대기오염에 의한 산림피해 동태연구
- 산성화 산림피해 조사연구 -

시험기간 : 2011 ~ 2020년
담 당 자 : 심선정, 허창미, 김두익, 박준호, 유재원
최은심, 손원호, 윤영찬, 이병수

Ⅰ. 서 론

20세기 후반 선진국을 비롯한 개발도상국에 이르기까지 급속한 산업발전과 더불어 인구의 도시 집중화 및 공업단지의 대규모화 등에 따라 화석연료 사용이 급증하였고 다량으로 배출되는 오염물질에 의해 생태계가 파괴되고 있다(Miller, G, H. 1985). 그 중에서도 화석연료 사용의 급증으로 인한 대기오염 문제가 매우 심각하고 대기오염과 관련된 피해문제 중 산성비로 일컫는 산성강하물에 의한 피해는 보다 급격하게 자연생태계에 피해를 주고 있다.

산성비는 호수, 숲, 토양 등의 생태계를 파괴시킬 뿐 아니라 인류의 고귀한 문화유산과 건축물을 부식시킨다. 또한 산성비는 하천으로 유입되면 수중 생태계를 파괴시키고 토양으로 유입되어 토양 내 존재하는 중금속이 분해되어 식물이 흡수하게 되어 식물체 내에 축적되게 된다(김은식 등, 1991).

산성비가 생태계에 미치는 영향은 생물을 구성하는 생체유기화합물이 직접 산에 의해 가수분해 되거나 산화됨으로서 생체조직이 파괴되는 직접적인 영향과 자연계에 존재하는 물이 산성화되어 물에 용해되어 있는 무기성분을 변화시켜 그로 인하여 간접적으로 생물이 영향을 받는 경우 등이 있다. 또한 대기오염으로 인한 피해양상은 다른 형태의 오염원과는 다르게 빠르고 다양한 이동성으로 인해 오염원과는 전혀 다른 곳에서 피해가 보고되는 경우가 많다.

국제적으로 BioSoil, FIA, FHM 등 건강하고 지속가능한 산림으로 유지하기 위한 산림환경 모니터링 및 평가가 부각되고 있으며(산림청, 2018), 국내에서도 산림청 등 정부기관 중심으로 대기오염으로 인한 산림토양의 피해에 대한 관심이 증가하고 다양한 연구결과와 논문이 보고되었고, 산성화에 대해 우리나라 산림토양의 취약성이 확인되었다(국립산림과학원, 2016).

따라서 본 연구는 산림지역의 대기오염과 산성강우 실태를 모니터링하여 수목과 산

림토양 등 산림생태계에 미치는 영향을 구명하여, 금후 산림피해 대책수립에 필요한 자료로 활용하고자 고정조사구 7개소를 지정한 후 강수의 산도, 이온농도 조사 및 대기중의 이산화황(SO_2), 이산화질소(NO_2), 오존(O_3) 농도 등의 조사를 수행하였다.

Ⅱ. 재료 및 방법

1. 대기오염 실태조사

가. 조사지 선정

격자방법에 따라 전국을 40㎞×40㎞로 구획한 후 도내 지역에 해당하는 대각선 교차점에 7개소의 조사지를 선정하였으며 그 현황은 표 1과 같다.

표 1. 대기오염 실태조사 고정조사지 현황

표준지 번호	조 사 지	GPS 좌표
44	합천 대양 무곡길 207	N35°31'21" E128°11'33"
45	창녕 장마 문암길 14-1	N35°28'33" E128°26'56"
46	밀양 단장 구천1길 34	N35°32'28" E128°55'20"
51	진주 이현 두곡42번길 76	N35°11'53" E128°02'54"
52	함안 군북 영운2길 120	N35°15'44" E128°18'22"
53	김해 상동 장척로 517-14	N35°17'19" E128°55'22"
59	거제 문동폭포길 12	N34°51'18" E128°39'04"

※ 표준지 번호 : 국립산림과학원의 전국 산성화 산림피해조사지 지정번호임.

나. 조사기간 : 1월~12월

1) 건성강하물 : 매월 말 대기물질 포집기(Passive sampler)를 수거 분석

2) 습성강하물 : 강수 시 마다 강수채취기에 수집된 강수를 수거 분석

다. 조사 및 분석방법

1) 건성강하물 조사

대기 중 이산화황(SO_2)과 이산화질소(NO_2) 및 오존(O_3) 농도조사를 위하여 대기물질 포집기를 고정조사지에 설치한 후 매월 말일에 수거(수거 시 다음달 조사용 대기물질 포집기를 설치)하고, 수거한 대기물질 포집기 내 흡수여지를 분리하여 시험관에 넣고 추출액 5㎖를 가한 후 초음파진탕기로 20분간 진탕 시킨 후 대기오염물질을 추출하고 실린지필터(0.51 MPa, MFs25)로 여과하여 이온크로마토그래피(IC)로 농도를 측정한 후, 측정된 농도는 용액상 농도(㎎/ℓ)이므로 이를 가스상 농도(ppb)로 환산하였다.

$$\text{시료 농도(ppb)} = \frac{\text{용액상 농도(㎎/ℓ)} \times 5(\text{㎖/추출액량}) \times \text{환산계수}}{\text{방치일수} \times 24\text{시간}}$$

※ 환산계수 : SO_2 - 344, NO_2 - 458, O_3 - 279.3

2) 습성강하물 조사

강수의 음이온[염소(Cl^-), 질산염(NO_3^-), 황산염(SO_4^{2-})]과 양이온[나트륨(Na^+), 암모늄염(NH_4^+), 칼륨(K^+), 마그네슘(Mg^{2+})] 및 강수산도(pH) 조사를 위하여 강수채취기를 이용하여 강수 시마다 구분하여 당회 강수량을 기록한 뒤, 각각 50㎖ 보관병에 담아 냉장보관 후 필터로 이물질을 제거한 뒤 강수의 음·양이온 농도 분석은 이온크로마토그래피(Dionex, US/ICS-2100)를 이용하여 분석하고 강수산도는 pH meter(Thermo orion, US/310)기로 측정하였다(그림 1).

2. 산림 기초생태조사

가. 조사지 선정

격자방법에 따라 전국을 40㎞×40㎞ 구획한 후 도내 지역에 해당하는 대각선 교차점에 7개소의 조사지를 선정하였으며 그 현황은 표 2와 같다.

표 2. 산림 기초생태조사 고정조사지 현황

표준지 번 호	조 사 지	임 상	GPS 좌표
44	합천 대양 무곡 959	침엽수림(소나무)	N35°31'06.3" E128°11'09.5"
45	창녕 장마 신구 산271	침엽수림(소나무)	N35°28'32.9" E128°26'52.7"
46	밀양 단장 구천 산180-2	활엽수림(참나무류)	N35°32'29.0" E128°55'10.0"
51	진주 이현 산53	혼효림(굴참나무, 소나무)	N35°11'52.2" E128°02'55.0"
52	함안 군북 영운 산55	혼효림(굴참나무, 곰솔)	N35°15'47.1" E128°18'22.0"
53	김해 상동 묵방 24-1	침엽수림(리기다소나무, 편백)	N35°17'21.7" E128°55'25.6"
59	거제 문동동 산91	활엽수림(굴참나무)	N34°51'11.9" E128°39'12.4"

※ 표준지 번호 : 국립산림과학원의 전국 산성화 산림피해조사지 지정번호임.

나. 조사시기 및 방법

1) 낙엽낙지 조사

가) 조사기간 : 1월~12월

나) 조사방법 : 상층목의 수관 울폐도를 고려하여 3개 지점에 포집망을 설치하고 매월 초 포집망 내 낙엽낙지를 회수하여 건조 후 기관별(잎, 가지, 열매, 수피)로 분류하여 건중량을 측정하였다(그림 1).

그림 1. 습성강하물 조사 및 낙엽낙지

2) 산림입지 및 토양조사

가) 조사시기 : 6월

나) 조사방법 : 개략적인 지황분석 및 기초 토양 특성을 조사하기 위하여 입지환경 및 토성을 조사하기 위하여 대상지 면적 등 입지정보 및 토양특성을 조사하였다(그림 2).

그림 2. 토성 분석을 위한 시료 채취

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 대기오염 실태조사

가. 건성강하물 조사

1) 대기 중 이산화황(SO_2) 농도 조사

2018년도 대기 중 이산화황(SO_2) 농도 조사 결과는 표 3과 같다. 고정조사지역의 대기 중 이산화황(SO_2) 농도를 분석한 결과 김해와 거제지역이 각각 3.28ppb, 2.52ppb로 높았으며, 가장 낮은 지역은 합천지역으로 1.63ppb였다. 전체 평균 2.19ppb 대비 거제, 김해, 함안지역은 높았고 밀양, 합천, 진주, 창녕지역은 낮았다. 거제와 김해지역은 도심지의 공단지역과 근거리에 인접해 있고, 밀양지역은 농촌지역에 위치한 것과 상관이 있는 것으로 사료된다. 월별 농도를 비교해 보면 2월(3.16ppb)과 4월(3.64ppb)에 높게 나타났고, 10월(0.84ppb)과 8월(1.38ppb)에 낮게 나타났으며, 연중 지역별 극값은 7월 김

해지역이 9.62ppb로 가장 높았고, 7월 창녕지역이 0.12ppb로 가장 낮게 나타났다(표 3).

표 3. 대기 중 이산화황(SO_2) 농도 조사 (단위 : ppb)

조사지	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균
합천	1.34	2.20	1.86	3.35	1.76	3.03	0.88	0.86	1.77	0.28	1.08	1.18	1.63
창녕	2.57	3.30	2.44	3.41	2.64	2.03	0.12	1.25	2.63	1.02	1.46	1.71	2.05
밀양	1.53	4.22	1.42	2.30	1.62	2.56	0.14	1.20	1.51	0.62	0.88	3.98	1.83
진주	1.76	3.17	2.38	4.17	2.40	1.77	0.97	1.04	1.82	0.55	0.69	0.67	1.78
함안	2.38	2.02	3.14	4.43	3.05	2.84	1.62	1.23	2.48	0.88	1.27	1.57	2.24
김해	2.82	3.71	3.11	4.39	3.07	0.69	9.62	2.22	2.87	1.34	2.32	3.19	3.28
거제	2.84	3.48	2.34	3.44	2.94	2.94	1.80	1.87	2.75	1.16	2.15	2.52	2.52
평 균	2.18	3.16	2.38	3.64	2.50	2.27	2.16	1.38	2.26	0.84	1.41	2.12	2.19

2) 대기 중 이산화질소(NO_2)농도 조사

2018년도 대기 중 이산화질소(NO_2) 농도 조사 결과는 표 4와 같다. 고정조사 지역의 대기 중 이산화질소(NO_2) 농도를 분석한 결과 진주지역이 2.30ppb로 가장 높았으며, 가장 낮은 지역은 합천지역으로 농도가 1.10ppb였다.

전체 평균 1.74ppb 대비 진주, 김해, 거제, 창녕지역은 높았고 함안, 밀양, 합천 지역 순으로 낮게 나타났다. 월별 농도를 비교해 보면 11월(3.75ppb)과 2월(2.30ppb)이 높고 7월(0.82ppb)이 가장 낮게 나타났으며, 연중 지역별 극값은 3월 진주지역이 5.63ppb로 가장 높았고 10월 합천과 거제지역이 0.06ppb로 가장 낮았다(표 4).

표 4. 대기중 이산화질소(NO_2) 농도 조사 (단위 : ppb)

조사지	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균
합천	1.14	1.43	1.06	0.91	0.68	2.74	0.55	1.08	0.48	0.06	1.84	1.20	1.10
창녕	1.88	3.48	1.77	1.98	1.54	0.54	0.65	1.88	1.15	2.25	4.01	1.88	1.92
밀양	1.23	2.01	0.94	1.42	0.89	3.69	0.40	1.66	0.60	0.92	2.29	1.14	1.43
진주	2.89	3.24	1.89	0.91	1.54	0.89	0.74	1.94	1.34	2.71	5.63	3.85	2.30
함안	1.02	1.06	1.93	2.40	1.72	1.49	1.32	2.31	0.92	0.74	2.70	0.92	1.54
김해	1.20	2.35	1.86	1.44	2.09	1.46	1.08	2.43	1.56	1.60	4.39	2.22	1.97
거제	2.83	2.52	1.04	0.86	0.98	2.58	1.02	0.89	1.75	0.06	5.38	3.20	1.93
평 균	1.74	2.30	1.50	1.42	1.35	1.91	0.82	1.74	1.11	1.19	3.75	2.06	1.74

3) 대기 중 오존(O_3)농도 조사

2018년도 대기 중 오존(O_3) 농도 조사 결과는 표 5와 같다. 고정조사지역의 대기 중 오존(O_3) 농도를 분석한 결과 거제와 함안지역이 각각 27.10ppb, 26.24ppb로 높았으며, 가장 낮은 지역은 진주로 농도가 21.40 ppb였다. 전체 평균 24.39ppb 대비 거제,

함안, 밀양, 김해지역은 높았으며, 합천, 창녕, 진주의 고정조사구는 낮았다. 이러한 결과는 지역별 이산화황(SO_2) 농도와 마찬가지로 김해와 함안지역이 공단지역과 큰 도로와 인접해 있는 것과 연관이 있는 것으로 사료된다. 월별 농도를 비교해 보면 3월 과4월, 5월이 높았고 7월과 11월, 12월이 낮게 나타났으며, 연중 지역별 극값은 6월 함안지역이 41.64ppb로 가장 높았고 10월 합천지역이 7.02ppb로 가장 낮았다(표 5).

표 5. 대기중 오존(O_3) 농도 조사 (단위 : ppb)

조사지	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균
합천	19.11	21.53	32.32	33.40	31.91	34.81	11.56	24.44	18.47	7.02	16.61	15.10	22.19
창녕	21.98	25.52	31.46	32.51	32.57	31.27	19.13	20.80	21.73	19.06	15.27	13.66	23.75
밀양	21.78	21.53	32.46	33.54	41.46	40.57	20.73	23.97	23.07	17.54	15.60	14.99	25.60
진주	21.18	20.95	29.44	30.42	33.62	28.67	19.49	14.03	17.47	16.73	11.61	13.15	21.40
함안	18.68	23.57	35.28	36.46	41.64	33.09	22.77	25.21	25.86	19.25	16.11	17.01	26.24
김해	16.56	23.59	31.23	32.27	34.74	33.69	16.53	24.27	23.34	20.52	17.35	18.91	24.42
거제	27.35	24.50	36.34	37.55	39.43	29.91	15.68	28.36	27.78	22.59	18.45	17.31	27.10
평 균	20.95	23.03	32.65	33.74	36.48	33.14	17.98	23.01	22.53	17.53	15.86	15.73	24.39

나. 습성강하물 조사

1) 강수량 조사

강수량을 측정한 결과 연간 거제지역이 2,643.2㎜로 가장 많았으며 가장 적은 지역은 밀양지역으로 619.3㎜였다. 연간 평균 강수량 1,524.9㎜ 대비 진주, 함안, 김해, 거제지역은 많았고 합천, 창녕, 밀양지역은 적었다. 월별 강수량을 비교해 보면 6월과 8월이 많았고 1월과 11월, 12월은 강수량이 적었다. 연중 지역별 극값은 6월 거제지역이 1,104.0㎜로 가장 많았고 12월 밀양지역이 4.9㎜로 가장 적었다. 하절기인 6~8월의 강수량이 전체 강수량의 46.4%를 차지했다.(표 6)

표 6. 월별 강수량 (단위 : ㎜)

조사지	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	총계
합천	19.6	41.1	132.2	123.4	47.0	92.1	37.2	80.7	105.8	164.6	15.7	15.7	875.1
창녕	21.6	20.0	134.2	106.0	73.9	133.8	170.7	348.7	117.2	181.8	17.2	21.7	1,346.8
밀양	24.5	41.1	79.0	54.9	26.4	88.6	100.9	83.3	73.5	25.5	16.7	4.9	619.3
진주	23.7	37.2	125.0	118.7	65.4	175.7	318.8	221.6	221.4	219.8	27.8	28.0	1,583.1
함안	31.7	29.0	180.3	123.4	112.5	189.1	222.2	607.8	244.7	237.1	21.4	26.4	2,025.6
김해	30.6	33.7	187.3	157.0	128.3	156.2	207.1	250.6	169.7	192.8	37.6	30.2	1,581.1
거제	42.1	54.9	239.0	180.3	201.8	1104.0	153.8	207.7	160.7	184.2	64.7	50.0	2,643.2
평 균	27.69	36.71	153.86	123.39	93.61	277.07	172.96	257.20	156.14	172.26	28.73	25.27	1,524.9

2) 강수산도(pH) 조사

2018년도 강수산도(pH) 조사 결과는 표 7과 같다. 고정조사지역의 강수산도(pH)를 조사한 결과 함안과 거제지역이 pH 5.44, pH 5.45으로 산성도가 가장 높았으며, 산성도가 가장 낮은 김해지역은 pH 6.48로 나타났다.

전체 평균 pH 5.85 대비 함안, 거제, 합천, 창녕지역은 산성도가 평균보다 높은 편이였으며, 김해, 밀양, 진주지역은 평균보다 산성도가 낮았다. 월별로 비교해 보면 2월에 pH가 낮았고, 3월에 pH가 높게 나타났다. 연중 지역별 극값은 5월 거제지역이 pH 4.63으로 산성도가 가장 높았고 5월 합천지역이 pH 7.55로 산성도가 가장 낮았다(표 7).

표 7. 강수산도(pH) 조사

조사지	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	평균
합천	6.31	6.32	5.30	5.27	7.55	5.45	5.06	5.21	5.17	5.25	5.47	5.21	5.66
창녕	5.93	6.08	5.25	5.28	6.18	5.96	5.98	5.06	5.55	5.52	6.17	5.45	5.82
밀양	5.98	6.16	5.79	5.59	5.98	5.64	5.57	5.89	5.76	5.66	5.74	6.62	6.05
진주	6.06	6.31	5.92	5.49	6.26	5.61	6.72	6.21	5.91	5.69	6.25	6.29	6.06
함안	5.81	5.93	5.34	5.56	5.30	5.85	6.03	5.79	5.86	5.79	6.54	6.08	5.44
김해	6.80	6.83	6.64	6.67	6.26	6.63	6.60	6.78	6.39	6.56	6.82	6.90	6.48
거제	5.40	5.77	4.91	5.16	5.33	5.13	5.20	4.84	5.00	5.35	4.63	5.28	5.45
평 균	6.04	6.20	5.59	5.57	6.12	5.75	5.88	5.68	5.66	5.69	5.95	5.98	5.85

3) 강수 이온농도 조사

고정조사지역의 강수를 채취하여 음이온 농도를 분석한 결과 염소(Cl^-) 이온의 농도는 평균 3.91ppm이었으며, 진주가 11.12ppm으로 가장 높았고 창녕이 1.16ppm으로 가장 낮았다. 질산염(NO_3^-) 이온의 농도는 평균 2.35ppm이었으며, 김해가 4.27ppm으로 가장 높았고 합천이 1.35ppm으로 가장 낮았다. 황산염(SO_4^{2-}) 이온 농도는 평균 2.51ppm이었으며, 김해가 4.43ppm으로 가장 높았고 창녕이 1.75ppm으로 가장 낮았다.

양이온 농도를 분석한 결과 나트륨(Na^+) 이온의 농도는 평균 0.92ppm이었으며, 합천이 3.34ppm으로 가장 높았고 창녕이 0.19ppm으로 가장 낮았다. 암모늄염(NH_4^+) 이온의 농도는 평균 0.49ppm이었으며, 창녕이 0.83ppm으로 가장 높았고 거제가 0.26ppm으로 가장 낮았다. 칼륨(K^+) 이온의 농도는 평균 0.68ppm이었으며, 진주가 2.35ppm로 가장 높았고 창녕이 0.10ppm으로 가장 낮았다. 마그네슘(Mg^{2+}) 이온의 농도는 평균 0.07ppm이었으며, 김해가 0.15ppm으로 가장 높았고 창녕과 밀양이 0.03ppm으로 가장 낮았다. 칼슘(Ca^{2+}) 이온의 농도는 평균 0.33ppm이었으며, 김해가 1.06ppm으로 가장

높았고 창녕이 0.10ppm으로 가장 낮게 조사되었다(표 8).

표 8. 연간 강수 이온농도 (농도 : ppm)

조사지	음이온			양이온				
	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Na^+	NH_4^+	K^+	Mg^{2+}	Ca^{2+}
합천	3.58	1.35	1.92	3.34	0.45	0.18	0.07	0.18
창녕	1.16	2.37	1.75	0.19	0.83	0.10	0.03	0.10
밀양	1.44	1.61	2.12	0.25	0.45	0.17	0.03	0.16
진주	11.12	1.90	2.63	0.54	0.32	2.35	0.06	0.41
함안	4.75	3.24	2.80	0.25	0.75	1.26	0.09	0.26
김해	3.04	4.27	4.43	1.45	0.36	0.47	0.15	1.06
거제	2.25	1.74	1.95	0.45	0.26	0.26	0.05	0.13
평 균	3.91	2.35	2.51	0.92	0.49	0.68	0.07	0.33

2. 산림 기초생태조사

가. 낙엽낙지 조사

수목 중심의 산림반응 평가로 낙엽낙지량을 측정한 결과 고정조사지별 3개소의 낙엽낙지 포집망에 수집된 낙엽낙지의 건중량은 평균 482.19g이였으며, 거제지역(굴참나무, 소나무, 자귀나무)이 598.56g으로 가장 높았고 밀양지역(참나무류)이 363.91g으로 가장 낮았다. 월별로는 11월이 102.57g으로 가장 높았고 7월이 15.99g으로 가장 낮았다(표 9).

표 9. 월별 낙엽낙지 건중량 (단위 : g)

조사지	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월	총계
합천	45.34	33.25	26.32	50.51	48.73	39.49	26.99	40.14	32.95	43.76	47.45	40.29	475.22
창녕	18.04	22.57	0	83.31	38.63	64.21	24.93	58.15	28.88	42.83	74.41	38.71	494.67
밀양	10.04	16.67	49.00	78.14	26.47	16.43	15.52	15.82	19.22	57.25	27.46	31.89	363.91
진주	1.03	10.52	48.68	20.45	67.70	16.34	20.43	34.16	33.87	71.34	169.75	19.93	514.2
함안	3.17	8.69	28.71	0	22.94	5.12	7.02	14.16	13.74	70.03	178.73	13.36	365.67
김해	21.77	34.26	37.23	64.35	42.86	11.15	10.06	29.95	15.20	93.00	159.16	44.10	563.09
거제	40.44	22.91	35.57	43.95	30.51	29.71	15.93	27.76	18.75	150.39	152.61	30.03	598.56
평균	17.60	18.86	28.56	43.09	35.35	23.56	15.99	28.52	21.45	67.33	102.57	28.79	482.19

나. 고정조사지 토양분석 조사

조사지 입지환경 조사 결과는 표 10, 토양특성 조사 결과는 표 11과 같다. 합천지역과 김해지역에서 10%이하의 경사도를 나타냈으며, 진주지역과 함안지역은 25~50%, 창녕과 밀양, 거제 지역에서 50%이상의 경사도를 나타냈다(표10).

고정조사지역의 토양산도(pH)를 조사한 결과 창녕지역이 pH 4.00으로 산성도가 가장 높았으며, 산성도가 가장 낮은 거제지역은 pH 4.79로 나타났다.

전체 평균 pH 4.47 대비 창녕, 함안, 진주지역은 산성도가 평균보다 높은 편이였으며 합천, 밀양, 김해 거제지역은 평균보다 산성도가 낮았다.

유기물(OM)은 전체 평균 43.93g/kg으로 나타났다. 가장 많은 유기물양을 나타낸 거제지역은 75.95g/kg, 가장 작은 유기물양을 나타낸 함안지역은 20.08g/kg으로 조사되었다.

조사지역의 총질소량(TN)은 진주지역이 0.88%로 가장 많았고 함안지역이 0.52%로 가장 적게 조사되었다. 전체 평균 0.70% 대비 높게 나타난 지역은 진주, 거제, 밀양, 합천지역이었으며, 김해, 함안, 창녕은 낮게 나타났다.

유효인산은 전체 조사지 평균 25.17㎎/kg이었으며, 김해지역에서 33.70㎎/kg으로 가장 많았고 함안지역 18.32㎎/kg으로 가장 적었다.

양이온치환용량(CEC)는 평균 17.74㎤ol/kg이었으며, 합천지역에서 21.82㎤ol/kg으로 가장 많았고 창녕지역은 13.90㎤ol/kg으로 가장 적게 조사되었다.

치환성 양이온 확인결과 칼륨(K^+)함량은 전체 조사지 평균 0.17㎤ol/kg이며 합천지역에서 0.31㎤ol/kg로 가장 많았고 창녕지역에서 0.12㎤ol/kg로 가장 적게 조사되었다.

나트륨(Na^+)함량은 전체 조사지 평균 0.08㎤ol/kg이며, 거제지역이 0.13㎤ol/kg으로 가장 많았고 진주지역이 0.06㎤ol/kg으로 가장 적게 조사되었다.

칼슘(Ca^{2+})함량은 조사지 평균 1.50㎤ol/kg이며, 김해지역에서 3.34㎤ol/kg으로 가장 많았고 함안지역에서 0.11㎤ol/kg으로 가장 적게 조사되었다.

마그네슘(Mg^{2+})함량은 조사지 평균 1.18㎤ol/kg이며, 합천지역에서 3.73㎤ol/kg으로 가장 많았고 함안지역에서 0.26㎤ol/kg으로 가장 적게 조사되었다.

전기전도도(EC)는 전체 조사지 평균 0.35dS/m이며, 김해지역이 0.56dS/m으로 가장 높았고 함안지역이 0.26dS/m으로 가장 낮게 조사되었다(표11).

표 10. 조사지 입지환경

시군구	읍면동	생태권역	전체면적 (㎢)	시험구면적 (㎡)	대표수종	경사(%)
합천군	대양면	남동산야권역	〈0.01	400	소나무	〈10
창녕군	장마면	남동산야권역	〈0.01		소나무	〉50
밀양시	단장면	남동산야권역	0.17		굴참나무	〉50
진주시	이현동	산악권역	0.03		소나무	25~50
함안군	군북면	남동산야권역	〈0.01		소나무, 낙엽송, 굴참나무	25~50
김해시	상동면	남동산야권역	0.02		소나무, 리기다소나무, 굴참나무	〈10
거제시	문동동	해안도서권역	0.05		소나무	〉50

표 11. 조사지 토양특성

조사지	토성	산도 (pH)	유기물 OM(g/kg)	총질소 TN(%)	유효인산 ㎎/㎏	CEC (㎤ol/㎏)	치환성 양이온(㎤ol/㎏)				EC dS/m
							K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	
합천	식양토	4.56	35.40	0.71	22.88	21.82	0.31	0.09	2.55	3.73	0.29
창녕	사질 식양토	4.00	27.01	0.55	28.30	13.90	0.12	0.09	0.60	0.94	0.40
밀양	식양토	4.76	43.74	0.73	24.25	18.42	0.23	0.10	2.51	1.04	0.31
진주	사질 식양토	4.28	61.79	0.88	22.35	14.20	0.13	0.06	0.36	0.59	0.28
함안	식양토	4.22	20.08	0.52	18.32	18.80	0.15	0.07	0.11	0.23	0.26
김해	양토	4.70	43.54	0.64	33.70	16.48	0.19	0.10	3.34	1.10	0.56
거제	식양토	4.79	75.95	0.86	26.39	20.54	0.23	0.13	2.54	1.81	0.38
평균		4.47	43.93	0.70	25.17	17.74	0.17	0.08	1.75	1.43	0.35

Ⅳ. 적 요

경남지역의 산성화 산림피해 조사연구를 통하여 산림생태계에 미치는 영향을 구명하고 피해대책 수립에 필요한 자료를 수집하기 위하여 지역별 대기오염 실태 조사 및 기초 산림생태조사를 실시한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 지역별 대기 중 이산화황(SO_2)농도는 연평균 2.19ppb였으며, 김해지역이 3.28 ppb로 가장 높고 합천지역이 1.63ppb로 가장 낮았다.
2. 지역별 대기 중 이산화질소(NO_2)농도는 연평균 1.74ppb였으며, 진주지역이

2.30ppb로 가장 높고 합천지역이 1.10ppb로 가장 낮았다.

3. 지역별 대기 중 오존(O_3)농도는 연평균 24.39ppb였으며, 거제지역이 27.10ppb로 가장 높고, 진주지역이 21.40ppb로 가장 낮았다.
4. 고정조사지 7개소의 연평균 강수량은 1,524.9㎜였으며, 거제지역이 2,643.2㎜로 가장 많고, 밀양지역이 619.3㎜로 가장 적었다.
5. 지역별 강수산도(pH)는 연평균 5.85이였으며, 함안과 거제지역이 pH 5.44, pH 5.45으로 산성도가 높았고, 김해지역은 각각 pH 6.48로 산성도가 낮았다.
6. 지역별 강수의 음이온농도는 염소(Cl^-) 3.91ppm, 질산염(NO_3^-) 2.35ppm, 황산염(SO_4^{2-}) 2.51ppm이였으며 양이온 농도는 나트륨(Na^+) 0.92ppm, 암모늄염(NH_4^+) 0.49ppm, 칼륨(K^+) 0.68ppm, 마그네슘(Mg^{2+}) 0.07ppm, 칼슘(Ca^{2+}) 0.33ppm이였다.
7. 지역별 낙엽낙지 건중량은 연평균 482.19g이였으며 거제지역이 598.56g으로 가장 높고 밀양지역이 363.91g으로 가장 낮았다. 월평균은 11월이 102.57g으로 가장 높고 7월이 15.99g으로 가장 낮았다.
8. 지역별 조사지 입지환경 조사 결과, 토양산도(pH)는 pH4.47, 유기물함양(OM) 43.93g/kg, 총질소량(TN) 0.70%, 유효인산 25.17㎎/kg, 양이온치환용량 17.74㎤/kg이었으며, 치환성 양이온 확인결과 칼륨함량 0.17㎤/kg, 나트륨함량 0.08㎤/kg, 칼슘함량 1.50㎤/kg, 마그네슘함량 1.18㎤/kg로 확인되었다. 전기전도도(EC)는 0.35dS/m였다.

Ⅴ. 참고문헌

1. American Chemical Society. 1982. Acid deposition: Many new findings on this field were reported at the recent meeting of the American Chemical Society, Environ. Sci. Technol.
2. Miller, G, H. 1985. Acid flux and the lnfiuence of vegitatlon. Symposium on the effects on the air poiiution on forest and water ecosystem. Helsinki
3. 김은식 등. 1991. 대기오염이 식물군집의 생산성에 미치는 피해평가. 한국임학회 하계학술논문발표 요지집
4. 국립산림과학원. 2016. 산림토양 산성화 영향모니터링 및 평가·관리기술개발
5. 산림청. 2018. 2018년도 산림초양 산성화 모니터링 사업 지침
6. 이덕용. 1991. 산성우가 생태계에 미치는 영향. 산림지 304호

7. 박원규. 1992. 대기오염 증가에 따른 탄산가스 누적이 한국산 침엽수류의 생장 및 목재 재질에 미친 영향. 한국과학재단 보고서
8. 이경재 등. 1993. 산성우 및 대기오염 물질이 산림에 미치는 피해의 조기진단에 관한 연구. 한국과학재단
9. 김동엽 등. 1996. 대기오염물질의 산림생태계내 유입과 토양의 화학적 특성 변화
10. 김종갑 등. 1999. 대기오염지역의 해송 연륜 속의 중금속 분석
11. 조희두. 1999. 광천지역에서 주요수목의 대기오염물질과 중금속 흡수 정화기능에 관한 연구
12. 우수영. 2002. 여수산업단지의 대기오염 지역에 분포하는 내공해성 때죽나무 잎의 활성에 관한 연구
13. 김종국 등 12인. 2008. 신고산림보호학. 향문사
14. 이승우, 이충화 등. 2011. 대기오염과 산림생태계 변화. 국립산림과학원
15. 경상남도산림환경연구원. 2013. 시험연구보고서
16. 기상청. 2017. 2017년 우리나라 기온·강수량 현황 및 분석. 보도자료