특집 / 농업발전과 환경오염

농촌 환경오염의 실태와 대책

김 복 영* 오 세 익**

1. 서 론
2. 농촌의 환경오염 실태
3. 환경오염에 의한 농업의 피해
4. 농촌 환경오염 대책
5. 요약 및 결론

1. 서 론

우리나라는 옛부터 물이 맑고 공기가 좋으며 산이 아름다워 금수강산이라 불리워 왔다. 그러나 최근 산업의 발달과 생활수준의 향상으로 인하여 공기와 물 그리고 토양이 오염되고 있으며 농촌에까지 환경오염이 심화되고 있다. 농촌의 환경은 농업 내부적인 요인에 의해서도 발생하나 농업 외부로부터 흘러드는 오염원에 의하여 많은 피해를 입고 있다. 이러한 각종 오염은 농민의 삶의 질을 저하시킬 뿐 아니라 농업생산성을 악화시켜 식량생산에도 나쁜 영향을 미치고 있다. 농촌은 광범위하고 지역별 여건과 오염원이 다양하여 공해를 방지하기가 매우 어렵다. 뿐만 아니라 공해방지 정책을 수립하자면 농촌의 환경오염 실태를 정확히 파악해야 하는데 현재까지는 체계적으로 조사 보고된 자료가 그리 많지 않은 실정이다. 따라서 이 연구는 현재까지 지협적으로 조사 보고된 농촌의 환경오염 및 그 피해실태를 정리하고 단편적이나마 대책을 생각해 보고자 수행되었다.

2. 농촌의 환경오염 실태

2.1. 수질오염

2.1.1. 수질오염 실태

물은 크게 지하수와 지표수로 나뉜다. 지하수는 음용수, 생활용수, 농업용수 등으로 쓰이고 지표수는 상수원, 농업용수 및 리크리에이션 용으로 쓰이기 때문에 물은 인간의 생존에 없어서는 안될 가장 중요한 자원 중의 하나이다. 그러나 물은 자유재에 가까워 너무 많이 그리고 함부로 사용됨으로써 다시

* 농업과학기술원 농업연구관
** 한국농촌경제연구원 연구위원

표 1 주요 수계별 생물학적 산소요구량 (BOD)

단위: ppm

구 분	1980	1985	1990	1995
한강(팔당)	1.1	1.4	1.2	1.3
한강(노량진)	3.8	4.7	3.4	3.8
낙동강(남지)	1.8	2.8	3.2	5.7
금강(부여)	2.0	2.5	3.1	4.3
영산강(나주)	-	5.2	6.7	7.0

자료: 「환경백서」, 환경부, 1996.

는 재생할 수 없는 상태로 오염되는 경우가 많아 문제가 되고 있다.

수질오염 정도를 판단하는 지표로 생물학적 산소요구량 (biological oxygen demend ; BOD)을 많이 쓴다. BOD란 미생물이 물속에 있는 오염물질을 분해하여 안정화시키는데 요구되는 산소의 양을 말하는 것으로 산소요구량이 많을수록 오염이 심하다는 것을 의미한다. 우리나라의 주요 수계별 BOD는 〈표 1〉에 나타나 있는데, 수계별로 차이가 있으나 점차 오염정도가 심화되고 있는 실정이다. 특히 상중류에 산업공단 및 농업지역이 많이 분포되어 있는 낙동강, 금강, 영산강은 오염 진행속도가 매우 빠르며 이미 상수원으로 쓸 수 없을 정도로 오염정도가 심각하다.[1]

이와 같은 하천의 오염은 상수원의 수질을 악화시켜 음용수의 안전성을 위협하고 관개수로 쓸 경우 농작물에 피해를 줄 수 있다. 김복영 등(1989)이 제주도를 제외한 8개도 21개의 하천 (또는 지류) 98개 지점에서 채취한 800여개의 시료를 분석한 결과를 보면 〈표 2〉와 같다.

하천수의 산도 (PH)는 2.8~9.3으로 강산성에서 강알카리성까지 폭넓게 분포하여 작물생육에 적합한 산도를 훨씬 초과하고 있었다. 전기전도도 (EC)는 물 속에 염기가 많을수록 높아지는데 조사된 시료는 24~4,520μmhos의 분포를 보였다. 농작물에 피해를 유발하는 EC의 농도가 1,000μmhos이란 점을 감안할 때 관개수로서 부적합한 곳이 많이 있음을 알 수 있다. COD도 최고치가 297mg/ℓ로 작물피해 농도를 초과하고 있다.[2] 총질소의 양은 암모니아태질소 (NH_4)가 0~48.6mg/ℓ, 질산태질소 (NO_3)가 0~59.1mg/ℓ로 농작물 피해유발농도보다 높은 곳이 발견되었다. 중금속도 카드늄이 0~90μg/ℓ, 구리 0~625μg/ℓ, 납 0~470μg/ℓ로 구리의 경우 환경기준을 초과하는 곳이 발견되었다. 전체적으로 보았을 때 총 조사지점 98개중 농업용으로 적합한 곳은 54개(55%)에 불과하고 농작물 피해농도보다 1~2배 높은 곳이 24개 (24%), 2~5배 높은 곳이 17개

[1] 상수원의 BOD 기준은 1급수는 1ppm 이하, 2급수는 3ppm 이하임.

[2] COD(chemical oxygen demand: 화학적 산소요구량)란 물속에 있는 유기성 오염물질을 화학적으로 분해하는데 필요한 산소의 양을 말하며 COD 수치가 클수록 오염이 심한 것을 의미함.

표 2 **전국 주요 하천의 수질오염 실태**

단위: ppm

구분	Ph	EC (μmhos)	COD (mg/ℓ)	NH_4-N (mg/ℓ)	NO_3-N (mg/ℓ)	Cd (μg/ℓ)	Cu (μg/ℓ)	Pb (μg/ℓ)
최저치	2.8	24	0	0	0	0	0	0
최고치	9.3	4,520	297	48.6	59.1	90.0	625.2	470.0
작물생육 피해농도	5.0이하 7.5이상	1,000	50	5.0	20.0	900	180	13,600

주: 1) 환경보전법에 규정된 수질기준임.
자료: 김복영 등 (1989)에서 재작성.

(17%), 5배 이상 높은 곳도 3개나 발견되었다.

오염물질은 또한 중력수를 따라 땅속으로 스며들어 대수층을 오염시키며 이러한 대수층을 음용수원으로 이용할 경우 인축의 건강을 해치게 된다. 지하수 오염정도는 지상부의 오염행위의 정도, 기후 (특히 강우량), 토양의 특성 (토질, 토성, 밀도, 유기물 함량, 공극량) 등에 따라 차이가 많으며 대수층의 깊이도 지하수 오염과 깊은 관계가 있다. 토양중에서 오염물질의 침투속도도 지하수 오염정도를 좌우하는 중요한 인자가 되는데 일반적으로 사질토양은 점질토양보다 이동속도가 빠르다. 보고된 바에 의하면 식질양토 (silt loam)에서 오염물질의 이동속도는 연간 30~40cm이나 사질 또는 사질양토 (sandy loam)에서는 이보다 훨씬 빨라 수주일 만에 지하수에 도달한다고 한다 (Keeney, 1986).

농촌음용수로 쓰이는 지하수의 수질을 조사한 자료는 극히 제한되어 있다. 〈표 3〉은 대도시 주변에 있는 농촌지역 26개소의 음용수질 (지하수)을 분석한 자료이다. 농촌 음용수의 금속함량은 대부분이 보건사회부의 음용수 수질기준치 이하로 양호한 편이나 망간은 최고치가 0.737ppm으로 기준치 0.3ppm을 초과하고 있다. 또한 카드뮴, 납, 아연, 구리와 같은 중금속은 배설되지 않고 체내에 축적되기 때문에 적은 양이라도 장기간 흡수하면 중독증상이 나타날 수 있다 (이창기, 1993). 이와 같은 지하수의 중금속 오염은 공장폐수 또는 광산폐수에 기인하는 경우가 많다.

양이온과 음이온은 대부분 체내에서 신진대사를 거쳐 배출되기 때문에 오염량이 기준치 이하일 경우 건강을 해치지 않는다. 조사된 바에 의하면 F, Cl, SO_4 등 기준치 이하의 오염도를 보이고 있으나 NH_4, NO_3 등은 기준치를 초과하는 경우가 많이 발견되었으며 특히 NO_3는 평균치가 기준치에 육박하고 있어 문제점이 되고 있다.

이와 같은 질소질 이온들은 도시하수, 산업폐수, 광산폐수 등 산업 및 경제활동과 화학비료, 가축분뇨 등 농업생산활동이 직접적인 원인으로 밝혀지고 있다 (OTA, 1984; Hallberg, 1986). 한편 Na, K, Mg, Ca, NO_2, Br, PO_4 등도 많이 검출되고 있으나 우리나라 음용수 기준에는 허용치가 명시되

표 3 **농촌음용수 (지하수)의 수질**

1) 금속함량 단위: ppm

구 분	철(Fe)	아연(Zn)	망간(Mn)	카드늄(Cd)	납(Pb)	구리(Cu)
최고치	0.003	0.001	0.010	0.001	0.018	0.000
최저치	0.089	0.118	0.737	0.002	0.072	0.017
평균치	0.015	0.032	0.145	0.001	0.037	0.004
기준치	0.3	1.0	0.3	0.01	0.1	1.0

2) 양이온 함량

구 분	Na	K	Mg	Ca	NH_4	경도
최고치	7.3	1.00	3.22	10.65	0.00	10.32
최저치	17.28	28.05	21.63	94.09	0.78	318.80
평균치	11.60	5.78	11.61	48.61	0.07	165.80
기준치	-	-	-	-	0.5	

3) 음이온 함량

구 분	F	Cl	NO_2	NO_3	Br	SO_4	PO_4
최고치	0	6.31	0	0	0	0	0
최저치	0.38	65.76	1.80	29.37	0.57	97.50	0.97
평균치	0.08	29.32	0.06	9.84	0.06	33.57	0.03
기준치	1.0	150	-	10	-	200	-

4) 세균 및 대장균

구 분	세 균	대장균
기준치	100/㎖	0/50㎖
기준치 초과 표본수(%)	4 (15.4)	8 (30.8)

주: 대도시(서울, 부산, 대구, 인천, 광주) 주변의 농촌지역 26개소의 지하수 검사 결과임
자료: 김형석외 2인

지 않고 있다. 그러나 이러한 물질도 일정량 이상을 섭취할 때 건강을 해치게 되므로 하루 빨리 기준치를 정해서 관리하여야 할 것이다.

세균 및 대장균으로 오염된 지하수도 상당히 발견되었다. 세균은 4개소, 대장균은 8개소에서 검출되어 각각 15%, 31%의 오염율을 보여주고 있다. 농약도 농촌 지하수를 오염시키나 이것에 대한 조사자료는 전무한 실정이다.

한편, 환경부에서 '95년도 지하수의 오염실태를 조사한 결과 전체조사 대상 1,546지점중 10%인 156지점이 지하수 수질기준을 초과하였으며 도시지역 및 농촌지역의 지하수에서는 질산태질소가 높게 나타났다. 이러한 질산태질소의 대부분은 정화조, 가정하수, 축산폐기물, 쓰레기 등에 의한 오염의 영향과 취수정의 위생관리 부실 등이 주원인이라고 하였다.

또한, 농어촌진흥공사에서 전국 167개의 농촌마을의 천층지하 음용수 수질를 조사한 결과 65%가 음용수로 부적합하며 특히 일반세균 오염이 50%, 대장균 오염이 37%, 질산태질소 오염이 20%로 나타났다. 또한 농업용수원 시설 (저수지, 보, 양수시설) 85개의 수질 조사 결과 50%(43개소)가 농업용수로 쓰기에 부적합한 것으로 나타났다.

2.1.2. 수질오염원 배출현황

농촌의 수질 (지하수 및 지표수 포함)을 저하시키는 오염원은 크게 생활하수, 산업폐수 (광산폐수 포함), 분뇨, 농업유출수 (비료, 농약, 축산폐수)로 나눌 수 있다. 이러한 오염원별로 오염물질 배출량을 살펴 보면 다음과 같다.

가. 생활하수

생활하수 배출량은 인구의 증가와 생활수준의 향상으로 매년 증가하여 1994년말 현재 14,632천㎥/일에 달하고 있다(표 4). 이것은 '85년말에 비해 74% 증가한 양이며 연간 7~8%의 속도로 상승하고 있다. 현재 하수처리율은 45% 정도에 불과하여 일평균 약 8,000천㎥의 오수가 하천에 방류되고 있으며 특히 직할시 이상이 전체 배출량의 60%를 점하여 대도시의 생활하수가 수질오염의 주원인이 되고 있다.

이와 같은 생활하수는 유기물, 영양염류, 부유물질, 세제, 산성 및 알카리성 물질 등을 다량 함유하고 있어 부영양화를 유발할 뿐만 아니라 농경지 오염의 원인이 된다.

나. 분뇨

분뇨의 발생량은 1994년 42,578㎥/일로 1987년에 비하여 0.1% 증가하였다. '94년에 발생한 분뇨중 수세식 처리, 분뇨처리시설 등을 통하여 처리된 분뇨는 34,000㎥/일 (80%)이고 나머지는 정화되지 않은 채 자연환경에 부하된 것으로 집계되고 있다. 그러나 처리된 분뇨중에서도 수세식 변소의 상당량은 정화과정을 거치지 않고 하천에 방류되는 것으로 나타나 실질적인 오염부하량은 이보다 훨씬 더 심각할 것으로 판단된다. 분뇨는 유기물, 영양염류 등을 함유하고 있어 수질부패 및 부영양화의 원인이 되며 악취를 발생하여 수질을 저하시킨다.

다. 산업폐수

산업폐수란 1·2차 산업의 제품생산에 사용되었던 폐수로서 배출량은 생활하수보다 적으나 고농도이고 또 중금속, 유기화합물 등 유해물질을 많이 함유하고 있어 인축의 건강과 작물생육에 치명적인 영향을 미친다.

표 4 생활하수 발생량, 1994

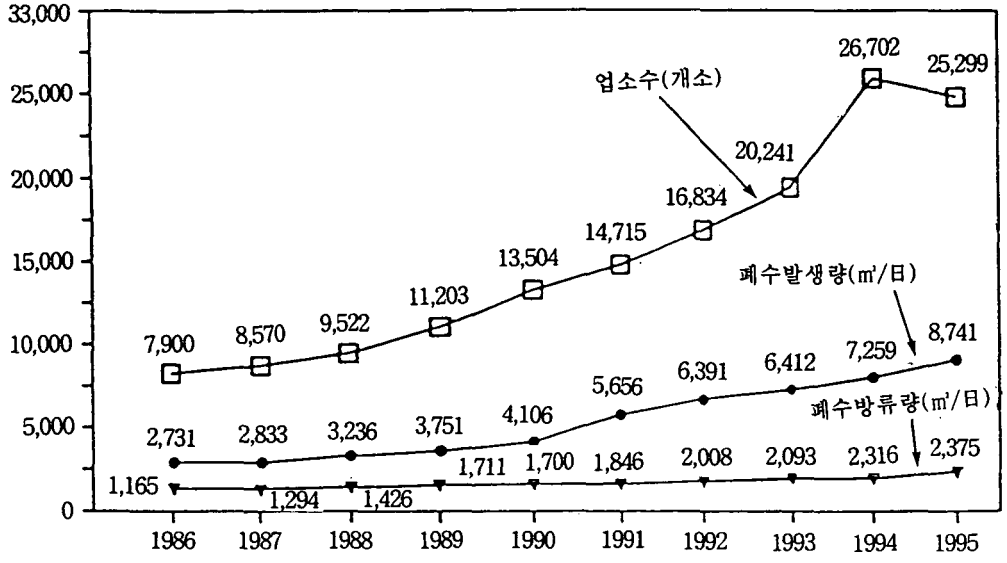
단위: 천㎥/일

직할시 이상	시 가 지		비 시가지	합 계
	시	읍		
8,547 (58.4)	3,907 (26.7)	798 (5.5)	1,380 (9.4)	14,632 (100.0)

주: ( ) 내는 백분율임

자료: 「환경백서」, 환경부, 1996.

그림 1 **산업폐수 배출현황**



자료 : 「환경백서」. 환경부. 1996.

정부에서는 하루 평균 배출량이 50㎥ 이상인 산업시설을 폐수배출시설로 정하여 관리하고 있는데 이러한 시설업소수는 1995년 말 현재 25,299개로 '90년보다 87%나 증가하였다 (그림 1). 이들 업체에서 발생되는 산업폐수는 하루 평균 8,741㎥이며 그중 2,375㎥ (27%)이 공공수역으로 배출된다. 그러나 폐수배출량이 50㎥/일 이하인 업체에서 배출하는 산업폐수는 생활하수에 포함되어 방류되고, 허가시설에서 발생하는 폐수도 정화과정을 거치지 않고 불법 방류하는 사례가 많아 산업폐수가 수질오염에 미치는 영향은 매우 심각하다.

라. 농업화학물질

우리나라의 화학비료 사용량은 1990년까지 연평균 3.1%의 속도로 증가하다가 그 후부터 감소하는 추세를 보이고 있다. 1995년 현재의 사용량은 978천톤으로 ha당 444kg이다. 이와 같은 단위면적당 비료 사용량은 일본(349kg), 미국, EU 등 선진국보다도 높은 수준이다.

화학비료의 환경부하량은 단위면적당 시비량, 토양의 성질, 기후조건, 영농기술 등 여러가지 요인에 따라 변하기 때문에 일률적으로 말할 수 없으며 정확히 밝혀진 바도 없다. 그러나 최근에 미국에서 조사된 바에 의하면 시여된 화학비료의 33~50%는 유실된다고 한다 (Libra et al., 1986). 이러한 비율을 우리나라에 적용한다면 연간 약 320~480천톤의 비료가 지표수 또는 지하수로 유입되는 것으로 추정할 수 있다. 이 중 상당량이 재이용, 분해, 흡수 등에 의하여 소멸되겠지만 이와 같은 환경의 자정능력은 정확히 밝혀지지 않고 있다.

한편, 농약사용량은 과거 20여연간 연평균 10.2%의 높은 속도로 증가해 왔으며 최근에는 증가속도가 둔화되고 있다. 1994년

현재 농약 총사용량은 성분량으로 26,282톤이며 ha당 평균 사용량은 13.0kg이다.

농작물에 살포되는 농약의 30~60%는 유실되는 것으로 추정된다. 따라서 우리나라의 경우 해마다 약 7,800~15,600톤의 농약이 자연환경에 유입되는 셈이다. 현재 사용되고 있는 농약은 대부분 유기농약이기 때문에 일정기간이 지나면 분해되어 무해한 물질로 바뀐다. 그러나 분해되기 전에 토층 또는 지하수로 침투한 농약은 태양광선의 영향을 받지 않아 분해되는데 훨씬 더 많은 시간이 소요되는 것으로 알려져 있다.

마. 가축분뇨

가축분뇨는 질소, 인산, 박테리아 및 유기물을 많이 함유하고 있어 지하수 및 지표수를 오염시키고 나아가 인축에 피해와 호수 및 하천의 부영양화를 초래한다. 또한 유기물이 분해될 때 발생하는 암모니아와 메탄가스는 지구온난화와 산성비의 원인이 되며 악취 및 해충 유인의 피해도 유발한다.

우리나라의 일간 가축분뇨 발생량은 BOD 기준으로 총 1,211톤인데 돼지분뇨의 비중이 52%로 제일 많고 그 다음이 소 (34.1%), 닭 (14.2%)의 순으로 많았다. 그중 정화 및 재이용을 제외한 실제 환경부하량은 575톤/日로 총 발생량의 47%를 차지하고 있으며 소가 48%로 제일 많고 그 다음이 돼지 (37%), 닭 (15%)의 순서로 많았다. 가축별 분뇨 재활용율은 닭이 49.3%로 가장 높고 소가 33%로 제일 낮았다. 연간 오염물질 부하량은 210천톤으로 4톤 트럭 52천대 분이다.

2.2. 토양오염

2.2.1. 토양오염 실태

토양오염의 원인이 되는 물질로는 유기물, 무기염류, 중금속류, 농약, 유해화합물 등이 있다. 이들 물질중 중금속류와 유해화합물은 일단 토양에 유입되면 분해되지 않고 이들로 오염된 농경지에서 생산된 농산물은 안전성에 문제가 있을 수 있다. 현재 제도적으로 관리되고 있는 토양오염물질은 카드뮴, 구리, 비소, 수은, 납, 크롬, 시안, 페놀 등 11개 항목에 이른다.

그중 오염도가 비교적 높은 물질의 농경지 오염도를 보면 〈표 5〉와 같다. 카드뮴, 구리,

표 5 토양오염도 현황, 1995

단위: mg/kg

구 분	카드뮴(Cd)	구리 (Cu)	비소 (As)
전 체	0~5.345 (0.149)	0~142.8 (6.88)	0~74.7 (0.81)
영 농 지 역	0~0.610 (NA)	0.3~21.1 (3.53)	0.02~3.13 (0.5)
광 산 지 역	0~5.345 (0.405)	0.6~99.6 (11.08)	0.05~2.05 (0.51)
토양오염 대책기준	4.0	125	15
자 연 함 유 량	0.135	3.995	0.560

주: ( )내는 평균치임.

자료: 「환경백서」, 환경부, 1996.

비소는 모두 전체 평균이 자연함유량을 초과하고 있어 인위적인 오염이 있음을 말해 주고 있다. 영농지역은 전체 평균보다 오염도가 비교적 낮으나 광산지역은 토양오염 대책기준을 초과하고 있어 광산 근처의 농경지는 상당히 오염되어 있음을 알 수 있다.

2.2.2. 토양 오염원

가. 공장 및 광산폐수 유입

중금속의 대부분은 광산의 채광, 정광, 선광 과정에서 잔존된 광미사가 광산폐수와 함께 하천을 통하여 농경지에 유입되어 오염을 유발한다. 공장폐수의 경우는 공장에서 사용하는 원료에 따라서 상이 하겠으나 폐수속에 함유된 금속류 및 유해화합물을 완전히 제거하지 못한 채 방류함으로써 토양이 오염된다.

농경지오염에 영향을 미친다고 생각되는 16개소의 광산을 조사한 결과, 중금속의 평균치에는 문제가 없으나 최고치는 토양중 중금속함량이 카드늄 14.5, 구리 233.0, 납 720.5, 아연 554.5mg/kg으로 토양오염 우려기준이나 대책기준을 초과한 면적이 233.7ha나 되어 이지역은 특별한 대책을 강구하기에 이르렀다.[3]

나. 분진

금속 제련소에서는 금속을 용융하는 과정에서 먼지나 미립자의 형태로 금속이 비산되거나 도로변에는 자동차에서 배출되는 매연속에 납이 함유되어 농경지를 오염시키기도 한다. 제련소에서 1km 떨어진 토양에서는 납 279.4, 구리 111.4mg/kg이 검출되었고 거리가 멀어짐에 따라서 비산량은 점점 감소되나 20km지점에서도 납 9.7, 구리 5.8mg/kg가 검출되어 분진으로 오염되는 범위가 상당히 넓은 것을 알 수 있다.

다. 농업화학물질 및 쓰레기

비료는 농작물 재배에 필요하나 화학비료를 과다하게 시용하면 토양의 이화학적 성질이 악화되어 토양오염을 일으킨다. 최근 농경지에 복합비료를 과용한 결과 카리 및 인산질이 축적되어 생육장애를 일으키는 토양이 많이 발견되고 있다. 또한 온실토양 중에는 인산이 적정량의 10~20배 농축되고 카리와 칼슘이 과다하게 검출되는 경우가 많아지고 있다.

유기물은 알맞게 부숙된 것을 시용하여야 한다. 미숙 퇴비를 시용하면 유기물이 부숙되는 동안에 작물이 피해를 입을 수 있고, 또 유해물질로 오염된 퇴비나 산업폐기물이 혼합된 유기물질을 시용하는 경우에는 토양이 중금속으로 오염된다.

농약도 토양오염을 유발할 수 있다. 그러나 우리나라에서 사용되는 농약의 92% (227개 중 248개)는 반감기가 100일 이내이기 때문에 일정한 기간이 지나면 자연분해되어 무해한 성분으로 바뀐다. 그러나 농약의 과다 사용, 비허용제품의 사용, 농약안전 사용지침 미준수 등의 경우에는 중금속 또는 유해화학물질의 잔류 등으로 토양이 오염된다.

이 밖에도 농촌쓰레기, 폐윤활유, 폐 밧데리, 폐비닐 등을 함부로 버려서 논이나 밭을

---

[3] 토양오염 대책기준은 카드늄 4, 구리 125, 비소 15, 수은 10, 납 300, 크롬 10, 시안 5, 페놀 10mg/kg임.

오염시키는 경우도 많으나 이에 대한 조사 자료가 미비된 실정이다.

다. 대기오염

지구의 대기는 질소, 산소, 아르곤 및 탄산가스가 전체의 99%를 점하고 있다. 대기오염이란 대기중에 이러한 물질이외에 인위적으로 배출된 오염물질이 존재하여 해당 지역 주민의 보건위생상 위해를 미치고 식물이나 동물의 생산성을 저하시켜 인간의 생활과 재산을 직간접적으로 위협하는 상태를 말한다. 농촌의 대기중으로 배출되는 주요 오염물질을 열거하면 다음과 같다.

- 화석연료 연소시에 배출되는 탄산가스, 유황산화물 (SOx), 매연
- 제련소, 화학공업 및 기타 공장에서 배출되는 질소산화물 (NOx), 유황산화물, 암모니아, 할로겐화합물, 불화수소 (HF) 및 금속산화물
- 화력발전소, 시멘트공장 및 쓰레기 소각장에서 배출되는 분진 및 유해가스
- 냉매, 발포제 및 세정제로 쓰이는 프레온가스 (염화불화탄소; CFC)
- 유기물질 분해시 배출되는 메탄가스, 암모니아

이와 같은 대기오염은 식물에 직접적으로 작용하여 생리적 장애를 유발하고 생장을 저해할 뿐만 아니라 식물군집의 변화를 일으켜 자연생태계를 파괴하기도 한다. 또한 오염물질 또는 대기 정상성분과의 상호작용 및 태양에너지에 의한 광학적 반응 등에 의해 생성되는 2차 공해물질은 간접적인 피해를 유발하기도 한다. 그러나 이러한 물질로 인한 농촌의 대기오염 정도를 실측한 자료는 발견할 수 없었다.

3. 환경오염에 의한 농업의 피해

3.1. 수질 및 토양오염 피해

수질오염에 의한 농업의 피해는 각종 폐수에 의한 관개수 오염과 이들이 유발하는 2차적인 토양오염으로 발생한다. 이들 오염물질은 종류가 다양하고 농작물에 미치는 영향도 상이하다. 농작물의 피해도 단일물질 또는 2종 이상의 오염물질에 의한 복합피해가 많으며 피해정도도 농작물의 종류, 품종, 생육시기, 생육상태, 기상상태 등에 따라 상이하다. 오염물질의 농작물 피해를 종류별로 분석하면 다음과 같다.

3.1.1. 토양의 산성화

관개수에 유황화합물이 다량 함유되어 있을 경우 유황화합물은 토양중의 수소이온과 결합하여 황산을 만들고 따라서 토양이 산성화된다. 토양이 산성화되면 토양중의 알류미늄이 활성화되어 양분흡수를 저해하고 토양의 이화학적 성질을 악화시키며 결국 농작물의 생산력을 저하시킨다. 관개수에 유황산화물이 50ppm 함유되었을 경우 벼의 수량은 거의 감수되지 않았으나 100ppm, 500ppm의 경우에는 각각 13%, 64% 감수되었으며 1000ppm 이상에서는 전혀 수량을 거둘 수 없었다 (김정제 외, 1979).

3.1.2. 질소과잉

농작물이 질소를 과다흡수하면 호흡소모가 증대하여 양분축적이 적어지고, 경엽이 연약하여 쓰러지기 쉬우며 병충해에 대한 저항성이 적어진다. 또한 단백태질소 구성비가 감소하고 동화물질의 전류가 억제되며 따라서 농작물의 성숙이 지연된다. 관개수에 총 질소의 양이 3ppm이하일 때는 수량감소가 거의 없으나 3~10ppm에서 수량감소가 시작되었으며 10ppm이상일 경우에는 극심한 수량감소를 보였다 (김복영, 1991).

3.1.3. 토양의 환원화

토양의 환원은 유기물이 많이 함유되어 있는 생활하수, 공장의 유기폐수, 축산폐수 등이 유입될 때 일어나는데 이러한 피해는 특히 논토양과 같은 산소의 공급이 제한된 상태에서 많이 발생한다. 토양이 환원화되면 산소가 부족하여 철, 유화수소, 유기산 등이 생성되는데 이러한 물질들은 수도의 생육을 저해하여 수량을 감소시킨다. 정영호 등 (1970)의 연구를 보면 관개수의 COD농도가 50ppm 이상일 때 유묘의 건물중 감소가 초래되었으며 수량도 감소되었다.

3.1.4. 기름 (oil) 함량의 과다

기름을 과다 함유한 관개수가 농경지에 유입되는 경우 기름이 식물의 조직에 침투하여 작물의 생육을 억제하는 직접피해와 토양을 환원시켜 수량을 감소시키는 간접피해가 발생한다. 정영호 등 (1972)의 연구를 보면 관개수 중 경유함량이 10a당 10ℓ일 경우 현저한 수량감소를 가져오며 100ℓ일 경우에는 60~80%의 감수를 초래하였다.

3.1.5. 중금속 과다

구리, 카드뮴, 아연, 납 등의 중금속이 농경지에 유입될 경우 대부분이 토양에 축적되어 농작물 수량감소, 식품오염 등과 같은 직간접 피해를 유발한다. 이러한 중금속들은 적당량을 함유할 경우에는 작물의 영양분으로 이용될 수 있으나 과잉흡수되면 식물의 효소작용을 억제하여 생육을 저해한다. 토양이 산성화되면 중금속의 용해도가 높아져 이러한 해작용은 더욱 심해진다. 중금속이 작물수량을 감소시키는 한계농도는 구리 0.18ppm, 니켈 0.34ppm, 코발트 0.4ppm, 크롬 0.67ppm, 수은 0.2ppm, 망간 0.93ppm, 카드뮴 0.9ppm, 아연 7.4ppm, 납 13.6ppm으로 조사되었다 (김복영 외, 1978; 김규식 외, 1978).

3.2. 대기오염

대기오염에 의한 식물의 피해는 可視害 (visible injury)와 不可視害 (invisible injury)로 나누고 可視害는 다시 급성해 (acute injury)와 만성해 (chronical injury)로 대별된다. 각종 대기오염물질들은 화학적 특성이 다르기 때문에 식물에 미치는 영향도 다르다. 일반적으로 분진은 피해가 경미하고 느린 반면 가스상의 유해물질은 급속하고 격심한 피해를 유발한다. 이러한 유해가스는 아황산가스, 질소산화물, 유화수소, 불화수소, 오존 등이 있으며 아황산가스, 불화수소 및 질소산화물은 배출원이 많고 독성이 강하기 때문에 식물피해의 대부분을 차지하고 있다.

아황산가스는 식물체에 흡수되면 물과 반

응하여 황산이 되거나 알데히드와 결합하여 알파옥시설폰 (α-oxysulfon)산을 만드는데 이물질들은 세포를 파괴하여 담록색, 회록색 또는 백색의 반점을 형성한다. 피해발생농도는 작물별, 생육시기별, 영양상태별로 다르며 이에 대한 연구가 부족한 실정이다. 벼에서는 1ppm 처리구는 피해가 나타나지 않았으나 5~10ppm 처리구에서는 황백색 반점이 많이 나타났으며 농도가 증가함에 따라 피해정도가 심해졌다. 수량은 5ppm구에서 30%, 10ppm구에서는 50%가 감소되었으며 시기별로는 개화기가 제일 심했다 (정영호 외, 1973). 아황산가스에 감수성이 큰 알팔파는 0.4ppm에서 연반이 나타났으며 보리와 밀은 0.6ppm에서 잎이 하얗게 표백되는 가시피해가 발생하였다 (Zimmer- man 외, 1934).

질소산화물(NOx)은 NO 또는 NO_2가 식물에 피해를 주는데 NOx에 의한 직접피해와 광학작용을 통한 간접피해가 있다. 직접피해는 NOx가 식물체에 흡수된 후 질산 또는 독성물질로 변형되어 세포를 파괴하는 것이다. NOx 농도가 낮을 때는 잎에 조그맣고 불규칙적인 검은 반점이 생기나 농도가 높을 때는 회색이나 백색의 반점이 많이 나타나고 결국 식물체가 말라 죽게 된다. 간접피해는 질소산화물이 태양광선에 의해 광학작용을 일으켜 오존을 생성하는 것이다. 오존은 산화력이 강해 식물과 접촉할 경우 세포를 산화, 고사시킨다. 콩과 토마토는 0.4ppm, 담배와 백송은 0.06ppm의 오존 농도에서 피해증상이 목격되었다.

불화수소는 발생량은 유황산화물 또는 질소산화물보다 적으나 독성이 매우 강해 대기중에 수 ppb(10억분의 1)만 존재해도 식물조직을 괴사시킨다. 불화수소에 접촉되면 처음에는 잎이 시들고 반점이 많이 나타나다가 나중에는 식물체 전체가 고사한다. Zimmerman(1934)의 실험에 의하면 0.07ppm의 농도에서 피해증상이 나타났으며 1.5ppm에서는 모든 작물이 고사하였다.

이 밖에도 대기오염이 농작물에 미치는 직간접 피해가 많다. 염소가스 (Cl_2)와 유화수소 (H_2S)는 독성은 약하나 식물의 생육을 저해하고 분진은 잎에 부착되어 호흡과 광합성을 방해한다. 대기중의 암모니아, 유황산화물, 질소산화물 등은 산성비를 만들어 농작물 뿐만 아니라 생태계까지 위협하고 있다. 또한 탄산가스와 메탄가스는 지구온난화의 원인이 되며 염화불화탄소는 지구의 오존층을 파괴하여 지구 전체의 운명을 좌우한다. 이와 같이 대기오염이 농업에 미치는 영향은 대단히 많고도 중요하나 이에 대한 연구의 부족으로 구체적인 피해상황이나 피해액이 산출되지 않고 있다.

4. 농촌 환경오염 대책

4.1. 수질오염 대책

수질을 보전하려면 수질오염원의 배출을 원천 봉쇄하는 것이 가장 좋은 방법이다. 이를 위해서는 모든 오염자를 직간접적으로 규제하고 비점오염원에 대한 대책도 마련해야 한다.

산업폐수 배출규제에 있어서는 현행 법제는 일정규모 이상의 사업자만 규제하고 있는

데 이것을 점차 중규모 및 영세업자에게도 확대해 나가는 것이 바람직하다. 배출기준도 재검토하여 현실화하고 배출업체에 대한 감시감독을 철저히 하여 무단배출을 강력히 규제해야 한다. 특히 대규모 산업공단 및 중소규모 농공단지에 입주해 있는 배출업체에 대한 자체방지시설의 설치를 의무화하고 규제방법도 총량규제로 전환함이 바람직하다.

축산폐수 또한 대규모 축산업자 뿐만 아니라 중소규모 및 영세 축산농가도 규제대상에 포함시키되 직접규제와 경제적 인센티브 제도를 병행하는 것이 좋다. 예를 들면 영세 축산농가에 대한 분뇨처리시설 설치비용 보조, 대규모 축산단지에 국가가 공동처리시설을 마련해 주는 방법, 축분비료산업에 대한 지원으로 가축분뇨의 재활용 유도 등은 좋은 방법이다.

수질오염에 가장 큰 영향을 미치는 것이 생활하수인 만큼 일반 소비자와 농촌주민도 이에 대한 책임을 져야 한다. 이에 대한 대책으로는 공해세의 일종인 하수도세의 현실화가 시급히 추진되어야 한다. 이를 위해서는 도시와 농촌에 하수종말처리장을 확충하고 그 수혜지역에 설치·운영비 만큼의 하수도세를 부과하는 방법과 지역별로 하수관거의 유량을 조사하여 하수도세를 차등부과하는 방법이 있다. 이러한 제도는 소비자 및 농민으로 하여금 하수발생량을 감소케 하는 경제적 유인을 줄 뿐 아니라 이 재원으로 환경홍보 등의 사업을 실시할 수도 있다.

비료, 농약 등 비점오염(nonpoint source pollution)에 대한 대책도 시급하다. 현행 수질관련 제도는 비점오염을 효율적으로 통제할 만큼 구체화되지 못하고 있는 실정이다. 따라서 미국의 청정수법 (Clean Water Act) 등을 참고로 비점오염의 규제를 위한 지방정부의 역할 정립, 농민의 최적영농법 (BMP; best management practice) 시행 등을 법제화하여야 한다. 또한 적정시비법 및 시비량 추천, 종합적 병해충 방제법 (IPM) 등의 선진기술을 개발, 보급하여 농업화학물질의 과도한 사용을 막아야 한다.

배출전 처리와 재활용의 증진도 필요하다. 오염물질이 발생했다 하더라도 이것을 배출전에 처리하거나 재활용하면 오염을 감소시킬 수 있다. 최근 미국에는 오염물질을 사전처리하여 재활용하는 기술이 발전하고 있다. 예를 들면 3M법인은 폐쇄체계(closed system)을 도입하여 폐수에서 화학물질을 회수, 재활용하고 있다. 또한 화란의 유리온실들은 암면재배(rock wool culture)에 사용되었던 양액을 멸균처리하여 재사용함으로서 비료대를 절감하는 한편 환경오염을 방지하고 있다. 우리나라에는 아직 이러한 체계가 도입되지 않고 있는데 그 이유는 배출부담금을 납부하는 것이 이러한 시설을 갖추는 것보다 저렴하기 때문이다. 따라서 처리 및 재활용 시스템에 대한 연구개발을 통하여 이러한 시설을 저렴한 비용으로 설치할 수 있는 방안을 강구하여야 하며 이러한 시설에 대한 설치보조금 지원을 적극적으로 검토해야 할 것이다.

마지막으로 지하수의 보전방안을 강구해야 한다. 지하수의 오염과 남획을 방지하기 위해서는 지하수 공개념 제도를 도입하여 개발을 신고제에서 허가제로 전환하여야 한다. 지하수를 개발하되 개발업자 선정에서부터 취수량 제한, 오염방지 조치, 위반시의 개선

명령, 영업중단, 폐쇄 및 원상회복 등에 대한 강력한 행정조치를 취할 수 있어야 한다. 또한 지하수는 앞으로 우리가 이용할 수 있는 유일한 음용수원이라는 관점에서 지하수 오염 우려가 있는 모든 개발행위를 제한할 수 있는 장치가 필요하다.

이와 동시에 지하수원의 함양을 위한 대책도 수립하여야 한다. 산림은 빗물을 저류하여 지하수 함양을 촉진하고 벼농사 또한 지하수 함양효과가 탁월하다. 따라서 산림과 논의 개발을 최대한 억제하고 지하수 함양과 같은 공익적 기능을 평가하여 적절한 지원대책을 강구해야 할 것이다.

4.2. 토양 오염대책

농경지의 오염을 방지하기 위해서는 우선 농경지에 대한 정밀토양조사를 실시하여 오염지역과 오염정도를 파악해야 한다. 이러한 토양오염 실태를 GIS와 연계하여 전국도에 표시하고 오염지와 오염진행지에 대해서는 오염방지대책을 수립, 시행해야 하며 비오염지는 오염이 되지 않도록 보호해야 할 것이다.

둘째는 오염된 토양은 적절한 방법을 통하여 개량해야 한다. 오염토양의 개량방법으로는 농업토목적 방법, 화학적 방법, 생물학적 방법 등이 있다. 농업토목적인 방법은 반전경운과 객토법이 있다. 반전경운이란 표층의 오염토양과 심층의 비오염토양을 희석시키는 방법인데 김복영(1990)은 이 방법으로 토양 및 현미의 카드늄 함량을 현저히 낮출 수 있다고 하였다. 객토법은 오염토양 위를 비오염토양으로 복토하는 방법으로 객토심이 깊을수록 개량효과가 크다.

화학적인 방법은 유해 중금속을 불용화시키는 방법으로 담수재배, 유기물 시용, 소석회 및 인산 시용 등의 방법이 있으며 제오라이트, 벤토나이트 등의 토양개량제를 시용하여 중금속을 흡착시키는 방법도 있다. 한편, 생물학적인 개량방법은 중금속으로 오염된 토양에 비식용이면서 중금속 흡수력이 강한 식물을 재배하는 것으로 최근에는 수목류, 화훼류, 섬유작물 등에 대한 연구가 많이 진행되고 있다.

셋째는 토양이 오염되지 않도록 사전에 방지하는 것이다. 토양은 관개수에 의하여 오염되는 경우가 대부분이기 때문에 오염된 관개수가 흘러들지 않도록 제도적 장치를 마련해야 한다. 이를 위해서는 우선 위에서 언급한 수질오염대책을 차질없이 수행하여 깨끗한 농업용수를 공급해야 하는 동시에 광산, 산업공단, 제련소 인근을 농업보호지역으로 지정하여 농업용수 및 농경지의 오염을 막아야 한다. 또한 비료와 농약을 적절히 사용하여 잉여성분이 토양에 장기 체류하지 않도록 해야 할 것이다.

4.3. 대기오염 대책

농촌의 대기는 아직 심각할 정도는 아니지만 농공단지 및 대규모 산업공단의 입주로 지역에 따라서는 오염대책이 필요한 곳도 있다. 이러한 지역에서는 우선 배출량이 가장 많은 황산화합물 및 질산화합물의 배출을 감소시키기 위하여 저유황유의 사용을 의무화하는 동시에 매연 배출이 많은 산업체는 탈황·탈질 및 집진장치를 설치, 운영토록 지도감독해야 한다. 또한 모든 산업체, 온실 및 가정에서는 무공해연료인 액화천연가스를

사용토록 하고 불화수소 등 독성이 큰 물질을 배출하는 업소는 특별관리하여 오염물질이 배출되지 않도록 규제하여야 한다.

오염된 대기를 정화시키기 위해서는 오염에 강한 수종을 식재하고 산림을 잘 관리하며 겨울에 월동작물을 재배하는 것도 좋은 방법이다.

5. 요약 및 결론

최근 산업이 발달되고 생활수준이 향상됨에 따라 도시는 물론 농촌까지 오염이 심화되고 있다. 이러한 오염은 수질, 토양 및 대기오염으로 대별할 수 있다.

우리나라의 수질은 하천을 보면 알 수 있는데 한강, 금강, 영산강, 낙동강 등 대하천의 수질은 점점 오염정도가 심화되고 있다. 특히 상중류에 공업단지 및 농업지역이 많은 금강, 영산강, 낙동강은 오염속도가 매우 빠르며 이미 상수원으로 쓸 수 없을 정도로 오염되어 있다.

한편 농업용으로 주로 사용되는 소하천 및 지류의 수질을 분석한 결과를 보면 농업용으로 적합한 곳은 55%에 불과하고 나머지 45%는 농작물 피해농도보다 1~5배 높아 농업용수 또한 오염이 심각하다는 것을 알 수 있다.

농촌음용수로 많이 쓰이는 지하수도 오염된 곳이 많다. 대도시 인근의 농촌 26개소의 지하수를 조사해 보니 망간과 질산태질소는 음용수 허용기준치를 초과한 곳이 발견되었고 카드늄, 납, 구리 등의 중금속과 세균 및 대장균이 검출되는 곳도 많이 있었다. 한편, 환경부의 조사에 의하면 총 조사된 1,546개 지하수 중 10%에 해당하는 156개소의 수질이 허용기준치를 초과하였다.

이렇게 하천, 농업용수 및 지하수가 오염되는 원인은 도시 및 농촌의 생활하수와 분뇨, 산업 및 광산폐수, 농업화학물질, 가축분뇨가 주원인인 것으로 밝혀졌다.

토양오염 실태는 조사된 자료가 많지 않아 체계적인 분석이 어려웠다. 환경부에 의하면 조사된 토양의 카드늄, 구리, 비소의 함량은 자연함유량을 초과하고 있어 오염이 진행되고 있음을 알 수 있으며 특히 광산 근처의 농경지는 토양오염 대책기준을 초과하는 곳이 발견되었다.

이러한 토양오염은 공장 및 광산폐수, 분진, 농업화학물질 및 쓰레기 등의 유입이 주원인이며 이 밖에도 폐윤활유, 폐밧데리, 폐비닐 등도 토양의 오염을 가속화한다.

대기오염은 농촌지역에서는 아직 심각한 정도는 아니나 지역에 따라서는 대책이 필요한 곳도 있다. 대기오염은 유황산화물, 질소산화물, 암모니아, 할로겐화합물, 불화수소, 분진, 메탄가스 등이 직간접 피해를 유발하는 것으로 알려져 있으나 구체적인 오염정도를 조사한 보고자료를 발견할 수 없었다.

이와 같은 농촌환경의 오염은 농민의 건강을 직간접적으로 위협할 뿐 아니라 농업생산성을 저하시킨다. 화학비료, 농약, 중금속, 유해화합물 등은 인축에 여러 가지 질병을 유발하고 유기물 등 영양물질과 합성세제 등은 부영양화를 촉진하여 간접적인 피해를 초래한다. 이러한 물질들은 또한 토양의 이화학적 성질을 악화시켜 작물수량을 감소시킬

뿐 아니라 농산물의 안전성까지도 위협한다. 대기오염 또한 작물의 생산성을 저하시키는 것으로 나타났다.

농촌의 수질오염을 방지하려면 농업 외부에서 유입되는 오염원을 철저히 차단해야 하며 이를 위해서는 비농업 분야의 오염방지대책이 차질없이 수행되어야 한다. 그 다음 농업 내부의 오염원을 감소시키기 위해서는 비료, 농약 등 농업화학물질의 효율적 사용, 가축분뇨 등 농업폐기물의 자원화와 재활용을 적극적으로 추진하여야 한다.

한편, 토양보전을 위해서는 전국적으로 농경지에 대한 정밀토양조사를 실시하여 농경지를 관리하고, 오염된 토양에 대해서는 농업토목적, 화학적, 생물학적 방법을 통하여 개량사업을 추진하여야 한다. 또한 대기오염이 심각한 곳은 저유황 유류의 사용, 배출량 규제, 탈황·탈질 및 집진 시설의 의무화 등을 통하여 유독성가스가 배출되는 것을 강력히 통제해야 할 것이다.

참 고 문 헌

김동수. 1989. "시설원예지 염류집적," 「농토배양10개년사업 종합보고서」, 농업기술연구소 :186~188.

김복영. 1985. "제련소 인근 논 토양 및 현미중 중금속 함량조사," 「농작물피해조사 사례편」, 농업기술연구소 보고서.

김복영. 1988. "수질오염과 농업," 「한국환경농학회지」, 7(2):153~169.

김복영 등 12명. 1989. "농업용수 수계별 오염도 조사," 「농업수자원의 보존관리 종합연구」, 농촌진흥청 (농업기술연구소) 대형과제 보고서 : 27~31.

김복영. 1990. "토양오염과 개선 대책," 「농공기술」, 7(2) : 135~143.

김복영. 1991. "수질오염과 농업," 「환경농학」, 한국환경농학회.

김복영. 1993. "토양오염실태와 개선대책," 「환경보전형 농업을 위한 토양관리 심포지엄」, 한국토양비료학회 : 68~97.

김복영·정병간 등 5명. 1995. "우리나라 논 토양중 중금속 자연함량," 「한국토양비료학회지」, 28(4) : 295~300.

김정제·한대성. 1979. "관개수 중 황산이 수도의 감수에 미치는 영향," 「강원대학교 연구논문집」, 13집 : 99~104.

김형석·정세영·최명중. 1992. "지하수 중 양이온, 음이온 및 금속의 함량," 「대한위생학회지」, 제7권 : 111~ 127.

정영호·김복영·이중길. 1972. "유해물질에 따른 농작물 피해도 기준설정," 「식물환경연구소 시험연구보고서」.

정영호·김복영·한기학. 1973. "우리나라 수질오염의 실태와 조사," 「농사시험연구보고서」, 15(P) : 7~13.

정영호·김복영·이중길·한기학. 1973. " 환경오염에 의한 농작물 피해조사 연구," 「김영섭 박사 회갑기념 논문집」.

심재환·박호 등 7명. 1992. "농업용수 수질오염 측정망 수질조사," 「'92농업용수 수질오염조사보고서」, 농어촌진흥공사 : 53~84.

이창기 1993. 「환경과 건강」, 하서출판사.

환경부. 1996. 「환경백서」.

Hallberg, G. R. 1986. "Overview of Agricultural Chemicals in Groundwater," *Agricultural*

Impacts on Groundwater : A Conference. National Water Well Association, Dublin, OH, Water Well Journal Publishing Co, pp. 1~63.

Keeney, D. R. 1986. "Nitrate in Groundwater - *Agricultural Contribution and Control*," *Agricultural Impacts on Groundwater* : A Conference, National Water Well Association, Dublin, OH, Water Well Journal Publishing Co, pp.329~351.

Libra, R. D., G. R. Hallberg, B. E. Hoyer, and L. G. Johnson. 1986. "Agricultural Impacts on Ground Water Quality : The Big Spring Basin Study, Iowa," *Agricultural Impacts on Groundwater : A Conference*, National Water Well Association, Dublin, OH, Water Well Journal Publishing Co, pp.257~273.

Office of Technology Assessment (OTA). 1984. *Protecting the Nation's Groundwater from Contamination*, U.S. Congress, Washingtaon, D.C.

Zimmerman, P. W., and W. Crocker. 1934. *Toxicity of Air Containing Sulfer Dioxide Gas*, Boyce Thompson Institute.