

2005년 우리나라 습성강하물의 특성과 분포

A Characteristics and Distributions of Wet Deposition in Korea, 2005

한진석 · 이상덕* · 홍유덕 · 공부주 · 신선아 · 정일록
국립환경과학원 환경진단연구부
(2006년 5월 2일 접수, 2006년 6월 15일 채택)

J.S. Han, S.D. Lee*, Y.D. Hong, B.J. Kong, S.A. Shin and I.R. Jung
*Environmental Diagnostics Research Department, National Institute
of Environmental Research*

(Received 2 May 2006, accepted 15 June 2006)

Abstract

This study was carried out to characteristics and distributions of acid deposition in Korea. Precipitation was collected by acid deposition monitoring networks and analyzed for pH, conductivity, and following major ionic components SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} . During the investigation period, Volume weighted annual mean pH of precipitation in Korea is 4.8, showing slightly acidic level. The amount of rainfall in the range of pH 5.1~5.5 charged approximately 28% of annual precipitation, 23.4% in pH 4.6~5.0, and contributed 16.2% under pH 4.5. Among seasons, alkaline precipitation has occurred more often in spring, meanwhile acidic precipitation in which pH is under 4.5 has frequently occurred in autumn. Volume weighted annual mean concentrations of SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- are 2.558 mg/L, 1.590 mg/L, 1.286 mg/L respectively, and provided that SO_4^{2-} is the major contributor, followed by NO_3^- , Cl^- . In case of cation, annual mean concentration for NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ are 0.693 mg/L, 0.528 mg/L, 0.439 mg/L, 0.455 mg/L, 0.089 mg/L, 0.015 mg/L, and NH_4^+ were decided as the main contributor, followed by Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , H^+ . Annual wet deposition rate for sulfate, nitrate and ammonia are $3.316 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$, $2.057 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$, $0.894 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$, respectively, and it was founded that the deposition flux in summer contributes about 38.42% to 67.62% to total deposition.

Key words : Acid deposition, Wet deposition, pH, Ion concentration

1. 서 론

산성강하물로 인하여 발생하는 환경 문제들에 관

한 많은 관심으로 인해 지난 수십 년간 산성강하물
에 관한 집중적인 연구들이 수행되었다. 산업 사회로
의 급속한 발전은 에너지 소비의 증가를 불러 일으
켰고 이로 인하여 산업화가 진행 중인 국가에서는
국지적, 광역적 대기환경문제들이 사회적 관심사로
부각되었다. 대리석 건축물의 부식, 호수나 강의 산성

*Corresponding author.
Tel : +82-(0)32-560-7117, E-mail : deogie@hanmail.net

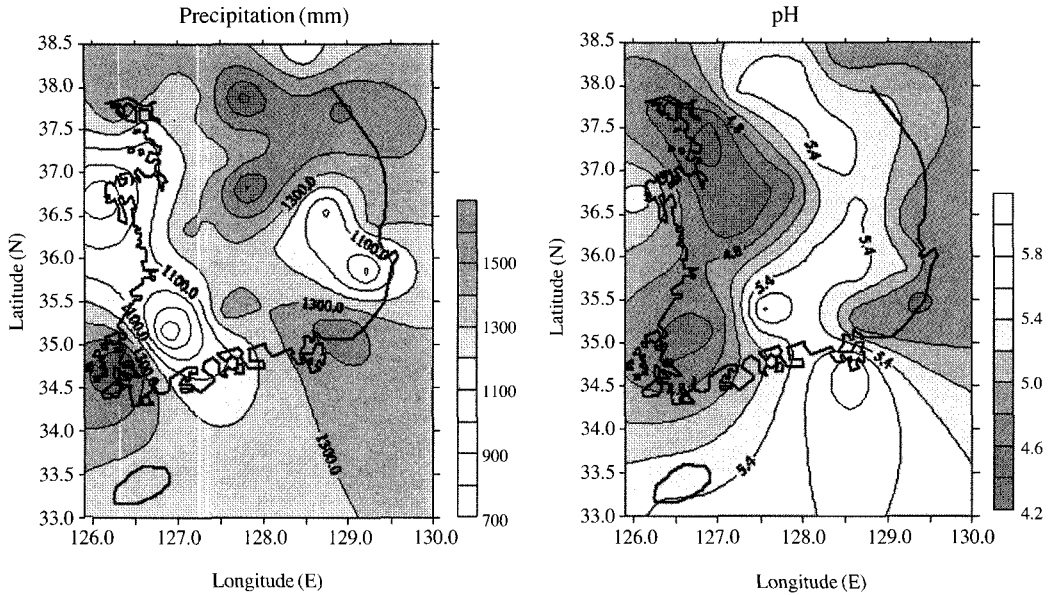


Fig. 2. Spatial distributions of precipitation amounts and pH in Korea, 2005.

3. 결과 및 고찰

3.1 강수와 pH

조사기간 동안 전체 지역에 대한 강수량 가중 평균(VWM : Volume-weighted arithmetic mean) pH는 4.8 수준으로 나타났으며, 표 1과 같이 2001, 2002, 2003, 2004년의 각각의 pH는 5.0, 5.0, 4.7, 4.8과 비슷한 수준의 값을 나타냈다(한진석 등, 2005).

그림 2는 조사기간 동안 우리나라의 지역별 강수량 및 pH 분포를 나타낸 것이다. 강원도 전역과 경상남도 거제와 전라남도 목포지역에 비교적 높은 강수량을 나타냈고, pH는 4.2~6.0 범위로 수도권 지역 pH가 4.5 이하로 낮게 나타났으며, 전반적으로 서해안지역이 낮은 pH값을 나타냈다. 미국의 경우에는 2000~2004년 연평균 pH가 4.3~5.9로 우리나라와 비슷한 수준을 나타냈으며, Pennsylvania, New York, Ohio 주에서 우리나라의 수도권 지역과 같은 수준인 pH 4.3~4.5를 나타냈고, 익산, 임실 지역에서 pH 5.8~6.0의 높은 수치를 나타냈으며, California 주에서 pH 5.2~5.9의 높은 수치를 나타냈다(NADP, 2004).

그림 3은 pH별 강수량 분포를 나타낸 것으로, 가장 많은 강수량 분포는 pH 5.1~5.5 범위로 28.0%의

Table 1. Annual average of pH in Korea, 2001~2005.

	2001	2002	2003	2004	2005
pH	5.0	5.0	4.7	4.8	4.8

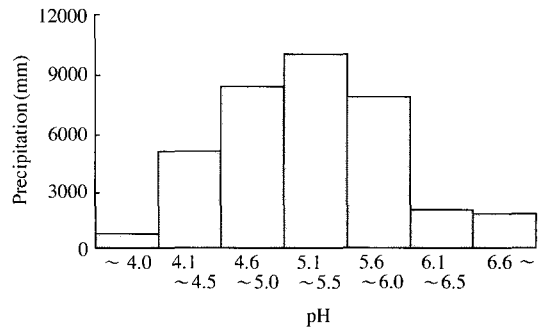


Fig. 3. Distribution of precipitation amount according to pH class.

비율을 차지하였으며, pH 4.6~5.0 범위는 23.4%를 차지하였으며, pH 4.5 이하도 전체 강수량의 16.2%의 높은 비율을 차지했다.

그림 4는 강수량과 pH사이의 관계를 알아본 것으로, 강수량이 적은 경우에 pH값이 3.5~7.8 사이의

다양한 값을 나타냈다. 이는 측정지점의 지역적 또는 계절적 특성에 따라 대기 중에 존재하는 산성물질 또는 알칼리성 물질들이 강수량이 적을 경우에 pH 값에 영향을 미치는 정도가 크기 때문이다. 다시 말해, 초기 강수 시에는 세정효과(washout)에 의해 강수의 pH값에 영향을 많이 준 결과이며, 강수량이 많을수록 대체적으로 변화폭이 좁아지면서 강수의 pH가 거의 일정한 값을 나타내고 있었다.

3.2 이온성분 특성

강수의 pH에 따른 주요 이온성분들의 분포변화 특성을 그림 4에 나타냈다.

pH 4.6~5.0 범위에서 이온성분의 농도가 가장 낮게 나타났다가 pH 수준이 낮아지거나 높아짐에 따라 이온성분 농도가 상승하는 경향을 나타냈으며, 음이온 SO_4^{2-} 와 Cl^- 성분과 양이온 Ca^{2+} , Mg^{2+} 는 pH 변화에 따라 농도 변화가 현저하게 나타났다. SO_4^{2-} 와 NO_3^- 는 pH 4.0 이하의 범위에서 각각 22.0, 20.9%의 높은 구성비를 보였으며, pH 5.1~5.5 범위에서 SO_4^{2-} 과 NO_3^- 의 비율이 12.3%로 같은 비율로 낮아졌는데, 이는 이민희 등(1989)에 의한 연구 pH 5.1~5.5 범위에서 SO_4^{2-} 의 비율이 낮아지고, NO_3^- 의 비율이 증가하여 질산염 보다는 황산염 계통이 강우

의 pH에 큰 영향을 준다는 결과와 다르게 나타나는 것으로 보아, 최근 강수의 특성은 황산염뿐만 아니라 질산염에 의한 영향도 크게 받는 것으로 사료된다.

또한, 강수 중에 존재하는 이온성분의 총 당량농도에 대한 각 이온성분 당량농도의 구성비를 살펴보면, 음이온 성분 중에는 SO_4^{2-} 가 47%, Cl^- 가 31% 및 NO_3^- 가 22%를 차지하고 있으며, 양이온 성분 중에는 NH_4^+ 가 33%로서 가장 높은 비율을 차지하고 있으며, Ca^{2+} , Na^+ , H^+ , K^+ , Mg^{2+} 순으로 각각 19, 19, 13, 10 및 6%를 차지했다. 서울지역의 경우 SO_4^{2-} 가

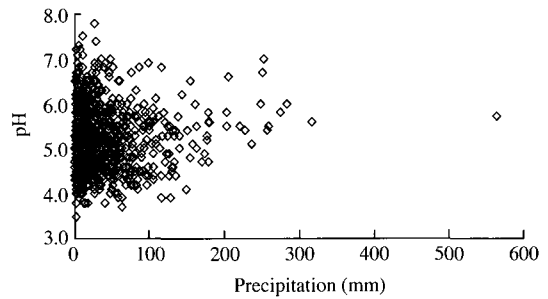


Fig. 4. Relationship between pH and precipitation at sampling sites.

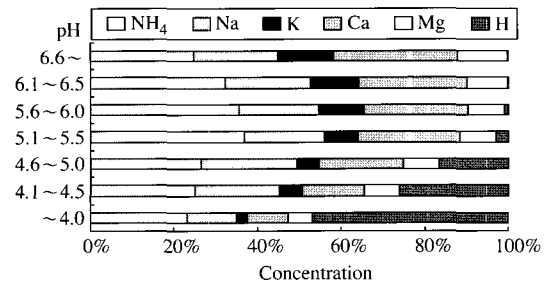
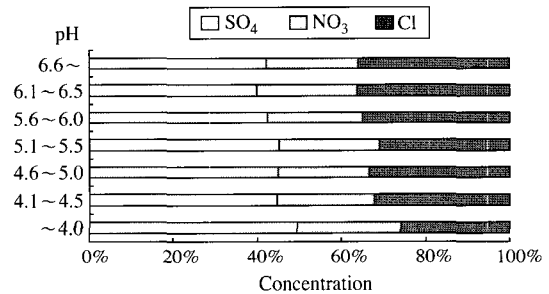
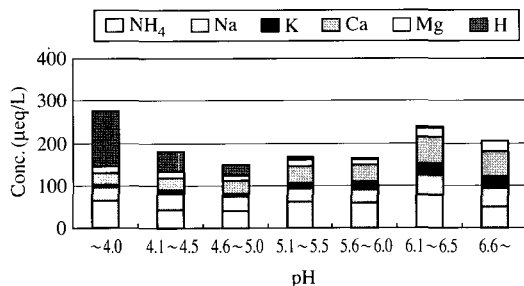
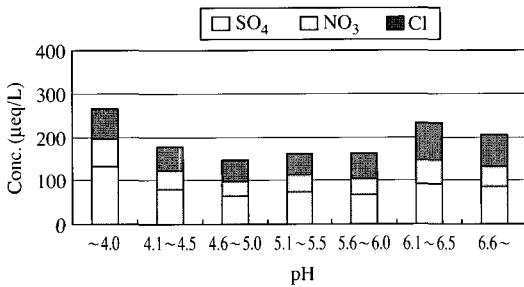


Fig. 5. Variation of ion equivalent concentration on pH value.

51.4%, NO₃⁻가 26.4% 및 Cl⁻가 22.2%를 차지하여, 김만구 등(1999)의 연구결과와 비교할 때 SO₄²⁻가 65.9%, NO₃⁻가 29.6% 및 Cl⁻가 4.5%로 SO₄²⁻의 기여는 감소한 반면, NO₃⁻의 기여가 증가하였다.

SO₄²⁻는 2.305 mg/L, NO₃⁻ 1.477 mg/L 및 NH₄⁺는 0.728 mg/L에서 SO₄²⁻는 2.558 mg/L, NO₃⁻ 1.590 mg/L 및 NH₄⁺는 0.693 mg/L를 나타냈다.

표 2는 측정지점별로 강수 중 주요이온성분에 대한 강수량 가중 연평균농도를 나타낸 것이다.

주요 이온성분의 항목별 농도범위를 살펴보면 음이온 성분 중 SO₄²⁻는 1.617~4.570 mg/L, NO₃⁻ 1.029~2.754 mg/L 및 Cl⁻ 0.601~3.414 mg/L를 나타내고 있으며, 양이온 성분 중 NH₄⁺는 0.344~1.201 mg/L, Na⁺ 0.245~1.698 mg/L, K⁺ 0.125~1.957 mg/L, Ca²⁺ 0.177~1.026 mg/L, Mg²⁺ 0.025~

0.315 mg/L, H⁺ 0.001~0.058 mg/L의 범위를 나타내고 있다. SO₄²⁻와 NO₃⁻의 농도는 강화에서 4.570 mg/L, 2.754 mg/L로 가장 높게 나타났으며, NH₄⁺는 1.201 mg/L로 원주에서 가장 높게 나타났는데, 이 수치는 SO₄²⁻의 경우 미국에서 가장 높은 농도를 나타낸 지역 Ohio 주의 2.1 mg/L보다 2.2배 높은 값을, NO₃⁻의 경우 Michigan 주의 1.5 mg/L보다 1.8배 높은 값을, NH₄⁺의 경우 Michigan 주의 0.52 mg/L보다 2.3배 높은 값을 나타냈다(NADP, 2004).

조사기간 동안의 평균 비해염기원 주요 이온성분 농도는 음이온 성분 중 SO₄²⁻가 2.43 mg/L, Cl⁻이 0.80 mg/L로 나타났으며, 양이온 성분 중 K⁺가 0.69 mg/L, Ca²⁺ 1.27 mg/L 및 Mg²⁺ 0.53 mg/L로 나타났으며, 이중 SO₄²⁻, K⁺ 및 Ca²⁺의 농도 중 비해염기원이 약 90% 이상을 차지하였다.

Table 2. Average concentration of major ions at each site.

(unit : mg/L)

Site	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H ⁺
Seoul	2.869	1.898	0.915	0.676	0.287	0.157	0.356	0.073	0.039
Incheon	3.741	2.740	1.380	1.024	0.486	0.299	0.853	0.146	0.032
Ganghwa	4.570	2.754	2.157	1.037	0.963	0.256	0.460	0.165	0.058
Ansang	2.999	1.894	1.162	0.865	0.330	0.174	0.446	0.091	0.030
Pocheon	2.519	1.590	0.845	0.682	0.295	0.174	0.177	0.032	0.033
Icheon	2.412	1.528	1.029	1.188	0.253	0.477	0.262	0.025	0.004
Chuncheon	2.521	1.598	0.720	0.764	0.378	0.179	0.327	0.047	0.017
Gangreung	2.659	1.556	2.155	0.687	0.819	1.592	0.483	0.121	0.003
Wonju	3.012	1.815	1.079	1.201	0.250	0.553	0.465	0.063	0.005
Goseong	1.617	1.071	1.130	0.561	0.523	0.310	0.267	0.061	0.005
Yanggu	1.962	1.201	0.601	0.482	0.352	0.160	0.298	0.038	0.015
Jecheon	2.488	1.385	0.869	0.888	0.245	0.477	0.413	0.069	0.004
Goesan	2.288	1.346	0.860	0.920	0.337	0.369	0.239	0.038	0.004
Daejeon	2.296	1.463	1.190	0.592	0.348	0.503	0.422	0.056	0.023
Taejeon	2.431	1.474	1.901	0.344	0.707	0.431	0.690	0.119	0.027
Gongju	2.363	1.518	1.329	0.684	0.327	0.457	0.542	0.062	0.022
Daegu	2.854	1.870	1.324	0.604	0.576	0.396	1.026	0.125	0.005
Gyeongju	2.576	1.325	1.606	0.667	0.835	0.595	0.526	0.117	0.003
Andong	3.623	2.439	1.202	0.894	0.655	0.556	0.967	0.153	0.006
Gimcheon	2.856	1.913	1.070	0.812	0.653	0.509	0.532	0.098	0.004
Yeongdeok	2.218	1.270	1.677	0.690	0.817	0.360	0.323	0.112	0.004
Busan	2.823	1.972	1.493	0.864	0.504	0.495	0.662	0.103	0.016
Changwon	2.857	1.696	1.311	0.433	0.334	0.125	0.624	0.079	0.015
Geoje	3.187	1.887	2.714	0.438	1.276	0.316	0.933	0.298	0.016
Geocheon	2.328	1.337	0.714	0.590	0.305	0.217	0.669	0.064	0.004
Ulsan	1.897	1.029	1.904	0.422	0.681	0.966	0.388	0.080	0.006
Iksan	2.637	1.729	1.502	0.719	0.924	0.790	0.270	0.065	0.001
Imsil	2.279	1.698	1.619	0.619	0.511	1.957	0.224	0.048	0.001
Gwangju	3.263	1.875	1.086	1.088	0.596	0.207	0.400	0.081	0.017
Gwangyang	2.399	1.442	0.970	0.550	0.672	0.176	0.313	0.053	0.015
Mokpo	3.183	1.811	1.416	1.003	0.718	0.232	0.435	0.115	0.014
Jeju	3.000	1.489	3.414	0.512	1.698	0.286	0.422	0.315	0.030

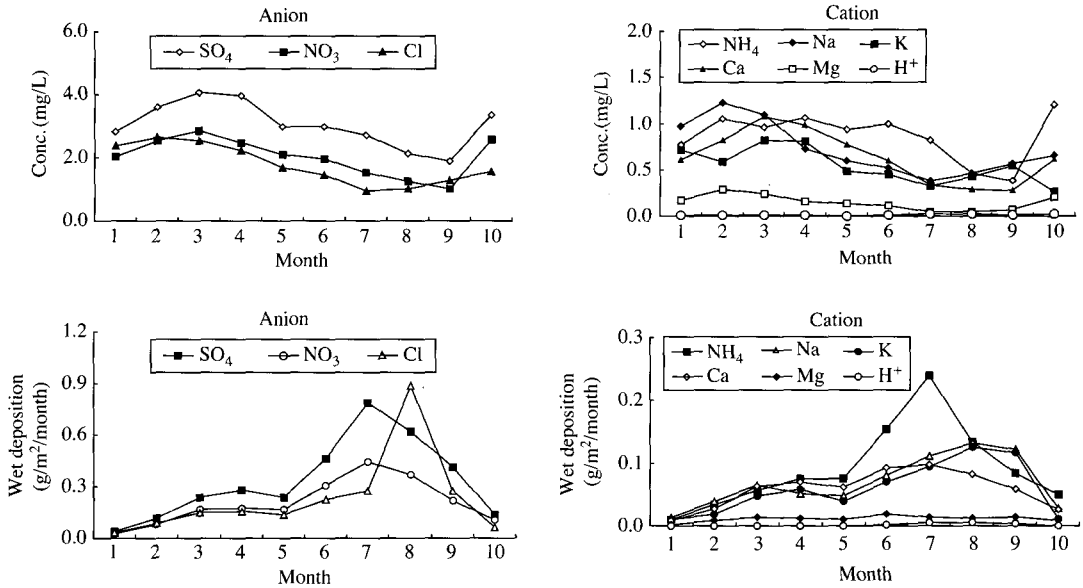


Fig. 6. Monthly variations of ion concentration and wet deposition amounts in precipitation.

3.3 습성강하물의 침착량

조사기간 동안 각 측정지점에 대한 주요 이온성분의 연간 습성강하물 침착량을 산정하였다.

그림 6은 강수량 가중 월평균 이온농도와 습성강하물의 침착량을 월별로 나타낸 것으로, 음이온(SO₄²⁻, NO₃⁻)과 양이온(NH₄⁺, Ca²⁺) 성분이 봄철에 다소 높게 나타나다가 7, 8, 9월에 낮아지는 월별 변동 특성을 나타내고 있다. 이는 봄철에 특히 높게 나타나는 현상은 이 시기에 빈번히 발생하는 황사현상에 의한 영향으로 특히 Ca²⁺가 많아진 것으로 사료되고, 여름철에는 우리나라의 강수특성상 강수 횟수가 잦고 강수량이 매우 많아서 이 시기에 강수에 유입되는 입자상물질과 가스상물질의 양은 상대적으로 적어지게 되므로 강수 중 주요이온성분의 농도는 낮아지게 된다. 이러한 월별 농도 변화를 보임에도 불구하고 습성강하물의 침착량은 우리나라 강수 특성상 여름철에 집중적인 강우현상을 보여 여름철에 38.4~67.6%의 침착량을 나타내고 있다.

주요 이온성분별 침착량을 보면 SO₄²⁻가 3.316 gm⁻² yr⁻¹, NO₃⁻ 2.057 gm⁻² yr⁻¹ 및 Cl⁻ 1.710 gm⁻² yr⁻¹로서 SO₄²⁻>NO₃⁻>Cl⁻ 순으로 나타났으며, 양이온 성분은 NH₄⁺ 0.894 gm⁻² yr⁻¹, Na⁺ 0.698 gm⁻² yr⁻¹, K⁺ 0.592 gm⁻² yr⁻¹, Ca²⁺ 0.582 gm⁻² yr⁻¹, Mg²⁺

0.114 gm⁻² yr⁻¹, H⁺ 0.019 gm⁻² yr⁻¹로서 NH₄⁺>Na⁺>K⁺>Ca²⁺>Mg²⁺>H⁺ 순으로 나타났다. SO₄²⁻가 3.159 gm⁻² yr⁻¹, NO₃⁻ 2.028 gm⁻² yr⁻¹ 및 NH₄⁺ 0.991 gm⁻² yr⁻¹을 나타낸 2004년(한진석 등, 2004)과 같은 수준의 습성강하물 침착량을 나타냈다.

그림 7은 습성강하물 침착량의 공간적 분포특성을 나타낸 것으로 강수량의 차이에 따라 크게 영향을 받았다. 1997년(김만구 등, 1999)과 2005년의 연도별, 서울지역과 춘천지역의 지역별 습성강하물의 침착량을 비교해보면, 서울지역의 SO₄²⁻가 3.281 gm⁻² yr⁻¹에서 3.740 gm⁻² yr⁻¹으로, NH₄⁺은 1.064 gm⁻² yr⁻¹에서 0.881 gm⁻² yr⁻¹로 차이를 나타냈으며, 춘천지역의 경우 SO₄²⁻가 1.754 gm⁻² yr⁻¹에서 3.216 gm⁻² yr⁻¹으로, NH₄⁺ 0.602 gm⁻² yr⁻¹에서 0.975 gm⁻² yr⁻¹로 춘천지역의 SO₄²⁻ 침착량이 현저히 증가하였음을 알 수 있었다.

NADP(2004)의 보고에 의하면, 미국에서 SO₄²⁻ 침착량이 많았던 Pennsylvania, New York 및 Ohio 주의 침착량 수준이 1.6~3.5 gm⁻² yr⁻¹로 우리나라의 평균 침착량에 가깝고, NO₃⁻의 경우 1.0~1.9 gm⁻² yr⁻¹의 침착량을 보여 우리나라의 평균보다도 낮은 수준임을 알 수 있었다. 그리고 NH₄⁺ 역시 0.24~0.59 gm⁻² yr⁻¹ 수준의 침착량을 보여 우리나라가 미국보

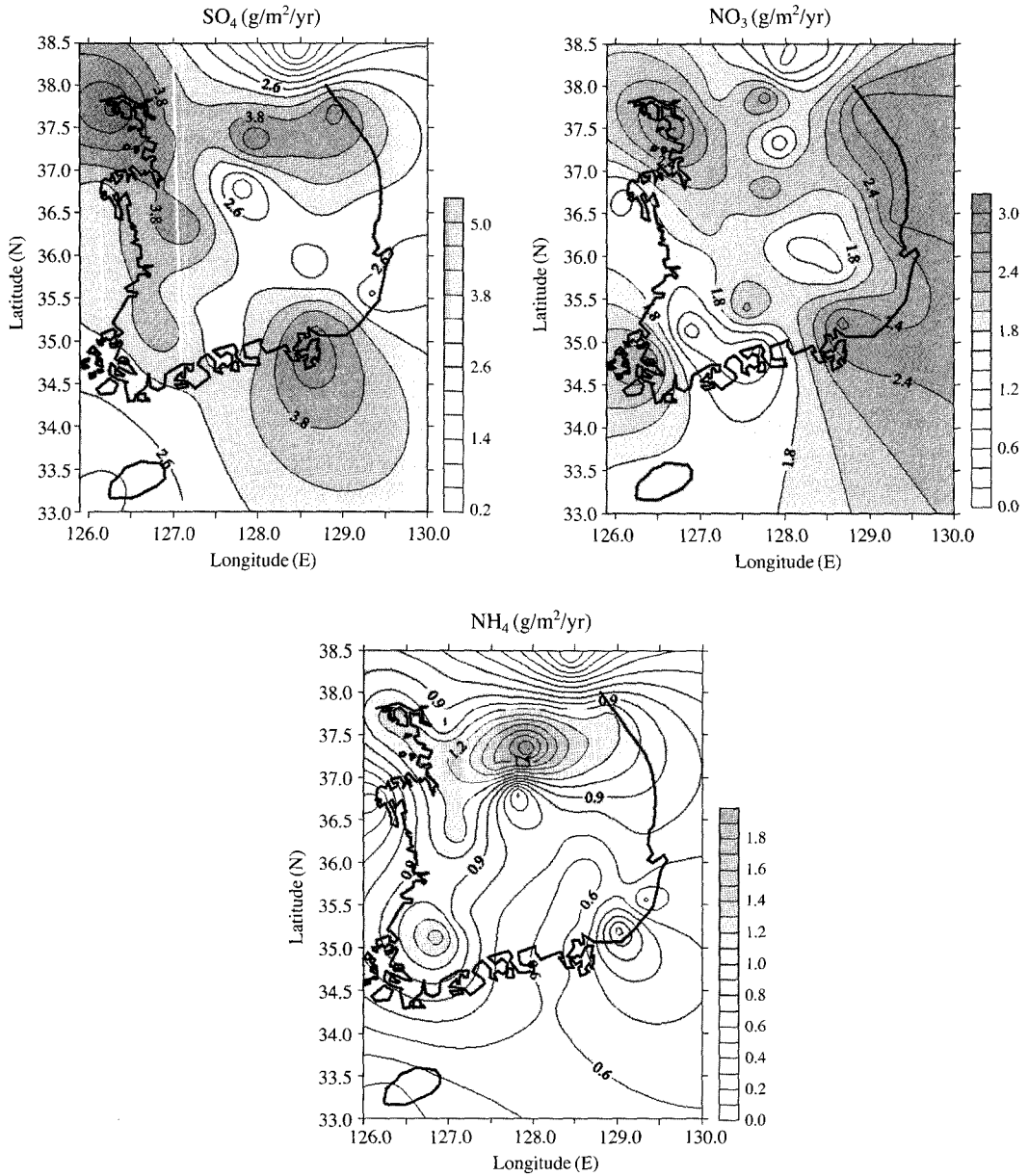


Fig. 7. Spatial distribution of annual wet deposition of ionic components in Korea.

다 전반적으로 높은 침착량을 나타내고 있음을 알 수 있었다.

3.4 기류의 이동경로에 의한 pH 및 이온의 분포특성

대기오염물질의 장거리 수송의 문제를 연구하기

위해서는 오염물질이 배출되고 수송되는 지역을 대상으로 오염물질의 이동경로를 파악하였다. 중국과 가장 가까운 서해상은 대기오염물질의 장거리 이동의 영향을 가장 크게 받을 가능성이 높다. 대기오염물질의 장거리 수송은 대기의 운동 즉 바람에 의해서 이루어지는 현상을 말하며 그 수송경로는 실제로

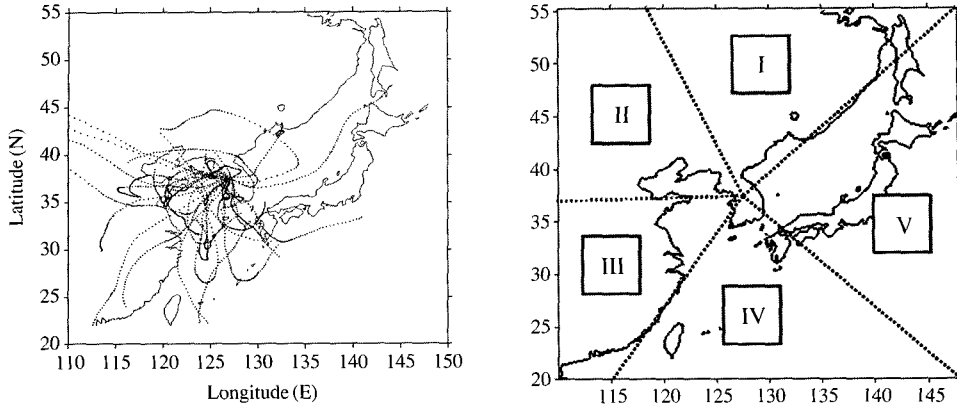


Fig. 8. Analyses of Backward trajectory in Seoul, 2005.

Table 3. Summary of backward trajectory for the different type of air mass (1,000 m) in Seoul, 2005.

Seoul	Total case (%)	Episodic case (%)		
		SO ₄ ²⁻ > 100 µeq/L	NO ₃ ⁻ > 50 µeq/L	NH ₄ ⁺ > 100 µeq/L
Region I	6.45	8.33	7.69	16.67
Region II	9.68	8.33	0.00	0.00
Region III	38.71	41.67	53.86	66.67
Region IV	32.26	33.33	30.77	16.67
Region V	12.90	8.33	7.69	0.00

공기 덩어리의 이동경로를 추적함으로써 알 수 있다.

2005년 강수가 있던 기간 서울 지역에 대한 역계적을 분석한 결과 기류의 빈도가 권역 III > IV > V > II > I의 순서를 나타냈으며, 권역 III, IV에서 38.71%, 32.26% 씩에 해당되는 기류의 주 이동경로임을 알 수 있었다. 그림 8과 표 3에 권역별로 구분하여 정리하였다.

강수 중 이온성분 농도가 SO₄²⁻ > 100 µeq/L, NO₃⁻ > 50 µeq/L, NH₄⁺ > 100 µeq/L 때의 에피소드 분석을 해 본 결과 기류의 유입빈도가 다른 권역에 비해 중국 최대의 종합 공업지역인 화중 공업지역(상하이, 충칭, 우한)에서 이동된, 권역 III에서 41.67, 53.85, 66.67%의 높은 비율을 나타냈다.

정용승과 김태근(1991)은 우리나라 서해안에서 수집된 강우의 음이온과 양이온 값이 태평양이나 대서양에서 관측되는 배경지역 농도보다 높게 분석 되는 것으로 보아 저기압의 서북서 기류와 함께 중국에 근원을 둔 대기오염물질이 많이 포함되었기 때문이

라고 해석하고 있다.

4. 결 론

2005년 우리나라 산성강하물의 분포와 특성을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 2005년 우리나라의 강수량 가중 연평균 pH는 약 4.8 수준으로 강우의 산성도는 약산성의 경향을 보였으며 측정지점별 pH는 4.4~6.0 범위로 지역에 따라 다소 차이를 나타내고 있으며, 수도권지역 pH는 4.5 이하로 나타났다.

2. pH에 따른 강수량은 pH 5.1~5.5 범위에서 약 28.0%를 차지하였고 pH 4.6~5.0 범위에서 약 23.4%를 차지하였으며 pH 4.5 이하에서 약 16.2%를 차지하였으며 계절별로는 봄철에 pH 6.1 이상의 알칼리성 강수가 많이 나타나고 있으며 가을철에 pH 4.5 이하의 산성도가 높은 강수가 많이 발생하였다.

3. 강수량 가중 음이온 성분 평균농도는 SO₄²⁻가 2.558 mg/L, NO₃⁻ 1.590 mg/L 및 Cl⁻ 1.286 mg/L로서 SO₄²⁻ > NO₃⁻ > Cl⁻의 순으로 나타났으며, 양이온 성분 평균농도는 NH₄⁺가 0.693 mg/L, Na⁺ 0.528 mg/L, K⁺ 0.439 mg/L, Ca²⁺ 0.455 mg/L, Mg²⁺ 0.089 mg/L, H⁺ 0.015 mg/L로 나타났으며, 계절별 이온성분 농도는 봄철에 높게 나타나다가 여름철에 낮아지는 변동 특성을 나타냈다

4. 연간 습성강하물 침착량은 음이온이 7.08 gm⁻² yr⁻¹ 및 양이온이 2.90 gm⁻² yr⁻¹로, 주요 이온성분은

SO_4^{2-} 가 $3.316 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$, NO_3^- $2.057 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 및 Cl^- $1.710 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 로 나타났고, 양이온 성분은 NH_4^+ 가 $0.894 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$, Na^+ $0.698 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$, K^+ $0.592 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$, Ca^{2+} $0.582 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$, Mg^{2+} $0.114 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$, H^+ $0.019 \text{ gm}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ 로 나타났으며 계절별로는 여름철의 침착량이 전체 침착량 중 약 38.42~67.62%를 차지하는 것으로 나타났다.

5. pH값의 공간적 분포를 보면, 내륙지역과 남동부, 남서부 지역에서 비교적 낮은 pH를 보이고 있으며 습성강하물 침착량의 공간적 분포는 총 음이온, 총 양이온 침착량 모두 해안지역에서 비교적 높은 침착량 분포 현상을 보이고 있다.

6. 서울지역에 대해 강우가 있었던 날을 역궤적 분석한 결과 중국 최대의 종합 공업지역인 화중 공업지역(상하이, 충칭, 우한)에서 기류가 기인하여 이동하였을 때 강수 중 이온성분 농도가 높게 나타났다.

참 고 문 헌

- 김만구, 강미희, 임양석, 박기준, 황훈, 이보경, 홍승희, 이동수 (1999) 산성강하물의 침착량과 동태 해명에 관한 연구 - 춘천과 서울 강우의 화학조성 비교, 한국대기환경학회지, 15(2), 89-100.
- 이민희, 한진석, 한의정, 신관기(1989) 황사현상시 강수의 화학적 성분에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 5(2), 1-11.
- 정용승(1990) 대기오염물질의 장거리 이동사례 및 황사발원지 추적, 대기오염물질의 장거리 이동과 산성비 강하에 관한 연구(II), 국립환경연구원보, 195-253.
- 정용승, 김태군(1991) 한국 서해안에서 관측된 산성비의 발원지 추적연구, 한국대기보전학회지, 7(3), 203-207.
- 한진석, 공부주, 홍유덕, 이민도, 이상덕, 최진수, 안준영, 신선아, 이석조, 이덕길(2004) 산성강하물 모니터링과 생태계 영향조사(I)- 습성강하물 모니터링을 중심으로-, 국립환경과학원보, 182-183.
- 한진석, 공부주, 홍유덕, 이민도, 이상덕, 신선아, 최진수 (2005) 산성강하물 모니터링과 생태계 영향조사(II), 국립환경과학원보.
- Cowling, E.B. (1982) A historical resume of progress in scientific and public understanding of acid precipitation and its biological consequences, Acid Precipitation, 43-70.
- MOI (1983) U.S.-Canada Memorandum of Intent on Transboundary Air Pollution, Final Report, Impact Assessment Group.
- NADP (2004) National Atmospheric Deposition Program 2004 Annual Summary, 16pp.
- Raynor, G.S. and J.V. Hayes (1982) Variation in chemical wet deposition with meteorological conditions, Atmospheric Environment, 16, 1647-1656.
- Samara, C., R. Tsitouridou, and C. Balafoutis (1992) Chemical composition of rain in Thessaloniki, Greece, In relation to meteorological conditions, Atmospheric Environment, 26B, 359-367.