

농업배수가 수질에 미치는 영향과 오염저감 대책

Effects of Agricultural Drainage on Water Quality and Countermeasures against Pollution

정 상 옥*
Chung, Sang-ok

Abstract

Recently, the interests on the effects of agricultural drainage on surface and ground water quality have been increased. Water pollution in the rural area has been increasing because of agricultural activities and industrialization. Increased use of agricultural chemicals to increase the agricultural productivity raised several environmental problems including water resources pollution. Development of agricultural technologies such as LISA are under progress to reduce these environmental pollutions.

In this research, in order to investigate the effects of agricultural drainage on water quality, water pollution sources, paths of pollution, environmental impacts, and countermeasures against pollution were studied. We have to solve the problem of how to harmonize two different objectives of increasing agricultural production and protecting the environment. All farmers, citizens, technicians, scientists and government have to cooperate to keep the agricultural productivity while preserving the environment by using various techniques.

I. 서 론

인간생활에는 물론 자연생태계의 보전에 필수불가결한 수자원의 수량 및 수질의 효율적인 관리는 매우 중요하다고 하겠다. 특히, 현대와 같이 환경오염이 날로 심각해지고 있는 시점에서 후손에게 물려줄 자연자원과 환경보존의 중요성은 말할 필요조차 없다고 하겠다.

도시인들의 마음의 고향이고 생활의 휴식공간을 제공해주는 농촌지역의 수환경도 이제는

더 이상 깨끗한 환경이라고 볼 수 없다. 농촌지역의 농공단지와 같은 공업단지의 개발이나 읍면의 도시개발 및 농지에 살포되는 비료와 농약 등 각종 화학물질과 축산하수 등은 모두 농촌수환경의 파괴요인으로 작용한다.

농업의 생산성 제고를 위하여 해마다 많은 양이 투입되는 화학비료와 농약은 비점오염원이 되어 수질오염을 초래하고 있으며, 이들은 수질환경은 물론 여러가지 환경파괴의 요인이 되고 있다. 이러한 환경파괴와 수질오염을 감소시키

* 경북대학교 농과대학

키워드 : 농업배수, 수질오염, 농약, 비료, 지표수, 지하수, 환경영향, 오염경로

기 위하여 저투입 지속형 농업 (LISA)의 개발 등 여러방면으로 연구 노력하고 있다.

따라서 이러한 농업용 화학물질로부터 지표수와 지하수 수질보호와 나아가 전반적인 환경보전에 기여하기 위하여는 농약과 비료에 의한 수질 오염 특성과 지표수와 지하수의 오염 경로 및 그 저감방안을 알아야 한다. 그리하여 중요한 자연 자원인 농촌 수자원의 수량 및 수질의 합리적인 관리기법을 개발하여 수량과 수질을 가능한한 최상의 상태로 유지, 관리하여야 한다.

본 연구의 목적은 이러한 심각한 문제를 일으키고 있는 농업배수가 지표수 및 지하수 수질에 미치는 영향을 알아보기 위하여 오염원의 종류와 수질오염 메카니즘을 문헌조사를 통하여 알아보고, 또한 수질오염 저감기법과 방지대책을 소개하여 수자원 보전을 위하여 우리가 나아가야 할 방향을 제시하는 데 있다.

II. 연구사

먼저 이 분야에 대한 국내외의 연구동향에 대하여 알아보아야 할 것이다. 20~30년 전에 공업이 수자원 오염에 미치는 문제의 심각성을 깨달았듯이 근래에는 농업활동이 수자원 오염에 미치는 심각성을 인식하고 세계 여러나라와 국제기구들이 이 분야의 문제해결을 위하여 노력하고 있다. 국내외의 최근의 연구 동향을 소개하면 다음과 같다.

심(1994)은 우리나라의 농업용수 수질오염의 심각성과 환경기초시설 확충의 필요성을 강조하였고, 백(1996)은 우리나라 농촌특성에 맞는 폐수처리기법의 개발과 수질측정망의 확충이 필요하다고 하였다. Choi and Choi(1995)는 강원도 내 방목지, 초지 및 논으로부터의 표면 유출수와 지하수 수질을 분석하여 토지이용이 수질에 미치는 영향을 조사하고 질산염의 농도는 토지이용에 큰 영향을 받는다고 하였다.

California의 San Joaquin Valley의 Kesterson 국립 야생동물 보호구역의 수질오염 문제를 자문하기 위하여 1985년에 수질문제 위원회가

구성되어 5년간의 조사연구 활동을 벌였다(National Research Council, 1989). Kesterson 국립 야생동물 보호구역은 1971년에 완성되어 농업배수 Evaporation pond 및 야생동물 보호구역으로 사용되었으며, 1982년에 물고기의 멸종과 새들의 감소가 확인되었는 바, 이는 농업배수로 부터 보통 물속에 자연적으로 존재하는 금속인 Selenium의 높은 농도로 인하여 발생한 것이 확인되었다.

Capone et al.(1995)는 Florida 주의 남부지방 Everglades 농업지역으로부터 유출되는 인으로 인하여 Okeechobee 호수가 부영양화되고 Everglades 국립공원의 경관이 훼손되어 이에 대한 대책을 수립하기 위하여 여러 가지 작부체계하에서의 오염부하 정도를 연구하였다. Florida 주는 Everglades 지역을 보존하기 위하여 1994년에 Everglades Forever Act (EFA)를 제정하여 최적영농기법의 도입을 통하여 이 지역의 총인 부하량을 25% 감소시킬 계획이다.

OECD(1986)는 화학비료, 농약 및 가축분뇨가 수질오염과 부영양화를 일으키는 문제의 심각성을 인식하고 회원국들의 수질오염 실태와 대책을 연구하여 오염문제에 대처하기 위하여는 오염원의 통제와 동시에 장단기 수질관리 기법의 채택이 필요하다고 하였다. UN FAO(1993)는 남미와 카리브해 지역에서 농업으로 인한 수질오염의 중요성을 인식하고 전문가 자문회의를 통하여 수질오염 실태평가, 수질오염 메카니즘 및 관련 입법과 수질오염 방지기법 개발에 대하여 연구하였다.

World Bank(Scheierling, 1995)는 유럽연합 각국에서 농업활동이 수질오염에 미치는 심각성을 인식하고 유럽연합 및 각 회원국의 농업과 수질관련 환경정책을 검토하고 농업과 환경의 조화를 위한 적절한 정책입안 방안을 제시하여 회원국은 물론 세계 여러나라에 수질오염 방지 방안의 참고자료로 제시하였다.

미국 농무성 농업연구소(ARS)는 비점오염 수질관리를 위하여 수치모형과 GIS를 합성하는 연구를 하고 있는 바, AGNPS, SWRRBWQ,

EPIC 및 GLEAMS를 비점오염 추정모형으로 선정하였다(Greter et al., 1995).

이와 같이 세계적으로 농업배수의 수질오염 문제에 대한 관심은 대단히 높으며 이에 관련된 연구 개발도 매우 활발하게 진행되고 있으나 우리나라에서는 그 문제성을 인식하는 단계로서 연구가 매우 미약하다고 볼 수 있으며, 앞으로 이 분야에 대한 많은 연구가 필요하다고 하겠다.

Ⅲ. 수질오염원

수질오염원이란 물에 함유되어 있는 유기물, 광물질 또는 화학물질로 물의 용수로서의 사용에 지장을 주는 것을 의미한다고 할 수 있다. 농업활동은 부유물질, 유기물 및 화학물질을 통하여 수자원을 오염시킬 수 있다.

부유물질은 경운, 벌채, 방목 등의 농업활동으로부터 야기되는 토양침식을 통하여 발생한다. 화학물질은 관개수, 비료 및 농약살포를 통하여 물에 투입된다. 유기물에 의한 수질오염은 수확 후 농경지에 남아있는 잔재물이나 농산 가공산업의 잔재물로부터 발생한다. <Table 1>은 농업과 비농업 분야의 수질오염원을 보여준다.

<Table 1> Agricultural and nonagricultural pollutant sources (FAO, 1993)

Agricultural pollutant source	Nonagricultural pollutant source
erosion/ sedimentation	industry
fertilizers	mining
pesticides	municipal sewage
irrigation water	septic tanks
waste from crop production	others
animal grazing	
manure from cattle, hogs, chickens	
dairy operation	
slaughter house wastes	
lumber production	
food processing	
others	

농약에 의한 수질오염은 큰 관심을 받고 있다. 특히 선진국에서는 1970년 후반에 농업이 지하

수를 오염시키는 것을 확인한 후로는 이 분야의 연구가 활발하게 진행되고 있다. 1988년까지 미국 환경처는 38개 주의 지하수에서 74종의 농약 성분을 검출하였다(Guyot, 1994). 이 중 21종은 제조제로써 일반적인 영농활동이 원인이라고 확인하였다.

미국의 콘벨트인 상부 중서부 지방의 대부분 하천수에서는 연중 제조제 농도를 검출할 수 있으며, 특히 제조제 살포 후 수주 내지 수개월 동안은 하천수의 제조제 농도가 음용수의 수질 허용기준을 초과하였다(Goolsby et al., 1991). Atrazine이 가장 많이 검출되었고 다음이 Desethylatrazine 및 Metolachlor의 순이다. 하천수의 계절적 Atrazine 농도분포를 보았을 때 하천의 기저유출에 기여하는 지하대수층이 제조제로 많이 오염되어 있는 것을 알 수 있다.

이렇게 농약이 지표수 및 지하수를 오염시키는 것을 확인하고는 미국과 유럽 여러나라에서는 여러가지 오염감시 기법을 시행하고 있다.

USDA의 ARS(Acock and Herner, 1995)는 농약특성 Database를 만들었다. 230종의 농약에 대하여 농약의 이동과 분해 특성을 나타내는 16가지 특성치에 대하여 Database화 하였으며, 추가로 100여종의 농약에 대하여 Database를 구축하고 있다. 이 Database는 World wide web 주소 <http://www.arsusda.gov>에서 찾아볼 수 있다.

미국 EPA에는 50,000종 이상의 농약이 등록되어 있으며, 이들은 그 목적에 따라 살충제, 제초제, 곰팡이제, 선충제, 설치류제 및 진드기제로 나뉘며 사용목적에 따라 고엽제, 건조제, 소독제 및 식물성장 조절제 등으로 구분된다(NRC, 1993).

<Table 2>는 미국에서 주로 많이 사용되는 농약 이름과 사용량, 흡착계수 및 반감기를 보여주고 있다(NRC, 1993; Beitz et al., 1994). 농약은 반감기에 따라 30일 이하의 비지속성, 30~100일은 중간, 100일 초과는 지속성으로 분류된다. 농약의 흡착계수가 작고, 반감기가 길고, 수용성이 클수록 지하수에 침출되어 지하수를 오염

<Table 2> Pesticides with high priorities for the EPA's national survey(NRC, 1993 : Beitz et al., 1994)

Pesticide (common name)	Estimated use (tons/ yr)	Half life (days)	Sorption coef.(mg/g of organic chemical)	Persi-stency*
Alachlor	85,015	15	170	N
Aldicarb	2,271	31	20	N
Ametryn	96,000	60	388	M
Atrazine	77,316	60	100	M
Bromacil	1,234	60	32	M
Carbofuran	7,695	50	22	M
Chloramben	6,069	15	15	N
Cyanazine	21,626	14	190	N
Dalapon	261,000	30	1	N
Dicamba	4,158	14	2	N
Diphenamid	698,000	32	67	M
Diuron	1,861	90	480	M
Fluometuron	2,943	11	100	N
Metolachlor	37,940	120	85,000	P
Oxamy1	51,000	4	25	N
Picloram	549,000	90	16	M
Propazine	1,287	135	154	P
Propham	445,000	10	60	N
Simazine	3,975	75	138	M
2,4,5-T	204,000	24	80	N
Terbacil	833,000	120	55	P

* Note : P=Persistent, M=Moderately persistent, N=Nonpersistent

시키기 쉽다. 미국의 경우 지하수에서 많이 발견되는 농약은 Alachlor, Aldicarb, Atrazine, Bromacil, DBCP, Metolachlor 등이다.

IV. 수질오염 메카니즘 및 환경영향

1. 메카니즘

농업의 수질오염원은 <Table 1>에서 소개한 대로 여러가지가 있지만 농지 및 수자원과 관련된 주 관심 대상은 침식토양, 비료 및 농약으로 나눌 수 있다. 각 오염원에 대한 수질오염 메카니즘은 다음과 같다.

토양침식은 강우와 표면유출에 의해 발생한다. 강우입자가 지면을 타격할 때 타격에너지는 토립

자를 지면으로부터 박리시키게 되고 표면유출에 의한 유수에너지에 의하여 면상(面狀)침식, 세류침식, 절리침식, 하천침식 등이 일어난다. 이렇게 침식된 토립자는 흐름경로에 따라 하류로 떠 내려가게 되며 하천이나 저수지의 부유물질 농도를 높이거나 퇴사가 되어 여러가지 환경문제를 야기하게 된다.

비료는 주로 두가지 경로를 통하여 지표수에 도달하게 된다. 용해도가 큰 질소는 지표유출을 통해서 지표수에 도달하게 되고, 비교적 용해도가 작은 인은 토양입자에 부착한 채 침식토양과 함께 지표수에 도달하게 된다.

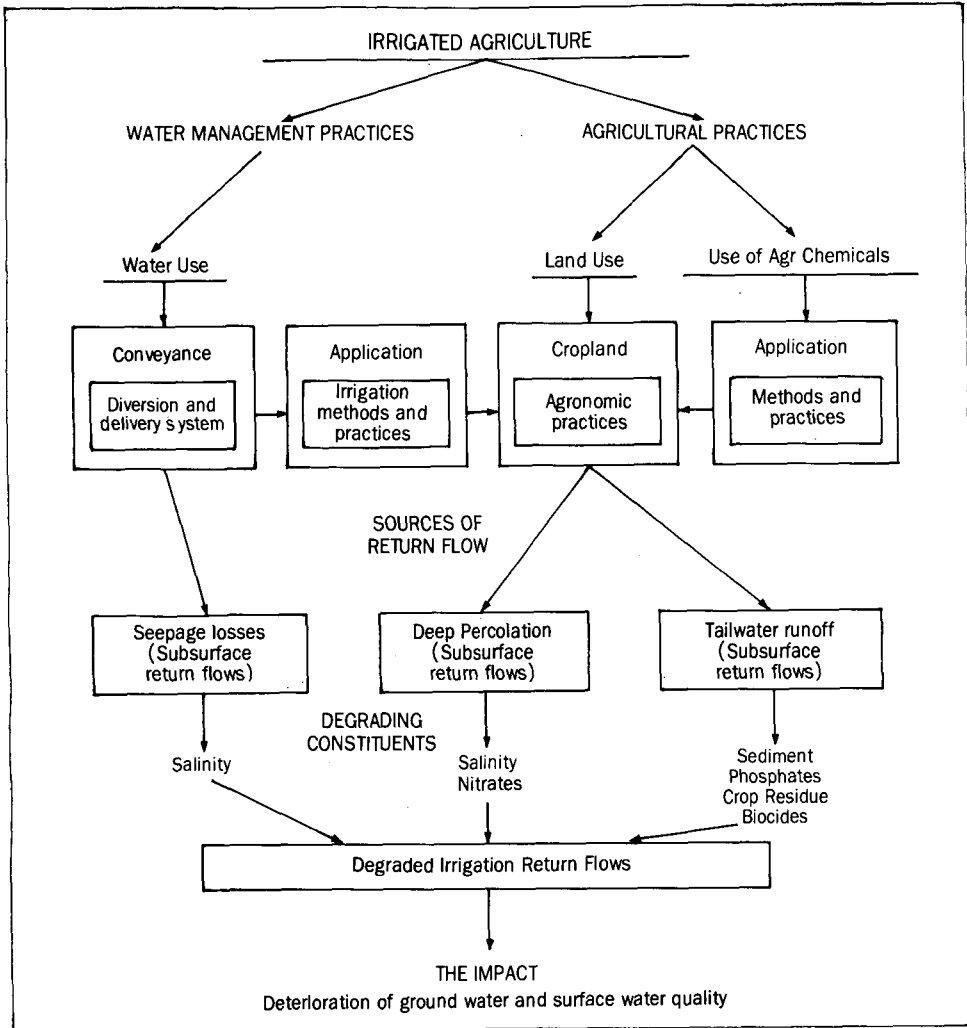
용해 또는 부유하는 질소와 인은 지표유출과 토양침식에 의하여 강이나 저수지로 유입하게 된다. 지표유출은 짧은 이동시간을 갖기 때문에 강에서의 비료성분 농도는 표면유출률과 밀접한 관계가 있는 반면에, 저수지는 용량이 크기 때문에 시간적인 농도 변화가 적은 편이다.

일반적으로 인은 토층을 통해 침출하지 않고 지표토양의 침식과 함께 지표수로 이동한다. 따라서 지하수위가 높아서 인이 포화되는 경우를 제외하고는 인은 지하수에 도달하지 않는다. 반면에 질소는 상당한 부분이 질산염으로 침출되어 지하수를 오염시킨다.

한편, 균열이나 지렁이 통로 등 대공극(Macropore)을 통한 오염물질의 지하수로의 이동은 보통 침투에 의한 것보다 훨씬 크다. <Fig. 1>은 농업배수에 포함되어 있는 질산염, 인, 작물잔재, 잔류농약 등의 수질오염계통을 보여주고 있으며, <Fig. 2>는 관개농업에서 물, 화학물질 및 염의 흐름과정 모식도이다.

농약의 사용은 농업생산성을 높이는 반면에 비목표 생물의 파괴, 작물이 분해된 농약섭취, 수질 오염 등 여러가지 나쁜 환경영향을 끼친다. 사용된 농약은 생태계에 들어가게 되며 농약과 생태계의 관계는 <Fig. 3>과 같이 매우 복잡하며 농약은 지표수, 지하수, 대기, 토양, 작물 및 인간과 상호작용을 하게된다.

농약의 지표수 및 지하수의 수질오염의 원인은 다음과 같이 분류할 수 있다(OECD, 1986).



<Fig. 1> Water quality problems from irrigated agriculture(after NRC, 1989)

(a) 지표수

① 직접오염

- 농약의 정상사용 : 농약용액의 살포
- 농약의 오용 : 농약살포 장비 세척수
- 농약제조공장 하수

② 간접오염

- 농약의 정상사용
- 농약의 표면유출 : 유출수에 용해된 농약
- 침식토양 입자에 흡착된 농약

(b) 지하수

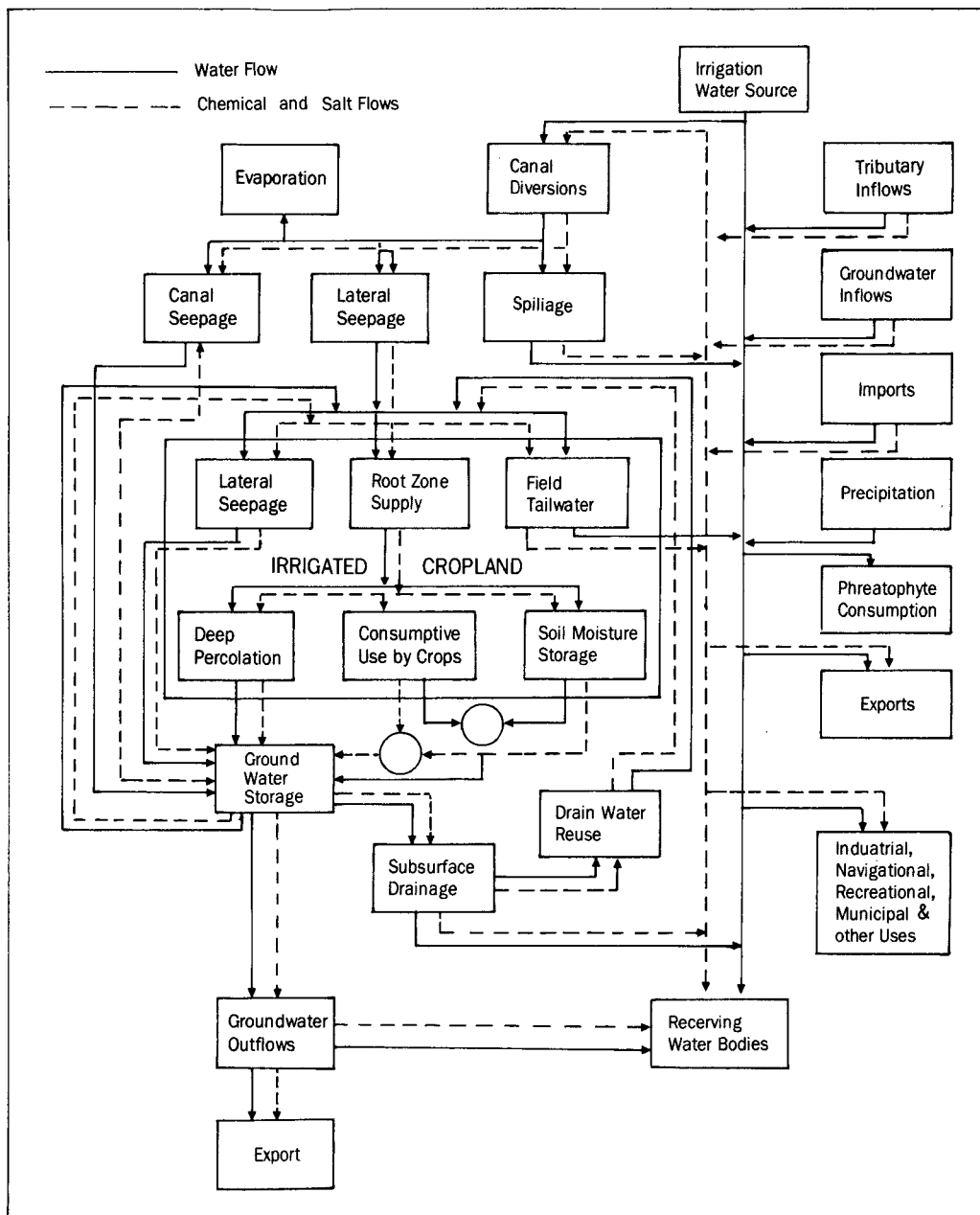
① 직접오염

- 농약의 정상사용 : 없음
- 농약의 오용 : 농약의 우물투기

② 간접오염

- 농약의 정상사용 : 농약살포 후 지하수로 침출
- 농약의 오용 : 사용금지된 농약살포 후 지하수로 침출
- 농약이 포함된 쓰레기 매립장의 침출

농약의 운명과 이동 및 잔류농약 농도는 다음의 요소들에 의하여 영향을 받는다 (NRC,



<Fig. 2> Schematic representation of water, chemical, and salt flows in an irrigated project(after Tanji, 1990)

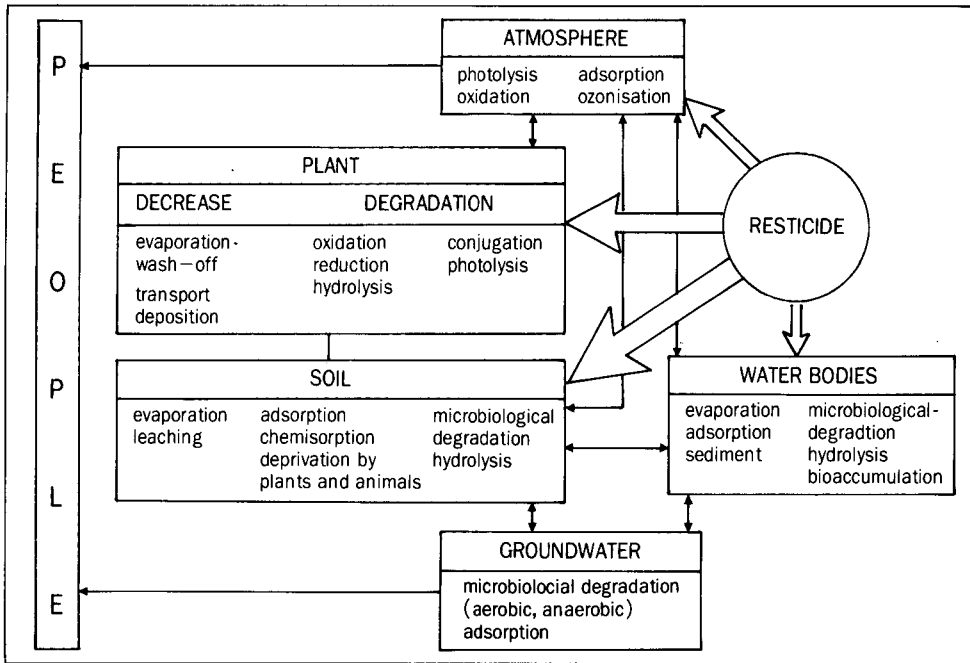
1993).

- ① 농약의 특성-용해도, 반감기, 흡착계수
- ② 토양의 특성-투수성, 토성, 토양구조, pH, 균열, 유기물 함량
- ③ 현장의 상태-지하수위, 강우량, 수리지질

상태, 기상

- ④ 영농 상태-농약살포량 및 시기, 살포방법

다음에 열거하는 사항들은 농약의 침출을 증가시켜 지하수 오염을 촉진시키는 조건들이다.



<Fig. 3> Interaction between pesticides and ecosystems(after Beitz et al., 1994)

- ① 농약의 특성-높은 용해도, 긴 반감기, 낮은 흡착계수
- ② 토양의 특성-조립토, 높은 투수성, 낮은 유기물 함량, 많은 균열
- ③ 현장의 상태-낮은 지하수위, 많은 강우 또는 관개량, 낮은 기온
- ④ 영농 상태-농약 지중살포, 강우직후 살포
지하에서의 화학물질의 이동과정은 물리적, 화학적, 생물학적인 세가지 과정으로 나눌 수 있다.

개념적으로 지하에서 화학물질의 이동은 이들 세가지가 혼합된 현상이며 서로 상호작용을 한다. <Table 3>은 지하에서 오염물질의 이동에 영향을 미치는 요소들을 나타낸다. 각 항목에 대한 자세한 설명은 Barcelona et al. (1990)을 참고하기 바란다. 토양과 작물환경과 불포화층에서의 농약의 이동과 변환은 <Fig. 4>와 같다.

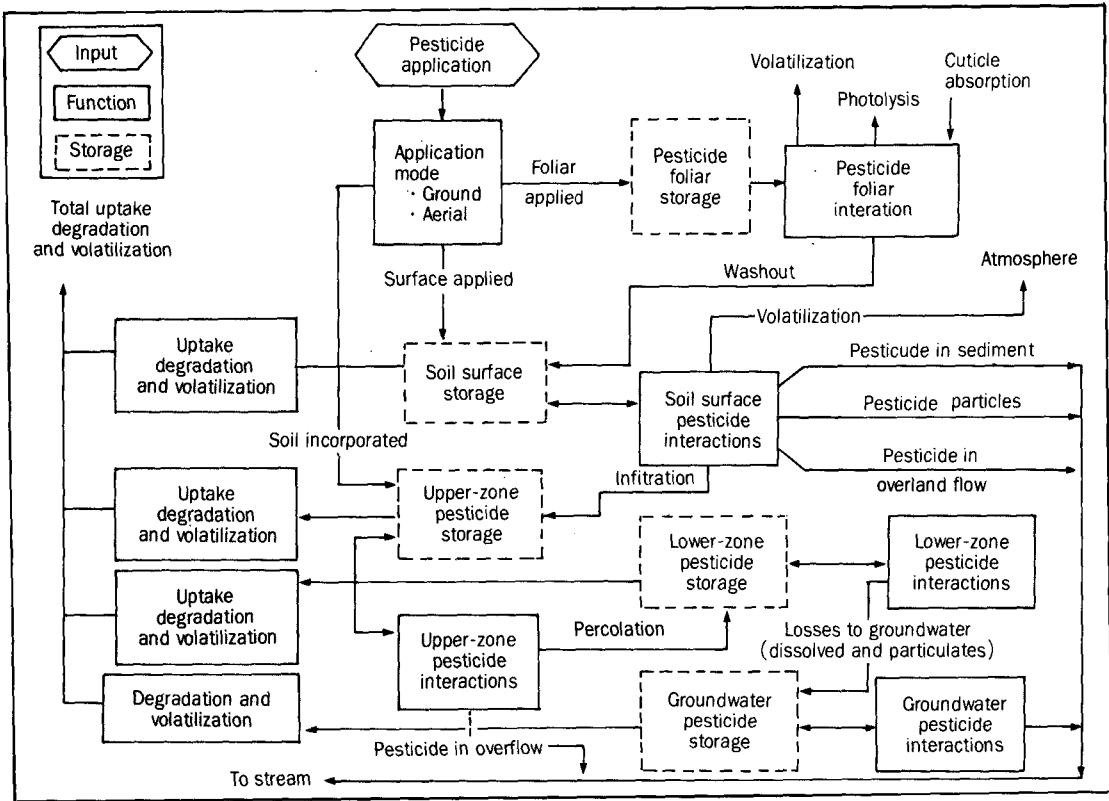
<Table 3> Natural processes that affect subsurface contaminant transport

Physical processes	Chemical processes	Biological processes
• advection	• oxidation	• microbial population dynamics
• hydrodynamic dispersion	• reduction	• substrate utilization
• molecular diffusion	• radio-nuclide decay	• biotransformation
• density stratification	• ion exchange	• adaption
• immiscible phase flow	• complexation	• co-metabolism
• fractured media flow	• co-solvation	
	• immiscible phase partitioning sorption	

가. 농약의 지하수 및 지표수 오염경로

농약의 수질오염은 농약 취급부주의나 농업이나 공업 또는 상거래시 사고로 인하여 발생할 수도 있고, 또는 정상적인 영농활동을 통하여 발생할 수도 있다. 농업측면에서 볼 때 다음의 오염경로가 특히 중요시 된다(Beitz et al., 1994).

- ① 강우가 불포화층을 통과하여 지하수면으로 침출하여 이동
- ② 농업배수가 하천이나 저수지로 유입
- ③ 농약이 표류하여 직접 지표수를 오염
- ④ 강우 등에 의하여 대기로 부터 농약의 침전
농약이 지하수에 도달하기 전에 토층을 통과하게 되는 데 이때 토층은 필터의 역할을 하게되어 지하수 오염의 완충작용을 하게 된다. Helling



〈Fig. 4〉 Pesticide transport and transformation in the soil-plant environment and the vadose zone(NRC, 1993)

and Gish(1986)는 침출과정에 영향을 미치는 인자를 다음과 같이 분류하였다.

A. 토양특성

- ① 물리적 구성 : 토성, 유기물 함량
- ② 화학적 구성 : 점토광물, 유기물 종류
- ③ 물리적 성질 : 가비중, 포장용수량, 투수계수, 공극분포, 큰공극, 균열경향
- ④ 화학적 성질 : pH, 양이온 교환능, 음이온 교환능, 염기포화도, 산화환원전위
- ⑤ 일시적 토양성질 : 토양함수량, 토양온도
- ⑥ 생물학적/생화학적 성질 : 미생물의 종류와 수, 특정 효소작용

B. 토양 전반적인 성질

- ① 지표면 : 기복, 경사
- ② 지하 : 토층의 변화, 제한토층, 지하수위 깊이

C. 비토양인자

- ① 기후 : 강우, 기온, 증발산량

- ② 농약특성 : 흡착계수, 용해도, 옥타놀/물 분배계수, 이온상수, 화학적 생물학적 안정성, 휘발성
- ③ 농약의 살포: 농약의 화학적 구성, 살포 방법(옆면, 지표면, 지중), 살포율, 살포 시간, 이전의 농약살포량 및 시기
- ④ 영농기법 : 경지-재래식 경우, 보존형 경우, 관개 비경지-휴경지, 초지, 삼림, 기타 토양 개량

나. 농약이동 메커니즘

토양의 3상중 어떤 상이 이동하게 되면 잔류농약도 같이 이동하게 된다. 이러한 질량이동을 대류이동이라고 하며 지하침출이나 지표유출을 통한 농약이동이 이에 해당한다. 지하에서 농약의 이동은 액체 또는 기체상태에서 농약의 농도기울기에 의하여 발생하는 확산과정에 의해서도 이동

한다. 총 용질의 이동은 수학적으로 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$J_s = J_{DL} + J_{CL} + J_{DG}$$

여기서 J_s 는 총용질의 이동율, J_{DL} 은 액체상태의 확산이동율, J_{CL} 은 액체상태의 대류이동율, J_{DG} 는 기체상태의 확산이동율이다. 원칙적으로 기체상태에서도 압력기울기에 따라 대류이동이 있을 수 있지만 오직 휘발성이 굉장히 큰 화합물의 경우에만 발생할 수 있다. 토양입자에 의한 농약의 대류나 확산이동은 흡착/탈착 이력현상의 원인이 되는 농약의 토양유기물로의 확산을 제외하고는 거의 무시할 수 있다. 농약의 확산은 기체나 액체상태에서 일어날 수 있지만 일반적으로 액체상태의 이동이 훨씬 중요하다. 액체상태의 농약확산은 Dispersion과 희석을 하게 된다. 따라서 대부분의 경우 확산은 농약의 환경영향을 경감시키는 역할을 하게 된다.

농약 이동성에 영향을 미치는 주요 인자를 크게 농약 특성, 토양환경 특성 및 기후 특성의 3가지로 나눌 수 있다. 대부분의 농약에 있어서 농약의 토양입자와 공극수분에의 배분은 농약의 이동성을 결정하는 가장 중요한 요소이다. 농약이 토양입자에 흡착되는 정도는 흡착계수(K_d)로 가장 잘 나타낼 수 있다.

$$K_d = \frac{\text{토양입자의 농약농도}}{\text{공극수분의 농약농도}}$$

K_d 값은 농약의 종류에 따라 1보다 작은 값에서부터 1,000보다 큰 값까지 광범위하게 변화한다. 대부분의 농약은 유기화합물로 구성되어 있다. 이러한 농약의 흡착특성을 조사한 결과 흡착계수와 토양유기물 함량과 매우 높은 상관관계가 있는 것이 확인되었다. 이는 주된 흡착작용은 농약과 토양유기물과의 상호작용에 의하여 일어난다는 것을 말해준다. 이러한 경우 흡착계수는 토양유기물이나 토양유기탄소 함량으로 나타내면 편리하다. <Table 4>는 Koc (토양유기탄소 흡착계수)에 기준한 유기물 이동성을 분류한 것이다

<Table 4> Classification of pesticide mobility on the basis of Koc (Bewick, 1994)

Koc	Mobility class
0-50	very high
50-150	high
150-500	medium
500-2,000	low
2,000-5,000	slight
> 5,000	immobile

(Bewick, 1994).

2. 환경영향

농업오염 물질은 하천, 호수, 지하수 등을 오염시키게 된다. 과다한 토양침식은 하천이나 저수지를 준설하여야 하게 만들며, 농업배수로부터 지표수와 지하수의 염도가 높아져 물의 맛이나 경도 및 미관에 나쁜 영향을 끼치게 된다. 또한 염도가 높은 지하수를 관개용수로 사용할 경우에는 작물 생산량을 감소시킨다.

질소와 인의 함량이 증가된 지표수는 과다한 조류를 번식하게 하고 이는 용존산소를 과다하게 소비하게 한다. 또 이는 물고기나 수생식물을 감소시키고 물의 맛과 냄새를 나쁘게 한다. 근래에는 저수지의 부영양화가 수질관리의 큰 문제점으로 대두되고 있다. 질산염이 많은 지하수는 이를 마시는 유아에게 Methemoglobinemia라는 병을 유발시킨다.

농약잔류물이 지표수나 지하수에서 발견된 예는 많다. 그러나 일반적으로 이러한 잔류농약의 농도는 허용기준치 이내이며, 주 관심대상은 새나 물고기의 세포조직에서 발견되는 높은 농약의 농도이다. 또 토양에서도 잔류농약이 발견되는데 지속성 농약은 수년간, 비지속성 농약은 수개월간 토양에 잔류하게 되며 작물이 이를 섭취하게 되면 식량을 오염시키게 된다.

이러한 수질오염은 수자원의 용수원으로서의 가치를 저하시키게 될 뿐만 아니라 경우에 따라서는 악취와 나쁜 미관으로 인하여 생활환경에도 나쁜 영향을 끼친다. 오염된 수자원을 각종 용수

의 수질기준에 부합하도록 처리하기 위하여는 많은 비용이 요구된다.

이러한 농업활동으로 인한 수질오염의 피해는 아직 완전히 이해되기에는 멀었다. 그러나 미국의 연간 토양침식으로 인한 피해는 40억불 내지 160억불로 추산되고 있으며, 농약으로 인한 피해는 8억불로 추산되고 있어 경제적 손실만 따졌을 때 토양침식이 얼마나 더 큰 문제인지를 말해주는 것이다. 그러나 일반 국민들은 토양침식보다는 농약에 대해 훨씬 큰 관심을 갖고 있다. 이는 국민들의 심리적인 관점을 내포하는 것으로 국민들의 관심을 오직 경제적 관점에서만 평가할 수 없다는 것을 보여준다.

가정책 목표가 되어야 하며, 동시에 농업정책은 토양과 수질을 보호하면서 식량과 의류의 생산을 수익성있게 유지할 수 있어야 한다고 하였다. 또, 국가정책이 추구하여야 할 의제와 환경개선의 단계로써 다음 네가지를 제안하였다.

- 1) 환경개선의 첫 단계로서 토양의 질을 보전
- 2) 비료, 농약 및 관개의 효율증진
- 3) 영농기법의 지표유출과 토양침식에 대한 저항력 증진
- 4) 농경지의 완충지대를 최대한으로 활용

농업배수로부터의 수질오염 저감기법은 오염원에 따라 토양침식, 비료 및 농약에 대하여 나누어 생각할 수 있으며, 이들과 전반적인 오염 방지 대책에 대하여 알아보면 다음과 같다.

V. 수질오염 저감기법 및 대책

US National Research Council(1993)은 농업으로부터 영양물질, 농약, 토양침식, 염, 중금속 등에 의한 지표수와 지하수의 오염저감이 국

1. 지표유출과 토양침식 저감기법

지표유출, 토양침식 및 심층침투 등이 토립자와 용해 또는 부유물질을 지표수나 지하수로 운반하게 되므로 이들을 감소시키면 수질오염도 감

<Table 5> Practices for controlling direct runoff and their highlights (Canter, 1986)

Runoff control Practice	Practice highlights
No-till plant in prior crop residues	Variable effect on runoff from substantial reductions to increases on soils subjects to compaction
Conservation tillage	Slight to substantial runoff reduction
Sod-based rotations	Substantial runoff reduction in sod years: slight to moderate reduction in rowcrop years
Meadowless rotations	None to slight runoff reduction
Winter cover crop	Slight runoff increase to moderate reduction
Improved soil fertility	Slight to substantial runoff reduction depending on existing fertility level
Timing of field operation	Slight runoff reduction
Plow plant system	Moderate runoff reduction
Contouring	Slight to moderate runoff reduction
Graded rows	Slight to moderate runoff reduction
Contour strip cropping	Moderate to substantial runoff reduction
Terraces	Slight increase to substantial runoff reduction
Grassed outlets	Slight runoff reduction
Ridge planting	Slight to substantial runoff reduction
Contour listing	Moderate to substantial runoff reduction
Change in land use	Moderate to substantial runoff reduction
Other practices	
Contour furrows	Moderate to substantial runoff reduction
Diversions	No runoff reduction
Drainage	Increase to substantial decrease in surface runoff
Landforming	Increase to slight runoff reduction
Construction of ponds	None to substantial runoff reduction. Relatively expensive. Good pond sites must be available. May be considered as a treatment device

소시킬 수 있게 된다. 지표유출을 완전히 없앨 수는 없으나 영농방식과 토목기술에 의하여 현저히 감소시킬 수 있다. 토지이용상태는 직접유출의 총유출량과 침투유량을 변화시킨다.

직접유출량은 침투량의 증가, 지표저류량의 증가, 옆면차단 증가 등에 의하여 감소시킬 수 있다. 밀식재배, 멀칭, 토양유기물 증가, 지하배수 등은 침투를 증가시키고 등고선 재배, 테라스 등의 기법과 밀식재배, 멀치, 거친지표면 등은 지표저류를 증가시킨다.

지표유출을 저감시키는 영농기법은 동시에 토양침식도 저감시킨다. <Table 5>는 직접유출 및 토양침식을 저감시키는 기법들을 소개하고 있다 (Canter, 1986).

2. 비료오염 저감기법

지표유출에 함유되는 영양분은 비료살포에 연유한다. 따라서 넓은 면적에 많은 양의 비료를 살

포하면 비료로 인한 수질오염이 증가하게 된다. 영양분은 경지로부터 침출, 지표유출, 토양침식 등에 의하여 이동한다. 따라서, 여러가지의 지표유출, 토양침식 저감은 영양분 유실을 감소시킬 수 있다. 그러나 침출의 감소를 위해서는 다른 기법들이 사용되어야 한다. <Table 6>은 지표유출, 토양침식 및 침출을 통하여 유실되는 비료를 통제하기 위한 기법들을 소개하고 있다(Canter, 1986).

Florida의 남부인 Everglades 지역에서는 농경지로부터 방출되는 비료성분을 제거할 수 있도록 농경지를 소류지로 전환하는 기법도 사용하고 있다.

OECD(1986)는 화학비료 사용으로부터 질산염 침출의 감소 방법으로 다음의 세가지를 제시하였다.

① 토양내의 초과 질산염 방지

토양내의 질소 투입량의 합리적 관리는 매우

<Table 6> Practices for the control of nutrient loss from agricultural applications and their highlights(Canter, 1986)

Nutrient control Practice	Practice highlights
Eliminating excessive fertilization	May cut nitrate leaching appreciably, reduces fertilizer costs; has no effect on yield <u>Leaching control</u>
Timing nitrogen application	Reduces nitrate leaching; increases nitrogen use efficiency; ideal timing may be less convenient
Using crop rotations	Substantially reduces nutrient inputs; not compatible with many farm enterprises; reduces erosion and pesticide use
Using animal wastes for fertility	Economic gain for some farm enterprises; slow release of nutrients; spreading problems
Plowing under green legume crops	Reduces use of nitrogen fertilizer; not always feasible
Using winter cover crop	Uses nitrate and reduces percolation; not applicable in some regions; reduces winter erosion
Controlling fertilizer release or transformation	May decrease nitrate leaching; usually not economically feasible; needs additional research and development <u>Control of Nutrients in Runoff</u>
Incorporating surface applications	Decreases nutrients in runoff; no yield effects; not always possible; adds costs in some cases
Controlling surface applications	Useful when incorporation is not feasible
Using legumes in haylands and pastures	Replaces nitrogen fertilizer; limited applicability; difficult to manage <u>Control of Nutrient Loss by Erosion</u>
Timing fertilizer plow-down	Reduces erosion and nutrient loss; may be less convenient

중요하며, 농업지도기관의 추천량을 초과하여 투입하지 않아야 한다. 투입방법 또한 중요한데 액체나 기체상태의 암모니아 주입방법이 가장 효과적이다. 이 방법은 근근역의 질산염을 증가시켜 초기에 작물이 섭취하게 한다.

② 침출을 방지할 수 있는 토양수분 관리 토양의 수분보지력을 높이기 위하여 유기물 함량을 높인다. 높은 수분보지력은 침출을 줄이므로 지하수 오염을 줄일 수 있다. 또한 과도한 관개를 피함으로써 잉여 수분의 침출을 방지할 수 있다. 특히 비료살포 직후의 많은 관개는 질소분이 근근역 아래로 내려가게 하여 지하수 오염을 초래

한다.

③ 높은 질산염 농도의 배수를 저장 배수조각이 허용하면 배수저장탱크를 만들어 저장된 물을 다시 관개에 이용하든지, 또는 탈질화한 후에 지표수로 내보내는 방법을 이용하여 수자원의 질산염 오염을 방지할 수 있다.

3. 농약오염 저감기법

농약 사용량은 과거 수십년간 계속 증가하여 오고 있다. 특히 제초제의 사용량은 크게 증가하여 왔다. 일반적으로 농약유실량은 살포량에 비

<Table 7> Practices for the control of pesticide loss from agricultural applications and their highlights (Canter, 1986)

Pesticide control Practice	Practice highlights
<u>Broadly Applicable Practices</u>	
Using alternative pesticides	Applicable to all field crops; can lower aquatic residue levels; can hinder development of target species resistance
Optimizing pesticide placement with respect to loss	Applicable where effectiveness is maintained; may involve moderate cost
Using crop rotation	Universally applicable; can reduce pesticide loss significantly; some indirect cost if less profitable crop is planted
Using resistant crop varieties	Applicable to a number of crops; can sometimes eliminate need for insecticide and fungicide use; only slightly usefulness for weed control
Optimizing crop planting time	Applicable to many crops; can reduce need for pesticides; moderate cost possibly involved
Optimizing pesticide formulation	Some commercially available alternatives; can reduce necessary rates of pesticide application
Using mechanical control methods	Applicable to weed control; will reduce need for chemicals substantially; not economically favorable
Reducing excessive treatment	Applicable to insect control; refined predictive techniques required
Optimizing time of day for pesticide application	Applicable only when pest control is not adversely affected; little or no cost involved
<u>Practices Having Limited Applicability</u>	
Optimizing date of pesticide application	Applicable only when pest control is not adversely affected; little or no cost involved
Using integrated control programs	Effective pest control with reduction in amount of pesticide used; program development difficult
Using biological control methods	Very successful in a few cases; can reduce insecticide and herbicide appreciably
Using lower pesticide application rates	Can be used only where authorized; some monetary savings
Managing areal applications	Can reduce contamination of non-target areas
Planting between rows in minimum tillage	Applicable only to row crops in non-plow based tillage; may reduce amounts of pesticides necessary

해 많지 않으나 어떤 농약은 유독성이기 때문에 낮은 농도라도 관심이 크다. 농약이 수자원으로 운반되는 것을 최소화하기 위해서는 <Table 7>의 여러가지 방법이 사용될 수 있다(Canter, 1986).

OECD(1986)는 규제강화를 통하여 농약의 수질오염을 감소시킬 수 있다고 하였다. 먼저 각국에서는 농약의 성분, 독성, 잔류성 등을 등록하고 면허를 받은 후 시판하도록 하고 있다. 등록 후에 새로운 사실이나 등록시와 다른 사항이 발견될 수가 있으므로 일정한 시간 간격마다 재등록을 하도록 하여야 한다. 그리고 계속적인 농약사용과 그로 인한 영향의 감시가 필요하다.

비료와 농약이 지표수에 도달하는 것을 방지하기 위해서는 비료와 농약이 살포되는 농경지와 하천이 멀리 떨어져 있어야 한다. 이러한 원칙에 입각하여 미국 토양보전국에서는 지표유출과 침식토사가 하천에 도달하는 것을 방해하는 여러가지 기법을 개발하였다. 즉, 물이 흐르는 것을 방해하는 Hedge, Brush, 식생대를 만들거나 Riparian wood를 만들어 생물학적 수질도 개선하고 총적지하수의 질산염 농도도 줄일 수 있다.

Grassed Filter Strip은 침투증가, 토사이동 감소 및 화학물질이 유기물에 흡착되므로 지표유출과 함께 이동하는 농업화학물질을 줄인다. 이는 농경지와 축산시설로부터 비점오염을 줄이는데 좋은 방법이다. 초생수로도 유수와 침식토사의 이동을 통제하기 위하여 오래전부터 사용되어 왔다.

또, 농약의 살포를 전면적에 하지 않고 잡초센서를 이용하여 잡초 위에만 살포하게 되면 60 ~ 70%의 살포량을 줄일 수 있다

4. 수질오염 방지대책

가. 수질보전 및 개선

유럽연합과 미국에서는 농업용 화학물질의 사용을 최소화할 것을 표명하고 있다. 미국은 1988년부터 의회의 요청에 의하여 LISA(Low Input Sustainable Agriculture) 프로그램을 시작하여

시범농장에서 통합작물관리를 하고 있다.

농업오염물질로부터 농업유역의 수질 보전 및 개선을 위하여는 연구, 최적영농기법 개발, 교육 및 분야간의 협력 등의 부분에 크게 진보가 있어야 할 것이다 (Guyot, 1994).

오염방지대책으로는 먼저 여러 분야에 대한 연구가 필요하다. 첫째는 건강과 환경에 최소의 해를 끼치는 식물보호제를 개발하는 연구를 해야 하며, 농약의 이동경로와 오염경로가 명확하지 않는 바, 이에 대한 연구도 필요하고, 농업활동이 수질오염에 미치는 영향을 보다 정확하게 판단하기 위하여 보다 나은 수질감시 기법의 개발이 필요하다. 한편 환경과 사회적 요구를 조화시킬 수 있는 사회정책분야의 연구도 필요하다고 하겠다.

둘째는 적절한 윤작체계와 경운방법, 최적의 작물 파종시기 선정과 농약 살포율, 오염감시기법의 활용, 일기예보 및 의사결정 시스템의 지원 등 여러가지 기반위에서 여러가지 잡초 및 해충 제어 방법을 조합한 최적영농기법(BMPs)의 개발이 필요하다.

셋째로는 농부에서부터 토지개발 계획가에게 까지 모든 사람들은 그들의 여러가지 활동이 수질환경에 미칠 가능성에 대하여 유념하여야 한다. 이를 위해서는 여러가지 활동의 안내지침이 될 수 있도록 여러가지 형태의 적절한 정보가 제공되어야 하며 적절한 사회교육 방법에 의하여 수질보호에 대한 교육을 하여야 한다.

넷째로는 여러 전문분야는 직접 또는 간접적으로 수자원관리와 관련이 있는 바, 환경목표와 현대 농업에 적합한 경제적이고 최상인 해를 구하기 위해서는 농민, 농약제조사, 대학, 연구소, 물관련회사 및 정부기관 등의 협력이 절대적으로 필요하며, 앞으로 농약오염으로부터 수자원을 보호하기 위하여는 농업분야, 공업분야 및 정부간의 긴밀한 협력이 필요하다.

나. 수질오염 대처 전략개발

농업용배수로부터 야기되는 수질오염 문제에 효율적으로 대처하기 위하여는 수질오염에 대하여 적절하게 대처할 수 있는 전략개발이 매우 중

<Table 8> General process for developing strategies to respond to irrigation-induced water quality problems (NRC, 1989)

Sequence of steps	Essential components
Recognizing the problem	Detection of anomalies <ul style="list-style-type: none"> • Chemical parameters • Physical parameters • Biota • Social impacts • Economic impacts
Defining the problem, assessing and collecting data	Antecedent conditions <ul style="list-style-type: none"> • Hydrological • Biological • Geological • Ecological Social and cultural context <ul style="list-style-type: none"> • Historical setting • Competing and conflicting demands • Inherent complexity • Widespread support for irrigated agriculture • Subsidization of water and crops • Expectation of continued support • Institutional constraints
Identifying alternatives	Possible responses <ul style="list-style-type: none"> • Source control • Drainage water treatment • Transport and disposal • Price adjustment • Legal changes • Institutional changes • Economic changes • Social changes
Evaluating alternatives	Criteria for evaluating responses <ul style="list-style-type: none"> • Technical soundness • Economic viability • Legal appropriateness • Social acceptability • Political feasibility • Ecological appropriateness

요하다. <Table 8>은 관개배수로 인한 수질오염 문제에 대처하기 위한 일반적인 전략개발 과정을 보여주고 있다. 즉 오염문제의 해결을 위하여는 문제의 인식정의, 자료의 평가 및 수집, 대안의 인식 및 평가 등 다섯가지의 기본 기능을 거쳐야 한다. 이들 각 단계에 대하여 설명하면 다음과 같다.

수질오염 문제해결의 첫번째 단계는 오염문제를 인식하는 것이다. 오염현상을 인식하는 것은 쉬운 일이 아니나 물리적 또는 화학적 감시나 원격탐사 자료로부터 인식이 가능하다.

두번째 단계는 오염문제의 정의이다. 오염문제

는 복잡하고 여러 전문분야로 이루어지는 환경문제이다. 오염문제의 정의는 농민, 과학자, 공학자, 시민, 정부기관 등 각 이익단체마다 서로 다르게 정의할 수 있으므로 여러 전문가가 협력하여 정의를 도출하여야 하며 이의 해결방안을 강구하여야 한다.

일단 문제의 정의가 내려지고 해결목표가 설정되면 다음에는 기존의 자료를 평가해야 한다. 다른 목적으로 얻어진 자료라도 가치있는 정보를 줄 수 있으므로 새로이 자료를 수집하는 것 못지않게 기존자료의 평가와 사용가치의 확인이 중요하다. 기존자료 평가 후에 새로운 자료의 수집이 필요하게 되면 자료관측 시작에서부터 QA/QC(Quality Assurance/Quality Control)와 과정의 설계를 할 수 있도록 자료수집 목표를 명확하게 설정하여야 한다. 수질자료 관측초기에는 관측자료가 크게 도움이 되지 않는다고 생각할 수도 있으나 수질감시는 수자원 오염조사의 전 과정에서 매우 중요하다. 더우기 수질오염문제가 빈번히 발생하거나 오염원이 광범위 할수록 관측감시의 중요성은 더욱 커진다.

수집된 자료를 분석하여 정보화하는 것은 매우 중요하다. 잘 계획된 정보관리체계는 단순한 컴퓨터 소프트웨어나 상용 정보관리체계 보다 더 나아야 한다. 이는 자료의 전시, 정보의 요약 및 논리적 사고를 가능케 하는 등 인간의 창의성이 포함되어야 한다.

의사결정권자가 가능한 모든 대안에 대하여 충분히 토론하는 것은 매우 중요하다. 어떤 가능한 대안도 사전에 미리 제외시켜서는 안된다. 대안을 생각할 때 두가지 이유로 어떤 특정한 분야는 제외시키는 경향이 있다. 첫째는 대안 제안자가 자기 전문 분야만 생각하는 것이고, 둘째는 어떤 대안은 비실용적이거나 법률적으로나 정치적으로 어렵다는 가정하에서 제외시키는 수가 있다. 따라서 문제의 정의에서와 같이 다른 분야의 전문가도 반드시 참여시켜야 한다.

대안은 구조적 또는 비구조적, 기술적 또는 제도적인 모든 분야가 다 논의 되어야 한다. 이렇게 함으로써 비용과 수익이 평가되기도 전에 어떤

대안들이 제외되는 것을 방지할 수 있다.

어떤 이유에서든지 어떤 대안을 사전에 제외시키는 것은 전체의 평가에 나쁜 영향을 미친다. 물론 후기 단계에서 대안들의 무게가 매겨지겠지만 초기단계에서는 모든 대안들에 대하여 동등하게 중요성을 주어야 한다.

마지막 단계는 기술적, 제도적으로 대안을 평가하고 최상의 대안을 선정하는 일이다. 이 단계는 조사 연구의 최종단계이지만 최종대안 선정과정과 기준은 초기단계에서 명확히 설정되어야 한다. 따라서 평가계획의 상당부분은 초기단계에서 수행된다. 문제 정의단계에서와 같이 평가계획도 일반시민의 의견이 수렴되어야 한다. 그래야 의사결정 과정이 합법적이고 시민들의 의사가 반영된다. 이러한 과정은 조사과정을 효율적이게 하고 최종 결정이 많은 지지를 받게한다. 따라서 이는 매우 유익한 방법이나 빈번히 이행되지 않는 경우가 많다.

평가기준에는 여러가지가 있다. 첫째, 기술적으로 문제해결이 가능하여야 한다. 둘째, 환경 및 생태계에 미치는 영향이 평가되어야 한다. 셋째, 경제성이다. 주어진 이익을 얻을 수 있는 최소의 비용이 드는 대안을 선정하게 된다. 다음으로 모든 대안은 사회적, 정치적으로 수용될 수 있는지 제도적인 기준에 의해 평가되어야 한다.

평가과정은 마지막 단계이지만 다른 조사요소들이 모두 다 완료될 때까지 기다려서는 안되며 평가과정은 계속적으로 진행되어야 한다. 상대적으로 간단한 평가는 연구의 초기단계에서 수행되어 기술적으로 불가능하거나 너무 비경제적인 대안들은 제외시켜야 한다. 따라서 평가과정은 조사가 진행될수록 점점 더 엄격해지는 연속적인 여과과정이어야 한다. 조사의 초기단계부터 평가도 병행되어야 하는 또다른 이유는 평가단계와 정보수집 단계를 Feed back 할 수 있기 때문이다.

의사결정 과정에서 다음 네가지 사항에 대한 무게 경중이 주어져야 한다.

- ① 기술적 기준과 과학적 기준
- ② 법률적 규제와 행정지침

③ 정치적 기준

④ 시민의 욕구 문제인식과 대안 평가과정에서 다음 물음에 대하여 고려하여야 한다.

- ① 대안은 기술적으로 검정되었는가?
- ② 비용과 편익은 얼마인가?
- ③ 비용 부담자와 수혜자는 누구인가?
- ④ 대안을 수행하는 것이 얼마나 어려운가?
- ⑤ 일시적인 또는 영구적인 해결책인가?

최종대안의 결정은 대립 및 경쟁되는 여러가지 요구사항들의 경중을 판단하는 어려운 단계이다. 최후의 설정된 목표를 달성하기 위하여 어떤 행동을 취할 것인가 하는 최종결정은 결국 기술적 측면과 경제적 요소가 조화롭게 고려된 것이어야 한다.

VI. 요약 및 결론

농업배수가 지표수 및 지하수 수질에 미치는 영향을 알아보기 위하여 농업활동이 수질에 영향을 미치는 수질오염원, 오염경로 및 환경영향, 오염저감기법 및 전략개발과정을 소개하였다. 식량증산과 환경보전이라는 두가지 상반되는 목표를 어떻게 잘 조화시켜 나가는가가 앞으로 우리가 풀어나가야 할 과제이다. 농업의 생산성과 수익성을 유지하면서 환경영향을 최소화 할 수 있도록 여러가지 기법을 사용하여 농민, 시민, 기술자, 과학자, 정부 모두가 서로 협력하여 최대한의 노력을 하여 후손에게 물려줄 환경을 깨끗하게 유지하도록 노력하여야 할 것이다.

참고문헌

1. 심재환, 1994. 한국농업용수의 오염 실태와 개선방향, International symposium on agricultural water quality management techniques. pp. 21~48. Korea Association of Colleges of Agriculture and the National Instrumentation Center for Environmental Management.
2. 이광식, 백청운, 1996. 농업용수 수질오염 현

- 황과 보전대책, 농공기술 No. 50 pp. 144~156. 농어촌진흥공사.
3. Acock, B. and Herner, A. 1995. ARS pesticide properties database, (In) Clean-Water-Clean Environment-21st Century, Vol. 2 : Pesticide pp. 1~3. ASAE.
 4. Barcelona, M., Wehrmann, A., Keely, J. F. and Pettyjohn, W.A. 1990. Contamination of ground water: Prevention, Assessment, Restoration. Pollution Technology Review No. 184. Noyes data Corporation, Park Ridge, New Jersey, 213pp.
 5. Beitz, H., Schmidt, H. and Herzog, F. 1994. Occurrence, toxicological and ecotoxicological significance of pesticides in groundwater and surface water. (In) Borner, H. (Ed.) Pesticides in ground and surface water. Chemistry of plant protection 9:1~56. Springer-Verlag.
 6. Canter, L.W. 1986. Environmental impacts of agricultural production activities. Lewis publishers, Inc. 382pp.
 7. Capone, L.T., Izuno, F.T., Bottcher, A. B., Sanchez, C.A., Coale, F.J., and Jones, D.B. 1995. Nitrogen concentration in agricultural drainage water in south Florida. Trans. ASAE 38(4):1089~1098.
 8. Choi, J.D. and Y.H. Choi, 1995. Effect of farming practice on water quality, Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers, Vol. 37:63~71.
 9. Greter, W.F., Smith, P., Drungil, C., Shepherd, R., and Kuenstler, B. 1995. Hydrologic unit water quality model GIS interface to four ARS water quality models for use by Soil Conservation Service. Proceedings of the international symposium on Water Quality Modeling, ASAE pp. 341~347.
 10. Guyot, C. N. 1994. Strategies to minimize the pollution of water by pesticides - A critical review to plant protection measures in the past, present and future. (In) Borner, H. (Ed.) Pesticides in ground and surface water, Chemistry of plant protection 9:87~152. Springer-Verlag.
 11. Goolsby, D.A., Thurman, E.M. and Kolpin, D.W. 1991. Herbicides in streams: Midwestern United States. (In) Irrigation and Drainage, Proceedings of the 1991 National Conference, ASCE pp. 17~23.
 12. Helling, C.S. and Gish, J.T. 1986. ACS Symposium series No. 315. American Chemical Society, Washington, D.C.
 13. National Research Council, 1989. Irrigation-induced water quality problems: What can be learned from the San Joaquin valley experience. National Academy Press, Washington, D.C.
 14. National Research Council, 1993. Soil and water quality: An agenda for agriculture. National Academy Press, Washington, D.C.
 15. OECD. 1986. Water pollution by fertilizers and pesticides. OECD, Paris. 144p.
 16. Scheierling, S.M. 1995. Overcoming agricultural pollution of water. World Bank Technical paper No. 269. The World Bank, Washington, D.C. 88pp.
 17. Tanji, K.K. 1990. Nature and extent of salinity. (In) Tanji, K.K. (Ed.) Agricultural salinity assessment and management. ASCE. pp. 1~17.
 18. UN FAO. 1993. Prevention of water pollution by agriculture and related activities. Water reports 1. Rome. 359pp.

약 력

정 상 옥



1976. 서울대 농대 농공학과 졸업
 1982. University of Hawaii M.S.
 1985. Iowa State University Ph. D.
 1989. 토목기술사(수자원 개발)
 현재 경북대학교 농과대학 농업토목학과 교수
 KCID 배수분과위원장
 ICID 배수분과위원