

배나무잎의 수용성 황 함량, 광합성속도, 가시피해도 분석을 이용한 울산공단지역 아황산가스 영향 평가

이용범 · 최기영¹⁾

Evaluation of the Effects of Sulfur Dioxide Gas using the Water-Soluble
Sulfur Content, Photosynthetic Rate and the Visible Injured Index of
Pear(*Pyrus serotina*) in the Ulsan Industrial Complex Area

Yong-Beom Lee, Ki-Young Choi

Abstract

This study was conducted for the evaluation of air-pollution using pear plant. Twenty-three sites around the Ulsan Industrial Complex Area were selected for the study.

The water soluble sulfur content, photosynthetic rate and the visible injured index of pear leaves were evaluated and the results are summarized as follows:

1. Water-soluble sulfur content of pear leaves at survey sites was shown to be an average of 0.201%. The content of their leaves at polluted sites ranged from 0.220 to 0.496%. Water-soluble sulfur content of the pear leaves decreased as the distance became far from the Industrial Complex.
2. The photosynthetic rate of pear leaves decreased with an accumulation of water-soluble sulfur content. However it increased as the distance became greater within the five-kilometer radius of the pollutant.
3. More than 60% of injured rate was shown in pear plant within the five-kilometer radius of the pollutant in 1993. There were high correlations between the visible injured index items. Compared with 1988, the most severely injured sites in 1988 were Yochon-dong and Yaum-dong. But in 1993, they moved to the Yongcham-dong and Bugok-dong area.
4. Water-soluble sulfur content of pear leaves was correlated with the photosynthetic rate of pear leaves. The same tendency was shown between water-soluble sulfur and total injured index. This method using pear plant will be applied to the evaluation of air pollution.

1) 서울시립대학교 환경원예학과 : Dep. of Environ. Horti., City Univ., Korea.

서 론

환경문제는 20세기 과학과 산업발전의 필연적 결과로서 오늘날 환경을 보전하고 개선하려는 노력이 계속되어져 왔다. 환경보전의 첫과제는 환경오염과 파괴상태의 인식이며 정확한 파악 없이는 정화 및 개선책을 세울 수 없다.

울산공업단지는 중화학 공업의 육성이 크게 강조되었던 1962년에 조성된 공단으로 이곳에 입지한 공장들은 대부분이 정유, 제철, 비료, 화력발전소 등의 기간산업과 이와 관련된 경공업 공장들로서 환경오염과 직접 깊은 관련이 있는 산업이었다. 그러나 공단조성 당시에는 환경문제에 대한 인식보다는 경제성장에 필요한 산업생산에만 중점을 두어 환경오염에 대한 대책 등은 결여되어 있었다¹⁾. 이들 지역내의 생물체들은 대기오염물질로 인해 다른 지역보다도 심한 피해를 받고 있는데 이러한 피해의 현황이나 영향 평가를 위해서는 모든 중요한 영향요소에 대한 종합적인 조사가 이루어져야 한다. 외관상의 피해징후나 수확량의 현저한 변동 등은 피해지의 국지적 환경에 대한 측정자료와 더불어 피해여부를 가름하게 해 준다. 식물체내 오염물질의蓄積量과 식물피해와의 상관관계에 대해서는 생물種의 다양성과 현실적으로 모두 고려할 수 없는 무수한 환경인자의 영향때문에 보편적인 법칙을 내세울 수 없으나, 많은 경우에 그 축적량은 피해정도와 높은 상관성을 나타낸다^{2,3)}. 또한 대기오염의 평가방법으로 생태학에서 많이 사용되어 왔던 生物指標法이 이용될 수 있다. 국내에서도 이미 초본류로는 들깨가 단기 指標植物로 선정되었고, 곰솔의 식생변화가 중, 장기 指標植物로 연구보고^{4~6)}되어 있다. 한편, 지역의 특성에 따른 고유한 수종들이 광범위하게 일정지역에서 장기간 생육하고 있는 경우가 많다. 그러한 식물과 대기오염물질과의 관계에서 지표성이 밝혀진다면 특정지역에서의 指標植物로 개발할 수 있는 좋은 사례가 될 수 있다.

따라서 본 실험에서는 배나무를 이용한 생물지표법을 확립하기 위해서 1993년 배나무의 가시피해도, 광합성속도, 수용성 황 함량을 분석하였으며, 1988

년 배나무 피해와 비교하기 위해 수용성 황 함량 등 농도 곡선, 피해도 지수로 산정된 등피해도 곡선을 작성, 비교함으로써 울산지역 대기오염 평가 가능성을 검토해 보고자 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지 선정 및 토양중 일반성분 분석

울산지역에서 배나무가 식재되어 있는 과수원을 대상으로 하여 영남화학과 한국비료 등이 있는 야음동, 예천동과 석유화학단지가 있는 부곡동을 중심으로 내륙방향으로 5km 지점내에 17개 조사구, 10km지점내 1개 조사구, 15km내에 2개 조사구, 20km내에 3개의 조사구 등 총 23개의 조사구를 설정하였다. 그리고 1988년의 연구결과와 비교 분석하기 위해 가능한 당시의 조사구와 동일한 장소에 조사구를 선정하였으며, 각 조사구의 위치는 그림 1과 같다. 조사시기는 1993년 10월 2~5일에 실시하였다.

토양 pH는 토양:증류수=1:5로 하여 1시간 교반 후 pH meter(TOAHM-20E)로 측정하였고 전기전도도는 EC meter(TOACM-20E)로 측정하였다.

치환성 칼리, 칼슘, 마그네슘은 토양 2.5g을 삼각플라스크에 취한 후 1N-Ammonium acetate 25ml를 가한 다음 30분간 진탕시켜 여과(Whatman No.2) 한 후에 원자흡광분광도계(Perkin Elimer 3100)로 측정하였다.

2. 배나무의 수용성 황 함량 및 무기양이온 함량 분석

배나무잎의 수용성 황 함량은 시료를 풍건건조기 내에서 60°C로 48시간 건조시킨 후 중량변화가 없을 때 磨碎하여 분석시료로 사용하였다. 건중량 4g을 평량한 후 증류수 250ml를 가해 30~40rpm으로 1시간 진탕한 후 황분을 추출하였다. 추출액을 con-HNO₃액으로 완전히 산화시키고 5%-BaCl₂ 수용액을 가해 침전물을 생성시켜 여과한 것을 600°C로 완전탄화시켜 BaSO₄의 무게를 측정하는 중량법⁷⁾으로

수용성 황 함량을 측정하였다.

배나무잎의 무기양이온 함량은 건중량 0.5g을 평량한 후 Ternary solution($\text{HNO}_3 : \text{H}_2\text{SO}_4 : \text{HClO}_4 = 10 : 1 : 4$) 10ml를 넣고 습식분해시켜 원자흡광분광광도계(Perkin Elmer 3100)로 측정하였다.

3. 배나무의 광합성 속도와 피해도 조사

배나무의 광합성 측정은 휴대용 광합성 측정장치(Li-cor 6200)로 측정하였다.

조사구의 각 과수원마다 10株를 선정하여 각 조사항목별로 측정하고 결과를 점수화하여 총피해지수를 산정하였으며 측정방법은 다음과 같다.

① 新梢生長은 신초길이를 동서남북 4방향에서 1株당 8가지 측정하였으며 신초의 길이에 따라 30cm이하(5), 31~40cm(4), 41~50cm(3), 51~60cm(2), 61cm이상(1)로 평점하였다.

② 잎의 변색은 엽록소 탈색에 의한 황색 또는 흑갈색 변화의 정도를 측정하여 극심(5), 심(3), 경(1), 무(0)로 평점하였다. 변색정도는 전체 수관의 잎중 변색비율을 정상적인 녹색잎을 0으로 하여, 1~20%를 경, 21~50%를 심, 51% 이상을 극심으로 판정하였다.

③ 잎의萎縮정도는 수관총의 전체잎 중 활력상태와 위축정도에 따라 심한 위축(51% 이상), 중간(21~50%), 경미(1~20%), 정상(0%)으로 나누고 각각 5, 3, 1, 0의 평점을 주었다.

④ 낙엽율은

$$\text{낙엽율} = \frac{\text{낙엽부위 수}}{\text{가지전체 잎수}} \times 100$$

으로 계산하여 낙엽율에 따라 81~100%(5), 61~80%(4), 41~60%(3), 21~40%(2), 0~20%(1)로

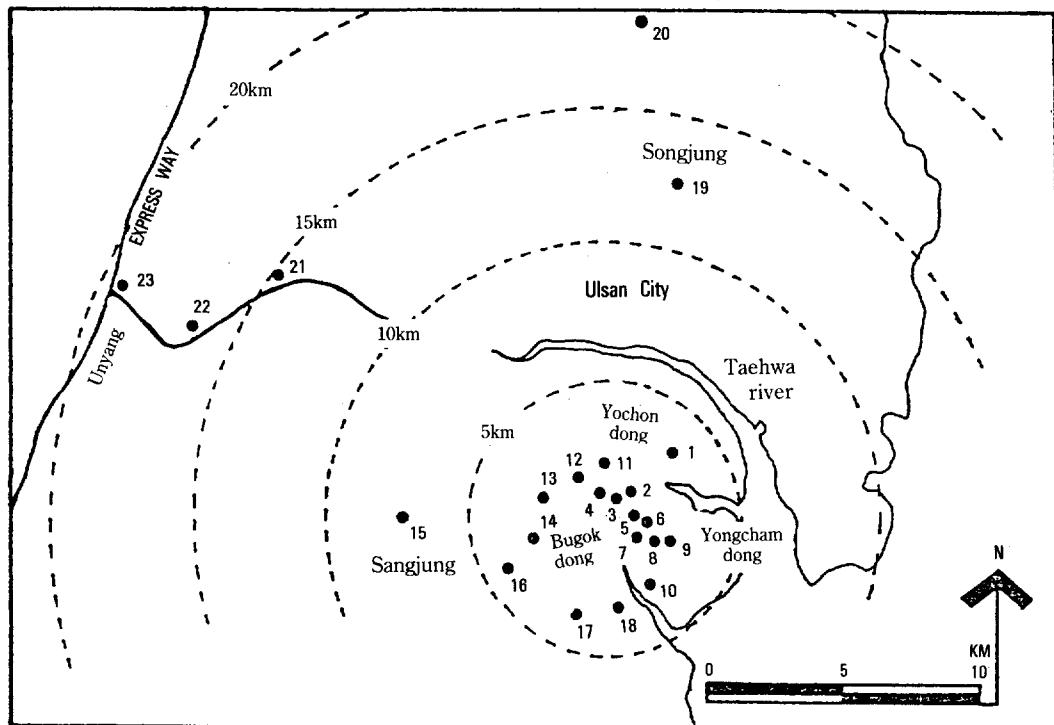


Fig. 1. Location map of survey site around Ulsan Industrial Complex area (1993). The numbers in the map stand for site number.

평점을 주었다.

⑤ 피해잎율은 81~100%(5), 61~80%(4), 41~60%(3), 21~40%(2), 0~20%(1)로 평점을 주었다.

결과 및 고찰

1. 조사지의 재배상태

배나무 재배지의 토성은 양토 혹은 석토였으며, 토양수분은 적습, 토심은 中이였다. 평균 토양산도는 5.04이나 pH범위가 3.98에서 6.49로 차이가 컼다(표 1). 일반적으로 배나무 적지의 토양조건은 유효토심

이 깊고 통기성과 보수력이 양호하며 토성은 유기 물이 풍부한 양토, 사양토이다. 또한 토양반응은 약 산성으로 pH 5.3~6.2이며, 화학적으로는 치환성 칼슘과 마그네슘의 함량이 많아야 한다⁸⁾. 위 기준으로 살펴볼 때 조사구의 토양산도는 일부 조사지를 제외하고는 토양산도가 대단히 낮았으며, 토양 양이온 함량은 일부 관리가 소홀하거나 방치된 지역을 제외하고는 작물의 생육에 적합하였다. 한편 부곡동, 여천동, 선암동, 야음동 등 중화학 공업단지가 밀집된 지역내의 조사구는 토양관리상태가 양호함에도 불구하고 토양의 산도와 토양 양이온 함량이 낮은 경향을 보였다.

조사지 배나무잎의 K 평균함량은 2.12%(1.34~2.84%), Ca 평균함량은 0.96%(0.51~1.49%), Mg 평균함량은 0.24%(0.12~0.47%)였다(표 2).

한편 정상적인 배나무잎의 무기양이온 함량은 K의 경우 1.43~2.13%, Ca은 1.32~1.86%, Mg은 0.29~0.38%인데, 조사지의 경우 K, Mg 함량은 정상 수준을 나타냈으나, Ca 함량은 낮았다. 또한 토양내 치환성 K, Ca, Mg 함량과 마찬가지로 재배지간의 차이가 커다.

대기오염지역에서 대기오염물질의 축적은 식물잎으로부터 무기양이온의 용탈을 가속시킨다는 보고¹²⁾도 있지만 조사구의 배나무는 인위적인 관리가 이루어지고 있는 점으로 보아 삼림피해로 나타나는 무기양이온의 용탈은 없는 것으로 판단되었다. 관리 상태는 가시피해가 높은 조사구는 거의 방치된 상태이었으나, 피해가 적은 지역은 양호하였다. 재배되고 있는 배 품종은 新高, 晚三吉, 長十郎이 주종을 이루고, 樹齡은 대부분이 15년 이상이었다. 발생되는 병은 주로 흰가루병, 흑반병, 겹무늬병이 나타났으며, 충해로는 일부 지역에서 응애가 있었다.

2. 배나무의 수용성 황 함량

1991년과 1992년 대기중 SO₂ 고농도 지역에 위치한 배나무 과수원인 조사구 1~10(조사구 4 제외)은 배나무잎의 수용성 황 함량이 0.220~0.496%의 높은 수준을 보였다(표 3). 이 중 조사구 8의

Table 1. Soil chemical properties for each site around Ulsan Industrial Complex area.

Site No.	pH (1 : 5)	EC (mS/cm)	Ex. cations(m.e./100g)		
			K	Ca	Mg
1	5.21	0.100	0.871	5.694	1.051
2	4.94	0.058	0.832	1.716	0.626
3	6.49	0.059	1.466	9.341	1.957
4	4.74	0.086	2.170	4.067	0.585
5	4.79	0.054	1.903	3.585	0.930
6	4.35	0.045	1.083	0.769	0.226
7	5.09	0.057	1.635	4.049	0.753
8	4.46	0.076	1.422	1.071	0.320
9	5.40	0.109	1.782	8.609	1.773
10	3.98	0.194	1.842	1.588	0.640
11	5.25	0.100	2.899	9.752	1.615
12	4.69	0.121	2.712	5.029	1.906
13	5.38	0.116	3.780	12.543	4.704
14	4.68	0.596	2.926	2.121	0.832
15	5.30	0.628	3.224	10.580	1.451
16	5.31	0.043	2.926	2.121	0.832
17	5.62	0.097	4.383	10.302	1.370
18	4.83	0.160	2.370	5.990	0.675
19	5.87	0.203	2.279	11.807	1.177
20	4.67	0.091	0.549	3.027	0.926
21	4.87	0.165	1.355	7.606	1.712
Mean	5.04±0.55	0.150±0.16	2.115±1.00	5.78±3.82	1.241±0.94
Max.	6.49	0.628	4.383	12.543	4.704
Min.	3.98	0.043	0.549	0.769	0.226

Table 2. Mineral nutrient content of pear leaves for each site in 1993.

Site No.	K (%)	Ca (%)	Mg (%)
1	2.354	0.988	0.160
2	2.113	0.989	0.311
3	2.347	1.485	0.467
4	2.444	0.926	0.151
5	2.601	1.076	0.137
6	1.870	1.414	0.335
7	1.924	0.932	0.123
8	1.678	1.013	0.211
9	1.706	0.836	0.445
10	2.322	1.004	0.370
11	2.317	0.979	0.309
12	1.830	0.894	0.206
13	2.015	0.999	0.309
14	2.113	0.910	0.209
15	2.309	0.860	0.142
16	2.019	1.155	0.121
17	2.415	0.760	0.194
18	1.341	0.922	0.339
19	1.853	1.426	0.150
20	2.098	0.712	0.262
21	2.114	0.510	0.185
22	2.839	1.062	0.154
23	2.208	1.029	0.223
Mean	2.123 ± 0.33	0.964 ± 0.22	0.240 ± 0.102
Max.	2.839	1.485	0.467
Min.	1.341	0.510	0.121

수용성 황 함량이 가장 높았는데 이 조사구는 전면에 석유화학단지가 위치한 곳으로 대기오염물질의 영향을 받았다고 판단된다. 배나무잎의 수용성 황 함량이 높은 조사구를 중화학 공업단지에서 20km 떨어진 조사구 23의 수용성 황 함량 0.027%과 비교하면 8~18배나 높은 함량으로 정상 식물잎의 황 함량이 0.05~0.1%임을 고려한다면 대기오염 배출원과 인접된 조사구의 배나무 잎에는 수용성 황 함량이 다량 축적되었다고 생각된다.

중화학공업단지를 기준으로 오염거리별로 배나무 잎 수용성 황 함량 축적량을 알아보기 위해 수용성

Table 3. Water-soluble sulfur content of pear leaves for each site in 1993.

Site No.	Water soluble sulfur(%)	Site No.	Water soluble sulfur(%)
1	0.433	13	0.146
2	0.282	14	0.043
3	0.355	15	0.019
4	0.134	16	0.079
5	0.354	17	0.110
6	0.460	18	0.208
7	0.378	19	0.045
8	0.496	20	0.054
9	0.406	21	0.044
10	0.220	22	0.038
11	0.153	23	0.027
12	0.147		
Mean			0.201 ± 0.16
Max.			0.496
Min.			0.019

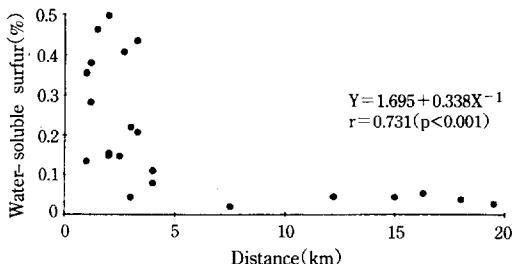


Fig. 2. Water soluble sulfur content of pear leaves according to the distance from Industrial Complex to the survey sites.

황 함량과 거리간의 상관관계를 구한 결과 고도의 부의 상관성이 인정되었다(그림 2). 즉, 배나무잎 수용성 황 함량이 높은 조사지역은 부곡동, 야음동, 장생포동으로 이 지역에는 영남화학, 유공, 석유화학단지가 위치하고 오염원으로부터 반경 1km 이내로써 수용성 황 함량이 0.45% 이상으로 가장 높았고, 반경 4km 지점에서 배나무잎 수용성 황 함량은 0.1%를, 공업단지로 부터 20km 지점의 수용성 황 함량은 0.02~0.05%를 나타냈다. 즉 중화학공업

단지를 중심으로 반경 4km 이내는 거리가 멀어짐에 따라 배나무잎 수용성 황 함량이 감소하였다. 배출 원 인접 지역 배나무잎에는 수용성 황 함량이 다량 축적되었음을 보이는 것으로 엽내 황 함량의 축적은 SO₂ 발생원에 가까워질수록 증가한다는 Carlson (1980)²⁾과 Linzon(1978)³⁾의 결과와도 일치하였다.

1988년과 1993년 울산지역 대기오염을 평가하기 위해 배나무잎 수용성 황 함량을 이용하여 등농도 곡선을 그린 결과(그림 3), 1988년에는 여천동을 중심으로 배나무잎 수용성 황 함량이 0.2%를 보여 가장 높은 지역이었으나, 1993년에는 용잠동, 부곡동을 중심으로 한 지역이 0.45% 내외의 높은 수용성 황 함량을 나타내었다. 또한 배나무잎 수용성 황 함량을 0.1% 기준으로 살펴보면 1988년에 비하여 1993년에는 지역이 확산된 것을 알 수 있다.

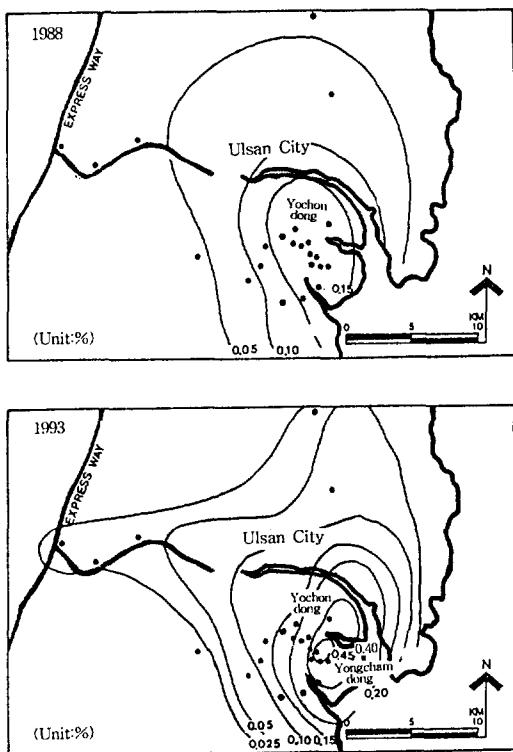


Table 3. Water-soluble sulfur content of pear leaves for each site in 1993.

수용성 황 함량 등농도곡선으로 울산 지역 대기 오염물질의 축적량을 알아본 결과 대기오염의 피해 지가 부곡동을 중심으로 이동하였는데, 이는 1990년 대에 들어와서 대기중 SO₂ 고농도지역이 부곡동, 용잠동을 중심으로 핵이 형성된 것과 상응한 결과로 보인다. 또한 1988년 배나무잎 수용성 황 함량이 1993년에 비하여 낮은 것은 1988년 대기중 SO₂ 농도가 다른 해에 비해 낮았기 때문으로 생각되며, 배나무잎의 오염물질 축적량은 대기중 오염물질농도에 따라 영향을 받는다는 것을 보여주었다.

3. 배나무의 광합성 속도

조사지 배나무를 휴대용 광합성 측정기로 측정한 결과 얻은 광합성 속도는 표4와 같다. 측정치가 없는 조사구는 조사지가 방치된 곳이였거나 측정시 기상상태가 고르지 못해 부득이 얻지 못하였으며, 측정에 사용된 잎은 대기오염의 피해를 받지않았다고 판단된 잎을 사용했다. 조사구 2, 7, 11의 배나무 광합성 속도가 각각 2.899, 1.661, 1.862 μmol/m²/s로 낮았는 데 이는 오염원에 인접한 조사구로 공단

Table 4. Photosynthetic rate(Pn) of pear leaves for each site in 1993(photon flux density was 643~1936μmol/m²/s, leaf temperature was 22.3~28.5 °C)

Site No.	Pn ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Site No.	Pn ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)
1	— ²⁾	13	3.450
2	2.899	14	5.348
3	—	15	7.413
4	3.766	16	4.071
5	—	17	4.726
6	—	18	—
7	1.661	19	—
8	—	20	4.663
9	—	21	6.031
10	—	22	—
11	1.862	23	—
12	3.649		

²⁾ : missing data.

으로부터 불어오는 바람의 영향을 받아 광합성 속도가 낮았다고 생각되며 오염원으로 멀어짐에 따라서 광합성 속도가 회복되는 것을 볼 수 있었다.

수용성 황 함량 축적에 따른 광합성 속도와의 관계를 보면 배나무잎의 수용성 황 함량이 축적됨에 따라 광합성 속도는 감소하는 부의 상관성이 인정되었다(그림 4).

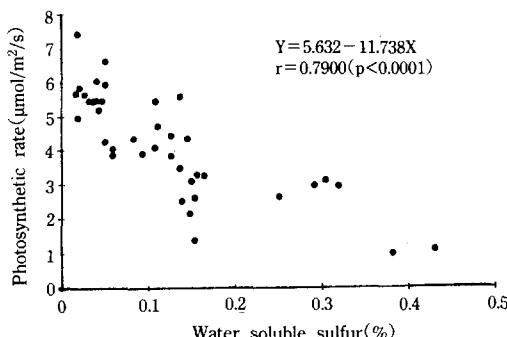


Fig. 4. Relationship between photosynthetic rate and water soluble sulfur content of pear leaves (phot on flux density was 643~1936 μmol/m²/s, leaf temperature was 22.3~28.5°C)

대기오염물질에 의한 식물체의 피해는 생리, 생화학적 변화를 통해 세포내의 조직구조에 해로운 영향을 미쳐 식물의 생장과 수확을 감소시키는 데, 이러한 최초의 피해로는 광합성, 호흡, 기질, 단백질, 효소의 생합성 같은 생화학적 수준에서 발생하고 다음은 세포막의 分離같은 초미세구조적 수준에서, 다음은 세포벽, 엽육조직 등의 세포, 핵 파괴 같은 세포학적 수준에서 발생한다. 그리고 최종적으로 나타나는 피해가 잎의 황백화 현상등의 가시적 피해라고 Guangjing(1990)⁹⁾은 보고하였다. 이와같이 울산지역 대기오염물질에 의한 배나무잎의 수용성 황 함량 축적은 배나무잎의 생리적인 변화로 광합성 속도의 감소와 함께 가시피해 증상을 발현시킨 것으로 생각된다. 또한 황은 황산염의 형태로 뿌리를 통해 흡수되며 다양한 화학물로 전환되어진다. 한편, 잎의 기공을 통해 흡수되는 SO₂ 가스는 광합성 작용과

유기물의 분해로 생성된 aldehyde類와 결합하여 α-hydroxy sulfonic acid를 형성하므로써 세포의 조직을 파괴한다고 山添(1972)¹⁰⁾과 Ryrie(1971)¹¹⁾은 보고했다.

오염원으로부터 거리별 배나무 광합성 속도를 알아본 결과 2차 다항곡선(polynomial curve)을 얻었다(그림 5).

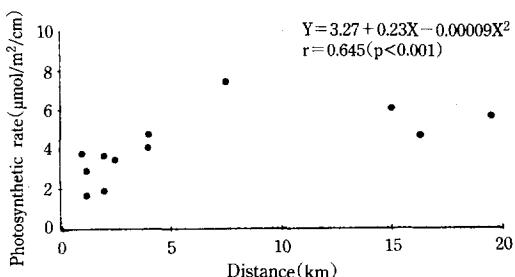


Fig. 5. Photosynthetic rate of pear leaves according to the distance from Industrial Complex to the survey sites (phot on flux density was 643~1936 μmol/m²/s, leaf temperature was 22.3~28.5 °C)

이는 오염배출원인 중화학단지를 중심으로 반경 5km 이내에서는 오염원에서 거리가 멀어짐에 따라 정상적인 광합성속도를 보였으나, 5km를 벗어난 지점부터는 대기오염원에 의한 영향이 크지 않은 것으로 나타났는데, 이와같은 결과는 거리별에 따른 수용성 황 함량(그림 2)에서 얻어진 결과와 일치하였다.

4. 배나무의 피해도지수

1993년도 10월 울산 공단지역의 배나무에 대한 피해도 지수를 각 조사구별로 新梢잎과 結果枝잎을 구분하여 각각의 변색, 위축, 낙엽율, 피해잎율, 생장을 등을 산정한 결과(표 5), 조사구의 배나무잎에 나타난 증상은 들깨에서 나타난 증상과 유사하여 엽액간에 나타나며 가시피해색은 흑갈색을 보였다. 조사구의 지리적 위치에 따라 신초잎이 떨어진 것을 볼 수 있었는데, 이는 인접공장에서 내뿜는 고농

Table 5. Injured index of pear plant for each site in 1993.

Site No.	Current shoot					Fruit bearing branch			Tree strength	Shoot growth ¹⁾	Total injured index
	Leaf discoloration	Leaf depauperation	Defoliartion rate	Destroyed leaf area	Leaf discoloration	Leaf depauperation	Defoliartion rate	Destroyed leaf area			
1	3	3	4	5	3	3	4	5	5	1	36
2	5	4	4	4	4	1	1	3	5	4	35
3	5	3	4	5	3	1	4	5	3	3	36
4	5	3	4	5	5	1	2	3	2	2	32
5	5	5	5	5	3	1	3	3	5	2	36
6	5	5	4	4	3	3	2	4	4	5	39
7	5	3	4	5	5	1	3	5	2	2	35
8	5	3	5	5	5	1	5	5	4	3	41
9	5	3	4	5	5	1	4	5	3	4	39
10	1	0	1	2	2	0	1	4	1	1	13
11	2	1	1	2	1	0	1	1	1	2	12
12	5	1	3	5	3	1	2	4	3	1	28
13	5	3	3	5	5	1	1	4	4	2	30
14	4	3	3	4	3	1	2	4	1	1	25
15	4	2	4	5	4	2	2	4	0	1	28
16	4	2	3	5	5	1	3	5	2	1	31
17	5	3	4	5	3	1	3	4	0	1	32
18	5	1	5	5	4	1	1	4	0	1	26
19	4	1	4	5	3	1	2	5	0	1	26
20	1	1	1	2	1	1	1	2	0	1	11
21	2	0	1	2	1	0	1	1	2	1	11
22	2	0	1	2	1	0	0	1	3	1	11
23	3	0	1	3	3	0	1	3	0	1	14

The extent of the damage is divided into five levels : 0(No damage)~5(Severe damage)

¹⁾ : Shoot growth is (1) : above 61cm, (2) : 51~60cm, (3) : 41~50cm, (4) : 31~40cm, (5) : below 30cm.

도의 배출가스가 바람과 함께 이동할 경우 배나무新梢枝 일정부위의 잎이 떨어진 채로 생육하거나, 또는 대기오염물질에 의한 만성적 피해로써 조기낙엽된 것으로 보인다.

한편, 영남화학, 한국비료, 석유화학단지 등이 입지한 부곡동, 여천동, 애음동 조사구의 배나무 피해도지수는 60% 이상의 피해율을 나타냈다. 오염원으로부터 반경 1km 이내에 있는 조사구 6과 8은 80%의 극심피해율을 나타냈는데 이 조사구는 도로변과 산등성이에 위치한 곳으로 주변오염원으로부터 공단으로 불어오는 바람의 영향이 배나무잎의

피해를 가중시킨 것으로 보인다. 또한 오염원으로부터 반경 5km 이내에 위치한 배나무의 피해율이 60% 이상의 심한 피해를 보임에 따라 울산지역내 배나무 피해는 오염원으로부터 5km 이내에서 심하였다. 이러한 결과는 김(1992)¹⁴⁾이 콤솔을 대상으로 피해도지수를 산정한 결과 반경 2km 이내의 콤솔이 50% 피해율을 나타냈다는 결과와 일치했다.

피해도 지수 각 항목간의 상관관계를 분석한 결과는 표 6이다. 배나무의 피해도 지수 각 항목 신초엽과 결과지엽 각각의 변색, 위축, 낙엽율, 피해잎율과 총피해도지수와는 고도의 정의 상관이 인정되

Table 6. Correlation coefficients between each injured index of pear plant in 1993.

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
X2	.703**									
X3	.845**	.813**								
X4	.880**	.605**	.887**							
X5	.777**	.513**	.700**	.815**						
X6	.404*	.634**	.620**	.545**	.328					
X7	.506**	.542**	.734**	.663**	.513**	.442*				
X8	.586**	.410*	.684**	.788**	.713**	.512*	.714**			
X9	.280	.523**	.424*	.193	.157	.365	.413*	.112		
X10	.477*	.666**	.452*	.198	.330	.334	.311	.189	.595**	
X11	.852**	.847**	.942**	.857**	.767**	.655**	.768**	.735**	.559**	.608**

1 : leaf discoloration of current shoot

2 : leaf depauperation of current shoot

3 : leaf defoliation ratio of current shoot

4 : destroyed leaf area rate of current shoot

5 : leaf discoloration of bearing branch

6 : leaf depauperation of bearing branch

7 : defoliation ratio of bearing branch

8 : destroyed leaf area rate of bearing branch

9 : tree strength 10 : degree of shoot growth

11 : total injured index

었으나 수세와 신초 생장을 과는 상관성이 인정되지 않았다. 이러한 결과는 김(1992)¹²⁾, 김 등¹³⁾, 김(1992)¹⁴⁾이 공단 주변의 수목에 대한 가시피해도 지수를 산정한 결과 피해지수간에는 정의 상관을 보인다는 결과와도 일치되었다.

그러나 잎의 변색, 위축, 낙엽을 등은 대기오염 중에서 SO₂ 외에도 HF, O₃ 등도 관여되었을 것으로 보이며, 그외의 요인 즉 병충해와 기상, 영양분 결핍 등에 의해서도 발생되기 때문에 가시피해만으로 대기오염의 영향을 평가하는 것은 바람직하지 못하다고 생각한다. 따라서 식물에 나타나는 각종 피해증상을 정확히 판별함과 동시에 대기중 오염물질의 농도와 식물체내의 오염물질 축적량 등을 분석하여 대기오염에 의한 식물 피해인지를 정확히 파악해야 할 것으로 보인다.

다음은 배나무의 피해도와 대기오염도와의 연관성을 파악하기 위해 배나무잎 수용성 황 함량과 전체 피해도지수와의 상관관계를 분석한 결과(그림 6) 고도의 정의 상관을 보였으며, 피해도지수 각

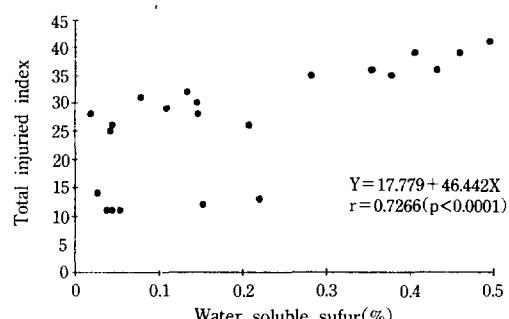


Fig. 6. Relationship between total injured index and water soluble sulfur content of pear leaves.

항목간에도 정의 상관성이 인정되어 배나무잎 수용성 황 함량이 증가함에 따라 피해도 지수는 증가하였다(표 7). 이같은 결과는 대기중에 배출된 SO₂ 가스가 배나무 잎 속에 다량 축적되어 잎 세포나 조직에 해를 끼쳐 가시피해와 조기 낙엽 등을 유발시키는 현상으로 나타난 것으로 보이며, 잎내 황

Table 7. Correlation coefficients between each injured index and water soluble sulfur content of pear leaves in 1993.

X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
.431*	.643**	.590**	.378*	.366*	.474**	.661**	.470**	.729**	.706**

- 1 : leaf discoloration of current shoot
 2 : leaf depauperation of current shoot
 3 : leaf defoliation ratio of current shoot
 4 : destroyed leaf area rate of current shoot
 5 : leaf discoloration of bearing branch
 6 : leaf depauperation of bearing branch
 7 : defoliation ratio of bearing branch
 8 : destroyed leaf area rate of bearing branch
 9 : tree strength 10 : degree of shoot growth

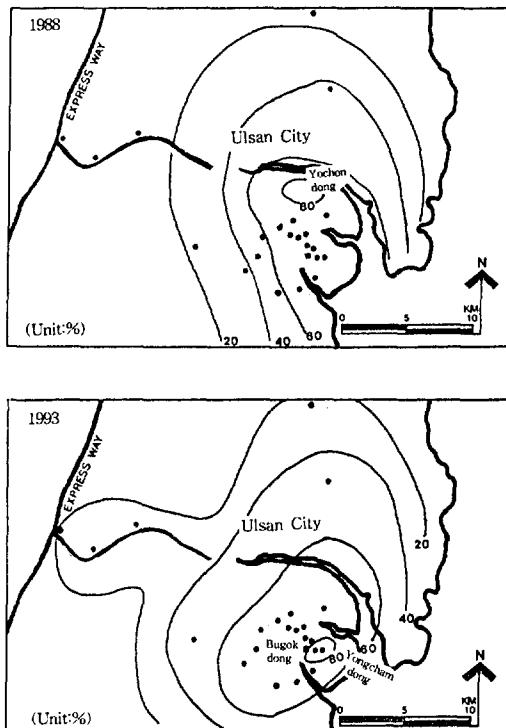


Fig. 7. Isoquant contour lines of injured index of pear leaves for each site in 1988 and 1993.

함량이 증가함에 따라 가시피해가 심해진다는 Constantinidou 등(1976)¹⁵⁾, 국립환경연구소(1981)¹⁶⁾,

김 등(1985)¹³⁾, 김(1992)¹²⁾의 보고와도 일치하였다. 또한 Carlson(1980)²⁾, Linzon(1978)³⁾은 수목잎의 황 함량은 대기중의 SO₂ 농도와 비례하여 증가하며 식물체내의 황산염이나 총황함량은 가시피해와 밀접한 관계를 지닌다고 보고하였다.

1988년 1993년 배나무 피해율을 이용하여 등피해도 곡선을 그린 결과(그림 7) 1988년에는 여천동과 애음동에서 피해율이 높았으나 1993년 피해율은 부곡동을 중심으로 한 지역의 피해율이 높아 피해의 중심지가 이동하였다. 이는 1988년 여천동과 애음동을 중심으로 대기중 SO₂ 농도는 0.5 mg/100cm³/day로 측정된 SO₃ 농도에 의해 배나무잎의 피해율을 높인 결과로 보인다.

또한 1993년 배나무 피해도지수를 산정하여 얻어진 등피해도곡선에서 60% 이상의 피해율을 보인 지점이 오염원으로부터 5km 내외임을 고려할 때, 배출원 인접지역에서의 대기오염에 의한 배나무의 가시피해는 광합성 속도의 감소와 엽내오염물질의 축적 등의 결과와 연관된 것이라 볼 수 있다. 또한 1988년과 비교하여 1993년에는 60% 이상의 피해율을 보인 지역이 오염원으로부터 반경 10km내외로 확산되었으며 배나무잎의 수용성 황 함량과 가시피해를 통해 작성된 등농도 곡선과 등피해도 곡선을 통해 1988년과 1993년 울산지역 배나무 피해는 일치하는 결과를 얻었다.

요 약

울산지역내 23개의 배나무 조사구를 선정하여 조사장소의 재배환경과 배나무잎의 수용성 황 함량, 광합성 속도 및 가시피해도지수를 측정, 분석하여 울산지역의 대기오염 평가를 시도한 결과는 다음과 같다.

1. 배나무잎의 평균 수용성 황 함량은 0.201%였으며, 오염지역 조사구는 0.220~0.496%로 높았다. 또한 오염배출원을 중심으로 거리가 멀어짐에 따라 수용성 황 함량은 감소되었다.
2. 배나무의 광합성 속도는 수용성 황 함량이 축적됨에 따라 감소되었고, 오염배출원을 중심으로 반경 5km까지는 거리가 멀어짐에 따라 광합성 속도가 증가되었다.
3. 1993년 배나무의 가시피해도를 산정한 결과 오염배출원으로부터 5km 이내에서는 60% 이상의 피해율을 나타냈으며, 피해도지수 각 항목간에는 고도의 정의 상관이 인정되었다. 또한 1988년과 비교해 보면, 1988년에는 여천동과 야음동을 중심으로 피해율이 높았으나 1993년에는 용감동과 부곡동을 중심으로 피해의 중심지가 이동하였다.
4. 수용성 황 함량과 피해도지수, 수용성 황 함량과 광합성속도 간에는 고도의 상관이 인정되어 배나무를 이용한 대기중 SO₂ 평가에 활용될 수 있는 가능성을 보였다.

참고문헌

1. 환경청. (1984). 울산, 온산공단 공해 피해주민 이주대책을 위한 조사 연구. 최종보고서 pp. 810.
2. Carlson, C. (1980). Kraft mill gases damage Douglas-fir in Western Montana, Eur.J. For. Pathol. **10** : 145~151.
3. Linzon, S.N. (1978). Effects of air-borne sulfur pollutants on plants. In: sulfur in the environment. 109~162.
4. 김재봉, 배정오, 이경재, 이용범 등. (1987). 환경오염생물지표법의 개발연구(I). 국립환경연구원.
5. 김재봉, 배정오, 이경재, 이용범 등. (1988). 환경오염생물지표법의 개발연구(II). 국립환경연구원.
6. 김재봉, 배정오, 이용범, 한상욱 등. (1989). 환경오염생물지표법의 개발연구(III). 국립환경연구원.
7. 재배분석법위원회. (1983). 栽培作物 分析 測定法. 養賢堂. 86~95.
8. 오왕근, 신건철. (1986). 과수원 토양관리와 비료. 가리연구회. pp. 32, 188.
9. Guangjing. (1990). Forest decline, nutritional disturbances and air pollution in Southern China. IUFRO XIX World Congress Divisium 2 : 379.
10. 山添文雄. (1973). 植物被害の原因なる大氣汚染物質. 植物防疫. **26**(6) : 220~223.
11. Ryrie, I. J., and A.T. Jagenodorf. (1971). Inhibition of photo-phosphorylation in spinach chloroplast by inorganic sulfate. J. Biol. Chem. **246** : 582~588.
12. 김준선. (1992). 대기오염물질이 여천공단주변 해송의 양료 동태와 군집구조에 미치는 영향. 서울대 대학원 박사학위 논문. pp. 101.
13. 김태욱, 이경재, 김준선. (1985). 여천공업단지의 대기오염이 곰솔에 미치는 영향. 한국대기보전학회지. **1** : 25~32.
14. 김선희. (1992). 울산공단지역의 식물군집구조 분석과 환경립조성기법에 관한 연구. 서울시립 대석사학위논문. pp. 52.
15. Constantinidou, H. A. and T.T. Kozlowski and K. Jensen. (1976). Effects of sulfur dioxide on *pinus resinosa* seedlings in the cotyledon stage. J. Environ. Qual. **5** : 141~144.
16. 국립환경연구소. (1981). 공단주변의 생태계에 관한 조사연구. pp. 123, pp. 143.