고 있다. 한편 신선편이농산물은 박피 또는 절단, 세척, 포장되어 신선한 형태를 유지하며 편의성을 제공하기 위하여 포장된 농산물<sup>3)</sup>로 외관상 신선편의 식품과 비슷하지만 미생물학적 기준이 없어 관리되지 못하고 있는 실정이다. 주로 가열처리를 하지 않고 찜, 샐러드 등으로 바로 섭취하는 경우가 많기 때문에 식중독균에 쉽게 노출될 수 있어 세계적으로 과채류가 원

인인 식중독 사고의 보고가 증가하고 있다.

특히 2018년에는 미국에서 장출혈성대장균에 오염된 로메인 상추로 인하여 대규모 식중독이 두 번 발생하여 사망자가 각각 5명, 62명이었고 입원자가 96명, 25명이었다.<sup>5)</sup> 2016-2018년에 미국에서 발생한 농산물 관련 식중독사고의 원인식품은 새싹채소, 냉동야채, 포장샐러드, 파파야, 엽채류, 멜론, 코코넛, 로메인 상추 등으로 확인되었다. 원인 식중독균은 *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*였다.<sup>6)</sup> 3가지 원인균 모두 고위해성 식중독균이다.

이처럼 세계적으로 농산물 관련 식중독의 원인으로 고위해성 식중독균이 높은 비율을 차지하고 있으나 국내에서는 농산물에 대한 미생물학적 기준이 없어 관리되고 있지 못한 점을 주목해야 할 것으로 본다. 그간 국내에서 농산물의 고위해성 식중독균으로 Bae 등<sup>7)</sup>에서 *Campylobacter jejuni*, *Listeria monocytogenes* 등과 Hong 등<sup>8)</sup>에서 *Salmonella* spp. 등의 검출을 보고한 바 있다.

이와 같이 식중독균에 대한 우려가 증가하고 있으며 빠르게 성장하고 있는 간편 농산물 시장규모에 맞추어 효율적인 미생물학적 관리와 대책이 필요한 시점이다. 이에 본 연구에서는 유통 중인 신선편의식품과 신선편이농산물을 샐러드류, 과채류, 견과종실류, 건조과실 등 다양한 중

류로 구입하여 위생지표세균과 식중독균의 오염 실태를 조사하여 비교, 분석, 통계처리 하였다. 이를 통해 식중독균으로 인한 농산물 관련 식중독의 위험성을 제고하고, 향후 미생물 위해평가 및 기준 마련을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 대상 및 검체 채취

2019년 2월부터 8월까지 경남도내 마트에서 유통되고 있는 과채류의 즉석섭취·편의식품류 49건, 과채류, 견과종실류 등의 농산물 214건을 실험재료로 사용하였다. 각 시료는 냉장온도에서 보관하면서 구입 및 수거 의뢰 후 24시간 이내에 분석했다. 다양한 종류 및 형태의 시료를 사용하여 집약적인 데이터를 축적하고자 하였고, Table 1과 같이 분류 후 오염도를 비교 분석하여 통계적 자료로 활용하고자 하였다.

Table 1. Classification of samples

		Part 2 <sup>b)</sup>			
		Vegetables	Fruits	Dried fruits	Nut seeds
Part 1 <sup>a)</sup>	Processed food	26	23		
	Agricultural produce	103	39	42	30
	Total	129	62	42	30

a) Part 1 : 가공식품과 농산물로 분류하였다. 식품위생법으로 정의된 가공식품은 즉석섭취식품 및 신선편의식품이다. 미생물 기준·규격으로 관리되고 있으며 절단 과일, 샐러드류 등의 형태이다.

b) Part 2 : 전체 시료를 대상으로 채소류, 과일류, 견조과실, 견과종실류로 분류 하였다.

### 2. 위생지표세균의 정량적 분석

일반세균수, 대장균 및 대장균군은 식품공전<sup>4)</sup> 미생물시험법 건조필름법에 따라 수행하여 균수 산출 및 기재하였다. 시료 25g을 멸균 Sample bag(TEMPO SACS, Biomerieux, Marcy L'Etoile, France)에 취한 후 0.85% 멸균 생리식염수 225mL를 혼합하여 Stomacher(BagMixer, Interscience, Saint Nom, France)에서 2분간 균

질화 하였다. 균질화된 시험용액 1mL를 취하여 10배씩 단계 희석하여 건조필름 AC(3M, St. Paul, MN, USA)에 접종하고 일반세균수는 35℃에서 48시간 배양 후 붉은 집락을 계수하였다.

대장균 및 대장균군은 동일한 시험용액을 건조필름 EC(3M, St. Paul, MN, USA)에 접종하고 35℃에서 건조필름 24~48시간 배양하여 붉은 집락 중 주위에 기포를 형성한 집락

을 대장균균, 푸른 집락 중 주위에 기포를 형성한 집락을 대장균으로 판정하여 계수하였다. 즉석섭취·편의 식품류는 대장균 및 대장균균을 시료 1건당 5개의 동일 제품으로 반복 실험하였고, 5개의 결과 중 중앙값을 데이터로 활용하였다.

### 3. 식중독균 분석

2018년 식중독원인조사 시험법<sup>9)</sup>에 따라 식중독균 8종(*B. cereus*, *C. perfringens*, *S. aureus* Pathogenic *E. coli*, *Salmonella* spp., *L. monocytogenes*, *C. jejuni/coli*, *Y. enterocolitica*)에 대한 스크리닝 검사를 하였다. de Medici 등<sup>10)</sup>에 의한 boiling method로 DNA를 추출하였고, Powerchek 20pathogen Multiplex Real-time PCR kit를 사용하였다. 스크리닝 검사 결과 Ct값 35 이하에

서 증폭이 나타났을 경우, 식품공전 미생물시험법에 따라 분리배양, 확인 동정을 수행하였다. 확인동정에는 VITEK 2(Automated identification system, Biomerieux, Marcy L'Etoile, France)를 사용하였다. 또한, 스크리닝과 동시에 식품공전<sup>4)</sup> 미생물시험법에 따라 저위해성식중독균(*B. cereus*, *C. perfringens*, *S. aureus*)의 정량 시험과 고위해성식중독균(*Salmonella* spp., Enterohemorrhagic *E. coli*, *L. monocytogenes*, *C. jejuni/coli*, *Y. enterocolitica*)의 정성시험을 수행하였다.

### 4. 식중독균 독소 유전자 확인

분리된 균주를 boiling method로 DNA를 추출하였고 Table 2와 같이 각각의 PCR kit를 사용하여 독소 유전자를 확인하였다.

Table 2. PCR detection kit for pathogenic bacteria in this study

Strain	PCR detection kit	Target gene (toxin)
<i>Bacillus cereus</i>	Powerchek <i>bacillus cereus</i> Toxin 6-plex detection kit (Kogenebiotech, Korea)	<i>CytK</i> , <i>nheA</i> , <i>entFM</i> , <i>bceT</i> , <i>hblC</i> , <i>CER</i>
<i>Clostridium perfringens</i>	<i>Clostridium perfringens</i> Detection kit (Genetbio, Korea)	<i>cpa</i> , <i>cpe</i>
pathogenic <i>E. coli</i>	pathogenic <i>E. coli</i> Detection kit (Genetbio, Korea)	<i>ipaH</i> , <i>vt1</i> , <i>vt2</i> , <i>bfpA</i> , <i>aggR</i> , <i>eaecA</i> , <i>stx</i> , <i>stx2</i> , <i>It</i>
Enterohemorrhagic <i>E. coli</i> (EHEC)	Powerchek <i>VT1</i> & <i>VT2</i> Detection kit (Kogenebiotech, Korea)	<i>VT1</i> , <i>VT2</i>
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Powerchek <i>Yersinia enterocolitica</i> Detection kit (Kogenebiotech, Korea)	<i>inv</i>



## 5. 자료의 통계 처리

위생지표세균의 정량분석 결과는 통계 처리용 소프트웨어 spss를 이용하여 T검정을 수행하였으며 다중범위 검정으로  $p < 0.05$ 의 수준에서 통계학적으로 유의하다고 산출하였다. 통계 산출을 위한 단위로 log CFU/g를 사용하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 위생지표세균의 정량분석 결과

Part 1에 따라 분류한 검체의 위생지표세균의 정량분석 결과는 Table 3과 같다. 일반세균수의 오염도는 농산물보다 가공식품이 더 높았고  $p$ 값이 0.0423으로 통계적으로 유의하다고 산출되었으나, 농산물 중 건조과실의 일반세균수 결과가 평균 2배정도 낮기 때문에 정확한 비교 분석은 어렵다고 판단되었다.

채소류를 가공식품과 농산물로 분류하여 비교하니 오염도가 가공식품이 높았지만 비슷한 수준이었고  $p$ 값은 0.6546로 통계적으로 유의하지 않았다. 과일류 또한 가공식품이 오염도가 높았고  $p$ 값이 0.0018로 통계적으로 유의하였다. 과일류는 가공식품과 농산물이 비슷한 시기에 수거가 이루어졌기 때문에 계절적 영향의 가능성은 배제가 가능하다고 본다. 수거했던 과일류의 농산물은 바로 섭취가 아니라 세척이나 박피의 과

정을 거쳐야하는 상태였다. 그렇다면, 그러한 과정 없이 바로 섭취하는 절단 과일류의 신선편의식품은 제조과정과 유통 중의 오염의 가능성에 대해 분석하고 예방책을 마련하는 등 더욱 철저한 위생 관리가 필요할 것으로 본다.

대장균군의 오염도는 전체시료로 봤을 때 농산물보다 가공식품이 더 높았고  $p$ 값이 0.0120으로 통계적으로 유의하다고 산출되었으나, 농산물 중 건조과실의 대장균군 결과 값이 평균 2배정도 낮기 때문에 정확한 비교 분석은 어렵다고 판단되었다.

채소류의 경우에 가공식품 오염도가 높았으나 비슷한 수준이었다. ( $p=0.1413$ ) 과일류는 가공식품 오염도가 높았고  $p$ 값이 0.0181로 통계적으로 유의하였다.

대장균은 9건(3.4%) 검출되었는데 모두 비병원성 대장균으로 확인되었다. 정량분석 결과는 Table 4와 같다. 대장균의 경우 신선편의식품은  $n=5$ ,  $c=1$ ,  $m=10$ ,  $M=100$ , 즉석섭취식품은  $n=5$ ,  $c=1$ ,  $m=0$ ,  $M=10$  기준규격으로 관리되고 있다. 검출된 9건 중 가공식품은 없었고 모두 농산물로 건과종실류가 4건, 채소류가 5건이었다. 건과종실류의 대장균 검출률은 13.3%(4/30)로 가열 조리 없이 그대로 섭취하는 건과종실류의 특성상 섭취 시 더욱더 주의가 필요할 것으로 판단된다.

현재 외국에서 신선편이농산물에

적용하는 미생물학적 안전성 기준은 각 나라별로 차이가 있다. 위생지표 세균에 대한 정량기준을 두고 있는 경우도 있는 반면 3개의 병원성균(*E. coli* O157:H7, *Salmonella* spp., *L. monocytogenes*)에만 불검출 규격을 정하고 있기도 하다.<sup>11-13)</sup>

본 연구에서는 외국의 기준들과 한국의 식품공전을 참고하여 대장균군 3.7 logCFU/g 미만, 대장균 100 CFU/g 미만으로 기준을 임의 설정해서 확인해보았다. 대장균의 경우 농산물 중 채소류 2건이 정량 기준을 초과하였다. 이는 전체시료 중 0.8% (2/263), 대장균 검출 시료 중 22.2% (2/9)에 해당되며 나물류, 쌈채소류였다. 대장균군의 기준을 초과한 시료의 분포 및 비율은 Table 5에 나타내었다. 기준을 초과한 시료는 전체시료 중 8.8%(23/263), 대장균군 검출 시료 중 19.8%(23/116)였다. 중

류로는 가공식품 중 세척 없이 바로 섭취하는 조각과일과 샐러드, 농산물 중 쌈채소, 샐러드, 새싹 어린잎이 대부분을 차지하고 있다. Kim 등<sup>14)</sup>의 연구에서도 국내 농산물의 대장균군 오염도가 생산단계보다 유통단계에서 높은 결과를 나타내는 것으로 보고되었다.

이처럼 신선편의식품과 신선편이농산물의 경우 제조과정에서 박피, 절단, 세절 과정 중 표면·절단면이 공기 중에 노출되는 것으로부터 오는 미생물 오염과 유통 중 미생물 증식의 가능성을 배제하기 어렵다. 따라서 식품위생상 잠재적 식품 부패 등을 판정할 수 있는 위생지표세균의 자료 활용으로 위생 관리뿐만 아니라, 유통 중의 미생물 증식 제어와 관련한 효과적인 기술 마련이 지속적으로 필요할 것으로 판단된다.

Table 3. Descriptive statistics of aerobic bacteria and coliforms (unit: log CFU/g)

Type	N <sup>a)</sup>	Aerobic bacteria			Coliforms		
		Mean±SD	Range	p-value	Mean±SD	Range	p-value
Processed food	49	4.9±1.9	0.7-8.0	0.0473	1.6±1.5	0.0-4.3	0.0120
Agricultural produce	214	4.2±2.3	0.0-8.0		1.0±1.5	0.0-5.1	
Vegetables	P <sup>b)</sup> 26	6.0±1.3	0.7-8.0	0.6546	2.1±1.5	0.0-4.1	0.1413
	A <sup>c)</sup> 103	5.9±1.6	0.7-8.0		1.6±1.6	0.0-5.1	
Fruits	P <sup>b)</sup> 23	3.7±1.6	1.5-6.8	0.0018	1.1±1.4	0.0-4.3	0.0181
	A <sup>c)</sup> 39	2.2±1.8	0.0-6.3		0.3±1.0	0.0-3.9	
Dried fruits	P <sup>b)</sup> 0	-	-	-	-	-	-
	A <sup>c)</sup> 42	2.0±1.0	0.0-4.0		0.5±1.2	0.0-5.0	
Nut seeds	P <sup>b)</sup> 0	-	-	-	-	-	-
	A <sup>c)</sup> 30	4.2±1.6	1.9-7.0		1.3±1.3	0.0-4.6	

a) N : Number of total samples

b) P : Processed food

c) A : Agricultural produce

Table 4. Range of detected *E. coli*(non pathogenic) in samples (unit: CFU/g)

Type	N <sup>a)</sup>	Mean	Range	5-<10	10-<10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup> -<10 <sup>3</sup>
Processed food	0					
Vegetables	5	179	5-700	2	1	2
Agricultural produce	0					
Fruits	0					
Dried fruits	0					
Nut seeds	4	9	5-20	3	1	

a) N : Number of positive samples

Table 5. Detection rates of >3.7 logCFU/g coliforms count (unit: log CFU/g)

Type	N <sup>a)</sup>	Coliforms		
		N <sup>b)</sup>	rate (%)	
Processed food	Sub total	49	6	12.2
	Vegetables	26	4	15.4
	Fruits	23	2	8.7
Agricultural produce	Sub total	214	17	7.9
	Vegetables	103	14	13.6
	Fruits	39	1	2.6
	Nut seeds	30	2	6.6

a) N : Number of total samples

b) N : Number of >3.7 logCFU/g coliforms count samples

## 2. 저위해성 식중독균의 정량 및 독소 유전자 분석 결과

저위해성 식중독균 중 *Staphylococcus aureus*는 검출되지 않았고 *Bacillus cereus*는 53건(20.2%), *Clostridium perfringens*는 11건(4.2%) 검출되었다. 각각의 정량 분석 결과는 Table 6, 8로 나타내었다.

### 가. *B. cereus* 정량 분석

*B. cereus*는 포자형성 간균으로 물, 토양 등 생활환경에 널리 분포하고, 각종 야채, 곡류 등의 농작물 및 식품원료 내에서도 많이 검출되고 있다.<sup>15)</sup>

본 연구에서도 *B. cereus*의 검출률

이 20.2%로 가장 높았다. 미국 FDA는 식중독을 일으켜 건강에 해를 끼칠 수 있는 *B. cereus*의 균수는 10<sup>6</sup> CFU/g 이라고 밝히고 있다. 미생물 위해평가 연구에서 채소류 섭취로 인한 최소 감염량을 10<sup>5</sup>~10<sup>7</sup> CFU/g으로 보고하고 있지만<sup>16)</sup>, 노약자 등의 고위험군에서는 훨씬 낮은 농도에서도 발병할 수 있다고 보고된 바가 있다.<sup>17)</sup>

본 연구의 정량 분석 결과 가공식품의 평균은 73 CFU/g (range : 20~100 CFU/g), 농산물의 평균은 740 CFU/g (range : 10~22,000 CFU/g)로 높은 수준은 아니었지만 식품위생법 즉석·편의식품류 관리기준인 1,000 CFU/g를 초과한 경우가 4건 있었다. 모두

신선편이농산물 중 채소류로 쌈채소, 샐러드, 새싹 어린잎 종류이다. 샐러드, 새싹 어린잎의 경우 세척 권고 문구가 표기되어 있지 않았고 이는 식품 위생법으로 관리되고 있는 신선편의식품과 외관상 비슷하지만 농수산물품질관리법이 적용되는 신선편이농산물이기 때문에 미생물학적으로는 관리되지 못하고 있다.

세척권고 표시문구 의무화를 통한 최소한의 미생물학적 관리가 필요할 것으로 판단된다. 더 나아가 신선편이농산물의 유형을 세분화하여 가열처리 없이 바로 섭취하고 미생물학적 오염 우려가 많은 유형의 경우 기준 마련 등의 방법으로 실정에 맞게 관리가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

#### 나. *B. cereus* 독소 유전자 분석

*B. cereus*는 구토형 혹은 설사형 식중독을 유발하며 장독소(enterotoxin) 및 균들이 증식하면서 생성된 대사산물인 cereulide라는 내열성 펩타이드가 원인으로 알려져 있다.<sup>15)</sup>

*B. cereus*에서 5개의 설사형 독소와 1개의 구토형 독소를 분석하였고 독소 유전자 분포는 Table 7로 나타내었다. 설사형 독소인 enterotoxin은 장관 내에서 균이 증식하여 생산되고 분자량이 5.5~6만의 고분자단백질로 60℃에서 20분의 가열로 파괴된다. 구토형 독소는 식품 내에서 생산되며 분자량 1만 이하의 저분자 펩타이드로 128℃에서 90분간 가열

하여도 파괴되지 않아 더 쉽게 식중독을 일으킨다. 구토형 독소는 주로 볶음밥, 국수 등과 같은 곡류식품인 전분질 식품에 미리 분비되어 있는 cereulide를 섭취할 경우 발병된다.<sup>15)</sup>

본 연구에서 분리된 *B. cereus* 53주는 설사형 독소가 *CytK* 34%(18주), *nheA* 71.7%(38주), *entFM* 88.7%(47주), *bceT* 60.4%(32주), *hblC* 88.7%(47주)로 검출되었고 구토형 독소인 *CER*은 3.8%(2주) 검출되었다. 검출된 설사형 독소 중 *entFM*, *hblC*가 높은 빈도를 나타내었는데, Hsieh 등<sup>18)</sup>의 연구에서 *B. cereus*의 설사형 독소 유전자 중 *entFM*이 검출빈도가 가장 높다고 했고 Kim 등<sup>19)</sup>에서 *entFM* 검출률이 100%, Sung 등<sup>20)</sup>에서 97%인 것 보다는 낮은 수준이었지만 유사한 결과임을 확인 할 수 있었다.

구토형 독소의 경우 유통 단순가공 농산물에서 1.7%(1/60) 검출된 보고<sup>20)</sup>와 매우 비슷한 수준이었으나 즉석 섭취식품과 편의식품에서 59.4%, 35.6%의 보고<sup>19)</sup>와 비교했을 때는 낮은 수준으로 나타났다.

구토와 설사 증상을 동시에 유발하는 *B. cereus*가 보고된 바가 있고<sup>21)</sup> 본 연구에서도 구토형 독소가 검출된 균주는 설사형 독소가 3개씩 동시에 검출되었다. 따라서 분리된 균주 중 구토형 독소의 비율은 낮았지만 유통 중 변질의 가능성을 감안하면 구토형 식중독 발생의 가능성이 잠재되어 있는 것으로 판단된다.

Table 6. Range of detected *B. cereus* in samples (unit: CFU/g)

	Type	N <sup>a)</sup>	Mean	Range	10 <sup>1</sup> -10 <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup> -10 <sup>3</sup>	10 <sup>3</sup> -10 <sup>4</sup>	>10 <sup>4</sup>
Processed food	Vegetables	3	73	20-100	1	2		
	Fruits	0						
Agricultural produce	Vegetables	38	940	10-22,000	15	19	3	1
	Fruits	0						
	Dried fruits	6	130	10-570	4	2		
	Nut seeds	6	38	10-130	5	1		

<sup>a)</sup> N : Number of positive samples

Table 7. The type of toxigenic genes detected in *B. cereus* strains

<i>B. cereus</i>		N <sup>a)</sup>	Enterotoxin genes (%)					Emetic toxin gene(%)
Type			<i>CytK</i>	<i>nheA</i>	<i>entFM</i>	<i>bceT</i>	<i>hblC</i>	<i>CER</i>
Processed food (n=3)	Vegetables	3	1 (33.3)	2 (66.7)	3 (100)	2 (66.7)	3 (100)	0
	Vegetables	38	12 (31.6)	27 (71.1)	33 (86.9)	24 (63.2)	37 (97.4)	2 (5.3)
Agricultural produce (n=50)	Dried fruits	6	2 (33.3)	5 (83.3)	6 (100)	2 (33.3)	4 (66.7)	0
	Nut seeds	6	3 (50)	4 (66.7)	5 (83.3)	4 (66.7)	3 (50)	0

<sup>a)</sup> N : Number of positive samples

#### 다. *C. perfringens* 정량 및 독소 유전자 분석

*C. perfringens*는 혐기성 그람양성 간균으로 포자를 형성하고 자연환경, 사람과 동물의 장관, 식품 등에 존재하고 있다.<sup>22)</sup> 본 연구의 *C. perfringens*의 정량 분석 결과 평균은 15 CFU/g (range : 5~65 CFU/g)로 낮은 수준으로 검출되었고, 바로 섭취하는 건조과실, 견과종실류와 채소류였다. 식품위생법에서 즉석·편의식품류의 *C. perfringens*는 100 CFU/g 이하로

관리되고 있다. *C. perfringens*에 의한 식중독은 증상을 나타내기까지 많은 균수가 필요하다고 보고되고 있으며 (10<sup>6</sup>~10<sup>7</sup> CFU/g) 포자를 형성하는 과정에서 독소 (Enterotoxin, *CPE*)를 생산한다.<sup>22)</sup>

본 연구에서 분리된 *C. perfringens* 11주에 대해 독소 유전자 *cpa*와 *cpe*를 분석하였다. *cpe*는 검출되지 않았고, *cpa*는 7주(63.6%)에서 검출되었다. *C. perfringens*로 인한 식중독 발생은 *cpe*와 관련이 있으며 균주 중 5% 미만이 *cpe*를 가지고 있다고 보고

되었다.<sup>23)</sup> 국내 채소류의 *C. perfringens* 모니터링 자료로는 검출률 10.7% (20/187)가 있는데<sup>8)</sup> 본 연구는 이보다 낮은 수준으로 4.2% (11/263)이지만 채소류에 *C. perfringens*가 오염되어 있음을 알 수 있었다. 외국과 비교했을 때 한국은 식품에서 *C.*

*perfringens*를 좀 더 엄격한 기준으로 관리하고 있고 위해평가를 통해 기준·규격 개정과 관리를 지속적으로 하고 있다. 이처럼 신선편이농산물의 경우도 모니터링과 위해평가를 통해 관리가 필요할 것으로 사료된다.

Table 8. Range of detected *C. perfringens* in samples (unit: CFU/g)

Type		N <sup>a)</sup>	Mean	Range	5-10	10-10 <sup>2</sup>
Agricultural produce	Vegetables	7	23	10-65	4	3
	Fruits	0				
	Dried fruits	3	7	5-10	3	
	Nut seeds	1	5	5	1	

a) N : Number of positive samples

### 3. 고위해성 식중독균의 독소 유전자 분석 결과

고위해성식중독균 중 *Salmonella* spp. *L. monocytogenes*, *C. jejuni/coli*는 모두 검출되지 않았고, *Y. enterocolitica*는 1건(0.4%)이 신선편이농산물로 바로 섭취하는 샐러드류에서, 장출혈성대장균은 1건(0.4%)이 방풍나물에서 검출되었다. *Y. enterocolitica*는 그람음성 간균으로 장내세균과에 속하며 동물, 식품, 환경 등에 널리 분포되어 있고 패혈증, 골수염, 급성위장염 등 다양한 질병을 일으키는 것으로 보고되고 있다.<sup>24)</sup> 증식 온도는 -1.3~45℃로(FDA) 저온에서도 증식할 수 있는 균으로, *L. monocytogenes*와 더불어 냉장식품을 통한 식중독

원인균으로 알려져 있다. 식품에서는 주로 우유 및 유제품, 달걀 제품, 원료육, 채소, 가공식품 등에서 검출되고 있다.<sup>24)</sup> 본 연구에서 *Y. enterocolitica*가 검출된 신선편이농산물은 세척, 절단 공정을 거쳐 포장되어 판매되고 세척 권고 문구가 표기되어 있었지만, 바로 섭취할 수 있는 형태이기 때문에 이를 간과할 가능성이 많다고 판단된다. 채소류에서 저온균 증식의 가능성이 확인되었으므로 냉장 온도에서 보관 시에도 각별한 주의가 필요할 것으로 판단된다. 장출혈성대장균은 방풍나물에서 검출되어 VT1 독소 유전자를 확인하였고 혈청형은 O157:H7은 아니었다. 식품공전에서 장출혈성대장균은 혈청형O157:H7과 nonO157:H7을 모두 검출하는 시

협법이며 배로독소 유전자 확인 후 균주를 순수 분리, 동정하여 판정을 낸다. 혈청형 O157:H7은 용혈성 요독 증후군을 일으키는데 CDC 통계<sup>6)</sup>에서 *E. coli* O157:H7 식품 매개 현황으로 분쇄한 쇠고기가 가장 중요한 원인이었고 푸른 잎 채소(샐러드류)가 두 번째로 중요한 원인이었다. 고위해성 식중독균은 소량(g당 10이하)으로도 식중독을 일으킬 수 있고 감염 시 사망, 합병증, 후유증을 유발할 수 있어 각별한 주의가 필요하다. 이처럼 고위해성 식중독균으로 인한 채소류의 오염 가능성을 인지하고 충분한 세척 권고와 위생 관리가 이루어져야 할 것으로 사료된다. 이처럼 신선편의식품과 신선편이농산물의 경우 제조과정에서 표면·절단면이 공기 중에 노출되는 것으로부터 오는 미생물 오염과 유통 중 미생물 증식의 가능성을 배제하기 어렵다. 또한 본 연구에서의 위생지표세균 분석 결과를 통해 미생물 오염은 계절적 요인보다 저장·유통·환경적 요인의 영향이 많음을 예측할 수 있었다. 따라서 미생물학적으로 관리되고 있지 못한 신선편이농산물의 경우 세척권고 표시문구 의무화를 통한 관리가 필요할 것으로 보인다. 또한 유형을 세분화하여 미생물학적 오염우려가 많은 가열처리 없이 바로 섭취하는 유형의 경우 기준 마련 등의 방법으로 실정에 맞는 관리 방법의 설정과 추진이 합리적일 것으로 판단된다.

## IV. 결 론

경남도내 마트에서 유통 중인 농산물과 과채류의 즉석섭취·편의식품류 263건을 대상으로 미생물학적 오염도 조사를 하였다. 식품공전과 식중독 원인조사시험법에 따라 위생지표세균, 저위해성 식중독균, 고위해성 식중독균을 분리하여 비교, 분석, 통계 처리하였다. 이를 통해 농산물 관련 식중독의 위험성을 제고하고, 향후 미생물 위해평가 및 기준 마련을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

1. 일반세균수의 오염도는 채소류의 경우 가공식품 ( $6.0 \pm 1.3 \log \text{CFU/g}$ )이 더 높았지만 농산물( $5.9 \pm 1.6 \log \text{CFU/g}$ )과 비슷한 수준이었고  $p$ 값은 0.6546로 통계적으로 유의하지 않았다. 과일류 또한 가공식품 ( $3.7 \pm 1.6 \log \text{CFU/g}$ )이 농산물 ( $2.2 \pm 1.8 \log \text{CFU/g}$ )보다 오염도가 높았고  $p$ 값은 0.0018로 통계적으로 유의한 결과가 산출되었다.
2. 대장균은 채소류의 농산물에서 9건(3.4%)이 검출되었는데 비병원성이었다.
3. 대장균군  $3.7 \log \text{CFU/g}$ 을 초과한 시료는 8.8%(23/263), 대장균 100 CFU/g을 초과한 시료는 0.8% (2/263)로 조각과일, 샐러드, 쌈채소, 새싹 어린잎 종류였다.

4. *B. cereus*는 53건(20.2%)에서 검출되었고 정량분석 결과 가공식품의 평균은 73 CFU/g (range : 20~100 CFU/g), 농산물의 평균은 740 CFU/g (range : 10~22,000 CFU/g)였다. 식품위생법상 즉석·편의 식품류 관리기준인 1,000 CFU/g를 초과한 경우가 4건으로 신선편이 농산물 중 채소류인 쌈채소, 샐러드, 새싹어린잎 종류였다.
5. *C. perfringens*는 바로 섭취하는 건조 과실, 견과종실류와 채소류 등 11건(4.2%)에서 검출되었고 정량분석 결과 평균은 15 CFU/g(range : 5~65 CFU/g)로 낮은 수준이었다.
6. 저위해성 식중독균 중 *S. aureus*, 고위해성 식중독균 중 *Salmonella* spp., *L. monocytogenes*, *C. jejuni/coli*는 모두 검출되지 않았고, 신선편이농산물 중 샐러드 종류에서 *Y. enterocolitica* 1건(0.4%), 장출혈성대장균(nonO157:H7) 1건(0.4%)이 검출되었다.
7. 분리된 *B. cereus* 53주는 설사형 독소인 *CytK* 18주(34%), *nheA* 38주 (71.7%), *entFM* 47주(88.7%), *bceT* 32주(60.4%), *hblC* 47주(88.7%)에서 검출되었고 구토형 독소인 *CER*은 2주(3.8%)에서 검출되었다.

8. 분리된 *C. perfringens* 11주의 독소 유전자 분석결과, *cpe*는 검출되지 않았고 *cpa*가 7주(63.6%)에서 검출되었다.

## V. 참 고 문 헌

1. 농림축산식품부, 2018~2022 농업·농촌 및 식품산업 발전계획 10-13, 2018.
2. 한국농촌경제연구원, 2018 농소모 활동보고서, 2018.
3. 한국 신선편이 협회, <http://www.kfreshcut.com/html/kfresh.html>
4. 식품의약품안전처, 식품공전, 2019.
5. Centers for Disease Control and prevention, Multistate outbreak of *E. coli* O157:H7 infections linked to romain lettuce, <https://www.cdc.gov/ecoli/2018-outbreaks.html>
6. Centers for Disease Control and prevention, List of Selected Multistate Foodborne Outbreak Investigations, <https://www.cdc.gov/foodsafety/outbreaks/multistate-outbreaks/outbreaks-list.html>
7. 배영민, 홍유진, 강동현, 허성기, 이선영, 한국에 유통중인 신선편이 채소류의 미생물 품질 및 병원성 세균의 오염도 조사, 한국식품과학회지, 49: 599-604, 2017.
8. 홍재규, 서영호, 최재만, 황인숙, 김무상, 국내 신선채소류의 미생



- 물 오염 특성, 한국식품위생안전성학회지, 27: 24-29, 2012.
9. 식품의약품안전처, 2018년 식중독 원인조사 시험법, 2018.
10. de Medici D., Croci L., Delibato E., di Pasquale S., Filetici E., Toti L., Evaluation of DNA extraction methods for use in combination with SYBR green I real-time PCR to detect *Salmonella enterica* serotype enteritidis in poultry, Appl. Environ. Microbiol., 69: 3456-3461, 2003.
11. 김지강, 신선편이(fresh-cut) 농 식품산업 및 품질관리, 세명문화사, 2007.
12. US Food and Drug Administration, Guide to Minimize Food Safety Hazards of Fresh-cut Produce: Draft Guidance for Industry, 2018.
13. US Food and Drug Administration, Guidance for Industry: Guide to Minimize Microbial Food Safety Hazards of Fresh-cut Fruits and Vegetables, 2008.
14. 김원일, 광민규, 조아라, 류상돈, 김세리, 류송희, 김황용, 류재기, 국내 생산단계 농산물의 미생물학적 안전성 조사. 한국식품위생안전성학회지. 32: 20-26, 2017.
15. Kramer, J. M., Gillbert, R. J., *Bacillus cereus* and other *Bacillus* species, In: Food-borne Bacterial Pathogens. DoyleMP(ed). Marcel Dekker, New York, 21-70, 1989.
16. 식품의약품안전처, 미생물위해성평가 가이드라인, 2019.
17. Stenfors Arnesen LP, Fagerlund A., Granum PE, From soil to gut: *Bacillus cereus* and its food poisoning toxins, FEMS Microbiol., 32: 579-606, 2008.
18. Hsieh Y. M., Sheu S. J., Chen Y. L., Tsen H. Y., Enterotoxigenic profiles and PCR detection of *Bacillus cereus* group cells and *B. cereus* strains from foods and food-borne outbreaks, Journal of Applied Microbiology, 87: 481-490, 1999.
19. 김태순, 김민지, 강유미, 오그네, 최수연, 오무술, 양용식, 서정미, 류미금, 김은선, 하동룡, 조배식, 유통 중인 즉석·편의식품류에서 분리한 *Bacillus cereus*의 산생 Toxin 및 분자유전학적 특성 조사, 한국식품과학회지, 46: 334-340, 2014.
20. 성경혜, 황인영, 박소현, 박선희, 김병준, 이주현, 민상기, 유통 단순가공 농산물의 위생지표세균 및 식중독균 오염 실태 조사연구, 한국식품과학회지, 49: 599-604, 2017.
21. Yang IC, Shih DY, Huang TP, Huang YP, Wang JY, Pan TM, Establishment of a novel

- multiplex PCR assay and detection of toxigenic strains of the species in the *Bacillus cereus* group, J. Food Protect, 68: 2123-2130, 2005.
22. 질병관리본부, 2018년도 수인성 및 식품매개감염병 관리지침, 2018.
23. McClane B.A., Food microbiology: fundamentals and frontiers, 3rd ed. ASM Press, 305-326, 2007.
24. Abigail A. Salyers and Dixie D. Whitt, Bacterial Pathogenesis 2nd ed. ASM Press, 202-215, 2002.

01 :: 보건 분야

유통 위생물수건의 안전성 조사연구



# 유통 위생물수건의 안전성 조사

이승진 · 나진희 · 김민혜 · 강영훈 · 박지인\* · 여영희 · 하강자

위생화학팀, 미생물팀\*

## A Safety Study of Distributed Sanitary Wipes

Seungjin Lee, Jinhee Na, Minhye Kim, Younghun Kang,

Jiin Park\*, Yeonghee Yeo, Gangja Ha

Sanitary Chemistry Team, Microbiology Team\*

### Abstract

In this study, 100 sanitary wipes manufactured and distributed in Gyeongsangnam-do were examined. Safety evaluation of twelve items was conducted including toxic heavy metals (lead, arsenic, and so forth), bacterial number, presence of *E. coli*, moisture content, formaldehyde, form, foreign material and odor. Foreign material was found in one out of 100 samples. Bacteria were detected in 27 out of 100 samples. Two of the 27 samples in which bacteria were detected exceeded the criterion. No *E. coli* was detected in the samples. The concentrations of heavy metals such as lead, cadmium etc were within the legal limits. The level of lead was the highest among the tested heavy metals, and the highest concentration of lead was 3.52 mg/kg. However, it was only 17.6% of the legal limit. The average moisture content of all samples was 64.1% (48.9~73.6%), and it showed no relevance to the detection of bacterial counts. Based on the above results, the safety evaluation of heavy metals and bacterial number of sanitary wipes distributed in Gyeongsangnam-do will be continuously performed from now on.

**Key words** : Sanitary wipes, Heavy metals, Bacterial number

## I. 서 론

위생용품의 기준 및 규격<sup>1)</sup>에 의하면 위생물수건은 식품접객업의 영업소에서 손세척 등에 사용하는 물수건을 세척, 살균, 소독 등 위생적인 방법으로 재사용 처리해 포장한 제품에 적용한다고 명시하고 있다. 일반적으로 음식점에서 위생물수건은 소비자들이 손과 얼굴 등을 닦기 위하여 대여하는 용품이며, 식탁의 행주용 등 다른 목적으로 사용하여서는 아니 된다고 규정되어 있다. 그러나 2012년도에 위생물수건에서 중금속이 유출된다는 보고가 있어 사회적 문제점이 되었다.<sup>2)</sup> 실제로 음식점에서는 위생물수건을 행주처럼 테이블과 주방도구를 닦거나 고기를 구운 불판을 닦는 사례도 많았고, 이로 인해 중금속이 묻는 경우도 발생할 수 있다. 중금속은 미량이라도 체내에 섭취되면 잘 배설되지 않고 우리 몸속에 축적되어 장기간에 걸쳐 부작용을 나타내기 때문에 매우 위험하다. 예를 들어 수은이 인체에 섭취되면 글로빈에 철 대신 붙어 산소 운반능력을 상실하게 되고, 납의 경우 신경과 근육을 마비시키고, 카드뮴은 폐암을 일으킬 수 있다.<sup>2,3)</sup>

식품의약품안전처 자료에 의하면

식중독 발생원인 중 병원성대장균 등 세균으로 인한 것이 37.2%로 가장 많았고, 식중독 발생 장소는 음식점이 가장 높게 나타났다.<sup>2,3)</sup> 또한, 식품의약품안전처 공고 제2019-323호<sup>4)</sup>에 의하면 국내 경제성장으로 인해 여성의 사회활동 증가, 1인 가구 증가, 고령화 등으로 외식활동이 지속적으로 증가하고 있어 식품접객업소 위생관리 및 소비자 보호를 위해 포름알데히드를 검사항목으로 추가하였다. 따라서 본 조사에서는 이러한 최근의 동향을 고려함과 동시에 도내 위생물수건을 대상으로 안전성을 조사한 사례가 없어 도민들의 위생안전을 확보하고자 도내 38곳의 위생처리업체에서 제조하여 유통하는 위생물수건 100건을 대상으로 식품의약품안전처 고시 제2018-80호 「위생용품의 기준 및 규격」<sup>1)</sup>에 명시된 10개 (성상/이물/이취, 대장균/세균수, 납/수은/비소/카드뮴/6가크롬)를 조사항목으로 선정하였다. 또한, 수분함량을 추가하여 세균수와 수분함량의 상관관계를 파악하였고, 식품접객업소용 물티슈와 위생물수건은 사용용도가 유사하기 때문에 포름알데히드를 추가하여 위생물수건의 안전성을 조사함으로써 도민의 위생안전을 확보하고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험검체

도내 38개 위생처리업체에서 제조하여 유통되는 위생물수건의 안전성 조사를 위해 2018년 12월 18일부터 2019년 9월 30일까지 검사 의뢰된 위생물수건 중 민원 71건과 수거 29건을 시료로 선정하였다. 위생처리업체 도내 분포 현황과 수거된 위생물

수건의 지역은 Table 1에 제시하였다. 조사대상 검체는 창원이 48건으로 가장 많았고, 진주시 15건, 김해시 12건, 남해군 8건, 양산시 5건, 거제시 3건, 밀양시 3건 순이었다. ‘기타’ 조사 대상 물수건은 각각 통영시 1건, 사천시 2건, 합천군 1건, 산청군 1건, 창녕군 1건으로 총 6건이다. 100건의 검체 중 2건은 외부 포장인 없는 제품이었다.

Table 1. Description of the tested sample types by city and company

City	Number of Sanitary company	Number of samples	Type of sample collection	
			collected	requested
Total	38	100	29	71
Changwon	13	48	11	37
Jinju	6	15	6 <sup>b)</sup>	9
Gimhae	5	12	4	8
Namhae	1	8	–	8
Yangsan	3	5	2	3
Geoje	2	3	2	1
Miryang	2	3	1	2
Others <sup>a)</sup>	6	6	3 <sup>b)</sup>	3

<sup>a)</sup> Others : Changnyeong(1), Tongyeong(1), Sacheon(2), Sancheong(1), Hapcheon(1)

<sup>b)</sup> one unpacked sample included

### 2. 시험항목

위생물수건 시험항목은 식품의약품안전처 고시 제2018-80호 「위생용품의 기준 및 규격」<sup>1)</sup>에 명시된 10항목(성상/이물/이취, 대장균/세균수, 납/수은/비소/카드뮴/6가크롬)에 수분함량과 포름알데히드를 추가하여 선정하였다. 수분함량은 미생물 증식 및 성장에 영향을 주는 환경요인 중 하나로 세균수와 의 상관성을 파악하기 위해 추가하였고, 인체에 대한 강한

독성 때문에 포름알데히드의 검출 여부도 추가로 확인하였다. 포름알데히드는 탄소가 포함된 물질이 불완전 연소할 때나 음식을 만들 때 발생할 수 있으며, 50 ppm 이상의 농도에 노출될 경우 사망에 이를 수도 있다.<sup>5,6)</sup>

### 3. 기준 및 규격

「위생용품의 기준 및 규격 일부 개정공시(안)」 행정예고(식품의약품

안전처 공고, 제2019-323호)<sup>4)</sup>를 보면 식품접객업소용 물티슈에 대한 검사 항목으로 포름알데히드가 추가되었고, 기준치는 20 mg/L 이하이다.

「위생용품의 기준 및 규격」 제3. 개별기준 및 규격, 15. 위생물수건<sup>1)</sup>에 의하면 위생물수건은 크기, 무게 등에 따라 1호와 2호로 구분하고 있으며 상세 기준은 Table 2에 제시하였고, 항목별 규격은 다음과 같다.

(1) 성상 : 외관이 심하게 손상되거나 변색되어서는 아니 된다.

(2) 이물 : 이물질이 부착되어 있어서는 아니 된다.

(3) 이취 : 소독제 이외의 이취가 있어서는 아니 된다.

(4) 대장균 : 음성

(5) 세균수

가) 1호 : 100,000 이하/장

나) 2호 : 150,000 이하/장

(6) 납(mg/kg) : 20 이하

(7) 수은(mg/kg) : 20 이하

(8) 비소(mg/kg) : 20 이하

(9) 카드뮴(mg/kg) : 20 이하

(10) 6가 크롬(mg/kg) : 20 이하

Table 2. The Standard specification by the type of sanitary wipes

	Dry weight(g/sheet)	Length(cm/sheet)	Width(cm/sheet)
Type 1	15 g $\pm$ 5%	24 cm $\pm$ 5%	24 cm $\pm$ 5%
Type 2	25 g $\pm$ 5%	28 cm $\pm$ 5%	28 cm $\pm$ 5%

#### 4. 시험방법

##### 가. 성상/이물/이취

성상/이물/이취 항목은 「위생처리업의 위생관리기준」에 명시된 물수건 검사방법에 따라 검사하였다.<sup>7)</sup> 성상과 이물은 검체를 흑색판 위에 완전히 펴서 육안으로 양면을 면밀히 관찰하여 외관이 심하게 손상되거나 이물이 부착되었는지를 확인했고, 이취는 검체를 500 mL 비커에 넣고 시계접시로 덮어 40~50℃의 수욕 상에서 5분간 가열한 후 흔들어 준 다음 시계접시를 열고 냄새를 맡을 때 염소 이외의 냄새가 나는지를 확인하였다.

##### 나. 대장균 및 세균수

대장균은 「위생용품의 기준 및 규격」 제5. 위생용품 시험법, 27. 대장균 시험법에 따라 검사하였다.<sup>1)</sup> 시험용액 1 mL씩을 3개의 EC 배지에 접종하고 44.5 $\pm$ 0.2℃에서 24 $\pm$ 2시간 배양한다. 이때 가스가 발생한 발효관은 추정시험 양성으로 하고 가스발생이 확인되지 않을 때는 추정시험 음성으로 한다. 추정시험이 양성일 때에는 해당 EC 발효관으로부터 1백금이를 EMB 평판배지에 획선접종하여 35 $\pm$ 1℃로 24 $\pm$ 2시간 배양한 후 전형적 집락(전형적 집락이 없을



때는 전형적인 집락에 유사한 집락 2개 이상)을 취하여 유당배지 및 보통한천사면배지에 각각 접종한다(전형적 집락과 유사한 집락을 취한 경우에는 서로 다른 배지에 각각 접종한다). 유당배지에 접종한 것은  $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ 로  $48\pm 3$ 시간 배양하고 보통한천사면배지에 접종한 것은  $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ 로  $24\pm 2$ 시간 배양한다. 유당배지에서 가스가 발생했을 때는 이에 해당하는 보통한천사면배지에서 배양된 집락을 취하여 그람염색을 실시하고 검경 후 그람음성, 무아포성간균일 경우 대장균 양성으로 판정한다.

세균수는 「위생용품의 기준 및 규격」 제5. 위생용품 시험법, 26. 일반세균수의 나. 건조필름법을 적용하여 검사하였다.<sup>1)</sup> 시험용액 1 mL와 각 10배 단계 희석액 1 mL를 세균수 건조필름배지에 각 2매 이상씩 접종한 후 잘 흡수시키고  $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ 에서  $48\pm 2$ 시간 배양한 후 생성된 붉은 집락수를 계수하고 그 평균 집락수에 희석배수를 곱하여 세균수로 하였다.

## 다. 수분함량 및 포름알데히드

### 1) 수분함량

수분함량은 「위생용품의 기준 및 규격」 제5. 위생용품 시험법, 8. 수분에 따라 검사했고,<sup>1)</sup> Thermo stable SOF-155 오븐(DAIHAN Scientific)과 Dry keeper(SANPLATEC)를 사용하여 측정하였다.

### 2) 포름알데히드

포름알데히드는 「위생용품의 기준 및 규격」 제5. 위생용품 시험법에 따라 액체크로마토그래프를 사용하여 검사했다.<sup>1)</sup> 포름알데히드 검사를 위해 위생물수건을  $5\times 5\text{cm}$  세절한 후 100 mL 증류수에서 용출하여 시험용액을 조제하였다. 조제한 시험용액 25 mL에 2,4-디니트로페닐하이드라진시액 2 mL와 구연산완충액 4 mL를 가한 후  $40^{\circ}\text{C}$  항온수조에서 1시간 방치 후 유도체화하였다. 시험용액을 식히고 물을 가하여 50 mL로 정용한 후 액체크로마토그래피(HPLC)로 측정하였다. 표준용액은 100 ppm formaldehyde DNPH solution(Sigma-Aldrich)을 사용하였다.

## 라. 중금속

### 1) 납/비소/카드뮴

납은 「위생용품의 기준 및 규격」 제5. 위생용품 시험법, 17. 납에 따라 검사하였고, ICP(유도결합플라즈마 발광강도측정법)를 사용하였다.<sup>1)</sup> 납 검사를 위해 검체 1 g을 도가니에 취하여 황산 2 mL 첨가한 후 탄화될 때까지 서서히 가열하였고,  $450^{\circ}\text{C}$  전기로에서 다시 가열하여 회화하였다. 이때 도가니의 내용물이 완전히 회화될 때까지 식힌 후 내용물을 황산에 적시고 다시 가열하는 조작을 반복적으로 수행하였다. 식힌 후 잔류물에 회석한 염산(1→2) 5 mL를 첨가한 후 섞고 수욕상에서 증발 건조했다. 건조 후 0.1 mol/L 질산을 가하여

녹이고, 불용성 물질이 있는 경우에는 여과하여 20 mL로 한 액을 남 시험용액으로 하였다. 분석을 위해 사용된 장비와 표준용액은 각각 ICP-OES Avio 500(PerkinElmer)과

Multi standard (INORGANIC VENTURES)이며, 증류수를 이용해 0.5, 1, 2, 5 ppm 농도로 표준용액을 제조하였다. 측정된 결과는 아래의 (식 1)을 이용하여 남 농도를 계산하였다.

$$\text{남농도}(mg/kg) = \frac{\text{시험용액 중 남농도}(\mu g/mL)}{\text{시료채취량}(g)} \times 20 \text{ mL} \quad (\text{식 } 1)$$

비소는 「위생용품의 기준 및 규격」 제5. 위생용품 시험법, 18. 비소, 다. 유도결합플라즈마발광강도측정법을 적용하여 검사하였다.<sup>1)</sup> 비소는 남과 시험방법이 동일하기 때문에 농도는 위 (식 1)에 따라 계산하였다.

카드뮴은 「위생용품의 기준 및 규격」 제5. 위생용품 시험법, 19. 카드뮴에 따라 검사하였고, 유도결합플라즈마발광강도측정법을 사용하였다.<sup>1)</sup>

카드뮴의 경우 남 시험법과 동일한 방법으로 시험용액을 조제한 후 2 mL를 분취하여 0.1 mol/L 질산을 가한 후 20 mL로 한 시험용액을 카드뮴 시험용액으로 하였고, 카드뮴 농도 계산식은 아래 (식 2)와 같다.

남, 비소, 카드뮴 검사에 사용된 ICP의 Plasma 가스유량, 보조가스 유량, Nebulizer 유량은 각각 8 L/min, 0.2 L/min, 0.7 L/min이다.

$$\text{카드뮴농도}(mg/kg) = \frac{\text{시험용액 중 카드뮴농도}(\mu g/mL)}{\text{시료채취량}(g)} \times 200 \text{ mL} \quad (\text{식 } 2)$$

## 2) 6가크롬

6가크롬은 「위생용품의 기준 및 규격」 제5. 위생용품 시험법, 22. 6가크롬에 따라 분광광도계를 사용하여 분석했다.<sup>1)</sup> 크롬산나트륨(Sodium chromate,  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ )을 이용하여 표준용액(2  $\mu\text{g/mL}$ )을 조제한 후 증류수와 조제한 표준용액과 디페닐카바지드 및 황산 시액을 이용하여 0.02 mg/kg, 0.2 mg/kg, 0.5 mg/kg 농도로 검량선 작성용 표준용

액을 각각 제조하였다. 제조한 시료는 약 10분간 방치한 후 Varian Au/CARY100의 분광광도계와 파장 540 nm를 사용하여 흡광도를 측정한 후 검량선을 작성하였다. 시험용액의 경우 세절한 시료 1 g을 정밀히 달아 250 mL 삼각플라스크에 취하고 알칼리분해액 50 mL를 넣은 후 염화마그네슘 400 mg과 0.1 M 인산염완충액 0.5 mL를 가하여 5분간 잘 섞는다.

이를 90~95℃ 가열기 위에서 60분간 저어주며 가열하고 상온으로 식힌 다음 0.45 µm 필터를 사용하여 여과한다. 이어서 여액에 5 M 질산을 한 방울씩 가하여 pH를 7.5±0.5로 맞춘 다음 물을 가하여 100 mL로 한 액을 시험용액으로 한다. 시험용액 50 mL를 취하여 100 mL 메스플라스크에 넣고 이에 디페닐카바지드시액 2 mL를 가하고 10% 황산으로 pH를 2±0.5로 맞춘 다음 물을 가하여 100 mL로 한다. 이 액을 10분간 방치한 후 파장 540 nm에서 흡광도를 측정하여 미리 작성한 검량선으로부터 시료 중 6가 크롬의 양을 구하였다.

### 3) 수은

수은은 「위생용품의 기준 및 규격」 제5. 위생용품 시험법, 20. 수은의 (2) 원자흡광광도법에 의한 정량(금아말감

법)에 따라 분석했다.<sup>1)</sup> 분석 장비는 Hydra-C 수은분석기(Teledyne Leeman Labs)를 사용하였고, 세절한 위생물수건 약 200 mg을 시료로 하였다.

## Ⅲ. 결과 및 고찰

도내 유통 중인 100건의 위생물수건의 안전성을 조사한 전 항목의 분석 결과는 Table 3과 같다. 납, 비소, 카드뮴, 수은, 6가크롬의 기준치는 20 mg/kg으로 위생물수건에서 검출된 중금속의 농도가 모두 기준치 이하인 것을 확인할 수 있다. 수분함량의 범위는 48.8~73.6%로 나타났고, 세균수는 각각 김해시 1건과 산청군 1건, 총 2건에서 기준치(100,000 이하/장)를 초과하였다. 포름알데히드와 대장균은 모든 검체에서 검출되지 않았다.

Table 3. The analyzed results of sanitary wipes

City	N <sup>b)</sup>	Heavy metal(mg/kg)					Moisture content(%)	Bacteria (×1000)
		Pb	As	Cd	Hg	Cr <sup>6+</sup>		
Total	100	0.02~3.32	0.01~0.48	0.19~1.98	0.00~0.15	0.00~0.09	48.9~73.6	0.19~760,000
Changwon	48	0.02~0.29	0.04~0.48	0.19~0.40	0.00~0.15	0.00~0.09	53.8~73.6	0.19~36
Jinju	15	0.06	0.12~0.46	0.20~0.40	0.00~0.03	0.01~0.04	57.0~71.3	3.0~6.3
Gimhae	12	0.02~0.04	0.11~0.48	0.20~1.98	0.00~0.01	0.01~0.05	60.0~68.1	6.5~760,000
Namhae	8	0.12	0.01~0.42	0.19~0.20	0.00~0.11	0.05	63.8~69.5	ND <sup>c)</sup>
Yongsan	5	0.04	0.04~0.36	0.20	0.00~0.002	0.01	60.8~69.2	0.72~11
Geoje	3	ND <sup>c)</sup>	0.26~0.42	0.19~0.20	0.00~0.007	ND <sup>c)</sup>	63.9~64.6	6.2~23
Miryang	3	ND <sup>c)</sup>	0.24~0.40	0.20~0.40	0.01~0.008	0.01	57.8~66.0	1.2
Others <sup>a)</sup>	6	3.52	0.21~0.46	0.20~0.40	0.00~0.004	0.02	48.9~66.3	2.2~3,100

<sup>a)</sup> Others : Changnyeong(1), Tongyeong(1), Sacheon(2), Sancheong(1), Hapcheon(1)

<sup>b)</sup> Number of samples

<sup>c)</sup> ND : Not detected

## 1. 성상/이물/이취

도내 유통 위생물수건의 성상, 이물, 이취를 조사한 결과 99건의 시료는 모든 항목에 적합한 결과를 나타냈다. 하지만 1건의 위생물수건에서 고춧가루가 검출되어 이물 항목에서 부적합 판정을 받았고, 나머지 성상, 이취 항목은 기준 규격에 적합하였다.

## 2. 대장균 및 세균수

대장균은 모든 검체에서 음성으로 나타났고, 세균수는 100건 중 27건에서 검출되었으며, 세균수의 농도범위는 190~760,000,000 CFU/장으로 나타났다. 검출된 27건 중 2건(산청군 1건, 김해시 1건)의 세균수는 각각 3,100,000 CFU/장과 760,000,000 CFU/장으로 기준치(100,000 이하/장)를 초과하였다.

경기도와 서울특별시의 위생물수건을 대상으로 조사한 연구결과에 의

하면<sup>2,3)</sup> 경기도는 총 94건 중 24건(25.5%)의 위생물수건이 세균수 기준치를 초과하였고, 서울특별시는 총 58건 중 1건(17.2%)의 시료가 세균수 기준치를 초과하였다. 본 조사에서 기준치를 초과한 시료건수는 2건(2%)으로 서울특별시와 유사하였고, 경기도보다는 낮게 나타났다. 세균이 검출된 위생물수건의 수량을 각 시군별로 살펴보면 창원시는 48건 중 15건(31.3%), 진주시는 15건 중 2건(13.3%), 김해시는 12건 중 2건(16.7%), 양산시 5건 중 2건(40%), 거제시는 3건 중 2건(66.7%), 밀양시는 3건 중 1건(33.4%), 기타 지역은 6건 중 3건(50%)이다. 세균이 기준치 이하로 검출된 결과를 도시한 Fig. 1을 보면 세균수는 25개 검체에서 61,000 CFU/장 이하로 나타났다. 세균수의 경우 도민들이 안전하게 사용할 있도록 지속적인 모니터링이 필요할 것으로 판단된다.

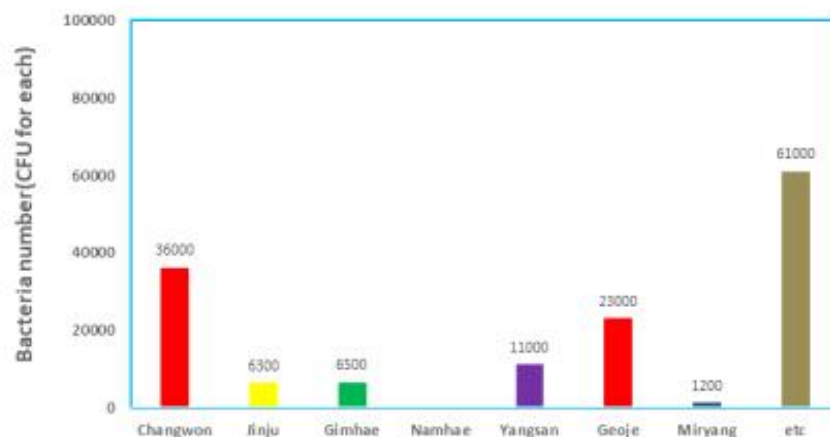


Fig. 1. The bacterial number in sanitary wipes.

### 3. 수분함량

수분함량은 「위생용품의 기준 및 규격」 제5. 위생용품 시험법, 8. 수분 시험법에 따라 건조기를 이용하여 검사하였고,<sup>1)</sup> 그 결과를 Table 3~Table 4와 Fig. 2에 수록하였다. Table 3은 모든 위생물수건의 수분함량 범위를 나타낸 것이고, Table 4는 세균수와 수분함량과의 상관관계를 파악하기 위해 수록한 것이다. Fig. 2는 Table 3에 제시된 지역별 수분함량 범위를 가시적으로 도식화한 것이다. Table 3과 Fig. 2에서 보여 주듯이 조사결과 100건 위생물수건 수분함량의 범위는 48.9~73.6%로 나타났다. 평균값 기준으로 지역별 수분함량 범위는 59.7~66.5%이었고, 남해군에서 가장 높게 나타났다.

경기도를 대상으로 한 기존 연구결과에 의하면<sup>3)</sup> 94건 위생물수건의 수분함량 범위와 평균값은 각각 50.0~77.0%, 61.9%로 본 조사결과와 유사한 것을 알 수 있다. 또한, Table 4를 통해 확인 할 수 있듯이 세균수와 수분함량과의 상관관계는 나타나

지 않는 것을 확인 할 수 있다. 즉, 세균이 검출되지 않은 위생물수건의 평균 수분함량은 64.3%로 나타난 반면 세균이 검출된 위생물수건의 평균 수분함량은 63.5%로 수분함량과 세균수와의 상관관계는 나타나지 않았다. 경기도를 대상으로 조사한 기존 연구결과에서도<sup>3)</sup> 수분과 세균수와의 상관관계는 나타나지 않았다.

세균수가 3,100,000 CFU/장, 760,000,000 CFU/장으로 높게 검출된 검체의 수분함량은 각각 58.1%와 68.1%로 수분함량이 증가함에 따라 세균수가 높게 나타났다. 세균수가 3,100,000 CFU/장으로 검출된 위생물수건은 외부 포장에 완전히 개봉된 상태로 테이블 위에 비치된 후 손님들에게 제공하던 검체로 냉장상태가 아닌 일반 환경에 노출된 영향인 것으로 추정된다. 세균이 760,000,000 CFU/장으로 검출된 검체의 경우 수거당시 미개봉 상태의 검체로서 제조 시 세균이 완전히 제거되지 않았거나 유통 및 보관 단계에서 증식된 것으로 판단된다.

Table 4. The correlation of bacterial number and moisture content

	Number of samples	Range of bacterial number (CFU/sheet)	Average moisture content (%)
No growth	73	-	64.3
Growth	27	190 ~ 760,000,000	63.5

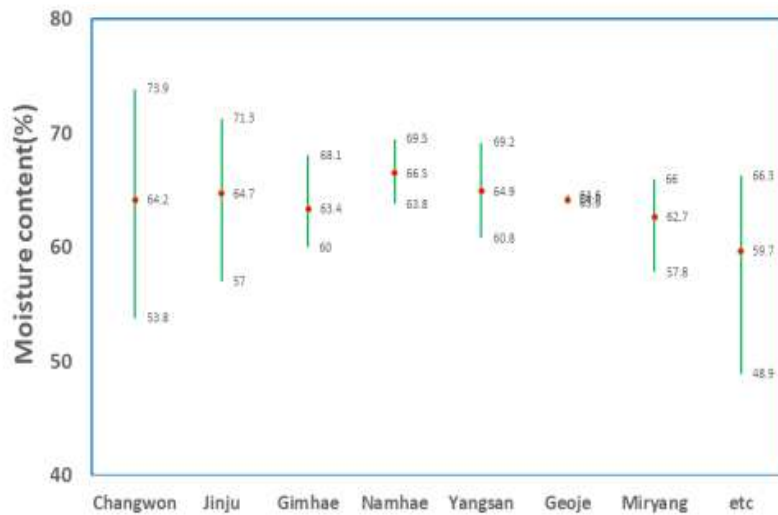


Fig. 2. The moisture content of sanitary wipes.

#### 4. 중금속

##### 1) 납/비소/카드뮴

납은 100건의 위생물수건 중 18건에서 0.02~3.52 mg/kg로 검출되었다. Table 3과 Fig. 3(a)에서 보여주듯 납의 최고 농도(3.52 mg/kg)는 기타 지역인 합천군의 위생물수건 1건에서 나타났고, 기준치(20 mg/kg)의 17.6%로 안전성에는 문제가 없는 것으로 판단된다. 경기도를 대상으로 한 기존 연구결과에 의하면<sup>3)</sup> 납은 불검출~0.41 mg/kg으로 나타났고, 본 조사에서 검출된 3.52 mg/kg을 제외한 납농도 범위는 0.02~0.29 mg/kg으로 기존 연구결과와 유사했다. Fig. 3과 같이 창원시, 진주시, 김해시, 남해군, 양산시의 위생물수건에서 납농도는 0.30 mg/kg 이하로 나타났고, 거제시와 밀양시의 위생물수건에서는 납이 검출되지 않았다.

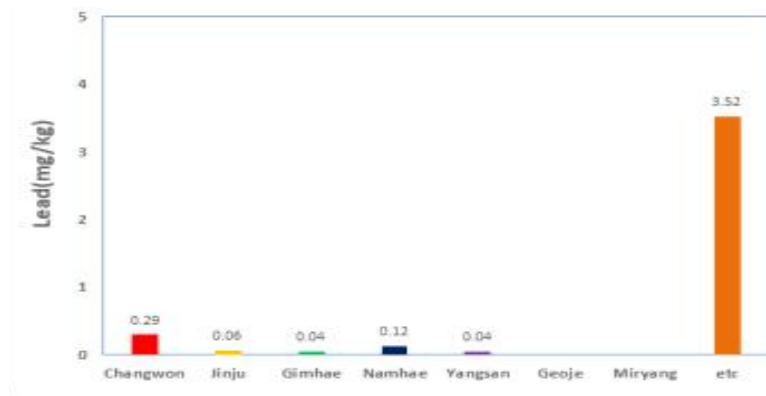
비소는 납과 달리 100건의 위생물수건 중 68건에서 0.01~0.48 mg/kg로 검출되었고, 경기도의 연구결과인<sup>3)</sup> 불검출~0.25 mg/kg에 비해 다소 높게 나타났다. 비소가 검출된 위생물수건의 수는 창원시 48건 중 34건, 진주시 15건 중 11건, 김해시 12건 중 7건, 남해군 8건 중 4건, 양산시 3건, 거제시와 밀양시는 각각 2건, 기타 지역은 6건 중 4건이었고, 각 시군별 비소농도 범위는 Table 3과 Fig. 3(b)를 통해 확인할 수 있다. Table 3과 Fig. 3(b)에서 나타낸 것과 같이 비소의 최고 농도(0.48 mg/kg)는 창원시 1건 및 김해시 1건에서 나타났으나 기준치(20 mg/kg)의 2.15%로 안전한 것으로 판단된다.

카드뮴은 100건의 위생물수건 중 67건에서 0.19~1.98 mg/kg 범위로 검출되었다. 카드뮴이 검출된 위생물수건의 수는 창원시 48건 중 29건, 진주시

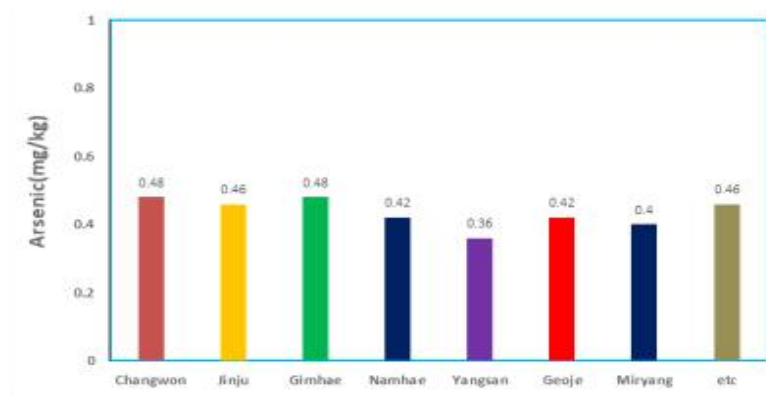
15건 중 9건, 김해시는 12건 중 7건, 남해군은 8건 중 6건, 양산시 5건 중 1건, 거제시와 밀양시는 각각 3건 중 2건, 기타 지역은 6건 중 3건이다. 시군별 카드뮴의 농도범위는 Table 3과 Fig. 3(c)에서 확인할 수 있다. 카드뮴의 최고 농도(1.98 mg/kg)는 김해시 1

건의 위생물수건에서 검출되었고, 기준치(20 mg/kg)의 9.9% 수준이었다. 경기도의 연구결과에 의하면<sup>3)</sup> 카드뮴이 94건의 모든 검체에서 불검출로 나타나 본 조사에서 검출된 67건에 비해 상당한 차이를 보였다.

(a) lead



(b) arsenic



(c) cadmium

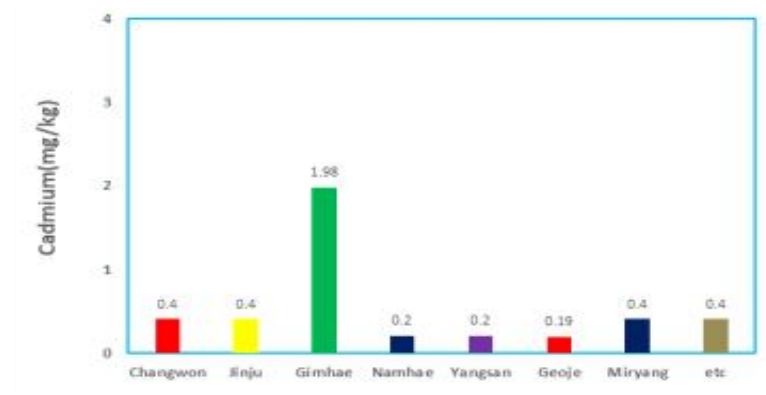


Fig. 3. The concentration of heavy metals in sanitary wipes.

## 2) 6가크롬

6가크롬을 분석한 결과는 Table 3과 Fig. 4에 나타내었고, 100건 중 23건에서 0.01~0.09 mg/kg로 검출되었다. 6가크롬이 검출된 위생물수건의 수를 시군별로 살펴보면 창원시는 48건 중 9건(18.8%), 진주시는 15건 중 3건(20%), 김해시는 12건 중 3건(25%), 남해군은 8건 중 1건(12.5%), 양산시 5건 중 1건(20%), 밀양시는 3건 중 1건(33.3%), 기타

지역은 6건 중 1건(16.7%)이다. 6가크롬의 최고 농도(0.090 mg/kg)는 창원시 위생물수건 1건에서 나타났고, 기준치(20 mg/kg)의 0.450%로 기준치를 만족하였기 때문에 안전성에는 문제가 없는 것으로 본 조사에서는 판단하였다. 경기도보건환경연구원에서 경기도의 위생물수건 94건을 대상으로 조사한 연구결과에 의하면<sup>3)</sup> 6가크롬은 94건의 모든 시료에서 불검출로 나타났다.

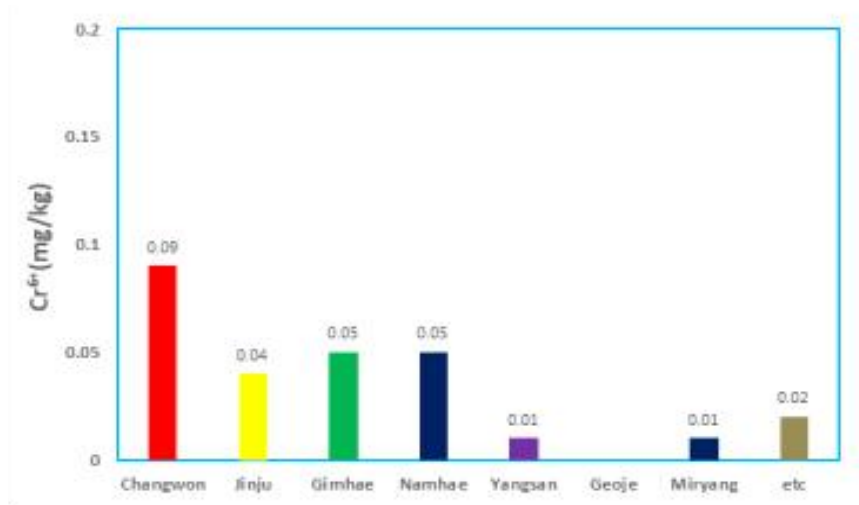


Fig. 4. The Chrome concentration in sanitary wipes

## 3) 수은

수은을 분석한 결과는 Table 3과 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 100건 위생물수건 중 95건에서 0.00~0.15 mg/kg로 검출되었고, 경기도보건환경연구원의 결과인<sup>3)</sup> 0.00~0.09 mg/kg에 비해 다소 높게 나타났다. 수은이 검출된 위생물수건의 수를 시군별로

살펴보면 창원시는 48건 중 47건, 진주시는 15건 중 12건, 김해시는 12건 중 7건, 남해군은 8건 중 6건, 양산시와 거제시는 각각 3건, 밀양시는 3건 중 2건, 기타 지역은 6건 중 4건이다. 수은의 최고 농도(0.15 mg/kg)는 창원시의 위생물수건 1건에서 검출되었고, 기준치(20 mg/kg)의 0.74%로 안전한 것으로 사료된다.



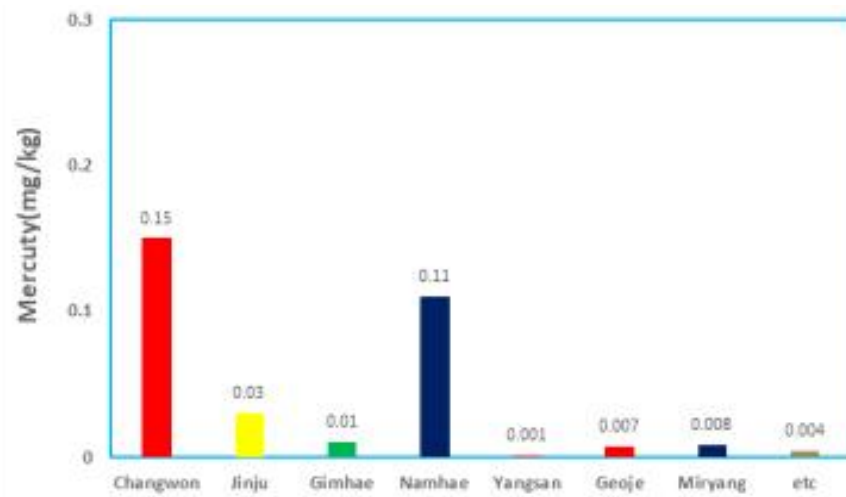


Fig. 5. The mercury concentration in sanitary wipes.

#### IV. 결 론

본 조사에서는 도내에서 유통되고 있는 100건의 위생물수건을 대상으로 「위생용품의 기준 및 규격」 제5. 위생용품 시험법과 「위생처리업의 위생관리기준」에 명시된 위생물수건 시험법에 따라 성장/이물/이취, 대장균/세균수, 납/비소/카드뮴/수은/6가크롬과 수분함량 및 포름알데히드에 대한 조사를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 조사대상 위생물수건 100건 중 1%인 1건에서 이물이 검출되었고, 나머지는 성장, 이물, 이취가 적합으로 나타났다.
2. 100건의 위생물수건 중 27건에서 세균수가 검출되었고, 세균수의 농도 범위는 불검출~760,000,000 CFU/장

으로 나타났고, 검출된 27건 중 2건의 세균수는 각각 3,100,000 CFU/장과 760,000,000 CFU/장으로 기준치(100,000 CFU/장)를 초과했다. 세균수 기준치를 초과한 비율은 2.0%로 서울특별시 25.5%와 경기도 1.72%에 비해 낮거나 유사하게 나타났지만 세균수 검사는 지속적으로 수행해야 할 것으로 판단된다. 기준치를 초과한 2건 중 1건은 비닐포장이 완전히 제거한 상태로 일반식당의 테이블 위에 비치된 것으로 위생물수건이 냉장상태가 아닌 일반 환경에 노출될 경우 세균수가 증식할 수 있는데 이러한 영향이 반영된 것이라 사료된다. 또한, 수분이 많을수록 세균수가 증가할 것으로 판단하여 조사를 수행한 결과 수분과 세균수와의 상관관계는 나타나지 않았다.

3. 대장균 및 포름알데히드는 100건의 모든 위생물수건에서 검출되지 않았다.
4. 납은 1건의 검체에서 3.52 mg/kg으로 검출되었고, 기준치(20 mg/kg)의 17.6%로 나타났다. 카드뮴은 2건의 위생물수건에서 1.89~1.98 mg/kg으로 검출되었고, 기준치(20 mg/kg)의 9.9%로 확인되었다. 납 및 카드뮴 농도는 기준치를 만족하였지만 도민의 위생안전을 위해 향후 지속적인 모니터링이 필요하다.

## V. 참고문헌

1. 식품의약품안전처 고시 제2018-80호 위생용품의 기준 및 규격, 2018.
2. 김창규 외, 물수건 중 중금속 및 미생물 오염도 분포특성, Report of S. I. H. E., 50:37-42, 2014.
3. 김영숙 외, 물수건의 위생실태 및 안전성 연구, J. Food Hyg. Saf. Vol. 31, No 4, pp. 258-263, 2016.
4. 식품의약품안전처 공고 제2019-323호, 위생용품의 기준 및 규격 일부개정공시(안) 행정예고, 2019.
5. 김영환 외, 포름알데히드 위해성 저감에 관한 연구, Journal of Health Science & Medical Technology Vol. 31, No.2, pp 99-102, 2007.
6. 이건호 외, 자동연속흐름-흡광광도법과 DNPH-LC 법에 의한 먹는물 중 포름알데히드 정량분석 비교, Journal of Korean Society of Water and Wastewater Vol. 27, No.6, pp 827-836, 2013.
7. 보건복지부 고시 제2013-162호 위생처리업의 위생관리기준, 2013.

01 :: 보건 분야

건조과채류의 안전성 실태 조사



# 건조과채류의 안전성 실태 조사

김영록 · 김민재 · 윤이란 · 강동훈

식품분석팀

## A study on sulfur dioxide and heavy metals contents in dried fruits & vegetables

Youngrok Kim, Minjae Kim, Yiran Yoon, Donghoon Kang

Foods Analysis Team

### Abstract

Because of the harmful effects on the human body, food preservatives and heavy metals contents in agricultural products are regulated by law. In this study, we measured the amount of sulfur dioxide, lead, cadmium, arsenic, and chrome in 120 samples of dried fruits and vegetables. Sulfur dioxide was detected in thirteen out of 120 samples (22.5%). Dried apricot contained the highest concentration (1.509 g/kg) among samples. Amounts detected in all samples were below the regulation criteria (1.0 g/kg for dried fruits, 2.0 g/kg for dried apricot, 0.50 g/kg for dried vegetables). None of the 120 samples exceeded the heavy metals criteria. The highest content of lead was observed in dried vitamin tree powder (0.188 mg/kg), with an average of 0.049 mg/kg. The highest content of cadmium was observed in lycium powder (0.106 mg/kg), with an average of 0.014 mg/kg. The highest content of arsenic was observed in dried Noni (0.315 mg/kg), and the lowest in dried sweet potato (0.007 mg/kg) with an average of 0.085 mg/kg. The highest content of chrome was observed in dried Acai berry (2.200 mg/kg), with an average of 0.183 mg/kg. Continuous monitoring of preservatives and heavy metals contents in these products is required to ensure consumer safety.

**Key Words** : dried fruits, dried vegetables, sulfur dioxide, heavy metals

## I. 서론

최근 건강에 대한 국민의 관심이 높아짐에 따라 식이섬유와 비타민, 무기질 등 건강기능성분 함량이 높은 과일 및 채소류의 소비량이 증가하는 추세이지만,<sup>1)</sup> 신선한 과채류는 수분함량이 높고 효소 등에 의해 연화되거나 쉽게 변질되는 등 저장성이 좋지 않아,<sup>2)</sup> 유통 안정성과 상품가치 향상을 위해 천일 건조, 열풍 건조 등의 가공기술을 이용한 다양한 제품 개발이 이루어지고 있다.<sup>3)</sup>

고구마, 감, 사과 말랭이를 비롯한 다양한 건조 과채류 제품은 특유의 부드러운 질감으로 씹기가 편해 어린이와 노약자들의 건강 간식과 술안주용으로 인기가 높아 시장규모가 커질 것으로 전망되고 있다.<sup>3-5)</sup>

그런데, 건조 과채류는 건조 중 색갈과 맛을 보호하고 저장성을 높이기 위하여 표백제, 보존료 등의 용도로 이산화황을 사용하고 있지만, 이산화황은 천식과 알레르기, 위장장애 등을 일으키는 것으로 알려져 있다.<sup>6,7)</sup> 우리나라 첨가물공전에서는 무수아황산, 아황산나트륨, 산성아황산나트륨, 차아황산나트륨, 메타중아황산나트륨, 메타중아황산칼륨의 6종의 아황산염류를 지정하여, 그 잔류량을 사용기준으로 관리하고 있다.<sup>8,9)</sup>

최근 수입된 일부 건망고, 건파인에플, 생강편 등에서 이산화황이 기준 초과 검출되어 폐기되는 등 사회문제화 된 사례가 있어<sup>5)</sup> 건조 과채류의 이산화황 안전성에 대한 소비자의 정확한 정보 전달과 불안감 해소를 위하여 적절한 조사·연구가 필요한 실정이다.

한편, 산업의 발달로 대기, 토양, 수질 등 재배환경 오염과 함께 과채류의 중금속 오염이 이루어지고 있으며,<sup>10)</sup> 그 중 납, 카드뮴, 비소, 크롬 등은 동식물체에 대한 유해성이 큰 금속으로 국제암연구소의 발암기준 물질분류기준에 따라 그룹 2B, 그룹 1, 그룹 1, 그룹1(6가) 또는 3(3가)로 분류되며 암 발생의 위험을 가진 중금속으로 알려져 있다.<sup>11)</sup>

중금속 함량이 높아진 음식류의 섭취로 체내 중금속 축적으로 인한 건강상 유해 가능성이 대두되고 있고,<sup>12,13)</sup> 특히 건조 과채류는 수분함량이 낮아져 중금속의 농축으로 인한 유해성이 더욱 커질 것으로 우려되므로, 중금속에 대하여 더 많은 연구가 필요하리라 여겨진다.

이에, 본 연구에서는 건조 과채류의 이산화황의 사용 실태를 조사하였고, 아울러 납, 카드뮴, 비소, 크롬 등 유해중금속 오염실태에 대해 살펴보았다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험 재료

본 연구를 위하여 2018년 경남지역에서 유통되는 건조과채류 120건을 구매하였으며, 원재료별 대분류 품목은 서류(고구마) 15건, 사과칩을 비롯한 인과류 13건, 건자두를 비롯한 핵과류 13건, 건망고를 비롯한 열대과일류 21건, 포도와 베리류를 제외한 장과류 9건, 건포도 23건, 베리류 16건, 기타 10건 등 이었다.

### 2. 검체의 전처리

구입한 건조 과채류 검체는 균질기(Halde VCM-61 AB Halde Maskiner, Kista, Sweden)로 균질화하여 폴리에틸렌 용기에 담아 냉장(5℃ 이하) 보관 후 일정량을 취해 시료로 사용하였다.

### 3. 이산화황 함량 분석

이산화황 정성시험은 식품공전 제7. 일반시험법 3. 식품중 식품첨가물시험법 3.5 아황산, 차아황산 및 그 염류 3.5.1 정성시험 나. 아연분말환원법에 따라 실시하였으며,<sup>14)</sup> 검체 중 아황산 등을 아연으로 환원하여 생성된 황화수소와 초산납과의 흑갈색 정색반응을 보이는 검체에 대해서 이산화황이 검출된 것으로 판정하여 정량검사를 실시하였다.

이산화황 정량시험은 식품공전 제7.

일반시험법 3. 식품중 식품첨가물시험법 3.5 아황산, 차아황산 및 그 염류 3.5.2 정량시험 가. 모니어-윌리암스변법에 따라 분석하였다.<sup>14)</sup>

증류플라스크에 증류수 400 mL를 넣고 분액깔때기의 코크를 잠그고 4 N 염산용액 90 mL를 넣어두었다. 냉각기에 냉각수를 공급한 다음 가스주입관을 통하여 질소가스를 0.21 L/min의 속도로 통과시키고, 수기에 3% 과산화수소용액 30 mL를 넣었다. 15분 후 분액깔때기를 떼어내고 시료 약 50 g과 5% 에탄올용액 100 mL를 증류플라스크에 넣은 다음 분액깔때기를 부착한 후 코크를 열어 5 mL정도가 남을 때까지 증류플라스크에 주입하였다. 1시간 45분 동안 가열한 후, 수기를 떼어내고 가스유도관의 끝을 소량의 3% 과산화수소용액으로 씻어 수기에 옮기고 마이크로뷰렛을 사용하여 0.01 N 수산화나트륨용액으로 20초간 지속하는 황색이 될 때까지 적정하여 이산화황의 함량을 산출하였다.

### 4. 건조과채류의 수분 측정

건조과채류의 중금속 기준 적용은 건조과정으로 인한 수분 함량을 고려해야하는 규정에 따라 수분 측정을 실시하였다. 시험은 식품공전 제7. 일반시험법 2. 식품성분시험법 2.1 일반성분시험법 2.1.1 수분 2.1.1.1 건조감량법에 따라 실시하였는데,<sup>14)</sup> 검

체를 물의 끓는점보다 약간 높은 105℃에서 상압건조시켜 그 감소되는 양을 수분량으로 측정하였다.

## 5. 납, 카드뮴, 비소, 크롬 분석

납, 카드뮴, 비소 및 크롬 분석은 식품공전 제7. 일반시험법 9. 식품 중 유해물질 9.1 중금속 시험 9.1.2. 납, 9.1.3 카드뮴, 9.1.4 비소 및 9.1.11 기타 금속에 따라 ICP로 분석하였다.<sup>14)</sup>

전처리를 위하여 검체 일정량 약 20 g을 회화도가니에 취하여 탄화시킨 후 450℃의 온도에서 여러 시간 가열하여 백색~회색분의 회분이 얻

어질 때까지 회화하였다. 이 회분을 방냉 후 주의하여 물로 적신 후 염산 용액(1→2) 약 10 mL를 가해 수욕 상에서 완전히 증발 건조시켰다.

이 건조물에 염산용액 약 8-10 mL를 가하여 수분 동안 가열 후 20 mL메스플라스크에 여과하였다. 불용은 여지와 같이 사용했던 회화 용기에 옮겨 건조한 후 다시 회화하였고, 이 회분을 물로 적시어 염산용액 (1→4) 약 2 mL를 가해 물 약 5 mL로 희석한 후 수욕 상에서 가온하고 여과한 액을 앞의 20 mL 메스플라스크에 채우고 1 N 염산으로 20 mL로 정용하여 시험 용액으로 사용하였다. 기기의 분석조건은 Table 1과 같다.

Table 1. The Operating conditions of ICP

Items	Operating conditions	
Model	Spectro ARCOS/FHE12	
Wavelength (nm)	Pb 220.353	Cd 228.802
	As 189.042	Cr 267.716
Generater Parameter	Plasma power	1400 Kw
	Pump speed	30 rpm
	Auxiliary flow	1.00 L/min
	Nebulizer flow	1.00 L/min
	Coolant flow	12.00 L/min

## Ⅲ. 결과 및 고찰

### 1. 이산화황 함량 분석 결과

이산화황 정성검사에서 건조 과채류 120건 검체 중 27건(22.5%) 검체에서 이산화황이 검출되었지만, 식품공전에서 「0.010 g/kg 미만은 불검출

로 한다」는 규정에<sup>14)</sup> 따라 정성검사에서 검출되어진 14건은 이산화황 함량 불검출(10 mg/kg 미만)로 판정되었으며, 13건(10.8%)의 검체는 불검출 기준보다 높게 검출되었다. 이산화황 함량 분석 결과는 Fig. 1과 같으며, 건조 과채류 120건의 검체 중 1.509 g/kg의 농도로 검출된 건살



구에서 제일 높게 분석되었고, 두 건의 건과인애플에서는 각각 0.531, 0.324 g/kg 농도로 나타났다. 마늘 분말은 0.127 g/kg, 감말랭이는 0.114 g/kg의 농도로 비교적 높은 값을 나타내었다. 그러나 검출된 건조 과채류 모두 식품첨가물공전에서 고시<sup>9)</sup>한 이산화황의 사용기준 건조 과일

류 1.0 g/kg(건조 살구 2.0 g/kg) 및 건조 채소류 0.50 g/kg의 범위를 초과하지는 않았고, 마늘은 하성용 등<sup>15)</sup> 「건조에 따른 채소류 중의 이산화황 함량 분석」에서 마늘의 천연유래 이산화황 함량 최대값인 0.264 g/kg 보다 낮게 검출되어 천연유래 이산화황인 것으로 추론할 수 있었다.

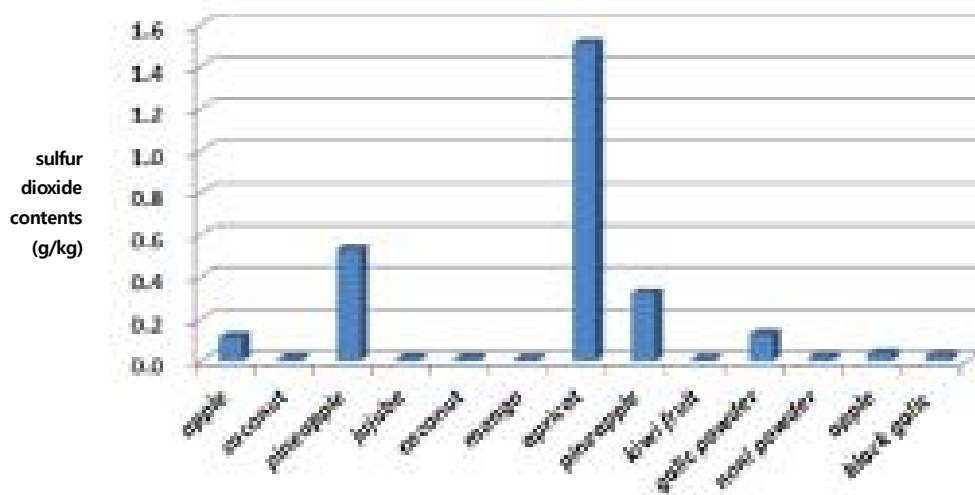


Fig. 1. Detected sulfur dioxide contents in dried fruits & vegetables by Monnier-Williams modified method.

Fig. 2에서는 이산화황이 검출된 건살구와 검출되지 않은 건살구 외형의 색택 변화를 볼 수 있는데, 이산화황 처리로 건살구 본연의 선명한 색깔이 유지되어 상품성 개선효과가 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 색택이 선명한 건조과채류는 이산화황이 검출될 우려가 있으므로 알레르기나 천식 등의 질환을 가진 환자는 인체에 해로운 영향을 미칠 수 있으므로<sup>6,7)</sup> 섭취를 피하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

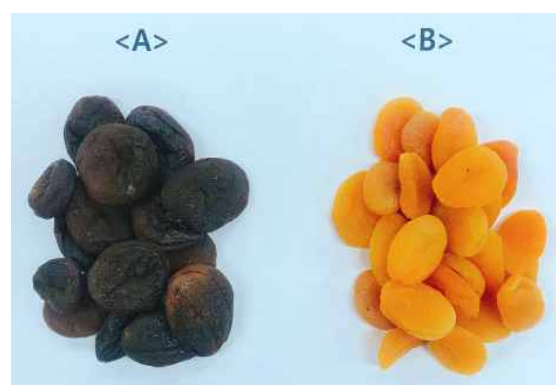


Fig. 2. The color of dried apricot. (<A> Not detected sulfur dioxide, <B> Detected sulfur dioxide(1.509 g/kg))

## 2. 건조과채류의 수분함량

검체 120건을 서류, 인과류, 핵과류, 열대과일류, 포도와 베리류를 제외한 장과류, 건포도, 베리류, 기타 등과 같이 원재료별 대분류 품목으로 나누어 수분함량을 조사하였으며, 품목별 평균 수분함량의 결과는 Fig. 3과 같았다. 핵과류의 수분함량이 비교적 높았으며, 열대과일류와 베리류 등 수입 건조과채류 수분함량이 낮은 것을 확인할 수 있었다.

개별적으로 아사이베리 분말 중 1건(1.0%)의 수분함량이 가장 낮게 측정되었고, 반건조 고구마(63.5%)가 제일 높았으며, 검체 120건의 평균 수분함량은 15.2%로 조사되었다. 그 밖에 말랭이 등의 수분함량이 높은 반면, 분말가공품이 낮게 나타난 것으로 보아 건조과채류 수분함량은 원재료에 의한 영향이라기보다 가공 방법에 따라서 수분함량의 차이가 크게 작용하는 것으로 추정할 수 있었다.

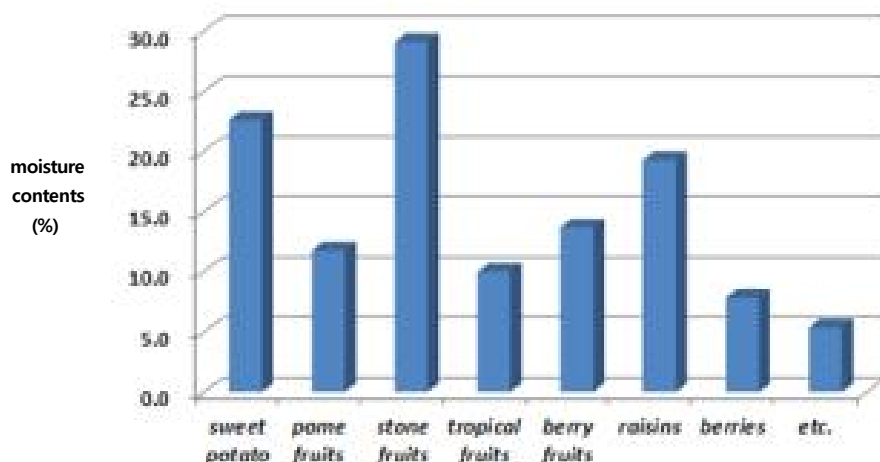


Fig. 3. Measured moisture contents in dried fruits & vegetables.

## 3. 중금속 분석 결과

서류 15건, 인과류 13건, 핵과류 13건, 열대과일류 21건, 포도와 베리류를 제외한 장과류 9건, 건포도 23건, 베리류 16건, 기타 10건 등과 같이 원재료별 대분류 품목에 대한 중금

속의 평균 함량은 Fig. 4와 같으며, 분석대상 건조과채류의 중금속 중 크롬의 함량이 대체로 높게 검출되었고, 베리류와 노니분말 등의 기타 제품에 있어서 그 함량이 높은 것을 확인할 수 있었다.

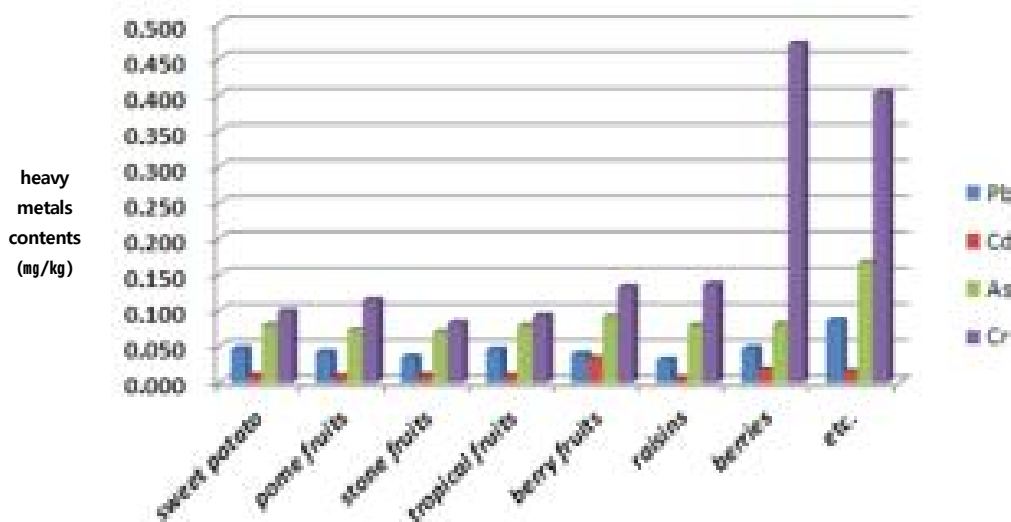


Fig. 4. Heavy metals contents in dried fruits & vegetables by ICP.

그리고 납, 카드뮴, 비소 및 크롬 등 유해중금속 오염실태에 대하여 살펴보기 위해 검체 120건에 대한 개별 중금속에 대한 분석결과는 표 2와 같았다.

납은 빈혈, 뇌손상마비, 신장장애 등의 급성독성과 두통, 식욕 감퇴 등의 만성증상을 일으키는 것으로 알려져 있는데,<sup>16)</sup> ICP를 이용하여 납의 함량을 분석한 결과 비타민나무 분말에서 0.188 mg/kg의 농도가 검출되어져 제일 높은 검출치를 보였고, 분석대상 120건의 평균 분석치는 0.049 mg/kg이었으며, 건포도 등 11건에서는 검출되지 않았다. 과일류 납 기준치는<sup>14)</sup> 0.1 mg/kg이지만 건조과채류의 수분 함량이 평균 15% 정도이었고, 납 최고치 비타민나무 분말의 수분함량은 3.5%로 건조 전 수

분함량을 감안하면 검사대상 120건 모두 납의 기준함량을 초과하지 않았다.

카드뮴은 적은 양으로 신장독성을 일으키고 장기간 노출 시 골다공증, 기형 등을 일으키는 유해중금속으로<sup>17,18)</sup> 구기자분말에서 0.106 mg/kg의 농도로 검출되어져 제일 높은 값을 나타냈고, 분석대상 120건의 평균 분석치는 0.014 mg/kg이었으며, 건자두 등 19건에서는 카드뮴이 검출되지 않았다. 과일류 카드뮴 기준치는<sup>14)</sup> 0.05 mg/kg이지만 건조과채류의 수분 함량이 평균 15% 정도이었고, 카드뮴 최고치 구기자 분말의 수분함량 3.8%를 감안하여 건조 전 수분함량으로 계산하면 검사대상 120건 모두 기준치에 적합하였다.

비소는 토양, 물 및 동식물에 함유

되어 있으나 식품에 함유되어 있는 형태는 주로 유기비소로 알려져 있다.<sup>19)</sup> 다량 섭취 시 구토, 혈뇨성 설사를 일으키고 장기간 노출 시 식욕 부진, 체중감소, 안면부종, 폐색성 황달, 신경염이나 각화증을 유발한다고 보고되어 있다.<sup>18)</sup> 비소는 과일에 있어서 국내 기준치가 마련되어 있지 않지만 쌀에 있어서 무기 비소 0.2 mg/kg로 정하고 있다.<sup>14)</sup> 이번에 조사된 비소의 분석결과에서 노니분말이 0.315 mg/kg의 농도로 검출되어져 제일 높은 값을 나타냈고, 분석대상 120건의 평균 분석치는 0.085 mg/kg이었으며, 최저치는 건고구마 0.007 mg/kg이었다. 참고로 건조과채류의 수분 함량이 평균 15% 정도이었고, 비소 최고치 노니분말의 수분함량

5.6%를 감안하면 쌀의 무기비소 기준치 0.2 mg/kg 함량에 미치지 못하는 것으로 나타났다.

크롬은 일반적으로 공기 및 습기에 매우 안정하고 단단한 중금속으로 알려져 있고, Cr<sup>+6</sup>은 산업장에서 많이 노출되며 단기간 노출 시 천식과 기관지 염증을 일으키며 장시간 노출 후에는 피부와 호흡기에 암을 유발한다고 알려져 있다.<sup>20)</sup> 크롬의 분석결과는 아사이베리 분말에서 2.200 mg/kg의 농도로 검출되어져 제일 높은 값을 나타냈고, 분석대상 120건의 평균 분석치는 0.183 mg/kg이었으며, 파인애플 1건에서 검출되지 않았지만 다른 유해중금속보다 비교적 높은 값으로 측정되었다.

Table 2. Range of detected heavy metals in dried fruits & vegetables by ICP

Heavy metals	Concentration(mg/kg) (type of samples)		
	min.	max.	mean
Pb	ND	0.188	0.049
	(11 samples)	(vitamin tree powder)	-
Cd	ND	0.106	0.014
	(19 samples)	(lycium podwer)	-
As	0.007	0.315	0.085
	(dried sweet potato)	(noni powder)	-
Cr	ND	2.200	0.183
	(pineapple)	(acai berry powder)	-

Note: ND(Not Detected)

## IV. 결 론

경남지역에서 유통되는 건조과채류 중에서 서류 15건, 인과류 13건, 핵과류 13건, 열대과일류 21건, 포도와 베리류를 제외한 장과류 9건, 건포도 23건, 베리류 16건, 기타 10건 등 120건을 구매하여 이산화황, 납, 카드뮴, 비소 및 크롬을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 건조 과채류 120건 검체 중 13건 (22.5%) 검체에서 이산화황이 검출되었으며, 가장 높은 농도의 검체는 건살구(1.509 g/kg)였고, 모든 검체에서 이산화황 사용기준인 건조 과일류 1.0 g/kg(건조 살구 2.0 g/kg) 및 건조 채소류 0.50 g/kg 범위를 초과하지는 않았다.
2. 조사에 이용된 검체의 수분함량은 반건조 고구마(63.5%)에서 제일 높았으며, 아사이베리 분말(1.0%)의 수분함량이 제일 낮게 측정되었고, 검체 120건의 평균 수분함량은 15.2%로 조사되었다.
3. 납의 함량을 분석한 결과 검체 120건 모두 납 기준치를 초과하지

는 않았으며, 비타민나무 분말 (0.188 mg/kg)이 가장 높은 농도로 검출되었고, 분석대상 120건의 평균 분석치는 0.049 mg/kg이었으며, 건포도 등 11건에서는 납이 검출되지 않았다.

4. 카드뮴을 분석한 결과 구기자분말 (0.106 mg/kg)에서 제일 높은 값을 나타냈고, 분석대상 120건의 평균 분석치는 0.014 mg/kg이었으며, 건자두 등 19건에서는 카드뮴이 검출되지 않았고, 검사대상 120건 모두 기준치에 적합하였다.
5. 비소를 분석한 결과 노니분말 (0.315 mg/kg)이 가장 높은 값을 나타냈고, 분석대상 120건의 평균 분석치는 0.085 mg/kg이었으며, 최저치는 건고구마 0.007 mg/kg이었다.
6. 크롬의 분석결과 아사이베리분말 (2.200 mg/kg)에서 제일 높은 값을 나타냈고, 분석대상 120건의 평균 분석치는 0.183 mg/kg이었으며, 파인애플 1건에서 검출되지 않았지만 다른 유해중금속에 비교하여 비교적 높은 값으로 측정되었다.

## V. 참 고 문 헌

1. Lee J.H., Seo J.W., An E.S., Kuk J.H., Park J.W., Bae M.S., Park S. W. and Yoo M.S., Monitoring of Heavy Metals in Fruits in Korea, *Korean J. Food SCI. TECHNOL.*, 43(2), 230~234, 2011.
2. Kim S.D., Kim B.S., Park S.G., Kim M.S., Cho T.H., Han C.H., Cho H.B. and Choi B.H., A Study of Current Status on Pesticide Residus in Commercial Dried Agricultural Products, *Korean J. Food SCI. TECHNOL.*, 39(2), 114~121, 2007.
3. Lee H.M., Park H.J., Kim J.N., Shin W.S., and Kim E.M., Monitoring of Sulfur Dioxide, Carotenoid Contents and *Bacillus cereus* Contamination of Dried Sweet Potato in circulating Dried Agricultural Products. *J. Food Hyg. Saf.*, 32(6), 477~484, 2017.
4. Lee J.H., Jung K.H., Jeon M.H., Park I.T., NEXT Agriculture, the future of Well-being sweet potatoes, 2006.
5. 식의약안전팀, 건조 과채류 안전 실태 조사, 한국소비자보호원, 2015.
6. FAO/WHO, Guide to the Safe Use of Food Additive, 2nd series, 1997.
7. Jung S.Y., Kim I.Y., Kim S.D., Jang M.R., Chang M.S. and Han K.Y., Determination of Sulfur Dioxide in Picklrs by Acid Distillation -HPLC Method and Monnier Williams Modified Method, *Korean J. Food SCI. TECHNOL.*, 35(6), 1028~1032, 2003.
8. Kim H.Y., Lee Y.J., Hong K.H., Kwon Y.K., Ko H.S., Lee Y.K. and Lee C.W. Studies on the Contents of Naturally Occurring of Sulfite in Foods. *Korean J. Food SCI. TECHNOL.*, 32(3), 544~549, 2000.
9. Korean Food additive Code, Korean Food and Drug Administration, 2018.
10. Tanaka K., Aoki Y., Tamase K., Umoto F., Ohbayashi H., and Sasaki M., Improved methods for determination of total mercury and its application to vegetables and fruit in markets, *J. Food Hyg. Soc. Jpn.*, 33, 359~364. 1992.
11. Yoo H.Y., Jung J.J., Choi E.J. and Kang S.T., Heavy Metal Contents of Vegrtables from

- Korean Markets, *Korean J. Food SCI. TECHNOL.*, 42(4), 502~507, 2010.
12. Kim H.Y., Kim J.I., Kim J.C., Park J.Y., Lee K.J., Kim S.I., Oh J.H. and Jang Y.M., Survey of heavy metal contents of circulation agricultural products in Korea, *Korean J. Food SCI. TECHNOL.*, 41, 238~244, 2009.
  13. Park J.S. and Lee M.K., A study on contents of heavy and trace metal of the agricultural products arand mines located in Jeollanamdo, *Korean J. Food Nutr.*, 15, 64~69, 2002.
  14. Korean Food Code, Korean Food and Drug Administration, 2018.
  15. Ha S.Y., Kim H.J., Woo S.M., Lee J.B., Cho Y.J., Kim Y.S., Bahn K.N., Park J.S., Kim H.Y., Jang Y.M. and Kim M.H., Study of Sulfur Dioxide Contents in Various Fresh Vegetables During the Drying Process, *J. Fd Hyg. Safety*, 25(4), 303~309, 2010.
  16. WHO, Lead(Environmental Health Criteria 3), World Health Organization, Geneva, Switzerland, 44-54, 1977.
  17. Chung S.Y., Kim M.H., Sho Y.S., Won K.P. and Hong M.K., Trace metal contents in vegetable in Korea, The Annyal Report of KFDA. 6, 162~168, Gwangju Regional KFDA, KOREA. 2002.
  18. Kim M.H., Kim J.S., Sho Y.S., Chung S.Y. and LEE J.O., Contents of toxic metals in fruits available on Korean markets, *Korean J. Food SCI. TECHNOL.*, 36, 523~526, 2004.
  19. Kim D.W. and Yoo C.C., On the heavy metal contents of some vegetables on the super markets in Korea, *Korean J. Food Nutr.*, 18, 254~264, 2005.
  20. Cha H.Y., Kang S.H., Choe S.B., Kim H.K. and Kang S.T., Hazardous Heavy Metal Contents of Mushrooms from Retail Markets in Seoul, *Korean J. Food SCI. TECHNOL.*, 46(3), 283~287, 2014.





01 : 보건 분야

가공식품의 인공감미료 함량 조사



# 가공식품의 인공감미료 함량 조사

하연경 · 이주희 · 배진희 · 이광현 · 권기락 · 하강자

식품분석팀

## Investigation on the Content of Artificial Sweeteners in Processed Food Products

Yonkyoung Ha, Juhee Lee, Jinhee Bae,

Kwanghyun Lee, Girak Kwon, Gangja Ha

Food Analysis Team

### Abstract

Artificial sweeteners are used as sugar substitutes because they provide a sweet taste to food while contributing low to no calories. As growing demand for low-calorie foods, using artificial sweeteners is increasing in various products, so they should be regularly assessed for safety. In this study, we determined the concentrations of three artificial sweeteners in categories of processed food products collected from Gyeongsangnam-do using Ultra Performance Liquid Chromatography (UPLC). We found that out of 292 tested products, 67 contained artificial sweeteners: acesulfame potassium 38 (13.01%), aspartame 29 (9.93%) and sodium saccharin fourteen (4.79%). Nine products contained both acesulfame potassium and aspartame, while five products contained both sodium saccharin and aspartame. The presence of the sweeteners was consistent with the ingredient list of the labels and their concentrations were below the range permitted by the Korea Food and Drug Administration. Since these additives are chemically synthesized substances, continuous monitoring of food additives and development of safety regulations are necessary.

**Key words** : artificial sweetener, acesulfame potassium, aspartame, sodium saccharin

## I. 서 론

현대사회에서 다양한 가공식품의 개발과 함께 대량생산체제 등의 도입으로 식품첨가물의 사용 필요성이 증가하였다. 식품의 영양 및 관능적인 가치 등 품질을 향상하기 위해 사용되는 첨가물 중 하나인 인공감미료는 칼로리를 가지는 천연 감미료와 달리, 단맛을 내면서도 칼로리는 거의 제로에 가깝기 때문에 그 수요가 늘어나는 추세다. 또 식품 가공적 측면에서도 고감미료는 미량 사용되기 때문에 식품의 밀도와 점도에 변화를 주지 않는 데다, 발효하거나 갈변되지 않아 가공 및 보존 과정에서 변화가 적은 이점이 있다. 게다가 단맛에 대한 소비자들의 욕구를 충족시키면서도 혈당치 상승에 영향을 미치지 않고, 비만이나 치아우식증 예방에 도움이 될 수 있다.<sup>1,2)</sup>

국내에서 가장 흔히 사용되고 있는 고감미료는 대표적으로 사카린나트륨(sodium saccharin), 아스파탐(aspartame), 수크랄로스(sucralose), 아세설팜칼륨(acesulfame potassium) 등이 있다. 사카린은 최초의 설탕 대체 합성 감미료로써 1879년 미국에서 개발되었고, 사카린, 사카린나트륨, 사카린칼륨, 사카린칼슘을 모두 포함한다. 사카린은 설탕의 300배가 넘는 감미도를 나타내고 내열성이 강하여 1900년도부터 현재까지 사용되고 있지만, 높은 온도에서 쓴맛을 내는 단점이

있다.<sup>3)</sup> 우리나라에서는 사카린의 여러 염류 중 사카린나트륨만 사용할 수 있도록 규정하고<sup>4)</sup> 있다.

아스파탐은 1965년 미국에서 처음 발견되었으며, 아미노산인 L-아스파르트산과 L-페닐알라닌을 결합해 제조한 아미노산계 감미료이다. 설탕의 약 200배에 해당하는 감미를 가지며 우리나라에서는 1985년에 식품첨가물로 지정되었다.<sup>2,5)</sup> 아미노산을 원료로 만들었기 때문에 뒷맛이 깨끗한 인공감미료로 세계 100여 개 나라에서 5,000여 종 이상의 제품에 사용되고 있으며, 그중 40% 이상은 음료에 사용되고 있는 것으로 추정된다. 청량음료, 유산균음료, 껌, 조미료 등의 식품에 광범위하게 사용되고, 특히 합성 주(酒) 같은 주류에 감칠맛을 더해주는 용도로 사용되기도 한다.<sup>2)</sup>

아세설팜칼륨은 1967년 독일에서 개발된 인공감미료로 감미를 느끼는 속도가 빠르고, 특유의 쓴맛을 가지고 있으며, 농도가 낮을수록 감미도가 높아지는 특징을 갖고 있다.<sup>2)</sup> 우리나라에서는 2004년 신규로 지정된 식품첨가물로 설탕 대비 약 200배의 단맛을 내며,<sup>6)</sup> 아스파탐 등과 혼용하여 사용하면 설탕에 가까운 맛을 가진다. 또 열, 효소, 미생물 등에 안정하고 특히 수용액 중에 높은 안정성을 보이며, 생체 내에서 대사가 되지 않는 비 열량성이어서 열량이 0 kcal/g이다.<sup>2,5)</sup>

실생활의 요구에 의해 또는 식이조절 등의 불가피한 이유로 그 수요가 증가하고 있지만, 인공감미료는 화학적으로 합성되는 물질인 만큼 칼로리가 낮다는 등의 이점만 고려하여 무분별하게 사용되어서는 안 된다. 그래서 국제적으로 ‘식품첨가물전문가위원회(JECFA, Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives)’ 등에서 수년에 걸친 독성 시험을 통해 일일섭취허용량(ADI)을 설정하여 규제하는 등 섭취 안전성을 확보하기 위해 노력하고 있다.<sup>6)</sup>

하지만 일부 대중매체에서 식품첨가물의 사용량 증가와 이로 인한 위해성 등을 거론하며, 소비자들에게 이미 안전성이 확보된 식품첨가물에 대해서도 근거 없는 불안감을 조성하는 경우가 있다.<sup>7)</sup> 그리고 또 다른 문제는 저열량 식품을 선호하는 추세에 맞추어, 다양한 식품에서 인공감미료의 사용이 증가하고 있다는 점이다. 사카린나트륨 외에 아스파탐, 아세설팜칼륨 등의 감미료는 아직 사용 기준이 제시되지 않은 식품 유형이 많으므로, 저열량 식품만을 선택하다 보면 인공감미료의 섭취 수준이 일일 허용량을 초과할 가능성이 커진다.<sup>2,4)</sup> 따라서 실생활의 요구 때문에, 또는 불가피하게 사용되는 인공감미료에 대한 소비자들의 막연한 불안감을 해소하고 더 나아가서는 식품 안전성을 확보하기 위

해서 인공감미료 사용에 대한 과학적 근거 마련이 필요하다.

본 연구에서는 도내에서 유통되고 있는 가공식품 중 인공감미료 첨가 가능성이 있는 292건의 시료를 수집한 후, 포장재에 명시된 식품 정보와 실제 인공감미료 사용 일치 여부를 확인함으로써 소비자에게 정확한 정보가 제공되고 있는지 파악하고자 한다. 또한, 아세설팜칼륨, 아스파탐, 사카린나트륨의 함유량 분석을 통해 식품첨가물공전에 제시된 사용 기준에 부합하는지를 파악함으로써 인공감미료 섭취의 안정성 확보를 위한 기초자료로 제시하고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 대상식품

도내 유통 중인 가공식품 중 아세설팜칼륨, 아스파탐 및 사카린나트륨의 함유량을 분석하고자 식품공전의 분류에 따라<sup>8)</sup> 9개 식품군의 27개 식품유형, 292건의 시료를 수집했다. Table 1에 나타낸 바와 같이 식품군별로는 과자류, 빵류, 또는 떡류에 해당하는 식품군이 85건(29.11%)으로 가장 많았고, 식품유형별로는 캔디류가 11.99%로 가장 높은 비율을 차지했으며, 빵류(8.90%), 소스(8.22%), 조미건어포(7.53%), 절임식품(7.19%) 순으로 나타났다.

Table 1. Distribution of samples by food group and type

Food group	No. of samples(%)	Food type	No. of samples(%)
<b>Total</b>			<b>292</b>
Confectioneries, Breads or Rice Cakes	85(29.11)	Confectionery	12(4.11)
		Candies	35(11.99)
		Chewing gum	12(4.11)
		Breads	26(8.90)
Jams	12(4.11)	Jam	12(4.11)
Beverages	58(19.86)	Coffee	9(3.08)
		Fruit/Vegetable juice	19(6.51)
		Fruit/Vegetable drink	6(2.05)
		Carbonated beverage	8(2.74)
		Lactic acid bacteria beverage	1(0.34)
		Mixeded beverage	15(5.14)
Seasoning Foods	25(8.56)	Sauce	24(8.22)
		Curry	1(0.34)
Pickled Foods or Boiled Foods	24(8.22)	Pickled food	21(7.19)
		Boiled food	3(1.03)
Alcoholic Beverages	31(10.62)	Takju	13(4.45)
		Yakju	3(1.03)
		Fruit wine	8(2.74)
		Soju	2(0.68)
		General distilled alcoholic beverage	2(0.68)
		Other alcoholic beverage	3(1.03)
Processed Agricultural Foods	12(4.11)	Processed peanut or nut product	11(3.77)
		Processed cereal product	1(0.34)
Processed Fishery Foods	34(11.64)	Other processed fish meat products	9(3.08)
		Seasoned dried fish/shellfish fillet	22(7.53)
		Other dried fish/shellfish fillet	3(1.03)
Other Foods	11(3.77)	Other Processed Product	11(3.77)

## 2. 시약 및 표준용액의 조제

본 실험에서 사용한 인공감미료 표준품은 아세설팜칼륨(acesulfame potassium), 아스파탐(aspartame), 사카린나트륨(sodium saccharin)으로 sigma chemical Co. (USA)에서 제조한 것을 사용하였으며, 이동상으로 사용한 TPA-OH (Tetrapropyl ammonium hydroxide)는 Wako Chemicals Inc. (Japan) 제품을 사용하였다. 표준용액은 각각의 표준품 100 mg을 100 mL의 물에 녹여 조제한 후, 최종 농도 1, 5, 10, 20, 50 mg/L이 되도록 물로 희석하여 검량선용 표준용액으로 사용하였다.

## 3. 시료의 전처리

식품 공 전 시험법(식품의약품안전처)<sup>9)</sup>에서 ‘아세설팜칼륨, 사카린나트륨 및 아스파탐 동시분석법’에 따라 액상 검체, 고체 및 반고체 검체로 나누어 전처리하였고, 지방 함량이 많은 시료는 ‘지질’의 일반법(속슬렛법)에 따라 탈지한 후 검체로 사용하였다.

### 가. 액상검체

검체 약 5g을 취하여 물을 이용하여 50 mL로 정용한 후 0.45  $\mu\text{m}$  막 여과지(membrane filter)로 여과한 액을 시험 용액으로 하였다. 단, 탄산가스가 있는 경우에는 10분간 초음파 처리하여 탄산가스를 제거하고, 알코올

을 함유한 시료의 경우는 70°C의 수욕상에서 15분간 가온하여 알코올을 증발시킨 후 검체를 취했다.

### 나. 고체 또는 반고체 검체

적당한 크기로 자르거나 막자사발에서 잘게 부순 후, 약 5 g을 취해 10~20 mL의 온수를 가한 다음 10~20분간 흔들여 완전히 용해했다. 물을 가하여 50 mL로 정용한 후 0.45  $\mu\text{m}$  막 여과지(membrane filter)로 여과한 액을 시험 용액으로 하였다.

### 다. 지방 함량이 많은 검체

검체 약 5 g을 원통 여과지에 넣고 검체 위에 탈지면을 가볍게 충전하여 이를 적당한 용기에 담은 후 100~105°C의 건조기에서 2~3시간 건조한 후, 데시케이터에서 식히고 속슬렛추출장치의 추출관에 넣었다. 원통 여과지에 탈지면 소량을 놓고 그 위에 건조 시료를 취한 다음 다시 탈지면으로 덮고 이것을 속슬렛추출장치의 추출관에 넣는다. 추출 플라스크에 무수에테르 약 1/2 용량을 넣고 추출관 및 냉각관을 연결하여 50~60°C의 수욕상에서 8~16시간 추출한다. 탈지 과정이 끝난 검체에 물을 가하여 50 mL로 정용한 후 0.45  $\mu\text{m}$  막 여과지(membrane filter)로 여과한 용액을 시험 용액으로 사용하였다.

#### 4. 사용기기 및 분석조건

인공감미료의 분석을 위해 고속액체크로마토그래피(UPLC, Waters, USA)를 사용하였으며, 자외선 검출기(UV Detector)를 이용하여 사카린나트륨, 아스파탐, 아세설팜칼륨을 동시 분석했다. 이동상은 10% TPA-OH(Tetrapropyl ammonium hydroxide) 20.3 mL을 20% 메탄올 약 900 mL과 혼합하고,

인산으로 pH를 4.0으로 조정한 다음 20% 메탄올로 전량을 1,000 mL로 맞추어 조제<sup>8)</sup>하였다. 시험용액 및 표준용액은 Table 2에 나타낸 분석 조건에 따라 고속액체크로마토그래피에 주입하고, 얻어진 피크의 높이 또는 면적으로부터 작성한 검량선을 이용하여 시험용액 중의 인공감미료 함유량을 분석하였다.

Table 2. Operating conditions of UPLC for acesulfame potassium, aspartame and sodium saccharin

Items	Operating conditions
Column	ACQUITY UPLC BEH C <sub>18</sub> Column, 1.7 $\mu$ m, 2.1 $\times$ 100 mm
Mobile phase	TPA-OH(Tetrapropyl ammonium hydroxide)
Detector	UV 210 nm
Flow rate	0.2 mL/min
Injection volumn	2 $\mu$ L

### Ⅲ. 결과 및 고찰

경상남도 내 유통되는 가공식품 292건을 수집하여 3종의 인공감미료(아세설팜칼륨, 아스파탐 및 사카린나트륨)를 분석한 결과는 다음과 같다.

#### 1. 식품유형별 인공감미료 검출 현황

아세설팜칼륨, 아스파탐 및 사카린나트륨의 검출현황은 Fig. 1에 도식화했으며, 분석시료의 개수가 35건으로 가장 많은 캔디류부터 각 1건씩 수집된 곡류가공품, 유산균음료, 카

레까지 식품유형별 건수로 나타냈다. 인공감미료의 종류에 따라 검출된 시료의 수는 붉은색으로 표시했고, 아세설팜칼륨의 경우 캔디류 35건 중 11건에서 검출되어 가장 높은 빈도로 나타났다. 합성 주와 같은 주류에서 감칠맛을 더해주는 아스파탐은 탁주, 약주, 기타 주류 등에서 많이 검출되었고, 사카린나트륨은 조미건어포와 절임식품, 두 가지 식품유형에서 확인되었다. 그리고 분석대상 식품의 인공감미료 종류와 사용 여부는 제품 포장 겉면에 표시된 원료정보와 모두 일치하였다.



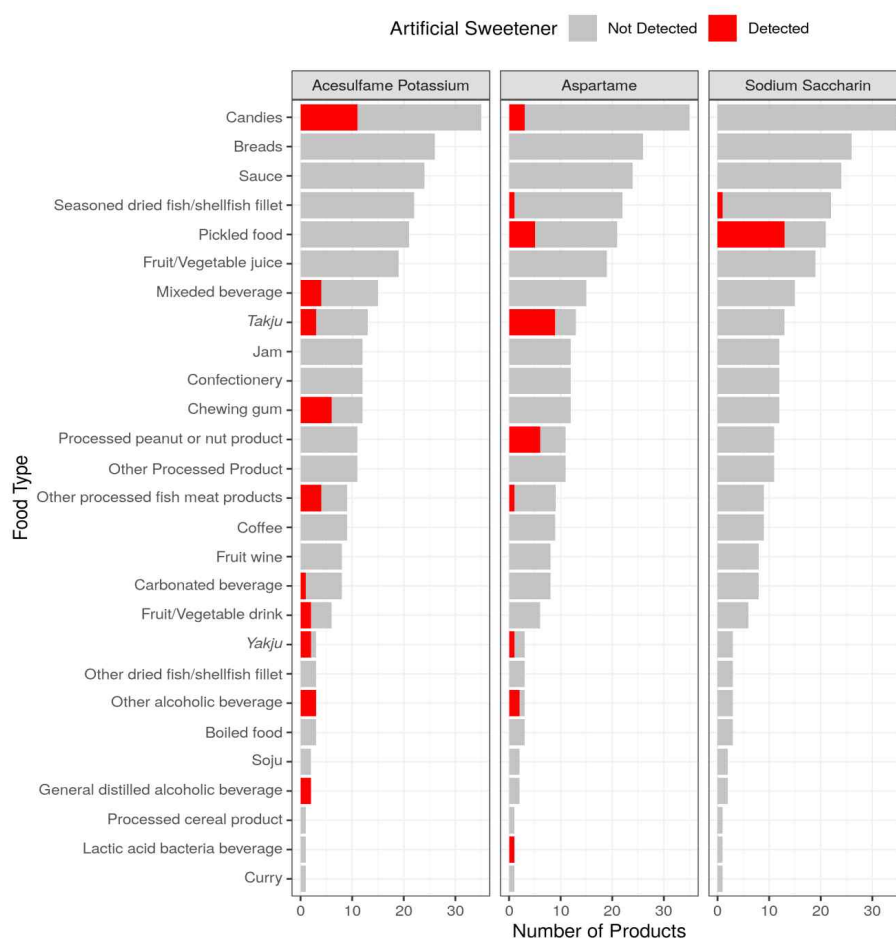


Fig. 1. The number of products with detected artificial sweeteners by food types. Food products (n = 292) were analyzed for the content of three artificial sweeteners (Acesulfame Potassium, Aspartame and Sodium Saccharin). The number of products in each food type (n = 27) are shown as bars. Products are marked by whether each artificial sweetener was detected (red) or not detected (gray).

## 2. 인공감미료별 함유량 평가

### 가. 아세설팜칼륨

아세설팜칼륨은 Table 3과 같이 전체 292건 중 10개의 식품유형, 38건의 검체에서 검출되었다. 유형별로 살펴보면 수집된 일반증류주 2건과 기타주류 3건 모두 아세설팜칼륨을 함유하고 있었고, 약주 2건(66.67%), 탁주 3건(23.08%) 등 주류에서 검출률이 높았다.

과채음료 2건(33.33%), 탄산음료 1건(12.50%), 혼합음료 4건(26.67%) 등 다수의 음료에서도 확인되었고, 그 외에는 추잉껌 6건(50.00%), 기타어육가공품 4건(44.44%), 캔디류 11건(31.43%)의 순으로 나타났다. 아세설팜칼륨이 검출된 식품유형별 함유량은 전체 검체 기준으로 평균 0.01~0.13 g/kg, 검출된 검체 기준으로는 평균 0.03~0.22 g/kg 범위로 확인되었다.

Table 3. Detected Acesulfame potassium concentration in food types by UPLC

Food type	All products		Detected products		Detection rate(%)
	No. of product	Mean conc.(g/kg)	No. of product	Mean conc.(g/kg)	
<b>Total</b>	292		38		13.01
Confectionery	12	-	0	-	0.00
Candies	35	0.07	11	0.22	31.43
Chewing gum	12	0.08	6	0.15	50.00
Breads	26	-	0	-	0.00
Jam	12	-	0	-	0.00
Coffee	9	-	0	-	0.00
Fruit/Vegetable juice	19	-	0	-	0.00
Fruit/Vegetable drink	6	0.01	2	0.03	33.33
Carbonated beverage	8	0.01	1	0.10	12.50
Lactic acid bacteria beverage	1	-	0	-	0.00
Mixeded beverage	15	0.02	4	0.09	26.67
Sauce	24	-	0	-	0.00
Curry	1	-	0	-	0.00
Pickled food	21	-	0	-	0.00
Boiled food	3	-	0	-	0.00
Takju	13	0.01	3	0.03	23.08
Yakju	3	0.06	2	0.08	66.67
Fruit wine	8	-	0	-	0.00
Soju	2	-	0	-	0.00
General distilled alcoholic beverage	2	0.13	2	0.13	100.00
Other alcoholic beverage	3	0.06	3	0.06	100.00
Processed peanut or nut product	11	-	0	-	0.00
Processed cereal product	1	-	0	-	0.00
Other processed fish meat products	9	0.04	4	0.09	44.44
Seasoned dried fish/shellfish fillet	22	-	0	-	0.00
Other dried fish/shellfish fillet	3	-	0	-	0.00
Other Processed Product	11	-	0	-	0.00

#### 나. 아스파탐

아스파탐은 Table 4와 같이 전체 292개 제품 중 9개 식품유형, 29건에서 검출되었다. 유형별로 살펴보면 캔디류에서 3건(8.57%), 유산균음료 1건(100.00%), 절임식품 5건(23.81%), 탁주 9건(69.23%), 약주 1건(33.33%), 기타주류 2건(66.67%), 땅콩 또는 견과

류 가공품 6건(54.55%), 기타어육가공품 1건(11.11%), 조미건어포 1건(4.55%)으로 나타났다. 아스파탐이 검출된 식품유형별 함유량은 전체 제품 기준으로 평균 0~0.18 g/kg로 확인되었고, 아스파탐이 검출된 제품들의 평균 검출량은 0.01~2.14 g/kg 범위로 나타났다.

Table 4. Detected Aspartame concentration in food types by UPLC

Food type	All products		Detected products		Detection rate(%)
	No. of product	Mean conc.(g/kg)	No. of product	Mean conc.(g/kg)	
<b>Total</b>	292		29		9.93
Confectionery	12	–	0	–	0.00
Candies	35	0.18	3	2.14	8.57
Chewing gum	12	–	0	–	0.00
Breads	26	–	0	–	0.00
Jam	12	–	0	–	0.00
Coffee	9	–	0	–	0.00
Fruit/Vegetable juice	19	–	0	–	0.00
Fruit/Vegetable drink	6	–	0	–	0.00
Carbonated beverage	8	–	0	–	0.00
Lactic acid bacteria beverage	1	0.12	1	0.12	100.0
Mixeded beverage	15	–	0	–	0.00
Sauce	24	–	0	–	0.00
Curry	1	–	0	–	0.00
Pickled food	21	0.01	5	0.05	23.81
Boiled food	3	–	0	–	0.00
Takju	13	0.05	9	0.07	69.23
Yakju	3	0.01	1	0.02	33.33
Fruit wine	8	–	0	–	0.00
Soju	2	–	0	–	0.00
General distilled alcoholic beverage	2	–	0	–	0.00
Other alcoholic beverage	3	0.07	2	0.10	66.67
Processed peanut or nut product	11	0.07	6	0.12	54.55
Processed cereal product	1	–	0	–	0.00
Other processed fish meat products	9	0.00	1	0.01	11.11
Seasoned dried fish/shellfish fillet	22	0.00	1	0.01	4.55
Other dried fish/shellfish fillet	3	–	0	–	0.00
Other Processed Product	11	–	0	–	0.00

#### 다. 사카린나트륨

사카린나트륨은 Table 5와 같이 절임식품과 조미건어포 두 가지 식품 유형에서 확인할 수 있었다. 조미건어포는 22건 중 1건에서만 검출됐지만 절임식품은 21건 중 13건에서 검출

되어 61.90%의 높은 검출률을 보였다. 사카린나트륨이 검출된 식품유형별 함유량은 전체 검체 기준 평균 0~0.19 g/kg으로 확인되었고, 사카린나트륨을 함유한 시료 기준으로는 평균 0.04~0.31 g/kg 범위로 나타났다.

Table 5. Detected Sodium Saccharin concentration in food types by UPLC

Food type	All products		Detected products		Detection rate(%)
	No. of product	Mean conc.(g/kg)	No. of product	Mean conc.(g/kg)	
<b>Total</b>	292		14		4.79
Confectionery	12	-	0	-	0.00
Candies	35	-	0	-	0.00
Chewing gum	12	-	0	-	0.00
Breads	26	-	0	-	0.00
Jam	12	-	0	-	0.00
Coffee	9	-	0	-	0.00
Fruit/Vegetable juice	19	-	0	-	0.00
Fruit/Vegetable drink	6	-	0	-	0.00
Carbonated beverage	8	-	0	-	0.00
Lactic acid bacteria beverage	1	-	0	-	0.00
Mixeded beverage	15	-	0	-	0.00
Sauce	24	-	0	-	0.00
Curry	1	-	0	-	0.00
Pickled food	21	0.19	13	0.31	61.90
Boiled food	3	-	0	-	0.00
Takju	13	-	0	-	0.00
Yakju	3	-	0	-	0.00
Fruit wine	8	-	0	-	0.00
Soju	2	-	0	-	0.00
General distilled alcoholic beverage	2	-	0	-	0.00
Other alcoholic beverage	3	-	0	-	0.00
Processed peanut or nut product	11	-	0	-	0.00
Processed cereal product	1	-	0	-	0.00
Other processed fish meat products	9	-	0	-	0.00
Seasoned dried fish/shellfish fillet	22	0.00	1	0.04	4.55
Other dried fish/shellfish fillet	3	-	0	-	0.00
Other Processed Product	11	-	0	-	0.00

### 3. 인공감미료 사용 특성

#### 가. 인공감미료 혼합 사용 현황

인공감미료 3종은 아세설팜칼륨 38건, 사카린나트륨 14건, 아스파탐 29건으로 모두 81건이 검출되었고, 그 중 2가지 이상의 인공감미료가 동시에 검출된 14건의 제품을 고려하면

전체 292건의 품목 중 67건에서 인공감미료가 확인되었다. 고감미료는 각각의 독특한 특성이 있고 단독 또는 혼합하여 사용함으로써 특정 기호에 맞도록 활용하기 때문에 하나의 제품에 서로 다른 인공감미료를 첨가할 수 있다. 아세설팜칼륨은 아스파탐과 혼용해서 사용하면 설탕에

가까운 맛을 내는데, 이 두 가지 인공감미료가 동시에 검출된 경우는 캔디류 2건, 탁주 3건, 약주 1건, 기타 주류 2건, 기타어육가공품 1건으로 모두 9품목의 제품에서 혼합 사용을 확인할 수 있었다. 아세설팜칼륨이 확인된 11건의 캔디류 중 2건에서 아스파탐도 검출되어 혼합 사용 비율은 18.18%로 나타났고, 아스파탐은 캔디류 3건에서 검출되었고 그중 2건(66.67%)이 아세설팜칼륨을 동시에 함유하고 있었다. 그리고 아스파탐이 검출된 약주, 기타 주류,

기타어육가공품에서는 모든 품목이 아세설팜칼륨도 동시에 함유하고 있었다. 사카린나트륨과 아스파탐이 동시에 검출된 경우는 5건으로, 이 경우 역시 아스파탐이 검출된 절임식품 모두 사카린나트륨을 동시에 함유하고 있었다. 사카린나트륨이 검출된 13품목 중에는 5건이 아스파탐을 동시에 함유하고 있어 혼합 사용 비율이 38.46%로 나타났고, 가공식품에서 인공감미료가 혼합 사용되고 있음을 확인할 수 있었다.

Table 6. Food products with two detected artificial sweeteners (co-detection)

Food type	Acesulfame Potassium		Aspartame		Sodium Saccharin		Co-detection
	N	%	N	%	N	%	
<b>Total</b>							14
Candies	11	18.18	3	66.67	-	-	2
Pickled food	-	-	5	100.00	13	38.46	5
Takju	3	100.00	9	33.33	-	-	3
Yakju	2	50.00	1	100.00	-	-	1
Other alcoholic beverage	3	66.67	2	100.00	-	-	2
Other processed fish meat products	4	25.00	1	100.00	-	-	1

#### 나. 인공감미료 검출농도 분포

인공감미료 3종이 검출된 제품 각각의 함유량과 평균 농도 및 분포는 Fig. 2에 나타냈다. 약주 2건, 탁주 3건 등 10개의 식품유형에서 아세설팜칼륨이 검출된 38개 제품의 함유량은 모두 0.50 g/kg 이하로 나타났다. 아스파탐의 경우 9개 식품유형 29개의 제품에서 사용이 확인되었다.

캔디류를 제외한 식품유형에서는 평균 0.50 g/kg 이하의 함유량을 보였으나, 캔디류 중 한 품목에서 아스파탐이 4.70 g/kg의 높은 농도로 검출되었다. 사카린나트륨은 13건의 절임식품에서 0.03~0.97 g/kg까지 다양한 함유량을 확인할 수 있었고, 조미건어포 1건에서 0.04 g/kg 농도로 나타났다.

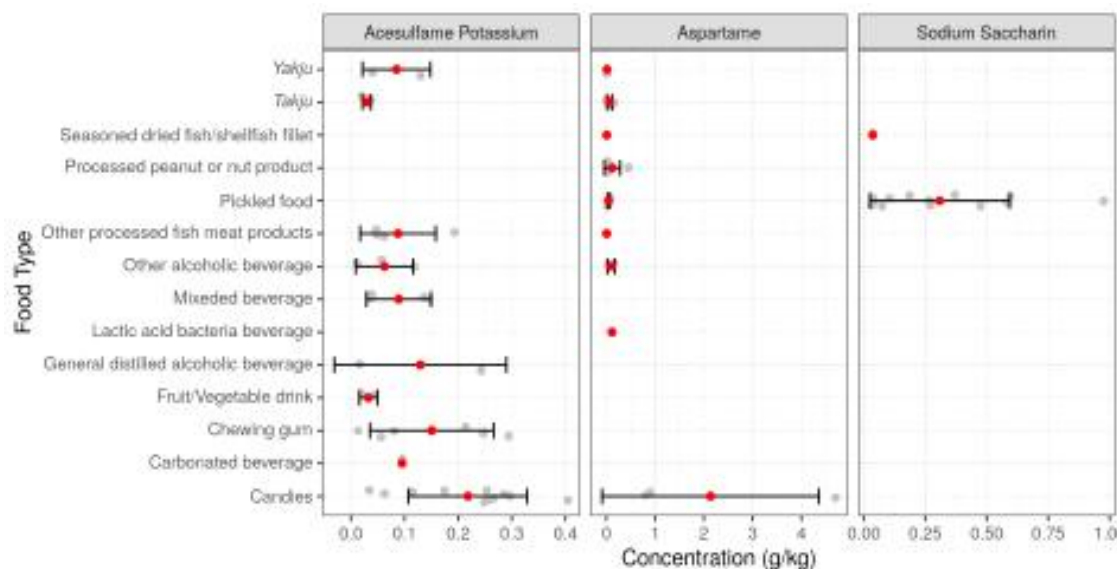


Fig. 2. Distribution of detected artificial sweetener concentrations by food types. Concentrations of three artificial sweeteners (Acesulfame Potassium, Aspartame and Sodium Saccharin) were measured in food products( $n = 38$ ,  $n = 29$  and  $n = 14$ , respectively) of different types( $n = 10$ ,  $n = 9$  and  $n = 2$ , respectively). The concentrations of the sweeteners in each product are shown as points (gray). Red points represent the average, and error bars represent the standard deviation in the food type.

#### 다. 인공감미료 사용기준과 검출농도 비교

식품첨가물공전에 인공감미료의 사용 기준이 제시되어 있으나 모든 식품유형에 설정된 것이 아니라서, 각각의 인공감미료별 기준 적용은 제한적이었다. 첨가물 공전의 규정과 검출 농도를 비교해서 Fig. 3에 제시했는데, 제품별 실제 검출농도와 공전상의 기준농도를 나타낸 것과(a) 검출농도를 기준농도로 나눈 수치를(b) 각각 도식화했다. 아세설팜칼륨은 과자, 조림류, 절임류 등 10종의 사용량 기준이 정해져 있고, 그 중 본 연구에서는 추잉껌, 캔디류, 음료

류에서 검출이 확인되었다. 음료류의 사용 기준은  $0.50 \text{ g/kg}$ 으로 탄산음료 1건, 과채음료 2건, 혼합음료 4건으로 검출된 제품 7건 모두 기준치 이하였다. 캔디류 역시 검출된 전 제품에서 기준치  $1.00 \text{ g/kg}$ 보다 낮았고, 기준치 대비 검출농도를 비교해보면 품목별 다양한 농도로 인공감미료가 사용되고 있음을 확인할 수 있었다. 반면 추잉껌의 경우에는 기준치가  $5.0 \text{ g/kg}$ 으로 비교적 높게 설정되어 있어 제품별 기준치 대비 검출농도가 유사한 수치를 나타냈다. 사카린 나트륨의 경우 세 가지 인공감미료 중 가장 많은 30종의 사용량 기준이

설정되어 있고, 기준이 제시된 식품 유형만 감미료의 사용이 허용되어 있다. 본 연구에서 사카린나트륨의 검출이 확인된 조미건어포의 경우 사용량 기준은 0.10 g/kg이고, 검출된 1건의 함유량은 0.04 g/kg로 기준치 이하였다. 절임식품의 경우 검출된 13건의 제품 중 0.97 g/kg의 농도로 가장 높은 함유량을 나타낸 제품

은 사용 기준인 1.00 g/kg에 매우 근접한 수치를 보였고, 기준치 대비 검출농도도 다양한 분포로 나타났다. 아스파탐은 ‘특수의료용도등식품’이나 ‘체중조절용 조제식품’ 등 5종에 한해서 사용 기준이 제한적으로 설정되어 있기 때문에 본 연구에서 검출된 식품유형의 기준은 확인할 수 없었다.

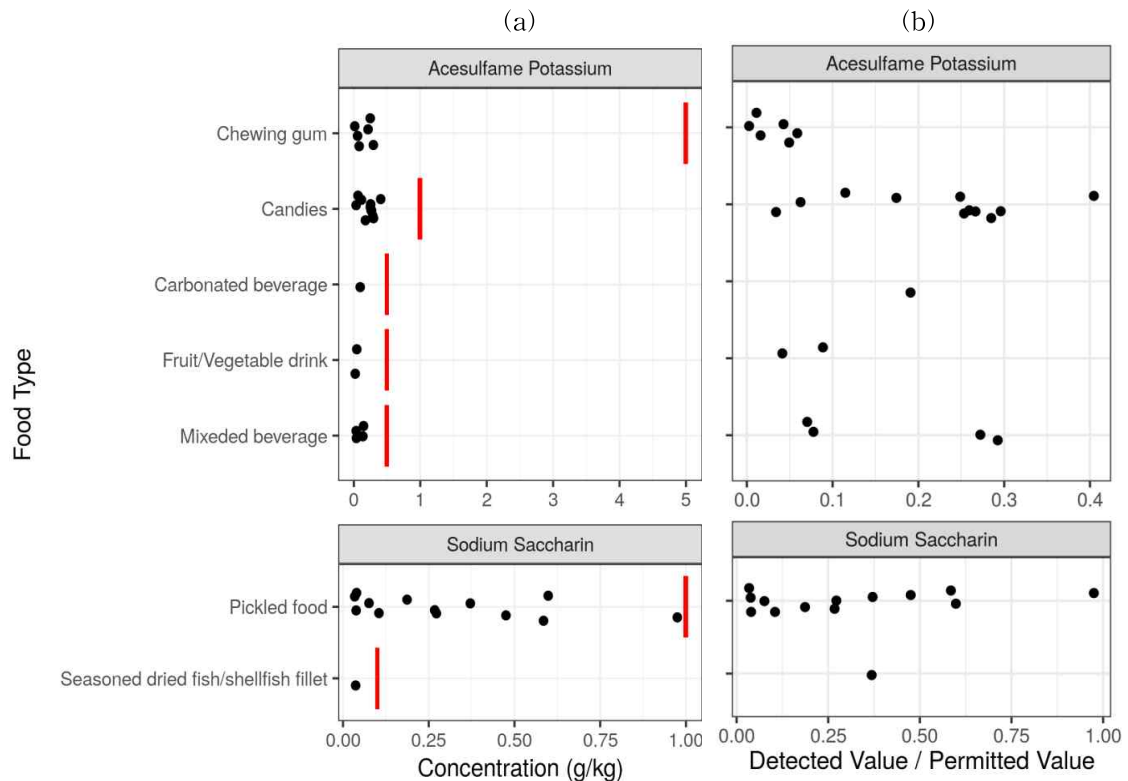


Fig. 3. Relative amounts of detected and allowed artificial sweeteners in food types. (a) Detected and permitted concentration, (b) The ratio of detected and permitted concentration. Concentrations of two artificial sweeteners (Acesulfame Potassium and Sodium Saccharin) were measured in food products ( $n = 24$  and  $n = 14$ , respectively) and compared to the concentrations allowed by law in each food type ( $n = 5$  and  $n = 2$ , respectively). Left, concentrations of sweeteners are shown as points, and the corresponding allowed concentrations are shown as red lines. Right, the fraction of detected/permitted values are shown as points.

## IV. 결 론

본 연구에서는 경남 도내 유통되는 가공식품에 함유된 인공감미료 함량을 분석함으로써 아세설팜칼륨, 사카린나트륨 및 아스파탐의 사용실태를 파악하고자 하였다.

1. 도내 유통 중인 가공식품 292건에서 식품첨가물로 사용된 인공감미료를 분석하였으며, 수집된 시료는 9개 식품군의 27개 식품유형이었다. 인공감미료는 고속액체크로마토그래피(UPLC)를 이용하여 아세설팜칼륨, 아스파탐, 사카린나트륨을 동시 분석하였다.
2. 인공감미료별 분석 결과 아세설팜칼륨이 검출된 제품 38건(13.01%), 아스파탐이 검출된 제품 29건(9.93%), 사카린나트륨이 검출된 제품 14건(4.79%)으로 총 81건의 품목에서 인공감미료 사용을 확인했다.
3. 이 중 아세설팜칼륨과 아스파탐이 중복으로 검출된 제품 9건과 사카린나트륨과 아스파탐이 중복으로 검출된 5건의 제품을 고려하면 전체 292품목 중 67품목에서 인공감미료가 검출되었고, 인공감미료의 종류와 사용 여부는 제품에 표기된 정보와 모두 일치하였다.
4. 아세설팜칼륨이 확인된 38품목 중 식품첨가물공전에 사용기준이 제시된 슈빙검(5.00 g/kg), 캔디류(1.00 g/kg), 음료류(0.50 g/kg)에 해당하는 24품목 모두 기준치 이하로 검출되었다.
5. 아스파탐은 식품첨가물공전에 ‘체중조절용 조제식품’ 등 5종의 사용기준만 제한적으로 설정되어 있고, 기타 식품의 경우 사용 기준이 없기 때문에 본 연구에서 검출된 9개 식품유형 29건 제품의 기준치 적합 여부를 확인할 수 없었다.
6. 사카린나트륨은 식품첨가물공전에 사용기준이 명시되어 있는 식품만 사용할 수 있고, 본 연구에서 검출된 절임류(1.00 g/kg) 13품목과 조미건어포(0.10 g/kg) 1품목 모두 설정된 기준치 이하로 확인되었으나, 절임류 1건에서 0.97 g/kg의 함유량을 보여 사용기준에 매우 근접한 수치를 나타냈다.

연구 결과 도내 유통 중인 가공식품에서 식품첨가물로써 사용된 인공감미료는 그 종류와 사용 여부가 식품표시사항과 일치하였고, 인공감미료별 함량 역시 식품첨가물공전에 설정된 기준치 이하로 확인되어, 안전한 범위에서 사용하고 있는 것으로 판단된다. 하지만 인공감미료의 사용대상 식품의 종류가 늘어나고, 저칼로리 감미료에 대한 소비자들의 선호도가 높아지는 만큼 지속적인 추적 관찰을 통해 섭취 안전성에 대한 과학적인 근거 확보가 필요하다.



## V. 참 고 문 헌

1. 김희연, 윤혜정, 홍기형, 이창희, 박성관, 최장덕, 최우정, 박선영, 김지혜 이철원, 식품 중 인공감미료의 분석법에 관한 연구, 한국식품과학회지, Vol. 36, No. 1, pp. 14~18, 2004.
2. 한국보건산업진흥원, 식품의약품안전청, 식품첨가물 섭취량에 따른 안전성 평가-감미료(7품목), 2008.
3. 서희재, 최성희, 식품 중 삭카린나트륨과 수크랄로스의 사용실태 파악 및 한국인의 삭카린나트륨과 수크랄로스의 섭취 수준 평가, 한국식품과학회지, Vol. 45, No. 5, pp. 642~651, 2013.
4. 식품의약품안전청, 식품첨가물공전, 2019.
5. 이창희 박성관, 윤혜정, 박재석, 이종욱, 이철원, 식이를 통한 인공감미료와 산화방지제의 섭취량, 한국식품과학회지, Vol. 32, No. 3, pp. 519~524, 2000.
6. 서희재, 최진희, 안덕준, 최성희, 김다영, 김애영, 한국인의 아스파탐과 아세설팜 칼륨의 식이 섭취 수준 평가, 한국식품영양과학회지, Vol. 43(4), pp. 604~611, 2014.
7. 김희연, 윤혜정, 홍기형, 최장덕, 박성관, 박희옥, 진명식, 최우정, 박선영, 이경주, 이철원, 식품 중 삭카린나트륨, 아세설팜칼륨의 섭취량에 관한 연구, 한국식품과학회지, Vol. 36, No. 5, pp. 804~811, 2004.
8. 식품의약품안전청, 식품공전, 2019.
9. 식품의약품안전청, 식품공전시험법, 2019.



01 :: 보건 분야

농산물 중 잔류농약 다성분 동시분석법 적용 연구



# 농산물중 잔류농약 다성분 동시분석법 적용 연구

김미숙 · 김민재 · 김보람 · 박수진 · 김영록 · 김제동 · 정호혁 · 하강자

농수산물검사팀

## A study of the application of multiresidue methods for pesticides analysis in agricultural products

Misuk Kim, MinJae Kim, Boram Kim, SuJin Park, Youngrok Kim,  
Jeadong Kim, Hohyuk Jeong, GangJa Ha

Agricultural and Marine Products Inspection Team

### Abstract

The aim of this study was to increase the selectivity and the detection sensitivity of the simultaneous analytical method for multiresidue pesticide in five representative agricultural products. A total of 100 selected and targeted pesticides were analyzed by Liquid Chromatograph-Tandem Mass Spectrometer (LC-MS/MS) using Multiple Reaction Monitoring (MRM). Matrix matched calibration curves were linear over the calibration ranges from 0.005 to 0.05 mg/L for analytes into blank extract with  $r^2 \geq 0.980$  except for Phenmedipham, Prothioconazole and Pyridate. The matrix effects(%) ranged between -27.4~10.8%. Limit of detection (LOD) was 0.00004~0.00056 mg/kg and Limit of quantification (LOQ) was 0.00016~0.00186 mg/kg. For validation purposes, recovery studies were carried out at three different concentration levels (LOQ, 10×LOQ, and 50×LOQ, n=5). The recovery results of 91 pesticides were in the range 62.0~95.5% (RSD≤27.8%) at LOQ concentration level, 70.4~97.2% (RSD≤19.5%) at 10×LOQ, and 70.2~96.8% (RSD≤18.7%) at 50×LOQ. However, recoveries of Forchlorfenuron, Imazapic, Imazethapyr, Imazamox, Imazaquin and Nitenpyram were less than 60%. To sum all values except for 6 pesticides were consistent with ranges regulated in the CODEX guideline (GAC/GL 40, 2003).

**key words:** agricultural products, LC-MS/MS, MRM, multiresidue pesticide

## I. 서 론

현대 농업에서 농약 사용은 농업 생산력 증대를 가져와 적은 노동력과 경비로 양질의 농산물을 생산하는 긍정적인 측면을 갖지만,<sup>1,2)</sup> 농산물 중 농약의 잔류는 식품 섭취에 의한 위해 작용으로 연결되어 사회적 중요 이슈로 대두되는 추세이다.<sup>3,4)</sup> 이로 인해 각 나라마다 농약 안전사용기준으로 대상작물, 대상 시기, 사용 시기, 사용량, 사용횟수 등을 정하였고 식품 잔류허용기준도 설정되어 있다.

농산물의 농약 잔류를 줄여야 하는데 전 세계적으로 인식을 같이 하고 있으며, 미국, 일본, EU를 비롯해 여러 국가에서는 매년 잔류농약 모니터링을 실시하고 있다.<sup>2)</sup> 또한 자국의 농업보호와 농산물 안전성 확보를 위하여 식품안전관리제도 및 검역을 강화하여 이를 기술적 무역장벽으로 활용하고 있다. 미국, 캐나다, 호주 등은 허용기준이 설정되지 않은 농약은 불검출 원칙인 ‘Zero Tolerance’를 적용하여 농약을 엄격히 관리하고 있다. 일본, EU, 대만 등은 약 10년 전부터 식품별 유해물질 잔류허용기준(Maximum Residue Limit, MRL)이 설정되지 않은 농약에 일률기준 0.01 mg/kg 이하로 적용하는 ‘Positive List System(PLS)’을 시행하고 있다. 이와 같은 세계적인 농약관리 흐름을 따라 안전한 농산

물 제공을 위해서 우리나라도 수입 의존도가 높은 견과 종실류와 열대과일류에 대해 2016년 12월 ‘농약 허용물질목록 관리제도’를 처음 실시하였으며, 2019년에는 모든 농산물에 확대 실시하여 농약관리기준을 강화하고 있다.<sup>5)</sup>

농산물 생산단계 및 유통단계에서 지속적인 잔류농약 모니터링과 PLS 도입에 따른 안전성 관리를 위해, 시험·검사기관에서는 신속 정확하게 다종 농약을 분석할 수 있는 분석법이 필요하게 되었다. 잔류농약 분석법은 그 분석 목적 및 1회당 분석 성분수에 따라 다성분 동시분석법(Multiresidue analytical method)과 개별 분석법(Individual analytical method)으로 구분된다. 다성분 동시분석법은 분석 1회당 검사가 가능한 농약수가 수 백 가지 이상으로 분석 효율성이 매우 높은 장점은 있으나, 각각 성분에 대한 분석의 정밀도나 신뢰성이 다소 낮은 단점이 있다. 농산물의 경우 유통에서 소비까지 이루어지는 과정이 짧기 때문에 잔류농약 검사 시 최대한 많은 잔류농약을 신속하게 검사하여 부적합 유통을 사전 차단하는 것이 중요하다. 따라서 현 시점의 시험·검사기관에서는 단 한 번의 전처리 과정으로 가능한 많은 농약성분을 Screening할 수 있는 다종농약 다성분 동시분석법을 선택할 수밖에 없고, 이를 위한 분석법의 개발과 검증이 현재도 진행 중

에 있다. 다중농약 다성분 분석을 위한 기술은 날로 발전하고 있다. 식품 공전시험법의 다중농약 다성분 분석 법에도 질량분석시스템이 도입되었다. 분석물질 분자량과 분자구조 정보를 동시에 알 수 있고, 화합물을 고감도로 정성분석이 가능한 Tandem Mass Spectrometer (MS/MS) 분석법으로 정량과 정성을 동시에 함으로써 정확성과 신속성을 확보하게 되었다. 또한, 질량분석기(MS/MS)는 불순물에 의한 방해와 분석대상 시료에 의한 간섭이 상대적으로 적어 감도(Sensitivity) 및 선택성(Selectivity)이 10~1000배 이상 개선됨으로써 다성분 분석 결과의 신뢰성을 높이고 있다.<sup>6)</sup>

따라서 본 연구에서는 정량 및 정성분석이 동시에 가능한 액체크로마토그래프-질량분석기(Liquid Chromatograph-Tandem Mass Spectrometer, LC-MS/MS)를 이용하여 잔류농약의 Multiple Reaction Monitoring (MRM) mode 조건을 설정하고, 이에 따른 농산물 군별에 따른 분석법의 유효성을 입증하는 최적의 동시분석법을 연구하여 농산물검사 능력 강화와 검사결과의 신뢰성을 확보하고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 검체

검체는 국제식품규격위원회(Codex)의 잔류분석법 대상의 대표 농산물

군 5종 (CODEX, 2003)<sup>7)</sup> 으로 대두(두류, Soybean), 현미(곡류, Hulled rice), 감귤(과일류, Mandarin), 감자(서류, Potato), 배추(채소류, Korean cabbage)의 무농약 농산물을 구입하여, 균질화한 후 밀봉된 용기에 담아 -20℃에 보관하고 실험에 사용하였다.

### 2. 시약 및 표준용액의 조제

분석용 표준품은 LC-MS/MS로 분석 가능한 Acetamipride 등 100종으로 AccuStandard (New Heaven, USA)의 100 mg/L의 복합 Standard stock solution과 1,000 mg/L 농도의 100종 단일표준품을 사용하였다. Dichloromethane, Acetonitrile, n-hexane 등의 유기용매는 HPLC 등급으로 Merck (Darmstadt, Germany) 제품을, Ammonium formate는 JUNSEI (Tokyo, Japan)사의 특급시약을 사용하였으며, Formic acid는 Merck (Darmstadt, Germany), NH<sub>2</sub> SPE (Solid-phase extraction) Cartridges (1 g, 6 cc)는 Waters (Miliford, MA, USA)사 제품을 사용하였다.

### 3. Matrix matched 표준용액

분석 대상 농약의 정량분석 시 작성하는 표준검량곡선은 실제 시료인 농산물에 적용했을 때의 매질효과(Matrix effects)<sup>8)</sup>를 고려하여 매질보정검량법(Matrix matched calibration)으

로 작성하였다.<sup>9)</sup> Table 1과 같이 각 농산물의 무농약 시료 추출액(Blank matrix)\*으로 희석하여 0.005, 0.010, 0.020, 0.030, 0.040, 0.050 mg/L로

Matrix matched 표준용액을 조제하여,<sup>10)</sup> LC-MS/MS로 분석한 peak의 면적 값을 기준으로 표준검량곡선을 작성하였다.

Table 1. The preparation of the matrix matched calibration solution for LC-MS / MS analysis

	Conc. (mg/L)	STD vol. (Conc.)	Buffer solution <sup>a)</sup>	Acetonitrile	Blank matrix <sup>b)</sup>
1	0.005	100 µL (0.05 mg/L)	600 µL	200 µL	100 µL
2	0.01	100 µL (0.1 mg/L)	600 µL	200 µL	100 µL
3	0.02	100 µL (0.2 mg/L)	600 µL	200 µL	100 µL
4	0.03	100 µL (0.3 mg/L)	600 µL	200 µL	100 µL
5	0.04	100 µL (0.4 mg/L)	600 µL	200 µL	100 µL
6	0.05	100 µL (0.5 mg/L)	600 µL	200 µL	100 µL

a) Buffer solution: 100 mM Ammonium formate in water(pH 4.0~4.5)

b) Blank matrix(무농약 시료 추출액) : 시료군과 동일한 품목이면서 농약성분이 검출되지 않은 시료를 분석법에 따라 추출 및 정제한 시료 추출액

#### 4. 잔류농약 분석방법

시료 전처리 및 분석은 ‘식품의 기준 및 규격’ 제 8. 일반시험법 7.1.2.2 다중농약다성분분석법(Multi class pesticide multiresidue methods) 제2법 가) 아세토니트릴 추출법에 따라 실시하였다.<sup>11)</sup> 현미와 대두 시료는 유지성분이 각각 1~3% 및 20%로 포함되어 있어, 곡류, 두류, 견과 종실류 등 지방성 검체에 적용하는 n-hexane/ acetonitrile 액-액 분배법(Liquid-liquid Extraction, LLE)을 2회 실시하여 유지성분을 제거하였다.

#### 5. LC-MS/MS 기기분석 조건

본 분석법에서는 Acetamiprid 등 100종 잔류농약의 동시분석 최적 조건을 찾기 위해 LC-MS/MS Xevo TQ-S (Waters, MA, USA)를 분석기기로 선정하였다. 분석용 칼럼은 역상 칼럼으로 C18 칼럼을 선택하였고, 기올기 용리 방식은 0.1% Formic acid, 5 mM Ammonium formate in water와 0.1% Formic acid, 5 mM Ammonium formate in methanol을 이동상으로 사용하였다. 분석성분의 이온화법으로는 Electro Spray Ionization (ESI)법의 Positive ion mode와 Negative ion mode를 사용하였으며, LC-MS/MS의 분석조건은 Table 2 및 Table 3과 같다.



Table 2. Analytical conditions for the determination of multiresidue pesticides

	Parameter	Condition
UPLC	Column	Acquity UPLC BEH C18(2.1 mm i.d. × 100 mm, 1.7 μm)
	Column temperature	40℃
	Flow rate	0.3 mL/min
	Injection volume	1 μL
	Mobile phase (See Table 3.)	A: 0.1% Formic acid, 5mM Ammonium formate in water B: 0.1% Formic acid, 5mM Ammonium formate in methanol
MS/MS	Ionization mode	ESI Positive/Negative mode
	Capillary voltage	3.0 kV(Positive)/ 2.0 kV(Negative)
	Source temperature	150℃
	Desolvation temperature	400℃
	Desolvation gas flow rate	850 L/hr
	Cone gas flow rate	150 L/hr

Table 3. Gradient of mobile phase by time

Time (min)	Mobile phase	
	A <sup>a)</sup> (%)	B <sup>b)</sup> (%)
0.0	95	5
1.0	95	5
1.5	45	55
5.0	40	60
12.0	10	90
12.1	2	98
14.0	2	98
15.0	95	5
20.0	95	5

a) A: 0.1% Formic acid, 5mM Ammonium formate in water

b) B: 0.1% Formic acid, 5mM Ammonium formate in methanol

## 6. 분석법 검증

본 연구는 CODEX 가이드라인<sup>7)</sup>과 식품의약품안전처 식품의약품안전평가원의 식품등 시험법 마련 표준절차에 관한 가이드라인(2016)<sup>12)</sup>을 적용하여 분석법의 직선성(linearity), 검출한계(Limit of detection, LOD),

정량한계(Limit of quantification, LOQ), 회수율(Recovery)에 대한 유효성을 검증하였다.

직선성을 확인하기 위하여 다중 농약 표준품을 각 농산물의 무농약 시료 추출액으로 희석하여 조제한 표준용액 0.005~0.05 mg/L의 농도범위

에 대한 각각의 peak 면적을 이용하여 검량선을 작성하였고, 검량선의 결정계수(Coefficient of determination,  $r^2$ )를 구하였다.

또한, 농산물에 적용했을 때의 시료 성분이 정량분석에 미치는 영향을 알아보기 위해 매질보정 검량법(Matrix matched calibration)으로 작성한 검량선의 기울기를 이용하여 매질효과(Matrix effects)를 측정하였다.

검출한계와 정량한계는 분석물질의 검량곡선을 작성하여 기울기를 구하고, 각 표준용액 0.01 mg/L 농도를 7회 반복 분석한 결과의 표준편차를 이용하여 산출하였다.<sup>13)</sup>

분석법의 정확도 및 정밀도 평가를 위하여 곡류, 두류, 과일류, 채소류, 서류의 각 대표농산물인 현미, 대두, 감귤, 배추, 감자를 마쇄한 무농약 시료에 다종농약 다성분 표준용액을 첨가한 후 분석하여 회수율을 구하였다. 회수율 시험의 처리농도는 대표 농산물 5종의 정량한계(LOQ), 정량한계의 10배( $10 \times \text{LOQ}$ ), 정량한계의 50배( $50 \times \text{LOQ}$ )에 해당하는 농도로 수행하였으며, 각각의 농도 및 시료에 대하여 5회 반복 수행하여 평균 및 상대표준편차(Relative Standard Deviation, RSD)를 계산하여 분석법의 정확도와 정밀도를 평가하였다.<sup>13)</sup>

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 최적 기기분석 조건 평가

본 연구에서는 LC-MS/MS를 이용하여 Appendix 1에서 제시한 100종 잔류농약 표준용액(0.10 mg/L)을 10~20  $\mu\text{L}/\text{min}$ 로 질량검출기에 직접 주입(Infusion)하여 최적의 모세관 전압(Capillary voltage, KV)을 정하였다. 또한 샘플 콘 전압(Cone voltage, V), 선구이온(Precursor ion,  $m/z$ )과 토막이온(Fragment ion,  $m/z$ ) 및 충돌에너지(Collision energy, eV)의 최적 MRM Transition을 조사하였다.

MS mode에서는 MS scan을 하기 위해 잔류농약의 분자 이온을 충분히 포함하는  $m/z$ 범위로 MS 조건을 설정하고 full MS spectrum을 얻었다. 이 결과로부터 각 화합물 별로 단일 동위원소 분자량(Monoisotope mass)에 부합하는 선구이온(Precursor ion)  $m/z$  값을 확인하고, Cone voltage의 변화(2~100 V)로 피크의 상대적인 intensity가 가장 높은 때의 값을 찾아 Cone voltage로 설정하였다.

대부분의 잔류농약성분은 염기성물질로 아민기( $\text{NH}_2$ )를 가지고 있어 ESI의 Positive ion mode에서는 선구이온을  $(\text{M}+\text{H})^+$  형태 혹은  $(\text{M}+\text{NH}_4)^+$  형태의 mass 값으로 확인할 수 있었다. 예를 들어 관측질량(Exact mass)이 394.2  $m/z$ 인 Chromafenozide의 표준용액을 질량검출기에 주입하면, 관측질량의  $(\text{M}+\text{H})^+$ 형

태인 395.1  $m/z$ 가 Monoisotope mass에 부합하면서 최대 peak를 나타내므로, Chromafenozide의 Precursor ion임을 확인할 수 있었다. 이때, Cone voltage(2~100 V)를 변화시키는 최적화 과정을 통해 7 V에서 최대 피크가 생성됨을 확인하였다.

Sulfentrazone의 경우는 관측 질량(386.0  $m/z$ )인  $(M+NH_4)^+$ 형태의 404.0  $m/z$ 가 Monoisotope mass에 부합하면서 peak의 최대 강도를 나타내어, Precursor ion임이 확인되었다. 이때 Cone voltage 27 V에서 최대 피크를 생성시키는 것도 확인하였다.

Hydroxyl group이나 carboxyl group이 분자 내에 존재할 경우는 ESI의 Negative ion mode모드에서 주로  $(M-H)^-$ 형태인 mass값을 선구이온(Precursor ion)으로 확인할 수 있었다.

Teflubenzuron은 분자 내 carboxyl group에서 deprotonation이 용이하므로 관측질량(379.9  $m/z$ )의  $(M-H)^-$ 형태인 379.0  $m/z$ 가 Precursor ion으로서 Cone voltage 20 V일 때 Monoisotope mass에 부합하면서 최대 peak를 나타냄을 확인하였다.

MS/MS mode에서는 최적 Cone voltage에 의해 생성되는 Precursor ion이 상대적으로 Ion abundant가 높은 Fragment ion으로 쪼개지도록 Collision Cell에서 Collision energy(2~80 eV)를 조정하였다. 이때 생성되는 Fragment ion들 중 상대적으로 가장 세기가 강한 조각 이온을 정량이온(Quantification

ion)으로 설정하였고, 두 번째로 세기가 강한 이온, 세 번째로 세기가 강한 이온(Fragment ion)들의  $m/z$ 값을 확인하여 정성이온(Qualification ion)으로 설정하였다.

Chromafenozide의 경우는 Precursor ion 395.1  $m/z$ 을 Collision energy 20 eV에서 175.0  $m/z$ 으로 조각낼 때 상대적으로 최대 ion peak의 강도를 나타내었고, 339.0  $m/z$ 으로 조각낼 때 Collision energy 5 eV에서 최대의 peak강도를 나타내었다. 이러한 결과로 175.0  $m/z$ , 339.0  $m/z$ 가 Chromafenozide의 product ion임을 확인할 수 있었다.

위와 같이 100종의 잔류농약 표준품으로 각각의 최적 MRM Transition을 조사하여, Table 2, 3의 분석조건으로 분석한 결과, 각 항목의 선정된 MRM과 머무름 시간을 Appendix 1에 나타내었다.

## 2. 시료의 검증

### 가. 검량선법에 의한 평가

분석법의 선택성(selectivity)은 표준용액, 무농약 시료 추출액, 표준용액을 첨가한 시료의 크로마토그램을 비교 평가하여 확인하였다. 무처리 시료 중 모든 항목에서 머무름 시간과 질량 대 전하비(Charge to mass,  $m/z$ )가 동일한 어떠한 간섭물질도 검출되지 않아 본 시험법의 높은 선택성을 확인할 수 있었다.

Appendix 1에서 설정된 분석법의

직선성(linearity)을 확인하기 위해 혼합표준원액을 0.005, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05 mg/L 농도로 각 농산물의 무처리 추출물로 희석하여 분석한 결과를 Appendix 2에 나타내었다. 5종 농산물을 분석한 결과, Phenmedipham, Prothioconazole과 Pyridate를 제외한 97개 항목에 대하여 0.005~0.05 mg/L 농도 범위에서 검량선의 결정계수( $r^2$ )가 0.980~0.999로 유의한 수준을 나타내었다. 그러나 Phenmedipham, Prothioconazole과 Pyridate의 경우에는 용매(Acetonitrile)를 사용한 검량선의 결정계수( $r^2$ )는 0.980이상으로 허용범위를 벗어나지 않았으나, 5종 대표 농산물의 무농약 시료추출액으로 희석한 경우는 0.980이하로 검량선의 직선성을 만족하지 못하였다. 이는 농산물 시료 자체의 물리화학적 특성의 영향으로 분석 시 오차의 원인이 되는 매질 효과(matrix effects)로 인한 것으로 판단된다.

이에 따라 100종 중 Phenmedipham, Prothioconazole과 Pyridate를 제외한 97종 잔류농약 물질은 잔류물질 시험법의 검증요소 및 기준범위<sup>12)</sup>에서 제시하는 결정계수( $r^2$ )가 0.980이상으로 분석구간에서 정량분석이 가능함을 확인하였다.

#### 나. Matrix effects에 의한 평가

농산물은 다양한 품목, 다양한 매질로 인해 시험·검사에 있어 변수가 매우 많고, LC-MS/MS 분석 시에는

검체 중 추출성분에 의하여 대상성분의 이온 억제(Ion suppression) 또는 이온 상승(Ion enhancement)현상이 나타날 수 있으므로 매질 효과(Matrix effects, %)에 의한 평가를 실시하였다. 잔류농약 분석 시 matrix effects는 수많은 시료와 농약성분의 반응으로 명확히 규명하는 것은 매우 어렵다. 따라서 본 연구의 matrix effects 검증은 변동 폭에 따른 간섭 정도에 초점을 두어, 용매로 조제한 solvent standard와 5종 무처리 농산물 시료 추출액으로 만든 matrix matched standard를 기기분석 하였다. 결과 값의 peak 면적으로 Calibration curve를 작성하였으며, 직선식의 기울기를 이용하여 아래 식으로 matrix effects를 산출한 결과를<sup>14)</sup> Appendix 3에, matrix effects 분포도는 Fig.1에 나타내었다.

$$ME(\%) = \left( \left( \frac{\text{Slope of calibration curve in matrix}}{\text{Slope of calibration curve in solvent}} \right) - 1 \right) \times 100$$

Matrix effects는 이온 억제 또는 상승의 강도(intensity)정도를 표현하는 수치이며, Matrix effects의 판단 기준은 ‘±20%이하의 영향이 거의 없는 수준이고, ±20~±50% 수준은 약간 영향을 받는 수준이며, 그 이상은 matrix에 강한 영향을 받는 수준’으로 평가한다.<sup>13)</sup>

Fig. 1에서 보는 바와 같이 해당 기준으로 평가한 matrix effects 결과 분포는 대두의 경우 -19.4%~9.3%,

현미는 -17.3%~8.2%로 나타나 Matrix의 영향력은 거의 없었다.

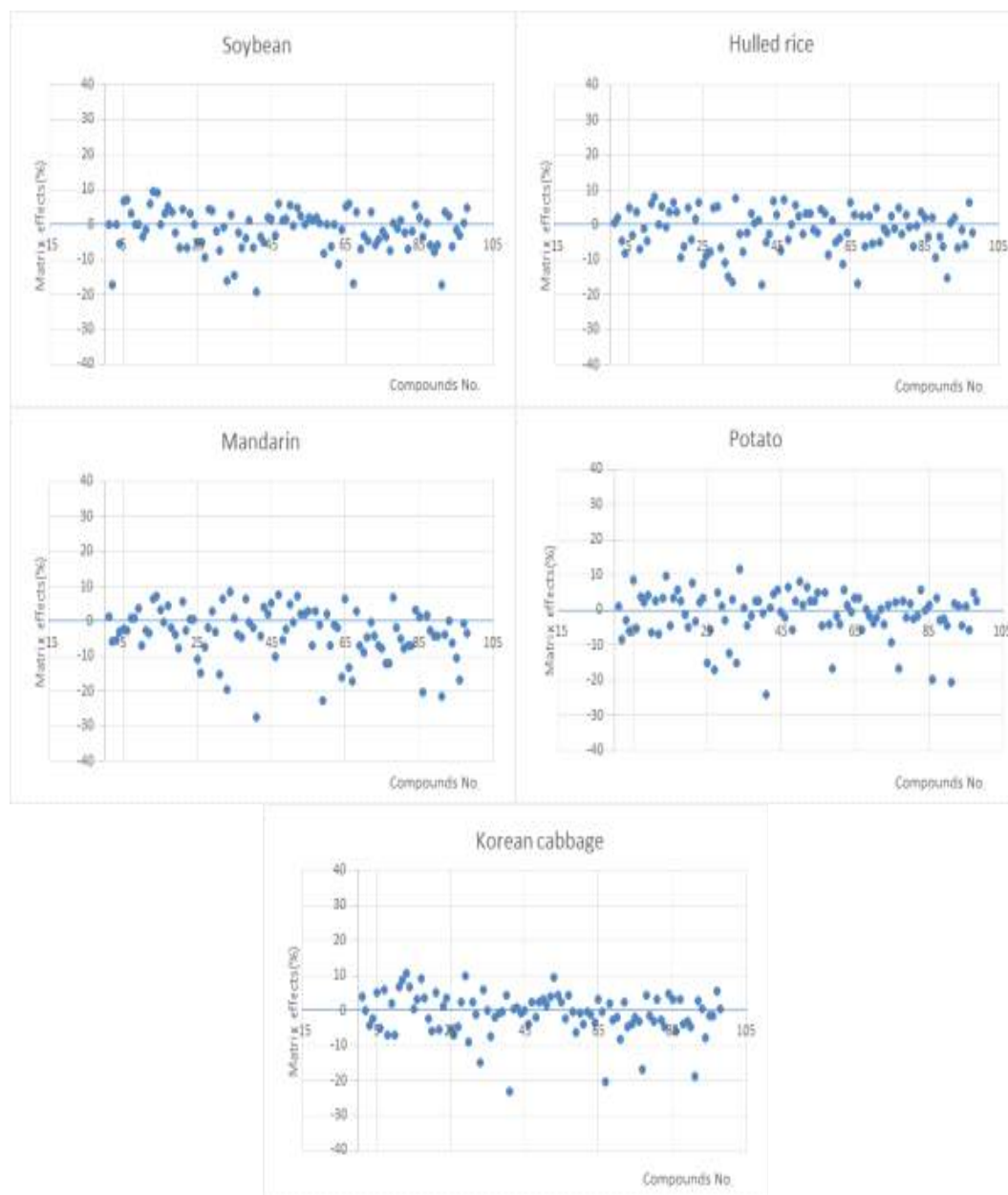


Fig. 1. The distributions of matrix effects of pesticides in five samples.

그러나 감귤은 -27.4%~8.4%, 감자는 -24.1%~1.7%, 배추는 -23.0%~10.8% 범위로 매질의 영향이 약간 있는 것으로 나타났다.

Fig. 2에서는 5종 농산물의 matrix effects의 평균값 중 Ion suppression과 enhancement가 높은 순으로 분석항목을 표시하였다. 그 결과 분석항목 중 Ion

suppression이 높은 항목은 matrix effects의 값이 낮게 나타난 Hexaflumuron, Thiodicarb, Fluazinam순이었다. Ion enhancement가 높은 항목은 matrix effects의 값이 높은 Carbofuran, Flubendiamid, Chlorobenzuron 순으로 나타났다. 또한 LC-MS/MS에서의 분석 결과는 매질의 영향에 의한 Ion suppression이 상대적으로 높음을 확인하였다.

이와 같이 matrix effects는 질량분석기 검출기 내의 이온화 과정에서 시료와

분석 물질간의 영향으로 발생되어 최대 20%이상의 정량 값에 영향을 미치므로 시료 매질의 영향을 최소화하기 위하여 스크리닝 분석 후 검출량이 허용기준 대비 80%를 초과한 시료에 대해서는 매질보정 검량법(matrix matched calibration) 또는 표준물질첨가법(standard addition method)을 활용하여 분석할 수 있는 방법이 바람직하다고 판단되었다.<sup>15)</sup>

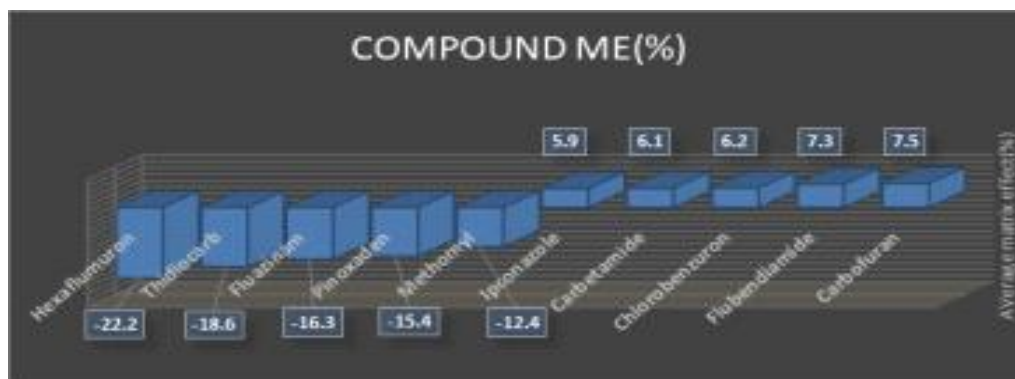


Fig. 2. The Representative five average values of compound ME (%) for ion suppression and ion enhancement.

#### 다. 검출한계와 정량한계 평가

기기검출한계는 기기분석 시 크로마토그램에서 peak로 검출할 수 있는 한계 농도를 의미하는 것으로 크로마토그램 peak의 S/N (Signal/Noise) 비 3 이상을 나타내는 성분의 농도를 의미한다. 기기정량한계는 기기분석의 크로마토그램 해석 시 신뢰성 있게 정량할 수 있는 한계농도로서, S/N비 10 이상(LOD의 3배 이상)을 나타내는 성분의 농도를 의미한다.<sup>16)</sup>

본 연구의 기기분석법을 이용한 검출한계와 정량한계를 구하기 위하여, 각 농도별 표준용액으로 검량선을 작성하여 기울기를 구하였고, 각 표준용액 0.01 mg/L로 7회 반복 측정한 결과 값으로 표준편차를 이용하여 계산하였다. 그 결과 기기검출한계(Instrument detection limit)와 정량한계(Instrument quantification limit)는 각각 0.0002~0.0028 mg/L, 0.0008~0.0093 mg/L으로 조사되었다(Appendix 4).<sup>13)</sup>

분석검출한계와 분석정량한계는 시료량 및 분석조작 중의 회석배율 등을 감안하여 산출한 수치로서, 실험에 적용된 전체적 분석방법이 신뢰성 있게 정량할 수 있는 한계를 의미한다. 이를 식품공전 잔류농약 분석법 실무 해설서<sup>6)</sup>에 제시된 분석검출한계(Method detection limit)와 분석정량한계(Method quantification limit)로 계산한 값은 각각 0.00004~0.00056 mg/kg, 0.00016~0.00186 mg/kg으로 조사되었다. 아래 계산식은 분석항목 중 가장 값이 높은 기기검출한계와 기기정량한계를 실제 분석방법으로 산출한 값이다. 분석한 항목 중 분석정량한계 최대 값은 0.00186 mg/kg으로 PLS 기준인 0.01 mg/kg을 충분히

만족하는 결과로 본 분석법으로 잔류허용기준 준수여부를 판별하기에 충분한 것으로 판단된다.

또한, 본 연구의 기기분석법은 Codex 가이드라인(GAC/GL40, 2003)<sup>7)</sup>과 식품공전 잔류농약분석법 실무 해설서<sup>6)</sup>에서 제안하는 ‘식품의 잔류농약분석법의 정량한계 기준은 잔류농약기준이 0.05 mg/kg미만일 경우 잔류허용기준의 1/2 이하의 값을 만족하여야 한다’라는 기준에 적합하였다.

그러나 잔류농약 다성분 분석법은 잔류농약 종류의 다양성과 일부 성분들의 높은 이온화 효율 등으로 분석항목마다 분석능의 차이는 다소 발생되었다.

$$\begin{aligned} * \text{분석검출한계(mg/kg)} &= \text{기기검출한계(mg/L)} \times \frac{\text{추출용매(mL)}}{\text{시료량(g)}} \times \frac{\text{최종부피(mL)}}{\text{분획량(mL)}} \\ &= (0.0028 \text{ mg/L}) \times \frac{100 \text{ mL}}{50 \text{ g}} \times \frac{2 \text{ mL}}{20 \text{ mL}} \\ &= 0.00056 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} * \text{분석정량한계(mg/kg)} &= \text{기기정량한계(mg/L)} \times \frac{\text{추출용매(mL)}}{\text{시료량(g)}} \times \frac{\text{최종부피(mL)}}{\text{분획량(mL)}} \\ &= (0.0093 \text{ mg/L}) \times \frac{100 \text{ mL}}{50 \text{ g}} \times \frac{2 \text{ mL}}{20 \text{ mL}} \\ &= 0.00186 \text{ mg/kg} \end{aligned}$$

## 라. 분석회수율 평가

분석법의 재현성, 정확성과 정밀성을 평가하기 위해 5종 농산물(대두, 현미, 감자, 감귤, 배추)의 무농약 시료에 정량한계(LOQ)수준, 정량한계 10배(10×LOQ), 정량한계 50배(50×LOQ)인 0.01, 0.10, 0.50 mg/kg 농도의 97종

표준물질을 첨가하고 시험용액 조제 과정을 거쳐, 5회 반복하여 회수율 시험을 수행하였다. 시료별, 농도별 회수율 실험결과는 Appendix 5에 나타내었다. 측정 결과, 분석 대상 농약 97종 중, 91종은 60~70%이상 회수율을 확인하였다. 그러나 Forchlorfenuron, Nitenpyram,

Imazapic, Imazethapyr, Imazamox, Imazaquin은 5종 대표농산물에서 60 % 미만의 회수율을 나타내었다. 이러한 결과는 검체 추출액의 정제 과정 중 용출 용매의 극성도와 용출 속도, 정제 카트리지 중  $\text{NH}_2$  SPE Catridge 작용기의 이온 교환력 차이 등으로 회수가 원활하지 않은 것으로 추정된다. 따라서 만족한 회수율을 확보하기 위해서는 정제 과정 중 SPE Catridge의 제조 회사나 제품 번호, 실험실 환경에 따라 회수율에 차이를 나타 낼 수 있으므로 용출용매 체계를 검토하고 추가적 실험이 필요하다고 판단된다.

회수율이 낮은 6항목을 제외하고, 농산물별 평균 회수율은 대두에서 62.1~97.2%, 현미에서 62.0~96.8%, 감귤에서 63.5~94.8%, 감자는 64.3~95.5 %, 배추에서 65.6~95.4%으로 농산물별 회수율 차이는 크게 나타나지 않았다. 하지만 약간의 회수율차이는 농산물 시료의 수분 및 유분 함량 차이로 분석물질의 분배계수( $\text{Log } P_{\text{ow}}$ , n-octanol/water) 차이에 의한 것으로 추정된다.<sup>17)</sup>

회수율이 낮은 6항목을 제외하고 정량한계(LOQ)수준에서는 62.0~95.5% 범위의 회수율과 0.83~27.8%의 분석오차를 나타냄으로써 0.01 mg/kg 이하의 수준 농도처리 시 회수율 60~120%, RSD 32%이하를 만족하였다(Table 4). 정량한계 10배( $10 \times \text{LOQ}$ )농도에서 회수율은 70.4~97.2%, 분석오차는 1.1~19.5%를 나타내었다. 50배 수준( $50 \times \text{LOQ}$ )에서 회수율은 70.2~96.8%, 분석오차는 1.0~18.7% 값을 보였다.  $10 \times \text{LOQ}$ 와  $50 \times \text{LOQ}$ 는 0.01 mg/kg 초과 0.1 mg/kg이하의 수준 농도처리 시 요구되는 회수율 70~120%, RSD 22% 이하를 모두 만족하였다. 이는 Table 4의 CODEX 가이드라인(GAC/GL 40, 2003)<sup>8)</sup>에서 제안하는 물질시험법의 검증요소 및 기준범위의 잔류농약 분석기준에 적합하므로 분석 성분, 처리 수준 및 농산물 시료에 관계없이 정확성과 정밀성도 확인할 수 있어 잔류농약 분석기준에 적합함을 알 수 있었다.

Table 4. Recovery tolerance checking accuracy and precision

Standard spiked concentration (mg/kg)	Recovery (%)	CV <sup>a)</sup> (%)
$\leq 0.001$	50~120	36
$>0.001 \sim \leq 0.010$	60~120	32
$>0.010 \sim \leq 0.1$	70~120	22
$>0.1 \sim \leq 1$	70~110	18
$> 1$	70~110	14
The number of repetitions		$\geq 5$

<sup>a)</sup> CV : Coefficient of variation



## IV. 결 론

본 연구에서는 농산물 검사능력 강화 및 검사결과의 신뢰성을 확보하기 위하여 다중농약다성분 동시분석법으로 LC-MS/MS를 이용하여 잔류농약 검사항목에 대한 유효성을 검증하였다. 대표 농산물(현미, 대두, 배추, 감자, 감귤)을 대상으로 동시분석이 가능하도록 MRM mode에서의 정성 및 정량 분석 조건을 확립하고, 분석법의 선택성, 직선성, 검출한계, 정량한계, 회수율에 대한 검증을 실시하였다.

1. LC-MS/MS로 분석 가능한 100 종 농약으로 정성 및 정량분석을 동시에 진행하기 위해 질량분석기를 통과한 Precursor ion으로부터 생성되는 Product ion 2~3개를 각각 선정하여 분석의 선택성과 검출강도를 향상시키기 위하여 MRM mode에서의 최적의 기기분석조건을 설정하였다.
2. 매질보정검량법을 이용한 표준검량곡선은 Phenmedipham, Pyridate와 Prothioconazole 3종을 제외한 5종 대표농산물의 97개 분석항목에서 결정계수가 0.980~0.999로 유의하게 직선성을 나타내어 0.005

~0.05 mg/L의 농도에서 정량분석이 가능함을 확인하였다.

3. 분석 과정에서 생기는 Matrix effects를 조사한 결과 -27.4~11.7%의 범위를 나타내었고, 대부분 낮은 수준의 Matrix effects( $\pm 20\% \geq \text{ME}\%$ )를 보였지만 감귤과 감자, 배추의 일부 항목에서 중간 수준 Matrix effects( $\pm 20\% < \text{ME}\% \leq \pm 50\%$ )를 보였다.
4. 또한 0.005~0.05 mg/L의 분석 구간에서 기기검출한계와 기기정량한계는 각각 0.0002~0.0028 mg/L, 0.0008~0.0093 mg/L이며, 분석검출한계 및 분석정량한계는 0.00004~0.00056 mg/kg, 0.00016~0.00186 mg/kg으로 나타났다.
5. 무농약 시료에 정량한계, 정량한계 10배, 정량한계 50배 수준인 0.010, 0.10, 0.50 mg/kg으로 표준용액을 첨가하여 회수율을 시험한 결과, Forchlorfenuron, Imazapic, Imazethapyr, Imazamox, Imazaquin, Nitenpyram의 6개 항목을 제외한 5종 대표농산물의 91개 분석항목은 잔류물질 시험법 기준범위에 적합하여 분석법의 정확성과 정밀성을 확인할 수 있었다.

## V. 참 고 문 헌

1. Krol, W., J., Arsenaut, T.L., Pylypiw, H. M.Jr. and Mattin M. I., Reduction of pesticide residues on produce by rinsing, *J. Agri. Food Chem.*, 48, 4666-4670, 2000.
2. Kim, J. P., Kang, J. P., Kang, G. L., Yang, Y. S., Lee, H. H., Jung, J. G. and Kim, E. S., A survey on pesticide residues of commercial agricultural products in Gwangju area, *J. Fd Hyg. Safety*, 20(3), 165-174, 2005.
3. Keikothaile, BM, Spanoghe, P and Steurbaut, W : Effects of food processing on pesticide residues in fruits and vegetables, *Food and Chemical Toxicology*, 48:1-6, 2010.
4. Hercegova, A, Domotorova, M, Matisova, E, Kirchner, M, Otrekal, R and Stefuca, V : Fast gas chromatography with solid phase extraction clean-up for ultratrace analysis of pesticide residues in baby food, *Journal of Chromatography A*, 1084, p.46-53, 2005.
5. Lee, J. M., Lee, H. R. and Nam, S. M., Removal rate of residual pesticides in perilla leaves with various washing methods, *korean J. Food Sci. Technol.*, 35(4), 586-590, 2003.
6. 식품의약품안전처 식품의약품안전평가원, 식품공전 잔류농약 분석법 실무 해설서, 2017.
7. Codex Alimentarius commission Guidelines on Good Laboratory Practice in Residue Analysis, GAC/GL 40-1993, Rev.1-2003, Rome, Italy, 2003.
8. Kruve A., A. Künnapas, K. Herodes and I. Leito, Matrix effects in pesticide multi-residue analysis by liquid chromatography-mass spectrometry, *J. Chromatography A*, 1187(1-2):58-66, 2008.
9. Matuszewski, B. K., Standard line slopes as a measure of a relative matrix effect in quantitative HPLC/MS bioanalysis, *Journal of Chromatography B*, 830.2:293-300, 2006.
10. 식품의약품안전처, 농산물 등의 유해물질 분석법, 2016.
11. 식품의약품안전처, 식품공전시험법, 2019.
12. 식품의약품안전평가원 식품위해평가부, 식품등 시험법 마련 표준절차에 관한 가이드라인, 2016.
13. 식품의약품안전처 식품의약품안

- 전청, 유해물질모니터링, 2012.
14. Economou, A., H. Botitsi, S. Antoniou, and D. Tsipi, Determination of multiclass pesticides in wines by solidphase extraction and liquid chromatography- tandem mass spectrometry, J. Chromatogr. A, 1216(31), p5856-5867, 2009.
  15. Kittlaus, S., J. Schimanke, G. Kempe, and K. Speer, Assessment of sample cleanup and matrix effects in the pesticide residue analysis of foods using postcolumn infusion in liquid chromatography - tandem mass spectrometry, J. Chromatog.A,1218(46), p8399-8410, 2011.
  16. Miller, J. M., Chromatography : concept and contrasts(2nd), Wiley Interscience, p.286-287, USA., 2005.
  17. Ju-young Lee, Development of Multi-Residue Analysis Method of Residue Pesticides in Fruits by QuEChERS, Kyung-pook National University, 2012.

# Appendix 1. LC-MS/MS parameters for the analytical compounds

Compound	Polarity	Retention Time(min)	Molecular weight(MW)	Cone Voltage(V)	Precursor ion(m/z)	Product ion(m/z)	Collision energy(eV)
Acetamiprid	positive	2.71	222.7	23	223.0	56.1 90.0 126.0	15 33 20
Aldicarb	positive	3.06	190.3	30	116.2	89.0 70.1	10 15
Amisulbrom	positive	9.74	466.3	20	465.9	107.9 226.9	25 20
Azamethiphos	positive	3.22	324.7	20	325.0	76.0 111.9 138.9	75 35 24
Azoxystrobin	positive	5.03	403.4	25	404.0	329.0 344.0 372.0	41 35 14
Bendiocarb	positive	3.38	223.2	17	224.1	109.0 167.0	18 8
Bensulide	positive	7.77	397.5	18	398.1	141.1 314.1 356.1	35 10 5
Benzoximate	positive	8.76	363.8	9	364.0	105.0 199.1	26 8
Bixafen	positive	7.88	414.2	30	414.0	266.0 374.0 394.0	26 24 15
Boscalid	positive	5.63	343.2	35	342.9	139.9 307.0	20 20
Butocarboxim	positive	3.02	190.3	21	213.0	75.1 116.1	15 10
Carbaryl	positive	3.59	201.2	19	202.0	117.0 127.0 145.0	28 31 22
Carbetamide	positive	3.17	236.3	11	202.0	118.0 120.0 192.0	14 15 9
Carbofuran	positive	3.40	221.3	20	221.6	123.0 165.1	20 12
Chlorimuron-ethyl	positive	5.71	414.8	25	415.1	83.0 186.0	40 15
Chlorantraniliprole	positive	4.59	483.2	20	482.0	238.8 450.8	16 8
Chlorobenzuron	positive	7.90	309.2	20	309.0	110.9 138.9 155.9	44 29 14
Chlorotoluron	positive	3.96	212.7	30	213.0	72.0 77.0 140.0	27 26 26
Chromafenozide	positive	6.6	394.5	7	395.1	175.0 339.0	20 5
Clothianidin	positive	2.66	249.7	15	250.0	132.1 169.1	18 18
Cyazofamid	positive	7.16	324.8	17	325.0	107.9 261.0	20 10
Cycloprotin	positive	11.56	482.4	30	499	165.0 181.0 257.0	45 40 12
Cymoxanil	positive	8.76	198.2	15	199.1	113.0 141.0 184.0	35 27 19
Dicrotophos	positive	2.58	237.2	20	238.2	72.1 127.1 193.1	25 20 10
E-Dimethomorph	positive	5.27	387.9	30	388.1	165.0 300.9	30 20
Z-Dimethomorph	positive	5.90	387.9	30	388.1	165.0 300.9	30 20
Ethaboxam	positive	3.74	320.4	30	321.0	182.8 199.8 236.8	24 26 18

Appendix 1. LC-MS/MS parameters for the analytical compounds(*continued*)

Compound	Polarity	Retention Time(min)	Molecular weight(MW)	Cone Voltage(V)	Precursor ion(m/z)	Product ion(m/z)	Collision energy(eV)
Ethiofencarb	positive	3.54	225.3	19	226.1	107.0 164.0	16 8
Fenhexamid	positive	6.82	302.2	32	302.0	55.0 97.0	36 22
Fenpyroximate	positive	11.35	421.5	23	422.2	138.1 366.1	32 15
Ferimzone	positive	4.74	254.3	37	255.2	117.0 124.0	29 21
Fluacrypyrim	positive	9.26	426.4	30	427.0	115.0 117.0 145.0	53 42 29
Fluazinam	negative	10.59	465.1	30	462.8	386.9 397.9 415.9	19 19 22
Flubendiamide	positive	8.03	682.4	30	683.0	256.0 274.0 408.0	61 29 13
Flufenacet	positive	6.91	363.3	12	364.0	152.1 194.1	20 11
Flufenoxuron	positive	11.32	488.8	31	489.1	141.0 158.0	46 22
Fluometuron	positive	3.80	232.2	25	233.2	72.0 145.0 160.0	18 36 28
Fluquinconazole	positive	6.58	376.2	37	376.0	272.0 306.9 348.8	34 26 21
Fluridone	positive	4.73	329.3	55	330.1	259.2 310.2	40 30
Forchlorfenuron	positive	4.26	247.7	25	248.1	93.0 129.0	35 15
Hexaflumuron	negative	9.68	461.1	20	458.9	174.8 275.8 438.8	36 19 12
Imazamox	positive	2.79	305.3	30	306.0	163.0 193.0 217.0	35 26 21
Imazapic	positive	2.85	275.3	30	276.0	145.0 163.0 231.0	35 26 20
Imazaquin	positive	3.26	311.3	29	312.2	86.2 267.2	28 20
Imazethapyr	positive	3.11	289.3	30	290.0	177.0 245.0	27 30
Imibenconazole	positive	10.46	411.7	30	411.0	125.0 342.0	33 16
Ipconazole	positive	9.55	333.9	10	334.1	69.9 124.9 260.9	20 38 13
Isoproc carb	positive	4.12	193.2	15	194.1	95.0 152.0	15 10
Isoproturon	positive	4.26	206.3	28	207.0	71.9 134.0 165.0	14 24 14
Isoxaben	positive	5.84	332.4	20	333.1	107.1 165.1	58 18
Lenacil	positive	4.17	234.3	18	235.2	136.1 153.1	32 16
Lufenuron	positive	10.69	511.2	19	511.0	141.0 158.0	27 27
Malaoxon	positive	3.32	314.3	15	315.0	98.9 125.0 269.0	24 33 8
Mepanipyrim	positive	6.43	223.3	37	224.1	104.0 106.0 131.0	27 28 23
Metamifop	positive	10.0	440.9	30	441.0	103.0 288.0	41 18

Appendix 1. LC-MS/MS parameters for the analytical compounds(*continued*)

Compound	Polarity	Retention Time(min)	Molecular weight(MW)	Cone Voltage(V)	Precursor ion( <i>m/z</i> )	Product ion( <i>m/z</i> )	Collision energy(eV)
Metamitron	positive	2.75	202.2	28	203.1	104.0 175.1	22 16
Methabenzthiazuron	positive	4.08	221.3	23	222.0	150.0 165.0	32 16
Methiocarb	positive	5.41	225.3	19	226.0	121.0 169.0	22 10
Methomyl	positive	2.53	162.2	17	163.0	88.0 106.0	10 10
Methoxyfenozide	positive	6.00	368.5	25	369.1	149.1 313.2	18 8
Metolcarb	positive	3.20	165.2	11	166.1	94.1 109.0	27 12
Metominostrobin	positive	4.49	284.3	30	285.0	194.0 196.0 238.0	21 15 11
Nitenpyram	positive	2.48	270.7	22	271.1	125.9 224.9	25 12
Novaluron	positive	9.92	492.7	27	493.0	141.0 158.0	35 19
Oxamyl	positive	2.46	219.3	12	237.0	72.0 90.0 220.0	16 10 5
Oxaziclomefone	positive	9.90	376.3	30	376.1	161.1 190.1	30 15
Phenmedipham	positive	4.54	300.3	25	301	136.0 168.0	22 10
Pinoxaden	positive	8.81	400.5	30	401.1	100.9 289.2 317.2	37 36 23
Promecarb	positive	5.80	207.3	17	208.1	109.0 151.0	15 9
Propaquizafop	positive	10.11	443.9	25	444.2	299.0 327.0 371.0	25 25 17
Propoxur	positive	3.37	209.2	15	210.0	93.0 111.0 168.0	25 16 10
Prosulfocarb	positive	9.55	251.4	20	252.0	90.9 127.9	22 13
Prothioconazole	negative	8.32	344.3	30	341.9	99.9 263.9 305.9	24 21 17
Pyraclonil	positive	3.80	314.8	30	315.0	169.0 241.0 276.0	30 24 18
Pyraclostrobin	positive	8.56	387.3	20	388.1	163 193.9	25 12
Pyraflufen-ethyl	positive	8.32	413.2	30	413.0	253.0 261.0 339.0	38 36 21
Pyrazolate	positive	8.90	439.3	17	439.0	145.0 173.0 249.0	53 35 17
Pyribenzoxim	positive	9.93	609.6	30	610.0	180.0 413.0	32 15
Pyributicarb	positive	10.47	330.4	17	331.0	105.0 108.0	37 31
Pyridate	positive	12.43	378.9	19	379.0	104.0 207.0 351.0	37 17 8
Pyrimethanil	positive	4.85	199.3	42	200.0	82.0 107.0	24 24
Pyriproxyfen	positive	10.41	321.4	23	322.1	96.0 227.1	14 14

Appendix 1. LC-MS/MS parameters for the analytical compounds(*continued*)

Compound	Polarity	Retention Time(min)	Molecular weight(MW)	Cone Voltage(V)	Precursor ion( <i>m/z</i> )	Product ion( <i>m/z</i> )	Collision energy(eV)
Quinoclamine	positive	3.20	207.6	30	208.1	77.0 104.0 208.0	35 27 8
Spirodiclofen	positive	11.41	411.3	22	411.1	71.2 213.0 216.0	20 35 22
Sulfentrazone	positive	3.48	387.2	27	404.0	178.0 307.0 387.0	36 27 13
Tebufenozide	positive	7.59	352.5	12	353.1	105.0 133.0 297.0	38 20 8
Tebuthiuron	positive	3.49	228.3	27	229.0	116.0 172.0	26 18
Teflubenzuron	negative	10.47	381.1	17	380.9	140.9 158.0	40 20
Tepraloxydim	positive	6.40	341.8	17	342.1	166.1 250.1	20 12
Thenylchlor	positive	6.69	323.8	30	324.0	59.0 97.0 127.0	38 42 17
Thiacloprid	positive	3.00	252.7	32	253.0	90.1 99.0 126.0	40 39 20
Thiamethoxam	positive	2.53	291.7	19	292.0	108.1 181.1 211.1	40 22 13
Thiodicarb	positive	3.5	354.5	20	355.0	87.9 107.9	16 16
Tiadinil	negative	6.22	267.7	30	265.8	70.9 177.9 237.9	18 15 10
Tricyclazole	positive	2.90	189.2	32	190.0	136.0 163.0	27 22
Tridemorph	positive	8.12	297.5	30	298.2	98.0 116.0 130.0	31 26 24
Trifloxystrobin	positive	9.4	408.4	25	409.0	145.0 186.0	40 16
2,3,5-Trimethacarb	positive	4.33	193.2	15	194.1	107.0 122.0 137.0	31 27 10
Triticonazole	positive	6.81	317.8	20	318.1	70.1 124.9	16 35
XMC	positive	3.78	179.2	15	180.1	95.0 108.0 123.0	22 25 11

Appendix 2. Coefficients of determination of matrix matched standard in the samples

Compound	Acetonitrile	Soybean	Hulled rice	Mandarin	Potato	Korean cabbage
	Coefficient of correction, $r^2$					
Acetamiprid	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
Aldicarb	0.987	0.987	0.987	0.994	0.983	0.989
Amisulbrom	0.985	0.985	0.985	0.982	0.988	0.987
Azamethiphos	0.996	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
Azoxystrobin	0.986	0.995	0.995	0.990	0.993	0.999
Bendiocarb	0.995	0.996	0.996	0.996	0.999	0.998
Bensulide	0.992	0.997	0.997	0.997	0.998	0.999
Benzoximate	0.999	0.996	0.996	0.998	0.998	0.998
Bixafen	0.997	0.991	0.991	0.999	0.999	0.999
Boscalid	0.982	0.999	0.999	0.998	0.999	0.993
Butocarboxim	0.993	0.999	0.999	0.992	0.985	0.998
Carbaryl	0.998	0.999	0.999	0.992	0.983	0.995
Carbetamide	0.997	0.996	0.996	0.996	0.997	0.998
Carbofuran	0.999	0.996	0.996	0.999	0.999	0.999
Chlorimuron-ethyl	0.998	0.998	0.998	0.997	0.999	0.999
Chlorantraniliprole	0.997	0.997	0.997	0.996	0.997	0.999
Chlorobenzuron	0.998	0.997	0.997	0.999	0.999	0.999
Chlorotoluron	0.999	0.999	0.999	0.998	0.999	0.999
Chromafenazide	0.985	0.982	0.982	0.991	0.983	0.994
Clothianidin	0.999	0.999	0.999	0.995	0.999	0.999
Cyazofamid	0.999	0.999	0.999	0.998	0.999	0.997
Cycloprotin	0.998	0.998	0.999	0.999	0.999	0.999
Cymoxanil	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
Dicrotophos	0.999	0.999	0.999	0.999	0.996	0.999
E-Dimethomorph	0.996	0.999	0.999	0.997	0.996	0.993
Z-Dimethomorph	0.998	0.999	0.999	0.992	0.999	0.998
Ethaboxam	0.982	0.986	0.986	0.982	0.982	0.984
Ethiofencarb	0.994	0.986	0.986	0.997	0.995	0.999
Fenhaxamid	0.999	0.998	0.998	0.995	0.997	0.997
Fenpyroximate	0.999	0.997	0.997	0.999	0.999	0.998
Ferimzone	0.997	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998
Fluacrypyrim	0.990	0.987	0.987	0.988	0.983	0.982
Fluazinam	0.996	0.993	0.993	0.997	0.999	0.998
Flubendiamide	0.993	0.989	0.989	0.985	0.983	0.986



Appendix 2. Coefficients of determination of matrix matched standard in the samples(*continued*)

Compound	Acetonitrile	Soybean	Hulled rice	Mandarin	Potato	Korean cabbage
Coefficient of correction, $r^2$						
Flufenacet	0.998	0.999	0.999	0.998	0.997	0.999
Flufenoxuron	0.998	0.999	0.999	0.999	0.998	0.999
Fluometuron	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	0.998
Fluquinconazole	0.997	0.988	0.988	0.991	0.990	0.980
Fluridone	0.999	0.997	0.997	0.995	0.999	0.999
Forchlorfenuron	0.999	0.999	0.999	0.998	0.997	0.999
Hexaflumuron	0.982	0.980	0.983	0.983	0.983	0.981
Imazamox	0.999	0.989	0.989	0.995	0.990	0.999
Imazapic	0.999	0.999	0.999	0.997	0.997	0.999
Imazaquin	0.997	0.998	0.998	0.996	0.999	0.998
Imazethapyr	0.996	0.993	0.993	0.991	0.999	0.998
Imibenconazole	0.999	0.998	0.998	0.998	0.999	0.999
Ipconazole	0.999	0.999	0.999	0.999	0.996	0.999
Isoprocarb	0.999	0.999	0.999	0.998	0.997	0.999
Isoproturon	0.998	0.999	0.999	0.998	0.998	0.999
Isoxaben	0.995	0.998	0.998	0.999	0.997	0.999
Lenacil	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
Lufenuron	0.988	0.983	0.983	0.997	0.982	0.998
Malaoxon	0.998	0.998	0.998	0.998	0.999	0.999
Mepanipyrim	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
Metamifop	0.997	0.995	0.995	0.999	0.997	0.999
Metamitron	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	0.999
Methabenzthiazuron	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
Methiocarb	0.999	0.995	0.995	0.998	0.996	0.999
Methomyl	0.999	0.982	0.982	0.982	0.996	0.981
Methoxyfenozide	0.997	0.996	0.996	0.996	0.998	0.999
Metolcarb	0.999	0.985	0.985	0.999	0.999	0.999
Metominostrobin	0.999	0.998	0.998	0.999	0.999	0.999
Nitenpyram	0.999	0.996	0.996	0.999	0.997	0.999
Novaluron	0.992	0.987	0.987	0.998	0.987	0.993
Oxamyl	0.997	0.989	0.989	0.987	0.995	0.993
Oxaziclomefone	0.999	0.998	0.998	0.999	0.999	0.999
Phenmedipham	0.982	0.797	0.533	0.856	0.652	0.874
Pinoxaden	0.992	0.985	0.985	0.999	0.999	0.989
Promecarb	0.999	0.996	0.996	0.999	0.999	0.999
Propaquizafop	0.999	0.998	0.998	0.999	0.997	0.998

Appendix 2. Coefficients of determination of matrix matched standard in the samples(*continued*)

Compound	Acetonitrile	Soybean	Hulled rice	Mandarin	Potato	Korean cabbage
	Coefficient of correction, $r^2$					
Propoxur	0.999	0.995	0.995	0.996	0.987	0.992
Prosulfocarb	0.999	0.998	0.998	0.999	0.999	0.999
Prothioconazole	0.996	0.857	0.695	0.643	0.674	0.980
Pyraclonil	0.999	0.998	0.998	0.996	0.999	0.999
Pyraclostrobin	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	0.999
Pyraflufen-ethyl	0.998	0.997	0.997	0.999	0.999	0.999
Pyrazolate	0.998	0.994	0.999	0.999	0.999	0.999
Pyribenzoxim	0.997	0.987	0.993	0.999	0.996	0.996
Pyributicarb	0.999	0.990	0.990	0.997	0.999	0.985
Pyridate	0.995	0.614	0.967	0.756	0.675	0.895
Pyrimethanil	0.999	0.997	0.997	0.999	0.999	0.999
Pyriproxifen	0.997	0.998	0.998	0.998	0.998	0.999
Pyroquilon	0.999	0.999	0.999	0.999	0.998	0.999
Quinoclamine	0.998	0.996	0.996	0.992	0.997	0.998
Spirodiclofen	0.999	0.999	0.999	0.997	0.989	0.980
Sulfentrazone	0.999	0.999	0.999	0.999	0.996	0.999
Tebufenozide	0.990	0.999	0.999	0.998	0.996	0.999
Tebuthiuron	0.998	0.999	0.999	0.998	0.996	0.996
Teflubenzuron	0.998	0.984	0.984	0.994	0.982	0.984
Tepaloxymdim	0.990	0.997	0.997	0.997	0.999	0.995
Thenylchlor	0.999	0.989	0.989	0.999	0.998	0.997
Thiacloprid	0.993	0.996	0.996	0.994	0.994	0.992
Thiamethoxam	0.999	0.999	0.999	0.998	0.999	0.999
Thiodiocarb	0.996	0.994	0.994	0.995	0.999	0.999
Tiadinil	0.983	0.980	0.990	0.992	0.992	0.993
Tribenuron	0.998	0.998	0.998	0.998	0.998	0.997
Tricyclazole	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999	0.999
Tridemorph	0.999	0.998	0.998	0.999	0.999	0.999
Trifloxystrobin	0.989	0.983	0.983	0.988	0.989	0.988
2,3,5-Trimethacarb	0.998	0.996	0.996	0.997	0.999	0.998
Triticonazole	0.998	0.999	0.999	0.994	0.999	0.999
XMC	0.998	0.999	0.999	0.994	0.998	0.998

### Appendix 3. The matrix effects(%) of pesticides in the samples

Compound	Soybean	Hulledrice	Mandarin	Potato	Korean cabbage
	Matrix effects(%)				
Acetamiprid	0.07	0.67	1.46	1.24	3.94
Aldicarb	-17.18	2.09	-5.54	-8.21	-0.03
Amisulbrom	0.12	-4.43	-5.37	-2.91	-4.22
Azamethiphos	-5.40	-8.16	-3.07	-6.11	-2.44
Azoxystrobin	6.80	4.89	-2.29	8.55	5.20
Bendiocarb	7.16	-3.16	-2.66	-5.04	-5.23
Bensulide	3.11	3.75	0.89	3.81	5.84
Benzoximate	0.20	-6.98	0.93	2.30	-6.98
Bixafen	0.06	-1.04	3.81	4.30	1.87
Boscalid	-3.39	-4.57	-6.84	-6.21	-6.92
Butocarboxim	-1.61	6.17	-2.67	2.71	6.69
Carbaryl	5.75	8.22	-3.36	-6.86	8.80
Carbetamide	9.34	0.19	6.61	3.31	10.80
Carbofuran	8.96	5.20	7.15	9.59	6.75
Chlorantraniliprole	0.10	-0.46	3.20	-4.51	0.36
Chlorimuron	3.12	3.64	-0.36	3.45	3.29
Chlorobenzuron	5.13	6.37	4.58	5.85	8.89
Chlorotoluron	3.42	3.61	-1.98	2.59	3.51
Chromsfenazide	-2.25	-9.33	-3.62	-1.20	-2.27
Clothianidin	-6.65	-6.02	-7.60	-4.86	-5.71
Cyazofamid	4.40	4.70	5.48	7.96	5.34
Cycloprothin	-6.50	-3.99	-2.66	-3.19	-5.60
Cymoxanil	3.16	1.85	0.70	2.28	1.34
Diclotophos	0.13	6.35	0.38	3.47	3.66
Dimethomorph-a	-4.90	-11.22	-11.00	-14.96	-5.31
Dimethomorph-b	-5.19	-8.90	-14.71	-5.57	-7.19
Ethaboxam	-9.32	-7.87	-7.31	-16.98	-4.86
Ethiofencarb	4.34	4.74	-1.66	5.14	2.34
Fenhexamid	4.09	5.39	2.72	0.96	10.04
Fenpyroximate	-2.10	-6.32	-2.78	-2.67	-9.15
Ferimzone	-7.60	-10.96	-14.98	-12.32	2.29
Fluacrypyrim	-0.83	-14.61	6.51	3.15	-1.27
Fluazinam	-16.03	-16.26	-19.29	-15.20	-14.71
Flubendiamide	2.82	7.44	8.39	11.72	6.04
Flufenacet	-14.44	-2.49	0.92	0.81	-0.14
Flufenoxuron	-2.48	-7.68	-3.83	-4.35	-7.40
Fluometuron	-6.46	-2.30	-4.42	-1.60	-1.88
Fluquinconazole	-3.83	3.12	6.42	2.64	-0.59
Fluridone	1.22	0.49	-0.09	2.61	-0.41
Forchlorfenuron	-6.70	1.52	-1.71	-0.76	4.45
Hexaflumuron	-19.40	-17.28	-27.39	-24.06	-23.01
Imazamox	-3.47	-4.87	-4.21	0.85	0.29
Imazapic	-5.19	-2.47	4.22	4.58	0.90
Imazaquin	1.94	6.85	2.09	5.85	-0.84
Imazethapyr	1.73	3.11	5.38	-0.40	0.13
Imibenconazole	-3.04	-7.18	-10.13	-2.10	-4.08
Ipconazole	5.87	7.19	7.57	6.58	2.32
Isoprocarb	1.28	-4.07	-5.43	-5.64	-1.82
Isoproturon	1.62	0.03	-2.34	2.68	2.54
Isoxaben	5.73	5.51	4.99	8.24	3.32
Lenacil	-0.18	2.48	-0.37	1.58	1.64
Lufenuron	4.81	-2.75	7.09	6.58	3.99

Appendix 3. The matrix effects(%) of pesticides in the samples(*continued*)

Compound	Soybean	Hulledrice	Matrix effects(%)		
			Mandarin	Potato	Korean cabbage
Malaoxon	2.36	3.45	2.23	2.53	9.42
Mepanipyrim	0.05	3.33	2.31	2.60	4.26
Metamifop	2.06	-1.52	3.09	4.97	2.20
Metamitron	1.38	-2.02	-7.05	-4.26	-2.35
Methabenzthiazuron	1.90	4.53	2.77	5.09	4.50
Methiocarb	0.52	3.36	-1.15	-4.12	-0.17
Methomyl	-8.32	-8.32	-22.45	-16.42	-6.29
Methoxyfenozide	0.16	1.22	2.09	-1.72	-0.75
Metolcarb	-6.19	-5.09	-7.00	-3.99	-4.07
Metominostrobin	-0.16	-3.82	-1.17	5.67	-0.43
Nitenpyram	-11.25	-11.20	-1.93	1.28	-1.06
Novaluron	-1.53	-2.23	-15.80	-0.62	-3.64
Oxamyl	5.01	6.27	6.40	3.53	3.28
Oxaziclomefone	5.80	2.86	-13.27	3.36	-0.18
Pinoxaden	-17.01	-16.77	-17.32	-5.54	-20.24
Promecarb	3.65	2.42	2.94	0.33	1.94
Propaquizafop	-7.22	-6.17	-6.72	-1.83	-2.84
Propoxur	-3.27	2.48	-8.73	-3.71	-1.89
Prosulfocarb	-4.61	-5.21	-4.61	-2.04	-8.24
Pyraclonil	3.47	4.77	-0.12	0.16	2.21
Pyraclostrobin	-5.93	-4.79	-4.02	-4.11	-4.74
Pyraflufen-ethyl	-4.46	-0.90	-7.09	1.48	-3.93
Pyribenzoxim	-1.92	-2.06	-7.78	-9.11	-2.05
Pyributicarb	-3.46	2.54	-11.98	2.43	-3.04
Pyridate	-7.41	-0.96	-12.15	-16.68	-17.05
Pyrimethanil	0.60	4.88	6.78	2.75	4.31
Pyriproxifen	-1.15	-2.72	-1.97	-2.18	-1.55
Pyroquilon	1.39	2.98	-4.95	2.03	-3.25
Quinoclamine	-2.41	-0.44	-7.85	-2.49	3.33
Spirodiclofen	-7.22	-6.17	-6.72	-1.83	-2.84
Sulfentrazone	-1.91	-0.30	-6.86	5.69	-4.76
Tebufenozide	5.53	3.89	3.20	-0.21	4.70
Tebuthiuron	2.08	2.12	1.48	1.42	3.31
Teflubenzuron	-3.41	-3.44	-20.44	-19.91	-5.67
Tepraloxydim	0.51	2.32	1.76	3.35	3.04
Thenylchlor	-6.03	-9.38	-2.75	-3.04	-3.87
Thiacloprid	-7.69	-3.20	-4.12	-2.48	-2.99
Thiametoxam	-6.01	-6.04	-4.18	-4.30	-4.58
Thiodiocarb	-17.33	-15.33	-21.29	-20.39	-18.63
Tiadinil	3.51	0.75	-3.81	1.93	2.98
Tricyclazole	2.21	1.99	0.29	1.05	0.61
Tridemorph	-6.15	-6.61	-5.96	-4.42	-7.77
Trifloxystrobin	-1.45	-1.26	-10.29	1.23	-1.69
2,3,5-Trimethacarb	-2.93	-5.80	-16.90	-5.56	-1.61
Triticonazole	0.62	6.57	-0.55	5.15	5.60
XMC	4.84	-2.00	-3.31	2.68	0.37

#### Appendix 4. Limit of detection (LOD) & limit of quantification (LOQ)

Compound	Slope	Standard Deviation	LOD <sup>a</sup> (mg/L)	LOD <sup>b</sup> (mg/kg)	LOQ <sup>c</sup> (mg/L)	LOQ <sup>d</sup> (mg/kg)
Acetamiprid	114561000	23503.12	0.0006	0.00012	0.0021	0.00042
Aldicarb	4274960	2791.87	0.0020	0.00040	0.0065	0.00130
Amisulbrom	3398070	3163.86	0.0028	0.00056	0.0093	0.00186
Azamethiphos	89068900	9667.32	0.0003	0.00006	0.0011	0.00022
Azoxystrobin	175111000	49417.23	0.0008	0.00016	0.0028	0.00056
Bendiocarb	18793700	7379.77	0.0012	0.00024	0.0039	0.00078
Bensulide	5029540	604.51	0.0004	0.00008	0.0012	0.00024
Benzoximate	16737900	3468.68	0.0006	0.00012	0.0021	0.00042
Bixafen	34364600	4478.27	0.0004	0.00008	0.0013	0.00026
Boscalid	22362000	4938.59	0.0007	0.00014	0.0022	0.00044
Butocarboxim	3564280	1833.38	0.0015	0.00030	0.0051	0.00102
Carbaryl	2506220	2318.05	0.0028	0.00056	0.0092	0.00184
Carbetamide	17796600	5153.38	0.0009	0.00018	0.0029	0.00058
Carbofuran	87132700	15210.34	0.0005	0.00010	0.0017	0.00034
Chlorimuron-ethyl	19352500	4880.00	0.0008	0.00016	0.0025	0.00050
Chlorantraniliprole	8378520	1587.61	0.0006	0.00012	0.0019	0.00038
Chlorobenzuron	22843200	3958.29	0.0005	0.00010	0.0017	0.00034
Chlorotoluron	59637900	16532.26	0.0008	0.00016	0.0028	0.00056
Chromsphenazide	29973100	6976.11	0.0007	0.00014	0.0023	0.00046
Clothianidin	6873610	2707.23	0.0012	0.00024	0.0039	0.00078
Cyazofamid	43579600	5802.96	0.0004	0.00008	0.0013	0.00026
Cycloprothrin	560258	111.01	0.0006	0.00012	0.0020	0.00040
Cymoxanil	82977900	7728.27	0.0003	0.00006	0.0009	0.00018
Diclotophos	52859100	12663.46	0.0007	0.00014	0.0024	0.00048
E-Dimethomorph	21465700	7260.69	0.0010	0.00020	0.0034	0.00068
Z-Dimethomorph	28350400	4117.70	0.0004	0.00008	0.0015	0.00030
Ethaboxam	21901300	10273.64	0.0014	0.00028	0.0047	0.00094
Ethiofencarb	11965000	3695.11	0.0009	0.00018	0.0031	0.00062
Fenhexamid	15266900	2022.16	0.0004	0.00008	0.0013	0.00026
Fenpyroximate	85211300	9994.64	0.0004	0.00008	0.0012	0.00024
Ferimzone	162040000	24097.56	0.0004	0.00008	0.0015	0.00030
Fluacrypyrim	36435300	12422.43	0.0010	0.00020	0.0034	0.00068
Fluazinam	1124310	566.39	0.0015	0.00030	0.0050	0.00100
Flubendiamide	113849	95.69	0.0025	0.00050	0.0084	0.00168
Flufenacet	88489700	14923.85	0.0005	0.00010	0.0017	0.00034
Flufenoxuron	25864000	6468.07	0.0008	0.00016	0.0025	0.00050
Fluometuron	131120000	18841.71	0.0004	0.00008	0.0014	0.00028
Fluquinconazole	6879840	3489.28	0.0015	0.00030	0.0051	0.00102
Fluridone	93338400	15422.98	0.0005	0.00010	0.0017	0.00034
Forchlorfenuron	32021000	6479.39	0.0006	0.00012	0.0020	0.00040
Hexaflumuron	345110	271.95	0.0024	0.00048	0.0079	0.00158
Imazamox	9460770	4306.16	0.0014	0.00028	0.0046	0.00092
Imazapic	26881300	11653.26	0.0013	0.00026	0.0043	0.00086
Imazaquin	22251400	6087.06	0.0008	0.00016	0.0027	0.00054
Imazethapyr	25438400	7001.30	0.0008	0.00016	0.0028	0.00056
Imibenconazole	22076100	3184.39	0.0004	0.00008	0.0014	0.00028
Ipconazole	39574100	8682.84	0.0007	0.00014	0.0022	0.00044
Isoprocarb	24243900	6403.35	0.0008	0.00016	0.0026	0.00052
Isoproturon	104812000	13651.41	0.0004	0.00008	0.0013	0.00026
Isoxaben	200631000	44335.81	0.0007	0.00014	0.0022	0.00044
Lenacil	46521600	5104.08	0.0003	0.00006	0.0011	0.00022
Lufenuron	4129550	2567.76	0.0019	0.00038	0.0062	0.00124
Malaoxon	130715000	28487.36	0.0007	0.00014	0.0022	0.00044
Mepanipyrim	35519100	6149.82	0.0005	0.00010	0.0017	0.00034

Appendix 4. Limit of detection & limit of quantification(*continued*)

Compound	Slope	Standard Deviation	LOD <sup>a</sup> (mg/L)	LOD <sup>b</sup> (mg/kg)	LOQ <sup>c</sup> (mg/L)	LOQ <sup>d</sup> (mg/kg)
Metamifop	130332000	13526.42	0.0003	0.00006	0.0010	0.00020
Metamitron	19220500	1688.14	0.0003	0.00006	0.0009	0.00018
Methabenzthiazuron	127185000	16427.26	0.0004	0.00008	0.0013	0.00026
Methiocarb	30559500	6076.57	0.0006	0.00012	0.0020	0.00040
Methomyl	1665540	1077.35	0.0019	0.00038	0.0065	0.00130
Methoxyfenozide	17767200	6793.43	0.0011	0.00022	0.0038	0.00076
Metolcarb	5773130	1755.77	0.0009	0.00018	0.0030	0.00060
Metominostrobin	100182000	19007.68	0.0006	0.00012	0.0019	0.00038
Nitenpyram	12266700	3510.11	0.0009	0.00018	0.0029	0.00058
Novaluron	15892200	10089.65	0.0019	0.00038	0.0063	0.00126
Oxamyl	4162540	2298.32	0.0017	0.00034	0.0055	0.00110
Oxaziclomefone	129336000	15202.16	0.0004	0.00008	0.0012	0.00024
Pinoxaden	83322900	21192.29	0.0008	0.00016	0.0025	0.00050
Promecarb	23646800	4428.70	0.0006	0.00012	0.0019	0.00038
Propaquizafop	13388200	2130.82	0.0005	0.00010	0.0016	0.00032
Propoxur	10946100	5495.01	0.0015	0.00030	0.0050	0.00100
Prosulfocarb	110197000	12945.59	0.0004	0.00008	0.0012	0.00024
Pyraclonil	54535200	11696.36	0.0006	0.00012	0.0021	0.00042
Pyraclostrobin	74539600	18317.51	0.0007	0.00014	0.0025	0.00050
Pyraflufen-ethyl	37978400	5187.49	0.0004	0.00008	0.0014	0.00028
Pyrazolate	3036490	280.32	0.0003	0.00006	0.0009	0.00018
Pyribenzoxim	1360540	988.40	0.0022	0.00044	0.0073	0.00146
Pyributicarb	89847200	23161.20	0.0008	0.00016	0.0026	0.00052
Pyrimethanil	23281700	3397.59	0.0004	0.00008	0.0015	0.00030
Pyriproxifen	184089000	24958.37	0.0004	0.00008	0.0014	0.00028
Pyroquilon	64809300	10041.78	0.0005	0.00010	0.0015	0.00030
Quinoclamine	59728100	54950.44	0.0028	0.00056	0.0092	0.00184
Spirodiclofen	5881400	2659.31	0.0014	0.00028	0.0045	0.00090
Sulfentrazone	9424710	3017.28	0.0010	0.00020	0.0032	0.00064
Tebufenozide	15223800	4774.34	0.0009	0.00018	0.0031	0.00062
Tebuthiuron	165173000	20258.96	0.0004	0.00008	0.0012	0.00024
Teflubenzuron	3043370	2746.87	0.0027	0.00054	0.0090	0.00180
Tepraloxym	7110780	1996.69	0.0008	0.00016	0.0028	0.00056
Thenylchlor	19424600	4026.88	0.0006	0.00012	0.0021	0.00042
Thiacloprid	166420000	29486.08	0.0005	0.00010	0.0018	0.00036
Thiamethoxam	28376000	13084.52	0.0014	0.00028	0.0046	0.00092
Thiodicarb	10327600	1357.74	0.0004	0.00008	0.0013	0.00026
Tiadinil	231038	150.05	0.0019	0.00038	0.0065	0.00130
Tricyclazole	82376400	15832.13	0.0006	0.00012	0.0019	0.00038
Tridemorph	46850300	7975.09	0.0005	0.00010	0.0017	0.00034
Trifloxystrobin	167239000	22373.61	0.0004	0.00008	0.0013	0.00026
2,3,5-Trimethacarb	56515300	4540.28	0.0002	0.00004	0.0008	0.00016
Triticonazole	23343700	7426.52	0.0010	0.00020	0.0032	0.00064
XMC	11251300	6137.80	0.0016	0.00032	0.0055	0.00110

Note: Slope (slope of calibration curve), Standard Deviation(standard deviation of response)

a) Instrument detection limit

b) Method detection limit

c) Instrument quantification limit

d) Method quantification limit

## Appendix 5. Validation results of analysis method in the samples

Compound	Fortification (mg/kg)	Soybean			Hulled rice			Mandarin			Potato			Korean cabbage		
		Average±RSD (%)			Average±RSD (%)			Average±RSD (%)			Average±RSD (%)			Average±RSD (%)		
Acetamiprid	0.01	77.0	±	6.2	89.2	±	12.7	88.1	±	5.1	74.2	±	14.0	83.1	±	11.0
	0.10	79.6	±	4.5	80.0	±	7.3	78.4	±	2.8	84.4	±	8.9	81.4	±	3.6
	0.50	79.2	±	4.6	78.0	±	3.0	80.8	±	3.8	80.8	±	5.2	83.6	±	4.5
Aldicarb	0.01	72.4	±	6.2	74.0	±	12.1	78.2	±	8.2	76.1	±	11.8	79.3	±	10.2
	0.10	83.2	±	7.1	90.0	±	8.3	87.2	±	4.8	89.6	±	9.5	78.9	±	6.4
	0.50	78.4	±	4.6	88.8	±	5.7	90.8	±	3.7	88.4	±	6.5	82.5	±	3.2
Amisulbrom	0.01	76.0	±	8.3	79.3	±	13.5	88.4	±	5.1	78.4	±	7.2	74.3	±	15.4
	0.10	82.4	±	5.3	88.0	±	6.2	76.4	±	4.7	85.2	±	11.5	85.2	±	14.3
	0.50	81.6	±	8.6	78.0	±	9.7	80.8	±	10.1	88.8	±	7.9	85.6	±	9.3
Azamithiophos	0.01	72.0	±	6.2	72.1	±	6.2	74.1	±	7.4	70.3	±	10.1	66.3	±	23.0
	0.10	81.2	±	4.5	78.0	±	8.9	78.4	±	2.8	83.2	±	6.7	80.4	±	15.7
	0.50	80.0	±	5.9	76.4	±	6.0	81.2	±	2.8	80.8	±	5.2	81.6	±	15.8
Azoxytrobin	0.01	78.5	±	5.7	68.5	±	12.3	78.2	±	5.7	72.0	±	18.1	72.4	±	22.8
	0.10	86.8	±	5.3	82.0	±	3.9	80.8	±	2.2	95.2	±	7.4	82.0	±	9.6
	0.50	88.0	±	4.8	78.4	±	3.9	80.4	±	4.4	93.2	±	5.7	83.2	±	5.6
Bendiocarb	0.01	82.5	±	5.5	74.6	±	15.4	86.1	±	6.4	74.3	±	12.1	76.4	±	11.8
	0.10	82.8	±	5.6	84.8	±	6.4	80.4	±	2.7	85.6	±	10.9	82.0	±	12.8
	0.50	81.6	±	3.6	83.6	±	4.1	84.4	±	3.9	82.4	±	7.0	86.0	±	9.7
Bensulide	0.01	86.2	±	6.4	86.1	±	8.5	86.4	±	6.4	78.5	±	14.0	70.2	±	19.3
	0.10	83.2	±	10.3	76.0	±	5.6	80.0	±	4.0	81.6	±	10.0	84.0	±	14.8
	0.50	81.6	±	6.8	73.6	±	2.3	78.8	±	2.9	84.8	±	4.9	82.8	±	17.8
Benzoximate	0.01	76.1	±	11.8	76.3	±	11.8	78.5	±	10.7	64.3	±	14.0	74.0	±	20.5
	0.10	78.8	±	6.6	81.2	±	5.7	83.2	±	6.3	86.0	±	13.1	79.2	±	17.6
	0.50	77.2	±	5.1	81.6	±	11.1	85.2	±	6.3	83.2	±	3.7	83.2	±	16.8
Bixafen	0.01	88.1	±	5.1	68.9	±	12.3	84.1	±	6.5	76.2	±	11.8	76.0	±	20.0
	0.10	91.6	±	5.2	81.6	±	4.7	79.2	±	1.4	92.0	±	10.5	84.0	±	16.1
	0.50	90.0	±	4.4	78.4	±	3.9	80.0	±	5.9	86.8	±	5.3	84.0	±	15.9
Boscalid	0.01	74.0	±	5.8	72.2	±	6.2	71.3	±	3.5	74.2	±	7.4	78.0	±	19.0
	0.10	80.0	±	9.0	81.2	±	8.1	81.6	±	2.7	88.0	±	9.4	84.0	±	16.8
	0.50	80.4	±	6.7	79.2	±	8.7	79.0	±	6.4	85.6	±	8.4	87.2	±	16.6
Butocarboxim	0.01	71.3	±	8.3	78.7	±	8.6	80.0	±	8.8	79.2	±	11.8	78.0	±	10.7
	0.10	72.8	±	5.0	76.0	±	8.0	75.2	±	1.7	75.6	±	12.9	85.2	±	3.5
	0.50	70.2	±	5.7	76.4	±	3.0	75.9	±	4.7	75.6	±	4.0	78.6	±	8.1
Carbaryl	0.01	88.0	±	9.5	89.9	±	8.5	88.2	±	5.1	80.2	±	8.8	91.8	±	16.1
	0.10	81.6	±	3.6	91.6	±	7.3	94.8	±	3.2	89.6	±	6.8	90.8	±	15.6
	0.50	77.2	±	7.9	88.0	±	5.7	94.8	±	4.4	89.6	±	4.6	95.2	±	15.8
Carbetamide	0.01	76.0	±	11.8	78.0	±	10.7	84.2	±	6.5	78.6	±	10.7	76.0	±	20.0
	0.10	85.2	±	3.1	85.6	±	6.0	81.2	±	1.3	87.2	±	8.7	84.0	±	16.7
	0.50	82.8	±	7.2	81.6	±	3.7	84.8	±	4.6	85.2	±	4.7	86.8	±	15.7
Carbofuran	0.01	85.5	±	2.7	75.2	±	5.2	80.1	±	1.3	72.5	±	0.8	87.2	±	8.0
	0.10	80.5	±	2.9	74.6	±	1.7	74.8	±	1.3	71.6	±	1.9	89.8	±	2.5
	0.50	78.0	±	2.0	75.8	±	1.7	72.4	±	1.1	71.6	±	1.9	84.9	±	1.9
Chlormiuron-Ethyl	0.01	76.3	±	7.2	72.1	±	11.6	76.6	±	7.2	72.2	±	6.2	66.0	±	23.0
	0.10	72.8	±	4.2	83.6	±	7.8	70.8	±	1.5	75.6	±	11.0	81.2	±	17.5
	0.50	72.4	±	4.9	80.0	±	5.2	70.4	±	3.7	71.6	±	5.8	80.8	±	14.5
Chlorantraniliprole	0.01	74.3	±	12.1	70.2	±	10.1	78.1	±	5.7	73.2	±	13.6	74.0	±	12.1
	0.10	81.2	±	3.7	76.8	±	6.8	77.6	±	2.2	80.8	±	12.6	78.4	±	14.6
	0.50	80.4	±	5.7	72.8	±	7.3	76.0	±	4.2	78.0	±	8.2	78.4	±	15.5
Chlorbenzuron	0.01	78.1	±	5.7	82.4	±	5.5	86.2	±	6.4	71.4	±	17.5	78.0	±	16.7
	0.10	86.8	±	4.8	84.8	±	7.9	82.4	±	3.6	89.2	±	11.1	85.6	±	16.2
	0.50	87.6	±	4.9	82.8	±	6.1	85.6	±	4.5	85.6	±	6.2	86.4	±	13.4
Chlorotoluron	0.01	72.1	±	6.2	70.8	±	10.1	82.1	±	5.5	72.3	±	12.3	87.6	±	11.6
	0.10	79.6	±	5.4	79.2	±	6.8	78.4	±	2.8	80.8	±	7.5	87.2	±	5.8
	0.50	77.6	±	3.8	78.4	±	3.9	80.8	±	2.8	79.6	±	6.3	78.8	±	15.4
Chromafenazide	0.01	72.0	±	6.2	72.0	±	6.2	78.2	±	5.7	71.5	±	17.5	72.0	±	18.1
	0.10	84.8	±	4.6	83.2	±	5.0	83.6	±	2.6	86.4	±	10.0	82.0	±	15.7
	0.50	82.4	±	4.7	80.0	±	5.0	84.4	±	3.9	84.4	±	3.6	81.2	±	17.2
Clothianidin	0.01	62.1	±	7.2	64.3	±	8.6	74.1	±	7.4	71.2	±	7.2	72.0	±	15.2
	0.10	75.6	±	5.4	73.2	±	4.6	72.3	±	3.1	72.8	±	9.8	70.9	±	14.6
	0.50	74.4	±	2.2	71.6	±	4.8	72.0	±	2.0	74.4	±	7.1	72.2	±	9.1
Cyazofamid	0.01	72.3	±	6.2	74.0	±	7.4	78.9	±	5.7	73.4	±	13.6	76.0	±	20.0
	0.10	80.4	±	4.1	81.2	±	6.4	81.2	±	2.8	82.8	±	9.4	80.4	±	17.0
	0.50	78.4	±	5.5	78.4	±	6.4	82.8	±	2.2	80.8	±	6.2	81.2	±	16.4
Cycloprothrin	0.01	70.7	±	10.1	73.2	±	6.6	78.7	±	10.7	74.6	±	19.5	88.0	±	14.8
	0.10	81.2	±	7.1	82.0	±	11.6	74.0	±	8.3	89.2	±	6.8	81.6	±	16.1
	0.50	81.6	±	4.4	79.2	±	5.3	80.3	±	9.5	82.0	±	15.7	79.2	±	18.4
Cymoxanil	0.01	72.1	±	6.2	80.2	±	8.8	88.0	±	5.1	70.9	±	13.6	78.0	±	16.7
	0.10	79.6	±	4.8	80.8	±	7.3	79.6	±	2.8	84.0	±	11.2	79.6	±	11.0
	0.50	80.4	±	6.4	80.0	±	5.2	81.6	±	5.0	83.2	±	6.4	80.0	±	18.4

# Appendix 5. Validation results of analysis method in the samples(continued)

Compound	Fortification (mg/kg)	Soybean			Hulled rice			Mandarin			Potato			Korean cabbage		
		Average±RSD (%)			Average±RSD (%)			Average±RSD (%)			Average±RSD (%)			Average±RSD (%)		
Dicrotophos	0.01	82.0	±	5.5	82.1	±	5.5	84.1	±	5.8	72.3	±	15.2	76.0	±	20.0
	0.10	89.2	±	4.1	82.8	±	6.3	82.8	±	2.2	90.4	±	9.0	81.2	±	14.8
	0.50	88.8	±	5.9	80.0	±	2.9	84.8	±	1.3	88.0	±	4.5	83.2	±	13.2
Dimethomorph	0.01	89.8	±	5.2	86.7	±	10.4	89.5	±	15.7	76.9	±	11.8	90.5	±	13.7
	0.10	92.5	±	4.7	85.5	±	8.2	92.0	±	19.5	89.5	±	12.6	85.2	±	16.0
	0.50	95.6	±	2.6	96.8	±	5.5	93.6	±	18.2	87.9	±	4.9	86.4	±	14.1
Ethaboxam	0.01	67.3	±	7.2	69.7	±	8.6	74.0	±	7.4	70.7	±	12.3	74.0	±	20.5
	0.10	77.6	±	3.4	82.0	±	7.5	79.2	±	5.6	75.2	±	11.7	71.6	±	15.4
	0.50	74.8	±	5.2	78.8	±	3.9	77.8	±	3.2	74.8	±	2.7	72.4	±	15.9
Ethiofencarb	0.01	63.2	±	11.8	66.2	±	8.3	63.5	±	5.1	69.4	±	14.0	71.2	±	15.3
	0.10	71.2	±	8.3	71.9	±	6.7	70.8	±	1.5	71.2	±	11.7	79.2	±	15.0
	0.50	75.6	±	5.1	72.1	±	5.6	73.6	±	3.5	78.8	±	6.0	81.2	±	17.2
Fenhexamid	0.01	78.0	±	10.7	68.0	±	12.3	74.0	±	7.4	69.3	±	13.6	73.2	±	19.5
	0.10	83.6	±	3.5	81.2	±	6.7	78.8	±	4.6	86.8	±	11.7	80.8	±	15.2
	0.50	84.8	±	4.3	81.2	±	5.1	81.2	±	3.3	85.6	±	8.8	80.4	±	16.0
Fenpyroximate	0.01	84.0	±	6.5	72.0	±	6.2	86.2	±	6.4	80.4	±	15.3	82.4	±	13.4
	0.10	91.2	±	7.0	82.4	±	7.2	82.4	±	2.0	89.6	±	8.6	84.4	±	16.2
	0.50	90.0	±	4.2	80.4	±	5.2	83.6	±	2.0	86.4	±	4.0	82.8	±	16.7
Ferimzone	0.01	82.0	±	5.5	76.0	±	7.2	72.1	±	6.2	76.3	±	11.8	78.0	±	16.7
	0.10	85.6	±	5.1	82.0	±	5.7	81.2	±	4.5	88.4	±	10.5	81.2	±	15.5
	0.50	85.6	±	4.5	78.4	±	5.3	84.0	±	2.9	85.6	±	6.2	81.2	±	17.8
Flucrypyrim	0.01	76.0	±	7.2	70.0	±	3.5	84.1	±	6.5	76.3	±	11.8	72.0	±	15.9
	0.10	81.6	±	5.3	81.2	±	6.7	77.2	±	2.3	88.0	±	9.8	85.6	±	15.8
	0.50	77.6	±	5.0	80.4	±	4.3	81.2	±	5.1	84.4	±	6.3	87.2	±	12.6
Fluazinam	0.01	78.0	±	13.6	66.0	±	13.6	69.5	±	11.8	67.5	±	16.0	74.0	±	22.6
	0.10	72.0	±	6.7	83.2	±	6.0	72.4	±	8.9	91.6	±	13.0	70.5	±	15.0
	0.50	70.8	±	6.5	77.6	±	9.1	72.8	±	10.2	90.0	±	16.1	71.6	±	16.1
Flubendiamide	0.01	80.6	±	19.2	88.0	±	12.4	82.1	±	19.4	95.5	±	27.8	74.0	±	26.3
	0.10	80.0	±	9.8	80.0	±	13.5	84.0	±	10.5	91.6	±	14.8	72.1	±	15.0
	0.50	80.8	±	14.0	70.4	±	14.9	77.6	±	12.9	93.6	±	11.8	73.2	±	12.3
Flufenacet	0.01	82.1	±	5.5	74.0	±	7.4	78.3	±	10.7	72.4	±	13.6	76.0	±	20.0
	0.10	85.2	±	2.1	82.8	±	6.5	86.0	±	2.3	88.4	±	9.8	85.6	±	16.8
	0.50	84.8	±	6.2	80.0	±	5.2	88.0	±	3.2	86.4	±	4.8	88.0	±	17.8
Flufenoxuron	0.01	83.5	±	1.8	81.6	±	3.9	88.1	±	4.5	87.9	±	3.7	87.2	±	9.5
	0.10	76.7	±	1.7	80.0	±	4.2	84.4	±	4.1	81.0	±	1.4	89.2	±	2.3
	0.50	79.8	±	1.8	78.4	±	2.2	85.2	±	2.4	79.9	±	1.8	90.3	±	3.2
Fluometuron	0.01	70.7	±	1.6	72.1	±	6.2	76.2	±	11.8	76.2	±	13.6	78.3	±	19.2
	0.10	78.8	±	5.3	76.0	±	5.3	76.4	±	2.9	79.2	±	10.2	77.2	±	14.8
	0.50	77.6	±	3.4	74.8	±	4.6	79.2	±	4.6	78.4	±	5.9	78.0	±	16.3
Fluquinconazole	0.01	84.2	±	9.5	70.5	±	10.1	76.3	±	5.7	70.4	±	17.5	72.3	±	22.8
	0.10	85.6	±	6.3	73.2	±	7.1	77.6	±	7.2	81.2	±	12.8	77.6	±	10.5
	0.50	89.3	±	2.6	74.8	±	4.6	79.6	±	7.0	76.0	±	11.5	80.0	±	15.2
Fluridone	0.01	82.1	±	5.5	72.0	±	6.2	76.2	±	7.2	72.0	±	11.6	80.0	±	15.3
	0.10	86.0	±	6.4	78.4	±	7.5	77.6	±	2.2	87.6	±	8.8	79.2	±	15.2
	0.50	86.4	±	1.9	75.2	±	6.1	78.0	±	2.6	82.0	±	7.0	78.8	±	15.4
Hexaflumuron	0.01	73.2	±	11.0	62.0	±	7.2	73.7	±	17.9	86.0	±	24.1	65.6	±	10.9
	0.10	77.4	±	12.3	78.0	±	6.3	76.7	±	6.3	89.6	±	13.3	71.0	±	8.4
	0.50	70.9	±	13.5	72.8	±	8.4	71.0	±	5.5	88.0	±	8.6	80.8	±	12.3
Imibenconazole	0.01	82.8	±	5.5	70.0	±	4.9	78.3	±	5.7	72.3	±	15.2	74.0	±	15.4
	0.10	81.2	±	4.8	78.8	±	7.5	79.6	±	3.7	85.6	±	11.1	82.0	±	14.4
	0.50	79.2	±	3.8	76.4	±	3.0	82.4	±	4.7	83.2	±	7.7	80.0	±	16.6
Ipconazole	0.01	82.1	±	5.5	70.0	±	10.1	86.2	±	6.4	70.0	±	10.1	82.0	±	15.9
	0.10	84.8	±	6.4	81.2	±	7.1	80.4	±	3.2	88.8	±	9.4	81.2	±	15.3
	0.50	85.2	±	5.7	77.6	±	2.6	82.0	±	3.0	84.8	±	5.4	79.6	±	14.5
Isoproc carb	0.01	72.9	±	7.2	72.0	±	6.2	76.2	±	7.2	78.2	±	14.4	78.0	±	16.7
	0.10	73.6	±	2.3	73.6	±	9.1	73.6	±	2.3	72.0	±	7.9	72.4	±	14.5
	0.50	72.8	±	3.1	72.4	±	1.6	76.0	±	3.7	74.8	±	6.2	73.6	±	16.5
Isoproturon	0.01	74.2	±	7.4	68.0	±	12.3	81.2	±	1.6	76.0	±	11.8	84.0	±	18.1
	0.10	87.6	±	5.9	81.6	±	6.8	83.2	±	2.2	88.8	±	11.2	80.8	±	15.8
	0.50	82.8	±	5.0	79.6	±	2.5	86.4	±	4.1	84.8	±	7.6	82.0	±	14.8
Isoxaben	0.01	80.1	±	8.8	82.0	±	6.2	82.2	±	5.5	86.0	±	13.6	89.0	±	19.8
	0.10	86.0	±	5.2	80.4	±	7.3	82.8	±	1.3	89.6	±	8.4	84.0	±	12.7
	0.50	84.4	±	3.9	80.4	±	6.3	83.6	±	5.2	87.2	±	7.0	83.6	±	11.8
Lenacil	0.01	74.9	±	7.4	72.0	±	6.2	80.0	±	8.8	74.0	±	12.1	78.0	±	16.7
	0.10	78.0	±	4.1	79.6	±	6.7	81.2	±	2.2	81.2	±	9.1	76.8	±	13.0
	0.50	75.6	±	3.9	78.0	±	3.9	84.0	±	2.9	78.4	±	8.2	78.8	±	15.4



# Appendix 5. Validation results of analysis method in the samples(*continued*)

Compound	Fortification (mg/kg)	Soybean		Hulled rice		Mandarin		Potato		Korean cabbage	
		Average±RSD (%)		Average±RSD (%)		Average±RSD (%)		Average±RSD (%)		Average±RSD (%)	
Lufenuron	0.01	86.4	± 8.3	83.2	± 9.8	75.6	± 5.8	91.8	± 9.6	89.4	± 19.6
	0.10	90.5	± 7.9	83.8	± 9.1	76.3	± 6.1	79.9	± 6.9	89.5	± 12.7
	0.50	94.7	± 14.3	79.7	± 11.5	77.0	± 8.5	81.0	± 8.8	80.8	± 6.2
Malaoxan	0.01	72.9	± 6.2	78.4	± 11.8	77.5	± 1.2	78.0	± 12.3	79.3	± 15.2
	0.10	78.4	± 4.2	76.4	± 7.7	72.4	± 3.6	83.6	± 9.3	77.2	± 12.5
	0.50	76.0	± 4.9	73.2	± 5.7	74.4	± 2.2	80.4	± 4.3	78.4	± 11.1
Mepanipyrim	0.01	78.5	± 11.8	80.5	± 8.8	82.1	± 5.5	74.9	± 12.1	74.0	± 15.4
	0.10	81.6	± 5.4	82.8	± 8.1	81.2	± 2.2	88.4	± 8.8	81.6	± 15.6
	0.50	82.4	± 6.0	81.2	± 5.1	85.2	± 4.3	85.2	± 7.2	83.2	± 15.3
Metamifop	0.01	86.1	± 6.4	76.7	± 11.8	88.1	± 5.1	78.0	± 16.7	80.0	± 15.3
	0.10	93.6	± 6.3	80.0	± 3.5	80.4	± 1.1	94.4	± 8.8	83.2	± 16.4
	0.50	94.0	± 6.0	75.6	± 6.7	82.4	± 3.6	90.4	± 5.9	85.2	± 14.7
Metamitron	0.01	72.9	± 6.2	78.0	± 10.7	84.2	± 5.8	70.7	± 14.3	78.0	± 19.0
	0.10	95.2	± 8.5	81.2	± 6.7	84.4	± 2.0	87.6	± 10.6	83.2	± 12.4
	0.50	94.4	± 4.6	78.0	± 6.8	85.6	± 5.1	84.4	± 7.2	84.0	± 14.0
Methabenzthiazuron	0.01	72.9	± 6.2	74.7	± 8.6	76.5	± 7.2	72.9	± 7.2	90.4	± 9.2
	0.10	77.6	± 5.0	75.2	± 6.1	76.0	± 1.9	78.8	± 9.1	88.8	± 2.1
	0.50	76.0	± 4.2	72.8	± 4.2	78.0	± 3.6	76.0	± 4.6	91.8	± 2.7
Methiocarb	0.01	72.4	± 6.2	74.6	± 7.4	88.1	± 5.1	76.1	± 11.8	80.0	± 15.3
	0.10	82.0	± 6.2	86.0	± 7.4	82.8	± 2.2	83.6	± 8.5	84.0	± 17.5
	0.50	78.8	± 4.9	84.4	± 2.4	86.8	± 3.9	82.0	± 6.5	87.2	± 15.3
Methomyl	0.01	78.3	± 8.5	70.6	± 10.1	68.2	± 17.8	68.9	± 12.3	68.4	± 9.4
	0.10	72.0	± 5.2	72.0	± 8.6	74.0	± 3.3	75.2	± 13.2	74.5	± 8.7
	0.50	71.3	± 6.6	70.8	± 8.6	76.4	± 3.4	72.4	± 12.0	75.8	± 6.7
Methoxyfenozide	0.01	82.4	± 5.5	76.7	± 11.8	70.3	± 1.2	70.3	± 10.1	80.1	± 15.3
	0.10	79.6	± 5.4	81.2	± 6.7	80.0	± 6.4	86.0	± 10.8	80.4	± 14.7
	0.50	75.6	± 7.3	81.6	± 7.1	83.2	± 4.4	86.4	± 1.3	83.6	± 16.7
Metolcarb	0.01	78.3	± 5.7	74.1	± 15.4	79.1	± 9.1	78.4	± 10.7	72.5	± 6.0
	0.10	80.8	± 5.7	85.6	± 6.3	81.2	± 2.2	83.2	± 11.6	78.4	± 7.4
	0.50	75.2	± 8.1	83.2	± 10.8	86.8	± 4.8	78.4	± 8.2	81.1	± 6.2
Metominostrobin	0.01	76.1	± 7.2	72.3	± 6.2	82.1	± 5.5	78.9	± 10.1	76.3	± 9.5
	0.10	88.8	± 3.8	83.2	± 4.4	82.4	± 2.0	89.2	± 9.6	93.2	± 2.5
	0.50	88.4	± 5.4	80.8	± 4.3	84.0	± 4.1	88.4	± 6.5	95.4	± 2.1
Novaluron	0.01	88.5	± 4.9	78.4	± 7.6	90.2	± 6.7	95.4	± 4.6	85.8	± 11.7
	0.10	92.7	± 7.9	77.4	± 4.3	85.3	± 5.1	84.6	± 5.2	84.8	± 6.8
	0.50	86.4	± 3.1	81.0	± 1.0	81.0	± 1.4	82.4	± 2.5	87.3	± 4.2
Oxamyl	0.01	82.1	± 5.5	76.9	± 13.6	80.4	± 12.5	88.1	± 9.5	82.2	± 10.2
	0.10	75.2	± 7.2	84.0	± 8.1	84.0	± 2.9	89.2	± 9.1	80.0	± 17.0
	0.50	72.4	± 3.6	81.6	± 6.2	84.0	± 5.6	89.2	± 2.2	83.2	± 12.3
Oxazidomefone	0.01	76.2	± 7.2	72.7	± 6.2	88.2	± 5.1	74.0	± 12.1	75.9	± 23.7
	0.10	81.6	± 4.7	80.0	± 7.3	80.4	± 2.1	82.0	± 8.3	82.4	± 13.4
	0.50	80.8	± 5.7	78.0	± 3.0	82.0	± 4.2	80.4	± 5.7	84.0	± 11.0
Pinoxaden	0.01	92.0	± 4.9	90.3	± 7.9	88.1	± 5.1	90.1	± 13.6	92.3	± 16.1
	0.10	88.0	± 5.3	84.4	± 10.4	74.4	± 2.2	93.6	± 11.4	91.2	± 11.8
	0.50	87.6	± 3.8	81.6	± 7.1	75.2	± 5.2	89.6	± 5.9	89.6	± 12.9
Promecarb	0.01	70.9	± 0.9	72.2	± 6.2	78.6	± 5.7	78.9	± 12.3	76.3	± 20.0
	0.10	76.8	± 6.3	79.2	± 4.9	78.8	± 3.8	82.8	± 9.4	76.0	± 14.0
	0.50	71.6	± 3.6	77.2	± 5.2	77.2	± 2.3	79.6	± 5.0	80.8	± 13.6
Propaquizafop	0.01	82.0	± 5.5	76.0	± 7.2	82.7	± 5.5	76.0	± 11.8	80.0	± 15.3
	0.10	88.0	± 5.8	79.2	± 6.8	79.2	± 3.8	88.4	± 10.2	80.8	± 15.1
	0.50	87.6	± 5.5	76.4	± 4.0	80.0	± 4.7	85.2	± 8.1	81.2	± 13.0
Propoxur	0.01	72.3	± 7.2	74.1	± 14.0	76.7	± 8.3	72.3	± 7.2	70.9	± 17.5
	0.10	73.6	± 5.2	78.4	± 5.5	82.8	± 3.7	78.0	± 12.0	77.2	± 17.4
	0.50	70.4	± 5.8	76.4	± 4.5	86.4	± 5.3	74.8	± 7.1	87.8	± 4.1
Prosulfocarb	0.01	74.2	± 16.1	72.2	± 6.2	82.6	± 5.5	75.8	± 14.0	74.9	± 13.7
	0.10	91.2	± 5.9	81.2	± 7.1	79.2	± 2.3	88.0	± 8.9	81.2	± 14.0
	0.50	88.0	± 5.6	79.2	± 2.5	82.8	± 3.7	84.8	± 4.9	82.0	± 12.0
Pyraclonil	0.01	80.2	± 8.8	74.1	± 7.4	78.4	± 5.7	76.2	± 11.8	82.2	± 13.4
	0.10	87.6	± 3.4	83.6	± 6.0	80.8	± 2.8	88.3	± 10.0	83.6	± 16.5
	0.50	87.2	± 4.8	82.0	± 3.7	82.0	± 1.7	85.6	± 6.7	82.8	± 13.3
Pyraclostrobin	0.01	80.2	± 8.8	74.2	± 7.4	82.4	± 5.5	74.7	± 12.1	78.2	± 16.7
	0.10	85.6	± 3.5	82.4	± 5.8	82.0	± 3.0	87.6	± 9.5	83.2	± 15.7
	0.50	85.6	± 5.3	78.0	± 3.0	84.4	± 3.9	85.2	± 6.2	84.0	± 16.7
Pyraflufen-Ethyl	0.01	90.1	± 7.9	84.0	± 12.1	88.3	± 5.1	86.4	± 10.4	86.0	± 17.6
	0.10	97.2	± 6.4	90.4	± 5.9	90.0	± 4.2	94.5	± 8.6	91.2	± 15.6
	0.50	96.7	± 5.2	87.6	± 5.7	92.0	± 4.3	94.8	± 5.6	92.8	± 15.6
Pyrazolate	0.01	72.0	± 4.6	78.0	± 23.7	79.8	± 4.0	71.2	± 14.1	87.5	± 11.6
	0.10	72.8	± 7.4	70.8	± 19.5	71.2	± 4.3	70.9	± 15.8	77.6	± 15.8
	0.50	71.6	± 4.1	76.1	± 18.5	73.6	± 5.6	71.2	± 17.9	76.8	± 16.5

Appendix 5. Validation results of analysis method in the samples(*continued*)

Compound	Fortification (mg/kg)	Soybean			Hulled rice			Mandarin			Potato			Korean cabbage		
		Average±RSD (%)			Average±RSD (%)			Average±RSD (%)			Average±RSD (%)			Average±RSD (%)		
Pyribenzoxim	0.01	73.0	±	17.3	76.0	±	8.3	88.0	±	12.4	80.2	±	15.3	82.3	±	13.4
	0.10	82.4	±	3.2	90.4	±	4.3	85.6	±	7.6	80.8	±	8.9	79.2	±	17.0
	0.50	78.8	±	4.2	91.6	±	6.6	91.6	±	6.1	80.8	±	1.4	80.8	±	12.2
Pyributicarb	0.01	72.0	±	6.2	76.0	±	11.8	88.2	±	5.1	74.1	±	12.1	80.1	±	15.3
	0.10	88.4	±	6.1	82.8	±	6.1	80.8	±	4.1	90.0	±	9.7	84.0	±	15.5
	0.50	89.2	±	5.2	80.8	±	6.2	82.4	±	4.0	86.4	±	4.8	82.8	±	16.1
Pyrimethanil	0.01	76.0	±	7.2	70.0	±	10.1	74.4	±	7.4	68.9	±	12.3	84.8	±	6.0
	0.10	74.0	±	3.3	77.6	±	6.2	76.0	±	3.2	78.0	±	9.6	86.8	±	3.9
	0.50	74.0	±	6.6	76.4	±	6.0	81.2	±	4.5	76.0	±	4.6	89.4	±	4.2
Pyriproxifen	0.01	72.0	±	6.2	82.0	±	6.2	80.2	±	8.8	84.2	±	4.6	80.3	±	6.5
	0.10	81.6	±	3.6	78.0	±	6.5	79.2	±	2.3	94.1	±	9.6	82.0	±	11.7
	0.50	80.8	±	4.8	76.4	±	6.6	81.2	±	2.2	93.4	±	6.7	82.8	±	9.9
Pyroquilon	0.01	70.9	±	2.3	71.3	±	7.2	76.5	±	7.2	72.4	±	9.3	84.0	±	10.6
	0.10	75.6	±	3.9	72.8	±	7.7	71.6	±	3.1	80.0	±	9.2	74.0	±	13.6
	0.50	74.0	±	3.8	71.2	±	5.6	73.6	±	3.5	75.6	±	6.1	73.6	±	15.9
Quinoclamine	0.01	71.3	±	8.3	78.6	±	8.6	72.3	±	8.6	73.8	±	11.8	80.2	±	8.1
	0.10	76.4	±	7.7	74.4	±	5.8	78.4	±	1.3	80.8	±	9.0	81.4	±	5.3
	0.50	77.6	±	6.2	72.8	±	6.9	75.2	±	5.2	79.6	±	3.8	83.8	±	4.0
Spirodiclofen	0.01	80.1	±	8.8	74.2	±	7.4	69.8	±	1.2	78.1	±	10.7	82.3	±	11.9
	0.10	80.4	±	3.2	72.8	±	8.4	76.9	±	2.4	80.4	±	9.4	74.6	±	14.2
	0.50	82.8	±	4.4	70.4	±	5.9	75.9	±	6.2	77.2	±	5.4	75.2	±	14.5
Sulfentrazone	0.01	72.1	±	6.2	66.0	±	13.6	67.3	±	8.8	70.5	±	20.2	70.2	±	17.5
	0.10	73.2	±	5.0	76.4	±	7.0	76.8	±	3.9	75.2	±	12.0	78.4	±	17.4
	0.50	74.8	±	3.9	75.6	±	8.5	78.4	±	4.2	73.2	±	2.4	71.8	±	18.7
Tebufenozide	0.01	70.2	±	10.1	84.3	±	13.6	84.2	±	6.5	76.1	±	11.8	78.2	±	16.7
	0.10	88.4	±	3.4	80.8	±	8.7	85.6	±	4.2	86.8	±	11.6	82.4	±	17.5
	0.50	83.6	±	3.9	81.6	±	2.5	88.0	±	2.3	85.2	±	11.6	86.8	±	14.8
Tebuthiuron	0.01	74.5	±	7.4	72.7	±	6.2	78.2	±	5.7	66.9	±	13.6	68.0	±	19.2
	0.10	84.4	±	5.4	80.8	±	7.1	78.0	±	4.8	88.4	±	8.5	82.4	±	14.6
	0.50	84.8	±	4.9	78.0	±	5.3	80.0	±	4.3	84.0	±	6.3	82.8	±	13.9
Teflubenzuron	0.01	72.3	±	7.7	73.2	±	8.8	73.9	±	13.5	76.0	±	15.0	75.2	±	17.6
	0.10	72.7	±	9.1	82.8	±	15.8	78.4	±	5.8	77.6	±	10.8	73.2	±	17.9
	0.50	79.6	±	14.1	79.2	±	15.8	84.0	±	14.0	77.6	±	9.1	73.6	±	18.6
Tepaloxymid	0.01	72.3	±	11.9	69.2	±	8.6	73.6	±	8.8	78.3	±	10.7	72.3	±	13.4
	0.10	83.2	±	5.5	71.2	±	9.9	79.6	±	3.7	77.2	±	10.8	70.4	±	14.3
	0.50	78.4	±	4.6	71.9	±	6.7	80.0	±	6.4	73.6	±	8.7	72.6	±	16.1
Thenylchlor	0.01	78.3	±	12.3	80.0	±	8.8	88.1	±	5.1	72.1	±	6.2	84.0	±	18.1
	0.10	82.8	±	2.8	88.8	±	6.3	82.8	±	4.0	82.0	±	7.1	84.8	±	16.4
	0.50	79.6	±	6.7	87.2	±	4.0	83.6	±	1.1	80.0	±	7.2	86.8	±	14.4
Thiacloprid	0.01	72.1	±	6.2	70.9	±	10.1	82.2	±	5.5	72.9	±	13.5	71.5	±	19.4
	0.10	80.4	±	3.2	80.4	±	5.9	78.8	±	2.9	87.2	±	9.0	81.2	±	11.9
	0.50	80.0	±	5.0	78.4	±	5.9	80.4	±	2.7	84.4	±	5.5	81.6	±	10.7
Thiametoxam	0.01	76.2	±	8.3	72.0	±	6.2	76.4	±	7.2	68.9	±	12.3	70.2	±	17.5
	0.10	73.6	±	4.0	73.6	±	5.2	74.8	±	1.5	76.8	±	9.3	72.8	±	13.1
	0.50	72.8	±	5.4	72.8	±	6.9	79.2	±	2.3	75.6	±	7.6	74.4	±	13.3
Thiodicarb	0.01	78.0	±	10.7	72.5	±	6.2	80.2	±	8.8	74.2	±	7.4	82.0	±	13.4
	0.10	81.6	±	4.4	80.4	±	7.5	83.2	±	4.4	80.4	±	10.3	78.0	±	13.7
	0.50	79.6	±	4.8	80.0	±	5.8	84.4	±	3.1	81.2	±	4.3	79.6	±	14.5
Tiadinil	0.01	64.9	±	8.6	70.6	±	13.6	70.6	±	21.7	64.8	±	10.6	68.0	±	21.8
	0.10	84.8	±	10.0	71.2	±	12.7	74.4	±	12.2	74.4	±	7.5	82.0	±	12.3
	0.50	81.2	±	10.7	76.0	±	16.2	72.7	±	14.8	80.0	±	10.9	84.4	±	17.9
Tricyclazole	0.01	74.0	±	7.4	73.4	±	10.1	72.7	±	5.5	70.6	±	10.1	74.0	±	15.7
	0.10	81.2	±	3.7	76.0	±	5.6	76.0	±	2.6	83.2	±	11.1	78.4	±	17.0
	0.50	80.8	±	6.2	74.4	±	5.6	79.2	±	3.8	80.8	±	5.7	79.6	±	17.4
Tridemorph	0.01	70.9	±	10.1	68.3	±	6.6	71.2	±	7.2	76.2	±	11.8	74.1	±	15.4
	0.10	78.0	±	4.8	71.6	±	7.8	73.2	±	1.5	78.8	±	9.3	73.6	±	15.8
	0.50	79.2	±	6.3	72.1	±	2.9	76.4	±	4.3	75.6	±	5.3	73.6	±	15.0
Trimethacarb	0.01	74.5	±	7.4	72.0	±	6.2	78.2	±	5.7	70.2	±	12.3	80.3	±	15.3
	0.10	80.8	±	5.4	80.4	±	7.3	78.0	±	1.8	82.4	±	9.9	80.0	±	15.4
	0.50	76.4	±	3.4	78.4	±	5.9	80.4	±	2.7	80.4	±	5.7	82.4	±	14.2
Triticonazole	0.01	78.3	±	5.7	72.1	±	6.2	72.2	±	6.2	68.3	±	12.3	76.0	±	17.7
	0.10	81.2	±	4.8	76.4	±	6.2	78.0	±	4.1	83.2	±	10.3	78.0	±	15.1
	0.50	79.2	±	4.6	74.4	±	1.6	80.8	±	2.2	80.8	±	8.9	80.8	±	15.7
Trifloxystrobin	0.01	80.1	±	8.8	82.1	±	4.7	80.5	±	8.8	76.2	±	11.8	78.0	±	16.7
	0.10	85.6	±	4.5	80.4	±	6.9	80.0	±	3.1	91.6	±	8.1	83.2	±	11.1
	0.50	84.0	±	4.5	78.0	±	4.4	79.6	±	4.8	89.2	±	5.9	83.2	±	9.1
Xmc	0.01	71.3	±	8.6	74.2	±	12.1	70.2	±	2.3	71.2	±	13.6	74.2	±	12.1
	0.10	73.6	±	3.0	71.2	±	5.8	73.2	±	1.5	70.4	±	11.8	70.4	±	14.7
	0.50	71.2	±	3.2	73.6	±	5.7	75.2	±	3.6	71.6	±	5.8	74.8	±	14.1

## 02 / 환경 분야

❖ 물놀이지역 위생학적 수질 평가 -----	127
❖ 내수면 수산물 양식장 배출수 특성에 관한 연구 -----	149
❖ 강우에 의한 약수터 수질변화 조사 -----	171
❖ 토양 중금속 검사방법 개선에 관한 연구 -----	189
❖ 공원 녹지시설의 토양환경 조사 -----	211
❖ 축산시설 악취 배출특성 연구 -----	227
❖ 고농도 오존 발생 특성 평가 -----	245
❖ 기류가 경남 서부지역 대기오염물질 농도에 미치는 영향 -----	277
❖ 합성고무바닥재 중금속 오염 실태조사 -----	303



## 02 : 환경 분야

### **물놀이지역 위생학적 수질 평가**



# 물놀이지역 위생학적 수질 평가

이미연 · 윤혜정 · 이인아 · 정성욱 · 정인호 · 변종환 · 임중근 · 조인철

수계조사팀

## Assessment of river water quality for recreational purposes

Mi-yeon Lee, Hae-jung Yeun, In-a Lee, Sung-wook Jung,  
In-ho Jung, Jong-hwan Byun, Jung-gun Im, In-cheol Cho

Watershed Research Team

### Abstract

This study was conducted to protect the health of recreational water users. In particular, the effects of rainfall runoff on recreational waters were investigated and analyzed for microorganisms, nutrients, and organic materials in the Hwang river. Based on the 10 years of data at the target site, the average water quality was classified to the "good" level in environmental criteria. And the microorganisms were more affected by the rainfall runoff than the other components. If the guidelines for safe recreational water by U.S. Environmental Protection Agency was applied, the concentration of *enterococci* was occasionally worse level than that of *E. coli* from June to September. After 8 mm rainfall, water quality was suitable for the recreational waters criteria by *E. coli* of 92/100 mL and *enterococci* of 50/100 mL. However, after 110 mm rainfall, the water quality was not suitable for the recreational uses in terms of *E. coli* (2,256/100 mL) and *enterococci* (2,859/100 mL). Though the concentration of microorganisms gradually decreased after 24 hours, but still was inadequate to the recreational purposes due to *E. coli* (467/100 mL) and *enterococci* (519/100 mL).

**Key words** : Recreational waters quality, Rainfall runoff, *E-coli*, *Enterococci*

## I. 서 론

물놀이지역은 물놀이가 빈번하게 이루어지는 하천, 호소, 계곡 등을 말한다.<sup>1)</sup> 이들 지역은 강우 시 주택가, 상가, 도로, 농지, 산지, 공사장과 대기 중의 오염물질 등 인접한 불특정 장소에서 발생하는 불특정 오염원인 비점오염원의 영향을 받기 쉽다. 게다가 도시화 및 산업화로 불투수층 면적이 증가하면서 비점오염원에 의한 하천, 호소의 수질오염은 더욱 증가하고 있다.<sup>2)</sup> 이에 강우 시 비점오염원에 의한 여름철 물놀이지역의 수질오염 또한 우려된다.

물놀이 용수의 안전성을 위협하는 요소로는 크게 수인성 전염병을 유발하는 병원성 미생물과 급성 장애 또는 장기간 노출 시 만성질환을 일으킬 수 있는 화학물질이 있다. 이중 물놀이 시 건강에 미치는 영향이 빈번한 질병은 병원성 미생물에 의한 수인성 전염병이다.<sup>3)</sup> 이러한 감염은 대체로 가벼운 증상을 동반하는 경향이 있어 감지가 어렵다.<sup>4)</sup> 뿐만 아니라 면역력이 약한 아이들의 경우 쉽게 감염될 수 있고 심각한 질병으로 악화될 수 있어 각별한 주의가 필요하다. 또한, 실내 물놀이 시설 등에 적용하는 소독처리가 어려워 사전 수질 조사를 통한 예방이 특히 요구된다.

이러한 물놀이지역의 안전성 확보를 위해 물환경보전법에서는 물놀이

자체 권고기준을 100 mL당 대장균 500 개체수 이상으로 정하여 이를 초과할 경우 해당 지자체가 오염현황 및 주의사항을 이용객들에게 안내하도록 규정하고 있다.<sup>5)</sup>

그러나 비가 그친 후 시료 채취부터 검사 결과를 얻기까지 2일가량 소요됨에 따라 강우 직후 물놀이 이용객을 위한 신속하고 시기적절한 수질 안내가 힘든 상황이다.

따라서 본 연구는 강우 직후 수질 변화의 경향성을 파악하여 강우 영향에 따른 수질 변화를 예측하는 자료로 활용하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 연구대상

경남 도내 관리 중인 9개소 물놀이지역(2019년 현재) 중 황강(합천군 대양면 정양리)에 있는 물놀이지역을 대상으로 조사하였다. 대상지점은 환경부 하천수질측정망 「황강 2」 지점으로 물환경정보시스템의 10년간 자료(2009년~2018년) 및 동기간 기상청 자료를 활용하여 강우가 수질 변화에 미치는 영향을 조사하였다.

강우 직후 수질변화를 파악하기 위해 2시간 간격으로 시료를 채취하여 분석하였고, 대조군으로 여름철 비강우시에도 2시간 간격으로 수질 변동사항을 조사하였다.

또한, 물놀이가 주로 이루어지는 지



점인 중류를 중심으로 상류, 중류, 하류의 수질을 조사하였다. 인근 하수종말처리장은 대상지점 하류에 위치해 하수처리장 방류수로 인한 영향은 없을 것으로 판단되며, 강우 자료는 인접한 합천기상관측소의 것을

활용하였다. 수질 조사 주기는 2019년 1~9월까지 매월 1회씩 3개 지점을 조사하였으며, 강우 직후 및 여름철 비강우 시 수질 조사를 추가로 실시하였다.



Fig. 1. Sampling site in Hwang river used for recreational water.

## 2. 분석방법

수질미생물 총대장균군, 분원성대장균군, 대장균, 장구균 4항목과 하천 생활환경기준인 수소이온농도(pH), 생물화학적산소요구량(BOD), 총유기탄소량(TOC), 부유물질량(SS), 용존산소

량(DO), 총인(T-P) 등 6항목 및 총질소(T-N), 암모니아성질소( $\text{NH}_3\text{-N}$ ), 전기전도도(EC)를 추가하여 총 13항목을 조사하였다.

2009년부터 2018년까지의 기존 10년간 수질미생물 측정자료는 막여과법을 적용한 결과이고, 본 연구에서

는 효소기질정량법(효소발색법)<sup>6)</sup>을 이용하였다. 효소기질정량법은 24시간 경과 후 총대장균군과 대장균을 동시에 판정할 수 있어 신속한 대응이 요구되는 물놀이지역 수질검사에서 더욱 효과적인 시험 방법으로 판단된다.<sup>7)</sup>

효소기질정량법의 검사배지는 젓당 분해효소인  $\beta$ -galactosidase의 기질이며, 분해될 때 색깔을 띠는 발색기질인 ONPG(ortho-nitrophenyl- $\beta$ -D-galactopyranoside)가 들어 있다. 35°C에서 24시간 배양 후 배지가 노란색으로 변하면 총대장균군 양성으로 판정하며, 45°C에서 24시간 배양 후 배지가 노란색으로 변하면 분원성대장균군으로 판정한다.

대장균의 경우는  $\beta$ -galactosidase가 MUG(4-methyl-umbelliferyl- $\beta$ -D-glucuronide)의 발색 기질을 분해하여 35°C에서 24시간 배양 후 366 nm의 자외선램프로 형광발색 여부에 따라 양성으로 판정한다.

장구균은  $\beta$ -glucosidase 효소가 MUG(4-methyl-umbelliferyl- $\beta$ -D-glucoside)을 분해하여 41°C에서 24시간 배양 후 형광의 색깔 변화를 보이면 양성으로 판정한다.<sup>8,9)</sup>

BOD 등 일반항목 분석은 수질오염공정시험기준에 준하여 진행하였다.

### 3. 지표미생물

수질오염의 정도를 파악하기 위해

물속에 존재하는 모든 종류의 병원성 미생물을 조사하는 것은 현실적으로 힘들다. 따라서 미생물 가운데 분변에 의한 오염을 추정하게 해주는 지표미생물을 조사하여 수질오염의 정도를 예측한다. 대표적인 지표미생물로는 총대장균군, 분원성대장균군 등이 있다.

총대장균군은 젓당을 분해하여 산과 가스를 생성하는 대장균과 생리학적인 특성이 같은 모든 종류의 호기성 또는 통성혐기성 그람음성·무아포성 간균을 말한다. 분원성대장균군은 총대장균군의 하위 집단(subgroup)으로 44.5°C에서 증식할 수 있어 온혈동물의 배설물로 인한 오염에 총대장균군보다 더 밀접한 상관성을 가지는 것으로 알려져 있다. 대장균은 특정 종(species)으로서 분변성 오염에 대한 특이성이 가장 높다. 또한, 총대장균군에는 대장균 이외에 *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella* 일부가 같이 검출되며 이러한 미생물의 검출은 총대장균군의 수치를 참값보다 큰 값으로 평가되게 한다.<sup>10)</sup>

장구균은 포유동물의 소화장관에서 발견되는 구균으로, 젓산균으로 분류되며 서식 가능 온도(10~45°C) 및 pH(4.5~10.0)의 범위가 넓고, 6.5%의 NaCl 존재 하에서도 성장할 수 있다. 사람의 대장에서 주로 발견되는 장구균에는 *E. faecalis*와 *E. faecium*가 있다.

대장균과 장구균의 관계는 Bergey's

분류법에 따라 정리하였다.<sup>11)</sup>

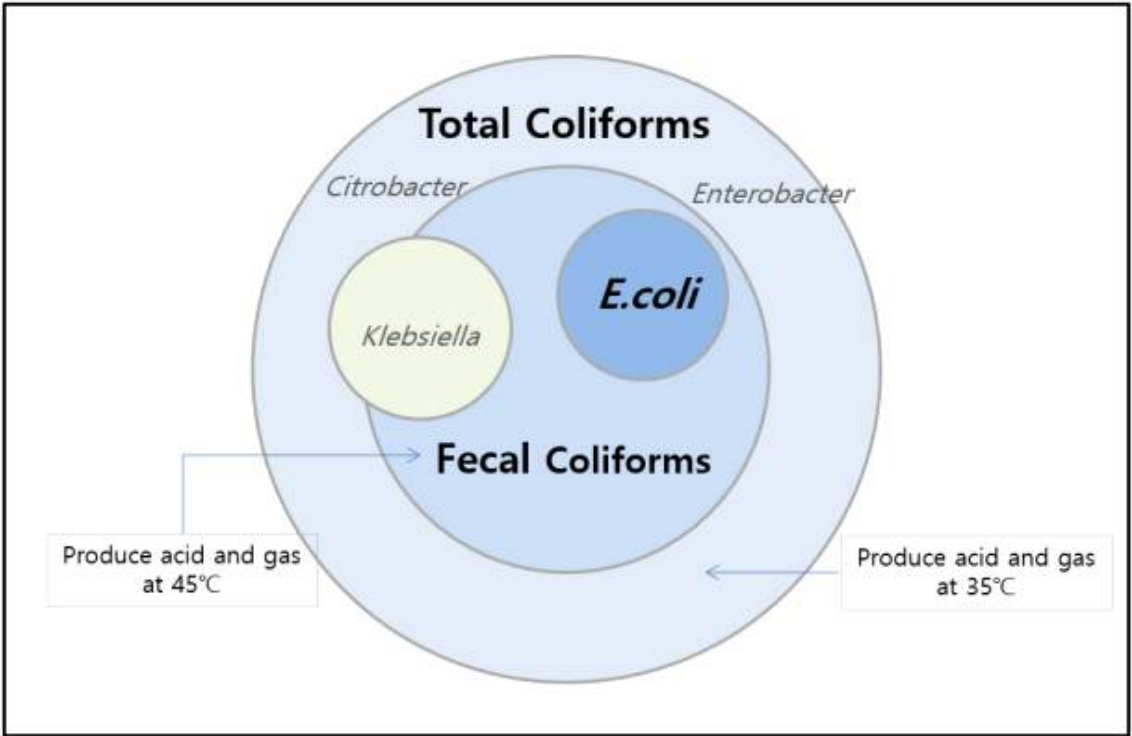


Fig. 2. Total Coliforms, Fecal Coliforms, *E.coli* relation map.

Table 1. *Escherichia* and *Enterococcus*' Scientific Classification

Scientific classification	<i>Escherichia coli</i>	<i>Enterococcus</i> <sup>12)</sup>
Domain	Bacteria	
Kingdom		
Phylum(Division)	<i>Proteobacteria</i>	<i>Firmicutes</i>
Class	<i>Gammaproteobacteria</i>	<i>Bacilli</i>
Order	<i>Enterobacteriales</i>	<i>Lactobacillales</i>
Family	<i>Enterobacteriaceae</i>	<i>Enterococcaceae</i>
Genus	<i>Escherichia</i>	<i>Enterococcus</i>
Species	<i>E. coli</i>	<i>E. faecalis</i> <i>E. faecium</i> etc.

### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 수질 특성

##### 가. 연도별 수질 변화

물환경정보시스템<sup>13)</sup>의 하천수질측정망 10년간 자료 120건을 대상으로 상류지점(합천군 합천읍, 제2남정교)의 연평균 수질을 분석하였다. BOD는 10년 평균값이 1.0 mg/L(0.6~1.3)였고, SS는 7.5 mg/L(3.1~14.4)로 두 항목 모두 “매우좋음(Ia)” 수준으로 나타났다. COD는 3.1 mg/L(2.6~3.3)이었고, TOC는 2.5 mg/L(2.2~2.9, 6년간 자료)로 역시 “좋음” 수준 이상을 유지하는 것으로 분석되었다. T-P는 0.029 mg/L(0.013~

0.051)로 2014년 한 해를 제외하고는 “좋음” 수준 이상이었다. 총대장균군과 분원성대장균군의 연평균 분석에는 기하평균을 사용하였다. 이는 미생물의 발생빈도분포가 일반항목이 정규분포를 따르는 것과는 달리 저농도에 치우친 분포를 보이며, 증가경향이 지수적이기 때문이다.<sup>14)</sup> 총대장균군은 200/100 mL(49~1,314), 분원성대장균군은 9/100 mL(3~23)으로 농도 분포범위는 넓으나 10년 평균은 “좋음”으로 분석되었다. 10년간 수질 자료를 분석한 결과, 대상지점인 황강의 수질은 “좋음” 수준 이상이었으며, 물놀이에 매우 적합한 지역으로 나타났다.

Table 2. Annual mean concentration of water pollutants on the sampling site

Year	BOD (mg/L)	SS (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Total Coliforms (/100mL)	Fecal Coliforms (/100mL)	
2009	0.9	3.5	2.6	–	1.306	0.015	236	18	
2010	1.0	6.8	3.2	–	1.339	0.028	354	23	
2011	0.9	8.2	3.1	–	1.454	0.039	81	5	
2012	1.1	14.4	2.9	–	1.626	0.032	57	16	
2013	1.0	12.6	3.2	2.5	1.641	0.032	113	9	
2014	1.3	8.8	3.3	2.3	1.531	0.051	74	8	
2015	1.0	7.1	3.2	2.2	1.637	0.033	49	3	
2016	1.3	6.6	3.1	2.4	1.568	0.023	1314	9	
2017	0.7	3.1	3.0	2.9	1.534	0.013	975	6	
2018	0.6	4.2	3.1	2.9	1.612	0.021	486	6	
Average	1.0	7.5	3.1	2.5	1.524	0.029	200*	9*	
Water quality standards for river	Excellent	≤1	≤25	≤2	≤2	–	≤0.02	≤50	≤10
	Good	≤2	≤25	≤4	≤3	–	≤0.04	≤500	≤100
	Fair	≤3	≤25	≤5	≤4	–	≤0.1	≤1,000	≤200
	Poor	≤5	≤25	≤7	≤5	–	≤0.2	≤5,000	≤1,000

\* : Geometric mean

#### 나. 월별 수질 변화

10년간 자료를 월별로 정리하여 계절별 수질 변화를 분석하였다. BOD는  $1\pm0.2$  mg/L 수준으로 두드러진 계절적 영향은 없는 것으로 나타났다. SS는 강수량이 많은 7월과 8월에 높았고, COD는 7월과 9월이 다른 기간에 비해 높게 나타났다. TOC는 7~9월, T-N은 6~9월, T-P는 7~9월이 다른 기간에 비해 다소 높은 것으로 나타났다. 총대장균군은 6~9월, 분원성대장균군은 7

~9월이 높게 나타났다. BOD를 제외한 항목들은 여름철에 높은 경향을 보였다. 다만 SS, COD, TOC, T-N, T-P는 월 최고농도와 평균의 비가 2 이하로 적은 편차를 보였으나, 총대장균군과 분원성대장균군은 월 최고농도와 평균의 비가 5.5와 8.6으로 큰 변화폭을 보였다. 따라서 일반항목보다 미생물 항목이 기온 및 강우 등 계절적 변화에 민감한 것으로 판단된다.

Table 3. Monthly mean concentration of pollutants on the sampling site

Month		BOD (mg/L)	SS (mg/L)	COD (mg/L)	TOC (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	Total Coliforms (/100mL)	Fecal Coliforms (/100mL)
1		1.0	4.3	3.1	2.1	1.430	0.019	45	3
2		0.9	7.5	2.9	2.0	1.465	0.034	57	3
3		0.9	6.5	2.7	2.3	1.406	0.028	52	3
4		1.1	7.0	2.8	2.3	1.478	0.022	50	3
5		1.2	7.3	3.0	2.2	1.568	0.019	164	5
6		0.9	7.7	2.8	2.4	1.606	0.022	411	15
7		1.1	12.9	3.7	2.8	1.586	0.041	1093	74
8		1.0	9.3	2.9	3.3	1.582	0.040	907	45
9		0.9	8.5	3.6	3.1	1.593	0.040	1042	45
10		0.9	6.8	3.0	2.6	1.564	0.035	348	12
11		0.9	6.5	3.4	2.5	1.499	0.023	209	5
12		0.8	5.3	3.0	2.6	1.496	0.019	108	3
Average		1.0	7.5	3.1	2.5	1.524	0.029	200*	9*
Max./Average		1.3	1.7	1.2	1.3	1.1	1.4	5.5	8.6
Water quality standards for river	Excellent	≤1	≤25	≤2	≤2	–	≤0.02	≤50	≤10
	Good	≤2	≤25	≤4	≤3	–	≤0.04	≤500	≤100
	Fair	≤3	≤25	≤5	≤4	–	≤0.1	≤1,000	≤200
	Poor	≤5	≤25	≤7	≤5	–	≤0.2	≤5,000	≤1,000

\* : Geometric mean

#### 다. 강우량에 따른 수질 변화

합천기상관측소 자료를 토대로 대 상지점의 10년간 일일 강우량을 조 사하였다. 총 강우일 1,127일 중 약 50%가 3 mm 이하의 강우량을 기록

하였으며, 약 70%가 10 mm 이하의 강우를 기록하였다. 약 30%에 해당 하는 10 mm 초과 강우일 중 55%가 6~9월에 집중되었다.

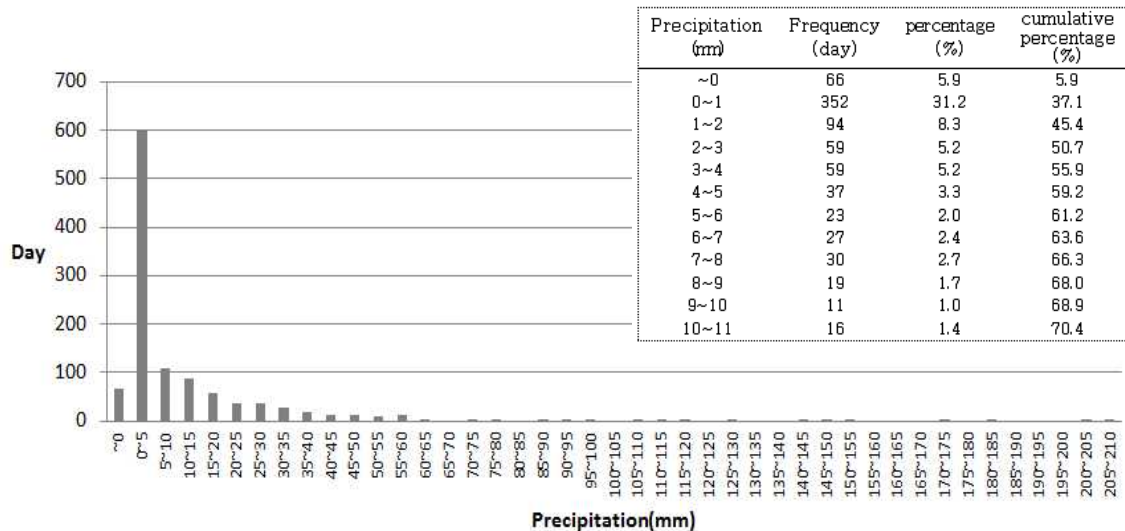


Fig. 3. Rainfall and rainy days analysis for 10 years in this study region.

10년간 120건의 하천수질측정망 자 료 중 주요 6개 항목을 대상으로 시 료 채취 직전 강우량에 따라 4단계 로 구분하여 비교하였다. 각 단계는 강우 없음, 5 mm 미만, 5~10 mm 미 만, 10 mm 이상이며 각 구간의 자료 수는 85건, 16건, 6건, 13건이다. 강 우 없음에 해당하는 자료의 수는 전 체의 71%를 차지했다. Fig. 4은 각 구간에 따른 주요 항목의 boxplot이 다. BOD, SS, T-P, 총대장균군, 분 원성대장균군의 경우에는 강우량이 10 mm 이상인 그룹에서 최댓값이 증 가하고 농도의 분포 범위가 확대됨

을 확인할 수 있었다. T-N의 경 우 는 강우 전과 강우 후의 농도에 큰 변화가 없었다.<sup>15,16)</sup>

총대장균군과 분원성대장균군은 BOD, SS, T-P의 변동과 비교했을 때 중앙 값과 최댓값의 확연한 증가가 확인되 었다. 이는 미생물 항목이 일반항목 보다 강우 유출수에 민감하게 반응 하기 때문으로 판단되며, 물놀이지역 자제 권고기준인 대장균 항목을 대 신하여 분석 시간을 단축하면서 대 체할 수 있는 일반항목 선정이 어렵 다는 것을 시사한다.

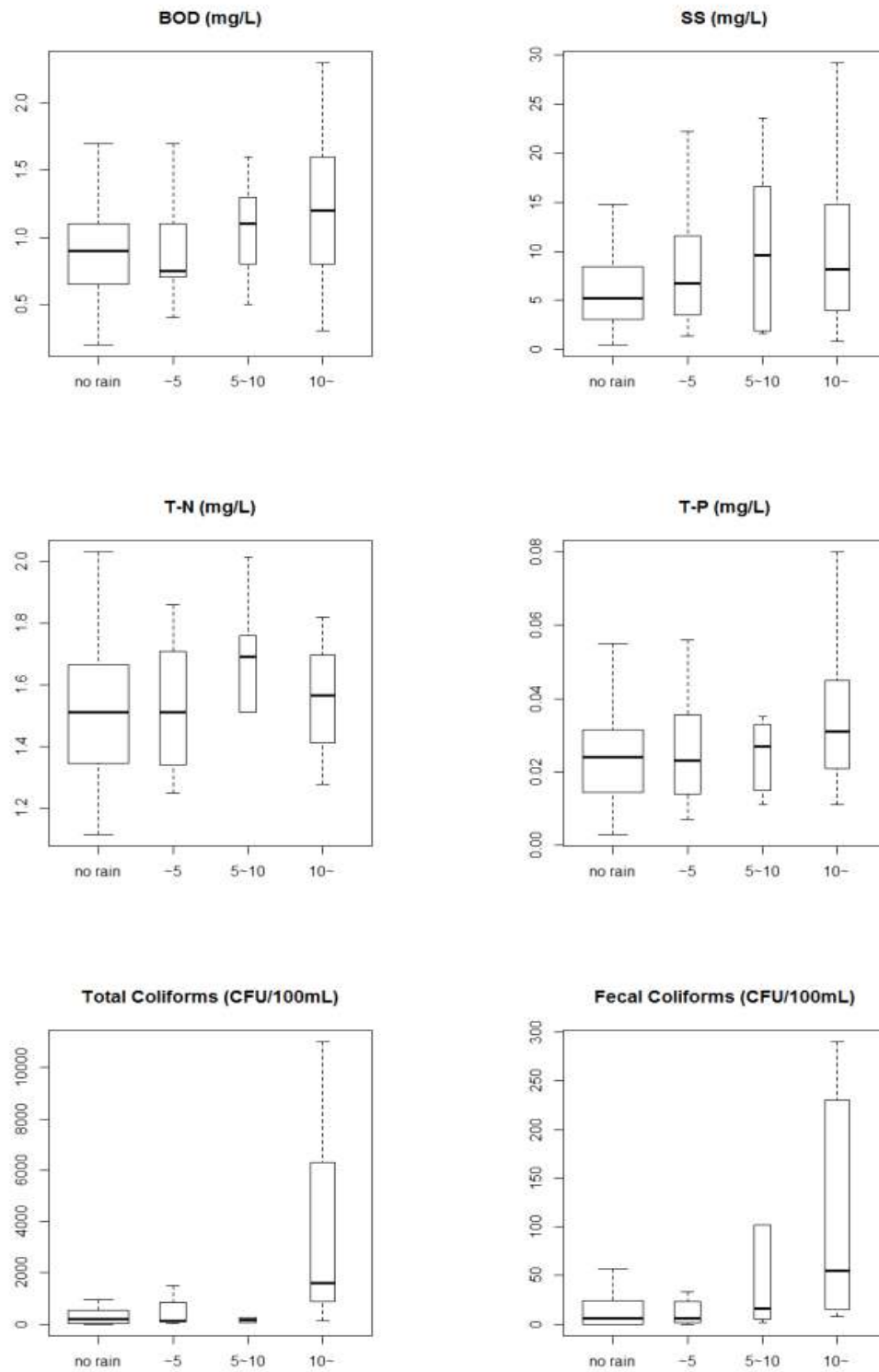


Fig. 4. Water quality of river in the sampling site and rainfall of the study region for 10 years.

## 2. 지점별 수질 특성

### 가. 지점별 수질 변화

2019년 1월부터 9월까지 월별로 상·중·하류 3개 지점 사이의 농도 차이를 조사하였다. 9월은 잦은 강우로 인해 강우 이후 시료를 채취하였으나 그 외에는 강우 영향이 없는 시기에 시료를 채취하였다. 4개의 미생

물 항목은 세 지점이 유사한 변화양상을 보이거나 하류 지점이 다소 높은 농도를 보였다. 이는 하류 채취지점 후단에 설치된 수중보에 의한 유속 저하로 미생물 증식에 유리한 환경이 조성되었기 때문으로 판단된다. 그러나 9개의 일반항목에서는 상·중·하류 간 뚜렷한 차이는 확인되지 않았다.

Table 4. Summary of water quality on the sampling points(Jan. to Sep., 2019)

Parameters (unit)	Mean concentration(Range)		
	upstream	midstream	downstream
Total coliforms* (/100mL)	580 (150~3300)	533 (120~3446)	614 (100~4196)
Fecal Coliforms* (/100mL)	12 (3~104)	12 (3~117)	14 (3~198)
<i>E. Coli</i> * (/100mL)	7 (2~52)	7 (2~80)	10 (2~132)
<i>Enterococci</i> * (/100mL)	5 (1~79)	4 ( <span style="color: red;">&lt;1</span> ~84)	5 ( <span style="color: red;">&lt;1</span> ~134)
pH	7.7 (6.9~8.2)	7.5 (6.9~7.9)	7.5 (7.2~7.8)
BOD (mg/L)	0.6 (0.3~1.2)	0.6 (0.3~1.4)	0.6 (0.3~1.5)
TOC (mg/L)	3.0 (2.3~4.7)	3.0 (2.3~4.7)	2.9 (2.2~4.2)
SS (mg/L)	3.2 (2.1~5.4)	3.2 (2.2~5.5)	3.3 (2.1~5.8)
DO (mg/L)	11.8 (9.6~12.9)	11.9 (9.4~13.1)	11.2 (9.4~12.7)
T-P (mg/L)	0.020 (0.013~0.029)	0.021 (0.009~0.031)	0.020 (0.008~0.031)
T-N (mg/L)	1.560 (1.369~1.651)	1.553 (1.397~1.650)	1.529 (1.341~1.654)
NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	Not detected	Not detected	Not detected
EC ( $\mu$ s/cm)	121 (111~125)	119 (110~124)	121 (109~127)

\* : Geometric mean



## 나. 미생물 평가

미국환경청(U.S. EPA)에서는 물놀이 지역의 수질 기준을 대장균과 장구균을 대상으로 4단계로 구분하여

평가하고 있다. 또한, 시료 채취 빈도에 따라 단일시료 최댓값을 제시하고 있다.<sup>17)</sup>

Table 5. Ambient water quality criteria for bacteria (U.S. EPA, freshwaters)\*

Indicator	Geometric mean (per 100mL)	Single sample maximum(per 100mL)			
		Designated bathing beach	Moderate use coastal recreation waters	Light use coastal recreation waters	Infrequent use coastal recreation waters
<i>E-coil</i>	126	235	298	409	575
<i>Enterococci</i>	33	61	78	107	151

\* : CFR / Title 40 / Chapter I / Subchapter D / Part 131.41

이 기준을 적용해 물놀이가 왕성한 6월부터 9월까지 지점별 수질을 평가하면, 대장균은 단일시료 최댓값이 입수 가능한 최고 수준을 모든 경우에 만족했다. 그러나 장구균은 8월 5일 하류 및 9월 6일 전 지점에서 단

일시료 최댓값의 수준이 대장균보다 오염된 수준으로 나타났다. 따라서 현재 대장균만 있는 물놀이지역 권고기준에 장구균을 추가하는 것에 대한 고려가 필요하다고 판단된다.

Table 6. *E-coli* and *Enterococci* concentrations on the sampling points (June to Sep., 2019)

Water play season		Weather (Date, Precipitation)	Hwang river					
			<i>E-coil</i>			<i>Enterococci</i>		
month	Date		up stream	mid stream	down stream	up stream	mid stream	down stream
June	12	6/10, 1.0 mm	8	4	4	2	<1	<1
July	4	4days no rain	30	25	48	10	10	21
August	5	7days no rain	15	21	43	10	16	68
September	6	9/4, 42.5 mm 9/5, 5.0 mm	52	80	132	79	84	134

### 3. 강우 영향 분석

강우로 인한 수질변화를 조사하기 위해 기상에 따라 3가지 상황으로 구분하여 조사하였다. 첫 번째는 8 mm의 강우 직후, 두 번째는 110 mm의 강우 직후, 세 번째는 강우는 없었으나 물놀이 이용객이 붐비는 경우이다.

#### 가. 미생물의 변화

5월 20일 채취 직전 강우형태는 전날 19일 13시부터 24시까지 7.5 mm의 비가 내린 뒤 7시간 강우소강 후 07시에서 08시 사이에 0.5 mm의 적은 비가 내린 경우로 강우강도는 0.67 mm/h이다.

5월 20일 오전 10시부터 오후 4시까지 2시간 간격으로 4회 조사한 결과, 총대장균군 3,873~12,997/100 mL, 분원성대장균군 34~613/100 mL, 대장균 12~421/100 mL, 장구균 3~115/100 mL의 범위로 분석되었다. 또한 각 지점별 기하평균은 총대장균군의 경우 상류 4,835/100 mL, 중류 5,311/100 mL, 하류 9,641/100 mL, 분원성대장균군은 상류 40/100 mL, 중류 56/100 mL, 하류 412/100 mL, 대장균은 상류 32/100 mL, 중류 25/100 mL, 하류 263/100 mL, 장구균은 상류 10/100 mL, 중류 25/100mL, 하류 34/100 mL로 나타났다.

물놀이가 주로 이루어지는 중류에서는 대장균이 권고기준을 훨씬 밑도는 수준을 보였으며 미생물 오염

도가 다소 높은 하류에서도 기준을 초과하는 사례는 없었다. 장구균의 경우도 해수욕장 수질기준인 100/100 mL을 초과하는 사례는 오전 10시 하류에서 채취한 한차례에 그쳤다.

6월 27일 채취 직전 강우형태는 전날 26일 오전 10시부터 27일 오전 10시까지 110 mm의 강우가 있었던 경우로 강우강도는 4.6 mm/h이다. 강우 직후인 6월 27일 오전 10시부터 오후 4시까지 2시간 간격으로 4회 시료를 채취하였으며 다음 날 28일 오전 10시에 한차례 추가로 시료를 채취하였다. 27일 분석 결과는 총대장균군 21,050~48,840/100 mL, 분원성대장균군 2,500~8,320/100 mL, 대장균 942~2,468/100 mL, 장구균 1,309~3,076/100 mL의 범위로 분석되었다. 또한 지점별 기하평균은 총대장균군은 상류 34,096/100 mL, 중류는 40,380/100 mL, 하류는 34,556/100 mL였고, 분원성대장균군의 경우 상류 6,177/100 mL, 중류 5,345/100 mL, 하류 5,866/100 mL, 대장균은 상류 1,486/100 mL, 중류 1,381/100 mL 하류 1,879/100 mL, 장구균은 상류 1,910/100 mL, 중류 1,922/100 mL, 하류 2,180/100 mL로 대체로 하류에서의 미생물 농도가 높았다. 24시간 경과 후인 6월 28일 오전 10시 수질을 조사한 결과, 대장균은 상류 379/100 mL, 중류 441/100 mL로 권고기준 이내였으나 하류는 609/100 mL로 권고기준을

초과했다. 장구균은 상류 308/100 mL, 중류 435/100 mL, 하류 1,046/100 mL로 해수욕장 수질기준인 100/100 mL를 훨씬 웃돌아 물놀이에는 부적합한 것으로 조사되었다.

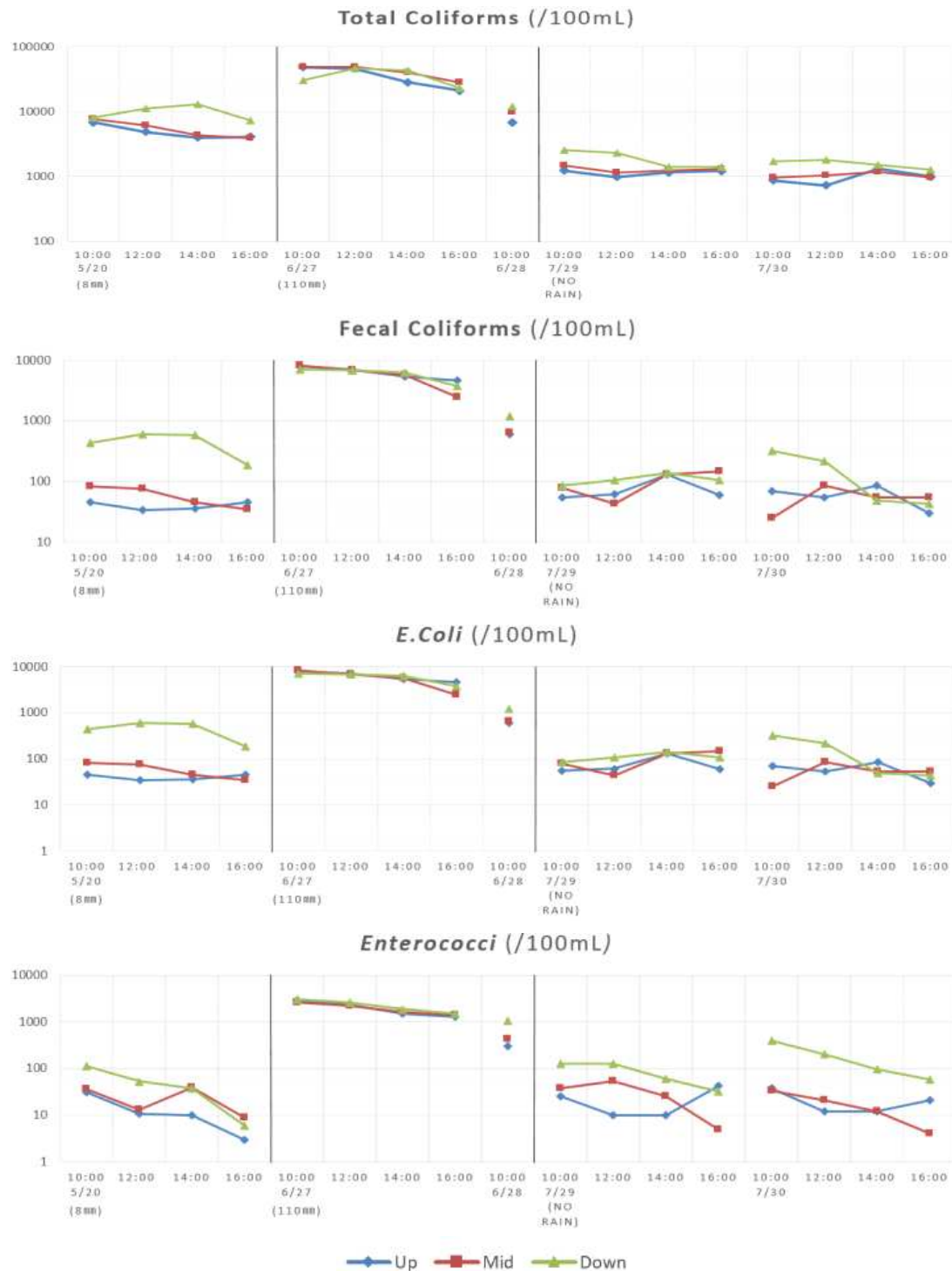


Fig. 5. Effect of rainfall events on microbial mass in each sampling site.

따라서 현재 권고기준인 대장균만으로는 수질의 안전성을 확보하기에는 부족한 것으로 판단되어 장구균 항목 추가가 필요할 것으로 생각된다. 또한, 강한 강우가 있고 난 뒤에는 이틀 이상 경과 후 물놀이를 재개하는 것이 바람직할 것으로 보이며, 강한 강우 이후 미생물 개체수가 증가함을 이용자에게 안내할 방안 마련이 필요할 것으로 판단된다.

7월 29일과 30일 이틀간의 조사는 직전 강우의 영향이 적고, 물놀이 이용객이 많은 시기로 오전 10시부터 오후 4시까지 2시간 간격으로 이틀간 총 8회 시료를 채취하였다. 미생물 항목은 강한 강우 직후에 비해 좁은 범위의 농도분포를 보였으며 대장균과 장구균의 기하평균 농도도 각각 35/100 mL와 32/100 mL로 물놀이에 적합한 수질로 조사되었다. 다만 하류지점에서는 양일 모두 10시 및 12시경 채취한 시료에서 장구균 농도가 해수욕장 기준을 초과하는 사례가 조사되었다. 사례를 살펴보면, 29일 10시 130/100 mL, 12시 130/100 mL, 30일 10시 395/100 mL, 12시 202/100 mL로 분석되었다. 이는 하류 채취지점이 주 물놀이지역 외곽으로 취사가 행해진 흔적이 확인되어 간헐적 오염원 유입이 의심되며, 하류 채취지점의 유속이 상·중류에 비해 느려진 점도 오염상태 지속에 영향을 준 것으로 사료된다.

## 나. 이화학적 항목의 변화

BOD는 비강우 시와 8 mm 강우 직후 평균농도가 각각 0.4(0.3~0.5) mg/L, 0.5(0.4~0.7) mg/L로 강우 직후 소폭 증가하였으나 생활환경기준 Ia 수준(1 mg/L 이하)을 유지하였다. 110 mm 강우 직후에는 1.1(0.9~1.4) mg/L로 증가하였으나 이 또한 Ia 수준을 크게 초과하지는 않았다.

TOC는 비강우 시 2.4(2.1~2.7) mg/L, 8 mm 강우 직후 3.4(3.1~3.6) mg/L, 110 mm 강우 직후 3.7(3.3~4.5) mg/L로 증가되었다. 유기물질 지표인 BOD와 TOC는 강우 후 증가경향을 보이는 것으로 확인되었다.

T-P는 비강우 시 0.012(0.007~0.027) mg/L, 8 mm 강우 직후 0.015(0.012~0.017) mg/L, 110 mm 강우 직후 0.042(0.021~0.076) mg/L로 적은 강우 시에는 소폭 증가했으나 많은 강우가 있는 직후에는 비강우 시의 3.5배로 증가하였다. 그리고 강우 소강 시부터 감소하기 시작하여 24시간 이후에는 평상시와 유사한 수준인 0.022 mg/L까지 회복되었다. T-P는 SS와 더불어 일반항목 중에서 강우에 민감하게 반응하는 항목인 것으로 확인되었다.

T-N은 비강우 시 1.502(1.430~1.661) mg/L, 8 mm 강우 직후 1.601(1.517~1.664) mg/L, 110 mm 강우 직후 1.632(1.521~1.753) mg/L로 강우량에 따라 소폭 증가에 그쳤다.

NH<sub>3</sub>-N은 비강우 시와 8 mm 강우 직

후에는 검출 되지 않았으나 110 mm 강우 직후 0.034(0.023~0.045) mg/L로 검출되어 강한 강우 시 비점오염원의 유입영향이 큰 것으로 사료된다. 다만, 먹는물 수질기준(0.5 mg/L)을 밑도는 수준으로 물놀이 가능 여부 판단을 위한 지표로서의 역할은 힘들 것으로 판단된다.

SS는 비강우시와 8 mm 강우 직후의 평균농도가 각각 3.8(2.3~7.0) mg/L, 3.6(2.3~7.5) mg/L로 변동은 없었으나 110 mm 강우 직후에는 34.9(13.6~60.8) mg/L로 비강우 시의 약 9.7배로 증가하였다. 이는 미생물 항목을 제외한 일반 항목 중에서는 SS가 가장 큰 변동을 나타내 강우 직후 부유물질이 눈에 띄게 증가했

다면 물놀이를 자제하도록 안내하는 것이 필요하다고 판단된다.

pH는 비강우시와 8 mm, 110 mm 강우 직후 평균이 각각 7.4(7.1~7.7), 7.6(7.0~7.9), 7.2(7.0~7.6)로 강우로 인한 뚜렷한 변동은 확인되지 않았다.

DO는 비강우 시와 8 mm 강우 직후 평균농도가 각각 11.2(9.6~12.1) mg/L, 11.2(9.8~12.2) mg/L로 차이가 없었으며 110 mm 강우 직후에는 9.9(8.2~11.0) mg/L로 전반적으로 낮은 수치를 보였다.

EC(Electrical Conductivity)는 비강우 시와 8 mm 강우 직후 동일하게 평균 125(123~129)  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 분석되었으며, 110 mm 강우 직후 129(122~139)  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 소폭 증가에 그쳤다.

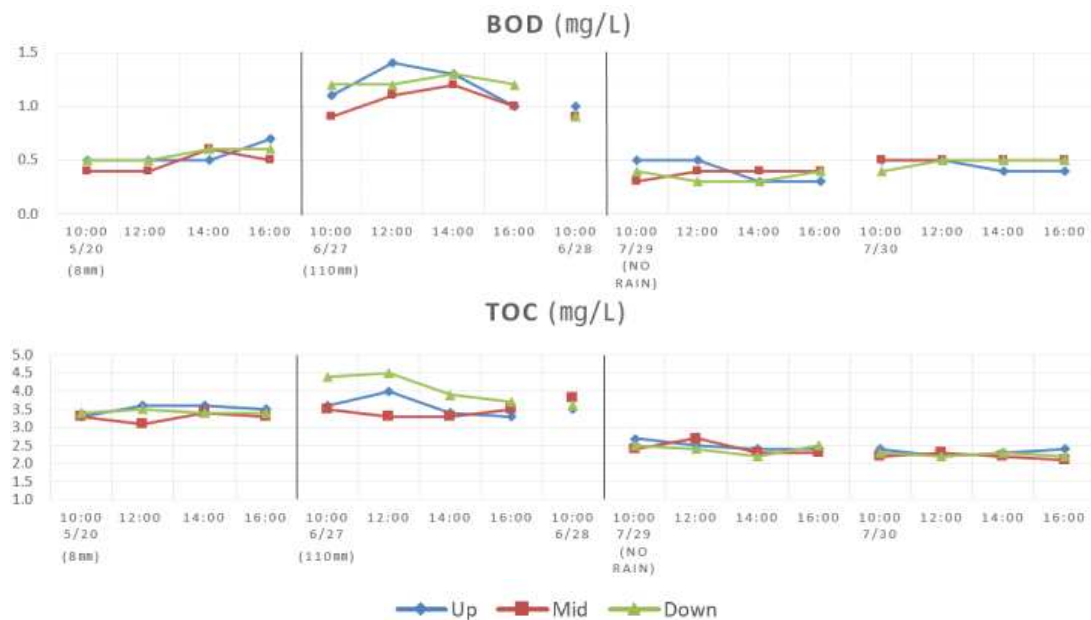


Fig. 6. Effect of rainfall events on organic matter concentration in each sampling site.

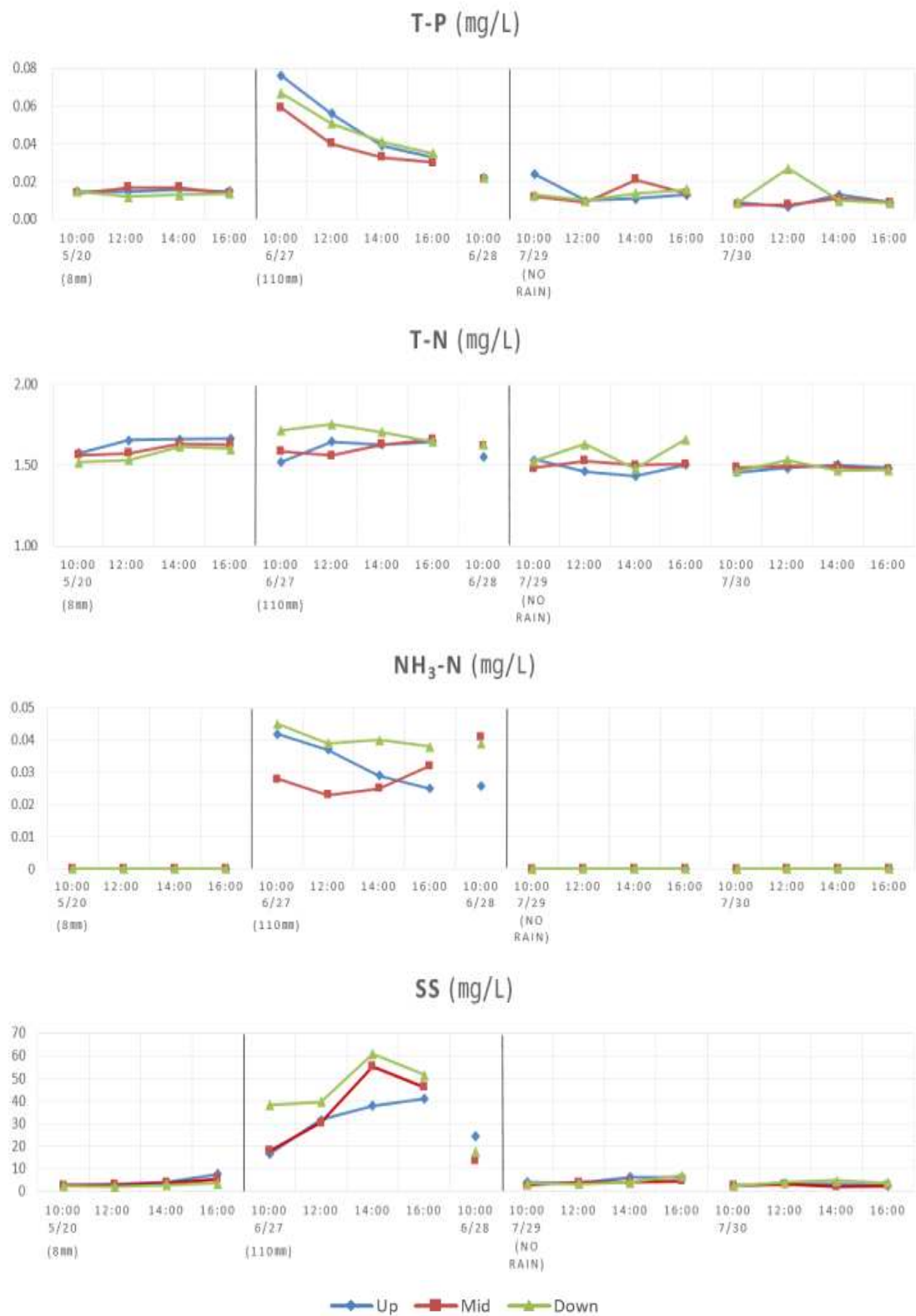


Fig. 7. Effect of rainfall events on nutrient material and SS concentration in each sampling site.

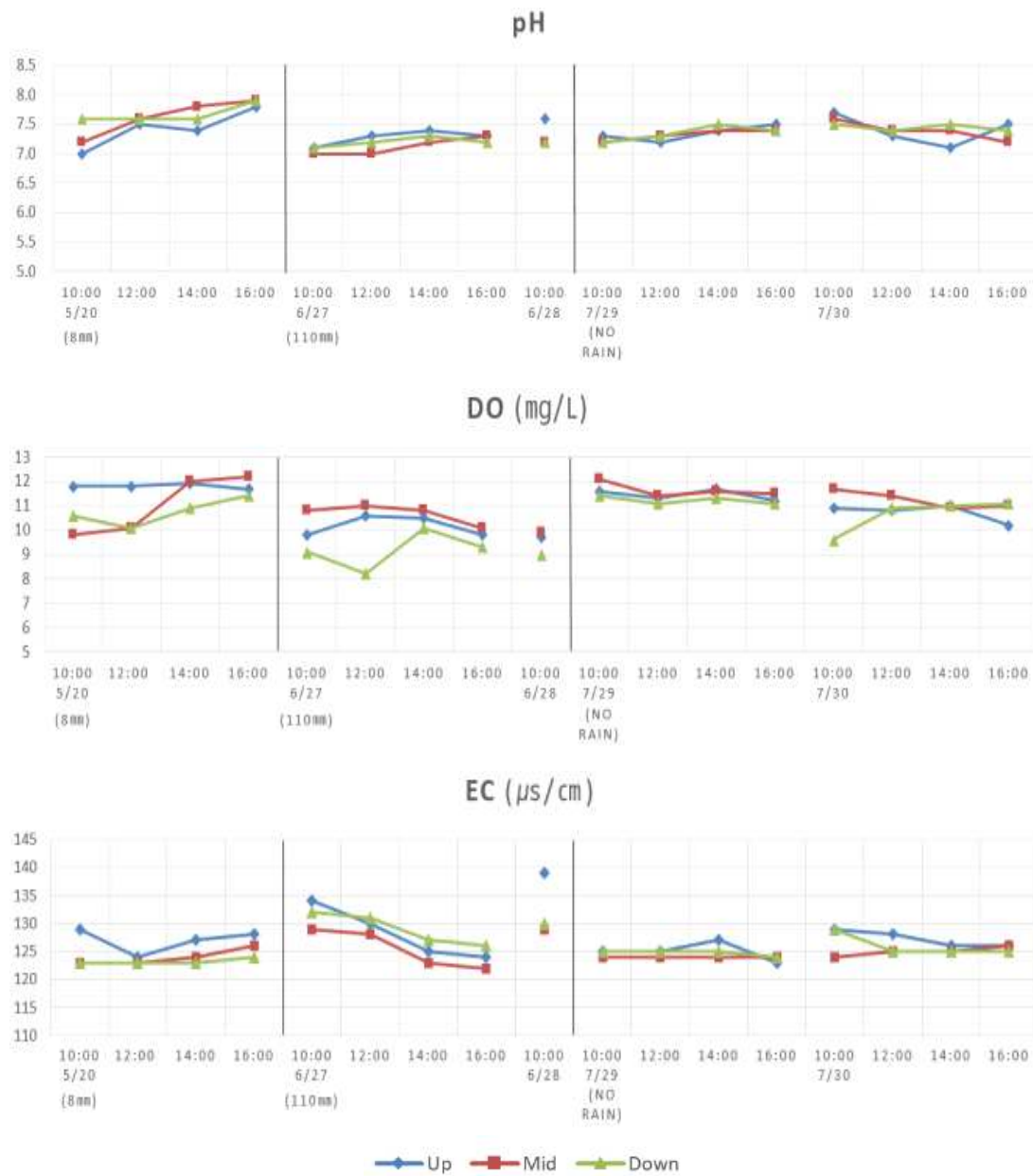


Fig. 8. Effect of rainfall events on pH, Do and EC value in each sampling site.

#### IV. 결 론

본 연구는 물놀이지역의 위생학적 수질 안전성 확보와 효율적 관리 방안 모색을 위해 합천군 정양리 황강

주변 물놀이지역을 대상으로 수질조사를 실시하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 대상지점의 10년 평균 수질은

BOD 1.0 mg/L, SS 7.5 mg/L, COD 3.1 mg/L, TOC 2.5 mg/L, T-N 1.524 mg/L, T-P 0.029 mg/L, 총대장균군 200/100 mL, 분원성대장균군 9/100 mL로 하천 생활환경 기준에 적용하면 “좋음(Ib)” 수준 이상인 것으로 분석되었다.

2. 대상지점의 10년 자료를 토대로 강우 직후 수질을 평가한 결과, 미생물 항목이 일반 항목보다 강우 유출수에 민감하게 반응하며 강우량 10 mm 이상에서는 증가가 뚜렷하게 확인되었다.

3. 2019년 1월부터 9월까지 상·중·하류에 대한 월별 수질조사 결과, 일반 항목은 지점 간 뚜렷한 차이가 없으나, 미생물 항목은 하류가 다소 높았다. 미생물 항목의 기하평균은 총대장균군 575/100 mL, 분원성대장균군 13/100 mL, 대장균 8/100 mL, 장구균 5/100 mL로 분석되었다.

4. 물놀이가 성행하는 6~9월까지 강우의 영향이 적은 시기에 월별로 상·중·하류 지점의 대장균과 장구균 농도를 미국환경청(USEPA)이 제시하는 물놀이 용수 수질기준에 적용해 평가하면, 평상시 대장균은 항상 입수 가능 최고 수준의 수질로 분석되었으나, 장구균은 그보다 오염된 수준으로 평가되는

경우가 있어 권고기준에 장구균을 추가하는 것이 필요하다.

5. 8 mm의 강우 이후 오전 10시 수질조사에서 3지점 기하평균은 대장균 92/100 mL, 장구균 50/100 mL로 친수활동이 가능한 것으로 조사되었다. 110 mm 강우 이후 오전 10시 3지점 기하평균은 대장균 2,256/100 mL, 장구균 2,859/100 mL로 친수활동에 부적합한 수질로 조사되었으며, 24시간 경과 후 조사에서도 대장균 467/100 mL, 장구균 519/100 mL로 감소되긴 하였으나, 물놀이용수로의 이용은 부적합한 것으로 나타났다.

## 감사의 글

본 연구는 경상남도보건환경연구원 물환경연구부 수계조사팀의 2019년 연구사업으로 환경부 국립환경과학원 환경분야 시험검사의 국제적합성 지원사업으로 수행되었습니다.

## V. 참 고 문 헌

1. 환경부 물환경정책국, 물놀이지역 수질조사 및 관리지침, 2017.
2. 환경부, 비점오염원 소개  
<http://nonpoint.me.go.kr>
3. 강원대학교, 안전한 물놀이 수질 기준 및 관리방안 연구, 7, 2007.
4. World Health Organization(WHO), Guidelines for safe recreational



- water environments, 53, 2003.
5. 환경부, 물환경보전법 시행령 제 29조2항 별표5, 2018.
  6. 수질오염공정시험기준, 2018.
  7. 장현정, 이목영, 최선영, 이의광, 오세중, 박수환, 먹는물의 대장균군 검출을 위한 시험관법, 막여과법, 호소발색법 동시 비교평가, 한국물환경학회지, 제18권, 제5호, 506, 2002.
  8. 환경미생물학, 신광문화사, 267, 2012.
  9. IDEXX manual(Colilert, Enterolert)
  10. 안태석, 안승구, 권오섭, 박성주, 신윤근, 안태영, 이건형, 환경미생물학, 신광문화사, 265-281, 2012.
  11. 최호형, 미생물학, 아카데미서적 58-59, 2004.
  12. <http://en.wikipedia.org/wiki/Enterococcus>
  13. <http://water.nier.go.kr>
  14. 국립환경과학원, 대장균군의 하천 및 호소 수질환경기준 적용성에 관한 연구, 42, 2001.
  15. 여중현, 김건하, 도시, 농촌 및 임야유역으로부터 배출되는 비점원 오염부하의 특성 비교, 한국물환경학회지, 제21권, 제2호, 186, 2005.
  16. 김호섭, 김상용, 박윤희, 도시 및 농촌 유역 하천에서의 강우유출 특성 비교, 한국물환경학회지, 제34권, 제6호, 656, 2018.
  17. Code of Federal Regulations, Title 40, Chapter I, Subchapter D, Part 131.41. Bacteriological criteria for those states not complying with Clean Water Act section 303(i)(1)(A), 2004.



## 02 : 환 경 분 야

### **내수면 수산물 양식장 배출수 특성에 관한 연구**



# 내수면 수산물 양식장 배출수 특성에 관한 연구

권현진 · 박민우 · 이소림 · 조광숙 · 한치복 · 김점우 · 김동해

폐수분석팀

## A Study on the characteristics of aquaculture effluents from inland Fish Farms

Hyeonjin Kwon, Minwoo Park, Solim Lee, Kwangsuk Cho,  
Chibok Han, Jumwoo Kim, Donghae Kim

Wastewater Analysis Team

### Abstract

Aquaculture effluents were investigated to improve wastewater management policy for fish farm facilities producing eels and freshwater snails. Samples taken from input(river water or ground water), output from fish tanks, and treated wastewater were analyzed for organic matters and nutrients.

Organic matters and nutrients levels in treated wastewater were increased compared to the levels of input water in the freshwater snail farms using river water. Pollutants concentration of the effluents, such as BOD, COD, and T-P, were categorized in class III to V of water quality standards for river.

In case of eel farming using ground water, average concentrations of T-P and T-N were 159% and 98% of effluent standards for wastewater. Thus, more specific measures are needed for regulating nutrients concentration to control eutrophication and prevent river water contamination.

**Key words** : Aquaculture effluents, Organic matters, Nutrients, Inland fish farms

## I. 서 론

우리나라 내수면 수산물 양식업 생산량은 매년 증가추세에 있다. 또한 정부는 양식산업의 생산성 향상을 위해 첨단 양식 기술 적용 등을 통하여 양적·질적인 성장산업으로 육성하고 있다.<sup>1,2)</sup>

양식산업의 발전에 따라 양식장 배출수에 의한 수질오염 문제가 대두되고, 양식장에 대한 민원 문제가 지속적으로 발생하고 있다.<sup>3)</sup> 이에 따라 환경부는 2000년에 수조면적 500 m<sup>2</sup>이상의 양식장을 기타수질오염원으로 지정하고 방지시설 설치와 슬러지 적정처리 등의 포괄적 조치사항을 규정하였다. 또한 「수산물 양식시설 배출수 수질기준 설정 및 관리지침」을 제정하여 기존의 침전시설 설치 등의 시설기준에서 배출수 수질기준 체계로 전환하여 실질적인 오염원 관리가 가능하도록 하였다.

경상남도는 2005년부터 「수산물 양식시설 배출수 수질허용 기준」을 설정하여 시행하고 있다. 이 수질기준에는 송어, 뱀장어 두 개 어종의 양식장 배출수에 대한 기준이 설정되어 있다. 따라서 2개 어종 외 양식장의 배출수 수질관리에 공백이 발생하고, 이로 인해 공공수역의 오염 문제가 발생했을 시 관할 지방자치단체에서 이를 관리하는데 어려움이 있다.

양식장 배출수의 오염문제는 유실

된 사료와 어류의 대사활동으로 인한 배설물 등에 의해 발생하는데, 특히 내수면 양식장의 경우 배출수가 공공수역인 하천이나 강으로 방류되어 부영양화 등 환경오염을 가중시킨다.<sup>4)</sup> 양식장 배출수의 주된 오염물질은 유기물질과 질소, 인 등의 영양염류인데 반해,<sup>5)</sup> 경상남도에서 설정한 수질기준에는 유기물질인 BOD(생물화학적산소요구량), COD(화학적산소요구량), SS(부유물질)에 관한 기준만 있어 영양염류에 대한 관리는 미흡한 실정이다. 이에 따라 본 연구는 경남도내 내수면 수산물 양식장의 현황 및 관리 실태를 조사하고, 양식장 배출수의 특성을 분석하여 이를 종합적으로 평가함으로써, 양식장 배출수를 적정하게 관리하기 위한 법적·제도적 보완 방안을 제시하고자 실시하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 조사대상 및 지점

본 연구는 경남도내 내수면 양식어종 중 가장 많은 비율을 차지하고 있는 우렁이와 뱀장어 양식장에 대해 각각 6개소와 4개소를 조사대상으로 선정하였으며, 양식장별로 유입, 유출, 배출 3개 지점에서 시료를 채취하였다. Table 1은 조사대상 양식장의 일반현황이다. Fig. 1은 양식장의 모식도를 나타낸 것이고, Fig.

2와 3은 우렁이 양식장과 뱀장어 양식장의 현지 전경이다.

## 2. 조사항목 및 분석방법

조사항목으로는 수산물 양식시설 배출수 수질기준 항목을 포함하여 유기물질인 BOD, COD, SS, 영양염

류인 T-N, T-P와 현장측정 항목인 수온, pH, DO를 선정하였다.

유기물질 3항목과 영양염류 2항목은 수질오염공정시험기준<sup>6)</sup>에 따라 분석하였고, 수온, pH, DO는 수질현장측정기YSI(566MPS)를 사용하여 현장에서 직접 측정하였다.

Table 1. Information of Fish farms

Fish farms	Species of fish	Water supply system	Scale of facility (m <sup>2</sup> )	Wastewater treatment facilities	Water source	
A	Eel	Stagnant water type	2,595	Sedimentation facilities	Ground water	
B			5,047			
C			3,048			
D			3,157			
E	Freshwater snail	Running water Type	1,696	Water way	River water	
F			5,187			
G			7,354			
H			3,815	Sedimentation facilities		
I			16,332			
J			2,257			

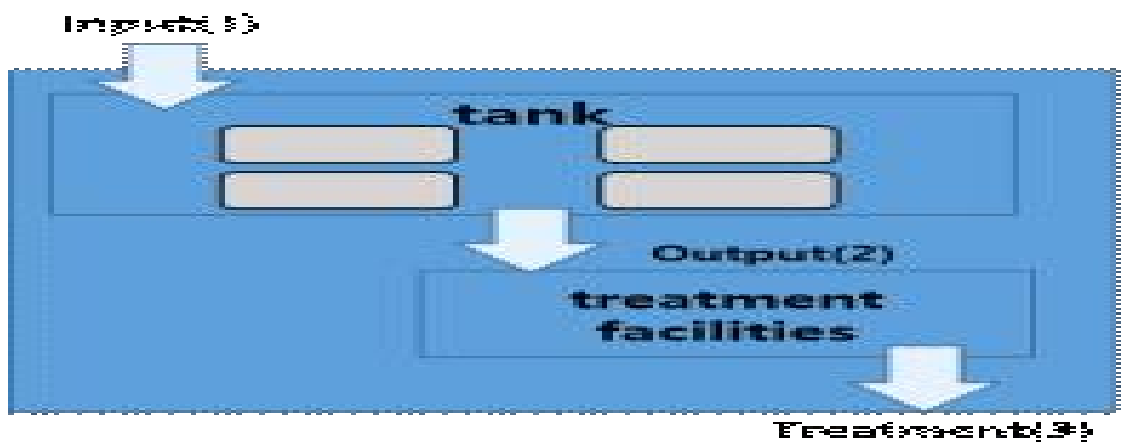


Fig. 1. Schematic of aquaculture system-based on eel & snail farming.

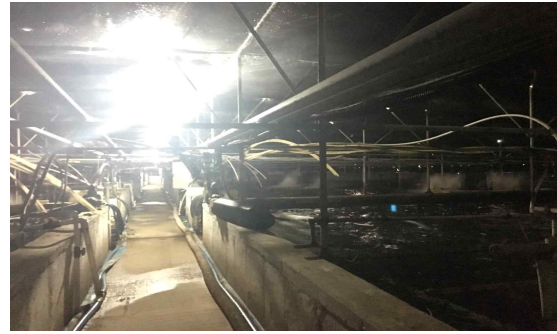


Fig. 2. Fish farms of eel.



Fig. 3. Fish farms of freshwater snail.

### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 내수면 양식장 분포특성

양식장 배출수의 주요 오염물질은 어류의 미접취 사료와 배설물이다. 특히 사료에 의한 오염이 큰 부분을 차지하는데, 일반적으로 사료가 어류에 흡수되는 비율은 20~30% 정도이고 나머지 70~80%는 유실되는 것으로 알려져 있다. 이들은 부유물질과 용존물질 상태로 수중에 축적되며, 인근 강이나 하천으로 방류되어 공공수역의 오염을 가중시킨다. 특히 어류의 사료와 배설물에 함유된 영양물질에 의해 발생하는 공공

수역의 부영양화 현상이 가장 큰 문제점이다.<sup>7,8)</sup>

경상남도는 양식장에서 배출되는 오염물질로부터 공공수역의 수질을 적절하게 관리하기 위하여 수조면적 합계 500 m<sup>2</sup> 이상의 송어를 양식하는 일반 양어장과, 뱀장어를 양식하는 양만장에 대하여 유기물질과 부유물질을 규제대상 오염물질로 정하고 지역별, 규모별로 차등한 「수산물 양식시설 배출수 수질허용 기준」을 정하여 시행하고 있다.

Fig. 4와 5는 경남도내 내수면 양식장 현황을 나타낸 것이다. 경남도내 내수면 양식장은 총 74개소이며, 약 16개 어종이 양식되고 있다. 어종



별로는 우렁이 양식장이 21개소, 뱀장어 양식장 16개소, 동자개 양식장 7개소, 철갑상어 양식장 5개소, 그리고 기타 25개소로 구분된다. 경상남도의 수질기준에 의해 규제되고 있는 송어 및 뱀장어 양식장은 전체 74개소 중 22%에 불과하며, 나머지 78%의 양식장 배출수를 관리할 규제기준은 전무한 상황이다.

내수면 양식의 경우 배출수를 인근 강이나 하천 등 공공수역으로 방류하고 있어 주변 수질환경 오염이 우려된다. 수질기준이 없는 어종의 양식장은 배출수 수질을 평가할 수 있

는 객관적인 지표가 없으므로, 단순 시설관리 위주의 점검과 침전조의 퇴적물 제거 부문에만 조치 명령하는 데 그치는 한계가 있다.

따라서 경남도내 내수면 수산물 양식산업의 현황을 반영하여, 송어와 뱀장어 이외에 다양한 어종에 대해 양식장 형태별, 규모별로 차등한 수질기준 마련이 필요하며, 양식장 배출수에 대한 관리기준을 개정 및 보완을 통해 양식장 배출수를 적정 관리하고, 배출수의 오염물질로부터 공공수역을 보호할 수 있을 것으로 사



Fig. 4. Ratios of fish farms in Gyeongsangnam-do.

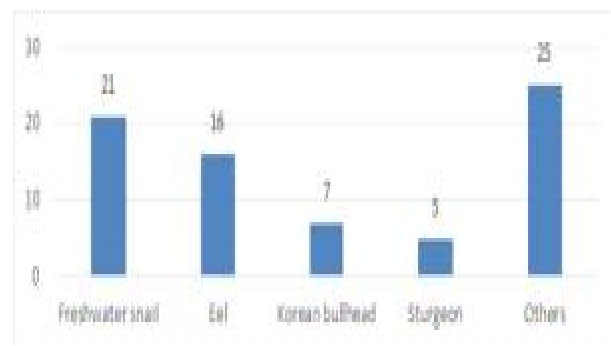


Fig. 5. Numbers of fish farms in Gyeongsangnam-do

## 2. 양식장 배출수 수질 특성

### 가. 우렁이 양식장

경남도내 우렁이 양식장 21개소 중 6개소를 대상으로 양식장의 유입수와 유출수, 배출수의 수질을 각각 조사하였다.

우렁이 양식장 6개소 모두 항상 새로운 물을 유입시켜 사육수를 유동 상태로 유지시키는 유수식 형태로 운영하고 있었다. 인근 하천수를 용수로 사용하고 있었으며, 양식장에서의 배출수를 다시 하천으로 방류하고 있었다.

Table 2는 우렁이 양식장 E, F, G, H, I, J의 유입과 유출, 그리고 방지

시설에서 처리되어 최종 배출되는 측정된 결과이다.  
지점에서 각각 채수하여 일반항목을

Table 2. Average level of pH, water temperature, DO in snail farms

Sampling point	pH	Water temperature(℃)	DO (mg/L)
E-1	6.2	22.8	6.9
E-2	6.1	25.4	5.0
E-3	6.0	25.7	4.4
F-1	6.8	18.0	9.5
F-2	6.2	28.1	5.6
F-3	6.1	26.9	5.3
G-1	7.3	21.4	6.6
G-2	4.5	26.5	4.1
G-3	5.3	25.8	4.4
H-1	7.5	21.2	8.1
H-2	6.4	27.5	5.3
H-3	6.4	25.0	6.0
I-1	7.0	21.1	8.4
I-2	5.8	26.3	2.2
I-3	5.8	24.8	6.5
J-1	7.0	21.6	8.1
J-2	6.5	23.0	6.2
J-3	6.7	23.8	7.3

\* 1 : Input, 2 : Output, 3 : Treatment

pH는 유입수 6.1~8.9, 유출수 4.0~7.9, 배출수 4.8~6.9 범위로 각각 조사되었다. 양식장 유입수의 pH보다 유출수의 pH가 더 낮은 경향을 나타내었다.

수온은 유입수 11.9~30.2℃, 유출수 17.4~30.7℃, 배출수 18.7~30.8℃ 범위로 조사되었다. 유입수의 수온보다 유출수의 수온이 더 높은 경향을 보이는데, 이는 어류의 대사활동과 양식장에서의 체류에 의한 것이며, 이때 수온이 높을수록 대사량이 증가하

여 산소소비량이 증가하게 된다.<sup>7,8)</sup>

수중의 DO농도는 어류의 호흡에 필요한 중요한 요소인데, DO의 각 지점별 평균농도는 유입수 8.0 mg/L, 유출수 4.7 mg/L, 배출수 5.6 mg/L로 조사되었고, 유입수에 비해 유출수의 용존산소 농도가 감소하는 경향을 보였다. 이는 수온과 마찬가지로 어류의 호흡 등 대사작용과 유기물 분해로 인한 소모에 의해 감소한 것이다. 이때 산소소모율은 어류의 크기에 따라 다르고 체류시간 및 수온에

따라 좌우된다.<sup>7,8)</sup>

Table 3은 우렁이 양식장의 유입과 유출, 그리고 침전조에서 처리되어 최종 배출되는 지점에서 각각 채수 하여 유기물질과 영양염류의 농도를 분석한 결과이다.

항목별 평균농도를 살펴보면 BOD는 유입수 2.2 mg/L, 유출수 9.5 mg/L, 배출수 7.7 mg/L였고, COD는 유입수 4.0 mg/L, 유출수 11.8 mg/L, 배출수 10.2 mg/L의 수준으로 유기물질량은 유입수 대비 배출수의 농도가 2.5~3.5배 증가하였다. SS는 유입수 5.1 mg/L, 유출수 13.7 mg/L, 배출수 11.7 mg/L의 수준이었다. 영양염류의 평균농도를 살펴보면, T-N는

유입수 1.41 mg/L, 유출수 2.06 mg/L, 배출수 1.95 mg/L, T-P는 유입수 0.114 mg/L, 유출수 0.540 mg/L, 배출수 0.476 mg/L로 나타나 T-P의 평균 농도는 유입수 대비 배출수가 4.2배 높았다. 미섭취 사료와 배설물 등 오염물질의 증가로 유입수보다 유출수의 유기물질 및 영양염류의 농도가 높아진 것을 알 수 있다.

Fig. 6은 우렁이 양식장 유입수와 유출수의 항목별 오염물질 농도를 나타낸 것이다. 양식장의 유입수와 유출수의 오염물질 농도차를 구하고, 오염물질 증가율을 파악하여, 양식에 의한 오염물질이 생성되는 정도를 알아보았다.

Table 3. Average concentration of water pollutants in snail farms

(Unit : mg/L)

Sampling point	BOD	COD	SS	T-N	T-P
E-1	5.7	6.3	4.7	2.05	0.377
E-2	10.6	11.0	10.1	2.76	0.612
E-3	11.0	12.2	7.5	2.96	0.724
F-1	1.0	2.1	4.2	0.84	0.032
F-2	6.9	9.9	21.0	1.17	0.193
F-3	7.6	9.5	18.0	1.13	0.189
G-1	2.5	5.5	6.6	1.92	0.172
G-2	10.6	13.5	11.3	2.25	0.830
G-3	10.6	14.1	15.1	2.24	0.788
H-1	1.6	3.4	5.7	1.20	0.036
H-2	6.6	11.7	18.6	2.11	0.557
H-3	6.3	9.7	14.5	1.94	0.470
I-1	1.2	3.2	4.7	1.22	0.032
I-2	19.6	20.2	13.9	2.82	0.988
I-3	8.4	11.4	8.6	2.22	0.625
J-1	1.2	3.2	4.6	1.22	0.037
J-2	2.6	4.4	7.5	1.27	0.059
J-3	2.3	4.2	6.4	1.21	0.062

\* 1 : Input, 2 : Output, 3 : Treatment

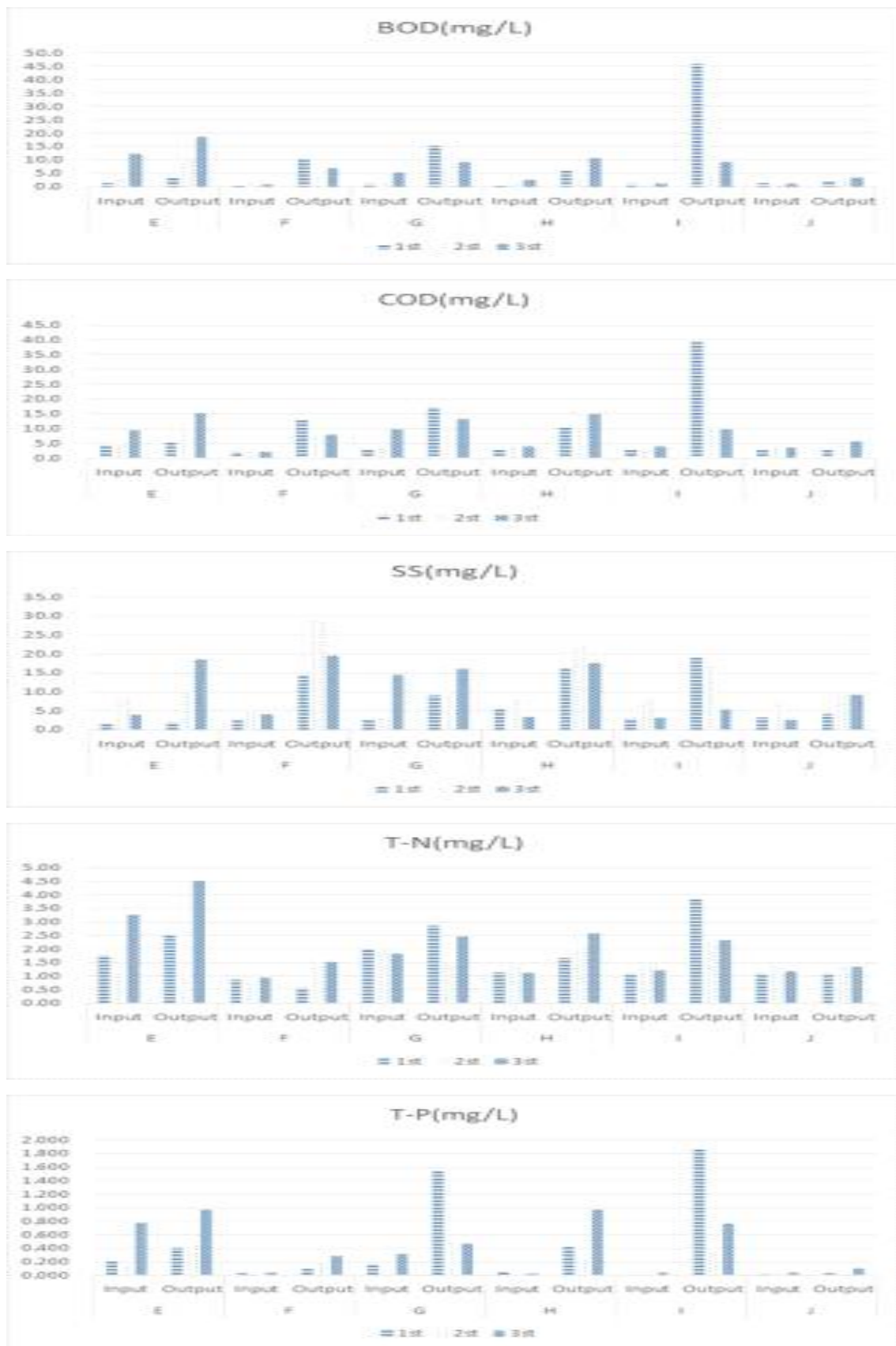


Fig. 6. Concentrations of organic matters and nutrients of inflow & outflow from snail farm

우렁이 양식에 따른 항목별 오염물질 평균 증가율은 BOD 583%(40~4,082%), COD 261%(19~1,423%), SS 214%(11~543%), T-N 52%(1~254%), T-P 1,427%(25~1,4208%)로 나타났다. 유기물질 중에서는 BOD의 평균 증가율이 가장 크게 나타났으며, 영양염류에서는 T-P의 평균 증가율이 각각 크게 나타났다. 항목별 증감율에 대한 정확한 고찰을 위해 급이사료의 성분조성, 급이율, 대사율, 양식어령, 대사산물의 성분조성 등에 대한 조사와 평가가 필요할 것으로 사료된다. 한편 동일 양식장 양식수의 오염물질 농도 증가율은 시료채취 시기마다 매회 상이하였고, 동일시기에 채취한 시료지만 오염물질 항목별·양식장별 농도증가율이 각각 다르게 나타나 양식수의 오염물질 농도가 항상 일정하지 않음을 알 수 있는데, 양식수의 오염물질 증가율은 어류의 입식과 출하에 따른 양식장 내 어류의 양식밀도 증감에 따라 유동적인 것으로 사료된다.

양식장의 규모에 따라 평균 증가율이 각각 다르게 나타났는데, 6개의

양식장 중 규모가 가장 큰 I 양식장은 오염물질 농도 증가율이 가장 크고, 규모가 가장 작은 J 양식장은 오염물질 농도 증가율이 가장 낮았다. 하지만 규모가 비슷한 E와 G 양식장의 항목별 오염물질의 평균 증가율을 비교해 보면 COD의 경우 29배, BOD와 T-P는 5배, T-N은 2.4배 정도의 차이를 보여 양식장의 규모와 오염물질 증가율과는 상관성이 없는 것을 알 수 있었다.

우렁이 양식장의 수질을 비교·분석하기 위하여 유수식으로 양식하는 송어 양식장과 동일하게 배출수 농도에서 유입수 농도를 뺀 순증가 농도를 수질기준에 적용하였다.

우렁이 양식장 배출수의 평균 순증가 농도는 항목별로 BOD 5.5(0.2~12.4)mg/L, COD 6.2(0.4~13.2)mg/L, SS 6.6(0.0~15.4)mg/L, T-N 0.54(0.50~2.09)mg/L, T-P 0.362(0.004~1.229)mg/L으로 나타났다.

Table 4는 우렁이 양식장 배출수의 오염정도를 비교·평가하기 위하여 양식장 배출수의 순증가 농도와 수질환경기준의 하천수질기준을 나타낸 것이다.

Table 4. Concentrations of organic matters and nutrients of treated wastewater in snail farms (Unit : mg/L)

Item	Organic matters			Nutrients	
	BOD	COD	SS	T-N	T-P
Average	5.5	6.2	6.6	0.54	0.361
Environmental water quality standards in river(class)	Class IV	Class III	Class I a	-	Class V

우렁이 양식장은 배출수에 대한 수질기준이 없어 정확한 배출수의 오염수준을 판단하기가 어렵기 때문에 수질환경기준의 하천수질기준을 적용하여 간접적으로 비교 평가해 보았다.

T-N을 제외한 4개 항목의 평균 순증가농도를 하천의 생활환경기준에 적용해보면 BOD는 약간나쁨(Ⅳ), COD는 보통(Ⅲ), SS는 매우 좋음(Ⅰa), T-P는 나쁨(Ⅴ) 수준으로 나타났다. 한편 우렁이 양식장 주변의 농가에서는 양식장과 같은 인근의 강과 하천수를 농업용수로 사용하고 있었고, 배수로로 방류된 양식장 배출수를 농업용수로 사용하는 곳도 있었다. 농업용수는 하천 생활환경기준으로 약간나쁨(Ⅳ) 이상의 등급을 유지하여야 하는데, 수질 조사결과 BOD는 전체 시료의 33%, COD는 17%, T-P는 39%에서 농업용수로써 부적합한 수준을 보였다. 특히 T-P의 경우 부적합한 시료 39% 중 57%에서 기준치인 0.3 mg/L의 2배 이상의 농도를 나타내었다. 따라서 주변 농가의 활동에 영향을 주지 않기 위해 배출수 관리에 각별히 주의하여야 할 것으로 사료된다.

우렁이 양식장 배출수의 유기물질

과 영양염류의 농도는 비교적 낮았지만 많은 용수를 사용하여 오염물질이 저농도로 지속적으로 배출되기 때문에 총량적인 개념에서 보면 공공수역의 수질에 상당한 영향을 미칠 것이라 사료된다.<sup>8)</sup>

## 나. 뱀장어 양식장

뱀장어를 양식하는 방식은 크게 두가지가 있다. 사육지에 항상 일정수량의 물을 채운 후 감소되는 수량만을 보충해 주거나 수질의 변화가 있을 때 필요에 따라 새로운 물을 공급해 주는 지수식과, 인위적으로 어류에 필요한 산소를 공급시키고 대사 노폐물을 여과시킴으로서 사육수를 재사용하여 좁은 면적에서 고밀도로 양식 생물을 키우는 순환여과식이 있다.

본 연구에서는 경남도내 16개의 뱀장어 양식장 중 지수식 방식으로 양식하는 4개의 시설을 대상으로 양식장의 유입수와 유출수, 배출수의 수질을 각각 조사하였다.

Table 5는 뱀장어 양식장 A, B, C, D의 유입과 유출, 그리고 침전조에서 처리되어 최종 배출되는 지점에서 각각 채수하여 일반항목을 측정 한 결과이다.

Table 5. Average level of pH, Water temperature, DO in Eel Farms

Sampling point	pH	Water temperature (°C)	DO (mg/L)
A-1	6.4	25.5	4.0
A-2	6.0	27.5	2.6
A-3	6.4	24.5	4.6
B-1	7.3	20.9	3.5
B-2	6.0	23.1	6.8
B-3	7.7	23.8	7.7
C-1	7.3	20.0	3.1
C-2	6.0	27.8	5.4
C-3	6.9	21.1	6.3
D-1	8.5	26.4	4.4
D-2	6.4	22.5	8.1
D-3	6.5	22.8	8.3

\* 1 : Input, 2 : Output, 3 : Treatment

pH는 유입수 6.0~8.5, 유출수 5.5~7.4, 배출수 6.3~8.4 범위로 조사되었다. 양식장 유입수의 pH보다 유출수의 pH가 더 낮은 경향을 나타내었다.

수온은 유입수 20.0~26.9°C, 유출수 21.2~31.1°C, 배출수 20.9~27.9°C 범위로 조사되었다. 우렁이 양식장과 마찬가지로 유입수의 수온보다 유출수의 수온이 더 높은 경향을 보였다.

DO 평균농도는 유입수 3.0 mg/L, 유출수 3.6 mg/L, 배출수 6.1 mg/L로 조사

되었다. 하천수를 양식용수로 사용하는 우렁이 양식장의 경우 유입수의 DO농도가 가장 높았지만, 지하수를 양식용수로 사용하는 뱀장어 양식장은 초기 유입수의 DO가 낮게 나타났다.

Table 6는 뱀장어 양식장의 유입과 유출, 그리고 침전조에서 처리되어 최종 배출되는 지점에서 각각 채수하여 유기물질과 영양염류의 농도를 분석한 결과이다.

Table 6. Average concentrations of BOD, COD, SS, T-N, T-P in eel farms

(Unit : mg/L)

Sampling point	BOD	COD	SS	T-N	T-P
A-1	0.5	0.7	0.6	1.86	0.034
A-2	27.5	16.6	8.9	79.35	16.940
A-3	15.4	21.5	17.5	88.77	18.083
B-1	0.4	0.5	0.6	0.07	0.041
B-2	2.1	2.3	4.2	1.68	0.185
B-3	2.3	3.4	5.8	1.46	0.147
C-1	0.3	0.4	0.7	1.27	0.033
C-2	4.6	9.1	2.5	22.70	3.320
C-3	1.9	4.4	4.8	11.44	1.480
D-1	0.4	0.1	0.3	0.03	0.046
D-2	2.2	6.6	0.7	21.52	5.730
D-3	1.6	5.6	5.7	15.80	5.800

\* 1 : Input, 2 : Output, 3 : Treatment

항목별 전체 평균농도는 BOD의 경우 유입수 0.4 mg/L, 유출수 9.1 mg/L, 배출수 5.3 mg/L, COD는 유입수 0.4 mg/L, 유출수 87 mg/L, 배출수 8.7 mg/L, SS는 유입수 0.6 mg/L, 유출수 4.1 mg/L, 배출수 8.5 mg/L로 유입수 대비 배출수의 농도는 13~22배로 아주 높았다. T-N는 유입수 0.81 mg/L, 유출수 31.31 mg/L, 배출수 29.37 mg/L, T-P는 유입수 0.039 mg/L, 유

출수 6.544 mg/L, 배출수 6.378 mg/L로 나타났다. 배출수의 영양염류의 평균 농도는 유입수 대비 약 36~164배로 상당한 증가를 보였다.

뱀장어 양식에 의한 오염물질 증가로 유입수보다 유출수의 유기물질과 영양염류의 농도가 높아진 것을 알 수 있었고, 그 증가정도는 Fig. 7에 정리하였다.



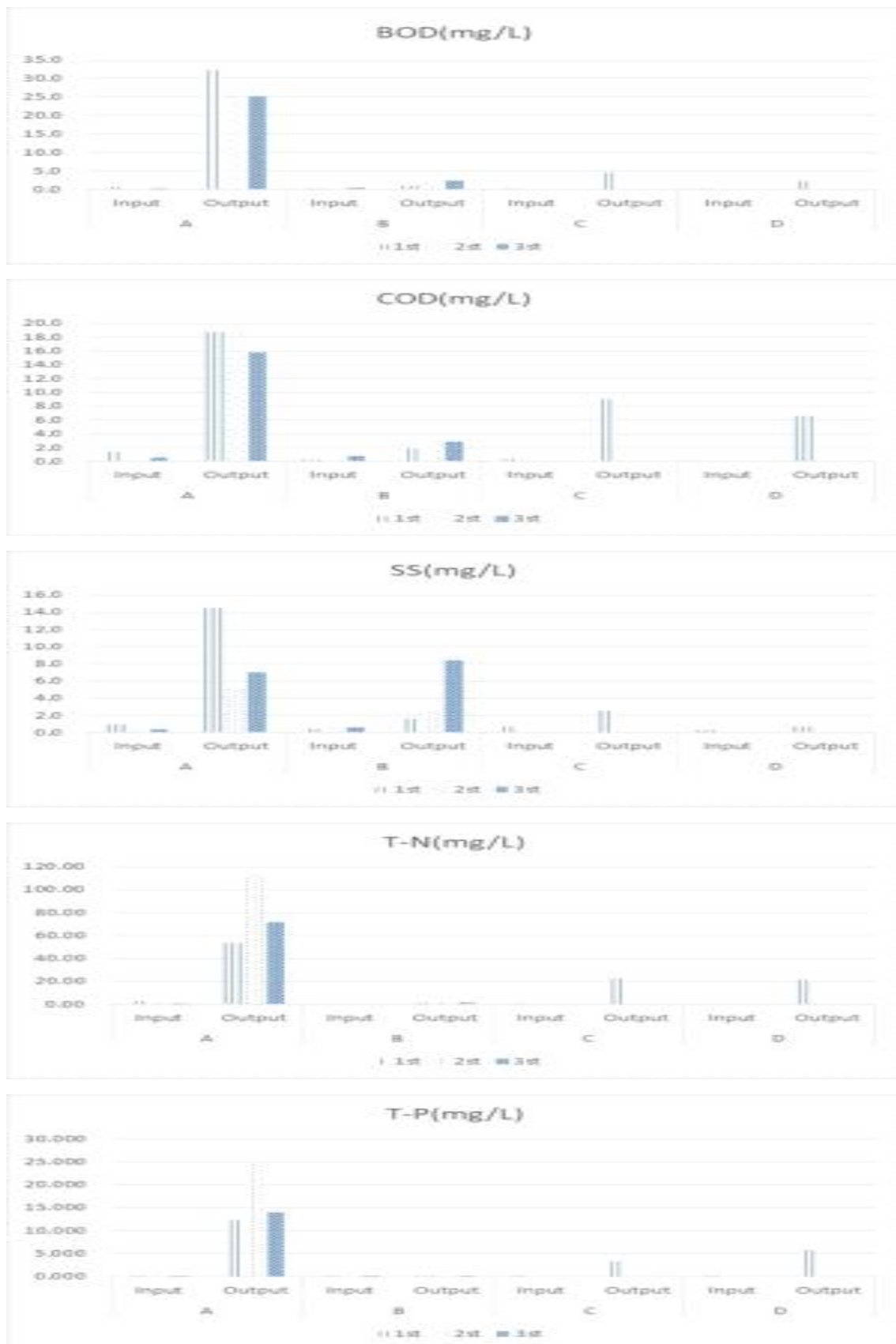


Fig. 7. Concentrations of organic matters and nutrients of inflow & outflow from eel farm

뱀장어 양식에 따른 양식수의 항목별 오염물질 평균 증가율은 BOD 2,670%(300~8,300%), COD 3,861%(263~15,100%), SS 579%(133~1,650%), T-N 20,390%(1,422~71,633%), T-P 30,349%(211~189,515%)로 나타났다. 오염물질 항목 중 영양염류의 평균 증가율이 아주 크게 나타났다. 우렁이 양식장과 마찬가지로 동일 양식장의 회차별 농도증가율은 매회 상이하였고, 항목별 농도증가율도 각각 다르게 나타났다.

뱀장어 양식장에서도 우렁이 양식장에서와 마찬가지로 양식장의 규모와 오염물질 농도 증가율에서 상관관계를 보이지 않았다. 양식장의 규모가 가장 작은 A양식장은 오염물질 농도 증가율이 가장 크게 나타났고, 규모가 가장 큰 B양식장은 오염물질 농도 증가율이 가장 작았다. 또한 C와 D양식장의 경우 규모는 비슷하지만 오염물질 농도 증가율은 각각 다르게 나타났다.

Table 7은 뱀장어 양식장 A, B, C, D의 수조수의 평균 유기물질과 영양

염류 농도를 나타낸 것이다. 양식밀도가 높을수록 수조수의 오염물질 농도가 크게 나타나는데, 수조 내 가장 높은 밀도로 양식을 하는 A양식장의 수조수의 오염물질 농도가 가장 높으며, 오염물질 농도 증가율 또한 가장 컸다. 가장 낮은 밀도로 양식하는 B양식장은 수조수의 오염물질 농도가 가장 낮고, 오염물질 농도 증가율도 가장 낮게 나타났다. 뱀장어 양식에 의한 오염물질 농도 증가율은 양식장의 규모보다는 양식밀도에 큰 영향을 받는 것으로 사료된다. 한편 지수식 뱀장어 양식장은 수조수의 증발에 의한 자연감소분을 보충하고, 수조수의 온도와 수질의 변화를 방지하기 위하여 매일 환수를 하는데 이와 같은 환수작업에 의한 희석효과로 오염물질 농도가 감소하게 된다. 양식업자의 판단에 따라 환수정도는 5~15%로 정도로 차이가 있고, 이러한 일일 환수량도 오염물질 증가율에 일정부분 영향을 미칠 것으로 사료된다.

Table 7. Concentrations of Organic matters and nutrients of water in tank of eel

(Unit : mg/L)

Eel farm	BOD	COD	SS	T-N	T-P
A	71.8	51.5	56.8	129.43	28.240
B	2.4	2.7	2.6	2.81	0.282
C	6.9	8.9	4.1	22.91	3.370
D	2.6	6.5	1.2	20.56	5.880

우렁이 양식장과 뱀장어 양식장 양식수의 항목별 농도증가율을 비교해보면, 우렁이 양식장에 비해 뱀장어 양식장의 농도증가율이 5개 항목에서 모두 크게 나타났다. 뱀장어 양식장은 양식수를 유동상태로 유지시키는 우렁이 양식장과는 달리 수조 내에서의 물의 체류시간이 길며, 일일 5~15%정도의 환수 외에는 양식수가 계속적으로 배출되는 것이 없고, 출하 또는 선어 시 양식수가 일시적으로 다량 배출된다. 이로 인해 오염물질이 양식수에 축적되어 양식수의 오염물질 농도가 높아지는 것으로 사료된다. 우렁이 양식장에 비해 뱀장어 양식장의 농도증가율은 BOD 4.6배, COD 14.8배, SS 2.7배 T-N 392배, T-P 21.3배 컸다. 한편 T-P의 증가율은 우렁이 양식장과 뱀장어 양식장에서 각각 1,427%와 30,340%로 5개 항목 중 가장 큰 증가율을 나타내었다. 사료에 함유된 인은 약 28% 정도만 체내에 흡수되고 나머지 72%는 체외로 배출되어

진다고 보고되고 있다.<sup>8)</sup> 우렁이 양식장과는 달리 뱀장어 양식장 배출수의 T-N 평균농도도 20,390% 증가되어 관리가 필요할 것으로 사료된다. 단백질은 보통 사료 중량의 30~40%를 나타내는데 단백질의 주구성요소인 질소는 양식어에 섭취된 후 약 35%는 어류가 성장하는데 이용되어지나 나머지 65%는 체외로 배출되어 양식수로 유입된다.<sup>8)</sup> T-P와 더불어 T-N 등의 영양염류는 수계에서 부영양화를 일으키는 주요 인물질인데, 양식장 배출수가 인근 강과 하천으로 방류됨에 따라 공공수역의 부영양화에 영향을 미칠 우려가 있다. 따라서 향후 배출수 수질관리를 위해 뱀장어 양식장 배출수 수질기준 항목에 T-N과 T-P의 추가도 고려해 보아야 할 것으로 사료된다.

Table. 8은 뱀장어 양식장 배출수의 오염정도를 비교평가하기 위하여 기존의 뱀장어 수질기준과 폐수 배출허용기준을 나타낸 것이다.

Table 8. Concentrations of organic matters and nutrients of treated wastewater from eel farms. (Unit : mg/L)

Item	Organic matters			Nutrients	
	BOD	COD	SS	T-N	T-P
Max	16.5	24.2	26.0	111.00	22.000
Min	1.5	2.6	4.6	0.91	0.096
Average	5.3	8.7	8.5	29.37	6.378
Effluent water quality standard for eels farming	40	-	40	-	-
Effluent water quality standard for waste water	40	50	40	30	4

뱀장어 양식장 처리수의 BOD와 SS 평균 농도는 5.3 mg/L, 8.5 mg/L로 뱀장어 양식장 배출수 수질기준과 폐수 배출허용기준에 적합하며, 기준대비 13%, 21%로 배출수 수질이 양호한 수준이었다. 뱀장어 양식장의 배출수 수질기준에는 영양염류에 대한 항목이 없지만, 앞서 양식에 의한 오염물질 증가율을 보면 영양염류의 증가율이 다소 높은 것으로 나타나 폐수 배출허용기준에 적용하여 뱀장어 양식장 배출수의 오염수준을 평가해 보았다. 배출수의 T-N 평균농도는 폐수 배출허용기준의 98%로 기준을 초과하지는 않았지만 높은 농도를 보였고, 최고 농도는 폐수 배출허용기준의 370%의 수준으로 높게 나타났다. 배출수의 T-P 평균농도는 기준대비 159%로 기준을 초과한 것으로 나타났고, 최고 농도는 기준의 550% 수준으로 높게 나타났다.

따라서 기존 뱀장어 양식장 배출수 수질기준에는 포함되어 있지 않지만, 향후 T-N과 T-P를 수질기준 항목에 추가하여 유기물질뿐만 아니라 영양염류까지 관리할 수 있는 포괄적인 수질관리 기준이 필요할 것으로 사료된다.

### 3. 양식장 오염물질 처리시설 효율

물환경보전법에 따라 양만장 및 양어장은 슬러지를 적정하게 처리하기

위하여 면적이 사육시설의 20% 이상이고, 깊이가 1미터 내지 1.5미터인 침전시설 또는 이와 동등 이상의 효율이 있는 처리시설을 설치하여야 한다. 이때 양식장별로 수조형태, 관리 및 생산량에 따라 유출수 농도가 달라지기 때문에 수조의 구조 및 용수 사용량과 고형물 침전특성을 고려하여 설계해야 한다. 이에 따라 양식장에서는 위치, 형태, 어종에 따른 양식방법 등 양식장의 개별 특색을 고려하여 오염물질 처리시설을 설치하여 운용하고 있었다.

조사대상 10개 양식장의 오염물질 처리시설은 모두 침전한 후 유출수의 오염물질을 제거하여 방류하고 있었다. 뱀장어 양식장 A, B, C, D 4개소와 우렁이 양식장 I, J 2개소는 Fig. 8과 같이 콘크리트 또는 흙으로 일정 깊이와 폭을 가진 침전조를 설치하여 유출수를 처리하고 있었으며, 우렁이 양식장 E, F, G, H 4개소는 Fig. 9과 같이 높이와 폭은 작지만 긴 수로 형태를 만들어 유출수가 수로를 오랜 시간 체류하면서 고형물질이 침전 제거되도록 하는 방식의 방지시설을 운영하고 있었다. 한편 침전조 내부의 슬러지 제거는 연 1~2회 수준으로 실시하고 있었으며, 특히 양식장 주변에 농가가 있는 경우 침전조의 청소 등 관리에 더욱 관심을 기울이고 있었다.

Table 9는 양식장 처리시설의 오염물질 처리효율을 나타낸 것이다. 처

리시설의 전체 평균 오염물질 제거효율은 BOD 1.5%, COD 5.4%, SS -94.0%, T-N 8.1%, T-P 1.5%로 다소 낮았다. 특히 SS의 제거효율이 저조하였는데 전체 시료의 42%에서 수조에서 방류되는 유출수의 농도보다 침전조를 거쳐 배출되는 배출수의 농도가 더 높게 나타났다. 이는 처리시설의 침전기능을 상실하였음을 의미하며, 침전조 내부에 쌓여있는 슬러지 제거가 제대로 이루어지지 않아 최종방류구 부근의 경사 또는 유속에 의해 배출수와 함께 슬러지가 유출되기 때문인 것으로 사료된다.

어종별로 구분해보면, 뱀장어 양식장 4개소의 평균 오염물질 처리효율은 BOD 27.3%, COD 15.2%, SS -714.3%, T-N 26.6%, T-P -1.2%이고, 우렁이 양식장 6개소의 평균 오염물질 제거효율은 BOD -2.8%, COD 3.9%, SS 9.4% T-N 5.0%, T-P 2.0%로 조사되었다.

처리시설 형태별로 구분해보면, 우렁이 양식장의 경우 콘크리트 침전조가 수로형태의 처리시설보다 오염물질 제거효율이 BOD 39%, COD 26%, SS 25%, T-N 10%, T-P 18% 더 높게 나타났다. 수로형태의 처리시설의 경우 모든 항목에서 처리시설 유입수보다 유출수의 오염물질 농도가 더 높게 나타났다. 따라서 양식장 유출수의 오염물질을 효율적으로 제거하기 위해서는 수로형태의 처리시설 보다는 콘크리트로 일정한 형태의 침전조를 설치하여 운영하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

한편, 뱀장어 양식장 A, B, C, D 4개소와 우렁이 양식장 E, F, G 3개소의 방지시설은 덮개가 없는 노출형으로 강우 시에 폐수와 슬러지가 일시적으로 다량 배출되어 고농도의 오염물질이 공공수역으로 유출될 우려가 있었다. 따라서 강우 등 기상의 변화에 대응할 수 있도록 방지시설 보완이 필요할 것으로 사료된다.



Fig. 8. Sedimentation facilities of fish farms.



Fig. 9. Water way of fish farms.

내수면 양식의 경우 배출수를 인근 강이나 하천으로 방류하는데 공공수역을 농업용수로 이용하는 농가 및 인근 주민들과 양식업자 사이에 공공수역의 오염에 대한 분쟁이 자주 발생한다. 실제로 우렁이 양식장 H, I, J 시설은 오염물질 배출로 인해 민원이 제기되어 행정기관으로부터

개선명령을 받았으며, 이후 방지시설의 형태를 변경하고 규모를 확장하는 등 후속 조치를 하였고, 슬러지 처리 등 방지시설 유지 관리에도 각별히 주의를 기울이고 있었다. 그 결과 타 양식장에 비해 방지시설의 오염물질 제거효율이 비교적 양호한 것으로 나타났다.

Table 9. Efficiencies of wastewater treatment facilities of fish farms

Fish farms	Species of fish	Treatment facilities	Efficiency of wastewater treatment(%)				
			BOD	COD	SS	T-N	T-P
A	Eel	Sedimentation facilities	42.8	-30.1	-145.3	-19.8	-15.3
B			-18	-50.3	-136.2	13.9	20.0
C			58.7	51.6	-92	49.6	55.4
D			27.3	15.2	-714.3	26.6	-1.2
E	Freshwater snail	Water way	-32.7	-23.3	2.9	-7.9	-28.1
F			-28.2	2.5	10.0	5.3	3.4
G			-5.7	-6.3	-22.1	1.9	3.0
H		9.6	20.1	22.5	9.3	21.2	
I		Sedimentation facilities	28.4	25.7	31.5	17.0	17.2
J			12.1	4.2	11.7	4.2	-5.1
Total			1.5	5.4	-94.0	8.1	1.5

## IV. 결 론

경남도내 내수면 수산물 양식장의

배출수 수질을 적정하게 관리하기 위하여 기존의 법적·제도적 장치를 보완할 수 있는 방안을 제시하고자 내수면 양식장 현황 및 관리 실태를 조사하고, 양식장 배출수의 특성을

분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 기존의 수질기준에 의해 규제되고 있는 송어 및 뱀장어 양식장은 전체 74개소 중 22%를 차지하고, 나머지 78% 양식장의 배출수를 관리할 규제기준이 없어 배출수 수질에 대한 객관적인 평가가 불가능하고 양식장 관리에 공백이 발생할 수 있으므로, 송어와 뱀장어 외 다양한 어종에 대해 양식장 형태별, 규모별로 수질기준 마련이 필요하다.
2. 우렁이 양식장 배출수의 평균 순증가 농도를 하천의 생활환경기준에 적용하면 BOD는 약간나쁨(Ⅳ), COD는 보통(Ⅲ), SS는 매우 좋음(Ⅰa), T-P는 나쁨(Ⅴ) 수준으로 나타났고, 농업용수 기준으로 BOD는 시료 중 33%, COD는 시료 중 17%, T-P는 시료 중 39%에서 부적합한 수준을 보여 양식장 배출수가 인근 농가의 농업용수로 이용될 시 양식장 배출수 수질관리에 각별한 주의가 요구된다.
3. 뱀장어 양식장 처리수의 BOD와 SS 평균 농도는 기존의 양식장 배출수 기준과 폐수 배출허용기준에 적합하였으나, T-N 평균농도

는 폐수 배출허용기준의 98%로 높은 수준을 보였고, T-P 평균농도는 기준대비 159%로 기준을 초과한 것으로 나타나, 배출수의 영양염류 농도에 대한 정밀한 추가조사가 필요하며, 장기적으로 수질기준 항목에 추가하여 관리가 필요하다.

4. 양식장의 오염물질 처리시설 청소 주기는 연 1~2회 수준으로, 처리시설의 전체 평균 제거효율은 BOD 1.5%, COD 5.4%, SS - 94.0%, T-N 8.1%, T-P 1.5%로 매우 낮게 나타났는데, 이는 처리시설로써의 오염물질 제거기능을 상실하였음을 의미하며, 내부 슬러지 제거 등 처리시설의 관리 소홀에 따른 것으로 사료되며 효율을 향상시키기 위해 적절한 처리시설 설치와 주기적인 청소 등 지속적인 유지관리가 필요하다.

#### 감사의 글

본 연구는 경상남도보건환경연구원 물환경연구부 폐수분석팀의 2019년 연구사업으로 환경부 국립환경과학원 환경분야 시험검사의 국제적합성 지원사업으로 수행되었습니다.

## V. 참 고 문 헌

1. 2016~2020 제1차 수산업·어촌 발전 기본계획, 해양수산부, 2016.
2. 김대영, 류정곤, 박상우, 김수현, 이현동, 하혜수, 하현정, 미래 수산업·어촌 발전을 위한 정책방향 연구, 한국해양수산개발원, 2017.
3. 권오상, 수산물양식시설 배출수 수질기준 설정방안, 국립환경연구원, 2001.
4. 수산물 양식시설 배출수 수질기준 설정 및 관리지침(안), 환경부, 2003.
5. 조장천, 이승훈, 박성주, 김상중, 내수면 유수식 송어양식장이 하천수의 수질에 미치는 영향, 대한환경위생공학회, 1995.
6. 수질오염공정시험기준, 환경부, 2019.
7. 류홍일, 류재근, 권오상, 이영준, 이수형, 강경인, 박은경, 내수면 양식장 오염물질 저감기술 개발에 관한 연구(I), 국립환경연구원, 1993.
8. 내수면 양어장 수질환경관리, 국립수산과학원, 1995.



## 02 : 환 경 분 야

### **강우에 의한 약수터 수질변화 조사**



# 강우에 의한 약수터 수질변화 조사

이호열 · 손현정 · 차수연 · 변용진 · 김상모 · 박정숙

음용수질팀

## Water Quality Variations of Spring Water after Rainfall

Ho-yeol Lee, Hyun-jeong Son, Su-yeon Cha, Yong-jin Byun,  
Sang-mo Kim, Jeong-sook Park

Drinking Water Management Team

### Abstract

Water quality variations were investigated at four spring water in Gyeongsangnam-do during a period of three rainfall events, ① on April raining for 17 hours with 0.7mm/h, ② on May raining for 51 hours with 0.6 mm/h, and ③ on August raining for 10 hours with 3.8mm/h. In the first and second investigation, total coliform was detected on the first and fourth day after rainfall, respectively, and the water quality recovered to normal the next day. In the third investigation, total coliforms and fecal coliforms were detected on the first day after rainfall and lasted for 4 to 5 days, and the water quality returned to normal 6 days after rainfall. Total colony counts were detected up to 43 CFU/mL after rainfall and increased by 7 to 10 times, but below the drinking water quality standard. There was no significant variation of inorganic & organic compounds concentration, and esthetic components after each rainfall. In this study, it is confirmed sanitary contamination after rainfall even at the point where UV sterilizer was installed. So, it is considered that proper management of the facility will be required.

**Key words** : Spring water, rainfall pattern, Microbial contamination

## I. 서론

수돗물에 대한 막연한 불신과 건강한 삶을 살고자 하는 욕구증대로 인해 약수터 이용객수는 지속적으로 증가하고 있으며, 시민들은 보다 다양하고 과학적인 수질정보를 요구하고 있다. 하지만 수질관리 시스템이 체계적으로 구축되어 있는 상수도와는 달리 약수터는 자연 그대로의 물을 이용하고자 하는 특성상 수질관리에 제한적일 수밖에 없다. 또한 일반 지하수와는 달리 지표수에 의존하고 있어 야생동물의 배설물 등의 주변요인에 의한 오염가능성이 높다. 특히 강우 시에는 이러한 외부오염원들이 비와 함께 흘러들어와 오염가능성은 더욱 커진다.<sup>1~4)</sup> 정 등<sup>1,5,6)</sup>은 약수터 수질에 대한 분기별 조사에서 3/4분기인 하절기의 부적합 비율이 30%를 초과해 수질이 가장 악화되는 것으로 보고하고 있으며, 원인으로는 여름철에 빈번한 강우 때문으로 추측하고 있다. 하지만, 실제로 강우 전과 비교하여 어떤 항목이 얼마나 영향을 받는지에 대한 연구는 부족한 실정이다. 약수터 관리기관은 안전한 수질관리를 위해 먹는물관리법에 따라 정기적으로 검사를 실시하고 있다. 하지만 정기검사 주기가 항목에 따라 분기 1회에서 연 1회로 길어 강우로 인한 수질변화 등의 다양한 정보요구에 대응하기에는 미흡하다.

따라서 본 연구는 경남도내 4개 약수터를 대상으로 강우형태에 따른 강우 전·후의 수질변화를 정밀 조사하여 약수의 안전한 음용을 위한 다양하고 과학적인 정보를 제공하는 것을 목적으로 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 대상지점

2018년 기준 경남도내에는 총 81개소의 약수터가 관리대상으로 지정되어 있으며, 전년도 수질검사 결과에 따라 안심, 양호, 주의, 우려의 4개 등급으로 분류되어 관리되고 있다. 낮은 관리등급의 시설은 주변 요인에 의한 수질오염의 가능성이 높을 것으로 판단되어 최하등급(우려)인 12개소를 우선 조사대상으로 하였다. 이들 시설에 대한 현장조사를 통해 접근성, 입지환경, 지형, 살균장치 등의 사항을 종합적으로 검토하여 창원시에 소재한 봉산저수지, 누룩, 앤골 3개 약수터를 최종 선정하였다(Table 1, Fig. 1). 연구진행 중 누룩 약수터에 대한 두 번의 조사에서 강우 전·후 모두 총대장균군이 검출되어 강우로 인한 미생물학적 영향평가에 애로사항이 있었다. 따라서 3차 조사에서는 기존 지점들과의 접근성 등을 고려하여 우곡사 약수터를 대체 선정하였다. 연구기간 전체적으로는 봉산저수지, 누룩, 앤골, 우곡사 약수터 총 4개 지점에서 조사가 진행되었다.

## 가. 봉산저수지 약수터

봉산저수지 약수터는 2018년도 먹는 물공동시설 관리대장에 등록되어 있는 1일 평균 이용객수가 100명으로 다소 큰 규모의 약수터라 할 수 있다. 하지만 현장 확인 시 실제 이용객수는 많지 않아 보였다. 도심지 외곽의 주택지 인근 야산에 위치하며 주변에는 소규모 저수지 및 제법 큰 규모의 감나무 경작지가 있었다. 미생물살균시설로 자외선처리장치가 설치되어 있었고, 강우 전 측정 유량은 2 L/min 정도였다.

## 나. 누룩 약수터

누룩 약수터는 먹는물공동시설 관리대장에 등록된 1일 평균 이용객수가 20명인 소규모의 약수터로 도심 주택지 인근에 위치한 전형적인 도시형 약수터라 할 수 있다. 주변에 대규모의 아파트단지 건설공사가 진행 중이었으며, 소규모의 텃밭이 조성되어 있었다. 미생물살균시설은 별도로 설치되어 있지 않았고, 수도꼭지 형태의 밸브가 설치되어 있어 필요시 개방하여 채수하는 형태였다. 밸브 최대 개방 시의 유량은 4 L/min 정도였다.

Table 1. The information of sampling sites

Site name	Position	Sampling month	Number of users (/day)	Sterilization treatment
Bongsan	Jayeo-ro, Dong-eup, Uichang-gu, Changwon-si	April, May, August	100	Ultra Violet
Nurook	Woogok-ro, Uichang-gu, Changwon-si	April, May	20	None
Engol	Taeboksan-ro, Uichang-gu, Changwon-si	April, May, August	50	Ultra Violet
Woogoksa	Jayeo-ro, Dong-eup, Uichang-gu, Changwon-si	August	80	None

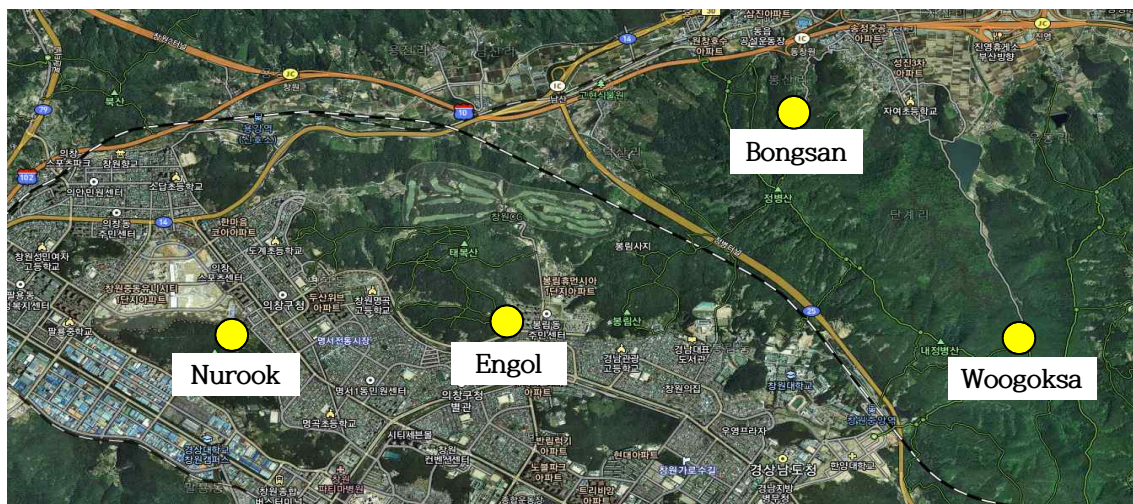


Fig. 1. The location of sampling sites.

#### 다. 앤골 약수터

앤골 약수터는 먹는물공동시설 관리대장에 등록된 1일 평균 이용객수가 50명인 중간정도 규모의 약수터로 도심 야산의 등산로 입구에 위치하고 있어 산행객들이 주로 이용하고 있었다. 인근에는 최근 조성된 500세대 규모의 아파트단지가 입주해 있었으며, 제법 큰 규모의 경작지가 조성되어 있었다. 미생물살균시설로 자외선 처리장치가 설치되어 있었고, 강우 전 측정유량은 0.2 L/min 정도로 대상지점 4곳 중에서 가장 적었다.

#### 라. 우곡사 약수터

우곡사 약수터는 먹는물공동시설 관리대장에 등록된 1일 평균 이용객수가 80명이었으나 현장 확인 시 실제 이용객수는 더 많은 것으로 보였다. 도심지 외곽 해발 170 m 정도의 등산로에 위치한 전형적인 계곡형 약수터로 인근에 사찰이용객을 위한 주차장이 조성되어 있어 접근성이 양호하였다. 미생물살균시설은 별도로 설치되어 있지 않았으며, 강우 전 측정유량은 10 L/min 정도로 대상지점 4곳 중에서 가장 많았다.

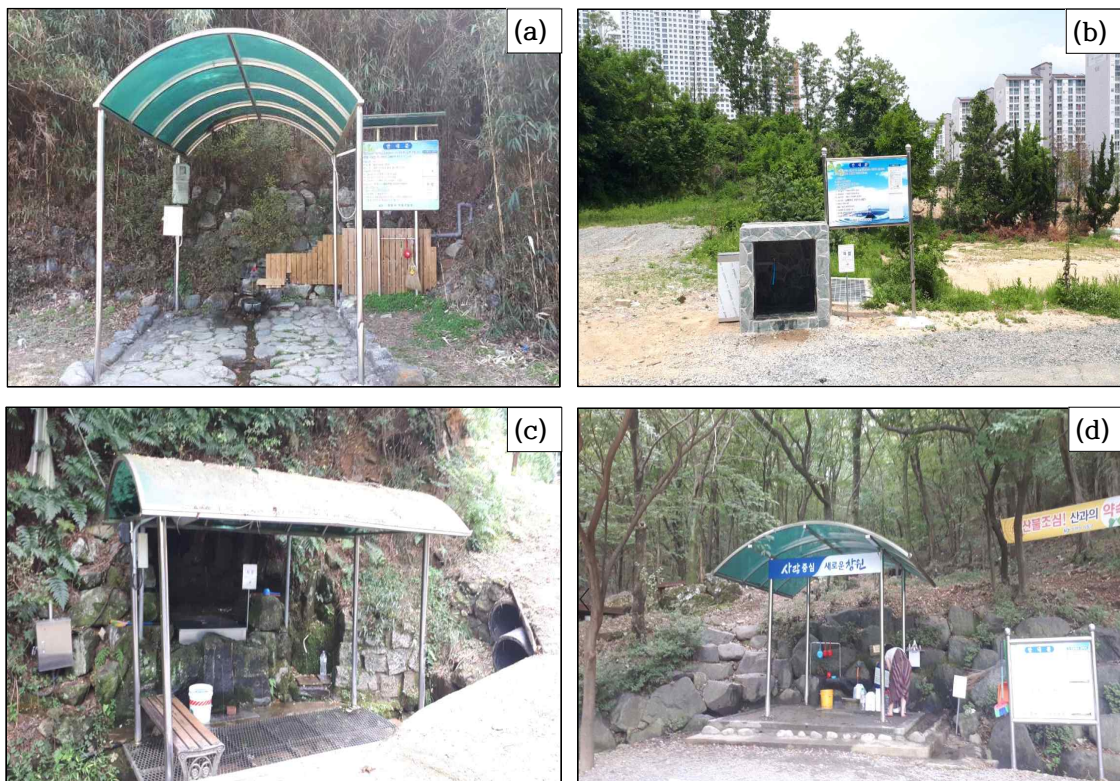


Fig. 2. The foreground of each sampling site : Bongsan(a), Nurook(b), Engol(c) and Woogoksa(d).



## 2. 시료채취 및 분석

### 가. 시료채취

시료채취의 기준이 될 강우일은 직전 무 강우 일수가 7일 이상인 경우를 대상으로 하였고, 시료채취는 예보된 강우량에 따라 2019년 4월, 5월, 8월에 총 3차례 실시하였다. 각 시기별 강우일(D day) 기준 강우 전일(D-1)과, 강우종료 1일 후(D+1)부터 최대 7일 후(D+7)까지 일 단위로 최종 토출구에서 채취 하였다. 4월 1차 조사에서는 강우 후 4일에 재차 강우가 발생되어 강우 3일차(D+3)까지만 시료채취를 하였다. 5월 2차 조사는 강우 후 5일(D+5), 8월 3차 조사는 강우 후 7일(D+7)까지 시료를 채취하였다. 먹는물수질공정시험기준의 각 항목별 시료채취 방법에 따라 무균채수병, 유리용기, PE용기 등에 시료를 채취하였다. 미생물항목 분석을 위한 시료 채취는 교차오염 방지를 위해 토출구와 연결된 부착물을 제거하고, 가스토치를 이용하여 화염 멸균한 뒤 실시하였다. 채취된 시료는 아이스박스에 담아 4℃ 이하로 유지하여 신속히 냉장 운반하였다.

### 나. 시료분석

먹는물공동시설에 대한 수질기준으로 설정된 총대장균군 등 미생물 4항목, 중금속 등 유해영향 무기물질 12항목, 페놀 등 유해영향 유기물질

17항목, 탁도 등 심미적 영향물질 14항목 등 총 47개 항목을 기본 분석 대상으로 하여 먹는물수질공정시험기준에 따라 분석하였다. 미생물 항목은 시료채취 당일 실험실 운반 후 즉시 시험하였다. 총대장균군 및 분원성대장균군은 시험관법을 적용하였고, 추정 및 확정시험을 통해 최종 판정하였다. 일반세균은 35℃에서 표준한천배지(Plate Count Agar)를 이용한 평판집락법을 적용하였으며 배양된 집락수를 계수하여 판정하였다. 여시니아균은 막여과법을 적용하였으며, 여시니아 선택한천배지(Cefsulodin Irgasan Novobiocin Agar)와 메콩키 배지(MacConkey Agar)에 각각 1매씩 접종하여 1차 배양하였다. 집락형성 시 혼화물 한천배지(BHI agar)에 배양 후 필요시 예비동정시험과 확인동정시험을 통해 최종 판정하였다. 그 외의 무기 및 유기물질, 심미적 영향물질 등은 규정된 분석기기 등을 이용하여 시험하였다. 수소이온농도(pH)는 시료채취 시 현장에서 측정하였다. 약수의 특성상 미네랄성분에 대한 조사도 유의미할 것으로 판단하여 K, Ca, Mg, Na, Si 등 5항목을 추가로 분석하였으며 금속류 분석에 적용된 유도결합플라즈마 분광광도계(ICP-OES)를 이용하였다. 연구에 적용된 분석대상 항목 및 방법은 Table 2와 같다.

Table 2. Test method and instrument of each item

	Items	Method and instrument
Microbe (4)	Total Coliforms, Fecal Coliforms	Multiple tube fermentation technique
	Total Colony Counts in 35°C	Pour plate method
	<i>Yersinia Enterocolitica</i>	Membrane filtration method
	F <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> -N	Ion chromatography (DIONEX ICS5000)
	NH <sub>3</sub> -N	UV-Visible spectrometry (UVIKON)
Inorganic (12)	Pb, As, Se, Cr, B, Cd	ICP-OES(Agilent, 5110SVDV))
	CN	Continuous flow analysis (Alliance, Futura plus)
	Hg	AA(Spectra AA240FS)
	U	ICP-MS(Varian, 720ES)
	Phenols	Continuous flow analysis (Alliance, Futura plus)
	Diazinon, Parathion, Fenitrothion	GC(Agilent ,7890A)
	Carbaryl	HPLC(Waters, US/ACQUITY)
Organic (17)	PCE, TCE, 1,1,1-TCE, Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene, Dichloromethane, 1,1-Dichloroethylene, Tetrachlorocarbon, 1,2-Dibromo-3-chloropropane	GC(Agilent, 6890N)
	1,4-Dioxane	GC(Agilent, 7890N)
	Hardness	Titration method
	Consumption of KMnO <sub>4</sub>	Acid
	Odor	—
	Color	Colorimetry (Spectroquant NOVA60)
	Turbidity	Turbidimeter(HACH, 2100N)
	Cu, Zn, Fe, Mn, Al	ICP-OES(Agilent 5110SVDV))
Aesthetic (14)	Cl <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ion Chromatography (DIONEX ICS5000)
	ABS	Continuous flow analysis (Alliance, Futura plus)
	pH	pH electrometric method(on site)
Mineral (5)	K, Ca, Mg, Na, Si	ICP-OES(Agilent 5110SVDV))



### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 조사기간 강우특성<sup>7)</sup>

1차 시료채취시의 강우는 4월 23일 14시부터 4월 24일 07시까지 17시간 지속되었으며, 누적강우량은 12.0 mm 이었다. 당시의 강우량 수준을 알기 위해 창원지역의 최근 5년간(2014~2018년)강우량<sup>8)</sup> 백분위수(percentile)와 비교해 보았다. 1차 조사시기의 강우량(12.0 mm)은 67percentile 수준으로 평가되었으며 강우강도는 0.7 mm/hr로 약한 강도로 1일 정도 지속되는 일반적 강우형태라 할 수 있다. 2차 시료채취시의 강우는 5월 17일 23시부터 5월 20일 02시까지 51시간 지속되었으며, 누적강우량은 29.3 mm로 84percentile 수준이었다. 강우강도는 0.6 mm/hr로 약한 강도로 2일 이상 지속되는 강우형태라 할 수 있다. 3차 시료채취시의 강우는 8월 6일 15시부터 8월 7일 01시까지 10시간 지속되었으며, 누적강우량은 38.0 mm로

90percentile 수준이었다. 강우강도는 3.8 mm/hr로 다소 강한 강도로 단시간에 집중되는 강우형태라 할 수 있다. 조사시기별 누적강우량은 1차<2차<3차 순이었으며 강우강도는 1차와 2차는 비슷하였고, 3차가 가장 컸다.

Table 3. Percentile of rainfall during 2014 to 2018 in the investigation region

Percentile	Rainfall (mm)	Remarks
10	0.4	-
20	0.9	-
30	1.8	-
40	3.4	-
50	5.2	-
60	8.5	-
<b>66.5</b>	<b>12.0</b>	<b>First sampling</b>
70	13.8	-
80	23.9	-
<b>83.9</b>	<b>29.3</b>	<b>Second sampling</b>
90	37.4	-
<b>90.3</b>	<b>38.0</b>	<b>Third sampling</b>
100	246.5	-

Table 4. Specification of rainfall patterns during sampling time

Sampling time	Sampling duration	Rainfall information			
		Rainfall period	Duration time	Accumulated precipitation	Rainfall intensity
1	April 23-26	April 23 14:00 - April 24 07:00	17 hrs	12.0 mm	0.7 mm/hr
2	May 17-24	May 17 23:00 - May 20 02:00	51 hrs	29.3 mm	0.6 mm/hr
3	August 6-13	August 6 15:00 - August 7 01:00	10 hrs	38.0 mm	3.8 mm/hr

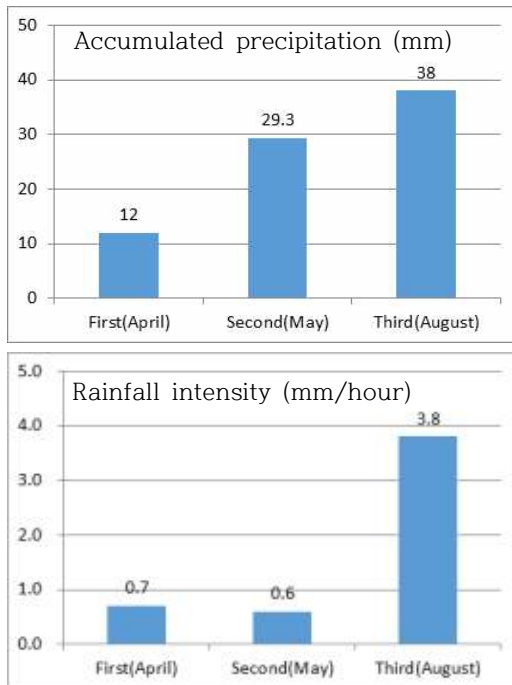


Fig. 3. Rainfall pattern for each sampling time.

## 2. 총대장균군 및 분원성대장균군

1차 조사(4월) 결과 앤글 약수터의 경우 총대장균군이 강우 전에는 불검출이었으나, 강우 후 1일차에 검출되어 빠른 시간에 미생물 오염이 발생되는 것으로 조사되었다. 강우 후 2일차부터는 검출되지 않아 오염 지속시간은 짧았다. 분원성대장균군은 강우 전·후 모두 검출되지 않았다. 봉산저수지 약수터의 경우 강우 전·후의 전체 조사기간 동안 총대장균군 및 분원성대장균군이 검출되지 않아 강우로 인하여 두 항목에 대한 오염은 일어나지 않았다. 누룩약수터의 경우 서론 부분에 기술된 바와 같이 강우 전·후 모두 총대장균군이 검출되어 오염의 원인이 강우에 의한 영

향인지는 명확하지 않았다. 분원성대장균은 강우 전·후 모두 불검출이었다. 2차 조사(5월) 결과 앤글 약수터의 경우 강우 후 4일차에 총대장균군이 검출되어 다소 시간이 경과된 후 오염이 일어나는 것으로 조사되었다. 다음날인 강우 후 5일차부터는 검출되지 않아 오염 지속시간은 1일간으로 짧았다. 봉산저수지 약수터의 경우 1차 조사와 동일하게 전 조사기간에 걸쳐 두 항목 모두 검출되지 않아 강우 후 오염이 발생되지 않았다. 누룩 약수터의 경우는 1차 조사와 동일하게 전 기간에 걸쳐 총대장균군이 검출되어 강우에 의한 오염여부를 판단할 수 없었다. 3차 조사(8월) 결과 새로 추가된 지점인 우곡사 약수터의 경우 강우 후 1일차에 총대장균군 및 분원성대장균군이 검출되어 미생물 오염이 발생하는 것으로 조사되었다. 두 항목이 강우 후 3일차까지 검출되다가 4일차에 정상으로 회복되어 오염 지속시간은 3일간으로 다소 길었다. 봉산저수지 약수터의 경우 두 항목 모두 검출되지 않았던 1, 2차 조사와는 달리 강우 후 2일차에 총대장균군 및 분원성대장균군 두 항목 모두 검출되어 미생물 오염이 발생되었다. 이후 4일간 지속되다가 강우종료 6일 후 정상적으로 회복되어 오염 지속시간이 길었다. 앤글 약수터의 경우 1, 2차 조사에서는 강우 후 총대장균군이 검출되어 오염이 발생되었으나, 3차 조사에서는 두 항목 모두 검출되

지 않아 미생물 오염이 발생되지 않았다. 이와 같이 총대장균군 및 분원성 대장균군에 대한 강우 영향은 같은 지점이라도 조사 시기에 따라 다른 것으로 분석되었다. 따라서 이러한 오염경향을 앞서 분석된 각 조사시기별 강우 형태와 비교하여 보았다. 1차 조사시기의 강우형태인 누적강우량 12 mm (67percentile) 정도의 강우가 1일 이하로 지속되는 경우(강우강도 0.7 mm/hr)는 강우종료 후 1일차에 총대장균군이 검출되어 빠른 시간에 오염이 발생되지만 1일간만 지속되어 회복속도도 빠른 것으로 조사되었다. 2차 조사시기의 강우형태인 누적강우량 29 mm (84percentile)의 강우가 2일 이상 지속되는 경우(강우강도 0.6 mm/hr)는 다소시간이 경과된 강우 4일 후에 오염이 발생되었지만 다음날 회복되어 오염 지속시간은 짧았다. 3차 조사시기의 강우형태인 누적강우량 38 mm (90percentile)의 다소 많은 비가 단시간에 집중되는 경우(3.8 mm/hr)에는 강우 후 1일 차에 빠르게 오염이 발생되었으며, 5일 동안 지속되다가 강우 6일

후에 정상적으로 회복되었다. 또한 3차 조사 시에는 1, 2차 조사에서 검출되지 않았던 분원성대장균도 추가적으로 검출되어 위생학적 오염 위험성이 상당히 높아지는 것으로 조사되었다. 따라서 강우 후에는 누적강우량 및 강우강도 등 강우형태를 충분히 고려하여 음용하는 것이 바람직할 것으로 사료된다. 본 연구의 3차 조사 결과는 미생물 증식이 활발해지는 하절기(8월)에 과거 강우량 90percentile 수준의 극한 조건에서 수행된 것임을 감안하면 강우종료 최소 6일 정도 후에 음용하는 것이 안전할 것으로 판단된다. 본 연구와 동일한 지점은 아니나, 같은 지역인 창원시 관내 약수터에서 실시된 박 등<sup>9)</sup>의 연구에 따르면 강우지속시간이 길어지고 강수량이 많아질수록 강우 후 미생물 검출 지속일수도 증가하는 것으로 보고하였다. 특히 2일의 강우지속시간을 가지는 경우 강우 후 4일 동안 총대장균군이 검출되는 것으로 보고되어 본 연구와 유사한 결과를 보였다.

Table 5. The results of Total coliforms and Fecal coliforms

Sampling time	Before rainfall (D-1)	After rainfall						
		D+1	D+2	D+3	D+4	D+5	D+6	D+7
1	N.D	T/C (Engol)	N.D	N.D	-	-	-	-
2	N.D	N.D	N.D	N.D	T/C (Engol)	N.D	-	-
3	N.D	T/C, F/C (Woogoksa)	T/C, F/C (Bongsan)(Woogoksa)	T/C, F/C (Bongsan)(Woogoksa)	T/C, F/C (Bongsan)	T/C (Bongsan)	N.D	N.D

Note: 1. (T/C) Detection of Total Coliform, (F/C) Detection of Fecal Coliform, (N.D) Not detected  
2. Data from spring water of Nurook was not available.

### 3. 일반세균

1차 조사(4월) 결과 봉산저수지 약수터의 일반세균수는 강우 전·후 모두 0 CFU/mL로 수질변화가 없었다. 앵골 약수터의 경우도 강우 전 19 CFU/mL에서 강우 후 1일 차에 10 CFU/mL, 2일 차에 15 CFU/mL로 큰 변화가 없었다. 반면 누룩 약수터의 경우는 강우 전 5 CFU/mL에서 강우 후 1일 차에 35 CFU/mL, 2일 차에 29 CFU/mL, 3일 차에 54 CFU/mL로 6-10배가량 증가하여 강우로 인한 수질변화가 있는 것으로 조사되었다. 하지만 먹는물 수질기준인 100 CFU/mL를 초과하지는 않아 음용이 불가능한 정도는 아니었다. 2차 조사(5월) 결과 봉산저수지와 앵골 약수터의 경우 강우 전·후에 일반세균수의 변화가 없어 1차 조사결과와 동일하게 강우의 영향을 받지 않는 것으로 조사되었다. 반면 누룩 약수터의 경우는 강우 전 6 CFU/mL에서 강우 후 1일차에 43 CFU/mL로 7배 증가되어 1차 조사와 유사한 경향을 보였다. 따라서 누룩 약수터의 경우 일반세균 항목은 수질기준 이내에서 어느 정도 강우의 영향을 받는 것으로 조사되었다. 강우종료 2일 차에는 2 CFU/mL로 낮아져 회복되었다. 3차 조사(8월) 결과 우곡사 약수터의 경우 강우 전 2 CFU/mL에서 강우 후 1일차에 20 CFU/mL로 10배 증가하여 수질기준 이내에서 강

우의 영향을 받는 것으로 조사되었다. 강우 2일 후에는 2 CFU/mL로 낮아져 회복되었다. 결론적으로 일반세균은 일부 약수터의 경우 수질기준을 초과하지는 않지만 강우 후 증가하는 것으로 조사되어 강우의 영향을 받는다고 할 수 있겠다.

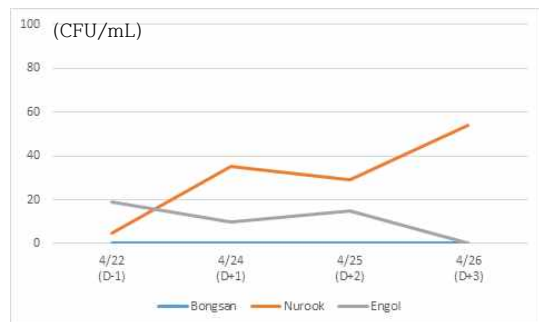


Fig. 4. The results of total colony counts on April.

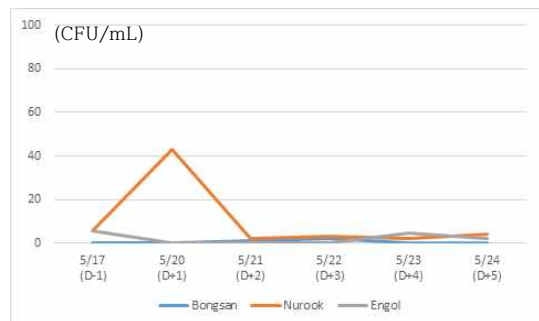


Fig. 5. The results of total colony counts on May.

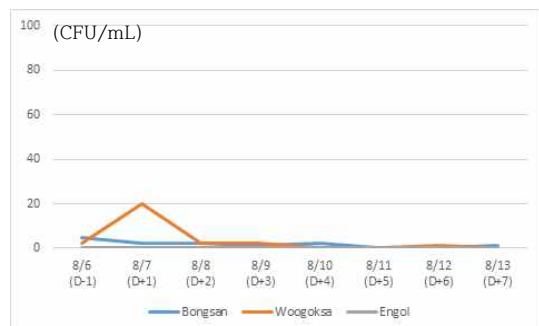


Fig. 6. The results of total colony counts on August.

#### 4. 여시니아균

감염형 식중독균의 일종인 여시니아균은 주로 야생동물의 배설물에 의해 오염된다. 따라서 여시니아균에 오염된 물을 음용할 경우 그 위험성은 상당히 높다고 할 수 있다. 본 연구에서는 전 지점, 전 조사기간에 걸쳐 여시니아균이 불검출 되어 강우에 의해 특별한 영향을 받지 않는 것으로 조사되었다.

#### 5. 유해영향 무기 및 유기물질

12개 유해영향 무기물질 중 질산성 질소와 우라늄을 제외한 10개 항목은 강우 전·후 모두 불검출 되었으며, 검출된 질산성 질소와 우라늄도 수질기준 이내에서 강우 전·후 뚜렷한 증감현상을 보이지는 않아 강우의 영향을 받지 않는 것으로 조사되었다. 17개 유해영향 유기물질은 전 지점에서 전 조사기간에 걸쳐 검출되지 않아 강우의 영향을 받지 않는 것으로 조사되었다. 결론적으로 29개 유해영향 유·무기물질 항목은 전 지점, 전 항목에서 수질기준을 만족하였으며, 강우 후에도 강우 전 대비 유의미한 수질변화를 보이지 않아 강우에 의한 영향을 받지 않는 것으로 조사되었다. 이 등<sup>4)</sup>에 따르면 이화학적 항목에 대한 약수터 수질의 변화는 강우기간 또는 집중강우에도 크지 않는 것으로 보고하여 본 연구와 유사한 결과를 보였다.

#### 6. 심미적 영향물질

심미적 영향물질 14개 항목에 대한 조사결과 강우로 인한 뚜렷한 농도 증감 현상을 보이지 않았다. 강우로 인해 탁도 항목은 어느 정도 영향을 받을 것으로 예상하였으나, 이번 연구에서는 뚜렷한 변화를 보이지는 않았다. 누적강우량 및 강우강도가 컸던 3차 조사에서는 강우 후 1일차에 탁도가 다소 증가하였으나, 변화 정도가 강우에 의한 영향이라고 판단하기에는 불명확하였다. 결론적으로 심미적 영향물질 14개 항목 또한 유해영향 유·무기물질 항목과 마찬가지로 전 지점, 전 항목에서 수질기준을 만족하였으며, 강우 후에도 강우 전 대비 유의미한 수질변화를 보이지 않아 강우에 의한 영향을 받지 않는 것으로 조사되었다.

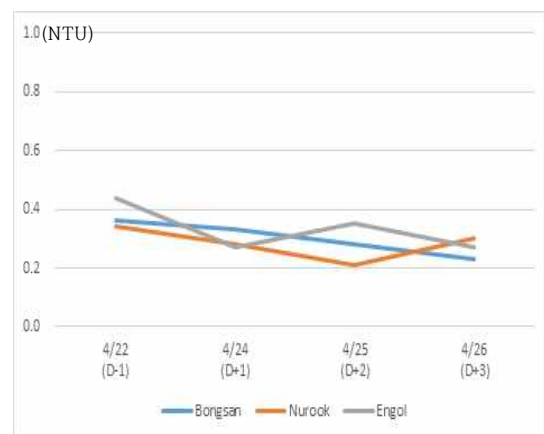


Fig. 7. The results of turbidity on April.

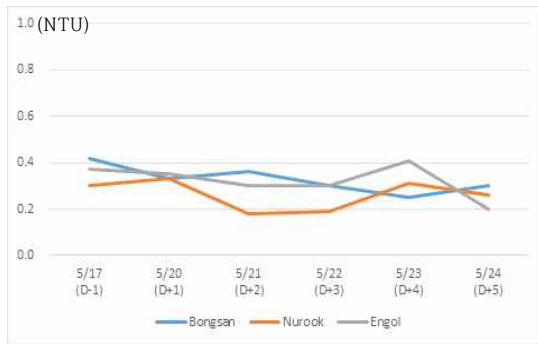


Fig. 8. The results of turbidity on May.

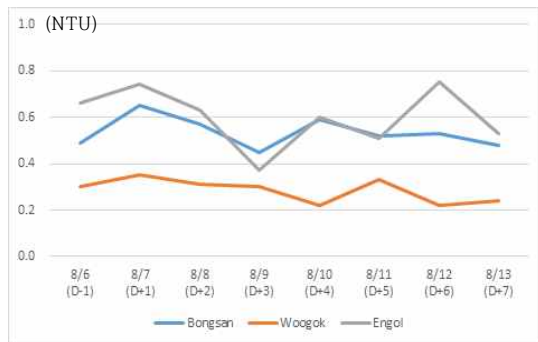


Fig. 9. The results of turbidity on August.

## 7. Ca, Mg, K, Na, Si

미네랄(Mineral)이란 생물체의 주요 구성성분으로 비타민과 더불어 생명 유지와 건강을 위해서 생체조절 작용을 하는 필수 영양소이다. 미네랄 항목은 먹는물수질기준에 포함되지는 않으나 약수의 특성상 중요한 항목이라 할 수 있다.<sup>10)</sup> 이번 연구에서는 Ca, Mg, K, Na, Si 등 총 5개 항목의 미네랄 성분을 조사하였다. 각 조사시기별 5개 항목의 총량을 Fig. 10~12에 나타내었다. 앵골 약수터의 미네랄 성분 함량이 다른 지점에 비해 상대적으로 높기는 하였으나, 대상지점 전체적으로 강우 후에도 강우 전 농도에 비해 큰 증감

현상을 보이지는 않았다. 개별 항목별로 비교하여도 강우 전·후 농도의 큰 변화는 없었다. 결론적으로 Ca, Mg, K, Na, Si 등 총 5개 미네랄 성분은 강우에 의해 특별한 수질변화가 일어나지 않는다고 할 수 있다.

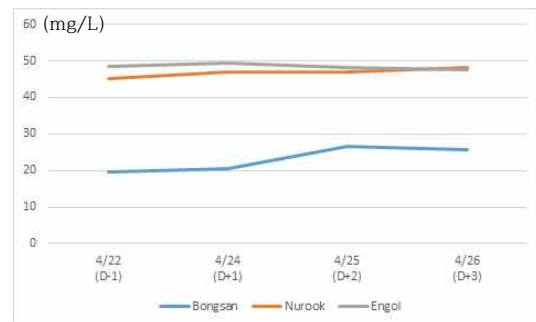


Fig. 10. The results of mineral components on April.

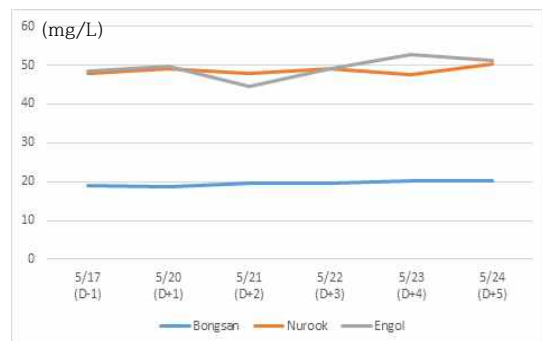


Fig. 11. The results of mineral components on May.

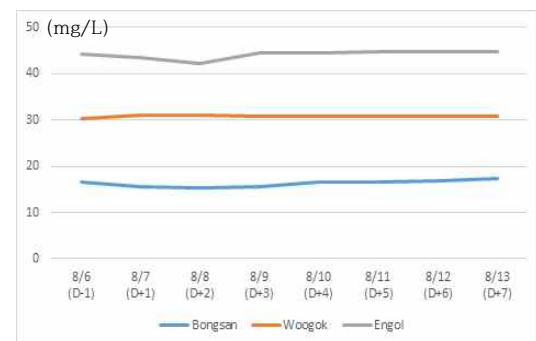


Fig. 12. The results of mineral components on August.

## 8. 미생물살균장치의 성능평가

4개 대상지점 중 미생물살균장치가 도입된 곳은 앤글 및 봉산저수지 약수터로 두 지점 모두 자외선램프를 이용한 살균방식이었다. 앤글 약수터의 저류조는 Fig. 13에서와 같이 수직 원통형으로 중앙 부분에 자외선램프가 장착되어 있었다. 상용 전력이 상시 공급되고 있었으며, 저수용량은 25.8 L이었다. 봉산저수지 약수터는 육면체의 저류조 형식으로 수조 바닥에 자외선램프가 장착되어 있었다. 앤글과 마찬가지로 상용 전력이 상시 공급되고 있었으며, 저수용량은 47.5 L이었다. 앤글 약수터의 경우 1, 2차 조사에서 강우 후 1일 및 4일차에 총대장균군이 검출되었으며, 3차 조사에서는 검출되지 않았다. 봉산저수지 약수터의 경우는 앤글과 달리 1, 2차 조사에서는 미생물 오염이 발생되지 않았으나, 3차 조사에서는 강우 후 2일차부터 5일차까지 총대장균군 및 분원성대장균군이 검출되었다. 자외선살균장치의 성능평가에는 자외선램프와 약수의 접촉시간 파악이 우선적으로 요구된다. 따라서 두 지점에 대해 미생물 오염이 발생하였던 시기의 자외선 접촉시간을 조사하여 Table 6에 나타내었다. 접촉시간(min)은 저류조 저수용량(L)을 시료채취 시 실측한 유량(L/min)으로 나누어 계산하였다. 앤글 약수터의 경우 1차 조사에서 총대

장균이 검출되었던 강우 후 1일 차의 자외선 접촉시간은 112 min으로 강우 전 접촉시간과 같았다. 2차 조사에서도 총대장균군이 검출되었던 강우 후 4일 차의 접촉시간은 129 min으로 강우 전 접촉시간과 동일하였다. 봉산저수지 약수터의 경우 3차 조사에서 총대장균군과 분원성대장균군이 검출되었던 강우 후 2일 차부터 5일 차까지의 자외선 접촉시간은 16-20 min으로 강우 전 접촉시간인 19 min과 차이가 없었다. 참고로 두 지점 모두 강우 전에는 미생물 항목이 검출되지 않았다. 이번 연구결과 미생물살균시설이 설치된 약수터에서 강우 전·후 자외선접촉시간에 차이가 없는 것으로 조사되어 강우 후 발생된 미생물 오염이 단순히 접촉시간이 짧아진 때문은 아닌 것으로 파악되었다. 일반적으로 자외선을 이용한 미생물살균시설의 도입 단계에는 접촉시간이 중요한 설계인자이기는 하지만 도입 후에는 저류조 내부 및 약수터 주변의 청결관리, 자외선램프의 정기적인 교체 등 설비의 유지관리 측면도 성능에 큰 영향을 미칠 수 있다. 이등<sup>4,5,9,11)</sup>의 강우 후 수질변화 연구에 따르면 자외선살균장치가 설치된 경우에도 미생물 오염이 발생되는 것으로 보고하고 있으며, 자외선살균장치의 효능을 위한 관리의 중요성을 강조하고 있다. 따라서 미생물살균장치의 적절한 성능유지를 위해서는 정기적인 점검 및 청결유지를 위한 세심한 관리가 중요하다고 할 수 있겠다.

Table 6. Retention time of spring water in the tank with UV lamp

Site name	Tank volume (L)	Sampling time	Retention time of spring water							
			D-1	D+1	D+2	D+3	D+4	D+5	D+6	D+7
Engol	25.8	1 (April)	112	<b>112</b>	112	117	-	-	-	-
		2 (May)	129	107	117	120	<b>129</b>	132	-	-
Bongsan	47.5	3 (August)	19	13	<b>16</b>	<b>20</b>	<b>19</b>	<b>17</b>	19	22

Note: The colored cells are the day when the microorganism was detected.

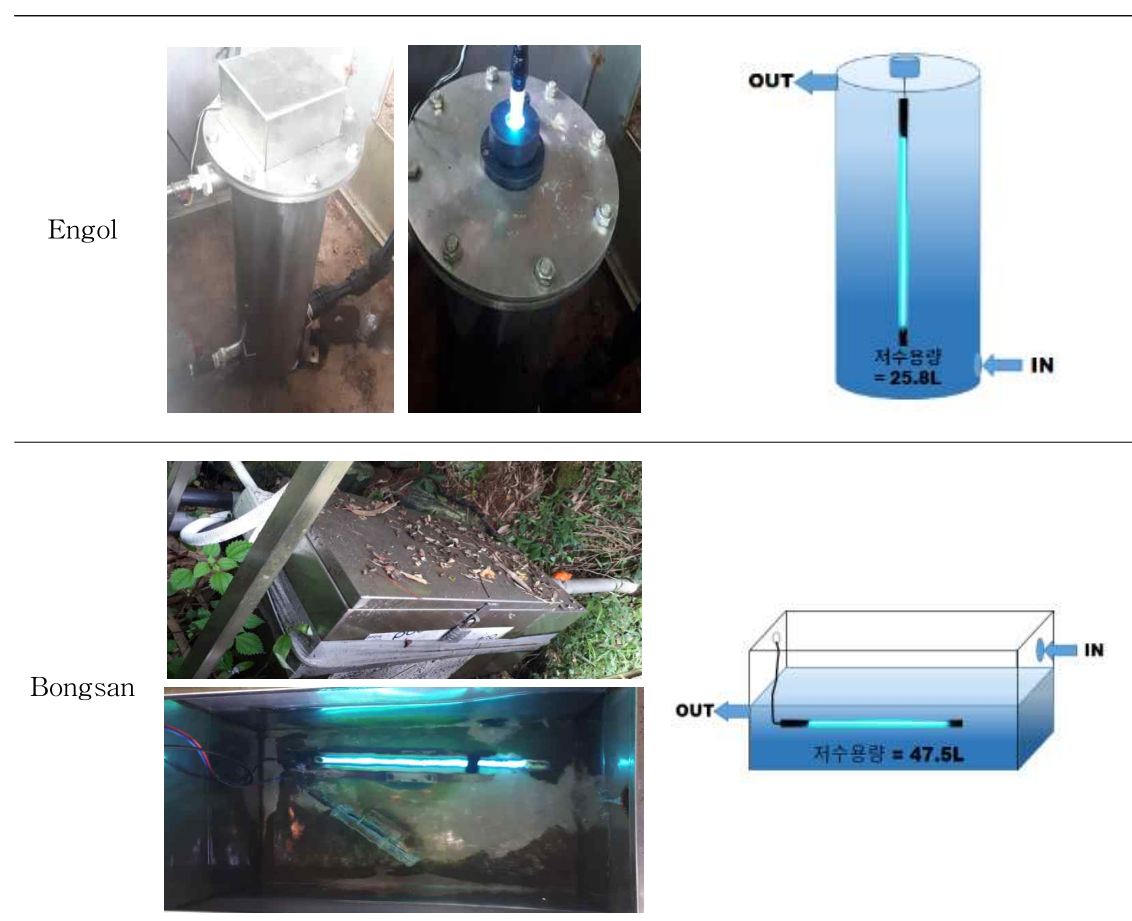


Fig. 13. Sterilization treatment with UV lamp (Engol and Bongsan).



## IV. 결 론

경남도내 4개 약수터를 대상으로 3차례의 강우형태에 따라 먹는물수질기준 47개 항목, 미네랄 5개 항목에 대해 강우 전·후 수질변화를 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 최근 5년 강우량의 67percentile 수준으로 강우강도 0.7 mm/hr, 지속시간 1일 이하의 강우 발생 시 강우 후 1일 차에 총대장균군이 검출되었으며, 1일간 지속되었다.
2. 최근 5년 강우량의 84percentile 수준으로 강우강도 0.6 mm/hr, 지속시간 2일 이상의 강우 발생 시 강우 후 4일 차에 총대장균군이 검출되었으며, 1일간 지속되었다.
3. 최근 5년 강우량의 90percentile 수준으로 강우강도 3.8 mm/hr, 지속시간 10시간의 강우 발생 시 강우 후 1일 차에 총대장균군 및 분원성대장균이 검출되었으며, 5일간 지속되었다.
4. 일반세균은 수질기준을 만족하는 범위 내에서 강우 후 1일 차에 강우 전 대비 7~10배 증가하여 강우의 영향을 다소 받는 것으로 조사되었다.
5. 감염형 식중독균의 일종인 여시니아균은 전 지점, 전 조사기간에 걸

쳐 검출되지 않아 강우에 의해 특별히 영향을 받지 않는 것으로 조사되었다.

6. 유해영향 유·무기물질 29항목, 심미적 영향물질 14항목은 전 지점, 전 항목에서 불검출 또는 수질기준을 만족하였으며, 강우 후에도 강우 전 대비 유의미한 수질변화를 보이지 않아 강우 영향을 받지 않는 것으로 조사되었다.
7. Ca, Mg, K, Na, Si 등의 미네랄 성분은 강우 전·후 유의미한 농도 증감 현상을 보이지 않아 강우에 의해 특별한 영향을 받지 않는 것으로 조사되었다.
8. 자외선살균장치가 설치된 지점에서 강우 후 총대장균군 및 분원성대장균군이 검출됨에 따라 적절한 시설점검 및 청결유지 등 성능유지를 위한 관리가 필요하다.

본 연구를 통해 강우로 인한 약수터 수질의 위생학적 오염 가능성이 확인됨에 따라 강우 후에는 특히 음용에 주의가 필요한 것으로 조사되었다.

### 감사의 글

본 연구는 경상남도보건환경연구원 물환경연구부 음용수질팀의 2019년 연구사업으로 환경부 국립환경과학원 환경분야 시험검사의 국제적합성 지원사업으로 수행되었습니다.

## V. 참 고 문 헌

1. 최필권, 허평, 이경희, 조덕희, 김창규, 김태화, 경기도내 먹는물공동시설의 수질 개선방안 조사, 한국환경분석학회지, 21(3), 148-153, 2018.
2. 전라남도 약수 홈페이지, 먹는물 관련 상식, 강우 전·후의 수질변화, <http://yaksoo.jeonnam.go.kr>
3. 김광례, 길해경, 김현국, 김은숙, 노방식, 홍주희, 이진, 김정연, 이만호, 엄석원, 이재영, 서울지역 약수터의 수질특성에 관한 연구, 한국지하수토양환경학회지, 15(6), 99-106, 2010.
4. 이윤국, 박옥현, 안상수, 김연희, 김종민, 배석진, 백계진, 문용운, 무등산 약수터의 강우 전·후 수질특성, 한국환경분석학회지, 14(3), 146-157, 2011.
5. 정재원, 2016년 먹는물공동시설(약수터) 수질조사, 부산광역시보건환경연구원보, 26, 244-248, 2016.
6. 조경덕, 먹는물공동시설(약수터) 실태조사 및 특성 약수에 대한 음용관리 방안 마련 연구, 토양지하수오염방지기술개발사업 최종보고서, 서울대학교산학협력단, 2014.
7. 최성화, 이승민, 김경선, 김미희, 지화성, 정유나, 유은철, 조정구, 부산지역 주요 해수욕장의 강우에 따른 세균학적 수질변화 연구, 한국미생물학회지, 46(2), 71-83, 2016.
8. 기상청 날씨누리 홈페이지, 지난 날씨, [http://www.weather.go.kr/weather/climate/past\\_table.jsp](http://www.weather.go.kr/weather/climate/past_table.jsp)
9. 박미애, 이방희, 박계량, 이상희, 박점상, 이미연, 약수터 수질의 위생학적 안전성 조사, 경남보건환경연구원보, 12, 600-618, 2012.
10. 이윤국, 윤상훈, 조광운, 위환, 김난희, 강영주, 김은선, 서광엽, 광주광역시 비지정약수터 수질특성, 한국환경분석학회지, 16(2), 152-162, 2013.
11. 김주인, 부산지역 약수터 미생물 살균시설 성능평가에 관한 연구, 부산광역시보건환경연구원보, 25, 370, 2015.

## 02 : 환경 분야

### **토양 중금속 검사방법 개선에 관한 연구**



# 토양 중금속 검사방법 개선에 관한 연구

- ICP-AES법에 의한 토양 Cd 분석의 간섭보정 -

박미애 · 구자근

토양화학팀

## A Study on the Improvement of Soil Heavy Metal Analysis Methods

- Interference correction of Cd analytical method in soil by ICP-AES -

Miae Park, Jageun Gu, Hyounsub Choi

Water Environmental Research Division, Soil Chemistry Team

### Abstract

This study was conducted to select the most accurate measurement wavelengths of Cd analysis by examining the cause and extent of interferences of Cd analytical values with 183 soil samples, standards, and certified soil samples. In the interference effects test of Cd standard solution, the percentage of recovery the Cd standard solution and the certified reference material (CRM) with high Fe concentration were 116~385% and 110~172%, at 226.5 and 214.4 nm, respectively. On the other hand, the accuracies at 228.8 nm were 92~95% and 95~98%, respectively, which satisfied the target value of quality control. In a dilution test for interference correction, when the 0.05 mg/L Cd standard solution was diluted 100 times, the interference corrections of Fe and As were observed at 214.4 and 228.8 nm, but not at 226.5 nm. These results suggest that it is necessary to revise the test method of heavy metals in soil for ICP-AES in order to obtain reliable analysis results by eliminating interference effect of Fe and As on Cd concentration.

**Key words** : ICP-AES, Soil, Heavy metal, Interference Correction, Measurement wavelength

## I. 서 론

토양에 오염된 중금속은 먹이사슬을 통하여 사람에게 위협을 가하기 때문에 토양 중 중금속의 정확한 모니터링으로 토양 환경오염을 막는 노력은 꼭 필요한 일이다. 중금속은 미량이라도 체내에 축적되면 잘 배출되지 않고 우리 몸속의 단백질에 쌓여 장기간에 걸쳐 부작용을 나타내기 때문에 더욱 위험한 것으로 알려져 있다.<sup>1,2)</sup> 따라서 환경부와 지자체는 토양오염 우려지역에 대한 오염의 예방과 실태를 파악하기 위해 매년 토양측정망과 토양오염실태조사를 실시하여 토양오염에 대처하고 있다.<sup>3)</sup>

토양의 중금속은 제조된 토양시료를 토양오염공정시험기준(ES 07400.2b)에 따라 왕수용액에 환류냉각분해과정을 거쳐 전처리하고 원자흡수분광광도계(AAS)나 유도결합플라즈마-원자발광분광계(ICP-AES)에 의한 기기분석방법을 이용하여 정량하고 있다. 특히 유도결합플라즈마-원자발광분광법(ICP-AES)은 동시에 여러 원소를 분석할 수 있는 장점 때문에 가장 신속하고 정확한 결과 도출이 가능하므로 분석자들이 선호하는 기기분석 방법 중 하나이다.<sup>4)</sup> 또한 다른 분석방법들에 비해 검량곡선의 직선영역이 넓고 높은 분석 감도를 제공하고 있기 때문에 중금속 분석방법으로 국내·외 분석기관에

서 가장 널리 사용되고 있는 방법이다.<sup>5)</sup> 그러나 토양시료는 Fe, Al, Mg 원소 등과 같은 지각물질이 다량으로 존재하고 있어 그 함유량에 따라 간섭영향을 받을 수 있고, 간섭의 영향으로 실제 농도보다 과대 또는 과소평가되기 때문에 선택한 측정과장에 따라 다른 결과 값을 얻을 수 있다.<sup>5-7)</sup>

특히 토양 중에 미량으로 존재하는 Cd 분석 시 유도결합플라즈마-원자발광분광법(ICP-AES)으로 정량할 경우 토양오염실태조사와 같은 일반토양 시료의 결과 값들이 공정시험기준에서 제시하는 제1측정 과장(226.502 nm), 제2측정 과장(214.439 nm), 기타측정 과장(228.802 nm)에 따라 큰 차이를 나타내고 있다. ICP-AES 분석 시 분광학적 간섭원소에 대한 정보는 EPA Method 6010d<sup>8)</sup>나 토양오염공정시험기준<sup>4)</sup>에 언급되어있으나, 그 구체적인 영향에 대한 내용이 언급되어 있지 않기 때문에 토양분야의 분석자들은 분석과장의 선택과 분석 결과의 신뢰도에 대한 혼란을 겪고 있는 실정이다.<sup>9,10)</sup>

따라서 본 연구는 토양의 복잡한 매트릭스 성분으로 인한 간섭요인들을 평가하고, ICP-AES 분석방법의 개선점이나 간섭에 대한 보정방법 등을 찾아, 보다 정확한 분석결과를 도출하여 토양 중금속 분석방법의 신뢰도를 높이는데 기여하고자 하였다.

## II. 실험 방법

### 1. 시약 및 토양시료

#### 가. 시약

중금속의 표준용액은 Merck KGaA 사 제품의 ICP 표준용액 100 mg/L를 필요농도에 따라 희석하여 사용하였고, 고농도 Fe의 간섭 효과 실험을 위한 표준용액은 Accustandard사 제품의 ICP 표준용액 10,000 mg/L를 희

석하여 사용하였다. 희석에 사용된 초순수는 Sartorius 사의 Arium Pro(German, Gottinge)장비로 제조된 18 M $\Omega$ ·cm 이상의 3차 정제수를 사용하였다.

#### 나. 인증표준물질(CRM)

CRM은 독일 BAM사의 BAM-U112a, NICEM(서울대학교 농생명과학공동기기원)에서 제조한 NICE·RM-HM-02 2종의 토양을 사용하였으며, 왕수추출에 대한 인증값은 Table 1과 같다.

Table 1. Description of metals in soil certified reference material (CRM)

CRM No.	Certified value (mg/kg)					
	As	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
BAM-U112a	10.3	4.12	75.5	10.1	198	198
NICE·RM-HM-02	8.56	3.92	31.7	9.86	415	656

#### 다. 토양시료

토양시료는 2017년 토양오염실태조사 수행을 위해 채취된 표토 및 심토에 대한 시료 183건을 토양오염공정시험기준에 따라 풍건 후 100 mesh로 체거름 하여 분석용 시료로 제조하였다.

### 2. 토양 중 중금속분석

#### 가. 전처리 방법

토양오염공정시험기준 ES 07400.2b 금속류-유도결합플라즈마-원자발광

분광법(metals-inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry)에 따라 토양 시료 3 g을 0.001 g까지 정확하게 취하여 Garhardt EBL-C(German, Bonn) 토양전처리장비의 250 mL 반응용기에 넣고 염산과 질산을 3:1(왕수추출)로 가하여 환류냉각방식으로 추출하였다. 30℃에서 2시간, 80℃에서 2시간 동안 반응 후 추출액은 Whatman No. 40 여과지로 여과하고 0.5 M 질산으로 100 mL 부피플라스크에 표선까지 채워 시료용액으로 사용하였다.

## 나. 기기분석

Agilent Technologies사의 5110 (Malaysia, Penang) 모델 ICP-AES를 사용하였으며 분석조건은 Table 2와 같고, 분석과장은 토양오염공정시험기준<sup>4)</sup>에 따른 금속별 측정과장으로 Table 3과 같다.

하였다. 정도관리 분석결과는 각 항목별 검정곡선 결정계수( $R^2$ ) 값 0.98 이상, 감응계수(RF)의 상대표준편차는 20% 이하, 정밀도는 상대표준편차가 30% 이내, 회수율은 70~130% 이내의 정도관리 목표값을 Table 4와 같이 모두 만족하였다.

## 다. 분석결과의 정도관리/정도보증

정도관리는 토양오염공정시험기준에서 정한 ICP-AES의 항목별 정량한계를 고려하여 시약바탕시료(Reagent blank)에 표준용액을 첨가한 시료 7개를 준비하고, 각 항목들의 회수율(Accuracy), 정밀도(Precision), 정량한계(Limit of Quantification)를 산정

## III. 결과 및 고찰

### 1. 토양 중금속의 간접영향 평가

#### 가. 중금속과 간접원소와의 상관성 평가

2017년 토양오염실태조사 183개 토양 시료의 중금속을 ICP-AES 분석결과는 Table 5에 나타내었다.

Table 2. Instrumental Parameters for ICP-AES

Dscription	Condition	Description	Condition
RF power	1.20 kw	Uptake delay	20 sec
Nebulizer gas flow	0.7 L/min	Nebulizer	Concentric Type
Plasma gas flow	12.0 L/min	Spray Chamber	Cyclonic spray
Auxiliary gas flow	1.0 L/min	Detector	CCD

Table 3. Selected measurement wavelength for metals

Element	Detection Wavelength nm		
	1st Wavelength	2nd Wavelength	3rd Wavelength
Cu	324.754	219.960	327.396, 224.700
Pb	220.353	216.999	224.688, 283.306
Ni	231.604	221.647	216.555, 232.003
As	193.696	188.979	197.198
Zn	213.856	206.200	202.548
Cd	<b>226.502</b>	<b>214.438</b>	<b>228.802</b>



Table 4. Results of Quality assurance and Quality control for ICP-AES  
(Unit : mg/kg)

Wavelength (nm)	As	Cd			Cu	Ni	Pb	Zn
	193.696	226.502	214.439	228.802	324.754	231.604	220.353	213.857
Spike Conc. (mg/kg)	1.667	0.667	0.667	0.667	1.667	0.667	0.667	1.667
Ave.(mg/kg)	1.6567	0.6281	0.6343	0.6248	1.6424	0.7062	0.6738	1.719
SD	0.0425	0.0033	0.0037	0.0050	0.0063	0.0229	0.0049	0.0071
Precision(%)	0.5	0.2	0.3	0.4	0.3	0.4	2.7	0.3
Accuracy(%)	103.1	107.9	107.6	104.5	106.5	108.4	109.4	105.2
LOQ(mg/kg)	0.425	0.033	0.037	0.050	0.063	0.229	0.049	0.071
LOQ(mg/kg) <sup>a)</sup>	1.50	0.10	0.10	0.10	1.0	0.4	1.5	1.0
Cal. range	3.33 ~ 33.33 mg/kg							
Linearity(r <sup>2</sup> )	0.99987	0.99992	0.99989	0.99994	0.99984	0.99992	0.99991	0.99990

a) Quality control target value

토양시료의 Cd 분석결과 제1측정 파장(Cd1, 226.5 nm)은 평균 2.51(0.97~5.35) mg/kg, 제2측정 파장(Cd2, 214.4 nm)은 평균 0.77(0.24~1.76) mg/kg, 기타 측정 파장(Cd3, 228.8 nm)은 평균 0.21(0~1.39) mg/kg로 제1측정 파장 농도 대비 기타 측정 파장의 농도는 약 12배 정도의 차이를 나타내었다. 이들 결과 값이 상이한 원인을 조사하기 위해 분광학적 간섭에 영향을 줄 수 있는 가장 대표적인 Fe, Al과 같은 지각 원소들과의 상관성을 분석하여 Table 6에 나타내었다. 제1측정 파장(226.5 nm) Cd1 분석결과는 Fe과의 상관계수가 0.94로 가장 높은 상관성을 나타내었으며, 제2측정 파장(214.4 nm) Cd2 분석결과와는 0.68로 비교적 높은 상관성을 나타내

었으나, 기타측정 파장(228.8 nm) Cd3 분석결과와의 상관계수는 0.04로 Cd 분석결과 중 가장 낮은 상관계수를 나타내어 Fe에 대한 간섭 영향을 받지 않을 것으로 판단된다.

토양시료 중 Fe과 Cd1 결과에 대한 상관관계를 Fig. 1에 도식화한 결과를 살펴보면 Fe 농도가 높을 때 Cd1 농도도 높아지는 유사한 패턴을 확인할 수 있다. 토양시료 중 Fe의 산술평균농도는 31,637(12,971~68,163) mg/kg으로 매우 높은 공존 농도를 나타내고 있다. 전체 시료 중 47% 이상이 평균 농도 이상으로 나타났으며, 폐기물처리시설 및 재활용 관련 지역, 교통관련시설지역 등의 순으로 높은 Fe 농도를 나타내었다. 토양 오염실태조사 시료의 Fe 농도는

ICP-AES 분석농도로 환산하면 평균 949.1(389~2,045)\* mg/L 수준이며, ICP-AES 분석 시 약 200~300 배 이상 희석하여야 검정곡선 이내에 분석이 가능할 정도의 고농도로 존

재하므로 Cd 분석에 따른 Fe 원소의 간섭영향에 대한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

\* 시료 농도(mg/kg) = 기기분석농도(mg/L)/건조중량(3 g)×시료부피(100 mL)

Table 5. Heavy metal concentration of actual soil specimen

	Concentration (mg/kg) (n=183)									
	As	Cd1	Cd2	Cd3	Cu	Ni	Pb	Zn	Fe	Al
	193.696	226.502	214.439	228.802	324.754	231.604	220.353	213.857	238.204	396.152
Ave.	3.7	<b>2.51</b>	<b>0.77</b>	<b>0.21</b>	33.4	10.4	23.7	93.9	31,637	19,182
Max.	31.9	5.35	1.76	1.39	163.3	49.9	203.1	593.5	68,163	42,690
Min.	0.0	0.97	0.24	0.00	2.6	0.0	4.6	19.1	12,971	4,496

Table 6. Correlation coefficient of heavy metals in actual soil specimen(n=183)

	Cd1	Cd2	Cd3	Cu	As	Pb	Zn	Ni	Fe	Al
Cd1	1									
Cd2	0.85	1								
Cd3	0.29	0.73	1							
Cu	0.17	0.33	0.40	1						
As	<b>0.16</b>	<b>0.17</b>	<b>0.19</b>	0.19	1					
Pb	0.08	0.23	0.34	0.52	0.36	1				
Zn	0.08	0.20	0.25	0.33	0.15	0.44	1			
Ni	0.19	0.21	0.17	0.11	0.35	0.04	0.03	1		
Fe	<b>0.94</b>	<b>0.68</b>	<b>0.04</b>	0.07	0.11	-0.01	0.00	0.14	1	
<b>Al</b>	0.62	0.39	-0.05	-0.09	0.07	-0.10	-0.08	0.11	0.67	<b>1</b>

Note: (Cd1) 226.502 nm, (Cd2) 214.439 nm, (Cd3) 228.802 nm

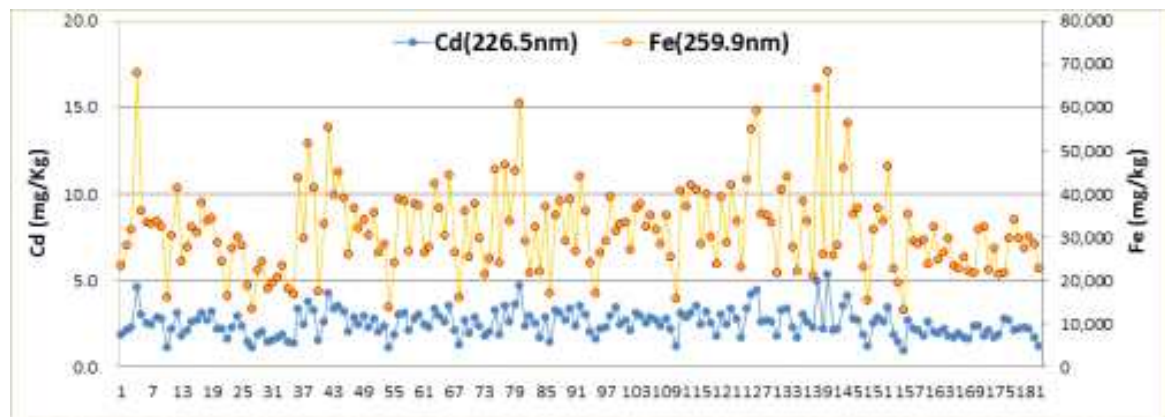


Fig. 1. Fe and Cd1 concentration of actual soil specimen.

#### 나. Cd 표준용액의 Fe 간섭 영향 평가

Fe의 농도에 따른 간섭영향 확인을 위해 Fe 표준용액 10,000 mg/L를 0.05~2.0 mg/L까지 단계적으로 제조된 Cd 표준용액 시료에 0, 500, 1,000 및 2,000 mg/L가 되도록 주입하여 ICP-AES로 분석한 결과를 Table 7 과 Fig. 2 에 나타내었다.

ICP-AES에 의한 토양 중금속 동시 분석 시 Fe을 첨가하지 않은 Cd 표준용액의 경우는 제1측정 파장(226.5 nm), 제2측정 파장(214.4 nm), 기타 측정 파장(228.8 nm)에서 모두 정도관리 정확도 목표값(70~130%)을 만족하였으나, Fe을 첨가한 0.05, 0.1, 0.2 mg/L 저농도 Cd 표준용액은 제1측정 파장(226.5 nm)과 제2측정 파장(214.4 nm)에서 모두 Fe을 함유하지 않은 표준용액 대비 회수율이 130~385%로 높게 나타났고, 기타 측정 파장(228.8 nm)만 모든 농도범위에서 Fe의 간섭영향이 없는 것으로 조사되었다.

Fe의 공존농도 500 mg/L(최소공존농도) 일 때 Cd 표준용액 0.05 mg/L의 분석결과는 제1측정 파장(226.5 nm)에서 회수율 160%, 제2측정 파장(214.4 nm)에서 회수율 116%로 간섭영향을 확인하였고, 기타측정파장(228.8 nm)만 회수율 96%로 간섭이 없는 것으로 나타났다. Cd 표준용액 0.1 mg/L의 분석결과는 제1측정 파장(226.5 nm) 회수율 130%, 제2측정 파장(214.4 nm) 회수율 107%로 0.05 mg/L

Cd 표준용액보다 간섭영향이 적은 것으로 나타났다.

Fe의 공존농도 1,000 mg/L(평균공존농도) 일 때 Cd 표준용액 0.05 mg/L의 분석결과는 제1측정 파장(226.5 nm)에서 회수율도 222%, 제2측정 파장(214.4 nm)은 회수율 136%로 Fe 공존농도 500 mg/L의 경우보다 Fe의 간섭영향이 증가하는 것으로 나타났다. Cd 표준용액 0.1 mg/L의 분석결과는 제1측정 파장(226.5 nm) 회수율 161%, 제2측정 파장(214.4 nm)은 회수율 116%로 Cd 표준용액 농도가 증가할수록 Fe의 간섭영향이 적은 것으로 나타났다.

Fe 공존농도 2,000 mg/L(최대공존농도) 일 때 Cd 표준용액 0.05 mg/L의 경우 제1측정 파장(226.5 nm)에서 회수율 385%로 가장 높은 간섭영향을 나타내었다. Cd 표준용액 0.2 mg/L, 0.5 mg/L의 경우 회수율 151%, 114%로 분석하고자 하는 Cd 농도가 높아질수록 간섭영향은 감소하였다. 즉 Table 7과 Fig. 2 에서 나타난 바와 같이 Cd 농도가 낮을수록, 공존 Fe의 농도가 높을수록 Cd 분석결과값이 증가하므로 Fe의 간섭영향도 증가하는 것으로 나타났다.

우리나라 토양 중 Cd 배경농도는 평균 0.18 mg/kg(0.005 mg/L)로 1지역 토양오염우려기준(4 mg/kg)의 약 4.5%의 수준이고<sup>3)</sup> 2017년 경남지역 토양오염실태조사 결과의 Cd 농도도 0.24~1.77 mg/kg(0.053 mg/L) 수준으

로 낮은 농도로 존재하기 때문에 Fe에 대한 간섭영향이 큰 제1측정 파장(226.5 nm)과 제2측정 파장(214.4 nm)은 토양시료의 Cd 분석 파장으로 적합하지 않는 것으로 판단된다. 특히 제1측정 파장(226.5 nm)에서 Cd 표준용액 0.05 mg/L는 Fe의 최대 공존농도 2,000 mg/L 실험결과에서도

0.2011 mg/L로 약 4배 이상 높게 나타났다. 이러한 분석결과는 1지역 토양오염우려기준을 초과하지 않는 4 mg/kg(0.12 mg/L)이하 Cd 시료의 경우라도 측정파장에 따라 높게 나타나 1지역 토양오염우려기준을 초과하는 분석결과를 얻을 수도 있다는 것을 의미한다.

Table 7. Variation of Cd concentration by increasing of spiked Fe concentration at the targeted wavelengths (Standard solution)

STD (mg/L)	Wavelength (nm)	Fe 0 mg/L	Fe 500 mg/L (Accuracy %)	Fe 1000 mg/L (Accuracy %)	Fe 2000 mg/L (Accuracy %)
Cd 0.05	1st(226.5)	0.0522	0.0833(159.6)	0.1156(221.5)	0.2011(385.2)
	2nd(214.4)	0.0520	0.0603(116.0)	0.0705(135.6)	0.1095(210.6)
	3rd(228.8)	0.0510	0.0487(95.5)	0.0471(92.4)	0.0485(95.1)
Cd 0.1	1st(226.5)	0.1048	0.1365(130.2)	0.1689(161.2)	0.2340(223.3)
	2nd(214.4)	0.1058	0.1137(107.5)	0.1230(116.3)	0.1422(134.4)
	3rd(228.8)	0.1029	0.1007(97.9)	0.0987(95.9)	0.0965(93.8)
Cd 0.2	1st(226.5)	0.2108	0.2383(113.0)	0.2649(125.7)	0.3181(150.9)
	2nd(214.4)	0.2120	0.2154(101.6)	0.2198(103.7)	0.2252(106.2)
	3rd(228.8)	0.2053	0.2017(98.2)	0.1988(96.8)	0.1894(92.3)
Cd 0.5	1st(226.5)	0.5282	0.5424(102.7)	0.5630(106.6)	0.6011(113.8)
	2nd(214.4)	0.5338	0.5203(97.5)	0.5186(97.2)	0.5097(95.5)
	3rd(228.8)	0.5178	0.5061(97.7)	0.5043(97.4)	0.4817(93.0)
Cd 1.0	1st(226.5)	1.0494	1.0378(98.9)	1.0419(99.3)	1.1156(106.3)
	2nd(214.4)	1.054	1.0151(96.3)	0.9992(94.8)	0.9699(92.0)
	3rd(228.8)	1.0289	1.0102(98.2)	0.9908(96.3)	1.0418(101.3)
Cd 2.0	1st(226.5)	2.0678	2.0150(97.4)	2.0001(96.7)	1.9695(95.2)
	2nd(214.4)	2.0874	2.0002(95.8)	1.9557(93.7)	1.9801(89.5)
	3rd(228.8)	2.0412	1.9971(97.8)	1.9801(97.0)	1.924(94.3)

EPA 6010d Method<sup>8)</sup>는 Cd 제1측정 파장(226.5 nm)에 대한 간섭영향 검증 자료로 Fe 1,000 mg/L 공존시 Cd 100 mg/L 시료의 간섭농도는 약 0.03 mg/L 정도로 미비한 간섭영향을 준다는 것만 제시하고 있고, 토양 오염공정시험기준도 분광학적 간섭 원소에 대한 종류만 참고하여 부록(ISO 22036 Annex B)으로 기술하고 있기 때문에 토양분야 분석자들은 Fe 원소에 대한 간섭의 심각성을 인지하지 못하고 있다.

#### 다. 인증 표준물질의 Fe 간섭 영향 평가

인증표준물질(CRM)에 대한 간섭 영향을 확인하기 위해 토양인증표준물질 BAM-U112a와 NICE·RM-HM-02를 전처리 후 각각의 시료에 Fe 공존 농도가 0, 500, 1,000 및 2,000 mg/L가 되도록 주입하여 공존 Fe 농도 증가에 따른 ICP-AES 분석파장별 Cd 분석결과를 Table 8 과 Fig. 3에 나타내었다. BAM-U112a 시료의 Fe 간섭영향 확인 실험결과 Fe을 주입하지 않은 시료의 인증값 대비 측정파장별 분석결과의 회수율이 90.6~97.4% 로 비교적 양호한 결과를 나타내었다.

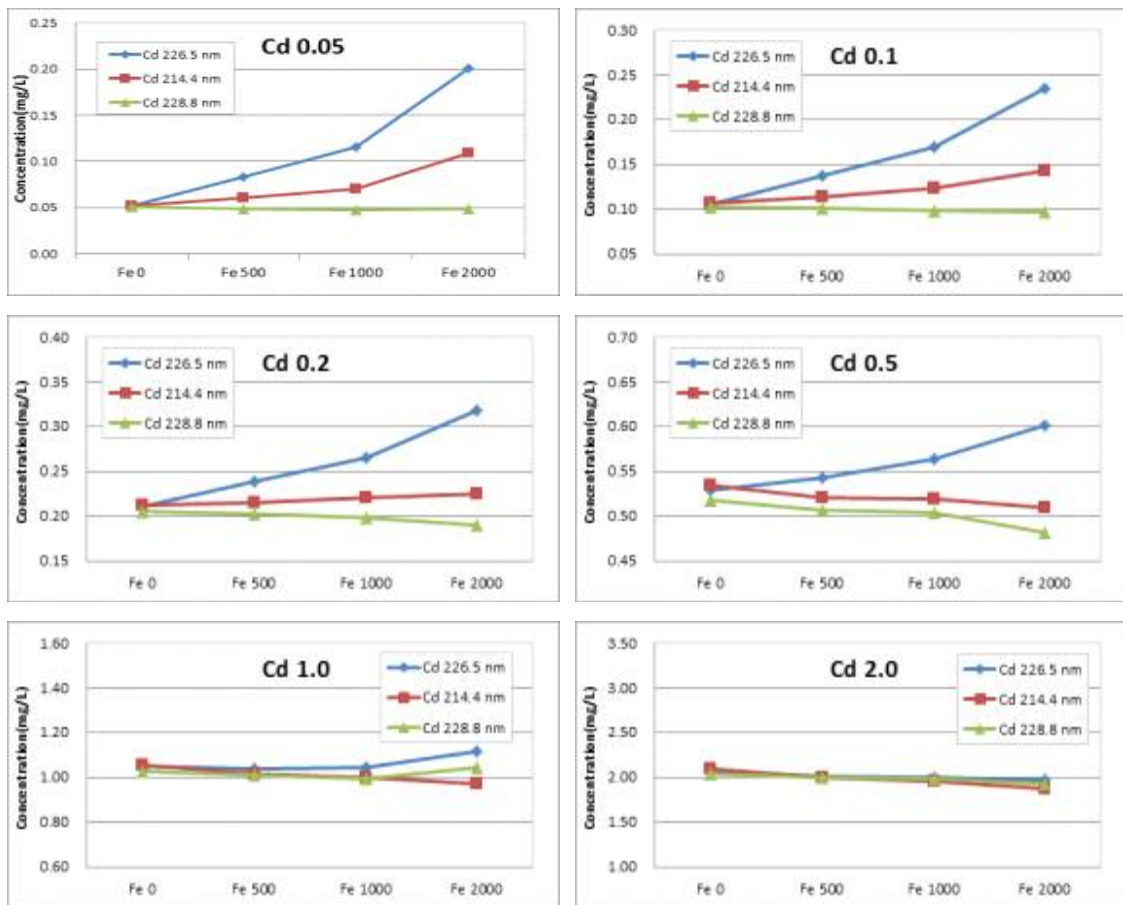


Fig. 2. Difference of Cd concentration by increasing Fe level at the targeted wavelengths (standard solution).

NICE·RM 시료는 제1측정과장(226.5 nm)에서 인증값 대비 회수율 132%로 높게 나타내었다. 이것은 Cd 표준용액 0.1 mg/L 실험에서 공존 Fe 500 mg/L 인 경우 분석결과 130.8%의 회수율과 유사하므로 NICE·RM CRM 시료 자체에 Fe이 공존되어 있는 것으로 추정할 수 있다.

제1측정과장(226.5 nm)과 제2측정과장(214.4 nm)에서 Fe의 주입농도가 증가할수록 BAM-U112a과 NICE·RM

CRM의 Cd 분석결과는 Fe을 주입하지 않은 시료 대비 회수율이 217%로 높게 나타났다.(Table 8, Fig. 3) 이것은 Cd 표준물질 0.1 mg/L의 Fe 간섭영향 실험에서 회수율이 223%로 나타난 결과와 유사한 것으로 나타났다. 제1측정 파장(226.5 nm)으로 분석된 CRM 시료는 Fe 간섭의 영향으로 인증값의 2배 이상 높은 농도로 분석되는 것을 알 수 있다.

Table 8. Variation of Cd concentration by increasing of spiked Fe concentration at the targeted wavelengths (CRM, Unit : mg/L)

	Wavelength (nm)	Certified values	Fe 0 <sup>a)</sup> (Accuracy %)	Fe 500 mg/L (Accuracy %)	Fe 1,000 mg/L (Accuracy %)	Fe 2,000 mg/L (Accuracy %)
CRM-BAM	1st(226.5)		0.1204 (97.4)	0.1557 (129.3)	0.1901 (157.9)	0.2600 (215.9)
	2nd(214.4)	0.1236	0.112 (90.6)	0.1229 (109.7)	0.1327 (118.5)	0.1549 (138.3)
	3rd(228.8)		0.1164 (94.2)	0.1145 (98.4)	0.1143 (98.2)	0.1111 (95.4)
CRM-NICE·RM	1st(226.5)		0.1556 (132.3)	0.2036 (130.8)	0.2452 (157.6)	0.3374 (216.8)
	2nd(214.4)	0.1176	0.1256 (106.8)	0.1372 (109.2)	0.1442 (114.8)	0.1649 (131.3)
	3rd(228.8)		0.1217 (103.5)	0.1206 (99.1)	0.1164 (95.6)	0.1141 (93.8)

a) CRM-BAM containing 210 mg/L of Fe

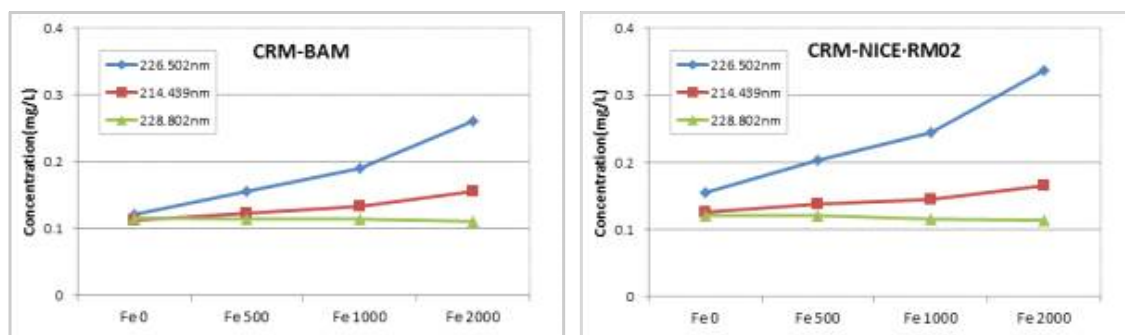


Fig. 3. The interference effect of spiked Fe concentration on Cd concentration of CRM soil at the targeted wavelengths.

BAM-U112a와 NICE·RM 모두 제2 측정파장(214.4 nm)에서 Fe 간섭 영향은 제1측정 파장(226.5 nm) 대비 낮은 편이나 Fe이 고농도(2,000 mg/L)로 존재할 경우 회수율이 131~138 %로 증가됨에 따라 저농도 Cd 시료에 대한 간섭보정은 반드시 고려되어야 할 것으로 사료된다. 반면 기타 측정 파장(228.8 nm) 분석결과는 표준용액 실험에서와 같이 공존 Fe 농도가 증가하여도 간섭영향이 없는 것으로 나타났다.

#### 라. Cd 표준용액의 As 간섭 영향 평가

Fe의 간섭영향이 없는 기타 측정파장(228.8 nm)으로 Cd 분석 시 토양오염공정시험기준 첨부자료(ISO 22036)에 수록된 광학적 간섭원소 As의 간섭 영향에 대한 실험을 수행하였다. 일반적으로 토양시료의 As 분포농도는 2017년 토양오염실태조사 경남 평균값인 약 3.74(0~31.9) mg/kg로 이를 기기분석농도로 환산 시 약 0.11 mg/L(0~1.66)이다. 따라서 As 간섭영향 실험을 위해 Cd 표준용액 0.05~0.5 mg/L에 공존 As 0, 0.1, 1.0, 3.0 mg/L가 되도록 제조하고 측정파장별 분석결과를 Table 9와 Fig. 4에 나타내었다.

기타 측정파장(228.8 nm)의 경우 토양시료의 As가 평균농도 수준인 0.1 mg/L (3.33 mg/kg) 공존 시 Cd 표준용액 0.05 mg/L(1.67 mg/kg)의 회수율이 98.5%로 간섭영향이 없었으나, 최고

농도 수준인 As 1.0 mg/L(33.33 mg/kg)로 공존할 경우는 회수율 123.6%로 간섭영향을 나타내었다. As 공존 농도 3.0 mg/L(100 mg/kg)의 경우는 회수율이 162%로 간섭영향이 공존 As의 농도가 높아질수록 증가함을 Fig. 4에서 확인할 수 있다. 그러므로 Fe 간섭원소와 마찬가지로 As의 경우도 분석하고자 하는 Cd 농도가 낮을수록 As의 공존농도가 높을수록 간섭 영향이 큰 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 Cd 분석 시 공존 As의 스펙트럼 간섭 영향을 연구한 선행연구<sup>9)</sup>에서 공존 As 농도 25.0 mg/kg (0.75 mg/L) 일 때 Cd 표준용액 4 mg/kg (0.12 mg/L)에서는 간섭영향이 없으나 Cd 표준용액 0.33 mg/kg(0.01 mg/L)에서는 회수율이 160%로 높게 나타나 본 연구결과 회수율 162%와 유사한 결과를 나타내었다.

Fe과 As의 간섭영향을 비교한 Fig. 4에서 Fe은 최저농도 수준인 500 mg/L 공존 시부터 간섭을 받아 회수율이 증가하고, 반면 As는 최고농도 1.0 mg/L 공존 시에도 회수율 124%로 제1측정 파장의 Fe 최저농도수준의 회수율 160%보다 크지 않아 간섭영향이 낮음을 알 수 있다.

즉 As의 공존농도는 2017년 전국 토양측정망 시료 1,000개소 중 약 998개 시료가 0.77 mg/L(25.8 mg/kg) 이하 수준으로 조사되어 대부분 시료가 간섭영향에서 안전할 것으로 판단되나, As 33.33 mg/kg (1.0 mg/L)을

초과 할 경우 기타 측정 파장(228.8 nm)도 간섭영향을 피할 수 없으므로 연속 희석법, 전과장 분석법 등을 사용한 간섭 영향에 대한 보정이 필요하다.

## 2. 토양 중금속 간섭영향 보정방법 평가

토양오염공정시험기준 금속류-ICP-AES 법에는 광학적 간섭효과가 의심될 경우 바탕선 보정, 연속희석법, 표준물질첨가법, 전과장분석, 대체분석 등을 제시하고 있다.<sup>4)</sup>

## 가. 희석법에 의한 간섭영향 보정실험

EPA Method 6010d에서도 간섭보정을 위해 선행되어야 할 방법으로 희석법을 제시하고 있다.<sup>8)</sup> 희석방법에 따른 간섭영향 보정실험을 위해 Fe의 공존농도가 1,000 mg/L, As 공존농도 1.0 mg/L 인 Cd 표준용액 0.05 mg/L 시료를 대상으로 5, 10, 100배로 희석배율을 달리한 분석결과를 Table 10에, 분석결과의 스펙트럼 변화를 Fig. 5에 나타내었다.

Table 9. Variation of Cd concentration by increasing of spiked As concentration at the targeted wavelengths (Standard solution)

STD (mg/L)	Wavelength (nm)	As 0	As 0.1 mg/L (Accuracy %)	As 1.0 mg/L (Accuracy %)	As 3.0 mg/L (Accuracy %)
Cd 0.05	1st(226.5)	0.0514	0.0536(104.3)	0.0543(105.6)	0.0543(105.6)
	2nd(214.4)	0.0516	0.0537(104.1)	0.0545((105.6)	0.0541((104.8)
	3rd(228.8)	0.0509	0.0530(104.1)	0.0629(123.6)	0.0822(161.5)
Cd 0.1	1st(226.5)	0.1057	0.1061(100.4)	0.1063(100.6)	0.1084(102.6)
	2nd(214.4)	0.1057	0.1057(100.0)	0.1063(100.6)	0.1078(102.0)
	3rd(228.8)	0.1035	0.1035(100.0)	0.1126(108.8)	0.1339(129.4)
Cd 0.2	1st(226.5)	0.2149	0.2145(99.8)	0.2137(99.4)	0.2159(100.5)
	2nd(214.4)	0.2139	0.2138(100.0)	0.2139(100.0)	0.2131(99.6)
	3rd(228.8)	0.2097	0.2076(99.0)	0.2164(103.2)	0.2379(113.4)
Cd 0.5	1st(226.5)	0.5560	0.5495(98.8)	0.5484(98.6)	0.5485(98.7)
	2nd(214.4)	0.5525	0.5479(99.2)	0.5442(98.5)	0.5457(98.8)
	3rd(228.8)	0.5334	0.5290(99.2)	0.5348(100.3)	0.5564(104.3)



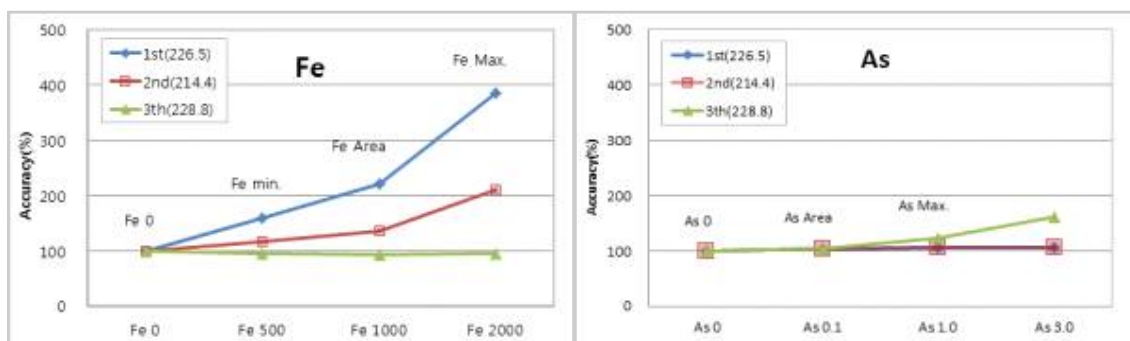


Fig. 4. Cd recovery rates from 0.05 mg/L Cd standard solution spiked with several levels of Fe and As.

제1측정 파장(226.5 nm)의 분석결과는 100배까지 희석하여도 분석결과가 0.127 mg/L, 회수율이 243%로 높게 나타나 간섭영향을 보정할 수 없었다. 제2측정 파장(214.4 nm)의 분석결과는 10배 희석에서 0.074 mg/L, 회수율 143%로 과대평가 되었으나 100배 희석 분석결과 0.053 mg/L, 회수율 102%로 간섭영향이 보정되는 것을 확인 할 수 있다. 기타측정파장(228.8 nm)에 대한 실험결과도 제2측정 파장(214.4 nm)과 마찬가지로 100배 희석한 경우 회수율 102%로 As의 간섭영향이 보정됨을 확인하였다. 따라서 간섭시료의 100배 희석으로

제2측정 파장과 기타 측정 파장은 간섭보정이 가능하나 제1측정파장은 간섭보정이 어려울 것으로 판단된다. 제2측정 파장의 평균 및 최고 공존 Fe 농도에 대한 간섭영향은 회수율 136%, 211%로 높게 나타났으나, 기타 측정 파장의 평균 및 최대공존 As 농도에 대한 간섭영향은 회수율 104%, 124%로 간섭영향이 상대적으로 낮으므로 Fe에 간섭영향이 없는 기타 측정 파장(228.8 nm)에서의 분석이 가장 높은 회수율을 기대할 수 있다. 다만 As의 공존 농도 1.0 mg/L(33.33 mg/kg) 이상의 시료에 대한 간섭보정은 필요할 것으로 사료된다.

Table 10. Variation of Cd concentration by increasing of spiked Fe and As concentration at the targeted wavelengths (Standard solution)

STD (mg/L)	Wavelength(nm)	Fe 0 As 0	Fe 1,000 mg/L, As 1 mg/L			
			×1 (Accuracy %)	×5 (Accuracy %)	×10 (Accuracy %)	×100 (Accuracy %)
Cd 0.05	1st(226.5)	0.0522	0.1174(224.9)	0.1216(233.0)	0.1225(234.7)	0.1270(243.3)
	2nd(214.4)	0.0520	0.0710(136.5)	0.0731(140.6)	0.0741(142.5)	0.0531(102.1)
	3rd(228.8)	0.0493	0.0626(127.0)	0.0653(132.4)	0.0652(132.2)	0.0505(102.4)

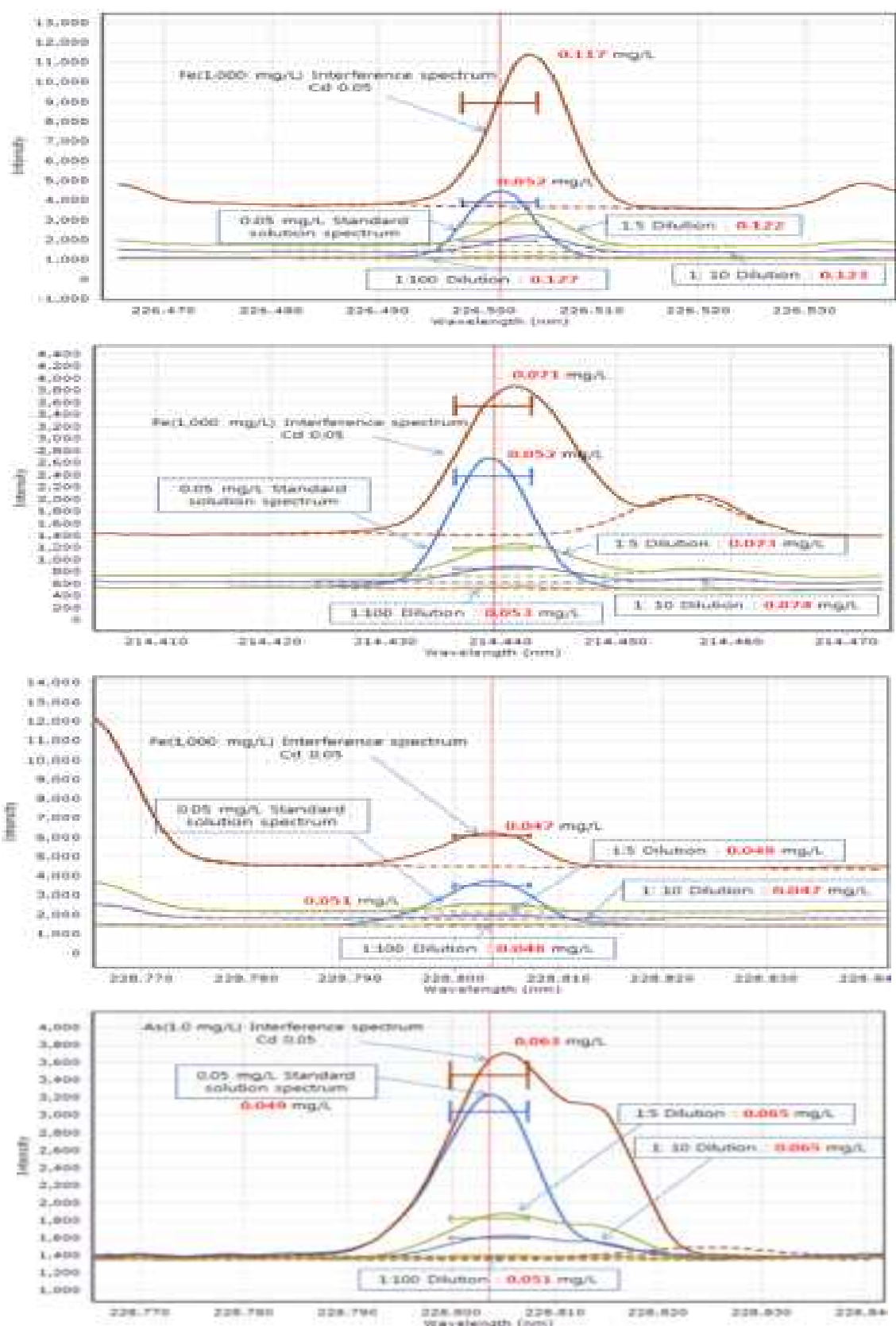


Fig. 5. Spectrum of the tested wavelengths for Cd with dilution factors.

#### 나. 표준물질첨가법 간섭영향 보정실험

간섭 보정효과를 확인하기 위한 방법으로 토양오염공정시험기준과 EPA Method 6010d는 토양시료의 복잡한 매질로 인한 간섭물질의 보정방법으로 표준물질첨가법을 제시하고 있다. 표준물질첨가법은 토양시료에 표준물질을 첨가하여 검량곡선을 작성하는 방법으로 간섭효과가 큰 분석대상 시료나 동일한 매질의 표준시료를 확보하지 못한 경우 매질효과를 보정하여 분석할 수 있는 방법이다.<sup>4,8)</sup>

Fe 1,000 mg/L 공존 시료의 간섭영향 보정을 위해 인증표준물질(CRM) BAM-U112a와 NICE·RM 시료에 Cd 표준용액 농도가 0, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5 mg/L 농도가 되도록 표준물질을 주입하여 표준물질첨가법으로 정량한 Cd 분석결과를 Table 11에 나타내었다.

표준물질첨가법에 따라 인증표준물질 BAM-U112a와 NICE·RM-HM-02를 Cd 제1측정 파장(226.5 nm)과 제2측정 파장(214.4 nm)의 분석한 결과는 인

증값 대비 회수율이 137~228%로 절대검정곡선법 회수율 115~158%보다 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 토양의 매질효과 상쇄를 위한 표준물질첨가법 선행연구<sup>10)</sup> 결과에서 절대검정곡선법 대비 표준물질첨가법의 Cd 회수율이 약 8.4% 증가하는 경우와 유사하나 Fe의 간섭보정 효과는 없는 것으로 나타났다. 표준물질첨가법에 의한 간섭보정이 어려운 원인으로서는 일반적인 토양시료에 존재하는 Fe의 농도가 간섭을 보정할 수 없을 정도로 너무 높기 때문인 것으로 추정되므로 Fe 원소 간섭으로 인한 Cd 농도의 과대평가를 피하기 위해서는 제1측정 파장과 제2측정 파장 보다는 기타측정 파장(228.8 nm)으로 분석하는 것이 가장 정확한 결과를 기대할 수 있을 것이다. 그러므로 본 연구 결과에 따르면 토양오염공정시험기준 ES 07400.2b에서 제시하고 있는 제1측정 파장(226.5 nm)은 변경되어야 할 것으로 사료된다.

Table 11. Variation of Cd concentration by standard-addition with increasing of spiked Fe concentration at the targeted wavelengths

	Wavelength (nm)	Certified values (mg/L)	Fe 0 mg/L (Accuracy %)	Fe 500 mg/L (Accuracy %)	Fe 1,000 mg/L (Accuracy %)	Fe 2,000 mg/L (Accuracy %)
CRM- BAM	1st(226.5)		0.1204 (97.4)	0.1621 (134.6)	0.2549 (227.6)	0.2521 (216.6)
	2nd(214.4)	0.1236	0.1120 (90.6)	0.1415 (117.5)	0.1730 (154.5)	0.1738 (149.3)
	3rd(228.8)		0.1164 (94.2)	0.1244 (103.3)	0.1312 (117.1)	0.1255 (107.8)
CRM- NICE· RM	1st(226.5)		0.1556 (132.3)	0.2339 (150.3)	0.2652(211.1)	0.3785 (311.0)
	2nd(214.4)	0.1176	0.1256 (106.8)	0.1562(100.4)	0.1725 (137.3)	0.2125 (174.6)
	3rd(228.8)		0.1217 (103.5)	0.1270 (99.1)	0.1245 (95.6)	0.1178 (93.8)

#### 다. 상대검정곡선법에 의한 간섭영향 보정실험

간섭 보정효과를 확인하기 위한 방법으로 토양오염공정시험기준 ICP-AES 분석 방법이나 EPA Method 6010d에서 제시하고 있지는 않으나 시험 분석절차나 기기 또는 시스템의 변동으로 발생하는 오차를 보정하기 위해 사용하는 내부표준물질을 첨가하여 상대검정곡선법을 수행하였다.

공존 Fe 원소를 주입한 Cd 0.1 mg/L 표준용액, 인증표준물질 BAM-U112a 시료, 검량곡선용 표준용액에 모두 동일 농도가 되도록 내부표준물질로 이트륨(Yttrium, 1,000 mg/L)을 첨가하여 분석한 결과를 Table 12에 나타내었다.

내부표준물질을 이용한 상대검정곡선법의 결과는 절대검정곡선법으로 분석한 결과와 공존 Fe 농도에 따른

Cd 분석결과의 회수율이 유사하게 증가하여 간섭 보정효과는 없는 것으로 나타났다. BAM-U112a 시료의 Cd 인증농도(0.1236 mg/L)와 유사한 Cd 표준용액 0.1 mg/L 시료 실험의 분석결과도 회수율이 129~228 %로 유사한 증가율을 나타내었다. 따라서 내부표준물질을 사용한 상대검정곡선법 또한 표준물질첨가법과 마찬가지로 분광학적 간섭원소의 보정방법으로 사용할 수 없는 것을 확인하였다.

### 3. 고찰

본 연구는 2017년 토양오염실태조사 모니터링을 위한 183개 토양시료와 표준용액, 인증토양을 대상으로 유도결합플라스마-원자발광분광법(ICP-AES)에 의한 Cd 분석 시 발생

Table 12. Variation of Cd concentration by internal standard-calibration with increasing of spiked Fe concentration at the targeted wavelengths

	Wavelength (nm)	Certified values (mg/L)	Fe 0 mg/L (Accuracy %)	Fe 500 mg/L (Accuracy %)	Fe 1,000 mg/L (Accuracy %)	Fe 2,000 mg/L (Accuracy %)
CRM- BAM	1st(226.5)		0.1221 (98.7)	0.1574 (128.9)	0.1941 (159.0)	0.2715 (222.4)
	2nd(214.4)	0.1236	0.1121 (90.7)	0.1210 (107.9)	0.1312 (117.0)	0.1508 (134.5)
	3rd(228.8)		0.1198 (96.9)	0.1188 (99.2)	0.1185 (98.9)	0.1198 (100.0)
Cd 0.1	1st(226.5)		0.1049 (95.3)	0.1360 (129.6)	0.1707 (162.7)	0.2392 (228.0)
	2nd(214.4)	0.1000	0.1051 (95.1)	0.1106 (105.2)	0.1212 (115.3)	0.1402 (133.4)
	3rd(228.8)		0.1031 (97.0)	0.1006 (97.6)	0.0993 (96.3)	0.0951 (92.2)

하는 간섭원인과 정도를 검토하여 가장 정확한 Cd 분석결과를 얻을 수 있는 측정파장 선택을 위한 실험결과이다. ICP-AES는 여러 원소를 동시에 분석할 수 있기 때문에 신속한 분석이 가능하고, 원자흡수분광광도법(AAS)보다 검량곡선의 직선성이 넓어 감도가 뛰어나 분석자들이 가장 선호하는 장비이나 분석물질에 대한 분광학적 간섭을 고려하여야 하는 단점도 있다.

토양 중 Cd를 토양오염공정시험기준에서 제시하는 제1측정 파장(226.5 nm)과 제2측정 파장(214.4 nm)으로 분석한 결과는 기타 측정파장(228.8 nm)으로 분석한 결과의 평균농도보다 약 3.3~12배 정도 높은 분석결과와 농도차이를 나타내었다. 이는 토양 중 Fe의 분광학적 간섭으로 Cd 농도가 과대평가되므로 제1측정파장(226.5 nm)과 제2측정 파장(214.4 nm)은 측정하는 Cd 농도가 낮을수록 Fe의 공존 농도가 높을수록 분광학적 간섭이 증가하므로 Cd의 측정파장으로 부적합하다. 기타측정파장(228.8 nm)은 As에 대한 광학적 간섭영향은 일부 존재 하지만 일반적인 토양에 존재하는 최고농도(1.0 mg/L) 이상 수준에서 간섭영향이 있으므로 회석법으로 보정이 가능하며, 또한 Fe의 고농도와는 간섭영향이 없으므로 기타측정파장(228.8 nm) 분석이 간섭영향을 최소화 할 수 있고 가장 정확한 Cd 분석결과를 기대할

수 있다.

간섭보정을 위한 회석법에서 제2측정파장과 기타측정파장(228.8 nm)은 간섭보정이 가능하였으나 제1측정파장(226.5 nm)은 간섭보정 효과가 없으므로 보다 정확한 Cd 결과를 얻기 위해서는 공정시험기준의 제1측정파장(226.5 nm)을 변경하여야 분석자들의 혼돈을 줄일 수 있을 것으로 사료된다. 제2측정파장의 간섭은 기타측정파장의 간섭 보다 크므로 토양오염공정시험기준의 제1측정파장을 228.8 nm로 개정하고 As에 대한 간섭을 확인할 경우 회석법으로 보정하는 것이 가장 정확한 Cd 분석결과를 도출 할 수 있는 방법이라고 판단된다.

그러므로 향후 토양 중금속의 ICP-AES 법에서 간섭영향에 대한 단점을 보완하여 신뢰도 높은 분석결과를 얻을 수 있도록 측정파장에 대한 변경과 Cd의 분광학적 간섭 원소에 대한 구체적인 농도 범위나 유의사항 등을 반영하는 토양오염공정시험법의 개정이 반드시 검토되어야 할 것으로 사료된다.

## IV. 결 론

토양 중 Cd 분석 시 ICP-AES 측정파장별 상이한 결과의 원인을 평가하고 분석결과와 신뢰도를 높일 수 있는 파장 선택을 위한 간섭보정 실

험을 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 토양시료의 Cd 분석결과 제1측정 파장(226.5 nm)은 평균 2.51(0.97~5.35) mg/kg, 제2측정 파장(214.4 nm)은 평균 0.77(0.24~1.76) mg/kg, 기타측정파장(228.8 nm)은 평균 0.21(0~1.39) mg/kg로 제1측정 파장 농도 대비 기타측정파장의 농도는 약 12배 정도의 차이를 나타내었다.
2. 토양시료 183건에 대한 중금속 항목간의 상관성 분석결과 Fe과 Cd의 상관계수는 Fe-Cd1 0.94 > Fe-Cd2 0.68 > Fe-Cd3 0.04로 제1측정 파장 Cd1과 제2측정 파장 Cd2는 Fe의 농도와 상관성이 높게 나타났다.
3. 공존 Fe 농도 변화에 따른 Cd 표준용액의 간섭영향 실험에서 제1측정 파장(226.5 nm)과 제2측정 파장(214.4 nm)은 Cd 농도가 낮을수록 공존 Fe의 농도가 높을수록 분광학적 간섭이 증가하여, 회수율이 표준용액은 116~385%, 인증표준물질(CRM)은 110~217%로 높은 간섭영향이 나타났다. 반면, 기타측정파장(228.8 nm)은 표준용액 92~95%, 인증표준물질(CRM) 95~98%로 Fe 원소에 대한 간섭영향이 없었다.
4. 공존 As 농도 변화에 따른 Cd 표준용액의 간섭영향 실험에서 기타

측정 파장(228.8 nm)은 Cd 표준용액 0.05 mg/L일 때 As 평균농도 시료는 간섭영향이 없었으나, As 최대농도 수준인 1.0 mg/L(33.33 mg/kg) 시료는 124% 정도 높게 나타났다.

5. 간섭보정을 위한 회석실험에서 Cd 표준용액 0.05 mg/L를 100배 회석한 결과 제2측정 파장(214.4 nm), 기타측정파장(228.8 nm)에서 Fe이나 As의 간섭이 보정되나, 제1측정파장(226.5 nm)은 간섭이 보정되지 않아 토양 중 ICP-AES법의 Cd 측정파장으로 부적합하였다.
6. 토양 중 Cd 농도가 보다 신뢰성 있는 결과를 얻기 위해서는 토양 오염공정시험기준 ICP-AES법 Cd 분석파장 중 현재 기타측정 파장(228.8 nm)을 제1측정 파장으로의 개정이 필요할 것이다.

본 연구논문은 2019년 『환경분석과 독성보건』 학술지 제22권 제4호에 게재되었습니다.

### 감사의 글

본 연구는 경상남도보건환경연구원 물환경연구부 토양화학팀의 2018년 시책사업으로 환경부 국립환경과학원 환경분야 시험검사의 국제적합성 지원사업으로 수행되었습니다.

## V. 참 고 문 헌

1. <http://navercast.naver.com>, 네이버 백과사전.
2. He, Z., SHENTU, J., YANG, X., BALIGAR, V.C., ZHANG, T. & STOFFELLA, P.J. Heavy Metal Contamination of Soils : Sources, Indicators, and Assessment. *Journal of Environmental Indicators*, Vol 9, 17-18, 2015.
3. 2016년도 토양오염 측정망 및 실태조사 결과, 환경부, 2017.
4. 토양오염공정시험기준, 환경부, 2018.
5. Ambrogio Mazzucotelli, Fabio De Paz, Emanuele Magi and Roberto Frache. Interferences of Major Elements in the Determination Rare Earth Elements by Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectroscopy, *Analytical Sciences*, Vol. 8, 189-193, 1992.
6. 이홍길, 김지인, 등 6, ICP-AES를 이용한 토양 시료 중 비소 분석 방법 개선, *한국분석과학회*, Vol. 28, No6, 409-416, 2015.
7. Daskalova N, Boevski Iv. Spectral interferences in the determination of trace elements in environmental materials by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry, *Spectrochimica Acta Part B*. Vol. 54 1099-1122, 1999.
8. Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry(ICP-OES), US EPA method 6010d : 1~35, July, 2018.
9. 안성혁, ICP-OES를 이용한 토양 중 카드뮴 분석 시 공존 비소의 스펙트럼 간섭의 영향 연구, *서울과학기술대학교 환경공학과 석사 논문*, 2015.
10. 조민경, 이복자 등 4, ICP-AES를 이용한 토양 중금속 분석 시 매트릭스 효과 상쇄를 위한 표준물질 첨가법 시행연구, *한국환경농학회*, 2016.





## 02 : 환경 분야

### 공원 녹지시설의 토양환경 조사



# 공원 녹지시설의 토양환경 조사

박미애 · 차고은 · 구자근 · 변종환 · 조인철

토양화학팀

## A Research on the Soil Environment in Park of Urban Area

Miae Park, Goeun Cha, Jageun Gu, Jonghwan Byun, Incheol Cho

Water Environmental Research Division, Soil Chemistry Team

### Abstract

Heavy metals level of soil from urban park was investigated for 31 samples of 11 sites including 3 sites from Jinju, 4 sites from Changwon and Gimhae, respectively. None of heavy metals content was found above Korean soil standards for pollution showing 22.7% for Cu (Copper), 14.6% for Pb (Lead), and 28.8% for Zn (Zinc) compared to the standards. As a result of the index evaluation of heavy metals for soil, all samples were below the second grade of normal contaminated soil. The ratio of grade 2 was about 45% for EF (Enrichment factor), 16% for PLI (Pollution load index), 3% for API (Average pollution index) and 3% for SPC (Soil pollution class) among 31 samples though PI (Pollution index) were evaluated as grade 1. EF, API, and PLI were more suitable to assess the contamination of heavy metals compared to PI and SPC regarding to index variation. EF index showed the highest for the industrialized area with 6.0, and 5.5 and 4.0 for residential area and natural green area, respectively. EF index for Cu was the highest value and followed by Pb, Cd, and Zn. Cu and Pb content of G and E parks were categorized as class 3, which means that it is needed more specific policy for management of soil and parks.

Key words : Urban park soil, Heavy metal, EF, PI, SPC, API, Index evaluation

## I. 서론

인간의 무분별한 산업활동에서 비롯된 미세플라스틱 등과 같은 여러 가지 폐기물들로 인해 지구는 몸살을 앓고 있다.<sup>1)</sup> 인간의 생존을 위해 산업활동의 부산물로 발생하는 폐기물 양의 증가는 토양오염과 밀접한 관계를 가지고 있다. 이러한 각종 폐기물들을 적절하게 처리하지 않은 문제들로 지구의 토양은 계속적으로 오염되고 있는 것이다. 특히, 철강, 금속산업 등의 폐기물과 점점 늘어나는 자동차 운행 등은 대기문제 뿐만 아니라 토양의 중금속 양을 증가시키는데 기여하고 있다. 이러한 중금속은 미량이라도 체내에 축적되면 잘 배출되지 않고 우리 몸속의 단백질에 쌓여 장기간에 걸쳐 부작용을 나타내기 때문에 더욱 위험한 것으로 알려져 있다.<sup>2,3)</sup>

그러나 토양오염은 수질이나 대기오염과는 달리 그 영향이 직접적이지 않고, 지하수, 식물, 가축 등을 통해 서서히 나타나기 때문에 오염도에 대한 심각성을 인식하지 못해 다른 환경문제보다 소홀하게 다루어지고 있는 실정이다. 토양오염은 인간이 살아가는 주변 환경의 지하수나 수질오염에 영향을 주고, 전 지구적 생태계의 구조와 기능에도 악영향을 주게 될 것이므로 보다 적극적인 토양의 관리가 필요하다.<sup>4)</sup>

도심 공원은 도시민의 휴식과 정서함양 등 여가생활의 공간으로 누구나 자유롭게 이용할 수 있는 도심속의 작은 자연으로 도시 환경생태계의 중요한 구성요소 중 하나이다. 도심 공원의 유해물질에 대한 노출 경로는 비산먼지의 호흡이 대부분이나 어린아이들의 경우 손 접촉을 통해 경구 흡입되는 경우도 간과할 수 없으므로 이에 적절한 토양관리는 반드시 수행되어야 한다.

국가통계포털(KOSIS, 2018)의 도시계획현황 통계자료<sup>5)</sup>에 의하면 우리도는 경기도, 서울, 경북에 이어 4번째로 많은 공원수를 보유하고 있으나, 도심 공원 토양 환경관리를 위해 오염 여부를 판단하기 위한 자료들은 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 경남 전체 공원 1,752개소 중 약 52%를 차지하고 있는 창원, 진주, 김해지역의 공원을 대상으로 도심 공원을 대표하는 지점을 선정하여 토양 중금속 오염도의 종합적인 평가를 위해 토양환경보전법에서 규정하는 중금속 항목에 대한 오염실태를 조사하였다. 또한 토양 중금속 오염도 지수평가 방법에 따른 평가 결과들을 비교하여 보다 적극적인 도심 공원 토양의 관리대책에 필요한 자료로 제공하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 조사대상 및 기간

본 연구에서는 경남지역 주요 도시 중 동부권 창원, 김해지역과 서부권 진주지역을 대상으로 전체 11개 공원에 대해 31개 지점을 선정하여 토양시료의 중금속 함유실태를 조사하였다.

#### 가. 조사대상 및 항목

조사대상 지점으로 창원과 김해지역은 각 4개 주요 공원, 진주지역은 3개의 주요 공원들을 선정하였으며, 그 현황은 Table 1과 같다. 조사대상 공원은 주변에 공장들이 밀집해 있는 공업지역, 아파트 밀집지역 주

변의 주거지역, 인위적 오염원이 없는 녹지지역으로 분류하여 선정하였다. 항목은 토양환경보전법의 토양오염 우려기준의 주요 유해물질 중 Pb, Cu, Cd, Ni, Zn, Hg, As, Cr<sup>6+</sup> 등 8개 중금속 항목과 pH를 조사하였다.

#### 나. 조사기간 및 시료채취방법

본 연구의 조사는 2019년 5월에 시료를 채취하였으며, 시료는 각 채취지점의 대표성을 확보하기 위해 한 지점 당 5~10곳에서 채취 후 균질한 혼합시료로 만들었다. 채취된 시료는 토양오염공정시험기준에 따라 폴리에틸렌 백과 갈색 유리병에 나눠 담아 냉장 보관하여 실험실로 이송하였다.<sup>6)</sup>

Table 1. Summary of research sites

City	Parks	Study sites No.	Park area(m <sup>2</sup> )	Use of district plan	Purpose
Gimhae	A	5	95,415	Residential	Community
	B	2	16,797	Residential	Community
	C	1	1,516	Industrial	Children
	D	1	2,039	Industrial	Children
Changwon	E	5	325,000	Residential	Community
	F	3	63,214	Area of park	Community
	G	2	62,286	Industrial	Buffer zone
	H	2	13,313	Residential	Community
Jinju	I	1	437	Green zone	Community
	J	5	96,095	Green zone	Community
	K	4	300,000	Green zone	Community

## 2. 분석방법

### 가. 전처리 방법

토양오염공정시험기준 ES 07400.2b 금속류-유도결합플라스마-원자발광분광법(metals-inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry)에 따라 토양 시료 3 g을 0.001 g 까지 정확하게 취하여 Garhardt SA-20 토양 전처리장비의 250 mL 반응용기에 넣고 염산과 질산을 3:1(왕수추출)로 가하여 환류냉각방식으로 추출하였다. 30℃에서 2시간, 80℃에서 2시간 동안 반응시킨 후 추출액은 Whatman No. 40 여과지로 여과하고 0.5 M 질산으로 100 mL 부피플라스크에 표선까지 채워 시료용액으로 사용하였다.

### 나. 기기분석

분석기기는  $\text{Cr}^{6+}$ 의 경우 Agilent STAT2000(540 nm),수은은 가열기화 아말감법 수은분석기(NIC MA-2), 나머지 중금속 항목은 Agilent Technologies사의 5110 모델 ICP-AES를 사용하였으며 분석조건은 Table 2와 같다.

수소이온농도의 경우 토양공정시험기준에 따라 분석용 시료 5 g을 달아 50 mL 비이커에 취하고, 정제수 25 mL를 넣어 유리막대로 저어주면서 1시간 방치 후 Thermo Orion 520으로 측정하였다.

### 다. 분석결과의 정도관리/정도보증

정도관리는 토양오염공정시험기준에서 정한 ICP-AES의 항목별 정량한계를 고려하여 시약바탕시료(Reagent blank)에 표준용액을 첨가한 시료 7개를 준비하고, 각 항목들의 정확도(Accuracy), 정밀도(Precision), 정량한계(Limit of Quantification)를 산정하였다.

정도관리 분석결과는 각 항목별 검정곡선 결정계수( $R^2$ ) 값 0.98 보다 커야 하고, 감응계수(RF)의 상대표준편차는 20% 보다 적어야 하며, 정밀도는 상대표준편차가 30% 이내, 정확도는 70~130% 이내로 하는 정도관리 목표값을 Table 3과 같이 모두 만족하였다.

Table 2. Instrumental Parameters for ICP-AES

Description	Condition	Description	Condition
RF power	1.20 kw	Uptake delay	20 sec
Nebulizer gas flow	0.7 L/min	Nebulizer	Concentric Type
Plasma gas flow	12.0 L/min	Spray Chamber	Cyclonic spray
Auxiliary gas flow	1.0 L/min	Detector	CCD

Table 3. Results of Quality assurance and Quality control for ICP-AES  
(Unit : mg/kg)

	As	Cd	Cu	Ni	Pb	Zn
Spike Conc. (mg/kg)	1.667	0.667	1.667	0.667	0.667	1.667
Ave.(mg/kg)	1.6567	0.6248	1.6424	0.7062	0.6738	1.719
SD	0.0425	0.0050	0.0063	0.0229	0.0049	0.0071
Precision(%)	0.5	0.4	0.3	0.4	2.7	0.3
Accuracy(%)	103.1	104.5	106.5	108.4	109.4	105.2
LOQ(mg/kg)	0.425	0.050	0.063	0.229	0.049	0.071
LOQ(mg/kg) <sup>a)</sup>	1.50	0.10	1.0	0.4	1.5	1.0
Cal. range	3.33 ~ 33.33 mg/kg					
Linearity( $r^2$ )	0.99987	0.99994	0.99984	0.99992	0.99991	0.99990

<sup>a)</sup>Quality control target value

### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 공원토양의 오염도 평가

##### 가. 항목별 오염도 평가

도심공원 토양의 각 공원별 평균 pH 및 중금속농도를 Table 4에 나타내었다. 조사대상의 토양 pH는 5.1~8.5의 범위로 약산성에서 약알칼리성의 범위를 나타내었다. 조사대상 지점들의 평균 중금속 농도는 11개 공원, 31지점 모두 토양환경보전법 토양오염 1지역 우려기준 이하로 조사되었다. 우려기준 대비 각 항목별 평균농도 비는 Zn(28.8%), Cu(22.7%), Pb(14.6%), As(12.7%) 순으로 조사되

었고, 각각의 평균농도는 86.5, 34.0, 29.2, 3.18 mg/kg 이었다. 공원별 평균농도는 창원 G공원의 경우 Zn, Pb, Cu, Cd이 조사대상 지점 중 최고농도를 나타내었고, Ni의 경우는 진주 K공원에서, As나 Hg은 창원 H공원이 가장 높은 농도를 나타내었다.

토양측정망 자료<sup>7)</sup> 중 공원지역 자연배경농도와 비교했을 때 조사대상 지점의 전체 평균농도는 납과 구리의 경우만 배경농도보다 높은 수준이었고, 나머지 항목들은 모두 배경농도 수준이거나 그 이하로 조사되었다.

Table 4. Heavy metal concentrations of soil investigated (Unit : mg/kg)

Sampling site(No.)	pH	Pb	Cu	Cd	Ni	Zn	As	Hg
A(5)	6.8	32.5	26.7	0.23	5.5	97.8	2.66	0.01
B(2)	7.5	32.5	41.0	0.31	5.1	104.4	2.80	0.01
C(1)	6.6	19.8	36.3	0.17	8.5	78.8	3.04	0.00
D(1)	8.4	29.0	26.0	0.20	7.4	89.4	2.34	0.01
E(5)	5.8	45.1	36.1	0.36	5.2	86.8	2.43	0.01
F(3)	6.8	35.4	25.0	0.37	2.1	76.0	0.37	0.00
G(2)	7.1	50.1	66.4	0.57	4.4	163.5	2.78	0.00
H(2)	5.1	28.3	27.9	0.15	11.3	50.0	9.23	0.04
K(1)	8.5	15.4	28.0	0.14	16.6	59.7	3.19	0.02
J(5)	7.0	15.4	26.3	0.13	11.1	72.5	2.68	0.02
L(4)	6.5	17.3	34.7	0.13	11.8	72.3	3.51	0.02
Maximum	8.5	50.1	66.4	0.57	16.6	163.5	9.23	0.04
Minimum	5.1	15.4	25.0	0.13	2.1	50.0	0.37	0.00
Average (Ratio for Standard, %)	6.9	29.2 (14.6)	34.0 (22.7)	0.25 (6.3)	8.1 (8.1)	86.5 (28.8)	3.18 (12.7)	0.01 (0.3)
Grade 1 for soil pollution standards	-	200	150	4	100	300	25	4
Background level <sup>a)</sup>	-	25.5	21.2	0.24	14.7	89.7	6.20	-

<sup>a)</sup>Soil monitoring network data from Soil Groundwater Information System(2014~2017, Background level of parks)

Pb의 경우 4개 공원(진주지역 공원 K, J, I 3개소와 김해지역 C공원)을 제외한 조사대상 모든 공원의 토양이 자연배경농도수준 이상으로 조사되었다. Cu의 경우 조사대상 모든 공원이 자연배경농도 보다 높은 농도를 나타내었으며, 특히 G공원의 경우 Cu 평균농도가 자연배경농도의 약 3배 이상 높은 농도를 나타내어

토양 중금속 오염도 평가가 필요할 것으로 판단된다. Cd의 경우 창원 E, F, G공원, 김해 B공원이 자연배경농도보다 높은 농도를 나타내었고, Ni의 경우는 진주 K공원만 자연배경농도보다 높게 나타났다. Zn의 경우는 창원 G, 김해 A, B공원이, As의 경우 창원 H공원이 자연배경농도보다 높은 농도를 나타내었다.



나. 입지조건에 따른 평균 오염도 평가  
공원 주변 입지조건에 따라 녹지지역, 주거지역, 공업지역으로 구분하여 중금속 오염도를 비교한 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 공업지역의 Pb와 Cd, Cu, Zn의 농도는 녹지지역 평균농도의 약 29.3~184.6%, 주거지역 평균농도 대비 약 0.2~35.1% 높게 나타났다. Ni의 경우 녹지지역의 농도가 가장 높게 나타났고, 주거지역, 공업지역 순으로 낮은 농도를 나타내어 의외의 양상을 나타내고 있다. 그러나 녹지지역의 Ni농도는 자연배경농도 14.7 mg/kg 보다 낮은 수준인 11.9 mg/kg 토양오염의 우려를 고려할 정도는 아닌 것으로 판단된다.<sup>8)</sup>

## 2. 지수를 이용한 토양 중금속 오염도 평가

공원 토양의 중금속 항목별 오염도는 모두 토양환경보전법 토양오염 1지역 우려기준을 만족하는 것으로 조사되었지만 다양한 토양오염지표들을 적용하여 각 공원 지점들에 대

한 토양 중금속의 종합적인 평가가 필요하다고 판단된다. 지수나 등급을 이용한 토양 중금속 오염도 평가는 크게 단일 항목에 대한 평가와 전체 중금속 오염도 평가로 나눌 수 있다. 본 연구에서 조사대상 공원 토양의 중금속 오염도 평가를 위해 사용한 지수와 환산식을 Table 5에, 환산 결과값에 대한 평가등급을 Table 6에 각각 나타내었다.

토양 중금속 오염지수는 PI(pollution index), SPC(Soil pollution Class), API(Average pollution index), PLI(Pollution load index), EF(Enrichment factor), Igeo(Index of geoaccumulation)등 6개의 지수 평가법을 사용하였다. 토양 중금속 오염도 지수 평가방법 중 PI 지수에서 사용되는 중금속 허용한계치는 Klocke(Cd 3, Cu 100, Pb 100, Hg 2, Zn 300, Ni 50, As 20 mg/kg)<sup>9)</sup>가 제안한 값을 근거로 평가하였고, SPC 지수의 경우 토양오염 우려기준 농도는 1지역 기준을 사용하여 오염지수를 산출하였다.<sup>9,10)</sup>



Fig. 1. Concentration of heavy metals on soils from each district zone.

Table 5. Specification for soil pollution indices

Soil pollution indexes	Expression	Reference
Pollution index(PI)	$X = \frac{1}{n} \sum_1^n P_i, P_i = (\frac{C_i}{C_{i0}}), C_{i0} = \text{allowable heavy metal concentration}$	Kloke, 1979
Soil pollution class(SPC)	$X = \frac{1}{n} \sum_1^n P_i \times 100, P_i = (\frac{C_i}{C_{i0}}), C_{i0} = \text{soil pollution concerns standards}$	Chang, 2003
Average pollution index(API)	$X = \frac{1}{n} \sum_1^n P_i, P_i = (\frac{C_i}{C_{i0}}), C_{i0} = \text{reference concentration for uncontamination soils}$	Hakanson, 1980
Pollution load index(PLI)	$X = (\prod_1^n P_i)^{(\frac{1}{n})}$	Tomlinson, 1980
Index of geoaccumulation(Igeo)	$X = \frac{1}{n} \sum_1^n Igeo_i, Igeo_i = \log_2(\frac{C_i}{1.5 C_{i0}}), C_{i0} = \text{the geochemical background concentration of metal } n$	Abraham, 2005
Enrichment factor(EF)	$X = \frac{1}{n} \sum_1^n EF_i, EF_i = (\frac{C_i}{C_{ie}}) / (\frac{C_0}{C_{0e}}) - 1, \text{with } C_{ie} \text{ the concentration of an immobile parameter (e.g., Al, Fe, and Mn)}$	Zoller, 1974

Table 6. Class of soil pollution indices

Soil pollution index	Class of contamination or potential ecological risk			
Adapted classification	1(low)	2(moderate)	3(considerable)	4(very high)
Pollution index(PI)	$PI \leq 1$	$1 \leq PI < 3$	$PI > 3$	$PI > 3$
Soil pollution class(SPC)	$< 130$	$130 \leq SPC < 260$	$260 \leq SPC < 400$	$SPC \geq 400$
Average pollution index(API)	$API < 1$	$1 \leq API < 3$	$3 \leq API < 6$	$API \geq 6$
Pollution load index(PLI)	$PLI \leq 1$	$PLI > 1$	$PLI > 1$	$PLI > 1$
Index of geoaccumulation(Igeo)	$Igeo \leq 1$	$1 < Igeo \leq 2$	$3 < Igeo \leq 5$	$Igeo > 5$
Enrichment factor(EF)	$\frac{0}{2} EF < 2$ $2 \leq EF < 5$	$5 \leq EF < 20$	$20 \leq EF < 40$	and $EF > 40$

API, PLI, Igeo 지수는 토양 중금속의 자연배경농도를 이용한 평가방법으로 본 연구에서는 토양측정망 공원지역 자연배경농도를 적용하여 평가하였다.<sup>8,10,11)</sup> EF 지수의 경우는 지각을 구성하는 금속 중 Fe, Al, Mn과 같은 지각 금속 원소들과의 평균농도비를 이용한 지수로<sup>12)</sup> 본 연구에서는 Al 농도를 적용하여 평가하였다.

조사대상 31개 지점에 대한 각 지수별 토양오염도 평가결과를 Table 7에 나타내었다. 토양오염도 지수 평가법 중 PI의 경우 모든 지점이 1등급으로 중금속 오염이 없는 토양으로 평가되었다. SPC, Igeo 지수는 1개 지점을 제외한 모든 지점이 1등급으로 평가되었다. 자연배경농도를 적용한 API 지수와 PLI 지수는 5개 지점(16%)이 보통 오염수준으로 평가되었고, 나머지 26개 지점은 중금속 오염이 없는 토양으로 평가 되었다. EF

지수 평가결과는 보통 오염수준이 14개 지점(45%)으로 가장 많은 지점이 2등급으로 평가되었다.

이들 지수에 따른 평가 결과들을 비교하면  $EF > PLI=API > SPC=Igeo > PI$  순으로 높은 오염도 평가결과를 나타내었다. 즉, 토양오염 우려기준 농도를 사용하는 경우, 토양이 오염되지 않은 배경농도를 사용하는 경우, 토양의 지각원소 성분비를 이용한 경우로 평가결과가 구분되는 것을 알 수 있다.

조사대상 지점들의 지수평가 결과들을 비교하기 위해 공원의 입지조건에 따라 분류하여 Fig. 2에 나타내었다. 조사지점별 중금속 오염도를 비교 평가하기 위해서는 지수의 변화폭이 낮은 PI, SPC, Igeo 지수보다는 지수의 변화폭이 큰 EF, API, PLI 지수를 사용하는 것이 조사지점별 오염도 차이를 평가하기에 적합한 것으로 판단된다.

Table 7. Results of classification for samples according to soil pollution indices

Soil pollution indexes	Class of contamination or potential ecological risk			
	1(low)	2(moderate)	3(considerable)	4(very high)
Adapted classification				
Pollution index(PI)	31	-	-	-
Soil pollution class(SPC)	30	1	-	-
Average pollution index(API)	26	5	-	-
Pollution load index(PLI)	26	5	-	-
Index of geoaccumulation(Igeo)	30	1	-	-
Enrichment factor(EF)	17	14	-	-

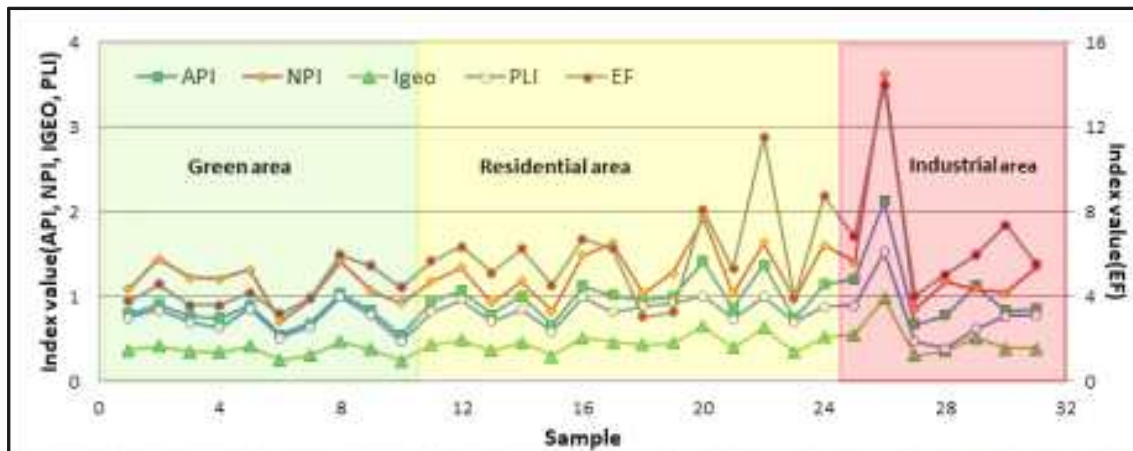


Fig. 2. Pollution index values of soil from each district zone.

같은 조사지점이라도 적용하는 평가 지수에 따라 토양 중금속 오염도 평가결과가 다르게 나타나므로 평가지수 선택에 보다 신중한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

### 3. 부하지수(Enrichment Factor)를 이용한 토양 중금속 평가

조사지점에 대한 항목별 오염도를 평가하기 위해 토양 중금속 부하지수(EF) 분석결과를 Fig. 3에 나타내었다.

EF 지수는  $Cu > Pb > Cd > Zn$  순으로 높은 부하지수를 나타내었으며, Cd, Zn, Ni, As, Hg의 부하지수는 보통 오염수준 이하로 평가되었으나 Cu와 Pb의 경우 부하지수 20(3등급, 오염토양으로 분류)이상인 곳이 각 1개 지점씩 조사되었다. 공업지역 주변에 위치해 있으며 도로변과 인접한 G공원의 경우 Cu의 EF

지수가 가장 높게 평가되었다. 이 지점의 토양 중금속 부하지수는 Cu 30.8, Cd 15.1, Pb 17.5, Zn 14.5였고, 이들은 2~3등급 오염수준으로 조사대상 공원 중 가장 높은 오염도를 나타내었다. Pb의 경우는 주변이 주거지역인 E공원의 1개 지점에서 항목별 토양 중금속 부하지수 EF가 Pb 20.3, Cu 15.7, Cd 18.1, Zn 10.3으로 Pb만 3등급으로 평가되었다.

공원의 입지조건에 따른 녹지지역, 주거지역, 공업지역의 EF 지수 평가 결과를 Table 8에 나타내었다. 공원의 지점별 EF 지수의 평가결과 공업지역 6.0 > 주거지역 5.5 > 녹지지역 4.0 순으로 공업지역이나 주거지역이 녹지지역에 비해 높은 중금속 부하지수를 나타내었다. 이와 같은 결과에서 공장지역이나 도로변에 인접한 주거지역에 대한 토양 중금속 오염의 개연성을 확인할 수 있다.

Table 8. Index values of enrichment effect(EF) for soils from district zones

EF	Total	Cd	Pb	Cu	Zn	Ni	As	Hg
Total	5.1 (30~120)	6.4 (15~181)	7.2 (24~203)	9.3 (36~308)	5.8 (15~145)	2.9 (0.7~5.7)	2.6 (0.1~5.2)	1.5 (0~5.3)
Green Zone	4.0 (3.0~5.7)	3.0 (1.5~5.2)	3.5 (2.4~6.7)	7.7 (4.9~9.9)	4.4 (3.1~6.4)	4.4 (3.3~5.6)	2.7 (1.1~4.4)	2.3 (0~4.3)
Residential	5.5 (3.0~10.0)	<b>7.5</b> (1.7~18.1)	<b>9.0</b> (3.2~20.3)	<b>9.6</b> (3.6~15.7)	<b>5.6</b> (1.5~10.3)	2.3 (1.6~3.0)	2.9 (1.5~5.2)	1.6 (0~5.3)
Industrial	6.0 (3.5~12.0)	<b>9.7</b> (4.5~15.1)	<b>9.1</b> (5.1~17.5)	<b>11.8</b> (5.6~30.8)	<b>7.4</b> (4.5~14.5)	2.1 (0.7~4.4)	1.9 (0.1~4.1)	0.3 (0~2.2)

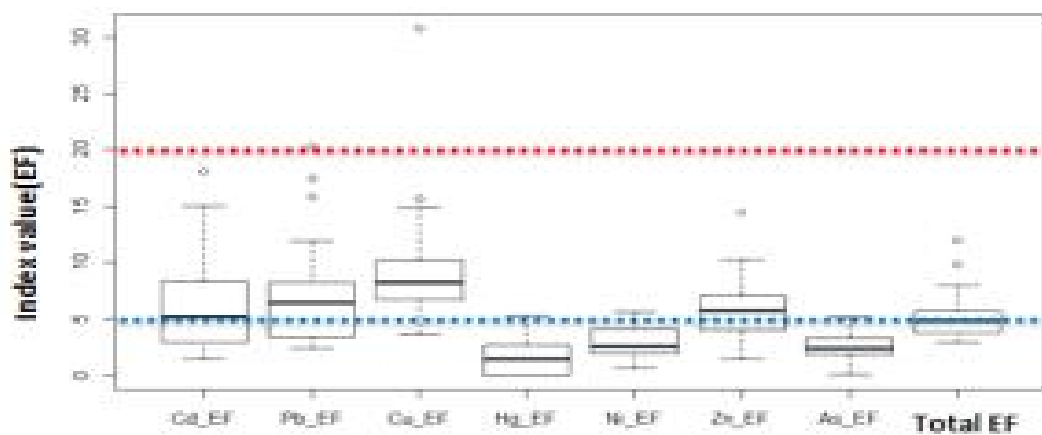


Fig. 3. Index values of enrichment effect(EF) for each heavy metal.

Cu와 Pb의 부하지수가 높은 토양의 오염 원인을 단순히 정의하기 힘들지만, 토양 중금속 오염도 PI지수와 교통량의 직선적 상관관계수가 0.882로 높은 상관성을 나타내었다는 박 등의 선행연구결과<sup>12)</sup>로 보아 공원 주변 도로의 많은 차량 통행과 중금속 오염과의 상관성을 추정할 수 있다. 또한 여러 가지 복합적인 원인들 중 가장 개연성이 높은 것은 공원주변의 입지조건이 공업지역이므로 주변의 고정오염원들도 영향을 주었을 것으로 추정된다.

그러므로 토양오염 중금속 부하지

수 EF 평가에서 3등급에 속하는 항목이 있는 G와 E 공원에 대해서는 어린아이나 노약자들이 더 많은 여가시간을 보내고 있는 도심 공원의 특성상 보다 예방적이고 적극적인 공원 토양의 관리가 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 고찰

공원 녹지시설 토양 중금속 농도는 공원 주변 입지 조건에 따라 녹지지역의 오염도가 가장 낮았고, 공업지역이 가장 높은 것으로 조사되었다.

공원 토양의 중금속 농도는 모든 조사지점이 토양오염 1지역 우려기준을 만족하는 수준이었다. 토양오염 중금속 오염도를 등급화 및 지수법으로 평가할 경우 사용하는 지수에 따라 그 결과가 달라지는 것을 확인하였다. 본 연구에서 토양 중금속 오염도지수 PI, SPC, API, PLI, Igeo, EF 등 6개 지수에 대해 평가한 결과, 모두 2등급의 보통오염도 수준 이상으로 평가되었다. 각 지점별 중금속 오염도를 비교 평가하기 위해서는 지수의 변화폭이 큰 부하지수 EF를 사용하는 것이 가장 적절할 것으로 판단된다. 중금속 부하지수 EF 평가결과 조사대상 지점 중 14개 지점(45%)이 2등급 보통오염도 수준으로 나타났다. 항목별 EF 평가 결과는 Cu와 Pb이 2개 공원에서 3등급으로 평가되어 이들 공원에 대한 관리가 필요할 것으로 판단된다. 또한 공원을 이용하는 사람에 대한 위해성평가, 주변 환경에 대한 영향평가 등 토양 중금속 오염도를 평가하는 여러 기법 등이 필요한 것으로 사료되며,<sup>14)</sup> 공원녹지 시설의 토양오염도 저감을 위해 지속적인 관심과 관리가 필요한 것으로 판단된다.

## IV. 결 론

본 연구에서 도내 도심 공원 11개소 31개 지점에 대하여 조사한 토양 중금속 오염도 및 평가 결과는 다음

과 같다.

1. 토양 중금속의 항목별 평균농도는 Zn 86.5, Cu 34.0, Pb 29.2, Cd 0.25, As 3.18, Ni 8.1 mg/kg로 조사되었고, 토양오염 1지역 우려기준 대비 Zn 28.8%, Cu 22.7%, Pb 14.6%, As 12.7% 수준으로 조사되었다.
2. 조사대상 공원들의 평균 중금속 농도 결과에서 Cu와 Pb은 우리나라 자연배경농도 기준을 각각 60%, 15% 초과하였으나, 나머지 항목들은 자연배경농도 수준이거나 그 이하로 검출되었다.
3. 토양 중금속의 지수평가결과 조사대상 지점 모두 2등급 보통 오염도 수준 이상으로 평가되었다. 2등급 지점에 대한 지수 평가결과는  $EF > PLI=API > SPC=Igeo > PI$  순으로 높게 나타났다. EF 지수의 경우 조사대상의 약 45%, PLI와 API지수는 16%, SPC와 Igeo 지수는 3%가 2등급으로 평가되었고, PI지수는 모든 지점이 1등급으로 평가되었다.
4. 중금속 오염도 비교 평가는 지수의 변화폭이 낮은 PI, SPC 보다는 지수 변화폭이 큰 EF, API, PLI 지수를 사용하는 것이 적합한 것으로 조사되었다.

5. 공원 주변 입지조건에 따른 EF 지수는 공업지역 6.0 > 주거지역 5.5 > 녹지지역 4.0 순으로 공업 지역이나 주거지역이 녹지지역에 비해 높았고, 조사 항목별 EF 지 수는 Cu > Pb > Cd > Zn 순으 로 높게 나타났다.
6. Cu와 Pb의 경우 창원 G와 E공원 에서 중금속 오염토양으로 분류되는 EF 부하지수 3등급으로 평가되어 이들 공원에 대한 보다 적극적인 관리가 필요하다.

#### 감사의 글

본 연구는 경상남도보건환경연구원 물환경연구부 토양화학팀의 2019년 연구사업으로 환경부 국립환경과학원 환경분야 시험검사의 국제적합성 지원사업으로 수행되었습니다.

## V. 참 고 문 헌

1. 중앙일보 뉴스, “미세플라스틱으로 흙 속 미생물 ‘움짱달짝’ 못한다.” <http://news.join.com>, 2019.
2. 백과사전. <http://navercast.naver.com>.
3. He, Z., SHENTU, J., YANG, X., Heavy Metal Contamination of Soils : Sources, Indicators, and Assessment, Journal of Environmental Indicators, Vol 9, 17-18, 2015.
4. Helena D. W., Jirl P., Indices of soil contamination by heavy metals -methodology of calculation for pollution assessment, Environmental Monitoring and Assessment, 2017.
5. KOSIS 국가통계포털, <http://kosis.kr>
6. 환경부, 토양오염공정시험기준, 2018.
7. 환경부, 2014~2017, 토양오염 측 정망 및 실태조사 결과.
8. 윤정기 등 7, 우리나라 토양의 중금속 자연배경농도 평가, 한국지하수토양 환경학회지, Vol 14(3). 32-39, 2009.
9. Klope, A., Content of arsenic, cadmium, chromium, fluorine, lead, mercury, and nickel in plants grown on contaminated soil, Paper presented at United Nations-ECE Symp. Geneva, 1979.
10. 최봉욱 등 6, 소공원 및 어린이 공원의 바닥 토양 내 환경유해 인자 연구, 울산광역시보건환경연구원보 제78권, 391-433, 2015.
11. 박민우 등 13, 경상남도보건환경 연구원보, 도시지역 도로변 퇴적 물의 유해물질 함유 실태조, 2017.
12. 김정태 등 6, 공원 토양 오염도 평가, 인천보건환경연구원보, 2012.
13. 공화진 등 9, 토지이용실태에 따른 하남산업단지 토양오염물질 분포 특성에 관한 연구, J. Soil Groundwater Environ., Vol 23(2), 30-39, 2018.
14. 김웅수 등 9, 경기도내 어린이공 원의 토양오염실태 연구, 한국환경보건의학회지, 제43권 제 3호, 1-7, 2014.





## 02 : 환 경 분 야

### **축산시설 악취 배출특성 연구**



# 축산시설 악취 배출특성 연구

이상희 · 이방희 · 김균 · 김종원 · 조나라 · 임종근

대기조사팀

## A study on Emission Characteristics of Odor of Livestock Facility

Sang-hee Lee, Bang-hee Lee, Gyun Kim,  
Jong-won Kim, Na-ra Cho, Joong-kun Lim

Air Pollution Engineering Team

### Abstract

This study was carried out to investigate odor characteristics of livestock facilities for pig, cow, and poultry in 2019. Perception intensity of odorants (PIO, odor strength) from pig farms was the highest with average 35, followed by 25 for poultry and 11 for cow farms. The average concentrations of sulfur compounds were 5.309 ppb hydrogen sulfide ( $\text{H}_2\text{S}$ ), 0.375 ppb for methyl mercaptan ( $\text{CH}_4\text{S}$ ), 0.087 ppb for dimethyl sulfide ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{S}$ ), and 0.031 ppb for dimethyl disulfide ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{S}_2$ ).  $\text{H}_2\text{S}$  was the main component of odor from livestock operations, detection rate of which were 73.2% for pig, 61.5% for poultry, and 53.3% from cow farms.  $\text{CH}_4\text{S}$  was also key compound of odor from poultry feeding operations. Correlation coefficient between PIO and SOC (sum of odor concentration) was higher than that between PIO and SOQ (sum of quotient) in the pig and cow farms. However, correlation coefficient for SOQ in poultry operations was higher than for SOC.  $p$  value of pig farms was less than 0.001 in T-test and coefficient was 0.726. But coefficients of cow and poultry farms were 0.9615 and 0.715 respectively, while there were no significant results in the T-test.

**Key words** : Livestock operations, Sulfur compounds, Perception intensity of odorants, Sum of odorants concentration, Sum of odor quotient

## I. 서 론

악취는 사람에게 특정냄새 자체로 심리적·정신적 피해와 건강상의 피해를 주는 감각오염의 한 형태로 사람들의 생활환경과 심리상태에 따라 오염도에 대한 인식이 달라지는 특성을 가진다.<sup>1)</sup> 최근 시대적인 변화와 생활양식의 변화는 쾌적한 주거환경에 대한 요구를 증가시켜 악취에 대한 관심도를 증가시켰다. 또한 대규모 도시개발에 따른 주거공간의 외곽확대는 악취배출사업장과 주거지의 인접성을 증가시키기도 하였다.

이에 따라 악취관련 민원은 점차 증가하는 추세에 있으며 단순 악취에 대한 규제뿐만 아니라 악취원인 파악과 악취물질의 영향 등에 대한 관심도 증가하고 있다. 그러나 일반적인 대기오염물질들과 달리 악취는 발생원을 효과적으로 관리하고 적절한 저감대책을 수립하는데 여러 가지 어려움이 따르는데<sup>2)</sup> 특히 감각공해인 악취를 정량화하기 힘들다는 데 그 원인이 있다.

국내의 악취분석은 복합악취를 분석하는 공기희석관능법과 법적으로 규정된 22종의 지정악취물질을 분석하는 기기분석법<sup>3)</sup>으로 나누어지는데 법적규제는 복합악취측정을 우선으로 한다.<sup>4)</sup> 복합악취를 분석하는 공기희석관능법은 다양한 냄새물질에 대한 대응이 가능하고 피해지역 주민의 감각적인 피해감과 일치하는

평가방법이라는 장점을 가지고 있지만 냄새의 강도를 표현함에 있어 개인별 후각반응의 차이가 다르다는 점에서 완전한 객관성을 보장하기 힘들고<sup>5,6)</sup> 냄새물질의 종류를 구별하는 방법이 아니기 때문에 악취의 원인물질을 파악하기 힘들다는 단점이 있다.

이러한 복합악취분석의 단점을 보완하고 악취 원인물질을 파악하기 위해 기기분석을 통한 지정악취물질 분석을 병행하여 실시하고 있다.<sup>4)</sup> 하지만 실제 악취민원 발생시점에 복합악취와 동시에 지정악취물질 시료채취를 하기에는 현실적인 어려움이 있어 복합악취 강도와 악취원인 물질과의 관계를 확인하기는 쉽지 않다.

악취민원이 가장 빈번히 발생하는 시설은 축산시설이다. 과거 축산시설의 냄새는 '시골냄새'로 인식하여 관대한 편이었지만 가축사육두수 증가와 농촌인근의 도시화, 주민들의 인식변화 등에 따라 악취민원을 제기하는 경우가 많아졌다.<sup>7)</sup>

축산시설의 주요 악취물질은 아민류, 방향족질소산화물, 황화합물, 방향족에스테르류 등 다양하지만 방향족화합물 및 에스테르류는 다른 물질에 비해 상대적으로 최소감지 농도가 높고, 발생량이 적어서 축산시설의 악취유발 기여도가 낮은 편인 반면, 저급지방산류와 황화수소 등의 황화합물은 악취민원을 많이 유발시

키는 경향이 있다.<sup>1)</sup> 특히 황화합물은 복합악취 시료와 동일한 방법으로 시료를 채취하기 때문에 복합악취와 동시분석이 가능한 지정악취물질이다.

따라서 본 연구에서는 경남도내 시·군·구에서 의뢰되는 검체 중에서 악취민원이 빈번히 발생하여 분석 의뢰건수가 가장 많은 축산시설에 대해 복합악취와 황화합물을 동시분석을 통해 축종별 악취배출특성을 확인하고 황화합물 농도와 복합악취 회석배수의 상관성을 평가하여 복합악취 강도와 악취원인물질과의 관계를 규명하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 조사대상

지난 4년간 경상남도 시·군·구에서 분석을 의뢰한 악취시료 건수는 Table 1에 정리하였다. 2016년에서 2018년 3년 동안은 약 450건 의뢰되었으나 2019년에는 3년간의 의뢰건수에 비해 큰 증가폭을 나타내었다. 이러한 악취 의뢰건수의 급격한 증가는 악취에 대한 민원발생 건수의 증가를 간접적으로 나타낸다고 볼 수 있다.

Table 1. The status of odor samples tested from complaints by year

Year	No. of tested samples	samples exceeded standards		Tested item
		No.	rate	
2019	637	211	32.3	Perception intensity of mixture odor substances
2018	431	116	26.9	
2017	423	112	26.5	
2016	512	200	39.1	

2018년과 2019년에 의뢰된 악취검체를 배출시설별로 분류하여 Fig. 1과 2에 나타내었다. 그림을 보면 2018년에는 축산시설이 38.5%, 2019년에는 39.1%를 차지하였다. 그 외 가축분뇨처리시설도 각각 8.6%, 6.3%의 비중을 차지하였다. 이는 전체 건수

대비 각각 47.1 %, 45.4 %로 의뢰되는 전체 시료의 거의 절반이 축산 관련 시설인 것으로 확인되었다.

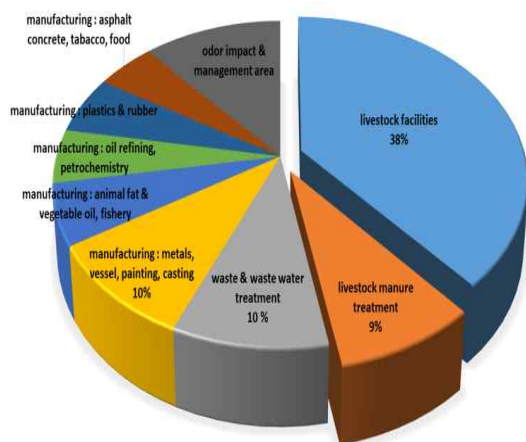


Fig. 1. Sources of odor samples tested from complaints(2018)

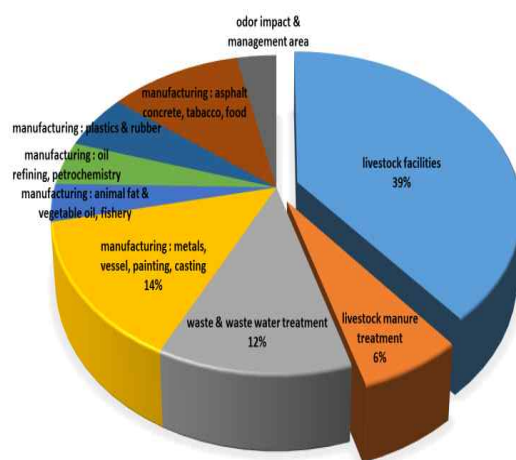


Fig. 2. Sources of odor samples tested from complaints(2019)

이번 연구는 2019년 1월에서 10월 까지 시·군·구에서 의뢰된 검체 중 축산시설에서 채취된 악취시료 180건에 대하여 실시하였다. 조사대상 검체 중 돈사는 152개소로 전체의 약 84%를 차지하였으며 우사는 15(8%)개소, 닭을 비롯한 가금류 사육시설은 13(7%)개소로 확인되었다. 현재 발생하는 축산시설에 대한 악취 민원 중 가장 큰 비중을 차지하는 것은 돼지사육시설인 것을 알 수 있었다.

## 2. 조사항목

본 연구는 두 가지 이상의 악취물질이 함께 작용하여 사람의 후각을 자극하는 냄새인 복합악취<sup>4)</sup>와 축산시설의 주요 악취원인물질인 황화수소 등의 황화합물 4종에 대하여 분석을 실시하였다. Table 2는 조사항목의 배출허용기준(기타지역 기준)과 황화합물의 최소감지농도를 나타내었다. 최소감지농도가 낮을수록 복합악취에 대한 악취기여도가 높은 것으로 평가할 수 있다.

Table 2. Odor Emission standard and threshold of odor substances<sup>1,8)</sup>

Items	Odor substances				
	Odor strength	H <sub>2</sub> S (ppb)	CH <sub>4</sub> S (ppb)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S (ppb)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S <sub>2</sub> (ppb)
Emission standards	15	20	2	10	9
Threshold value	–	0.41	0.07	3	2.2

황화합물의 특징은 아주 낮은 농도에서도 계란 썩는 냄새 등을 발생시키고 자극이 심하며 황화수소, 디메틸설파이드, 디메틸디설파이드 등과 혐기성 상태일 때 많이 발생하는 메틸머캅탄 등이 있다.

황화수소는 달걀 썩은 냄새로 축산 시설, 하수처리시설 등에서 많이 감지되며 메틸머캅탄은 마늘 또는 썩은 양배추냄새 등이 나며 황화합물 중 최소감지농도가 가장 낮아 비교적 낮은 농도에서도 악취기여도가 가장 높은 것으로 알려져 있다. 디메틸설파이드 및 디메틸디설파이드는 부패냄새로 불쾌감을 유발하는 것으로 알려져 있다.<sup>1)</sup>

### 3. 조사방법

복합악취 및 황화합물의 시료채취 방법 및 분석방법은 악취공정시험기준 ES 09301.b의 공기희석관능법 및 ES 09303.3a 저온농축/가스크로마토그래피법을 사용하여 분석하였다. 시료채취방법은 흡인상자를 사용하는 방법으로 본 연구는 민원이 발생한 시·군·구에서 채취하여 의뢰한 악취 시료를 사용하였다.

의뢰된 시료에 대해 공기희석관능법으로 복합악취 분석을 하고 그 후 GC/PFPD로 황화합물 분석을 실시하였다. 모든 검사는 시료채취 후 48시간 이내에 분석을 완료하였다. Table 3은 악취공정시험기준의 복합악취와 황화합물의 시료채취방법 및 분석법을, Table 4에는 황화합물의 기기분석조건을 나타내었다.

Table 3. Sampling and test methods<sup>3)</sup>

Substances	Sampling bag	Test method
Complex odor	Tedlar bag	Olfactometer test
Sulfur compounds (H <sub>2</sub> S, CH <sub>4</sub> S, C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S, C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S <sub>2</sub> )	Tedlar bag	preconcentration system with GC/PFPD

Table 4. The analysis conditions for sulfur compounds

Substances	Instruments	Analysis conditions
Sulfur compounds	GC/PFPD	TD Turbomatrix 300 (PerkinElmer) Sampling Flow : 25mL/min Sampling Time : 10min Preconcentration : -30℃ Desorption : 130℃
	PerkinElmer Clarus 680 O.I Analytical Model 5383	Analytical Column : PerkinElmer Elite-1 60m×0.32mm×3μm Column Flow : 10.1 ml/min Oven Condition : 50℃ (5min)→15℃/min→250(6.77min) PFPD Temp. : 250℃

#### 4. 복합악취 회석배수와 황화합물 농도와의 상관성 평가

공기회석관능법으로 분석한 복합악취의 회석배수와 기기분석법으로 산출한 개별성분물질 농도사이의 상관성을 평가하는 방법에는 기기분석으로 측정된 농도결과를 이용한 악취농도의 합을 이용하는 방법(SOC : Sum of Odor Concentration)과 기기분석으로 측정된 개별악취성분의 농도를 최소감지농도에 대비하여 구한 악취지수의 합(SOQ : Sum of Odor Quotient)을 이용하는 방법 등이 있다.<sup>9)</sup>

악취농도값(SOC)과 회석배수의 관계는 기기로 분석된 개별악취성분의 농도 합과 복합악취와의 상관성 분석을 통해 설명할 수 있고, 악취농도의 합은 단순히 개별악취성분들의 농도를 합한 값으로 아래의 식으로 구할 수 있다.

식1)

$$\text{SOC}(\text{sample X}) = \sum \text{Odor concentration}(\text{ppb unit})$$

악취지수값(SOQ)과 회석배수의 관계는 기기분석으로 측정된 개별악취성분의 농도를 최소감지농도에 대비하여 구한 악취지수를 더하여 복합악취 회석배수와의 상관성을 분석하는 방법으로 SOQ값을 구하는 식은 다음과 같다.

식2)

$$\text{악취지수}(\text{Odor Quotient, OQ}) = \frac{\text{Odor concentration}(\text{ppb})}{\text{Threshold limit}(\text{ppb})}$$

$$\text{SOQ}(\text{sample X}) = \sum \text{Odor Quotient}$$

이외에도 통계프로그램을 활용하여 지정악취물질들에 대한 개별적인 악취기여도를 다중회귀분석을 통해 회석배수와 개별물질의 상관성을 분석하는 방법 등도 있다.<sup>9,10)</sup>

이번 연구에서는 악취농도의 합과 악취지수의 합을 구하여 회석배수와의 상관성을 평가하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 축산시설에 대한 복합악취 배출특성

축산시설 180개소에 대한 복합악취 분석결과를 Table 5에 나타내었다. 전체 축산시설의 복합악취는 3배에서 965배까지 그 농도범위가 넓게 조사되었으며 평균값은 32배였다. 기타지역의 부지경계선 배출허용기준 15배를 초과하는 시설은 총 65개소로 기준초과율은 36.1%로 조사되었다.

180개소의 축산시설 중 돈사는 152개소였으며 기준초과 시설은 56개소로 기준초과율은 36.8%로 조사되었다. 농도범위는 3~965배였으며 평균



농도는 35배로 축종별 조사대상시설 중 우사와 가금류 사육시설에 비해 가장 높은 것으로 나타났다.

우사는 조사대상 15개 중 4개소가 기준을 초과하였으며 초과율은 26.7%로 축종별 조사대상시설에서 가장 낮았다. 농도범위는 3~30배였으며, 평균 희석배수는 11배로 축종별 조사대상 시설 중 가장 낮은 것으로 조사되었다.

가금류 사육시설은 13개소였으며 기준초과시설은 5개소로 나타났다. 기준초과율은 38.5%로 다른 축종에 비해 가장 높은 것으로 조사되었으며 평균 복합악취 희석배수는 25배로 돈사(35배)보다는 낮고 우사(11배)보다는 높은 것으로 나타났다. 복합악취 농도범위는 3~100배로 조사되었다.

Table 5. A summary of analytical results on complex odor

Samples	Total	Pig	Cow	Poultry
No. of samples	180	152	15	13
No. of exceeded standards	65	56	4	5
rate of exceeded standards	36.1	36.8	26.7	38.5
Range of odor strength	3~965	3~965	3~30	3~100
Average odor strength	32	35	11	25

## 2. 축산시설에 대한 황화합물 배출특성

180개 축산시설에 대한 4종의 황화합물 분석결과를 Table 6에 나타내었다. 4종의 황화합물 중 황화수소의 농도범위는 0~87.365 ppb로 검체별로 큰 차이를 보였으며, 평균농도는 5.309 ppb로 조사되었다. 180개소 중 70%인 126개소에서 검출되어 다른 물질에 비해 많은 시설에서 배출되고 있는 것으로 나타났다. 전체시설 중 6.7%인 12개소에서 배출허용기준 20 ppb를 초과하는 것으로 조사되었다.

0~5.312 ppb의 농도수준인 메틸머캅탄의 평균농도는 0.375 ppb로 조사되었고 180개 축산시설 중 17.2%인 31개소에서 검출되었으며 7개 (3.8%)시설에서 배출허용기준 2 ppb를 초과하는 것으로 조사되었다. 디메틸설파이드의 농도범위는 0~5.323 ppb였고 평균농도는 0.087ppb로 조사되었으며 8개소에서 검출되었고, 디메틸디설파이드는 0~2.764 ppb, 평균농도 0.031 ppb로 조사되었으며 7개소에서 검출되었다. 두 물질은 모두 기준 초과시설이 없는 것으로 조사되었다.

Table 6. The test results of sulfur compounds (n=180)

Concentration	H <sub>2</sub> S (ppb)	CH <sub>4</sub> S (ppb)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S (ppb)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S <sub>2</sub> (ppb)
Range	0~87.365	0~5.312	0~5.323	0~2.764
Average	5.309	0.375	0.087	0.031
Emission standards	20	2	10	9
Detection rate	126(70%)	31(17.2%)	8(4.4%)	7(3.8%)
No. of exceeded standards	12(6.7%)	7(3.8%)	0	0

### 가. 돈사

축산시설 중 돈사 152개소에 대한 황화합물 분석결과를 Table 7에 나타내었다. 표에 나타난 것처럼 황화수소의 농도범위는 0~87.365 ppb, 평균농도는 6.053 ppb로 조사되었으며

110개소에서 검출되어 검출비율은 72.3%로 나타났다. 배출허용기준 20 ppb를 초과하는 시설도 12개소로 180개소의 전체 축산시설 중 황화수소 기준초과 시설 전체가 돈사인 것으로 확인되었다.

Table 7. The test results of sulfur compounds from pig farms (n=152)

Concentration	H <sub>2</sub> S (ppb)	CH <sub>4</sub> S (ppb)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S (ppb)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S <sub>2</sub> (ppb)
Range	0~87.365	0~3.978	0~1.901	0~0.787
Average	6.053	0.379	0.057	0.011
Emission standards	20	2	10	9
Detection rate	110(72.3%)	27(17.8%)	6(3.9%)	4(2.6%)
No. of exceeded standards	12(7.9%)	6(3.9%)	0	0

메틸머캅탄은 전체 돈사시설의 17.8%인 27개소에서 검출되었으며 검출 농도는 0~3.978 ppb, 평균 0.379 ppb로 조사되었다. 그 중 3.7%인 6개시설에서 배출허용기준 2 ppb를 초과하는 것으로 나타났다. 디메틸설파이드는 농도범위 0~1.901 ppb, 평균농도 0.057 ppb로 조사되었으며 이 물질이 검출된 시설은 6개소로 나타났다.

디메틸디설파이드는 농도범위 0~0.787 ppb, 평균농도 0.011 ppb로 조사되었고, 4개소에서 검출되었으며 기준초과시설은 없었다.

### 나. 우사

총 15개소인 우사의 분석결과는 Table 8과 같다. 표에 나타난 것처럼 전체시설 중 53.3%인 8개 시설에

서 검출된 황화수소의 농도범위는 0~6.503 ppb였다. 평균농도는 1.085 ppb로 돈사시설 황화수소 농도의 약 20% 수준이었고, 가금류시설에 비해 26% 낮은 것으로 조사되었다. 황화수소 외의 다른 황화합물인 메틸머캅탄, 디메틸설파이드, 디메틸디설파이드는 우사 전체 시설의 6.6%인 1개 시설에서만 검출되었다.

#### 다. 가금류

닭을 비롯한 가금류 사육시설에 대한 조사결과는 Table 9와 같다. 표를 살펴보면 검체수는 13개소로 가

장 작았지만 황화합물 검출빈도는 우사보다 상대적으로 높았던 것으로 조사되었다. 전체시설의 61.5%인 8개 시설에서 검출된 황화수소의 농도범위는 0~4.682 ppb였고, 평균농도는 1.474 ppb로 조사되어 검출빈도 및 평균농도가 돈사보다는 낮지만 우사보다는 높은 것으로 나타났다. 메틸머캅탄은 전체시설 중 23.1%인 3개소에서 검출되었고 7.7%인 1개소에서 기준을 초과하였으며 농도범위는 0~5.312 ppb, 평균농도는 0.660 ppb로 조사되었다.

Table 8. The test results of sulfur compounds from cow farms(n=15)

Concentration	H <sub>2</sub> S (ppb)	CH <sub>4</sub> S (ppb)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S (ppb)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S <sub>2</sub> (ppb)
Ranges	0~6.503	0~1.306	0~1.647	0~0.345
Average	1.085	0.087	0.110	0.023
Emission standards	20	2	10	9
Detection rate	8(53.3%)	1(6.6%)	1(6.6%)	1(6.6%)
No. of exceeded standards	0	0	0	0

Table 9. The test results of sulfur compounds from poultry farms(n=13)

Concentration	H <sub>2</sub> S (ppb)	CH <sub>4</sub> S (ppb)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S (ppb)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> S <sub>2</sub> (ppb)
Ranges	0~4.682	0~5.312	0~5.323	0~2.764
Average	1.474	0.660	0.409	0.270
Emission standards	20	2	10	9
Detection rate	8(61.5%)	3(23.1%)	1(7.7%)	2(15.4%)
No. of exceeded standards	0	1	0	0

디메틸설파이드는 1개소에서 검출되었고 농도범위는 0~5.323 ppb, 평균농도는 0.409 ppb로 조사되었다. 디메틸디설파이드는 15.4%인 2개소에서 검출되어 농도범위는 0~2.764 ppb였고,

평균농도는 0.270 ppb로 조사되었다. 축종별 황화합물의 평균농도와 검출빈도를 비교하여 Fig. 3과 4에 나타내었다.

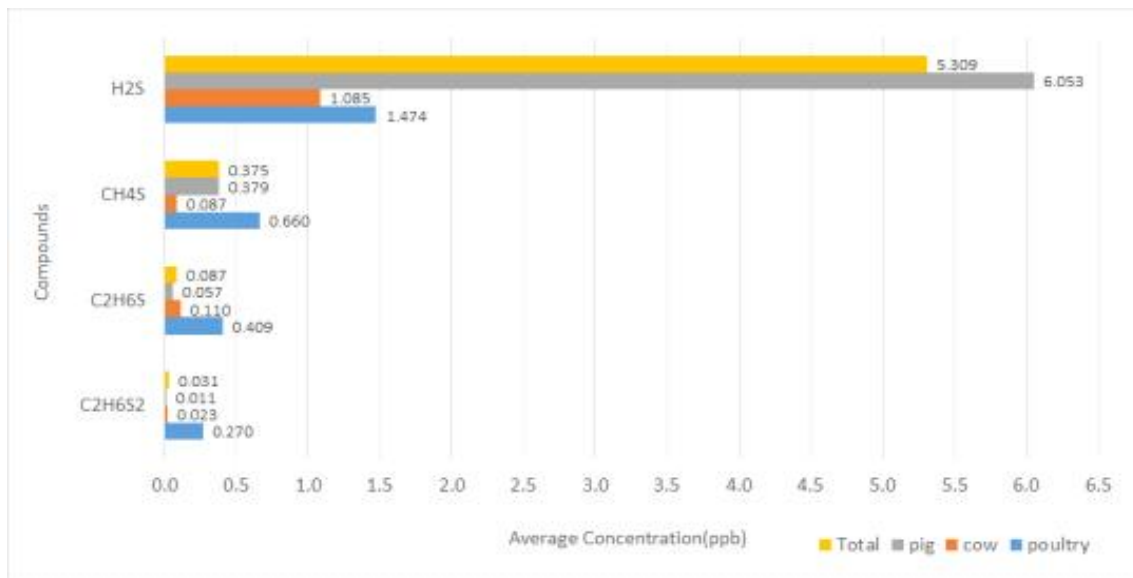


Fig. 3. Average concentration of sulfur compounds by species.

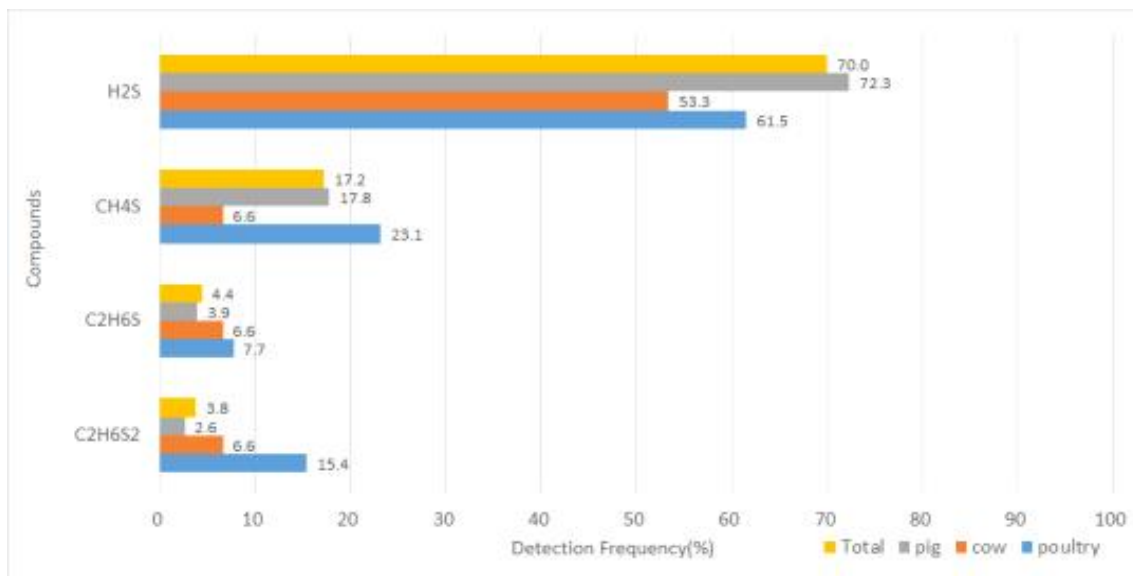


Fig. 4. Detection frequency of sulfur compounds by species.

그림에서 보면 황화수소의 평균농도는 돈사에서 6.053 ppb로 가장 높은 것으로 조사되었으며 그 다음으로 가금류 시설 1.474 ppb, 우사시설 1.085 ppb로 돈사 평균농도의 18~24% 수준으로 조사되었다. 검출빈도 또한 돈사시설에서 가장 높은 것으로 조사되었는데 총 152개 시설 중 72.3%인 110개소에서 검출되었고 황화수소 기준초과 시설 12개소 모두 돈사시설인 것으로 확인되어 황화수소가 돈사시설의 주요 악취원인 물질인 것으로 조사되었다.

돈사 다음으로 황화수소의 검출빈도가 높게 나타난 시설은 가금류 사육시설로 61.5%의 시설에서 검출되었고 우사는 53.3%의 시설에서 검출되어 축종별 시설에서 가장 낮은 검출빈도를 보였다. 하지만 전체 시설 중 70%의 시설, 개별 축종별 시설에서도 50% 이상의 시설에서 황화수소가 검출되어 축산시설의 주요한 악취원인물질 중 하나인 것으로 판단된다.

황화수소 다음으로 검출빈도가 높은 메틸머캅탄은 가금류시설에서 가장 높은 값으로 조사되었는데 축종별 평균농도는 가금류 0.660 ppb, 돈사 0.379 ppb, 우사 0.087 ppb 순으로 조사되었다. 검출빈도 또한 23.1%로 가금류시설에서 가장 많이 검출되었고, 다음으로 돈사 17.2%, 우사 6.6% 순으로 검출되었다.

디메틸설파이드와 디메틸디설파이드

는 가금류 시설에서 각각 0.409 ppb, 0.270 ppb로 다른 축종시설에 비해 가장 높은 것으로 조사되었고, 다음으로 우사, 돈사 시설 순으로 조사되었다. 검출빈도 또한 가금류시설이 7.7%, 15.4%로 가장 높게 조사되었고 다음으로 우사, 돈사 시설 순으로 조사되었다. 메틸머캅탄이 가금류>돈사>우사 순으로 검출된 것과 달리 디메틸설파이드와 디메틸디설파이드는 가금류>우사>돈사 순으로 조사되었다.

특히 가금류 사육시설의 경우 메틸머캅탄과 디메틸디설파이드의 검출빈도가 다른 축종에 비해 비교적 높은 값으로 조사되었는데 축산시설 중 가금류 사육 시설에 대한 황화합물 배출특성 중 하나인 것으로 판단된다. 하지만 가금류 사육시설에 대한 조사지점수가 13개소로 작았고, 황화합물이 검출된 시설 모두 계사로 한정되어 있어 좀 더 폭넓은 조사가 필요할 것으로 생각된다.

### 3. 복합악취 희석배수와 황화합물 농도와의 상관성 평가

악취의 원인물질을 확인하기 위하여 악취측정의 기준으로 활용하고 있는 공기희석관능법으로 측정된 복합악취의 희석배수와 기기로 분석된 황화합물 농도의 상관성을 평가하였다.

Fig. 5는 180개의 검체를 분석한 복

합악취의 희석배수와 황화합물 농도를 합한 값(SOC)을 그림에 나타낸 것이다.

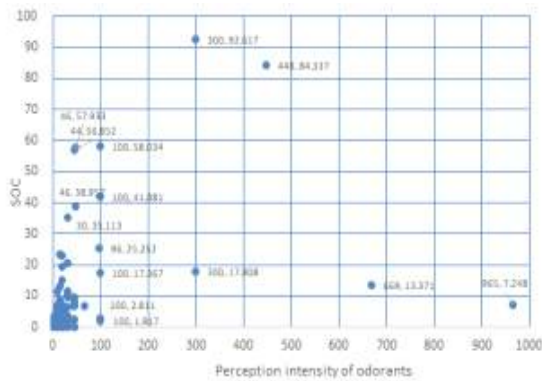


Fig. 5. Comparison of SOC and PIO(n=180)

그림을 보면 복합악취 분석결과는 3~40배에 집중되어 있었고, 황화합물은 대부분 10 ppb이하로 조사되었다. 희석배수가 높은 검체는 황화합물 농도 또한 높게 측정되어 황화합물이 축산시설의 주요 악취유발물질인 것을 확인할 수 있었다. 그러나 몇몇의 검체에서는 복합악취 희석배수가 100이상으로 높았으나 황화합물 농도의 합이 비교적 낮게 조사된 것을 확인할 수 있었는데 이는 황화합물 이외의 악취유발물질이 검체에 존재함을 나타내는 것으로 다른 지정악취물질에 대한 조사가 필요한 것으로 생각된다.

희석배수와 황화합물농도에 대한 상관성을 평가하기 위하여 황화합물이 1종이상 검출된 검체 129개 중 황화합물 농도에 비해 희석배수가 상당히 높게 조사된 2개의 검체를

제외한 127개의 검체에 대해 황화합물 농도를 합한 값(SOC)과 황화합물농도를 최소감지농도로 나눈 악취지수의 합(SOQ)을 구해 희석배수와 비교하였다.

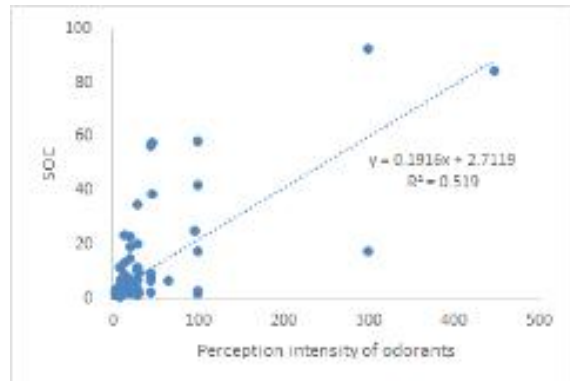


Fig. 6. The relationship coefficient of SOC and PIO (n=127).

Fig. 6은 127개 검체에 대한 복합악취 희석배수와 황화합물의 농도합을 비교하여 나타낸 것이다. 그림을 보면 대체적으로 희석배수가 증가함에 따라 황화합물 농도 또한 증가하는 경향을 보였으며 이때의 Pearson 상관계수는 0.720( $r^2=0.519$ )으로 직선성이 비교적 높게 나왔다. t검정결과  $p=0.00015$ 로 유의성도 있음을 확인할 수 있었다.

기기분석으로 측정된 황화합물의 농도를 최소감지농도에 대비한 악취지수의 합(SOQ)을 계산하고 그 값과 희석배수를 비교하여 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7을 보면 SOC값과 마찬가지로 희석배수가 증가할 때 황화합물의 악취지수 또한 증가하는

경향을 보였으며 Pearson상관계수  $0.724(r^2=0.525)$ 로 황화합물 농도의 합으로 계산한 값과 비슷한 직선성을 보이는 것으로 조사되었다. 그러나 t검정결과  $p$ 값이  $0.66675$ 로 유의성은 없는 것으로 나타났다.

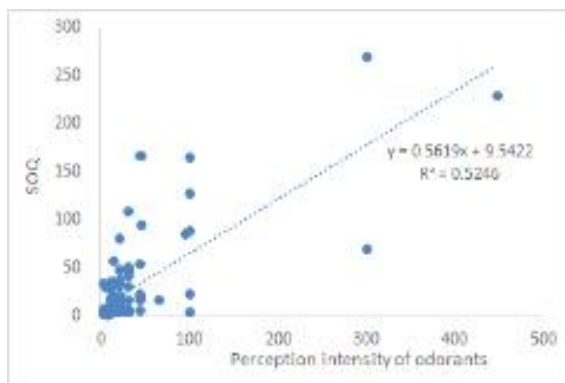


Fig. 7. The relationship coefficient of SOQ and PIO (n=127).

황화합물과 복합악취 희석배수의 상관성평가를 축종별로 실시하였다. 전체 검체 중 가장 큰 비중을 차지한 것은 돈사로 127개의 황화합물 검출시료 중 110개소로 확인되었다.

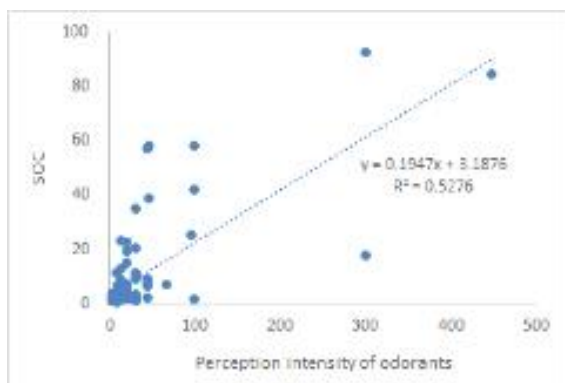


Fig. 8. The relationship coefficient of SOQ and PIO in pig farms (n=110).

Fig. 8은 110개의 돈사에 대해 희석배수와 황화합물 농도의 합을 비교하여 나타낸 것이다. 이때의 SOQ값과 희석배수의 Pearson 상관계수는  $0.726(r^2=0.528)$ 로 직선성이 전체 검체와 비슷하게 나왔으며 t검정결과  $p=0.00073$ 로 유의성이 있음도 확인할 수 있었다.

Fig. 9는 110개소의 돈사에 대해 SOQ값과 희석배수를 비교한 것으로 SOQ와 비슷한 직선성을 보이는 것으로 확인되었다. 이 때의 상관계수는  $0.724(r^2=0.524)$ 로 직선성은 높은 것으로 조사되었지만 t검정결과  $p=0.8006$ 로 유의성은 없는 것으로 확인되었다.

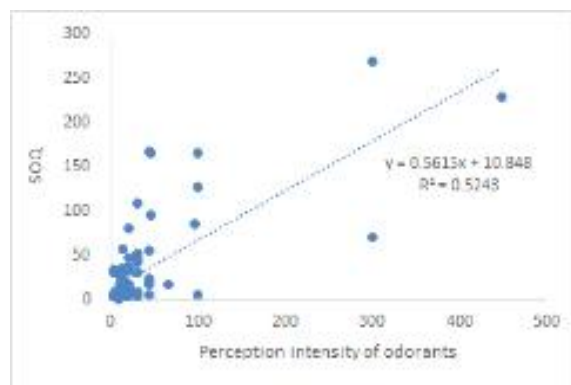


Fig. 9. The relationship coefficient of SOQ and PIO in pig farms (n=110).

SOC와 SOQ값에 대비한 희석배수의 상관성을 비교했을 때 직선성에서는 큰 차이를 보이지 않았지만 t검정결과에서 SOQ값과 희석배수의 평가에서는 유의성이 나타나지 않아 본 연구에서는 SOC값과의 상관성분석이 더 타당성이 있는 것으로

확인되었다.

황화합물이 검출된 우사 8개소와 가금류사육시설 9개소에 대한 황화합물농도와 희석배수의 상관성을 평가하기 위하여 SOC와 SOQ를 구하여 희석배수와 비교하였으나 직선성은 비교적 높은 것으로 조사된 반면 t검정결과가 0.05이상으로 유의성이 없는 것으로 평가되었다. 이러한 결과는 황화합물이 검출된 시설의 수가 적었기 때문인 것으로 생각되어 보다 많은 검체에 대한 조사가 필요한 것으로 보여진다.

#### IV. 결 론

시·군·구에서 의뢰된 축산시설 180개소에 대한 복합악취 및 황화합물 4항목을 연구한 결과는 다음과 같다.

1. 총 180개소의 축산시설 부지경계선에 대한 복합악취 분석결과는 평균농도 32배, 농도범위는 3~965배로 조사되었으며 배출허용기준(기타지역 15배)을 초과한 곳은 36.1%인 65개소로 나타났다.
2. 복합악취의 축종별 분석결과는 평균농도가 돈사 35배, 우사 11배, 가금류 사육시설 25배로 조사되어 돈사>가금류>우사 시설순으로 나타났다으며 기준초과시설은 돈사 56개소(36.8%), 우사 4개소(26.7%),

가금류사육시설 5개소(38.5%)였다.

3. 총 180개소의 축산시설에 대한 황화합물 분석결과는 황화수소의 평균농도가 5.309 ppb, 메틸머캅탄이 0.375 ppb, 디메틸설파이드가 0.087 ppb, 디메틸디설파이드 0.031 ppb로 조사되었으며, 황화수소(기준 20 ppb)는 12개소에서 메틸머캅탄(기준 2 ppb)은 7개소에서 배출허용기준(기타지역)을 초과한 것으로 나타났다.
4. 축종별 황화합물 분석결과는 돈사의 황화수소가 평균농도 6.053 ppb로 우사 1.085 ppb, 가금류 1.474 ppb에 비하여 높은 것으로 조사되었고, 검출빈도 또한 돈사 시설 72.3%, 우사 53.3%, 가금류 61.5%로 조사되어 돈사에서 가장 많이 검출되었으며 배출허용기준 20 ppb를 초과하는 12개 시설 모두 돈사시설인 것으로 확인되어 황화수소가 돈사의 주요 악취원인 물질인 것으로 나타났다. 다른 축종에서도 검출빈도가 50%이상으로 황화수소는 축산시설의 주요 악취원인물질인 것으로 나타났다.
5. 메틸머캅탄의 평균농도는 가금류 시설에서 0.660 ppb로 돈사 0.379 ppb, 우사 0.087 ppb보다 높게 조사되었으며 검출빈도 또한 가금류 시설이 23.1%로 가장 높았고,



돈사 17.8%, 우사 6.6%로 그 뒤를 이었다. 디메틸설파이드와 디메틸디설파이드는 가금류 시설에서 각각 0.409 ppb, 0.270 ppb로 배출허용기준 10 ppb와 9 ppb의 3 ~ 4%로 조사되었지만 다른 축종시설에 비해 높은 것으로 나타났다. 검출빈도 또한 가금류시설이 7.7%, 15.4%로 가장 높게 조사되었다.

6. 메틸머캅탄의 평균농도 및 검출빈도는 가금류>돈사>우사 순으로, 디메틸설파이드와 디메틸디설파이드는 가금류>우사>돈사 순으로 조사되었으며 특히 가금류 시설의 메틸머캅탄, 디메틸디설파이드의 검출빈도가 23.1%, 15.4%로 다른 축종에 비해 높게 조사되어 가금류 사육시설에 대한 황화합물 배출특성 중 하나인 것으로 판단된다. 하지만 가금류사육시설에 대한 조사지점수가 13개소로 작았고, 황화합물이 검출된 시설 모두 계사로 한정되어 있어 좀 더 폭넓은 조사가 필요하다.

7. 황화합물이 검출된 검체의 희석배수와 황화합물농도를 비교한 결과 희석배수가 높게 측정된 검체 대부분 황화합물 농도도 높게 측정되어 축산시설의 주요악취물질이 황화합물인 것을 확인할 수 있었으나 희석배수가 가장 높은 검체

의 황화합물 농도가 비교적 낮아 다른 악취원인물질이 있는 것으로 판단된다.

8. 복합악취 희석배수와 황화합물 농도 사이의 상관성 평가결과 복합악취의 희석배수와 황화합물 농도의 합, 그리고 악취지수의 합과의 상관관계수는 0.7이상으로 두 경우 모두 상관성이 비교적 높은 것으로 조사되었으나 t검정결과 황화합물 농도합과의 상관관계만 유의성이 있는 것으로 확인되어 본 연구에서는 SOC값으로 평가하는 것이 타당성이 있는 것으로 판단된다.

9. 우사와 가금류사육시설의 상관성 평가 결과 희석배수와 황화합물 농도의 합, 악취지수의 합 사이의 상관관계수는 비교적 높은 값으로 조사되었으나 검체수가 부족하여 유의성이 없는 것으로 조사되었는데 향후 충분한 검체수를 확보하여 조사할 필요가 있다.

## 감사의 글

본 연구는 경상남도보건환경연구원 대기환경연구부 대기조사팀의 2019년 연구사업으로 환경부 국립환경과학원 환경분야 시험검사의 국제적합성 지원사업으로 수행되었습니다.

## V. 참 고 문 헌

1. 2012 악취관리편람, 환경부, 2012.
2. 김기현, 안지원, 홍원필, 개별악취 물질과 혼합악취물질에 대한 농도와 악취강도의 연계성 연구:황화수소와 아세트알데하이드를 중심으로, 한국냄새환경학회지 제9권 제2호, 72-79, 2010.
3. 악취공정시험기준, 국립환경과학원, 2018.
4. 악취방지법 시행규칙, 환경부, 법률 제14532호, 2017.
5. 김종보, 정상진, 다중회귀분석을 이용한 악취 관리지역에서의 복합취기강도와 개별악취물질들의 관계에 대한 연구, 한국환경보건학회지, 35권 3호, 191-200, 2009.
6. 김만구 외 4인, 관능법과 기기분석법을 접목한 악취원인물질 평가방법, 한국냄새환경학회지 제1권 제1호, 31-38, 2002.
7. 송희일 외 8인, 돈사·우사·계사의 악취 배출특성 연구, 경기도보건환경연구원보, 217-225, 2010.
8. 박귀환 외 4인, 축산시설의 악취 특성에 관한 연구, 한국냄새환경학회지 제4권 제4호, 207-215, 2005.
9. 박신영, VOC 기기분석의 정도관리 및 악취평가방법의 연계성 연구, 세종대학교 지구환경과학과 석사학위논문, 51-55, 2007.
10. 박신영, 김기현, 홍윤정, 공기회석관능법과 기기분석법의 연계성 평가를 통한 악취성분들의 악취기여도 연구 : 다중회귀분석을 이용한 비교, 한국냄새환경학회지, 제6권 제2호, 96-105, 2007.

## 02 : 환 경 분 야

### 고농도 오존 발생특성 평가



# 고농도 오존 발생특성 평가

전미희, 공남식, 임중근

대기질관리팀

## Investigation of ground-level ozone and its high concentration episodes in Gyeongsangnam-do

Mihee Jun, Namshick Kong, Jungkun Lim

Air Quality Research Team

### Abstract

Ozone ( $O_3$ ) is one of harmful pollutants formed secondarily by photochemical reaction of volatile organic compounds (VOCs) and  $NO_x$  in the presence of sunlight. Climate change and increase of the number of extreme heat days tend to cause high concentration of ground-level ozone these days. In this study, air quality data such as  $O_3$  and nitrogen oxides ( $NO$ ,  $NO_2$ ) were collected from 22 air quality monitoring stations in southern Gyeongsang area for a decade (2009–2018) to investigate temporal variation and long-term trends of ground-level  $O_3$ . Ground-level  $O_3$  concentration continuously increased every year and was higher in 2018 than in 2009 for 8-hour ozone of smog season by 14.9%. Seasonal level of  $O_3$  was the highest in spring while  $NO_2$  concentration was the highest in winter. Significant ( $p < 0.01$ ) positive relationship was found between high ozone level and duration of sunshine and insolation with coefficient 0.27~0.34 for before and the right high  $O_3$  day.  $NO$  level showed negative relationship with  $O_3$  both in non-ozone and ozone season, which seems to be caused by  $NO_x$  titration effect.

**Key word :** Ground-level ozone, Nitrogen oxides,  $NO$  titration effect, Extreme heat days, Meteorological variables

## I. 서 론

산소분자와 원자의 광화학반응에 의해 생성되는 오존( $O_3$ )은 성층권의 오존층을 형성하여 유해한 자외선을 흡수함으로써 지구 생물의 보호막 역할을 한다. 그러나 지표 부근의 인위적 또는 자연발생적 오염물질인 일산화탄소( $CO$ ), 메탄( $CH_4$ ), 휘발성유기화합물(VOCs)과 질소산화물( $NO_x$ ) 등이 광화학반응에 관여함으로써 생성된 지표오존은 인간을 비롯한 지구 생물에게 해로운 영향을 미친다.<sup>1~4)</sup> 하절기 대표 대기오염물질이며 광화학 스모그의 주성분인 지표오존은 일사량과 기온이 높고 풍속과 습도가 낮을 때 전구물질들의 활발한 광화학 반응에 의해 생성된다. 지표오존의 생성에 영향을 미치는 요소는 기상인자,  $NO_x$  titration과 같은 화학적 반응, 오존물질의 이동특성과 전구물질의 배출량 등이 있지만,  $NO_x$ 나 VOCs 배출량의 감축이 오존 생성 농도의 감소로 직접 반영되지 않는다는 연구결과가 있다.<sup>5)</sup> Jhun<sup>6)</sup>의 연구결과에 의하면,  $NO_x$  배출량의 감축은 일몰 후  $NO_x$  titration 반응을 통해 제거될 수 있는  $O_3$ 의 양을 감소시키고, 낮 시간의  $O_3$  생성을 증가시키는 VOC-limited 조건을 형성하게 되어  $NO_x$  배출량 감소가 지표오존 생성 농도의 감소로 직접 반영되지 않을 수 있다. 야간 시간 고농도 오존이 발생하는 현상에 대해 Dey<sup>7)</sup> 등은 대기경계층 내에서 고층의 고농도

오존이 저층과 혼합되면서 야간의 지표오존 농도가 높아지는 현상이 나타난다고 보고했고, Ghosh<sup>8)</sup> 등은  $NO_2$ - $NO_3$ - $N_2O_5$ 의 화학반응이 야간의 오존 농도 상승에 중요한 역할을 한다는 연구결과를 발표하였다. 국내의 지표오존 관련 연구는 2000년대 이후 초미세먼지(PM-2.5)에 대한 관심이 증가하면서 상대적으로 감소하였으나,<sup>9)</sup> 최근의 오존에 대한 연구 동향을 살펴보면, 오존 발생 원인을 인접한 배출원에 국한하지 않고 장거리 이동에 따른 기여도를 평가하는 연구결과들이 있다. 김<sup>10)</sup> 등은 중국의  $NO_x$ 와 VOCs 배출량 목록에 따른 국내 오존 모사농도 차이 및 기여도 변화를 연구한 결과, 중국 배출량의 기여도를 44~52%로 보고하였다. 배<sup>11)</sup> 등은 CMAQ-HDDM을 이용하여 중국의  $NO_x$ 와 VOCs 배출량의 광양만 지역 8시간 평균 오존 농도에 대한 기여도가 각각 38%와 15%임을 밝혔다.

우리나라의 오존 연평균 농도와 주의보 발령일수, 대기환경기준 달성을 등의 변화추이를 살펴보면<sup>12)</sup> 오존 발생에 대한 지속적인 조사·연구가 필요하다. 오존의 전국 연평균 농도는 1998년 20 ppb에서 2018년 27 ppb로 최근까지 지속적인 증가추세를 보이며, 지난 15년의 전국 오존 연평균 농도에 대한 3년 기간 평균은 2001년에서 2003년 사이 20 ppb에서 2016년~2018년 28 ppb으로 증가하였다. 경남 지역의 경우 각각 25 ppb와 31 ppb로

매년 증가추세에 있고, 최근 5년간 경남지역은 전국 평균농도보다 2~5 ppb 높은 경향을 보이며, 제주지역에 이어 두 번째로 높은 오존농도를 기록하고 있다. 오존 생성 전구물질인 이산화질소( $\text{NO}_2$ )의 전국 연평균 농도는 2001년 28 ppb에서 매년 감소하여 2018년에는 20 ppb였고, 경남지역의 연평균은 각각 24 ppb에서 18 ppb로 감소추세를 보였다. 오존경보제의 전국 주의보 발령일수는 첫 시행된 1995년 1일, 2004년 27일, 그리고 2018년 66일로 최근 5년 사이 급격하게 증가하는 경향을 보이고 있다. 경남지역의 주의보 발령일수는 2004년 4일에서 2018년 33회로 매년 증가추세에 있다. 전국 평균 오존 농도의 대기환경기준 달성률은 8시간 평균값과 1시간 평균값에 대해 2013년 각각 0.8%와 35.2%에서 2018년 0.3%와 22.9%로 감소하여 오존으로 인한 대기오염이 증가한 반면,  $\text{NO}_2$ 의 기준 달성률은 연평균값과 1시간 평균값에 대해 2013년 각각 73.9%와 70.0%에서 2018년 91.6%와 93.7%로 증가하여 질소산화물로 인한 대기질은 개선되었다.<sup>12)</sup> 이러한 현상은 경남지역에서도 관찰되었다. 오존의 대기환경기준 달성률은 2009년 8시간 평균값과 1시간 평균값에 대해 각각 0%와 47.1%에서 2018년 각각 0%와 9.1%로 악화되었고  $\text{NO}_2$ 는 24시간 평균값과 1시간 평균값에 대해 모두 88.2%에서 각각 95.5%와 100%로 개선되었다. 오존생성 전구물질에 대한

2016년 경남지역의 배출량<sup>13)</sup>을 살펴보면,  $\text{NO}_x$ 는 배출량 5위(102,053톤), VOCs는 2위(107,783톤)로 각각 전국 배출량의 8.2%와 10.5%를 차지한다. 이들 물질의 배출량은 경제지표에 따라 연도별 증감을 반복하고 있어 오존 등 2차 생성 대기오염물질에 대한 예측과 대응이 힘들다.

본 연구에서는 경남지역의 오존 발생 특성을 파악하기 위하여 도내 22개 대기오염측정소의 오존 농도가 ‘나쁨’ 단계 91 ppb 이상의 고농도 오존 발생일의 오존 및 질소산화물의 농도 변화에 대해 조사하였다. 그리고 고농도 발생 전일과 당일의 기상인자와 오존 농도와의 상관성 분석을 실시하여 고농도 오존 발생일의 특징을 살펴보았다. 1시간 최고값, 8시간 평균값, 그리고 일평균 농도에 대하여 22개 측정소의 군집분석을 실시하여 측정소간 유사성을 조사하였다.

## II. 연구 방법

### 1. 대상지역

오존( $\text{O}_3$ ) 생성 전구물질인 질소산화물( $\text{NO}_x$ )과 휘발성유기화합물질(VOC)의 배출량은 Table 1과 같이 8개 조사항목 중 가장 많은 양을 차지하고 있고, 2010년 이후 증가추세에 있다. 2016년 대기오염물질배출량자료(CAPSS, Clean Air Policy Support System)<sup>13)</sup>를

살펴보면, 경남지역 NO<sub>x</sub> 배출량은 전국 배출량의 8.2%로 5위였고 VOCs는 10.5%로 2위를 차지하였다. 더불어 경남지역은 국가산단 9개를 포함하여

총 206개<sup>14)</sup>의 산업단지가 산재해 있어 타 지역에 비해 오염물질의 배출 가능성이 높고, 대기오염물질의 이동특성으로 인해 타 지역과 영향을 주고받게 된다.

Table 1. Air pollutant emissions trends data of Gyeongsangnam-do

(unit : ton/year)

Year	CO	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	TSP	PM-10	PM-2.5	VOC	NH <sub>3</sub>
2007	51,175	104,159	28,768	4,797	4,006	-	82,355	24,825
2008	46,089	100,654	30,679	4,269	3,547	-	81,448	23,074
2009	55,054	83,848	24,080	4,000	3,515	-	83,471	23,972
2010	52,233	79,722	21,601	3,758	3,244	-	91,462	25,751
2011	50,823	90,671	30,954	4,542	4,299	3,668	97,335	25,095
2012	51,343	97,581	37,354	12,923	9,132	6,131	105,782	26,365
2013	47,055	96,679	38,685	12,561	8,785	5,857	100,590	25,640
2014	39,338	96,425	29,962	3,127	3,052	2,665	96,702	25,473
2015	54,948	94,311	31,434	48,674	14,786	6,107	101,232	24,298
2016	55,630	102,053	30,914	47,846	14,024	5,548	107,783	25,389

Table 2. General information for current Gyeongsangnam-do's ambient air monitoring sites

City, County	Station name	ID	Date of Registered	Probe height(m)	Start date (data available)
Changwon(9)	Gaeumjeong-dong	GUJ	Feb. 1997	13.5	'09. 1. ~ '18. 12.
	Gyeonghwa-dong	GH	Mar. 1994	13.0	
	Myeongseo-dong	MS	Dec. 1993	12.0	
	Bongam-dong	BA	Dec. 1995	12.0	
	Sapa-dong	SP	Mar. 2009	12.5	
	Ungnam-dong	UN	Jun. 1999	12.2	
	Yongji-dong	YJ	Jul. 2007	18.5	
	Heowon-dong	HW	Sep. 1993	15.0	
	Bangsong-ro	BS	Oct. 2008	4.4	
Jinju(3)	Daeam-dong	DA	Nov. 1997	18.0	'09. 1. ~ '18. 12.
	Sangdae-dong	SD	Jan. 1998	16.0	
	Sangbong-dong	SB	Jul. 1995	12.0	
Tongyeong(1)	Mujeon-dong	MJ	Aug. 2017	16.5	'18. 1. ~ '18. 12.
Sacheon(1)	Sacheon-eup	SC	Oct. 2012	17.0	'13. 1. ~ '18. 12.
Gimhae(3)	Dongsang-dong	DS	Jul. 1995	13.0	'09. 1. ~ '18. 12.
	Sambang-dong	SmB	Feb. 2003	18.0	
	Jangyu-dong	JY	Oct. 2012	17.5	
Miryang(1)	Naeil-dong	NI	Aug. 2017	15.5	'18. 1. ~ '18. 12.
Geoje(1)	Aju-dong	AJ	Jul. 2011	12.7	'12. 1. ~ '18. 12.
Yangsan(2)	Bukbu-dong	BB	Apr. 1999	14.0	'09. 1. ~ '18. 12.
	Ungsang-eup	US	Dec. 2004	12.0	
Hadong(1)	Handong-eup	HD	Aug. 2007	17.5	'09. 1. ~ '18. 12.



경남지역의 대기오염도를 상시측정하기 위해 설치된 측정소 중 도로변 대기측정소 1개소를 포함하여 22개소를 연구대상 지역으로 선정하였다. 시·군별 측정소는 창원 9개소, 진주 3, 김해 3,

양산 2개소이며 통영, 사천, 밀양, 거제, 하동은 각 1개소가 설치되어 있다. 측정소별 시료채취 높이 및 설치시기는 Table 2에 정리하였고, 각 위치는 Fig. 1과 같다.



Fig. 1. Gyeongsangnam-do's current air monitoring network map.

## 2. 대기오염물질 측정자료 및 기상인자

$\text{NO}_x$ 와  $\text{O}_3$  농도는 대기오염측정망 설치·운영지침<sup>15)</sup>에 따라 설치된 대기오염측정기를 통해 24시간 연속 자동 측정하였고,  $\text{NO}_x$ 는 화학발광법으로 분석하였고  $\text{O}_3$ 는 자외선광도법을 적용하였다. 5분 간격으로 측정된 자료를 평균하여 1시간 자료를 생성하였으며, 본 연구를 위해 추출한 자료는 1시간

평균자료를 바탕으로 계산하였다. 일별 8시간 구분대의 17개 평균값 중 최고값을 해당일의 8시간 평균값으로 산정하였고, 고농도 오존 생성 특성을 파악하기 위하여  $\text{NO}_x$  측정자료는 고농도 발생 당일뿐만 아니라 전일과 익일에 대해서도 살펴보았다. 연도별 오존 및 질소산화물의 농도변화는 2009년 1월에서 2018년 12월까지의 측정자료를 사용하였고, 오존 시즌에 대한 자료

분석은 5월 1일에서 9월 30일의 측정 자료를 추출하여 사용하였다. 상관성 분석 및 군집분석에는 대기오염 예보 등급<sup>16)</sup>의 ‘나쁨’ 기준에 근거하여 22개소 측정소 중 1개소 이상에서 1시간 평균 오존농도가 0.090 ppm을 초과한 날을 고농도 오존 발생 사례일로 선정하였다. 대기오염물질과 기상관측 인자는 2009년 1월에서 2018년 12월까지의 10년간 자료를 추출하여 고농도 오존 발생 특성 평가에 활용하였다.

기상관측자료는 기상청의 기상자료 개방포털<sup>17)</sup>에서 시간자료를 추출하여 일 평균값, 일 최고값, 일 최저값을 고농도 오존 발생 당일과 전일에 대해 계산하여 통계분석에 활용하였다. 오존 및 질소산화물과의 상관성 분석을 위해 기온, 풍속, 습도, 이슬점 온도, 현지기압, 일조시간, 일사량, 운량, 지면 온도 등을 기상인자로 선정하였다.

### 3. 군집분석 및 상관성 분석

군집분석은 집단의 수를 미리 정하지 않고 관측대상들 사이의 유사성 또는 거리에 근거하여 자료가 얼마나 비슷한지를 거리로 환산하여 동질적인 집단으로 분류하는 통계적 분석 방법이다.<sup>18,19)</sup> K-평균 군집분석 방법은 미리 군집의 수를 정하고 각 개체가 어느 군집에 속하는지 분석하는 반면, 계층적 군집 분석은 자료의 유사도에 따라 가까운 대상끼리 병합 또는 분리되는 나무모양 그림(Dendrogram)의 형태로 표현된다.<sup>18,19)</sup>

본 연구에서는 일 최고 1시간 오존

농도가 0.091 ppm 이상으로 관측된 고농도 오존일의 각 측정소별 1시간 최고농도, 8시간 평균농도, 일 평균농도에 대하여 계층적 군집분석을 수행하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 연도별 오존 및 질소산화물 농도 변화

#### 가. 오존농도 변화 추이

시·군 및 경남지역 연도별 오존농도는 Table 3과 Fig. 2~4에 정리하였다. 경남지역의 오존 연평균 농도는 25~34 ppb 수준으로 증감을 반복하는 경향을 보이지만, 고농도 오존이 발생하는 오존 경보제 운영기간인 오존 시즌 즉, 매년 4월 15일에서 10월 15일 사이의 오존 평균농도는 2010년 이후 지속적인 증가 추세는 보인다. 다만, Table 3에서 나타난 것과 같이 연구 대상기간 10년 중 강우량이 가장 많았던 2016년에는 전년대비 1 ppb 감소하였고 10년간 평균 연강수량의 60%에 불과했던 2017년의 오존 연평균 농도는 34 ppb로 가장 높았고 10년간 경남 평균농도보다 5 ppb 높게 관찰되었다.

최근 5년간(2014~2018) 오존 연평균 농도는 2009~2013년 보다 3 ppb 증가하였고 오존 시즌 평균은 5 ppb 상승하였다. 8시간 평균 농도와 9시부터 17시 평균 농도는 오존 시즌의 경우 모두 7 ppb 증가하였고, 연평균 농도는

Table 3. O<sub>3</sub> concentration of 1-hour and 8-hour average during year-round and smog season

Region	Season		2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Gyeongnam	1-h	year-round	0.027	0.025	0.026	0.029	0.030	0.030	0.029	0.028	0.034	0.031
		smog season	0.031	0.029	0.029	0.034	0.035	0.035	0.037	0.034	0.040	0.037
	8-h	year-round	0.041	0.037	0.038	0.042	0.045	0.044	0.044	0.042	0.049	0.046
		smog season	0.047	0.045	0.042	0.051	0.053	0.052	0.055	0.052	0.059	0.054
	9 to 17	year-round	0.034	0.032	0.032	0.036	0.039	0.038	0.038	0.037	0.043	0.041
		smog season	0.038	0.037	0.036	0.043	0.045	0.045	0.047	0.044	0.050	0.048
	Precipitation (mm)		1,362	1,644	1,664	1,697	1,183	1,540	1,235	1,731	877	1,672
	Extreme heat days		8.9	19.7	9.4	16.9	25.4	9.1	13.3	26.0	23.7	33.9
Changwon	1-h	year-round	0.028	0.026	0.027	0.030	0.030	0.029	0.029	0.028	0.034	0.031
		smog season	0.033	0.030	0.031	0.035	0.036	0.035	0.036	0.034	0.041	0.037
	8-h	year-round	0.042	0.039	0.039	0.043	0.045	0.044	0.044	0.042	0.049	0.046
		smog season	0.050	0.047	0.045	0.052	0.053	0.052	0.055	0.052	0.060	0.055
Jinju	1-h	year-round	0.026	0.022	0.024	0.028	0.030	0.030	0.029	0.029	0.034	0.031
		smog season	0.030	0.027	0.027	0.034	0.036	0.036	0.038	0.037	0.042	0.039
	8-h	year-round	0.038	0.032	0.034	0.042	0.045	0.045	0.044	0.044	0.05	0.047
		smog season	0.043	0.040	0.038	0.050	0.054	0.053	0.056	0.053	0.062	0.057
Tongyeong	1-h	year-round	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.034
		smog season	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.039
	8-h	year-round	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.048
		smog season	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.055
Sacheon	1-h	year-round	-	-	-	-	0.032	0.031	0.030	0.028	0.033	0.033
		smog season	-	-	-	-	0.040	0.036	0.039	0.035	0.039	0.040
	8-h	year-round	-	-	-	-	0.05	0.048	0.047	0.043	0.05	0.051
		smog season	-	-	-	-	0.061	0.053	0.059	0.054	0.059	0.062
Gimhae	1-h	year-round	0.026	0.025	0.026	0.028	0.028	0.029	0.028	0.027	0.033	0.029
		smog season	0.029	0.029	0.028	0.034	0.031	0.034	0.035	0.034	0.038	0.033
	8-h	year-round	0.039	0.038	0.037	0.04	0.042	0.042	0.044	0.041	0.048	0.043
		smog season	0.042	0.045	0.040	0.048	0.049	0.051	0.055	0.052	0.057	0.049
Miryang	1-h	year-round	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.032
		smog season	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.038
	8-h	year-round	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.048
		smog season	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.056
Geoje	1-h	year-round	-	-	-	0.034	0.034	0.035	0.035	0.034	0.041	0.038
		smog season	-	-	-	0.037	0.035	0.038	0.041	0.037	0.042	0.041
	8-h	year-round	-	-	-	0.043	0.043	0.045	0.047	0.045	0.051	0.049
		smog season	-	-	-	0.049	0.047	0.051	0.056	0.049	0.055	0.053
Yangsan	1-h	year-round	0.026	0.025	0.023	0.027	0.028	0.026	0.026	0.025	0.031	0.030
		smog season	0.028	0.031	0.025	0.032	0.032	0.033	0.033	0.030	0.037	0.036
	8-h	year-round	0.042	0.037	0.036	0.041	0.043	0.042	0.042	0.04	0.048	0.046
		smog season	0.044	0.046	0.039	0.049	0.051	0.052	0.052	0.048	0.059	0.056
Hadong	1-h	year-round	0.029	0.027	0.029	0.031	0.035	0.034	0.033	0.032	0.035	0.032
		smog season	0.030	0.027	0.030	0.034	0.039	0.038	0.039	0.035	0.039	0.034
	8-h	year-round	0.040	0.037	0.039	0.042	0.049	0.048	0.047	0.045	0.048	0.045
		smog season	0.043	0.039	0.041	0.048	0.057	0.054	0.056	0.051	0.056	0.050

각각 4 ppb 및 5 ppb 증가하여 연도별 오존 농도의 증가추세를 확인할 수 있었다. 특히 고농도 오존이 발생하는 오존 시즌의 증가폭이 큼을 알 수 있었다. 2015년의 경우, 연평균 농도는 전년보다 1 ppb 낮거나 동일한 수준

이었으나, 오존시즌에는 1~3 ppb 정도 높은 특징을 보여 하절기 오존 농도가 예년에 비해 높았음을 알 수 있다. 오존 주의보 발령일은 2015년 14일(32회)로 나타나 2014년 8일(16회)과 비슷한 결과를 보였다.

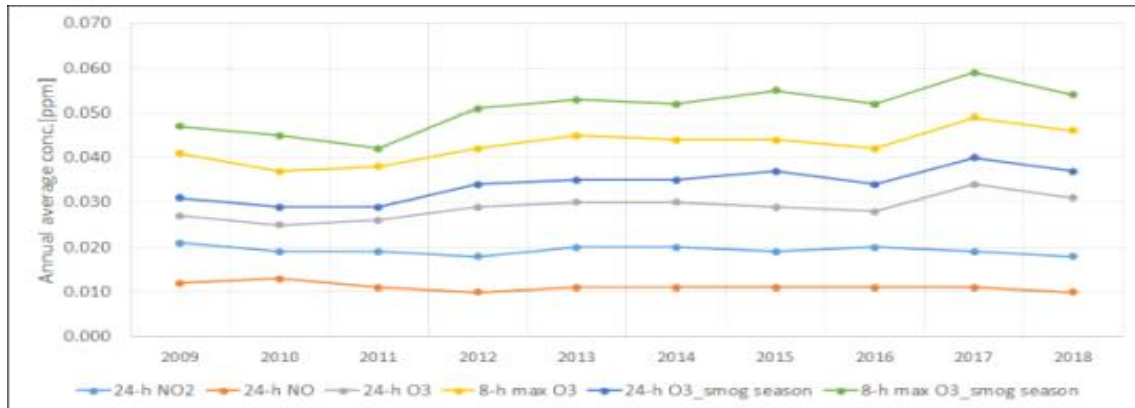


Fig. 2. Annual average ozone and NOx concentration of southern Gyeongsang area.

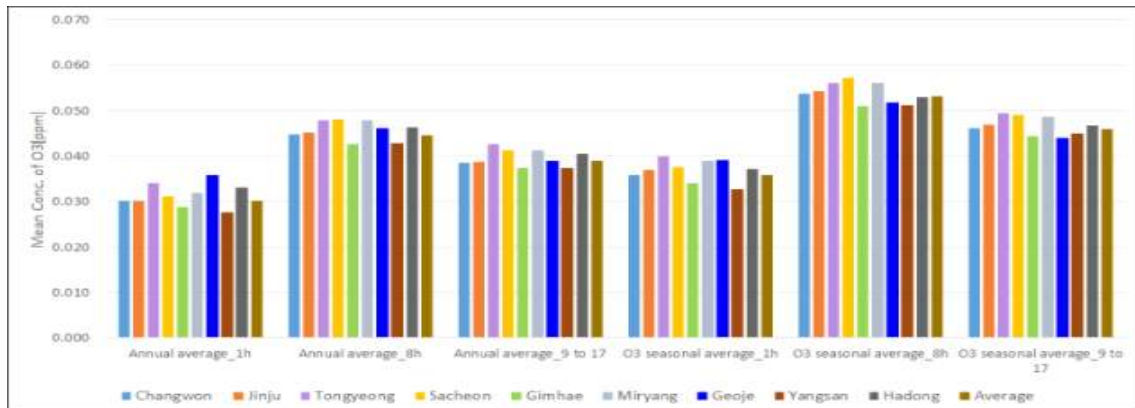


Fig. 3. O<sub>3</sub> concentration of 1-hour and 8-hour during year-round and smog season.



Fig. 4. Annual average ozone concentration of each city & county.

연평균 오존농도는 매년 거제지역에서 가장 높게 관찰되었지만, 8시간 평균농도와 오전 9시에서 오후 5시 사이의 기간에 대한 연평균 농도를

계산하면 창원, 진주, 사천지역에서 높은 농도가 나타났다. Fig. 3에 나타난 것과 같이 이러한 경향은 오존 시즌에 더욱 뚜렷하게 관찰되었다.

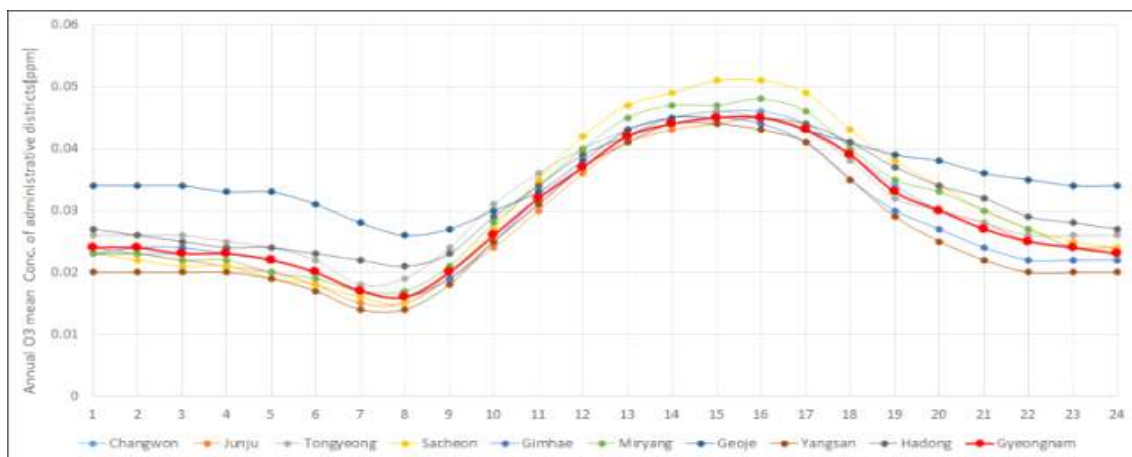


Fig. 5. Diurnal variations of  $O_3$  concentration of each administrative district.

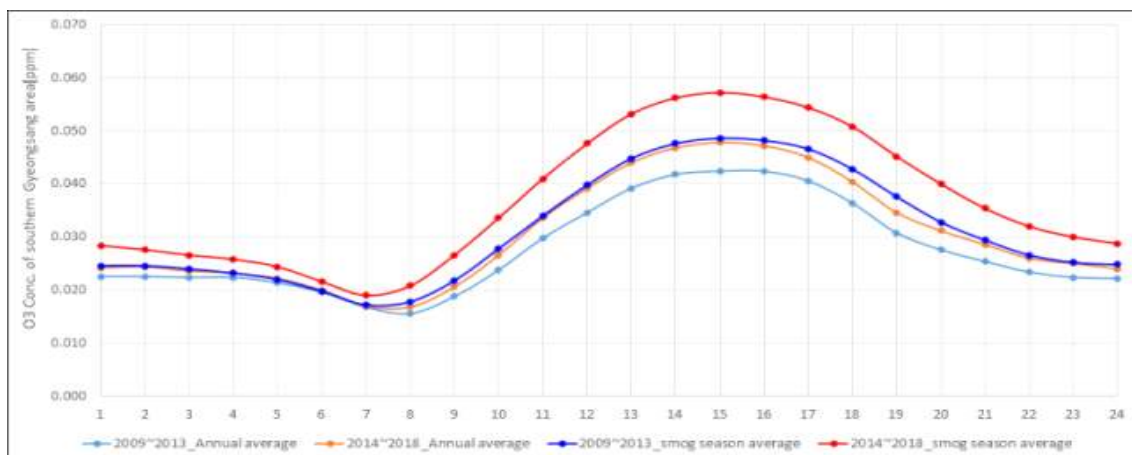


Fig. 6. Diurnal variations of  $O_3$  concentration of all months and smog season.

경남지역의 시간대별 평균 농도를 살펴보면, Fig. 5에서와 같이 오전 7~8시에 16~17 ppb로 가장 낮았고 오후 14~17시 사이 43~45 ppb로 가장 높았다. 오전시간에 최저 농도는 낮 시간 생성되었던  $O_3$ 이 출근시간 차량에서 배출되는  $NO$ 와의 반응에 의한  $NO_x$  titration 효과에 기인한 것으로 사료

되며, 오후 시간에는 활발한 광화학 반응에 의해 오존 생성량이 최고값을 보여 다수의 연구결과와 비슷한 추세를 보였다.<sup>20~25)</sup> Fig. 6은 연구대상 기간을 2단계로 나누어 1기간(2009~2013년)와 2기간(2014~2018년)의 오존농도를 비오존 시즌을 포함한 전체 연평균 농도와 오존 시즌의 평균농도를 시간대별로

정리한 것이다. 두 시기별 농도차이는 오존이 활발하게 생성되는 12시에서 16시 사이 비오존 시즌을 포함한 전체 평균에 대해서는 5 ppb였고 오존 시즌에는 9 ppb로 다소 높게 관찰되어 고농도

오존이 발생하는 하절기 오존 농도가 매년 증가함을 확인할 수 있었다.

오존 시즌과 비오존 시즌의 측정소별 및 시간대별 농도 분포는 Fig. 7과 8에 정리하였다.

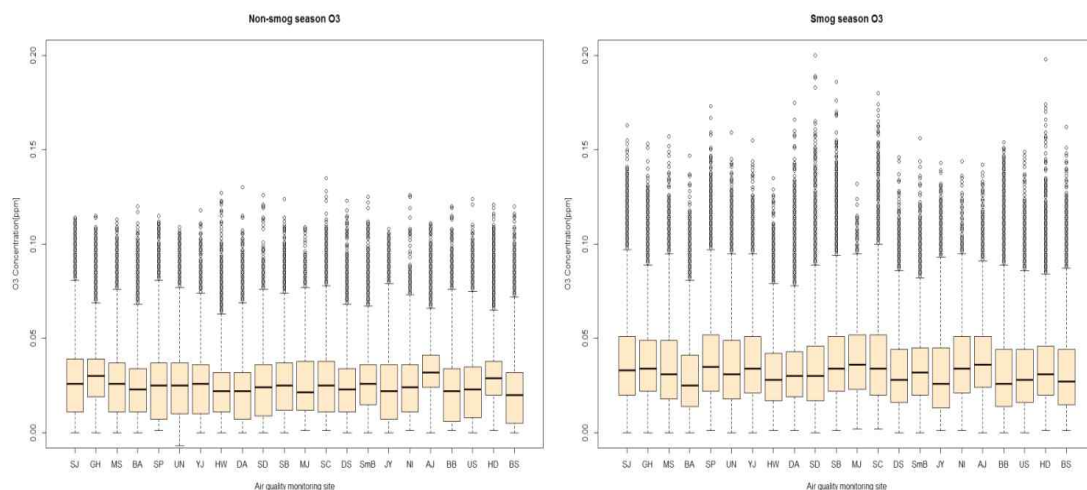


Fig. 7. O<sub>3</sub> concentration of smog & non-smog season for each administrative district.

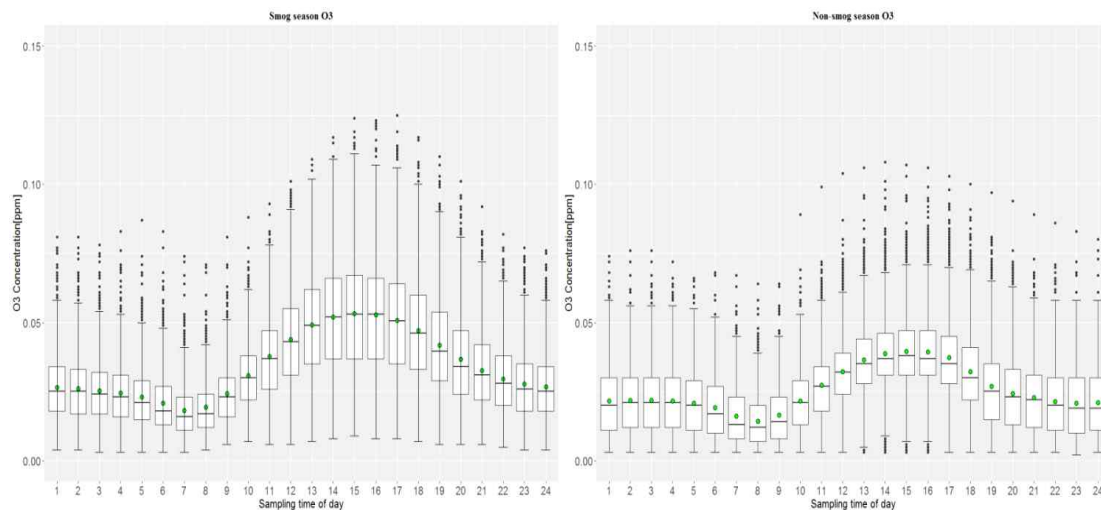


Fig. 8. Diurnal variations of O<sub>3</sub> concentration of smog & non-smog season.

오존 시즌의 평균 농도는 34 ppb였고 비오존 시즌은 26 ppb로 관찰되었다. 오존 시즌의 평균농도가 가장 높은 곳은 무전동과 내일동이였으나, 두 지점은 2017년 설치되어 1년 자료를

분석한 결과로 자료수가 타 측정소들에 비해 적기 때문에 향후 지속적인 관찰이 필요하다. 사과동과 아주동 측정소의 평균 농도는 오존 시즌에 39 ppb로 가장 높은 농도를 보였으나, 비오존



시즌 사과동은 25 ppb, 아주동은 34 ppb로 다른 양상을 보인다. 성주동, 삼방동, 사천읍의 평균농도는 38 ppb였고, 비오존 시즌에는 26~27 ppb 수준으로 사과동과 유사한 경향을 보였다. 시간대별 오존 농도가 가장 높은 시간은 15시로 관측되었고 오존과 비오존 시즌의 평균 농도는 각각 53 ppb와 40 ppb로 13 ppb의 차이를 보였다. 오존 시즌 최저 농도는 18 ppb로 오전 7시에 관측되었고 비오존 시즌은 오전 8시 14 ppb였다.

거제지역의 오존농도 분포의 특이성은 Fig. 5에서와 같이 시간대별 농도에서도 뚜렷하게 나타났다. 밤 22시부터 익일 오전 8시 사이 경남 연평균 오존농도보다 10~11 ppb 높았고, 오전 9시와 10시 그리고 오후 19시와 21시 사이에는 6~9 ppb 높게 관측되었다. 반면, 오존 발생이 활발한 오전 11시에서 오후 17시 사이에는 경남 평균과 같거나 비슷한 수준을 보였다. 사천지역은 오후 12시에서 20시 사이 경남 평균보다 4~6 ppb 높게 관측되었으나

새벽과 밤 시간에는 경남 평균과 비슷한 수준을 보였다.

Fig. 9는 월별 오존농도를 나타낸 것으로 10년간 평균자료를 살펴보면, 일조시간이 가장 긴 5월에 가장 높게 관측되었고 12월이 가장 낮은 분포를 보인다. 연중 강수량이 가장 높은 7월이 8~9월보다 오존 농도가 낮은 것은 강우의 영향으로 사료된다. 2017년과 2018년은 6월의 오존 농도가 가장 높은 것으로 조사되었다. 이 시기의 폭염일수<sup>17)</sup>는 각각 2.4일과 2.6일로 6월에 비해 5월의 오존농도가 현저하게 높았던 2012~2016년 사이의 6월 평균 폭염일수 0.2일보다 훨씬 높게 관측되었다. 2018년의 월별 오존농도는 6월이 가장 높았는데 밀양과 통영은 2018년 자료만 있어 6월에 오존농도가 가장 높은 것으로 표현되었다. 2009년~2013년 사이의 1기간과 최근 5년인 2기간의 월별 농도차이는 5월과 6월에 6ppb로 고농도 오존 생성이 용이한 이 시기에 오존의 농도가 증가하였다.

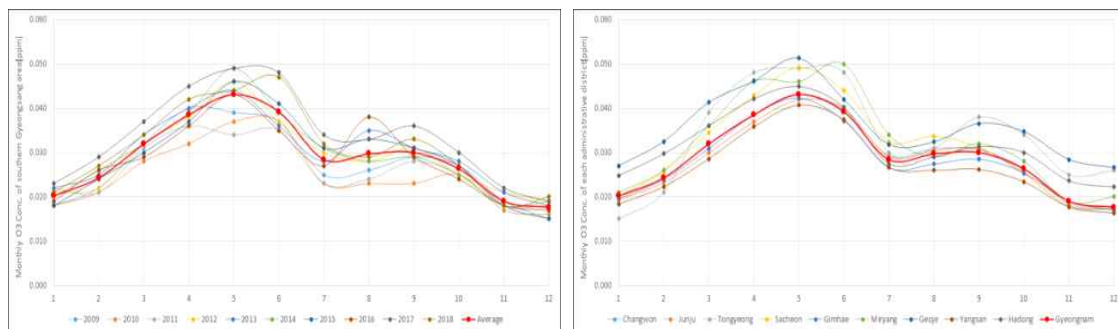


Fig. 9. Monthly variations of O3 concentration in southern Gyeongsang area.

계절별 오존농도는 Fig. 10에서 처럼 같이 3월~5월 사이 봄에 가장 높은

수준을 보였고, 여름, 가을, 겨울이 그 뒤를 따랐다. 시군에 대한 계절별

농도 수준을 살펴보면, 거제와 통영 그리고 하동은 봄철과 여름철의 평균 농도 차이가 9 ppb로 계절별 변동이 큰 것으로 확인되었다. 연평균 농도가

타 지역에 비해 높았던 거제와 하동은 봄철대비 여름철의 농도가 77%로 타 지역의 82~92%보다 낮았다.

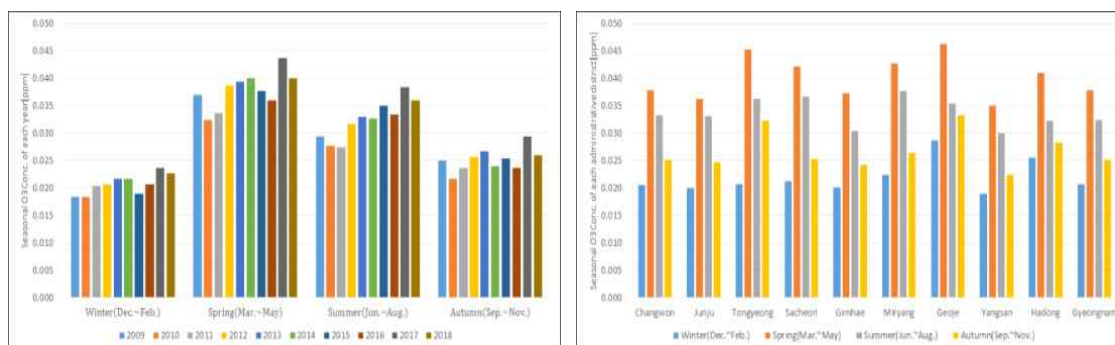


Fig. 10. Seasonal variations of O<sub>3</sub> concentration of each administrative district.

#### 나. 질소산화물 농도 변화 추이

경남지역의 연도별 대기오염물질 배출량 중 NO<sub>x</sub>는 Fig. 11과 같이 2010년 79,722톤에서 2016년 102,053톤으로 꾸준히 증가하고 있고, VOCs는 2009년 83,471톤에서 2012년 105,782톤으로 증가한 후 감소추세를

보이다 2016년 107,783톤으로 증가하였다. 2009년에서 2016년 사이 8년간 시·군별 평균 배출량을 살펴보면, Fig. 12와 같이 NO<sub>x</sub>는 화력발전소가 있는 하동이 가장 높고 VOCs는 조선산업이 발달한 거제에서 가장 높았다.



Fig. 11. Air pollutants emissions in southern Gyeongsang area.

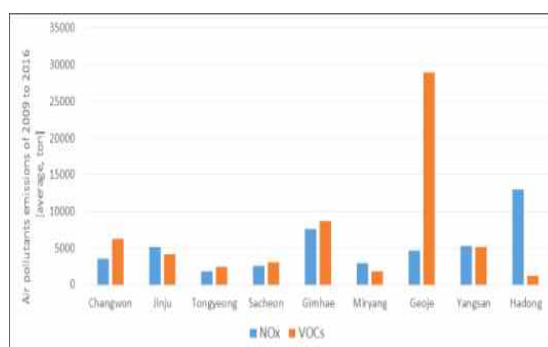


Fig. 12. Air pollutants average emissions of 2009 to 2016 in Gyeongsangnam-do.

국가대기오염물질 배출량 서비스<sup>13)</sup>에서 제공하는 부문별 배출량을 살펴보면, Fig. 13~14에서와 같이 경남지역의 2016년 NO<sub>x</sub> 배출량은 도로 이동오염원과

비도로 이동 오염원이 61%였고 제조업 연소와 에너지산업 연소가 26%였다. VOCs 배출량은 유기용제 사용이 54%로 가장 많았고 생산공정과 생물성



연소가 27%였다. 그리고 비도로 및

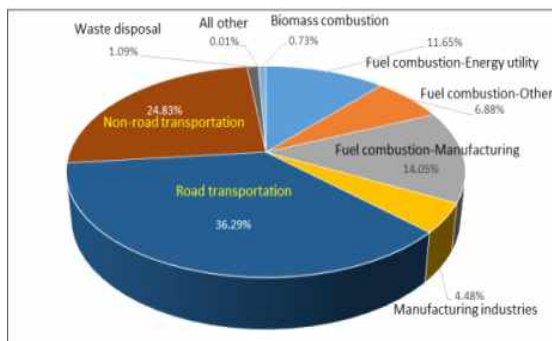


Fig. 13. NOx emission source contributions to ambient air in Gyeongsangnam-do(2016).

도로 이동 오염원도 8%를 차지하였다.

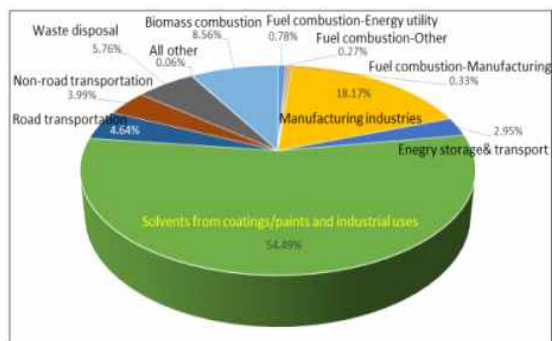


Fig. 14. VOCs emission source contributions to ambient air in Gyeongsangnam-do(2016).

연도별 대기 중 NO<sub>2</sub> 농도는 Fig. 15에 나타난 것과 같이 18~21 ppb 수준으로 큰 변화는 관찰되지 않았으나 2018년 연평균 농도는 가장 높은 농도를 기록했던 2009년 대비 14%(3 ppb) 감소하였다. Fig. 16은 연도별 NO값으로,

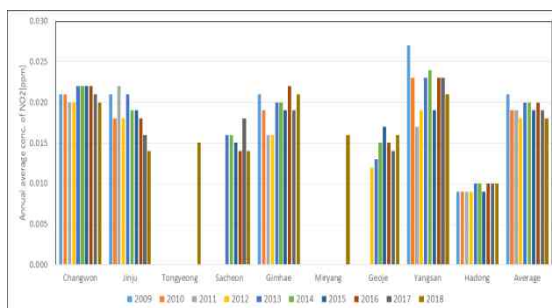


Fig. 15. Annual average NO<sub>2</sub> concentration of each city & county.

2010년 13 ppb에서 감소하여 10 ppb 수준에 머물러 있다. NO<sub>x</sub> 농도가 가장 낮은 곳은 하동으로 연간 거의 비슷한 수준을 유지하고 있고 사천과 거제 지역도 타 시·군에 비해 낮은 농도 분포를 보였다.

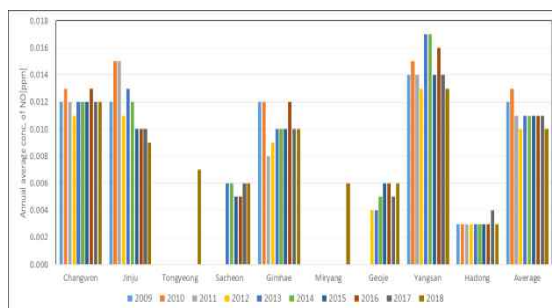


Fig. 16. Annual average NO concentration of each city & county.

도내에서 질소산화물의 농도가 가장 높은 곳은 양산지역으로 연도별 평균 NO<sub>2</sub> 농도는 17~27 ppb로 변화폭도 컸으며, 2009년 대비 2018년에는 22%(6 ppb) 감소하였다. 진주 지역의 NO<sub>2</sub> 연평균 농도는 NO 농도와 더불어 2013년 이후 꾸준히 감소하고 있으며 2009년 대비 2018년 농도가 33% 감소

하였다. 김해지역은 장유동 측정소가 신설된 2013년 이후 NO<sub>2</sub>의 연평균 농도가 증감을 반복하면서 타 시·군에 비해 높은 농도를 보이고 있다. 장유동 측정소의 NO<sub>2</sub>농도는 김해지역의 동상동 및 삼방동 측정소보다 2018년 기준 6 ppb 높았다. 창원은 양산 및 김해에 이어 도내에서 질소산화물

농도가 높은 지역으로 2013년에서 2016년 사이 22 ppb에서 2018년 20 ppb로 감소하였다.

시간별 NO<sub>2</sub> 농도 변화는 Fig. 17~18에 정리하였다. NO<sub>2</sub>의 하루 중 가장 낮은 농도는 오후 2시로 오존 생성이 가장 활발한 시기이었고 가장 높은 농도는 오전 8~9시 경남평균 24 ppb와 오후 20~22시에 25 ppb로 관찰되었다. 일변화

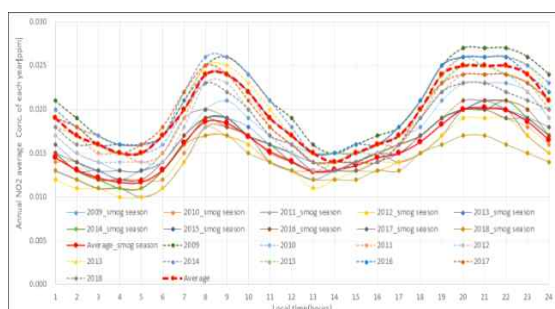


Fig. 17. Diurnal variations of NO<sub>2</sub> concentration of Gyeongsangnam-do.

고농도 오존이 자주 발생하는 오존 시즌의 NO<sub>2</sub> 농도 일변화 추세는 비오존 시즌을 포함한 연간 NO<sub>2</sub> 농도변화 비슷한 경향을 보였으나 농도는 연평균보다 낮았다. 일변화 NO<sub>2</sub>농도가 가장 높았던 오전 8시와 오후 20시의 오존시즌과 연간 평균자료와의 차이는 5 ppb였고 가장 낮은 농도를 보인 오후 14시의 농도차는 1 ppb였다.

시·군별 NO<sub>2</sub>의 일변화를 살펴보면, 오전 시간 가장 높은 농도는 대부분의 지역에서 8~9시에 관측되었으나 거제 지역은 9~10사이 가장 높은 수준을 유지하고 있어 특히 창원, 김해, 양산과는 뚜렷한 차이를 보인다. 그리고 밤 시간에 다시 상승하는 타 지역과는 달리 거제와

농도에서 양산지역의 NO<sub>2</sub> 최고값은 29 ppb로 같은 시간 경남평균값의 120%로 도내에서 가장 높았다. 오전 시간의 NO<sub>2</sub> 농도상승은 출근시간의 차량이동에 따른 질소산화물의 배출에 의한 것으로 사료되고, 밤 시간의 농도 증가는 NO titration 효과에 의해 낮 시간에 생성되었던 O<sub>3</sub>이 NO와 반응하여 NO<sub>2</sub>가 생성되었기 때문일 것이다.

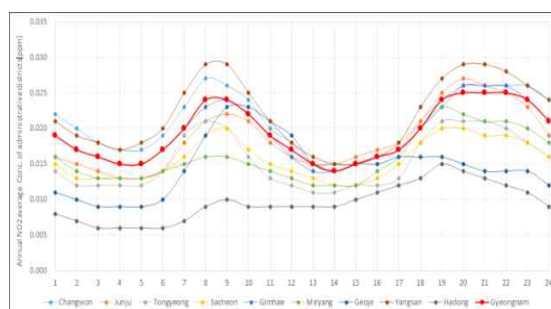


Fig. 18. Diurnal variations of NO<sub>2</sub> concentration of each administrative district.

하동은 퇴근시간 이후 지속적으로 감소하는 경향을 보인다. 이러한 현상은 오존의 시간대별 농도 추이에서도 관찰되었다. 거제 지역의 경우 오후 19시 이후 오존의 농도는 거의 일정한 수준에 머물러 지속적으로 감소추세에 있던 타 지역과 차이를 보였고 하동의 경우 감소폭이 타 지역보다 좁게 관찰되었다. 이들 두 지역은 밤 시간에 NO titration 효과가 미미한 것으로 사료되며 그 원인에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것이다.

NO의 시간대별 농도는 Fig. 19~20에서와 같이 오전 9시에 경남 평균 27 ppb로 최고값을 보이고 오전 3~5시와 오후 15~17시 사이 6 ppb로 최저

값을 보였다. 양산 지역의 일변화 최고값은 오전 9시에 44 ppb로 경남 평균의 163%로 가장 높았고 하동은 5 ppb로 가장 낮았다. 교통량이 많고 출근시간 혼잡할 것으로 예상되는 양산, 창원, 진주 등의 인구밀집지역에서 경남 평균값을 초과하는 것으로 관찰되었다. 거제지역의 경우 NO<sub>2</sub>의 일변화 추세와 마찬가지로 NO의 시간대별 최고값은 9~10시 사이 13 ppb로 최고 수준을 유지하여 타 시와 차별화된 모습이 관찰되었다. 오후 15~17시 사이 6 ppb로 가장 낮은 농도를 보이던 NO는 퇴근시간의 교통량이 증가하기 시작하는 18시부터 증가하기 시작하여 밤 20~23시 사이 12 ppb를 유지하는 현상이 대부분의 지역에서 관찰되었으나, 거제와 하동은 지속적으로 감소하였다.

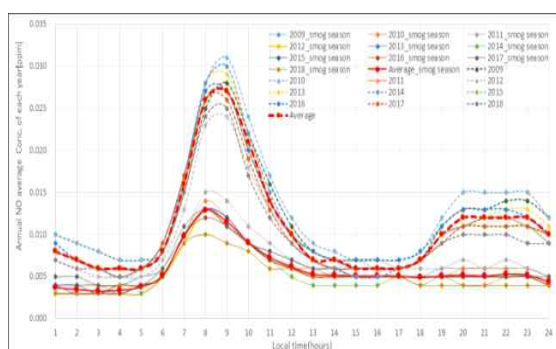


Fig. 19. Diurnal variations of NO concentration of Gyeongsangnam-do.

월별 NO<sub>2</sub> 농도는 Fig. 21과 같이 8월이 13ppb로 가장 낮았고 11월 25 ppb로 가장 높았다. 그러나 NO의 월별농도는 경남지역의 오존 월평균 농도가 가장 높았던 5월과 6월 4~5 ppb로 가장 낮았고 12월에는 23 ppb로 가장 높았다.

오존 시즌의 NO농도의 일변화 추세는 비오존 시즌을 포함한 연간 측정자료의 일변화 추세와 다소 다른 경향을 보인다. 연간 일변화에 대한 경남평균은 오전 9시에 27 ppb로 최고 농도는 보였으나 오존 시즌의 NO농도는 오전 8시에 13 ppb로 최고값을 보였다. 그리고 오후 18시부터 NO의 농도가 증가하여 20시에 12 ppb에 도달하여 23시까지 유지하던 연간 일변화 추세와는 달리 오존 시즌의 NO농도는 오후 13시부터 지속적으로 4~5 ppb를 유지하였다. 광화학반응이 활발했던 오존 시즌에는 오전 10시부터 O<sub>3</sub> 생성을 위해 NO<sub>2</sub>가 소비되고 생성된 O<sub>3</sub>와 NO가 반응하여 NO<sub>2</sub> 생성에 소모되므로 교통량이 증가하는 퇴근시간 이후에도 NO 농도의 증가가 관찰되지 않았고, 이것은 NO<sub>x</sub> titration 효과로 사료된다.

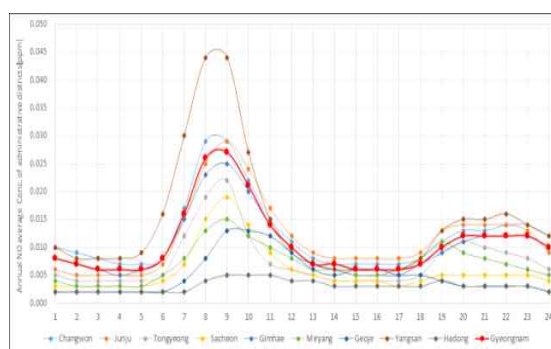


Fig. 20. Diurnal variations of NO concentration of each administrative district.

계절별 NO<sub>2</sub>와 NO의 농도 변화 추세는 Fig. 22와 같다. NO<sub>2</sub> 농도는 겨울철 23 ppb로 가장 높았고 여름철 14 ppb로 가장 낮았으며 봄과 가을철에는 19~20 ppb로 거의 비슷한 수준을 보였다. NO의 경우 겨울철 19 ppb로 가장 높았고

가을철 12 ppb였고 오존 생성이 활발한 봄철과 여름철에는 6~7 ppb로 가장

낮아 이 시기에는 NO titration 효과가 반영된 것으로 사료된다.

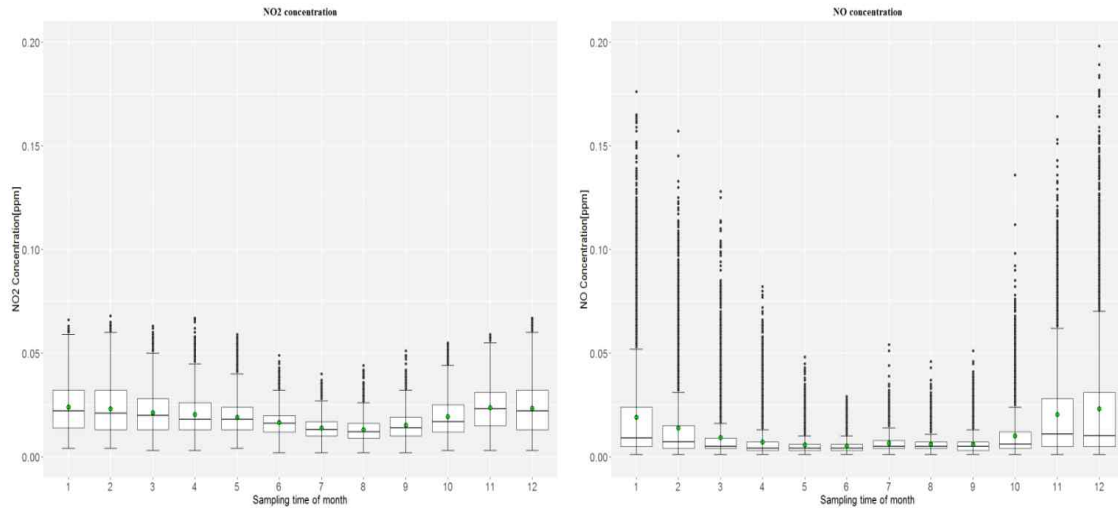


Fig. 21. Monthly variations of NO<sub>2</sub> & NO concentration during the whole year.

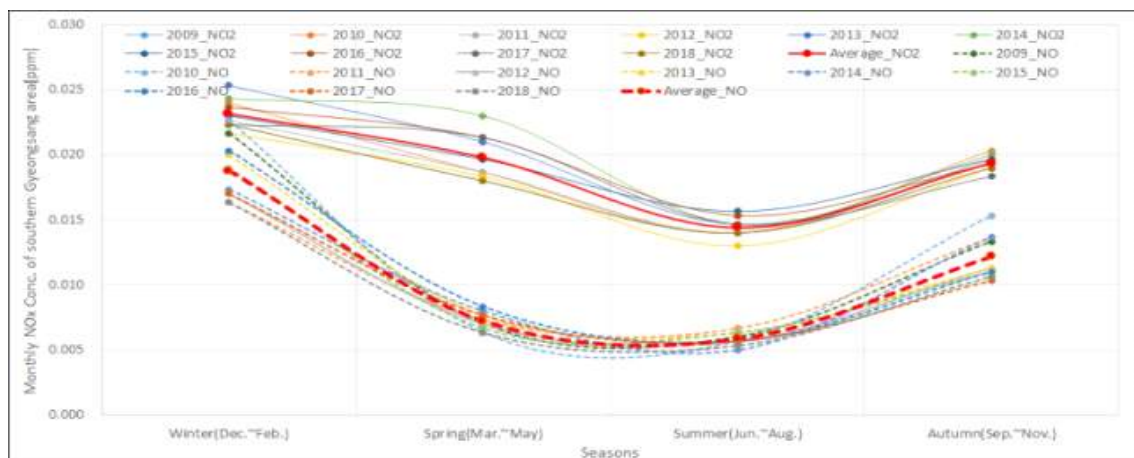


Fig. 22. Seasonal variation of NO<sub>2</sub> and NO in southern Gyeongsang area.

## 2. 연도별 고농도 오존발생 현황

경남지역의 오존경보제는 매년 4월 15일에 시작하여 10월 15일까지 운영된다. 2009년 1일 발령되었던 오존 주의보는 2018년 33일 발령되었고 횡수는 115회로 2004년 오존경보제 시행이후 최다 발령기록을 세웠다. 기상청에 따르면 2018년의 폭염일수는 33.9일로 1973년

관측 이래 최고치였다. 경남지역의 오존 주의보 발령일수 및 횡수는 2012년부터 증감을 반복하다 2017년부터 급격하게 증가하는 추세를 보인다. 2012~2018년 사이의 월별 오존 주의보 발령일수를 살펴보면, 5월이 28.4%로 가장 빈번하게 발생하였고 7월 23.9%, 6월 22.0%, 8월 18.3%, 4월

4.6%, 9월 2.8%의 순이었고, 10월에는 발령되지 않았다. 발생횟수는 6월과 7월 각각 26.6%와 26.9%로 가장 많았고 5월 24.8%, 8월 16.9%, 4월 3.4%, 9월 1.4%였다.

Fig. 23에서와 같이 매년 창원지역의 주의보 발령일수 및 횟수가 가장 높았고 진주와 양산 지역이 그 뒤를 이었다. 월별 발령빈도는 창원과 진주는 5월과 7월이 높았고, 사천은 5~7월 사이 비슷하였고, 김해는 5월, 양산은 6월과 7월에 높은 발생빈도를 보였다. 김해와 양산은 2018년 발령일수와 횟수가 급격히 전년에 비해 급격하게 증가하였다.

환경부 고시<sup>16)</sup>에 의하면 1시간 평균 오존농도 0.091~0.150ppm을 ‘나쁨’,

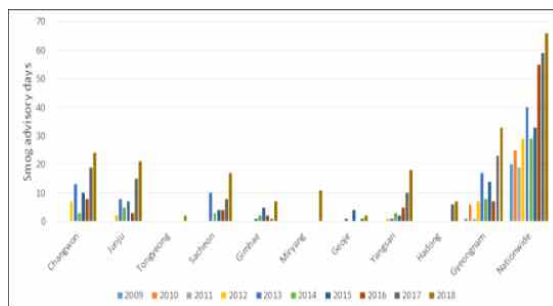


Fig. 23. Smog advisory days of each administrative district.

### 3. 고농도 오존 발생특성

오존생성 전구물질인 질소산화물과 기온, 풍속, 상대습도, 일조시간, 일사량 등의 기상인자를 이용하여 고농도 오존 발생특성을 살펴보았다. 고농도 오존 생성에 기여하는 요소를 파악하기 위해 1시간 평균 오존농도가

0.151 ppm 이상을 ‘매우나쁨’ 단계로 설정하여 예보하고 있다. 본 연구에서는 연구대상 기간 중 1시간 평균농도를 기준으로 ‘나쁨 및 매우나쁨’(‘나쁨’ 이상) 일수를 산정하여 Fig. 24에 정리하였다. ‘나쁨’ 이상 일수는 2011년 35일로 가장 낮았고 2017년 86일로 가장 많은 일수를 기록하였고, 2012년 이후 증가추세를 보였다. 연도별 ‘나쁨’ 이상 일수는 오존주의보 발령일수의 증감과 비슷한 경향을 보였다. 매년 창원지역이 가장 높았고 하동이 가장 낮은 일수가 관찰되었다. 2018년 ‘나쁨’ 이상 일수는 시·군별 24~62일의 수준으로 창원이 가장 높았고 뒤를 이어 사천 47일, 진주 45일이었고 하동이 24일로 가장 낮았다.

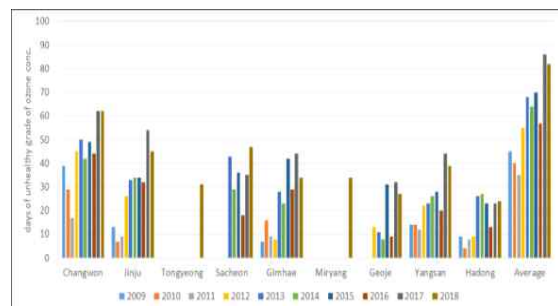


Fig. 24. Days of unhealthy grade of O<sub>3</sub> in each administrative district.

0.090 ppm을 초과하는 측정소가 1개소 이상인 날을 고농도 오존 생성일로 선정하였고, 22개 측정소의 측정자료를 상관성 분석 및 군집분석에 활용하였다. 오존농도는 고농도 오존 발생일의 평균값, 최고값, 8시간 평균값(24개의 이동평균값 중 최고값)을 사용하였고, 기상인자는 고농도 오존 발생 전일과



당일의 평균값과 최고값을, 질소산화물은 전일, 당일, 익일의 평균값, 최고값 등을 상관성 분석 인자로 사용하였다. 상관성 분석은 22개소 전 측정소에 대한 평균값을 적용하였고 군집 분석은 측정소별 1시간 평균값 및 8시간 평균값을 이용하여 R 통계프로그램으로 분석하였다. 상관성 분석에 이용한 기상인자는 기상청의 기상자료개방포털에서 수집하였고 사천시와 하동군의 기상자료가 없어 기상인자와 고농도 오존 농도의 상관성 분석에는 사천읍과 하동읍 측정소의 자료는 제외하였다. 지난 10년간 고농도 오존 발생일은 총 602일였고, 주로 3월~10월 사이에 관측되었으며, 매년 증가하는 추세를 보였다. 오존 주의보 일수가 각각 23일과 33일이었던 2017년과 2018년에는 각 86일과 82일로 연간 약 23%가 고농도 오존일로 집계되었다.

#### 가. 오존 및 기상인자의 상관관계

오존 농도와 기상인자와의 상관관계를 살펴보기 위해 오존 농도는 1시간 평균값, 최고값, 8시간 평균값을 선택하였고, 기상인자는 기온, 풍속, 상대습도, 이슬점 온도, 일조시간, 일사량, 전운량 등의 평균값과 최고값을 비교하였다. 지난 10년간 오존 시준 기상인자의 평균값을 살펴보면, 기온은 23.1℃, 풍속 1.9 m/s, 강수량 2.0 mm, 상대습도 73.5%, 이슬점 온도 17.5℃, 일조시간 0.4시간, 일사량 1.1 MJ/m<sup>2</sup>, 일별 합계 평균 일사량 15.8 MJ/m<sup>2</sup>,

운량은 6.2(10분위)였다.

Table 4는 고농도 오존 발생 당일과 전일의 각 시·군별 오존농도와 기상인자들의 평균값에 대한 Pearson 상관관계를 정리한 것이다. 일조시간과 일사량은 고농도 오존 발생 전일과 당일 양의 상관성이 있는 것으로 나타났다. 특히 8시간 평균 오존 농도는 일사량과의 상관계수가 전일과 당일 각각 0.31과 0.34로 비교적 상관성이 있는 것으로 파악된다. 1시간 평균 및 최고 오존 농도와 평균 일사량의 상관계수는 0.27~0.30의 범위였다. 평균 일조시간과의 상관성은 8시간 평균값이 전일과 당일 0.22와 0.25로 1시간 평균값이나 최고값과의 상관계수보다 높았다. 고농도 오존 발생일 및 전일의 오존 농도는 일조시간과 일사량의 평균값보다 그들의 1일 합계량과의 상관계수가 더 높게 관찰되었다. 특히, 당일 오존 1시간 평균값과 8시간 평균값, 그리고 전일 1시간 평균값과 일사량 합과의 상관계수는 0.33~0.35로 유의미한 양의 상관관계를 보였다.

평균 운량과 오존 농도와의 상관계수는 전일 및 당일 -0.20~-0.26으로 음의 상관관계를 보였고, 전일과 당일의 차이는 거의 없었다. 평균 운량과 상관계수가 -0.26으로 비교적 상관성을 보인 8시간 평균 오존 농도는 최고 운량과는 상관성이 관찰되지 않았다. 최고 운량값과는 1시간 평균 오존 농도에 대해 -0.11의 상관계수로 평균 운량보다 낮은 상관성을 나타내었다.

평균 기온은 1시간 최고 오존 농도와 전일 0.20, 당일 0.21의 상관계수로 어느 정도 양의 상관성을 보였다. 고농도 오존 발생 당일의 1시간 최고 오존 농도는 1시간 최고 기온과 0.29의 상관계수를 가지며 비교적 상관성이

있는 것으로 나타났고, 전일과의 상관계수는 0.24였다. 8시간 평균 오존 농도와 1시간 최고 기온의 상관계수는 전일에 0.13과 당일 0.18로 유의수준 0.005미만으로 유의미한 상관관계가 관찰되었다.

Table 4. The Pearson correlation coefficient between ozone concentrations and meteorological variables from 2009 to 2018

the day before	Mean						
	Temperature	Wind speed	Relative humidity	Dew point temperature	Duration of radiation	Solar radiation quantity	Total amount of cloud
O <sub>3</sub> -1h		0.15	-0.24		0.17	0.27	-0.21
O <sub>3</sub> -1h-max	0.20			0.11 <sup>a)</sup>	0.20	0.27	-0.22
O <sub>3</sub> -8h					0.22	0.31	-0.26
the very day	Mean						
	Temperature	Wind speed	Relative humidity	Dew point temperature	Duration of radiation	Solar radiation quantity	Total amount of cloud
O <sub>3</sub> -1h		0.26	-0.25		0.19	0.30	-0.20
O <sub>3</sub> -1h-max	0.21			0.13 <sup>a)</sup>	0.20	0.28	-0.21
O <sub>3</sub> -8h		<b>0.14</b>	-0.13 <sup>a)</sup>		<b>0.25</b>	<b>0.34</b>	<b>-0.26</b>
the day before	Maximum					Sum	
	Temperature	Wind speed	Relative humidity	Dew point temperature	Duration of radiation	Solar radiation quantity	Total amount of cloud
O <sub>3</sub> -1h		0.13	-0.12	-0.13	-0.10	0.22	0.25
O <sub>3</sub> -1h-max	0.24					0.25	0.30
O <sub>3</sub> -8h	0.13					0.27	0.33
the very day	Maximum					Sum	
	Temperature	Wind speed	Relative humidity	Dew point Temperature	Duration of radiation	Solar radiation quantity	Total amount of cloud
O <sub>3</sub> -1h	0.07 <sup>a)</sup>	0.07			-0.11	0.24	0.33
O <sub>3</sub> -1h-max	0.29			0.12		0.24	0.29
O <sub>3</sub> -8h	<b>0.18</b>					<b>0.28</b>	<b>0.35</b>

Note: 1. Correlation is significant at the 0.005 level except for <sup>a)</sup> with 0.01  
 2. Blank cells mean no correlation between ozone concentration and meteorological variables

1시간 평균 오존 농도는 고농도 오존 발생 당일 평균 풍속과 양의 상관관계를 보였으며, 상관계수는 0.26이었다. 8시간 평균 오존 농도는 당일 평균

풍속과 0.14의 상관계수를 나타내었고, 전일 평균 풍속은 1시간 평균 오존 농도와의 상관계수가 0.15였다. 고농도 오존 발생 당일의 평균 오존 농도는

44 ppb였고, 평균 풍속은 1.8 m/s, 중간값 1.7 m/s, 3사분위수 2.1 m/s, 최고값 7.5 m/s로 연구대상 기간 동안 풍속은 크게 높지 않았다. 정<sup>25)</sup> 등의 연구에 의하면, 도시대기측정망의 평균 오존 농도와 평균 풍속의 상관계수는 0.512로 높았고 이 조건의 평균 오존 농도는 14 ppb, 평균 풍속은 1.8 m/s였다. 반면, 도<sup>26)</sup> 등의 부산지역 고농도 오존일의 선행 기상 특성 연구에 의하면, 오존 시즌 평균 오존 농도와 평균 풍속과의 상관계수는 고농도 오존 발생 당일에 대해서 -0.286이었고 전일은 -0.105로 조사되어 본 연구와는 반대의 결과를 보였다. 도<sup>26)</sup> 등의 연구에서 평균 오존 농도는 49 ppb였고, 평균 풍속은 3.3 m/s로 본 연구와 정<sup>25)</sup> 등의 연구의 평균 풍속 대비 1.7배로 높았다. 보퍼트 풍력 계급<sup>27)</sup>에 따르면, 1.6~3.3 m/s (4~6Knots)의 범위는 2계급으로 분류되며, 피부로 바람을 느낄 수 있으며 나뭇잎이 흔들리며 풍향계가 움직이기 시작하는 강도이다. 오존의 생성은 풍속에 영향을 받지만, 풍속의 등급에 따라 오존 생성량에 정반대의 결과를 가져올 수 있을 것으로 사료된다. 평균 상대습도와 상관계수는 각각 고농도 오존 발생 당일 및 전일의 1시간 평균 오존 농도와 -0.24와 -0.25로 음의 상관성을 보였다. 당일 8시간 평균 오존 농도와 평균 습도의 상관계수는 -0.13이었고, 전일 최대 상대 습도와 1시간 평균 오존 농도와는 -0.12로 낮은 상관성을 보였다. 이슬점

온도는 고농도 오존 발생과 상관성이 거의 없는 것으로 나타났다.

고농도 오존 발생은 전일과 당일 평균 및 일 합계 일조시간과 일사량에 대해 양의 상관성이 관찰된 반면, 평균 운량과는 음의 상관성을 보였다. 평균 기온과 최대 기온은 전일과 당일 1시간 최고 오존 농도와 양의 상관성이 나타났다, 평균 상대습도와 1시간 평균 오존 농도와 음의 상관성이 관찰되었다. 연구 대상기간 평균 풍속이 1.8 m/s였던 본 연구에서 당일 1시간 평균 오존 농도와 양을 상관관계를 보였으나, 풍속의 등급에 따라 음의 상관관계가 관찰될 수도 있어 향후 연구가 필요할 것으로 사료된다.

#### 나. 오존 및 질소산화물의 상관관계

오존 시즌 NO<sub>2</sub>와 NO의 평균 농도는 16 ppb와 6 ppb였고, 비오존 시즌에는 각각 22 ppb와 15 ppb로 겨울철 질소산화물 농도의 증가를 반영하고 있다. 질소산화물과 고농도 오존 발생의 상관관계를 살펴보기 위해 고농도 오존 발생일의 오존 농도와 전일, 당일, 익일의 질소산화물 농도에 대해 상관성 분석을 하였다.

고농도 발생 전일 1시간 평균 오존 농도는 NO<sub>2</sub>와 상관관계가 없었고, 1시간 최고 오존 농도와 8시간 평균 오존 농도는 NO<sub>2</sub>의 평균 농도와 0.14의 상관계수를 가졌다. 고농도 발생 당일의 평균 NO<sub>2</sub> 농도는 1시간 평균 오존 농도와 -0.12의 음의 상관계수를 보였고,



1시간 최고 및 8시간 평균 오존 농도와 0.17 및 0.18의 상관계수로 다소 낮은 상관성을 보였다. 고농도 발생 익일의 상관성도 비슷한 경향을 보였다.

고농도 오존 발생 전일과 익일의 NO 농도와 오존 농도와의 상관계수는 -0.14~-0.22 수준의 음의 상관관계를 보였다. 전일 평균 NO 농도와 1시간 평균 오존 농도의 상관계수는 -0.22로 음의 상관성이 있는 것으로 나타났다. 고농도 오존 발생 당일 1시간 최고 NO 농도는 1시간 평균 오존 농도와의 상관계수가 -0.11이었고 1시간 최고 오존 농도와는 0.17로 상반된 결과를 보였다. 고농도 오존 발생 당일 1시간 평균 오존 농도는 평균 NO 농도와 -0.37의 상관계수를 가지며 상관성이 있는 것으로 조사되어 NO titration

효과를 확인할 수 있었다.

오존 시즌인 5월~9월과 비오존 시즌 10월~4월의 기간으로 나누어 질소 산화물과 오존 농도의 상관관계는 Table 5에 정리하였다. 오존 시즌의 평균 오존 농도와 NO 평균 농도와의 상관계수는 고농도 오존 발생 당일과 같이 -0.37로 같은 값이었고 NO<sub>2</sub> 평균 농도와는 거의 상관성이 없는 것으로 나타났다. 반면, 비오존 시즌의 평균 오존 농도는 NO 및 NO<sub>2</sub>의 평균 농도와 높은 음의 상관관계를 보였다. 이들의 상관계수는 각각 -0.56과 -0.53으로 나타나 NO titration 효과를 뚜렷하게 반영하고 있다. 연구대상 기간 오존과 질소산화물의 평균값 사이의 상관관계는 거의 없는 것으로 조사되었다.

Table 5. The Pearson correlation coefficient between ozone concentrations and NO&NO<sub>2</sub> concentrations from 2009 to 2018

	the day before				the very day			
	NO <sub>2</sub> -max	NO <sub>2</sub> -mean	NO-max	NO-mean	NO <sub>2</sub> -max	NO <sub>2</sub> -mean	NO-max	NO-mean
O <sub>3</sub> -1h			-0.14	-0.22		-0.12	-0.11	-0.37
O <sub>3</sub> -1h-max	0.07	0.13			0.09	0.18	0.17	
O <sub>3</sub> -8h	0.10	0.14			0.11	0.17	0.09	-0.10
	the next day				Note:			
	NO <sub>2</sub> -max	NO <sub>2</sub> -mean	NO-max	NO-mean				
O <sub>3</sub> -1h					1. Correlation is significant at the 0.005 level 2. Blank cells mean no correlation between ozone and NO <sub>x</sub> compounds			
O <sub>3</sub> -1h-max	0.11		-0.15	-0.19				
O <sub>3</sub> -8h	0.06	0.12	-0.08					

질소산화물과 기상인자와의 상관관계를 고농도 오존 발생 전일과 당일에 대해 각각 살펴본 결과, Table 6과 같았다. NO와 NO<sub>2</sub>의 평균 및 최고 농도는 고농도 오존 발생 전일의 평균 기온과 음의 상관관계를 보였으며,

상관계수는 -0.41~-0.53 수준이었다. 고농도 오존 발생 당일의 상관계수는 -0.19를 보인 NO 최고 농도를 제외하고 -0.43~-0.54 수준이었다. 반면, 당일 평균 풍속과의 상관계수는 NO 최고 농도와 -0.44로 다소 높았으나, 전일

질소산화물 평균 및 최고 농도와 당일 NO<sub>2</sub> 최고 및 평균 농도와 NO 평균 농도사이의 상관계수는 -0.13~ -0.23 수준으로 비교적 낮았다. 평균 상대습도와 NO<sub>2</sub>의 최고 및 평균 농도의 상관계수는 -0.37~-0.43으로 비교적 상관성이 있는 것으로 나타났고 NO의 최고 및 평균 농도는 -0.11~-0.27의 수준으로 NO<sub>2</sub>와의 상관계수보다 낮았다. 이러한 현상은 이슬점 온도와의 상관관계에서도 비슷한 경향을 보여 NO<sub>2</sub> 농도와의 상관성이 NO보다 높은 NO<sub>x</sub>와의 상관계수가 -0.14~-0.28의 수준이었고, 일조시간과 일사량은 0.11~0.18의 수준으로 아주 낮았다.

고농도 오존 발생 당일의 오존 평균 농도와 NO 평균농도는 -0.37의 상

관계수를 가지는 음의 상관성이 확인되었고, 전일 및 익일의 질소산화물 인자와 당일의 NO<sub>2</sub> 농도 및 NO 최고 농도와는 상관성이 거의 없는 것으로 나타났다. 더불어, 비오존 시즌의 평균 질소산화물 농도와 오존 평균 농도와의 상관계수는 -0.53~-0.56으로 상관성이 높았고 오존 시즌 NO와 오존의 평균 농도의 상관계수는 -0.37이었으며, 오존 시즌 및 연간 농도와의 상관성은 미미한 것으로 나타났다. NO<sub>2</sub>와 기온, 상대습도, 이슬점 온도의 상관계수는 -0.37~-0.56의 수준으로 비교적 상관성이 높은 것으로 조사되었고 NO와 기온, 이슬점 온도의 상관계수는 -0.37~-0.50이었고, 상대습도와는 -0.11~-0.27의 범위로 다소 낮았다.

Table 6. The Pearson correlation coefficient between NO and NO<sub>2</sub> concentrations and meteorological variables from 2009 to 2018

the day before							
	Temperature	Wind speed	Relative humidity	Dew point temperature	Duration of radiation	Solar radiation quantity	Total amount of cloud
NO <sub>2</sub> -max	-0.53	-0.23	-0.42	-0.56	0.18	0.18	-0.28
NO <sub>2</sub> -mean	-0.50	-0.21	-0.37	-0.52	0.16	0.16	-0.27
NO-max	-0.50	-0.16	-0.25	-0.47	0.15		-0.24
NO-mean	-0.41	-0.22	-0.11	-0.34			-0.14
the very day							
NO <sub>2</sub> -max	Temperature	Wind speed	Relative humidity	Dew point temperature	Duration of radiation	Solar radiation quantity	Total amount of cloud
NO <sub>2</sub> -mean	-0.54	-0.20	-0.43	-0.56	0.11 <sup>a)</sup>		-0.20
NO-max	-0.54	-0.13	-0.43	-0.56			-0.21
NO-mean	-0.19	-0.44	-0.27	-0.27			-0.14

Note: 1. Correlation is significant at the 0.005 level except for <sup>a)</sup> with 0.01

2. Blank cells mean no correlation between NO<sub>x</sub> concentration and meteorological variables

#### 다. 측정소별 상관관계 및 군집분석

고농도 오존 발생일의 오존 농도에

대한 측정소별 상관관계와 군집분석을 수행한 결과를 Table 7과 Fig. 27~19에

정리하였다. Table 8은 오존 농도 중 1시간 최고값 및 평균값, 8시간 평균값에 대해 측정소별 상관계수의 최저값과 최고값을 해당 측정소와 함께 정리하였고, Fig. 27~19는 고농도 오존 발생일의 1시간 최고값 및 평균값, 8시간 평균값으로 측정소에 대해 군집

분석한 결과이다.

1시간 최고값의 상관계수가 평균값이나 8시간 평균값에 비해 낮은 것으로 나타났고, 1시간 평균값에 대한 측정소별 상관계수는 0.478~0.977로 대체적으로 높았다.

Table 7. The pearson correlation coefficient between monitoring stations during high level days of ground ozone from 2009 to 2018( $p<0.005$ )

Monitoring station		O <sub>3</sub> -1h-max				O <sub>3</sub> -1h-mean				O <sub>3</sub> -8h-mean			
		Min.		Max.		Min.		Max.		Min.		Max.	
		r	ID	r	ID	r	ID	r	ID	r	ID	r	ID
Changwon	GUJ	0.445	SD	0.893	YJ	0.724	MJ	0.888	YJ	0.672	MJ	0.902	YJ
	GH	0.485	SD	0.911	HW	0.670	DA	0.934	HW	0.645	US	0.968	HW
	MS	0.299	SD	0.885	JY	0.793	US	0.952	YJ	0.727	US	0.978	JY
	BA	0.564	SD	0.948	HW	0.646	US	0.957	HW	0.729	MJ	0.964	UN
	SP	0.466	MJ	0.909	YJ	0.519	MJ	0.927	YJ	0.538	MJ	0.922	YJ
	UN	0.516	DA	0.939	YJ	0.726	HD	0.974	BS	0.723	MJ	0.968	BS, YJ
	YJ	0.445	SD	0.964	BS	0.705	MJ	0.969	UN	0.719	MJ	0.967	MS
	HW	0.439	DA, SD	0.948	BA	0.718	US	0.950	BA	0.689	US	0.968	GH, MS
	BS	0.428	SD	0.964	YJ	0.736	HD	0.974	UN	0.784	US	0.971	MS
	DA	0.129	AJ	0.952	SD	0.600	AJ	0.944	SD	0.519	MJ	0.956	SD, SB
Jinju	SD	0.110	AJ	0.970	SB	0.725	AJ	0.977	SB	0.567	MJ	0.981	SB
	SB	0.192	AJ	0.970	SD	0.695	AJ	0.977	SD	0.591	MJ	0.981	SD
Tongyoung	MJ	0.267	US	0.639	SmB	0.519	SP	0.852	AJ	0.340	US	0.893	DS
Sacheon	SC	0.218	AJ	0.883	SB	0.656	US	0.918	SD, HW	0.609	US	0.904	SD
Gimhae	DS	0.248	DA	0.927	SmB	0.549	US	0.964	SmB	0.561	US	0.957	SmB
	SmB	0.322	SD	0.927	DS	0.668	US	0.964	DS	0.699	DA	0.957	DS
	JY	0.380	DA	0.909	YJ	0.697	US	0.954	SmB	0.691	US	0.978	MS
Miryang	NI	0.406	MJ	0.836	BS	0.728	MJ	0.944	YJ	0.592	MJ	0.858	SB
Geoje	AJ	0.110	SD	0.789	MS	0.600	DA	0.911	JY	0.608	NI	0.910	SmB
Yangsang	BB	0.388	MJ	0.861	US	0.621	HD	0.955	UN	0.554	MJ	0.935	UN
	US	0.267	MJ	0.861	BB	0.478	HD	0.890	BS	0.340	MJ	0.886	BB
Hadong	HD	0.495	AJ	0.637	BA	0.478	US	0.850	SC	0.576	US	0.905	YJ

창원, 진주, 김해, 양산 등 측정소를 2개 이상 가진 시지역내의 측정소간 상관성은 높게 나타났다. 창원시의 경우, 경화동과 봉암동 측정소는 회원동과 높은 상관성을 보였고, 가음정동, 사과동, 웅남동, 반송로 등은 용지동과 높은

상관관계를 가졌다. 명서동 측정소는 김해 장유동 측정소와 가장 높은 상관 계수를 보였다. 진주시의 상대동, 상봉동, 대안동 측정소는 서로 상관성이 아주 높았고, 거제 아주동과 통영 무전동 측정소와 가장 낮은 상관관계를

나타내었다. 김해의 동상동과 삼방동 측정소는 서로 상관성이 아주 높았으나, 장유동의 경우 창원의 용지동 및 명서동과 높은 상관성을 보였다. 김해 지역의 측정소는 진주의 측정소와 낮은 상관계수를 나타내었다. 양산의 북부동과 웅상읍은 1시간 최고값과 높은 상관성을 보였고, 1시간 및 8시간 평균값은 웅남동과 반송로와 높은 상관성을 가졌다. 반면, 하동읍과 무전동은 낮은 상관관계를 보였다.

통영시의 무전동 측정소는 타 측정소에 비해 낮은 상관계수를 가졌고, 특히 양산시의 웅상읍과는 아주 낮은 상관 관계를 나타내었다. 무전동 측정소와

높은 상관관계를 보인 곳은 김해시의 삼방동, 거제시의 아주동, 진주시의 상대동으로 0.639~0.893의 수준이었다. 사천읍 측정소는 진주시의 상대동 및 상봉동 측정소와 높은 상관성을 보였고 밀양시의 내일동 측정소는 창원 반송로와 용지동, 진주시 상봉동과 높은 상관관계를 가졌고, 거제시 아주동은 김해시 장유동과 삼방동 측정소와 높은 상관성을 보였다. 하동읍 측정소는 타 측정소들에 비해 다소 낮은 상관 계수를 보였고, 특히 아주동과 웅상읍과는 낮은 상관성을 창원시의 봉암동 및 용지동, 그리고 사천읍과는 다소 높은 상관관계를 가졌다.

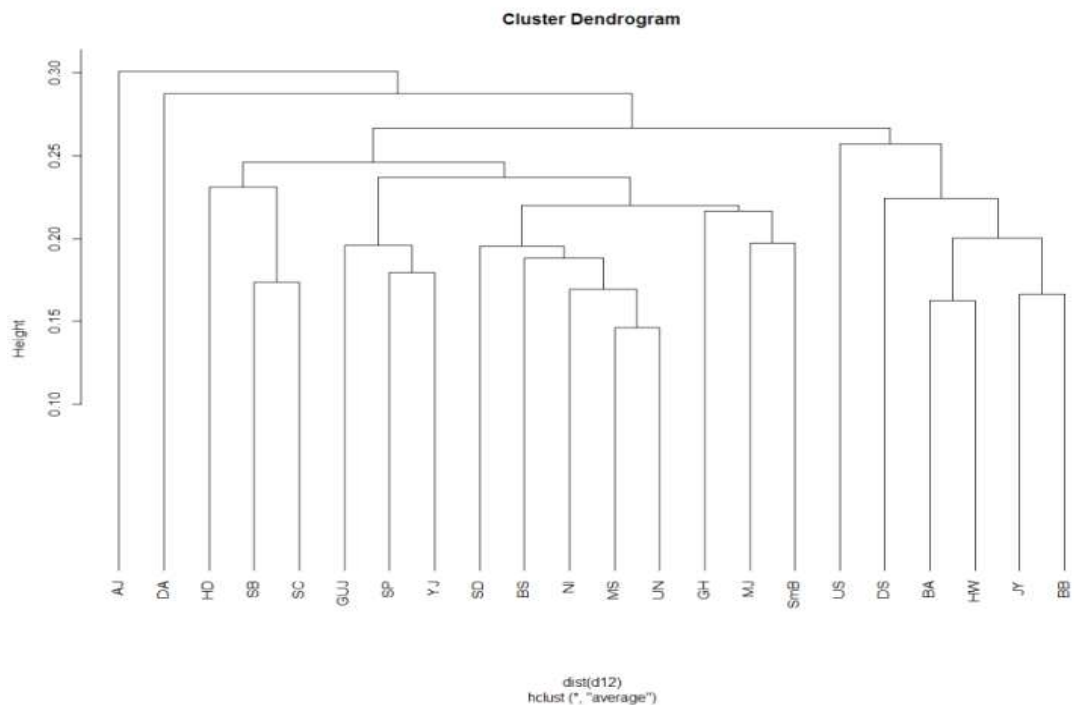


Fig. 25. Dendrogram distances between air quality monitoring sites with daily mean  $O_3$  concentration during high ground ozone concentration days(2009 to 2018).

Fig. 25는 고농도 오존 발생일의 측정소별 1시간 평균 농도에 대한 군집분석 결과이다. 창원시의 사파동과 용지동, 가음정동이 같은 군집으로 나뉘고, 웅남동과 명서동, 반송로, 밀양시의 내일동, 진주시의 상대동이 한 군집으로 분류된다.

창원시의 봉암동과 회원동, 김해시의 장유동과 양산시의 북부동, 김해시의 동상동이 같은 군집이고, 통영시의 무전동과 김해시의 삼방동, 창원시의 경화동을 한 군집으로 묶을 수 있고, 진주시의 상봉동과 사천읍이 같은 군집으로 나뉘고, 거제시의 아주동, 진주시의 대안동, 하동군의 하동읍, 양산시의 웅상읍은 개별 군집으로 분석되었다.

한편, Fig. 26의 고농도 오존 발생일의 측정소별 최고농도에 대한 군집분석 결과를 살펴보면, 창원시의 가음정동과 웅남동, 명서동과 반송로, 용지동과 사파동, 경화동은 비슷한 군집으로 분류되었고, 봉암동과 회원동은 김해시의 삼방동과 동상동과 유사한 군집으로 묶어졌다. 그리고 이들 군집은 양산시의 북부동과 웅상읍, 그리고 밀양시의 내일동과 또 다른 군집으로 분류될 수 있다. 진주시의 상대동과 상방동, 사천읍, 그리고 대안동이 한 군집으로 분류될 수 있고, 하동읍 측정소와 같은 군집으로 나눌 수 있다. 통영시의 무전동과 거제시의 아주동은 같은 군집으로 분류되며, 타 측정소와 다소 차별화된 군집분포를 보인다.

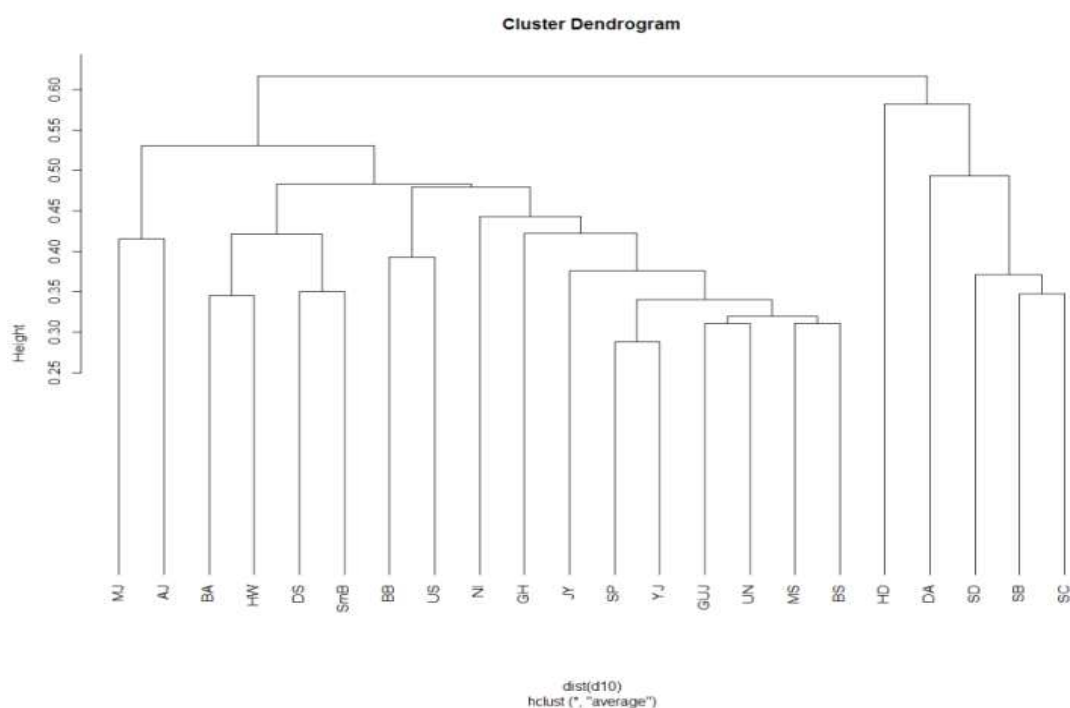


Fig. 26. Dendrogram distances between air quality monitoring sites with daily max  $O_3$  concentration during high ground ozone concentration days(2009 to 2018).

8시간 평균 농도에 대한 측정소별 군집분석 결과는 Fig. 27에 정리하였다. 창원시의 가음정동과 웅남동, 사과동과 용지동, 명서동, 반송로가 같은 군집으로 분류되고, 좀더 확장하자면 경화동도 유사한 특성을 지닌 군집으로 나뉘었고, 김해시의 장유동도 같은 군집에 포함된다. 진주시의 상봉동과 사천읍, 상대동, 밀양시의 내일동이 고농도 오존 발생

특성이 유사한 것으로 분류되고, 양산시의 웅상읍과 북부동은 같은 군집으로 분류되었다. 김해시의 삼방동과 동상동, 창원시의 봉암동과 회원동이 같은 군집이었고, 통영시의 무전동과 거제시의 아주동이 같은 군집이었다. 진주시의 대안동과 하동읍이 같은 군집으로 분류되었고 타 측정소들과 차이를 보였다.

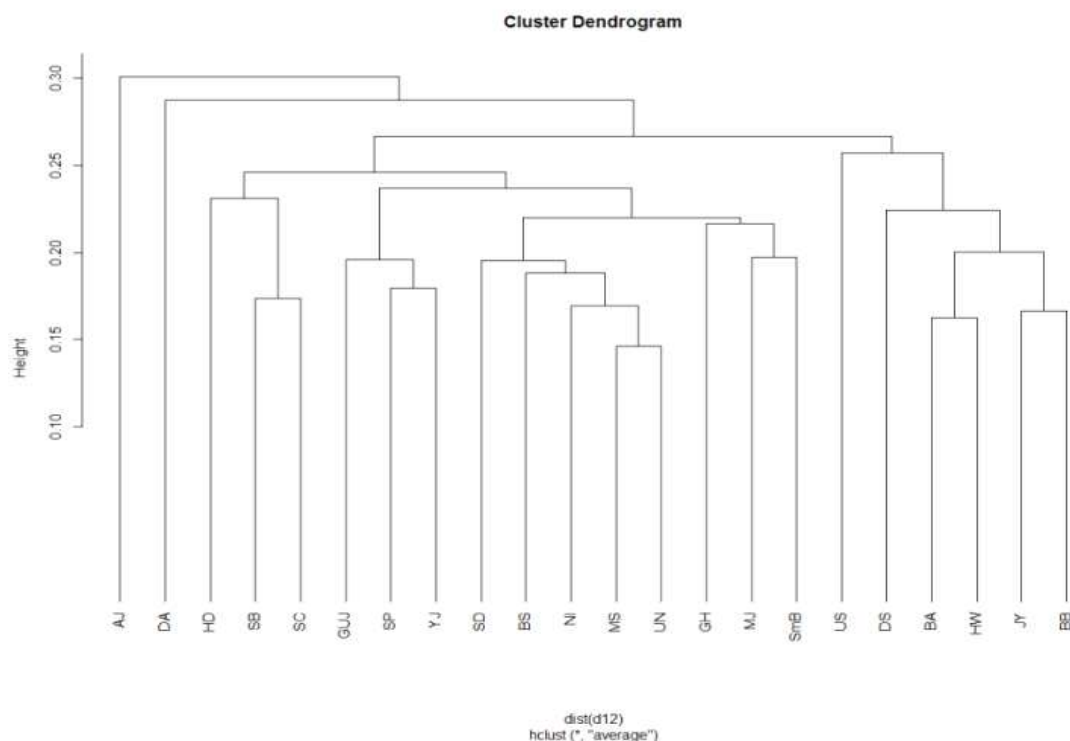


Fig. 27. Dendrogram distances between air quality monitoring sites with 8h-mean  $O_3$  concentration during high ground ozone concentration days(2009 to 2018).

측정소별 상관성 분석과 군집분석 결과를 정리해보면, 동일 시지역의 측정소들은 고농도 오존 발생일의 1시간 최고값과 8시간 평균값이 비슷한 경향을 보이며 같은 군집으로 분류되었고, 현재 오존경보제 운영 권역과 아주

비슷한 군집 분포를 보였다. 창원시의 경우 사과동, 용지동, 웅남동, 가음정동, 명서동, 및 반송로로 분류된 군집은 의창구 및 성산구 권역이며, 합포구·회원구 권역의 봉암동과 회원동은 같은 군집으로 분석되었다. 진주시의

상봉동과 상대동, 사천시의 사천읍은 같은 군집이었고, 김해시의 동상동과 삼방동도 같은 군집이며 창원시의 봉암동 및 회원동과 같은 군집으로 묶을 수 있었다. 양산시의 웅상읍과 북부동도 같은 군집으로 분석되었다. 진주시의 대안동과 김해시의 장유동, 하동군의 하동읍은 개별적 특성을 가지는 것으로 나타났고, 통영시의 무전동과 거제시의 아주동은 같은 군집으로 분류되었다. 이러한 경향은 상관성 분석에서도 관찰되었다. 1시간 평균값에 대한 군집분석 결과는 1시간 최고값에 대한 결과와는 다소 차이를 보여, 동일 시지역내의 측정소들이 상이한 군집으로 분류되었다. 창원시의 웅남동과 명서동, 반송로는 밀양시의 내일동과 진주시의 상대동과 같은 군집이었고, 창원시의 경화동, 통영시의 무전동, 김해시의 삼방동이 하나의 군집으로 분류되었고, 창원시의 봉암동과 회원동, 김해시의 장유동과 동상동, 양산시의 북부동을 같은 군집으로 묶을 수 있다. 창원시의 가음정동과 사파동, 용지동이 하나의 군집으로 분류되고, 진주시의 상봉동과 사천시의 사천읍이 같은 군집으로 나뉘며, 양산시의 웅상읍, 거제시의 아주동, 진주시의 대안동, 하동군의 하동읍이 개별 특성을 가지는 것으로 나타났다. 상관성분석에서도 이들 4개 측정소는 타 측정소에 비해 다소 낮은 상관계수를 가졌다.

## IV. 결론

경남지역의 지난 10년간('09년~'18년) 고농도 오존 발생일의 오존 및 질소산화물의 농도 변화를 파악하고 전일 및 당일의 기상인자와 오존 농도와의 상관성 분석을 실시하였다. 더불어 고농도일의 1시간 최고농도와 8시간 및 일평균값에 대한 측정소간 군집 분석 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 연평균 오존 농도는 25~34 ppb의 수준으로 매년 증가추세를 보였고 최근 5년간의 오존시즌 평균 농도는 2009~2013년 대비 5 ppb 증가하였다.
2. 시간대별 오존농도는 오후 14~17시 사이 43~45 ppb로 높았고 오전 7~8시 사이 16~17 ppb로 낮았으며, 월별 오존 농도는 일조시간이 가장 긴 5월에 높았고 12월에 가장 낮았다. 계절별 오존 농도는 3~5월 봄철에 가장 높았고 여름>가을>겨울 순이었다.
3. 연도별 질소산화물의 농도변화는 크지 않았다. NO<sub>2</sub>의 농도는 오존 생성이 활발한 오후 14시에 가장 낮았고 오전 8~9시와 오후 20~22시 사이 24~25 ppb로 높게 나타났다. 오전은 출근시간 차량이동에 따른 영향으로 판단되고 밤시간의 농도 증가는 오존에 대한 NO titration 효과로 사료된다. NO와 NO<sub>2</sub> 농도는 각각 겨울철 23 ppb와 19 ppb,

여름철 14 ppb와 6 ppb로 뚜렷한 계절적 경향을 보였다.

4. 고농도 오존 발생일 오존농도는 일조시간과 일사량의 전일 및 당일의 평균값과 총합과의 상관관계수가 0.27~0.34로 유의미한 양의 상관성을 보였고, 전운량과는 -0.26~-0.20의 상관관계수를 가졌다. 연구 대상기간 1.8 m/s로 비교적 낮은 풍속 조건에서 풍속과의 상관관계수는 0.14~0.26으로 양의 상관성을 보였는데, 향후 풍속 등급별 오존농도와의 상관성 분석이 필요할 것으로 사료된다.

5. 오존 시준 NO와 O<sub>3</sub>의 상관관계수는 -0.37이었고 NO<sub>2</sub>와는 유의미한 상관관계가 관찰되지 않았다. 비오존 시준 NO 및 NO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub>와의 상관관계수는 각각 -0.56과 -0.53으로 높은 음의 상관관계를 보여 NO titration 효과를 뚜렷하게 반영하였다.
6. NO<sub>2</sub>와 기온, 상대습도, 이슬점 온도와의 상관관계수는 -0.37 ~ -0.56으로 비교적 상관성이 높았고 NO는 기온 및 이슬점 온도와 -0.37 ~ -0.50의 상관관계수를 가졌다.
7. 고농도 오존 발생일의 1시간 최고값과 8시간 평균값으로 측정소별 군집 분석 결과, 현재 오존경보제 권역과 거의 유사한 군집분포를 보였다. 다만, 진주시의 대안동과 김해시의

장유동은 하동군의 하동읍 측정소와 더불어 개별적 특성을 가지는 것으로 분석되었다. 1시간 최고값에 대해 2개의 군집으로 분류하면, 하동·진주·사천의 서부 경남지역과 나머지 6개 시로 나눌 수 있다.

## 감사의 글

본 연구는 경상남도보건환경연구원 대기환경연구부 대기질조사팀의 2019년 연구사업으로 환경부 국립환경과학원 환경분야 시험검사의 국제적합성 지원사업으로 수행되었습니다.

## V. 참고문헌

1. US EPA, "Air quality criteria for ozone and related photochemical oxidants", EPA/600/P-93/004aF, 1996.
2. US EPA, "Our Nation's Air-Status and trends through 2010", EPA-451/R-12-001, 2012.
3. UNEP, "Integrated assessment of black carbon and tropospheric ozone-Summary for decision makers", 2011.
4. WHO, "WHO air quality guideline for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide", 2006.
5. Wilson R., Fleming Z., Monks P., Clain G., Henne S., Konovalov I., Szopa S., Menut L.,



- “Have primary emission reduction measures reduced ozone across Europe? An analysis of European rural background ozone trends 1996–2005”, *Atmos. Chem. Phys.*, 12, 437–454, 2012.
6. Jhun I., Coull B., Zanutti A., Koutrakis P., “The impact of nitrogen oxides concentration decreases on ozone trends in the USA”, *Air Qual. Atmos. Health*, 8(3), 283–292, 2015.
  7. Dey S., Sibanda P., Gupta S., Chakraborty A., “Occurrence of high nocturnal surface ozone at a tropical urban area”, *International scholarly and scientific research & innovation*, 11(2), 2017.
  8. Ghosh D., Lal S., Sarkar U., “High nocturnal ozone levels at a surface site in Kolkata, India: Trade-off between meteorology and specific nocturnal chemistry”, *Urban Climate*, 5, 82–103, 2013
  9. 국립환경과학원, “오존 종합대책 수립마련 기획연구”, 2014.
  10. 김순태, 배창한, 김은혜, 유승희, 배민아, 이재범, 서인석, 임용재, 김병욱, 김현철, 우정현, “중국 배출량 목록에 대한 국내 오존 민감도 분석: MICS-Asia 2010와 INTEX-B 2006 비교사례”, *한국대기환경학회지*, 33(5), 480–496, 2017.
  11. 배창한, 김병욱, 김현철, 김순태, “CMAQ-HDDM을 이용한 광양만 오존 농도의 국외 기여도 분석” *한국대기환경학회지* 34(5), 708–726, 2018.
  12. 국립환경과학원, “대기환경연보 2018”, 2019.
  13. 국립환경과학원, “국가대기오염 물질 배출량 서비스”, 2009~2016, <http://airemiss.nier.go.kr/mbs/home/mbs/airemiss/index.do>
  14. 한국산업단지공단, “2016 한국산업단지총람”, 2016, <https://www.kicox.or.kr/home/mwrc/policyRsrch/fdrmPblictN/fdrmPblictN03.jsp>
  15. 환경부, “대기오염측정망 설치·운영지침”, 2009~2018.
  16. 환경부, “대기오염 예측·발표의 대상지역 및 기준과 내용 등에 관한 고시”, 2018.
  17. 강병서, 김계수, “사회과학 통계분석”, 한나래아카데미, 2009
  18. 박성현, 조신섭, 김성수, “SPSS 17.0 이해와 활용”, 한나래아카데미, 2009.
  19. 기상청, “기상자료개방포털”, <https://data.kma.go.kr/data/grnd/selectAsosRltmList.do?pgmNo=36>
  20. Sanford Sillman, “The relation between ozone, NO<sub>x</sub> and hydrocarbons in urban and polluted rural environments”, *Atmospheric Environment* 33:1821–1845, 1999.

21. Xu X., Zhang T., Su Y.,  
“Temporal variations and  
trend of ground-level ozone  
based on long-term  
measurements in Windsor,  
Canada, Atmos. Chem. Phys.,  
19, 7335-7345, 2019.
22. Akimoto H., Mori Y., Sasaki K.,  
Nakanish H., Ohizumi T., Itano  
T., “Analysis of monitoring data  
of ground-level ozone in Japan for  
long-term trend during 1990-2010:  
Causes of temporal and spatial  
variation”, Atmospheric  
Environment 102:302-310, 2015.
23. Al-Jeelani H.A., “Diurnal and  
seasonal variations of surface  
ozone and its precursors in the  
atmosphere of Yanbu, Saudi  
Arabia”, Journal of Environmental  
Protection, 5:408-422, 2014
24. 김득수, 정진상, 안준영, “서울  
도심대기의 NO, NO<sub>2</sub>와 O<sub>3</sub> 사이의  
대기화학적 특성 연구”,  
한국대기환경학회지, 제32권  
제4호, 422-434, 2016.
25. 정수연, 김기현, 김동호, 조석주,  
김민영, “서울시 도로주변 및 주거  
지역의 오존농도 변화에 대한  
장기연구”, 한국환경분석학회지,  
제12권 제3호, 204-220, 2009.
26. 도우곤, 정우식, “부산지역 고농도  
오존일의 선행 기상 특성 연구”,  
한국환경과학회, 24(8); 993-1001,  
2015.
27. US NOAA, <https://www.spc.noaa.gov/faq/tornado/beaufort.html>

## 02 : 환 경 분 야

### **기류가 경남 서부지역 대기오염물질 농도에 미치는 영향**



# 기류가 경남 서부지역 대기오염물질 농도에 미치는 영향

설희정 · 공남식 · 임중근

대기환경연구부 대기질관리팀

## Analysis of severe PM-2.5 episode in western Gyeongsangnam-do during 2016 to 2018

Hee-Jeong Seol, Nam-Shik Gong, Jung-Kun Lim

Air Quality Research Team

### Abstract

Fine inhalable particles (PM-2.5) data were collected from nationwide air quality measurement network for western Gyeongsangnam-do (GSND) to assess high concentration episode of PM-2.5. In this study, PM-2.5 data retrieve was accomplished from four monitoring stations like Sangdae-dong (SD), Sacheon-eup (SC), Aju-dong (AJ), and Hadong-eup (HD). Annual mean concentration gradually decreased as much as  $4\sim 10\mu\text{g}/\text{m}^3$  during recent 3 years. PM-2.5 concentration was high in the winter & spring and at 11 AM. As a results of analysis of variance (ANOVA), there was correlation between high concentration of PM-2.5 and daily mean values of wind speed, relative humidity, and surface pressure, though there was no correlation with daily maximum temperature. According to the results of HYSPLIT backward trajectory models on high concentration episode days, backward trajectories of air mass originated from China accounted for 59% (HD) to 78% (AJ). On the other hand, air mass at 24% of SD and 41% of HD was from atmospheric stagnation and transported from West sea.

**Key words** : PM-2.5, Meteorological factors, Backward trajectory, HYSPLIT model

## I. 서론

대기 중 대표적인 입자상 물질은 직경에 따라 미세먼지(PM-10)와 초미세먼지(PM-2.5)로 구분하며, PM-10은 사람 머리카락 지름(50 ~ 70  $\mu\text{m}$ )의 1/5 ~ 1/7정도이고, PM-2.5는 머리카락 지름의 1/20 ~ 1/30로 공기 중에 부유하는 매우 작은 입자로서 천식과 같은 호흡기계 질병을 악화시키고, 폐기능 저하를 초래한다.<sup>1)</sup> 특히 PM-2.5는 입자가 미세하여 코 점막을 통해 걸러지지 않고 흡입 시 폐포까지 직접 침투하거나 혈관을 따라 체내로 이동하여 건강에 나쁜 영향을 주는 것으로 알려져 있다.<sup>1)</sup>

세계보건기구(WHO)는 미세먼지(PM-10, PM-2.5)에 대한 대기질 가이드라인을 1987년부터 제시해 왔고, 2013년에는 세계보건기구 산하의 국제암연구소(IARC, International Agency for Research on Cancer)에서 미세먼지를 1군 발암물질(Group 1)로 지정하였다.<sup>1)</sup>

우리나라의 미세먼지에 대한 대기환경기준을 살펴보면, PM-10은 1993년 연평균 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 일평균 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 신설된 후, 2001년 연평균 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 일평균 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로, 2007년 연평균 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 일평균 100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 강화되었다. PM-2.5는 2011년 연평균 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 일평균 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 추가 설정되어 2015년 1월 1일부터 시행되었고, 2018년 연평균 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 일평균 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 강화되었다.

국립환경과학원 대기환경연보<sup>2)</sup>에 의하면, 2018년 전국 333개 측정소 중 PM-10에 대한 유효측정소는 290개였고, 연평균이 환경기준을 초과하는 측정소는 12개로 환경기준 달성률이 95.9%인 반면, 24시간 평균이 기준을 초과한 측정소는 236개로 달성률이 18.6%로 나타났다. PM-2.5는 328개 측정소 중 유효측정소 수가 283개였고, 연평균 및 24시간 모두 환경기준 달성률이 0%로 나왔다. PM-10 연평균 농도는 1995년 측정 이래로 점차 감소하고 있으며, 2016년 47  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 2017년 45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 그리고 2018년 41  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 최근 3년간 전국 연평균 농도는 6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  감소하였다. 2015년부터 관리되고 있는 PM-2.5의 연평균 농도는 2016년 26  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 2017년 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 그리고 2018년 23  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  감소하였다. 최근 3년간 경남지역의 PM-10 연평균 농도는 4  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , PM-2.5는 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  감소하였다. PM-10의 경우 2016년 45  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 2017년 43  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 2018년 41  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 였고, PM-2.5는 각각 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 23  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 역시 감소하는 추세이다.

그러나 이러한 감소추세에도 불구하고 미세먼지 위해성 때문에 국민들의 우려와 관심 증가로 개선 효과를 체감 하지 못하고 오히려 미세먼지(PM-10, PM-2.5) 오염도가 과거보다 더 심해졌다고 느끼는 실정이다.

이에 정부는 모니터링 강화를 위한

대기오염측정망 확충, 대기오염 예·경보제 강화, 「미세먼지 저감 및 관리에 관한 특별법」 제정, 대통령 직속 「국가기후환경회의」 출범 등 미세먼지를 줄이기 위한 다양한 대책들을 내놓고 있다. 이러한 대책과 함께 고농도 미세먼지 발생원인 파악도 매우 중요하다고 판단된다.

미세먼지(PM-10, PM-2.5)는 배출원에서 직접 배출되는 것부터 대기 중 화학반응에 의해 2차 생성되기도 하고, 기류에 의한 장거리 이동물질로 국외에서 유입되기도 한다. 그리고 계절성 풍향 등 기상조건 및 국지적 지형에 영향을 많이 받는 것으로도 알려져 있다.<sup>3,4)</sup> 이 중 기류 및 기상요소와 PM-10 농도와의 관계에 대한 선행연구들을 다수 볼 수 있다.

HYSPLIT 모델을 이용하여 기류의 이동궤적 및 기원분석을 통해서 장거리 이동에 대한 연구는 도 와 정<sup>5)</sup>, 정 등<sup>6)</sup> 이고 기상조건과 관련하여 미세먼지(PM-10) 농도를 분석한 연구는 최 등<sup>7)</sup>, 김 등<sup>8)</sup>, 신 등<sup>9)</sup>, 전<sup>10)</sup> 등에 의해 진행되었다. 이러한 선행 연구들은 PM-10 발생원인 파악이 대부분인데, PM-2.5는 2015년부터 측정하기 시작하여 축적된 자료가 상대적으로 적기 때문이며 앞으로 다양하고 지속적인 연구가 필요하다고 판단된다.

본 연구에서는 2016년부터 2018년의 최근 3년간 경남 서부지역의 PM-2.5 농도현황을 살펴보고, 기상

요소의 영향 및 역궤적 기류분석을 통해서 PM-2.5 고농도 발생 원인과 특성을 파악하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

대상 측정소는 경남 서부지역의 진주 상대동, 사천 사천읍, 거제 아주동, 하동 하동읍 측정소 등 4개소를 선정하였고, 2016년부터 2018년까지 PM-2.5의 시간평균 및 일평균 농도를 사용하였다.

### 1. 초미세먼지 측정자료 및 기상인자

해당 4개 측정소의 초미세먼지 농도분포에 대한 경향분석은 경남지역 대기오염측정망 운영 자료 중 2016년 1월에서 2018년 12월까지의 측정 자료를 사용하였다.

기상청 종관기상 진주 관측소(무인) 자료를 이용하여 상대동 측정소 농도와 분석하였다. 농도분포는 초미세먼지 예보 기준으로 ‘좋음’(15이하), ‘보통’(16 ~ 35), ‘나쁨’(36이상)단계로 구분하였다. 분석에 이용한 기상요소는 일 최고기온, 일평균 풍속, 일평균 상대습도, 일평균 현지기압이다. 초미세먼지 농도 구간에 따라 기상요소의 특징적 차이가 나타나는지를 살펴보기 위해 분산분석(Analysis of Variance: ANOVA)을 실시하였다. 분산분석은 독립변수의 수준에 따라 나누어진 각 집단의 평균 간의 차이

가 통계적으로 유의한 지를 검정하는 것으로 모든 통계의 유의수준은 5%로 설정하였다.

## 2. 고농도 발생일 기류분석

고농도 미세먼지 발생 일에 기류패턴을 파악하기 위하여 역궤적 분석을 하였고, 기류의 유사성으로 군집을 분류하였다. PM-2.5 예보의 ‘나쁨’ 기준인 일평균  $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$  이상을 고농도 발생일로 설정하고 측정소별 고농도 발생일별로 하루 중 최고농도를 나타내는 오전 11시를 기준으로 48시간 역궤적 분석을 하였다. 고도는 하층제트가 나타나고 지표면의 국지적 영향을 덜 받는 최저의 높이로 오염물질의 수송과정을 파악할 수 있는 대표적 높이인 1,000 m로 선정하였다.<sup>11)</sup> 역궤적 분석은 미국 해양대기청 NOAA/ARL에서 제공하는 HYSPLIT-4

(Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory)모델<sup>12)</sup>을 이용하였으며, 기상자료는 GDAS(Global Data Assimilation System)를 사용하였고, GDAS는 수평해상도  $1.0^\circ$ 과 매 3시간의 해상도를 가지고 있다. 유사한 기류별 군집분석은 4개 측정소 고농도 발생일자별 역궤적 계산 결과를 바탕으로 HYSPLIT-4 모델에서 제공하는 군집분석 기능을 이용하였다. HYSPLIT-4 모델에서 제공하는 군집분석은 고농도 발생일에

대한 각각의 역궤적을 대상으로 군집을 만들어 가면서 endpoint 간의 거리의 제곱인, SPVAR(The cluster spatial variance)를 모두 합한 TSV(Total spatial variance)의 변화량을 바탕으로 사용자가 최적의 군집수를 결정하도록 되어 있다. 본 연구대상의 4개 측정소에 대하여 모델을 적용한 결과 최적 군집 수는 3 ~ 7개로 나타났으나, 설명의 편의성과 통일성을 위해 모두 5개의 군집으로 분류하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 초미세먼지 농도 분포

조사기간(2016 ~ 2018) 중 4개 대상 측정소의 연도별, 월별, 하루 중 시간대별 변화량을 시간평균 자료를 이용하여 박스플롯으로 나타내었다.

박스플롯의 박스(box)는 각각 75%, 25% 수준, 박스안의 실선은 중앙값, 점은 평균값을 나타낸다.

Fig. 1는 4개 측정소의 연도별 변화량을 나타내었다. 2016년부터 2018년까지 연구대상 4개 측정소 모두 꾸준히 감소하는 추세이다. 상대동은 2016년  $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 2018년  $17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 사천읍은 2016년  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 2018년  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 하동읍은 2016년  $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 2018년  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 아주동은 2016년  $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서 2018년  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 최근 3년간  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ~



10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이 감소하였다. 앞에서 언급한 전국평균 및 경남평균과도 같은 경향성을 보인다. 이는 저공해 자동차보급, 환경기준 강화 등 미세먼지

저감을 위한 대기 개선 정책의 지속적인 시행효과로 판단된다.<sup>5)</sup> 그러나 연평균 농도는 감소하고 있지만 여전히 환경기준을 초과하고 있다.

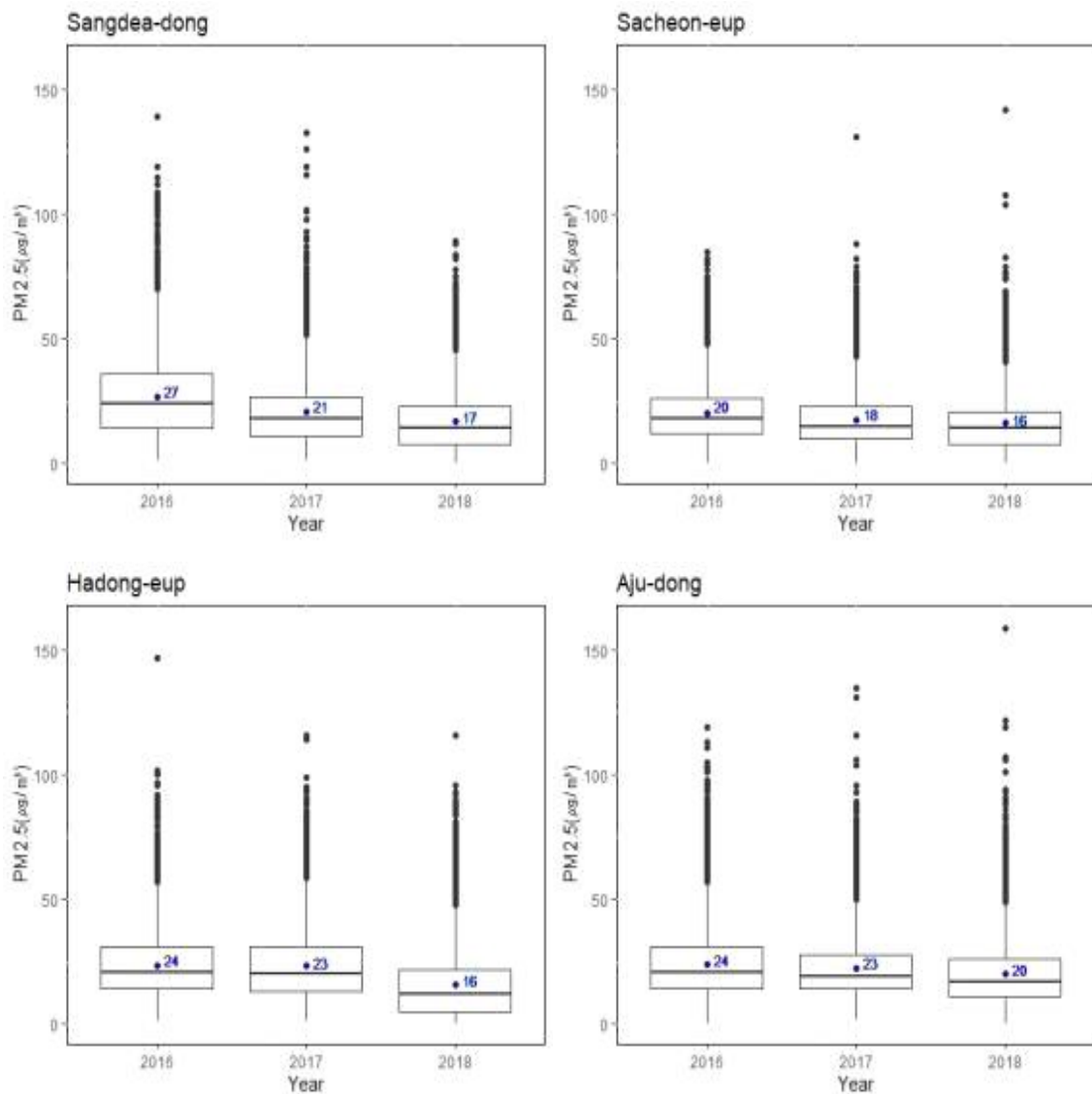


Fig. 1. The annual variations of hourly mean PM-2.5 concentration during 2016–2018.

측정소별 월별 변화량은 Fig. 2에 나타내었다. 초겨울인 11월부터 다음해 6월까지 높게 나타났고, 상대동은

1월과 3월에 26  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 사천읍은 1월과 3월, 11월에 21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 하동읍과 아주동은 3월에 27  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장

높았다. 여름과 초가을인 7월~10월 농도가 낮게 나타났고, 상대동 및 아주동은 8월에  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 하동읍은 8월, 사천읍은 9월 및 10월에  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 낮았다. PM-2.5가 겨울에 높은 농도를 나타내는 것은

대기정체 및 기후조건, 난방연료 연소 등 배출원 증가 등이 원인으로 판단된다. 여름철 농도 감소는 강수에 의한 세정효과와 불안정한 대기 상태로 인하여 높아진 혼합고의 영향으로 판단된다.<sup>5)</sup>

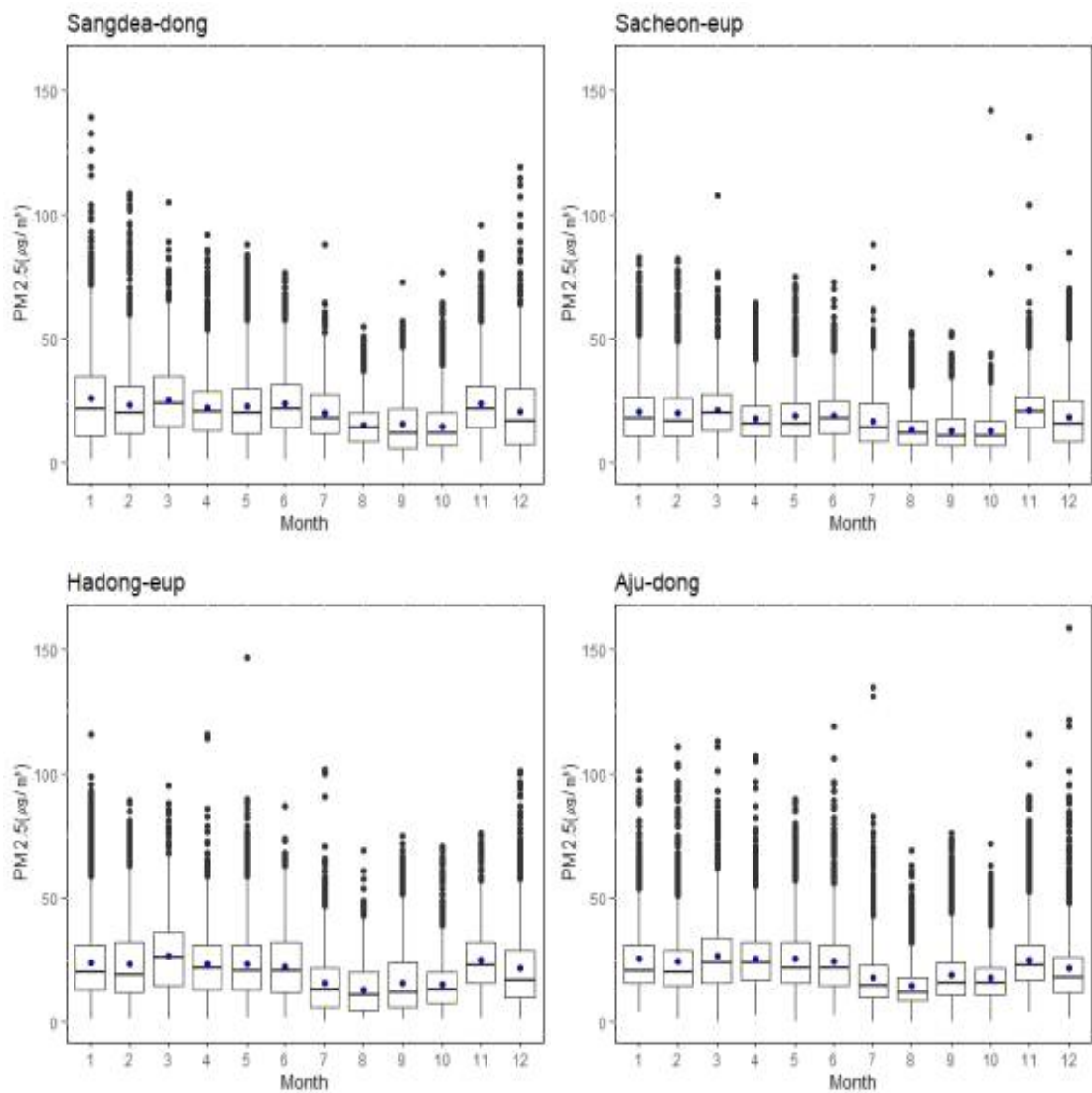


Fig. 2. The monthly variations of hourly mean PM-2.5 concentration during 2016-2018.

시간대별 변화량은 Fig. 3에 나타내었다. 4개 측정소 모두 오전 10시부터 12시 사이에 높게 나타났고, 오전 11시에 가장 높았다. 이는 오전 출근 시간대의 갑작스런 교통량의 증가에

따른 배출량 증가와 재비산의 영향으로 볼 수 있다. 오후로 가면서 농도가 낮아지는데, 이는 대기혼합고가 높아져 단위체적당 농도가 낮아지기 때문으로 판단된다.<sup>8)</sup>

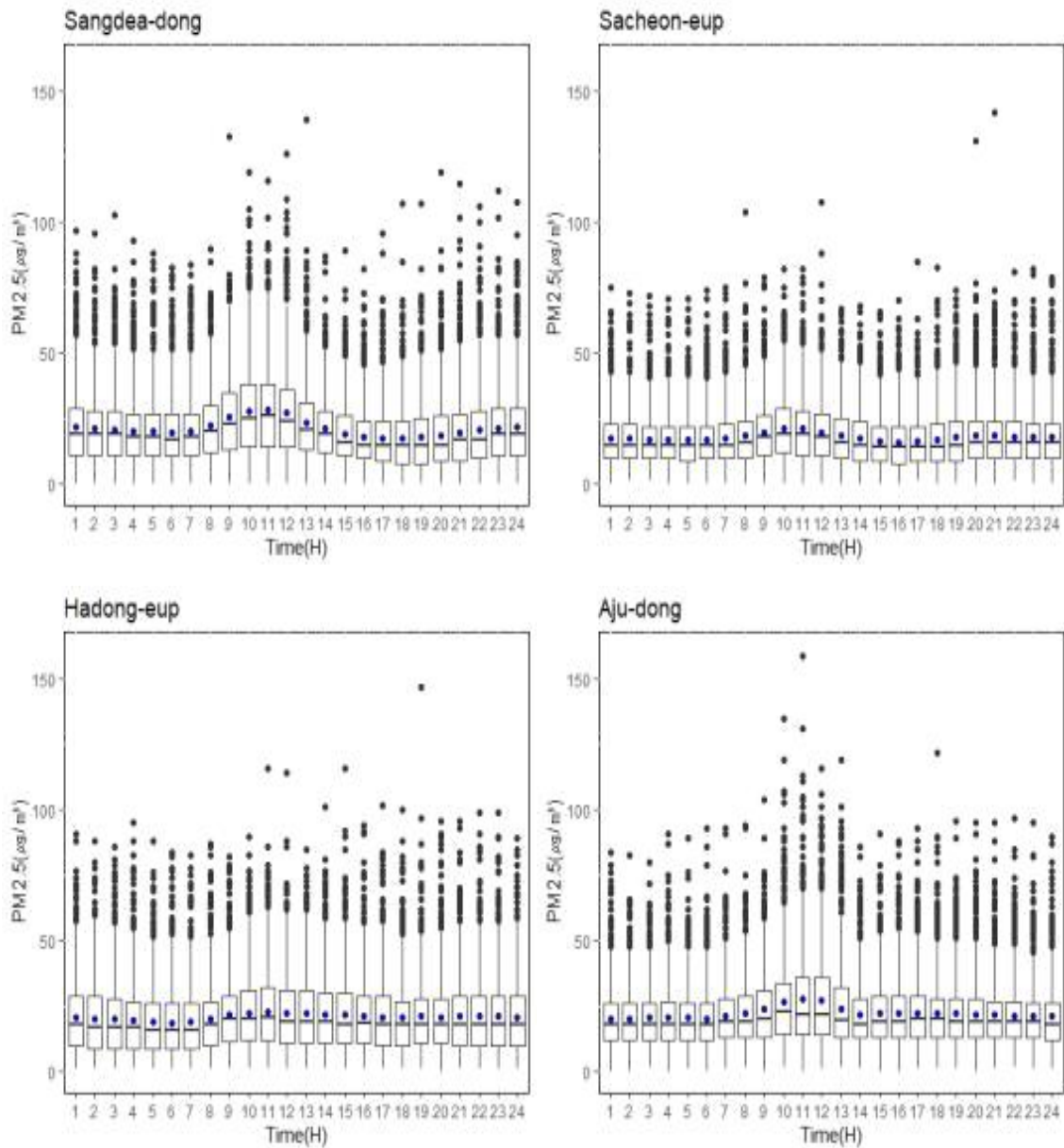


Fig. 3. The hourly variations of PM-2.5 concentration during 2016- 2018.

## 2. 농도 분포별 기상요소 분석

2016년부터 2018년까지 상대동 측 정소 일평균 자료를 예보기준에 따 라 분류하면, ‘좋음’ 381일, ‘보통’ 558일, ‘나쁨’이 126일이다. 구간별 평균농도는 ‘좋음’ 이  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ‘보통’

$24 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , ‘나쁨’  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이었다. 구간별 초미세먼지 농도 및 기상 요소의 평균값은 Table 1에 나타내 였고, 초미세먼지 농도구간에 따른 기상요소의 특징을 알아보기 위해 분산분석(ANOVA)을 하여 그 결과를 Table 2에 정리하였다.

Table 1. The mean value of PM-2.5 and the meteorological factors at Sangdae-dong during 2016–2018.

Level of concern	Days	Daily mean			Daily maximum	
		PM-2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Surface wind speed (m/s)	Surface relative humidity (%)	Surface pressure (hPa)	Surface temperature ( $^{\circ}\text{C}$ )
Good (<16)	381	10	1.37	62.1	1012.1	19.7
Moderate (16~35)	558	24	1.04	64.8	1013.1	20.4
Unhealthy & Very unhealthy (>36)	126	45	0.89	66.4	1014.6	19.0

Table 2. ANOVA result of the meteorological factors related to the PM-2.5 concentration section at Sangdae-dong

	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F	p-value
PM-2.5	120184.201	2	60092.100	2127.259	0
Daily maximum surface temperature	254.334	2	127.167	1.460	0.233
Daily mean surface wind speed	34.5243	2	17.262	60.332	1.52E-25
Daily mean surface relative humidity	2550.002	2	1275.001	5.506	0.004
Daily mean surface pressure	626.853	2	313.426	5.502	0.004

그 결과를 살펴보면 일 최고기온은  $p$ -value가 유의수준 0.05보다 크게 나와서 통계적으로 PM-2.5 농도 구간별 유의한 차이가 없는 것으로 분석되었고, 일평균 풍속, 일평균 상대 습도, 일평균 현지기압은  $p$ -value가 유의수준 0.05보다 작아서 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다.

일 최고기온은 ‘좋음’ 단계일 때 19.7℃, ‘보통’ 일 때 20.4℃, ‘나쁨’일 때 19.0℃로 나타났고, 구간별 특징적인 차이는 없었다. 평균풍속은 ‘좋음’일 때 1.37 m/s, ‘보통’일 때 1.04 m/s, ‘나쁨’일 때 0.89 m/s로 고농도 발생일에 낮게 나타났다. 이는 풍속이 높을수록 대기확산이 활발하여 PM-2.5 농도 저감에 기여하고 있는 것으로 판단되고, 선행연구 결과에서도 같이 나타났다.<sup>9)</sup> 상대습도는 ‘좋음’ 단계일 때 62.1%, ‘보통’일 때 64.8%, ‘나쁨’일 때 66.4%로 습도가 높을수록 PM-2.5 농도가 높았다. 이는 가스 상태의 황산화물과 질소산화물이 수증기와 반응하여 초미세먼지 2차 생성에 기여하기 때문이라 판단된다.<sup>1)</sup> 선행연구 공 등<sup>13,14)</sup>에 따르면 PM-10 농도와 상대습도의 관계는 종관기상장 조건에 따라 정반대로 추론될 수 있다고 보고하였다. 이동성고기압의 영향으로 인한 대기정체 하에 상대습도의 증가로 고농도가 발생하기도 하고, 강수로 인한 세정 효과의 영향으로 상대습도가 높을수록

미세먼지 농도가 감소하는 것으로 나타났다.

PM-2.5 고농도 발생이 연무 및 박무 발생과도 상관성이 있을 것으로 판단되나, 연무와 박무 발생일에 대한 기상요소 자료가 없어 분석을 할 수 없었다.

일평균 현지기압 분석결과는 ‘좋음’ 단계에서 1012.1 hPa, ‘보통’ 1013.1 hPa, ‘나쁨’ 일 때 1014.6 hPa로 농도가 높을수록 기압이 높았다. 일반적으로 고기압이 되면 대기는 안정되고 건조하며 하늘은 맑고, 저기압일 때는 보통 대기가 불안정하고 구름이 많으며 습도가 높고 강수현상이 나타난다.<sup>15)</sup> 고기압일 때 대기가 안정되어 확산이 낮아 고농도가 발생하는 것으로 판단되나, 기압배치를 나타내는 일기도와 기압 관련 기상항목의 추가적인 분석이 필요한 것으로 판단된다.

### 3. 고농도 발생일 기류 군집분석

PM-2.5 일평균 농도가  $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$  이상일 때 고농도 발생일로 정의하였고, 4개 측정소의 2016년부터 2018년까지 고농도 발생일은 상대동 126일, 사천읍 52일, 아주동 120일, 하동읍은 129일이었다.

전체적으로 북서 또는 서쪽 기류의 영향을 많이 받았고, 국내 정체 및 서해상 정체 군집도 확인되었다. 그리고 아주동 측정소는 타 측정소와

달리 남쪽 해상에서 유입되는 기류 군집도 나타났다.

Table 3. Cluster analysis results of backward trajectory model for high concentration of PM-2.5( $>36\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) at Sangdae-dong during 2016–2018

End Point	Days	Ratio (%)	Average ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Maximum ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Cluster
Inner Mongolia	40	32	47	76	4
Korea	30	24	43	62	1
Shanghai(China)	30	24	43	63	2
Liaoning(China)	23	18	45	70	3
Northwest China	3	2	43	49	5

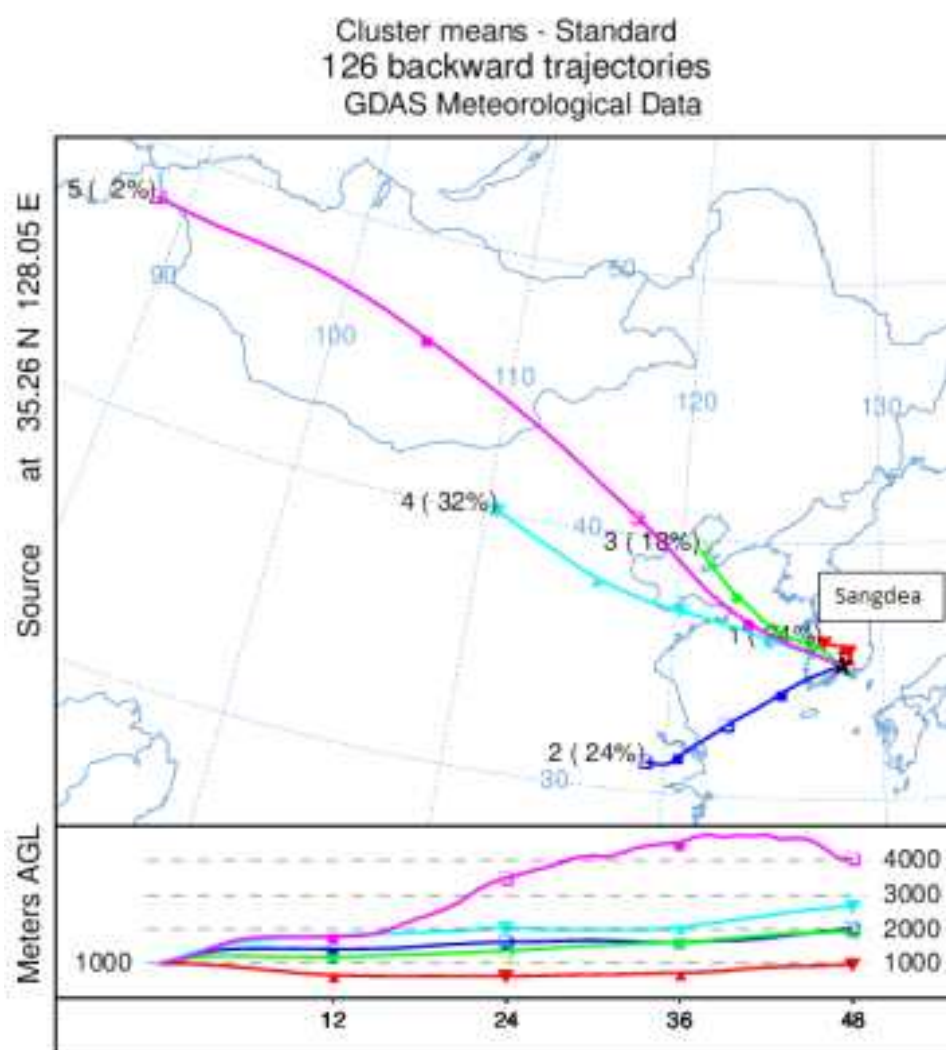


Fig. 4. The mean backward trajectories of each cluster at Sangdae-dong during 2016–2018.

군집은 군집의 End Point 즉 기류 시작점 부근의 지역명으로 설명하고자 한다. 상대동 측정소 분석결과는 Table 3과 Fig. 4에 나타내었다. 상대동의 경우, 고농도 발생일 126일 중 중국 내몽골에서 산둥반도를 거쳐 유입되는 군집이 40일로 32%를 차지하였고, 국내에 정체되는 군집이 30일로 24%, 중국 상하이 부근에서 서남해상을 거쳐 유입되는 군집

이 30일 24%, 중국 랴오닝반도에서 서해상을 거쳐 유입되는 군집이 23일 18%, 중국 북서지역 장거리 이동 군집이 3일 2%로 나타났다.

상대동 측정소에 한하여 군집들 간에 기상요소들의 차이가 나타나는지를 살펴 보기 위하여 분산분석(ANOVA)을 실시하였으며 군집별 평균 농도 및 기상요소 평균값은 Table 4에 나타내었다.

Table 4. Daily mean value of the meteorological factors for each cluster at Sangdae-dong during 2016–2018

Cluster (end point)	Days	Daily Mean			Daily maximum	
		PM <sub>2.5</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Surface wind speed (m/s)	Surface relative humidity (%)	Surface pressure (hPa)	surface temperature (°C)
(Inner Mongolia) <sup>4</sup>	40	47	0.81	62.9	1017.9	14.1
(Korea) <sup>1</sup>	30	43	0.97	68.2	1010.4	25.4
(Shanghai, China) <sup>2</sup>	30	43	0.90	71.9	1013.7	19.4
(Liaoning, China) <sup>3</sup>	23	45	0.94	64.8	1015.2	19.5
(Northwest China) <sup>5</sup>	3	43	0.77	64.7	1018.5	13.4

분산분석 결과는 Table 5에 나타내었다. 결과를 살펴보면 PM-2.5 농도, 일평균 풍속은  $p$ -value가 유의수준 0.05보다 커서 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 분석되었고 일평균 기온, 일평균 상대습도, 일평균 현지기압이  $p$ -value가 유의수준 0.05보다 작아서 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 일평균 기온은 군집 5(중국 북부)가 13.4°C로 군집1(국내정체)의 25.4°C에

비해 상대적으로 이동 거리가 길수록 낮게 나타났고, 일평균 상대습도는 군집2(중국 상하이)가 71.9%로 가장 높고, 군집4(중국 내몽골)가 62.9%로 가장 낮았다. 이동거리가 짧을수록 대체로 높은 경향을 보였다. 일평균 현지기압은 군집5(중국북서)가 1018.5hPa로 가장 높았고, 군집1(국내정체)이 1010.4hPa로 가장 낮았다. 이동거리가 길수록 일평균 현지기압은 높게 나타났다.

Table 5. ANOVA results of the meteorological factors with each cluster at Sangdae-dong during 2016–2018

	Sum of squares	Degree of freedom	Mean square	F	<i>p</i> -value
PM-2.5	503.283	4	125.821	1.592	0.181
Daily maximum surface temperature	2293.763	4	573.441	1.460	2.1E-07
Daily mean surface wind speed	0.624	4	0.155	1.118	0.351
Daily mean surface relative humidity	1526.958	4	381.7	3.923	0.005
Daily mean surface pressure	1051.328	4	262.8	6.041	0.000

고농도 발생일이 52일로 가장 적은 사천읍 측정소 군집분석 결과는 Table 6과 Fig. 5에 나타내었다. 상대적으로 이동거리가 짧은 서해상에서 유입되는 군집이 17일 33%, 몽골 동부부근에서 유입되는 군집이 14일 27%, 중국 시안에서 서해를 거쳐 유입되는 군집이 12일 23%, 중국 내몽골에서 산둥반도를 거쳐 유입되는 군집이 6일 12%, 이동거리가 가장 긴 중국북서지역에서 유입되는 군집이 3일 6%로 나타났다.

Table 7과 Fig. 6은 하동읍 측정소 군집분석 결과이다. 고농도 발생일 129일 중 서해상에서 이동거리가 상대적으로 짧은 군집이 53일 41%, 중국 내몽골에서 산둥반도를 거쳐 유입되는 군집이 28일 22%, 몽골 동부 부근에서 서해상을 거쳐 유입되는 군집이 23일 18%, 중국 상하이 부근에서 유입되는 군집이 16일 12%, 러시아 서부에서 유

입되는 군집이 9일 7%로 나타났다.

Table 8과 Fig. 7은 아주동 측정소 군집분석 결과이다. 고농도 발생일 120일 중 중국 산둥반도에서 유입되는 군집이 45일 38%, 제주도 남서쪽 해상에서 유입되는 군집이 26일 22%, 몽골 동부에서 황해를 거쳐 유입되는 군집이 23일 19%, 중국 내몽골에서 산둥반도를 거쳐서 유입되는 군집이 19일 16%, 중국북서에서 베이징을 거쳐 유입되는 군집이 7일 6%로 나타났다. 장거리 이동으로 국외에서 유입되는 경우도 많지만 대기 정체로 국내발생 미세먼지도 상당수 차지하는 것을 알 수 있다. 미세먼지 고농도 발생일에 대한 기류분석은 기류의 기원과 이동에 대한 분석<sup>16)</sup>으로, 미세먼지의 발생원 및 기여율 산정을 위해서는 미세먼지 성분분석에 대한 연구 등 좀 더 심도 있는 연구가 필요하다고 판단된다.



Table 6. Cluster analysis results of backward trajectory model for high concentration of PM-2.5(>36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) at Sacheon-eup during 2016–2018

End Point	Days	Ratio (%)	Average ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Maximum ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Cluster
West Sea	17	33	42	55	3
East Mongolia	14	27	42	54	5
Sian(China)	12	23	44	63	1
Inner Mongolia	6	12	44	55	4
Northwest China	3	6	42	48	2

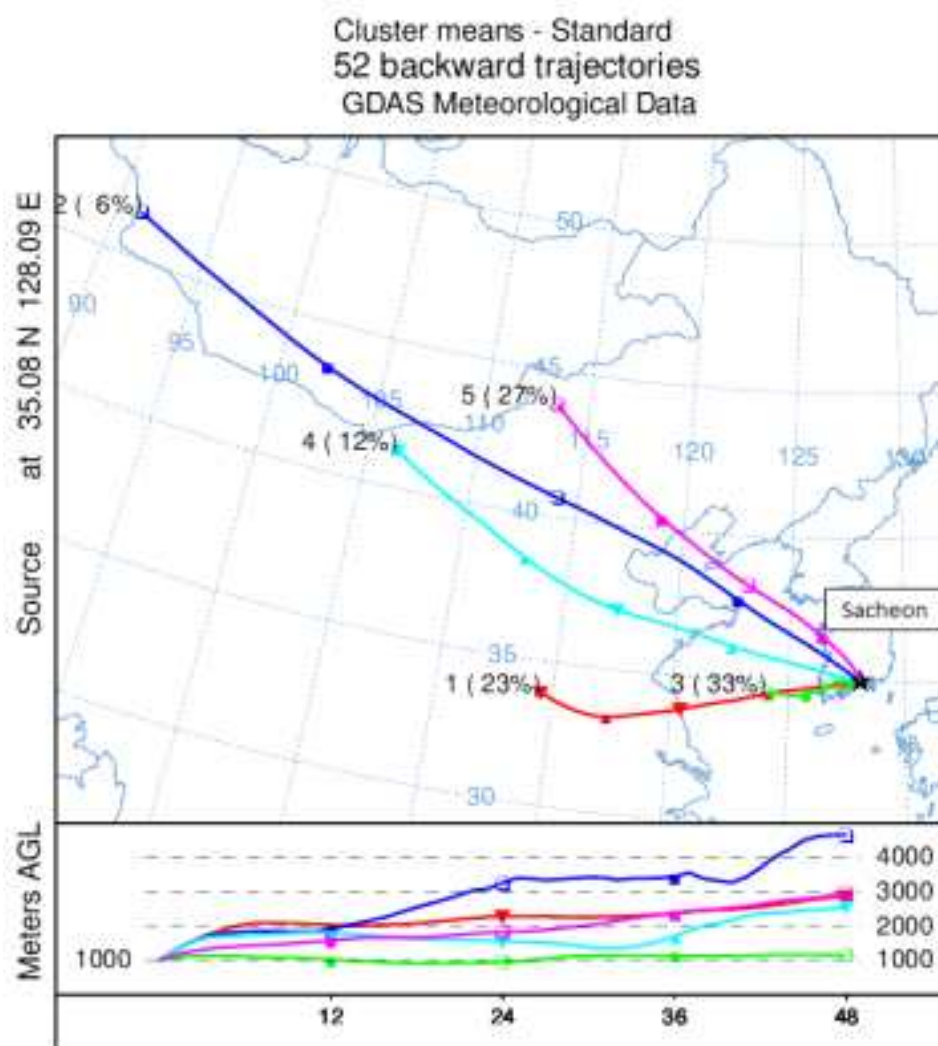


Fig. 5. The mean backward trajectories of each cluster at Sacheon-eup during 2016–2018.

Table 7. Cluster analysis results of backward trajectory model for high concentration of PM-2.5(>36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) at Hadong-eup during 2016-2018

End Point	Days	Ratio (%)	Average ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Maximum ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Cluster
West Sea	53	41	42	67	1
Inner Mongolia	28	22	47	69	2
East Mongolia	23	18	44	62	5
Shanghai(China)	16	12	43	54	3
West Russia	9	7	46	65	4

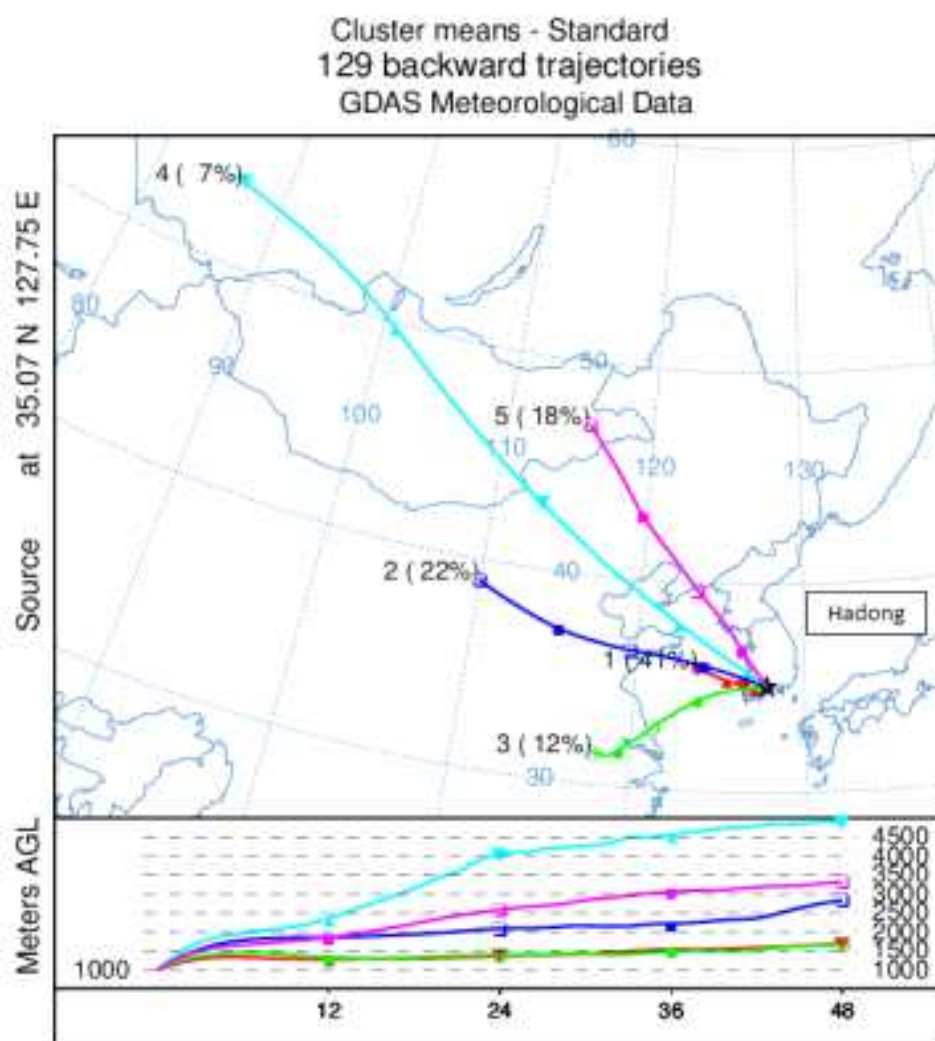


Fig. 6. The mean backward trajectories of each cluster at Hadong-eup during 2016-2018.

Table 8. Cluster analysis results of backward trajectory model for high concentration of PM-2.5( $>36\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) at Aju-dong during 2016–2018

End Point	Days	Ratio (%)	Average ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Maximum ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Cluster
Shandong(China)	45	38	43	64	5
South Sea	26	22	42	57	4
East Mongolia	23	19	44	67	2
Inner Mongolia	19	16	42	61	3
Northwest China	7	6	48	67	1

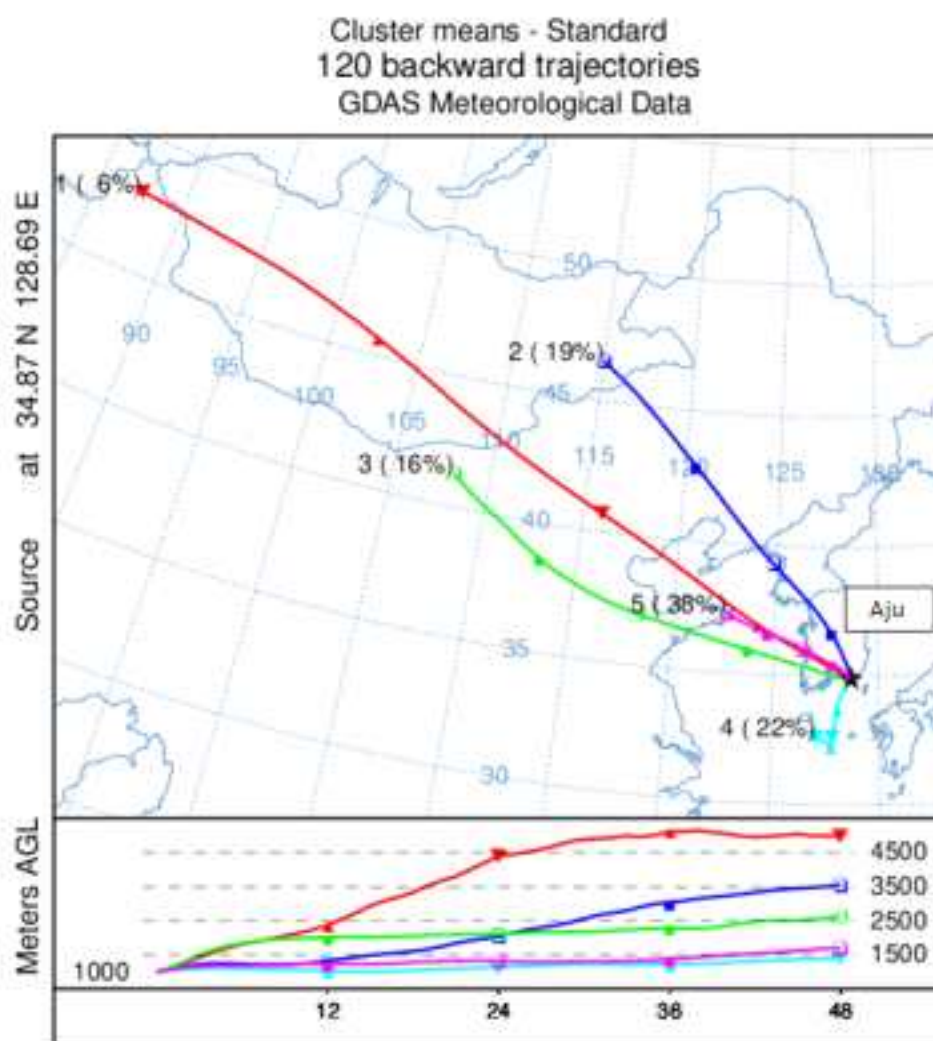


Fig. 7. The mean backward trajectories of each cluster at Aju-dong during 2016–2018.

#### 4. 최고농도 발생일별 기류분석

동일시간에 4개 측정소의 기류 이동경로를 파악하기 위하여 조사기간 중 각 측정소의 연도별 최고 농도를 보인 날 중 4일을 선택하여 역궤적 기류분석을 하였다. 2016년 2월 27일 23시, 2016년 5월 28일 19시, 2017년 1월 19일 10시, 2018년 3월 25일 2시에 48시간 동안, 고도는 장거리 수송이 가능한 대표적 높이 1000 m와 그보다 낮은 500 m 높이<sup>11)</sup>로 공기 이동경로를 분석하였다. 분석결과는 Fig. 8 ~ 11에 나타내었다. 2016년 2월 27일은 4개 측정소가 모두 내몽골부근에서 유입되는 이동경로를 나타내었고, 2016년 5월 28일은 상대동, 사천읍, 아주동 측정소는 국내에서 정체되는 기류이고, 하동읍은 중국 시안부근에서 산둥반도를 거쳐

유입되는 것으로 다르게 나타났다. 2017년 1월 19일 상대동은 국내정체, 사천읍 500 m 기류가 국내정체, 아주동은 1000 m 기류가 국내정체를 보였고 하동읍은 중국에서 서풍을 타고 유입되는 경로를 보였다. 2018년 3월 5일은 높이에 따라 다른 이동경로를 보이는 측정소도 있지만 4개 측정소가 거의 유사하게 중국 허난성 부근에서 유입되는 것으로 분석되었다. 고농도 사례일 분석결과, 측정소의 위치에 따라 기류 이동경로는 다양하게 나타나는 것으로 보인다. 미세먼지 고농도 발생 시 국외 유입 여부와 기류유입 경로에 따른 경남지역의 영향, 발생원인 파악과 고농도 해소시기를 알기 위해서는 통합적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Table 9. Day of maximum concentration of PM-2.5 at four stations

		Sangdae-dong	Sacheon-eup	Hadong-eup	Aju-dong
2018	PM-2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	54	54	58	64
	Date	Mar. 25	Mar. 25	Mar. 25	Dec. 20
2017	PM-2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	76	63	69	60
	Date	Jan. 19	Jan. 19	Jan. 19	Dec. 30
2016	PM-2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	72	55	67	67
	Date	Feb. 27	May 28	May 28	Jan. 4, Mar. 31

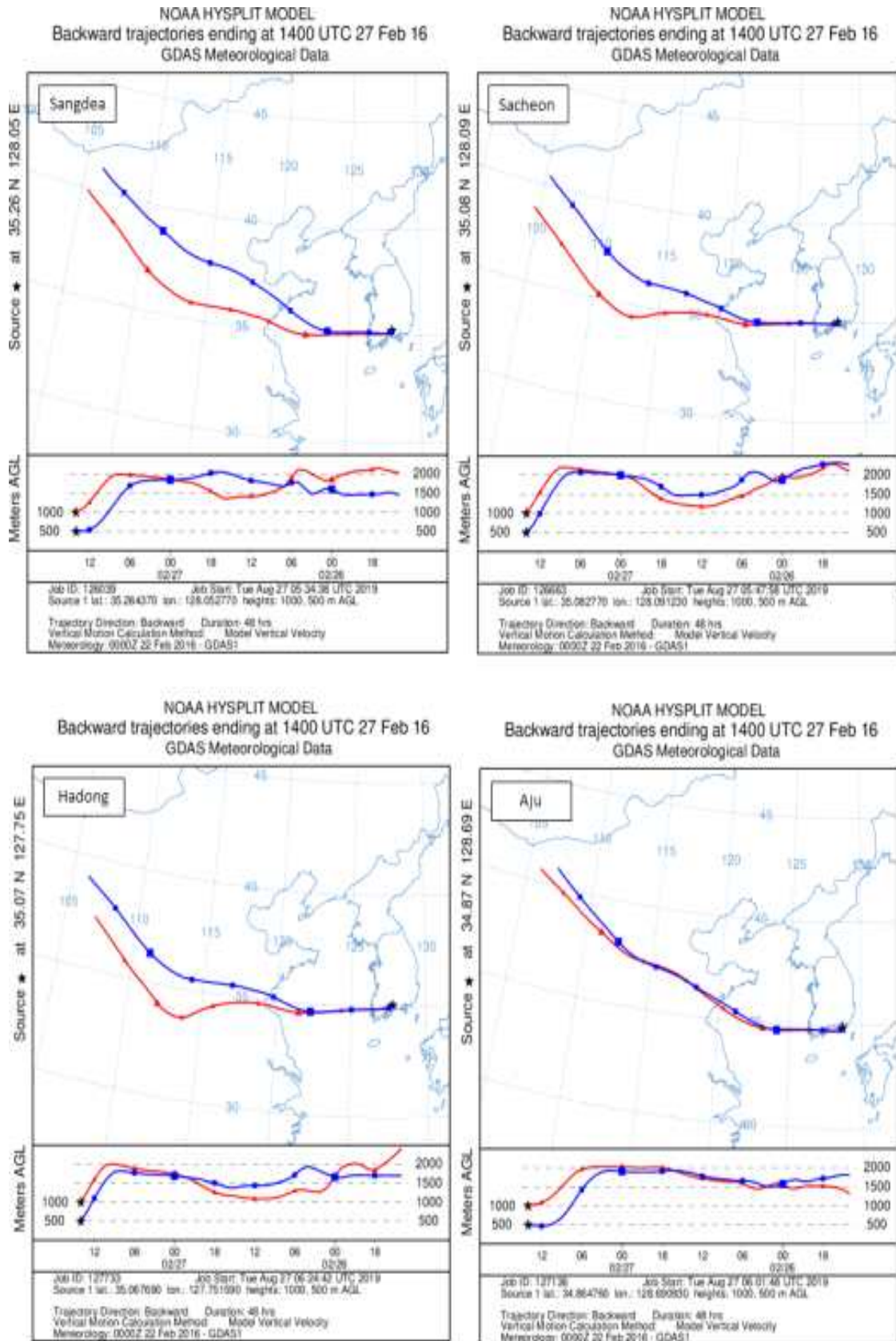


Fig. 8. Backward trajectories at four stations(Feb. 27, 2016, 23:00).



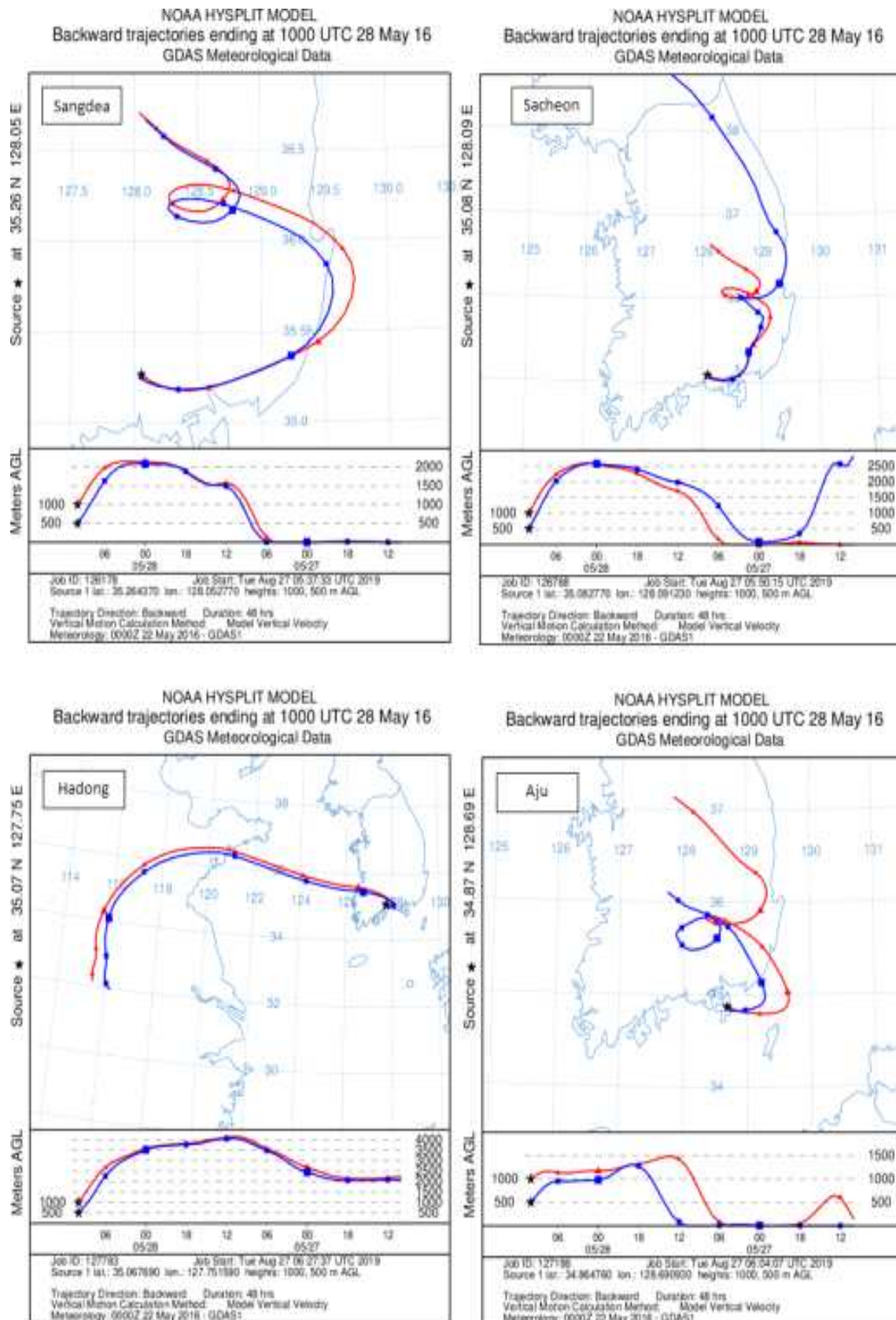


Fig. 9. Backward trajectories at four stations(May 28, 2016, 19:00).

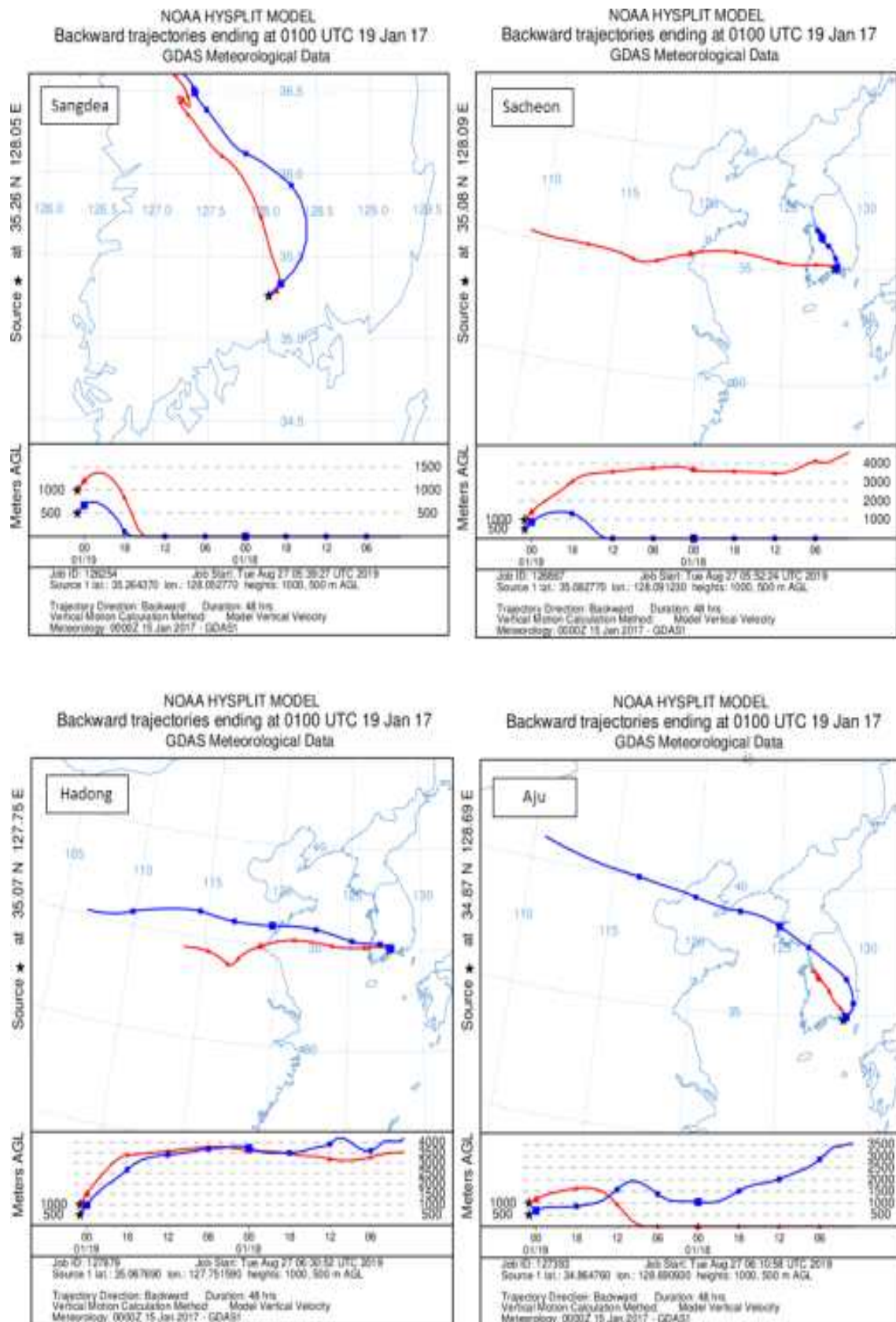


Fig. 10. Backward trajectories on at four stations(Jan. 19, 2017, 10:00).

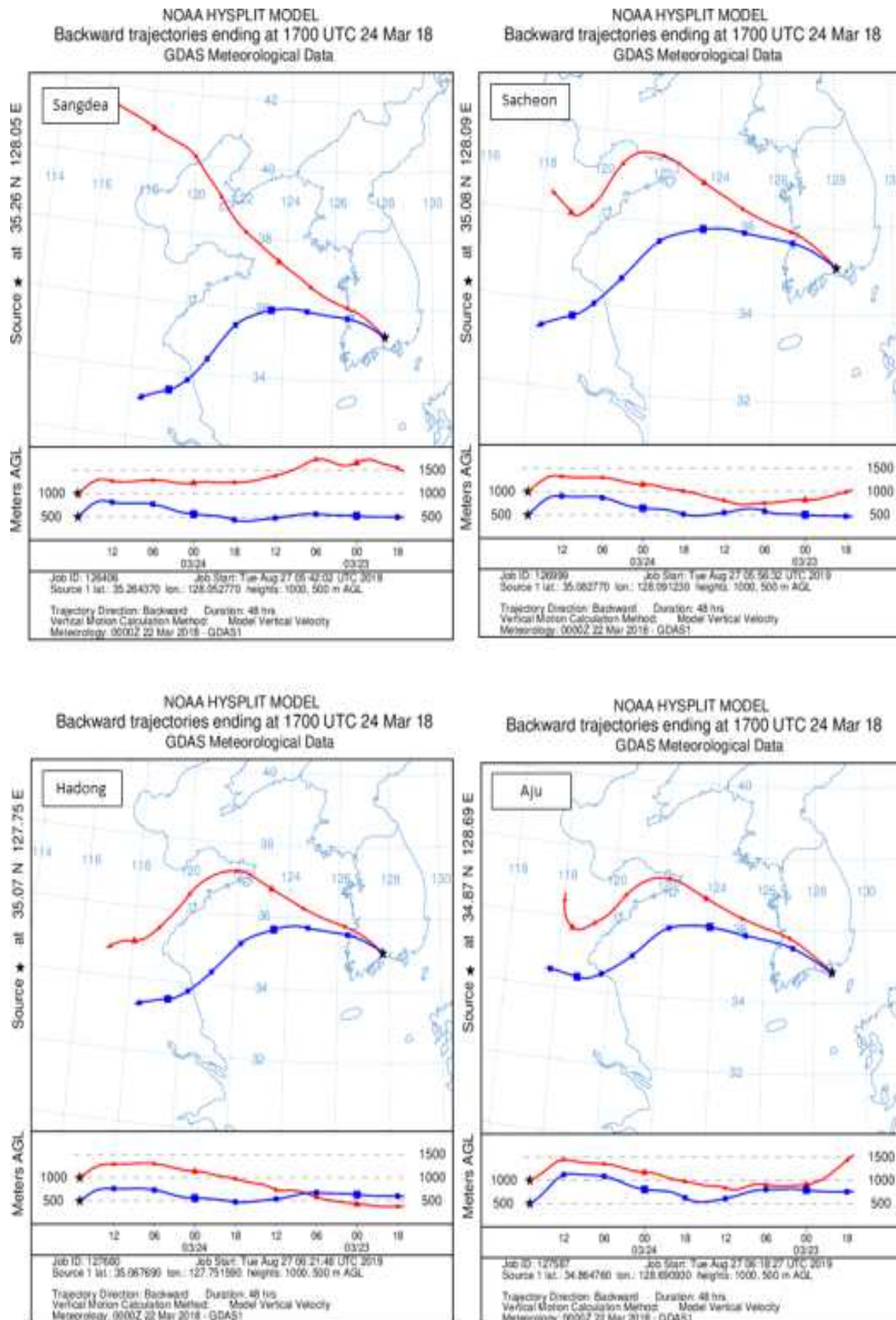


Fig. 11. Backward trajectories on at four stations(Mar. 25, 2018, 2:00).



## IV. 결론

경남 서부지역 초미세먼지 고농도 발생특성을 파악하기 위해 4개 측정소(상대동, 사천읍, 아주동, 하동읍)를 선택하여 2016 ~ 2018년 농도분포를 살펴보고, 기상요소와의 관계를 알아보기 위해 상대동 측정소 PM-2.5 일평균 자료를 예보 기준으로 ‘좋음’(15이하), ‘보통’(16 ~ 35), ‘나쁨’(36이상)단계로 구분하여 농도 구간별로 분산분석을 실시하였다. 4개 측정소의 2016 ~ 2018년 일평균 농도가  $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$  이상 일 때를 고농도 발생일로 정하고 HYSPLIT-4 모델을 이용하여 역궤적 분석을 하여 기류 시작점에 따라 5개 군집으로 분류하였다. 아울러 조사기간 중 각 측정소의 연도별 최고농도를 보인 4일을 선택하여 역궤적 기류분석을 하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 조사기간 2016 ~ 2018년에 4개 측정소 초미세먼지 연평균 농도가  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3 \sim 10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  감소하였다.
2. 연중 11월 ~ 6월 사이에 고농도가 발생했으며, 그 중 1월은 상대동이  $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 3월 아주동, 하동읍이  $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 최고 농도를 보였고, 7월 ~ 10월 사이에 저농도가 나타났다으며, 8월에 하동읍, 9월 및 10월에 사천읍이  $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 농도가

가장 낮았다. 하루 중은 오전 11시에 농도가 가장 높았다.

3. 초미세먼지 농도구간 별 기상요소와의 연관성 분석에서는 일 최고기온은 통계적으로 유의한 차이가 없고, 일평균 풍속, 일평균 상대습도, 일평균 현지기압은 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었다. 고농도 발생일에 일평균 풍속은 낮게 나타났고, 일평균 상대습도, 일평균 현지기압은 높게 나타났다.
4. 일평균 농도  $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$  이상의 고농도 발생일에 4개 측정소의 역궤적 기류를 군집 분석한 결과 중국지역에서 기원한 기류가 59%(하동읍) ~ 78%(아주동)를 차지하였고, 국내에서 정체되거나 서해상에서 유입되는, 상대적으로 이동경로가 짧은 기류가 24%(상대동) ~ 41%(하동읍)를 차지하였다. 아주동 측정소는 타 측정소와 달리 남해상에서 유입되는 기류가 22%를 차지하였다. 이는 PM-2.5 고농도 발생 시 기류이동에 따른 장거리 수송에 영향을 받는 것을 확인할 수 있으며 대기 정체에 의한 고농도 발생비율도 20% 이상을 차지하는 것으로 나타났다.
5. 상대동 측정소의 5개 군집 중 군집별 기상요소와의 연관성 분석

에서는 일평균 풍속은 군집 간 차이가 없었고, 일평균 기온은 상대적으로 이동거리가 길수록 낮게 나타났고, 일평균 상대습도는 대체적으로 이동거리가 짧을수록 높게 나타났다. 일평균 현지기압은 이동거리가 길수록 높게 나타났다.

6. 측정소별 최고 농도를 나타낸 일에 대해 4개 측정소 역계적 분석결과, 2016년 2월 27일과 2018년 3월 25일은 4개 측정소 모두 거의 유사한 이동경로를 나타내었고, 2016년 5월 28일과 2017년 1월 19일에는 측정소마다 다른 이동경로를 나타내었다.

## 감사의 글

본 연구는 경상남도보건환경연구원 대기환경연구부 대기질관리팀의 2019년 연구사업으로 환경부 국립환경과학원 환경분야 시험검사의 국제적합성 지원사업으로 수행되었습니다.

## V. 참 고 문 헌

1. 환경부 ‘미세먼지 도대체 뭘까?’, 2016.
2. 국립환경과학원 “대기환경연보 2018”
3. 전병일, 부산지역 지역 용도별 해안과 내륙의 PM10 농도 특성, 한국습지학회지, 11(2), 47-54, 2009
4. 박순애, 신현재, 한국의 초미세먼지 (PM2.5)의 영향요인 분석:풍향을 고려한 계절성 원인을 중심으로, 환경정책, 25(1), 227-248, 2017.
5. 도우곤, 정우식, PSCF 모델을 활용한 부산지역 PM10의 발생원 추정 한국환경과학회지 24(6), 793-806, 2015.
6. 정우식, 박종길, 이보람, 김은별 HYSPLIT 모델을 이용한 김해지역의 PM10 수송 경로 분석, 한국환경과학회지 22(8), 1043-1052, 2013
7. 최봉욱, 정종현, 최원준, 손병현, 오광중, 오염원 및 기상 조건에 따른 울산지역의 고농도 대기오염 분포 특성, 한국환경보건학회지, 32(4), 324-335, 2006.
8. 김민경, 정우식, 이화운, 도우곤, 조정구, 이귀옥, 부산지역 미세먼지 농도 분포에 따른 기상요소 분석, 한국환경과학회지 22(9), 1213-1226, 2013.
9. 신문기, 이충대, 하현섭, 최춘석, 김용희 기상인자가 미세먼지 농도에 미치는 영향, 한국대기환경학회지, 23(3), 322-331, 2007.
10. 전병일 부산지역 겨울철 고농도 미세먼지 발생일의 기상학적 특성, 한국환경과학회지, 21(7), 815-824, 2012.
11. 한승범, 송상근, 최유나 제주지역 오존 및 미세먼지 고동도일의 기류패턴에 따른 농도변화와 기상 조건 분석, 한국환경과학회지, 26(2), 183-200, 2017.
12. Air Resources Laboratory

13. 공부주, 한진석, 이민도, 이정영, 박진수, 기상인자가 미세먼지 농도에 미치는 영향 연구, 국립환경과학원, 2006.
14. 김지아, 진형아, 김철희, 부산 지역 미세먼지 농도의 시간변동 특성 및 기상인자 분석을 통한 먼지생성 해석, 한국환경과학회지, 16(10), 1157-1167, 2007.
15. 윤일회, 대기과학의 기본과 실습, 경북대학교 출판부, 2011.
16. 배민아, 김현철, 김병욱, 김순태, 대기오염물질의 이동경로상 물리화학적 변화 추적을 위한 Backward-tracking Model Analyzer 방법론 마련, 한국대기환경학회지, 33(3), 217-232, 2017.



## 02 : 환경 분야

### **합성고무바닥재 중금속 오염 실태조사**



# 합성고무바닥재 중금속 오염 실태조사

- 경상남도 공원 어린이놀이터 중심으로 -

류나정 · 구자근

생활환경팀

## Survey on children's playground surfaces made of synthetic rubber

Najung Ryu, Jageun Ku

Indoor Environment Research Team

### Abstract

Thousands of artificial synthetic rubber surfaces in Korea are used by millions of individuals, particularly children. The public and media have expressed concern that the chemicals in surfacing materials derived from recycled tires may be hazardous to human health. Although a few studies indicated potentially harmful human effects relating to skin, respiration and cancers, few studies have been conducted on this issue in Korea. The objective of this survey is to quantify metals contained in and to assess children's exposures to synthetic rubber surfaces. A hundred of playgrounds in the parks of Gyeongsangnam-do were selected. X-ray fluorescence (XRF) technique was used to evaluate the synthetic rubber surfaces pollution with metals such as As, Ba, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb and Zn. The highest median values were found for Zn (7,715 mg/kg), followed by Fe (1,714 mg/kg), Ba (418.5 mg/kg), Cu (160.5 mg/kg), Mn (59.0 mg/kg) and Cr (24.5 mg/kg). Lead, As, Hg and Cd were detected at very low levels. Evaluating dermal contact and ingestion (hand-to-mouth) exposure pathways was conducted according to US EPA guidelines. Results indicated that cancer risk levels for users of synthetic rubber fields were lower than  $10^{-6}$  and hazard quotients were lower than 1. Therefore, health risk from playing on children's playgrounds derived from synthetic rubber was negligible.

**Key words** : Synthetic rubber, Children's exposures, XRF, Risk assessment

## I. 서론

산업화에 따라 유해물질의 수는 해가 갈수록 증가하고 그에 따른 생활 환경 중 유해물질 노출로 인한 건강 피해도 증가하고 있어 국민들의 우려가 높아지고 있다.<sup>1)</sup> 일단 유해물질 노출로 인한 피해사례가 나타날 경우 개인과 가정, 사회에 끼치는 손해를 복구하기가 매우 어려우며 때로는 그 범위가 매우 크기 때문에 무엇보다 사전예방이 중요하다. 특히 어린이의 경우 신체의 모든 장기가 발달하는 중이므로 성인과는 달리 모든 장기들의 기능이 완전히 작동하지 않는다고 할 수 있으며, 화학물질에 동일 용량 노출되더라도 해독 작용이 낮을 수 있고 성인에 비해 체중 대비 호흡량이나 섭취량이 더 크기 때문에 동일한 상황이라도 성인에 비해 어린이가 더 위해할 수 있다.<sup>2)</sup>

유해물질 노출로부터 취약한 어린이들을 보호하기 위해 국가에서는 ‘환경보건법’을 제정하여 ‘어린이활동공간’ 내 환경유해물질을 관리하고 있다. 어린이들의 경우 사전예방이 더욱 절실하다는 것을 인식하고 국가적 차원에서 계획적으로 관리를 하는 것이 매우 바람직하다. 그러나 국내에서는 2000년 이후부터 어린이 활동공간 유해물질 조사를 시작하였으며 2014년에 이르러서야 환경안전 관리기준이 확립되어 그 역사가 길

지 않다.

어린이활동공간은 어린이들이 주로 생활하는 공간으로 어린이놀이터, 어린이집 보육실, 초등학교 교실, 도서관 등이 속한다. 과거 5년간 행정기관에서 교육, 홍보, 지도점검 등을 통해 친환경자재 사용을 촉구하고 있지만 대상시설이 많아 주로 어린이집, 유치원 등의 보육실 중심으로 관리가 이루어지고 있으며 상대적으로 어린이놀이터에 대한 관리는 미흡한 실정이다. 특히 어린이놀이터에 설치된 합성고무바닥재는 관리의 용이성, 색상 및 디자인의 다양성 등의 이유로 선호도가 높아 시공이 증가하고 있으나 지도점검 대상에서는 제외되는 경우가 많았다. 합성고무바닥재는 주로 폐타이어를 활용한 것으로 안전성에 대한 우려가 국내·외에서 제기되고 있음<sup>1~4)</sup>에도 불구하고 경남의 경우 오염실태 파악이나 위해성평가에 대한 자료가 전무한 실정이다.

따라서 본 조사에서는 경상남도 내 어린이놀이터 5,329개소 중 100개소를 선정하여 합성고무바닥재 중 중금속, 폼알데하이드 등 환경유해물질 실태조사를 수행하였으며, 바닥재 표면에서 비롯되는 중금속 노출량 산정을 통해 어린이에게 미칠 수 있는 인체 위해성 평가를 수행하였다. 표본조사를 통해 도내 어린이놀이기설의 바닥재에 대한 유해물질 정보를 개략적으로 파악하는데 그 의의가



있으며 도·시·군 등 행정기관에 조사 결과를 제공하여 지도점검 등의 행정업무를 수행하는데 도움이 되고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 조사대상 및 기간

#### 가. 조사대상

행정안전부 ‘어린이놀이시설 안전관리 시스템(<http://www.cps.go.kr>)’ 자료에 따르면, 2019년 9월 기준으로 어린이놀이시설이 전국에 74,719개소가 설치되어 있고 경상남도에 5,329개소가 설치되어 있다. 경상남도에는 주택단지(2,598), 도시공원(745), 어린이집(644), 유치원(531), 학교(500), 식품접객업소(156), 기타(155)의 순으로 어린이놀이시설이 많이 설치되어 있는 것으로 나타났다. 기타에는

놀이제공영업소, 종교시설, 대규모점포, 아영장 등의 시설이 있었다.

조사대상은 경상남도 소재 도시공원에 설치된 745개 어린이놀이시설 중 합성고무바닥재를 사용하고 있는 시설 중에서 임의적으로 100개소를 선정하였으며 바닥재 설치시기가 비슷한 곳은 가급적 제외하였다.

대상시설의 바닥재 설치년도와 본 조사시점을 고려하여 합성고무바닥재 노후화 정도를 그룹화하였으며 Table 1에 나타내었다. 설치된 시기가 2년 미만인 시설은 A그룹, 2년 이상 4년 미만 B그룹, 4년 이상 6년 미만 C그룹, 6년 이상 8년 미만 D그룹, 8년 이상 E그룹 총 5개로 분류하였다. 금속류 시료의 경우 합성고무바닥재 색상별로 모두 조사하였기 때문에 시설별 1 ~ 8개의 지점으로 총 380개 지점에 대해 측정하였고, 폼알데하이드 방산량 시료의 경우 각 시설별 1개, 총 100개 시료를 채취해 분석하였다.

Table 1. Samples of children's playground surfaces made of synthetic rubber

Group	Aging degree	Number of facilities	Number of samples for analysis	
			metals	formaldehyde
Total	-	100	380	100
A	<2 years	19	75	19
B	2 to <4 years	23	91	23
C	4 to <6 years	17	84	17
D	6 to <8 years	21	64	21
E	8 years ≤	20	66	20

## 나. 조사기간

조사기간은 2019년 7월부터 9월까지 약 3개월간 어린이놀이터 100개소에 대하여 시설별 각각 1회 현장조사를 통해 중금속 농도를 측정하고 각 시설별 1개의 시료를 채취하였다.

## 2. 조사방법

### 가. 중금속 오염도 조사

합성고무바닥재 중금속 오염도 조사는 ‘어린이활동공간 환경보건 업무지침’에 따라 실시하였다. 지침에 따르면 중금속 검사는 기본검사와 정밀검사로 구분할 수 있으며, 기본검사 결과 측정값이 환경안전관리기준의 70% 이상인 경우 정밀검사를 실시하도록 규정하고 있다.<sup>5)</sup> 기본검사는 중금속간이측정기(XRF)를 이용하여 현장에서 즉시 결과를 확인할 수 있어 많은 시료를 단시간에 조사할 수 있는 장점이 있다. 정밀검사는 환경유해인자공정시험기준에 따르며 전처리 및 기기분석법을 통해 보다 정확한 결과를 확인할 수 있다.

본 조사에서 기본검사를 위해 사용한 중금속간이측정기는 올림푸스 델타 프로페셔널(Delta professional) 모델로 X선 형광분석기이다. X선 형광분석은 비파괴 분석법으로써 기체를 제외한 모든 형태의 시료에 대하

여 매우 신속하게 원소를 분석할 수 있으며 주기율표상의 나트륨(Na)부터 우라늄(U)까지 82개 원소를 동시에 분석할 수 있는 장점이 있다. 본 조사에서는 기본검사 결과 환경안전관리기준의 70% 이상인 곳이 없어 정밀검사를 실시하지 않았으며 금속류의 모든 데이터는 X선 형광분석기를 사용하여 검사한 결과이다.

### 나. 폼알데하이드 방산량 조사

폼알데하이드 방산량 조사는 환경유해인자공정시험기준 ‘ES 12710.1 합성고무 바닥재 중 포름알데히드-자외선, 가시선 분광법’에 따라 실시하였다. 이 시험방법은 증류수 추출법으로 합성고무바닥재 상층 부분을 채취하여 잘게 잘라서 정제수에 넣어 40( $\pm$ 2)℃에서 추출한 후 발색시약으로 발색시킨 다음 흡광광도계를 이용하여 412 nm의 파장에서 흡광도를 측정하고 폼알데하이드를 정량하는 방법이다.<sup>6)</sup>

공정시험기준에서 제시하고 있는 정도보증/정도관리(QA/QC) 절차에 따라 방법검출한계, 정량한계, 정밀도 및 정확도 시험을 실시한 결과 모두 목표 값을 만족하였다. 정도보증/정도관리 결과 값은 Table 2에 나타내었다. 시험을 통해 구한 방법검출한계를 사용하여 0.61 mg/kg 이상인 경우 폼알데하이드가 검출된 것으로 간주하였다.

Table 2. Results of quality assurance (QA) and quality control (QC)

Check List	Desired Value	Result
Method Detection Limit	5 mg/kg	0.61 mg/kg
Limit of Quantification	20 mg/kg	1.95 mg/kg
Precision	$\leq 30\%$	0.3%
Accuracy	70 ~ 130%	97.3%
R <sup>2</sup>	>0.98	0.99994

### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 합성고무바닥재 환경유해인자

어린이놀이터 합성고무바닥재의 대부분은 자동차 페타이어 등을 재처리해 고무칩, 고무블럭, 고무매트 등의 다양한 형태와 색상으로 시공한다. 고무바닥재 생산에 사용되는 고무분말 중 약 40%는 국내에서 생산하고 있으며 약 60%는 중국, 말레이시아, 베트남 등지에서 수입하고 있는 것으로 보고되고 있으며, 약 20여 개의 국내 업체가 친환경 관련 인증을 받아 고무바닥재를 생산하고 있는 것으로 파악된다.<sup>1)</sup> 충격완화에 좋은 탄성력과 관리의 편리성 때문에 고무바닥재로 설치하는 놀이터는 매년 증가하는 추세이며 이와 함께 유해화학물질 노출로 인한 어린이의 잠재적 건강 위해성에 대한 관심도 고조되고 있다. 인조잔디에 사용된 고무분말의 인체유해성에 대해 2006년에 KBS에서 보도가 나간 이후 국

민들의 관심과 우려가 커지는 계기가 되었으며 국가적으로도 심각성을 인식하게 되었다. 당시 기준초과로 문제가 된 유해물질은 납(Pb)과 휘발성유기화합물(TVOCs), 다환방향족탄화수소(PAHs)이다. 이후에 국가적으로 기준을 강화하긴 하였으나 타이어에서 노출되는 화학물질에 대한 연구사례는 여전히 미미한 실정이다. 해외 연구사례를 보면 금속류 중 아연(Zn), 철(Fe)이 가장 많은 빈도로 높게 검출되었으며 카드뮴(Cd), 크롬(Cr), 납(Pd) 등의 중금속이 검출되었다고 보고하고 있다. 그리고 휘발성유기화합물(VOCs)과 반휘발성유기화합물(SVOCs)이 검출되었고 이중 벤젠, 다환방향족탄화수소(PAHs) 등 인체 발암성물질도 확인되었다고 보고하고 있다.<sup>1)</sup>

본 조사에서는 환경보건법에서 제시하고 있는 환경안전관리기준 항목인 납(Pb), 수은(Hg), 카드뮴(Cd), 6가 크롬(Cr<sup>+6</sup>) 등 중금속 4개 항목과 폼알데하이드 방산량을 중심으로 기

준초과 여부를 조사하고, 이에 덧붙여 비소(As), 크롬(Cr), 아연(Zn), 구리(Cu), 망간(Mn), 철(Fe), 바륨(Ba) 등 금속류 7개 항목을 추가로 조사하였다.

### 가. 중금속 오염도

환경보건법에서 어린이놀이터 합성 고무바닥재 환경안전관리기준으로 중금속 4개 항목을 제시하고 있으며, 납(Pb), 수은(Hg), 카드뮴(Cd), 6가 크롬(Cr<sup>+6</sup>)의 합이 0.1% (1,000 mg/kg) 이하를 만족하여야 한다. 도내 어린이놀이터 100개소에서 합성고무바닥재 380개 지점을 조사한 결과 납, 수은, 카드뮴, 6가 크롬의 합이 검출한계 이하에서 최대 54.8 mg/kg로 모두

기준 이하로 나타났다. 수은, 카드뮴, 6가 크롬은 극미량으로 조사되었고 검출된 지점은 대부분 납이 원인이었으나 납의 최대농도가 54.8 mg/kg으로 우려할 수준은 아니었다. 중금속 4개 항목의 총합 및 납(Pb)에 대한 기술통계량을 Table 3에 나타내었으며, 이는 검출한계 이하(Not detected)인 값은 제외하고 검출된(Detected) 데이터만을 사용하여 계산한 값이다. 380개 조사지점 중 약 91%는 중금속 4개 총합이 검출한계 이하이고 약 9%만이 환경안전관리 기준에서 제시하고 있는 중금속이 검출된 것임을 알 수 있다. 따라서 도내 어린이놀이터 100개소 합성고무바닥재의 중금속 오염도 표본조사

Table 3. Descriptive statistics of total concentration of 4 heavy metals and concentration of lead in rubber playground surfaces

Items		Total concentration of 4 heavy metals (Pb, Hg, Cd, Cr <sup>+6</sup> )	Lead (Pb)
Samples		380	380
Not detected		346	349
Detected		34	31
Detected samples	Min. (mg/kg)	2.3	3.2
	Max. (mg/kg)	54.8	54.8
	Ave. (mg/kg)	17.2	17.2
	Median (mg/kg)	9.0	9.5
	SD(Standard deviation)	17.0	16.6
	Kurtosis	-0.16	0.09
Skew		1.17	1.25

결과 조사대상 모두 환경안전관리기준 이하로 나타나 조사대상 시설 모두 환경안전관리기준을 충족한 것으로 나타났다.

하지만, 해외 연구사례를 보면 우리나라 환경안전관리기준에서 제시하지 않고 있는 아연이나, 철이 빈번하고 높게 나타난다고 한다.<sup>2)</sup> 따라서 기준에서 제시하지 않고 있는 금속류의 오염실태를 파악하기 위해 환경안전관리기준에 포함되어 있지 않은 비소(As), 크롬(Cr), 아연(Zn), 구리(Cu), 망간(Mn), 철(Fe), 바륨(Ba) 등 금속류 7개 항목을 추가로 조사하였다. 조사결과의 기술통계량을 Table 4에 나타내었으며, 검출한계

이하인 값은 제외하고 계산하였다. 최대값을 살펴보면 철(Fe) 118,042 mg/kg, 아연(Zn) 84,275 mg/kg, 바륨(Ba) 4,797 mg/kg, 구리(Cu) 2,053 mg/kg, 망간(Mn) 1,107 mg/kg, 크롬(Cr) 38.0 mg/kg, 비소(As) 12.4 mg/kg 순으로 높게 나타났다. 중앙값은 아연이 7,715 mg/kg으로 가장 높았으며 다음으로 철이 1,714 mg/kg이었고, 뒤를 이어 바륨, 구리, 망간, 크롬, 비소 순으로 높게 나타났다. 아연과 철이 빈번하고 높게 검출된다는 해외 연구사례와 같이 본 조사에서도 아연과 철은 380개 조사지점 모두에서 검출되었으며 그 농도도 매우 높게 나타났다.

Table 4. Descriptive statistics of analysis results of metals in rubber playground surfaces

Items		As	Cr	Zn	Cu	Mn	Ba	Fe
Samples		380	380	380	380	380	380	380
Not detected		1	366	0	134	103	320	0
Detected		379	14	380	246	277	60	380
Detected samples	Min. (mg/kg)	3.6	18.0	15	10.0	15.0	183	427
	Max. (mg/kg)	12.4	38.0	84,275	2,053	1,107	4,797	118,042
	Ave. (mg/kg)	6.0	25.3	13,303	279.6	81.8	730.2	8,169
	Median (mg/kg)	5.8	24.5	7,715	160.5	59.0	418.5	1,714
	SD	1.3	6.1	15,369	313.9	86.9	912.4	17,791
	Kurtosis	2.61	-0.37	4.35	5.12	71.56	8.67	11.11
Skew		1.08	0.63	1.95	1.93	6.84	2.94	3.35

## 나. 폼알데하이드 방산량

어린이놀이터 합성고무바닥재 환경 안전관리기준에서는 중금속 외에 폼알데하이드 방산량 기준을 제시하고 있으며 검사결과 75 mg/kg 이하를 만족하여야 한다. 폼알데하이드 방산량 검사를 위해 도내 어린이놀이터 100 개소에서 합성고무바닥재를 시설별

1개씩 총 100개 시료를 채취하여 분석하였다. 분석결과 폼알데하이드 방산량은 최소 0.99 mg/kg에서 최대 8.79 mg/kg로 나타났으며 100개 지점 모두 미량만 검출되어 환경안전관리 기준에 모두 적합한 것으로 나타났다. 조사결과의 기술통계량을 Table 5에 나타내었다.

Table 5. Descriptive statistics of analysis results of formaldehyde in rubber playground surfaces

Items	Formaldehyde
Samples	100
Not detected	0
Detected	100
Min. (mg/kg)	0.99
Max. (mg/kg)	8.79
Ave. (mg/kg)	2.89
Median (mg/kg)	2.48
SD	1.27
Kurtosis	8.88
Skew	2.55

## 2. 합성고무바닥재 노후도, 설치유형 및 색상과 유해물질 농도와의 관계

### 가. 합성고무바닥재 노후도와 유해물질과의 상관성

조사한 합성고무바닥재의 노후도는 설치년도를 기준으로 산정하였으며, 1년 이하를 노후도 1로 하여 1년 증가 시 노후도를 1씩 증가하였고 설치 후 8년을 초과한 시설의 노후도

는 9로 통일하였다. 노후도와 중금속 8개 항목 농도와의 상관성을 알아보기 위해 상관계수를 구한 결과 0.02(Cr) ~ 0.22(Fe)로 나타나 합성고무바닥재의 노후도와 중금속 농도와의 상관성은 낮은 것으로 나타났다. 노후도와 폼알데하이드 방산량의 상관계수는 0.31로 나타나 폼알데하이드 방산량 역시 노후도와의 상관성은 낮은 것으로 나타났다.

Table 6. Correlation coefficient between concentrations and aging degree

	Fe	Pb	As	Cu	Ba	Zn	Mn	Cr	Formaldehyde
Aging degree	0.22	0.17	0.16	0.11	0.10	0.08	0.06	0.02	0.31

#### 나. 합성고무바닥재 설치유형, 색상에 따른 중금속 농도 차이

유해물질이 합성고무바닥재 설치유형에 따라 차이가 있는지 알아보기 위해 T-검정을 실시하였다. T-검정을 위해 납, 비소, 구리, 아연 등 4개 항목 조사결과를 사용하였으며, 바닥재 유형은 고무칩을 활용하여 현장에서 바닥재를 설치하는 포설형(Wet-pour)과 타일모양의 고무블럭형(Tiles) 두 가지로 분류하였다. 조사지점은 포설형은 34개, 고무블럭은 346개로 두 집단 모두 관측수 30개 이상이므로 정규성을 만족한다고 판단하였다. F-검정을 통해 등분산성

을 확인한 결과 구리의 경우 등분산, 납, 비소, 아연은 이분산으로 나타나 신뢰구간 95%에서 등분산 T-검정과 이분산 T-검정을 수행하였으며 결과는 Table 7과 같다. T-검정 결과  $p$ -value가 모두 0.05보다 작아 귀무가설이 기각되어 납, 비소, 구리, 아연 등 중금속 4항목 모두 포설형과 고무블럭형 두 집단에서 평균은 차이가 있다고 볼 수 있다. 따라서 납, 비소, 구리, 아연 등 중금속 4항목의 농도는 바닥재 유형에 따라 다르며, 유형별 평균농도를 비교한 결과 포설형보다 고무블럭형에서 농도가 더 높은 것으로 나타났다.

Table 7. T-test results of metal concentration by types of rubber playground surfaces

Items	Pb		As		Cu		Zn	
Types	Tiles	Wet-pour	Tiles	Wet-pour	Tiles	Wet-pour	Tiles	Wet-pour
Ave.(mg/kg)	7.47	0.81	7.39	5.83	308.00	168.54	40,550	10,625
SD	16.86	4.16	1.54	1.20	281.01	283.41	18,457	12,105
Samples	34	346	34	346	34	346	34	346
n	33		37		378		36	
$p$ -value (two sided test)	0.028		0.000		0.006		0.000	

합성고무바닥재 색상에 따른 중금속 농도 차이를 알아보기 위해서 분산분석(ANOVA)을 실시하였다. 망간, 비소, 구리, 아연 등 4개 항목 조사결과를 사용하였으며, 바닥재 색상은 관측수가 30개 이상인 집단만을 선택하여 파란색, 노란색, 빨간색, 녹색, 혼합색 등 5가지 색을 선택하였다. 혼합색은 2가지 이상의 색상이 혼합된 것을 말한다. 샘플 개수는 파란색 33개, 노란색 37개, 빨간색 48개, 녹색 56개, 혼합색이 167개이다.

신뢰구간 95%에서 색상에 따른 중금속 농도에 대한 일원배치 분산분석(One-way ANOVA)을 실시한 결과는 Table 8과 같다. 망간의 경우  $p$ -value가 0.183으로 0.05보다 커서 귀무가설이 채택되어 합성고무바닥재의 색상에 따른 망간의 농도는 차이가 없는 것으로 나타났다. 비소, 구리, 아연 등 3항목은  $p$ -value가 0.05보다 작아 귀무가설이 기각되어 바닥재의 색상에 따라 농도에 차이가 있다고 할 수 있다. 따라서 비소,

Table 8. ANOVA results of metal concentration by colors of rubber playground surfaces

Items	Mn		As		Cu		Zn	
	Treatment	Error	Treatment	Error	Treatment	Error	Treatment	Error
SS	43,835	$2.4 \times 10^6$	23.3	574.3	$1.1 \times 10^7$	$1.8 \times 10^7$	$7.3 \times 10^9$	$6.3 \times 10^{10}$
df	4	336	4	336	4	336	4	336
MS	10,959	6,997	5.8	1.7	$2.9 \times 10^6$	54,173	$1.8 \times 10^8$	$1.9 \times 10^8$
F value	1.566		3.401		53.002		9.720	
p-value	0.183		0.010		0.000		0.000	
F statistic	2.399		2.399		2.399		2.399	

Color	N	Mn		As		Cu		Zn	
		Ave.	SD	Ave.	SD	Ave.	SD	Ave.	SD
Blue	33	75.97	46.65	5.84	0.96	616.03	486.41	4,247	3,607
Green	56	59.73	60.65	6.12	1.59	404.09	244.36	16,895	21,830
Red	48	60.63	69.90	6.58	1.37	28.54	51.09	17,368	19,891
Yellow	37	83.19	85.81	5.69	1.52	7.22	13.52	4,287	6,454
Mixed	167	50.32	97.70	5.89	1.19	137.33	208.52	14,201	10,037

Notes: Sum of squares (SS), Degrees of freedom (df), Mean of squares (MS)



구리, 아연 농도는 바닥재 색상에 따라 다르며, 색상별 평균농도를 비교한 결과 비소와 아연은 빨간색 바닥재에서 농도 값이 가장 높고 다음으로 녹색에서 높게 나타났으며, 구리는 파란색에서 가장 높고 다음으로 녹색에서 높게 나타났다.

### 3. 어린이 인체 위해성 평가

#### 가. 유해물질 노출경로 및 노출량 수식 결정

인체위해성 평가를 위해서 우선 놀이터에서 어린이가 화학물질에 얼마나 노출되는지를 산정해야 한다. 노출량 산정 방법은 ‘환경유해인자의 위해성 평가를 위한 절차와 방법 등에 관한 지침’<sup>7)</sup>, 2008년 환경부에서 발간한 ‘어린이활동공간 위해성 평가 사업-놀이터시설’<sup>2)</sup> 보고서 및 미국 환경보호청(Environmental Protection Agency, EPA) 자료를 주로 참고하였다. 어린이놀이터 합성고무바닥재로 인한 유해물질 노출 시나리오는 바닥재 표면에 접촉하여 피부로 노출

Table 9. Equation of exposure quantification for the dermal contact pathway

Pathway	Equation
Dermal contact	$DAD(\text{mg/kg} \cdot \text{day}) = \frac{C_{\text{rubber}} \times ABS \times AF \times SA \times EF \times ED \times CF}{BW \times AT}$ <p>Where :</p> <p>DAD = Dermal Absorbed Dose (mg/kg · day)</p> <p><math>C_{\text{rubber}}</math> = Concentration of the Chemical in Rubber (mg/kg)</p> <p>ABS = Dermal Absorption Fraction (unitless)</p> <p>AF = Rubber-to-Skin Adherence Factor (mg/cm<sup>2</sup>)</p> <p>SA = Skin Surface Area Exposed (cm<sup>2</sup>/exposure event)</p> <p>EF = Exposure Frequency (exposure event/year)</p> <p>ED = Exposure Duration (years)</p> <p>CF = Conversion Factor (10<sup>-6</sup>kg/mg)</p> <p>BW = Body Weight (kg)</p> <p>AT = Averaging Time(days)</p>

Table 10. Equation of exposure quantification for the incidental ingestion pathway

Pathway	Equation
Incidental ingestion (hand-to-mouth)	$\text{Oral intake}(\text{mg/kg} \cdot \text{day}) = \frac{C_{\text{rubber}} \times B \times \text{IR}_{\text{rubber}} \times \text{EF} \times \text{ED} \times \text{CF}}{\text{BW} \times \text{AT}}$ <p>Where :</p> <p><math>C_{\text{rubber}}</math> = Concentration of the Chemical in Rubber (mg/kg)</p> <p>B = Relative Bioaccessibility (the relative oral absorption fraction, unitless)</p> <p><math>\text{IR}_{\text{rubber}}</math> = Rubber Ingestion Rate (mg/day)</p> <p>EF = Exposure Frequency (days/year)</p> <p>ED = Exposure Duration (years)</p> <p>CF = Conversion Factor (<math>10^{-6}\text{kg/mg}</math>)</p> <p>BW = Body Weight (kg)</p> <p>AT = Averaging Time(days)</p>

되는 경로(Dermal intake), 표면과 접촉하여 오염된 손을 입으로 넣음으로써 오염물질에 노출되는 섭취 경로(Oral intake)로 결정하였다.

노출량 수식은 EPA, Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS)를 참고하였으며 Table 9, Table 10과 같다.<sup>8)</sup> 이 수식은 토양, 침전물, 먼지로부터 기인한 유해물질 노출량 산정 수식으로 Michael K. Peterson<sup>9)</sup> 등은 합성고무바닥재 위해성 평가를 위해 동일 수식을 사용하였다. 노출 수식 입력 계수의 값은 본 조사에서의 측정값과 문헌조사를 통해 기존

연구에서 사용한 값을 이용하였으며, 합성고무바닥재에 대한 조사값이 없을 경우 토양이나 먼지 중의 중금속 위해성 평가에 사용된 값을 사용하였다. 합성고무바닥재 유해물질 농도( $C_{\text{rubber}}$ )는 최악의 노출시나리오를 가정하여 측정값 중 최대값과, 이상치를 고려하여 95퍼센타일(95th percentile) 농도를 추가로 선택하였다. 입력 계수 일부는 EPA 가이드라인을 참고하였으며, 피부흡수비율(ABS)은 비소의 경우 0.03, 그 외 금속류는 0.001, 피부흡착계수(AF) 0.04  $\text{mg/cm}^2$ , 노출 피부면적

(SA) 2,373 cm<sup>2</sup>, 노출기간(ED)은 6 years, 시간 평균 노출기간(AT)은 발암성 평가인 경우는 평균 기대수명으로 70 years, 비발암성 평가인 경우는 노출기간(ED)과 동일하게 6 years로 하였다.<sup>8~10)</sup> 유해물질 섭취 후 생체이용률(B)은 보수적으로 접근하여 1.0 (100%)을 선택하였는데 참고로 토양이나 먼지 중의 납, 비소 등의 금속류에 대하여는 0.6 (60%)을 사용하기도 한다.<sup>7,9,11)</sup> 우리나라 사정에 더 부합하는 값이라 판단하여 일부 계수는 ‘어린이활동공간 위해성 평가사업-놀이터시설(2008, 환경부)’

보고서를 참고하였다. 고무바닥재 섭취량(IR<sub>rubber</sub>)은 토양섭취량으로 제시한 29.3 mg/day를 선택하였는데 참고로 EPA에서는 5세 이상 12세 이하의 경우 토양과 먼지 섭취량을 55 mg/day로 제시하고 있으며<sup>12)</sup> 일반적으로 합성고무바닥재 섭취량은 토양 및 먼지 섭취량보다 적은 것으로 알려져 있다. 일일 노출빈도(EF<sub>d</sub>)는 1.2 event/day, 연중 노출빈도(EF<sub>y</sub>)는 120 days/year, 어린이의 평균 체중(BW)은 17.1 kg으로 하였다.<sup>2,7)</sup> 사용한 노출 수식 입력 계수는 Table 11과 같다.

Table 11. Exposure parameters used for the health risk assessment through different exposure pathways for rubber playground surfaces

Parameter	Unit	Values for a child
Body Weight (BW)	kg	17.1
Dermal Absorption Fraction (ABS)	unitless	0.03 for As 0.001 for other metals
Exposure Duration (ED)	years	6
Exposure Frequency (EF)	exposure event/year or days/year	1.2 × 120 or 120
Relative Bioaccessibility (B)	unitless	1.0
Rubber Ingestion Rate (IR <sub>rubber</sub> )	mg/day	29.3
Rubber-to-Skin Adherence Factor (AF)	mg/cm <sup>2</sup>	0.04
Skin Surface Area Exposed (SA)	cm <sup>2</sup> /exposure event	2,373
Conversion Factor (CF)	kg/mg	10 <sup>-6</sup>
Averaging Time (AT)		
For carcinogens	days	365 × 70
For non-carcinogens		365 × 6

## 나. 유해물질 노출량 산정

앞서 결정된 노출량 수식에 유해물질 농도와 노출수식 계수들을 입력하여 합성고무바닥재 표면에 접촉하여 발생할 수 있는 피부접촉 노출량 및 섭취 노출량(hand-to-mouth)을 유해물질별로 산정하였다. 본 조사에서 측정한 유해물질 중 조사지점 모두에서 불검출로 나타난 카드뮴을 제외한 금속류 10종에 대하여 노출량을 산정하였으며 6가 크롬의 경우 총 크롬 측정결과에 1.8%를 곱하여 산출하였다.<sup>2)</sup> 평생일일평균노출량(Lifetime average daily dose, LADD) 산정 시에는 평균 전체 노출기간을 기대수명으로 가정하고, 일일평균노출량(Average daily dose, ADD) 산정 시에는 실제 노출기간으로 가정하기 때문에 평생일일평균노출량(LADD)에 비해서 전체적으로 일일평균노출량(ADD)값이 높게 나타난다. 유해물질별 상세 노출량은 Table 12와 같다.

최대 측정 농도를 기준하여 산정한 평생일일평균노출량 값을 보면 비소의 경우  $6.69 \times 10^{-7}$  mg/kg-d 수준으로 예측되었는데, 이는 어린이가 놀이터에서 합성고무바닥재 표면에 접촉하여 발생하는 피부접촉에 의한 노출 및 섭취 노출(hand-to-mouth)로 인하여 일일 평균 체중 1 kg 당 0.000000669 mg 정도로 비소에 노출된다는 것을 의미한다. 최대 농도를

기준으로 보면 평생일일평균노출량(LADD)은 납, 크롬, 비소, 6가 크롬의 경우 각각  $2.66 \times 10^{-6}$  mg/kg-d,  $1.84 \times 10^{-6}$  mg/kg-d,  $6.69 \times 10^{-7}$  mg/kg-d,  $3.32 \times 10^{-8}$  mg/kg-d로 나타났다. 일일평균노출량(ADD) 산정 결과를 보면 철, 아연, 바륨, 구리 등의 순으로 높게 나타났으며 철, 아연, 바륨, 구리의 경우 각각  $6.68 \times 10^{-2}$  mg/kg-d,  $4.77 \times 10^{-2}$  mg/kg-d,  $2.71 \times 10^{-3}$  mg/kg-d,  $1.16 \times 10^{-3}$  mg/kg-d로 나타났다.

고무바닥재 표면을 통한 노출경로별 기여율은 섭취 노출량이 피부접촉 노출량보다 기여율이 높은 것으로 조사되었으며, 비소의 경우 섭취 노출량이 89.5%, 그 외 금속류의 경우 99.6%인 것으로 나타났다.

## 다. 어린이 인체 위해도 결정

위해성 평가는 일반적으로 유해성 확인, 노출 평가, 용량-반응 평가, 위해도 결정 4단계를 통해 이루어진다.<sup>7,13~15)</sup>

유해성 확인단계에서는 유해성의 종류, 독성자료, 발암성 또는 비발암성, 인체분포 및 대사 등에 대한 사항을 포함하며 가장 중요한 요소 중의 하나는 평가대상물질의 발암성, 비발암성의 분류이다.

노출평가는 평가대상 물질에 대한 사람에의 환경 중 노출량을 추정하는 단계이다.

Table 12. Lifetime average daily dose (LADD) &amp; Average daily dose (ADD)

Item	C <sub>rubber</sub> (mg/kg)	LADD(mg/kg-day)			ADD(mg/kg-day)			
		Dermal	Oral (hand-to -mouth)	Total	Dermal	Oral (hand-to -mouth)	Total	
As	Max	12.4	6.98E-08	5.99E-07	6.69E-07	8.15E-07	6.99E-06	7.80E-06
	95th <sup>a)</sup>	8.3	4.68E-08	4.01E-07	4.48E-07	5.46E-07	4.68E-06	5.22E-06
Ba	Max	4,797.0	9.00E-07	2.32E-04	2.33E-04	1.05E-05	2.70E-03	2.71E-03
	95th	523.1	9.82E-08	2.53E-05	2.54E-05	1.15E-06	2.95E-04	2.96E-04
Cr	Max	38.0	7.13E-09	1.83E-06	1.84E-06	8.32E-08	2.14E-05	2.15E-05
	95th	ND <sup>b)</sup>	-	-	-	-	-	-
Cr <sup>+6</sup>	Max	0.7	1.28E-10	3.30E-08	3.32E-08	1.50E-09	3.85E-07	3.87E-07
	95th	ND	-	-	-	-	-	-
Cu	Max	2,053.0	3.85E-07	9.91E-05	9.95E-05	4.50E-06	1.16E-03	1.16E-03
	95th	738.6	1.39E-07	3.57E-05	3.58E-05	1.62E-06	4.16E-04	4.18E-04
Fe	Max	118,042.0	2.22E-05	5.70E-03	5.72E-03	2.59E-04	6.65E-02	6.68E-02
	95th	56,130.9	1.05E-05	2.71E-03	2.72E-03	1.23E-04	3.16E-02	3.17E-02
Hg	Max	45.8	8.60E-09	2.21E-06	2.22E-06	1.00E-07	2.58E-05	2.59E-05
	95th	ND	-	-	-	-	-	-
Mn	Max	1,107.0	2.08E-07	5.35E-05	5.37E-05	2.42E-06	6.24E-04	6.26E-04
	95th	182.3	3.42E-08	8.80E-06	8.83E-06	3.99E-07	1.03E-04	1.03E-04
Pb	Max	54.8	1.03E-08	2.65E-06	2.66E-06	1.20E-07	3.09E-05	3.10E-05
	95th	6.7	1.25E-09	3.22E-07	3.23E-07	1.46E-08	3.75E-06	3.77E-06
Zn	Max	84,275.0	1.58E-05	4.07E-03	4.09E-03	1.85E-04	4.75E-02	4.77E-02
	95th	43,797.9	8.22E-06	2.11E-03	2.12E-03	9.59E-05	2.47E-02	2.48E-02

Notes: <sup>a)</sup> 95th percentile, <sup>b)</sup> Not detected

용량-반응평가는 오염대상물질에 인체가 노출되었을 때 유해한 영향이 발생할 확률을 추정하는 과정으로 발암성 및 비발암성 물질에 대한 구분이 필요하다. 발암물질의 용량-반응평가는 발암잠재력(Carcinogenic slope factor, CSF)으로 평가하는데 이는 용량-반응 곡선에서 95% 상한값에 해당하는 기울기, 즉 평균 체중의 건강한 성인이 어떤 환경유해인자의 단위 노출량으로 오염된 환경매체를 평생 동안 접촉하였을 경우 그로 인해 발생할 수 있는 초과발암확률의 95% 상한값을 의미한다.<sup>7)</sup> 비발암물질의 용량-반응평가는 독성참고치(Reference dose, RfD)를 사용하는데 이것은 환경매체 등에 대한 노출을 통하여 환경유해인자가 인체에 유입되었을 경우 유해한 영향이 나타나지 않는다고 판단되는 노출량을 말한다.<sup>7,16)</sup>

마지막으로 위해도 결정단계에서는 용량-반응평가 및 노출평가 단계에서 도출된 정보를 종합하여 평가대상물질에 노출되어 유해영향이 발생할 확률을 결정한다. 발암물질의 경

우 노출평가 단계에서 추정된 인체 노출량(피부, 섭취 노출량 등)에 발암잠재력을 곱하여 초과발암위해도(Cancer risk)를 산출한다. 초과발암위해도란 독성역치가 없는 즉, 매우 낮은 농도에서도 유해한 반응이 발생할 가능성이 존재하는 환경유해인자에 평생 노출되었을 때 이로 인하여 추가적으로 암이 발생할 수 있는 확률을 말하며 미국 EPA와 우리나라 환경부에서는 위해성기준을  $10^{-6} \sim 10^{-4}$ 의 범위로 정하고 있다.<sup>7,8)</sup> 본 조사에서는 보수적으로 접근하여 초과발암위해도가  $10^{-6}$  이상인 경우 발암위해를 무시할만한 수준이 아닌 것으로 판정하고  $10^{-6}$  미만인 경우는 발암위해를 무시할만한 수준인 것으로 판정하였다. 비발암물질의 노출에 따른 위해도 결정은 독성참고치(RfD)와 노출수준을 비교하여 유해지수(Hazard quotient, HQ)를 산출하며 유해지수가 1 이상인 경우 위해 우려가 있고 1 미만인 경우는 위해 우려가 낮다고 판정한다. 초과발암위해도 및 유해지수 산정을 위해 사용한 수식은 다음과 같다.

$\begin{aligned} \text{초과발암위해도} &= \text{평생일일평균노출량}(\text{mg/kg} \cdot \text{day}) \times \text{발암잠재력}(\text{mg/kg} \cdot \text{day})^{-1} \\ \text{유해지수} &= \text{일일평균노출량}(\text{mg/kg} \cdot \text{day}) \div \text{독성참고치}(\text{mg/kg} \cdot \text{day}) \end{aligned}$
--

위해성 평가를 위해서 본 조사에서 실제 측정한 금속류 중 ‘위해성평가 실시 등의 대상이 되는 환경유해인자의 종류 및 위해성 목록(환경부고

시 제2019-125호)<sup>17)</sup>에 포함되어 있는 항목 중 전 조사지점에서 검출한 계 미만으로 나타난 카드뮴(Cd)을 제외한 비소(As), 크롬(Cr), 6가 크

롬( $\text{Cr}^{+6}$ ), 납(Pb), 수은(Hg), 아연(Zn), 구리(Cu), 망간(Mn), 바륨(Ba) 등 금속류 9개 항목을 선택하였다. 발암성 및 비발암성 물질 분류는 WHO (World Health Organization) IARC (International Agency for

Research on Cancer) 자료를 참고하여 비소, 크롬, 6가 크롬, 납은 발암성물질로, 바륨, 구리, 철, 수은, 망간, 아연은 비발암성물질로 분류하였다.

Table 13. Reference doses (RfD) and carcinogenic slope factors (CSF) for the different heavy metals

Metals	Classification by IARC <sup>a)</sup>	RfD(mg/kg · day)		CSF(mg/kg · day) <sup>-1</sup>	
		Dermal	Oral	Dermal	Oral
As	1	3.0E-04	3.0E-04	1.5E+00	1.5E+00
Cr	1	—	1.5	—	0.5
$\text{Cr}^{+6}$	1	—	3.0E-03	—	5.0E-01
Pb	2B	—	3.5E-03	—	8.5E-03
Ba	—	—	7.0E-02	—	—
Cu	—	2.4E-02	3.7E-02	—	—
Fe	—	—	0.8	—	—
Hg	3	3.0E-04	3.0E-04	—	—
Mn	—	1.84E-03	4.6E-02		
Zn	—	7.5E-02	3.0E-01	—	8.5E-03

Notes: <sup>a)</sup> International Agency for Research on Cancer, group 1 chemicals are definite human carcinogens, group 2B chemicals are possible human carcinogens, and group 3 chemicals are non-carcinogenic

독성참고치(RfD) 및 발암잠재력(CSF)은 미국 EPA IRIS (Intergrated Risk Information System) 자료 및 WHO 자료를 참고하였으며 Table 13에 정리하였다.<sup>18~22)</sup>

앞서 금속류 최대 측정농도를 기준하여 산정한 노출량과 독성참고치 및 발암잠재력을 이용하여 위해도를 구하였으며 Table 14에 결과값을 나

타내었다. EPA나 WHO와 같은 공인된 기관에서 발암잠재력, 독성참고치를 제공하지 않는 항목인 경우 위해도를 산정하지 않았다. 산정된 초과발암위해도(Cancer risk)는 모두  $10^{-6}$  미만으로 나타나 발암위해를 무시할만한 수준인 것으로 조사되었으며, 비발암 독성 유해지수(HQ) 역시 모두 1 미만으로 위해 우려가 낮은

것으로 나타났다. 따라서 도내 어린이 놀이터에 설치된 합성고무바닥재로부터 기인한 중금속 노출에 따른 어린이 인체 위해성은 우려할만한 수준이 아닌 것으로 확인하였다.

Table 14. Cancer risk and non-cancer hazard by pathway for rubber fields

Metals	Cancer risk		Hazard quotient	
	Dermal	Oral	Dermal	Oral
As	1.05E-07	8.99E-07	2.72E-03	2.33E-02
Ba	-	-	-	3.86E-02
Cr	-	9.15E-07	-	1.43E-05
Cr <sup>+6</sup>	-	1.65E-08	-	1.28E-04
Cu	-	-	1.88E-04	3.14E-02
Fe	-	-	-	8.31E-02
Hg	-	-	3.33E-04	8.60E-02
Mn	-	-	1.32E-03	1.36E-02
Pb	-	-	-	8.83E-03
Zn	-	-	2.47E-03	1.58E-01

#### IV. 결 론

본 조사에서는 합성고무바닥재가 설치된 도내 어린이놀이시설 100개소를 선정하여 중금속, 폼알데하이드, 방산량 등 환경유해물질을 조사하고 어린이 인체 위해성 평가를 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 어린이놀이터 100개소 380개 지점에 대해 중금속 농도를 측정한 결과 납, 수은, 카드뮴, 6가 크롬 등 중금속 4개 항목의 합은 불검출에

서 최대 54.8 mg/kg로 모두 환경 안전관리기준 이하로 나타났다.

2. 환경관리기준 항목 외 비소, 크롬, 아연, 철, 구리, 망간, 바륨 등 중금속 7종을 추가 조사한 결과 해외 연구사례에서 보고된 것과 같이 아연, 철이 높은 농도로 나타났으며 비소, 크롬 같은 경우는 낮은 농도로 검출되었다. 중앙값을 살펴보면 아연이 7,715 mg/kg으로 가장 높았으며 다음으로 철이 1,714 mg/kg이고, 뒤를 이어 바륨,



구리, 망간, 크롬, 비소 순으로 높게 나타났다.

3. 어린이놀이터 100개소에 대한 폼알데하이드 방산량 분석결과 최대 8.79 mg/kg로 나타나 조사대상 모두 환경안전관리기준 이하인 것으로 확인하였다.

4. 바닥재 노후도와 중금속 농도와의 상관성은 매우 낮은 것으로 나타났다며, 상관성계수는 철(Fe)이 0.22로 가장 높게 나타났다. 바닥재 노후도와 폼알데하이드 방산량과의 상관성도 낮은 것으로 나타났으며 상관성 계수는 0.31이었다.

5. T-검정을 통해 바닥재 설치유형에 따라 중금속 농도가 차이를 보이는지 분석한 결과 납, 비소, 구리, 아연의 경우 유의미한 차이가 있었으며, 유형별 평균농도를 비교한 결과 포설형보다 고무블럭형에서 중금속 농도가 더 높은 것으로 나타났다.

6. 분산분석(ANOVA)을 통해 바닥재 색상에 따른 중금속 농도 차이가 있는지 분석한 결과 비소, 구리, 아연의 경우 색상에 따라 농도 차이를 보였으며 망간의 경우엔 농도 차이를 보이지 않았다. 따라서 비소, 구리, 아연 농도는 바닥재 색상에 따라 다르며, 색상별

평균농도 비교 결과 비소와 아연은 빨간색 바닥재에서 농도 값이 가장 높고 다음으로 녹색에서 높게 나타났으며, 구리는 파란색에서 가장 높고 다음으로 녹색에서 높게 나타났다.

7. 섭취 노출량(hand-to-mouth)과 피부접촉 노출량만을 고려하여 고무바닥재 표면을 통한 노출량을 산정한 결과 납, 크롬, 비소, 6가 크롬의 경우 평생일일평균 노출량(LADD)이 각각  $2.66 \times 10^{-6}$  mg/kg-d,  $1.84 \times 10^{-6}$  mg/kg-d,  $6.69 \times 10^{-7}$  mg/kg-d,  $3.32 \times 10^{-8}$  mg/kg-d로 조사되었다.

8. 고무바닥재 표면을 통한 전체 노출량 중 섭취 노출량(hand-to-mouth)이 피부접촉 노출량보다 기여율이 높은 것으로 조사되었으며, 비소의 경우 섭취노출량이 89.5%, 그 외 금속류의 경우 99.6%로 나타났다.

9. 합성고무바닥재에 의한 중금속 위해도를 산정한 결과 초과발암위해도(Cancer risk)는  $10^{-6}$  미만으로 나타나 발암위해를 무시할만한 수준인 것으로 조사되었으며, 비발암 독성 유해지수(HQ) 역시 모두 1 미만으로 조사되어 위해 우려가 낮은 것으로 나타났다. 따라서 도내 어린이놀이터 합성고무바닥재

표면으로부터 중금속 노출에 의한 어린이 인체 위해 가능성은 미미한 것으로 조사되었다.

## 감사의 글

본 연구는 경상남도보건환경연구원 대기환경연구부 대기질관리팀의 2019년 연구사업으로 환경부 국립환경과학원 환경분야 시험검사의 국제적합성 지원사업으로 수행되었습니다.

## V. 참 고 문 헌

1. 어린이놀이터 바닥재 환경유해인자 조사 및 개선방안 마련, 환경부, 2008.
2. 어린이 활동공간 위해성 평가사업 -놀이터 시설을 중심으로, 환경부, 2008.
3. Summary of Playground Surfacing Focus Groups, Consumer Product Safety Commission(CPSC), 2018.
4. Federal Research Action Plan on Recycled Tire Crumb Used on Playing Fields and Playgrounds, U.S. Environmental Protection Agency, 2016.
5. 어린이활동공간 환경보건 업무지침, 환경부, 2018.
6. 환경유해인자공정시험기준, 국립환경과학원, 2018.
7. 환경유해인자의 위해성 평가를 위한 절차와 방법 등에 관한 지침, 환경부, 2016.
8. Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I, U.S. Environmental Protection Agency, 1989.
9. Michael K. Peterson, Julie C. Lemay, Sara Pacheco Shubin, Robyn L. Prueitt, Comprehensive multipathway risk assessment of chemicals associated with recycled crumb rubber in synthetic turf fields, Environmental Research, 2018.
10. Guidelines for Human Exposure Assessment, U.S. Environmental Protection Agency, 2016.
11. Guidance for Evaluating the Oral Bioavailability of Metals in Soils for Use in Human Health Risk Assessment, U.S. Environmental Protection Agency, 2007.
12. Update for Chapter 5 of the Exposure Factors Handbook, Soil and Dust Ingestion, U.S. Environmental Protection Agency, 2017.
13. 화학물질 배출량 정보를 이용한 초기위해성평가 해설서, 환경부, 2010.
14. 화학물질 위해성평가의 구체적 방법 등에 관한 규정, 국립환경과학원, 2014.
15. 토양오염물질 위해성평가 지침, 환경부, 2018.

16. 손종렬, 이철민, 화학물질의 위해성 평가, 대한환경공학회지, 2007.
17. 위해성평가 실시 등의 대상이 되는 환경유해인자의 종류 및 유해성 목록, 환경부, 2019.
18. Framework for Determining a Mutagenic Mode of Action for Carcinogenicity: Review Draft, U.S. Environmental Protection Agency, 2007.
19. Caspah Kamunda, Manny Mathuthu, Morgan Madhuku. Health Risk Assessment of Heavy Metals in Soils from Witwatersrand Gold Mining Basin, South Africa, International Journal of Environmental Research and Public Health, 2016.
20. The Framework for the Management of Contaminated Land, South Africa, Department of Environmental Affairs, 2010.
21. Human Health Evaluation Manual, Supplemental Guidance: Standard Default Exposure Factors, U.S. Environmental Protection Agency, 1991.
22. Luo, X.S. Ding, J. Xu, B, Incorporating bioaccessibility into human health risk assessments of heavy metals in urban park soils, Sci. Total Environ, 2012.



## 부 록

일 반 현 황  
연 구 사 업 실 적  
역 대 원 장 명 단  
연 구 원 직 원 명 단





## 일 반 현 황



### 1. 연 혁

- 1945. 10. 1. 경상남도위생시험연구소 설치(부산시 초량동)
- 1950. 10. 5. 세균검사소 신설
- 1951. 10. 8. 세균검사소를 경상남도위생시험소에 병합
- 1964. 3. 16. 청사이전(부산시 초량동 → 부산시 충무동)
- 1975. 12. 15. 경상남도보건연구소로 개칭(법률 제2858호)
- 1981. 7. 10. 청사 신축이전(부산시 충무동 → 마산시 봉암동)
- 1987. 12. 31. 경상남도보건환경연구소로 확대개편(경상남도조례 제1691호)
- 1991. 5. 4. 직제개편 수질검사와 신설(경상남도조례 제1876호)
- 1991. 5. 28. 경상남도보건환경연구원으로 개칭(법률 제4356호)
- 1991. 11. 2. 기기분석과를 해양조사과로 개칭(경상남도규칙 제1945호)
- 1993. 5. 24. 청사 신축이전(마산시 봉암동 → 창원시 사림동)
- 1994. 12. 31. 경상남도 직속기관으로 승격(대통령령 제14480호)
- 1997. 7. 10. 환경조사과, 해양조사과를 각각 대기환경조사과, 수질환경조사과로 개칭(경상남도규칙 제2368호)
- 1998. 8. 31. 직제개편 통·폐합 11개과 → 9개과(경상남도조례 제2622호)
- 2000. 6. 10. 직제개편 통·폐합 9개과 → 8개과(경상남도조례 제2778호)
- 2003. 12. 11. 직제개편 대기관측과 신설(경상남도조례 제3011호)
- 2004. 11. 18. 약품분석과를 위생화학과로 개칭(경상남도규칙 제2710호)
- 2008. 7. 3. 산업대기과와 대기관측과를 대기환경과로 통·폐합(경상남도규칙 제2830호)
- 2009. 10. 15. 직제개편 농산물검사와 신설(경상남도규칙 제2886호)
- 2010. 4. 30. 직제개편 생활환경과 신설(경상남도규칙 제2909호)
- 2012. 1. 2. 방사성물질 검사실 설치·운영
- 2012. 10. 19. 생물안전3등급(BL3) 연구시설 허가
- 2015. 1. 1. 직제개편 통·폐합 1課 2部 10科 → 1課 2科 6팀(경상남도 행정기구 설치 조례 시행규칙 제3081호)
- 2015. 12. 17. 청사 이전(경남도청 서부청사(진주시 초전동))
- 2016. 10. 13. 보건연구과 미생물팀 신설
- 2018. 1. 2. 환경연구과 대기질통합관리팀 신설
- 2018. 2. 27. 동부지소 개소(김해시 주촌면 중소기업비즈니스센터 3층)
- 2018. 4. 9. 직제개편 1課 2科 6팀 → 1課 2部 12팀(경상남도 행정기구 설치 조례 시행규칙 제3196호)
- 2019. 1. 2. 직제개편 1課 2部 12팀 → 1課 3部 12팀(경상남도 행정기구 설치 조례 시행규칙 제3212호)
- 2020. 1. 2. 보건연구부 창원내서농산물검사소 신설(경상남도규칙 제3240호)
- 2020. 7. 1. 직제개편 1課 3部 12팀 → 1課 4部 14팀(경상남도 행정기구 설치 조례 시행규칙 제3212호)

## 2. 기구 및 정·현원

◦ 기구 : 1課 2담당, 4部 14팀



※ 동부지소 개소(' 18. 2. 27.)

◦ 정·현원(정원104명 / 현원94명)

(2020. 9월말 기준)

구분	총계	총 무 과						감염병연구부			식약품연구부			물환경연구부			대기환경연구부		
		소 계	원장 연구관	일 반 직				소 계	연구직		소 계	연구직		소 계	연구직		소 계	연구직	
				계	4급	5급	6급이하		연구관	연구사		연구관	연구사		연구관	연구사		연구관	연구사
정원	104	14	1	13	1	2	10	19	4	15	23	5	18	27	5	22	21	4	17
현원	94	11	1	9	1	2	7	15	4	11	21	5	16	27	5	22	20	4	16

※ 휴직4명, 무기계약 근로자 14명 별도

## 3. 예 산

(당초예산기준, 단위: 백만원)

구 분	세 입			세 출					
	계	세외수입	국고보조금등	계	총무과	감염병연구부	식약품연구부	물환경연구부	대기환경연구부
2020년	2,022	428	1,594	14,323	8,281	899	665	865	3,613
2019년	1,675	429	1,246	12,507	7,443	969	469	1,077	2,549
증 감 (증감률)	347 (20.7%)	△1 (△0.2%)	348 (27.9%)	1,816 (14.5%)	838 (11.3%)	△70 (△7.2%)	196 (41.8%)	△212 (△19.7%)	1,064 (41.7%)

※ 사업예산 백만원(%), 행정운영경비 백만원(%)

－ 행정운영경비 : 인건비 백만원(%), 공공운영비 및 사무관리비 등 백만원(%)



## 4. 주요기능 및 업무

### 총무분야

- ❖ 인사, 복무, 기록물, 공인, 보안업무, 상시학습 관리, 동부지소 관리
- ❖ 예산결산, 보수, 지출, 공유재산 및 물품관리

#### ☐ 총무담당

- 인사, 복무, 예산편성, 공인·보안업무, 상시학습 관리, 동부지소 관리 등

#### ☐ 경리담당

- 예산결산, 보수, 지출, 공유재산 및 물품관리 등

### 감염병분야

- ❖ 법정감염병 및 항생제 내성균 등 확인진단 검사
- ❖ 감염병 유행예측 감시망 운영, 식중독 예방 및 원인균 검사
- ❖ 식품, 의약품, 화장품 등의 위생 미생물 검사
- ❖ 감염병 분야 조사·연구 사업

#### ☐ 감염병진단팀

- 집단 감염병 발생 실시간 검사체계 운영 및 지역사회 감염병 역학조사 지원
- 후천성면역결핍증 등 법정감염병 및 항생제 내성균 검사
- 생물테러 대응 실험실 네트워크 운영 및 고위험병원체 검사·조사

#### ☐ 질병조사팀

- 수인성·식품매개 설사질환, 급성호흡기 감염증 및 신종 해외유입 감염병 감시
- 감염병 매개곤충 및 숙주동물, 집단발생 감염병 원인 조사
- 환경수계 비브리오팀속 분포 조사 및 레지오넬라균 검사
- 일본뇌염 등 모기매개 감염병 유행예측 조사

#### ☐ 식중독검사팀

- 식중독균 추적관리 및 식품미생물 오염도 실태조사
- 식품미생물 등 시험·검사의 품질관리에 관한 사항
- 의약품, 식품, 화장품, 위생용품 등의 미생물 검사

## 식약품분야

- ❖ 식품 등의 기준규격 검사 및 농수산물 안전성 검사
- ❖ 식품 및 환경 중의 방사성 물질 검사와 조사평가
- ❖ 의약품·화장품 등 품질 검사 및 유해물질 조사
- ❖ 공영도매시장 반입농산물 잔류농약 안전성 검사 및 모니터링 사업

### ☐ 식품분석팀

- 식품·건강기능식품 등의 규격기준 검사
- 식품첨가물 영양성분 등의 규격기준 검사
- 유전자 변형 식품(GMO) 검사

### ☐ 위생화학팀

- 의약품·항정신성의약품·의약외품·화장품·위생용품 검사
- 식품 및 환경 시료의 방사성물질 조사평가
- 곰팡이독소 및 잔류동물용 의약품 검사
- 과학체험학습 프로그램 운영

### ☐ 창원내서농산물검사소

- 경매 전·유통업체 판매 전 농산물 잔류농약 신속검사
- 공영도매시장 반입농산물 잔류농약 및 유해중금속 안전성 검사
- 검사소 시험·검사기관 품질관리에 관한 사항

### ☐ 진주농산물검사소

- 서부경남지역 유통·수출·건조 농산물 잔류농약 검사
- 서부경남 지역특화 및 학교급식 식재료 농산물 안전성 검사
- 서부경남 농산물 및 건조농산물의 중금속 등 유해물질 검사
- 서부경남 잔류농약 데이터베이스 구축 및 시험·검사기관 품질관리

## 물 환경 분야

- ❖ 하천·호소·해양 등 수계환경 오염도 조사연구
- ❖ 사업장 폐수·공공하수·침출수·생태독성 등 검사
- ❖ 지하수·수돗물·약수터수 등 먹는물 검사
- ❖ 토양오염 실태조사, 폐기물 유해물질 및 골프장 농약잔류량 검사
- ❖ 수질 오염도 및 물환경의 안전성 확보를 위한 연구·조사 사업
- ❖ 물환경 분야 시험분석 등에 관한 품질시스템 구축 및 정도관리

### ☐ 수계조사팀

- 하천, 호소, 해양 등 공공수역의 수질환경 조사 및 연구
- 낙동강 수계 하천수질측정망 호소수질측정망 운영
- 해수욕장 환경 및 수계 수생태 환경 조사
- 물환경 분야 시험·분석에 관한 품질 및 정도관리 총괄

### ☐ 폐수분석팀

- 폐수배출시설 오염도 검사
- 오수·하수 및 가축분뇨 유해물질 조사연구
- 매립시설 침출수의 오염실태 조사
- 환경기초시설 실험실 요원 기술교육
- 수질 분야 시험·분석에 관한 품질시스템 구축 및 정도관리

### ☐ 음용수질팀

- 상수도 원수와 정수·먹는샘물·먹는물공동시설 등 먹는물 수질검사
- 지하수 수질측정망 운영 및 민방위 비상급수시설 수질검사
- 온천수·수영장·물놀이 유원시설·수경시설 수질검사
- 정수장 수질검사 요원 기술교육
- 먹는물 분야 시험·분석에 관한 품질시스템 구축 및 정도관리

### ☐ 토양화학팀

- 폐기물·토양 등의 유해물질 및 골프장 잔류농약 검사
- 토양 오염실태 조사
- 폐기물 및 토양의 안전성 평가 등 연구·조사 사업
- 토양·폐기물 분야 시험·분석에 관한 품질시스템 구축 및 정도관리

### 대기환경분야

- ❖ 사업장 대기배출시설, 유류 중 황함유량 등 대기오염물질 조사
- ❖ 악취 배출사업장의 악취오염도와 비산먼지 배출사업장 비산먼지 검사
- ❖ 대기오염측정망 및 대기오염 경보제 운영
- ❖ 다중이용시설 및 신축공동주택 실내공기 오염도 조사
- ❖ 어린이활동공간 유해인자 및 작업장 비산석면 검사
- ❖ 대기 오염도 및 대기질 개선을 위한 연구·조사 사업
- ❖ 대기환경 분야 시험분석 등에 관한 품질시스템 구축 및 정도관리

#### ☐ 대기조사팀

- 대기오염물질 배출사업장 대기오염물질 검사
- 악취 배출사업장의 악취오염도(복합악취, 지정악취) 검사
- 유류 중 황함유량, 비산먼지, 소음·진동 검사
- 사업장 대기 분야 시험·분석에 관한 품질시스템 구축 및 정도관리

#### ☐ 대기질관리팀

- 도시대기·도로변·이동측정차량 등 대기오염측정망 운영
- 대도시 및 산업단지 주변 대기중금속 측정망 운영
- 대기오염측정망 신설 및 이전
- 대기오염(미세먼지, 오존) 예보 및 경보제 운영
- 환경대기 분야 시험·분석에 관한 품질시스템 구축 및 정도관리

#### ☐ 생활환경팀

- 다중이용시설·신축공동주택 실내공기질 검사
- 어린이활동공간 환경유해인자에 대한 조사·연구
- 석면 해체·제거 작업장 비산먼지 검사
- 실내공기·환경유해인자·비산석면 분야 시험·분석에 관한 품질시스템 구축 및 정도관리



## 연구사업실적



연도	연구과제명	추진부서
1984 (2건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ VDRL 및 RPR Card Test를 이용한 매독혈청반응조사 연구</li> <li>◦ 채소류 및 그 재배토양에 함유된 중금속 조사연구</li> </ul>	미생물과 식품분석과
1985 (1건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 경남에서 분리된 <i>Salmonella</i> 균속중의 <i>Salmonella Typhi</i>에 관한 연구</li> </ul>	미생물과
1986 (6건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ HPLC를 이용한 살균살충제의 동시분리 정량에 관한 연구</li> <li>◦ 콩나물중의 중금속 함유량에 대한 조사연구</li> <li>◦ <i>Vibrio</i>균속중 <i>Vibrio parahemolyticus</i> 및 <i>Vibrio vulnificus</i>분포에 관한 연구조사</li> <li>◦ 도시교통 소음실태와 대책</li> <li>◦ 창원공단 남천수질 일간변화에 대한 조사연구</li> <li>◦ 경상남도 주요하천 수질 오염도 조사연구</li> </ul>	약품분석과 식품분석과 미생물과 대기보전과 수질보전과 수질보전과
1987 (4건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ <i>Vibrio</i>균속중 <i>Vibrio parahemolyticus</i> 및 <i>Vibrio vulnificus</i>분포에 관한 연구조사</li> <li>◦ 건포류중 보존료 사용실태 조사</li> <li>◦ 울산회야정수지 환경오염도 조사연구</li> <li>◦ 환경소음 분포의 특성 및 실태</li> </ul>	미생물과 식품분석과 수질보전과 대기보전과
1988 (5건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 남해안 청정해역의 <i>Vibrio</i>균속 분포에 관한 조사연구</li> <li>◦ HPLC에 의한 항전간제(抗癲癇劑) Primidone 정량분포에 관한 연구</li> <li>◦ 절임 식품중 미량중금속 함유량 조사연구</li> <li>◦ 마산시내 도로변 가로수의 엽중(葉中) 오염도 조사</li> <li>◦ 울산 회야정수지 부영양에 관한 조사연구</li> </ul>	미생물과 약품분석과 식품분석과 대기보전과 수질보전과
1989 (9건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 뇌염모기 밀도 조사연구</li> <li>◦ 벌꿀중의 당조성 및 Hydroxy Methyl Furfural에 관한 연구</li> <li>◦ 남해안 청정해역의 <i>Vibrio</i>균속 분포에 관한 조사연구</li> <li>◦ HPLC를 이용한 Pimozide제제(製劑)의 정량법에 관한 연구</li> <li>◦ 도로변 가로수의 엽중(葉中) 오염도 조사</li> <li>◦ 산책로 주변 음용수의 위생학적 조사연구</li> <li>◦ 송수과정에 의한 원수, 정수, 관말수의 수질변화에 따른 위생학적인 조사연구</li> </ul>	역학조사과 식품분석과 미생물과 약품분석과 대기보전과 수질보전과 수질보전과

연도	연구과제명	추진부서
1990 (8건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 경남지역의 일본뇌염 매개모기 밀도 조사연구</li> <li>◦ 남해안 청정해안의 <i>Vibrio</i>균속 분석에 관한 조사연구(계속)</li> <li>◦ 생약재중 중금속 함유량 조사연구(Ⅰ)</li> <li>◦ 식육중(食肉中) 잔류 항균제(Sulfamethazine) 분포</li> <li>◦ 해조류중 미량중금속 함유량에 관한 조사연구</li> <li>◦ 쓰레기 매립장 침출수 처리에 관한 연구</li> <li>◦ 도로변 가로수의 엽중(葉中) 오염도 조사(계속)</li> <li>◦ 산책로 주변 음용수의 위생학적 조사연구</li> </ul>	역학조사과 미생물과 약품분석과 축산물분석과 식품분석과 폐기물분석과 대기보전과 수질보전과
1991 (10건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ <i>Legionella</i>균속 분리동정 및 분포 조사연구</li> <li>◦ 남해안 청정해역의 <i>Vibrio</i>균속 분포에 관한 조사연구</li> <li>◦ 생약재중 중금속 함유량 조사연구(Ⅱ)</li> <li>◦ 튀긴식품의 위생학적 조사연구</li> <li>◦ 닭고기중의 잔류항균제(Sulfamethazine) 분포</li> <li>◦ 지하공간중 미량 오염물질에 관한 조사연구</li> <li>◦ 도로변 가로수의 엽중 오염도 조사연구</li> <li>◦ 쓰레기 매립장 침출수 처리에 관한 연구</li> <li>◦ Ion Chromatography를 이용한 지하수의 이온분포에 관한 조사연구</li> </ul>	역학조사과 미생물과 약품분석과 식품분석과 축산물분석과 환경조사과 대기보전과 폐기물분석과 해양조사과
1992 (7건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ <i>Legionella</i>균속 분리동정 및 분포 조사연구</li> <li>◦ 남해안 청정해역의 <i>Vibrio</i>균속 분포에 관한 조사연구</li> <li>◦ 천연항균성물질(G·F·S·E)을 이용한 <i>Vibrio vulnificus</i>와 <i>Vibrio parahaemolyticus</i>의 살균 및 독성 생성 제어효과에 관한 조사연구</li> <li>◦ 생약재중 중금속 함유량 조사연구</li> <li>◦ 갑각류중의 중금속 함유량에 관한 조사연구</li> <li>◦ 닭 장기내 잔류 설파메타진에 대한 조사연구</li> <li>◦ 혐기성 방벽(防壁) 반응조 공법에 의한 양돈 폐수처리</li> </ul>	역학조사과 미생물과 미생물과 약품분석과 식품분석과 축산물분석과 수질보전과

연도	연구과제명	추진부서
1993 (9건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 경상남도의 비닐하우스 종사자가 호소하는 농부병에 관한 연구</li> <li>◦ 남해안 청정해역의 <i>Vibrio</i>균속 분포에 관한 조사연구</li> <li>◦ 생약환제(生藥丸劑) 및 과립제(顆粒劑) 중 중금속 함유량에 관한 조사연구</li> <li>◦ 남해안 연안패류의 중금속 함유량에 관한 조사연구</li> <li>◦ 닭 장기내 잔류 설파메타진에 대한 조사연구</li> <li>◦ 세차장 폐수내 부동액에 의한 하천수질 오염영향조사 (에틸렌그리콜 함유 폐수의 무격막 전해처리)</li> <li>◦ 혐기성 방벽(防壁) 반응조 공법에 의한 양돈 폐수처리</li> <li>◦ 도내 주요정수장의 유기용제 및 잔류농약 조사연구</li> <li>◦ UASB에 의한 양돈폐수 처리 특성에 관한 연구</li> </ul>	역학조사과 미생물과 약품분석과  식품분석과 축산물분석과 환경조사과  수질보전과 수질검사와 폐기물분석과
1994 (6건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 농촌지역 양충병(恙蟲病) 매개 진드기의 계절적 소장(消長)에 관한 조사연구</li> <li>◦ 남해안 청정지역의 비브리오 균속 분포에 관한 조사연구</li> <li>◦ 생약 엽중(葉中)의 중금속 함유량 조사연구</li> <li>◦ 남해안 연안 어·패류중의 중금속 함유량에 관한 조사연구</li> <li>◦ 닭고기중의 잔류항생물질 함유량에 관한 조사연구</li> <li>◦ 굴 폐각의 재활용방안 조사연구</li> </ul>	역학조사과 미생물과 약품분석과 식품분석과 축산물분석과 해양조사과
1995 (11건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 농촌지역 양충병(恙蟲病) 매개 진드기의 계절적 소장(消長)에 관한 조사연구</li> <li>◦ 남해안 청정지역의 비브리오 균속분포에 관한 조사연구</li> <li>◦ 화장품중의 중금속 함유량 조사연구</li> <li>◦ 남해안 연안 어·패류중의 중금속 함유량에 관한 조사연구</li> <li>◦ 어류중의 잔류 항생물질 함유량에 관한 조사연구</li> <li>◦ 토양의 중금속 흡착능력에 관한 연구</li> <li>◦ 도내 지하수의 지역별 특성 조사</li> <li>◦ 도내 위생처리장 슬러지의 유해물질함유 조사연구</li> <li>◦ 지하공간 오염도 조사연구 I (2년 사업)</li> <li>◦ 악취성분의 기구분석법에 의한 평가 I (2년 사업)</li> <li>◦ 청정해역 수질 조사연구 I (2년 사업)</li> </ul>	역학조사과 미생물과 약품분석과 식품분석과 축산물분석과 수질보전과 수질검사와 폐기물분석과 환경조사과 대기보전과 해양조사과

연도	연구과제명	추진부서
1996 (11건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 농촌지역 양충병 매개 진드기의 계절적 소장에 관한 조사연구(Ⅱ)</li> <li>◦ 남해안 청정지역의 <i>Vibrio</i>균속 분포에 관한 조사연구</li> <li>◦ 등굴레차의 중금속 제거효율에 관한 연구</li> <li>◦ 유통식품중의 보존료 사용실태조사</li> <li>◦ 농산물중의 농약잔류량에 관한 조사연구</li> <li>◦ 식품중의 미량금속에 대한 조사연구</li> <li>◦ 지하공간 오염도 조사연구</li> <li>◦ 약취성분의 GC분석법에 관한 연구</li> <li>◦ 가정용 소형 퇴비화 용기 개발연구</li> <li>◦ 이산화티타늄 광촉매를 이용한 먹는물 중의 난분해성 유기화합물의 분해에 관한 연구</li> <li>◦ 청정해역 수질조사 연구</li> </ul>	역학조사과 미생물과 약품분석과 식품분석과 축산물분석과 축산물분석과 환경조사과 대기보전과 수질보전과 폐기물분석과 해양조사과
1997 (8건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 농촌지역 양충병 매개 진드기의 계절적 소장에 관한 조사연구</li> <li>◦ 경남지역 약수터로부터 <i>Yersinia</i>균의 분리 및 병원성에 대한 조사연구</li> <li>◦ 결명자차의 중금속 제거효율에 관한 연구</li> <li>◦ 키토산의 항균효과에 관한 조사연구</li> <li>◦ 자외선등을 이용한 골프장 잔류농약 제거 및 분해에 관한 연구</li> <li>◦ 창원시 전역에 대한 소음실태 조사연구</li> <li>◦ 물의 재이용을 위한 농촌형 오수정화시스템 개발에 관한 연구</li> <li>◦ 이온교환수지를 이용한 먹는물 중의 음이온성 물질 제거에 관한 연구</li> </ul>	역학조사과 미생물과 약품분석과 식품분석과 환경조사과 대기보전과 수질보전과 수질검사와
1998 (12건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 창원지역의 집먼지 진드기 분포 조사연구</li> <li>◦ 경남에서 분리된 병원성 세균의 항생제 내성에 대한 조사연구</li> <li>◦ FR-IR을 이용한 Minocycline Hydrochloride의 정량</li> <li>◦ 과채류를 이용한 아질산염 저감방법에 관한 연구</li> <li>◦ 참기름의 지방산 조성변화에 관한 연구</li> <li>◦ 대기오염물질 건성침착 특성에 관한 연구</li> <li>◦ 광화학적 방법을 이용한 염색폐수의 색도제거 방법 개발</li> <li>◦ 대기배출시설에서 배출되는 먼지 중의 중금속 함유량 특성</li> <li>◦ 수산물 가공 폐수처리에 따른 활성슬러지의 침강특성에 미치는 미생물 고분자의 영향</li> <li>◦ 물의 재이용을 위한 농촌형 오수정화시스템 개발(2차 년도)</li> <li>◦ 상수도 송배수의 부식억제에 관한 연구(1차 년도)</li> <li>◦ 폐금속 광산지역 토양의 중금속 정화에 대한 연구</li> </ul>	역학조사과 미생물과 약품분석과 약품분석과 식품분석과 환경조사과 환경조사과 대기보전과 수질보전과 수질보전과 수질검사와 폐기물분석과



연도	연구과제명	추진부서
1999 (16건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 경남도내 집먼지 진드기의 지역적 분포 조사연구</li> <li>◦ Polymerase Chain Reaction을 이용한 <i>Vibrio Vulnificus</i>의 진단</li> <li>◦ 경남지역에서 생산되는 한약재 중의 아미노산 함량조사</li> <li>◦ 헛개나무(<i>Hovenia dulcis</i> Thunberg)잎과 열매의 주요성분 조성</li> <li>◦ 식육의 안전성 효율증대를 위한 Benzimidazole분석법 개발에 관한 연구</li> <li>◦ 도내 주요하천의 조류분포특성에 대한 조사연구</li> <li>◦ 도내 주요하천의 수질보전에 관한 연구(남강 중심)</li> <li>◦ 지역환경기준설정을 위한 대기오염 실태조사(창원 중심)</li> <li>◦ 공단지역 대기중의 휘발성유기화합물질 실태조사</li> <li>◦ 대기배출시설에서 응축성 Dust를 함유한 먼지의 배출특성</li> <li>◦ 오·하수처리시설에 대한 THM 발생실태에 관한 조사연구</li> <li>◦ 정수처리시 발생하는 잔류 알루미늄 제거방법에 관한 연구</li> <li>◦ 도내 공단주변 지하수 수질특성에 관한 조사연구</li> <li>◦ 폐기물 용출액의 여과시 여지공극 크기에 따른 영향</li> <li>◦ 광화학적 방법을 이용한 염색폐수의 색도제거 방법개발</li> <li>◦ 상수도 송배수관의 부식억제에 관한 연구(2차 년도)</li> </ul>	역학조사과 미생물과 약품분석과 약품분석과 식품분석과 환경조사과 환경조사과 대기보전과 대기보전과 대기보전과 수질보전과 수질검사와 수질검사와 폐기물분석과 폐기물분석과 수질검사와
2000 (13건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 경상남도내 집먼지 진드기의 지역적 분포 조사연구(Ⅱ)</li> <li>◦ 축산물중의 리스테리아 모노사이토제네스 오염실태 연구</li> <li>◦ 잔류농약 방해물질 제거방법 연구</li> <li>◦ 마늘즙액의 <i>Escherichia coli</i> O157:H7에 대한 항균 효과</li> <li>◦ 지역적 환경기준 설정을 위한 대기오염 실태조사(마산지역을 중심으로)</li> <li>◦ 낙동강 조류분포특성에 관한 연구</li> <li>◦ 경남도내 공단대기 중의 휘발성 유기화합물질 오염실태 조사연구</li> <li>◦ 폐자원을 이용한 적조발생 억제방안 연구</li> <li>◦ 수생식물을 이용한 마을 단위 하수처리</li> <li>◦ 수질오염 지표항목 중 BOD<sub>5</sub>, COD에 대한 TOC의 상관성 연구</li> <li>◦ 약수터의 수질평가에 관한 연구</li> <li>◦ 소규모 정수장 정수처리 개선방안</li> <li>◦ 도내 주요 상수원 지역의 내분비계 장애물질 오염실태 조사</li> </ul>	역학조사과 미생물과 약품분석과 식품분석과 환경조사과 환경조사과 대기보전과 수질보전과 수질보전과 수질보전과 수질검사와 수질검사와 폐기물분석과

연도	연 구 과 제 명	추진부서
2001 (10건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 야생들쥐의 리켓치아 쯔쯔가무시 감염에 대한 조사연구</li> <li>◦ 장염비브리오균의 용혈독 검사</li> <li>◦ 잔류농약 방해물질 제거방법 연구</li> <li>◦ 기능성 청국장의 열성에 관한 연구</li> <li>◦ 경상남도내 공단대기 중의 휘발성 유기화합물질 배출특성 연구</li> <li>◦ 도내 마을하수 처리시설 운영실태 조사</li> <li>◦ 창원시 하남천의 오염실태조사에 관한 연구</li> <li>◦ 수돗물중의 유기물, 탁도제거에 관한 연구</li> <li>◦ 쓰레기 매립장 침출수에 함유된 난분해성 유기물 특성조사 및 처리기술 개발</li> <li>◦ 도내 주요 상수원 지역의 내분비계장애물질 환경잔류 실태조사</li> </ul>	미생물역학과 미생물역학과 약품분석과 식품분석과 대기보전과 수질보전과 수질보전과 수질검사와 폐기물분석과 폐기물분석과
2002 (6건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 야생들쥐의 리켓치아 쯔쯔가무시 감염에 대한 조사연구</li> <li>◦ 클로르피리포스의 토양내 흡·탈착 특성 연구</li> <li>◦ 기능성 청국장의 숙성에 관한 연구</li> <li>◦ 공단대기중의 휘발성 유기화합물질 배출특성 연구</li> <li>◦ 폐수시료 분석시 방해물질 제어방안 연구</li> <li>◦ 쓰레기 매립장 침출수에 함유된 난분해성 유기물질 특성조사 및 처리기술 개발</li> </ul>	미생물역학과 약품분석과 식품분석과 산업대기과 산업폐수와 토양화학과
2003 (8건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 번역학 및 유전공학기법을 이용한 식품 중 천연항균제 분석연구</li> <li>◦ 이미취(異味臭) 생성물질의 분석 및 제거에 관한 연구 (담수어 및 해안 어패류를 중심으로)</li> <li>◦ 녹차의 생리활성물질에 관한 연구</li> <li>◦ 호소수질 관리방안 연구</li> <li>◦ 강우 전후의 하천수질 변화 연구</li> <li>◦ 폐기물 소각시설의 다이옥신류 배출특성과 저감을 위한 운전조건에 관한 연구</li> <li>◦ 마을하수처리시설 운영 개선방안 연구</li> <li>◦ 은이온을 이용한 음용수 살균장치 개발</li> </ul>	미생물역학과 약품분석과 식품분석과 수계조사과 수계조사과 산업대기과 산업폐수와 토양화학과

연도	연구과제명	추진부서
2004 (13건)	◦ 유전공학기법을 이용한 식품 중 천연항균 분석 및 대두 가공 부산물의 자원화 연구	미생물역학과
	◦ 설사환자에서 분리한 세균성 이질균의 특성 조사연구	미생물역학과
	◦ 다중 이용장소 음용수의 위생학적 특성 조사	미생물역학과
	◦ 도내 유통식품 용기포장재 중 프탈레이트 화합물에 대한 조사연구	위생화학과
	◦ 유통 농산물의 유해물질 특성 조사	위생화학과
	◦ 녹차의 생리활성물질에 관한 연구	식품분석과
	◦ 고춧가루의 위생학적 안전성 조사	식품분석과
	◦ 어류폐사 원인규명 절차 모형화	수계조사과
	◦ 진양호 수질변화 특성에 대한 평가	수계조사과
	◦ 소독부산물인 할로아세트니트릴류의 광분해	수계조사과
	◦ 폐기물 소각시설의 다이옥신류 배출특성 조사 및 저감방안에 관한 연구	산업대기과
	◦ 산업폐수 중 COD분포 특성과 타항목간 상관성 평가	산업폐수과
	◦ 은이온을 이용한 음용수 살균장치 개발	토양화학과
2005 (14건)	◦ 경남지역의 설사 병원체 특성 연구	미생물역학과
	◦ 화장품의 살균보존제 사용에 관한 조사연구	위생화학과
	◦ 녹차의 향기성분에 관한 연구	식품분석과
	◦ 식육제품의 아질산염 감소 방안에 관한 연구	식품분석과
	◦ 주요 바이러스성 호흡기질환 감염률 조사	미생물역학과
	◦ 시중 유통 양식새우의 위생안전 실태 조사	위생화학과
	◦ 건조 해조류 중의 중금속 함유량 조사	식품분석과
	◦ 낙동강에서 Fractal Dimension과 조류의 계절적 변화사이의 상관관계	수계조사과
	◦ 도시 하수슬러지를 이용한 수처리용 활성탄 제조	수계조사과
	◦ 신축아파트 포름알데히드, 휘발성 유기화합물 조사	산업대기과
	◦ 하수처리장 운영실태 및 특성 조사	산업폐수과
	◦ 도내 대기 중 중금속 분포에 관한 조사연구	대기관측과
	◦ 미나리를 이용한 수처리법 연구	음용수질과
	◦ 토양오염 복원에 관한 연구	토양화학과

연도	연구과제명	추진부서
2006 (14건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 감귤류 추출액의 항균효과 연구</li> <li>◦ 완구류의 프탈레이트 사용에 대한 조사연구</li> <li>◦ 전통 민속주의 품질특성 평가</li> <li>◦ 농촌지역 주민의 쫄쫄가무시증 항체 조사</li> <li>◦ 도내 유통 한약재료의 잔류농약에 관한 조사연구</li> <li>◦ 유통식품 중의 중금속 함유량 조사</li> <li>◦ 식물성 플랑크톤 발생에 의한 BOD 변화의 시험적 고찰</li> <li>◦ 도내 주요 터널내 휘발성 유기화합물질 실태조사</li> <li>◦ 여재별 탁질 제거특성 및 초음파 병용 역세척 연구</li> <li>◦ 하수처리장 운영실태 및 특성 조사</li> <li>◦ 대기 중 금속성분 분포에 관한 조사연구</li> <li>◦ 도내 수돗물의 부식특성 및 관부식 억제방안 연구</li> <li>◦ 도내 소규모 정수장 관리실태 및 정수효율 조사</li> <li>◦ 토양오염 복원에 관한 연구</li> </ul>	미생물역학과 위생화학과 식품분석과 미생물역학과 위생화학과 식품분석과 수계조사과 산업대기과 산업대기과 산업폐수과 대기관측과 음용수질과 음용수질과 토양화학과
2007 (11건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 낙동강 수계 총대장균군의 군속 동정 및 특성 연구</li> <li>◦ 시판 녹즙류의 안전성 평가에 관한 연구</li> <li>◦ 유통 어류 중 항생물질 함유량 조사</li> <li>◦ 전통민속주의 품질특성 평가</li> <li>◦ 낙동강의 조류농도 변화에 따른 오염물질농도 조사연구</li> <li>◦ 여재별 탁질 제거특성 및 초음파 병용 역세척 연구</li> <li>◦ 소각시설에 대한 잔류성 유기오염물질(POPs) 배출특성 조사</li> <li>◦ 매립장 침출수 처리에 관한 조사</li> <li>◦ 황사기간 대기오염물질 분포 특성</li> <li>◦ 경남도내 수돗물의 부식특성 연구</li> <li>◦ 소각재의 잔류성 유기오염물질 분포특성 연구</li> </ul>	미생물역학과 위생화학과 위생화학과 식품분석과 수계조사과 산업대기과 산업대기과 산업폐수과 대기관측과 음용수질과 토양화학과

연도	연 구 과 제 명	추진부서
2008 (9건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 낙동강 수계 총대장균군의 군속 동정 및 특성 연구</li> <li>◦ 인플루엔자 바이러스 역학 및 유행양상 조사연구</li> <li>◦ 수입 농산물의 안전성 조사</li> <li>◦ 도내 유통 참기름 중의 지방산 함량 조사</li> <li>◦ 창원 용지호수의 수질변화 조사연구</li> <li>◦ 자연휴양림 피톤치드 발생특성 연구</li> <li>◦ 생활악취 문제해결을 위한 악취물질 특성 조사</li> <li>◦ 수돗물 중 냄새물질의 기기분석 평가</li> <li>◦ 소각재의 잔류성 유기오염물질 분포 특성</li> </ul>	미생물역학과 미생물역학과 위생화학과 식품분석과 수계조사과 대기환경과 대기환경과 음용수질과 토양화학과
2009 (10건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 급성설사환자 분변으로부터 Norovirus 분리 및 유전형 특성 연구</li> <li>◦ 마늘의 안전성 평가 및 기능성 성분 연구</li> <li>◦ 식품용기류의 프탈레이트화합물 함유량 실태조사</li> <li>◦ 학교주변 판매 식품 중 위해가능성분 조사연구</li> <li>◦ 도심하천의 수질오염 개선 방안</li> <li>◦ 다중이용시설 총 부유세균 노출실태 조사</li> <li>◦ 주거지역과 공업지역의 대기오염물질 비교평가</li> <li>◦ 물벼룩을 이용한 폐수 생태독성 평가</li> <li>◦ 지하수 중 자연방사성물질 실태조사</li> <li>◦ 경남지역 오염원 지역별 토양환경오염 특성 연구</li> </ul>	미생물역학과 위생화학과 위생화학과 식품분석과 수계조사과 대기환경과 대기환경과 산업폐수와 음용수질과 토양화학과
2010 (12건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 학교급식 HACCP 시스템의 미생물학적 위해성 평가</li> <li>◦ 급성위장관염 환자에서 분리된 로타바이러스 유전자형 분포</li> <li>◦ 양파와 부산물(껍질, 뿌리)의 항산화성 및 항균효과 연구</li> <li>◦ 도내 유통 수산물의 벤조피렌 조사연구</li> <li>◦ 도내 농산물의 농약 잔류량 실태조사</li> <li>◦ 수영장수 소독부산물 특성 연구</li> <li>◦ 하수처리장 방류수 재이용 방안 연구</li> <li>◦ 도시지역 미세먼지 성분 특성 평가</li> <li>◦ 하폐수처리시설 생태독성 배출실태 조사</li> <li>◦ 먹는물 중 미규제 유해물질 실태조사</li> <li>◦ 방부목재 용탈특성과 자연환경 오염실태 조사연구</li> <li>◦ 다중이용시설 실내공기 중 섬유상 미세먼지 농도분포 실태조사</li> </ul>	미생물역학과 미생물역학과 위생화학과 식품분석과 농산물검사와 수계조사과 수계조사과 생활환경과 산업폐수와 음용수질과 토양화학과 대기환경과

연도	연구과제명	추진부서
2011 (10건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 급성 호흡기 바이러스 감염실태 및 분리 특성 연구</li> <li>◦ 경남지역 설사환자에서 분리된 살모넬라균의 항생제 내성 및 유전적 특성 연구</li> <li>◦ 유통 화장품 중 주요 살균·보존제 성분 조사연구</li> <li>◦ 절임식품 등의 식품첨가물 함유량 조사연구</li> <li>◦ 경남 수출 농산물 재배지의 잔류농약 실태조사</li> <li>◦ 총인·총질소 자동분석법 검량특성 연구</li> <li>◦ 미세먼지 오염원 추정을 위한 PM-2.5 조성 평가</li> <li>◦ 물벼룩을 이용한 도내 주요 하천 생물독성 평가</li> <li>◦ 휴양시설 내 오수처리시설 운영실태 및 개선방안 연구</li> <li>◦ 약수터 수질의 위생학적 안전성 조사</li> </ul>	미생물역학과 미생물역학과 위생화학과 식품분석과 농산물검사와 수계조사과 생활환경과 산업폐수과 산업폐수과 음용수질과
2012 (8건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 경남지역 채집모기의 분류 및 일본뇌염 매개모기의 바이러스 감염률 조사</li> <li>◦ 유통 한약재의 잔류 이산화황 및 중금속 함량 조사에 관한 연구</li> <li>◦ 도내 제빵·제과점에서 판매되는 빵류와 과자류의 당 및 나트륨 함량 조사연구</li> <li>◦ 잔류농약 다중농약다성분 분석법과 신속분석법의 비교</li> <li>◦ 낙동강 수질에 대한 통계학적 수질 평가</li> <li>◦ 도내 폐수배출업소의 생태독성 특성</li> <li>◦ 경남지역 지하수 비소오염 현황 및 특성 평가</li> <li>◦ 축산폐수처리장 슬러지 및 방류수 중 항생제 잔류실태 조사</li> </ul>	미생물역학과 위생화학과 식품분석과 농산물검사와 수계조사과 산업폐수과 음용수질과 토양화학과
2013 (11건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 경남지역 설사환자에서 분리된 병원성대장균의 혈청형 및 항생제 다제 내성에 관한 연구</li> <li>◦ 학교주변 어린이 기호식품에 대한 곰팡이독소(DON, ZEN) 오염량 조사연구</li> <li>◦ 경남지역 유통 식품에 대한 방사능 오염도 평가</li> <li>◦ 경남지역 유통 김치의 안전성에 관한 조사연구</li> <li>◦ 도내 수출 농산물의 농약잔류 실태조사</li> <li>◦ 낙동강 수생태 환경 조사·평가</li> <li>◦ 대기배출시설의 오염물질 배출특성 연구(국립환경과학원공동, 2013-2014)</li> <li>◦ 미세먼지(PM-2.5) 오염현황 및 발생원 추정</li> <li>◦ 생활하수 중 유해화학물질 함유 실태조사</li> <li>◦ 경남지역 상수 원·정수의 냄새물질 발생특성 평가</li> <li>◦ 폐기물 검사조건에 따른 유해물질 분포특성 연구</li> </ul>	미생물역학과 위생화학과 위생화학과 식품분석과 농산물검사와 수계조사과 대기환경과 생활환경과 산업폐수과 음용수질과 토양화학과

연도	연구과제명	추진부서
2014 (11건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 객담 검체의 호흡기감염 원인병원체 분석</li> <li>◦ 감마핵종 정량분석 시 동시 합성효과 감소방안 조사연구</li> <li>◦ 경상남도 유통 농·수산물 및 가공식품의 방사능 안전성 평가</li> <li>◦ 도내 시판 즉석섭취식품의 나트륨 및 칼륨 함량 분석</li> <li>◦ 도내 출하 전 농산물의 농약잔류 실태조사</li> <li>◦ 동물플랑크톤을 이용한 녹조(남조류) 제어 기초 조사연구</li> <li>◦ 생태하천 조성에 따른 하천 건강성 평가</li> <li>◦ 하천에서 식물플랑크톤 대량 발생 원인 평가</li> <li>◦ 대기배출시설의 배출가스 중 수분량 측정방법 고찰</li> <li>◦ 먹는물 중 유기물질 분석법에 관한 연구</li> <li>◦ 경남지역 토양오염 분포의 통계적 특성조사</li> </ul>	미생물역학과 위생화학과 위생화학과 식품분석과 농산물검사와 수계조사과 수계조사과 수계조사과 대기환경과 음용수질과 토양화학과
2015 (6건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 인터페론감마분비검사(IGRA)를 이용한 보건소 종사자 잠복결핵 감염 실태조사</li> <li>◦ 방사능핵종 검사 시 분석프로그램 최적화 연구</li> <li>◦ 도내 생산유통 농산물의 농약잔류량 실태조사</li> <li>◦ 대형건축물 저수조 수질현황 및 관리방안 연구</li> <li>◦ 신축공동주택 실내공기질 농도변화 특성 평가</li> <li>◦ 어린이활동공간 환경안전성 실태조사</li> </ul>	미생물역학과 위생화학과 식품농산물팀 수계음용수질팀 대기생활환경팀 폐수토양팀
2016 (6건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 설사질환 원인병원체 특성 조사연구</li> <li>◦ 주요 등산로 방사능분포 조사</li> <li>◦ 유통 해조류의 중금속 함량 조사</li> <li>◦ 도시지역 도로변 퇴적물의 유해물질 함유 실태조사</li> <li>◦ 학교 음용수 공급시설의 위생학적 수질현황 및 관리방안 연구</li> <li>◦ 해수욕장 모래 오염도 조사</li> </ul>	감염병팀 위생화학팀 식품농산물팀 폐수토양팀 수계음용수질팀 폐수토양팀

연도	연 구 과 제 명	추진부서
2017 (7건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 경남도내 잠복결핵감염 특성 분석</li> <li>◦ 국민다소 식품 중 곰팡이독소 오염실태 조사</li> <li>◦ 유통 중점관리 대상품목의 방사능 오염도 평가</li> <li>◦ 방사능 측정시간에 따른 최소검출방사능농도(MDA) 평가</li> <li>◦ 식용 곤충의 중금속 함유량 분석</li> <li>◦ 지류하천의 장기 수질변화 특성 평가</li> <li>◦ 어린이활동공간 환경안전성 연구</li> </ul>	감염병팀 위생화학팀 위생화학팀 위생화학팀 식품농산물팀 수계음용수질팀 폐수토양팀
2018 (5건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 경남도내 먹는물의 A형 간염 오염실태 분석</li> <li>◦ 생식제품 미생물 오염도 조사</li> <li>◦ 캠핑용 조리기구 안전성 조사</li> <li>◦ 건조 과채류의 안전성 실태조사</li> <li>◦ 토양 중금속 검사방법 개선에 관한 연구</li> </ul>	감염병팀 미생물팀 위생화학팀 식품분석팀 토양화학팀
2019 (13건)	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ 도내 감염병 매개모기 병원체 보유 특성 분석</li> <li>◦ 신선편의식품과 농산물의 미생물 오염도 조사</li> <li>◦ 유통 위생물수건의 안전성 조사연구</li> <li>◦ 가공식품 중 인공감미료 함량 조사</li> <li>◦ 농산물 중 잔류농약 다성분 동시분석법 적용 연구</li> <li>◦ 물놀이지역 위생학적 수질 평가</li> <li>◦ 내수면 수산물 양식장 배출수 특성에 관한 연구</li> <li>◦ 강우에 의한 약수터 수질변화 조사</li> <li>◦ 공원 녹지시설의 토양환경 조사</li> <li>◦ 축산시설 악취 배출특성 연구</li> <li>◦ 고농도 오존 발생 특성 평가</li> <li>◦ 기류가 경남 서부지역 대기오염물질 농도에 미치는 영향</li> <li>◦ 합성고무바닥재 중금속 오염 실태조사</li> </ul>	감염병팀 미생물팀 위생화학팀 식품분석팀 농수산물관리팀 수계조사팀 폐수분석팀 음용수질팀 토양화학팀 대기조사팀 대기질관리팀 대기질관리팀 생활환경팀





## 역대 원장 명단



순서	직명	성명	재임기간
1	지방보건연구관	김양균	1968. 7. 1. ~ 1980. 10. 24.
2	지방보건연구관	구자진	1980. 10. 25. ~ 1994. 9. 30.
3	지방보건연구관	전상수	1994. 10. 1. ~ 1999. 12. 31.
4	지방보건연구관	박정웅	2000. 1. 1. ~ 2004. 2. 19.
5	지방보건연구관	김현	2004. 7. 10. ~ 2009. 3. 15.
6	지방환경연구관	이근선	2009. 3. 16. ~ 2010. 12. 31.
7	지방환경연구관	김원욱	2011. 4. 1. ~ 2013. 1. 31.
8	지방환경연구관	이근선	2013. 2. 1. ~ 2014. 7. 6.
9	지방환경연구관	송봉호	2014. 7. 7. ~ 2015. 12. 31.
10	지방보건연구관	남기진	2016. 1. 1. ~ 2017. 12. 31.
11	지방보건연구관	정종화	2018. 1. 1. ~ 2019. 12. 31.
12	지방환경연구관	최형섭	2020. 1. 1. ~ 현재 재



## 직 원 명 단



2020. 10월 현재

소 속	직 위	직 급	성 명
보건환경연구원 총 무 과	원 장	지방환경연구관	최 형 섭
		지방행정서기관	공 경 석
		지방행정사무관	고 영 세
		지방행정주사보	배 영 선
	총무과장 총무담당	지방행정서기	장 보 연
		지방행정서기	정 누 리
		지방행정사무관	김 지 우
		지방행정주사	장 금 이
		지방공업서기	남 종 현
		지방운전주사보	김 복 준
	감염병연구부 감염병진단팀장	지방보건연구관	황 주 호
		지방보건연구관	하 강 자
		지방보건연구사	김 혜 정
		지방보건연구사	조 성 숙
		지방보건연구사	이 다 은
		지방보건연구사	김 윤 지
		지방보건연구사	허 윤 정
		지방보건연구사	김 경 화
		지방보건연구관	김 미 숙
		지방보건연구사	하 연 경
감염병연구부 질병조사팀장	질병조사팀장	지방보건연구사	최 수 완
		지방보건연구사	최 연 주
		지방보건연구관	강 영 훈
		지방보건연구사	박 정 길
		지방보건연구사	장 혜 정
		지방보건연구사	박 지 인
	식중독검사팀장	지방보건연구관	김 제 동
		지방보건연구관	이 광 현
		지방보건연구사	윤 이 란
		지방보건연구사	안 지 희
식약품연구부 식품분석팀장	식품분석팀장	지방보건연구사	배 진 희
		지방보건연구사	이 주 희
		지방보건연구사	박 정 아
		지방보건연구사	

소 속	직 위	직 급	성 명
식약품연구부	위 생 화 학 팀 장	지 방 보 건 연 구 관	여 영 희
		지 방 공 업 연 구 사	이 승 진
		지 방 보 건 연 구 사	김 민 혜
		지 방 보 건 연 구 사	황 나 람
		지 방 보 건 연 구 사	석 윤 주
	창 원 내 서 농 산 물 검 사 소 장	지 방 보 건 연 구 관	김 영 록
		지 방 보 건 연 구 사	김 민 재
		지 방 보 건 연 구 사	황 성 웅
		지 방 보 건 연 구 사	정 원 희
		지 방 보 건 연 구 사	채 지 윤
물 환경 연구 부	진 주 농 산 물 검 사 소 장	지 방 보 건 연 구 관	권 기 락
		지 방 보 건 연 구 사	나 진 희
		지 방 보 건 연 구 사	박 수 진
		지 방 보 건 연 구 사	조 민 지
		지 방 보 건 연 구 사	조 인 철
	물 환 경 연 구 부 장 수 계 조 사 팀 장	지 방 환 경 연 구 관	정 인 호
		지 방 환 경 연 구 관	정 성 욱
		지 방 환 경 연 구 사	윤 혜 정
		지 방 환 경 연 구 사	이 미 연
		지 방 환 경 연 구 사	남 혜 리
폐 수 분 석 팀 장	지 방 환 경 연 구 사	정 유 립	
	지 방 환 경 연 구 관	공 남 식	
	지 방 환 경 연 구 사	김 점 우	
	지 방 환 경 연 구 사	한 치 복	
	지 방 환 경 연 구 사	이 소 립	
	음 용 수 질 팀 장	지 방 환 경 연 구 사	권 현 진
		지 방 환 경 연 구 사	이 진 화
		지 방 환 경 연 구 사	정 은 지
		지 방 환 경 연 구 관	박 정 숙
		지 방 환 경 연 구 사	이 동 호
	지 방 환 경 연 구 사	박 계 량	
	지 방 환 경 연 구 사	박 민 우	
	지 방 환 경 연 구 사	차 수 연	
	지 방 환 경 연 구 사	손 현 정	
	지 방 환 경 연 구 사	박 유 지	

소 속	직 위	직 급	성 명
물환경연구부	토양화학팀장	지방환경연구관	이 방 희
		지방환경연구사	김 상 모
		지방환경연구사	조 광 숙
		지방환경연구사	강 정 기
		지방환경연구사	하 수 빈
		지방환경연구사	이 설 희
대기환경연구부	대기환경연구부장	지방환경연구관	임 중 근
		대기조사팀장	김 균
		지방환경연구사	박 미 애
		지방환경연구사	김 종 원
		지방환경연구사	이 상 희
		지방환경연구사	김 계 환
	대기질관리팀장	지방환경연구사	조 나 라
		지방환경연구사	김 영 훈
		지방환경연구관	변 종 환
		지방환경연구사	백 성 복
		지방환경연구사	전 미 희
		지방환경연구사	설 희 정
		지방환경연구사	이 호 열
		지방환경연구사	강 지 숙
	생활환경팀장	지방환경연구사	박 은 희
		지방환경연구관	구 자 근
		지방환경연구사	이 명 희
		지방환경연구사	이 인 아
		지방환경연구사	박 점 상
		지방환경연구사	이 경 원
총 무 과	육아휴직	지방행정주사보	이 동 욱
식약품연구부	육아휴직	지방보건연구사	김 보 람
물환경연구부	장기교육	지방환경연구사	변 용 진
	육아휴직	지방환경연구사	차 고 은
대기환경연구부	육아휴직	지방환경연구사	류 나 정

2020 보건환경연구원보 제16권

---

2020년 10월 일 인쇄

2020년 10월 일 발행

발행처 : 경상남도 진주시 월아산로 2026

경상남도보건환경연구원

055-254-2211

<http://www.gyeongnam.go.kr/knhe>

발행인 : 경상남도보건환경연구원장 최형섭

---

《비매품》