



농업유역환경의 최적관리방안

박 승 우

(서울대학교 농업생명과학대학 교수)

근래에 들어 우리 주위의 하천과 강, 호수, 하구와 연안 등 지표수는 물론이고, 많은 지역의 지하수도 정도의 차이는 있으나 수질 악화로 환경 생태계의 파괴화와 정수처리에 막대한 비용이 들고 있다. 하천 수질악화의 원인은 처리되지 않은 생활오수나 오염된 공장 폐수 등이 하천에 방류되고, 축산오수와 폐기물 등이 흘러들거나, 빗물에 씻기워 하천으로 유입되는데 있다. 그밖에도, 도시나 농경지로부터 강우-유출과정에서 오염물질이 용해되거나, 토사와 함께 유입되는 데 기인되는 것이다.

수질오염의 원인인 생활오수, 공장폐수 그리고 축산 폐수 등은 일정한 배출구를 통해 하천오염을 일으키므로 점원오염(point source pollution)이라 칭하며, 반면에 도시 유출이나 농경지 등에서 배출되는 오염은 점원오염과는 달리 일정한 발생원을 정할 수 없으므로 비점오염(nonpoint source pollution)이라 한다.

농경지로부터의 오염은 지표유출과 토양유실로 인하여 유출되는 토사, 영양물질, 농약 등으로 구성된다. 영양물질은 화학 비료의 과다 사용으로 기인하는 데, 주요 물질은 질소와 인 성분이다. 농약은 제초제, 살충제, 살균제 등 다양한 물질로 구성된다. 이와 같은 농경지로부터의 오염물질은 정성적으로 점원오염보다 독성이 높지 않은 데 반하여, 홍수 유출과 함께 유거되므로 정량적으로는 대단히

많은 것이 특징이다. 따라서, 댐이나 저수지, 하구, 연안 등과 같은 대수체(large water body)의 주요오염원이 되는 것으로 알려지고 있다(Park 등, 1994).

비점오염은 점원오염과 달리 하수처리장 등을 이용하여 발생된 오염수를 집단적이고, 공학적인 수처리가 불가능하므로, 경운법, 윤작 등 환경적 경종법을 적용하거나, 혹은 테라스의 설치 등과 같이 오염발생 지역 혹은 그 가까이에서 발생을 억제하거나, 줄이는 것이 효과적이다. 이와 같은 비점오염의 억제를 위한 방법을 최적관리기법(best management practices, BMP)라고 한다. BMP는 경지로부터 토양유실량을 줄이고, 토양수분을 보전하는 기능을 갖으므로 농작물 생육조건 개선과, 수확량 증가 등에도 효과가 있는 것으로 알려지고 있다.

다음에서는 농업유역의 오염기작을 살펴보고, 오염원을 찾기 위한 모니터링과 모델링 방법, 오염억제를 위한 최적관리기법의 종류와 그 효과 등을 논의하며, 다양한 토지이용 상태를 갖는 유역의 효과적인 관리방안 등을 정리해 보기로 한다.

1. 농업유역의 오염기작과 현황

가. 강우-유출과정

농경지에서의 오염물질의 운송은 유출순환

과정과 밀접한 관계를 갖는다. 비가 오면 흩알갱이가 탈립되어 빗물에 의하여 하류로 씻기워지게 되는데, 이때 흩 표면(흔히 1cm 깊이까지의 표층을 말한다)에 부착되어 있는 비료와 농약이 용해되거나, 혹은 흩알갱이에 묻은 상태로 지표유출에 따라 하류로 이동하게 된다.

한편, 지표면 아래로 침투된 물은 표층 아래로 물질이동을 일으키며, 이중 일부는 지하수로 유입되어 지하수 오염을 일으키기도 한다.

강우로 인한 지표유출이 발생하지 않으면, 토양유실이나 물질 운송이 일어나지 않는다. 따라서, 지표유출이 작을수록, 토양유실과 오염물질 손실량이 작은 것이 보통이다. 반면에 유출되지 않은 강우량이 많을수록, 오염 물질이 침투와 함께 표층 이하의 깊이로 이동되어, 식물에 의하여 흡수되거나, 분해되지 않으면, 토양 중에 누적되어 토양오염을 초래하거나 지하수까지 도달해 지하수 오염을 일으킨다.

이상에서와 같이, 농경지에서의 강우-유출 과정은 토립자의 유실과 오염물질의 운송, 지하수의 오염 등을 발생시키며, 이와 같은 현상이 반복되면서 유역의 수문환경과 물질 운송이 진행되는 것이다.

나. 토양유실과정

농경지에서의 토양유실은 강우-유출과정에서 의하여 운전된다. 흩알갱이는 탈립과 운송, 그리고 퇴적과정 등을 통하여, 하류로 운송되는데, 이중 농경지를 벗어난 토사의 양을 유실량이라 한다. 토립자의 탈립과 운송은 빗방울의 타격과 지표유출의 운송력과의 상호 관계로부터 발생된다.(그림. 1 참조) 그림. 1에서와 같이, 탈립된 흩알갱이가 운송력보다 작을 때는 전량이 하류로 운송되나, 운송력이 작으면 운송력에 의하여 지배된다(Foster, 1982).

그런데 동일한 수문조건이라도 토양특성,

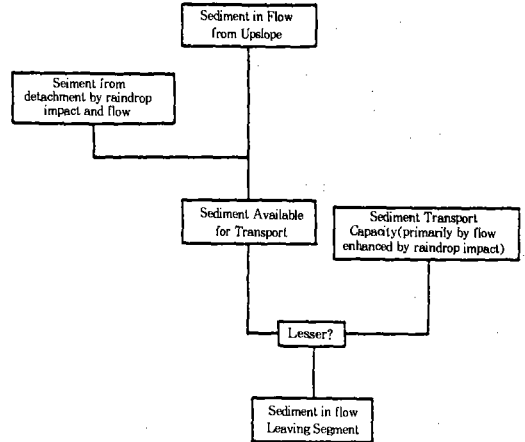


그림. 1. 농경지에서의 토양침식과정(Foster, 1982)

지형특성, 지표면의 식생피복상태, 작물잔유물량, 경운방법과 방향 및 테라스 설치 유무 등에 따라 강우와 지표유출의 탈립능과 운송능이 좌우된다. 이와 같은 관계는 토양유실량식(universal soil loss equation, USLE)의 주요 인자들에 따른 유실량에서와 같다.

한편, 토양유실과정에서 세류간 침식(interrill erosion)과 세류침식(rill erosion) 등 경지에서 흔히 발생하는 침식 이외에도 유역규모에서는 지형과 경사, 지표월류량, 토양조건 등에 따라 세류가 그 규모나 범위에서 발달되어 갈리(gully) 등으로 확대되기도 하는데, 이때는 유실량이 크게 증가한다.

다. 물질순환과정

앞에서 물질의 운송은 깊이 1cm까지의 표층에서 부터 발생한다고 하였다. 이는 지표월류시 용해될 수 있는 표층의 깊이이며, 대부분의 토양 유실이 표층에서 발생하는 것과도 관련이 있다. 따라서 표토층에 직접 시용된 비료나 농약 등의 유실정도가 동일한 양을 표토층 이하로 주입했을 때 보다 높다. 이와 같이, 시용 직후의 유실은 시용방법과 관련이 높다.

그런데, 비료나 농약은 시용후부터 화학적, 물리적, 생물학적 요인으로 인하여 분해도 거나 다른 물질로 변화하게 되는데, 그 변화율은 시용 물질의 화학적 성질과 밀접한 관련을 가진다.

농경지의 비료와 농약은 지표유출과 토양 유실이 발생하기 직전의 표토층의 잔유량에 따라 유실되므로, 이때의 양이 시용량과의 비

를 유용량 인자(availability factor) 혹은 유용율이라고 한다.(Young et al. 1987) 즉, 시용량과 유용율의 적이 유실대상량이며, 이 양 중에서 지표 율유와 유실 토사에 의하여 운송 되는 것이다.

이상의 강우-유출과 토양유실, 물질 순환과의 관계를 도식적으로 표시하면 그림. 2에서와 같다(Knisel, 1980).

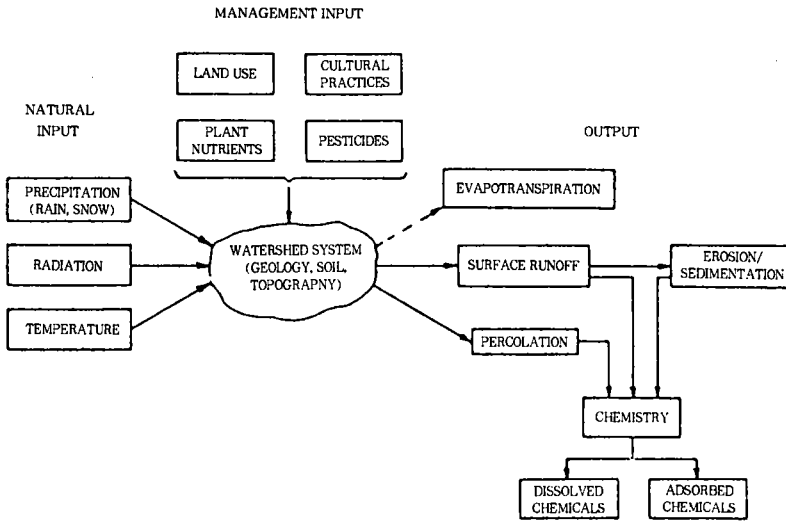


그림. 2. 농업비점오염의 과정(Knisel, 1980)

라. 지하수 오염과정

농경지로부터 유출과 토사와 함께 영양물질이나 농약 등이 하류로 운송되어 하천 오염의 원인이 되므로, 유출량을 줄이는 방법이 비점오염 관리에서 중요하다는 사실을 인식하였으며, 침투에 의하여 지하수 오염을 일으킬 수 있다는 사실을 깨닫게 되었다. 외국의 예를 보면, 농업유역에서 지하수 오염으로 지하수를 식음수로 사용할 수 없는 사례가 늘고 있으며, 이와 같은 경우도 우리나라에서 발견되고 있다. 따라서, 농업유역의 수질 오염문제는 단순히 하천 수질 오염문제 이외에도 지하수 오염문제를 고려해야 한다.

지하수 오염과 관련하여 침투수가 빠른 속도로 하강하는 사실이 발견되었는데, 이는 토양중에 작은 공극(micro pores) 등을 통하여 선호성 흐름(preferential flow)가 발생하는 데 기인한다. 선호성 흐름은 수리전도도의 차이에 따라 선택적인 물의 이동이 발생하는 상태를 말하며, 외국에서의 지하수의 오염이 심각한 곳에서는 이에 대한 기작을 검토하는 노력이 기울리고 있다.

마. 기저유출과 비점오염

앞서 비점오염은 주로 지표유티로 인한 표층의 영양물질 또는 농약 등의 시용량이 용해되거나 토양유실과 함께 발생하는 것으로 정

의하였다. 그런데, 침투에 의하여 지중에 스며든 물에 용해된 오염물질 중 일부가 지하수 형태로 하천에 용출되어 하천 수질을 오염시키는 경우도 있다.

이와 같은 오염부하는 지중의 유기물질로부터 용해되는 경우와 지하수 오염으로부터 기인한다.

2. 유역환경 모니터링과 모델링

이상에서는 농경지의 지표유티류와 토양유실, 물질순환 기작 등을 고찰하고, 또한 지하수 오염 등의 기작에 대하여 살펴보았다. 그러면, 구체적으로 유역내의 어느 곳에서 얼마나 오염 부하가 되는 지, 혹은 그 양은 얼마이며, 어떻게 하면 효과적으로 오염량을 줄여, 하천이나 지하수 오염을 최소화할 수 있는 지 등을 검토하는 것이 필요하다.

그런데, 유역에서의 비점오염 기작은 앞서 고찰한 경지에서 보다 훨씬 복잡하고, 다양한 과정을 갖는다. 특히, 강우-유출관계에 대한 정확한 해석이 쉽지 않고, 토양 유실량의 정확한 추정이 불가능한 사실을 고려하면, 유역의 오염기작을 계량화하는 일은 불가능하다.

유역규모에서의 비점오염 부하량의 계량화에 적용되는 방법은 현장 조사와 모델링, 이들 두가지 방법을 혼용하는 것 등이 있다. 현장 조사법은 현장 측정과 분석을 포함하므로 보통 모니터링(monitoring)이라 하며, 모델링 방법은 수문, 토양유실, 물질 순환 등의 과정을 수학적 관계로 계량하는 것을 말한다.

유역 비점오염 모니터링과 모델링 기술을 간략히 정리하면 다음과 같다.

가. 모니터링

농업유역의 모니터링은 유역에서 수문, 토양유실, 물질 순환 기작에 영향을 주는 인자들을 계량화하고, 측정점을 선정하여 지표 유출

량 또는 하천유량을 조사하고(수문조사), 수질 샘플을 채취 분석하여 농도를 정하여, 총오염량을 정하는 것이다.

모니터링 기법은 대상 면적 규모에 따라 포장, 소유역, 대유역 모니터링으로 구분한다. 포장 모니터링은 USLE 인자들의 결정을 위한 유출구(runoff plot) 시험방법(자연강우와 인공강우) 등을 적용할 수 있으므로 비교적 단기간에 집중적인 실험을 통하여 원하는 결과를 구할 수 있다. 소유역이나 대유역 등을 모니터링 할 경우는 1년 중 120여일의 강수 중 직접 유출량이 발생하는 경우가 수회 정도에 불과하므로, 결과를 얻기까지는 짧게는 3~4년, 길게는 10년 정도 장기간의 관측이 필요한 경우가 많다.

비점오염의 모니터링에서 주의할 점은 비점오염이 지표유출과 함께 발생하므로 직접유출량이 있는 사상에 대한 수질 오염량을 정해야 하는 점이다. 월 1~2회의 수질표본을 분석하여 농업유역의 비점오염 부하량을 추정할 수 없으며, 이들은 비점오염이 아닌 유역내의 기타 오염원에서의 부하량인 경우가 많다.

그림. 3은 '96년 부터 서울대 농공학과에서 시행중에 있는 농업생태환경 모니터링 현장의 개요도를 보여준다(박승우, 1995). 유역으로부터 오염 부하량(pollution loading)은 오염 농도와 유출체적의 곱으로부터 구하므로, 수질측정에서의 유량자료를 얻도록 수위관측점을 설치 유량자료를 얻고, 주기적으로 수질 샘플링을 실시하여 각종 물질의 농도를 구하여, 이들 값으로부터 기간중의 오염 부하량을 정하도록 계획한 것이다.

나. 모델링(modeling)

모니터링의 결과는 포장이나, 유역으로부터 정량적인 오염 부하량을 구할 수 있으나, 그 결과가 측정 지역의 값으로 보편성과 일반성을 갖지 못하다. 또한, 미계측 유역에서는

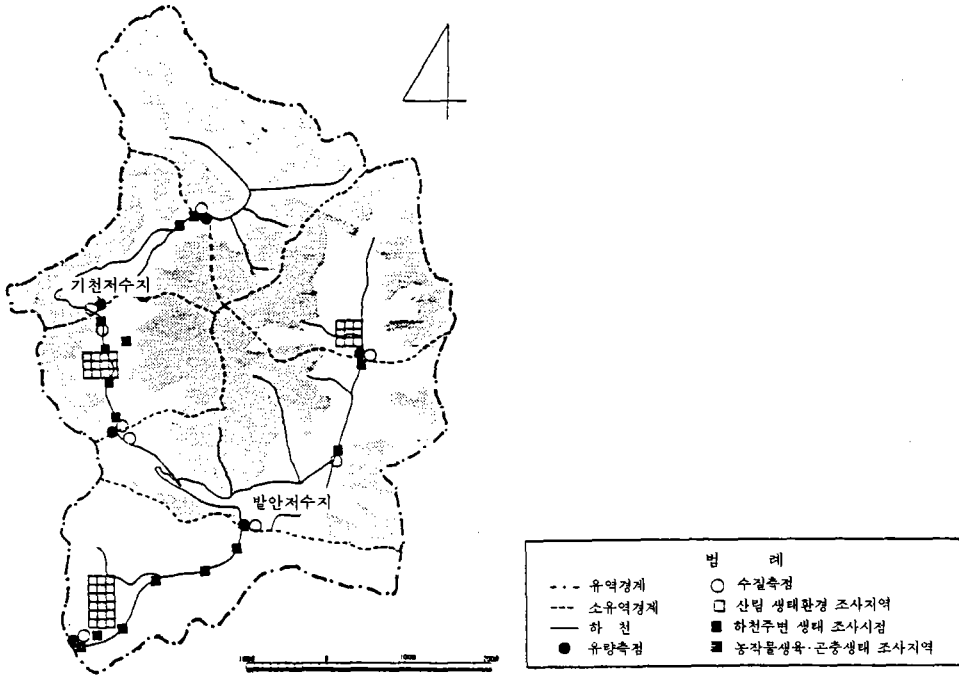


그림. 3. 농업생태환경 종합적 모니터링 개요 (발안·기천저수지 일대)

비점오염은 수학적 모형 (mathematical model)을 적용하여, 지형, 토양, 식생 피복, 경종법, 시비량 등 여러 조건에 따른 유출, 토양유실, 영양물질 등의 손실량을 추정해야 한다. 포장이나 유역의 비점오염 모니터링도 모델링을 전제로 한 노력이라고 할 수 있는데, 이는 현장 자료를 구축하므로써, 유역에서의 비점오염 기작을 정량적으로 파악할 수 있기 때문이다.

농업비점오염모형에는 여러 가지가 있는데, 이를 적용규모, 시간 간격, 기작, 추정 물질, 매개변수의 특징 등에 따라 구분하면 다음과 같다.

① 적용 규모(size)에 따른 분류 : 포장규모 모형, 유역 모형으로 구분된다. CREAMS (Knisel 등, 1981), WEPP 등은 포장규모 모형이며, AGNPS모형은 유역 모형이다.

② 적용 시간(time)에 따른 분류 : CREAMS, EPIC, WEPP 등은 연속적 모형(con-

tinuous model)으로 장기간의 비점오염 추정에 적용할 수 있으며, AGNPS, ANSWERS 등은 폭우 등과 같이 사상모형(event model)이다.

③ 적용 기작(processes)에 따른 분류 : 앞서 예시한 비점오염 모형들은 지표유출에 의한 비점오염 물질의 부하량을 추정하는 지표수 모형(surface flow model)이며, 그외에도 근역에서의 침투와 확산 등 지하수 유동과 관련하여 GLEAMS모형 등이 있다.

④ 추정 물질(component)에 따른 분류 : '80년 이전의 농업비점오염 모형은 지표유출과 토양유실량 등의 추정을 위하여 개발되었으며, 여기에는 EPIC, ANSWERS 등이 그 예이다. CREAMS, AGNPS 등은 총질소, 총인, 화학적 산소요구량 등의 추정에 적용되며, 최근에는 영양 물질 손실량 추정을 위한 모형들이 개발되고 있다.

다. 적용사례

우리나라에서 적용된 비점오염모형은 US-LE, ANSWERS(김병진·박승우, 1986), AG-NPS(Park and Kim, 1995) 등이 있다. USLE는 경기 여주 시험포장의 토양유실량 등의 추정과 그 경종인자(김진택·박승우, 1994)의 추정 등에서 적용되었으며, ANSWERS, AG-NPS모형들은 경기 반월유역과 서울대 농생대 부속목장 사료포장 등의 자료에 적용되었다(박승우 등, 1988).

이상의 비점오염 모형들은 미국의 농경지에 적용되도록 개발되었다. 우리나라에서와 같이 산림지와 논 등과 같은 복잡한 지형조건과 담수재배 테라스의 경우에 대한 매개변수가 정해지지 않은 까닭에 적용에 한계가 있다.

라. 발전과제

농업유역의 비점오염 부하량의 추정을 위한 모니터링과 모델링은 상호 보완적인 수단으로 유출량과 오염물질의 농도를 정하여 이를 바탕으로 오염량을 결정하고자 하는 것이다. 그런데, 유역수문기작 및 토양 침식과 운송, 물질순환기작 등이 대단히 복잡하기 때문에 정량적인 추정에는 한계가 있기 마련이다. 따라서, 유역 모니터링과 모델링 기법은 개략적이고 상대적인 범위에서의 오염 가능량을 정하는 수단으로 이해해야 한다.

예를 들어, 토양 유실량의 추정에 필요한 작물경종계수는 다양한 수단과 과학적인 방법이 채택되고 있으나, 나지조건(fallow condition)에 대한 비로서 정의되고 있으므로, 포장 시험을 실시하여 보면 동일한 강우조건에 대한 상대오차가 크다. 따라서 이와 같은 제한을 염두에 둔 모니터링과 모델링을 시행해야 한다.

미국에서 개발된 농업비점오염모형들의 매개변수는 다양한 경종방법과 시비수준, 경운

법 등에 따른 경험치를 적용한다. 우리나라의 영농조건과 다르고, 특히, 논벼의 경우 담수재배를 실시하며, 시용량과 시비 시기, 관개 등의 제반 조건이 다른 것을 감안하지 않으면 안된다. 따라서, 우리나라 농업환경과 영농조건 등에 대한 수문, 토양유실, 영양물질 순환 등을 정의할 수 있는 경험계수를 결정하는 것이 시급하다.

3. 최적관리방법

가. 최적관리기법이란?

앞에서 농업비점오염의 기작과 그 발생원을 정하는 수단에 대하여 고찰하였다. 이와 같은 농경지에서의 비점오염 억제를 위해서는 오염원 혹은 그 가까이에서 발생을 줄이거나, 하류로 배출되는 양을 억제하는 것이 효과적인 것을 강조하였다.

그런데 농업생산성을 무시하고, 오염발생을 조절하는 것은 어려운 과제이므로, 오염 배출량을 가능한 수준이하로 내리고, 생산성을 지속적으로 유지하는 소위 환경적으로 안전한 지속 가능한 농업(environmentally-sound, sustainable agriculture)을 지향하는 방안을 모색해야 한다. 이와 같이, 농업생산성과 환경보전을 고려하면서, 경제적으로 실행가능한 방안을 최적관리기법(best management practice, BMP)이라 한다(Park 등, 1994).

BMP는 비점오염에 따른 수질오염에 대한 사회적 관심이 높아지기 전에 토양보전법으로 소개된 영농관리법이나 농업토목공학적 방법 등과 그 개념과 내용이 유사하다. 과거에는 토양유실량을 허용수준(tolerance level)이하로 줄이는 것이 경지의 생산성을 지속적으로 유지하는데 중요하듯이, 비점오염량을 줄이는 BMP의 적용이 실시되는 것이다.

BMP는 그 주요 기작에 따라 지표유출을 줄이는 기능과 토양유실량을 줄이는 기능, 그

리고, 이들 두가지 목적을 동시에 충족하는 기능 등으로 구분할 수 있다.

나. 지표유출의 억제

지표유출을 줄이는 BMP로는 보전영농법인 무경운법(no till), 보전경운법(conservation till), 최소경운법(minimum till) 등과 같이, 경운에 의한 토양교란을 최소화하는 동시에 지표면상에 작물잔유물(crop residues)을 최대한 남기는 방안이 주로 사용된다. 또한, 적절한 윤작(crop rotation)도 지면이나 지중 잔유물이 늘고, 경운을 줄이면 토양중의 미생물이 왕성해지고, 이로 인하여 표토층의 침투량이 늘게되므로 지표유출량이 주는 효과를 갖는다. 그밖에도 등고선 재배(contouring) 등도 침투량의 증가에 기여하는 경우가 있다. 이와 같이 지표유출량이 줄면 토양유실과 오염물질의 손실이 줄게 되는 것이다. 보전공법인 테라스도 지표유출을 줄이는 BMP의 일종인데, 배출구(outlet)가 없는 경우에 더욱 효과적이다.

다. 토양유실량의 억제

토양유실량을 줄이는 BMP로는 앞서 설명한 보전경운법과 지표잔유물, 윤작 등이 있으며, 등고선 재배법과 대상재배 등도 지표월류에 의한 흩알갱이의 운송력을 줄이므로 토양유실량을 줄이는 데 효과적이다. 초생수로(vegetated waterway)와 테라스를 설치하면, 지표월류의 운송력이 현저히 감소되어 토양유실 중 상당량이 퇴적되어 감소하므로 비점오염에 효과가 크다.

경지와 하천사이에 초생대를 설치하면 토양유실과 오염물질의 하천 유입을 차단하는 효과가 큰데, 이를 초생필터(filter strip)이라 한다. 이와 같은 필터를 설치하면 오염물질이 직접 하천에 유입되지 못하므로 그 동안 분해되거나 새로운 물질로 전환되는 등의 기작으로 오염부하량을 줄이는 것이다.

라. 오염물질의 억제

이상의 유출량과 토양유실량을 줄이는 이외에도, 비료나 농약 등의 사용량을 줄이므로서 오염물질을 줄이는 것이 효과적이다. 우리나라에서 비료나 농약 사용량은 전 세계의 단위면적당 사용량을 크게 초과하고 있으며, 이로 인하여 농경지 토양의 인 축적이 높은 것이 현실이다. 따라서, 필요한 시기에 필요한 양만을 사용하도록 하는 억제법이 필요하다. 미국 등지에서 활발히 연구되고 있는 정밀영농법(precision farming)도 필요량을 사용하는 기술이며, 우리나라의 유기농법(organic farming), 지속농법(sustainable agriculture) 등도 오염물질 자체를 줄이는 BMP이다.

마. 농업토목공학적 방법

BMP를 공학적 방법과 영농법으로 구분하기도 하는 데, 공학적 방법에는 테라스, 초생수로, 보전구조물(conservation structures) 등이 있다. 테라스는 경지의 경사거리를 줄이고, 경사도를 완화하는 효과로 토양유실량을 줄이고, 보습량을 높이는 기능을 위한 것이며, 등고선 재배와 병행하면 효과가 크다. 보전구조물은 슈트, 낙차공, 유말공 등을 이용하여 안전하게 배수시킨다.

바. 보전영농방법

보전영농방법을 이용한 BMP에는 앞서 언급한 보전경운법, 식생피복법(작물잔유물, 멀칭 등), 등고선재배법, 대상재배법, 초생필터 등이 있다. 그밖에도, 시비량을 줄이고 농약 사용량을 줄이는 방법, 농약이나 비료를 지표면에 살포하지 않고 땅속에 직접 주입하여, 지표층에서의 유용률을 줄이는 방법 등을 BMP로 하기도 한다. 최근 미국에서는 비점오염이 심한 한계농지를 영구초지나 산림지를 조성하는 소위 영구적 퇴경지 계획(perma

ment retirement program, PRP)을 적용하는 것을 궁극적인 BMP 시행법으로 채택하고 있다.

4. 농업유역의 환경종합관리 방안

가. 종합관리란?

농경지의 비점오염 부하량을 줄이기 위한 보전영농법이나 농업토목공학적 방법 등의 BMP는 지표유출을 줄이고, 토양 유실량을 억제하는 데 활용되고 있다. 그러나, 궁극적으로는 농경지로부터 비료, 농약 등 영양물질과 오염물질을 적게 시용하고, 이들이 토양에 축적되거나, 지하수 오염을 방지하기 위해서는 영농과 관련된 각 분야에서의 종합적인 관리(integrated management)를 시행하는 것이 효과적이다.

종합적 관리방안 중 종합적 해충관리법(integrated pest management, IPM)이 있으며, 이와 같은 방법은 단순히 포장 단위에서의 BMP를 적용하는 것보다는 보다 광범위한 유역에 적용하였을 때 비점오염 억제 효과가 큰 것을 의미한다. 따라서 유역 전체에서의 비점오염을 관리하는 종합관리가 중요하다.

나. 감시와 조사

농업유역의 비점오염 억제를 위한 종합관리는 각종 오염물질이 의도적이나 돌발적으로 유출되지 않도록 해당 유역의 어디에 얼마나 독성물질이 위치하고, 이용되는 지를 감시하고, 오염물질의 확산과 이동경로를 파악하는 등을 포함한다.

감시의 예는 농약이 어디에 얼마나 위치하는 지를 조사하고, 이들의 시용상태를 그때 그때 파악하는 것이다.

조사는 지역내에서 비점오염 발생원과 이동경로를 파악하여, 그 발생량이 일정한 허용수준이상이 되는 곳을 파악하는 일이다. 이를

통해, 적절한 수준의 BMP를 적용하여 오염발생을 줄이고, 수질을 보전할 수 있다.

다. BMP 시행

일단, 감시와 조사의 결과로부터 비점오염의 억제가 필요하다면 가장 적절한 BMP를 적용한다. BMP의 결정은 여러가지 방안에 따른 유역의 오염발생량을 수학적 모형 등을 이용하여 조사하고, 이를 바탕으로 경제적이고 효과적인 방안을 마련하는 일이다.

미국 등지에서는 BMP의 적용시 발생하는 공사비 혹은 수확량의 감소 등 경제적 손실을 정부에서 지원하고 있는데, 이와 같은 환경보전비용의 지급은 WTO출범이래 유럽 국가들도 시행하고 있다.

5. 요약 및 결론

이상에서 농업환경관리를 위한 최적관리방안과 관련하여 오염과정과 기작, 유역 모니터링과 모델링, 최적관리기법의 종류와 내용, 그리고 종합관리 방안 등을 논의하였다.

우리나라에서는 농경지에서의 오염 배출량이 상대적으로 낮아, 농업의 환경보전역할 등을 제시하고 있는 것이 현실이다. 그러나 밭에서의 토양유실량이 많고, 논에서는 담수재배를 실시하므로 농약이나 비료의 시용후 홍수가 발생할 경우, 오염물질의 하천 유입이 가능한 것이다. 따라서, 효과적인 최적관리방안에 대한 국내외의 연구결과를 활용하는 것이 필요하며, 궁극적으로는 BMP의 적용을 통한 농업 비점오염을 줄이는 것이 필요할 것이다.

참 고 문 헌

1. 김병진, 박승우, 1988. 수문모형 ANSWERS의 반월유역에의 적용, 한국농공학회지 30(1): 81-90.

2. 김진택, 박승우, 1994. 경사지의 경종에 따른 유출 및 토양유실에 관한 연구. 한국농공학회지 36(1) : 63-72.
3. 박승우, 김진택, 김병진, 1988. 소유역의 토양침식 및 퇴적모형의 응용, 서울대 농학연구 13(2) : 37-45
4. Foster, G. R. 1982. Modeling the erosion process, In C. T. Han et al. (ed) 'Hydrologic modeling of small watersheds', ASAE Monographs No. 5, ASAE. pp. 297-380.
5. Knisel, W. G. (ed.), 1980. CREAMS, A field scale model for chemicals, runoff, and erosion from agricultural management systems. USDA ARS, Conservation Research Report 26.
6. Park, S. W. and J. K. Kim, 1995. Validation of AGNPS model with complex topography in Central Korea, Presented at the 1995 ASAE Annual Meeting, Paper No. 952702. ASAE, St. Joseph, MI.
7. Park, S. W., J. K. Kim, and J. J. Lee 1995. A GRASS Interface system for AGNPS model applications. Presented at the 1995 ASAE Annual Meeting, Paper No. 953243. ASAE, St. Joseph, MI.
8. Park, S. Mostaghimi, R. A. Cooke, and P. W. McClellan, 1994. BMP impacts on watershed runoff, sediment, and Nutrient Yields. Water Resources Bulletin 30(6) : 1011-1023.
9. Young, R. A., C. A. Onstad, D. D. Bosch, and W. P. Anderson, 1987. AGNPS, Agricultural non-point source pollution model. A watershed analysis tool U. S. Department of Agriculture, Conservation Research Report 35.