

2016~2017년 한·일 해협 연안 시·도·현 환경기술 교류사업

대기 중의 휘발성유기화합물 조사 보고서



2017 년 12 월

한·일 해협 연안 시·도·현 환경기술 교류회의



<대기 중의 휘발성유기화합물 조사>

목 차

I. 서 론.....	1
1.1 공동 조사의 목적	1
1.2 공동 조사의 합의에 관한 경위	1
1.3 휘발성유기화합물(VOC) 및 공동 조사의 개요	1
1.4 공동 조사의 실시기관 및 담당자	2
II. 조사 방법	5
2.1 조사 지점	5
2.1.1 대한민국측 조사 지점	7
2.1.2 일본측 조사 지점	9
2.2 조사 기간 및 항목	11
2.2.1 조사 기간	11
2.2.2 조사 항목	11
2.3 조사 방법	12
2.3.1 대한민국측 조사 방법 A	12
2.3.2 일본측 조사 방법 A	15
2.3.3 조사 방법 B	16
2.4 해석 방법	16
III. 각 조사 지점의 VOC 측정 결과	18
3.1 Busan	18
3.2 Jeollanamdo	21
3.3 Gyeongsangnamdo	24
3.4 Jeju	27

3.5 Yamaguchi	30
3.6 Dazaifu(Fukuoka).....	33
3.7 Saga	36
3.8 Omura(Nagasaki)	39
IV. 데이터 등 해석	42
4.1 PRTR 데이터에 근거한 VOC 배출 상황으로부터의 고찰.....	42
4.1.1 대한민국측	42
4.1.2 일본측	53
4.2 VOC 성분 데이터 및 자동측정망(상시감시) 데이터 등의 상관 비교	59
4.2.1 VOC 성분과 입자상물질 성분(PM ₁₀ or SPM, PM _{2.5})의 상관성	59
4.2.2 VOC 성분과 가스상물질(O ₃ or Ox, SO ₂ , NO, NO ₂)의 상관성	62
4.2.3 VOC 성분과 기상 인자(기온, 습도, 일사량)의 상관성	69
4.3 특징적 사례의 해석.....	91
4.3.1 환경기준 설정 항목에 대한 VOC 농도 레벨에 대하여	91
4.3.2 성분별 농도비에 의한 발생 특성의 평가	92
4.3.3 PMF 해석에 의한 발생원 기여율의 추정.....	98
4.3.4 특징적 사례	112
V. 공동 조사의 결과 및 성과.....	123
5.1 공동 조사의 결과	123
5.2 공동 조사의 성과	125

I. 서론

1.1 공동 조사의 목적

유해대기오염물질은 저농도에서도 장기적 노출에 의하여 건강에 악영향을 미칠 우려가 있는 물질로 대기오염의 원인이 되고 있다. 유해대기오염물질 중 Benzene 등의 휘발성유기화합물(Volatile Organic Compounds, VOC)은 광화학옥시던트(Photochemical Oxidant, Ox)의 원인 물질의 하나로 입자상물질(Suspended Particulate Matter, SPM), PM_{2.5}(Particles with diameters that are generally 2.5 micrometers and smaller)이나 Ox를 2차적으로 생성하는 기능이 있기 때문에 발생원이나 환경 실태의 파악이 급선무이다. 그러므로 한·일이 공동으로 VOC 항목에 관한 실태 조사를 실시함과 동시에 화학물질배출이동량 신고 제도(Pollutant Release and Transfer Register, PRTR)데이터 등을 참조하여 검증·평가 함으로써 한·일 해협 연안 지역의 유해대기오염물질 대책을 추진하기 위한 기초 자료로 삼는 것을 목적으로 하였다.

1.2 공동 조사의 합의에 관한 경위

본 공동 조사는 2015 년 5 월에 개최된 제 1 회 한·일 환경기술 교류 실무자회의(대한민국 전라남도)에서 공동사업 테마를 선정하였고, 2015 년 8 월 국(부)장 및 보건환경연구원(소)장 회의(대한민국 전라남도)에서 합의하였다. 또한 2015 년 11 월에 개최된 제 2 회 한·일 환경기술 교류 실무자회의(일본 나가사키현)에서 공동사업에 관한 세부 실시계획에 대하여 한·일 양국이 합의하였다.

1.3 휘발성유기화합물(VOC) 및 공동 조사의 개요

VOC 는 휘발성을 가지고 있어 대기 중에서 기체상이 되는 유기 화합물의 총칭으로 Benzene, Toluene, Xylene 등 다종다양한 물질이 포함된다. 한·일 모두 도료, 연료, 화학품, 인쇄, 잉크, 접착제, 공업용 세정제가 주요 배출원이 되고 있다.

본 공동 조사에서는 2016 년 5 월부터 2017 년 2 월의 기간 중에 총 4 회, 8 개 지점에서 Benzene 등 VOC 성분 18 개 항목에 대하여 성분 농도 측정을 실시하였고, PRTR 데이터 및 자동측정망(상시감시)의 결과와 농도 추이의 결과 등과 비교 검토하여 해석·평가를 실시하였다.

1.4 공동 조사의 실시기관 및 담당자

각 실시기관의 주소와 담당자는 Table 1-1, Table 1-2 와 같다.

Table 1-1. The participation institute for cooperative survey between Korea and Japan

국명	실시 기관	소 재 지
대한 민국	부산광역시 보건환경연구원	부산광역시 북구 함박봉로 140번길 120
	전라남도 보건환경연구원	전라남도 무안군 삼향면 남악영산길 61
	경상남도 보건환경연구원	경상남도 진주시 월아산로 2026
	제주특별자치도 보건환경연구원	제주특별자치도 제주시 삼동길 41
일본	야마구치현 환경보건센터	야마구치현 야마구치시 아사다 535
	후쿠오카현 보건환경연구소	후쿠오카현 다자이후시 무카이자노 39
	사가현 환경센터	사가현 사가시 나베시마 정 야에미조 119-1
	나가사키현 환경보건연구센터	나가사키현 오무라시 이케다 2-1306-11

Table 1-2. The administrative and research participants in Korea and Japan

국명	시·도·현	소속 및 직위	담당자
대한 민국	부산광역시	환경보전과 환경협력팀장	박남배 Park Nambae
		환경보전과 환경주사보	박영복 Park Yeoungbog
		보건환경연구원 대기질통합분석센터장	유은철 Yoo Eunchul
		보건환경연구원 환경연구사	유숙진 You Sookjin
	전라남도	환경보전과 환경정책담당	조장훈 Cho Janghoon
		환경보전과 환경주사	신창우 Shin Changwoo
		보건환경연구원 환경조사과장	이해훈 Lee Haehoon
		보건환경연구원 환경연구사	오길영 Oh Gilyoung
		보건환경연구원 환경연구사	이소영 Lee Soyoung

국명	시·도·현	소속 및 직위	담당자
대한 민국	경상남도	환경정책과 과장	정영진 Jeong Youngjin
		환경정책과 환경관리담당	조용정 Cho Yongchung
		환경정책과 환경주사	최재영 Choi Jaeyoung
		보건환경연구원 대기생활환경팀장	조인철 Cho Incheol
		보건환경연구원 환경연구사	이호열 Lee Hoyeol
	제주특별 자치도	환경정책과 환경정책담당	박경수 Park Gyoungsoo
		환경정책과 환경주사보	현지숙 Hyeon Jisuk
		보건환경연구원 대기환경과장	양철신 Yang Churlshin
		보건환경연구원 환경연구사	김길성 Kim Kilseong
일본	야마구치현	환경생활부 환경정책과 과장	도쿠시게 가쓰히코 Tokushige Katsuhiko
		환경생활부 환경정책과 주사	가와무라 아키라 Kawamura Akira
		환경생활부 환경정책과 주사	구보타 아키코 Kubota Akiko
		환경보건센터 환경과학부 부부장	오사다겐타로 Osada Kentaro
		환경보건센터 환경과학부 전문연구원	스미모토노리코 Sumimoto Noriko
		환경보건센터 환경과학부 전문연구원	후지이쇼 Fujii Sho

국명	시·도·현	소속 및 직위	담당자
일본	후쿠오카현	환경부 환경정책과 과장	오바 도모아키 Oba Tomoaki
		환경부 환경정책과 주임주사	가이 아유미 Kai Ayumi
		보건환경연구소 환경과학부 대기과 과장	하마무라 겐고 Hamamura Kengo
		보건환경연구소 환경과학부 대기과 주임기사	가지하라 유스케 Kajihara Yusuke
	사가현	현민환경부 환경과 과장	요시무라 히로미 Yoshimura Hiromi
		현민환경부 환경과 부과장	기타가와 노부요시 Kitagawa Nobuyoshi
		기타가와 노부요시 계장	노구치 히데노리 Noguchi Hidenori
		현민환경부 환경과 부주사	야마다 쇼코 Yamada Shoko
		환경센터 대기·수질과 과장	곤도 다이스케 Kondou Taisuke
		환경센터 대기·수질과 계장	야마구치 요코 Yamaguchi Yoko
		환경센터 대기·수질과 부주사	오마가리 마사요시 Omagari Masayoshi
	나가사키현	환경부 환경정책과 차장 겸 환경정책과장	야마구치 마사히로 Yamaguchi Masahiro
		환경부 환경정책과 계장	가와구치 쓰토무 Kawaguchi Tsutomu
		환경부 환경정책과 주임기사	다무라 게이 Tamura Kei
		환경보건연구센터 기획·환경과 과장	구니미쓰 겐이치 Kunimitsu Kenichi
		환경보건연구센터 기획·환경과 주임연구원	도이 마사타카 Doi Masataka
		환경보건연구센터 기획·환경과 주임연구원	다나카 유키 Tanaka Yuki

II. 조사 방법

2.1 조사 지점

조사 지점은 아래의 Fig. 2-1-1 과 같이 대한민국 및 일본측 각각 4 지점이며, 지점별 세부내용은 Table 2-1-1 및 Table 2-1-2 와 같다.

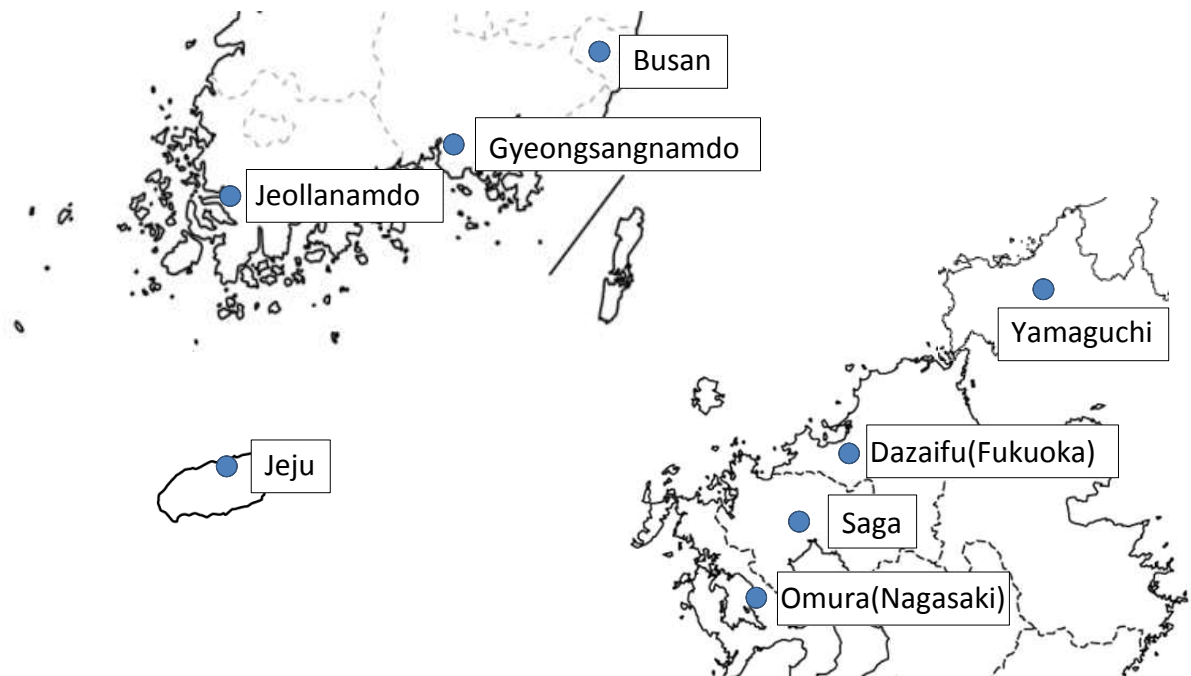


Fig. 2-1-1 The survey sites in Korea and Japan

Table 2-1-1. The location of survey sites in Korea

지자체명	조사 방법	측정 지점명	소재지 주소 위도 경도
부산광역시	A	연산동	연제구 중앙대로 1065 번길 14 N 35.1846° E 129.0782°
	B	상동	상동
전라남도	A	부흥동	목포시 삼향천로 28 N 34.8043° E 126.4345°
	B	상동	상동
경상남도	A	상봉동	진주시 비봉로 85 번길 12 N 35.1983° E 128.0781°
	B	상동	상동
제주특별 자치도	A	연동	제주시 문연로 6 N 33.4889° E 126.5005°
	B	상동	상동

Table 2-1-2. The location of survey sites in Japan

지자체명	조사 방법	측정 지점명	소재지 주소 위도 경도
야마구치현	A	환경보건센터국	야마구치시 아사다 535 N 34.1531° E 131.4338°
	B	상동	상동
후쿠오카현	A	다자이후 국	다자이후시 오아자 무카이자노 39 N 33.5116° E 130.4995°
	B	상동 ※기온·습도· 일사량·강수량은 지쿠고오고리 국의 데이터를 활용	상동 ※지쿠고오고리 국 오고리 시 오아자 이노우에 아자 오베타 434 N 33.2419° E 130.3458°
사 가 현	A	사가 국	사가시 다카기 정 15-30 N 33.2564° E 130.3086°
	B	상동	상동
나가사키현	A	오무라 국	오무라시 니시산조 정 12 N 32.9130° E 129.9605°
	B	상동	상동

2.1.1 대한민국측 조사 지점

2.1.1.1 Busan

연제구는 연산교차로를 중심으로 동쪽은 배산, 서쪽은 화지산·금융산, 남쪽은 황령산, 북쪽은 온천천을 경계로 하고 있으며, 부산진·동래·수영·해운대구로 둘러 쌓인 Busan 의 중심에 위치하고 있다. 중앙로·거제로·연산로 등 5 개의 간선도로와 지하철 1, 3 호선이 교차하는 지역으로 교통의 요충지이기도 하다. 연제구의 면적은 12.08 km² 이며, 인구는 201,181 명(2016 년 말 기준) 이다.

Busan 은 온난 습윤한 기후에 속하며 상대적으로 겨울이 건조하고 여름은 다습하여, 물 자원의 관리가 어려운 특징을 보이고 있다. 연 평균 강수량은 1,519 mm, 기온은 14.7 °C 이다. 조사지점은 연제구 연산동 종합대기측정소로, 이 지점은 Busan 의 대표적인 도심지역으로 남동쪽 160 m 거리에 왕복 6 차선의 중앙대로가 있고, 약 250 m 의 거리에 연산교차로가 있으며, 일 평균 차량 통행량은 34,810 대 이다. 기상관측 지점은 중구 대청동으로 조사 지점으로부터 직선거리로 약 10 km 의 거리에 위치해 있다. 2014 년 기준 연제구 지역의 VOC 배출량은 1,358 ton/yr 이며, 이 중 유기용제 사용시설이 1,106 ton/yr (81%)로 가장 많이 배출되는 것으로 나타났다.

2.1.1.2 Jeollanamdo

목포시는 Jeollanamdo 무안반도 남단에 위치하고 있으며 동쪽에 입암산, 서쪽에 유달산, 북쪽에 양을산·대박산·지적봉으로 둘러싸여 있고, 남쪽은 영산강 하구와 접하고 있다. 또한 그 주위에 13 개의 도서가 넓게 펼쳐져 있다.

목포시의 면적은 50.654 km² 이며 인구는 237,484 명(2016 년 말 기준)이다. 목포시는 온난 습윤한 기후에 속하며 하계에는 해양성, 동계에는 대륙 동안의 2 개 기후가 나타난다. 연 평균 강수량은 1,163 mm, 기온은 13.9 °C 이다. 조사지점은 주변에 상가와 주거지역이 형성되어 있으며, 남쪽 3.5 km 거리에 국가산업단지가 있다.

측정지점 주변으로부터 약 300m 의 거리에 국도 2 호선이 있고, 일 평균 17,034 대의 차량이 통행하고 있다. 그 중 승용차의 비율이 77%(13,084 대)로 가장 높았다. 2014 년 기준 목포시 지역의 VOC 배출량은 1,612 ton/yr 이며, 이 중 유기용제 사용시설이 1,186 ton/yr(72%)로 가장 많이 배출되는 것으로 나타났다.

2.1.1.3 Gyeongsangnamdo

진주시는 Gyeongsangnamdo 의 남서부에 위치하고 있는 도시로 북서쪽에는 망룡산·검무봉, 동남쪽에는 오봉산·보장산 등의 해안산맥이 뻗어있다. 시의 중앙에는 월아산·장군대산 등이 있으나, 험준한 산지는 없고 대부분 500m 내외의 구릉성 산지를 이루고 있다. 주요 하천으로는 낙동강의 지류인 남강이 진양호를 이룬 뒤 시의 중앙을 서쪽에서 북동쪽으로 곡류하여 낙동강에 유입되며, 덕천강이 남동류하여 진양호로 유입된다.

진주시의 면적은 712.95 km² 이고, 인구는 352,807 명 (2016 년 말 기준) 이다. 기후는 지리산의 영향을 받아 대륙성 기후를 나타내고 있으며, 진양호의 영향으로 안개가 자주 낀다. 연 평균 기온은 13 °C 이며, 분지이기 때문에 같은 위도의 다른 도시보다 기온의 차가 크다. 연 평균 강수량은 1,513 mm 로 다우지역에 속한다.

조사지점인 상봉동측정소는 학교·상가·주택 등으로 형성된 전형적인 주거지역으로 남동쪽으로 약 4.5 km 거리에 상평 일반산업단지가 있다. 서쪽으로 약 4 km 거리에 고속국도 35 호선이 있고, 일 평균 30,553 대의 차량 통행이 있으며, 그 중에서도 승용차의 비율이 66%로 가장 높았다. 2014 년 기준 진주시 지역의 VOC 배출량은 3,566 ton/yr 이며, 이 중 유기용제 사용시설이 2,517 ton/yr(71%)로 가장 많이 배출되는 것으로 나타났다.

2.1.1.4 Jeju

제주시는 제주특별자치도의 행정시로서 본도 북부 중앙에 위치하고 있으며, 남쪽은 한라산 정상을 사이에 두고 서귀포시와 접하고 있다. 지세는 한라산 북사면이 단계적으로 낮아지며, 한반도와 마주하는 한라산 북사면의 중앙부에 위치한 지역으로 항공과 해운을 연결하여 제주의 관문 역할을 하고 있다.

제주시의 면적은 977.8 km², 인구는 462,286 명 (2016 년 말 기준) 이다. 기후는 대한민국에서 비가 가장 많이 내리는 지역에 속하며, 겨울에 북서 계절풍이 우세하여 지형적 강설이 빈번하다. 연평균 강수량은 1,497 mm, 기온은 14.7 °C로 비슷한 위도를 갖는 세계의 다른 도시들에 비해 비교적 낮은 기온을 나타내고 있다. 조사지점은 도청 제 2 청사 옥상으로, 이 지점은 제주시의 중심지로 주거 및 상업지역에 해당된다. 측정지점 주변으로부터 서쪽방향 약 300 m 의 거리에 신대로와 신제주 로터리가 있으며, 일 평균 20,730 대의 차량 통행량이 있다. 2014 년 기준 제주시 지역의 VOC 배출량은 4,806 ton/yr 이며, 이 중 유기용제 사용시설이 3,316 ton/yr(69%)으로 가장 많이 배출되는 것으로 나타났다.

2.1.2 일본측 조사 지점

2.1.2.1 Yamaguchi

야마구치시는 야마구치현 중앙부에 위치하며 야마구치만에 접해있다. 도로망이 잘 정비되어 있으며, 시역의 중앙을 남북으로 후시노강이 관통하고, 그 양안에 분지·평야가 펼쳐진다. 야마구치시의 면적은 1023.31 km², 인구는 196,846 명 (2017 년 3 월 현재)이며, 기후는 평균기온이 15.4 °C, 평균습도가 73 %, 연 평균 강수량이 1,886 mm 이다.

조사 지점은 북쪽 약 200 m 거리에 주요 간선도로인 국도 9 호선이 있으며, 자동차의 12 시간 교통량(평일 7:00~19:00)은 21,183 대, 24 시간 교통량은 26,571 대(추계치)이다.

PRTR 신고 데이터(2015 년)에 있어서의 본 조사 측정항목 18 종류의 VOC 대기배출량은 야마구치시가 33 ton/yr, 야마구치현이 2,400 ton/yr 이다. 그 중에서도 Toluene, Xylene, Ethylbenzene 이 많이 배출되고 있으며, 야마구치시 배출량의 98%, 야마구치현 배출량의 86%를 차지하고 있다.

2.1.2.2 Dazaifu(Fukuoka)

다자이후시는 후쿠오카시의 남동쪽 약 16 km 에 위치하며, 북쪽에 시오지산, 동쪽에 호만산이 있고, 시를 가로지르는 미카사강은 호만산에서 발원하여 시가지를 지나 하카타만으로 유입되고 있다. 다자이후시의 면적은 29.6 km², 인구는 71,828 명 (2017 년 3 월 현재)이며, 기후는 평균기온이 16.6 °C, 평균습도가 69 %, 연 평균 강수량이 1,684 mm 이다.

조사 지점의 서쪽 약 160 m 거리에 규슈 자동차도로가 있고, 동쪽 약 500 m 거리에 국도 3 호선이 있으며, 자동차의 12 시간 교통량(평일 7:00~19:00)은 각각 78,489 대와 40,912 대, 24 시간 교통량은 각각 101,703 대와 58,504 대 이다.

PRTR 신고 데이터(2015 년)에 있어서의 본 조사 측정항목 18 종류의 VOC 대기배출량은 다자이후시가 7.5 ton/yr, 후쿠오카현이 5,200 ton/yr 이다.

다자이후시에서는 Styrene, Toluene 이 주로 배출되고 있으며, 다자이후시 배출량의 97%를 차지하고 있다. 후쿠오카현 전체로는 Toluene, Xylene, Ethylbenzene 이 주로 배출되고 있으며, 후쿠오카현 배출량의 91%를 차지하고 있다.

2.1.2.3 Saga

사가시는 사가현 남동부에 위치하고 있으며, 남동부와 북쪽은 후쿠오카현에 접해 있다. 남쪽은 아리아케해에 접해 있으며 평야부가 펼쳐져 있으나, 북쪽은 세후리산지(쓰쿠시산지)가 있어 표고가 높은 지형이다. 사가시의 면적은 431.84 km², 인구는 234,453 명 (2017 년 3 월 현재) 이다. 평균기온이 16.5 °C, 평균습도가 70 %, 연 평균 강수량이 1,870 mm 이다.

조사 지점은 시 남부의 평야부에 펼쳐지는 시가지 내에 위치해 있다. 남쪽 약 600m 거리에 주요 간선도로인 국도 264 호선이 있으며, 자동차의 12 시간 교통량(평일 7:00~19:00)은 14,449 대이고, 24 시간 교통량은 18,945 대 이다.

PRTR 신고 데이터(2015 년)에 있어서의 본 조사 측정항목 18 종류의 VOC 대기 배출량은 사가시가 87 ton/yr, 사가현이 1,700 ton/yr 이다. 사가시에서는 Toluene, Xylene, Styrene 이 주로 배출되고 있으며, 사가시 배출량의 83%를 차지하고 있다. 사가현 전체로는 Xylene, Toluene, Ethylbenzene 이 주로 배출되고 있으며, 사가현 배출량의 96%를 차지하고 있다.

2.1.2.4 Omura(Nagasaki)

오무라시는 나가사키현 중앙에 위치하며, 동쪽은 교가다케산을 비롯하여 다라산계의 깎아지른 듯한 산지가 있으며, 서쪽은 광대한 오무라만이 펼쳐지는 자연이 풍부한 시이다. 오무라시의 면적은 126.62 km², 인구는 93,559 명 (2017 년 3 월 현재)이며, 평균기온이 16.9 °C, 평균습도가 74 %, 연 평균 강수량이 1,918 mm 이다.

조사 지점은 서쪽 약 800 m 거리에 국도 34 호선이 있고, 동쪽 약 1200 m 거리에 규슈 자동차도로가 있으며, 자동차의 12 시간 교통량(평일 7:00~19:00)은 각각 30,947 대와 19,453 대, 24 시간 교통량은 각각 41,125 대와 24,204 대 이다.

PRTR 신고 데이터(2015 년)에 있어서의 본 조사 측정항목 18 종류의 VOC 대기 배출량은 오무라시가 72 ton/yr, 나가사키현이 3,500 ton/yr 이다. 그 중에서도 Toluene, Xylene, Ethylbenzene 이 주로 배출되고 있으며, 오무라시 배출량의 99%, 나가사키현 배출량의 99%를 차지하고 있다.

2.2 조사 기간 및 항목

2.2.1 조사 기간

조사 방법 A(VOC 성분 농도 측정)는 2016년 5월, 8월, 11월과 2017년 2월에 총 4회 실시하였고, 각 조사기간에 3일간 연속으로 시료를 채취하였다. 조사 방법 B(자동측정망(상시감시) 데이터 등)는 2016년 4월 1일 ~ 2017년 3월 31일에 실시 하였으며, 매 시간 단위로 데이터를 수집하였다.

Table 2-2-1. Survey period by Method A

년도	시작 일시	종료 일시
2016	5월 10일(화) 9시	5월 13일(금) 9시
	8월 23일(화) 9시	8월 26일(금) 9시
	11월 8일(화) 9시	11월 11일(금) 9시
2017	2월 7일(화) 9시	2월 10일(금) 9시

2.2.2 조사 항목

조사 방법 A 는 VOC 성분 18 개 항목을 조사하였고, 조사 방법 B 는 자동측정망(상시감시) 및 기상데이터 등 12 개 항목을 조사하였다.

Table 2-2-2. Analysis items

조사 방법	성 분
조사 방법 A	Chloroform, Tetrachloroethylene, Trichloroethylene, 1, 3-Butadiene, Benzene, Toluene, Carbontetrachloride, Ethylbenzene, <i>m</i> , <i>p</i> -Xylene, Styrene, <i>o</i> -Xylene, 1,1,1-Trichloroethane, 1,1-Dichloroethane, Dichloromethane, Acrylonitrile, Chloroethylene, 1, 2-Dichloroethane, Chloromethane
조사 방법 B	PM _{2.5} , PM ₁₀ or SPM, O ₃ or Ox, SO ₂ , NO, NO ₂ , 기온, 습도, 풍향, 풍속, 일사량, 강수량

2.3 조사 방법

한·일 8 개 시·도·현이 공동으로 각 지자체에서 다음과 같은 조사를 실시하였다. 조사 방법 A(VOC 성분 농도 측정) 및 조사 방법 B(자동측정망(상시감시), 기상데이터)에 의하여 얻어진 데이터에 대하여 해석·평가를 실시하였으며, 세부내용은 다음과 같다.

2.3.1 대한민국측 조사 방법 A

2.3.1.1 시료채취

본 연구에 적용된 대한민국측의 시료채취 및 분석은 US EPA Method TO-17 및 한국의 대기오염공정시험기준(ES01804.2)에 의하여 실시하였다.

Busan 과 Gyeongsangnamdo 는 Carbopack C, Carbopack B 와 Carbosieve SIII(40/60 mesh, Markes Inc., UK) 흡착제가 충전된 스테인리스스틸 재질의 흡착관(C3-AAXX-5035, 1/4" x 9cm, Markes Inc., UK)을 사용하였고, 전남과 제주는 Carbopack B 와 Carbosieve SIII(40/60 mesh, Perkin elmer, UK)를 흡착제로 하는 흡착관(Airtoxic, 1/4" x 9cm, Perkin elmer, UK)을 사용하였다. 흡착관은 열탈착기에 의해 350 °C에서 순도 99.99 % 이상의 질소로 2 시간 이상 안정화(conditioning) 시킨 후 사용하였으며, 시료채취는 유량 40 mL/min 로 2 시간 간격으로 하였다. 시료채취장치의 구성은 Fig. 2-3-1 과 같다.

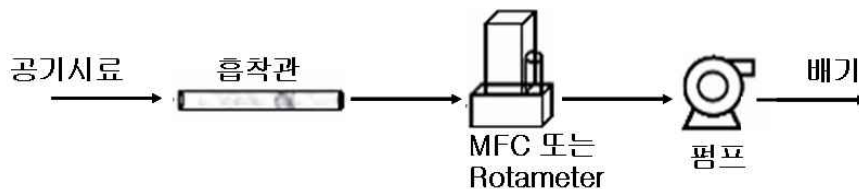


Fig. 2-3-1 Structure of sampling equipment

2.3.1.2 시료분석

고체흡착관으로 채취된 시료를 기체크로마토그래피질량분석기(GC/MS)로 분석하였다. 본 방법은 일정량의 흡착제를 충전한 흡착관에 시료를 채취하여 열탈착한 후 저온농축 트랩에서 농축하고 다시 열탈착을 실시한다. 이후 고분리능 칼럼을 이용해 기체크로마토그래피(GC)로 분석 물질을 분리하여 질량분석기(MS)로 측정하는 방법이다. 각 흡착관은 분석하기 전에 누출시험을 실시하였으며, 흡착관으로부터 분석물질을 열탈착하였다. 이때의 탈착온도는 200 ~ 300 °C로 하였으며, 운반기체의 유량은 30 ~ 100 mL/min 로 하였다. 열탈착된 시료를 저온농축 트랩에 농축시킨 후 250 ~ 300 °C의 온도범위에서 1 ~ 15 분 내에 운반기체 30 ~ 100 mL/min 로 탈착시켰다. 한국의 대기환경공정시험기준에 명시된 GC/MS 시스템 분석 조건을 Table 2-3-1 에 나타내었다.

Table 2-3-1. Operation conditions of analytical methods

제 어 변 수	기체 크로마토그래피(GC) 조건			
칼 럼	칼럼 DB-1(50.0 m × 320 μm × 5.0 μm)			
운 반 기 체	헬 른			
칼 럼 유 량	1.5 mL/min			
검 출 기	MS 조건			
오븐 온도 프로그램		상승 온도 (℃/min)	온 도 (℃)	정지 시간 (min)
	초 기			
	1 단계		-30	0
	2 단계	3	170	0
	3 단계	6	200	8.33
	총 작동시간	80 min		
EI(Electron Impact) 조건	70 ev			
질 량 범 위	35 ~ 300 amu			

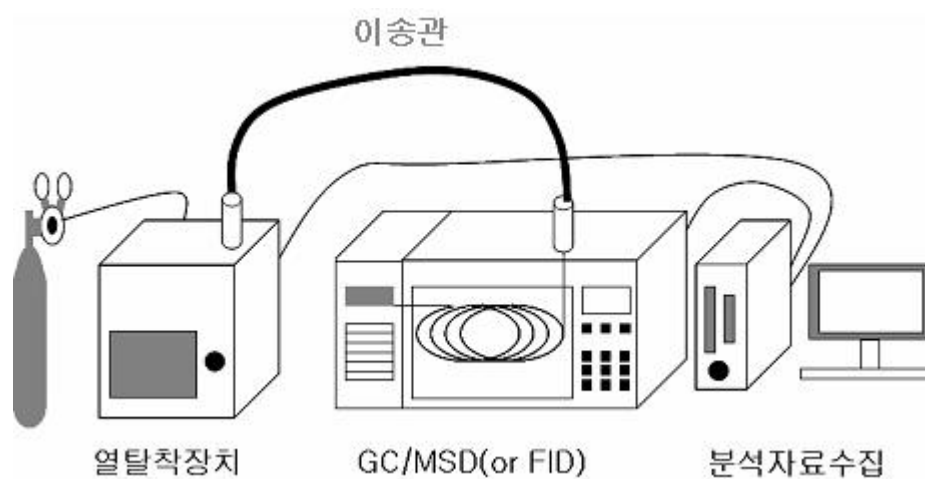


Fig. 2-3-2 Structure of analytical equipment

2.3.1.3 정도관리

(1) 오염상황 확인

실험실 및 시료채취 현장에서의 흡착관 오염 여부 확인을 위해 실험실 및 현장 바탕시료에 대한 분석을 실시하였다. 실험실 바탕시료(laboratory blank)는 현장에서의 시료 채취에 사용되는 흡착관들과 동일하게 안정화하였고, 밀봉 보존한 후 4 °C 이하에서 별도 보관하였다. 시료분석의 처음과 마지막에 분석하였으며, 검출되는 물질의 면적이 분석시료 면적의 10% 이하일 경우에 유효한 결과로 사용하였다. 현장 바탕시료(field blank)는 시료채취 지점까지 운반하여 현장에서 개봉 후 즉시 밀봉하였으며, 실제 샘플링된 흡착관과 함께 이동하여 실험실에 보관하였다. 10 개의 시료흡착관마다 하나의 현장 바탕시료를 분석하였으며, 분석시료 최소면적의 5% 이하일 경우에 유효한 결과로 사용하였다.

(2) 분석정도(검출하한치 및 정량하한치의 산출)

검출하한치에 다다를 것으로 생각되는 대상물질의 농도를 7 번 반복 측정한 후 이 농도값을 바탕으로 하여 얻은 표준편차에 3.14 를 곱하여 검출하한치로 하였고, 표준편차에 10 을 곱하여 정량하한치로 하였다.

(3) 시료의 보관

채취된 시료는 가능한 즉시 분석을 실시하였다. 즉시 분석할 수 없는 경우는 오염 및 분석대상 항목의 손실이 일어나지 않도록 4 °C에서 냉장보관 하였다.

2.3.2 일본측 조사 방법 A

2.3.2.1 시료채취

본 조사에서는 일본 환경성의 「유해대기오염물질 측정매뉴얼」(이하 「매뉴얼」이라고 한다)에 준하여 실시하였다. 조사 지점에서 미리 감압해 둔 내용적 6 L 의 스테인리스 용기(캐니스터)에 유량 3~4 ml/min 로 8 시간 또는 16 시간 채취하였으며, 채취 후의 시료는 가습 제로가스에 의하여 가압하였다. 시료채취 장치의 구성은 Fig. 2-3-3 에 나타내었다.

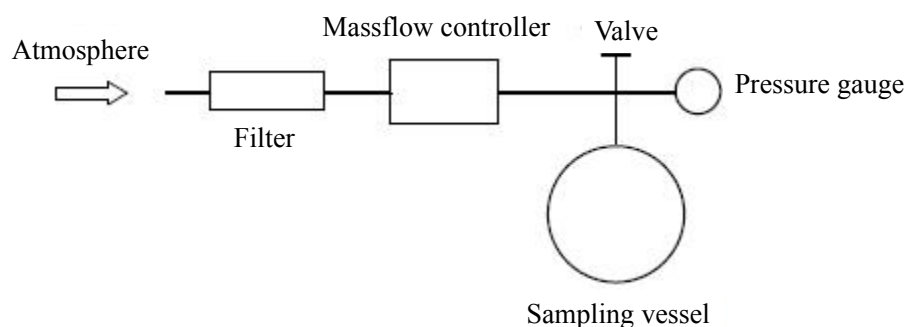


Fig.2-3-3 Structure of sampling equipment

2.3.2.2 시료분석

감압채취법으로 채취한 시료를 기체크로마토그래피질량분석법(GC/MS)으로 분석하였다. 감압채취 후 가습 제로가스로 가압한 캐니스터를 시료도입장치에 접속하고, 제습하면서 시료를 일정 유량으로 농축부에 농축하였다. 더욱이 농축부를 일정시간 가열하여 측정대상 물질을 탈착하고, 액체질소 등으로 온도제어한 트랩관에 재농축하였다. 그 후, 다시 승온하여 측정대상 물질을 탈착하고, 기체크로마토그래피(GC)로 분리하였으며 질량분석기(MS)로 정성 및 정량을 실시하였다.

매뉴얼의 GC/MS 분석조건을 Table 2-3-2 에 나타내었다.

Table 2-3-2. Operation conditions of analytical methods

구 분	GC/MS 조건
칼 럼	휘발성 유기 염소계 화합물 분석용 모세관 칼럼 내경 0.32 mm, 길이 60 m, 막의 두께 1.8 μ m
운 반 기 체	헬륨
칼 럼 유 량	1.0 mL/min
검 출 법	SIM 검출법 또는 Scan 검출법
칼 럼 온 도	40 $^{\circ}$ C (4 분간 유지) \rightarrow (10 $^{\circ}$ C/min) \rightarrow 250 $^{\circ}$ C (5 분간 유지)
인터페이스 온도	250 $^{\circ}$ C
이 온 원	온도 220 $^{\circ}$ C, 70 eV

2.3.2.3 정도관리

(1)오염상황 확인

시료채취 현장 및 측정분석 과정의 오염도를 확인하기 위하여 세정 후 감압한 캐니스터를 밀봉한 채로 시료채취용 캐니스터와 동일하게 현장에 설치하고 분석을 실시하였다(field blank).

(2) 분석정도(검출하한치 및 정량하한치의 산출)

검량선 작성시 최저농도의 표준시료를 5 개 시료 이상 측정하여 표준편차를 산출하고, 표준편차의 3 배를 검출하한치로 하고, 10 배를 정량하한치로 하였다.

(3) 시료의 보관

오염이나 성분 손실을 방지하기 위하여 채취 후에는 신속하게 분석을 실시하였다.

2.3.3 조사 방법 B

조사 방법 B 는 자동측정기를 이용한 측정방법으로서 한·일 양국의 시험기준에 근거하여 1 시간별로 대기시료(PM_{2.5} 질량농도, PM₁₀ 또는 SPM 질량농도, O₃ 또는 O_x, SO₂, NO, NO₂)와 기상자료(기온, 습도, 풍향, 풍속, 일사량, 적산강수량)를 측정하였다.

2.4 해석 방법

(1) PRTR 데이터에 근거한 VOC 배출 상황으로부터의 고찰

자국의 화학물질배출량(Pollutant Release and Transfer Register, PRTR) 자료를 근거로 하여 지역별 VOC 배출상황을 평가하였다. 추가적으로 대한민국측은 국립환경과학원의 대기정책지원시스템(Clean Air Policy Support System, CAPSS) 배출자료를 이용하였으며, 일본측은 국립연구개발법인 산업기술종합연구소가 개발한 대기환경농도 추정 및 폭로 평가모델(Atmospheric Dispersion Model for Exposure and Risk Assessment, ADMER)을 이용하였다.

(2) VOC 성분 데이터 및 자동측정망(상시감시) 데이터 등의 상관비교

VOC 항목의 조사지점간 상관비교 및 조사지점별 VOC 항목간 상관비교, VOC 성분과 자동측정망(상시감시) 데이터와의 상관성 평가를 통해 대기 중에서 VOC 성분과 입자상 물질, 가스상물질, 기상인자와의 상호메커니즘을 해석하였다.

(3) 특징적 사례의 해석

환경기준 설정항목에 대한 VOC 농도수준 평가, 성분별 상호간 농도비(比)에 의한 지역특성 파악, 지점별 기상정보 및 VOC 농도자료에 의한 기여도 평가 등을 통해 특징적 사례를 해석하였다. 조사 방법 A 와 B 에 따른 대한민국과 일본, WHO(World Health Organization)의 대기 환경 기준을 아래표에 나타내었다.

Table 2-4-1. National Ambient Air Quality Standards under Method A

항 목	Benzene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Trichloroethylene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Tetrachloroethylene ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Dichloromethane ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
대한민국	5	—	—	—
일 본	3	200	200	150

Table 2-4-2. National Ambient Air Quality Standards under Method B

구 분		PM _{2.5} * ¹ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM ₁₀ or SPM* ² ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SO ₂ (ppm)	CO (ppm)	NO ₂ (ppm)	O ₃ or Ox (ppm)* ³
연 간	대한민국	25	50	0.02	—	0.03	—
	일 본	15	—	—	—	—	—
	WHO	10	20	—	—	0.021	—
24시간	대한민국	50	100	0.05	—	0.06	—
	일 본	35	100	0.04	10	0.04~0.06	—
	WHO	25	50	—	—	—	—
8시간	대한민국	—	—	—	9	—	0.06
	일 본	—	—	—	20	—	—
	WHO	—	—	—	8.6	—	0.05
1시간	대한민국	—	—	0.15	25	0.10	0.10
	일 본	—	200	0.10	—	—	0.06
	WHO	—	—	—	25.7	0.102	—

*¹ 대한민국의 경우 PM_{2.5}에 관한 대기환경기준은 2015 년부터 적용

*² PM₁₀ : 대한민국, SPM : 일본

*³ O₃ : 대한민국, Ox : 일본

Ⅲ. 각 조사 지점의 VOC 측정 결과

3.1 Busan

3.1.1 VOC 농도 및 자동측정망(상시감시) 데이터 농도 추이

시료 채취 기간 중의 VOC 농도를 Fig. 3-1-1 및 Fig. 3-1-2 에, 자동측정망 데이터를 Fig. 3-1-3 에 나타내었다.

5 월 12 일의 주간이 다른 기간에 비교하여 전반적으로 높은 경향에 있었다.

계절별로는 주·야간 모두 전체적으로 11 월(추계)에 VOC 농도가 높은 경향에 있었다.

시료 채취 기간을 통틀어서 가장 고농도로 검출된 물질은 *m,p*-Xylene 이고, 다음이 Toluene 이었다.

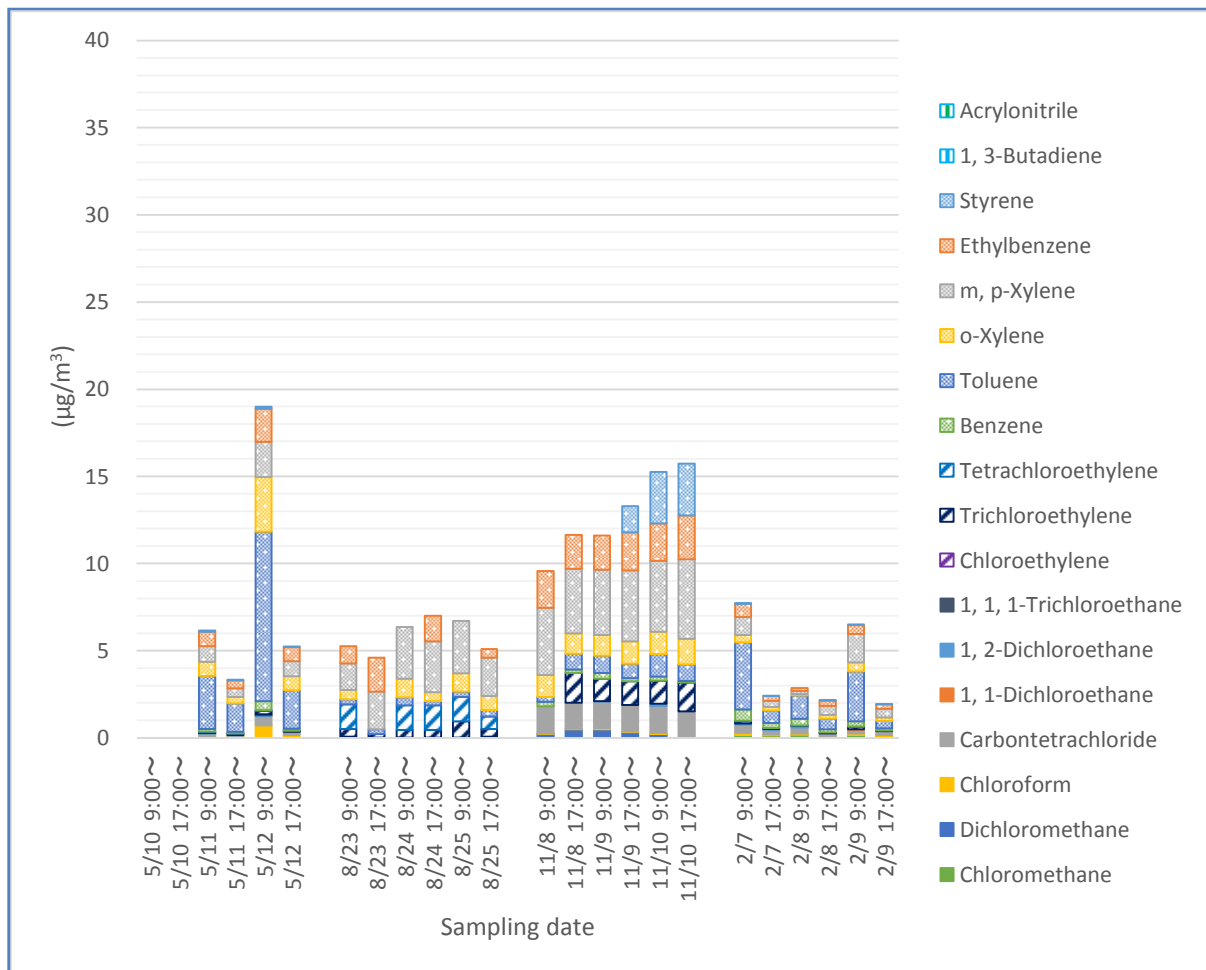


Fig. 3-1-1 VOC concentration transition

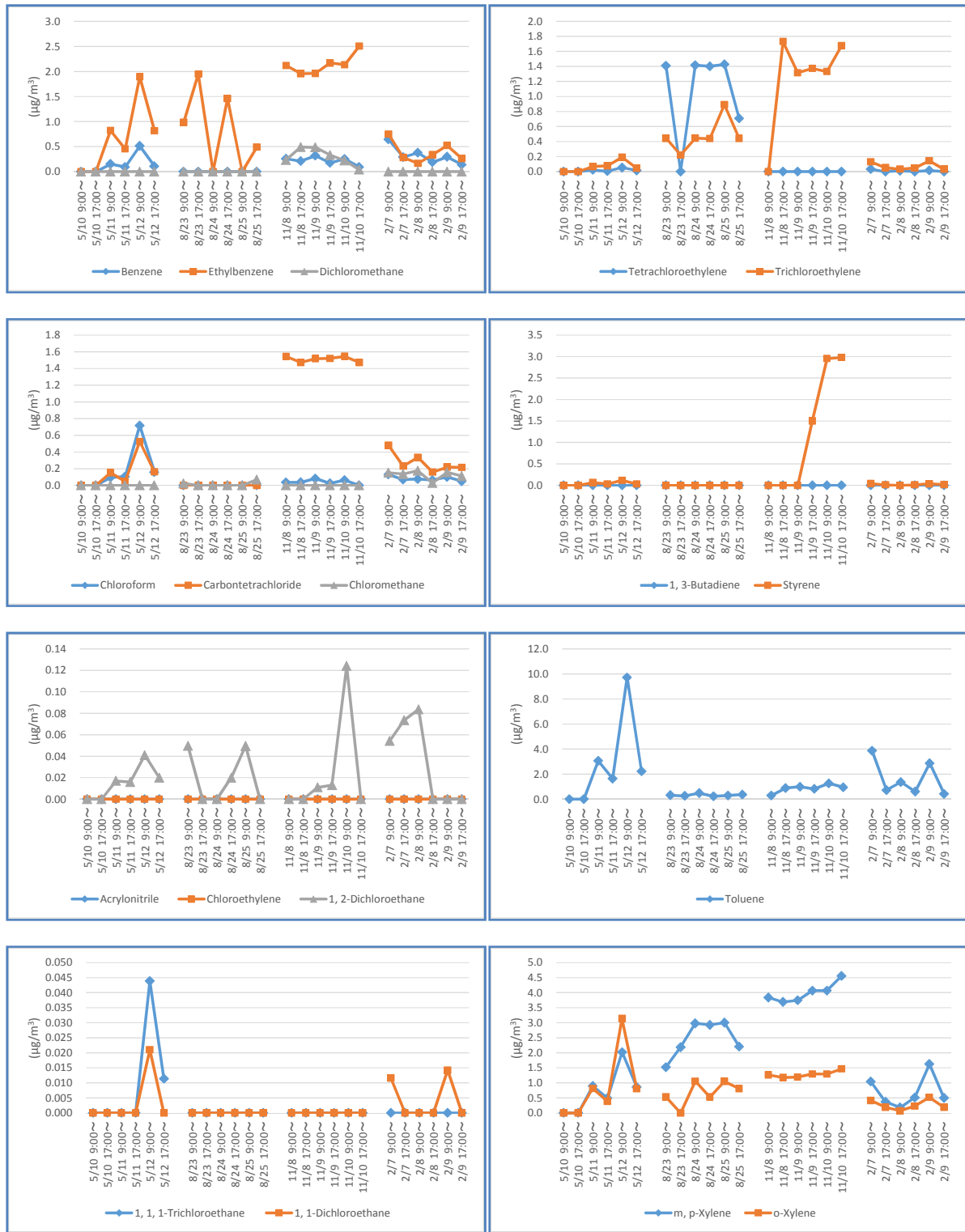


Fig. 3-1-2 VOC concentration transition

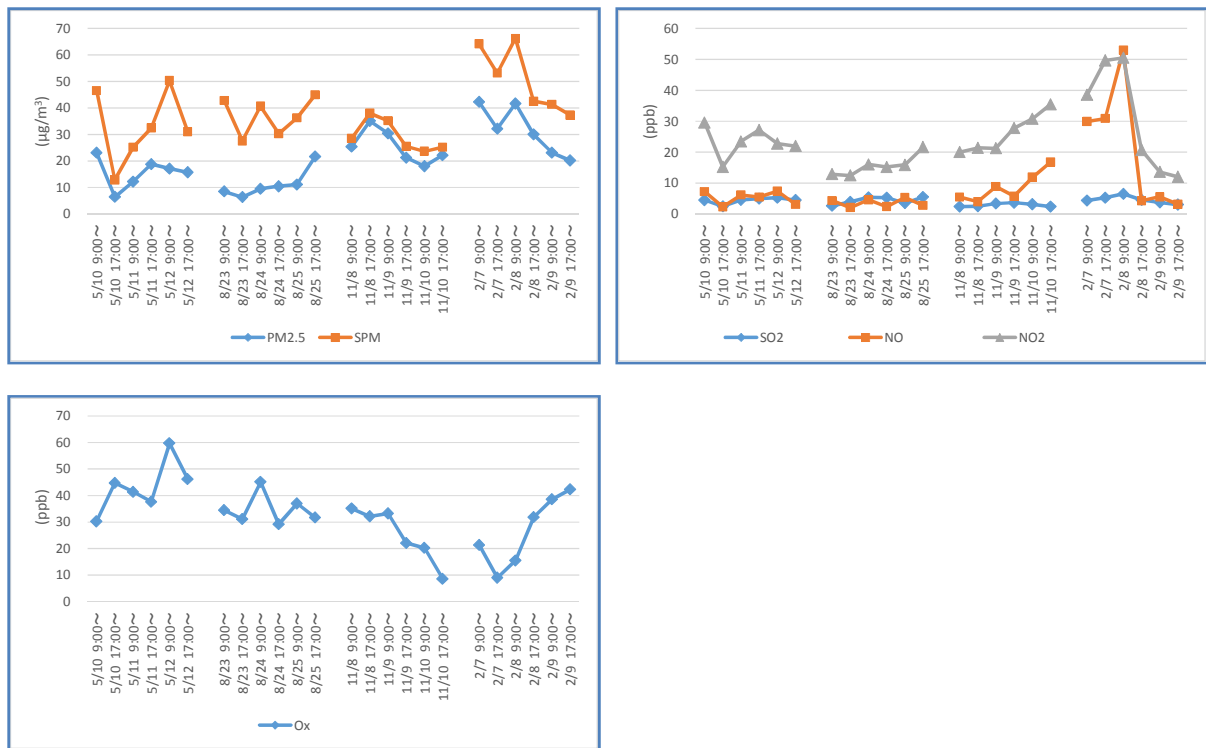


Fig. 3-1-3 Transition of automatic measurement data

3.2 Jeollanamdo

3.2.1 VOC 농도 및 자동측정망(상시감시) 데이터 농도 추이

시료 채취 기간 중의 VOC 농도를 Fig. 3-2-1 및 Fig. 3-2-2 에, 자동측정망 데이터를 Fig. 3-2-3 에 나타내었다.

5 월 10 일 주간에 다른 기간에 비교하여 전반적으로 높은 경향에 있었다.

계절별로는 5 월(춘계)이 상대적으로 높았고, 2 월(동계)에는 VOC 농도가 낮은 경향에 있었다.

시료 채취 기간을 통틀어서 가장 고농도로 검출된 물질은 Toluene 이고, 다음이 *m,p*-Xylene 이었다.

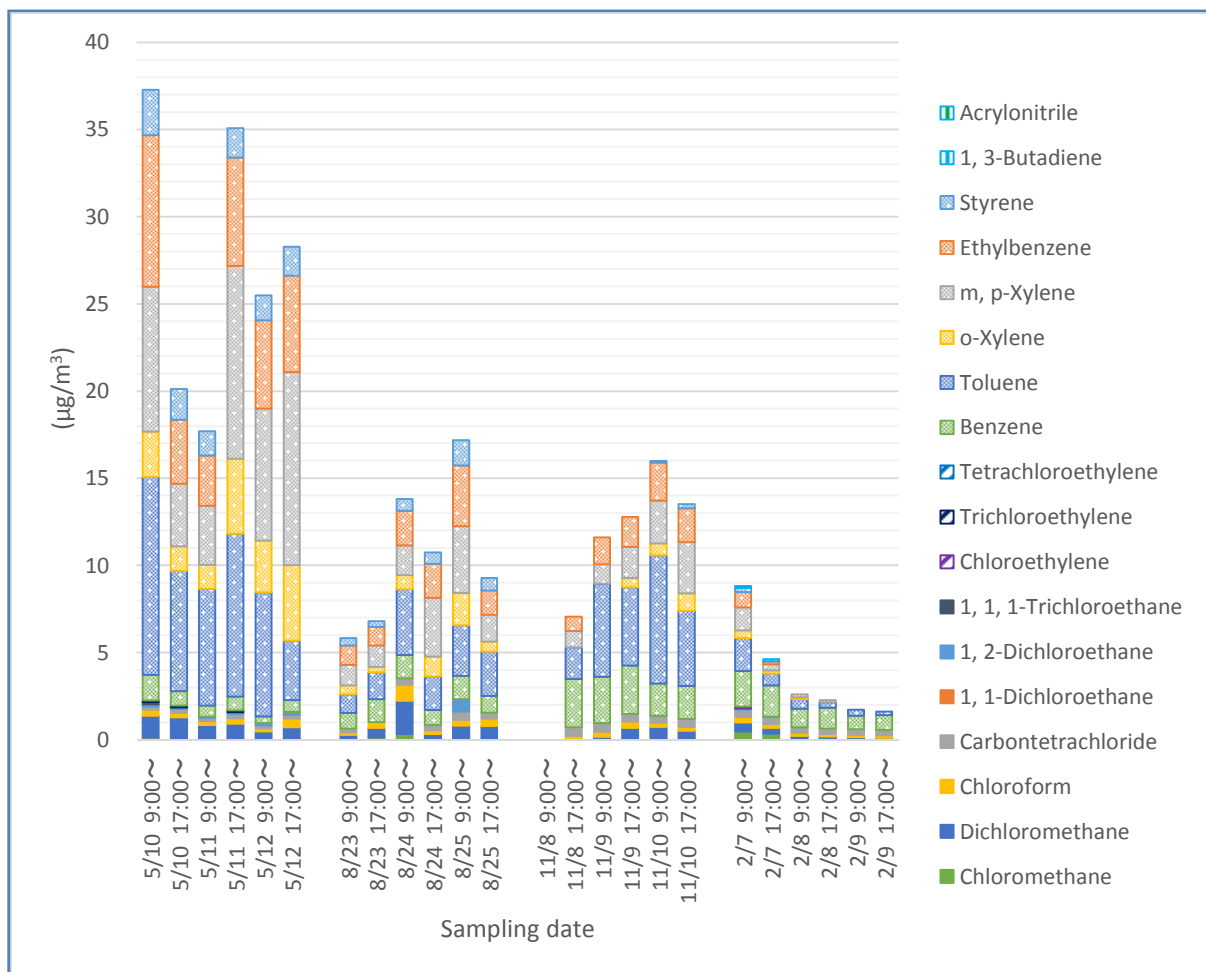


Fig. 3-2-1 VOC concentration transition

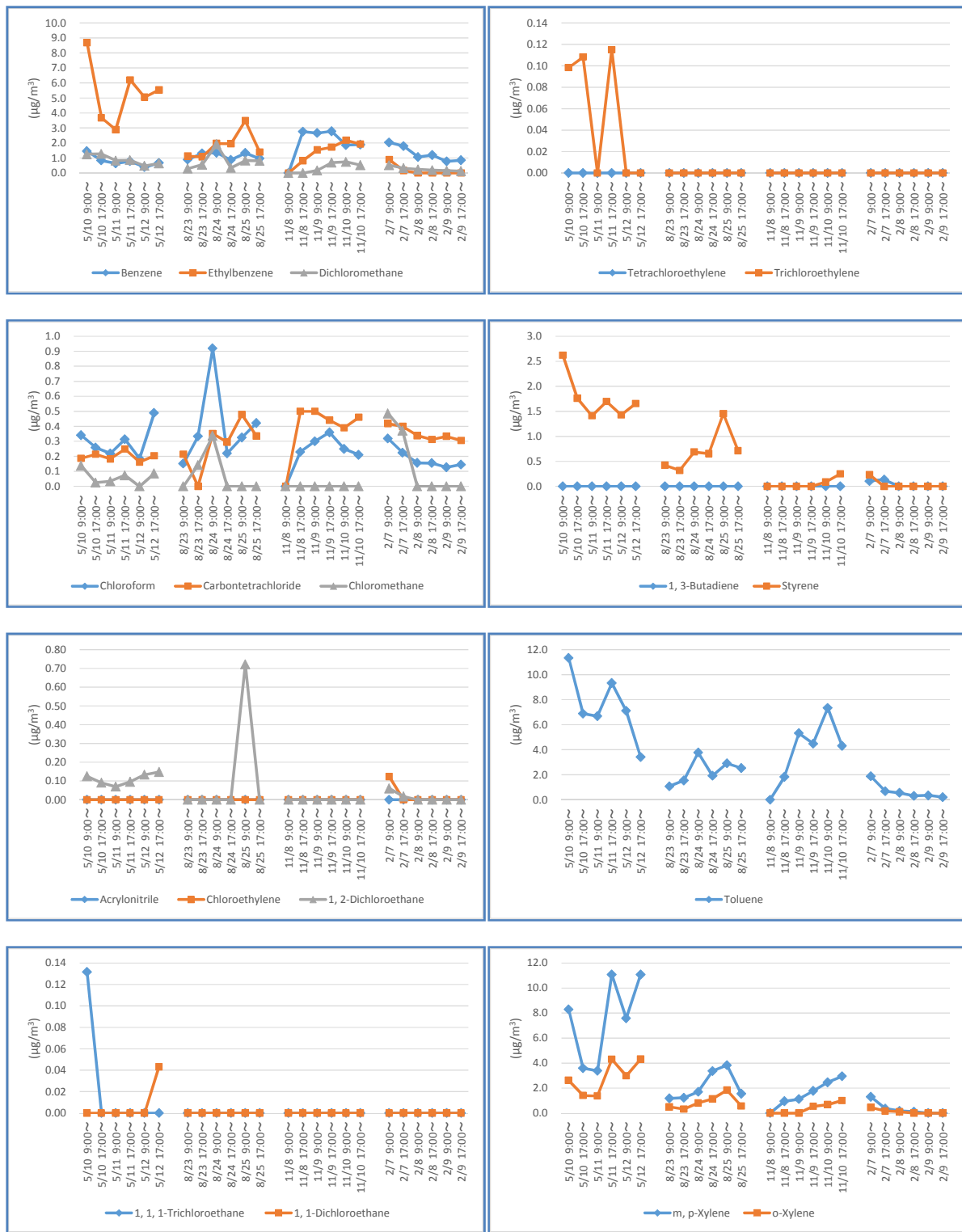


Fig. 3-2-2 VOC concentration transition

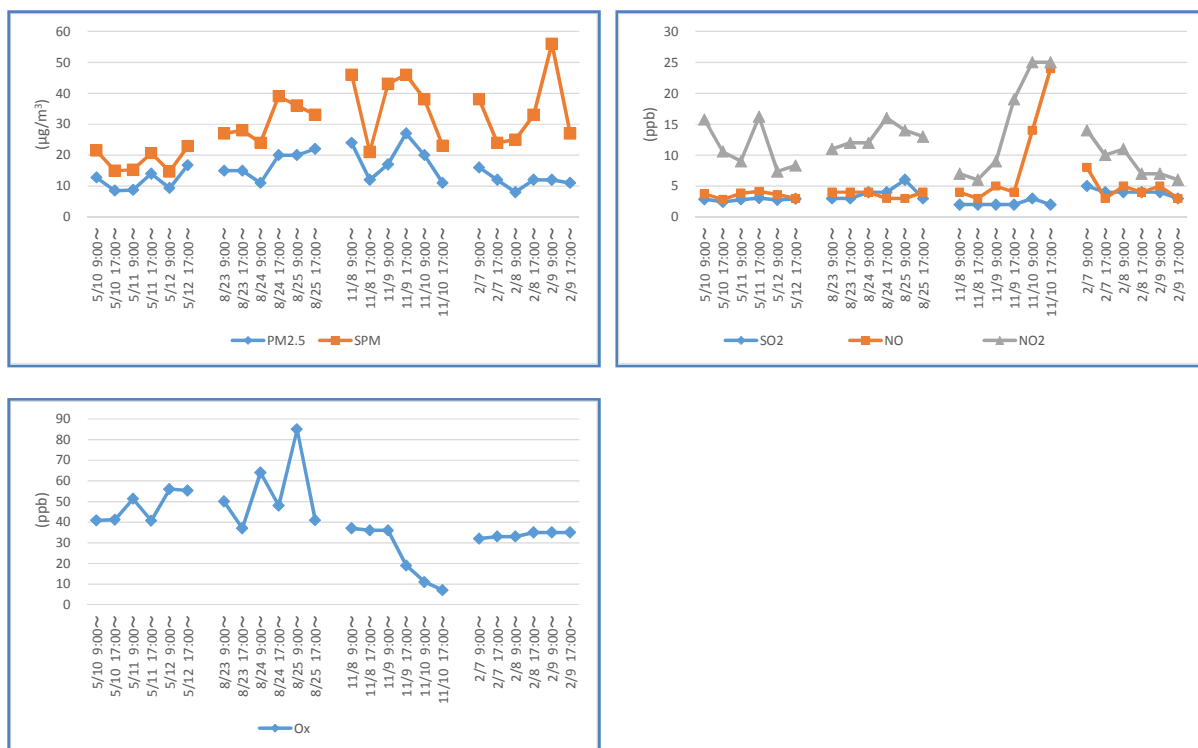


Fig. 3-2-3 Transition of automatic measurement data

3.3 Gyeongsangnamdo

3.3.1 VOC 농도 및 자동측정망(상시감시) 데이터 농도 추이

시료 채취 기간 중의 VOC 농도를 Fig. 3-3-1 및 Fig. 3-3-2 에, 자동측정망 데이터를 Fig. 3-3-3 에 나타내었다.

5 월 12 일의 주간이 다른 기간에 비교하여 상대적으로 높은 경향에 있었다.

계절별로는 전체적으로 11 월(추계)에 VOC 농도가 높은 경향에 있었고, 나머지 5 월(춘계), 8 월(하계), 2 월(동계)에는 비슷한 수준이었다.

시료 채취 기간을 통들어서 가장 고농도로 검출된 물질은 *m,p*-Xylene 이고, 다음이 Styrene 이었다.

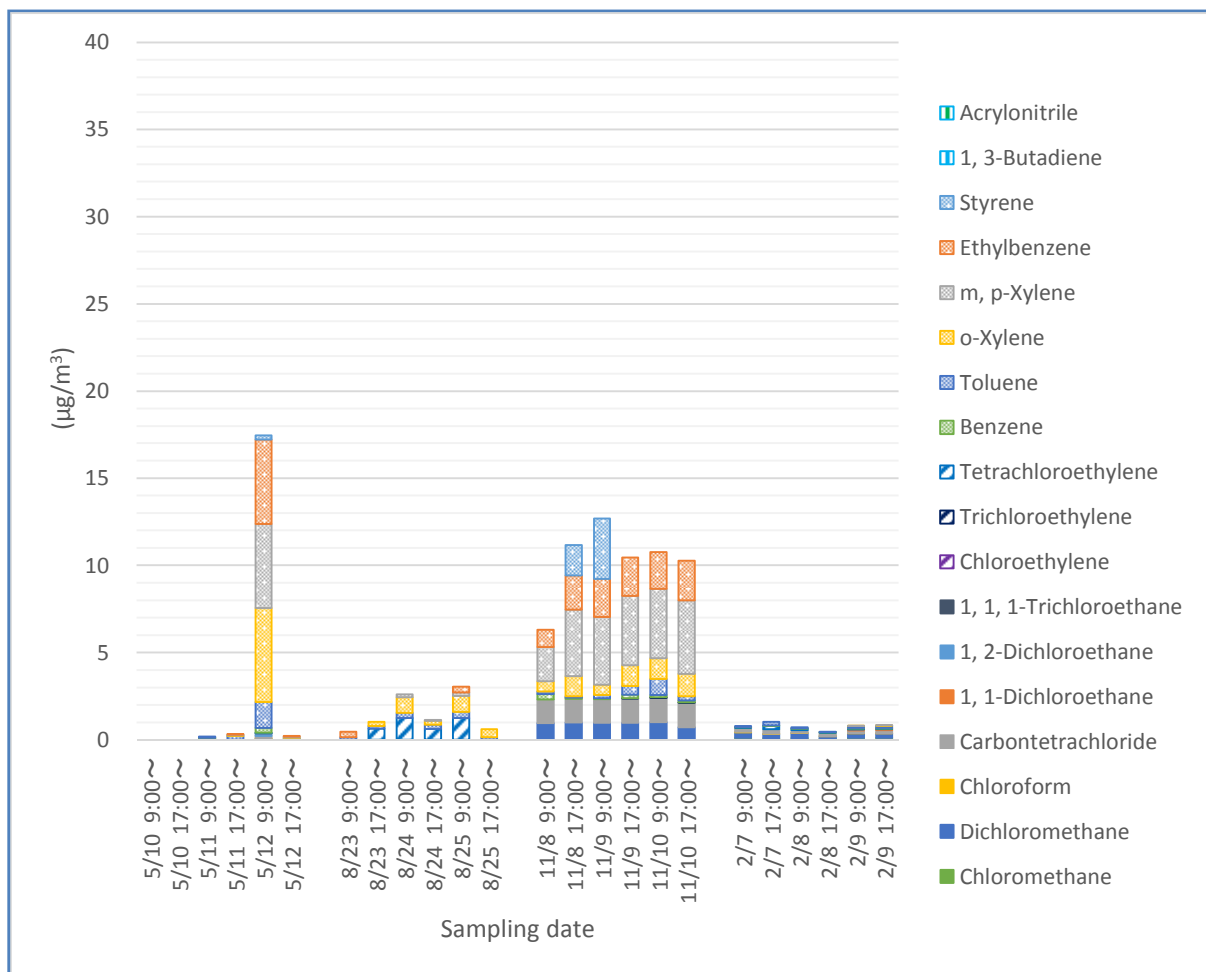


Fig. 3-3-1 VOC concentration transition

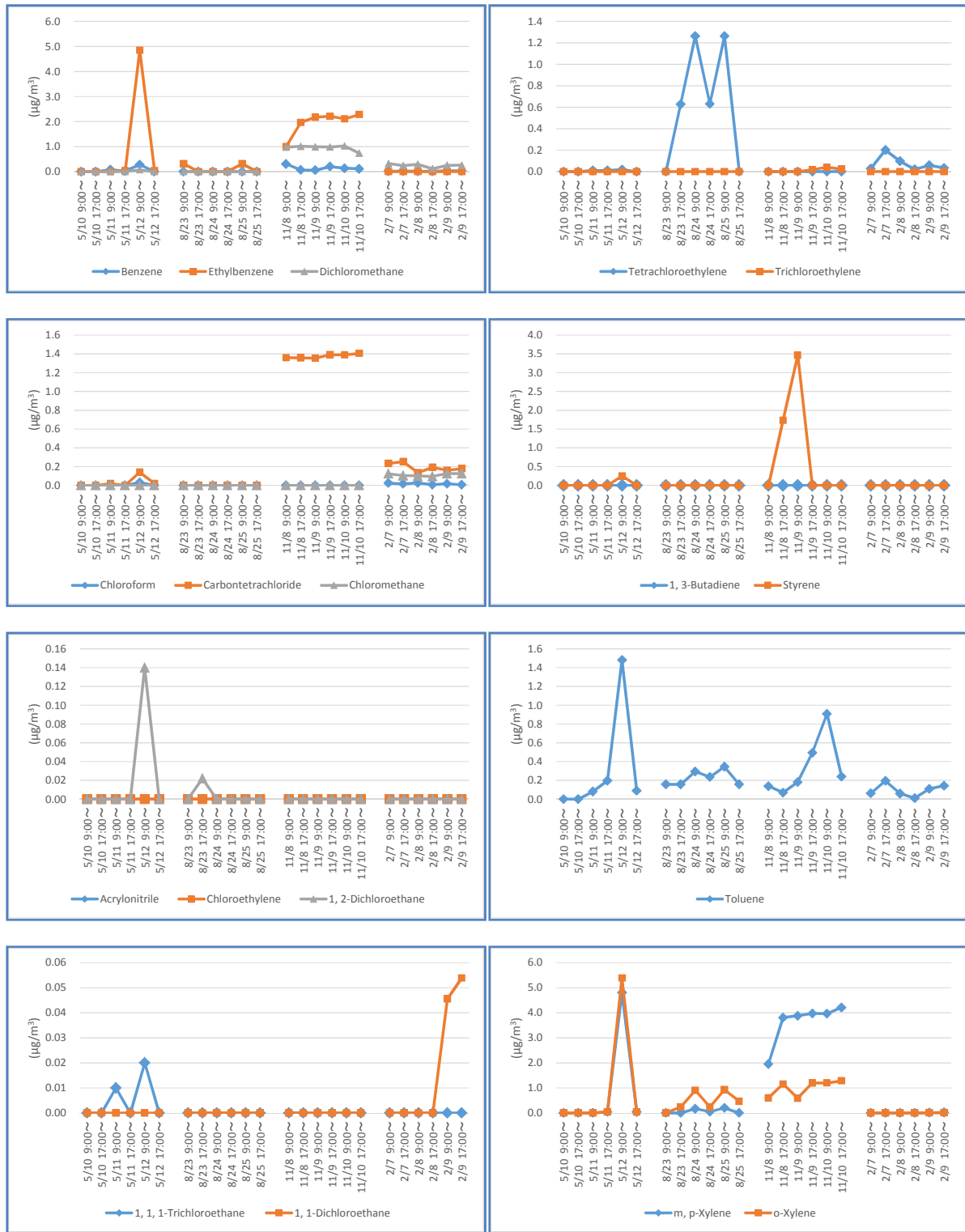


Fig. 3-3-2 VOC concentration transition

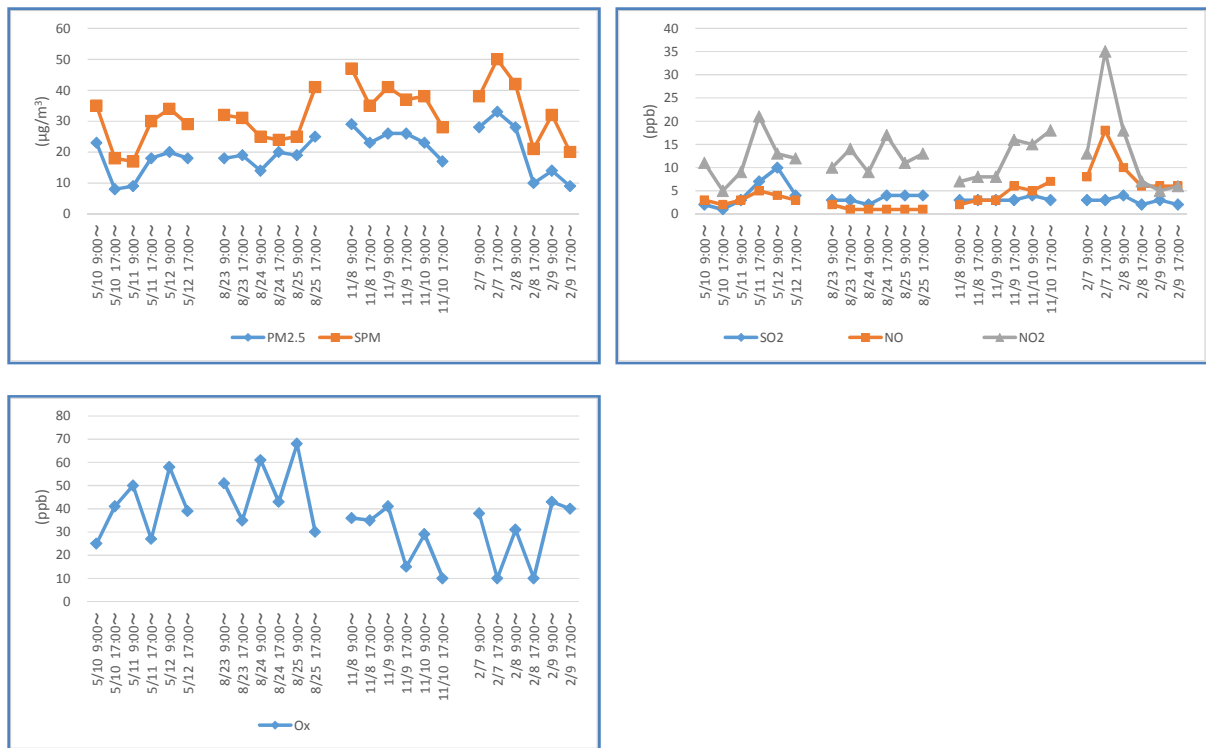


Fig. 3-3-3 Transition of automatic measurement data

3.4 Jeju

3.4.1 VOC 농도 및 자동측정망(상시감시) 데이터 농도 추이

시료 채취 기간 중의 VOC 농도를 Fig. 3-4-1 및 Fig. 3-4-2 에, 자동측정망 데이터를 Fig. 3-4-3 에 나타내었다.

5 월 11 일과 8 월 23 일의 주간이 다른 기간에 비교하여 상대적으로 높은 경향에 있었다.

계절별로는 전체적으로 비슷한 추세였으나, 8 월(하계)에 VOC 농도가 다소 높은 경향에 있었다.

시료 채취 기간을 통틀어서 가장 고농도로 검출된 물질은 Toluene 이고, 나머지 항목들은 상대적으로 저농도이거나 불검출 항목이 많았다.

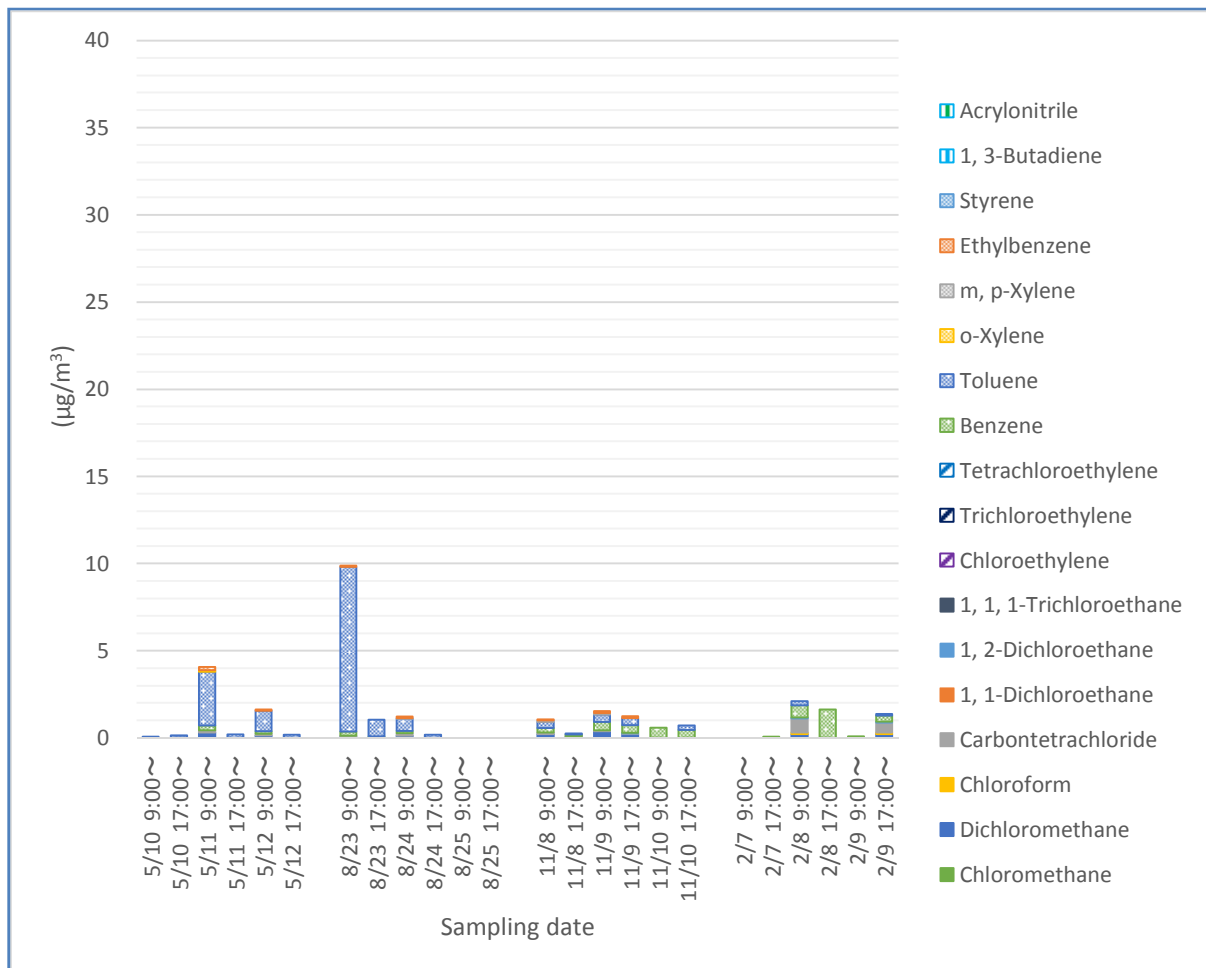


Fig. 3-4-1 VOC concentration transition

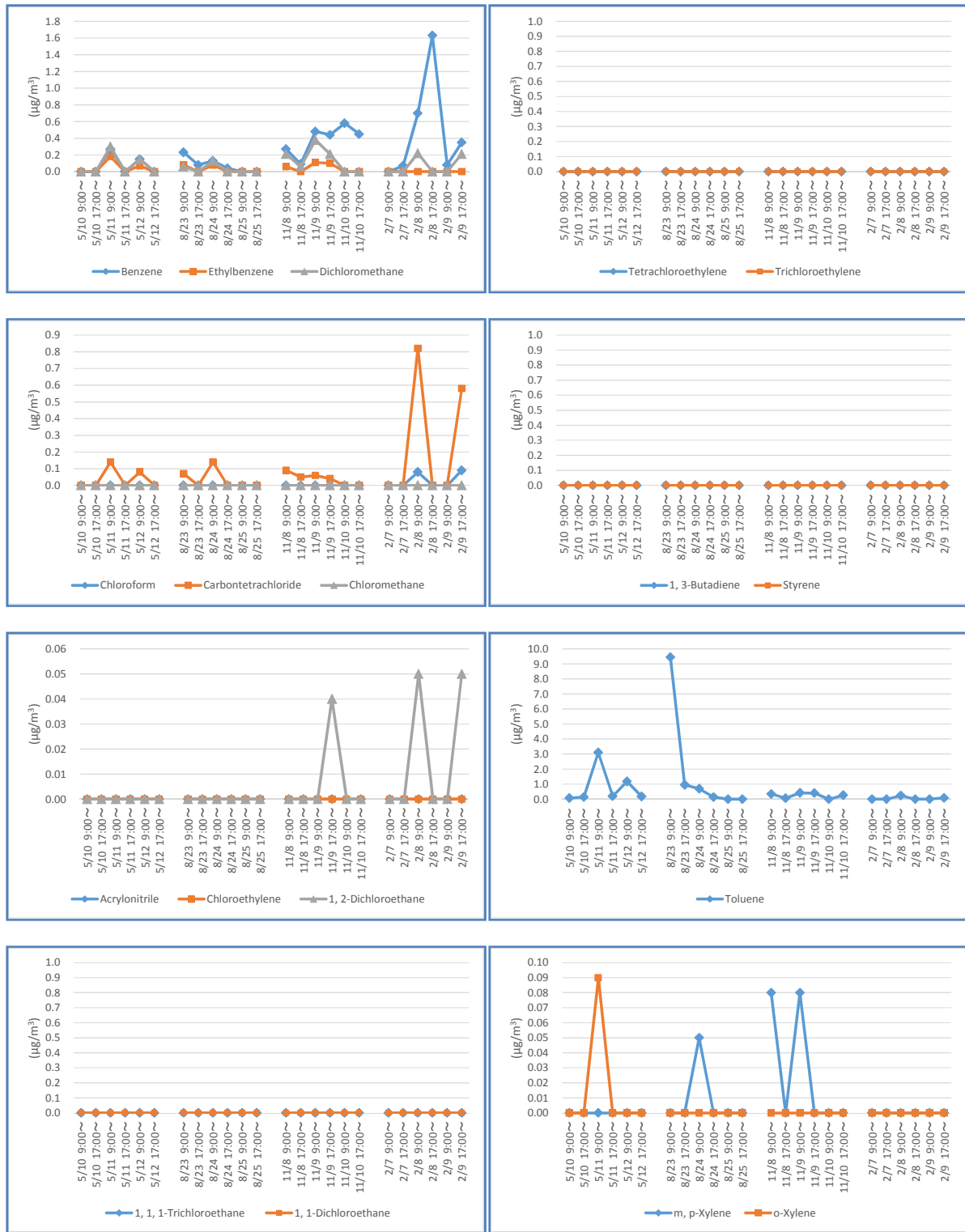


Fig. 3-4-2 VOC concentration transition

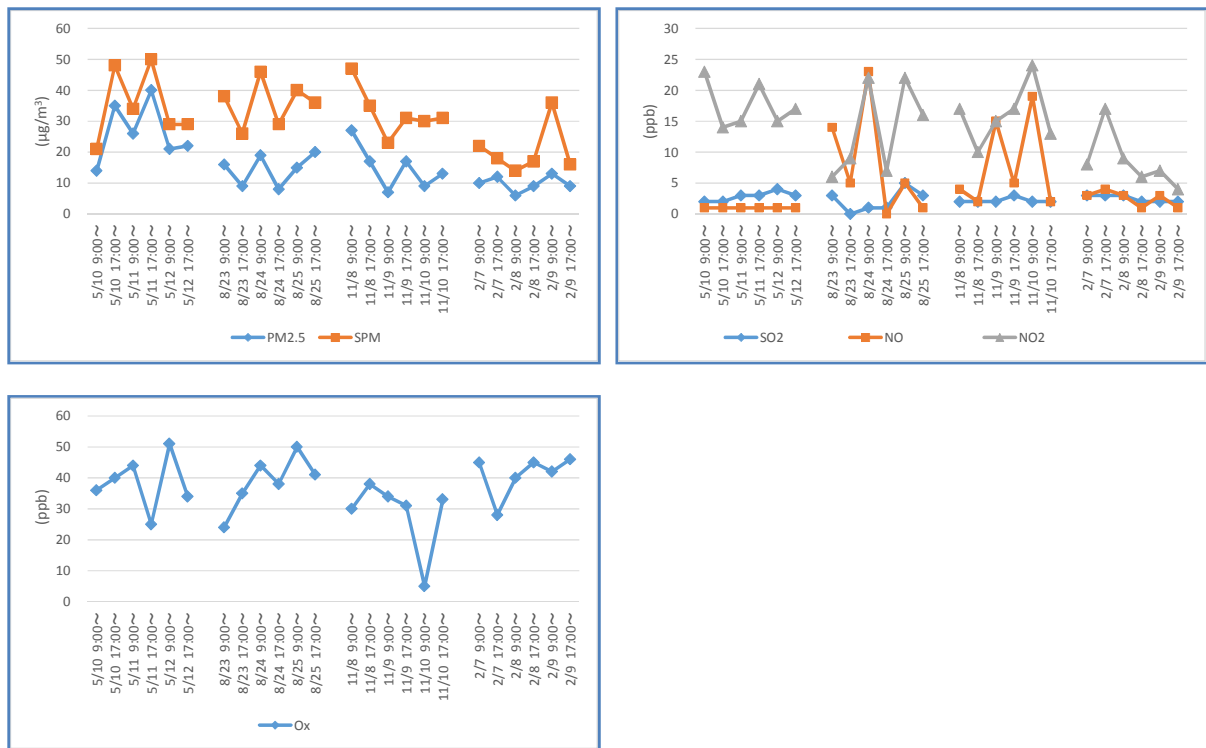


Fig. 3-4-3 Transition of automatic measurement data

3.5 Yamaguchi

3.5.1 VOC 농도 및 자동측정망(상시감시) 데이터 농도 추이

시료 채취 기간 중의 VOC 농도를 Fig. 3-5-1 및 Fig. 3-5-2 에, 상시감시 데이터를 Fig. 3-5-3 에 나타내었다.

5 월 10 일의 주간과 11 월 8 일의 주간은 다른 기간에 비교하여 대다수의 항목이 높은 경향에 있었다.

계절별로는 전체적으로 11 월(추계)에 VOC 농도가 높은 경향에 있었다.

시료 채취 기간을 통틀어서 가장 고농도로 검출된 물질은 Toluene 이고, 다음이 Chloromethane 이었다.

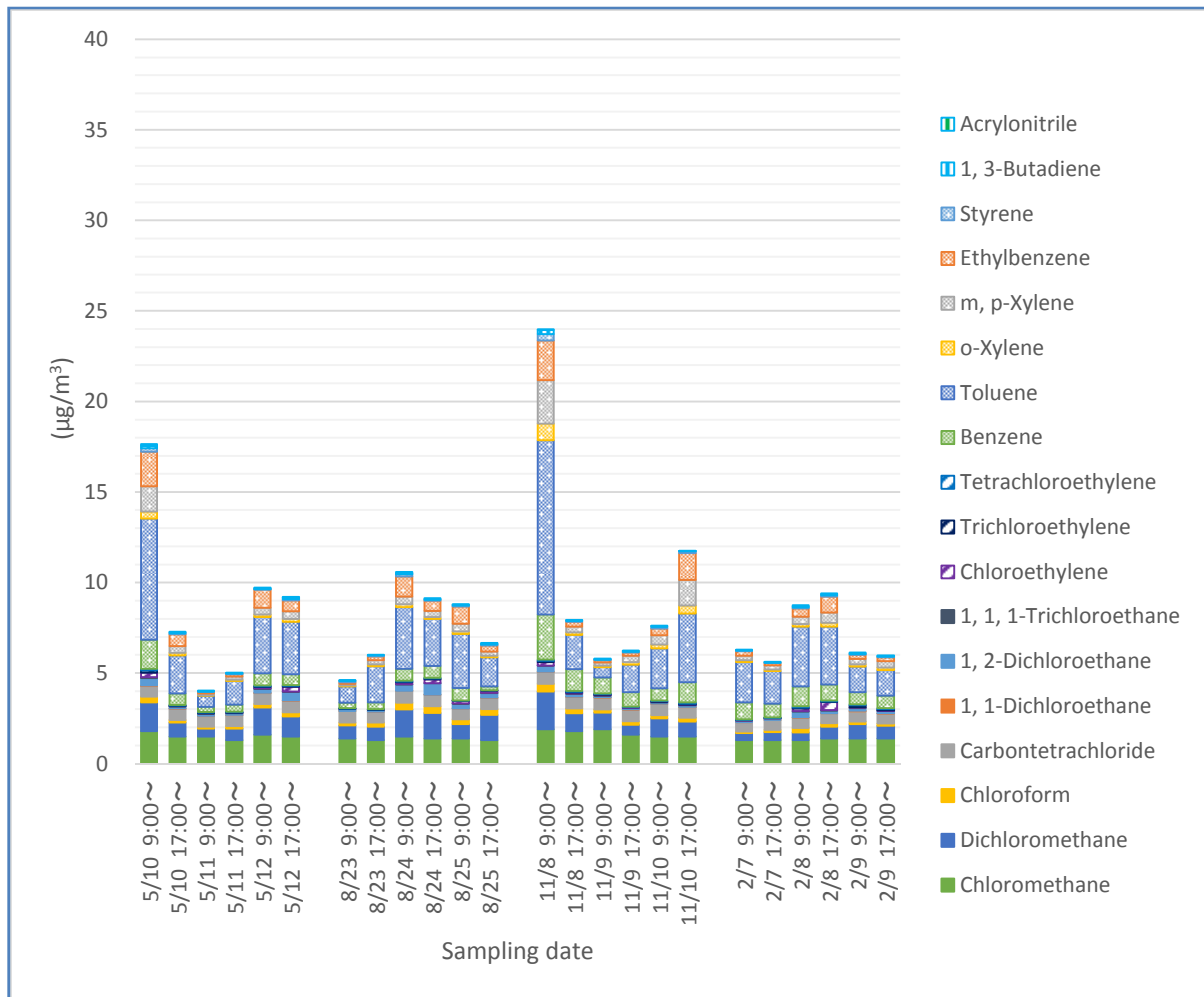


Fig. 3-5-1 VOC concentration transition

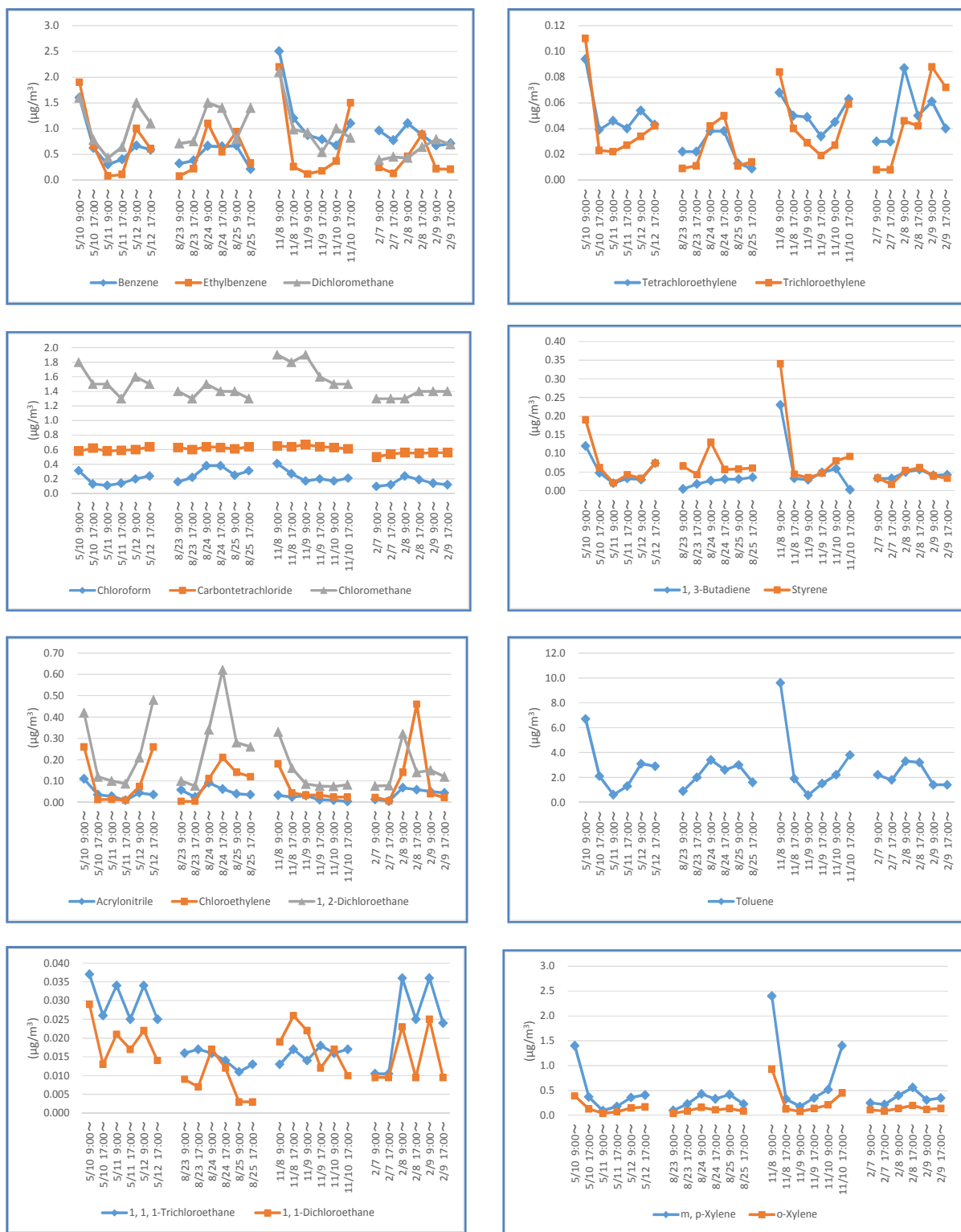


Fig. 3-5-2 VOC concentration transition

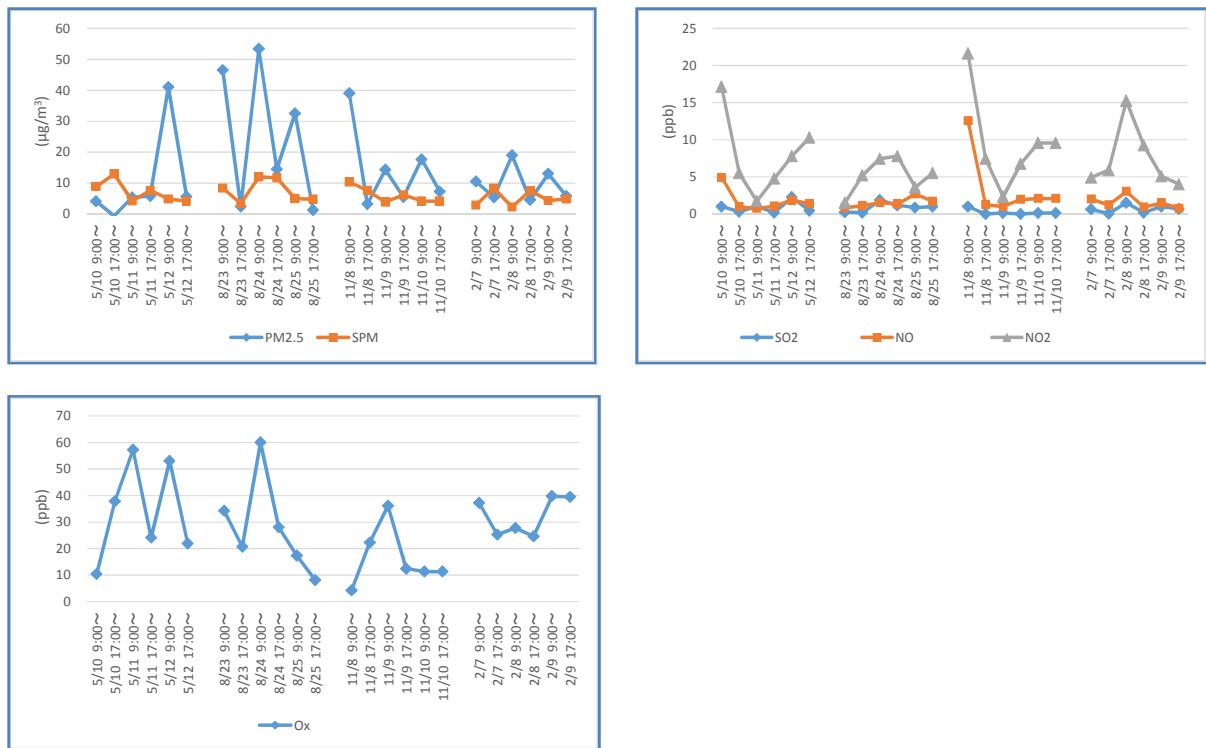


Fig. 3-5-3 Transition of automatic measurement data

3.6 Dazaifu(Fukuoka)

3.6.1 VOC 농도 및 자동측정망(상시감시) 데이터 농도 추이

시료 채취 기간 중의 VOC 농도를 Fig. 3-6-1 및 Fig. 3-6-2 에, 상시감시 데이터를 Fig. 3-6-3 에 나타내었다.

11 월 8 일의 주간은 다른 기간에 비교하여 높은 경향에 있었다.

계절별로는 11 월(추계), 5 월(춘계), 2 월(동계), 8 월(하계)의 순서로 VOC 농도가 높은 경향에 있었다

시료 채취 기간을 통틀어서 가장 고농도로 검출된 물질은 Toluene 이고, 다음이 Chloromethane 이었다.

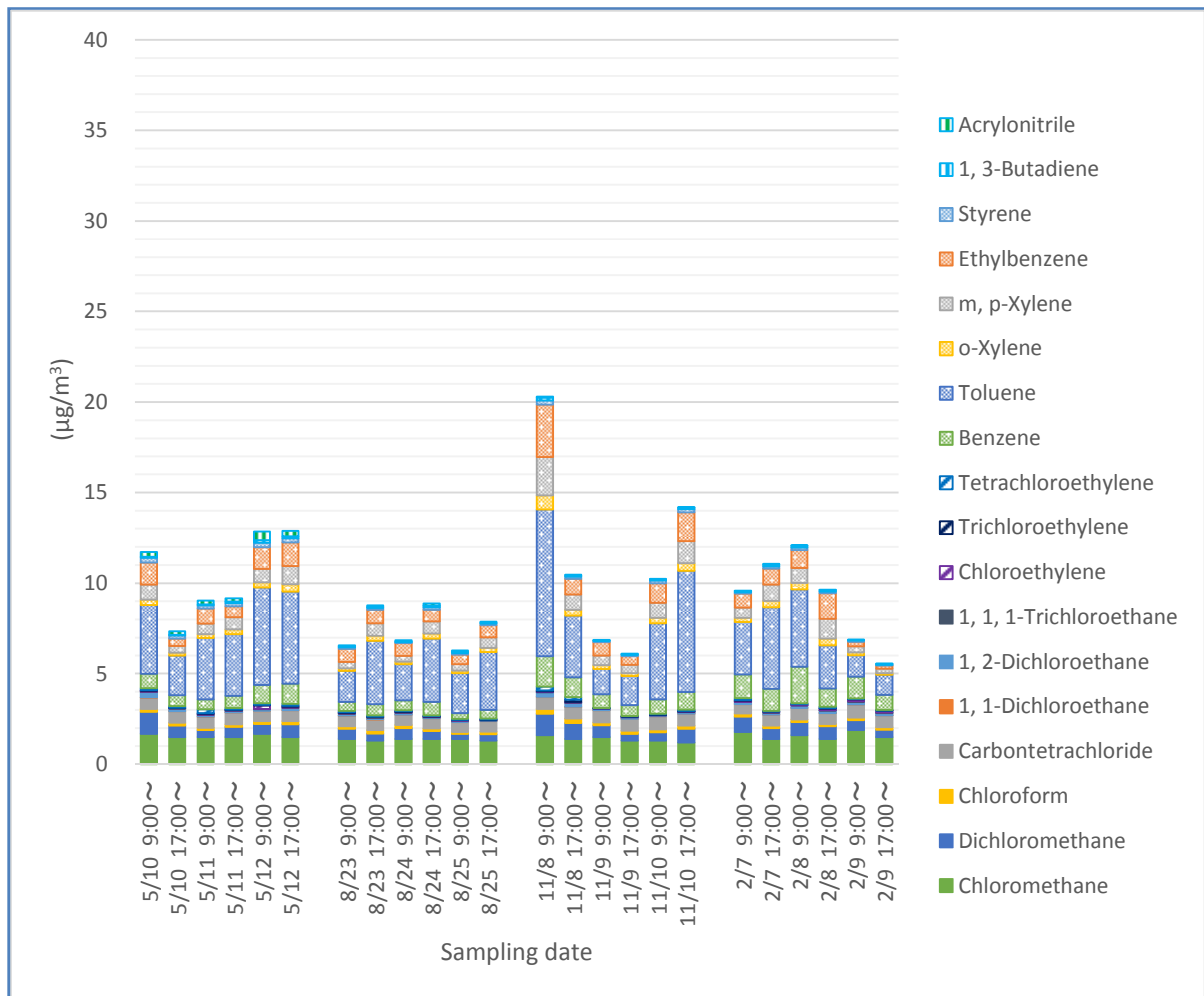


Fig. 3-6-1 VOC concentration transition

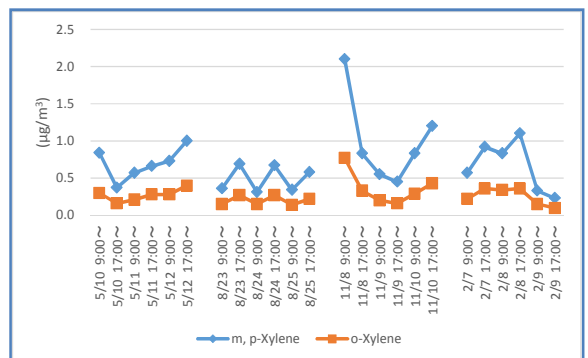
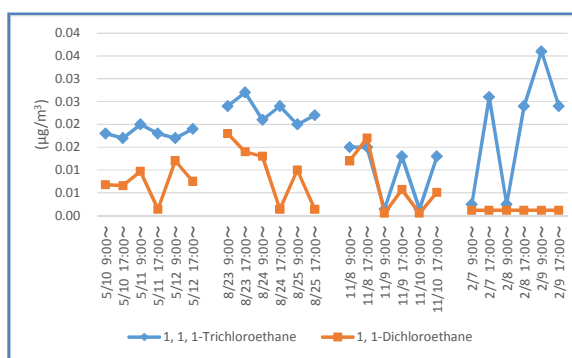
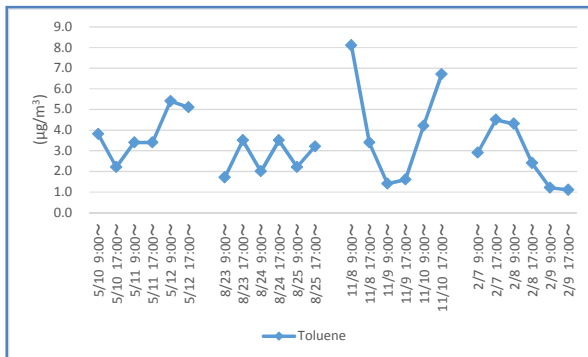
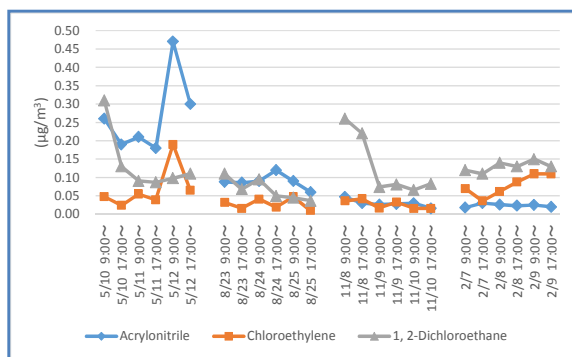
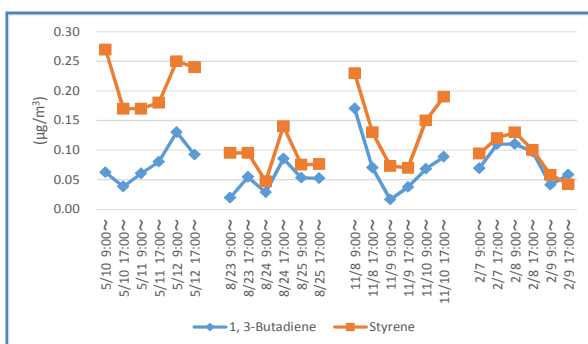
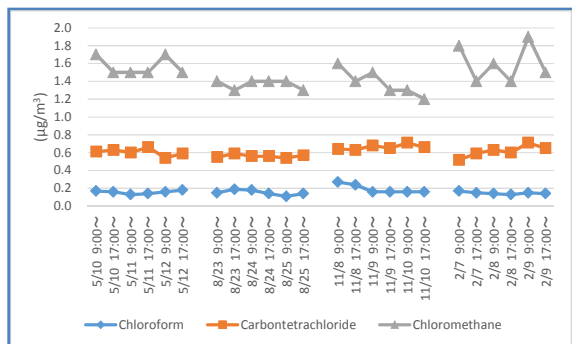
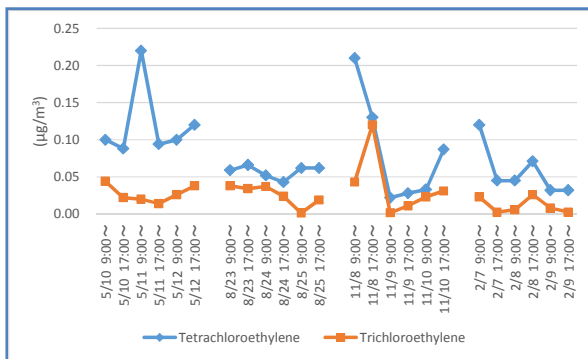
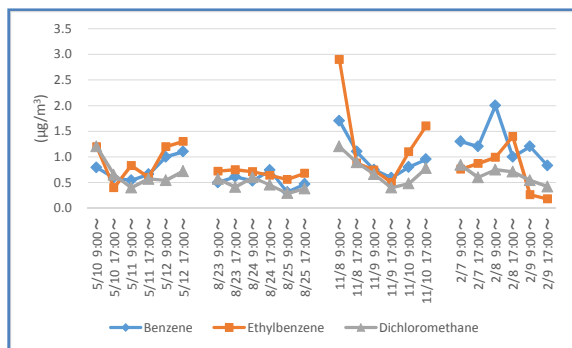


Fig. 3-6-2 VOC concentration transition

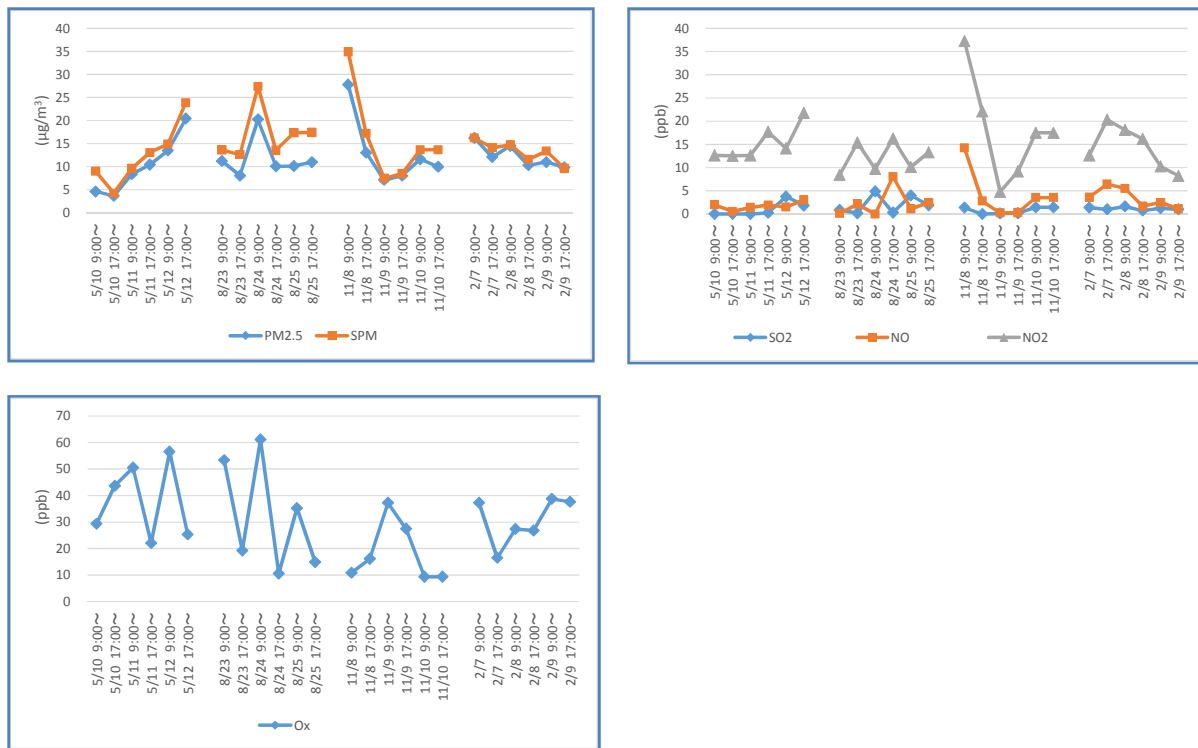


Fig. 3-6-3 Transition of automatic measurement data

3.7 Saga

3.7.1 VOC 농도 및 자동측정망(상시감시) 데이터 농도 추이

시료 채취 기간 중의 VOC 농도를 Fig. 3-7-1 및 Fig. 3-7-2 에, 상시감시 데이터를 Fig. 3-7-3 에 나타내었다.

11 월 8 일의 주·야는 다른 기간에 비교하여 대사수의 항목이 높은 경향에 있었다. 또 2 월 7 일의 주·야 및 2 월 8 일의 주간은 Toluene 의 농도가 높았고, 2 월 8 일의 야간 및 2 월 9 일의 주·야는 Chloroethylene 의 농도가 높았다.

계절별로는 11 월(추계) 및 2 월(동계)이, 5 월(춘계) 및 8 월(하계)과 비교하여 VOC 농도가 높은 경향에 있었다.

시료 채취 기간을 통틀어서 가장 고농도로 검출된 물질은 Toluene 이고, 다음이 Dichloromethane, Chloromethane 의 순서였다.

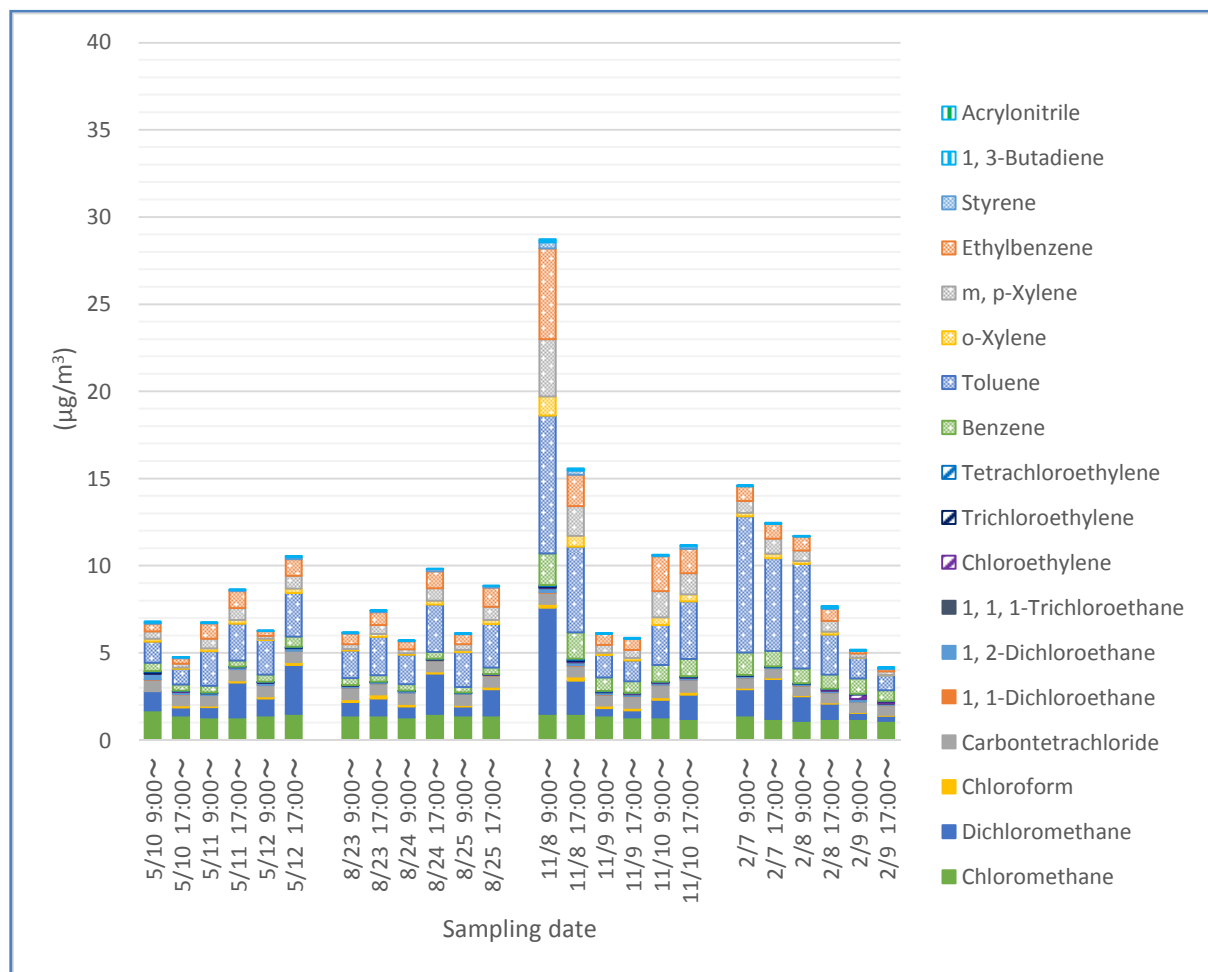


Fig. 3-7-1 VOC concentration transition



Fig. 3-7-2 VOC concentration transition

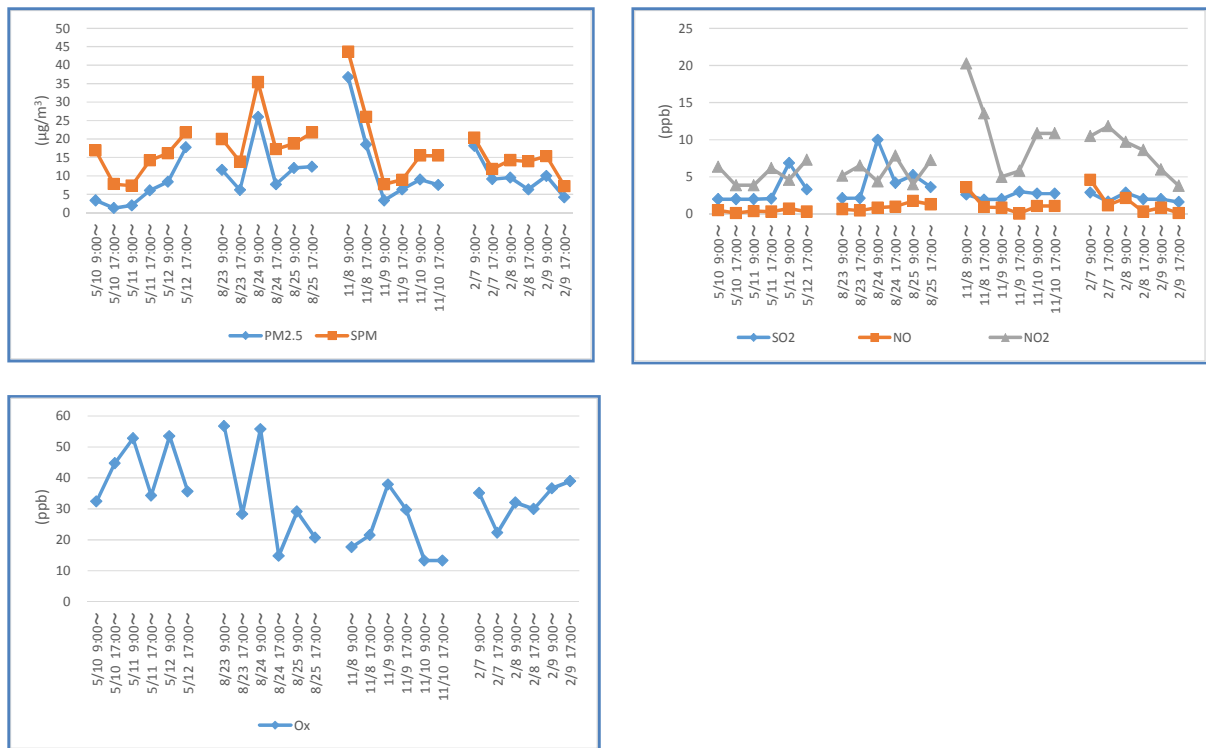


Fig. 3-7-3 Transition of automatic measurement data

3.8 Omura(Nagasaki)

3.8.1 VOC 농도 및 자동측정망(상시감시) 데이터 농도 추이

시료 채취 기간 중의 VOC 농도를 Fig. 3-8-1 및 Fig. 3-8-2 에, 상시감시 데이터를 Fig. 3-8-3 에 나타내었다.

8 월 25 일의 야간, 11 월 8 일의 주·야, 11 월 10 일의 야간은 다른 기간에 비교하여 대다수의 항목이 높은 경향에 있었다.

계절별로는 전체적으로 11 월(추계)에 VOC 농도가 높은 경향에 있었다.

시료 채취 기간을 통틀어서 가장 고농도로 검출된 물질은 Toluene 이고, 다음이 Chloromethane 이었다.

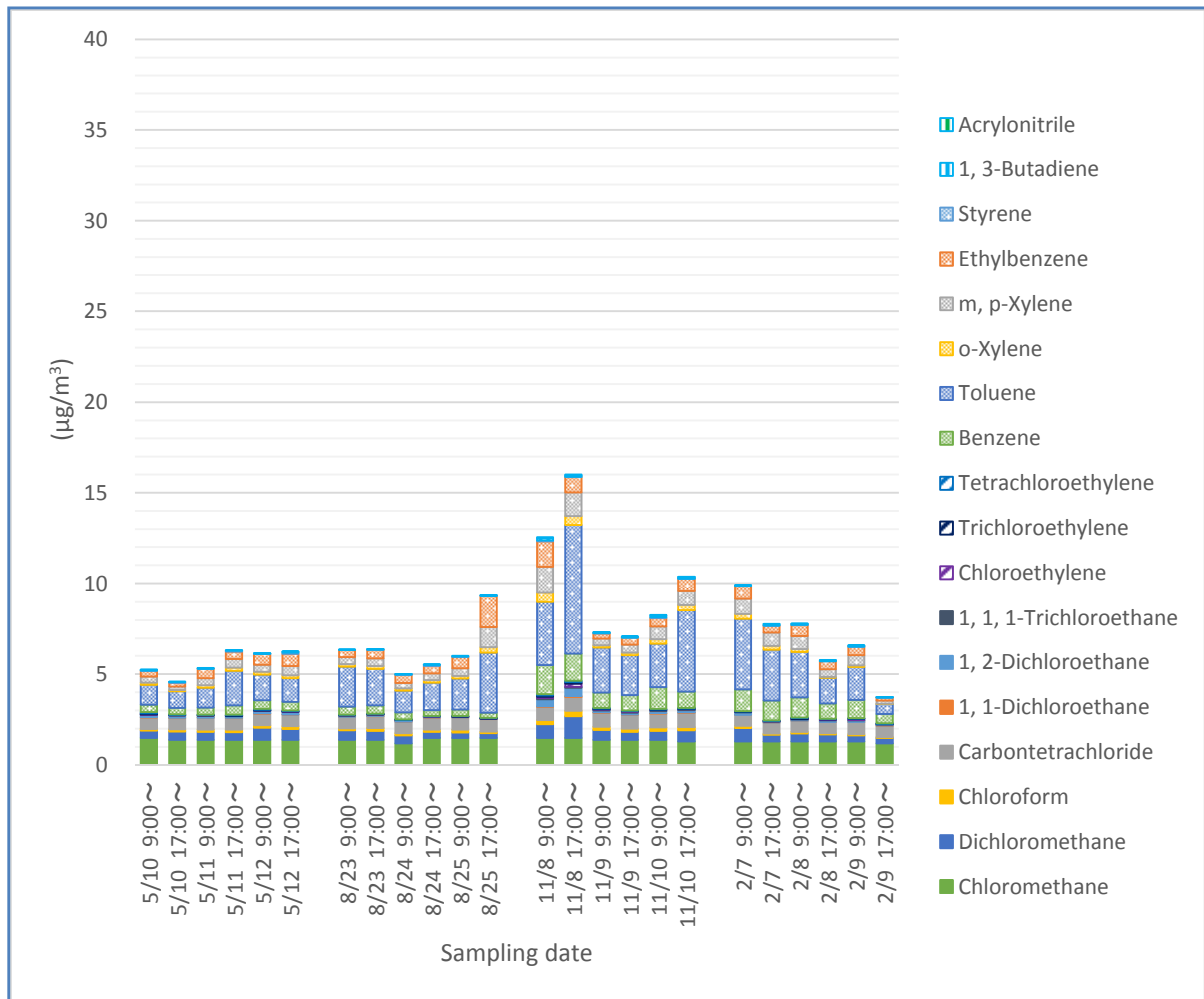


Fig. 3-8-1 VOC concentration transition

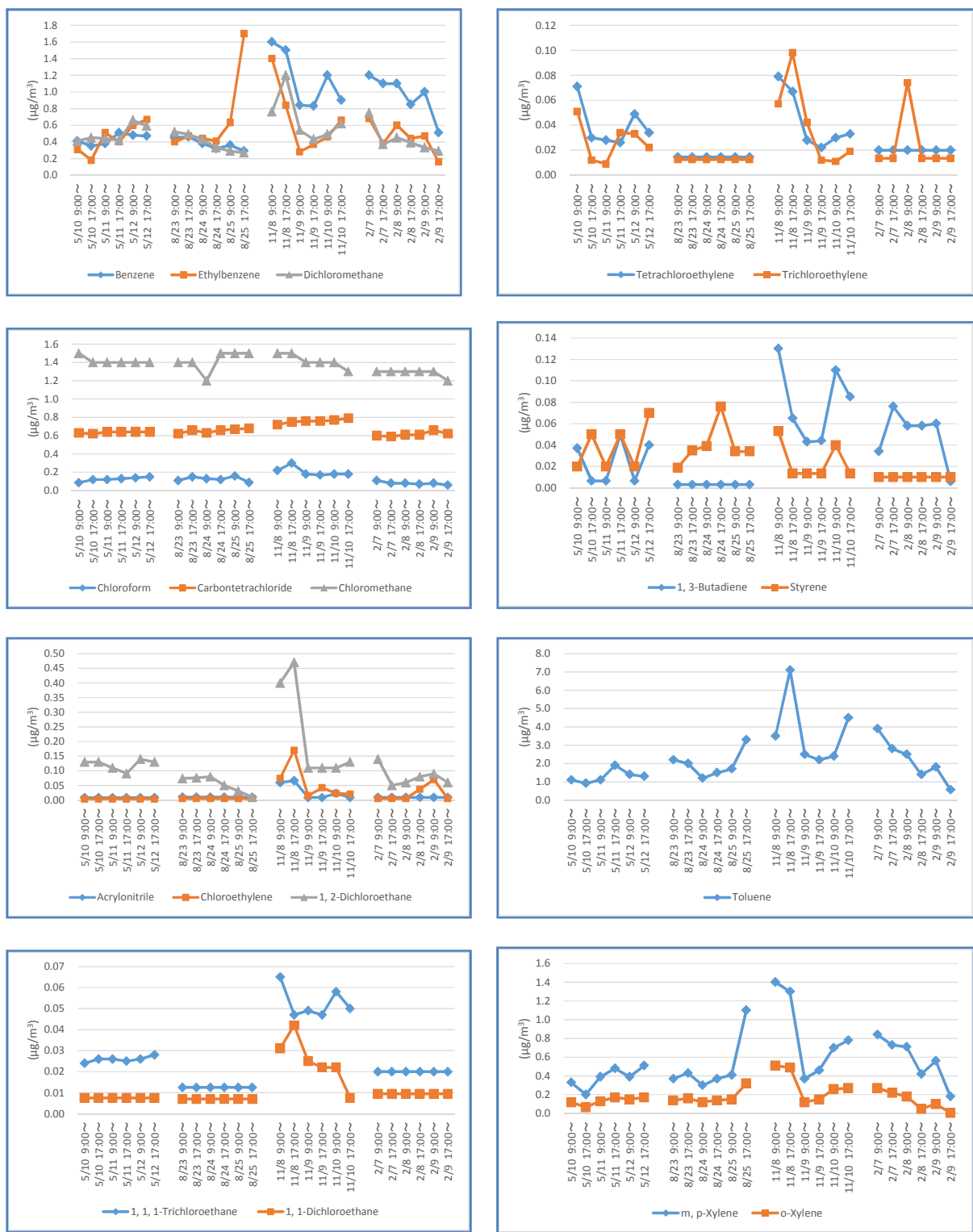


Fig. 3-8-2 VOC concentration transition

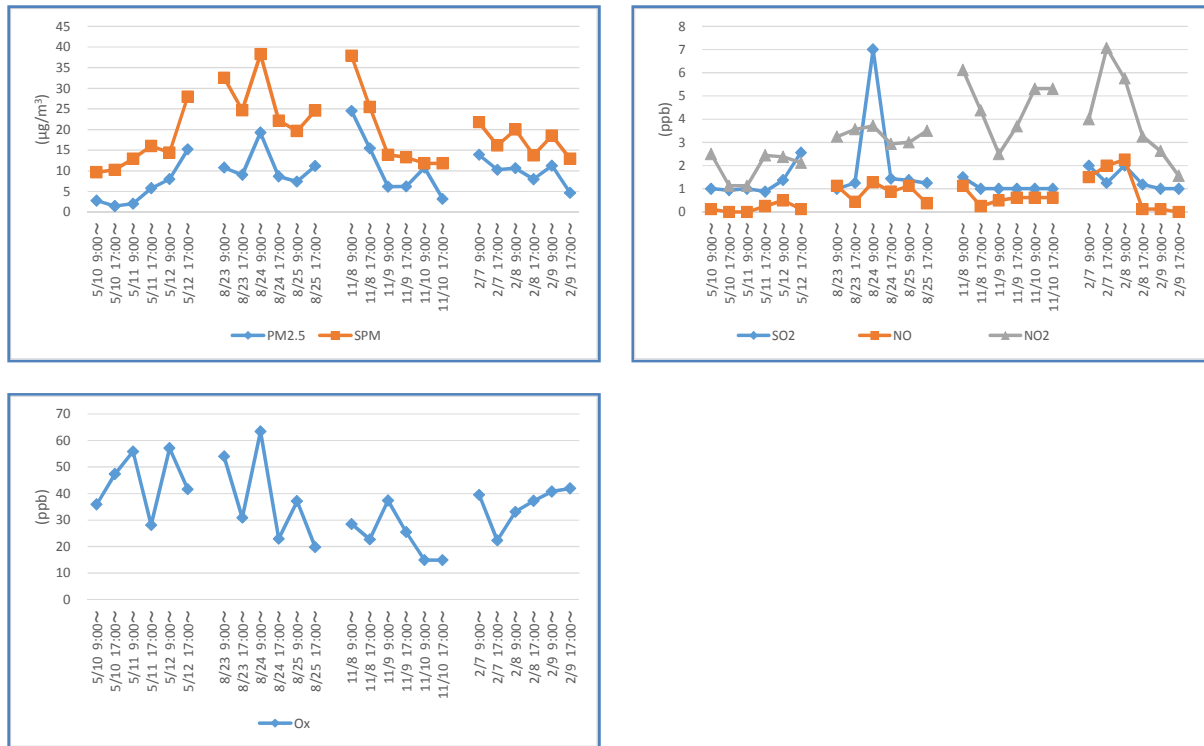


Fig. 3-8-3 Transition of automatic measurement data

IV. 데이터 등 해석

4.1 PRTR 데이터에 근거한 VOC 배출 상황으로부터의 고찰

4.1.1 대한민국측

대기 중으로 배출되는 VOC 배출 상황의 고찰을 위해 대한민국측은 화학물질배출 이동량 정보시스템(Pollutant Release and Transfer Registers, PRTR) 및 대기정책지원 시스템(Clean Air Policy Support System, CAPSS)자료를 이용하였다.

대한민국의 PRTR 조사는 VOCs 를 포함한 415 종의 화학물질 중 1 종류 이상의 물질을 연간 1 ton 이상 제조하거나 사용하는 사업장을 대상으로 하며, 화학물질제조업, 섬유제품제조업 등 한국표준산업분류에 의한 39 개 업종이 이에 해당된다. 환경매체 별로는 대기, 수계, 토양에 대해서 조사되며, 99% 이상이 대기로 배출된다. 본 연구에서는 최신 공개자료인 2015 년도 기준 대기 부분의 배출 정보¹⁾를 이용하였다.

CAPSS 는 유럽 CORINAIR 배출원 분류체계의 SNAP(Selected Nomenclature for Air Pollution)를 준용하고 국내실정을 고려하여 설정된 10 가지 VOC 배출원 대분류체계에 따라 배출총량을 산정한 것으로 본 연구에서는 연료연소, 생산공정, 에너지 수송 및 저장, 유기용제 사용, 이동 오염원, 폐기물처리, 기타 면오염원 등 7 가지 배출원으로 구분하여 정리하였다. 연료 연소에 의한 배출량에는 에너지산업 연소, 비산업 연소, 제조업 연소가 해당되며, 에너지 수송 및 저장 부분의 산정은 정유공장 및 저유소의 출하기지에서 수송수단(탱크트럭 등)에 적재할 때의 배출 및 저장탱크에서의 배출, 주유소에서의 급유 및 저장탱크에서의 배출을 고려하였다. 유기용제 사용에 의한 산정은 페인트, 잉크, 세탁소 용매 및 가정용품 등 휘발성이 큰 유기용제의 사용에 따른 배출량을 산정하며, 이동오염원에는 도로에서 주행하는 자동차로 인한 도로이동오염원 및 철도, 선박, 항공기, 건설장비, 농기계 등 자동차를 제외한 비도로 이동오염원이 해당된다. 폐기물 처리에는 소각, 폐수처리, 매립, 퇴비화 등이 해당되며, 기타 면오염원은 일반적으로 식생에 의한 오염물질 배출, 습지나 토양에서의 오염물질 배출, 산불 및 화재 등이 포함된다. 본 연구에서는 최신 공개자료인 2014 년도 기준 배출정보²⁾를 이용하였다.

PRTR 자료는 사업장에서 배출되는 VOC 항목별 배출현황 파악에 용이하며, CAPSS 자료로는 배출원별 VOC 배출총량을 알 수 있다. 따라서 이 두 자료는 본 연구에서 대기 중의 VOC 배출상황을 파악할 수 있는 중요한 자료로 활용되었다.

아래 그림(Fig. 4-1-1)은 VOC 배출량 및 배출원별 발생현황을 환경공간정보서비스

(Environmental Geographic Information Service, EGIS)³⁾의 환경주제도를 바탕으로 하여 나타낸 것이다. Jeju 의 경우는 PRTR 신고대상 규모의 배출사업장이 없는 관계로 PRTR 자료에 의한 평가는 이루어지지 않았으며, CAPSS 자료에 의한 고찰만 실시하였다.

CAPSS 자료에 나타난 각 시·도별 연간 VOC 배출총량은 Gyeongsangnamdo 가 96,702 ton 으로 4 개 시·도 중 가장 많았고, Jeollanamdo 가 73,803 ton, Busan 이 40,279 ton 이었다. Jeju 는 7,167 ton 으로 4 개 시·도 중 가장 적었다. 배출원별로는 유기용제 사용시설에서의 배출량 점유율이 Busan 이 84 %, Gyeongsangnamdo 가 78%, Jeju 가 72%로 가장 많았다. Jeollanamdo 의 경우는 생산공정에서 56%로 가장 많이 배출되었으며, 다음이 유기용제 사용시설에서 30% 배출되어 타 시·도와는 다른 경향을 보였다. 본 조사의 측정대상 항목인 VOC 18 종에 대한 항목별 배출현황을 2015년 PRTR 자료를 이용하여 검토하였다. Gyeongsangnamdo 가 Xylene, Ethylbenzene 등 10 개 항목, 200 개 업체에서 7,649,621 kg 배출되어 대한민국 4 개 시·도 중 가장 많았고, 다음이 Jeollanamdo 로 Xylene, Ethylbenzene 등 12 개 항목, 154 개 업체에서 2,960,534 kg 배출되었다. Busan 은 Xylene, Toluene 등 7 개 항목, 71 개 업체에서 782,972 kg 배출되어 CAPSS 자료에 의한 배출량 순위와 같았다.

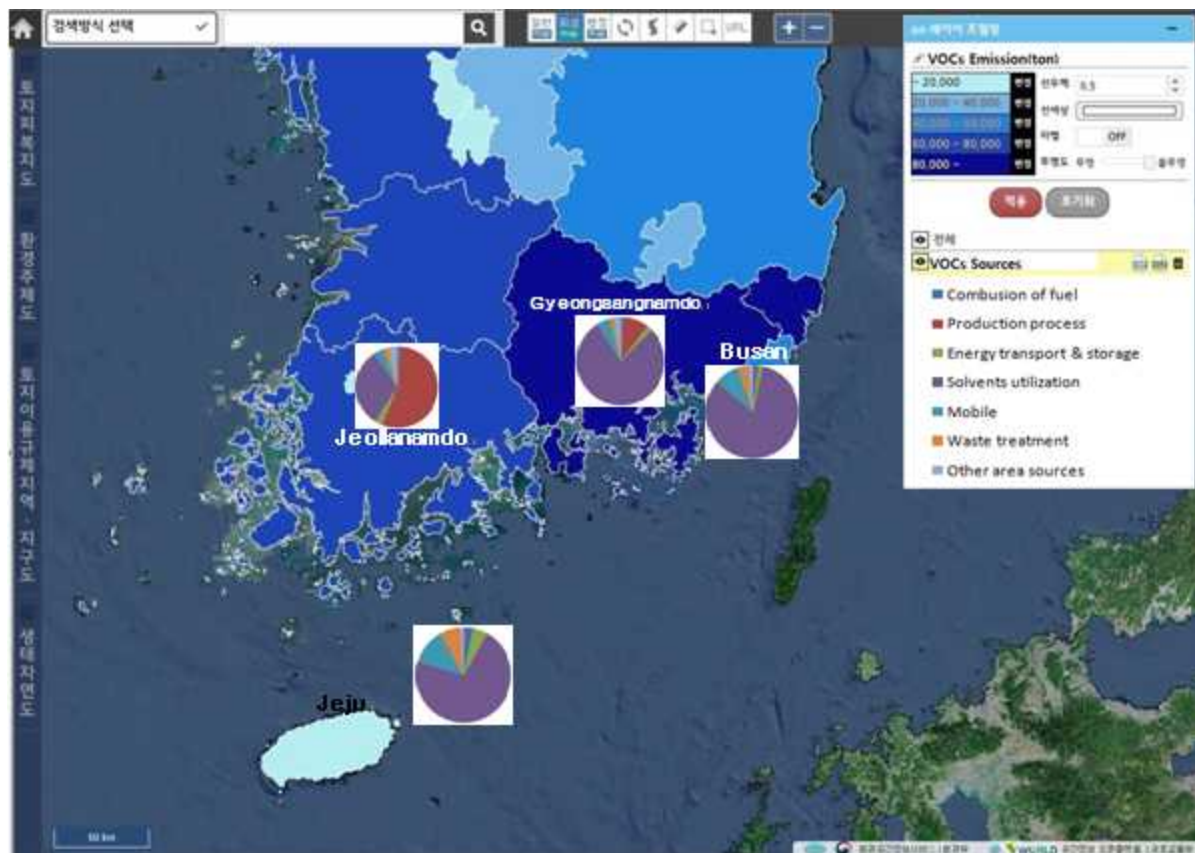


Fig. 4-1-1 VOCs emission map in Korea

Table 4-1-1. Total VOC emissions by CAPSS data(2014)

(Unit : kg/yr)

Source category	Combustion of fuel	Production process	Energy transport & storage	Solvent utilization	Mobile	Waste treatment	Other area sources	Total
Busan	643,036 (1.6%)	241,680 (0.6%)	621,993 (1.5%)	33,653,644 (83.6)	4,183,460 (10.4%)	909,570 (2.3%)	25,534 (0.1%)	40,278,917 (100%)
Gyeongsang-namdo	961,182 (1.0%)	9,199,975 (9.5%)	2,116,069 (2.2%)	75,737,778 (78.3%)	5,577,110 (5.8%)	3,064,050 (3.2%)	46,107 (0.0%)	96,702,271 (100%)
Jeollanamdo	1,153,985 (1.6%)	41,283,056 (55.9%)	2,139,165 (2.9%)	22,294,343 (30.2%)	3,825,749 (5.2%)	3,068,553 (4.2%)	38,540 (0.1%)	73,803,391 (100%)
Jeju	185,364 (2.6%)	12,167 (0.2%)	383,561 (5.4%)	5,178,579 (72.3%)	1,208,986 (16.9%)	191,282 (2.7%)	7,220 (0.1%)	7,167,159 (100%)

Table 4-1-2. VOC emissions under target items of this study by PRTR data(2015)

Items		Emissions (kg/yr)	Ratio (%)	Number of company
Busan		782,970	100.0%	71
1	Xylene	449,264	57.4%	28
2	Toluene	225,281	28.8%	22
3	Dichloromethane	50,344	6.4%	6
4	Ethylbenzene	44,626	5.7%	8
5	Trichloroethylene	12,306	1.6%	2
6	Styrene	1,146	0.1%	4
7	Benzene	3	0.0003%	1
Gyeongsangnamdo		7,649,621	100.0%	200
1	Xylene	6,076,543	79.4%	81
2	Ethylbenzene	895,063	11.7%	23
3	Toluene	376,357	4.9%	64
4	Dichloromethane	133,800	1.7%	10
5	Tetrachloroethylene	73,682	1.0%	4
6	Trichloroethylene	68,495	0.9%	6
7	Styrene	17,691	0.2%	9
8	Chloromethane	7,600	0.1%	1
9	Acrylonitrile	379	0.005%	1
10	1,2-Dichloroethane	11	0.0001%	1

Jeollanamdo		2,960,534	100.0%	154
1	Xylene	2,250,691	76.0%	29
2	Ethylbenzene	483,655	16.3%	23
3	Toluene	82,366	2.8%	33
4	Benzene	46,556	1.6%	19
5	Chloroethylene	40,243	1.4%	3
6	Styrene	22,668	0.8%	18
7	1,3-Butadiene	14,974	0.5%	17
8	Acrylonitrile	12,174	0.4%	4
9	1,2-Dichloroethane	6,561	0.2%	3
10	Dichloromethane	538	0.02%	3
11	Chloromethane	85	0.003%	1
12	Tetrachloroethylene	23	0.001%	1

Reference:

- 1) 환경부 화학물질안전원 <http://ncis.nier.go.kr>
- 2) 국립환경과학원 <https://airemiss.nier.go.kr>
- 3) 환경부 환경공간정보서비스 <https://egis.me.go.kr>

4.1.1.1. Busan

CAPSS 자료를 바탕으로 Busan 지역의 대기 중 VOC 에 대한 배출원별 발생량을 평가하였다. 2014년 기준 Busan의 VOC 총 배출량 40,279 ton의 84%에 달하는 33,654 ton이 유기용제 사용시설에서 배출되어 압도적으로 많았으며, 그 외에는 이동오염원에서 10%, 연료연소 및 폐기물 처리 등에서 6% 배출되는 것으로 평가되었다.

본 연구에서의 측정대상 항목인 VOC 18 종에 대한 항목별 배출현황을 2015년 PRTR 자료를 바탕으로 평가해 보았다. 18종 중 7개 항목에서 총 782,970 kg의 VOC가 배출되었으며, 이 중 Xylene(*m*, *p*, *o*-Xylene)이 449,264 kg으로 57%의 점유율을 차지하여 가장 높았다. 다음이 Toluene으로 225,281 kg 배출되어 점유율 29%를 차지하였다. 이 두 물질의 점유율이 약 86%로 거의 대부분이며, 나머지 5개 항목이 14% 정도를 차지하고 있었다.

본 연구의 조사결과에 따른 Busan의 대기 중 VOC 항목별 실측자료를 보면 Xylene이 39%로 가장 많았으며, 다음이 Toluene으로 20%를 차지하여 이 두 항목이 전체의 약 60%를 점유하는 것으로 조사되었다. 실측에 의한 항목별 점유율 현황과 PRTR 배출량 자료에 의한 점유율 현황이 대체적으로 유사한 경향을 보인다고 할 수 있다.

이상의 자료를 종합적으로 평가해 보면 Busan 지역의 VOC 오염을 통제하기 위해서는 유기용제 사용시설에서 발생하는 Xylene 및 Toluene 관리가 우선적으로 요구된다고 할 수 있겠다.

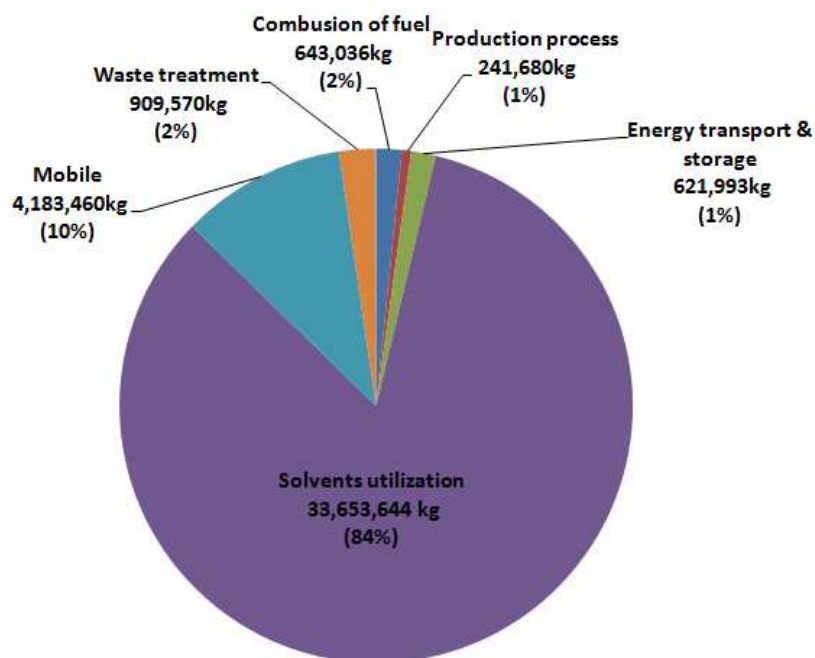


Fig. 4-1-2 Source contribution in Busan by CAPSS data(2014)

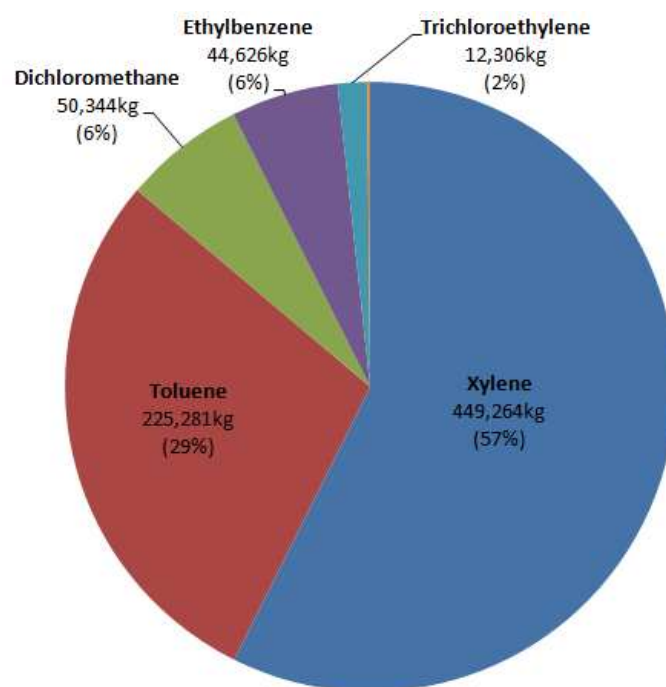


Fig. 4-1-3 VOC emissions in Busan under target items of this study by PRTR data(2015)

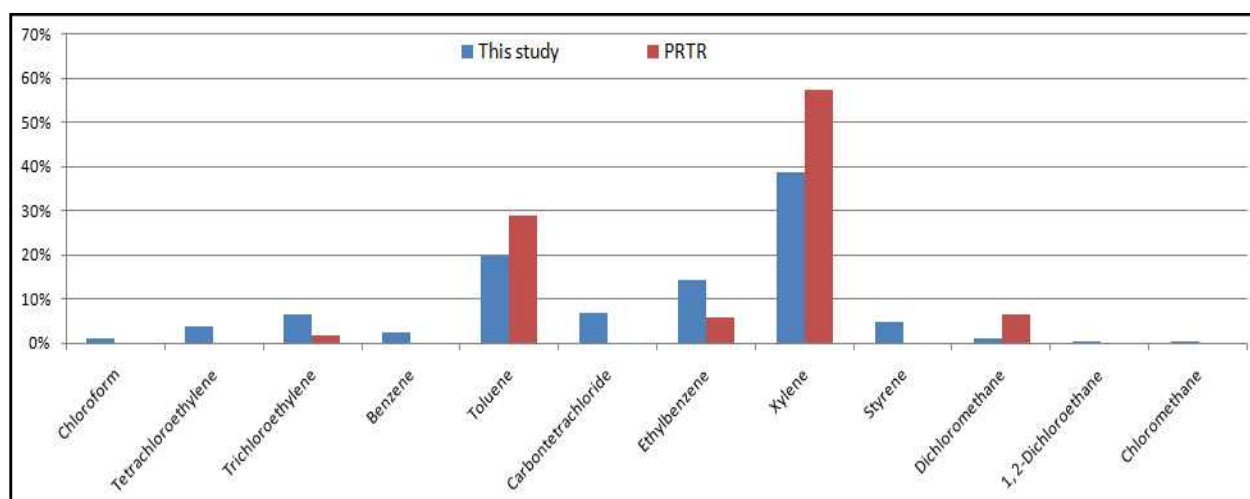


Fig. 4-1-4 Comparison of this study and PRTR data in Busan

4.1.1.2 Jeollanamdo

CAPSS 자료를 바탕으로 Jeollanamdo 지역의 대기 중 VOC 에 대한 배출원별 발생량을 평가하였다. 2014 년 기준 Jeollanamdo 의 VOC 총 배출량 73,803 ton 의 56%에 달하는 41,283 ton 가량이 생산공정에서 배출되어 가장 많았으며, 유기용제 사용시설에서는 30%에 달하는 22,294 ton 이 배출되는 것으로 평가되었다.

두 시설의 배출량이 86%로 거의 대부분을 차지하고 있었다. 특이할 만한 사항은 대한민국의 다른 3 개 시·도에서는 유기용제 사용시설에서 가장 많은 양이 배출된 것과 달리 Jeollanamdo 에서는 생산공정에서의 VOC 배출량이 가장 많다는 점이다. 유기용제 사용시설에서도 30%가 배출되어 높은 배출점유율 차지하고 있었다. 그 외에는 이동오염원이 5%, 폐기물 처리에서 4% 배출되는 것으로 평가되었다.

본 연구에서의 측정대상 항목인 VOC 18 종에 대한 항목별 배출현황을 2015 년 PRTR 자료를 바탕으로 평가해 보았다. 18 종 중 12 개 항목에서 총 2,960,534 kg 의 VOC 가 배출 되었으며 이 중 Xylene(*m*, *p*, *o*-Xylene)이 2,250,691 kg 으로 76%의 점유율을 차지하여 가장 높았다. 다음이 Ethylbenzene 으로 483,655 kg 배출되어 점유율 16%를 차지하였다. 이 두 물질의 점유율이 약 92%로 거의 대부분이며, 나머지 10 개 항목이 8% 정도를 차지하고 있었다.

본 연구의 조사결과에 따른 Jeollanamdo 의 대기 중 VOC 항목별 실측 자료를 보면 Xylene 이 30%로 가장 많았으며, 다음이 Toluene 28%, Ethylbenzene 17% 순이었다. 이 세 항목이 전체의 약 75%를 점유하는 것으로 조사되었다. 실측에 의한 항목별 점유율 현황과 PRTR 배출량 자료에 의한 점유율 현황을 종합적으로 평가해 보면 대체로 Xylene, Toluene, Ethylbenzene 의 세 항목이 지배적이라 할 수 있다. 따라서 Jeollanamdo 의 VOC 오염을 통제하기 위해서는 생산공정 및 유기용제 사용시설에서 발생하는 Xylene 및 Toluene, Ethylbenzene 의 관리가 우선적으로 요구된다.

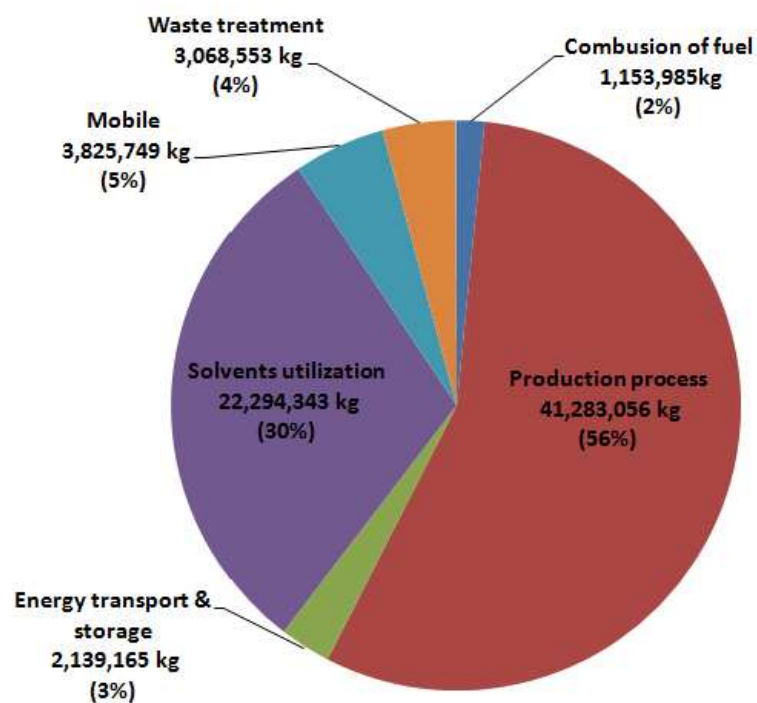


Fig. 4-1-5 Source contribution in Jeollanamdo by CAPSS data (2014)

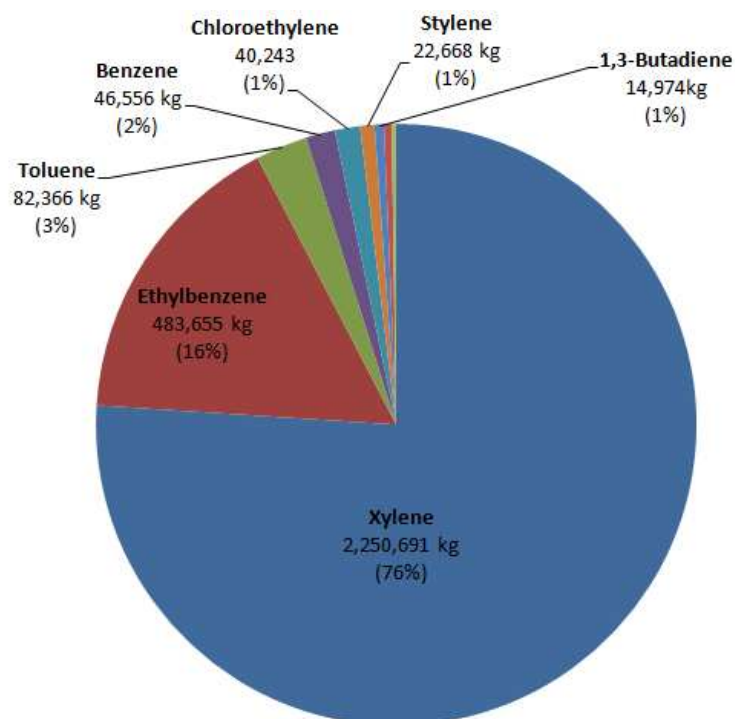


Fig. 4-1-6 VOC emissions in Jeollanamdo under target items of this study by PRTR data (2015)

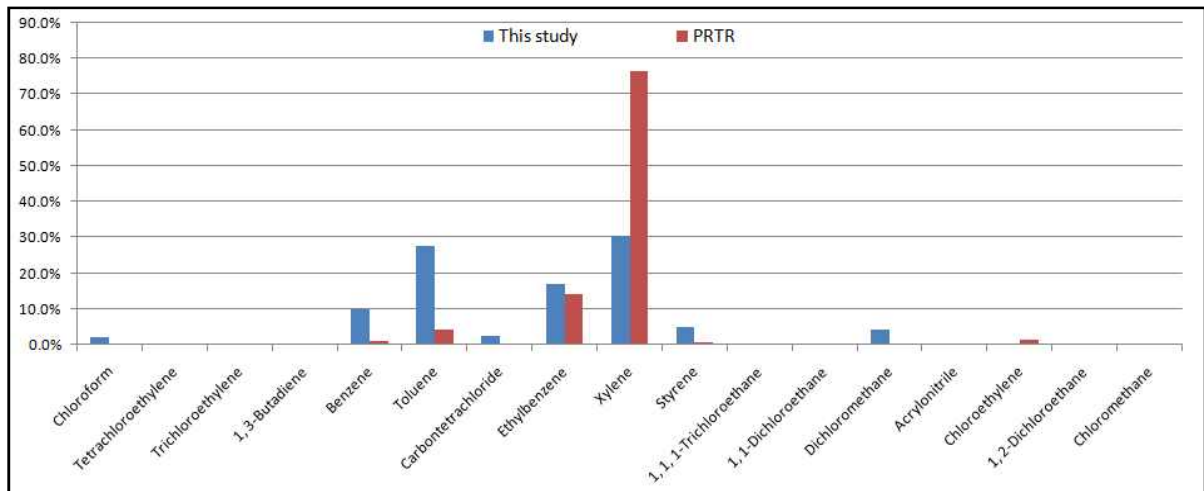


Fig. 4-1-7 Comparison of this study and PRTR data in Jeollanamdo

4.1.1.3 Gyeongsangnamdo

CAPSS 자료를 바탕으로 Gyeongsangnamdo 지역의 대기 중 VOC 에 대한 배출원별 발생량을 평가하였다. 2014년 기준 Gyeongsangnamdo의 VOC 총 배출량 96,702 ton의 78 %에 달하는 75,738 ton 가량이 유기용제 사용시설에서 배출되어 압도적으로 많았으며, 그 외에는 생산공정에서 10%, 이동오염원 및 폐기물 처리 등에서 12% 배출되는 것으로 평가되었다.

본 연구에서의 측정대상 항목인 VOC 18 종에 대한 항목별 배출현황을 2015년 PRTR 자료를 바탕으로 평가해 보았다. 18 종 중 10 개 항목에서 총 7,649,621 kg의 VOC가 배출되었으며 이 중 Xylene(*m, p, o*-Xylene)이 6,076,543 kg으로 79%의 점유율을 차지하여 가장 높았다. 다음이 Ethylbenzene으로 895,063 kg 배출되어 점유율 12%를 차지하였다. 이 두 물질의 점유율이 약 91%로 거의 대부분이며, 나머지 8개 항목이 9% 정도를 차지하고 있었다.

본 연구의 조사결과에 따른 Gyeongsangnamdo의 대기 중 VOC 항목별 실측 자료를 보면 Xylene이 44%로 가장 많았으며, 다음이 Ethylbenzene으로 19%를 차지하여 이 두 항목이 전체의 약 63%를 점유하는 것으로 조사되었다. 실측에 의한 항목별 점유율 현황과 PRTR 배출량 자료에 의한 점유율 현황이 대체적으로 유사한 경향을 보인다고 할 수 있다.

이상의 자료를 종합적으로 평가해보면 Gyeongsangnamdo의 VOC 오염을 통제하기 위해서는 유기용제 사용시설에서 발생하는 Xylene 및 Ethylbenzene의 관리가 우선적으로 요구된다고 할 수 있겠다.

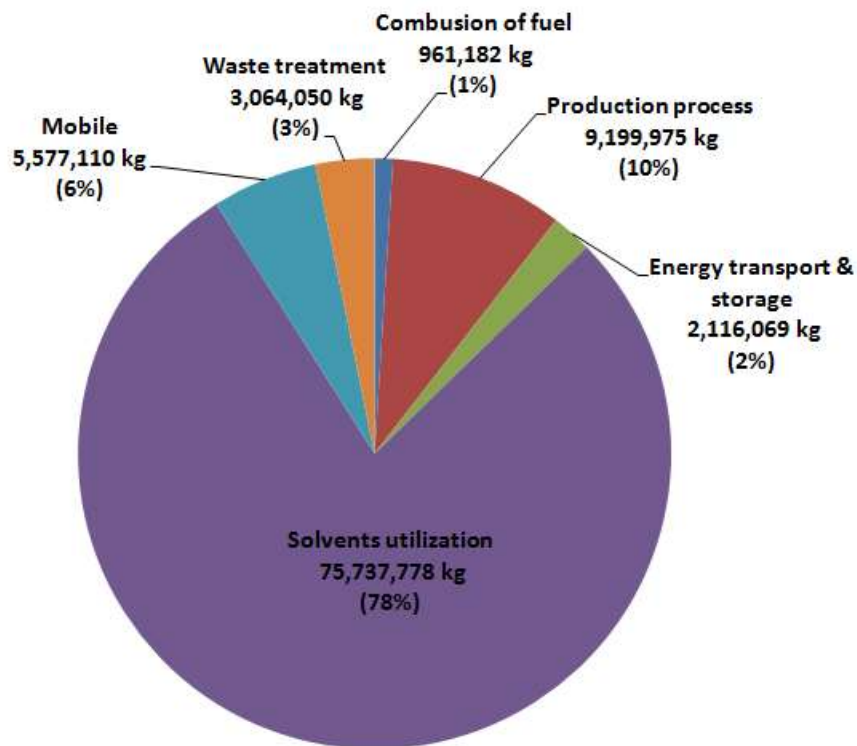


Fig. 4-1-8 Source contribution in Gyeongsangnamdo by CAPSS data(2014)

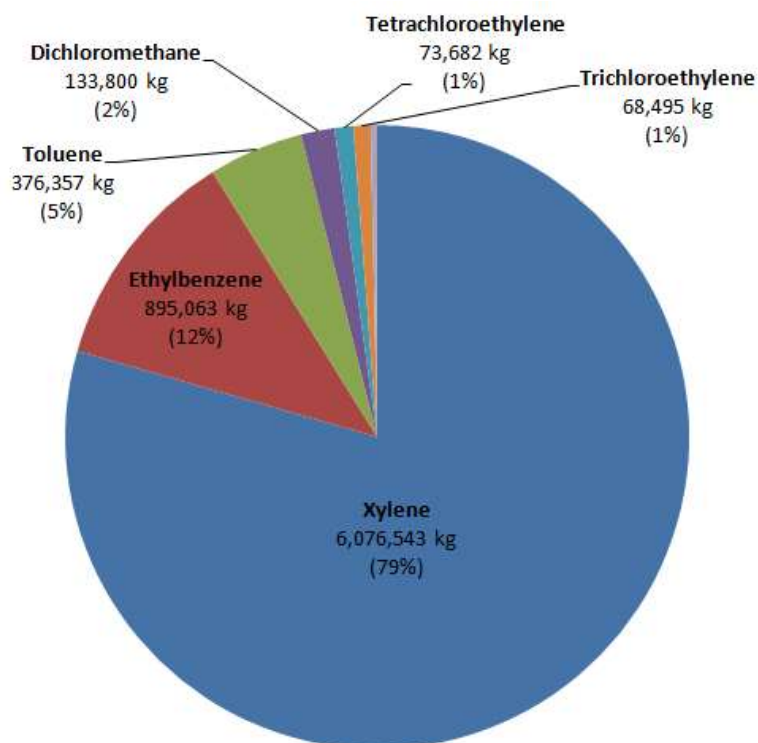


Fig. 4-1-9 VOC emissions in Gyeongsangnamdo under target items of this study by PRTR data(2015)

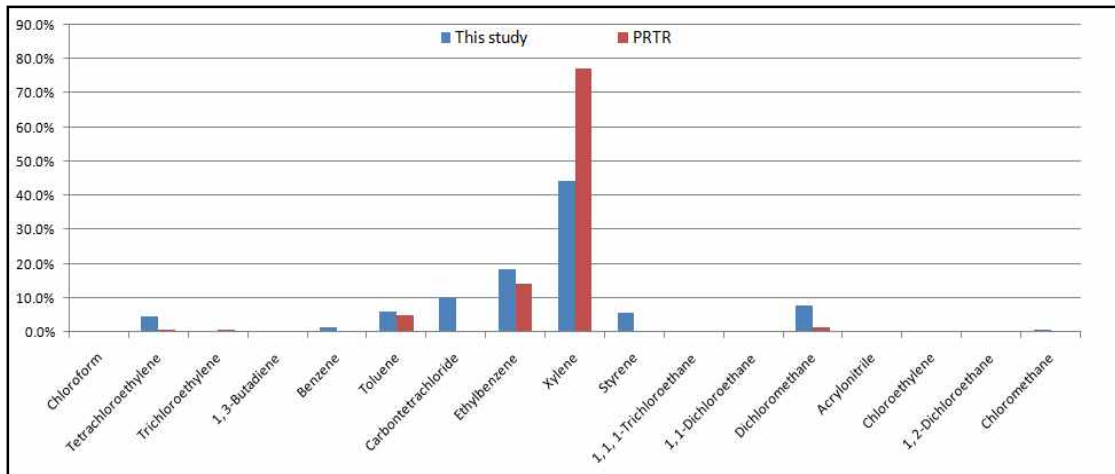


Fig. 4-1-10 Comparison of this study and PRTR data in Gyeongsangnamdo

4.1.1.4 Jeju

CAPSS 자료를 바탕으로 jeju 지역의 대기 중 VOC 에 대한 배출원별 발생량을 평가하였다. 2014 년 기준 Jeju 의 VOC 총배출량 7,167 ton 의 72%에 달하는 5,179 ton 가량이 유기용제 사용시설에서 배출되었으며, 그 외 이동오염원 17%, 에너지수송 및 저장에서 5% 배출되고 있었다. Jeju 의 경우는 PRTR 신고대상 규모에 해당되는 업체가 없어 항목별 배출현황을 알 수는 없었다. 본 연구의 조사결과에 따른 Jeju 의 대기 중 VOC 항목별 실측 자료를 보면 Toluene 이 61%로 가장 많았으며, 다음이 Benzene 으로 21%를 차지하여 이 두 항목이 전체의 약 82%를 점유하는 것으로 조사되었다. 따라서 Jeju 의 VOC 오염을 통제하기 위해서는 유기용제 사용시설에서 발생하는 Toluene 및 Benzene 의 관리가 우선적으로 요구된다고 할 수 있겠다.

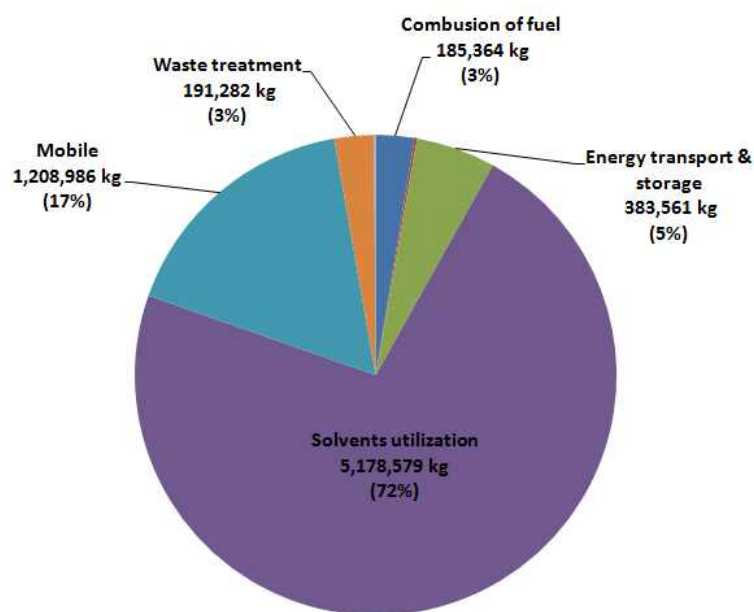


Fig. 4-1-11 Source contribution in Jeju by CAPSS data(2015)

4.1.2 일본측

4.1.2.1 PRTR 에 의한 VOC 의 배출량 데이터

PRTR 제도(Pollutant Release and Transfer Register : 화학 물질 배출 이동량 신고 제도)에 의하여 사람의 건강이나 동식물에게 유해한 영향을 미칠 우려가 있는 462 종류의 화학 물질에 대하여 매 년도 사업자는 환경에 대한 배출량이나 폐기물에 포함된 상태로의 이동량을 파악하여 신고를 실시하고, 국가는 그 집계 결과를 공표하는 것으로 되어있다. 본 연구에서는 경제산업성에 공개되어 있는 집계 결과¹⁾를 이용하여 조사 항목 A 의 VOC 18 개 항목에 대하여 2015 년 도(배출 기간 : 2015 년 4 월 1 일 ~ 2016 년 3 월 31 일)의 PRTR 신고 사업소로부터의 배출량과 자동차 등에 의한 신고 외 배출량의 추계치를 합산하였다. 1 년 동안 배출량이 많은 순서로 Fukuoka(9,027 ton), Yamaguchi(6,105 ton), Nagasaki(4,913 ton), Saga(2,721 ton)이었다(Fig.4-1-12). 4 개 현 모두 Xylene, Toluene, Ethylbenzene 이 상위 3 위 까지를 차지하고 있었고, 전체량에 대한 비율도 9 할 이상으로 높았다. 이들은 4 개 현 공통으로 배출량이 많은 것이 확인되었다. 또한 각 조사 항목에 대하여 집계한 PRTR 배출량을 Table 4-1-3 에 나타내었다.

Yamaguchi 는 화학 공업이나 철강업으로부터의 배출이 많았다. 우베·산요오노다 등의 서부 지역에는 시멘트 제조공장, 슈난·이와쿠니 등 동부 지역의 석유 정제 콤비나트에는 소다 등 화학 제품을 생산하는 기업이 집중되어 있다. 그 때문에 VOC 의 배출량은 높은 수준에 있는 것이 많았으며, 특히 현내에 대규모 생산 또는 사용 공장이 있는 Acrylonitrile, Chloroethylene(Vinylchloride), 1,2-Dichloroethane, Chloroform 은 배출량이 많았다.

Fukuoka 는 수송용 기계 기구 제조업, 출판·인쇄 관련 산업, 플라스틱 제품 제조업 으로부터의 배출이 많았다. 각종 제조업이 성행하는 기타큐슈시 등으로부터의 배출이 많았고, 또한 자동차 배출 가스의 영향이 다른 3 개 현에 비교하여 크기 때문에 방향족을 중심으로 배출량이 많았다.

Nagasaki 는 선박 제조·수리업, 선박용 기관 제조업으로부터의 배출이 많았다. Ethylbenzene, Xylene 의 배출량은 야마구치현, 후쿠오카현과 같은 정도였지만 다른 항목에 대하여 특히 배출량이 많은 항목은 없었다.

Saga 는 수송용 기계 기구 제조업, 고무 제품 제조업으로부터의 배출이 주였지만, 다른 현에 비교하여 특히 배출량이 많은 항목은 없었다.

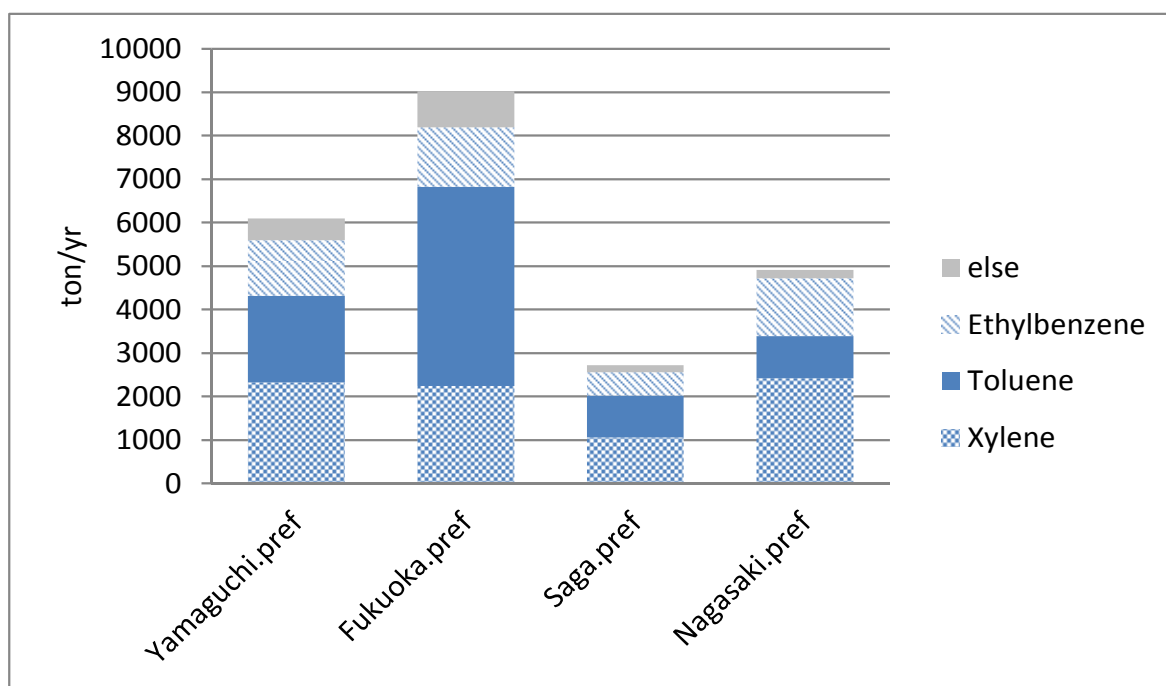


Fig. 4-1-12 VOC total release by PRTR in 2015

Table 4-1-3. VOC release in prefecture

(ton/yr)

Items	Yamaguchi	Fukuoka	Saga	Nagasaki
Acrylonitrile	12.0	1.4	0.1	0.2
Ethylbenzene	1,286.4	1,366.6	528.8	1,334.2
Xylene	2,325.4	2,245.4	1,058.5	2,418.9
Chloroethylene	58.5	0	0	0
Chloroform	48.5	5.7	1.0	1.5
Carbontetrachloride	0.1	5.9	0	0
1, 2-Dichloroethane	26.5	0.2	0	0
Styrene	63.0	100.6	31.4	39.6
Tetrachloroethylene	2.5	37.4	1.3	2.3
1,1,1-Trichloroethane	0.5	0.8	0	0.1
Toluene	1,991.5	4,585.7	968.0	973.6
1, 3-Butadiene	25.6	39.3	12.1	19.1
Benzene	122.5	295.6	68.3	97.3
Chloromethane	2.4	0	0	0
Dichloromethane	91.3	304.5	50.2	10.6
Trichloroethylene	48.9	38.8	1.9	15.8
1, 1-Dichloroethane	PRTR 대상 외			

4.1.2.2 ADMER 에 의한 추정 농도 분포와 VOC 성분 농도 측정 결과의 비교

ADMER(Atmospheric Dispersion Model for Exposure and Risk Assessment : 노출·리스크 평가 대기 확산 모델)는 PRTR 데이터를 이용하여 화학 물질의 대기 환경 농도 추정 및 노출·리스크 평가를 실시하는 모델이며, 국립연구개발법인 산업기술종합 연구소에서 개발되었다²⁾. 이 모델을 이용하여 독립행정법인 제품평가기술 기반기구가 2013 년도의 배출량에 근거한 대기 농도를 추정한 「PRTR 맵」³⁾을 공개하고 있어 이번에 이것을 이용하였다.

ADMER 에 의한 대기 중의 추정 농도 분포의 결과(이하 「추정 농도」라고 한다)를 Fig. 4-1-13, 조사 방법 A 에 의한 각 현의 VOC 성분 농도 측정의 결과(이하 「측정 농도」라고 한다)를 Fig. 4-1-14 에 나타낸다.

Xylene, Toluene, Styrene, Ethylbenzene, Benzene 등의 방향족은 Table. 4-1-3 에 나타내는 바와 같이 4 개 현 모두 배출량이 많은 항목이었다. 이들은 유성 도료·잉크·접착제 등의 용제, 가솔린 등에 함유되어 있다. 추정 농도는 특히 Toluene, Styrene, Benzene 이 Fukuoka 를 중심으로 높았고, 측정 농도도 Dazaifu 가 다른 조사 지점 보다도 높게 나타나고 있었다.

Toluene, Benzene, 1,3-Butadiene 은 자동차 등의 배출 가스가 주요 발생원의 하나이며, 추정 농도는 간선 도로변이나 Fukuoka 의 도심부에서 높았고, 측정 농도도 Dazaifu 가 다른 조사 지점보다도 높은 결과로 나타났다. Dazaifu 의 서쪽 약 160 m 에는 규슈 자동차도로가 있고, 교통량도 많은 것이 영향을 미치고 있다고 생각되었다.

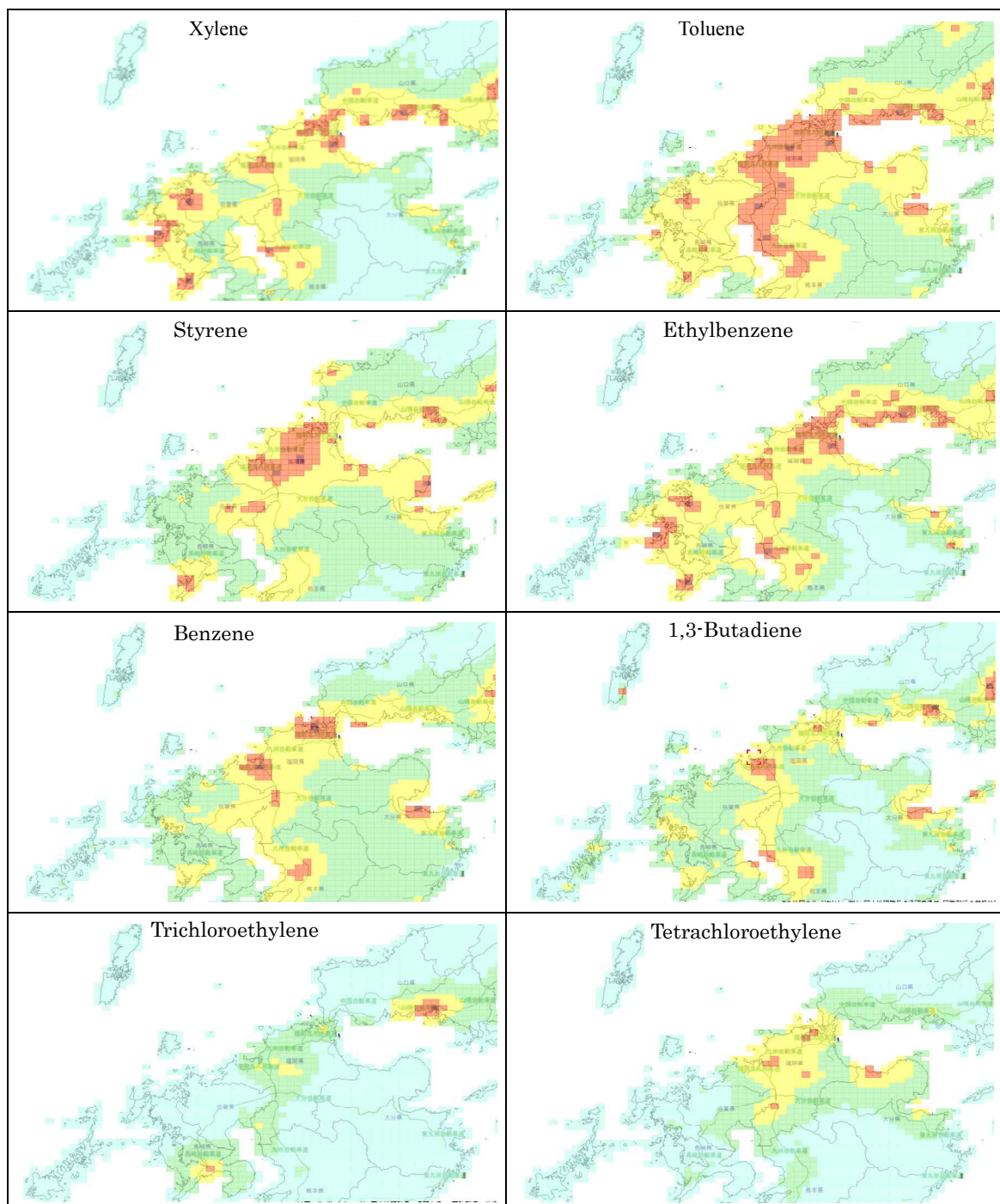
Trichloroethylene, Tetrachloroethylene 은 드라이클리닝이나 기계 부품, 전자 부품의 탈지 세정제로 사용되고 있다. 추정 농도는 Trichloroethylene 은 Yamaguchi 슈난시 부근, Tetrachloroethylene 은 Fukuoka 전역에서 높게 나타나고 있었다. 측정 농도는 Trichloroethylene 은 거의 같은 정도였지만, Tetrachloroethylene 은 Dazaifu 에서 근소하게 높게 나타나고 있었다.

Acrylonitrile 은 합성수지 및 합성섬유 등의 원료로 사용되며, Acrylonitrile 제조나 ABS 수지 등을 생산하고 있는 공장으로부터 배출된다. 주요 배출 공장이 있는 Yamaguchi 우베시 및 슈난시를 중심으로 추정 농도가 높았지만, 측정 농도는 Dazaifu 가 가장 높게 나타나고 있었다.

Chloroethylene, 1,2-Dichloroethane 은 폴리염화 비닐 등의 합성 원료로 사용되며, 화학 공업, 플라스틱 제품 제조업에서 이용된다. 주요 배출 공장이 있는 Yamaguchi 슈난시를 중심으로 추정 농도가 높았고, 측정 농도도 Yamaguchi 가 가장 높게 나타나고 있었다.

Chloroform 은 불소 수지의 합성 원료 등의 용매로 화학 공업에서 널리 사용되고 있다. 주요 배출 공장이 있는 Yamaguchi 이와쿠니시 및 슈난시를 중심으로 추정 농도가 높았고, 측정 농도도 Yamaguchi 가 가장 높게 나타나고 있었다.

Carbontetrachloride, Chloromethane 은 정상(定常)성분이며, 어느 지역이나 일정 농도 존재한다. Carbontetrachloride 는 Fukuoka 기타큐슈시에 배출 공장이 있기 때문에, 추정 농도는 Fukuoka 기타큐슈시로부터 Yamaguchi 시모노세키시 주변에 걸쳐서 높게 나타나고 있었지만, 측정 농도는 4 개 지점 모두 같은 정도였다.



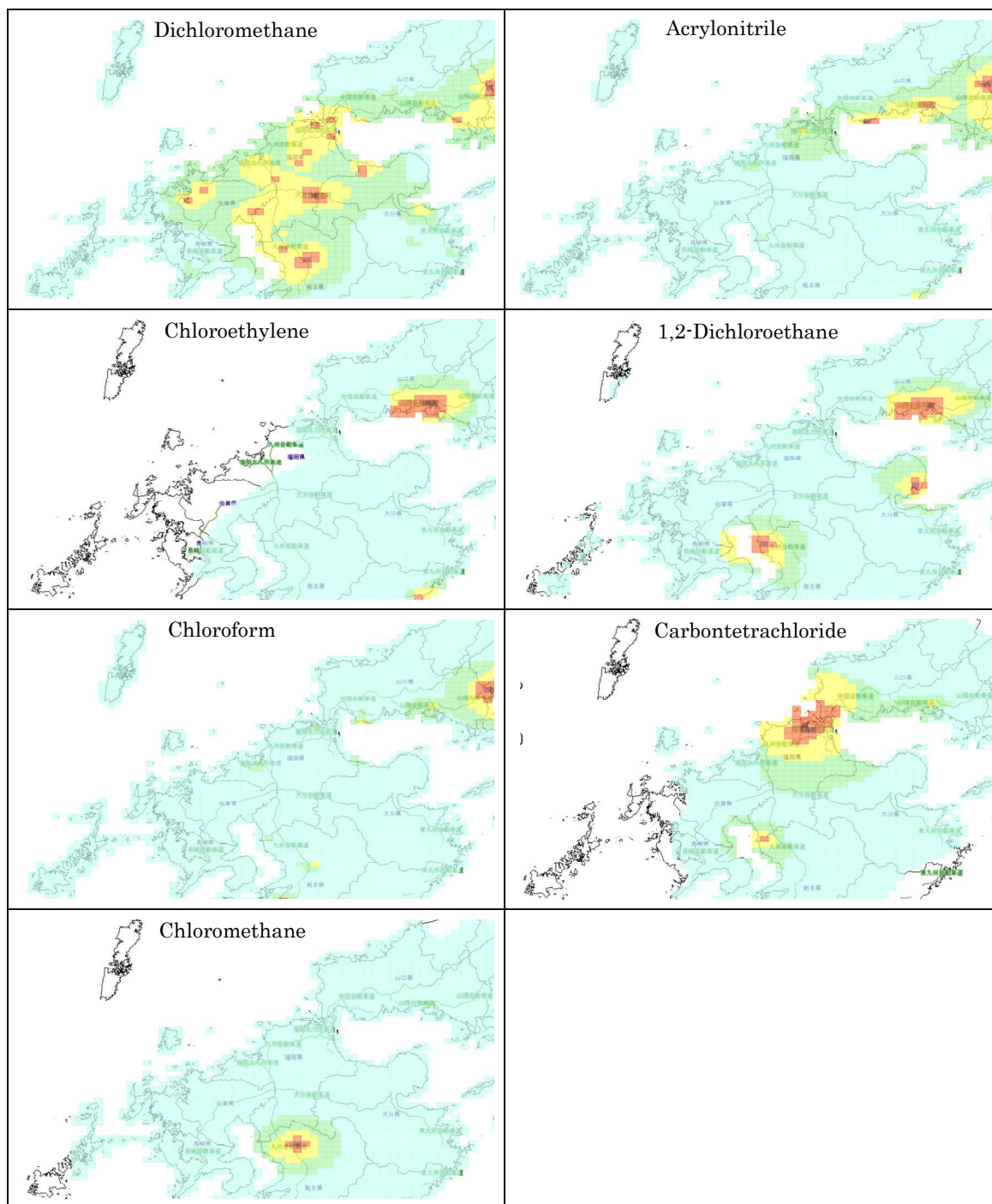


Fig. 4-1-13 ADMER result in Japan

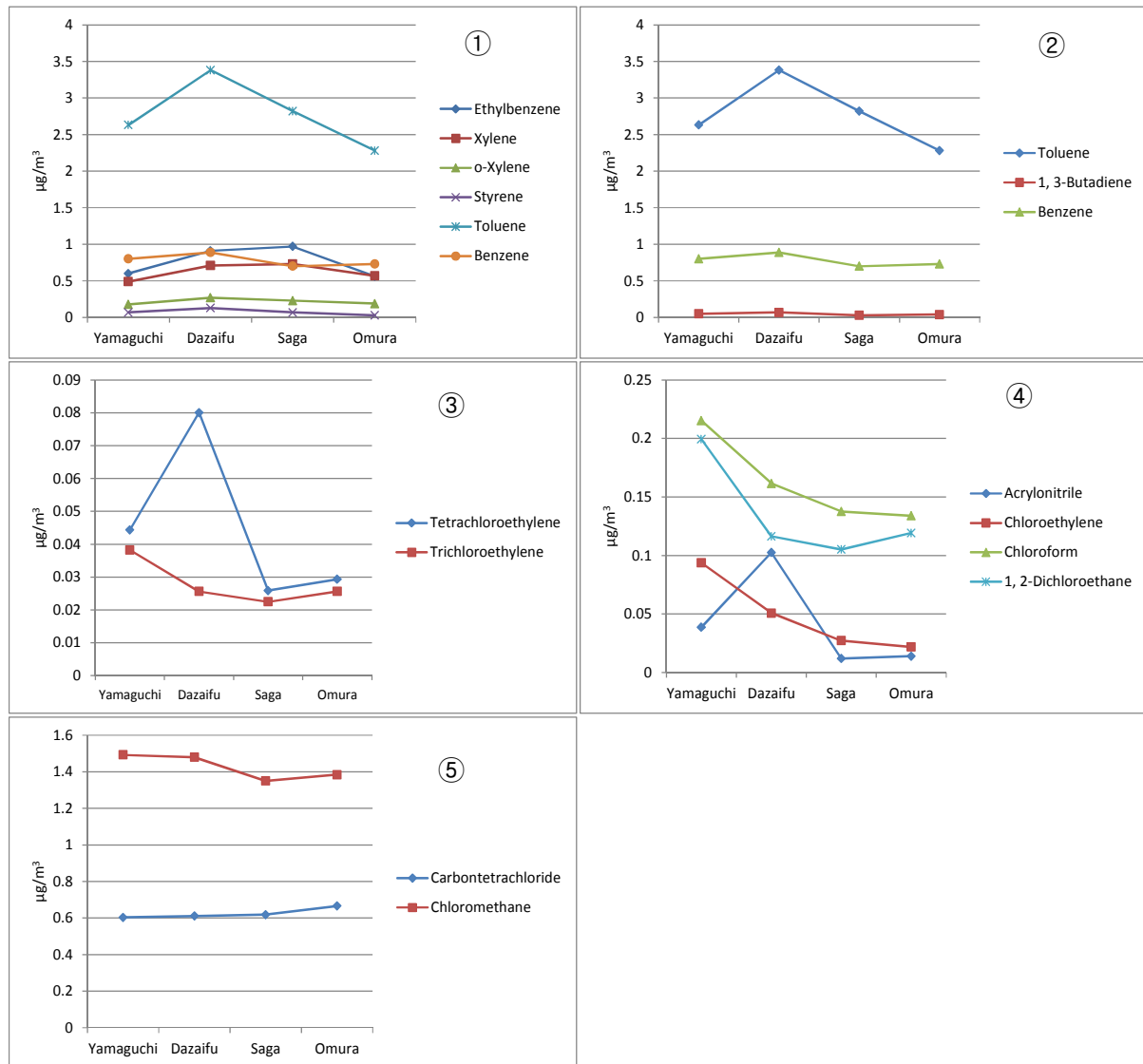


Fig. 4-1-14 VOC concentrations in Japan

Reference:

- 1) 경제산업성 http://www.meti.go.jp/policy/chemical_management/law/prtr/index.html
- 2) 국립연구개발법인 산업기술종합연구소 <https://admer.aist-riss.jp/>
- 3) 독립행정법인 제품평가기술기반기구 <http://www.prtrmap.nite.go.jp/prtr/top.do>

4.2 VOC 성분 데이터 및 자동측정망(상시감시) 데이터 등의 상관 비교

4.2.1 VOC 성분과 입자상물질 성분(PM₁₀ or SPM, PM_{2.5})의 상관성

4.2.1.1 VOC 성분과 PM_{2.5}의 상관성

(1) 대한민국측

대한민국측 조사지점의 VOC 농도와 자동측정망 데이터와의 상관성을 피어슨 상관계수(Pearson correlation coefficient : r)를 이용하여 비교해 보았다. 상관계수 값에 의한 상관관계의 정도를 판단하는 절대적인 기준은 없으나, 대한민국측에서는 상관계수가 $\pm 0.5 \sim \pm 0.75$ 는 중간정도(moderate)의 상관관계, $\pm 0.76 \sim \pm 1.0$ 은 강한(strong) 상관관계를 가지는 것으로 판단하였다.

Busan 의 경우 Benzene 은 주간($r=0.78$)과 야간($r=0.82$) 모두 강한 양의 상관관계를 나타내었고, Chloromethane 은 주간($r=0.72$)에 중간정도 양의 상관관계를 보였다. Tetrachloroethylene 주간($r=-0.64$)에 중간정도 음의 상관관계를 보였다.

Gyeongsangnamdo 는 주간에 Carbontetrachloride($r=0.57$)와 Dichloromethane($r=0.64$)이 중간정도의 상관관계를 보였고, 야간에는 1,1-Dichloroethane($r=-0.52$)이 중간정도 음의 상관관계를 나타내었다.

Jeollanamdo 는 주간에 Benzene($r=0.64$) 과 Carbontetrachloride($r=0.66$), 야간에 Chloroform($r=0.58$)이 중간정도 양의 상관관계를 보였다.

Jeju 는 주간에 Ethylbenzene($r=0.56$)이 중간정도 양의 상관관계를 보였다.

Daytime

PM _{2.5}	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Busan	0.03	-0.64	-0.20	0.00	0.78	0.08	0.33	0.06	-0.30	-0.11	-0.34	-0.13	0.17	0.21	0.00	0.00	0.18	0.72
Gyeongsangnamdo	0.28	-0.31	0.11	0.00	0.26	-0.02	0.57	0.19	0.31	0.26	-0.01	-0.31	-0.33	0.64	0.00	0.00	-0.04	0.22
Jeollanamdo	0.00	0.00	-0.07	0.18	0.64	0.02	0.66	-0.03	-0.11	-0.16	-0.15	-0.07	0.00	-0.07	0.00	0.18	0.39	0.00
Jeju	-0.42	0.00	0.00	0.00	-0.37	0.23	-0.26	0.56	0.19	0.00	0.49	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	-0.42	0.00

Night

PM _{2.5}	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Busan	0.14	-0.38	0.30	0.00	0.82	0.06	0.43	-0.20	-0.04	0.03	0.24	-0.21	0.00	0.46	0.00	0.00	0.23	0.37
Gyeongsangnamdo	0.20	0.10	0.10	0.00	0.22	0.43	0.20	0.19	0.19	0.15	0.26	0.00	-0.52	0.23	0.00	0.00	-0.04	-0.26
Jeollanamdo	0.58	0.00	-0.32	-0.18	0.21	0.02	0.09	0.05	0.06	-0.09	0.05	0.00	0.10	0.13	0.00	0.00	-0.15	-0.20
Jeju	-0.26	0.00	0.00	0.00	-0.39	-0.13	-0.26	-0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.21	0.00	0.00	-0.22	0.00

Fig. 4-2-1 Pearson correlation coefficient of the concentration of VOCs vs mass concentration of PM_{2.5}

(2) 일본측

일본측 조사 지점에서의 VOC 의 농도와 PM_{2.5} 질량 농도의 상관계수는 주·야간 모두 양의 상관을 나타내었다. Yamaguchi 의 데이터는 1 시간 값에서는 정도가 떨어지기 때문에 생략하였다. 특히 방향족 화합물, 1,3-Butadiene, Dichloromethane, Acrylonitrile 의 상관이 강하였다.

Daytime

	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Yamaguchi																		
Dazaifu	0.73	0.34	0.35	0.59	0.48	0.57	-0.15	0.63	0.59	0.01	0.64	-0.04	0.28	0.31	-0.24	0.00	0.16	0.00
Saga	0.54	0.33	0.21	0.55	0.60	0.61	0.10	0.69	0.65	0.74	0.67	0.10	0.38	0.75	0.77	-0.04	0.08	0.07
Omura	0.40	0.13	0.11	0.48	0.59	0.55	0.09	0.70	0.69	0.57	0.70	0.28	0.43	0.47	0.70	0.54	0.59	-0.28

Night

	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Yamaguchi																		
Dazaifu	0.24	0.43	0.27	0.56	0.58	0.46	-0.30	0.47	0.49	0.39	0.56	0.04	0.06	0.31	0.35	0.26	0.12	0.16
Saga	0.54	0.60	0.66	0.43	0.51	0.61	0.14	0.73	0.72	0.64	0.73	0.25	0.34	0.68	0.47	-0.33	0.47	0.54
Omura	0.37	0.38	0.51	0.13	0.32	0.42	0.02	0.51	0.60	0.14	0.59	-0.06	0.43	0.46	0.53	0.45	0.40	0.47

Fig. 4-2-2 Pearson correlation coefficient of the concentration of VOCs vs mass concentration of PM_{2.5}

4.2.1.2 VOC 성분과 PM₁₀ or SPM 의 상관성

(1) 대한민국측

Busan 의 경우 주간 Benzene($r=0.55$)과 Chloromethane($r=0.74$)은 중간정도의 양의 상관관계를 보였다. *m,p*-Xylene 은 주간($r=-0.67$)에 중간정도 음의 상관관계를 보였다. 야간에는 Ethylbenzene($r=-0.72$), *m,p*-Xylene($r=-0.56$), Styrene($r=-0.52$)이 중간정도 음의 상관관계를 보였다. 1,2-Dichloroethane($r=0.50$)은 중간정도 양의 상관관계를 보였고, Chloromethane($r=0.79$)은 강한 양의 상관관계를 보였다.

Gyeongsangnamdo 는 주간 Carbontetrachloride($r=0.67$)와 Dichloromethane($r=0.74$)이 중간정도 양의 상관관계를 보였다.

Jeollanamdo 는 주간 Carbontetrachloride($r=0.69$)이 중간정도 양의 상관관계를 보였고, Ethylbenzene($r=-0.52$), *m,p*-Xylene($r=-0.59$), Styrene($r=-0.60$), *o*-Xylene($r=-0.64$)은 중간정도 음의 상관관계를 보였다. 야간에는 Trichloroethylene($r=-0.53$), 1,2-Dichloroethane($r=-0.51$)이 중간정도 음의 상관관계를 가졌다.

Jeju 는 주간에 Chloroform($r=-0.54$), 1,2-Dichloroethane($r=-0.54$)이 중간정도 음의 상관관계를 보였다.

Daytime

PM ₁₀	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Busan	0.27	-0.05	-0.44	0.00	0.55	0.32	-0.38	-0.41	-0.67	-0.41	-0.22	0.21	0.42	-0.43	0.00	0.00	0.18	0.74
Gyeongsangnamdo	0.27	-0.48	0.16	0.00	0.40	0.02	0.67	0.27	0.41	0.28	0.02	-0.28	-0.07	0.74	0.00	0.00	0.01	0.24
Jeollanamdo	-0.16	0.00	-0.25	0.19	0.46	-0.46	0.69	-0.52	-0.59	-0.60	-0.64	-0.25	0.00	-0.42	0.00	0.19	-0.02	-0.03
Jeju	-0.54	0.00	0.00	0.00	-0.35	0.23	-0.43	0.28	0.34	0.00	0.07	0.00	0.00	-0.09	0.00	0.00	-0.54	0.00

Night

PM ₁₀	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Busan	0.16	0.00	-0.40	0.00	0.48	-0.20	-0.36	-0.72	-0.56	-0.52	-0.41	-0.16	0.00	-0.15	0.00	0.00	0.50	0.79
Gyeongsangnamdo	0.32	-0.09	0.04	0.00	0.16	0.29	0.15	0.12	0.12	0.13	0.19	0.00	-0.43	0.19	0.00	0.00	-0.02	-0.11
Jeollanamdo	0.09	0.00	-0.53	-0.13	0.25	-0.32	0.16	-0.36	-0.32	-0.47	-0.33	0.00	-0.17	-0.21	0.00	0.00	-0.51	-0.25
Jeju	-0.42	0.00	0.00	0.00	-0.49	0.03	-0.41	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.27	0.00	0.00	-0.33	0.00

Fig. 4-2-3 Pearson correlation coefficient of the concentration of VOCs vs mass concentration of PM₁₀

(2) 일본측

일본측 조사 지점에서의 VOC 의 농도와 SPM 질량 농도의 상관 계수는 PM_{2.5} 의 상관 계수와 비슷한 경향으로 나타났지만, PM_{2.5} 보다 상관이 근소하게 약해졌다.

Daytime

	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Yamaguchi	0.78	0.03	0.38	0.44	0.36	0.56	0.50	0.66	0.55	0.72	0.52	-0.21	0.01	0.75	0.56	0.45	0.55	0.41
Dazaifu	0.73	0.33	0.43	0.51	0.30	0.53	-0.16	0.64	0.57	0.03	0.61	0.11	0.40	0.32	-0.20	-0.08	0.23	-0.09
Saga	0.59	0.34	0.38	0.54	0.46	0.46	0.26	0.65	0.61	0.75	0.64	0.07	0.31	0.73	0.76	-0.09	0.25	0.23
Omura	0.23	-0.05	-0.02	0.06	0.18	0.30	-0.17	0.51	0.37	0.48	0.42	-0.06	0.13	0.28	0.48	0.28	0.37	-0.27

Night

	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Yamaguchi	0.02	0.10	-0.08	0.13	0.10	-0.06	0.00	-0.02	-0.23	-0.13	-0.28	0.07	0.29	0.06	0.30	0.05	0.23	0.11
Dazaifu	0.32	0.50	0.38	0.51	0.45	0.59	-0.42	0.51	0.55	0.41	0.63	0.06	0.18	0.28	0.31	-0.01	-0.01	-0.03
Saga	0.63	0.54	0.62	0.26	0.39	0.57	0.30	0.85	0.77	0.82	0.78	0.16	0.24	0.68	0.39	-0.44	0.36	0.65
Omura	0.35	0.19	0.36	-0.22	-0.05	0.29	0.04	0.56	0.47	0.44	0.52	-0.25	0.20	0.34	0.38	0.23	0.24	0.64

Fig. 4-2-4 Pearson correlation coefficient of the concentration of VOCs vs mass concentration of SPM

4.2.2 VOC 성분과 가스상물질(O₃ or Ox, SO₂, NO, NO₂)의 상관성

4.2.2.1 VOC 성분과 O₃ or Ox 의 상관성

(1) 대한민국측

Busan 의 경우 주간에는 Chloroform($r=0.58$), Toluene($r=0.53$), 1,1,1-Trichloroethane ($r=0.66$), *o*-Xylene($r=0.72$)이 중간정도 양의 상관관계를 보였고, 1,2-Dichloroethane ($r=-0.59$)과 Chloromethane($r=-0.51$)은 중간정도 음의 상관관계를 나타내었다. 야간에는 Styrene($r=-0.62$)이 중간정도 음의 상관관계를 나타내었다.

Gyeongsangnamdo 의 경우 주간에는 Tetrachloroethylene($r=0.71$)이 중간정도 양의 상관성을 보였고, Carbontetrachloride($r=-0.61$), Dichloromethane($r=-0.72$)은 중간정도 음의 상관관계를 보였다. 야간에는 Trichloroethylene($r=-0.54$)이 중간정도 음의 상관관계를 나타내었다.

Jeollanamdo 는 주간에 1,2-dichloroethane ($r=0.73$)이 중간정도 양의 상관관계를 보였다. 야간에는 Styrene($r=0.56$)과 1,2-dichloroethane ($r=0.54$)이 중간정도 양의 상관관계를 보였고, Benzene($r=-0.64$)과 Carbontetrachloride($r=-0.53$)은 중간정도 음의 상관관계를 나타내었다.

Jeju 는 주간에 Benzene($r=-0.53$)이 중간정도 음의 상관관계를 보였다.

Daytime

O ₃	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Busan	0.58	0.23	-0.18	0.00	-0.19	0.53	-0.27	0.08	0.12	-0.36	0.72	0.66	0.45	-0.19	0.00	0.00	-0.59	-0.51
Gyeongsangnamdo	-0.18	0.71	-0.44	0.00	-0.17	0.20	-0.61	0.05	-0.17	-0.11	0.35	0.34	-0.08	-0.72	0.00	0.00	0.31	-0.41
Jeollanamdo	0.35	0.00	-0.07	-0.22	-0.36	-0.09	-0.05	0.25	0.28	0.49	0.45	-0.07	0.00	0.37	0.00	-0.22	0.73	-0.01
Jeju	0.07	0.00	0.00	0.00	-0.53	-0.22	0.12	0.12	-0.10	0.00	0.17	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.07	0.00

Night

O ₃	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Busan	0.48	0.04	-0.45	0.00	-0.31	0.30	-0.45	-0.39	-0.44	-0.62	-0.30	0.47	0.00	-0.09	0.00	0.00	-0.42	-0.17
Gyeongsangnamdo	-0.45	0.37	-0.54	0.00	-0.46	-0.24	-0.41	-0.36	-0.34	0.21	-0.26	0.00	0.34	-0.34	0.00	0.00	0.21	-0.25
Jeollanamdo	0.36	0.00	0.19	-0.07	-0.64	-0.02	-0.53	0.38	0.43	0.56	0.44	0.00	0.49	0.11	0.00	0.00	0.54	0.09
Jeju	0.48	0.00	0.00	0.00	0.42	-0.26	0.48	-0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.00	0.23	0.00

Fig. 4-2-5 Pearson correlation coefficient of the concentration of VOCs vs concentration of O₃

(2) 일본측

일본측 조사 지점에서의 VOC 의 농도와 광화학 옥시던트 농도의 상관 계수는 주간에는 모든 조사 지점에서 대부분의 VOC 에 대하여 음의 상관관계가 확인되었고, 특히 방향족 화합물, 알켄류에서 경향이 현저하였다. 또한 야간은 음의 상관관계의 경향이 약간 약해졌다.

Dyetime

	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Yamaguchi	-0.34	-0.28	-0.36	-0.68	-0.65	-0.60	-0.14	-0.48	-0.66	-0.58	-0.63	0.23	0.06	-0.30	0.05	-0.52	-0.29	-0.31
Dazaifu	-0.39	-0.06	0.03	-0.44	-0.48	-0.50	-0.58	-0.54	-0.66	-0.28	-0.64	0.45	0.49	-0.43	0.44	0.41	-0.37	0.03
Saga	-0.12	-0.47	-0.36	-0.66	-0.67	-0.42	-0.16	-0.59	-0.67	-0.41	-0.63	-0.50	-0.69	-0.48	-0.43	-0.08	-0.20	-0.11
Omura	-0.34	-0.28	-0.33	-0.81	-0.69	-0.51	-0.60	-0.25	-0.56	-0.22	-0.50	-0.64	-0.62	-0.06	-0.45	-0.38	-0.27	-0.39

Night

	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Yamaguchi	-0.43	0.17	0.33	0.28	0.03	-0.19	-0.42	-0.18	-0.30	-0.37	-0.29	0.49	0.21	-0.22	0.41	-0.03	0.05	-0.05
Dazaifu	-0.15	-0.09	-0.27	-0.48	-0.20	-0.67	0.35	-0.49	-0.59	-0.14	-0.62	-0.04	-0.07	-0.10	0.25	0.52	0.32	0.62
Saga	-0.25	-0.03	-0.26	-0.12	-0.39	-0.65	-0.24	-0.71	-0.66	-0.48	-0.62	-0.26	-0.35	-0.42	-0.22	0.39	0.30	-0.12
Omura	-0.34	-0.06	-0.22	-0.41	-0.38	-0.67	-0.61	-0.49	-0.68	0.23	-0.68	-0.28	-0.23	-0.18	-0.23	-0.24	-0.09	-0.32

Fig.4-2-6 Pearson correlation coefficient of the concentration of VOCs vs concentration of Ox

4.2.2.2 VOC 성분과 SO₂의 상관성

(1) 대한민국측

Busan 의 경우 주간에는 *m,p*-Xylene($r=-0.59$)이 중간정도 음의 상관관계를 보였다. 야간에는 Tetrachloroethylene($r=0.51$)이 중간정도 양의 상관관계를 나타내었고, Trichloroethylene($r=-0.68$), Ethylbenzene($r=-0.60$), *m,p*-Xylene($r=-0.52$), Styrene ($r=-0.55$), Dichloromethane($r=-0.54$), Carbontetrachloride($r=-0.75$)은 중간정도 음의 상관관계를 나타내었다.

Gyeongsangnamdo 는 주간에 Chloroform($r=0.57$), Benzene($r=0.57$), *m,p*-Xylene ($r=0.62$)은 중간정도 양의 상관관계를 보였고, Toluene($r=0.86$), Ethylbenzene($r=0.84$), *o*-Xylene($r=0.93$), 1,1,1-Trichloroethane($r=0.84$), 1,2-Dichloroethane($r=0.96$)은 강한 양의 상관관계를 보였다. 야간에는 Chloromethane($r=-0.53$)이 중간정도 음의 상관관계를 보였다.

Jeollanamdo 는 1,2-Dichloroethane($r=0.60$)이 중간정도 양의 상관관계를 나타내었고, Toluene($r=-0.52$)은 중간정도 음의 상관관계를 보였다. 야간에는 Benzene($r=-0.52$)이 중간정도 음의 상관관계를 보였다.

Jeju 는 주간에 *m,p*-Xylene($r=-0.50$)이 중간정도 음의 상관관계를 보였고, 야간에는 Toluene($r=-0.61$)이 중간정도 음의 상관관계를 나타내었다.

Daytime

SO ₂	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Busan	0.35	-0.11	-0.38	0.00	0.29	0.40	-0.44	-0.49	-0.59	-0.23	0.00	0.31	0.24	-0.46	0.00	0.00	0.10	0.40
Gyeongsangnamdo	0.57	-0.19	0.03	0.00	0.57	0.86	-0.11	0.84	0.62	-0.06	0.93	0.84	-0.13	-0.15	0.00	0.00	0.96	-0.16
Jeollanamdo	0.18	0.00	-0.20	0.41	-0.04	-0.52	0.44	-0.22	-0.21	-0.03	-0.05	-0.20	0.00	0.14	0.00	0.41	0.60	0.36
Jeju	0.10	0.00	0.00	0.00	-0.20	0.13	0.04	-0.10	-0.50	0.00	0.10	0.00	0.00	-0.14	0.00	0.00	0.10	0.00

Night

SO ₂	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Busan	0.20	0.51	-0.68	0.00	-0.22	-0.01	-0.75	-0.60	-0.52	-0.55	-0.48	0.10	0.00	-0.54	0.00	0.00	0.48	0.22
Gyeongsangnamdo	-0.38	-0.02	-0.16	0.00	-0.21	0.12	-0.30	-0.20	-0.21	-0.11	-0.17	0.00	-0.35	-0.34	0.00	0.00	-0.11	-0.53
Jeollanamdo	-0.23	0.00	-0.12	0.44	-0.52	-0.41	-0.30	-0.19	-0.06	-0.04	-0.03	0.00	-0.01	-0.26	0.00	0.00	-0.09	0.43
Jeju	-0.06	0.00	0.00	0.00	-0.04	-0.61	-0.04	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.14	0.00

Fig. 4-2-7 Pearson correlation coefficient of the concentration of VOCs vs concentration of SO₂

(2) 일본측

일본측 조사 지점에서의 VOC 농도와 SO₂ 농도의 상관 계수는 명확한 경향은 나타나지 않았지만, 야간에서는 방향족 화합물과의 사이에 양의 상관관계가 나타나는 항목도 있었다.

Daytime

	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Yamaguchi	0.40	0.30	0.24	0.02	0.06	0.28	-0.17	0.38	0.08	0.07	0.08	0.48	0.30	0.33	0.45	0.36	0.57	-0.09
Dazaifu	-0.06	-0.23	-0.02	0.10	-0.17	0.00	-0.46	-0.10	-0.21	-0.24	-0.16	0.18	0.35	-0.36	0.19	0.34	-0.38	-0.21
Saga	0.05	-0.29	-0.19	-0.39	-0.37	-0.15	0.21	-0.20	-0.25	-0.11	-0.20	-0.47	-0.32	-0.14	-0.10	-0.22	-0.29	-0.10
Omura	-0.05	-0.26	-0.13	-0.25	-0.20	-0.18	-0.27	-0.03	-0.15	0.30	-0.09	-0.31	-0.22	-0.06	-0.07	-0.18	-0.11	-0.66

Night

	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Yamaguchi	0.58	-0.39	0.26	0.07	-0.49	-0.04	0.22	-0.02	-0.20	0.14	-0.23	-0.16	-0.40	0.78	0.67	0.25	0.73	-0.37
Dazaifu	-0.29	0.03	-0.26	0.35	0.23	0.46	-0.26	0.44	0.36	0.15	0.34	0.11	-0.38	0.00	0.08	0.13	-0.32	-0.18
Saga	0.23	-0.28	-0.16	-0.43	-0.33	-0.09	0.62	0.25	0.05	0.25	0.07	0.07	-0.11	0.37	-0.05	-0.45	-0.26	0.54
Omura	-0.05	-0.03	-0.13	-0.08	-0.24	-0.23	-0.22	0.17	-0.04	0.55	-0.03	-0.20	-0.23	0.00	-0.16	-0.22	-0.11	0.15

Fig. 4-2-8 Pearson correlation coefficient of the concentration of VOCs vs concentration of SO₂

4.2.2.3 VOC 성분과 NO, NO₂의 상관성

(1) 대한민국측

Busan의 경우 주간에는 Benzene과 Chloromethane이 NO, NO₂ 두 항목 모두 중간정도 양의 상관관계를 보였다. *m,p*-Xylene은 NO($r=-0.56$)와 중간정도 음의 상관관계를 보였고, Tetrachloroethylene은 NO₂($r=-0.51$)와 중간정도 음의 상관관계를 보였다. 야간에는 Benzene이 NO($r=0.59$), NO₂($r=0.60$) 두 항목 모두 중간정도 양의 상관관계를 보였고, 1,2-Dichloroethane은 NO($r=0.78$)와는 강한 양의 상관관계를 보였고, NO₂($r=0.73$)와는 중간정도의 양의 상관관계를 보였다. Chloromethane은 NO($r=0.52$)와 중간정도 양의 상관관계를 보였다.

Gyeongsangnamdo는 주간에는 Chloroform과 Chloromethane이 NO와 강한 양의

상관관계를 보였고, 1,1-Dichloroethane 은 NO_2 ($r=-0.50$) 와 중간정도 음의 상관관계를 보였다. 야간에는 Chloroform 이 NO ($r=0.87$)와 강한 양의 상관관계를 보였고, Chloromethane 은 NO ($r=0.62$)와 중간정도 양의 상관관계를 나타내었다.

Jeollanamdo 는 중간정도 이상의 상관성을 가지는 항목은 없는 것으로 조사되었다.

Jeju 는 야간에 Toluene 과 Ethylbenzene 이 NO 와 중간정도 양의 상관관계를 보였고, Chloroform 과 Carbontetrachloride 가 NO_2 와 중간정도 음의 상관관계를 보였다.

Daytime

NO	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Busan	-0.03	-0.35	-0.27	0.00	0.52	0.02	-0.04	-0.27	-0.56	-0.03	-0.44	-0.12	-0.02	-0.16	0.00	0.00	0.49	0.73
Gyeongsangnamdo	0.77	-0.48	0.10	0.00	-0.15	-0.11	-0.06	-0.10	-0.11	-0.13	-0.15	-0.07	0.22	0.10	0.00	0.00	-0.01	0.82
Jeollanamdo	-0.10	0.00	-0.17	0.28	0.44	0.10	0.32	-0.25	-0.24	-0.46	-0.33	-0.17	0.00	-0.10	0.00	0.28	-0.34	0.10
Jeju	-0.19	0.00	0.00	0.00	0.30	0.18	-0.13	0.13	0.38	0.00	-0.27	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	-0.19	0.00

Night

NO	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Busan	0.04	-0.26	0.05	0.00	0.59	0.03	0.17	-0.08	-0.08	0.31	0.01	-0.16	0.00	-0.12	0.00	0.00	0.78	0.52
Gyeongsangnamdo	0.87	-0.22	0.14	0.00	0.19	0.13	0.14	0.03	0.03	-0.15	-0.13	0.00	0.06	0.17	0.00	0.00	-0.29	0.62
Jeollanamdo	-0.19	0.00	-0.13	-0.11	0.21	0.15	0.33	-0.01	-0.02	-0.16	-0.03	0.00	-0.11	0.02	0.00	0.00	-0.18	-0.18
Jeju	-0.18	0.00	0.00	0.00	-0.04	0.64	-0.15	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00	0.21	0.00

Fig. 4-2-9 Pearson correlation coefficient of the concentration of VOCs vs concentration of NO

Daytime

NO ₂	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Busan	0.08	-0.51	-0.17	0.00	0.61	0.12	0.16	-0.05	-0.43	0.19	-0.28	-0.04	-0.01	-0.05	0.00	0.00	0.60	0.56
Gyeongsangnamdo	0.46	-0.07	0.38	0.00	-0.07	0.33	-0.09	0.18	0.13	-0.23	0.21	0.12	-0.50	-0.02	0.00	0.00	0.20	0.14
Jeollanamdo	0.14	0.00	0.23	0.11	0.43	0.35	0.25	0.19	0.10	0.02	0.03	0.23	0.00	0.31	0.00	0.11	0.07	0.13
Jeju	-0.30	0.00	0.00	0.00	-0.06	-0.43	-0.29	-0.04	0.19	0.00	-0.01	0.00	0.00	-0.09	0.00	0.00	-0.30	0.00

Night

NO ₂	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Busan	0.16	-0.29	0.17	0.00	0.60	0.25	0.29	-0.04	0.00	0.37	0.23	-0.07	0.00	0.02	0.00	0.00	0.73	0.33
Gyeongsangnamdo	0.47	0.20	0.11	0.00	0.03	0.37	-0.06	-0.07	-0.08	-0.29	-0.11	0.00	-0.38	-0.09	0.00	0.00	-0.05	0.03
Jeollanamdo	0.12	0.00	0.08	-0.13	0.21	0.47	0.21	0.24	0.17	0.05	0.16	0.00	-0.22	0.36	0.00	0.00	-0.12	-0.16
Jeju	-0.51	0.00	0.00	0.00	-0.44	-0.04	-0.51	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.22	0.00	0.00	-0.24	0.00

Fig. 4-2-10 Pearson correlation coefficient of the concentration of VOCs vs concentration of NO₂

(2) 일본측

일본측 조사 지점에서의 VOC 의 농도와 NO 농도 및 NO₂ 농도의 상관 계수는 모든 조사 지점에서 특히 방향족 화합물이나 알켄류와의 사이에 양의 상관이 나타났다. 또한 NO₂ 쪽이 보다 양의 상관이 강하였다. 주간과 야간에서는 NO₂ 에서는 명확한 차이는 없었지만, NO 에서는 주간이 양의 상관이 강하였다.

Daytime

	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Yamaguchi	0.70	0.42	0.55	0.97	0.94	0.93	0.21	0.82	0.97	0.92	0.99	-0.15	0.13	0.69	0.04	0.64	0.54	0.54
Dazaifu	0.78	0.51	0.27	0.81	0.73	0.82	0.25	0.87	0.93	0.41	0.95	-0.19	-0.04	0.62	-0.25	-0.10	0.54	0.20
Saga	0.08	0.26	0.10	0.49	0.78	0.93	-0.30	0.51	0.53	0.42	0.52	0.10	0.32	0.61	0.50	-0.13	-0.05	0.03
Omura	-0.03	-0.30	0.34	0.07	0.32	0.52	-0.31	0.32	0.36	0.05	0.31	-0.18	-0.02	0.23	0.12	-0.19	-0.04	-0.34

Night

	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Yamaguchi	0.39	0.04	-0.10	-0.32	0.17	0.29	0.54	0.36	0.52	0.49	0.51	-0.49	-0.16	0.22	-0.45	-0.14	0.04	0.24
Dazaifu	-0.09	-0.12	0.00	0.65	0.39	0.50	-0.58	0.22	0.38	0.23	0.46	0.37	-0.21	0.04	0.00	-0.29	-0.24	-0.10
Saga	0.19	0.08	0.26	0.05	0.31	0.75	0.05	0.66	0.63	0.43	0.61	-0.02	0.12	0.53	0.07	-0.46	-0.31	0.17
Omura	-0.13	-0.23	-0.17	0.37	0.32	0.17	-0.07	-0.05	0.20	-0.17	0.20	-0.07	-0.07	-0.16	-0.12	-0.14	-0.22	-0.05

Fig. 4-2-11 Pearson correlation coefficient of the concentration of VOCs vs concentration of NO

Daytime

	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Yamaguchi	0.71	0.75	0.70	0.87	0.88	0.91	0.04	0.80	0.87	0.81	0.83	0.19	0.44	0.64	0.33	0.78	0.71	0.41
Dazaifu	0.77	0.58	0.40	0.87	0.63	0.91	0.17	0.92	0.94	0.54	0.96	-0.14	0.10	0.55	-0.07	-0.04	0.52	0.08
Saga	0.48	0.69	0.44	0.87	0.93	0.80	0.03	0.91	0.93	0.81	0.92	0.59	0.75	0.92	0.84	-0.04	0.32	0.12
Omura	0.33	0.17	0.44	0.73	0.76	0.66	0.22	0.58	0.76	0.45	0.73	0.44	0.52	0.37	0.65	0.34	0.43	-0.07

Night

	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Yamaguchi	0.38	0.59	0.32	0.21	0.49	0.86	0.25	0.70	0.59	0.69	0.62	0.06	0.17	0.24	0.15	0.64	0.42	0.39
Dazaifu	0.47	0.71	0.56	0.72	0.69	0.71	-0.26	0.63	0.76	0.66	0.86	-0.02	0.33	0.71	0.30	-0.16	0.32	0.06
Saga	0.30	0.55	0.66	0.61	0.82	0.95	-0.10	0.83	0.91	0.56	0.88	0.40	0.55	0.54	0.44	-0.31	0.24	0.11
Omura	0.19	0.10	0.15	0.67	0.66	0.59	0.28	0.21	0.58	-0.51	0.54	0.25	0.22	0.21	0.20	0.23	0.11	-0.07

Fig. 4-2-12 Pearson correlation coefficient of the concentration of VOCs vs concentration of NO₂

4.2.3 VOC 성분과 기상 인자(기온, 습도, 일사량)의 상관성

4.2.3.1 VOC 성분과 기온의 상관성

(1) 대한민국측

Busan 의 경우 Tetrachloroethylene 이 주간($r=0.86$)에는 강한 양의 상관관계를 보였고, 야간($r=0.63$)에도 중간정도 양의 상관관계를 가졌다. Benzene 은 주간 ($r=-0.71$)에는 중간정도, 야간($r=-0.83$) 은 강한 음의 상관관계를 보였고, Chloromethane 은 주간($r=-0.67$)에 중간정도 음의 상관관계를 나타내었다.

Gyeongsangnamdo 는 Tetrachloroethylene 이 주간($r=0.64$), 야간($r=0.54$) 모두 중간정도 양의 상관관계를 가졌다. Chloroform 은 야간($r=-0.60$)에 중간정도 음의 상관관계를 보였고, Dichloromethane 은 주간($r=-0.51$), 야간($r=-0.51$) 모두 중간정도 음의 상관관계를 가졌다. Chloromethane 은 주간($r=-0.74$), 야간($r=-0.71$) 모두 중간정도 음의 상관관계를 나타내었다.

Jeollanamdo 는 Dichloromethane 이 주간($r=0.53$)에 중간정도 양의 상관관계를 나타내었다. Chloroform 은 야간($r=0.58$)에 중간정도 양의 상관관계를 나타내었고, Carbontetrachloride 는 야간($r=-0.55$)에 중간정도 음의 상관관계를 나타내었다

Jeju 의 경우 Toluene 이 주간($r=0.52$)에 중간정도 양의 상관관계를 나타내었다.

Daytime

Temperature	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Busan	-0.01	0.86	0.16	0.00	-0.71	-0.13	-0.42	-0.23	0.22	-0.17	0.32	0.18	-0.26	-0.26	0.00	0.00	-0.12	-0.67
Gyeongsangnamdo	-0.47	0.64	-0.13	0.00	-0.06	0.25	-0.37	0.07	-0.06	-0.19	0.29	0.22	-0.46	-0.51	0.00	0.00	0.18	-0.74
Jeollanamdo	0.43	0.00	-0.02	-0.34	-0.32	0.12	-0.24	0.33	0.33	0.47	0.47	-0.02	0.00	0.53	0.00	-0.34	0.48	-0.03
Jeju	-0.33	0.00	0.00	0.00	-0.29	0.52	-0.23	0.30	-0.03	0.00	0.04	0.00	0.00	-0.12	0.00	0.00	-0.33	0.00

Night

Temperature	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Busan	-0.29	0.63	-0.08	0.00	-0.83	-0.11	-0.37	0.21	0.23	-0.18	0.00	0.12	0.00	-0.22	0.00	0.00	-0.15	-0.42
Gyeongsangnamdo	-0.60	0.54	-0.21	0.00	-0.42	0.02	-0.43	-0.30	-0.30	-0.18	-0.09	0.00	-0.46	-0.51	0.00	0.00	0.44	-0.71
Jeollanamdo	0.58	0.00	0.12	-0.32	-0.43	0.23	-0.55	0.38	0.33	0.49	0.32	0.00	0.14	0.47	0.00	0.00	0.20	-0.10
Jeju	-0.46	0.00	0.00	0.00	-0.47	0.45	-0.48	-0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.44	0.00	0.00	-0.43	0.00

Fig. 4-2-13 Pearson correlation coefficient of the concentration of VOCs vs Temperature

(2) 일본측

일본측 조사 지점에서의 VOC 의 농도와 기온의 상관 계수는 주간에는 모든 조사 지점에서 대부분의 VOC 에 대하여 음의 상관관계가 나타났고, 특히 1,3-Butadiene 과 Benzene 에서 현저하였다. 단, 야간은 상관관계가 약해졌고 양의 상관관계로 나타나는 물질도 있었다.

Daytime

	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Yamaguchi	0.32	-0.53	-0.31	-0.25	-0.30	-0.02	0.46	0.18	-0.11	0.05	-0.13	-0.29	-0.48	0.25	0.37	0.08	0.23	0.00
Dazaifu	-0.17	-0.05	0.29	-0.25	-0.69	-0.17	-0.64	-0.10	-0.29	-0.06	-0.28	0.33	0.81	-0.28	0.36	-0.06	-0.23	-0.55
Saga	0.28	-0.33	-0.04	-0.51	-0.66	-0.44	0.53	-0.22	-0.31	-0.06	-0.22	-0.38	-0.41	-0.21	-0.11	-0.45	-0.17	0.32
Omura	0.16	-0.14	-0.29	-0.60	-0.71	-0.44	-0.17	-0.14	-0.47	0.37	-0.24	-0.38	-0.32	-0.21	-0.12	-0.46	-0.22	0.19

Night

	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Yamaguchi	0.71	-0.53	-0.31	-0.18	-0.58	0.02	0.61	-0.03	-0.22	0.29	-0.27	-0.29	-0.24	0.77	0.29	0.02	0.53	-0.22
Dazaifu	0.14	0.15	0.15	-0.28	-0.53	0.19	-0.60	-0.04	-0.07	0.18	-0.01	0.13	0.24	-0.31	0.40	-0.66	-0.53	-0.23
Saga	0.59	-0.19	-0.09	-0.67	-0.50	-0.09	0.56	0.23	0.00	0.37	0.08	-0.30	-0.33	0.30	-0.07	-0.65	-0.14	0.79
Omura	0.16	-0.19	-0.08	-0.57	-0.54	0.04	0.16	0.50	0.17	0.68	0.26	-0.35	-0.19	-0.05	-0.04	-0.16	-0.12	0.80

Fig. 4-2-14 Pearson correlation coefficient of the concentration of VOCs vs Temperature

4.2.3.2 VOC 성분과 습도의 상관성

(1) 대한민국측

Busan 의 경우 Benzene 은 주간($r=-0.65$), 야간($r=-0.62$) 모두 중간정도 음의 상관관계를 보였고, Toluene 은 주간($r=-0.53$)에 중간정도 음의 상관관계를 나타내었다. 1,1-Dichloroethane 은 주간($r=-0.76$)에 강한 음의 상관관계를 나타내었고, Chloromethane 은 주간($r=-0.68$)에 중간정도 음의 상관관계를 보였다.

Gyeongsangnamdo 는 Chloroform 이 주간($r=-0.59$), 야간($r=-0.52$) 모두 중간정도 음의 상관관계를 가졌다. Chloromethane 은 주간($r=-0.64$), 야간($r=-0.71$)에 중간정도 음의 상관관계를 나타내었다.

Jeollanamdo 는 Trichloroethylene 이 주간($r=0.57$)에 중간정도 양의 상관관계를 나타내었다. Benzene 은 야간($r=-0.80$)에 강한 음의 상관관계를 나타내었고, Carbontetrachloride 는 주간($r=-0.60$), 야간($r=-0.61$) 모두 중간정도 음의 상관관계를 나타내었다. Styrene 은 야간($r=0.53$)에 중간정도 양의 상관관계를 나타내었고,

1,1,1-Trichloroethylene 은 주간($r=0.57$)에 중간정도 양의 상관관계를 나타내었다.

Jeju 의 경우는 중간정도 이상의 상관관계를 가지는 항목은 없는 것으로 조사되었다.

Daytime

Humidity	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Busan	-0.45	0.36	0.31	0.00	-0.65	-0.53	0.19	0.21	0.40	0.37	-0.03	-0.33	-0.76	0.18	0.00	0.00	0.24	-0.68
Gyeongsangnamdo	-0.59	0.05	0.29	0.00	-0.03	0.08	-0.10	-0.08	-0.09	-0.29	-0.08	0.07	-0.43	-0.20	0.00	0.00	-0.13	-0.64
Jeollanamdo	-0.24	0.00	0.57	-0.37	-0.37	0.42	-0.60	0.44	0.38	0.39	0.32	0.57	0.00	0.18	0.00	-0.37	-0.10	-0.29
Jeju	-0.13	0.00	0.00	0.00	-0.14	0.05	-0.14	-0.15	-0.40	0.00	0.14	0.00	0.00	-0.43	0.00	0.00	-0.13	0.00

Night

Humidity	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Busan	-0.19	0.28	0.04	0.00	-0.62	0.15	-0.13	0.25	0.26	0.41	0.20	0.04	0.00	-0.43	0.00	0.00	0.04	-0.32
Gyeongsangnamdo	-0.52	0.15	0.30	0.00	-0.04	0.36	-0.14	0.00	-0.02	-0.45	0.12	0.00	-0.48	-0.29	0.00	0.00	0.18	-0.71
Jeollanamdo	0.09	0.00	0.26	-0.27	-0.80	0.17	-0.61	0.32	0.30	0.53	0.32	0.00	0.15	0.38	0.00	0.00	0.31	-0.09
Jeju	-0.15	0.00	0.00	0.00	-0.31	0.18	-0.21	-0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.41	0.00	0.00	-0.31	0.00

Fig. 4-2-15 Pearson correlation coefficient of the concentration of VOCs vs Humidity

(2) 일본측

일본측 조사 지점에서의 VOC 의 농도와 습도의 상관 계수는 모든 조사 지점에서 대부분의 VOC 에 대하여 양의 상관관계가 나타났다.

Daytime

	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Yamaguchi	0.32	0.46	0.62	0.74	0.71	0.63	-0.11	0.55	0.72	0.64	0.65	0.03	0.27	0.31	0.09	0.58	0.36	0.46
Dazaifu	0.39	0.41	0.34	0.18	0.18	0.34	0.55	0.44	0.52	0.45	0.48	0.01	-0.22	0.57	-0.14	-0.41	0.69	0.10
Saga	0.18	0.53	0.75	0.70	0.38	0.13	0.16	0.46	0.52	0.48	0.51	0.32	0.36	0.44	0.39	0.13	0.77	0.40
Omura	0.13	0.70	0.28	0.63	0.28	-0.09	0.34	0.19	0.33	0.40	0.35	0.52	0.35	-0.08	0.46	0.37	0.43	0.49

Night

	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Yamaguchi	-0.11	0.71	0.12	-0.06	0.67	0.47	0.18	0.57	0.53	0.46	0.52	0.28	0.54	-0.20	-0.19	0.08	-0.24	0.63
Dazaifu	0.19	0.52	0.36	0.21	0.32	0.29	0.45	0.40	0.40	0.46	0.38	-0.50	0.16	0.80	-0.06	-0.10	0.52	0.00
Saga	0.07	0.36	0.28	0.34	0.40	0.26	0.22	0.40	0.44	0.36	0.43	0.36	0.28	0.05	-0.07	-0.12	0.30	-0.05
Omura	0.15	0.34	0.14	0.34	0.06	0.21	0.03	0.17	0.19	0.19	0.18	0.18	-0.15	0.28	0.06	0.06	0.21	0.10

Fig. 4-2-16 Pearson correlation coefficient of the concentration of VOCs vs Humidity

4.2.3.3 VOC 성분과 일사량의 상관성

(1) 대한민국측

상관계수 ± 0.5 이상의 중간정도 이상의 상관성을 가지는 항목으로는 Busan 의 경우 Toluene($r=0.51$), 1,1-Dichloroethane($r=0.55$)으로 양의 상관관계를 보였다..

Gyeongsangnamdo 는 1,1-Dichloroethane($r=0.66$)으로 양의 상관관계를 보였다.

Jeollanamdo 의 경우는 중간정도 이상의 상관관계를 가지는 항목은 없었다.

Jeju 는 Ethylbenzene($r=0.62$)이 양의 상관관계를 보였다.

Insolation	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Busan	0.46	0.47	-0.17	0.00	0.12	0.51	-0.34	-0.26	-0.02	-0.38	0.41	0.47	0.55	-0.22	0.00	0.00	0.03	-0.07
Gyeongsangnamdo	0.27	-0.02	-0.21	0.00	0.12	0.13	-0.17	0.04	-0.07	0.01	0.16	0.28	0.66	-0.12	0.00	0.00	0.25	0.35
Jeollanamdo	0.23	0.00	-0.25	-0.05	-0.27	0.10	-0.09	0.12	0.09	0.23	0.16	-0.15	-0.09	0.23	0.00	0.10	0.39	0.12
Jeju	-0.18	0.00	0.00	0.00	-0.19	0.45	0.00	0.62	0.20	0.00	0.40	0.00	0.00	0.36	0.00	0.00	-0.25	0.00

Fig. 4-2-17 Pearson correlation coefficient of the concentration of VOCs vs INSO

(2) 일본측

VOC 의 농도와 일사량의 상관 계수의 산출에서는 주간 데이터만을 이용하였다. 일본측 조사 지점에서의 VOC 의 농도와 일사량의 상관 계수는 모든 조사 지점에서 대부분의 VOC 에 대하여 음의 상관성이 나타났다.

VOC 농도와 각 대기 오염 물질의 농도의 상관에 광화학 반응이 중요한 인자로 관여하고 있는 것을 추정할 수 있다. 따라서 일사량을 10 MJ/m^2 미만 ($n=26$)과, 10 MJ/m^2 이상 ($n=22$)의 2 그룹으로 나누고, 각각의 상관계수가 어떤 경향을 취하는가 검토하였다. 산출에 있어서는 데이터 수를 확보하기 위하여 4 개 현의 통합한 데이터를 이용하였다.

Daytime

	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
Yamaguchi	-0.14	-0.62	-0.57	-0.60	-0.59	-0.42	0.21	-0.25	-0.52	-0.43	-0.48	-0.16	-0.43	-0.06	0.02	-0.37	-0.19	-0.24
Dazaifu	-0.35	-0.22	-0.07	-0.23	-0.44	-0.32	-0.72	-0.37	-0.52	-0.29	-0.49	0.26	0.57	-0.52	0.37	0.41	-0.54	-0.17
Saga	-0.04	-0.49	-0.47	-0.70	-0.59	-0.27	0.09	-0.46	-0.55	-0.37	-0.49	-0.47	-0.57	-0.38	-0.33	-0.25	-0.50	-0.07
Omura	-0.02	-0.44	-0.38	-0.81	-0.63	-0.25	-0.40	-0.16	-0.48	-0.08	-0.36	-0.57	-0.51	0.05	-0.41	-0.58	-0.37	-0.19

Fig. 4-2-18 Pearson correlation coefficient of the concentration of VOCs vs INSO

각각의 항목의 평균치도 동시에 기재하였다. 일사량이 많은 쪽이 정상(定常)성분 이외의 VOC 의 대부분에서 농도가 낮았다. 또한 입자상물질, Ox, SO₂ 은 일사량이 많을 때가 농도가 높았고, NO, NO₂ 는 일사량이 많을 때는 농도가 낮았다.

VOC 농도와 입자상물질의 질량농도는 일사량이 적을 경우는 양의 경향이 나타나지만, 일사량이 증가할수록 상관이 약해졌고, 일부에서는 음의 상관을 취하고 있었다.

VOC 농도와 Ox 농도는 일사량이 적을 경우는 음의 경향이 나타나지만, 일사량이 많을 경우는 상관이 거의 나타나지 않게 되었다.

VOC 농도와 SO₂ 농도는 일사량이 적을 때는 방향족화합물을 중심으로 양의 상관으로 나타났고, 일사량이 많을 때는 상관이 약해지거나 음의 상관으로 나타났다.

VOC 농도와 Nox 농도는 일사량의 양에 관계없이 양의 상관이지만, 일사량이 증가할수록 상관이 약해졌다

INSO <10MJ/m² (n=26)

		Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
	average	0.16	0.059	0.037	0.069	1.0	3.3	0.63	1.0	0.85	0.10	0.29	0.026	0.014	0.98	0.044	0.058	0.17	1.5
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5	11.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.66	0.30	0.30	0.81	0.83	0.77	0.19	0.82	0.88	0.59	0.88	0.28	0.50	0.69	0.03	0.10	0.39	0.11
SPM or PM10	13.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.19	0.20	0.23	0.49	0.49	0.45	0.38	0.71	0.70	0.35	0.67	0.29	0.20	0.58	-0.02	-0.07	0.30	0.06
O3 or Ox	29.5 ppb	-0.68	-0.09	-0.34	-0.68	-0.63	-0.65	-0.38	-0.53	-0.64	-0.53	-0.64	-0.02	-0.27	-0.39	0.03	-0.24	-0.37	-0.26
SO2	1.3 ppb	-0.13	-0.37	0.06	-0.05	0.15	0.15	-0.01	0.32	0.28	-0.18	0.19	0.28	0.15	0.32	-0.49	-0.08	-0.03	-0.38
NO	2.7 ppb	0.73	0.49	0.30	0.81	0.73	0.82	0.01	0.52	0.63	0.68	0.69	-0.26	0.07	0.29	0.07	0.30	0.40	0.45
NO2	10.5 ppb	0.67	0.60	0.25	0.71	0.66	0.83	0.07	0.68	0.70	0.76	0.73	-0.21	0.05	0.43	0.26	0.24	0.41	0.37

INSO 10MJ/m²≤ (n=22)

		Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
	average	0.16	0.038	0.021	0.026	0.62	2.5	0.62	0.61	0.39	0.053	0.14	0.019	0.011	0.74	0.051	0.037	0.12	1.5
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
PM2.5	12.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	0.07	0.05	-0.10	0.09	0.20	0.25	-0.39	0.24	0.05	0.13	0.10	-0.50	-0.22	0.27	0.08	0.11	-0.06	-0.12
SPM or PM10	17.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-0.38	-0.28	-0.30	-0.25	-0.20	-0.02	-0.06	-0.13	0.03	-0.18	0.05	-0.26	-0.39	-0.37	-0.15	-0.40	-0.44	-0.55
O3 or Ox	46.3 ppb	0.10	0.11	0.36	-0.10	-0.26	-0.15	-0.06	0.12	-0.12	0.17	0.00	0.19	0.13	0.03	0.20	-0.06	0.05	-0.18
SO2	2.8 ppb	-0.23	-0.15	-0.18	-0.10	-0.27	0.01	-0.08	-0.04	-0.18	-0.03	-0.14	-0.17	-0.26	-0.12	0.03	-0.13	-0.25	-0.40
NO	1.3 ppb	0.03	0.16	-0.22	0.32	0.66	0.72	-0.35	0.41	0.52	0.06	0.43	-0.39	-0.29	0.52	-0.03	0.27	0.18	0.25
NO2	5.7 ppb	0.10	0.74	0.20	0.75	0.48	0.62	-0.79	0.66	0.48	0.65	0.62	-0.16	0.02	0.25	0.60	0.57	0.05	0.36

Fig. 4-2-19 Pearson correlation coefficient of the concentration of VOCs vs air pollutants for each INSO

마찬가지로 각 그룹에서의 일사량 VOC농도와 각 기상 항목의 상관 계수를 산출하였다. VOC 농도와 기온은 전체에서는 음의 상관이었지만, 일사량이 적을 때는 양의 상관으로 나타나고 있다.

VOC 농도와 습도는 전체에서는 양의 상관이었지만, 일사량이 많을 때는 상관이 없어졌고, 반대로 음으로 나타나고 있는 항목도 있었다.

VOC 농도와 일사량에 대해서는 일사량의 정도에 의하지 않고 음의 상관이지만, 특히 일사량이 적을 때에 상관이 강하게 나타났다.

VOC 농도와 강수량의 관계는 10 MJ/m² 이상의 경우에 강우가 없었기 때문에, 일사량별의 비교는 할 수 없지만, 10 MJ/m²미만에서의 상관은 다른 기상항목만큼 명확한 경향은 없었다.

INSO <10MJ/m² (n=26)

		Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
	average	0.16	0.059	0.037	0.069	1.0	3.3	0.63	1.0	0.85	0.095	0.29	0.026	0.014	0.98	0.044	0.058	0.17	1.5
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Temp	12.8 °C	0.29	0.34	0.33	0.12	-0.15	0.13	0.13	0.24	0.21	0.33	0.24	0.11	0.13	0.17	0.36	-0.20	0.37	0.40
Humidity	75.7 %	0.52	0.44	0.56	0.50	0.19	0.41	0.19	0.39	0.43	0.59	0.45	0.11	0.17	0.34	0.46	0.19	0.62	0.59
INSO	4.9 MJ/m ²	-0.47	-0.20	-0.47	-0.56	-0.37	-0.45	-0.44	-0.44	-0.51	-0.44	-0.49	-0.22	-0.26	-0.37	-0.18	-0.22	-0.52	-0.30
Rainfall	4.7 mm	0.20	0.10	0.46	0.07	-0.09	0.06	0.13	0.11	0.09	0.19	0.05	0.11	0.07	0.09	0.29	0.12	0.42	0.36

INSO 10MJ/m²≤ (n=22)

		Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbontetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane
	average	0.16	0.038	0.021	0.026	0.62	2.5	0.62	0.61	0.39	0.053	0.14	0.019	0.011	0.74	0.051	0.037	0.12	1.5
		$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
Temp	26.1 °C	0.20	-0.33	-0.18	-0.35	-0.83	-0.43	0.03	-0.02	-0.54	0.16	-0.44	-0.18	-0.14	-0.35	0.10	0.04	-0.02	-0.41
Humidity	52.1 %	0.18	-0.27	-0.17	-0.31	0.00	-0.25	0.23	-0.17	-0.12	-0.34	-0.22	-0.26	-0.15	-0.06	-0.44	-0.09	0.18	0.06
INSO	17.7 MJ/m ²	0.00	-0.08	0.02	-0.19	-0.57	-0.20	-0.06	0.10	-0.30	0.15	-0.20	0.09	-0.10	-0.04	0.22	0.05	0.03	-0.24
Rainfall	0.0 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fig.4-2-20 Pearson correlation coefficient of the concentration of VOCs vs weather items for each INSO

- 대한민국측

	Rainfall	INSO	WS	WD	Humidity	Temp	NO ₂	NO	SO ₂	O ₃ or Ox	SPM or PM ₁₀	PM _{2.5}	Chloromethane	1, 2-Dichloroethane	Chloroethylene	Acrylonitrile	Dichloromethane	1, 1-Dichloroethane	1, 1, 1-Trichloroethane	o-Xylene	Styrene	m, p-Xylene	Ethylbenzene	Carbontetrachloride	Toluene	Benzene	1, 3-Butadiene	Trichloroethylene	Tetrachloroethylene	Chloroform	
Chloroform																															
Tetrachloroethylene																															
Trichloroethylene																															
1, 3-Butadiene																															
Benzene																															
Toluene																															
Carbon tetrachloride																															
Ethylbenzene																															
m, p-Xylene																															
Styrene																															
o-Xylene																															
1, 1, 1-Trichloroethane																															
1, 1-Dichloroethane																															
Dichloromethane																															
Acrylonitrile																															
Chloroethylene																															
1, 2-Dichloroethane																															
Chloromethane																															
PM _{2.5}																															
SPM or PM ₁₀																															
O ₃ or Ox																															
SO ₂																															
NO																															
Temp																															
Humidity																															
WS																															
INSO																															
Rainfall																															

Fig. 4-2-21 Pearson correlation coefficient of Busan(daytime)

[illegible]

[illegible]

	Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1,3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbon tetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane	PM _{2.5}	SPM or PM ₁₀	O ₃ or Ox	SO ₂	NO	NO ₂	Temp	Humidity	WD	WS	INSO	Rainfall
Chloroform	-0.31	-0.23	-0.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tetrachloroethylene	-0.31	-0.23	-0.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Trichloroethylene	-0.23	-0.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,3-Butadiene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Benzene	0.10	-0.39	0.15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Toluene	0.26	-0.04	0.42	-	0.56	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Carbon tetrachloride	-0.35	-0.38	0.52	-	0.49	0.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ethylbenzene	0.25	-0.28	0.24	-	0.68	0.89	0.35	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
m, p-Xylene	0.04	-0.33	0.45	-	0.67	0.77	0.65	0.93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Styrene	-0.19	-0.18	-0.11	-	-0.04	-0.06	0.50	0.32	0.48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
o-Xylene	0.38	0.00	0.07	-	0.62	0.93	-0.02	0.90	0.71	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1, 1, 1-Trichloroethane	0.40	-0.21	-0.14	-	0.54	0.69	-0.26	0.68	0.44	-0.08	0.81	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1, 1-Dichloroethane	0.22	-0.13	-0.10	-	-0.14	-0.18	-0.15	-0.21	-0.23	-0.11	-0.18	-0.14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dichloromethane	-0.24	-0.43	0.52	-	0.42	0.03	0.98	0.27	0.58	0.48	-0.10	-0.34	-0.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Acrylonitrile	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chloroethylene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1, 2-Dichloroethane	0.54	-0.15	-0.10	-	0.58	0.84	-0.16	0.84	0.59	-0.03	0.96	0.89	-0.10	-0.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Chloromethane	0.68	-0.24	-0.19	-	-0.35	-0.38	-0.27	-0.41	-0.45	-0.21	-0.36	-0.27	0.57	-0.10	-	-	-0.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PM _{2.5}	0.28	-0.31	0.11	-	0.26	-0.02	0.57	0.19	0.31	0.26	-0.01	-0.31	-0.33	0.64	-	-	-0.04	0.22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SPM or PM ₁₀	0.27	-0.48	0.16	-	0.40	0.02	0.67	0.27	0.41	0.28	0.02	-0.28	-0.07	0.74	-	-	0.01	0.24	0.93	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
O ₃ or Ox	-0.18	0.71	-0.44	-	-0.17	0.20	-0.61	0.05	-0.17	-0.11	0.35	0.34	-0.08	-0.72	-	-	0.31	-0.41	-0.46	-0.54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SO ₂	0.57	-0.19	0.03	-	0.57	0.86	-0.11	0.84	0.62	-0.06	0.93	0.84	-0.13	-0.15	-	-	0.96	-0.16	0.20	0.22	0.31	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NO	0.77	-0.48	0.10	-	-0.15	-0.11	-0.06	-0.10	-0.11	-0.13	-0.15	-0.07	0.22	0.10	-	-	-0.01	0.82	0.45	0.45	-0.51	0.18	-	-	-	-	-	-	-	-
NO ₂	0.46	-0.07	0.38	-	-0.07	0.33	-0.09	0.18	0.13	-0.23	0.21	0.12	-0.50	-0.02	-	-	0.20	0.14	0.54	0.38	-0.21	0.44	0.59	-	-	-	-	-	-	-
Temp	-0.47	0.64	-0.13	-	-0.06	0.25	-0.37	0.07	-0.06	-0.19	0.29	0.22	-0.46	-0.51	-	-	0.18	-0.74	-0.34	-0.45	0.75	-0.73	-0.02	-	-	-	-	-	-	-
Humidity	-0.59	0.05	0.29	-	-0.03	0.08	-0.10	-0.08	-0.09	-0.29	-0.08	0.07	-0.43	-0.20	-	-	-0.13	-0.64	-0.37	-0.42	-0.23	-0.38	-0.42	-0.17	0.22	-	-	-	-	-
WD	0.40	-0.44	-0.20	-	0.49	-0.13	0.15	-0.03	-0.03	-0.20	-0.02	0.13	0.54	0.22	-	-	0.09	0.48	-0.05	0.09	-0.55	-0.20	0.17	-0.34	-0.56	0.31	-	-	-	-
WS	0.16	-0.04	-0.12	-	0.20	0.18	-0.13	0.14	0.05	-0.10	0.23	0.23	0.87	-0.14	-	-	0.27	0.21	-0.23	0.01	0.30	0.34	0.02	-0.35	-0.11	-0.52	0.13	-	-	-
INSO	-0.04	0.46	-0.33	-	0.07	0.36	-0.50	0.24	0.04	-0.06	0.50	0.65	0.04	-0.60	-	-	0.49	-0.36	-0.28	-0.30	0.80	0.52	-0.23	-0.03	0.49	-0.54	-0.47	0.54	-	-
Rainfall	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fig. 4-2-25 Pearson correlation coefficient of Gyeongsangnamdo(daytime)

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Fig. 4-2-29 Pearson correlation coefficient of Yamaguchi(daytime)

[illegible]

[illegible]

[illegible]

[illegible]

Chloroform	Tetrachloroethylene	Trichloroethylene	1, 3-Butadiene	Benzene	Toluene	Carbonotetrachloride	Ethylbenzene	m, p-Xylene	Styrene	o-Xylene	1, 1, 1-Trichloroethane	1, 1-Dichloroethane	Dichloromethane	Acrylonitrile	Chloroethylene	1, 2-Dichloroethane	Chloromethane	PM _{2.5}	SPM or PM ₁₀	O ₃ or Ox	SO ₂	NO	NO ₂	Temp	Humidity	WD	WS	INSO	Rainfall
0.84	0.81	0.91	0.37	0.68	0.73	0.79	0.53	0.74																					
0.35	0.47	0.73	0.79	0.53	0.74																								
0.58	0.68	0.73	0.79	0.53	0.74																								
0.73	0.44	0.38	0.32	0.38	0.68																								
0.16	0.09	0.20	-0.05	-0.03	0.50	0.32																							
0.56	0.55	0.65	0.42	0.57	0.91	0.50	0.77																						
-0.04	-0.16	-0.49	-0.86	-0.38	-0.24	0.02	-0.28																						
0.74	0.65	0.74	0.39	0.56	0.94	0.59	0.66	0.96	-0.15																				
0.72	0.69	0.49	0.65	0.84	0.59	0.78	-0.05	0.34	-0.39	0.43																			
0.79	0.80	0.86	0.34	0.77	0.73	0.51	0.11	0.57	-0.39	0.64	0.62																		
0.92	0.95	0.91	0.45	0.71	0.80	0.53	0.13	0.60	-0.16	0.72	0.65	0.82																	
0.79	0.86	0.96	0.27	0.70	0.81	0.40	0.24	0.67	-0.24	0.74	0.43	0.91	0.89																
0.80	0.85	0.91	0.39	0.79	0.80	0.50	0.18	0.63	-0.38	0.68	0.59	0.96	0.88	0.96															
0.88	0.96	0.94	0.38	0.71	0.75	0.47	0.06	0.54	-0.19	0.65	0.64	0.89	0.97	0.94	0.93														
0.49	0.24	0.38	-0.27	-0.11	0.37	0.30	0.54	0.47	0.53	0.57	-0.03	0.32	0.32	0.40	0.32	0.31													
0.37	0.38	0.51	0.13	0.32	0.42	0.02	0.51	0.60	0.14	0.59	-0.06	0.43	0.46	0.53	0.45	0.40	0.47												
0.35	0.19	0.36	-0.22	-0.05	0.29	0.04	0.56	0.47	0.44	0.52	-0.25	0.20	0.34	0.38	0.23	0.24	0.64	0.88											
-0.34	-0.06	-0.22	-0.41	-0.38	-0.67	-0.61	-0.49	-0.68	0.23	-0.68	-0.28	-0.23	-0.18	-0.23	-0.24	-0.09	-0.32	-0.19	-0.17										
-0.05	-0.03	-0.13	-0.08	-0.24	-0.23	-0.22	0.17	-0.04	0.55	-0.03	-0.20	-0.07	-0.23	0.00	-0.16	-0.22	-0.11	0.15	0.61	0.63	0.24								
-0.13	-0.23	-0.17	0.37	0.32	0.17	-0.07	-0.05	0.20	-0.17	0.20	-0.07	-0.27	-0.16	-0.12	-0.14	-0.22	-0.05	0.13	-0.02	-0.56	-0.01								
0.19	0.10	0.15	0.67	0.86	0.59	0.28	0.21	0.58	-0.51	0.54	0.25	0.22	0.21	0.20	0.23	0.11	-0.07	0.26	0.03	-0.75	-0.12	0.82							
0.16	-0.19	-0.08	-0.57	-0.54	0.04	0.16	0.50	0.17	0.68	0.26	-0.35	-0.19	-0.05	-0.04	-0.16	-0.12	0.80	0.25	0.63	-0.22	0.28	-0.09	-0.19						
0.15	0.34	0.14	0.34	0.06	0.21	0.03	0.17	0.19	0.18	0.18	-0.15	0.28	0.06	0.06	0.21	0.10	-0.08	-0.08	0.06	0.11	-0.21	0.00	0.08						
0.29	0.62	0.35	0.29	0.27	0.20	0.13	-0.07	0.07	-0.10	0.06	0.42	0.20	0.52	0.32	0.33	0.50	-0.28	0.03	-0.08	0.37	0.21	-0.49	-0.21	-0.33	0.59				
-0.49	-0.26	-0.30	-0.36	-0.25	-0.52	-0.33	-0.43	-0.58	-0.26	-0.66	-0.21	-0.21	-0.37	-0.24	-0.23	-0.26	-0.68	-0.44	-0.44	0.56	-0.18	-0.39	-0.49	-0.48	-0.35	0.25			
0.02	-0.10	0.00	-0.34	-0.56	-0.21	-0.22	0.23	-0.04	0.83	0.06	-0.38	-0.35	-0.08	-0.17	-0.34	-0.16	0.49	0.29	0.58	0.10	0.50	-0.20	-0.37	0.64	0.13	-0.19	-0.36		
0.08	0.11	-0.09	0.53	0.24	0.24	0.41	0.00	0.08	-0.34	0.03	0.44	-0.15	0.12	-0.12	0.01	0.03	-0.37	-0.40	-0.45	-0.25	-0.20	-0.05	0.28	-0.25	0.62	0.51	0.00	-0.40	

Fig. 4-2-36 Pearson correlation coefficient of Omura(night)

4.3 특징적 사례의 해석

4.3.1 환경기준 설정 항목에 대한 VOC 농도 레벨에 대하여

4.3.1.1 대한민국측

본 연구의 조사대상 18 종 중 대한민국에서는 유일하게 Benzene 이 대기환경기준 항목으로 설정되어 관리되고 있다. 기준은 연간 평균치 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하이며, 이는 영국과 독일의 환경기준과 동일한 수준이다. 2007 년에 국가 대기환경기준 항목으로 신설되어 2010 년부터 적용되고 있다.

이번 조사결과 대한민국측 4 개 시·도의 Benzene 평균농도는 Busan $0.19 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Gyeongsangnamdo $0.06 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Jeollanamdo $1.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Jeju $0.25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 모두 국가환경기준($5 \mu\text{g}/\text{m}^3$)이하로 나타났다. Busan 과 Gyeongsangnamdo, Jeju 의 평균농도는 환경기준의 5% 이하 수준으로 비교적 낮은 것으로 조사되었지만 Jeollanamdo 의 경우는 환경기준의 27% 수준으로 다른 시·도 보다는 상대적으로 높은 농도를 보였다. 측정 시간대별 최고농도 또한 $2.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 환경기준보다 낮은 것으로 조사되었다.

Table 4-3-1. Concentration of Benzene in Korea

Region	Busan		Gyeongsang-namdo		Jeollanamdo		Jeju		Environmental Standard
	Ave.	Max.	Ave.	Max.	Ave.	Max.	Ave.	Max.	Annual average
Concentration ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0.19	0.64	0.06	0.30	1.36	2.78	0.25	1.63	5.0
Concentration / standard	4%	13%	1%	6%	27%	56%	5%	33%	—

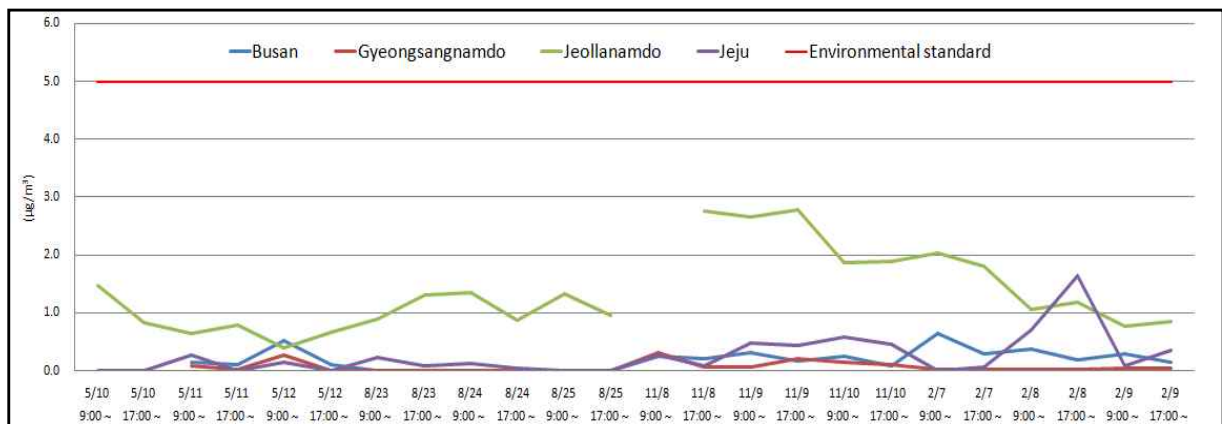


Fig. 4-3-1 Values of Benzene under regulation of Environmental quality standard by Korean Government

4.3.1.2 일본측

환경 기본법에서는 사람의 건강 보호 및 생활 환경을 보전함에 있어서 유지되는 것이 바람직한 기준으로 환경 기준이 설정되어 있다. 일본에서는 이번에 조사한 18 개 항목의 VOC 중 Benzene, Trichloroethylene, Tetrachloroethylene, Dichloromethane 의 환경기준이 설정되어 있다.

이번 조사에서는 모든 조사 지점에서 환경기준치를 하회하고 있었다(Fig 4-3-2).

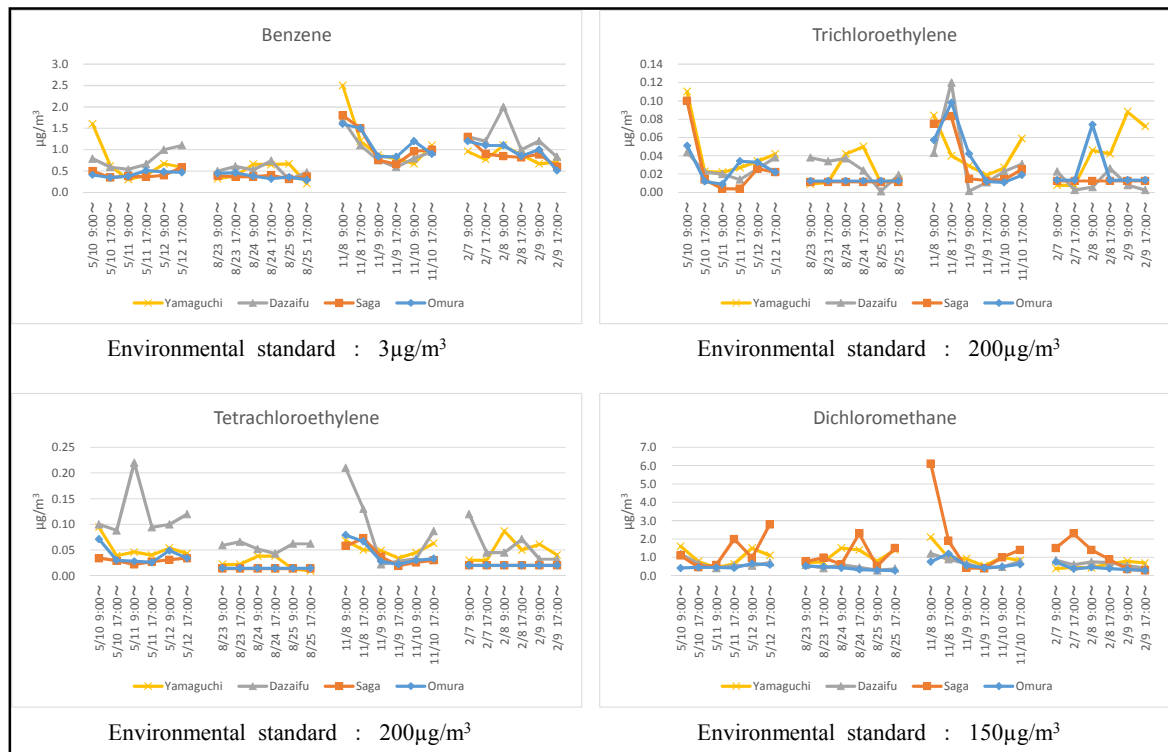


Fig. 4-3-2 Values of VOCs under regulation of Environmental quality standard by Japanese Government

4.3.2 성분별 농도비에 의한 발생 특성의 평가

4.3.2.1 대한민국측

대기 중의 휘발성유기화합물(VOC)은 자동차 등의 도로운송 및 석유화학, 도료, 전기전자 등 산업활동에 의해 주로 배출된다. VOC는 발생원에서 배출 후 이동·확산되어 대기 중에서 신속하게 혼합됨으로 다양한 발생원을 구별하는 것은 매우 어렵다. 그러나, 최근 BTEX 등 특정 성분간의 농도비를 활용하여 VOC의 발생특성을 평가하는 연구들이 다수 진행되고 있다. 대기 중에서 검출되는 VOC 중 방향족(aromatic) 계열의 BTEX (Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene)는 오존 전구물질(precursor)로서 화학적 역할 및 인체위해성 때문에 중요한 그룹으로 관리되고 있다.

BTEX 간 농도비 중 본 연구에서는 T/B(Toluene/Benzene), X/E(Xylene/Ethylbenzene) 농도비를 이용하여 발생특성을 평가하였다. 일반적으로 사용되는 대부분의 용제에는 Benzene 성분이 포함되어 있지 않으며, Benzene의 주요 배출원이 자동차 배기가스라는 정보를 바탕으로 T/B 농도비를 도로변의 자동차 배기가스로 인한 대기오염의 유용한 지표(indicator)로 활용할 수 있다¹⁾. 즉, T/B 비가 낮을수록 그 지역의 대기 중 VOC는 자동차 배가스의 영향을 많이 받는다는 것을 의미하며, 반대로 T/B 비가 높을수록 자동차로부터 배출되는 배기가스 외 다른 배출원에 의한 기여도가 높다는 것을 의미한다. T/B 비는 해당 도시에서 운행되는 자동차 및 연료의 종류, 자동차 배기가스 정화장치의 유무, 연료의 품질, 기상 조건 등에 따라 값이 달라질 수 있으나, 이와 관련된 많은 선행연구들에서 일반적인 도시에서의 T/B 농도비를 2 ~ 5 수준으로 보고하고 있다²⁾³⁾.

X/E 농도비를 이용하여서는 VOC가 배출된 시간 및 배출원의 강도를 추정할 수 있다. 이것은 Xylene이 Ethylbenzene보다 대기 중에서 훨씬 빨리 반응한다는 광화학적 반응강도의 차이를 이용한 것이다. 즉, X/E의 농도비가 높다는 것은 그 지역의 VOC가 대기 중으로 배출된 시간이 얼마 되지 않았음을 의미한다. 이것을 통해 유기용제를 사용하는 배출원이 측정지점과 멀리 떨어진 곳에 위치한다고 추정할 수 있는 것이다. 관련된 선행 연구들에서 일반 대기 중의 X/E 비는 1.5 ~ 2.2 수준인 것으로 보고되고 있다⁴⁾.

BTEX 농도비 비교를 위해 항목별 농도현황을 우선 평가하였다. Xylene의 농도는 *m,p*-Xylene과 *o*-Xylene의 값을 합하여 나타내었다. Busan과 Jeollanamdo는 Xylene, Toluene, Ethylbenzene, Benzene 순으로 농도가 높았고, Gyeongsangnamdo의 경우는 Xylene, Ethylbenzene, Toluene, Benzene 순이었다. 이상의 3개 시·도는 공통적으로 Xylene의 농도가 가장 높았고, Benzene의 농도가 가장 낮았다. 반면 Jeju는 Toluene, Benzene, Ethylbenzene, Xylene 순으로 농도가 높아 타 시·도와는 다른 경향을 나타내었다. 하지만, 항목별 농도가 1 µg/m³ 미만의 저농도인 관계로 4개 항목의 농도가 비슷한 수준이라 할 수 있겠다.

본 연구의 조사대상인 VOC 18개 전체 항목에서 BTEX가 차지하는 비율이 Busan 75%, Gyeongsangnamdo 70%, Jeollanamdo 85%, Jeju 85%로 조사되어 거의 대부분을 BTEX 성분이 차지하고 있었다.

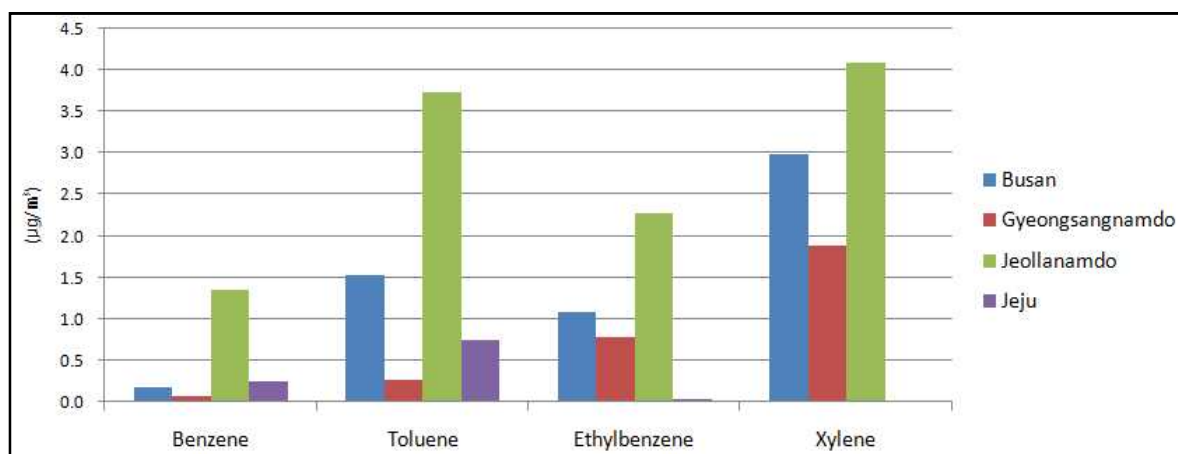


Fig. 4-3-3 Concentration of BTEX in Korea

대한민국측 4 개 시·도의 T/B 및 X/E 의 농도비를 비교해 보았다. 먼저 T/B 의 농도비를 보면 Busan 이 8.20 으로 가장 높았고 다음이 Gyeongsangnamdo 로 4.18, Jeju 가 2.97, Jeollanamdo 가 2.75 순으로 조사되었다. 앞서 언급되었듯이 선행연구들에서 일반적인 도시에서의 T/B 비가 2 ~ 5 수준인 것을 감안하면 Gyeongsangnamdo 와 Jeollanamdo, Jeju 는 타 도시들과 비슷한 수준이었다. 반면 Busan 은 다른 도시들에 비해 현저히 높은 경향을 나타내고 있었다. 이는 Busan 의 조사지점의 경우 자동차 배가스로 인한 VOC 영향보다 유기용제 사용시설 등과 같은 다른 배출원에 의한 기여도가 높다는 것을 의미한다.

X/E 농도비는 Busan 이 2.74, Gyeongsangnamdo 가 2.39, Jeollanamdo 가 1.80, Jeju 가 0.46 으로 조사되었다. 선행 연구들에서 일반적인 대기 중의 X/E 농도비가 1.5 ~ 2.2 수준인 것과 비교해 보면 Busan 과 Gyeongsangnamdo 는 현저하지는 않지만 다소 높은 수준이었으며, Jeollanamdo 의 경우는 비슷한 수준이었다. 반면, Jeju 는 일반적인 도시에서의 범위보다 현저하게 낮았다. 이것은 Busan 과 Gyeongsangnamdo 는 조사지점과 가까운 곳에 강도는 약하지만 유기용제 사용으로 인해 대기에 영향을 줄 수 있는 배출원이 어느정도는 존재할 수 있다는 것을 의미하며, Jeju 의 경우는 조사지점과 인접한 곳에서의 배출원의 영향은 거의 없다는 것을 의미한다.

Table 4-3-2. T/B and X/E concentration ratio in Korea

Concentration ratio	Busan	Gyeongsangnamdo	Jeollanamdo	Jeju
T/B (Toluene/Benzene)	8.20	4.18	2.75	2.97
X/E (Xylene/Ethylbenzene)	2.74	2.39	1.80	0.46

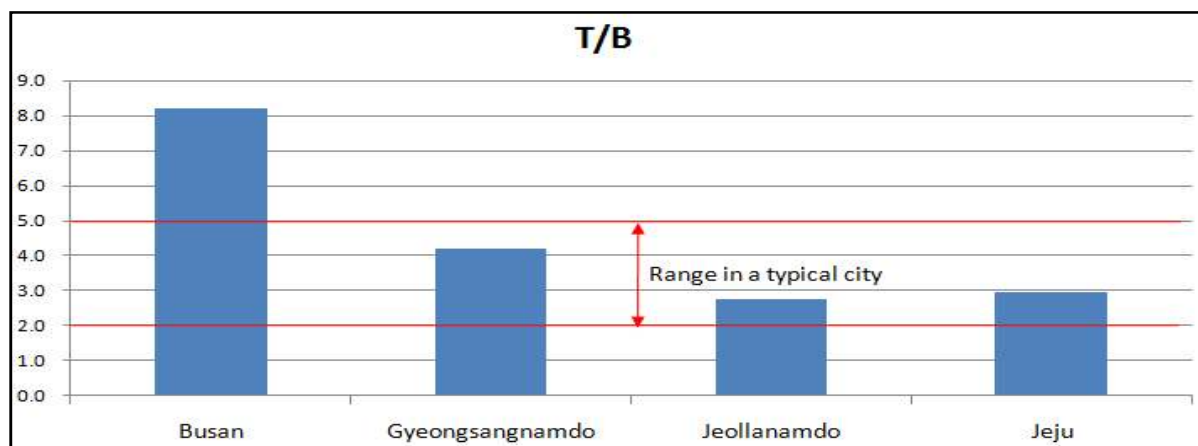


Fig. 4-3-4 T/B concentration ratio in Korea

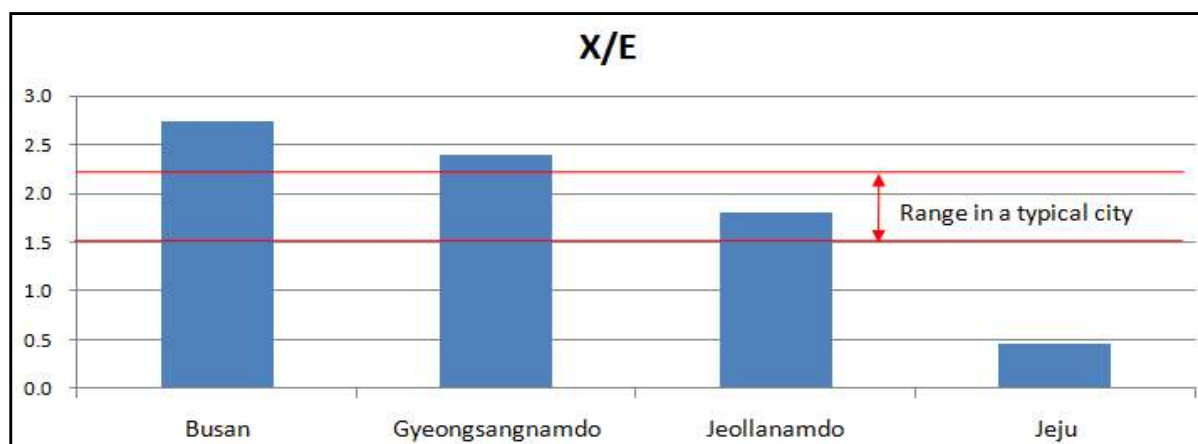


Fig. 4-3-5 X/E concentration ratio in Korea

Reference:

- 1) Kelessis, A.G., M.J. Petrakakis, and N.M. Zoumakis (2006) Determination of benzene, toluene, ethylene and xylens in the urban of Thessaloniki, Greece, *Environmental Toxicology*, 21(4), 440-443.
- 2) Gee, I.L., Sollars, C.J (1998) Ambient air levels of volatile organic compounds in latin American and asian cities. *Chemosphere*, 36(11), 2497-2506.
- 3) A. C. Udea., E. Tomas (2011) BTEX concentrations in the atmosphere of the metropolitan area of Campinas, *WIT Transactions on Ecology and Environment*, 147, 211-217.
- 4) Ho, K.F., S.C. Lee, H. Guo, and W.Y. Tsai (2004) Seasonal and diurnal variations of volatile orgsnic compounds (VOCs) in the Total Environment, 322, 155-166.

4.3.2.1 일본측

각 현의 VOC 성분 측정 농도와 1,3-Butadiene / Benzene 농도비를 24 hr, 주간(9:00~17:00), 야간(17:00~9:00)으로 나누어서 나타내었다(Fig.4-3-6). VOC의 성분 조성은 환경농도의 변동에 비교하여 기상조건에 따라 변화하기 어려우며, Benzene 비를 이용함으로써 발생원의 기여정도를 나타낸다고 생각된다¹⁾. 1,3-Butadiene의 주요 배출원은 자동차 배출가스이다.

Fukuoka가 어느 시간대나 1,3-Butadiene / Benzene 비가 높는데, 이것은 Dazaifu 서쪽 약 160 m 거리에 교통량이 많은 규슈 자동차도로가 있기 때문이라고 생각된다(Table 4-3-3). 다음으로 Yamaguchi가 높는데, 이것은 북쪽 약 200 m 거리에 위치한 국도 9호선의 영향에 의한 것이라고 시사된다.

또한 모든 현에서 야간, 24 hr, 주간의 순서로 높게 나타나고 있었다. 이것은 이번에 조사한 야간 시간대(17:00~9:00)에 통근 시간대 등이 겹쳐 교통량이 증가한 것과, 1,3-Butadiene은 화학반응에 의하여 3 ~ 5 시간 전후에 농도가 반으로 저하된다고 되어 있는 것으로 보아²⁾, 주간 시간대(9:00~17:00)의 농도저하에는 통근 시간대에 배출된 1,3-Butadiene의 분해가 진행된 것이 영향을 미친 것으로 생각된다.

Table 4-3-3. Distance from survey site to road and daily traffic volume

Prefecture	Yamaguchi	Dazaifu	Saga	Omura
Distance to road	200 m	160 m	600 m	800 m
Daily traffic volume	29,466 대	89,451 대	19,235 대	41,125 대

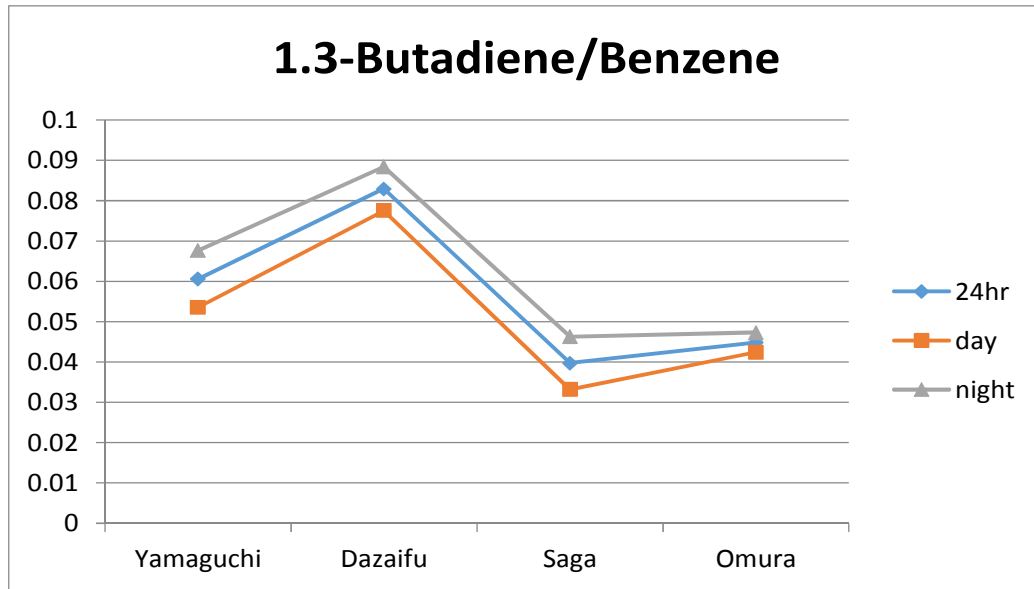


Fig. 4-3-6 Variations of 1,3-Butadiene/Benzene ratio in Japan

Reference:

- 1) 호시 준야, 아마노 사에코, 오하시 다케시, 사사키 유코, 요시즈미 도키코 :
대기 중 VOC 모니터링 데이터를 이용한 배출원 및 오존 생성능의 평가,
도쿄도 환경과학연구소 연보, 93-101(2005).
- 2) 야마모토 아키토, 미와 마리코, 유젠 유키노리, 고바야시 히로야스, 데라이 요이치 :
교토시에 있어서의 1,3-부타디엔, 벤젠 및 포름알데히드의 대기 환경 모니터링 결과,
교토시 위생공해연구소 연보, 69, 137-141(2003).

4.3.3 PMF 해석에 의한 발생원 기여율의 추정

대기 에어로졸의 발생원을 추정하는 방법으로 에어로졸의 성분 조성으로부터 발생원 기여를 추정하는 리셉터 모델이 알려져 있다. Positive Matrix Factorization(PMF)은 발생원 해석에 이용되는 리셉터 모델의 하나이며, 측정 데이터의 변동 요소로부터 공통된 변동 패턴을 추출하여 인자 프로파일과 인자 기여도로 분해하는 방법이다. 이번에 미국 환경보호청이 배포하는 PMF 5.0 을 이용하여 본 조사에서 관측된 VOC 의 발생원기여율의 추정을 실시하였다.

4.3.3.1 대한민국측

본 연구에서는 대한민국측 4 개 시·도에서 측정된 자료를 이용하여 PMF 모델에 적용하였다. 이를 통해 VOC 의 배출원에 대한 다양한 특성을 파악하고 각종 오염원에서 배출되는 VOC 의 정량적 기여도와 측정지점의 농도 사이의 관계를 규명하여 제시하고자 하였다. PMF 모델은 수용모델 중에서 가장 최근에 개발된 것으로 CMB 모델과는 달리 오염원의 정보없이 발생원을 확인하고 기여도를 정량적으로 계산할 수 있는 장점이 있다.

(1) 사용 데이터

PMF 해석을 위한 첫 번째 단계로 데이터 집합을 작성하였다. 대한민국측은 4 시간 단위로 샘플링을 실시하여 시·도별로 1 일에 6 개 데이터를 가진다. 3 일간의 조사기간 동안 18 개의 데이터를 가지며, 총 4 회 조사기간에 걸쳐 시·도별로 최대 72 개의 데이터를 확보할 수 있었다. 그리하여 대한민국측은 총 274 개의 데이터 집합을 작성하였다.

검출한계(LOD) 의 취급에 대해서는 각 시·도가 계절별 산출한 LOD 중 최대값을 적용하였다. 데이터 전체의 불확도(Uncertainty)는 15%로 하였으며, Signal-to-noise (S/N) ratio 를 확인하였다. $0 \leq S/N < 0.5$ 범위에 해당하는 성분은 Bad(PMF 계산에서 제외)로 하였고, $0.5 \leq S/N < 2$ 범위에 해당하는 성분은 Weak(불확도를 3 배로 조정)로 하였다. 발생원 분류표에서 지시자(marker)로서의 대표성이 낮다고 판단되는 성분은 Bad 로 하였다.

Table 4-3-4. Number of samples in survey site and observed period

Observed period	2016. 5.10~5.13	2016. 8.23~8.26	2016. 11.8~11.11	2017. 2.7~2.10	Total
Busan	12	18	18	18	66
Gyeongsangnamdo	12	18	18	18	66
Jeollanamdo	18	18	16	18	70
Jeju	18	18	18	18	72
Total	60	72	70	72	274

(2) 인자(Factor)수의 결정

VOC 의 농도에 영향을 줄 수 있는 배출원 및 그 배출원의 기여도를 추정하기 위하여 이상치를 제외한 경우와 제외하지 않는 경우로 구분하여 PMF 모델을 적용하였다. 이상치를 제외하지 않은 경우는 S_k 값들 중 음수의 값을 가지는 값이 도출되거나 신뢰도가 상당히 낮게 나타나는 문제점이 발생하였다.

또한 이상치를 제외하고 PMF 모델을 수행하였을 경우에는 최적의 인자가 3 ~ 6 개 사이에 존재하였으며, 인자수를 변화시켜 가면서 PMF 계산을 반복 수행한 결과 Factor=5 에서 얻어진 Q 값 【Q value(True)】과 이론 Q 값 【Q value(Theory)】이 가장 유사하여 발생원의 수를 5 개로 하였다. Q value(Theory)는 아래 식을 이용하여 산출하였다.

$$Q \text{ value(Theory)} = S \times C - F \times (S + C)$$

S : Number of samples

C : Number of components

F : Number of factors

(3) 통계적 타당성의 검증

PMF 해석에는 그 해석 결과의 타당성을 판단하기 위하여 몇 가지의 평가 방법이 갖추어져 있다. 여기에서는 Bootstrap execution(BS) 및 Displacement execution(DISP)를 실행하였다. BS 결과 mapping 은 양호하였다. 또한 DISP 의 결과에서는 dQmax = 4 에서의 인자 교환은 없었다.

(4) 인자(발생원) 수의 할당

PMF 해석에서 얻어진 각 발생원의 profile 을 아래 그림에 나타내었다. 왼쪽 축 “Conc. of species (파란색 막대그래프)”는 Factor 중의 각 성분농도를 나타내고, 오른쪽 축 “% of Species(붉은색 점)”은 각 성분별로 각각의 Factor 에 할당된 비율(%)를 나타낸다. 각 Factor 의 profile 에서 지시(marker)성분을 추출하여 발생원을 추정하였다.

- Factor 1 : Engine degreasers 15.7%
- Factor 2 : Vehicle exhaust 10.2%
- Factor 3 : Solvent use, refining 31.6%
- Factor 4 : Vehicle exhaust 14.3%
- Factor 5 : Vehicle exhaust 28.1%

5 개의 분류된 요인 중 Factor 2,4,5 는 자동차에서 기인된 물질로 판명되어 같은 요인으로 분류가 가능한 것으로 여겨진다. 분류된 배출원과 그 기여도는 자동차배기가스 52.6 %, 유기용제의 사용 31.6 %, 세탁 및 난방연소 등에서 15.7 %로 나타났다.

특히, 자동차 배기가스가 가장 큰 기여도를 나타내었는데 이는 대한민국측 측정지점이 주로 주거지역에 위치하고 있으며, 주위에 산업공정 등 사전 인지된 VOC 배출원이 존재하지 않는다는 점을 감안하면 인근 간선도로에서의 차량운행에 비롯된 것으로 판단된다.

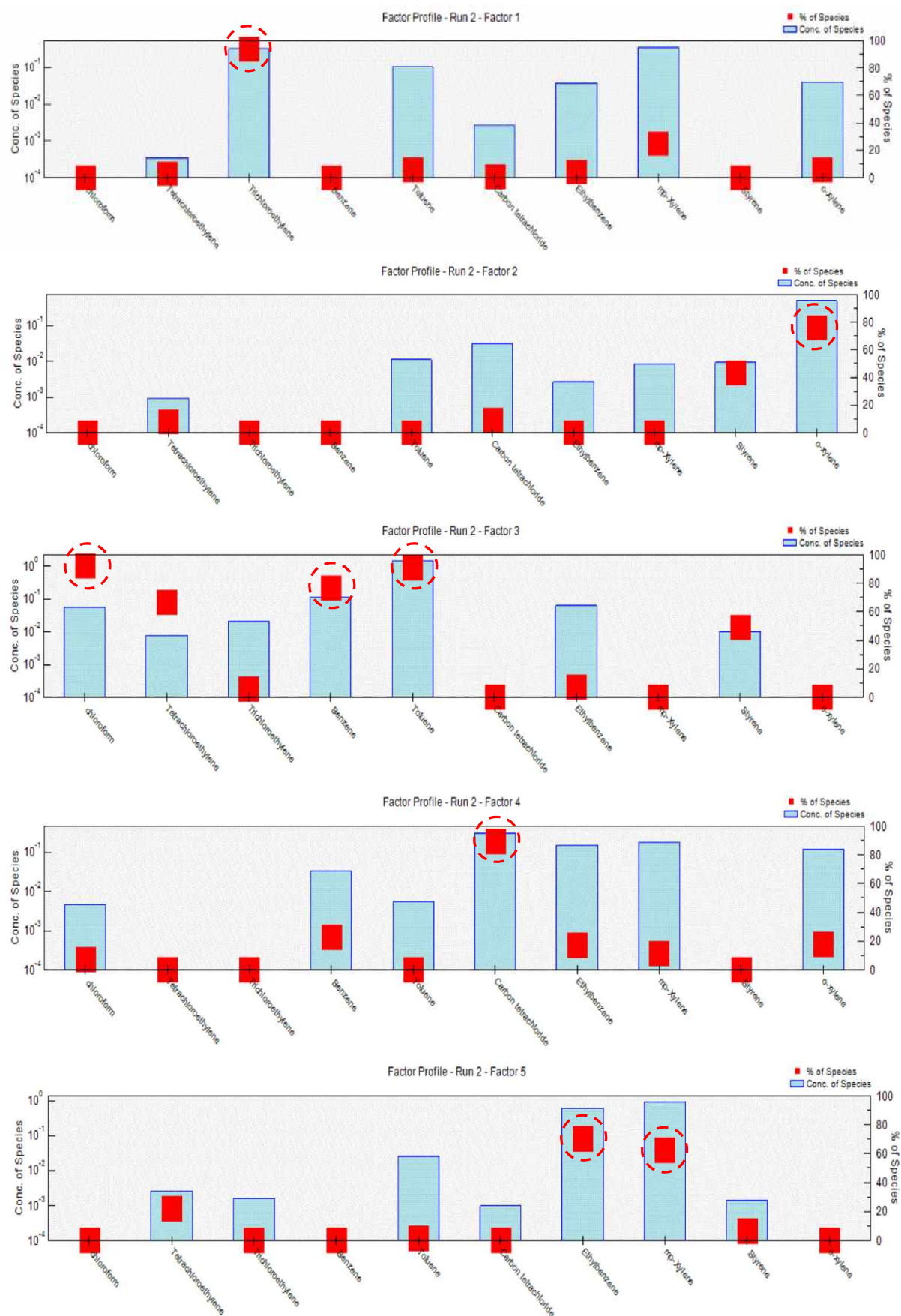


Fig. 4-3-7 Source profiles deduced by PMF analysis

4.3.3.2 일본측

(1) 사용 데이터

해석에는 VOC 를 측정된 전체 건수(96 건)를 이용하였다. 검출한계(LOD)미만 데이터의 취급에 대해서는 각 현이 각 계절에서 산출한 LOD 를 평균한 수치 중 가장 큰 현의 수치를 LOD 의 대표치로 하였다. 여기에서 채용한 LOD 를 만족하지 않는 데이터는 LOD 의 1/2 값으로 치환하였다. 그리고 데이터 전체의 불확도는 15%로 하였다.

해석에는 측정된 전체 성분(18 개 성분)을 이용하였다. 그 때, 실측치와 PMF 로 계산된 예측치와의 관계식의 결정 계수(r^2)가 0.7 미만이었던 8 개 성분의 분류를 Weak 로 하였다(PMF 에서는 Weak 로 분류되면 불확도가 3 배가 되어, 해석 결과에 대한 기여도가 내려간다). Table 4-3-5 에 PMF 해석에 이용한 성분을 나타내었다.

Table 4-3-5. Components used for PMF analysis

	Components	Slope	r^2	Category
	TVOC18 (Total Value)	1.01	0.94	Weak
1	Chloroform	0.56	0.45	Weak
2	Tetrachloroethylene	0.45	0.51	Weak
3	Trichloroethylene	0.96	0.99	Strong
4	1, 3-Butadiene	1.03	0.98	Strong
5	Benzene	0.81	0.91	Strong
6	Toluene	0.76	0.74	Strong
7	Carbontetrachloride	0.32	0.01	Weak
8	Ethylbenzene	0.84	0.95	Strong
9	m, p-Xylene	0.89	0.96	Strong
10	Styrene	0.90	0.99	Strong
11	o-Xylene	1.00	0.96	Strong
12	1, 1, 1-Trichloroethane	0.25	0.18	Weak
13	1, 1-Dichloroethane	0.41	0.50	Weak
14	Dichloromethane	0.22	0.40	Weak
15	Acrylonitrile	0.98	1.00	Strong
16	Chloroethylene	0.89	0.97	Strong
17	1, 2-Dichloroethane	0.34	0.59	Weak
18	Chloromethane	0.90	0.17	Weak

(2) 인자 수의 결정

인자(이하 Factor 라고 한다.) 수를 4 ~ 10 으로 변화시키면서 PMF 의 기본 실행을 100 회 계산시킨 것을 Fig. 4-3-8 에 나타내었다. PMF 에서는 전 데이터로 계산되는 $Q(\text{true})$ 와 극단치를 제외하고 계산되는 $Q(\text{robust})$ 의 분산이 작고, 2 개의 Q 값이 다음 식으로 산출되는 Q 의 이론값 $Q(\text{theory})$ 에 가까우며, 더욱이 각 Q 값의 상대표준편차(RSD)가 보다 작아지는 Factor 수가 최적으로 여겨지기 때문에 ¹⁾, Factor=7 로 하여 이후의 해석에 이용하였다.

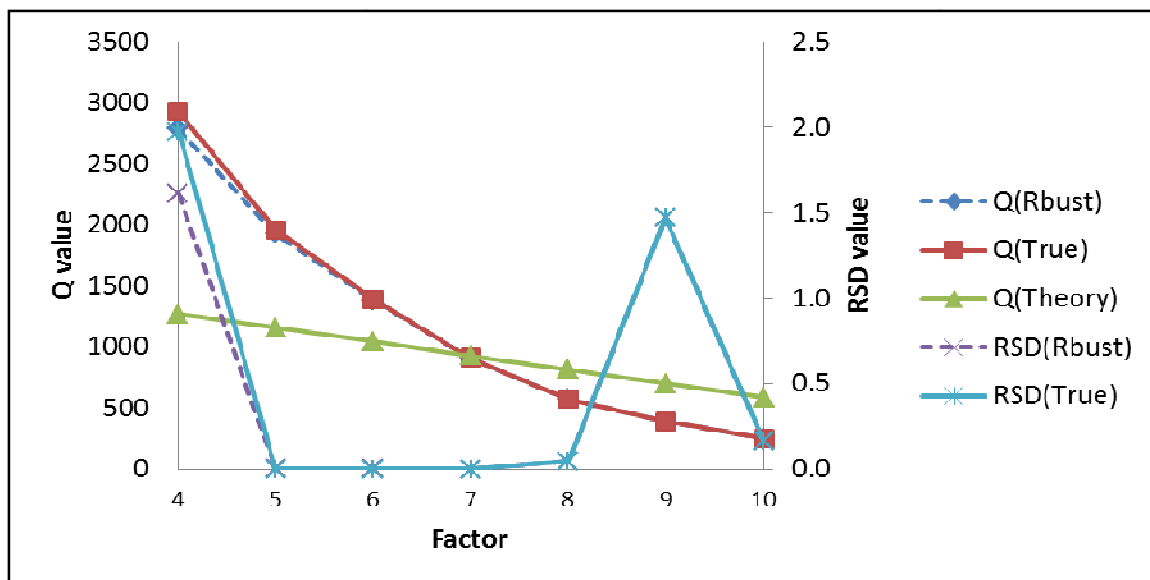


Fig. 4-3-8 Transition of Q and RSD values according to changing the number of Factor

(3) 통계적 타당성의 검증

PMF 해석에는 그 해석 결과의 타당성을 판단하기 위하여 몇 가지의 평가 방법이 갖추어져 있다. 여기에서는 Bootstrap(BS) 및 Displacement(DISP)를 이용하였다. BS의 해석 결과를 Table 4-3-6 에 나타내었다. 기본실행의 각 Factor 와 BS 의 각 Factor 와의 일치가 80%이상 있는 것, Unmapped 에 검출되지 않는 것으로 보아 Factor 수가 적절하다고 판단되었다. DISP 의 해석 결과를 Table 4-3-7 에 나타내었다. 예러는 검출되지 않았고, Q 의 최대감소가 0.01 미만이었으며, 각 Factor 에서의 해(解)의 교환도 없어서 해(解)의 안정을 확인할 수 있었다.

Table 4-3-6. Bootstrap(BS) result

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4	Factor 5	Factor 6	Factor 7	Unmapped
Boot Factor 1	100	0	0	0	0	0	0	0
Boot Factor 2	1	99	0	0	0	0	0	0
Boot Factor 3	0	2	96	0	0	0	2	0
Boot Factor 4	4	10	0	86	0	0	0	0
Boot Factor 5	0	0	0	0	100	0	0	0
Boot Factor 6	2	0	0	0	0	97	1	0
Boot Factor 7	0	0	0	0	0	0	100	0

Table 4-3-7. Displacement(DISP) result

Error Code:	0							
Largest Decrease in Q:	0							
Swaps by Factor:	0	0	0	0	0	0	0	0

(4) 인자(발생원) 수의 할당

PMF 해석에서 얻어진 각 Factor 의 프로파일을 Fig. 4-3-9 에 나타내었다. 여기에서는 각 성분이 각 Factor 에 몇 %씩 할당되어 있는가를 나타내고 있으며, 그 기여도로부터 아래와 같이 발생원을 추정하였다.

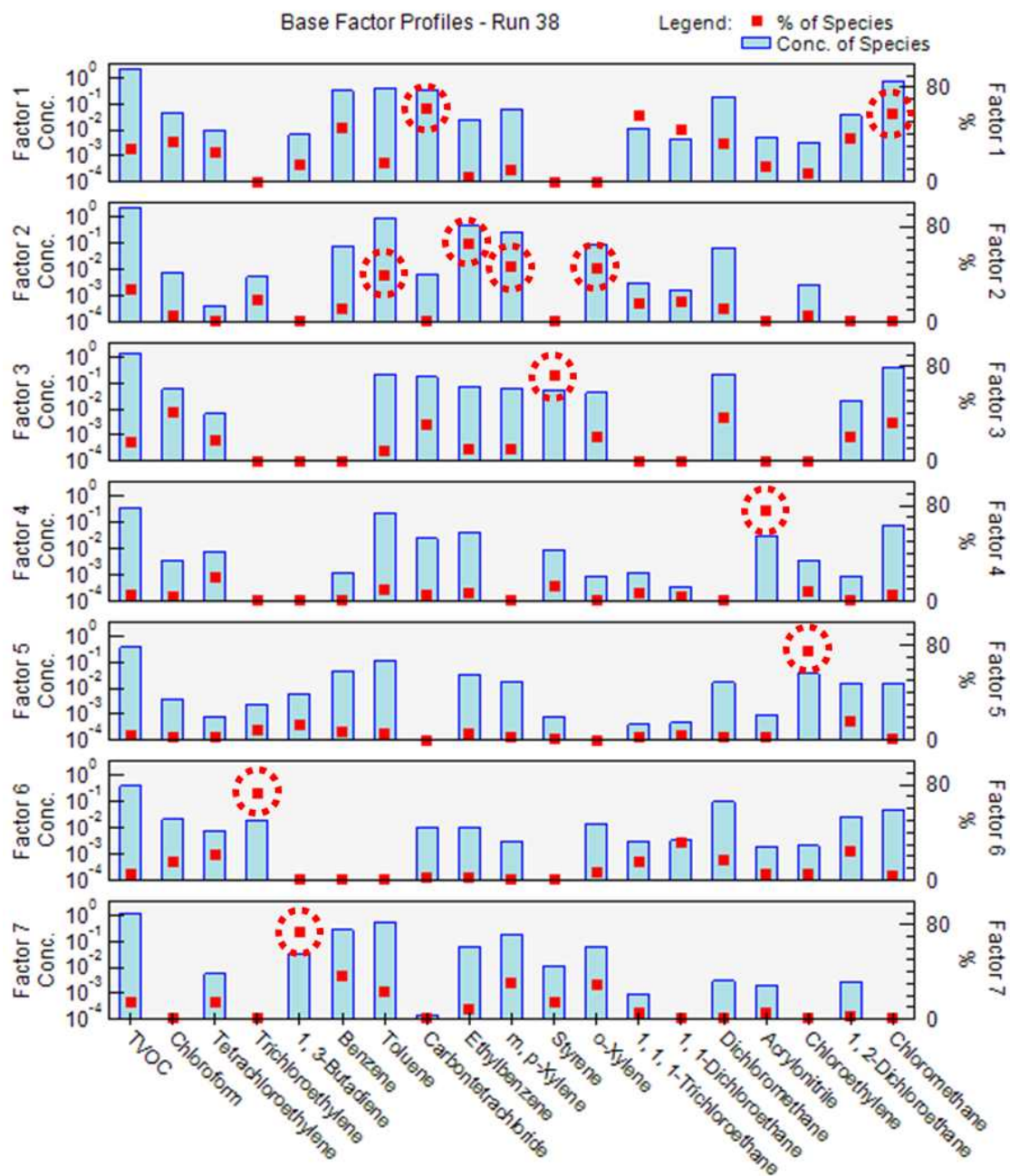


Fig. 4-3-9 Profile of Factors deduced by PMF analysis

- Factor1 : Carbontetrachloride, Chloromethane 이 높은 것으로 보아 정상(定常)성분 ²⁾.
- Factor2 : Ethylbenzene, *o,m,p*-Xylene, Toluene 이 높은 것으로 보아 도료계 성분 ³⁾.
- Factor3 : Styrene 이 높은 것으로 보아 스티렌 수지계 성분.
- Factor4 : Acrylonitrile 이 높은 것으로 보아 아크릴로니트릴 수지계 성분.
- Factor5 : Chloroethylene 이 높은 것으로 보아 염화 비닐계 성분.
- Factor6 : Trichloroethylene 이 높은 것으로 보아 세정계 성분 ³⁾.
- Factor7 : 1,3-Butadiene 이 높은 것으로 보아 자동차 배출 가스 성분 ³⁾.

(5) 현 별 VOC 발생원 기여율

PMF 해석에서 얻어진 현 별의 VOC 발생원 기여율을 Fig. 4-3-10 에 나타내었다. Yamaguchi 는 염화 비닐계·세정계 성분의 비율이 높았다. Dazaifu 는 스티렌 수지계 성분, 아크릴로니트릴 수지계 성분, 자동차 배출 가스 성분의 비율이 높았다. Saga 는 도료계 성분의 비율이 높았다. Omura 는 정상(定常) 성분의 비율이 높았다.

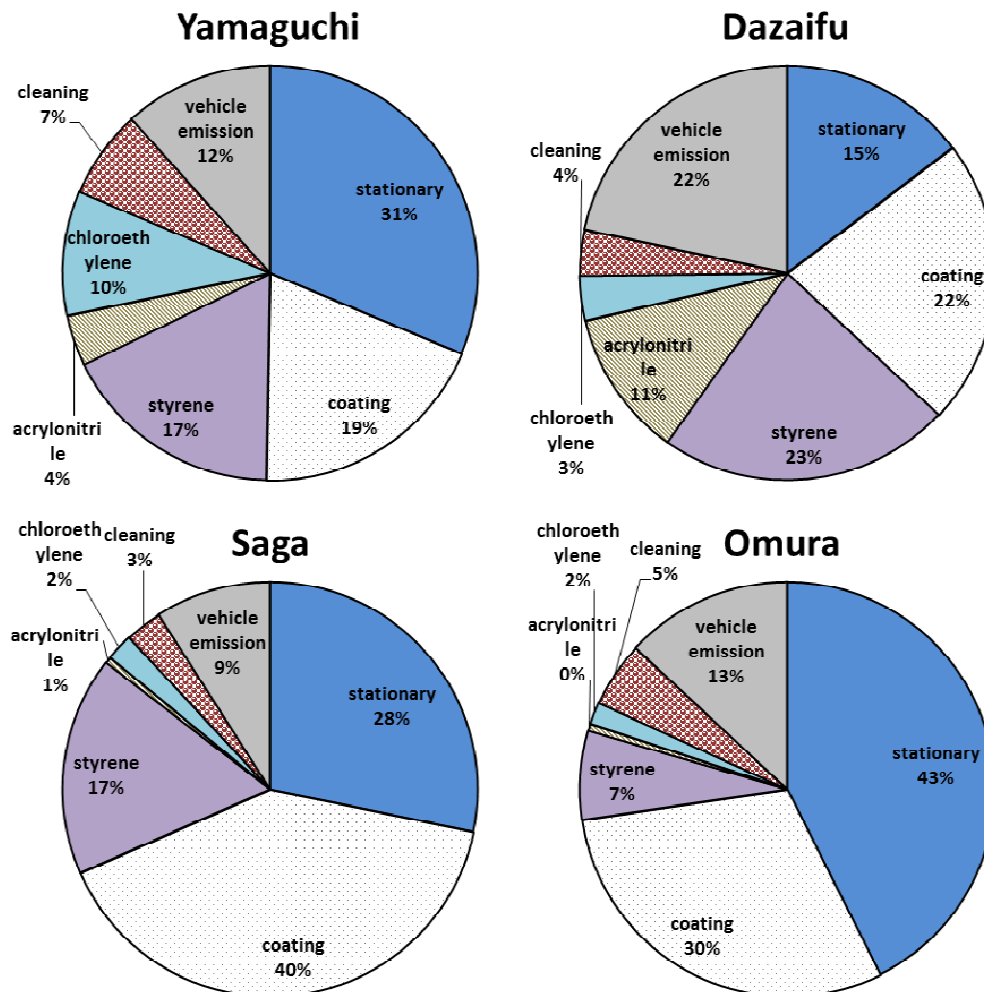


Fig. 4-3-10 Source contribution in prefecture

(6) SPM 농도별 VOC 발생원 기여율

PMF 해석에서 얻어진 SPM 농도별의 VOC 발생원 기여율을 Fig.4-3-11 에 나타내었다.

SPM 농도가 높을수록 도료계 성분의 비율이 높게 나타났다.

또한 Fig.4-3-12 에 SPM 농도와 도료계 성분의 기여 농도(계산치)의 상관도를 나타내었다. 양자 간에는 양의 약한 상관관계가 인정되었다.

SPM 과 도료계 성분(Ethylbenzene, *m,p*-Xylene, *o*-Xylene, Toluene)은 발생원이 유사할 가능성이 있는 것으로 생각되었다.

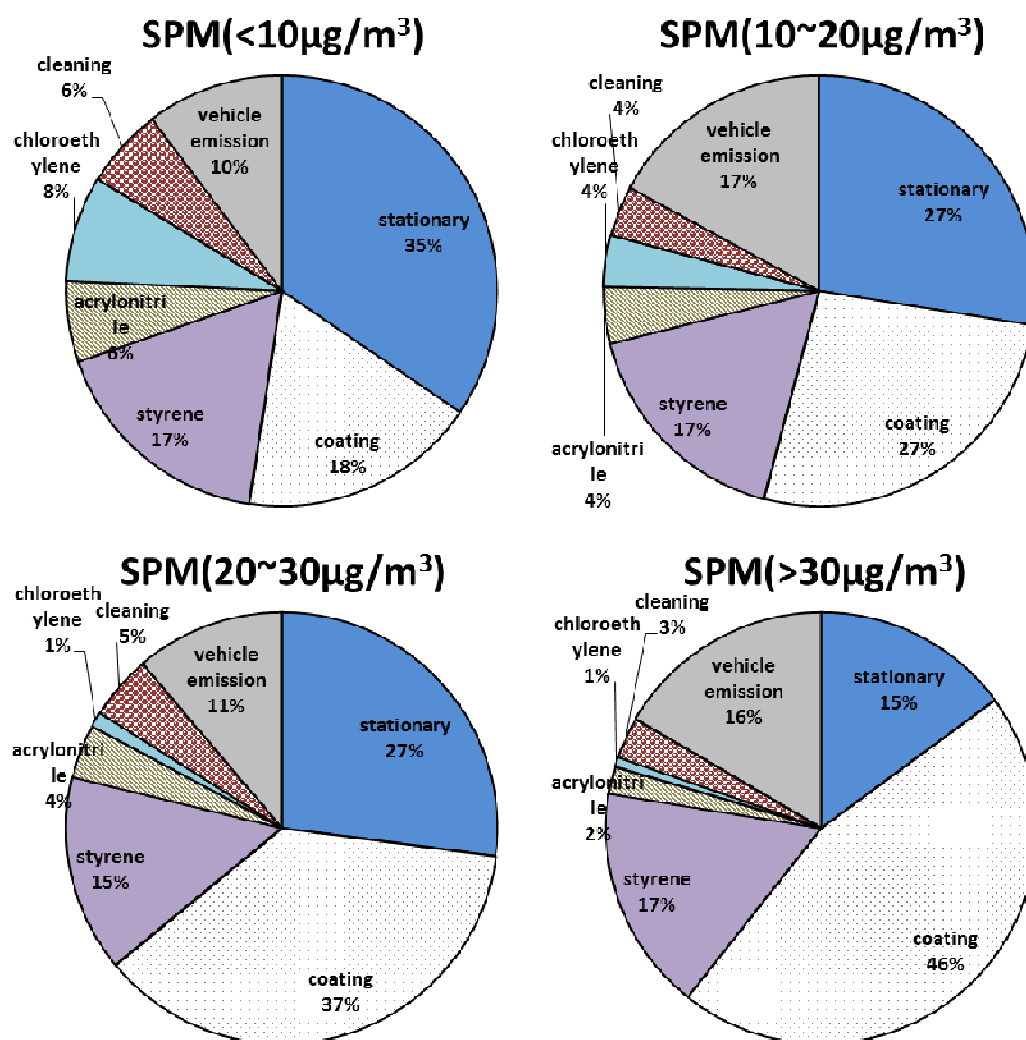


Fig. 4-3-11 Source contribution in concentration of SPM

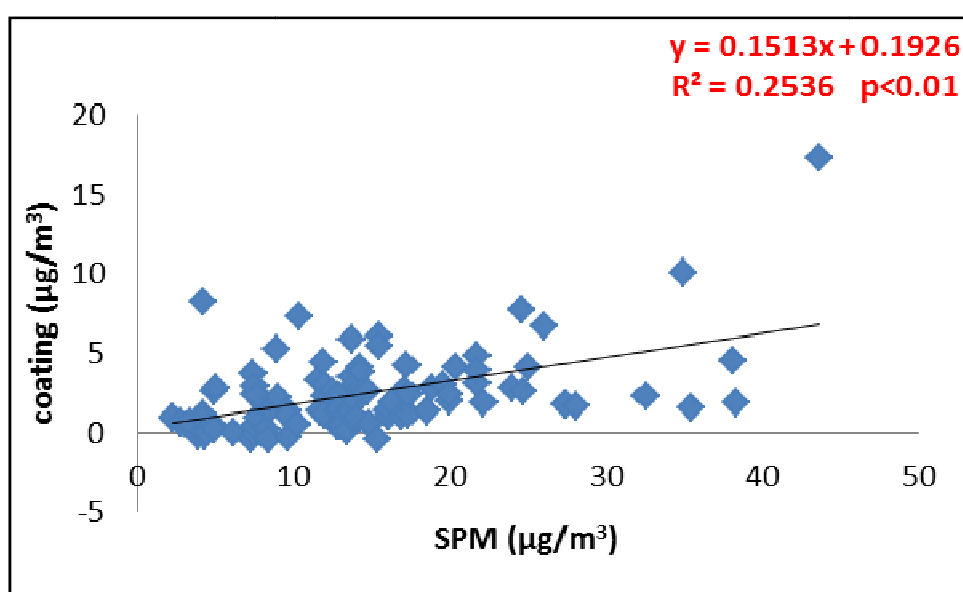


Fig. 4-3-12 Correlation between concentration of SPM and contribution of coating

(7) O₃ 농도별 VOC 발생원 기여율

PMF 해석에서 얻어진 O₃ 농도별 VOC 발생원 기여율을 Fig. 4-3-13 에 나타내었다. O₃ 농도가 높을수록 자동차 배출가스 성분의 비율이 낮았다.

또한 Fig. 4-3-14 에 O₃ 농도와 자동차 배출 가스 성분의 기여 농도(계산치)의 상관도를 나타내었다. 양자간에는 음의 약한 상관이 인정되었다.

1,3-butadiene, *m,p*-Xylene 등의 오존생성능이 높은 성분⁴⁾을 많이 포함하는 자동차 배출 가스 성분은 광화학반응에 의해 소비되어, O₃ 의 생성에 기여하고 있는 것으로 생각된다.

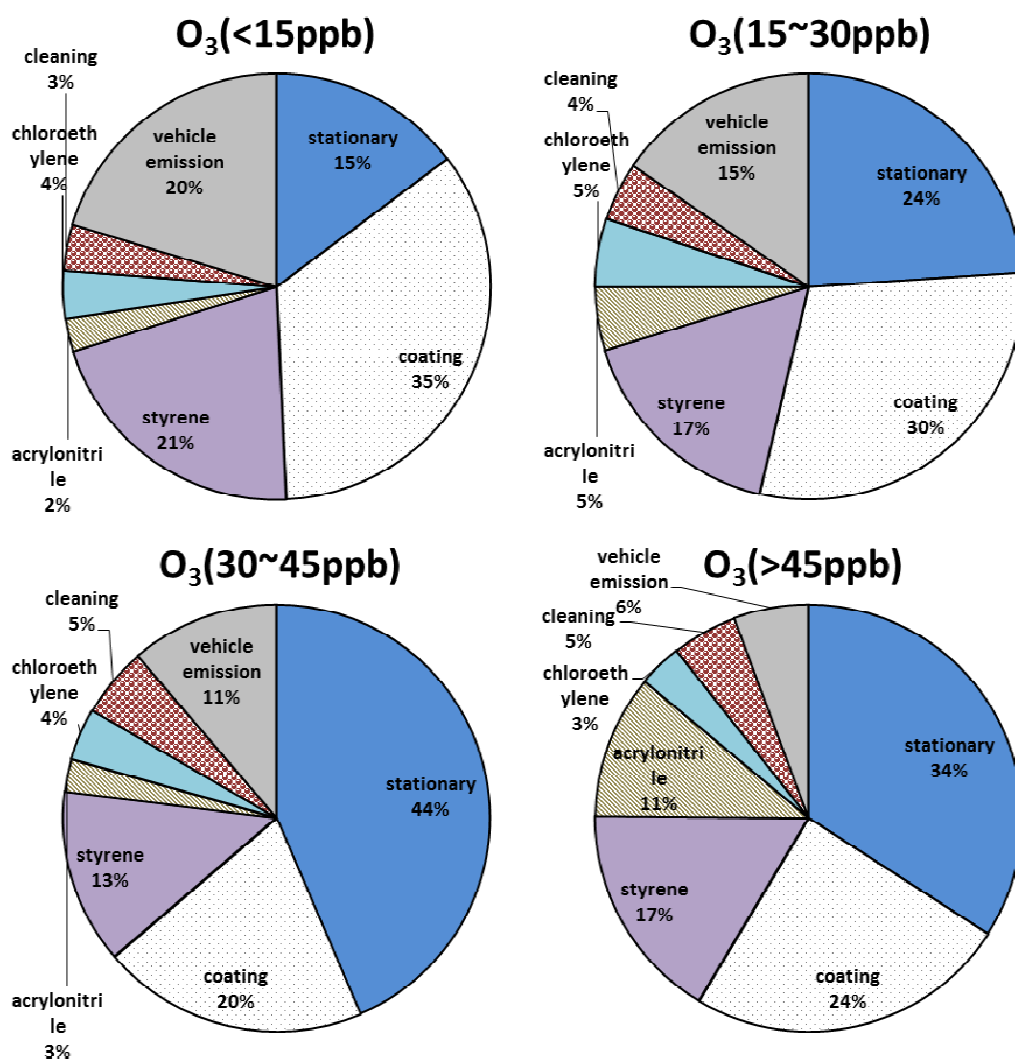


Fig. 4-3-13 Source contribution in concentration of O₃

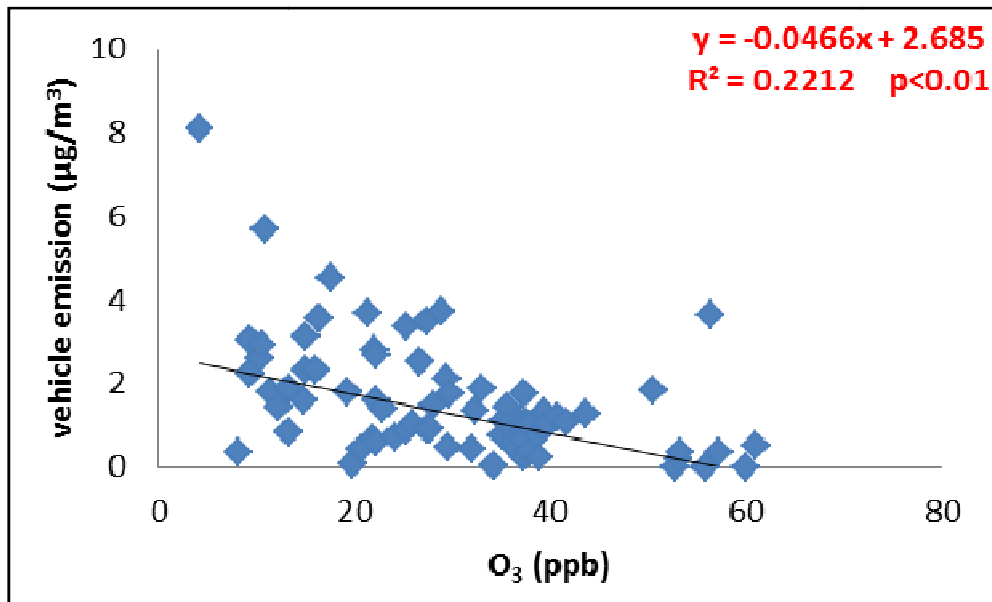


Fig. 4-3-14 Correlation between concentration of O_3 and contribution of Vehicle emission

(8) NO_2 농도별 VOC 발생원 기여율

PMF 해석에서 얻어진 NO_2 농도별의 VOC 발생원 기여율을 Fig. 4-3-15 에 나타내었다. NO_2 농도가 높을수록 도료계 성분, 스티렌 수지계 성분, 자동차 배출 가스 성분의 비율이 높았다.

또한 Fig. 4-3-16 에 NO_2 농도와 도료계 성분, 스티렌 수지계 성분, 자동차 배출 가스 성분의 기여 농도(계산치)의 상관도를 나타내었다. 도료계 성분과의 사이에는 양의 약한 상관관이 나타났고, 스티렌 수지계 성분과 자동차 배출 가스 성분 사이에는 양의 상관관이 인정되었다.

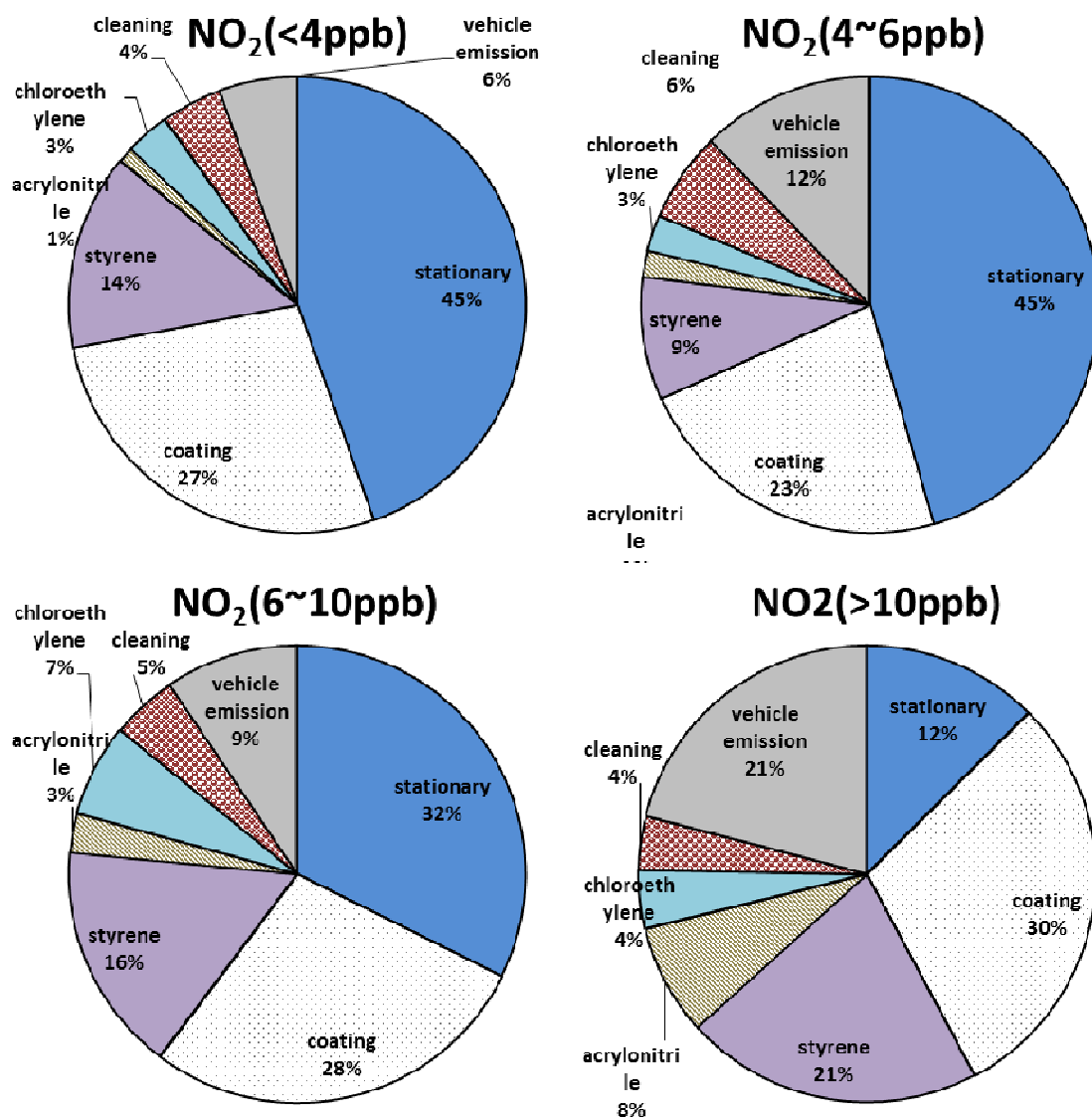


Fig. 4-3-15 Source contribution in concentration of NO₂

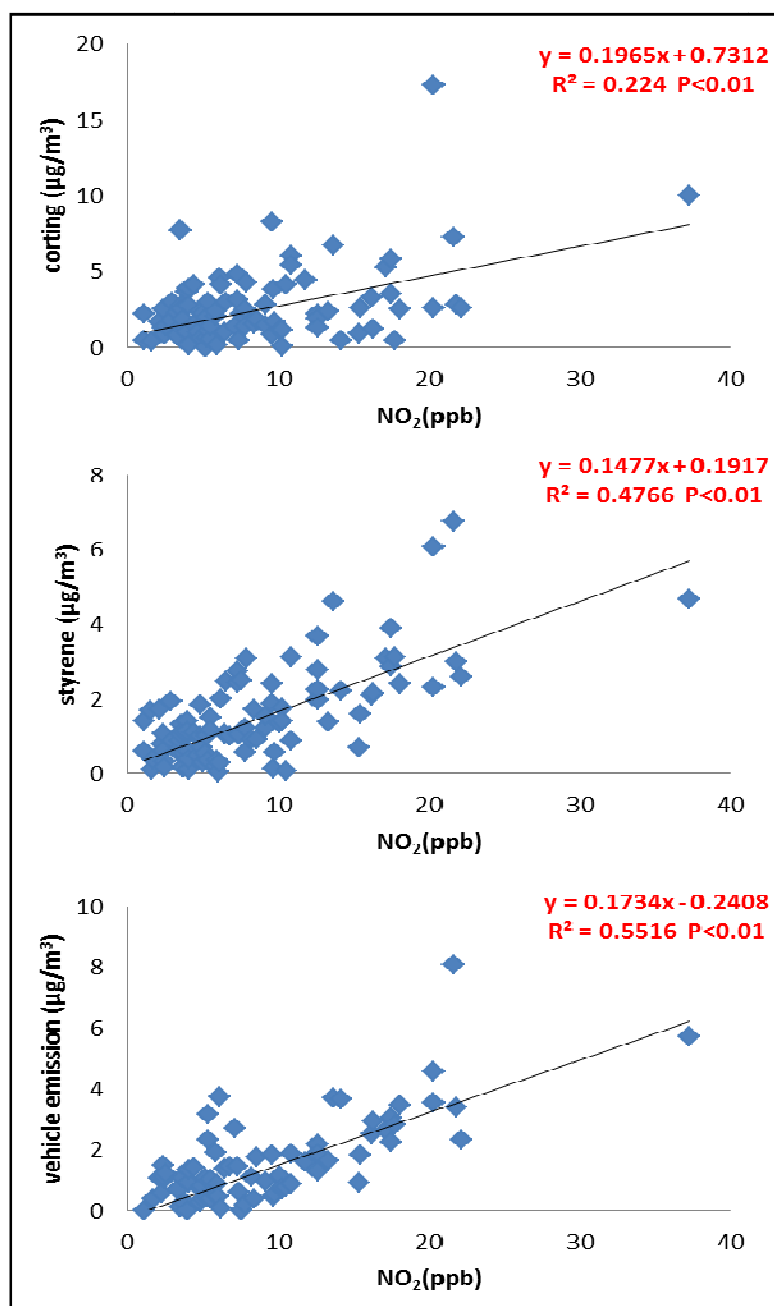


Fig. 4-3-16 Correlation between concentration of NO_2 and contribution of coating, styrene and vehicle emission

Reference:

- 1) EPA Positive Matrix Factorization (PMF) 5.0 User Guide
- 2) 야마모토 슈지 : 2012 년 하계의 후지 산정 및 산록에 있어서의 대기 중 휘발성유기 화합물의 거동, 대기환경학회지, 제 49 권, 제 1 호, 2014.
- 3) 우에노 히로유키 : 도쿄 도에 있어서의 대기 중 휘발성유기화합물의 조성과 OH 라디칼과의 반응에 의한 소실을 고려한 CMB 해석, 대기환경학회지, 50 권, 5 호, 2015.
- 4) 요시카와 나호코 : 가와사키 시에 있어서의 휘발성 유기 화합물의 오존 생성 평가, 가와사키 시 환경종합연구소연보, 제 1 호, 2013

4.3.4 특징적 사례

4.3.4.1 대한민국측

조사기간 중 시·도 별로 조사대상 VOC 18 개 항목의 합계 농도가 가장 높았던 시기를 특징적 사례로 선정하여 해석을 실시하였다. 최고농도로 조사된 특징적 사례는 Busan 과 Gyeongsangnamdo 가 2016년 5월 12일 주간, Jeollanamdo가 2016년 5월 10일 주간, Jeju 가 2016 년 8 월 23 일 주간 이었다. 대한민국측은 Jeollanamdo 의 특징적 사례인 2016 년 5 월 10 일과 Busan 과 Gyeongsangnamdo 의 특징적 사례일인 5 월 12 일과는 이를 차이로 근접해 있다는 것과 4 개 시·도 모두 주간 시간대라는 특징이 있었다.

2016 년 5 월 10 일의 Jeollanamdo, 5 월 12 일의 Busan 과 Gyeongsangnamdo, 8 월 23 일의 주간 시간대에 대해 기상청 방재기상정보시스템(<http://afso.kma.go.kr>)에서 제공하는 일기도와 자동측정소의 기상측정 데이터를 이용하여 기상정보를 분석하였고, 미국 해양대기청(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)에서 제공하는 HYSPLIT 을 이용하여 후방역궤적 분석을 실시하였다.

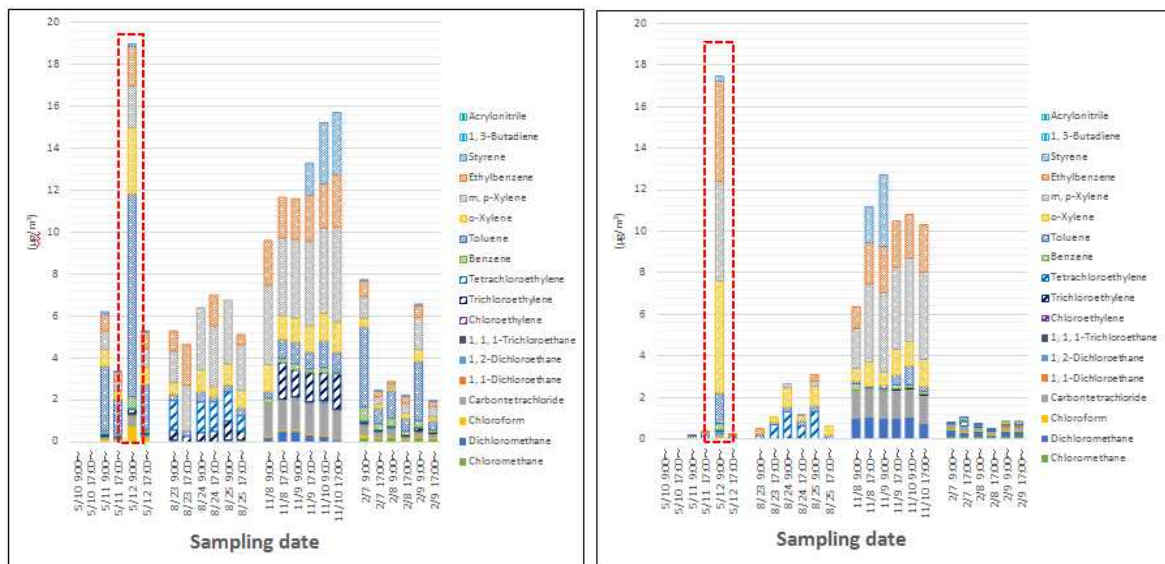


Fig. 4-3-17 VOC concentration transition in Busan(left) and Gyeongsangnamdo(right)

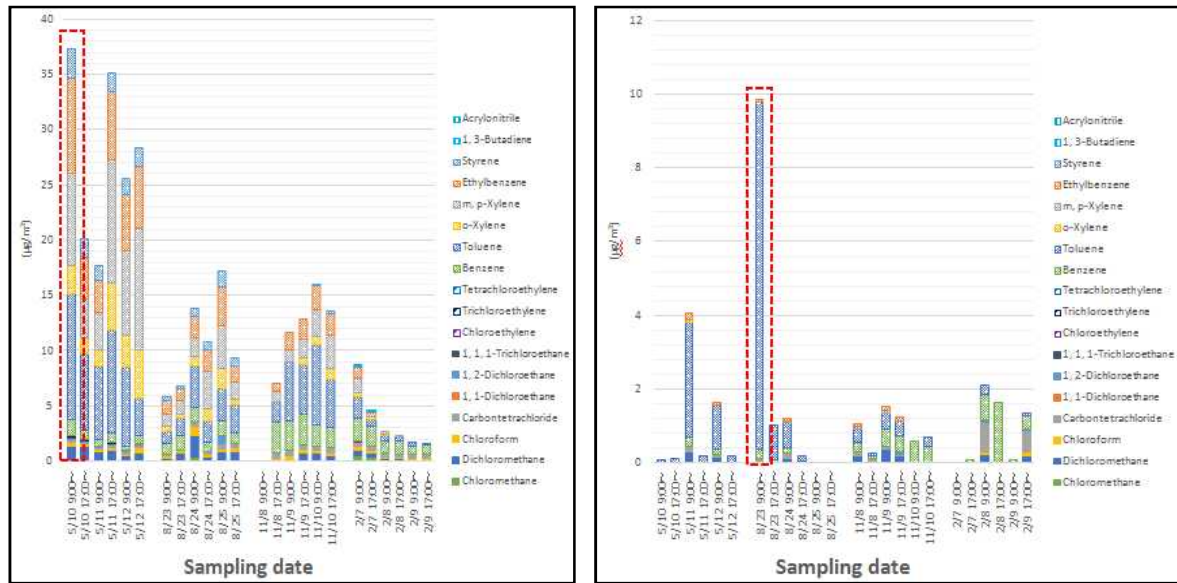


Fig. 4-3-18 VOC concentration transition in Jeollanamdo(left) and Jeju(right)

(1) 기상개황

2016 년 5 월 10 일 Jeollanamdo 를 포함한 대한민국 남부지방은 비구름이 형성되어 강우가 발생하였다. 당일 하루 동안 Jeollanamdo 와 Busan 은 2 mm 정도의 다소 적은 양의 비가 내렸으나, Gyeongsangnamdo 는 23 mm 의 강우량을 나타냈다. 당일 주간 Jeollanamdo 의 평균기온은 16 °C로 평년보다 낮았고, 상대습도는 92%로 아주 높았다. 주 풍향은 북서(NW)풍으로 평균풍속 2.4 m/s 로 나타났다.

Gyeongsangnamdo 와 Busan 의 특징적 사례 일자인 2016 년 5 월 12 일 주간의 날씨는 이틀 전인 5 월 10 일 강우의 영향으로 구름이 약간 끼어 있었으나, 전반적으로 맑은 날씨를 나타내었다. 기상 현황을 보면 Gyeongsangnamdo 가 평균온도 23 °C, 상대습도는 40%였고, 바람은 남남동(SSE)을 주 풍향으로 평균풍속 2.6 m/s 였다. Busan 지역은 평균온도가 23 °C, 상대습도 42%였고, 주 풍향은 남남동(SSE)으로 평균풍속은 1.7 m/s 였다.

Jeju 의 최고농도 사례일자인 2016 년 8 월 23 일은 전형적인 여름날씨로 강우는 없었으며 평균온도는 30 °C, 상대습도는 70%로 다소 습하였다. 주 풍향은 북동(NE)풍으로 풍속은 5.4 m/s 의 다소 강한 바람이 불었다.

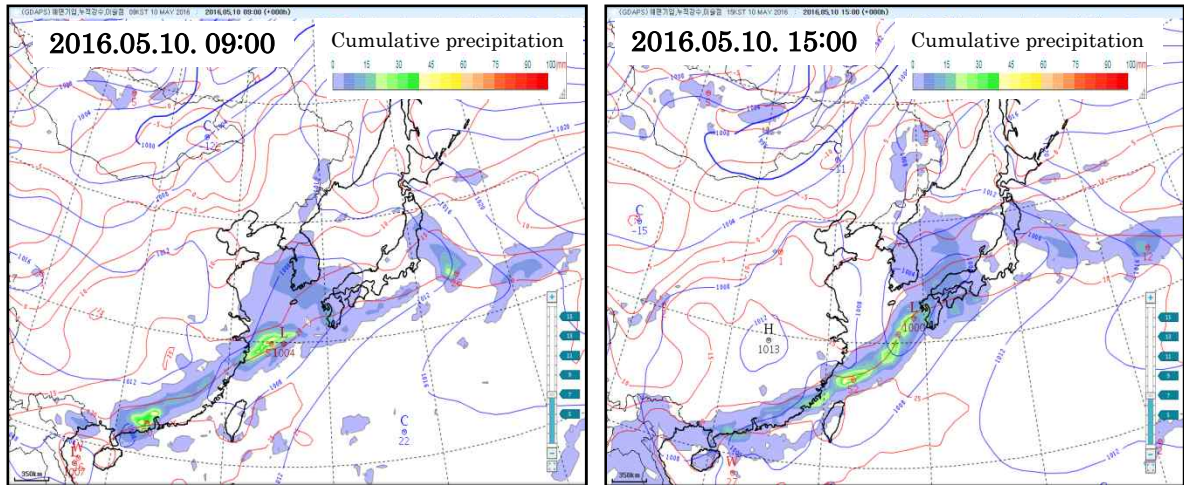


Fig. 4-3-19 Weather chart in Korea(2016.05.10)

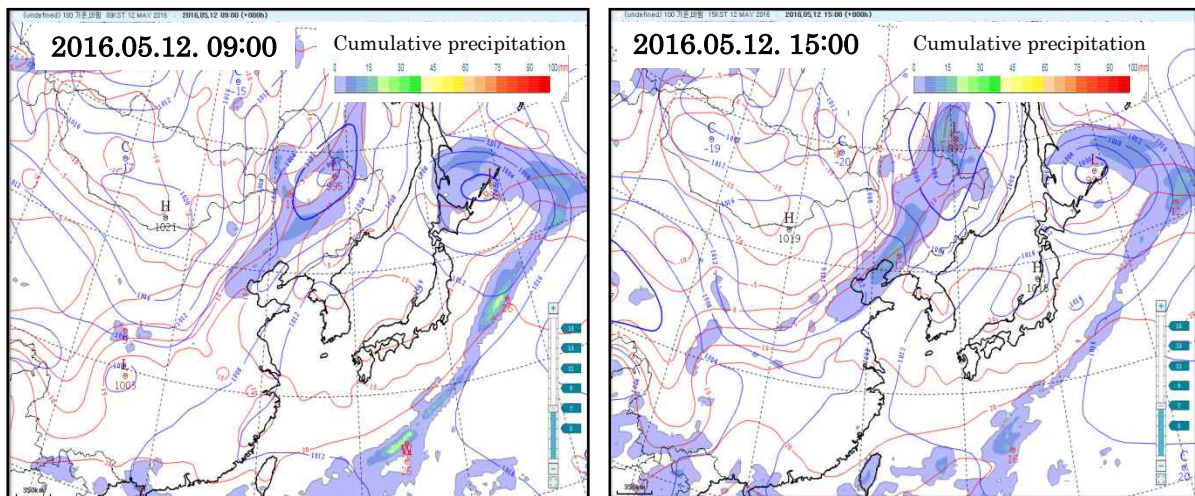


Fig. 4-3-20 Weather chart in Korea(2016.05.12)

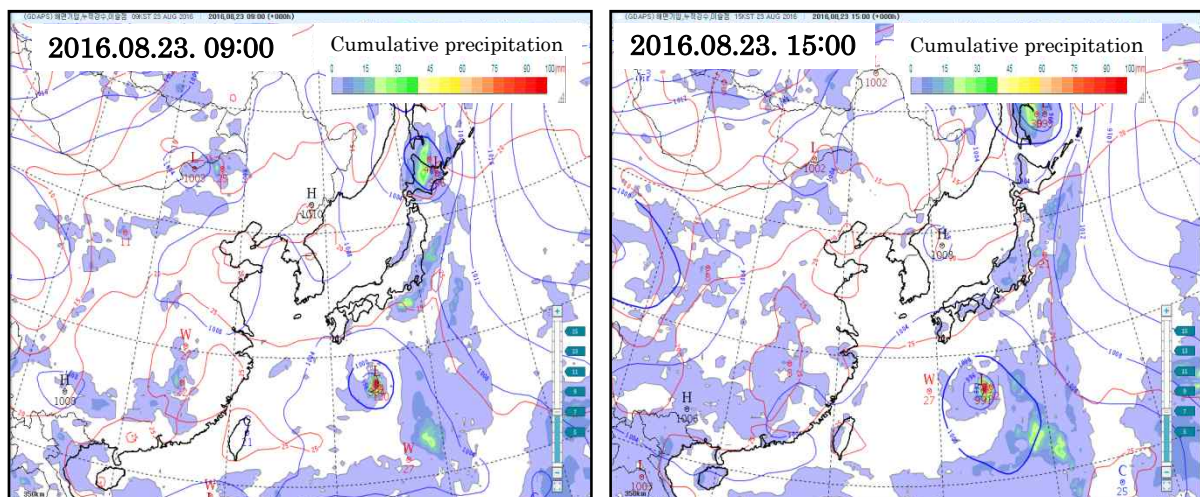


Fig. 4-3-21 Weather chart in Korea(2016.08.23)

(2) 후방역궤적 해석

2016 년 5 월 10 일의 Jeollanamdo 와 2016 년 5 월 12 일의 Busan 과 Gyeongsangnamdo, 2016 년 8 월 23 일의 Jeju 지역에 대해 주간시간대(09 시~17 시) 중 09 시와 15 시를 기준으로 후방역궤적해석을 실시하였다. 미국 해양대기청(NOAA)의 HYSPLIT 을 이용하였으며, 고도 1500 m 에서 소급 시간을 72 시간으로 계산하였다.

5 월 10 일 09 시 Jeollanamdo 지역은 강우에 의한 저기압에 의해 기류의 흐름이 원활하지 않아 한반도의 서남해 지역을 중심으로 정체되고 있었으며, 15 시에는 일본 북큐슈 지역에서 남큐슈를 경유한 기단이 남해와 서해를 돌아 유입되었다.

5 월 12 일 09 시 Busan 지역은 내몽골 동부지역에서 한반도를 경유한 기단이 유입되었으며, 15 시에는 내몽골 동부지역에서 한반도를 경유한 기단이 남해에서 머물다가 유입되었다.

5 월 12 일 09 시 Gyeongsangnamdo 지역은 러시아 남쪽 Chita 지역에서 기원한 기단이 내몽골 동쪽을 거쳐 한반도 서해안을 통해 유입되었으며, 15 시에는 내몽골 동쪽에서 기원한 기단이 한반도를 거쳐 남해에서 머물다가 유입되었다.

8 월 23 일 09 시 Jeju 지역은 한반도 동쪽에서 발생한 기단이 한반도 동부를 거쳐 유입되었고, 15 시에는 러시아와 일본 홋카이도 지역 사이 해상에서 발생한 기단이 대한해협 부근을 거쳐 유입되었다.

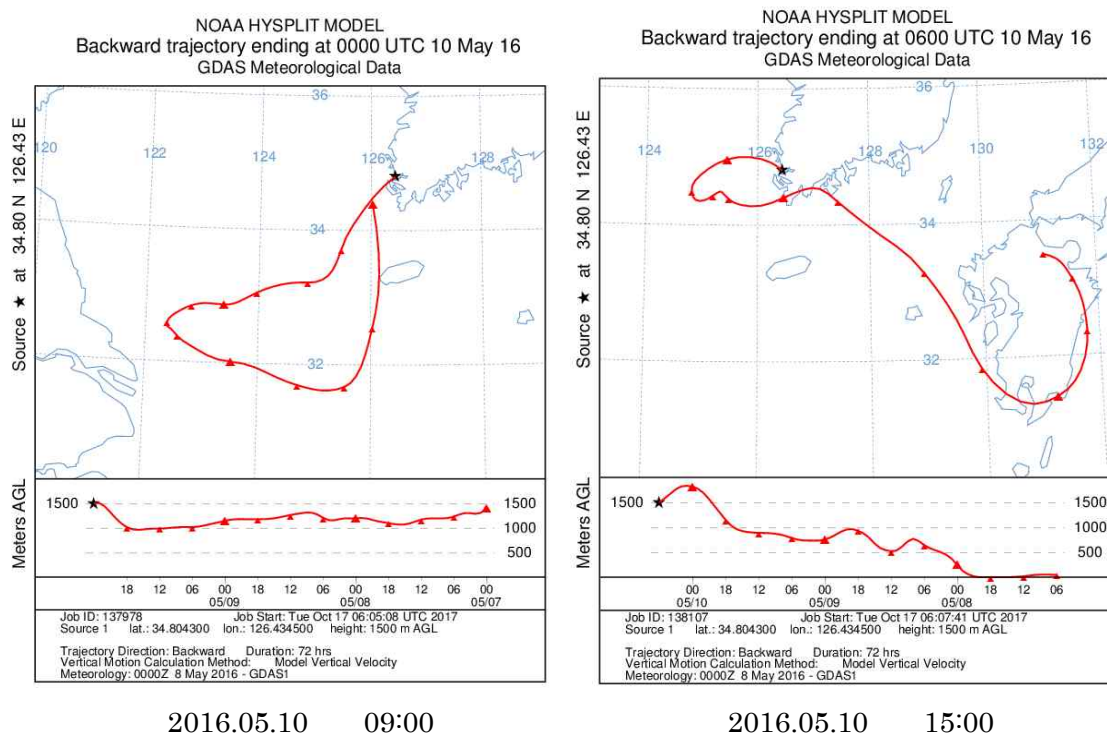


Fig. 4-3-22 Backward Trajectory Analysis in Jeollanamdo

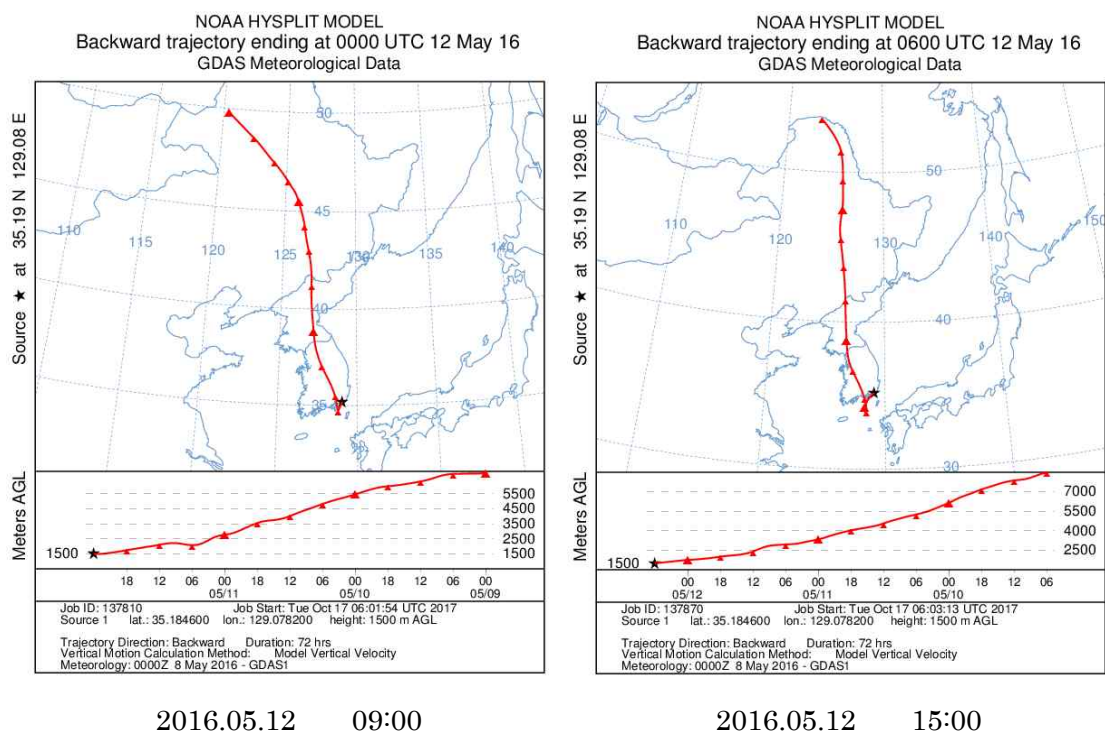


Fig. 4-3-23 Backward Trajectory Analysis in Busan

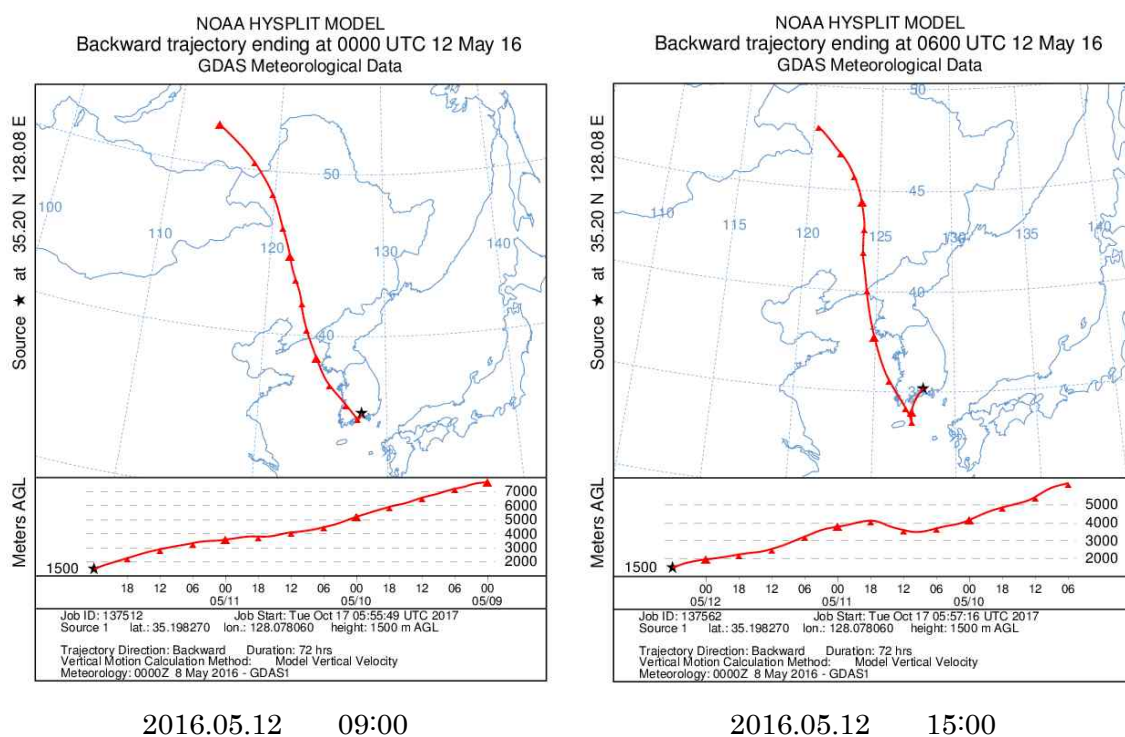
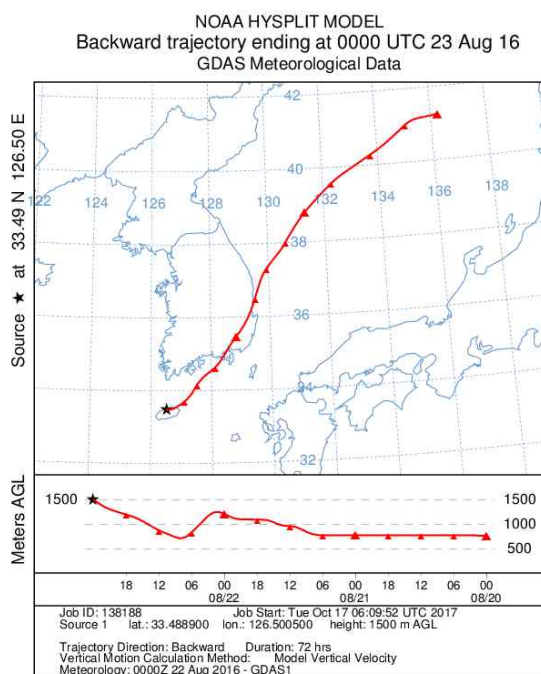
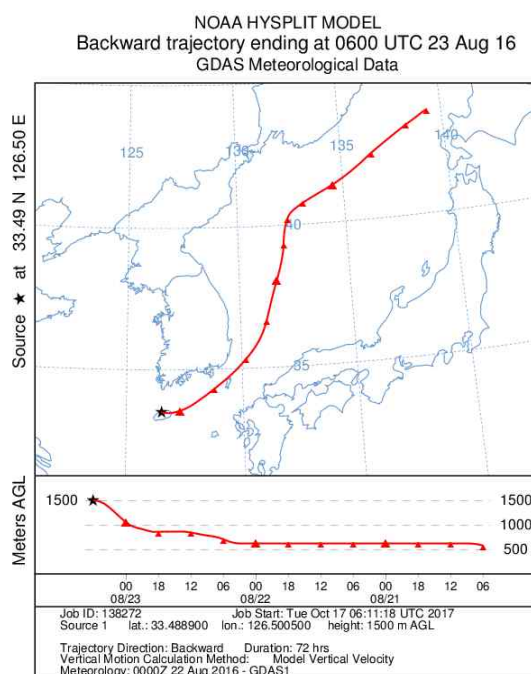


Fig. 4-3-24 Backward Trajectory Analysis in Gyeongsangnamdo



2016.08.23 09:00



2016.08.23 15:00

Fig. 4-3-25 Backward Trajectory Analysis in Jeju

4.3.4.2 일본측

2016년 11월 8일(조사 기간 A : 11월 8일 9시~11일 9시)에 일본측에서 VOC 농도가 높은 경향에 있었다(Fig. 3-5-1, Fig. 3-6-1, Fig. 3-7-1, Fig. 3-8-1).

(1) 기상개황

11월 7일부터 11일 9시의 지상 일기도를 Fig. 4-3-26에 나타내었다.

7일은 전국적으로 맑았지만, 8일은 저기압이 발달하여 모든 조사 지점에서 비가 내렸다. 강우량은 0.0~2.0 mm/hr로 양이 적었다. 9일은 겨울형의 기압배치로 바뀌어 바람이 강하였다. 10일은 기압골의 영향으로 모든 조사 지점에서 오후부터 비가 내렸다. 강우량은 0.0~9.5 mm/hr로 8일보다도 많았다. 11일은 저기압이 동쪽으로 이동하였기 때문에 모든 조사 지점에서 맑은 날씨가 되었다.

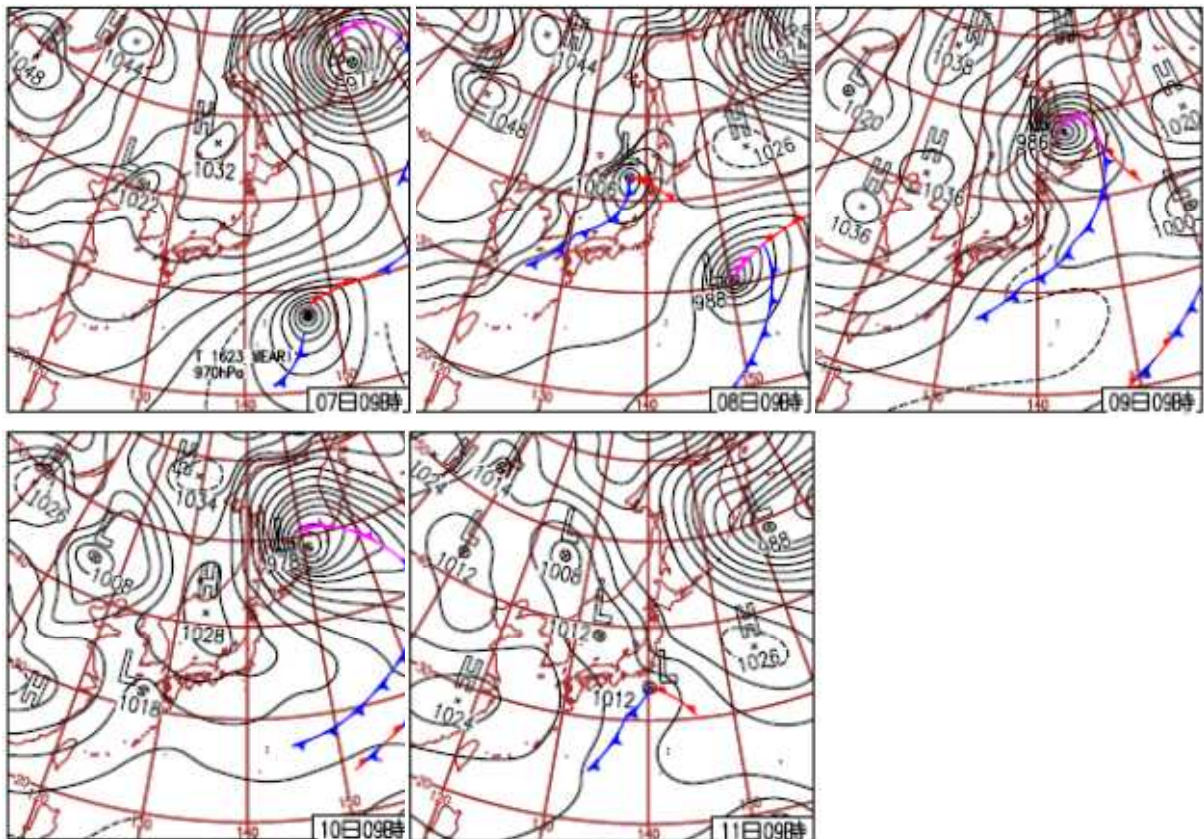


Fig.4-3-26 Weather chart from 11.07 to 11.11 in 2016

(2) PM_{2.5}, Ox 농도

PM_{2.5}, Ox 의 11 월 7 일부터 11 일까지의 농도를 Fig. 4-3-27 에 나타내었다.

PM_{2.5} 질량 농도는 11 월 8 일, Ox 농도는 11 월 7 일 및 9 일의 일평균치가 가장 높게 나타나고 있었다. 그러나 모두 환경기준(PM_{2.5} : 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Ox : 60ppb)을 초과하는 정도의 값은 아니었다.

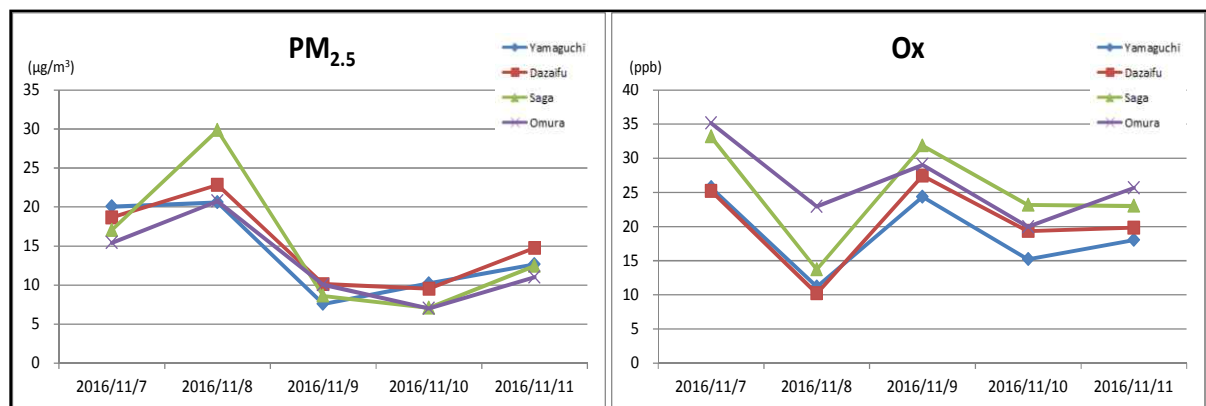


Fig. 4-3-27 The average of PM_{2.5} and Ox concentrations from 11.07 to 11.08 in 2016

(3) 후방역계적 해석

11 월 7 일부터 11 일 12 시에 있어서의 역계적을 Fig. 4-3-28 ~ Fig. 4-3-30 에 나타내었다. 계산은 고도 1500 m로 하고, 소급 시간을 72 시간으로 하였다.

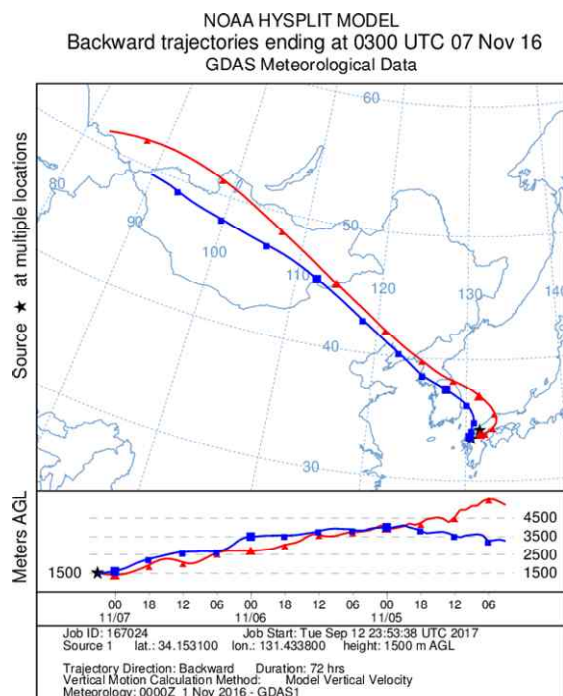
11 월 7 일은 Dazaifu, Saga, Yamaguchi 에는 러시아에서 기원하여 몽골, 중국, 한반도를 경유하였으며, Omura 에는 중국의 베이징 부근에서 기원하여 경유하고 있었다.

11 월 8 일은 동중국해를 경유하고 있었다.

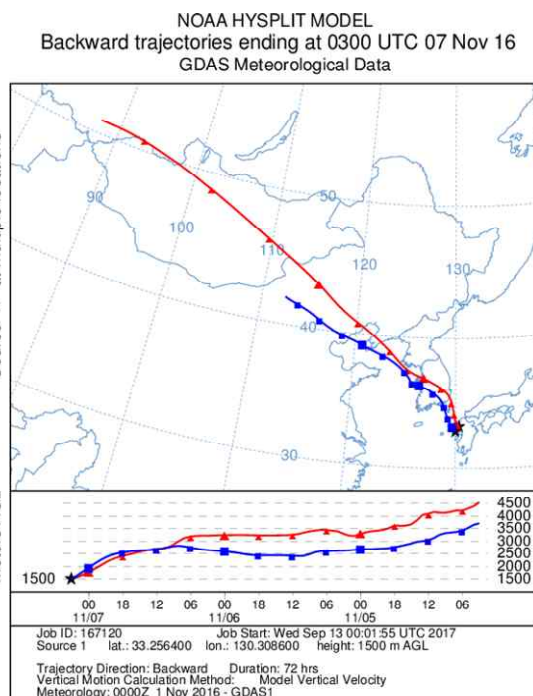
11 월 9 일은 Yamaguchi 에는 중국 북부를 경유하였으며, Dazaifu, Saga, Omura 에는 러시아에서 기원하여 몽골, 중국, 한반도를 경유하고 있었다.

11 월 10 일은 Yamaguchi, Dazaifu, Omura 에는 몽골에서 기원하여 중국의 베이징 부근을 경유하였으며, Saga 에는 중국 북부, 한반도를 경유하고 있었다.

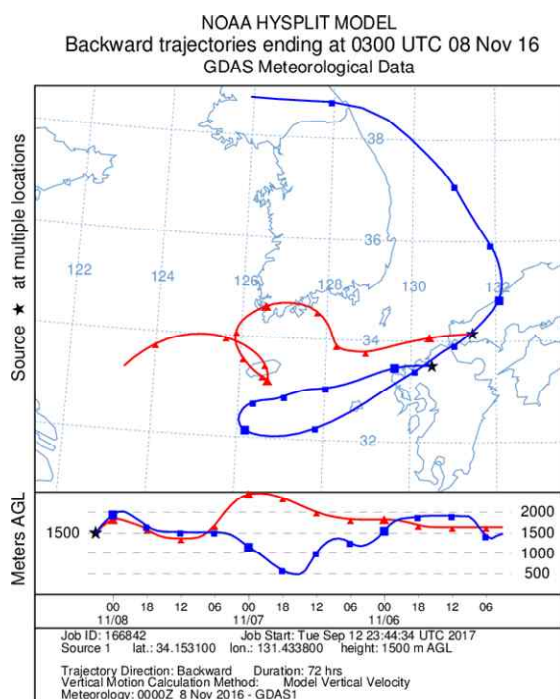
11 월 11 일은 4 개 지점 모두 중국을 경유하고 있었다.



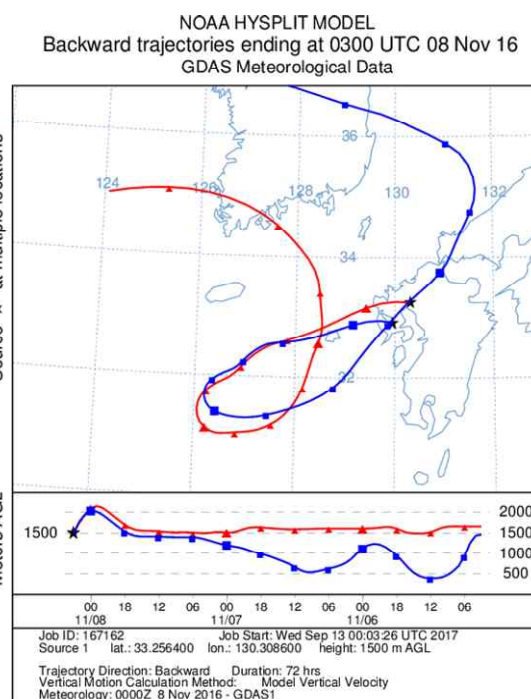
2016.11.7 12:00 Yamaguchi and Dazaifu



2016.11.7 12:00 Saga and Omura

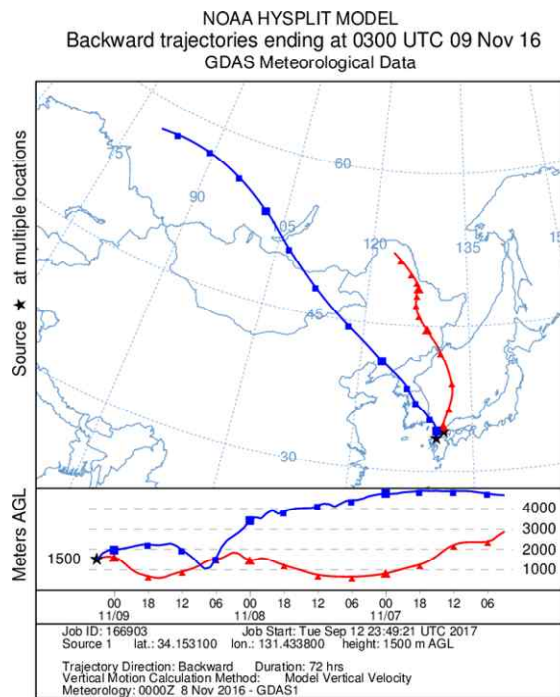


2016.11.8 12:00 Yamaguchi and Dazaifu

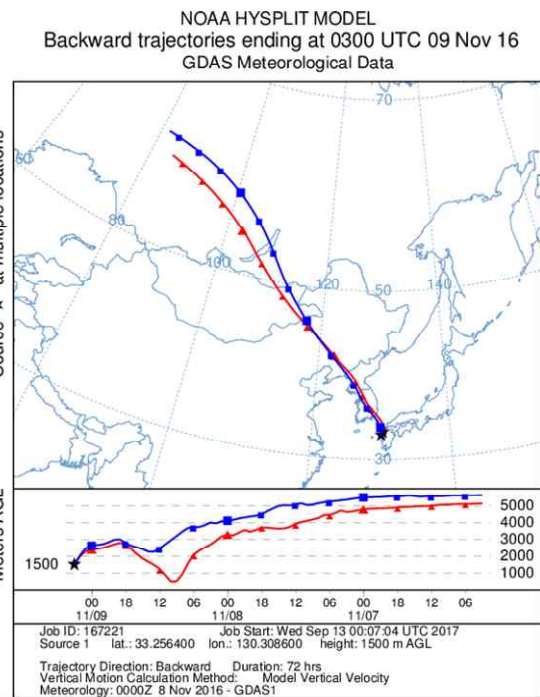


2016.11.8 12:00 Saga and Omura

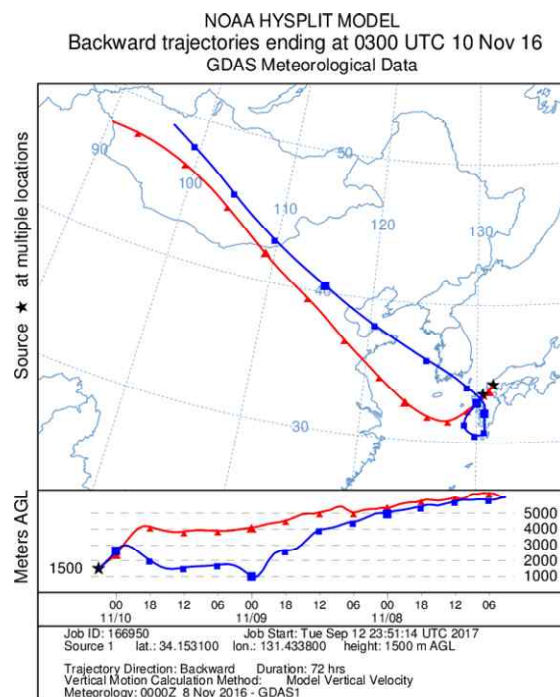
Fig. 4-3-28 Backward Trajectory Analysis in Japan



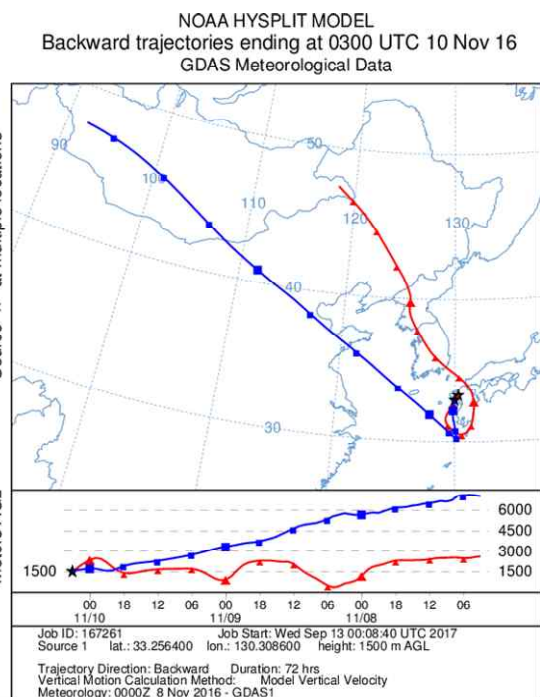
2016.11.9 12:00 Yamaguchi and Dazaifu



2016.11.9 12:00 Saga and Omura



2016.11.10 12:00 Yamaguchi and Dazaifu



2016.11.10 12:00 Saga and Omura

Fig. 4-3-29 Backward Trajectory Analysis in Japan

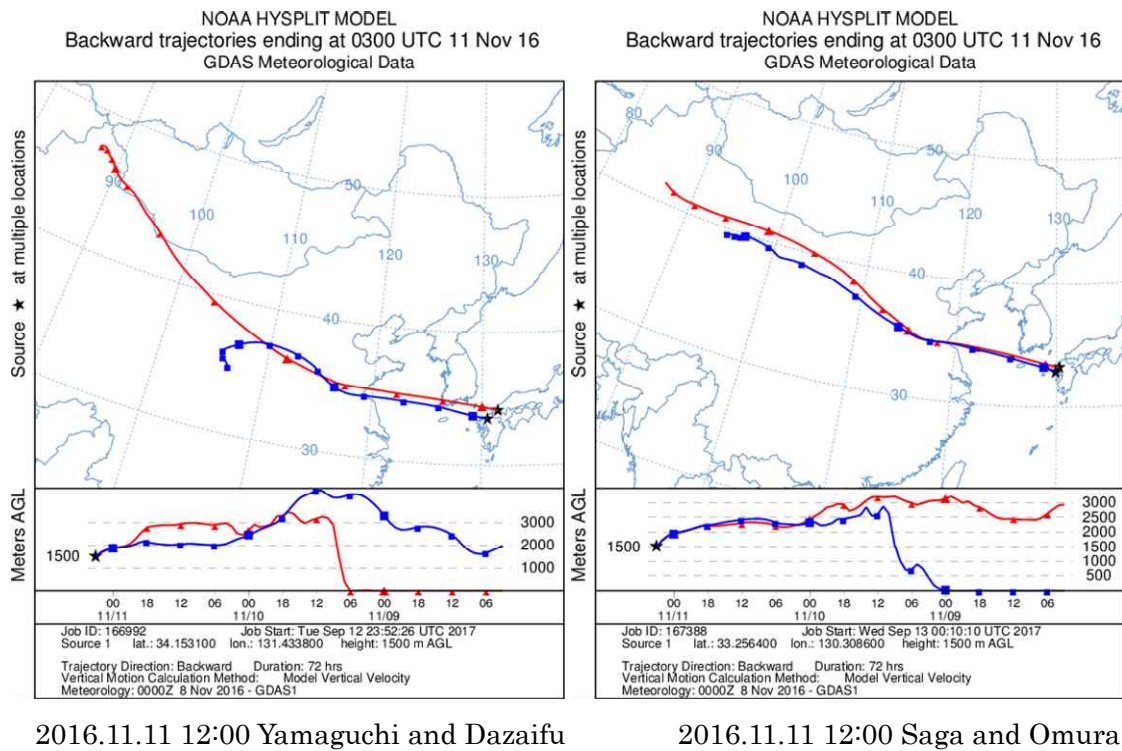


Fig. 4-3-30 Backward Trajectory Analysis in Japan

Reference:

- 1) 기상청 나날의 일기도, <http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html>
- 2) HYSPLIT Trajectory Model, https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php

V. 공동 조사의 결과 및 성과

5.1 공동 조사의 결과

한·일 해협 연안 8 개 시·도·현 환경 기술 교류 사업으로 「대기 중의 휘발성유기화합물 조사」를 실시하였다. 조사 방법 A에서는 18 개 항목의 VOC 성분 농도를 측정하였고, 시료 채취는 2016년 5월, 8월, 11월 및 2017년 2월에 각각 1일 2회(9시 ~ 17시, 17시 ~ 이튿날 9시), 3일간 실시하였다. 조사 방법 B에서는 자동 측정기를 이용하여 2016년 4월부터 2017년 3월까지의 자동측정망(상시감시) 데이터 등을 수집하였다.

PRTR 데이터 분석, VOC 성분 데이터와 자동측정망(상시감시) 데이터의 상관 비교, 성분간 농도비 비교, PMF 해석 등에 의하여 지역별 특징 및 발생원 기여도를 추정하였다. 또한 특징적 사례에 대하여 기상 정보나 후방역궤적에 의하여 해석을 실시하였다.

- (1) 일본은 11 월(추계), 한국은 지역에 따라 5 월(춘계)과 11 월(추계)에 VOC 농도가 높은 계절별 특징이 얻어졌다. 또한 Jeju 의 VOC 농도는 타 시·도·현에 비하여 상당히 낮은 것으로 조사되었는데 이것은 발생원의 영향이 적기 때문이라고 판단되었다.
- (2) VOC 의 구성 성분별로는 Busan 과 Gyeongsangnamdo 에서는 *m,p*-Xylene 의 비율이 가장 높았고, 그 외 시·도·현에서는 Toluene 의 비율이 가장 높았다. Jeju 에서는 Toluene 외에는 저농도 혹은 검출한계 미만으로 나타나는 항목이 많았다.
- (3) 양국 모두 환경 기준이 설정되어 있는 물질의 농도는 기준 이하로 조사되었다.
- (4) PRTR 데이터에 근거하여 VOC 의 배출량을 집계한 결과 양국 모두 Xylene, Toluene, Ethylbenzene 이 상위를 차지하고 있었다. VOC 배출량은 일본에서는 Fukuoka, 한국에서는 Gyeongsangnamdo 가 가장 많았다. PRTR 데이터를 이용한 해석은 일본은 ADMER 를 이용하였고, 대한민국은 CAPSS 자료를 추가로 이용하여 실시하였다. ADMER 로는 대기 중의 VOC 의 추정 농도 분포, CAPSS 로는 배출원별 발생량을 평가할 수 있었다. ADMER 에 의한 해석에서는 간선 도로변이나 Fukuoka 의 도심부에서 자동차 배출가스와 관련된 성분의 농도가 높은 것을 확인할 수 있었다. CAPSS 에 의한 해석에서는 대기 중의 VOC 가 유기 용제 사용시설로부터의 배출이 많은 것을 확인할 수 있었다. 또한 PRTR 데이터와 본 조사에서 얻어진 VOC 농도를 비교한 결과 대체로 유사한 경향이 나타났다.

- (5) VOC 성분 데이터와 자동측정망(상시감시) 데이터 등의 상관 비교에서는 각각의 조사 지점에서 주간과 야간의 상관성을 분석하였다. 일본측에서는 모든 조사 지점에서 유사한 상관성을 나타내는 경향에 있었다. 대한민국측에서는 BTEX 등 일부 항목에서 상관성을 나타내었으나, 전체적으로는 명확한 경향을 보이지는 않았다.
- (6) 성분간 농도비에 의한 발생원의 평가에서 일본은 1,3-Butadiene/Benzene 비, 대한민국은 BTEX 간 비를 이용하여 평가를 실시하였다.
- 일본측의 1,3-Butadiene/Benzene 비를 이용한 평가 결과 교통량이 많은 도로와 비교적 가까운 지점인 Dazaifu, Yamaguchi 의 1,3-Butadiene/Benzene 비가 높게 나타나 자동차 배출가스의 영향이 있었던 것이 시사되었다. 주간 시간대(9:00 ~ 17:00)의 농도 저하에는 통근 시간대에 배출된 1,3-Butadiene 의 분해가 진행된 것이 영향을 미친 것으로 판단되었다. 대한민국측의 BTEX 간 농도비 평가 결과 Busan 과 Gyeongsangnamdo 에서는 자동차 배출가스 외에도 유기 용제 사용시설의 영향이 다소 있었고, Jeollanamdo 와 Jeju 에서는 자동차 배출가스 외 조사 지점과 인접한 장소에서의 배출원의 영향은 거의 없는 것으로 평가되었다.
- (7) PMF 해석에 의한 발생원 평가 결과 일본은 7 종류, 대한민국은 5 종류의 발생원이 추정되었다. 일본에서는 각 현별로 SPM, O₃, NO₂ 농도에 따른 VOC 발생원 기여율을 해석하였다. Yamaguchi 는 염화 비닐계·세정계 성분, Dazaifu 는 스티렌 수지계·아크릴로니트릴 수지계·자동차 배출가스 성분의 비율이 높은 것 등 각 현별의 발생원 특징을 파악할 수 있었다. 또한 SPM 과 도료계 성분(Ethylbenzene, *m,p*-Xylene, *o*-Xylene, Toluene)은 발생원이 유사하였다. 1,3-Butadiene, *m,p*-Xylene 등 O₃ 생성능이 높은 성분을 많이 포함하는 자동차 배출가스 성분은 광화학 반응에 의해 소비되어 O₃의 생성에 기여하고 있을 가능성이 높은 것이 판명되었다. 대한민국측에서는 자동차 배출가스의 기여율이 가장 높은 것으로 해석되었다. 이것은 조사 지점이 주택 지역에 위치해 있어 인근 간선 도로의 차량운행에 기인한 것으로 판단된다.
- (8) 양국 각각의 VOC 농도가 상승한 특징적인 사례(일본: 2016 년 11 월 8 일, 대한민국: 2016 년 5 월 10 일, 5 월 12 일, 8 월 23 일)에 대해 후방역궤적 해석 등을 실시하여 날씨가 기류의 흐름에 대해 해석하였다. 해석결과 기류의 흐름에 공통된 경향이 확인되지는 않았으나, 지역 외로부터의 기류유입의 영향도 어느정도 확인할 수 있었다.

5.2 공동 조사의 성과

한·일이 공동으로 대기 중의 휘발성유기화합물 조사를 실시하여 양국의 특성을 파악하였다. VOC 의 계절별 농도나 구성 성분을 조사함으로써 각국 및 각 조사 지점의 특징이 판명되었고, 양국 모두 환경 기준이 설정되어 있는 항목은 기준을 만족하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한, PRTR 데이터를 이용한 해석에서는 보다 상세한 양국의 VOC 배출 상황을 파악할 수 있었다. 더욱이 PMF 에 의한 발생원 해석 결과, 일본에서는 도료계 성분, 스티렌 수지계 성분, 자동차 배출가스 성분의 기여도가 높았고, 대한민국에서는 자동차 배출가스 성분의 기여도가 높은 것으로 시사되었다. 본 조사 결과에 대하여는 VOC 가 생성에 기여하고 있을 가능성이 시사되는 $PM_{2.5}$ 나 Ox 의 해석 등, 향후의 유해 대기오염물질 오염대책에 활용하고자 한다.