

工團地域의 大氣 亞黃酸가스 等濃度曲線에 의한 콩의 收量에 미치는 亞黃酸가스의 영향 평가

蘇昌鎬* · 權容雄* · 韓英鎬**

Evaluation of the Effects of Sulfur Dioxide Gas on the Yield of Soybean in an Industrial Complex Area Using the Isoquant Contour Lines of Sulfur Dioxide

Chang Ho Soh* · Yong Woong Kwon* and Young Ho Han**

ABSTRACT : Effect of sulfur dioxide gas on the growth and yield of soybean growing in the On-San Industrial Complex area was evaluated using the isoquant contour lines of the sulfur dioxide in air of the area. Average concentration of sulfur dioxide monitored in the Industrial Complex from July 17 to September 17 was 0.77mg /100cm² PbO₂ /day. Soil pH ranged from 4.2 to 6.5. Yield losses were estimated by 5~30% due to the effect of sulfur dioxide. Liming could relieve the yield reduction to some extent. The cumulative SO₂ concentration, as measured by PbO₂ method, for two months of active vegetative growth to early ripening stage has shown a good negative correlation with soybean yield. But, pod number and 100 grain weight did not show the correlation with the concentration of sulfur dioxide. These results suggest that sulfur dioxide affect chronically and cumulatively the growth of soybean plants.

大氣汚染에 의한 작물의 피해는 可視적으로 잎의 변색, 엽록소 파괴 등 잎의 손상으로 나타나지만 동화작용을 저해하므로 결과적으로는 수량감소와 품질저하로 나타나게 된다. 이러한 대기오염 물질에는 아황산(SO₂) 가스를 비롯하여 불화수소(HF)가스, 오존(O₃)가스 등이 있으며, 아황산가스에 의한 가시적 피해는 특징적으로 엽맥간에褐斑 또는 잎의 갈변이고, 불화수소 가스에 의해

서는 葉先端枯死(tip burn)가 생기며, 오존가스에 의해서는 엽맥간에 은백색 또는 적갈색 반점이 나타난다^{2,10,14}).

1970년대초 경제개발계획에 의해 공업단지과 대규모 중화학공장이 건설가동되기 시작하여 공단인근의 대기오염에 의한 농작물 피해가 발생할 소지가 커졌고, 실제로 몇몇 대규모 공단지역에서의 대기오염 실태조사 및 농작물 피해보상을 위한

* 서울대학교 農業生命科學大學(College of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea)

**釜山水產大學 環境工學科(Dept. of Environmental Engineering, Pusan National Fisheries College, Pusan 608-737, Korea) <93. 6. 30 接受>

연구가 이루어졌다(4,8,10,11,15,16). 그러나 대부분의 연구가 피해보상을 위한 피해율 산출을 목적으로 이루어졌고, 대상 작물도 벼를 중심으로 이루어졌다. 또한 작물체내 대기오염물질을 분석하여 이와 피해율과의 관계를 구명하는 접근방식이 주된 방법이었다. 대기오염물질에 의한 잎의 피해는 작물의 종류와 품종은 물론 생육시기에 따라서도 그 양상이 다르며, 오염물질의 종류와 농도, 그리고 노출시간 등에 따라서 다르게 나타나 특정시기에 작물체내의 함량을 분석한 결과와 피해정도는 일치하지 않는 경우가 있을 수 있다.

본 연구는 필자들이 수행했던 溫山工團 지역의 대기오염에 관한 연구자료(16) 중 대기중 아황산가스를 연속적으로 포집하면서 측정된 아황산가스의 농도 성적을 이용하여 아황산가스의 等濃度曲線을 작성하고 이 곡선을 이용하여 아황산가스의 농도가 콩의 생육에 미치는 영향을 밝히고 또한 토양의 pH와 콩의 수량과의 관계를 구명하여 실제로 아황산가스가 콩의 생육과 수량에 미치는 영향을 평가한 것이다.

分析 및 評價方法

1. 대기중 아황산가스의 분포조사

조사지점은 그림 1에 제시한 바와 같이 온산공업단지 중심부를 중심으로 하여 18개소의 고정 조사지점이 선정되었으며, 측정기간은 5월부터 11월까지 7개월 동안 약 1개월간격으로 7회 분석하였다. 아황산가스의 분석은 좁은 지역에서의 오염 분포 상황을 개략적으로 평가하는 방법으로 활용되고 있는 PbO₂법⁶⁾을 이용하였다.

2. 콩의 생육 및 수량평가

조사지역내의 田作物栽培 면적은 약 142ha 정도이고 콩, 보리 및 원예작물이 재배되고 있었으며, 작목별로는 콩의 재배면적이 가장 넓었다. 조사지점은 아황산가스 측정지점을 고려하여 12개소(그림 1)가 선정되었고, 아황산가스의 피해가 없는 곳으로 알려진 지역에서 대조구를 4개소 선정하고 대조구 4개소의 평균치를 이용하여 조사

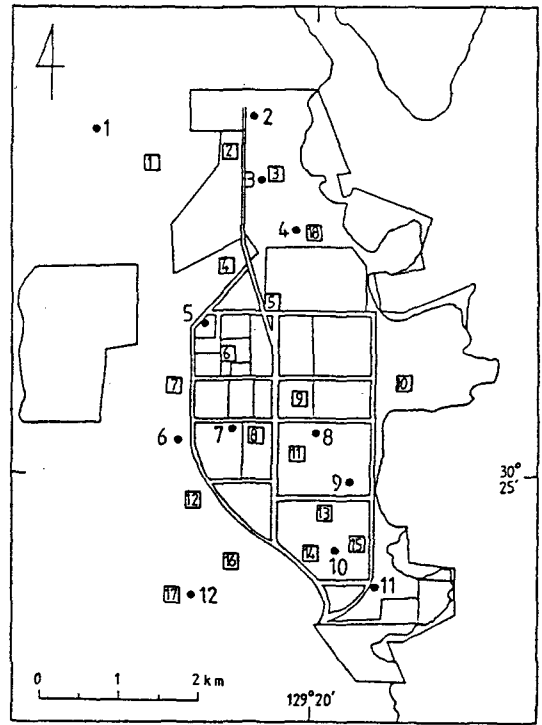


Fig. 1. Monitoring site(□) of SO₂ gas and sampling site(●) of soybean plant around the On-San Industrial Complex.

지점의 콩 생육 및 수량의 감소 정도를 산출하였다. 이 지역의 콩 재배는 대부분 麥後作으로 6월 하순경에 파종되었으며, 콩의 생육 및 작황조사는 파종 후 15~20일 된 시기에 재식거리, 파종양식, 초장 및 분지수를 지점별로 임의의 10주에 대해 조사하였고 생육중기에 생육상황을 筆地 전체에 대해 달관으로 조사했고, 수확기에 필지의 대각선 상에서 임의의 10주씩 3회 표본채취하여 수량 및 수량관련형질들을 조사하였다.

3. 콩밭 토양분석

토양 조사는 콩 생육조사 지점중 지형과 토질 및 공단에서의 거리 등을 고려하여 6개 지점을 선정하여 작토층 12cm깊이까지의 토양을 Auger를 사용하여 각 지점별로 3kg 정도 될 만큼 수회 반복 채취하였다.

토양분석은 농촌진흥청 농업기술연구소의 표준 방법¹³⁾에 준하였다. 토양시료를 풍건한 후 土性은 分散劑로 Na_2CO_3 (0.08%)과 토양분석용 Hygrometer를 사용하여 분석하였고, pH는 토양: 증류수를 용량비 1:1로 진탕한 다음 여과하여 pH를 측정하였다. Na, K, Ca, Mg은 atomic absorptionometry로, 置換性 Al^{+++} 은 $\text{NOAc}/\text{CH}_3\text{-COOH}$ 액으로 浸出시킨 후 Erichrome Cyanine과 ascorbic acid에 의한 Colorimetry로 측정하였다.

結果 및 考察

1. 아황산가스의 농도 및 분포

조사기간 7개월동안의 SO_2 의 평균치는 0.

$92\text{mg}/100\text{cm}^2 \text{PbO}_2/\text{day}$ 였으며 전반적인 분포 형태가 남북으로 길게 늘어진 형태(결과 제시 생략)로서 이는 기상요소인 主風向의 영향과 임해 지역의 주야간 교차되는 해륙풍의 영향 및 산출기에 의한 장벽역할에 의한 것으로 생각되었다. 한편 콩의 생육기에 해당되는 기간의 SO_2 의 등농도 곡선은 그림 2와 같다. 측정된 아황산가스의 등농도 곡선 중 콩의 생육기간에 해당되는 7월 중순부터 9월 중순까지의 등농도곡선이 콩의 생육과 유의한 관계를 보였다. 그림 2-A는 7월에서 8월 초순까지의 SO_2 농도분포를 나타낸 것으로 남북방향으로 길게 분포하였으며, 최대치는 9번지점의 2.46mg 이었고, 평균치는 $0.79\text{mg}/\text{PbO}_2/\text{day}$ 였다. 8월에서 9월 중순까지의 SO_2 농도분포는 그림 2-B와 같으며, 최대치는 9번 지점의 1.99mg 이었던

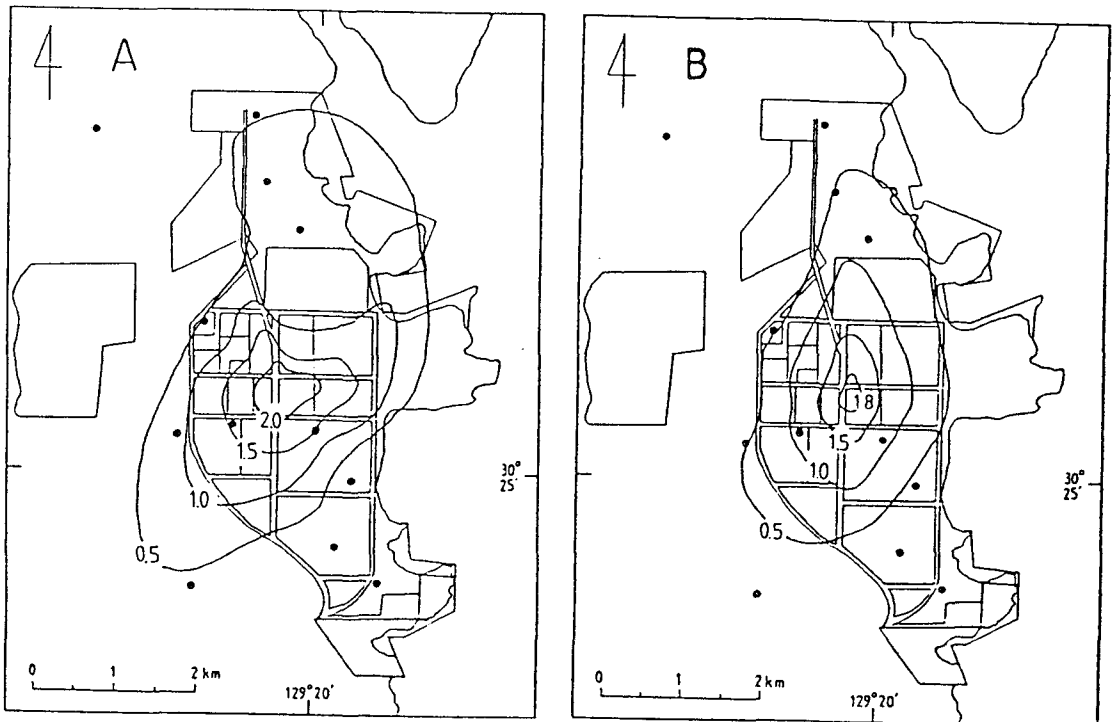


Fig. 2. Distribution of SO_2 gas monitored from July 16 to August 19(A) and from August 19 to September 17(B).

* The number on isoquant contour line means the SO_2 concentration($\text{SO}_2\text{mg}/100\text{cm}^2 \text{PbO}_2/\text{day}$)

** Closed circles represent the sampling sites of soybean.

고 평균치는 0.64mg/100cm² PbO₂/day였다. 7월 중순부터 9월 중순까지의 평균치는 0.77mg/100cm² PbO₂/day 이었다.

2. 콩밭 토양의 특성

6개 조사지점의 토양의 이화학적 특성을 표 1에 나타내었다. 표 1에서와 같이 토성은 지점에 따라 식양토, 사양토, 양토 등 변이를 보였고, 토양의 pH는 조사지점 6과 8의 경우 4.2~4.3 정도의 강산성을 나타내었다. 토양의 pH를 아황산가스의 등농도곡선상에서 살펴보면 조사지점 7과 8은 2개월간의 아황산가스의 농도가 1.0~1.5mg의 고농도지역에 속하고 있는데도 pH가 5.9와 4.2로 상이하게 나타났고, 반면에 6번의 경우는 아황산가스의 농도가 0.5mg 정도로 낮는데에도 pH는 3으로 강산성을 보였다. 이렇듯 단기간의 아황산가스의 농도와 토양의 pH가 반드시 일치하지 않는 것은 作物의 栽培的 조치의 差異와 공단이 조성되어 가동과 더불어 배출된 아황산가스가 酸性雨의 원인이 되어 장기간에 걸쳐 점진적으로 토양의 酸性化를 진행시켰기 때문으로 생각된다. 이러한 것은 Heagle 등¹⁷⁾도 산성비가 토양산성화를 촉진시킨다는 결과에서도 볼 수 있었으며, 김 등³⁾의 결과에서도 1991년과 1992년의 울산지방의 酸性雨의 pH가 4.8~6.0정도였고, 빗물 중 SO₄²⁻ 성분과 pH와는 유의적인 상관관계가 있다고 하였다. 한편 조사지점 9번은 토양 pH와 칼슘의 함량이 현저하게 높았는데 이 지점은 農用石灰를 사용했던 前歴이 있는 것으로 알려졌다. Al⁺⁺⁺함량은 6, 7, 8번 지점에서 높게 나타났다.

3. 콩의 생육 및 수량

조사 지역내의 콩재배는 맥후작으로 대체로 타 지역에 비하여 파종기가 대부분 늦었고, 또한 변이가 컸으므로 無被害 지역의 대조구를 4개지점으로 하여 평가하였다. 콩의 재배 및 생육상황은 표 2에서와 같이 6월 20일에서 25일경에 조산파하거나 25×20cm내외로 2, 3립씩 점파하는 재배양식이었고, 단작의 경우에는 6월 상순에 같은 양식으로 재배하며 시비, 중경제초, 배토, 병충해 방제 등은 대부분 소홀히 하는 것으로 나타났다. 콩의 생육상황은 급성피해지점들을 제외하고는 외견상 반점, 고사현상 등은 보이지 않았다.

콩의 수량 및 수량 구성요소를 조사한 결과를 표 3에 제시하였다. 대조구 4개지점의 평균 수량에 비해 대부분 5~30%정도의 감수를 보였는데, 이는 여천공단 주변의 콩의 감수율 0~36%⁴⁾와 대체적으로 일치하는 수준이었다. 콩의 수량에 관련된 SO₂ 농도와의 관계를 밝히기 위하여 콩의 수량구성요소의 형성기간중의 SO₂와의 상관관계를 구한 결과를 표 4에 나타내었는데 7월 16일부터 8월 19일까지의 기간중 SO₂농도는 콩의 株黨莢數 및 평균 100립중과 상관관계가 없었으며, 등숙기간에 해당되는 8월 9일부터 9월 17일간의 SO₂농도와 평균 100립중간에도 상관관계가 없었다. 그러나 콩의 영양생장 및 등숙기간을 포함한 7월 16일부터 9월 17일간의 SO₂농도와 수량과는 부의 상관관계($r = -0.846^{**}$)를 보였다. SO₂의 농도와 수량과의 연구결과에서 고구마는 유의적인 관계를 보인 반면 콩, 벼의 경우는 유의적인 관계를 보이지 않았고⁴⁾ 벼의 葉身의 유황함량과 수량과의

Table 1. Physical and chemical properties of the investigated upland soil¹⁾

Site No. ²⁾	pH	(me/100g)				Al ⁺⁺⁺ (me/100g)	Soil texture
		Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺		
1	5.1	0.15	0.42	1.80	0.56	0.83	CL
4	4.7	1.43	0.68	0.78	0.56	1.94	CL
6	4.3	0.13	0.24	0.72	0.30	9.44	SL
7	5.9	0.08	0.41	1.74	0.25	6.56	SL
8	4.2	0.16	0.32	0.48	0.51	5.28	L
9	6.5	0.23	1.01	4.00	1.27	0.83	SL

1) Sampling depth : 0-12cm.

2) Sampling site numbers are shown in Fig. 1.

Table 2. Growth status of soybean

Site No. ¹⁾	Plant spacing Sowing method	Stem length(cm)	Branch No.	Cropping system
1	Drill-Broadcast	13.0	0.0	After-cropping
2	25 × 20cm	34.3	2.9	Single-cropping
3	Drill-Broadcast	10.8	0.0	After-cropping
4	25 × 10cm	30.5	3.0	Single-cropping
5	25 × 25cm	60.0	3.5	Single-cropping
6	Drill-Broadcast	14.3	0.0	After-cropping
7	Drill-Broadcast	15.5	0.0	After-cropping
8	Drill-Broadcast	12.4	0.0	After-cropping
9	20 × 15cm	7.5	0.0	After-cropping
10	25 × 15cm	38.0	4.0	Single-cropping
11	Drill-Broadcast	13.5	0.0	After-cropping
12	Drill-Broadcast	9.2	0.0	Single-cropping
Control ²⁾				
Site A	20 × 45cm	7.5	0.0	After-cropping
Site B	Drill	39.6	3.4	Single-cropping
Site C	Drill-Broadcast	16.0	8.0	After-cropping
Site D	Drill	34.7	3.6	Single-cropping

1) Sampling site numbers are shown in Fig. 1.

2) Four sites located in SO₂ gas-damage free area were selected as control.

Table 3. Yield and yield components of soybean

Site No. ¹⁾	Pod No. /hill	Grain No. /pod	100 grain weight(g)	Yield(g /10 hills)	Yield index
1	50.0	1.52	21.5	155.9	100.1
2	27.6	1.43	19.7	148.6	95.4
3	33.8	1.56	20.4	142.6	91.5
4	24.8	1.37	16.0	119.9	77.0
5	20.7	1.43	19.7	121.9	78.3
6	23.6	1.49	21.6	127.1	81.6
7	28.4	1.50	20.0	118.9	76.3
8	21.1	1.66	15.3	108.2	69.5
9	34.5	1.62	18.6	141.7	91.4
10	20.2	1.43	19.1	133.1	86.0
11	30.6	1.49	17.2	139.1	89.3
12	20.1	1.42	18.9	133.0	85.4
Control ²⁾					
Site A	25.6	1.51	18.6	158.1	—
Site B	27.3	1.47	20.7	149.3	—
Site C	22.5	1.36	16.4	155.7	—
Site D	24.6	1.41	15.6	160.1	—
Average	25.0	1.43	17.8	155.8	100.0
LSD.05	18.5	—	2.90	21.4	—

1) Sampling site numbers are shown in Fig. 1.

2) Four sites located in SO₂ gas-damage free area were selected as control.

관계를 밝힌 연구 결과 두 요인간의 상호관계가 있다⁷⁾는 보고와 상호관계가 없다⁸⁾는 상반되는 연

구결과가 보여 주듯이 방법에 따라 상이한 결과가 도출될 수 있음을 보여주고 있다. 이러한 결과는

Table 4. Relationships between SO₂ concentration and yield components and yield of soybean

Parameter	Regression equation ¹⁾	Coefficient
SO ₂ conc. (July 16–Aug. 19)		
Pod no. per hill	$Y = 33.74 - 7.668 X$	$r = -0.467$ ns
100 grain weight	$Y = 19.47 - 0.998 X$	$r = -0.242$ ns
SO ₂ conc. (Aug. 19–Sept. 17)		
100 grain weight	$Y = 20.03 - 2.320 X$	$r = -0.408$ ns
SO ₂ conc. (July 16–Sept. 17)		
Yield	$Y = 150.22 - 27.934 X$	$r = -0.846$ **

1) Regression equations were calculated by using the values in Fig. 2 and Table 3.

Table 5. Changes in yield of soybean in response to soil pH

Soil pH(X)	Yield index(Y)	Soil pH(X)	Yield index(Y)
6.5	91.8	4.7	77.0
5.9	76.3	4.3	81.6
5.1	100.1	4.2	80.4
4.8	91.8	4.2	69.5
$Y = -21.02 - 0.446X ; r = 0.813$ **			

작물의 생육자체가 품종은 물론 토양, 기상 및 재배방법에 따라 복합적인 변이를 나타내고 있음에 그 원인이 있다고 생각되며, 따라서 생육 저해정도 또는 수량의 감소 등을 평가할 때는 대조구의 선정, 재배양식 등 복합적인 변이를 종합적으로 고려할 수 있도록 단순히 수치적인 분석이나 계산보다는 作物學의 면에서 평가해야 정확한 판단을 할 수 있을 것으로 생각된다. 따라서 콩의 생육 및 수량의 평가가 정확하게 이루어진다면 콩의 생육기간중의 아황산가스의 농도에 의한 콩의 생육 감소정도가 예측 가능하다고 생각된다.

한편 아황산가스 농도와 減受率과의 관계뿐만 아니라 토양의 특성 특히 pH와의 관계도 검토하였는 바, 콩의 수량과 pH와의 상관관계가 유의적인 관계($r=0.813$ **)를 나타내었다 (표 5). 우리나라 콩 재배포장의 pH는 4.8~6.8정도^{1,9)}로 콩의 增産에 큰 장애가 되고 있는 바 본 조사지역내의 토양 pH가 대부분 5.9이하로 콩의 생산기반 자체가 좋은 편이 아니었으며, 특히 아황산가스의 농도가 같은 지역이라 할지라도 토양 pH에 따라 수량감소 정도가 달리 나타났음은 대기중 아황산가스의 피해를 평가하는데 유의해야 할 것으로 판단된다. 이러한 결과를 종합하면 콩의 생육 및 수량

은 SO₂의 농도가 높아짐에 따라 피해정도가 심하여지나, 그 감소율은 SO₂농도가 높더라도 토양에 석회를 사용하여 토양의 pH를 교정할 경우 낮아지고 교정을 하지 않은 상태에서는 SO₂에 의한 피해가 상승적으로 나타날 것으로 사료된다. 또한 SO₂에 의한 피해는 급성피해를 제외하면 전 생육기간에 걸쳐 慢性的, 累積的으로 나타나는 것으로 생각된다.

摘 要

콩의 생육 및 수량에 미치는 대기 중 아황산가스의 영향을 평가하고자 공업단지 주변에서 아황산가스의 농도 측정, 발토양의 특성조사 및 콩의 생육 및 수량을 조사한 결과를 이용하여 콩의 생육기간중의 아황산가스의 등농도곡선을 작성하고 이를 이용한 콩의 생육과 수량에 미치는 아황산가스의 영향과 토양 pH의 영향을 검토한 결과는 다음과 같다.

1. 조사지역의 콩의 주요 생육기간인 7월중순부터 9월중순까지의 아황산가스의 평균농도는 77mg /100cm² PbO₂ /day였다.

2. 콩의 수량감소율은 5~30% 정도였으며, 7월 중순부터 9월 중순까지의 아황산가스농도와 수량과는 유의한 負의 상관관계($r=-0.846^{**}$)를 보였다. 7월 16일부터 8월 9일까지의 아황산가스의 농도와 株黨 莢數 및 100립중, 8월 9일부터 9월 17일까지의 아황산가스의 농도와 100립중과는 유의한 상관관계를 보이지 않았다.

3. 조사지역의 토양 pH는 4.2~6.5였으며, 토양의 pH와 수량과는 正의 상관관계($r=0.813^{**}$)를 보였으며, 석회시용으로 토양 pH가 교정된 곳에서는 아황산가스에 의한 수량감소가 적었다.

4. 콩의 수량 형성에 미치는 SO_2 의 영향은 만성적, 누적적으로 나타났고, 아황산가스의 등농도 곡선으로 콩의 수량감소 예측이 가능하였다.

引用 文 獻

1. 權容雄, 이홍석. 1988. 콩의 생리와 재배환경상의 문제점. 우리나라 콩의 생산성 및 이용도 향상 기술. 농촌진흥청. pp. 68-95.
2. 金福榮, 한기학. 1980. 수도품종별 아황산가스의 피해해석에 관한 연구. 農試年報(土肥, 作保, 菌이) 22 : 1-
3. 김종수 外. 1993. 영남지역 산성비 실태와 강우성분에 관한 연구. 춘계 합동학술발표회(한국농화학회, 한국토양비료학회, 한국환경농화학회) 요지 p.187.
4. 김종호 外. 1982. 여천공단지역의 대기오염에 의한 농작물 및 과수피해에 관한 조사연구(II). 한국화학연구소 보고서. pp. 57-62.
5. 박완철, 金光鎬, 金基駿. 1991. 공업단지주변에서의 아황산가스 및 불화가스가 수도 생육에 미치는 영향. 한국작물학회지. 36 : 17-21.(영문)
6. Baek, N.H. and Y.B. Lee. 1980. Studies on the lead peroxide method for the estimation of sulfur dioxide in the atmosphere. J. Kor. Env. Preserv. Assoc. 1 : 18-24.
7. 申南澈. 1985. 온산 공단지역의 배출가스(아황산)가 농작물 수량 및 식물체내 유효함량에 미치는 영향. 한국환경농학회지. 4 : 52-56.
8. 신용배 外. 1983. 울산공업단지 지역의 대기오염에 따른 농작물 영향 조사 및 기여도 산출에 관한 연구. KAIST 보고서. pp. 46-73.
9. 유순호, 노희명, 이상호, 김찬섭. 1990. 대두 재배 능가 포장 토양의 화학적 특성. 韓土肥誌. 23 : 275-280.
10. 李端來, 宋基俊. 1985. 온산공단 주변 농작물의 중금속 농도조사. 한국환경 농학회지. 4 : 88-94.
11. _____, _____. 1986. 온산공단 주변 농작물의 중금속 농도조사. 한국환경농학회지. 5 : 43-47.
12. 鄭永浩, 金福榮, 李重吉, 한기학. 1976. 대두에 대한 저농도 아황산 가스의 영향. 農試年報(土肥, 作保, 균이) 18 : 29.
13. 토양분석법. 농업기술연구소. 1982.
14. 한기학, 權容雄. 1990. 한국에서의 대기오염에 의한 농작물 피해. 환경오염과 농업에 관한 국제심포지움. pp. 71-83.
15. 韓相旭 外. 1989. 대기오염에 의한 식물군집의 피해평가 및 유지방안에 관한 연구(I). -온산공단 주변지역의 식생을 중심으로- 국립환경연구원 보고서. pp. 18-48.
16. 한영호 外. 1985. 울주군 온산면 지역의 각 공장이 대기오염에 끼치는 기여도 조사 및 농작물에 끼치는 영향에 관한 연구. 부산수산대학. 서울대학교 농과대학.
17. Heagle, A.S., R.B. Phibeck, P.F. Brewer and R. E. Ferrell. 1983. Response of soybeans to simulated acid rain in the field. J. Environ. Qual. 12 : 538-543.