

연구노트

밀양지역 이슬의 생성과 화학적 조성에 관한 연구

전병일* · 황용식**

신라대학교 환경공학과*, 인제대학교 산업의학연구소**

(2006년 1월 10일 접수, 2006년 6월 14일 승인)

A Study on Chemical Composition and Formation of Dewfall in Miryang Area

Byung-Il Jeon* · Yong-Sik Hwang**

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

Institute of Industrial Medicine, Inje University, Busan 633-165, Korea**

(Manuscript received 10 January 2006; accepted 14 June 2006)

Abstract

In order to understand chemical characteristics and formation of dewfall in Miryang area, we analysed monthly distribution of dewfall, and investigated its chemical composition of dewfall. The modified teflon plate (1m × 1m) was used qualitatively to collect water soluble components at Miryang weather station from August 2002 to April 2003. Dewfall amount during the sampling periods (37 day) collected 5.28 mm. The behaviors of water soluble ions in dewfall showed the highest concentration (555.8 $\mu\text{eq/l}$ for Cl^- , 338.6 $\mu\text{eq/l}$ for NO_3^- , 1118.2 $\mu\text{eq/l}$ for SO_4^{2-} , 262.7 $\mu\text{eq/l}$ for NH_4^+ , 1341.0 $\mu\text{eq/l}$ for Ca^{2+} , 177.8 $\mu\text{eq/l}$ for Mg^{2+} , and 325.5 $\mu\text{eq/l}$ for Na^+) during the April, the lowest concentration (243.6 $\mu\text{eq/l}$ for SO_4^{2-} , 39.3 $\mu\text{eq/l}$ for NH_4^+ and 456.2 $\mu\text{eq/l}$ for Ca^{2+}) during the September. Monthly equivalent ratio of $[\text{SO}_4^{2-}]/[\text{NO}_3^-]$ showed the highest value (6.45) during the March, the lowest value (1.86) during the September, and the mean value was 2.70.

Key words : Dewfall, Water soluble ion, Equivalent ratio

1. 서론

생태학적 관점에서 이슬의 장점은 어린 묘목의 생존과 성장을 연장시켜 작물증산을 증가시키거나, 식물의 증산작용을 감소시키며 잎이 시드는 것을 막고

열대지역에서의 착생 미생물 서식환경에 습도를 증가시킨다(Wallin, 1967). 또한 이슬은 농작물에 대하여 지상으로부터 물 공급원이 될 뿐만 아니라, 이슬에 의하여 농작물의 염류농도가 조절되어 작물생리에 좋은 영향을 끼친다. 한편, 농작물의 엽면(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 있다(Muselli *et al.*, 2002).

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(Getz, 1978). 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.

이슬은 지표의 물체가 야간복사에 의해 냉각되어 부근의 기온이 노점이하로 떨어지면서 응결되어 생성된 것이다(김광식, 1995). 이슬생성의 세 가지 기본적인 조건은 공기 중의 풍부한 습기와 충분한 야간복사냉각 그리고 지면이나 풀잎사귀 등에 수분이 풍부하여야 한다. 충분한 습기는 주위의 호수 또는 연안으로부터 공급이나 비가 온 후의 습한 토양에서 공급될 수 있다. 늦여름부터 늦가을까지 우리나라에서 이슬이 많이 생기는 이유가 위와 같은 조건을 갖추었기 때문이다. 한여름의 경우, 습기는 풍부하지만 충분한 야간복사냉각이 어렵고, 한겨울의 경우, 야간복사는 강하지만 공기 중의 습기가 부족하여 이슬이 생성되어 어렵다. 최대의 야간복사냉각을 얻기 위해서는 맑은 하늘, 약한 바람, 그리고 지표근처에 차갑고 건조한 공기가 습한 공기를 덮을 조건이 필요하다(Zangvil, 1996).

Scheller(2001)는 이슬에서 아미노산을 분석하여 계절적 변화와 기원을 조사한 바 있으며, Jiries(2001)는 요르단의 암만에서 이슬과 강수를 채취하여 화학적 조성을 비교하였다. 우리나라에서 이슬에 대한 연구의 예를 보면, 주영특과 김영채(1991)가 산

성이슬과 분진이 수목에 미치는 영향을 알기 위해 경부고속도로변의 수목을 이용하여 생육상태, 엽록소 함량, 부착분진량, 이슬의 산도를 조사한 바 있다. 정용승과 김태군(1992)은 충북 청원군에서 안개, 이슬, 서리를 채취해 산성도와 그 변동을 분석한 바 있으나, 그 화학적조성에 대해서는 조사하지 않았다. 이정택 등(1989)은 벼 군락 내 습윤상태를 추정하고자 이슬추정시간을 검토하여 사용한 바 있다. 또한 김영채 등(2000)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. 본 연구에서는 비교적 도시화가 덜 된 경남 밀양지역을 대상으로 이슬을 인공적으로 채취하여 이슬의 생성 및 화학적 조성 특성을 밝히고자 하였다.

II. 채취 및 실험방법

1. 이슬채취지점과 채취기간

본 연구를 위한 이슬 채취지점은 Fig. 1과 같이 경남 밀양기상관측소로서 밀양 유천을 끼고 있으며, 인근에 농지와 주택지역이 형성되어 있고, 최근에는 기상관측소 인근에 도로가 증설되어 자동차의 통행량이 증가하여 인위적 오염원이 발생할 수 있는 지형적 특성을 가지고 있다. 이슬의 채취기간은 2002년 8월부터 2003년 4월까지이며, 이슬이 서리로 변하는 기간인 겨울철을 제외한 2002년 8월, 9월, 10월 그리

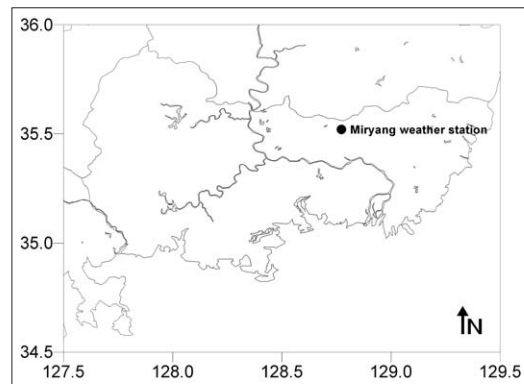


Fig. 1. Location of sampling site in Miryang weather station

고 2003년 3월, 4월의 총 5개월(37일간)이다.

2. 이슬의 채취방법

이슬 채취장치는 지면으로부터의 지구복사를 차단하기 위해 2 mm의 합판 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/sec 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.

3. pH 측정과 전기전도도 측정

테플론 판으로부터 이슬을 채취한 후, 바로 현지에서 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 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 과 1100배 희석한 1.28 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 표준용액(HI7031)을 사용하여 실온에서 전극의 눈금 보정을 하였다. 두 항목을 측정한 후, 실험실로 가져와 즉시 0.45 μm 필터를 이용하여 침전물이나 부유물을 제거한 후, 4°C의 온도를 유지하는 냉장고에 보관하였고, 이온 분석은 가능하면 시료 채취 당일 또는 그 다음날 실시하였다.

4. 화학적 성분 분석

화학적 성분을 분석하기 위하여 4°C에서 냉장 보관된 이슬 시료는 이온 크로마토그래피(IC: DX-500, Dionex Co., USA)를 이용하여 Cl^- , F^- , NO_3^- , PO_4^{3-} 및 SO_4^{2-} 를 분석하였다. 이들 음이온 분석시 사용된 컬럼은 IonPac AS14이며, 이동상은 3.5 mM Na_2CO_3 와 1 mM NaHCO_3 을 혼합하여 사용하였다.

그러나 F^- 와 PO_4^{3-} 은 대부분의 시료에서 검출한계(각각 0.01, 0.05 ppm)이하로 나타나 제외하였으며, NH_4^+ 은 흡광광도계(U-2000, Hitachi Co., Japan)를 이용하여 인도페놀법으로 분석하였다. 또한 양이온(Ca^{2+} , Na^+ , K^+ 및 Mg^{2+})은 여과후에 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^- , NO_3^- , SO_4^{2-} 의 음이온과 NH_4^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Na^+ 양이온으로 모두 8개 항목이다. 이슬 시료 중 H^+ 의 농도는 pH 측정치로부터 계산하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 이슬발생량

Table 1은 본 연구지역에서 연구기간 중 채취된 이슬발생일수와 이슬발생량을 나타낸 것이다. 2002년 8월에 4일, 9월에 14일, 10월에 11일, 그리고 2003년 3월에 3일, 4월에 5일로 총 37일이었으며, 이슬발생량을 강수량으로 환산하였을 때, 2002년 9월이 가장 많은 2.23 mm이었고, 2003년 3월이 가장 적은 0.27 mm를 기록하였다. 전체 강수량에 비해 매우 적은 양이지만, 비가 전혀 오지 않는 가뭄이라면 농작물의 성장에 매우 큰 효과를 발휘할 것으로 판단된다. 연구기간 중(5개월)의 37일간 연구지역에서 채취된 이슬량은 5.28 mm로 밀양지방의 30년간

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

Month Element	Aug. 2002	Sep. 2002	Oct. 2002	Mar. 2003	Apr. 2003
dewfall occurrence day	4	14	11	3	5
dewfall amount (mm)	0.40	2.23	2.02	0.27	0.36

평균 강수량(1233.8 mm)의 1/234에 해당하는 것으로 나타났으며(기상청, 2001), 竹内 등(2000)에 의해 일본 요코하마에서 조사된 1/250보다 다소 많은 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(Zangvil, 1996; Kidron, 1999).

2. 이슬의 화학적 조성

1) 분석자료의 검증

순수 자연대기에서 이온물질은 평형을 이루어야 하나 분석기기, 분석방법, 분석자의 부주의 등으로 인하여 실제 참값과는 많은 차이를 보일 수 있다(최재천 등, 1994). 현재 강수 중 함유된 이온성분의 신뢰성을 평가하는 방법에는 전기적 중성원리를 기본으로 하는 이온수지법과 전기전도도법이 있다(WMO/GAW, 1996). 이온수지법은 분석된 시료 중에서 함유된 음이온의 당량농도 총합과 양이온의 당량농도의 총합의 비로서 나타낸다.

Fig. 2는 본 연구지점에서 채취된 이슬의 수용성

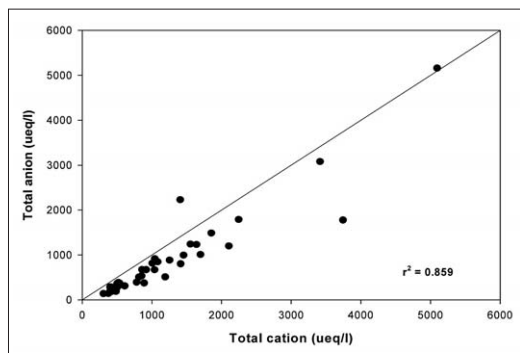


Fig. 2. Relationship between the sum of cations and the sum of anions. The straight line represents one-to-one line between the sum of cations and anions

이온성분 결과를 이온수지법을 적용하여 양이온의 총합과 음이온의 총합의 관계를 도식화 한 것이다. 본 연구에서는 두 값 사이의 결정계수(r^2)가 0.859로 나타났다. 전체적인 이온수지를 보면, 전반적으로 양이온이 많은 것으로 나타났다. 그러나 이들 값들은 일반적인 허용오차 범위인 20% 이내의 허용오차 범위를 만족함으로써 자료해석에는 문제가 없는 것으로 판단되며, 따라서 본 연구에 이용된 분석자료의 품질은 매우 양호한 것으로 나타났다.

2) 이슬의 화학적 조성과 타 지역과의 비교

Table 2는 밀양과 일본의 요코하마 그리고 미국의 미시간, 인디애나 폴리스, 아칸사스, 펜실바니아에서 채취된 이슬의 화학적 성분을 조사하여 나타낸 것이다(Okochi *et al.*, 1996; Mulawa *et al.*, 1986; Foster *et al.*, 1990; Wanger *et al.*, 1992; Pierson *et al.*, 1986). 밀양지역의 평균 pH는 7.52로 일본의 요코하마의 5.41, 미국의 인디애나폴리스의 6.82, 아칸사스의 6.37 그리고 펜실바니아의 4.0 보다 높았다. 우리나라와 가까운 일본의 요코하마에 비해서 양이온 Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} 및 Na^+ 와 음이온 Cl^- , NO_3^- 및 SO_4^{2-} 에서 높게 나타났고, NH_4^+ 은 낮게 나타났다. 또한 미국의 인디애나폴리스에 비해서 밀양지역에서 모든 이온성분이 높게 나타났다. 그리고 해양성 기원인 Mg^{2+} 는 요코하마(Okochi *et al.*, 1996), 미시간(Mulawa *et al.*, 1986) 지역과 인디애나폴리스(Foster *et al.*, 1990) 지역의 농도보다 높은 분포를 보였다. 산성화물질인 NO_3^- 와 SO_4^{2-} 의 경우, 밀양지역의 농도가 일본의 요코하마, 미국의 인디애나폴리스 보다 높게 나타났으나, NO_3^- 는 미시간(Mulawa *et al.*, 1986) 지역과는 유사한 분포를 보였다. 본 연구의 산성도가 요코하마(Okochi *et al.*, 1996)보다 낮은 이유는 NO_3^- 및 SO_4^{2-} 와 같은 인위적인 오염원에 의한 산성화 성분들은 각각 1.81배 및 1.52배였으며, 해양기원인 Cl^- 는 1.90배로서 요코하마(Okochi *et al.*, 1996)보다 높았다. 중화성분인 NH_4^+ 은 5.48배로서 요코하마(Okochi *et al.*, 1996)에서 높았으나, Ca^{2+} (2.34배), K^+ (7.09배), Na^+ (1.74배) 및 Mg^{2+} (1.75배)과 같은 양이온은 밀양지역에서 높게 나타났다.

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

	This study		Okochi <i>et al.</i> (1996)		Mulawa <i>et al.</i> (1986)	Foster <i>et al.</i> (1990)		Wanger <i>et al.</i> (1992)	Pierson <i>et al.</i> (1986)	
	Miryang n=37		Yokohama, Japan n=52		Warren, Michigan n=9~40	Indianapolis, Indiana n=20		Fayetteville, Arkansas n=93	Allegheny Pennsylvania	
pH	7.52	6.7~8.9	5.41	4.11~7.74	3.62~8.20	6.82	6.2~6.8	6.37	4.0	3.5~5.3
Cl ⁻	312.9	43.4~1292	165	32.4~1013	106±252	6.1	3.3~16	11	5	0.3~16
NO ₃ ⁻	167.5	20.8~798.9	92.4	10.1~1003	166±282	25.5	2.2~78	38	32	3~138
SO ₄ ²⁻	411.4	56.3~3067	271	20.5~1864	242±312	31.6	3.8~106	66	73	10~254
NH ₄ ⁺	82.9	11.8~436.1	454	64.1~3470	65±26	6.9	3.7~105	94	8	0~55
Ca ²⁺	642.6	122.1~3186	274	28.9~2064	690±935	150	50~266	115		
K ⁺	161.6	33.6~618.4	22.8	4.58~147	4.1±3	1.3	2.8~26	9		
Mg ²⁺	116.2	19.4~548.7	66.3	5.58~794	31±11	32.6	12.2~70	11		
Na ⁺	223.1	28.7~954.3	128	21.2~709	20±6	3.9	1.4~8.9	7.8		

Table 3. Monthly ionic fluxes of dewfall measured in Miryang

Element	Month	Aug. 2002	Sep. 2002	Oct. 2002	Mar. 2003	Apr. 2003
dewfall (g/m ²)		98.8±28.4	159.3±54.8	183.6±35.4	90.3±6.4	72.2±36.6
pH		7.20	7.65	7.59	7.62	7.42
EC ($\mu\text{S/cm}$)					149.3±38.4	204.0±180.1
H ⁺		0.064±0.092	0.022±0.008	0.026±0.015	0.024±0.010	0.038±0.021
Cl ⁻		497.6±358.5	279.2±225.6	192.7±122.1	260.2±137.1	555.8±535.6
NO ₃ ⁻		233.5±333.0	134.2±128.2	131.2±111.0	82.6±57.2	338.6±329.2
SO ₄ ²⁻		488.8±533.3	243.6±223.4	267.2±204.4	442.0±182.7	1118.2±1211.8
NH ₄ ⁺		52.7±68.1	39.3±17.4	44.9±16.3	167.1±115.4	262.7±128.0
Ca ²⁺		824.8±1041.4	456.2±296.3	520.6±307.9	553.5±151.2	1341.0±1214.3
K ⁺		336.3±237.2	142.2±79.9	133.1±43.9	72.4±17.9	192.1±230.3
Mg ²⁺		117.7±131.5	116.4±142.4	99.1±98.0	73.0±17.5	177.8±172.9
Na ⁺		286.5±170.3	237.9±258.3	148.0±94.3	173.7±56.9	325.5±303.6
nss-SO ₄ ²⁻		416.9±519.6	183.9±196.3	230.0±192.6	398.4±194.1	1036.5±1139.0

unit; $\mu\text{eq/l}$

따라서 이러한 양이온 성분이 산성도에 영향을 미쳐 요코하마(Okochi *et al.*, 1996)보다 밀양지역의 이슬이 높은 pH를 보였으며, K⁺의 영향이 가장 큰 것으로 판단된다.

Table 3은 밀양지역에서 채취한 이슬 중 이온성분의 월별 특성을 나타낸 것이다. pH의 경우, 8월이 7.20으로 가장 낮고, 다음으로 4월이 7.42로 두 번째이며, 9월이 가장 높은 7.65으로 나타났다. 수소이온 농도는 pH와 반대로 8월이 가장 높고 9월이 가장 낮았다. 8월에 가장 높게 나타난 K⁺(336.3 $\mu\text{eq/l}$)를 제외하면 4월에 Cl⁻가 555.8 $\mu\text{eq/l}$, NO₃⁻가 338.6 $\mu\text{eq/l}$, SO₄²⁻가 1118.2 $\mu\text{eq/l}$, NH₄⁺가 262.7 $\mu\text{eq/l}$,

Ca²⁺가 1341.0 $\mu\text{eq/l}$, Mg²⁺가 177.8 $\mu\text{eq/l}$ 및 Na⁺가 325.5 $\mu\text{eq/l}$ 로 가장 높았다. 9월에는 SO₄²⁻(243.6 $\mu\text{eq/l}$) NH₄⁺(39.3 $\mu\text{eq/l}$) 및 Ca²⁺(456.2 $\mu\text{eq/l}$)이 가장 낮았고, 해양성 기원인 Cl⁻와 Na⁺의 유입은 10월에 가장 낮았다. 특히, NH₄⁺의 경우 봄철인 3월과 4월에 높은 농도를 보인 것은 파종기에 따른 주변의 경작지로부터 유입된 것으로 판단된다. 대체로 봄철을 대표하는 4월에 K⁺을 제외한 대부분의 이온 성분이 다량 분포하였다. 비해염황산염(nss-SO₄²⁻; non sea salt sulfate)는 황산염 중 자연적인 해염성분을 제외하여 계산한 값이기 때문에 인위적인 오염물질만을 정량적으로 파악할 수 있는 인자로 사용된다.

nss-SO₄²⁻은 4월에 1036.5 μeq/l로 가장 높았으며, 9월에 183.9 μeq/l로 가장 낮았다.

3) pH별 이슬의 발생빈도

Fig. 3은 본 연구에서 채취한 이슬의 pH 분포에 따른 발생빈도를 나타낸 것이다. 그림에 의하면 pH 6.5미만은 발생하지 않았으며, 6.5이상 7.0미만의 경우가 2.7%, 7.0이상 7.5미만이 24.39%, 7.5이상 8미만이 67.6% 그리고 8이상 5.4%로 나타났다. 따라서 pH 7.0이상이 36일로 전체의 97.3%를 차지하여 이슬 중에 산성물질보다는 중화성물질이 많이 포함되어 있다는 것을 알 수 있다. 또한 양이온의 총합은 음이온의 총합보다 높게 나타났으며, 연구지역의 대기 중에는 이들 양이온의 역할로 인하여 pH 6.5이상에서 높은 발생빈도를 보였다.

일반적으로 산성비의 기준을 이슬에 적용하여 pH 5.6 이하인 이슬 발생일이 전체 37일 중 한번도 나타나지 않았다. 이는 교외지역인 밀양에서 처음으로 이슬을 상대로 하여 측정된 수치로서 매우 의미 있는 결과이며, 밀양지역의 이슬은 인체나 식물에 매우 나쁜 영향을 미치는 산성이슬의 발생은 나타나지 않았으나 다량의 이온 성분이 포함된 것으로 밝혀졌다.

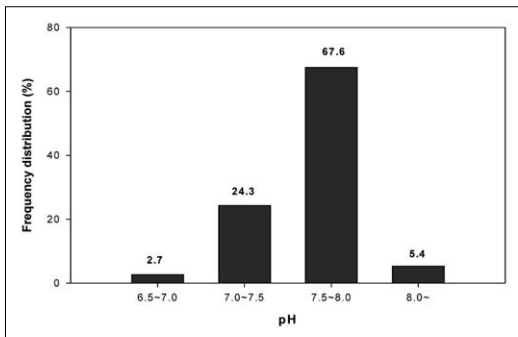


Fig. 3. The frequency distribution of pH of dewfall sampled in Miryang

4) 이슬의 산성화물질과 중화물질

Fig. 4는 산성화물질인 [NO₃⁻+SO₄²⁻]와 중화물질인 [NH₄⁺+Ca²⁺]와의 관계를 나타낸 것이다. 대기 중에 부유하는 에어로졸에 함유된 성분 중에서 산성비와 산성안개 그리고 산성이슬의 원인물질로 판단되는 황산염과 질산염은 강수에 의해 지면에 도달

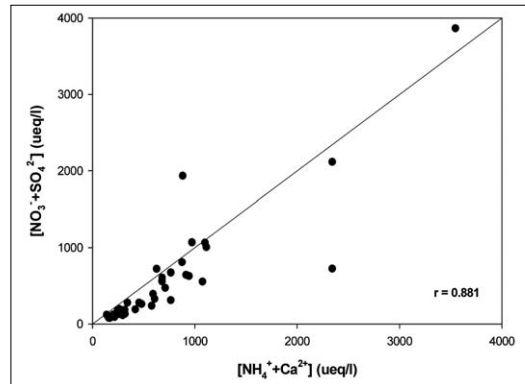


Fig. 4. Relationship between [NO₃⁻+SO₄²⁻] and [NH₄⁺+Ca²⁺]

되면, 토양이나 호수를 산성화시켜 인간에게 직·간접적으로 많은 영향을 미친다. 또한 [NH₄⁺+Ca²⁺]는 대부분 인근의 경작지에서 유입되거나 자연발생 원인 토양으로부터 비산되어 대기 중에 떠 있다가 강수를 중화시켜 pH를 알칼리성으로 변환시키는 역할을 한다. 본 연구지역에서는 중화물질이 산성화물질보다 매우 높게 나타났다. 따라서 밀양지역 이슬의 원인물질로서 산성화물질인 [NO₃⁻+SO₄²⁻]성분보다는 중화물질인 [NH₄⁺+Ca²⁺]이 매우 큰 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 밀양지역에서 채취된 이슬 중 산성도를 강하게 유발하는 원인물질로 알려져 있는 산성화물질인 [NO₃⁻+SO₄²⁻]와 중화물질인 [NH₄⁺+Ca²⁺]의 당량비를 월별로 나타낸 것이다. 8월이 1.03으로 가장 높았고 10월이 0.64로 가장 낮았으며, 채취기간

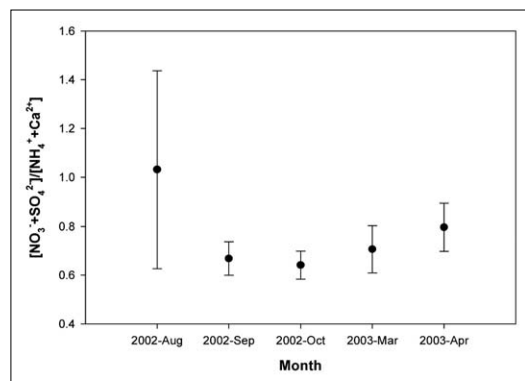


Fig. 5. Equivalent ratio of [NO₃⁻+SO₄²⁻]/[NH₄⁺+Ca²⁺] in dewfall sampled in Miryang

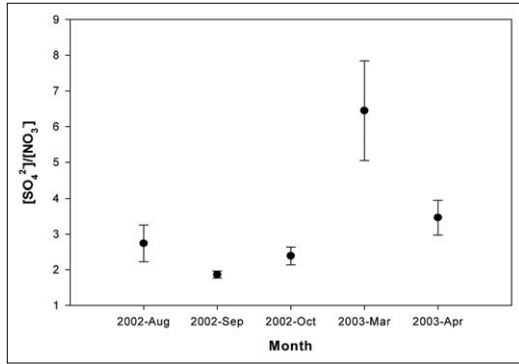


Fig. 6. Equivalent Ratio of $[SO_4^{2-}]/[NO_3^-]$ in dewfall sampled in Miryang

중 평균 당량비는 0.72로 나타났다. 본 연구기간이 5개월로 매우 한정이지만 봄, 가을보다는 여름철인 8월이 매우 높았으나, 이 시기의 pH는 7.20으로서 가장 낮았다. 따라서 본 연구지역의 이슬은 산성화물질인 $[NO_3^- + SO_4^{2-}]$ 보다는 중화물질인 $[NH_4^+ + Ca^{2+}]$ 의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

Fig. 6은 밀양지역에서 채취된 이슬 중 산성도를 강하게 유발하는 원인물질로 알려져 있는 SO_4^{2-} 와 NO_3^- 의 당량비(SO_4^{2-}/NO_3^-)를 월별로 나타낸 것이다. 3월이 6.45로 가장 높았고 9월이 1.86으로 가장 낮았다. 본 채취기간 중 평균비율은 2.70으로 나타났다. 본 연구기간이 5개월로 매우 한정이지만 봄철인 3월에 매우 높게 나타났다. 방소영 등(2003)이 1999

년 1월부터 2001년 12월까지 우리나라 해안지역에 내린 강수를 대상으로 조사한 SO_4^{2-}/NO_3^- 의 비가 안면도 1.84, 제주 고산 2.661, 울릉도 2.27인 것에 비해 비교적 높은 값을 보였다. 따라서 본 연구지역 이슬이 배경지역의 강수 중 SO_4^{2-}/NO_3^- 의 당량비보다 높게 나타났다. 이는 농업활동 및 교통량이 높기 때문인 것으로 판단되며, 화학적 성분의 조성은 강수보다 이슬이 장기간 대기 중에 노출되기 때문에 이슬에서 고농도를 보인다(Jiries, 2001).

5) 이온성분간의 상관성

Table 5은 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 $p < 0.01$ 인 경우를 설명에 이용하였다. K^+ 와 NH_4^+ 는 전기전도도의 변화에 영향을 주는 것으로 나타났으며, K^+ 와 유의한 차이($p < 0.05$)를 보였다. 인위적 기원인 NO_3^- 와 비해염성 SO_4^{2-} 는 양이온들(Ca^{2+} , Mg^{2+} 및 Na^+)과 0.7이상의 좋은 상관으로 유의한 차이($p < 0.01$)를 보였다. 또한 0.8이상의 높은 상관을 보이는 이온들은 Cl^- 와 Ca^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} 및 $nss-SO_4^{2-}$ 이었다.

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

	Dewfall	EC	H ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
EC	-0.419	1.000										
H ⁺	-0.108	-0.534	1.000									
HCO ₃ ⁻	-0.248	0.497	-0.278	1.000								
Cl ⁻	-0.615**	0.264	-0.021	0.420**	1.000							
NO ₃ ⁻	-0.417*	0.297	0.506**	-0.070	0.644**	1.000						
SO ₄ ²⁻	-0.506**	0.087	0.355*	0.001	0.748**	0.889**	1.000					
NH ₄ ⁺	-0.557**	0.614	0.242	-0.175	0.429**	0.595**	0.740**	1.000				
Ca ²⁺	-0.510**	0.184	0.056	0.403*	0.856**	0.744**	0.868**	0.576**	1.000			
K ⁺	-0.466**	0.819*	-0.221	0.662**	0.728**	0.341*	0.337*	0.187	0.578**	1.000		
Mg ²⁺	-0.330*	0.047	0.029	0.219	0.784**	0.680**	0.666**	0.274	0.759**	0.389*	1.000	
Na ⁺	-0.556**	-0.195	0.104	0.209	0.819**	0.555**	0.594**	0.235	0.626**	0.439**	0.762**	1.000
nss-SO ₄ ²⁻	-0.478**	0.105	0.364*	-0.020	0.708**	0.883**	0.997**	0.758**	0.855**	0.313	0.627**	0.527**

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$ nss; non sea salts

IV. 결론

2002년 8월부터 2003년 4월까지 겨울철을 제외한 5개월간 밀양지역에서 이슬을 채취하여 이슬발생량과 기상인자와의 관계 그리고 화학적 조성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 이슬발생일은 2002년 8월에 4일, 9월에 14일, 10월에 11일, 그리고 2003년 3월에 3일, 4월에 5일로 총 37일이었으며, 강수량으로 환산하였을 때, 연구기간 중(5개월)의 37일간 채취된 이슬량은 5.28 mm로 밀양지방의 30년간 평균 강수량의 1/234에 해당하였다.

2. 이슬 중 이온성분의 월별 특성의 경우, pH는 8월 < 4월 < 10월 < 3월 < 9월 순이었고, 4월에 Cl^- 가 555.8 $\mu\text{eq/l}$, NO_3^- 가 338.6 $\mu\text{eq/l}$, SO_4^{2-} 가 1118.2 $\mu\text{eq/l}$, NH_4^+ 가 262.7 $\mu\text{eq/l}$, Ca^{2+} 가 1341.0 $\mu\text{eq/l}$, Mg^{2+} 가 177.8 $\mu\text{eq/l}$ 및 Na^+ 가 325.5 $\mu\text{eq/l}$ 로 가장 높았다. 9월에는 SO_4^{2-} (243.6 $\mu\text{eq/l}$) NH_4^+ (39.3 $\mu\text{eq/l}$) 및 Ca^{2+} (456.2 $\mu\text{eq/l}$)이 가장 낮았고, 해양성 기원인 Cl^- 와 Na^+ 의 유입은 10월에 가장 낮았다. 특히, NH_4^+ 의 경우 봄철인 3월과 4월에 높은 농도를 보인 것은 파종기에 따른 주변의 경작지로부터 유입된 것으로 판단된다.

3. pH 6.5미만은 발생하지 않았으며, 6.5이상 7.0미만의 경우가 2.7%, 7.0이상 7.5미만이 24.39%, 7.5이상 8미만이 67.6% 그리고 8이상이 5.4%로 나타났다. pH 5.6 이하인 산성이슬의 발생일수는 전체 37일 중 한번도 발생하지 않았다.

4. 밀양지역 이슬의 원인물질로서 산성화물질인 [$\text{NO}_3^- + \text{SO}_4^{2-}$] 성분보다는 중화물질인 [$\text{NH}_4^+ + \text{Ca}^{2+}$]이 매우 큰 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있다.

5. NO_3^- 과 SO_4^{2-} 의 비($\text{SO}_4^{2-}/\text{NO}_3^-$)를 월별로 보면, 3월이 6.45로 가장 높았고 9월이 1.86으로 가장 낮았으며, 평균비율은 2.70으로 나타났다.

6. K^+ 와 NH_4^+ 는 전기전도도의 변화에 영향을 주는 것으로 나타났으며, K^+ 와 유의한 차이(p<0.05)를 보였다. 인위적 기원인 NO_3^- 와 비해염성 SO_4^{2-} 는 양이온들(Ca^{2+} , Mg^{2+} 및 Na^+)과 0.7이상의 좋은 상관으로 유의한 차이(p<0.01)를 보였다. 또한 0.8이상

의 높은 상관을 보인 이온들은 Cl^- 와 Ca^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} 및 nss-SO_4^{2-} 이었다.

감사의 글

본 연구를 위해 많은 도움을 주신 이슬채취 시 기상청 밀양관측소에 근무한 박문포 선생님에게 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- 김광식, 1995, 증보 농업기상학, 향문사, 132-134.
- 김영채, 정동준, 김홍률, 2000, 3개 산림지역의 이슬의 산성도 및 화학적 특성의 비교(서울, 용인, 평창을 중심으로), 한국농림기상학회지, 2(2), 31-40.
- 방소영, 최재천, 박상순, 조경숙, 오성남, 2003, 한반도 배경지역 강수 중 수용성 이온성분의 화학적 특성 분석, 한국기상학회지, 39(1), 29-41.
- 기상청, 한국기후표, 2001.
- 이정택, 윤성호, 정영상, 1989, 우리나라에 있어서의 벼 군락내의 열수지에 의한 이슬지속시간의 추정, 농업시험연구논문집(토양비료편), 31(1), 1-5.
- 정용승, 김태균, 1992, 충북 청원군의 안개, 이슬, 서리의 산성도 연구, 한국대기보전학회지, 8(1), 45-51.
- 주영특, 김영채, 1991, 산성이슬에 의한 경부고속도로변 수목의 피해에 관한 연구, 경희대 연구논문집, 12, 106-112.
- 최재천, 이민영, 이선기, 1994, 고산지역 강수의 화학성분 특성에 관한 연구, 한국대기보전학회지, 10(1), 64-72.
- 竹内政樹, 大河内博, 井川學, 2000, 露水の化學組成とその酸性化機構に関する研究, 大氣環境學會誌, 35(3), 158-169.
- 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.
- Getz, R. R., 1978, Dew-monitoring network in the Southeast, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 59(9), 1150-1154.
- Jiries, A., 2001, Chemical composition of dew in Amman, Jordan, *Atmospheric Research*, 57, 261-268.
- Kidron, G., 1999, Altitude dependent dew and fog in the Negev Desert, Israel, *Agric. For. Meteorol.*, 96, 1-8.
- 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.
- Muselli, Marc, 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.
- 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, 3,355-3,365.
- Pierson, W. R., W. W. Brachaczek, R. A. Gorse, S. M. Japar, and J. M. Norbeck, 1986, Acid rain and atmospheric chemistry at Allegheny mountain, *Environ. Sci. Technol.*, 21, 679-691.
- Scheller, E., 2001, Amino acids in dew-origin and seasonal variation, *Atmos. Environ.*, 35, 2179-2192.
- Wagner, G., K. Steele and M. Peden, 1992, Dew and frost chemistry at a midcontinental site, United States, *J. Geophys. Res.*, 97, 20,591-20,597.
- Wallin, G. R., 1967, Agrometeorological aspects of dew, *Agric. Meteorol.*, 4, 85-102.
- WMO/GAW, 1996, Report of the workshop precipitation chemistry laboratory techniques, No. 102, 14-16.
- Zangvil, A., 1996, Six years of dew observation in the Negev Desert, Israel, *J. Atmos. Environ.*, 32, 361-372.