

# 人工酸性비에 의한 農作物 잎의 組織形態 變化에 關한 研究

— I. 고추, 들깨 및 가지에 關하여 —

李宗植\* · 金福榮\* · 崔 善\* · 李奎承\*\*

## Study on Histological Perturbations of Crop Leaves after Exposure to Simulated Acid Rain

— I. Red pepper, Perilla and Eggplant —

Jong-Sik Lee\*, Bok-Yong Kim\*, Sun Choi\*, Kyu-Seung Lee\*\*

### Abstract

To investigate the alterations in the ultrastructure of leaves by acid rain, 10mm of SAR(Simulated Acid Rain, pH 2.0, 2.7, 3.0, 6.0) was applied to three crops(red-pepper, perilla, eggplant) at a two-day interval. The symptoms of leaf damage by SAR were observed by naked eyes and SEM(Scanning Electron Microscope), and the peroxidase activity in the leaves was measured. The results are summarized as follows :

The severity of SAR damages to the crops observed by naked eye were in the decreasing order of red-pepper, perilla, and eggplant. The Symptoms were characterized by brown or white spots on the leaf surface. In the SAR treatment of pH 3.0, trichomes of all crops except for eggplant were damaged. By the SAR treatment of pH 2.7, stomata were damaged in all crops. With one time treatment of SAR, the peroxidase activity of perilla was rapidly increased.

### 緒 言

산성비(Acid Rain)는 환경오염의 직접적인 결과로 나타나는데 그 영향이 미치는 것은 풍향과 풍속에 따라 차이는 있으나 수 백 Km를 이동하여 주변 국가에도 직접 또는 간접으로 영향을 주기 때문에 오존층 파괴, 온실효과, 열대우림 파괴 등과 함께 국제적인 환경문제로

대두 되었고, 현재 세계 각국은 산성비 피해에 대하여 공동으로 대처하고 있다.

산성비란 말은 1852년 영국의 R. A. Smith에 의해 처음 사용되었고, 1881년 영국에서 나온 오염물질이 노르웨이까지 장거리 이동됨이 보고된 바 있으나 산성비에 관해서는 스웨덴의 S. Odens가 빗물의 산성도와 황이 토양이나 호수의 산성화와 관계가 있음을 발표한

\* 農業科學技術院(National Agricultural Science & Technology Institute, RDA, Suwon, Korea)

\*\* 忠南大學校 農科大學(College of Agriculture, Chungnam Nat'l University, Taejon, Korea)

○ 본 研究는 農村振興廳 特定研究 課題로 遂行되었음.

1960년대 말부터 1970년대 초에 이르러 관심을 가지게 되었다.<sup>1)</sup>

산성비는 대기중에 방출된 산성물질들이 빗물과 함께 내려 pH 5.6 이하의 빗물이 된 것을 말하는데 이 기준은 오염되지 않은 곳의 대기중 이산화탄소(약 340ppm)를 대기중의 수증기에 의해 용해할 때 생성되는 탄산의 수소이온 농도를 기준으로 한 것이다.<sup>2, 3, 4)</sup>

산성비를 만드는 원인물질은 주로 이산화황(SO<sub>2</sub>)이나 질소산화물(NO<sub>x</sub>)이며, 이들의 대기중으로 방출은 자연적 요인과 인위적 요인으로 나눌 수 있다. 자연적 요인으로는 육상과 해상의 생물이 방출하는 것과 산불, 지질운동, 번개, 대기중의 먼지 등 비생물적인 요인들이 있으며, 인위적인 요인으로는 주로 산업 및 에너지 부분의 문명생활에서 기인되는 요인들이 있다.<sup>1)</sup>

이러한 산성비의 영향은 산림이나 농작물, 토양, 호수 및 지하수, 건축 구조물 그리고 인체에까지 피해를 주게 되는데 우리나라에서도 이미 대도시와 공업단지 주변에서는 pH 4.5 이하의 산성비가 내리고 있고, 환경에 대한 대중의 인식이 높아짐에 따라 이러한 산성비의 영향과 그 대책수립에 관심을 가지고 있다. 그러나 아직은 뚜렷한 대규모 피해지역이 나타나지 않고, 피해가 우려되는 일부 지역에서도 그 현상이 다른 나라의 경우와 다른 양상을 보이기 때문에 이에 대한 정확한 구명이 요구된다. 또한 아직은 우리나라 육상생태계에서 대기오염과 산성비로 인한 뚜렷한 피해가 극히 미미한 것으로 인식되고 있지만 pH 5.0 부근에서 벼와 보리 등의 광합성 속도가 저해된다는 Taniyama 등<sup>5)</sup>의 보고와 이 등<sup>6,7,8)</sup>의 결과처럼 작물의 불가시적인 조직피해를 통한 잠재적인 피해는 인정해야 할 것으로 본다.

본 연구는 산성비로 인한 작물의 조직 피해를 알아보기 위하여 고추, 들깨, 가지 등 3개 작물에 대하여 온실안에서 인공산성비를 처리한 후, 각 작물의 잎 조직을 주사전자현미경(SEM)으로 관찰하여 실시하였다.

材料 및 方法

산성비에 의한 작물의 조직피해를 알아보기 위해 고추

(품종 : 고명), 들깨(대엽), 가지(흑마)를 공시작물로 하여 온실에서 pot 재배하여 2일 간격으로 매회 강우량 10mm에 해당하는 인공빗물을 10회 살포하였으며, 인공비는 수도물에 pH 조절액(황산 : 질산=2 : 1)을 이용하여 pH 2.0, 2.7, 3.0 및 6.0(대조)으로 조절하여 사용하였다.

산성비에 의한 작물잎의 가시적 피해율은 달판으로 조사하였으며, 잎의 표면조직 피해는 Hitachi S-570 Scanning Electron Microscope를 이용하여 조사하였다.

Peroxidase 활성은 Nyman법<sup>9)</sup>으로 실시하였다. 즉 생체엽을 채취하여 일정량을 0.1M- Phosphate buffer (pH 6.5) 5ml로 균일하게 간 후 원심분리하여 상정액을 효소액으로 이용하였다. 이 상정액 100μl와 조작액(0.1 M-Acetate buffer, pH 5.2+1% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>+Guaiacol 혼합액) 3ml와 반응시켜 470 nm에서 흡광도를 측정하였다.

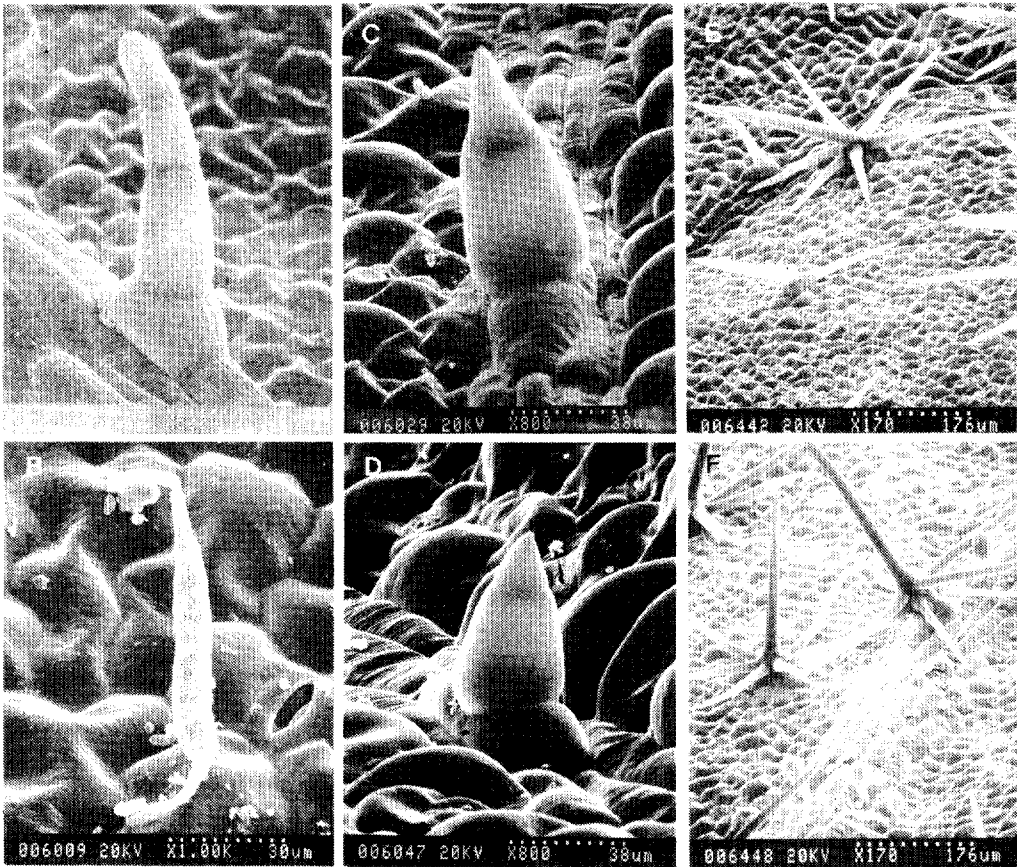
結果 및 考察

1. 인공산성비 처리에 따른 작물 잎의 가시적 피해율

Table 1. Degree of foliar damage<sup>1</sup> on crops by treatment of SAR(simulated acid rain)

Crops	pH of SAR	Number of treatment				
		1	3	5	7	10
Red pepper	6.0	0	0	0	0	0
	3.0	0	Tr	Tr	Tr	Tr
	2.7	0	Tr	Tr	Tr	1
	2.0	1	3	9	9	9
Perilla	6.0	0	0	0	0	0
	3.0	0	0	0	0	0
	2.7	0	Tr	Tr	Tr	Tr
	2.0	1	2	4	6	8
Eggplant	6.0	0	0	0	0	0
	3.0	0	0	0	0	0
	2.7	0	Tr	Tr	Tr	Tr
	2.0	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr

1 : 0(non-symptom), Tr(Trace, <10%), 1(10-20%), 2(20-30%), 3(30-40%), 4(40-50%), 5(50-60%), 6(60-70%), 7(70-80%), 8(80-90%), 9( >90%)



**Photo 1. Scanning electron microphotographs of trichome of crop leaves treated with SAR.**  
**A : Red-pepper(pH 6.0, ×500), B : Red-pepper(pH 3.0, ×1,000), C : Perilla(pH 6.0, ×800),**  
**D : Perilla(pH 3.0, ×800), E : Eggplant(pH 6.0, ×170), F : Eggplant(pH 3.0, ×170)**

산성비에 의한 각 작물의 가지적 피해는 콩의 경우 pH 2.0의 산성비 처리후 24시간 내에 갈색반점이 엽맥을 따라 형성되었다는 Yoshishisa의 보고<sup>10)</sup>와 같이 모든 공시작물에서 pH 2.0의 인공산성비 1회 처리로 피해반점이 형성되었으며, 피해율은 처리횟수가 증가할수록 높았다. 각 작물별 피해정도는 pH 2.0의 산성비 처리구를 비교할 때 고추, 들깨, 가지의 순으로 나타났다. 특히 가지의 경우 10회 처리후에도 10% 미만의 낮은 피해율을 보여 다른 작물보다 산성비에 대한 높은 내성을 보였는데 이에 대해서는 작물의 형태적, 생태적 특성 등 앞으로 더욱 상세한 규명이 뒤따라야 할 것이다. 또한 pH 3.0 이상의 산성비 처리구에서는 큰 피해가 발견되지

않아 작물에 대한 산성비 피해는 pH 3.0 이하라는 기존의 보고를 뒷받침하였다.

작물체 외에 나타난 일반적인 산성비 피해증상은 아황산가스 피해와 비슷하게 잎 가장자리나 엽맥사이에 갈색 또는 백색의 반점이 형성되었으며, 특히 들깨는 심한 경우 피해 부위에 구멍이 뚫리게 된다.

**2. 작물별 잎의 표면조직 변화**

毛茸(Trichome)은 단세포성이거나 다세포성을 막론하고 표피의 부수체를 말하는 것으로 그 기능은 첫째, 잎으로부터 염류방출의 통로가 되어 식물체내의 독성 염류축적을 억제하며, 둘째, 열에 의한 엽육(mesophyll)

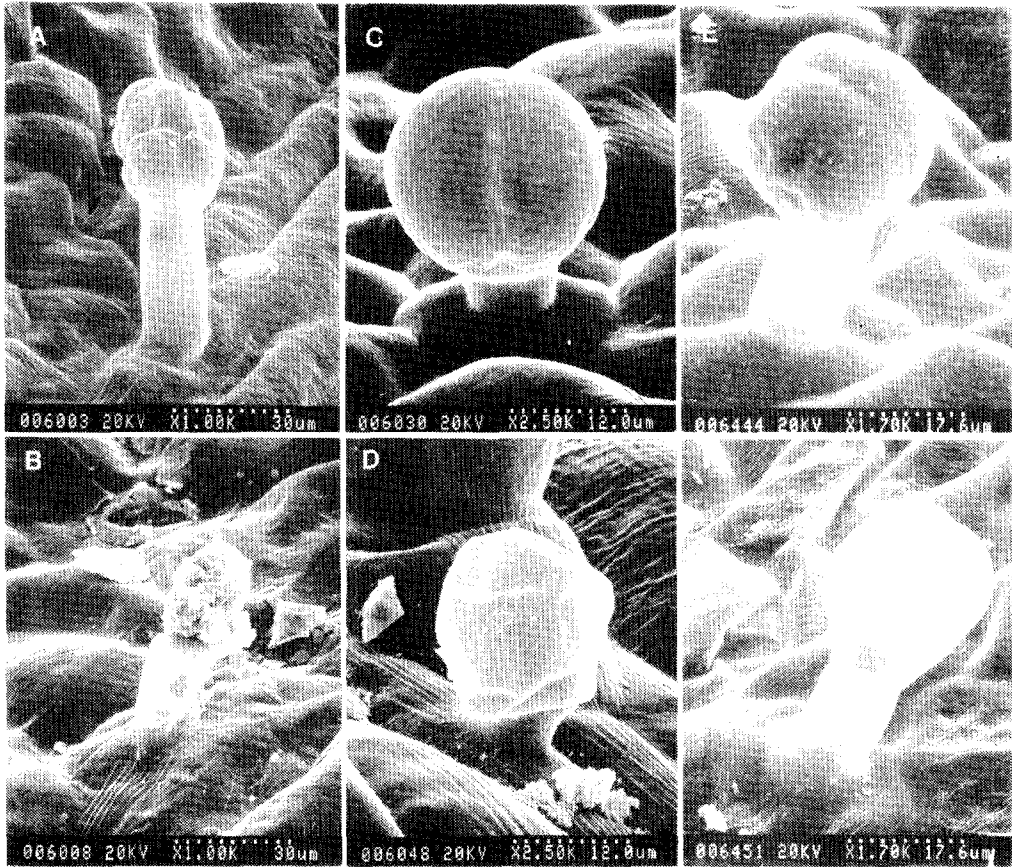


Photo 2. Scanning electron microphotographys of trichome of crop leaves treated with SAR. A : Red-pepper(pH 6.0,  $\times 1,000$ ), B : Red-pepper(pH 3.0,  $\times 1,000$ ), C : Perilla(pH 6.0,  $\times 2,500$ ), D : Perilla(pH 3.0,  $\times 2,500$ ), E : Eggplant(pH 6.0,  $\times 1,700$ ), F : Eggplant(pH 3.0,  $\times 1,700$ )

의 피해를 방지하며, 그리고 셋째, 해충에 대한 방어 역할로 볼 수 있는데 그 형태는 작물에 따라 다양하다.<sup>11)</sup> Evans 등<sup>12, 13, 14)</sup>은 작물의 산성비 피해는 대부분 기공과 모용 주위에 나타난다고 보고하고 있는데, 그림 1과 2는 pH 6.0(대조구)와 pH 3.0 인공산성비 처리구에서 각 작물 잎 표면에 존재하는 크기와 모양이 다른 두 종류의 모용을 전자현미경으로 촬영한 것으로 고추 경우는 대조구에서 작물체 잎의 모용이 정상적 이었지만 pH 3.0의 인공산성비 처리구에서 두 종류의 모용이 모두 기능을 발휘할 수 없을 만큼 심하게 변형되어 있음을 발견하였다. 들깨 잎에서는 pH 3.0 인공산성비 처리로 그림 2와 같이 크기가 작은 腺毛만이 피해를 입었다. 가지의

경우는 pH 3.0 처리구에서도 두 종류 모용 모두 피해를 받지 않은 것으로 나타났는데 이는 낮은 가시적 피해를 오히려 더불어 가지가 산성비에 강한 작물임을 뒷받침하고 있다.

또한 기공(Stomata)은 인접한 두개의 표피세포가 특수화하여 그 사이에 공극을 이룬 것을 말하며, 특수화한 두 표피세포를 공변세포라 한다. 기공은 세 가지 유형에 의해 형성되는데 첫째, 부세포와 공변세포가 같은 세포에서 기원하는 中位形成型(Mesogenous), 둘째, 周邊形成型(Perigenous)은 부세포가 기공세포에 인접한 원표피세포에서 발달하는 것이고, 셋째는 부세포가 두 가지 기원을 가지는 형으로 일부의 부세포는 공변세포와

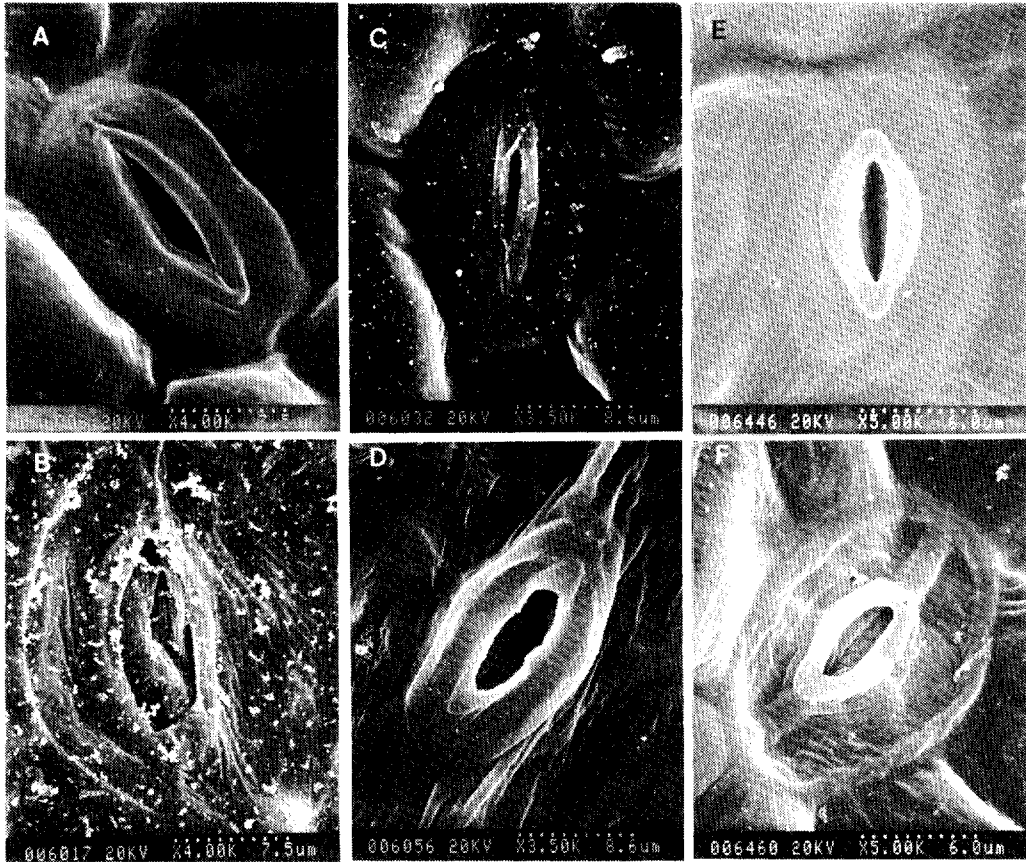


Photo 3. Scanning electron microphotographs of stomata of crop leaves treated with SAR.  
 A : Red-pepper(pH 6.0, ×4,000), B : Red-pepper(pH 2.7, ×4,000), C : Perilla(pH 6.0, ×3,500), D : Perilla(pH 2.7, ×3,500), E : Eggplant(pH 6.0, ×5,000), F : Eggplant(pH 2.7, ×5,000)

같은 기원이고 일부는 공변세포와 그 기원이 다른 中位周邊形成型(Mesoperigenous) 등이다. 이러한 기공의 수는 식물의 종류와 광도에 따라 다른데 광도가 약할수록 기공의 수는 감소한다. 그 배열은 網狀脈(Reticulate venation)을 가진 잎에서는 기공이 불규칙적으로 배열되어 있으나 平行脈(Parallel venation)은 잎의 엽선에서 엽기로 향해 종렬로 규칙적으로 배열되어 있다.<sup>15)</sup>

그림 3은 기공을 확대 촬영한 것으로 대조구(pH 6.0)에 비하여 pH 2.7의 산성비처리로 각 작물 모두에서 공변세포가 피해를 받았음이 발견되었다.

그러나 잎표면의 피해가 작물 수량에 미치는 영향은

적다는 보고<sup>16)</sup>와 비록 가시적 피해는 없어도 작물의 생육이 저하될 수 있다는 보고<sup>10)</sup> 등으로 미루어 볼 때 산성비에 대한 농작물의 일반적인 피해를 알아보기 위해서는 많은 작물과 다양한 품종에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

### 3. 작물의 생리적 특성변화

Peroxidase는 Ethylene<sup>17)</sup>과 함께 식물이 부적합한 환경에 처할 때 활성이 높아지는 효소로 알려져 있다.

Table 2. Effect of SAR on the peroxidase activity of several vegetable leaves

(unit : OD/g min.)

Crops	pH of SAR	Number of treatment					
		0	1	3	5	7	10
Red papper	6.0	0.056	—	0.082	0.177	0.178	0.158
	3.0		—	0.104	0.261	0.183	0.221
	2.7		—	0.155	0.482	0.533	0.741
	2.0		—	0.169	4.048	* <sup>1</sup>	*
Perilla	6.0	0.023	0.028	0.047	0.077	0.062	0.087
	3.0		0.034	0.058	0.084	0.096	0.102
	2.7		0.069	0.080	0.227	0.215	0.235
	2.0		0.103	0.266	0.332	0.572	0.675
Eggplant	6.0	1.030	1.064	0.666	0.550	0.667	0.789
	3.0		1.108	0.737	0.759	0.759	0.946
	2.7		1.951	2.856	2.189	2.356	2.423
	2.0		2.599	2.861	2.496	3.120	3.299

<sup>1</sup> : Peroxidase activity couldn't be measured due to the fallen leaves

Nyman은 Scot pine.으로 Peroxidase 활성을 조사한 결과, plant age에 매우 민감하여 수령이 증가할수록 활성이 증가하였고 오염지역의 식물이 훨씬 노화가 촉진되었다고 보고하였다. 한편 Jokinen 등도 오염정도가 심할수록 활성이 증가하였다고 보고하여 Peroxidase를 공해물질 존재여부 판단의 지표효소로 많이 사용하고 있다.<sup>9)</sup>

본 시험의 결과, 인공산성비의 처리 횟수가 증가할수록 Peroxidase 활성도 증가하였으며, pH가 낮을수록 높았다. pH 3.0 처리구까지는 대조구(pH 6.0)과 큰 차이를 보이지 않았으나 pH 2.7 처리구에서는 크게 활성이 증가되어 생리적으로 산성비 피해를 받은 것으로 나타났다. 가지의 경우에는 전체적으로 활성이 높은 특징을 보였으며, 들깨는 1회 처리로 급격한 Peroxidase의 활성 증가를 보여 산성비에 대한 예민함을 보였다.

### 摘 要

고추, 들깨, 가지 등 3개 작물에 pH 2.0, 2.7, 3.0 및 6.0(대조구)의 인공산성비를 10mm씩 2일 간격으로 10회 처리한 후 잎의 피해율과 조직의 변화 그리고 효소

활성의 변화를 살펴본 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 산성비 처리로 작물에 나타난 가지적피해는 고추> 들깨>가지의 순이었으며, 작물의 산성비에 대한 일반적인 피해증상은 잎표면에 나타나는 갈색 또는 백색의 반점이다.
2. pH 3.0의 인공산성비를 처리하여 작물의 잎표면을 전자현미경(SEM)으로 관찰한 결과, 가지를 제외한 고추와 들깨 잎표면의 모용(Trichome)이 변형되었다.
3. pH 2.7 인공산성비 처리로 가공(Stoamta)의 피해가 나타났다.
4. 산성비 처리에 따른 작물의 생리적 특성 변화에서 Peroxidase 활성의 차이를 보였으며, 들깨에서는 1회 처리로 급격한 활성증가를 보였다.

### 引用文獻

1. James W. S. Longhurst. (1990). World Guide to Environmental Issues and Organization—Acid Deposition, Longman Group, p.3-23.

2. Bill F. (1986). Environmental Ecology-The impacts of pollution and other stresses on ecosystem structure and function, p.82.
3. Gene E. L., Richard F. W., James N. G. and Thomas J. B. (1979). Acid rain, Scientific American, **241** (4) : 39-47.
4. Schindler D. W. (1988). Effect of acid rain on freshwater ecosystems, Science, **239** : 149-157.
5. Taniyama T. and Saito H. (1981). Effects of acid rain on apparent photosynthesis and grain yield of wheat, barley and rice plant, Rept. Environmental Sci. Mie. Univ., **6** : 87-101.
6. 이종식, 김복영. (1994). 산성비가 식생에 미치는 영향, 한국환경농학회지, **13**(3) : 346-358.
7. 이종식, 김복영, 우기대. (1994). 수원지역 강우의 성분조성과 작물에 미치는 영향, 한국 환경농학회지, **13**(1) : 31-38.
8. 이종식, 김복영, 우기대, 정구복. (1993). 인공산성비에 의한 참깨 잎 조직의 형태변화에 관한 연구, 한국토양비료학회지, **26**(4) : 308-313.
9. 이성희. (1990). 산성우 피해작물의 생리 및 형태에 관한 연구, 전남대 석사학위 논문.
10. Yoshishisa Kohno. (1989). Effect of simulated acid rain on the growth of soybean, Water, Air, and Soil Pollution, **43** : 11-19.
11. Katherine E. (1977). Anatomy of seed plants, John Wiley and Sons, p.94-97.
12. Evans L. S., Gmur N. F. , and Costa F. D. (1977). Leaf surface and histological perturbation of leaves of Phaseolus vulgaris and Helianthus annuus after exposure to simulated acid rain, Amer. J. Bot., **64** (7) : 903-913.
13. Evans L.S., Gmur N.F., and Costa F.D. (1978). Foliar response of six clones of hybrid poplar, Phyttopathology, **68** : 847-856.
14. Evans L.S., Gmur N.F., and Kelsch J.J. (1977). Perturbations of upper leaf surface structure by simulated acid rain, Environmental and Experimental Botany, **17** : 145-149.
15. 金宇甲, 朴弘惠, 鄭炳甲. (1993). 植物形態 解剖學, 아카데미서적, 37-48.
16. Evans L.S. (1982). Biological effects of acidity in precipitation on vegetation : A Review. Environmental and Experimental Botany, **22**(2) : 155-169.
17. Army C. J. and Pell E. J. (1986). Ethylene production by potato, radish and soybean leaf tissue treated with simulated acid rain, Environmental and Experimental Botany, **26**(1) : 9-15.