

# 수목피해와 산성강하물의 관련성에 관한 연구<sup>1</sup>

이충규<sup>2</sup> · 김종갑<sup>3</sup> · 조현서<sup>4</sup>

## Studies on the Relation between Tree Injury and Acid Precipitation<sup>1</sup>

Chong-Kyu Lee<sup>2</sup>, Jong-Kab Kim<sup>3</sup>, Hyun-Seo Cho<sup>4</sup>

### 요 약

공단지역과 일반지역의 대기오염 및 산성비가 수목피해에 미치는 영향을 파악하기 위하여 경남, 울산지역을 중심으로 산림내 유입되는 강우에 대한 오염물질의 이온특성을 분석하고, 대기중 SO<sub>2</sub> 농도와 수목의 쇠퇴도를 비교하였다. 강우의 pH는 공단지역이 일반지역보다 낮아 산성비가 내리고 있었고, EC는 pH와 강한 부의 상관( $r = -.7861^{**}$ )이었다. 용존성분중 양이온과 음이온 농도는 공단지역이 높았으며, 음이온에서는 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>와 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>가 높았다. 대기중 SO<sub>2</sub> 농도는 공단지역이 높고, 계절별로는 겨울과 봄이 높았다. 수목쇠퇴와 변수들의 상관분석결과 편상관계수는 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > pH > EC(Electrical conductivity) > NO<sub>3</sub><sup>-</sup> > SO<sub>2</sub> > Cl<sup>-</sup> 순이었으며, 추정회귀식은  $Y = 5.1007 - 0.7811 X_2(\text{pH}) + 0.0253 X_5(\text{SO}_4^{2-}) + 0.0275 X_6(\text{NO}_3^-)$ 로서, 대기오염과 산성비가 함께 영향을 미치는 것으로 나타나 산림생태계 쇠퇴 및 토양산성화는 계속될 것으로 생각된다.

주요어 : 대기오염, 음이온, 양이온

### ABSTRACT

This study was performed to investigate tree injury with air pollution and acid precipitation in industrial area and rural area. This study analyzed the ion properties of pollutant precipitated in the forest of Ulsan & Onsan area and correlation between SO<sub>2</sub> concentration in air and the degree of forest decline. pH of industrial area was lower than that of rural area and electrical conductivity and pH had a negative correlation( $r = -.7861^{**}$ ). Correlation of cation and anion(especially SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) in precipitation and SO<sub>2</sub> in air was higher in industrial area. In seasonal change, winter and spring were higher. In the analysis of correlation between forest decline and variables of precipitation properties, correlation coefficient was higher by following order: SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > pH > EC > NO<sub>3</sub><sup>-</sup> > SO<sub>2</sub> > Cl<sup>-</sup>. Regression formula by computation was  $Y = 5.1007 - 0.7811 X_2(\text{pH}) + 0.0253 X_5(\text{SO}_4^{2-}) + 0.0275 X_6(\text{NO}_3^-)$ . In considering the result of this study, it was

1 접수 4월 29일 Received on Apr. 29, 1998

2 경상남도 산림환경연구원 Forest Environment Research Institute of Kyeongsangnam-do, Chinju, 660-870, Korea

3 경상대학교 농과대학 산림과학부 Faculty of Forest Science, College of Agriculture, Kyeongsang Nat'l Univ., 660-701, Korea

4 진주산업대학교 산림자원학과 Dept. of Resources Forest, Chinju Nat'l Univ., Chinju, 660-758, Korea

predicted that air pollution and acid rain would affect soil acidification and forest decline continuously.

**KEY WORDS : AIR POLLUTION, ANION, CATION**

## 서 론

급속한 산업발전에 따른 공단의 조성과 인구의 증가에 따른 연료의 사용량 증가로 대기오염은 심각해지고 있으며, 공장의 매연과 자동차에서 배출되는 대기오염 물질이 산성비를 내리게 하여 수목의 쇠퇴 등 산림생태계에 큰 피해를 주고 있다.

세계적으로 중화학공업의 추진의 결과 대기오염과 산성비에 의한 산림쇠퇴 현상이 발생하기 시작하였고 (Manion and Lachance, 1992; MacKenzie and El-Ashry, 1989; Georgii, 1986), 우리나라에서도 석유화학 공업단지로서 울산, 온산, 여천 등 공단 주변의 산림에서는 가시적 피해 뿐만 아니라 비가시적인 피해도 많이 보고되어 왔다(한상욱 등, 1989; 김준선 등, 1982; 김종갑, 1992; 이정재 등, 1993). 산성비에 의한 산림쇠퇴의 인과관계의 구명은 산성강하물과 대기오염 물질에 의한 직접영향, 토양과 산성화 등의 간접영향, 토양건조와 병해충 등에 관한 연구가 포함된다(岸, 1988).

대기오염 물질에 의한 강우의 이온농도와 용존물질의 성분 등은 조사지역에 따라서 다를 뿐만 아니라 임내와 임외 및 오염원과의 근접관계 등 많은 요인이 작용하므로 조사지역과 산림특성에 따른 비교조사 연구는 산림내에서의 양묘변화를 구명하는데 중요하다. 산림생태계의 오염물질 흡착능력의 파악 등 산림과 산성비의 관계연구는 매우 중요한 기초연구로서, 산성비에 관련된 연구보고가 많다.(井川, 1994; 脇孝介, 1989; Nakagima and Tanabe, 1991; 1992; 下原 등, 1993).

산림지역의 산성물질의 유입은 생태계 변화를 일으키고 있고, 산림생태계 및 산림토양에 영향을 미친다. 본 연구는 경남지역의 비오염지역과 울산, 온산 공단의 오염지역을 중심으로 산림내 유입되는 강우에 대한 오염물질의 이온특성을 분석하고, 산성강하물에 의한 산림쇠퇴 징후를 구명하여 산림생태계 피해에 대한 방제대책을 수립하기 위한 기초적 자료를 제공하기 위한 목적으로 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지 선정

산성강하물 조사, 대기중  $SO_2$  농도 조사, 그리고 해송의 쇠퇴도 조사지는 경상남도를  $40km \times 40km$ 로 Mesh화하여 대각선의 교차점에 10개의 조사구에서 산성강하물 조사 및 대기중  $SO_2$  농도 조사를 실시하였다. 공단지역은 울산, 온산공단을 선정하고, 일반지역으로는 진주, 사천, 합천지역을 선정하였다. 조사기간은 1993년부터 1997년까지 실시하였다.

### 2. 조사방법

#### (1) 강우의 채취

강우를 채취하기 위한 자동 강우 채취장치(Wet only sampler)는 고감도 센스를 부착하여 강우가 센스에 닿으면 즉시 자동으로 채취구 두껍이 열려져 강우가 포집되며, 강우 후에 센스에 의하여 닫혀지므로 건성 오염물질에 의한 침입을 차단할 수 있다. 강우는 6단계로 구분채취 방식을 이용하여 매일 강우를 1~5mm까지 구분 채취하고 6mm이상은 일괄 채취하였으며, 채취구경이  $\phi 253mm$ 로서 크기는  $600 \times 375 \times 970mm$ 이며, 전원을 사용할 수 있어 겨울에도 채취가 가능하도록 설계된 것이다. 강우를 채취한 후 이온성분의 변질을 최소화하기 위하여 시료는 4℃ 냉장고에 보관하였고, 초기 강우부터 용존성분을 분석한 후 평균치를 이용하였다.

#### (2) 대기중 $SO_2$ 조사

조사지역에서 대기중  $SO_2$  농도를 측정하기 위하여 Candle  $PbO_2$  Method(임업연구원, 1993)로 지역별로 소형 백엽상을 강우 채취장소와 같은 지역의 지상 1.8m 높이에 고정하여 설치하였다.  $PbO_2$  candle은 1개당  $PbO_2$  4g + Gumtraganth 0.1g + 95% Ethyle alcohol 0.5cc + D.W. 9.5cc를 조제하여 매일 백엽상내에 설치하고  $30 \pm 1$ 일간 대기중에 방치한 후,  $PbO_2$  candle을 아크릴통에 넣어 수거하여  $SO_2$  농도를 측정하였다.  $SO_2$  분석을 위하여  $PbO_2$  Candle method에 의하여 대기중에서 반응된 시료를 실험실에서 5% Sodium Acetate로 분리 후 Barium Chloronilate로 발색시켜 분광광도계 파장

530으로 측정, 분석하였다. 다음식으로  $\langle \text{SO}_3(\text{mg}/100\text{cm}^2/\text{day}) = 0.5 \times (\text{시료의 흡광도}/\text{standard의 흡광도}) \times (50/40) \times 100/\text{candle의 방치일수}$  산출하면,  $\text{SO}_3$ 량이 되고, 이 산출량에 다시 환산계수 0.04를 곱하여  $\text{SO}_2(\text{ppm}/\text{day})$  농도를 산출하였다.

**(3) 해송의 가시적 쇠퇴도 조사**

해송의 가시적인 쇠퇴도 조사는 산림피해의 동태 및 관리 조사 방법(임업연구원, 1993)에 의해 임분에서 중심목이 되는 해송을 조사목으로 선정하고, 조사는 잎이 완전히 성숙한 시기인 8월에 실시하였으며, 강우의 채취 조사지에서 인접한 지역의 산림에 식생 조사구를 설정한 후, 그 중심점을 기준으로 하여 동서남북의 4방위로 각각 15m되는 곳에 조사점을 설정하였다. 조사점에서 제일 가까이 있는 상층목 5본을 선정하였으며, 임분이 밀생한 곳에서는 상층임관이 완전히 보이는 곳에서 수관전체를 조사하고, 해송의 쇠퇴도 평가는 낙엽율과 엽변색율의 2가지 인자에 의하여 판정하였다. 낙엽율(Table 1)과 변색율(Table 2)을 백분율로 하여 등급을 0, 1, 2, 3등급으로 4등분하여 판정한 후 낙엽율과 변색율의 상호교차되는 점수에 의해, 수목의 쇠퇴도(Table 3)를 산출하였다. 낙엽율의 산출은 해송의 수관 전체를 100%로 하고, 여기에서 수관중 잎이 차지하는 부분을 제외하고, 빈공간 100% 중에서 10%미만을 0등급, 10%에서 24%를 1등급, 25%에서 59%를 2등급, 60%이상을 3등급으로 판정하였다. 변색율의 판

Table 1. Rate of fallen leaves by survey area

Class	Fallen leaves	Rate of fallen leaves
0	Normal	≤ 10%
1	Few	11 ~ 25%
2	Middle	25 ~ 60%
3	Many	60% <

Table 2. Rate of change of leaf color in survey area

Class	Change of color	Rate of change color
0	Normal	≤ 10%
1	Light	11 ~ 25%
2	Middle	25 ~ 60%
3	Deep	60% <

Table 3. The degree of decline between rate of fallen leaves and rate of change of leaf color

Rate of fallen leaves	Rate of change of leaf color			
	0	1	2	3
0	0	0	1	2
1	0	1	2	2
2	1	2	3	3
3	2	3	3	3

정은 해송의 수관 전체에서 해송 고유의 진녹색이 가장 선명하게 나타나지 않고 연황색, 회백색, 연적색이 나타나는 색조의 비율을 100%중에서 10%미만을 0등급, 10%에서 24%를 1등급, 25%에서 59%를 2등급, 60%이상을 3등급으로 판정하였다. 판정결과를 점수화하여 방위별로 선정된 5본의 해송에 대하여 쇠퇴도를 산출하였다.

**3. 분석기기**

산성강하물 분석을 위하여 사용된 측정기기를 살펴보면, 음이온과 양이온 분석은 SYKAM S-134 Ion Chromatography 로서 분석하였고, 전기전도도 측정은 HI-9033MCM로, 강우산도 측정은 pH meter (DMS-880)를 사용하였다.

대기중  $\text{SO}_2$  분석은 UV/VIS Spectrophotometer(ANTHELTE)를 이용하여 측정하였다.

**결과 및 고찰**

**1. 강우중 산성강하물 분석**

**(1) 지역별 pH의 월별 변화**

Figure 1은 지역별, 월별 강우의 pH 변화를 나타낸 것으로 공단지역의 pH는 평균 5.11, 비오염지역의 pH는 5.76으로 공단지역의 대기오염으로 인한 강우의 산성화를 알 수 있었고, 월별 변화는 겨울과 봄이 낮았으며, 7월과 8월의 강우중 pH가 높게 나타난 것은 여름철 집중강우에 의한 것으로 판단된다. 이러한 결과는 오염원인 공단지역의 pH가 일반지역보다 높다는 보고(김동엽 등, 1996; 原宏, 1991)와 일치하는 경향이였다.

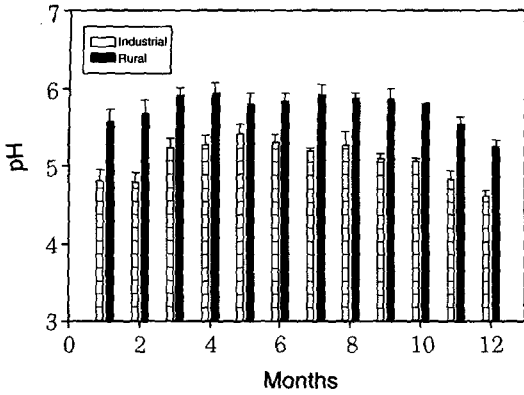


Figure 1. Monthly changes of pH of precipitation in survey areas

(2) 전기전도도의 변화

전기전도도는 지역별로 공단지역이 비오염지역 보다 높았고, 이러한 공단지역의 높은 전기전도도 값은 대기오염의 영향으로 이온성분이 많이 함유된 경우가 내리고 있다는 것을 반영한 것으로 판단된다(Figure 2). 월별 변화에서는 공단지역이 겨울과 봄에 높았고, 비오염지역이 낮게 나타났다. 전기전도도는 pH와 함께 강우내 포함된 이온성분과 높은 상관관계를 갖고 있으며, 이온량의 지표가 된다(Hiraki *et al.*, 1985). 전기전도도는 오염지역에서 높은 값을 나타내며 강우가 깨끗해질수록 전기전도도의 값이 낮다고 보고하였는데(Whitehead *et al.*, 1988), 본 연구에서도 유사한 경향을 보였다.

(3) 지역별 음이온의 월별 변화

강우중 음이온 용존성분의 지역별, 월별 변화를 나타낸 것으로, 강우중 음이온 용존성분은  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ 였고, 지역별 이온농도는 공단지역에서  $SO_4^{2-}$  과  $NO_3^-$ 이 비오염지역보다 각각 4배, 7배로 높아, 오염지역의 산성비 유입을 의미했고, 비오염지역은 이온간 뚜렷한 차이가 없었다. 월별 변화는 공단지역에서 겨울과 봄에 높아, 대기오염의 심각성을 반영하였으며, 7, 8월에 낮은 이온량은 여름의 계속되는 강우가 대기중 산성강하물의 농도를 낮게 한 원인으로 생각된다. 특히 계속되는 대기오염과 산성강하물의 유입은 토양의 산성화를 유도하여 수목의 뿌리 발달을 저해하며 수목을 고사로 진행시키고(金子等, 1995; 福原, 1995), 산림생태계 종의 감소를 가져온다(苗村, 1998; 이경재 등, 1993). 본 조사의 결과로 판단할 때, 공단지역 산성비는 산림수목에 피해를 줄 것으로 생각된다.

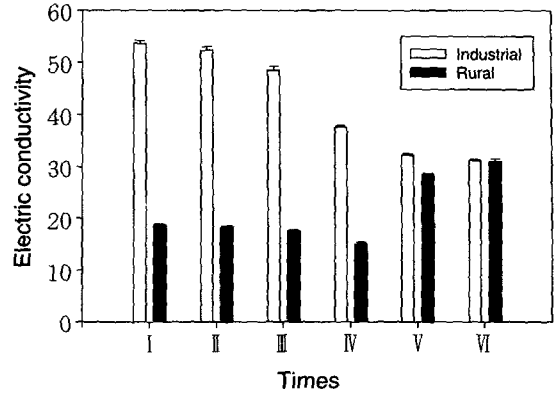


Figure 2. Monthly changes of electrical conductivity by survey areas

Note: Times I: Jan.~Feb., II: Mar.~Apr., III: May~Jun., IV: Jul.~Aug., V: Sep.~Oct., VI: Nov.~Dec.

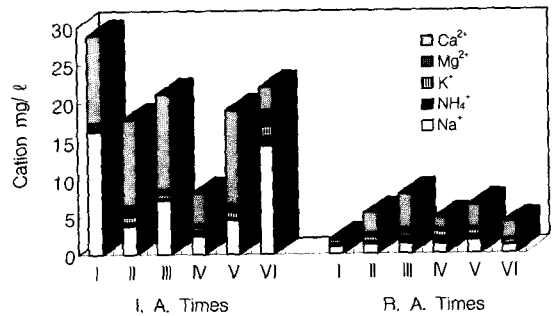


Figure 3. Changes of anion ingredient in rainfall by survey areas

Note: I.A.: Industrial area, R.A.: Rural area  
Times: I: Jan.~Feb., II: Mar.~Apr., III: May~Jun., IV: Jul.~Aug., V: Sep.~Oct., VI: Nov.~Dec.

(4) 지역별 양이온의 월별 변화

Figure 4는 강우중 양이온 용존성분의 지역별, 월별 변화를 나타낸 것으로, 강우중 양이온 용존성분으로서 염기성을 띠고 있는  $Na^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ 이었고, 지역별 이온농도는 공단지역에서  $Ca^{2+}$  과  $Na^+$ 의 이온량이 비오염지역 보다 각각 4배, 6배 높았고, 비오염지역은 이온간에 뚜렷한 차이가 없었다. 월별 변화는 공단지역에서 겨울과 봄에 높아, 대기중 염기성 분진에 의한 대기오염의 심각성을 반영하였으며, 7, 8월에 낮은 이온량을 살펴볼 때, 여름의 계속되는 강우가 대기중 염기성 분진 등 오염 물

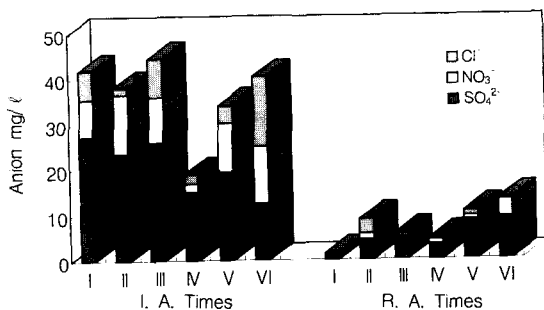


Figure 4. Changes of cation anion ingredient of rainfall in survey areas

Note: I. A.: Industrial area, R.A.: Rural area  
 Times: I: Jan.~Feb., II: Mar.~Apr., III: May~Jun., IV: Jul.~Aug., V: Sep.~Oct., VI: Nov.~Dec.

질의 농도를 낮게 한 원인으로 생각된다. 기존 연구에서 오염지역과 동절기에 이온성분이 높은 것으로 보고되었는데(Nakashima & Tanabe, 1991), 본 조사에서도 같은 경향을 나타내었다.

## 2. 대기중 SO<sub>2</sub> 분석

Figure 5는 대기중 SO<sub>2</sub>의 농도의 변화로서 산성비 영향을 추적하기 위하여 오염지역과 비오염지역으로 나누어 분석을 실시하였다. 지역별 SO<sub>2</sub>의 농도 변화는 오염지역인 울산지역이 비오염지역 보다 농도가 높게 나타나 대기중 공단지역의 SO<sub>2</sub> 물질이 많이 존재하므로 대기오염에 의한 산성비의 원인으로 생각되며, 이것은 강우분석에서 산성비온 성분인 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>과 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 농도가 증가하는 결과로 설명된다. 월별 변화는 공단지역에서 겨울과 봄에 높고, 7, 8월에 낮았으며, 비오염지역에서는 뚜렷한 차이가 없었다. 특히 공단지역의 높은 SO<sub>2</sub>의 증가는 수목의 쇠퇴에

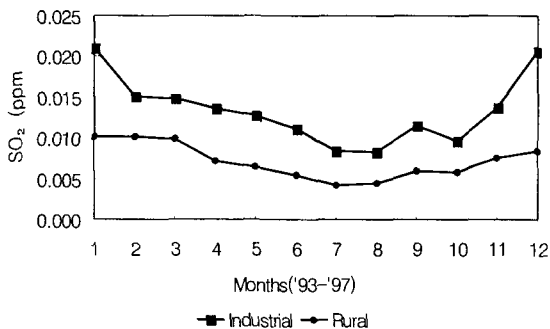


Figure 5. Monthly changes of SO<sub>2</sub> concentration by survey areas

영향을 미친다(이경재 등, 1990; 김종갑, 1992; 김점수, 1994). 본 조사에서도 공단지역이 SO<sub>2</sub> 농도가 높아 대기오염의 심각성을 의미했다.

## 3. 수목의 쇠퇴도와 SO<sub>2</sub> 농도, 강우성분과의 상관관계

공단지역과 일반지역으로 구분하여 산성강하물과 이온성분을 분석하고 조사지역에서의 해송의 쇠퇴도와 상관관계를 통계 package SAS를 이용하여 분석한 결과는 Table 4와 같다.

대기중 SO<sub>2</sub> 오염물질과 pH, 전기전도도 그리고 강우의 산성강하물의 음이온 용존성분의 상관표로서, 조사지역에 생육하고 있는 해송의 수목 쇠퇴도를 낙엽율과 잎의 변색율로서 판정하여 점수화하였고, 쇠퇴도를 종속변수로 하고 나머지 변수들을 독립변수로 하여 상관분석후 Stepwise에 의한 단단계 회귀분석을 실시하였다.

분석단계에 의거 먼저 상관분석을 실시한 결과 수목의 쇠퇴에 미치는 인자는 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > pH > electric conductivity > NO<sub>3</sub><sup>-</sup> > SO<sub>2</sub> > Cl<sup>-</sup> 순으로 강우중

Table 4. Correlation coefficient between degree of decline and acid deposition, SO<sub>2</sub>

Variety	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>
X <sub>1</sub> (D.D.)	-					
X <sub>2</sub> (pH)	-0.9332**	-				
X <sub>3</sub> (EC)	0.8931**	-0.7861**	-			
X <sub>4</sub> (SO <sub>2</sub> )	0.8541**	-0.8401**	0.9055**	-		
X <sub>5</sub> (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	0.9559**	-0.8841**	0.9541**	0.8937**	-	
X <sub>6</sub> (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0.8917**	-0.7680**	0.8195**	0.7495**	0.8985**	-
X <sub>7</sub> (Cl <sup>-</sup> )	0.6746**	-0.7752**	0.5434**	0.6114**	0.7038**	0.6075**

Note: \*\* Means statistically significant at 1% level, X<sub>1</sub>(D.D.) Degree of decline

**Table 5. The contribution of significant factors to total variation of decline by stepwise regression analysis**

Entered variable	R <sup>2</sup>	Regr. coeff.	S.E.	F	Prob>F
X <sub>2</sub> (pH)	0.9138	-0.7811	0.1459	28.65	0.0001
X <sub>5</sub> (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	0.9493	0.0253	0.0085	8.89	0.0001
X <sub>6</sub> (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0.9593	0.0275	0.0116	5.63	0.0001
Constant	-	5.1007	-	-	-
Total	0.9679	-	-	-	0.0001

산성이온에 강한 상관성이 있어 수목의 쇠퇴에 영향을 하였다.

특히, 강우중 pH는  $r = -0.9332^{**}$ 로서 강한 부의 상관성이 있었고, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>( $r = 0.9559^{**}$ )는 산성비에 결정적인 영향을 주는 이온으로 산성비의 산림지역 유입은 수목의 쇠퇴 및 산림생태계에 피해를 주어 생물종의 파괴를 가져올 것으로 생각된다. 대기중 SO<sub>2</sub> 농도는 분석결과  $r = 0.8541^{**}$ 의 정의 상관성이 있어 수목의 쇠퇴에 영향을 준 것으로 판단되었다. pH와 전기전도도는  $r = -0.8931^{**}$ 로서 강한 부의 상관성을 보여 공단지역의 높은 이온량을 설명하였다.

Kobayashi 와 Nakagawa(1993)는 삼나무의 쇠퇴도와 강우의 이온성분 및 전기전도도와 상관분석에서 쇠퇴도와 전기전도도 사이에는 1%수준, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>는 5%에서 유의성이 있어 강우 속의 이온성분이 삼나무의 쇠퇴에 영향을 미치고 있음을 보고하였는데, 본 연구에서는 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>가 1%에서 유의성이 인정되어 산성비가 수목의 쇠퇴에 영향을 미치는 것으로 판단되었다.

Table 5에서 회귀분석에서 처음으로 투입된 변수는 pH였고, 다음으로 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>와 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 순이었고, 다단계 회귀분석으로 추정된 회귀식은  $Y = 5.1007 - 0.7811 X_2 + 0.0253 X_5 + 0.0275 X_6$ 로 추정되었고, 추정 회귀식의 설명력은 97%로서 수목 쇠퇴에 영향하는 인자는 pH, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 순으로 분석되었다.

## 인용문헌

김동엽, 유정환, 채지석, 차순형(1996) 대기오염물질의 산림생태계내 유입과 토양의 화학적 특성 변화. 한림지 85(1): 84-95.  
 김종갑(1992) 온산공단주변의 대기오염이 삼림식생에 미치는 영향. 경상대학교 박사학위논문, 5~86쪽.

김준선(1992) 대기오염물질이 여천공단주변 해송의 양묘동태와 군락구조에 미치는 영향. 서울대학교 대학원 박사학위논문, 1~101쪽.  
 김점수(1994) 사상공단주변의 대기오염이 삼림식생에 미치는 영향. 경상대학교 박사학위논문, 1~59쪽.  
 이경재, 김갑태, 이용범(1993) 산성우 및 대기오염물질이 산림에 미치는 피해의 조기 판단에 관한 연구. 한국과학재단 특정기초연구보고서, 205쪽.  
 이경재, 배정오, 고강석, 우종서(1990) 울산공단지역에서의 대기오염이 삼림에 미치는 영향(I) -대기오염에 의한 곰솔의 피해- 한국대기보전학회지 6(1): 103~110.  
 임업연구원(1993) 산림피해의 동태 및 관리 조사 방법. 13~15쪽.  
 한상욱 등(1989) 대기오염에 의한 식물군집의 피해평가 및 유지방안에 관한 연구(I) -온산공단 주변지역의 식생을 중심으로-. 국립환경연구원보 11: 185~206쪽.  
 金子信博, 加藤憲道, 富永明良, Eric Salamanca, 新村義昭(1993) 酸性降下物が森林土壌に与える影響. 日本關西支論 3: 65-67.  
 苗村晶彦(1998) 瀬戸内海沿岸部における大気汚染物質の動態と森林衰退に関する研究. 廣島大學博士論文, pp. 1~5.  
 福原 世津子(1995) 酸性雨による森林への影響調査(IV). 日本關西支論 4: 35-37.  
 岸洋一(1988) マツ材線虫病-松くい虫-, トーマス・カンパニー, 298pp.  
 原宏(1991) 酸性雨とpH. 大氣汚染學會誌 26(1): 1-7.  
 井川 學(1994) 日本氣象學會春季大會シンポジウム「酸性雨-地球環境問題として-」の報告. pp. 271-275.  
 中根周歩(1996) 大氣汚染物質による森林被害の實態解明. 廣島大學校報告, pp. 1~44.  
 下原孝章 等(1993) 大氣中の酸性降下物の動態と沈着評價(1). 大氣汚染學會誌 28(5): 295-307.

- 脇孝介(1989) 酸性降下物等の土壤中の動態とスギ林への影響豫測. 日本化学會誌 25(5) : 434-437.
- Georgii, H. W.(1986) Atmospheric pollutants in forest areas. Reidel Publishing Co., Dordrecht, Holland, 287pp.
- Hiraki, T., M. Tamaki, H. Mitsugi and H. Watanabe(1985) Estimation of air pollution by rainwater components. Bull. of Hyogo Prefectural Pollution Station 17: 6-11.
- Kobayashi, T. & Y. Nakagawa(1993) Degree of the decline of *Cryptomeria japonica* in the south-eastern parts of Hyogo Prefecture and the effect of acid and oxidative pollutants. Bull. of Hyogo Prefectural Pollution Station 25: 8-11.
- MacKenzie, J. J. and M. T. El-Ashry(1989) Air pollution's toll on forests and corps. Yale University Press, New Haven, 376pp.
- Manion. P.D. and D. Lachance(1992) Forest decline concepts. APS press, St. Paul. MN., 249pp.
- Nakashima, Y. and K. Tanabe(1992) Studies on the effect of forest system by acid rain(I) - Chemical compositions of rain water and fog water at Miyoshi area. Bull. of Hiroshima Prefectural Forest Experiment Station 28: 30-45.
- Nakashima, Y. and K. Tanabe(1991) Studies on the effect of forest system by acid rain(II) - Chemical compositions of rain water and fog water at Miyoshi area. Bull. of Hiroshima Prefectural Forest Experiment Station 27: 37-48.
- Whitehead, P. G., S. Bird, M. Homung, J. Cosby, C. Neal and P. Paricos(1988) Stream acidification trends in the welsh uplands - a modelling study of the Lly Brianne catchments -. J. of Hydrology 101: 191-212.