

## 춘천지역의 대기오염도와 은행나무의 생리적 변화에 관한 연구

이상덕<sup>1</sup> · 주영특<sup>1</sup> · 한진석<sup>2</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 산림자원보호학과, <sup>2</sup>국립환경연구원 대기화학과

(2005년 4월 4일 접수; 2005년 4월 25일 수락)

### Air Pollutants Levels and Physiological Variation of *Ginkgo biloba* in Chuncheon

Sang-Deok Lee<sup>1</sup>, Yeong-Teuk Joo<sup>1</sup> and Jin-Seok Han<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Forest Resources Protection, Kangwon National University, Chuncheon, Korea

<sup>2</sup>Department of Atmospheric Chemistry, National Institute of Environmental Research, Korea

(Received April 4, 2005; Accepted April 25, 2005)

#### ABSTRACT

This study investigated air pollutant levels and physiological variation of *Ginkgo biloba* in Chuncheon. The results were as follows: The annual average concentrations of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> and PM10 were 0.004 ppm, 0.013 ppm and 66 µg/m<sup>3</sup>, respectively. The volume weighted average concentrations of ionic components were SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 3.584 mg/m<sup>3</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 2.803 mg/m<sup>3</sup>, Cl<sup>-</sup> 1.485 mg/m<sup>3</sup> and NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 0.998 mg/m<sup>3</sup> in precipitation. The annual wet deposition amount of the major ions was shown to be SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 3.865 g/m<sup>2</sup>/yr, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 2.924 g/m<sup>2</sup>/yr, Cl<sup>-</sup> 2.773 g/m<sup>2</sup>/yr and NH<sub>4</sub><sup>+</sup> 1.485 g/m<sup>2</sup>/yr during this study period. The seasonal averaged pH in leaves were spring pH 5.9 0.5, summer pH 5.5 0.4 and fall pH 5.1 0.3. The seasonal average water soluble sulfur content in leaves were spring 0.012 0.004%, summer 0.012 0.002% and fall 0.020 0.007%. The seasonal average water soluble sulfur content in bark were spring 0.0071 0.0003%, summer 0.0066 0.0004%, fall 0.0063 0.0004% and winter 0.0071 0.0003%.

**Key words :** *Ginkgo biloba*, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM10, Acid deposition, Precipitation, pH, Water soluble sulfur content

#### I. 서 론

산업사회의 급속한 발전은 에너지 소비의 증가를 불러일으켰고 이로 인하여 산업화가 진행 중인 국가에서는 국지적, 광역적 대기환경문제들이 사회적 관심사로 부각되었다. 대기 중으로 방출된 인위적 대기오염 물질들(아황산가스, 이산화질소, 이차생성입자)등은 강우의 rainout, washout에 의해 산성우의 주된 구성을 이루게 되며 이들의 조성은 국지적인 배출원에 의해 측정지점, 측정지역에 따라 서로 다른 조성을 나타내게 된다.

대기오염은 공기, 토양 그리고 물을 오염시키며 우리의 생활에 어려움을 가중시키고 있다. 환경오염 문제는 비교적 명확한 원인을 규명하기 어려우며 대부분 복합적인 원인에 의해서 발생하게 된다. 또한 산업 활동의 다양화와 자동차 등록대수의 증가로 인해 대기오염이 더욱 심화 되고 있는 실정이다.

대기오염 물질 중 아황산가스는 석탄, 석유를 연료로 하는 화력발전소, 자동차, 각종 난방시설, 정유공장, 코크스 공장, 황산 제조공장 등에서 배출되고 있는데 이러한 인위적 배출량이 자연적인 배출량보다 훨씬 많다. 또한 급속한 산업발달에 의한 비료소비량과 교통량의

증가는 인간뿐만 아니라, 동식물에게 까지 피해를 미치고 있고, 대기오염물질 중 대표적인 것은 황산화물, 질소산화물, 불화수소, 오존, 탄화수소 및 증금속류 등이다.

대기 중의 아황산가스는 건조한 기체상태로 식물의 잎 표면에 흡착되거나 기공을 통해 내부로 흡수되고, 침전이나 강우에 의해 토양 속으로 유입된 후 뿌리를 통해 흡수된다(Unsworth *et al.*, 1985).

아황산가스는 농도가 낮거나 식물체 내에 황이 결핍되었을 경우, 식물 생장에 긍정적인 영향을 주는 반면 일반적으로 아황산가스가 식물체에 흡수되면 황산염이나 아황산염으로 축적되어 독성을 나타내고(Darrall, 1989), 체내 대사 작용이 방해받기 때문에 이를 회복하기 위한 에너지 생산으로 호흡이 증가하여 결국 생장이 감소하게 된다(Skarby *et al.*, 1987). 그러나 아황산가스와 같은 대기오염물질은 식물의 방어 작용에 의해 독성이 제거되기도 한다. 즉 대기오염물질들은 식물체내에 흡수되면 세포 내 각종 활성산소가 된다(Heath, 1980). 활성산소는 식물의 대사과정에서 필연적으로 발생하지만, 대기오염물질에 의해 발생한 활성산소는 각종 산화적 장해를 일으키며(Asada, 1999), 생체물질과 반응성이 높기 때문에 광합성 관련 색소들의 파괴, 핵산, 단백질, 지질 등의 변성을 일으킨다.

본 연구에서는 강원도 춘천지역의 산성강하물중 산성강하물의 침착량을 산정하고, 대기오염도의 측정을 하였으며, 가로수로 식재되어 있는 은행나무의 계절적 엽중산도와 수용성황합량의 변화를 조사하여, 대기오염과 수목의 생리적 변화를 알아보고자 하였다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1. 대기오염 측정방법

#### 2.1.1. 아황산가스 측정기(SO<sub>2</sub>)

측정방법은 자외선형광법을 이용하였으며, 측정원리는 비교적 단파장영역의 자외선에 의해 여기되어진 아황산가스 분자로부터 발생하는 형광강도를 측정하여 아황산가스 농도를 연속적으로 측정하는 방법이다.

#### 2.1.2. 이산화질소 측정기(NO<sub>2</sub>)

측정방법은 화학발광법을 이용하였으며, 측정원리는 시료 중에 포함되어 있는 일산화질소(NO) 또는 질소

산화물(NO+NO<sub>2</sub>)을 연속적으로 측정하는 방법으로 먼저 시료 중의 일산화질소와 오존과의 반응에 의하여 NO<sub>2</sub>가 생성될 때 생기는 화학발광강도가 NO농도와 비례관계가 있는 것을 이용하여 NO농도를 측정한다. 또한 질소산화물(NO+NO<sub>2</sub>)을 측정할 경우 시료중의 NO<sub>2</sub>를 converter를 통하여 NO로 변환시킨 후 NO농도를 구하는 방법과 동일하게 측정하여 얻은 질소산화물(NO+NO<sub>2</sub>)에서 NO농도를 뺀 값이 NO<sub>2</sub>가 된다.

#### 2.1.3. 먼지 측정기(PM10)

측정방법은 베타선흡수법( $\beta$ -Ray Absorption Method)를 이용하였으며, 측정원리는 대기 중에 부유하고 있는 입자상 물질을 일정시간 여과지 위에 포집하여 베타선을 투과시켜 입자상 물질의 중량농도를 측정하는 방법이다. 즉, 베타선을 방출하는 광원으로부터 조사된 베타선이 여과지 위에 포집된 먼지를 통과할 때 흡수, 소멸되는 베타선의 차이로서 측정되어진다.

#### 2.1.4. 산성강하물 시료분석

강수 시 마다 시료를 채취하여 pH 및 이온성분을 pH meter와 이온크로마토그래피(IC), 원자흡광광도기(AA), 자외-가시선 분광광도계(UV)를 이용하여 분석하였다.

### 2.2. 은행나무의 잎과 가지 채취 및 분석

#### 2.2.1. 은행나무의 잎과 가지 채취

강원도 춘천지역의 7곳을 선정하여 가로수로 식재되어 있는 은행나무의 잎과 가지를 2003년 12월부터 2004년 10월까지 채취하였다.

#### 2.2.2. 수용성황합량

파쇄시료 4g을 250 ml volumetric flask에 넣고 증류수를 200 ml를 가하여 Shaker에서 1시간 수평진탕한 후 250 ml까지 증류수를 부어 여과하였다.

여과액 200 ml를 beaker에 옮겨, HNO<sub>3</sub> 몇 방울을 적정하여 Hot plate에서 10~15 m까지 농축하고, 다시 HNO<sub>3</sub> 5 ml를 가해 15분간 방치한 후 증류수로 100 ml까지 채우고 BaCl<sub>2</sub>를 과량 가해 침전을 형성하였다. 침전된 용액은 다시 여과하여 건조한 다음 도가니의 중량을 감산하여 BaSO<sub>4</sub>의 무게를 구하였다.

수용성 황의 농도는 다음 식(1)에 의하여 계산하였다.

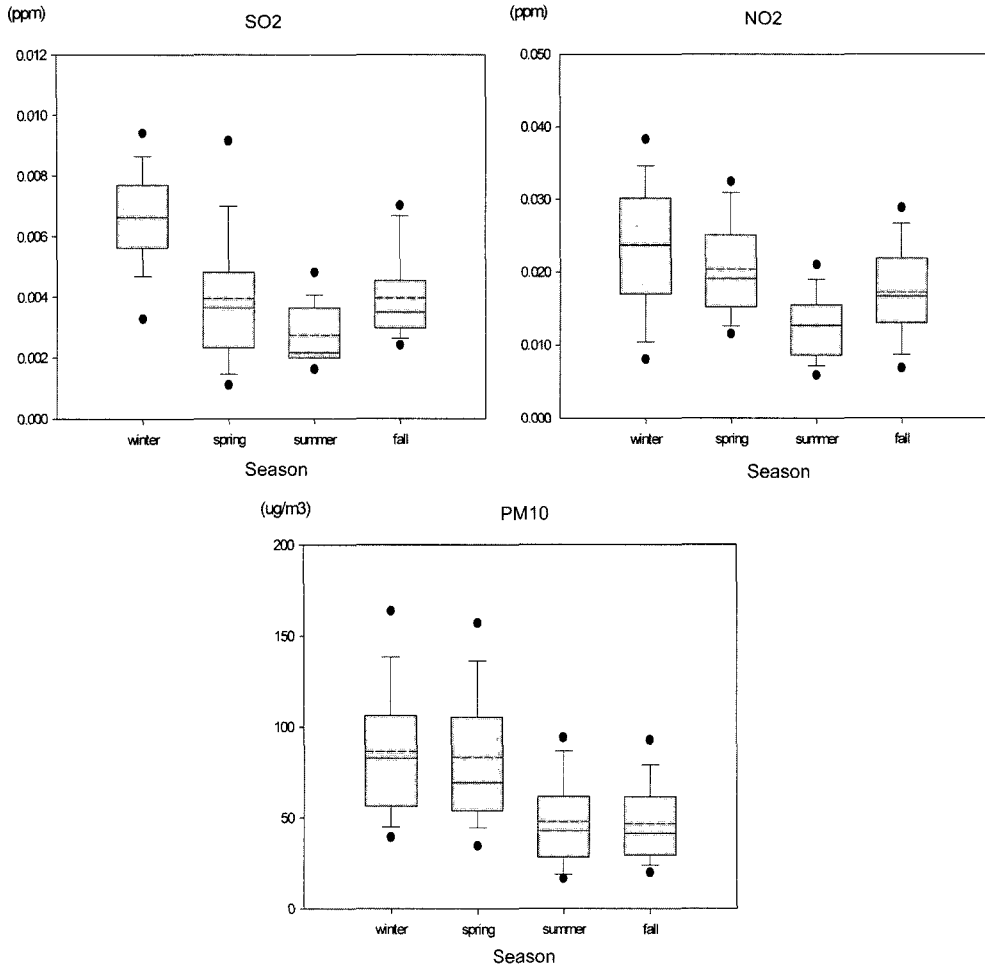


Fig. 1. Seasonal variations of SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> concentration in Chuncheon.

$$S(\%) = 0.004294(0.1374/32) \times W \quad (1)$$

W : The weight of BaSO<sub>4</sub> (mg)

**2.2.3. 잎의 pH 측정**

엽중산도는 시료 중 잎을 고루 채취하여 건조시킨 후 파쇄 하였다. 그 중 2 g을 증류수 10 ml와 혼합하여 24시간 진탕하고, pH meter로 3회 반복 측정 후 산술평균한 값을 취하였다.

**III. 결과 및 고찰**

**3.1. 대기오염도**

춘천 중앙로에서의 대기오염도(SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>)를 측정된 결과이다.

Fig. 1은 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>의 2003년 12월부터 2004년 10월까지의 하루 24시간 평균자료를 이용하여 계절별로 표현한 그림이다.

SO<sub>2</sub> 농도는 1989년부터 꾸준히 감소하는 추세로 황 함유 기준제도(1981년), 고체연료사용 금지제도(1985년), 청정연료사용 의무화제도(1988년)등 아황산가스 저감을 위한 정부정책의 추진결과이다(NIER, 2004). 전국 56개 도시에서 측정된 2003년 SO<sub>2</sub> 오염도는 0.006 ppm과 비교해 보았을 때 춘천의 연평균 0.004 ppm으로 다소 낮은 수치를 보이고 있다. 계절별 SO<sub>2</sub>의 농도는 겨울 0.007 ppm, 봄 0.004 ppm, 여름 0.003 ppm, 가을 0.004 ppm으로 측정되었으며, 0.001~0.013 ppm의 농도 분포로 환경기준 24시간 평균 0.05 ppm을 초과한 적이 한 차례도 나타나지 않았다.

NO<sub>2</sub>의 연간 오염도 변화는 매년 0.02~0.03 ppm 범위에서 증감을 반복하는 경향을 보이며(NIER, 2004), 2003년 우리나라의 NO<sub>2</sub> 오염도는 0.024 ppm 인데 비해 춘천지역은 0.013 ppm의 수치를 보이고 있다. 계절별 NO<sub>2</sub>의 농도는 겨울에 0.024 ppm, 봄에 0.020 ppm, 여름에 0.013 ppm, 가을에 0.017 ppm으로 측정되었으며, 0.002~0.047 ppm의 농도 분포로 환경 기준 24시간 평균 0.08 ppm을 초과한 적이 한 차례로 나타나지 않았다.

PM<sub>10</sub>의 경우에는 2003년 평균오염도 56 µg/m<sup>3</sup>(NIER, 2004)에 비해 춘천 중앙로 지점은 66 µg/m<sup>3</sup>으로 나타나 다소 높은 수치를 보이고 있으며, 춘천의 신북면은 50 mg/m<sup>3</sup>로 평균수치보다 다소 낮은 수치를 보였다. 계절별로는 겨울에 87.64 µg/m<sup>3</sup>, 봄에 82.14 µg/m<sup>3</sup>, 여름에 48.34 µg/m<sup>3</sup>, 가을에 46.03 µg/m<sup>3</sup>으로 측정되었으며, 9.6~306.5 µg/m<sup>3</sup>의 농도 분포로 환경기준 24시간 평균 150 µg/m<sup>3</sup>을 초과한 경우가 겨

울에 5차례, 봄에 3차례로 총 8차례 나타났다.

### 3.2. 산성강하물의 농도와 침착량

춘천지역의 산성강하물 강수량 가중평균 pH는 4.7로서 조사기간 동안의 전국평균 pH 4.8보다는 다소 낮은 수준의 산성도로 약산성의 경향을 띄고 있는 것으로 나타났다.

Fig. 2는 산성강하물의 이온 성분을 계절별 평균농도 값으로 표현한 그림이다.

산성강하물의 주요 이온인 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 연평균농도는 각각 3.584 mg/l, 2.803 mg/l, 1.485 mg/l, 0.998 mg/l를 보이고 있다.

SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>는 5.135 mg/l의 농도를 보인 겨울에 가장 높은 값을, 봄에 2.156 mg/l로 가장 낮은 값을 보였으며, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 경우에도 3.875 mg/l의 농도를 보인 겨울에 가장 높은 값을, 봄에 1.586 mg/l로 가장 낮은 값을 나타냈으며, Cl<sup>-</sup>의 경우 여름에 2.559 mg/l로 가장 높은 값을, 겨울에 0.820 mg/l로 가장 낮은 값을 나타냈다. NH<sub>4</sub><sup>+</sup>의 경우에는 1.284 mg/l를 보인 여름에 가장 높은 값을, 봄에 0.653 mg/l로 가장 낮은 값을 보였다.

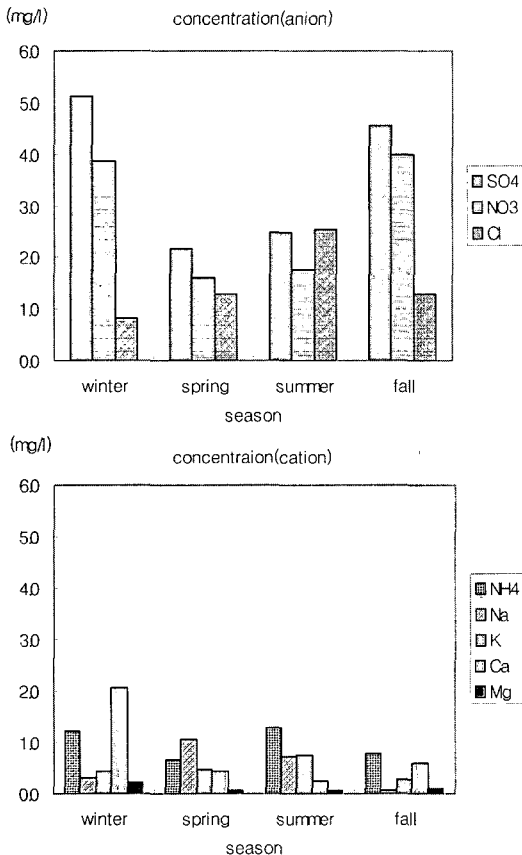


Fig. 2. Seasonal variations of ion concentration in precipitation at Chuncheon.

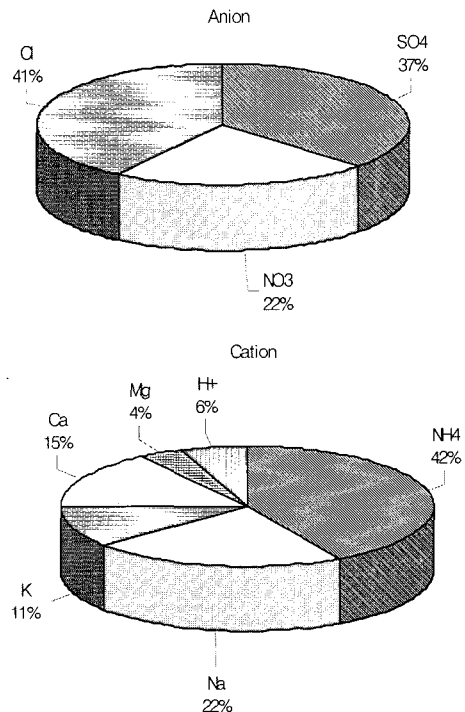


Fig. 3. Composition ratio of ion molar equivalent concentration in precipitation at Chuncheon.

Fig. 3은 이온성분농도를 화합물의 구성 존재비의 형태로 검토하기 위하여 이온성분의 농도를 당량농도로 환산한 후 각 이온성분의 함량 즉, 성분간의 구성비를 산출하였다. 총 당량농도에 대한 각 이온성분 당량농도의 구성비를 살펴보면, 음이온 성분 중에서는  $SO_4^{2-}$ 가 37%,  $Cl^-$ 가 41%로서 높은 비율을 차지하고 있으며,  $NO_3^-$ 가 22%를 차지하고 있는 것으로 나타났다. 양이온 성분 중에서는  $NH_4^+$ 가 42%로서 가장 높은 비율을 차지하고 있으며,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $H^+$ ,  $Mg^{2+}$ 순으로 각각 22%, 15%, 11%, 6% 및 4%를 차지하고 있는 것으로 나타났다.

습성강하물의 침착량에 많은 영향을 미치는 조사기간 동안의 총 강수량은 1340.3 mm 이었고, 계절별 강수량은 겨울 76.2 mm, 봄 215.1 mm, 여름 853.6 mm, 가을 195.4 mm 이었다.

산성(습성)강하물의 연간 침착량을 보면,  $SO_4^{2-}$  3.865 g/m<sup>2</sup>/yr,  $NO_3^-$  2.924 g/m<sup>2</sup>/yr,  $Cl^-$  2.773 g/m<sup>2</sup>/

yr,  $NH_4^+$  1.485 g/m<sup>2</sup>/yr이 조사기간 동안 침착되었다. 계절별로 살펴보면 비록 농도는 다른 계절보다 낮은 수치를 보였으나, 우리나라 강수 특성상 여름철에 집중됨으로서 습성강하물 침착량이 총량적으로 증가하였으며, 그 값은  $SO_4^{2-}$  2.118 g/m<sup>2</sup>/season,  $NO_3^-$  1.509 g/m<sup>2</sup>/season,  $Cl^-$  2.185 g/m<sup>2</sup>/season,  $NH_4^+$  1.096 g/m<sup>2</sup>/season로 나타났다.

### 3.3. 은행나무의 생리적 변화

Fig. 5는 잎의 pH와 수용성 황함량 및 수피의 수용성 황함량을 측정된 결과이다.

계절별 잎의 평균 pH의 변화는 봄 pH 5.9±0.5, 여름 pH 5.5±0.4, 가을 pH 5.1±0.3을 나타내었고, 엽중 수용성 황함량의 계절별 평균값은 봄 0.012±0.004%, 여름 0.012±0.002%, 가을 0.020±0.007% 수준을 보이고 있다. 수피 내 함유되어 있는 수용성 황함량의 계절별 평균값은 봄 0.0071±0.0003%, 여름 0.0066±0.0004%, 가을 0.0063±0.0004%, 겨울 0.0071±0.0003% 수준을 나타냈다.

잎의 황함량은 계절에 따라 영향을 받아 여름에 비해 가을에 증가한다(Sourfield, 1960)는 연구와 청평지역의 잣나무 잎에서 조사한 여름보다 가을철 잎의 수용성 황함량이 높게 나온 연구(Lee et al., 2004)와 같은 유사한 경향을 보였는데 잎의 경우 가을철에 가장 높은 황함량 값을 보였으며, 가지의 경우에도 겨울과 가을에 높은 황함량을 나타냈다. 이는 대기오염( $SO_2$ ,  $NO_2$ )농도가 높았던 계절과 산성강하물의 주요 이온인  $SO_4^{2-}$ ,  $NO_3^-$ 의 농도가 높았던 계절, 즉 겨울과 가을철에 pH값도 낮았으며, 수목 내에 함유 되어있는 황함량도 높게 나타나 오염도에 대해 생리적으로 민감한 반응을 나타내고 있음을 알 수 있었다.

식물체내 황함량의 30%를 대기 중에서 흡수하고, 대기 중의  $SO_2$ 농도와 일정하게 비례하며  $SO_2$  농도 증가에 따라 황함량 증가폭이 수종 간에 차이를 보인다(Kozolwski and Mudd, 1975)는 연구 결과와 같이 대기 중  $SO_2$  농도의 증가에 따라 은행나무의 잎과 수피의 수용성 황함량이 증가하는 것으로 보아 환경영향평가의 자료로서 수용성 황함량의 조사가 가치가 있다고 사료된다.

McLaughlin(1985)은 대기 중  $SO_2$ 가 잎의 기공을 통해 확산, mesophyll cells에서 녹아 생화학반응과

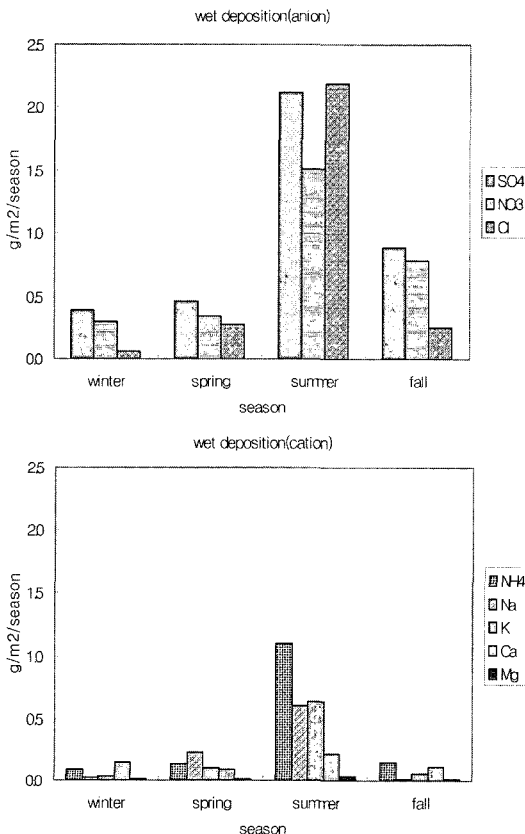


Fig. 4. Seasonal variations of wet deposition in precipitation at Chuncheon.

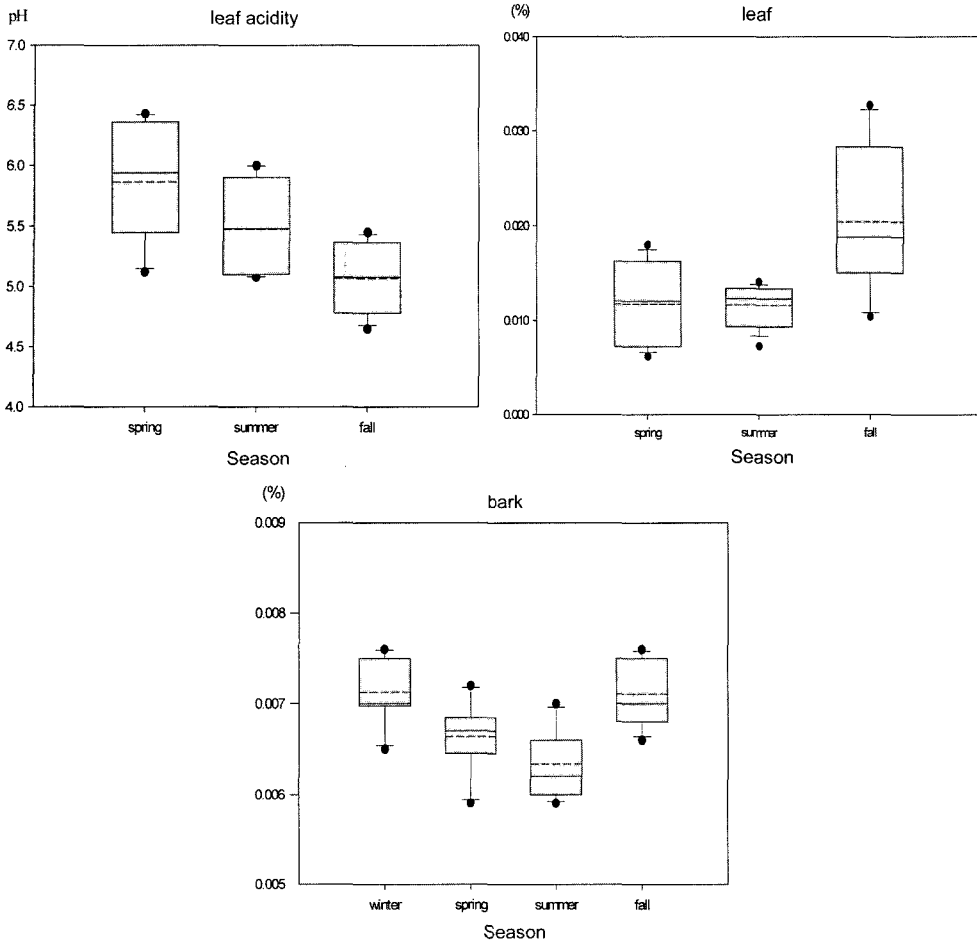


Fig. 5. Seasonal variations of pH and water soluble sulfur contents in leaf and water soluble sulfur contents in bark at Chuncheon.

세포내 대사에 변형이 일어나 식물 생장에 영향을 미친다고 하였다. 또한, SO<sub>2</sub>에 petunia 잎이 노출될 때 광합성 작용이 저해되고 세포내 유기화합물과 효소의 구조를 변화시키며, SO<sub>2</sub> 가스는 잎의 조직 투과성에 영향(Elkiey and Ormrod, 1979)을 미치는 것으로 보고하였다.

#### IV. 적 요

본 연구는 강원도 춘천지역의 산성강하물중 습성강하물의 농도와 침착량을 산정하고, 대기오염도의 측정과 함께 가로수로 식재되어 있는 은행나무의 계절적 염중산도와 수용성황함량의 변화를 조사하여, 대기오염과 수목의 생리적 변화를 통해 환경영향평가로서의

수목의 역할을 알아보는데 그 목적이 있다.

계절별 춘천지역의 대기오염도, 산성강하물의 농도와 침착량, 은행나무의 생리적 변화는 다음과 같이 조사되었다. SO<sub>2</sub> 농도는 연평균 0.004 ppm으로 전국 연평균 0.006 ppm과 비교해 보았을 때 다소 낮은 수치를 나타냈으며, 계절별 SO<sub>2</sub>의 농도는 겨울 0.007 ppm, 봄 0.004 ppm, 여름 0.003 ppm, 가을 0.004 ppm으로 측정되었고, NO<sub>2</sub>의 농도는 연평균 0.013 ppm으로 전국 연평균 0.024 ppm과 비교해 보았을 때 다소 낮은 수치를 나타냈으며, 계절별 NO<sub>2</sub>의 농도는 겨울에 0.024 ppm, 봄에 0.020 ppm, 여름에 0.013 ppm, 가을에 0.017 ppm으로 측정되었다. PM<sub>10</sub>의 경우에는 66 µg/m<sup>3</sup>으로 나타나 전국 연평균농도 56 µg/m<sup>3</sup>에 비해 다소 높은 수치를 보였으며, 계절별로는 거

울에  $87.64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 봄에  $82.14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 여름에  $48.34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 가을에  $46.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 측정되었다. 산성강하물의 주요 이온인  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ 의 연평균 농도는 각각  $3.584 \text{ mg}/\text{l}$ ,  $2.803 \text{ mg}/\text{l}$ ,  $1.485 \text{ mg}/\text{l}$ ,  $0.998 \text{ mg}/\text{l}$ 를 보이고 있는데,  $\text{SO}_4^{2-}$ 는  $5.135 \text{ mg}/\text{l}$ 의 농도를 보인 겨울에 가장 높은 값을, 봄에  $2.156 \text{ mg}/\text{l}$ 로 가장 낮은 값을 보였으며,  $\text{NO}_3^-$ 의 경우에도  $3.875 \text{ mg}/\text{l}$ 의 농도를 보인 겨울에 가장 높은 값을, 봄에  $1.586 \text{ mg}/\text{l}$ 로 가장 낮은 값을 나타냈고  $\text{Cl}^-$ 의 경우 여름에  $2.559 \text{ mg}/\text{l}$ 로 가장 높은 값을, 겨울에  $0.820 \text{ mg}/\text{l}$ 로 가장 낮은 값을 나타냈다.  $\text{NH}_4^+$ 의 경우에는  $1.284 \text{ mg}/\text{l}$ 를 보인 여름에 가장 높은 값을, 봄에  $0.653 \text{ mg}/\text{l}$ 로 가장 낮은 값을 보였다. 산성(습성)강하물의 연간 침착량을 살펴보면  $\text{SO}_4^{2-}$   $3.865 \text{ g}/\text{m}^2/\text{yr}$ ,  $\text{NO}_3^-$   $2.924 \text{ g}/\text{m}^2/\text{yr}$ ,  $\text{Cl}^-$   $2.773 \text{ g}/\text{m}^2/\text{yr}$ ,  $\text{NH}_4^+$   $1.485 \text{ g}/\text{m}^2/\text{yr}$ 이 조사기간 동안 침착되었고, 계절별로는 여름철에 강수가 집중됨으로서 습성강하물 침착량이 총량적으로 증가하였으며, 그 값은  $\text{SO}_4^{2-}$   $2.118 \text{ g}/\text{m}^2/\text{season}$ ,  $\text{NO}_3^-$   $1.509 \text{ g}/\text{m}^2/\text{season}$ ,  $\text{Cl}^-$   $2.185 \text{ g}/\text{m}^2/\text{season}$ ,  $\text{NH}_4^+$   $1.096 \text{ g}/\text{m}^2/\text{season}$ 로 나타났다. 계절별 잎의 평균 pH의 변화는 봄 pH  $5.9 \pm 0.5$ , 여름 pH  $5.5 \pm 0.4$ , 가을 pH  $5.1 \pm 0.3$ 을 나타내었고, 엽중 수용성 황함량의 계절별 평균값은 봄  $0.012 \pm 0.004\%$ , 여름  $0.012 \pm 0.002\%$ , 가을  $0.020 \pm 0.007\%$  수준을 보이고 있다. 수피 내 함유되어 있는 수용성 황함량의 계절별 평균값은 봄  $0.0071 \pm 0.0003\%$ , 여름  $0.0066 \pm 0.0004\%$ , 가을  $0.0063 \pm 0.0004\%$ , 겨울  $0.0071 \pm 0.0003\%$  수준을 나타냈다.

## 인용문헌

Asada, K., 1999: The water-water cycle in chloroplasts:

- Scavenging of active oxygen and dissipation of excess photons. *Analytical Biochemistry* **44**, 276-287.
- Darrall, N. M., 1989: The effect of air pollutants on physiological processes in plants. *Plant, Cell and Environment* **12**, 1-30.
- Elkley, T., and D. P. Ormrod, 1979: Sulfur dioxide effects on tissue permeability of petunia leaves, *Atmospheric Environment* **13**, 1165-1168.
- Heath, R. L., 1980: Initial events in injury to plants by air pollutants. *Annual Review of Plant Physiology* **31**, 395-431.
- Kozolwiski, T. T., and J. B. Mudd, 1975: *Responses of Plants to Air Pollution*, Academic Press NY.
- Lee, S. D., J. R. Kim, and Y. T. Joo, 2004: A study on the leaf acidity, bark acidity and water soluble sulfur contents of *Pinus koraiensis* in Chuncheon and Cheongpyoung. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* **6**(3), 190-195.
- McLaughlin, S. B., 1985: Effects of air pollution on forests- A critical review. *Journal of The Air Pollution Control Association* **35**(5), 512-534.
- National Institute of Environmental Research (NIER), 2004: Annual Report of Air Quality in Korea 2004.
- Skärby, L., E. Troeng, and C. A. Bostrom, 1987: Ozone uptake and effects on transpiration, net photosynthesis, and dark respiration in Scotch pine. *Forest Science* **33**, 801-808.
- Sourfield, G., 1960: Air pollution and tree growth, *Forest Abstracts* **21**(3), 339-528.
- Unsworth, M. H., D. V. Crawford, S. K. Gregson, and S. M. Rowlett, 1985: Pathways for sulfur from the atmosphere to plants and soil. In *Sulfur Dioxide and Vegetation*. W. E. Winner, H. A. Mooney, and R. A. Goldstein(eds.). Stanford University Press, Stanford, California, 375-388.