

2005년 부산지역 이슬의 생성과 화학적 특성

전 병 일 · 황 용 식 · 박 광 순*

신라대학교 환경공학과, *인제대학교 산업의학연구소, **장영실과학고등학교
(2006년 6월 29일 접수; 2006년 9월 14일 채택)

Formation and Chemical Characteristics of Dewfall in 2005 at Busan

Byung-Il Jeon, Yong-Sik Hwang* and Gwang-Soon Park**

Department of Environmental Engineering, Silla University, Busan 617-736, Korea

*Institute of Industrial Medicine, Inje University, Busan 614-735, Korea

**Jangyongsil Science High School, Busan 611-089, Korea

(Manuscript received 29 June, 2006; accepted 14 September, 2006)

In order to understand chemical characteristics and formation of dewfall in Busan, we analysed monthly distribution of dewfall, and investigated its chemical composition of dewfall. This study used the modified teflon plate (1m × 1m) at Jangyongsil science high school from June 2005 to October 2005. In order to estimate qualitatively water soluble components, IC, ICP and UV methods for water soluble ions are also used respectively. Dewfall amount of sampling periods (26 day) collected 1.29 mm. Distribution of water soluble ions in dewfall founded the highest concentration (81.3 $\mu\text{eq}/\ell$ for NO_3^- , 146.6 $\mu\text{eq}/\ell$ for SO_4^{2-} , and 114.3 $\mu\text{eq}/\ell$ for nss-SO_4^{2-}) during the June. pH was the lowest by 5.12 June, and October (pH 6.68) by most high and average pH was 5.46. Monthly equivalent ratio of $[\text{SO}_4^{2-}]/[\text{NO}_3^-]$ showed the highest value (2.94) during the September, the lowest value (1.77) during the July, and the mean value was 3.45.

Key Words : Dewfall, Chemical composition, Water soluble ions, Equivalent ratio

1. 서 론

지표의 물체가 야간복사에 의해 냉각되어 부근의 기온이 노점이하로 떨어지면 이슬이 생성된다¹⁾. 이슬이 생성되기 위해서는 공기 중의 풍부한 습기, 충분한 야간복사냉각 그리고 지면이나 풀잎사귀 등에 수분이 풍부하여야 한다. 습기는 주위의 호수 또는 연안으로부터의 공급이나 비가 온 후의 습한 토양에서 공급된다. 늦여름부터 늦가을까지 이슬이 많이 생기는 이유가 이와 같은 조건을 갖추었기 때문이다. 한여름의 경우, 습기는 풍부하지만 충분한 야간복사냉각이 어렵고, 한겨울의 경우, 야간복사는 강

하지만 공기 중의 습기가 부족하다²⁾.

이슬의 역할을 생태학적 관점에서 보면, 어린 묘목의 생존과 생장을 연장시켜 작물증산을 증가시키거나, 식물의 증산작용을 감소시키며 잎이 시드는 것을 막고 열대지역에서의 착생 미생물 서식환경에 습도를 증가시키는 장점이 있다³⁾. 또한 이슬은 농작물에 대하여 지상으로부터 물 공급원이 될 뿐만 아니라, 이슬에 의하여 농작물의 염류농도가 조절되어 작물생리에 좋은 영향을 끼친다. 한편, 농작물의 잎면(葉面)에 이슬이 많이 맺히면, 밤 동안의 호흡작용이 방해되어 농작물의 소모가 적어지므로 기온의 일교차가 큰 것과 같은 영향을 작물영양생리에 주게 되므로 좋은 결과를 가져다준다. 또한 강수량이 작은 섬 지방에서는 이슬을 인공적으로 채취하여 생활용수로 사용하는가 하면, 심지어 음용수로 사용하는 방안도 고려중인 지역도 있다⁴⁾.

Corresponding Author : Byung-Il Jeon, Department of Environmental Engineering, Silla University, Busan 617-736, Korea
Phone: +82-51-309-5056
E-mail: bijeon@silla.ac.kr

그러나 이슬이 자주 맺혀 작물체의 표면이 장시간 젖어 있으면 박테리아와 균에 의한 감염을 증진시켜 병원균(病原菌)이 번식하기 쉽다. 과물(果物) 등은 과면(果面)에 이슬이 많이 붙으면 얼룩점이 생기는 원인이 되어 품질이 나빠질 염려가 있다. 또한 이슬은 많은 식물질병의 번식과 확장, 벌레의 활동 그리고 살충제의 살포에 중요한 역할을 한다. 그리고 땅콩, 면, 감귤류 등의 농작물 수확량은 이슬에 의해 많은 영향을 받는다⁵⁾. 이슬은 표면젖음 현상으로 인해 재료의 부식에 매우 큰 기여를 할 수 있다. 표면젖음은 재료에 전해질을 제공해서 전기화학적 부식을 향상시키고 산성매개물질의 증가는 화학적인 반응이 활발하도록 한다.

우리나라에서 이슬에 대한 연구의 예를 보면, 주영특과 김영채⁶⁾가 산성이슬과 분진이 수목에 미치는 영향을 알기 위해 경부고속도로변의 수목을 이용하여 생육상태, 엽록소 함량, 부착분진량, 이슬의 산도를 조사한 바 있다. 정용승과 김태균⁷⁾은 충북 청원군에서 안개, 이슬, 서리를 채취해 산성도와 그 변동을 분석한 바 있으나, 그 화학적조성에 대해서는 조사하지 않았다. 이정택 등⁸⁾은 비군락 내 습윤상태를 추정하고자 이슬추정시간을 검토하여 사용한 바 있다. 또한 김영채 등⁹⁾은 산림지역 내에 형성되는 이슬의 pH와 화학적 특성 그리고 용존원소량을 파악하기 위해 서울의 남산, 경기도 신갈, 강원도 평창의 3개 지역을 대상으로 이슬을 채취하여 분석한 바 있다. 전병일 등¹⁰⁾은 대도시(부산시 사상구)에서 이슬의 생성과 화학적조성에 대해 고찰한 바 있다. 본 연구에서는 2005년 부산시 연제구의 장영실과학고에서 이슬을 인공적으로 채취하여 이슬생성과 화학적 조성에 관한 특성을 밝히고자 하였다.

2. 실험방법

2.1. 이슬채취지점과 채취기간

본 연구를 위한 이슬 채취는 부산시 연제구 장영실과학고등학교 기숙사 앞 잔디밭에서 실시하였다. 채취지점의 북쪽에는 부산경상대학, 부산외국어고등학교 등이 있으며, 동쪽에는 부산광역시교육연수원 및 아파트 등이 있고 서쪽과 남쪽에는 나지막한 야산이 있는 지형을 하고 있다. 따라서 채취지점 주변에는 강력한 인위적인 오염원이 있다고 할 수 없는 지형적 특성을 가지고 있다. 이슬의 채취기간은 2005년 6월부터 10월까지로 총 5개월이었으며 채취일수는 26일이었다.

2.2. 이슬의 채취방법

이슬 채취장치는 지면으로부터의 지구복사를 차단하기 위해 2 mm의 나무합판 위에 야간복사에 의한

냉각효과를 유발하기 위해 2 mm의 두께의 알루미늄판을 부착시키고, 그 위에 화학적으로 반응이 없는 2 mm 두께와 1 m × 1 m 넓이의 테플론 판로 구성되어 있다. 이 판들은 지표로부터의 오염을 제거하기 위해 지면으로부터 약 1 m 위에 설치하였다. 이슬의 채취는 이슬이 발생할 수 있는 기상조건(운량이 5/10 이하이고, 풍속이 5 m/s 이하)이라고 판단되는 전날 저녁 9시경에 지정된 장소에 설치하고 일출 전에 화학적으로 깨끗한 테플론을 이용하여 표면에 생긴 이슬 전량을 깨끗하게 쓸어 담아 초순수로 세척된 폴리에틸렌 병에 수집하였다.

2.3. pH 측정과 전기전도도 측정

테플론 판으로부터 이슬을 채취한 후, 입자상 물질의 혼입으로 산성도 및 화학조성에 영향을 미칠 수 있으므로 실험실로 가져와 즉시 0.45 μm 필터를 이용하여 침전물이나 부유물을 제거하였다. 여액 중 약 10 ml를 분취하고 pH 측정기(Orion, 410)와 전기전도도계(HI 991300, Hanna제)를 이용하여 pH와 전기전도도를 측정하였다. pH meter는 표준용액(pH 4.0과 pH 7.0)으로 보정하였으며, 전기전도도는 측정 전에 1,413 μS/cm과 1100배 희석한 1.28 μS/cm의 표준용액(HI7031)을 사용하여 실온에서 전극의 눈금 보정을 하였다. 여액은 초순수로 세척된 폴리에틸렌 병(Nalgene사, HDPE 60 ml) 두개에 양이온 및 음이온 분석용으로 구분한 후, 4℃의 온도를 유지하는 냉장고에 보관하였고, 이온 분석은 가능하면 최대한 빠른 시간 내에 분석하였다.

2.4. 화학적 성분 분석

화학적 성분을 분석하기 위하여 4℃에서 냉장 보관된 이슬 시료는 이온 크로마토그래피(IC; DX-500, Dionex Co., USA)를 이용하여 Cl⁻, F⁻, NO₃⁻, PO₄³⁻ 및 SO₄²⁻를 분석하였다. 이들 음이온 분석시 사용된 컬럼은 IonPac AS14이며, 이동상은 3.5 mM Na₂CO₃와 1 mM NaHCO₃을 혼합하여 사용하였다. 그러나 F⁻와 PO₄³⁻은 대부분의 시료에서 검출한계(각각 0.01, 0.05 ppm)이하로 나타나 제외하였으며, NH₄⁺은 흡광광도계(U-2000, Hitachi Co., Japan)를 이용하여 인도페놀법으로 분석하였다. 또한 양이온(Ca²⁺, Na⁺, K⁺ 및 Mg²⁺)은 여과 후에 그 여액을 여러 가지 금속성분의 동시 정량이 가능한 ICP/AES(ICP-IRIS, Thermo Jarrell Ash Co., USA)를 이용하여 ICP법으로 분석하였다. 이들의 검출한계는 각각 0.003, 0.010, 0.010 및 0.003 ppm이며, 검출한계 이하의 자료는 ND(Not detected)로 표시하였다. 정량 분석된 원시자료는 이슬 채취량을 가중하여 계산한 후 자료해석에 활용하였다. 따라서 본 연구에서 분석한 이온성분은 Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻의 음이온과

NH₄⁺, Ca²⁺, K⁺, Mg²⁺, Na⁺ 양이온으로 모두 8개 항목이다. 이슬 시료 중 H⁺의 농도는 pH 측정치로부터 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 이슬발생량

Table 1은 본 연구지역에서 연구기간 중 채취된 이슬발생일수와 이슬발생량을 나타낸 것이다. 이슬 채취일수는 2005년 6월에 8일, 7월에 3일, 8월에 2일, 9월에 5일, 그리고 10월에 8일로 총 26일이었으며, 이슬발생량을 강수량으로 환산하였을 때, 2005년 10월이 가장 많은 0.460 mm이었고, 2005년 8월이 가장 적은 0.090 mm을 기록하였다. 이슬발생량은 전체 강수량에 비해 매우 적은 양이지만, 비가 전혀 오지 않는 가뭄이라면 농작물의 성장에 매우 큰 효과를 발휘할 것으로 판단된다. 연구기간 중의 26일간 연구지역에서 채취된 이슬량은 1.294 mm로 부산지방의 30년간 평균 강수량(1491.6 mm)의 1/1,153에 해당하는 것으로 나타났으며¹¹⁾, 부산지역에서 지난 10년간(1993~2002) 연평균 이슬발생일수를 92.4일로 하여 이슬발생량을 계산한다면¹²⁾ 대략 4.60 mm의 이슬이 생성된다고 할 수 있다. 이는 연평균 강수량의 1/324에 해당하는 것으로 Takeuchi et al.¹³⁾에 의해 일본 요코하마에서 조사된 1/250 보다 적은 이슬량을 나타내었다.

이슬이 습윤한 지역에서는 습기의 중요한 공급원이 아니지만 척박한 지역에서의 식물 생물체는 그들의 생존에 매우 중요하다. 예를 들면 이스라엘지방에서 이슬은 매년 55 mm에 해당하는 강수량을 공급하며, 가뭄인 시기에 이슬 강수량이 비 강수량을 초과하는 이스라엘의 Negev 사막 같은 곳은 특히 중요하며, 이러한 습기는 식물이 가장 큰 스트레스를 받을 시기인 건조한 여름철에 매우 유용한 역할을 한다^{2),14)}.

3.2. 이슬의 화학적 조성

3.2.1. 분석자료의 검증

순수 자연대기에서 이온물질은 평형을 이루어야 하나 분석기기, 분석방법, 분석자의 부주의 등으로 인하여 실제 참값과는 많은 차이를 보일 수 있다¹⁵⁾. 현재 강수 중 함유된 이온성분의 신뢰성을 평가하는 방법에는 전기적 중성원리를 기본으로 하는 이

온수지법과 전기전도도법이 있다¹⁶⁾. 이온수지법은 분석된 시료 중에서 함유된 음이온의 당량농도 총합과 양이온의 당량농도 총합의 비로서 나타낸다.

Fig. 1은 본 연구지점에서 채취된 이슬의 수용성 이온성분 결과를 이온수지법을 적용하여 양이온의 총합과 음이온의 총합의 관계를 도식화 한 것이다. 본 연구에서는 두 값 사이의 결정계수(r^2)가 0.739로 나타났다. 전체적인 이온수지의 분포를 보면, 총 양이온은 저농도와 고농도에서 우세하게 나타났다. 따라서 총양이온과 총음이온을 이용한 이온수지의 분포에서는 본 연구에 이용된 분석자료의 품질은 양호한 것으로 나타났다.

3.2.2. 이슬의 화학적 조성과의 타 지역과의 비교

Table 2는 본 연구지역(연제, 사상)과 일본의 요코하마 그리고 미국의 미시간, 인디애나 폴리스, 펜실바니아에서 채취된 이슬의 화학적 성분을 조사하여 나타낸 것이다^{9),17~19)}. 부산지역의 평균 pH는 5.46으로 일본의 요코하마¹⁷⁾의 5.41과 유사하였으며, 미국의 인디애나폴리스¹⁹⁾의 6.82보다 낮았다. 전병일 등⁹⁾에 의한 2002~2003년의 5.26보다는 다소 높은 값을 나타내었다. 음이온 총합에 대한 양이온 총합의 비는 1.53으로서 요코하마¹⁷⁾의 1.79보다 낮게 나타났다. 빗물과는 달리 음이온에 비하여 양이온의 농도가 높게 나타나는 경향을 보였는데, 이는 빗물보다는 이슬에서 각종 이온성분의 농도가 높고²⁰⁾,

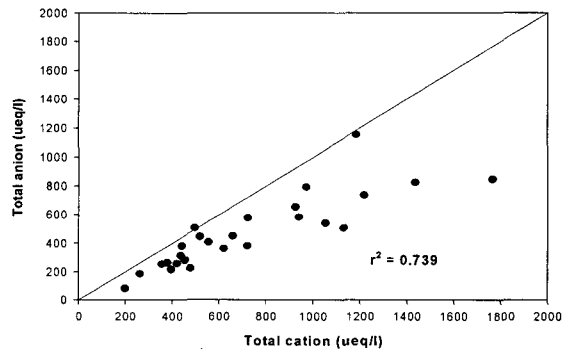


Fig. 1. Relationship between the sum of cations and the sum of anions. The straight line represents one-to-one line between the sum of cations and anions.

Table 1. Occurrence day and amount(mm) of dewfall in Busan

Element	Month	Jun. 2005	Jul. 2005	Aug. 2005	Sep. 2005	Oct. 2005
dewfall occurrence day		8	3	2	5	8
dewfall amount(mm)		0.368	0.171	0.090	0.205	0.460

Table 2. Volume-weighted mean concentrations($\mu\text{eq}/\ell$) range of major ions in dew at Miryang and other sites

	This study		Okochi et al. ¹⁷⁾		Mulawa et al. ¹⁸⁾	Foster et al. ¹⁹⁾		Jeon et al. ⁹⁾	
	Busan(Yeonje) n=26		Yokohama, Japan n=52		Warren, Michigan n=9~40	Indianapolis, Indiana n=20		Busan(Sasang) n=47	
pH	5.46	4.69~7.52	5.41	4.11~7.74	3.62~8.20	6.82	6.2~6.8	5.26	4.39~7.6
Cl ⁻	282.2	23.4~842.1	165	32.4~1013	106±252	6.1	3.3~16	348.6	49~2214
NO ₃ ⁻	62.1	16.9~168.5	92.4	10.1~1003	166±282	25.5	2.2~78	44.7	5~126.6
SO ₄ ²⁻	125.8	41.4~257.9	271	20.5~1864	242±312	31.6	3.8~106	123.8	30.6~588.3
NH ₄ ⁺	46.0	21.9~127.6	454	64.1~3470	65±26	6.9	3.7~105	20.3	0.1~99
Ca ²⁺	202.5	37.6~930.2	274	28.9~2064	690±935	150	50~266	139.0	27.7~661
K ⁺	209.7	25.0~679.2	22.8	4.58~147	4.1±3	1.3	2.8~26	234.5	14.1~1758
Mg ²⁺	40.6	11.5~112.0	66.3	5.58~794	31±11	32.6	12.2~70	29.4	7.2~86.9
Na ⁺	218.2	69.3~614.1	128	21.2~709	20±6	3.9	1.4~8.9	180.2	26.9~809.9

대기 하층의 영향을 더 많이 받기 때문에 판단된다. Na⁺, K⁺, Cl⁻은 일본의 요코하마¹⁷⁾에 비해 높게 나타났고, 나머지 성분인 NH₄⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, NO₃⁻, SO₄²⁻ 등은 낮게 나타났다. 또한 미국의 인디애나폴리스¹⁹⁾에 비해서는 부산지역의 이온성분이 모두 높게 나타났으며, 특히 Na⁺과 Cl⁻은 더 높은 값을 보였는데, 이는 이슬의 채취지점이 해안으로부터 수 km의 떨어져 있어 해풍의 영향으로 판단된다²¹⁾. 그리고 해양성 기원인 Mg²⁺는 요코하마¹⁷⁾보다는 낮았으나 미시간¹⁸⁾ 지역과 인디애나폴리스¹⁹⁾ 지역보다는 다소 높은 분포를 보였다. 산성화물질인 NO₃⁻와 SO₄²⁻의 경우, 부산지역의 농도가 일본의 요코하마¹⁷⁾에 비해 낮고, 미국의 인디애나폴리스¹⁹⁾ 보다는 높게 나타났다. 본 연구의 산성도가 부산시 사상지역⁹⁾ 보다는 높은 이유는 먼저, NO₃⁻ 및 SO₄²⁻와 같은 인위적인 오염원에 의한 산성화 성분들은 각각 1.38

배 및 1.02배로 부산시 사상지역⁹⁾이 높거나 거의 비슷하게 나타났고, 중화성분인 NH₄⁺, Ca²⁺ 및 Mg²⁺는 각각 2.27배, 1.45배 및 1.38배로 사상지역이 상대적으로 높게 나타났기 때문이다. 따라서 이러한 성분이 산성도에도 영향을 미쳐 pH값이 부산지역임에도 불구하고 산성도의 차이를 가져온 것으로 판단된다.

Table 3은 부산지역에서 채취한 이슬 중 이온성분의 월별 특성을 나타낸 것이다. pH의 경우, 6월이 5.12로 가장 낮고, 다음으로 7월이 5.24로 두 번째이며, 10월이 가장 높은 6.68으로 나타났다. 전기전도도는 8월이 496.5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 가장 높았으며, 6월이 281 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 로 가장 낮았고, H⁺ 농도는 pH와 반대로 6월이 가장 높고 10월이 가장 낮았다. 6월에는 산성화 물질인 NO₃⁻와 SO₄²⁻가 가장 높았고, 9월에는 중화물질인 NH₄⁺와 Ca²⁺가 가장 높게 나타났다. 8월에는 Cl⁻과 K⁺이 10월에는 Mg²⁺과 Na⁺이 가장 높은

Table 3. Monthly ionic fluxes of dewfall measured in Busan

Month Element	Jun. 2005	Jul. 2005	Aug. 2005	Sep. 2005	Oct. 2005
dewfall(g/m ²)	46.0±24.5	57.0±21.7	45.0±35.4	41.0±28.5	57.5±41.0
pH	5.12	5.24	6.42	5.74	6.68
EC($\mu\text{S}/\text{cm}$)	281.0±134.8	467.3±249.2	496.5±95.5	378.0±144.9	292.3±158.2
H ⁺	7.55±7.85	5.73±8.98	0.38±0.36	1.83±2.22	0.21±0.12
Cl ⁻	251.9±244.3	259.4±132.5	515.8±134.6	269.7±133.5	270.4±217.7
NO ₃ ⁻	81.3±41.1	58.6±39.7	46.0±1.4	54.4±48.3	53.1±34.8
SO ₄ ²⁻	146.6±56.8	105.1±81.7	94.4±19.9	125.9±80.2	120.5±70.6
NH ₄ ⁺	45.1±18.1	46.4±20.8	47.9±5.7	57.8±43.4	38.9±16.9
Ca ²⁺	213.4±70.7	172.1±92.2	239.1±109.5	309.7±355.6	126.8±74.4
K ⁺	174.6±205.9	161.5±87.1	419.0±118.4	190.8±70.5	222.4±177.9
Mg ²⁺	32.3±14.6	27.6±17.3	29.9±8.2	49.6±25.9	50.8±34.4
Na ⁺	128.6±71.4	116.7±49.2	232.6±107.8	277.6±104.5	305.1±206.3
nss-SO ₄ ²⁻	114.3±48.1	75.8±69.4	36.0±46.9	56.3±56.8	43.9±68.1
nss-Ca ²⁺	208.5±68.6	167.6±90.4	230.3±105.4	299.2±352.2	115.2±68.8

unit: $\mu\text{eq}/\ell$

농도를 보였는데, 이는 해양으로부터 유입되는 바람에 의한 영향인 것으로 판단된다²¹⁾. 그리고 비해염 황산염(nss-SO_4^{2-})은 자연적인 해염성분을 제외하여 계산한 값이기 때문에 인위적인 오염물질만을 정량적으로 파악할 수 있는 인자로 사용된다. Nss-SO_4^{2-} 은 가장 pH가 낮은 6월에 $114.3 \mu\text{eq}/\ell$ 으로 가장 높았으며, 8월에 $36.0 \mu\text{eq}/\ell$ 으로 가장 낮았다.

3.2.3. 산성이슬의 발생빈도

Fig. 3은 본 연구에서 채취한 이슬의 pH 분포에 따른 발생빈도율을 나타낸 것이다. pH 5.6 미만의 산성이슬의 발생빈도는 7일(26.9%)로 나타났으며, pH 5.6 이상이 19일로서 전체의 73.1%를 차지하여 이슬 중에 중화물질이 많이 포함되어 있다는 것을 알 수 있다. 산성비의 기준을 이슬에 적용하여 pH 5.6 이하인 이슬 발생일이 전체 26일 중 7일로서 26.9%를 차지하였다. 그러므로 부산지역의 이슬은 대기오염 물질의 침적에 의하여 대기질이 개선될 수 있지만, 침적표면이 될 수 있는 동·식물과 자동차 및 건축구조물의 부식 및 산성화에 영향을 미칠 수 있으므로 매우 의미 있는 것으로 생각된다.

3.2.4. 산성이슬의 원인물질과 중화성분

Fig. 4는 산성화물질인 $[\text{NO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}]$ 와 중화물질인 $[\text{NH}_4^+ + \text{Ca}^{2+}]$ 와의 관계를 나타낸 것이다. 대기 중에 부유하는 에어로졸에 함유된 성분 중에서 산성비와 산성안개 그리고 산성이슬의 원인물질로 판단되는 황산염과 질산염은 강수에 의해 지면에 도달되면, 토양이나 호수를 산성화시켜 인간에게 직·간접적으로 많은 영향을 미친다. 또한 $[\text{NH}_4^+ + \text{Ca}^{2+}]$ 는 대부분 인근의 경작지에서 유입되거나 자연발생 원인 토양으로부터 비산되어 대기 중에 떠 있다가 강수를 중화시켜 pH를 알칼리성으로 변환시키는 역할을 한다. Fig. 4에서와 같이 중화물질이 산성화물질보다 다소 많은 것을 알 수 있다. 따라서 산성이

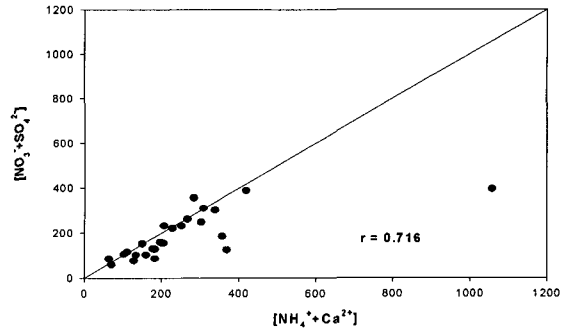


Fig. 4. Relationship between $[\text{NO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}]$ and $[\text{NH}_4^+ + \text{Ca}^{2+}]$.

슬의 원인물질로서 산성화물질의 $[\text{NO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}]$ 성분보다 중화물질인 $[\text{NH}_4^+ + \text{Ca}^{2+}]$ 의 성분이 다소 큰 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 부산지역에서 채취된 이슬 중 산성도를 강하게 유발하는 원인물질로 알려져 있는 산성화물질인 $[\text{NO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}]$ 와 중화물질인 $[\text{NH}_4^+ + \text{Ca}^{2+}]$ 의 당량비를 월별로 나타낸 것이다. 10월이 1.04로 가장 높았고, 8월이 0.55로 가장 낮았으며, 채취기간 중 평균 당량비는 0.83으로 나타났다. 본 연구기간이 5개월로 매우 한정이지만 10월이 매우 높았으나, 이 시기의 pH는 6.68로서 가장 높았다. 따라서 본 연구지역의 이슬은 산성화물질인 $[\text{NO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}]$ 보다는 중화물질인 $[\text{NH}_4^+ + \text{Ca}^{2+}]$ 의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

Fig. 6은 부산에서 채취된 이슬 중 산성도를 강하게 유발하는 원인물질로 알려져 있는 NO_3^- 와 SO_4^{2-} 의 당량비($\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$)를 월별로 나타낸 것이다. 9월이 2.94로 가장 높았고, 7월이 1.77로 가장 낮았다. 또한 여름철(6월, 7월 및 8월)보다 가을철(9월과 10월)의 이슬에서 S/N 당량비가 높게 나타나 가을철

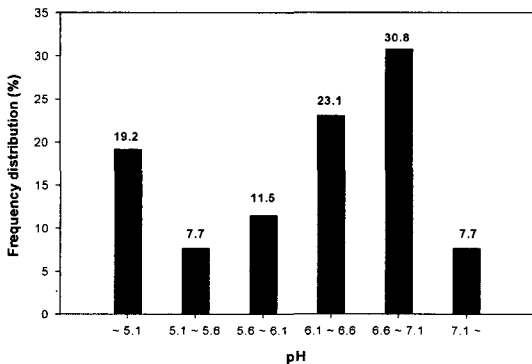


Fig. 3. The frequency distribution of pH of dewfall sampled in Busan.

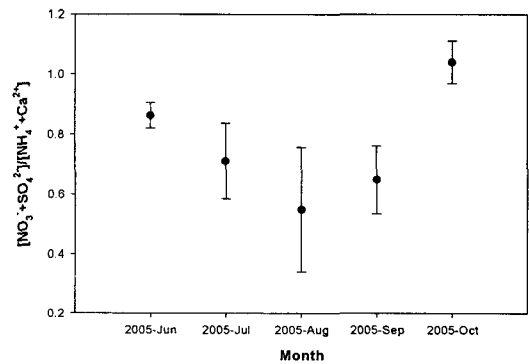


Fig. 5. Equivalent ratio of $[\text{NO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}]/[\text{NH}_4^+ + \text{Ca}^{2+}]$ in dewfall sampled in Busan.

Table 4. Correlation coefficient between the ion concentrations in dewfall sampled in Busan

	Dewfall	EC	H ⁺	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	nss-SO ₄ ²⁻
EC	-0.222	1.000										
H ⁺	-0.299	-0.027	1.000									
Cl ⁻	-0.600**	0.423*	-0.198	1.000								
NO ₃ ⁻	-0.524**	-0.034	0.518**	0.232	1.000							
SO ₄ ²⁻	-0.617**	-0.077	0.403*	0.352	0.843**	1.000						
NH ₄ ⁺	-0.498**	0.127	0.105	0.389*	0.643**	0.726**	1.000					
Ca ²⁺	-0.524**	0.058	0.292	0.336	0.665**	0.680**	0.838**	1.000				
K ⁺	-0.538**	0.421*	-0.279	0.972**	0.101	0.251	0.262	0.153	1.000			
Mg ²⁺	-0.474*	0.167	0.035	0.353	0.473*	0.592**	0.405*	0.513**	0.286	1.000		
Na ⁺	-0.421*	0.254	-0.204	0.478*	0.233	0.343	0.267	0.373	0.447*	0.911**	1.000	
nss-SO ₄ ²⁻	-0.381	-0.233	0.538**	0.074	0.728**	0.823**	0.587**	0.475*	-0.011	0.059	-0.251	1.000
nss-Ca ²⁺	-0.516**	0.050	0.303	0.324	0.666**	0.676**	0.839**	0.999**	0.139	0.489*	0.343	0.489*

* p<0.05, ** p<0.01
nss: non sea salts

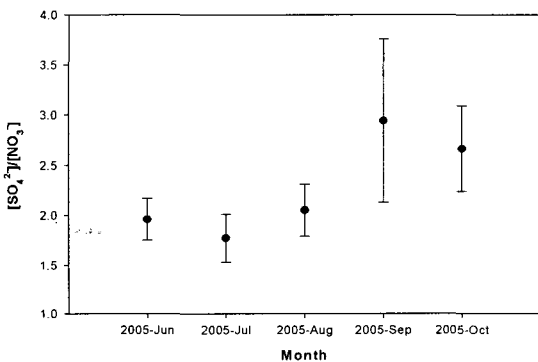


Fig. 6. Equivalent Ratio of [SO₄²⁻]/[NO₃⁻] in dewfall sampled in Busan.

에 인위적인 오염원(황산화물과 질소산화물)의 유입이 우세한 것으로 나타났으며, 평균 S/N 당량비는 2.35로 나타났다. 방소영 등²²⁾은 1999년 1월부터 2001년 12월까지 우리나라 해안지역에 내린 강수를 대상으로 조사한 SO₄²⁻/NO₃⁻의 비가 안면도 1.84, 제주 고산 2.661, 울릉도 2.27인 것과 유사한 값이 나타났다. 따라서 본 연구지역은 황산화물의 영향이 질소산화물의 영향보다 높게 나타났다.

3.2.5. 이온성분간의 상관성

Table 4는 이슬 중 수용성이온들 간의 상관성을 조사하기 위하여 SPSS(Windows for v. 10.0)로 t-test의 양측검정을 실시하여 유의성을 조사한 결과와 Pearson 상관계수를 구하여 나타낸 것이다. 연구지역에서 이슬 중 수용성 이온들 간의 Pearson 상관계수가 0.5이상이고, t-test의 양측검정으로 유의성을 조사한 결과 p<0.01인 경우를 설명에 이용

하였다. 이슬량은 각 이온성분과 음의 상관으로서 SO₄²⁻와 가장 높은 상관(r=-0.617)을 보였으며, 이슬 발생량이 적을수록 각 이온성분들은 많이 침적되어 제거되는 것으로 보인다. 전기전도도에 영향을 주는 인자로는 Cl⁻와 K⁺인 것으로 나타났으며, 각각 0.423과 0.421의 유의한 상관(p<0.05)을 보였다. 또한 Cl⁻와 K⁺은 -0.972(p<0.01)의 상관을 보여 다량의 해양 입자가 유입되는 것으로 판단된다. 이슬의 산성도와 관련성이 높은 H⁺와 유의한 차이(p<0.01)를 보인 성분은 NO₃⁻와 비해양성 SO₄²⁻로서 이슬의 산성화에 직접적인 영향을 주는 것으로 나타났다. 인위적 오염원에 기인한 비해양성 SO₄²⁻는 NO₃⁻ 및 NH₄⁺와 유의한 차이(p<0.01)를 보여 유사한 기원임을 보였다. 또한 0.9이상의 높은 상관(p<0.01)을 보인 이온들은 Cl⁻와 K⁺, Na⁺와 Mg²⁺로서 바다가 인접한 부산지역의 지리적 특성을 보였다.

4. 결 론

1. 이슬발생일은 2005년 6월에 8일, 7월에 3일, 8월에 2일, 9월에 5일, 그리고 10월에 8일로 총 26일이었으며, 강수량으로 환산하였을 때, 연구기간 중(5개월)의 26일간 채취된 이슬량은 1.29 mm로 부산지역의 30년간 평균 강수량의 1/1,153에 해당하였다.
2. 이슬 중 이온성분의 월별 특성의 경우, pH는 6월이 5.12로 가장 낮았고, 10월이 6.68로 가장 높았으며 평균 pH는 5.46이었다. 6월에는 산성화 물질인 NO₃⁻와 SO₄²⁻가 가장 높았고, 비해양성 SO₄²⁻ 또한 114.3 µeq/ℓ으로 가장 높아 이슬의 산성화에 가장 큰 기여 인자로 파악되었다. 해양 기원은 8월(Cl⁻와 K⁺)과 10월(Mg²⁺과 Na⁺)에 가

장 높은 농도를 보였다.

3. pH 5.6 미만의 산성이슬의 발생빈도는 7일 (26.9%)로 나타났고, pH 5.6 이상이 19일 로서 전체의 73.1%를 차지하였다. 부산지역 이슬에서 산성화물질인 $[\text{NO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}]$ 성분과 중화물질인 $[\text{NH}_4^+ + \text{Ca}^{2+}]$ 의 평균 당량비는 0.83으로 나타나 중화물질이 매우 큰 영향을 미치고 있다.
4. NO_3^- 과 SO_4^{2-} 의 비($\text{SO}_4^{2-} / \text{NO}_3^-$)를 월별로 보면, 9월이 2.94로 가장 높았고 7월이 1.77로 가장 낮았으며, 평균 당량비는 2.35로 나타났다.
5. 이슬의 산성도와 관련성이 높은 H^+ 와 유의한 차이($p < 0.01$)를 보인 성분은 NO_3^- 와 비해염성 SO_4^{2-} 로서 이슬의 산성화에 직접적인 영향을 주는 것으로 나타났다. 인위적 오염원에 기인한 비해염성 SO_4^{2-} 는 NO_3^- 및 NH_4^+ 와 유의한 차이($p < 0.01$)를 보여 유사한 기원임을 보였다. 또한 0.9이상의 높은 상관($p < 0.01$)을 보인 이온들은 Cl^- 와 K^+ , Na^+ 와 Mg^{2+} 로서 바다가 인접한 부산지역의 지리적 특성을 보였다.

감사의 글

본 연구를 위해 이슬 포집을 해 준 장영실과학교 양아름, 김현정, 설재환, 강영진, 김택훈, 장현석 학생에게 심심한 감사를 드립니다.

참고 문헌

- 1) 김광식, 1995, 증보 농업기상학, 향문사, 367pp.
- 2) Zangvil, A., 1996, Six years of dew observation in the Negev Desert, Israel, J. Amid Environ., 32, 361-372.
- 3) Wallin, G. R., 1967, Agrometeorological aspects of dew, Agric. Meteorol., 4, 85-102.
- 4) Muselli, M., D. Beysens, J. Marcillat, I. Milimouk, T. Nilsson and A. Louche, 2002, Dew water collector for potable water in Ajaccio(Corsica Island, France), Atmospheric Research, 64, 297-312.
- 5) Getz, R. R., 1978, Dew-monitoring network in the Southeast, Bull. Ameri. Meteoro. Soc., 59(9), 1150-1154.
- 6) 주영득, 김영채, 1991, 산성이슬에 의한 경부고속도로변 수목의 피해에 관한 연구, 경희대 연구논문집, 12, 106-112.
- 7) 정용승, 김태균, 1992, 충북 청원군의 안개, 이슬, 서리의 산성도 연구, 한국대기보전학회지, 8(1), 45-51.
- 8) 이정택, 윤성호, 정영상, 1989, 우리나라에 있어

- 서의 비 군락내의 열수지에 의한 이슬지속시간의 추정, 농업시험연구논문집(토양비료편), 31(1), 1-5.
- 9) 김영채, 정동준, 김홍률, 2000, 3개 산림지역의 이슬의 산성도 및 화학적 특성의 비교(서울, 용인, 평창을 중심으로), 한국농림기상학회지, 2(2), 31-40.
- 10) 전병일, 황용식, 박문포, 2004, 부산 서부지역의 이슬생성과 화학적 특성, 한국환경과학회지, 13(12), 1079-1088.
- 11) 기상청, 한국기후표, 2001.
- 12) 부산지방기상청, 일기상통계표, 2002, 2003.
- 13) Takeuchi, M., H. Okochi and M. Igawa, 2000, A study on chemical components and acidification mechanism of dew-water, J. Jpn. Soc. Atmos. Environ., 35(3), 158-169.
- 14) Kidron, G., 1999, Altitude dependent dew and fog in the Negev Desert, Israel, Agric. For. Meteor., 96, 1-8.
- 15) 최재천, 이민영, 이선기, 1994, 고산지역 강수의 화학성분 특성에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 10(1), 64-72.
- 16) WMO/GAW, 1996, Report of the workshop precipitation chemistry laboratory techniques, 102, 14-16.
- 17) Okochi, H., T. Kajimoto, Y. Arai and M. Igawa, 1996, Effect of acid deposition on urban dew chemistry in Yokohama, Japan, Bull. Chem. Soc. Jpn., 69, 3355-3365.
- 18) Mulawa, P. A., S. H. Cadle, F. Lipari, C. Ang and R. T. Vandervennet, 1986, Urban dew: Its composition and influence on dry deposition rates, Atmos. Environ., 20(7), 1389-1396.
- 19) Foster, J. R., R. A. Pribush and B. H. Carter, 1990, The chemistry of dews and frosts in Indianapolis, Indiana, Atmos. Environ., 24(8), 2229-2236.
- 20) Jiries, A., 2001, Chemical composition of dew in Amman, Jordan, Atmospheric Research, 57, 261-268.
- 21) 전병일, 김유근, 이화운, 1994, 부산연안역의 바람특성에 관한 연구, 한국환경과학회지, 3(1), 1-9.
- 22) 방소영, 최재천, 박상순, 조경숙, 오성남, 2003, 한반도 배경지역 강수 중 수용성 이온성분의 화학적 특성 분석, 한국기상학회지, 39(1), 29-41.