

# 대기수분의 산림 내 화학적 조성의 변화

김영채, 류희용, 김홍률\*, 정동준  
경희대학교 생명과학대학

**Chemical properties of atmospheric moisture inside forest sites**  
Young-Chai Kim, Hee-Yong Ryu, Hong-Ryul Kim\*, and Dong-Jun Chung  
*Dept. of Ecosystem Engineering, Kyung Hee University*

## 1. 서론

최근의 환경에 대한 국제적 관심은 지역오염 문제를 초월하여 지구온난화와 산성우의 피해 및 오존층의 파괴 등 인위적 오염원에 따른 전 지구적인 환경파괴 문제가 부각되고 있다. 특히 이 가운데 산성강우에 의한 생태계의 파괴 문제는 단기간에 뚜렷한 피해를 줄 수 있기 때문에 국가 간 분쟁의 소지가 매우 높다. 대기 중 입자상이나 가스상의 대기오염물질은 비나 눈 등에 의한 습성침착(wet deposition), 그리고 중력침강, 확산, 관성충돌 등의 건성침착(dry deposition) 과정에 의해 대기 중으로부터 제거되며, 특히 강수에 의한 습성침착은 자연의 중요한 대기정화 작용의 하나이다. 강수에 의한 습성침착의 연구는 주로 이온 성분의 농도 분석을 중심으로 한 강수 중 오염물질의 농도 파악이나 pH 저하 원인의 규명 등에서 그 연구 보고를 많이 볼 수 있다. 그러나 최근 산성우 문제가 차세대의 공해문제로서 관심을 모으게 됨에 따라 습성침착은 그 실태 파악 외에도 침착기구의 해명 등 더욱 상세한 정보가 요구되고 있다.

따라서, 본 연구는 대규모의 산업 활동과 인간 활동으로 인한 대기오염이 극심해 있는 대도시 지역과 이에 반해 인위적인 환경 영향을 받지 않는 청정지역을 대상으로 각 지역별 강우(임외우)와 수관통과우, 그리고 안개를 채취하여 대기 중 수분의 화학적 조성을 파악하고자 하였으며, 동시에 임외우와 수관통과우 및 안개가 대기에서 산림으로 이동하면서 나타나는 오염물질의 증감을 조사하여 대기오염물질의 이동특성과 오염물질 저감에 대한 산림의 기능에 관한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2. 1. 조사지 개황

본 연구의 조사지는 대기오염물질이 다량 부유하고 차량의 통행이 빈번한 도시의 고속도로 인접지역과 비교적 오염물질의 배출원이 적은 산림지역으로 나누어 조사지를 선정하였다.

**Table 1.** General description of sampling sites

Location	Species	Age (yr)	DBH* (cm)	Height (m)	Density (trees/ha)	Altitude (m)	Aspect
Hagal,	<i>Qm</i>	29~41	21.8±7.9	13.2±3.8	376	80	E
Kyeonggi	<i>Pr</i>	30~35	20.1±4.6	8.8±2.2	1,028	90	E
Woongyo,	<i>Qm</i>	30~42	26.8±9.4	16.9±7.3	255	600	NE
Kangwon	<i>Pr</i>	42~48	27.2±8.9	12.5±3.8	815	600	NE

\* : Diameter at breast height  
(*Qm* : *Quercus mongolica*, *Pr* : *Pinus rigida*)

## 2. 2. 공시재료 및 분석 방법

강우의 채취는 각 조사대상지에 poly bucket(20ℓ) 용기를 임의우는 지역별 3개소씩 6개를 그리고 임내우는 임종별로 3개소씩 12개를 설치하였다. 채취 용기의 설치 시에는 빗물이 지면에 떨어지는 충격으로 인하여 이물질이 용기로 유입되지 못하도록 지면에서 50cm 이상 높이로 하였다.

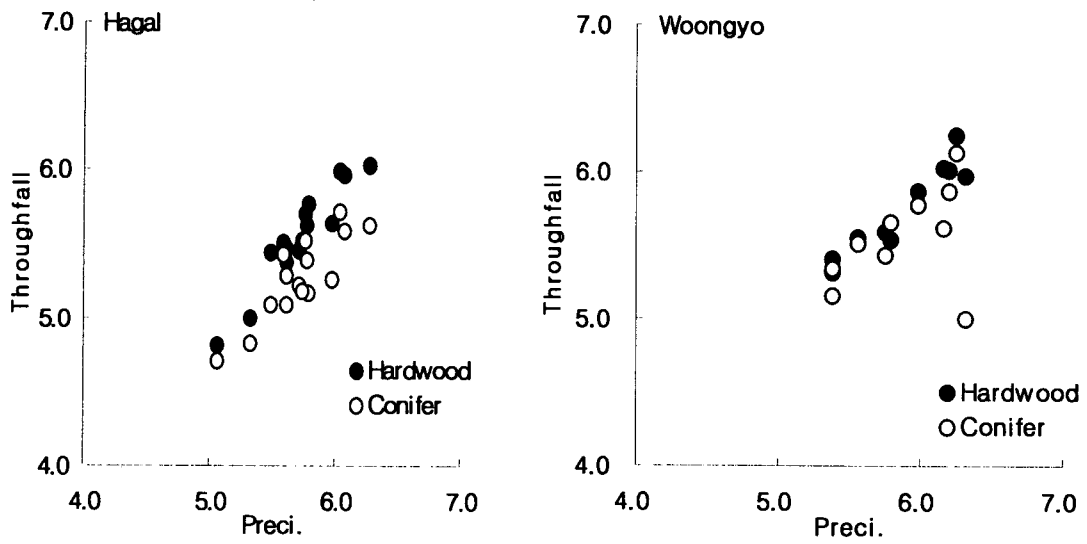
채취된 강우와 안개는 즉시 실험실로 운반하여 pH를 측정하였다. 이때 pH를 측정하기 전 분순물질을 제거하기 위하여 filter paper(Toyo Roshi Kaisha, No.5C-110mm)로 2회 여과 전처리한 후, pH meter(Bench Top, HANNA instrument Inc.)를 이용하여 3회 반복 측정하고 이를 산술평균하여 pH 값으로 취하였다. pH를 측정한 시료는 냉동고에 보관하였으며, 수용성 이온을 분석하였다. 분석 직전 시료를 0.45μm filter(Watman)로 재여과한 후, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup> 등의 양이온은 Atomic absorption Spectrophotometer (Z8230, HITACHI)로, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup> 등의 음이온은 Ion Chromatography(DX-120, DIONEX)를 이용하여 측정 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

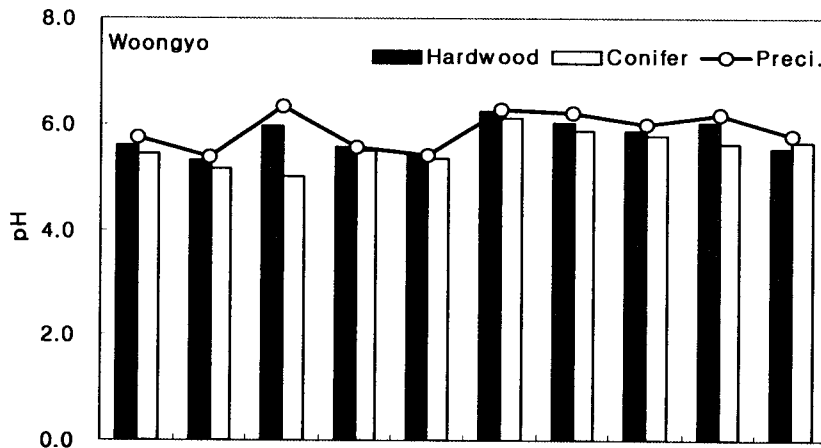
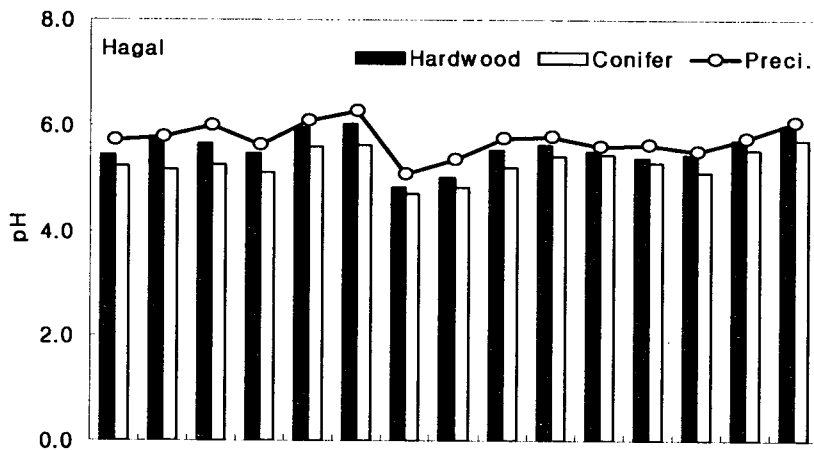
### 3. 1. 임외우와 수관통과우의 pH

임외우의 평균 pH는 5.72를 나타내었으며, 전체 시료 중 26.7%가 산성비의 정도를 보이고 있었다. 임외우와 비교해서 활엽수림의 pH는 임외우의 수준에 비슷한 경향을 보이고 있으나, 침엽수림은 임외우와 활엽수림보다 낮은 pH의 값을 보이고는 경우가 대부분이었다. 또한 임외우의 pH가 감소하면 각 수종의 수관통과우의 pH도 감소하는 경향을 보이고 있었다.

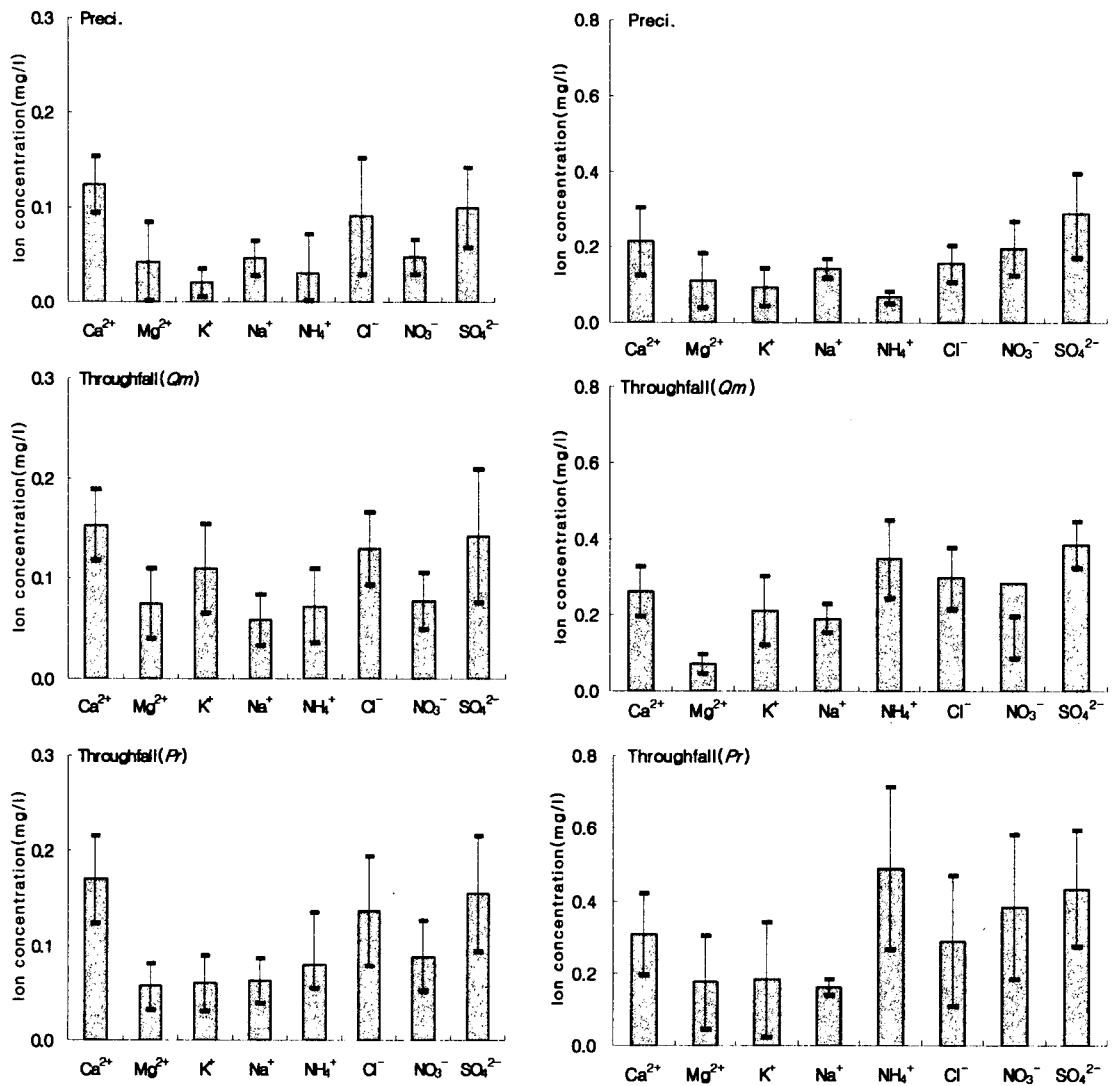
그러나 조사기간 중 강우의 pH 변화에 대한 계절적 특성은 뚜렷하게 나타나지 않았고, pH가 불규칙적인 형태를 보이는 양상이었다.



pH variation of precipitation and throughfall at research sites.



Comparison with precipitation to throughfall at research sites.



Ion concentrations of precipitation and throughfall in Hagal.

하갈지역에서 강우의 이온농도는  $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+$ 의 순이었으며, 이는 도시지역의 강수의 화학적 특성과 관련한 연구(박국태 등, 1995)와는 약간 차이가 있는 것으로 나타났다. 활엽수림의 수관통과우는  $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{NH}_4^+ > \text{Na}^+$ , 침엽수림은  $\text{Ca}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$ 의 결과를 보여 침엽수 임분의 임내우에서  $\text{NH}_4^+$ 이온이 증가하였다는 연구(박영대 등, 1999)와는 그 경향이 일치하였다.

운교리 지역에서 채취된 임외우와 수관통과우의 수용성 이온을 분석한 결과, 양이온 농도의 경시적 변화는 임외우에서  $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{NH}_4^+$ 의 순이었고, 침엽수림의 수관통과우는  $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ 의 양이온 농도를 보였다. 음이온의 경우는 임외우와 수관통과우 모두  $\text{SO}_4^{2-} > \text{NO}_3^- > \text{Cl}^-$ 의 이온농도를 보였다.

### 3. 결과

#### 3.1. 품종별 모수

거봉품종의 발아이후 만개까지  $R_h$ 는 620이며, 캠벨얼리 품종은 587이었다. 이들 모수에 의해 1993년부터 2004년까지 원예연구소 과수시험포장의 기온자료를 이용하여 개화기를 추정하고, 현재 가장 널리 쓰이고 있는 농업과학기술원 만개기 추정모형(식 1)의 결과와 비교해보면 추정오차(RMSE)가 거봉은 2.42 대 3.79, 캠벨얼리는 2.71 대 3.16으로 생물계절모형이 우수하였다 (Fig. 2).

$$DVS = \sum_{i=1}^n DVR_i$$

$$\text{거봉: } DVR_i = \left( \frac{1}{157.5 - 5.5T} \right) \times 100 \quad \text{식 (1)}$$

$$\text{캠벨: } DVR_i = \left( \frac{1}{131.1 - 4.1T} \right) \times 100$$

T는 3~5월까지의 일 평균기온 이다.

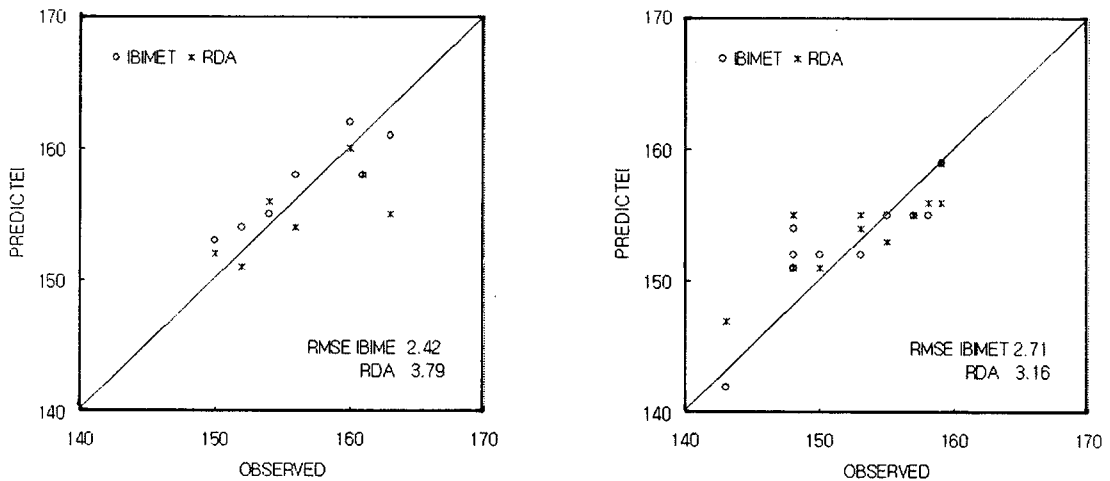


Fig. 2. Full bloom dates of Kyoho (left) and Campbell Early (right) predicted by IBIMET model for 1993 ~ 2004.

#### 3.2. 적용

경기도 안성 일대에 거봉과 캠벨얼리 품종의 발아 만개일 분포도를 30m 해상도로 얻었다. 포도 상해는 발아기이후 만개기 이전에 발생하는데 발아일 예측의 경우 RMSE가 거봉 2.4, 캠벨얼리 2.7이므로 두 품종 모두  $\pm 3$ 일의 오차범위를 허용한 상태에서 일 최저기온 영하인 지역을 중첩하면 서리피해 지역을 예상할 수 있다(Fig. 2). 그 중 안성시 공도면에 위치한 “대림동산” 포도원을 방문하여 2005년 서리피해 및 만개일자료(거봉 6월 7일, 캠벨얼리 6월 4일)를 얻었다. 조사에 의하면 두 품종의 발아일인 2005년 4월 16일에 서리피해를 입은 것으로 확인되었는데, 모형에 의한 예측 발아일은 거봉 4월 19일, 캠벨얼리 4월 18일, 만개일은 거봉 6월 7일, 캠벨

얼리 6월 3일로써 실측자료와 근접한 결과를 보였다. 뿐만 아니라 대림동산 포도원의 최저기온은  $-1^{\circ}\text{C}$ 로 추정되어 서리피해 역시 이 방법으로 충분히 예상이 가능함을 확인하였다.

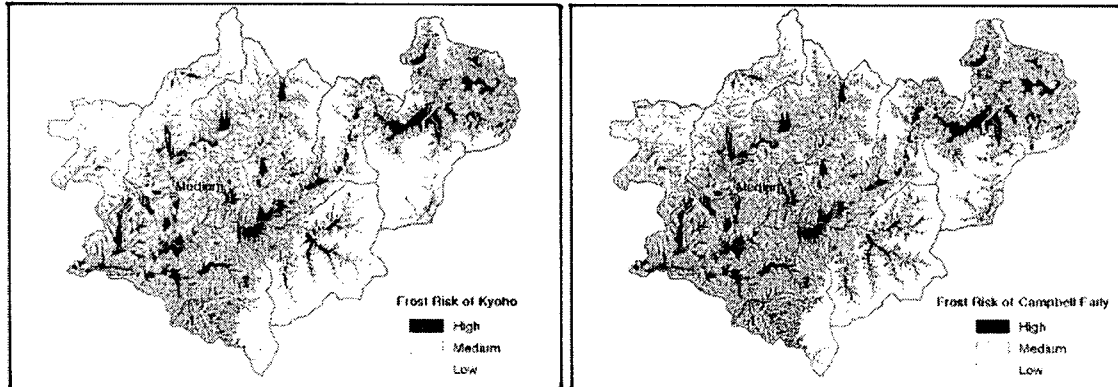


Fig. 3. Frost Risk Map of Anseong Vineyard on April 16, 2005.

#### 인용문헌

- 농업과학기술원, 1990: 주요과수재배지역의 기후특성. 농촌진흥청. 205p.
- Cesaraccio, C., D. Spano, R. L. Snyder, and P. Duce, 2004: Chilling and forcing model to predict bud-burst of crop and forest species. *Agricultural and Forest Meteorology* 126, 1-13.
- Kwon, E. Y., G. C. Song, and J. I. Yun, 2005: Prediction of Dormancy Release and Bud Burst in Korean Grapevine Cultivars Using Daily Temperature Data. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 7(3), 184-190.
- Yun, J. I., 2004: Visualization of local climates based on geospatial climatology. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 6(4), 272-289.