

# 물의 순환을 고려한 농촌환경관리



김 상 민

경상대학교 지역환경기반공학과

## 1. 농촌 유역의 물순환

유역에서의 물의 순환과정은 그림 1에서 보는 바와 같이 물은 지면이나 바다로부터 증발하여 수증기가 되며, 구름을 형성하게 되고 기단에 의해 이동하다가 적절한 기상학적 조건이 구비되면 강수(precipitation)의 형태로 지상에 떨어지게 된다. 지상에 떨어지는 강수는 여러 가지 과정을 거치게 된다. 강수의 상당한 부분은 강수지역의 지표면이나 토양 속에 저류되나 결국 증발(evaporation) 및 식물의 뿌리를 통한 증산(transpiration)에 의해 대기중으로 되돌아간다. 또한 강수의 일부분은 지표면이나 토양 속을 통해 흘러 하도로 유입되기도 하며 일부는 토양 속으로 더

깊이 침투하여 지하수(ground water flow)가 되기도 한다. 자연하도로 유입되는 지표수(surface flow)와 토양 속으로 흐르는 지하수는 중력에 의해 높은 곳으로부터 낮은 곳으로 흘러 바다에 이르게 된다. 그러나 지표수와 지하수의 상당한 부분은 바다에 도달하기 전에 증발과 증산현상에 의해 대기 중으로 되돌아가게 된다(윤용남, 2007).

유역에서의 물순환 과정에서 오염물질이 유입되면 그림 2에서 보는 바와 같이 지표수와 지하수를 따라 오염물질이 확산되게 된다. 농촌 유역에서의 오염물질 확산은 비강우시 일상적으로 발생하는 점원오염보다는 강우시 유역 전반에서 발생하는 비점원오염이 주를 이루고 있다. 비점원 오염물질의 배출은 수문현상과 밀접한 관련을 맺고 있다. 지표면에 축적 혹은 산재되어 있는 각종오염물질은 강우에 의해서 표면을 이탈, 지표수에 의해서 이동하여 수계에 유

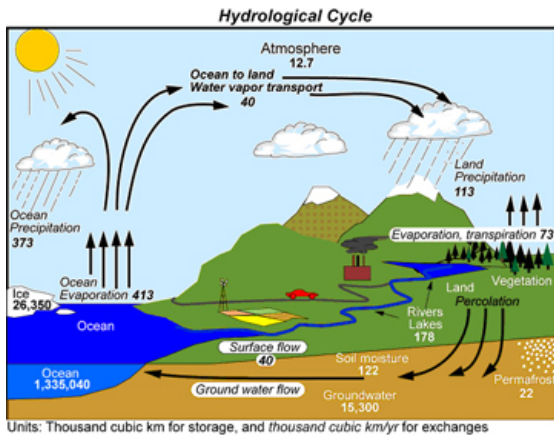


그림 1 지구상의 물 순환



그림 2 물순환 과정에서 오염물질의 확산

입된다. 이 때 강우강도나 지속시간과 같은 강우의 특성과 지표수의 수리·수문학적 특성이 오염물질의 배출에 직접 영향을 미친다. 비점원 오염물질의 이동은 지표수와 지하수에 의한 두 가지로 생각할 수 있다. 유기물과 같은 오염물질은 토양층을 통과하면서 여과·분해되므로 큰 문제는 없지만 토양층에서 걸러지지 않는 비점원 오염물질은 지하수오염을 유발시킬 수 있다. 예를 들어 질산성 질소는 토양에 잘 흡착되지 않고 토양수와 더불어 쉽게 이동하기 때문에 특히 지하수위가 높은 지역에서는 지하수 중에 높은 농도의 질산성질소를 관측할 수 있다. 지표수에 의한 비점원 오염물질의 이동은 강수에 의해 큰 영향을 받으므로 유량의 변화가 매우 크다. 강우초기에는 지표면에 있는 오염물질이 지표수에 의해서 일시에 씻겨 나가므로 높은 농도를 나타내지만, 시간이 지남에 따라서 농도가 낮아진다. 한편, 점원오염은 도시하수나 산업시설에 배출되는 오폐수를 생각하면 쉽게 이해할 수 있듯이 유량의 변화가 적으며, 기상현상과는 거의 관계가 없다.

## 2. 농촌유역의 비점오염

### 가. 비점오염물질

수질오염과 관련된 주요 비점원 오염물질에는 유사, 유기물, 영양염류, 중금속 등이 있다. 그밖에 병원균이나 방사성물질도 있으나 이들은 발생빈도가 적고 특정한 지역에 국한되는 경우가 많다. 비점원 오염물질 가운데 가장 광범위하게 발생하는 것으로 유사(sediment)를 들 수 있다.

유사가 퇴적하여 바닥을 덮게 되면 바닥 층에 묻혀 있는 물고기의 알과 저서생물에게 악영향을 주고, 저서생물을 먹이로 취하는 물고기에게도 영향을 미친다. 유사는 각종 오염물질의 이송 매개체로서 인과 같은 영양물질이나 독성물질은 운송하고, 퇴적시 오염물질을 축적시키는 역할을 한다. 또한 유사가 퇴적되면 저수지의 내용적을 감소시켜 장기간 준설없이 방치할 경우 농업수자원의 감소를 초래하게 된다.

유기물질이 물속에 유입되면 미생물에 의해 분해가 되며 이때 물속의 용존산소를 소모하게 된다. 유기물질이 과다하게 수체로 흘러들어오면 수중 용존산소가 고갈되어 물속의 생태계가 파괴될 우려가 있다. 유기물을 배출하는 대표

적 비점원 오염으로 축한 분뇨를 살포한 농경지나 방목지를 들 수 있다. 도시지역에서도 다량의 유기물질이 강우시 발생되는데, 특히 강우초기에는 상당히 높은 농도로 관측된다.

영양물질은 농촌유역에서 농경지와 축산시설로부터 주로 유출된다. 영양물질은 식물이나 조류(藻類)가 성장하기 위해 필요한 필수요소로 수중생물의 성장에 질소와 인은 제한요소로 작용하는 경우가 많다. 호소와 같은 정체수역에서는 유기물의 생산이 수중의 영양물질에 의해서 크게 영향을 받게 된다. 다량의 질산염이나 인산염과 같은 영양물질이 유입되면 성장조건이 충분히 갖추어져서 조류와 같은 수중식물이 과다하게 번식하게 되어 호소의 부영양화(eutrophication)를 초래하게 된다(김태철 등, 2006). 저수지나 호소로 영양물질이 과다하게 유입되면 호소수질의 악화되면, 농업수자원의 효과적인 이용에 제약이 따르게 된다.

### 나. 농촌 유역의 비점오염

비점오염물질의 발생량은 토지이용상태와 수문현상에 따라 크게 변할 수 있다. 농경지와 같은 투수성 지표면에서는 침투량을 초과하는 강우에 유출수가 발생하며, 주요 오염물질은 토사와 영양물질이다. 비점오염의 유출과정은 토지이용체계에 따른 특성을 고려하여 이해해야 한다. 농촌 지역에는 비점원오염을 유발하는 농경지와 방목지가 있으며, 과도한 시비를 하거나 토양유실 방지책을 하지 않는 경우에는 다량의 토사와 영양물질을 배출하게 되어 수질오염 뿐만 아니라 농경지의 생산성을 저해할 수 있다.

농경지에서 배출되는 비점오염물질은 대부분 지표수 유출에 의하여 배출되는데, 지표면의 관리 상태인 경지의 경사, 토양, 재배방식과 강우특성에 의해서 영향을 받는다. 강우가 시기적으로 여름철에 집중되어 있고, 특히 많은 대부분 경사가 크기 때문에 토양 보전의 입장에서 불리하다. 강우가 집중됨에 따라 지표유출수에 의한 토양 침식력이 커지고 농경지에 발생되어 하천에 유입되는 침식토사량은 증가하게 된다. 토양침식과 함께 질소와 인도 농경지로부터 배출되는 주요한 비점오염물질이다. 방목지에서 배출되는 축산분뇨는 초지표면에 분뇨가 그대로 방치되어 강우시 지표수에 의해 인근 수계의 오염을 초래할 수 있다. 가축배

설물로부터 배출되는 오염물질에는 유기물, 질산 및 인산염, 대장균군 등 박테리아가 포함된다. 단위 면적당 사육두수가 높을 경우 방목지의 유출수가 유입되는 인근 수역에서는 수질문제를 일으킬 수 있다. 축산분뇨가 집중적으로 배출되는 비육장(feedlot)은 부하량이 상당히 큰 오염원으로서 방목지와는 달리 작은 공간에 많은 가축을 사육하는 곳으로, 사육형태의 특성상 점오염원으로 분류되기도 하지만 발생되는 고형폐기물의 관리 형태에 따라서는 비점원으로 간주되기도 한다. 비육장에서 지표유출수에 의해 오염물질이 다량 배출될 수 있으므로 유출수의 적절한 관리가 매우 중요하다 (김태철 등, 2006).

그 밖의 농촌 유역의 비점오염원으로는 농경배수의 호소 직유입, 경사방향 밭이랑으로 토양침식 증가, 콘크리트 농배수로, 과량의 농약살포, 축산분뇨의 부적정 살포, 미흡한 축사관리, 축산분뇨의 야적 등이 있다. 등고선에 수직인 밭이랑으로 인해 토양 침식이 증가하고, 배수기능 확보를 위해 설치된 콘크리트 배수로로 인해 홍수유량을 증가시키고 있으며, 적정량 이상 살포된 농약비료가 강우시 하천이나 호소로 흘러들고, 농경지에 퇴비살포 후 빗물에 쓸려 하천으로 유입되는 축산분뇨, 축사 비가림시설이 미비하여 축산분뇨와 우수가 수계로 혼입되고, 야적된 축분의 침출수가 빗물에 쓸려 하천으로 유입되고 있다. 이처럼 농촌 유역에서 발생하는 비점오염은 물순환과 밀접한 관련이 있으며, 비점오염을 효과적으로 관리해야 농촌 유역에서의 건전한 물 순환을 회복할 수 있다.

“4대강물관리종합대책”에 의하면 비점오염원에서 발생하는 오염부하량은 4대강을 기준으로 22~37%, 특히 팔당호의 경우 45%를 차지한다. 농촌유역에서의 물순환 과정에서 수질오염물질을 제거하고 수질을 개선하고자 한다면 농촌유역에서 발생하는 비점오염물질에 대한 적절한 대책이 필요하다. 이를 위해 농촌지역 비점오염물질의 발생특성과 관리방안에 대한 연구를 통해 농촌 비점오염관리 및 수질관리 체계를 수립하여 오염물질 총량관리제, 지역할당제 등의 환경규제에 적절히 대처할 수 있도록 해야 할 필요가 있다.

### 3. 농촌 유역의 비점오염 관리

#### 가. 비점오염 단계별 관리

2005년 말 현재 우리나라는 하수처리율이 80%를 상회하고 있으며 점오염원 관리가 어느 정도 이루어져 앞으로는 비점오염원 관리 비중이 증가하리라 본다. 종전의 수질관리 정책이 하·폐수등 점오염원 처리장 건설과 관리 중심에서 향후에는 토지이용에 따른 비점오염원 관리를 본격화하리라 전망된다(최지용, 2006).

농촌 유역의 쾌적한 생활환경을 마련하기 위해서는 강우시 발생하는 비점오염을 제어하는 것이 필수적이다. 비점오염은 특성상 강우와 밀접한 관계가 있고 지표유출을 통해 오염물질이 거동된다. 따라서 비점오염을 효과적으로 제어하기 위해서는 강우시 지표유출을 따라 거동하는 비점오염물질을 단계적으로 제어할 필요가 있다.

농촌 유역의 비점오염 관리를 위한 접근 방식은 농촌 유역의 물순환 과정을 고려하여 단계별로 발생원 제어(source control), 배출 제어(site control), 유역 제어(watershed control)의 3단계로 나누어 추진할 수 있다.

발생원 제어단계에서는 비점오염원 관리대책 선정에 대한 첫 번째 단계로, 지역 거주자에 의해 발생가능한 오염원을 관리하는 방식으로 비구조적 저감기술의 적용이 포함된다. 여기에는 영농방식, 작물종류, 토양 및 기후 등의 자연조건, 시비량, 관개용수사용량, 농약사용량, 사육방식 및 축분관리 등이며 이 외에도 농가 미처리하수, 쓰레기 배출, 농업인의 비점오염에 대한 인식전환 유도 등이 포함된다.

2단계는 오염원으로부터 배출되어 방류수역으로 유입되기 전 단계로 구조적 관리기술의 적용이 포함된다. 식생수로, 식생여과대, 침투시설, 습지, 저류지 등이 대표적으로 적용되는 시설들이며, 관리기법의 수립시 이상적인 시설배치는 비구조적 관리기법과 구조적관리기법들의 조합을 통해 달성될 수 있다. 즉 발생원에 대한 대책과 병행하여 수립할 경우 저감효과가 증대될 수 있다.

3단계는 유역 제어로 보다 광역적인 의미의 유역제어는 특정지역 내의 지표수와 지하수를 포함한 지역내의 환경목표를 수립하고, 이해 당사자간이 협조체계를 구축하여 유역내의 수질을 관리하는 것을 의미한다. 이를 위해 유역내의 다양한 수문인자와 수질인자에 대한 자료수집과 분석

이 필요하며, 이를 토대로 유역의 수질을 개선하기 위한 최적관리기법을 통해 환경목표에 따라 제거하고자 하는 오염물질, 저감기술의 종류와 규모를 결정한다(남귀숙 등, 2005).

나. 농촌지역 비점오염 관리방안

1) 비구조적 관리방안

농촌지역의 비점오염 관리방안은 고랭지밭을 포함한 농경지와 방목지와 비육장을 포함하는 축산지역으로 구분하여 마련할 수 있다. 농경지 비점오염을 저감하는 비구조적 관리방안으로는 ① 관개효율 향상 등을 통한 농경배수 저감, ② 친환경 경작 실시, ③ 비료 및 농약 사용방법 개선을 통한 친환경농업으로 전환하는 방법 등이 있다. 관개효율을 향상하고 농경배수를 저감하기 위해 관개용수관리를 강화하고, 관개용수를 적절하게 공급하여 월류수의 발생을 최대한 억제하며, 논배수로의 물을 다시 펌핑하여 관개하거나, 강수량 적은 곳이나 수원공이 충분하지 못한 지역에서는 배수로를 굴착하여 저류지 형태로 만들어 재이용하며, 물꼬구조를 웨어형태로 만들어 배수관리를 통한 농경배수를 최소화한다. 친환경 경작을 위해 강수의 표면유출을 증가시키고 지하수 함양기능을 저하시켜 국지성 호우를 유발하는 멀칭농법(비닐, 유리하우스 포함)을 억제하고, 토양속에 방치된 폐비닐 등을 제거하여 투수성을 증진시키며, 침식방지를 위해 방풍림조성, 표면덮개, 침식연못, 일렬 심기, 축대 조성, 농로 관리를 통해 비점오염물질 유출이 억제되도록 하고, 휴경답에는 친환경적인 토양유지가 가능하도록 녹비작물 등을 재배한다. 비료 및 농약 사용방법 개선을 통한 친환경농업으로 전환을 위하여 무공해성 농약, 윤작, 저항성 강한 작물경작, 유기농법, 천적을 이용하는 대체 농법을 활용하여 경작하며, 저비료, 저농약 환경농법으로 전환하고, 지역별 토양검정에 따른 비료사용 가이드라인에 따라 비료와 농약을 필요한 때에 효율적으로 사용하여 화학물질의 용출을 줄이는 것이 필요하다.

축산지역의 비점오염을 관리하는 비구조적 방안으로는 ① 축산분뇨를 방치하거나, 노천야적, 무단방류 등을 억제, ② 축산퇴비(액비) 등은 동절기 결빙상태나 토양수분이 많은 조건에서는 살포를 지양하는 방법이 있다.



그림 3 시화호 인공습지 전경

2) 구조적 관리방안

농촌지역의 비점오염 관리하는 구조적 방법으로는 ① 신규 경지정리 및 농지조성 사업지구에는 비점오염관리시설 부지를 확보하여 인공습지, 저류지 등 비점오염물질 저감 시설을 설치, ② 경사진 경작지의 경우 계단식 토지를 조성하여 침식을 저감, ③ 고랭지밭과 같이 입지 및 영농방범상 토사유출 등 환경문제를 크게 일으키는 경우 흙탕물저감시설을 설치하여 토사유출을 저감하는 방법 등이 있다. 또한, 축산지역의 비점오염을 관리하는 구조적 방안으로는 축사, 운동장에 빗물이 유입되거나 시설내 오, 폐수가 밖으로 배출되지 않도록 차단벽, 비가림시설, 유출방지턱 등을 설치하는 방법이 있다.

농촌지역의 경우 저밀도로 개발되어 있으므로 저류지와 습지, 자연형 초생수로 등이 바람직하며 토사, 입자성 물질 발생량이 많으므로 시설 내부에 공극이 많은 여과시설은 적절하지 않다. 비점오염저감시설은 오염원에서 멀어질수록 처리대상지역이 증가하고 시설로 유입되는 수량이 많아져 시설규모가 커지고 오염물질 농도는 낮아지고 고액분리가 용이하지 않아 처리효과가 반감되는 등 효과적이지 못하며 발생지역에서 가까운 곳에서 처리하는 것이 바람직하다. 비점오염 저감시설을 설치하기에 앞서 유지관리의 용이성, 비용의 적정성, 안정성 등을 종합적으로 고려하여야 한다(환경부, 2006).

#### 4. 농촌 비점오염 관리를 위한 최적 관리모델 개발

##### 가. 비점오염 저감을 위한 최적관리기법

최적관리기법(best management practice, BMP)은 농업비점오염원에 의해 초래되는 오염량을 수질목표에 상응하는 수준으로 줄이거나 억제하는 권장된 수단으로서 기술적, 경제적, 행정적으로 볼 때 가장 효율적으로 실현 가능한 영농방법으로 정의된다. 비점오염원의 억제를 위해 사용되는 행정적, 규제적, 기술적 방안은 점오염원의 억제를 위해 사용되는 원리와 다르다. 이는 비점오염원을 경제적으로 억제하기 위해 사용될 수 있는 접근 방법은 오염물질을 수거하여 처리하는 대신 발생원을 관리하는데 있다고 볼 수 있다. 최적관리기법을 이행하기 위해서는 먼저 개선을 필요로 하는 지표수와 지하수의 수질 문제를 파악한 후 수질문제에 기여하는 오염원과 부하량을 확인하고, 오염부하를 억제할 가장 이상적인 방법과 특정 관리방안을 설정할 필요가 있다.

농촌 지역의 비점오염을 저감하기 위해 환경부에서 제시하고 있는 최적관리기법은 다음과 같다. 하천변 수림대와 초지여과대를 설치하는 완충지대 조성, 풍화침식과 비산방지를 위한 토사침식 방지 방풍림 설치, 등고선과 평행하게 경운, 작물식재로 유출을 방지하기 위한 등고선식 경작법, 농약 및 비료성분이 함유된 농업용수를 초생, 우회수로 통해 배수하여 저감시키는 환경친화적 농업배수로, 농경지 배수의 저류, 침전을 위한 완충저류지 또는 침전연못, 해충의 발생을 감소시켜 농약살포량을 저감시키는 윤작농법,

토사 및 잡목쓰레기의 유출을 최소화 할 수 있는 사방댐, 급경사지의 방지하기위한 보호 식생석단, 토사 및 목편 유출을 저감하기 위한 산사태 방지사업 등이 있다.

##### 나. 비점오염원 최적 관리모델 개발

농촌지역의 비점오염을 저감하기 위한 최적관리기법을 도입하기 위해서는 장기간의 조사연구가 선행되어야 할 필요가 있다. 비점오염원 관리대책 수립을 위해서는 지역별 특색에 따른 수리·수문, 토양, 영농형태, 지역의 형상 및 규모 등 사전에 충분한 조사가 선행되어야만 한다. 또한 조사결과를 바탕으로 시범설치 및 운영을 통해 검증한 후 도입되어야 한다. 이를 위해 비점오염원의 영향이 큰 대표적인 소하천을 최적관리모델 대상지역으로 선정, 다양한 비구조적, 구조적 최적관리기법을 적용하여 소하천 집수구역 내에 토지이용 형태별로 최적의 저감효율을 갖는 다양한 유형의 최적관리기법을 적용하고 수질변화 추세를 종합 모니터링을 할 필요가 있다. 모니터링을 통해 얻어진 비점오염 자료를 이용하여 비점오염 모델링을 구축할 수 있다. 비점오염모델의 구축을 위해 먼저 대상구역과 모형의 적용목적에 맞는 적합한 모형을 선정하고, 입력자료를 구축한 후 모니터링 자료를 이용하여 모형의 보정과 검증을 통해 모형의 적용성을 평가한다. 비점오염모델을 구축하면 장기간의 비점원 오염물질 배출량을 시뮬레이션이나 여러 가지 다양한 최적관리기법의 적용에 따른 비점오염의 저감효과를 분석할 수 있다(박승우, 2006). 이로부터 어떤 대상유역을 선정하며 비점오염부하량을 효과적으로 저감할 수 있



그림 4 등고선식 경작법(좌)과 식생논배수로(우)

는 최적관리기법을 선정할 수 있게 된다.

### 5. 맺음말

농촌 유역에서의 오염물질 확산은 강우시 유역 전반에서 발생하는 비점원오염이 주를 이루고 있다. 강우강도나 지속시간과 같은 강우의 특성과 지표수의 수리·수문학적 특성이 오염물질의 배출에 직접 영향을 미친다. 따라서 농촌 환경을 효과적으로 관리하기 위해서는 물의 순환과 밀접한 관련이 있는 비점오염을 효과적으로 관리할 필요가 있다. 농촌 유역에서 강우시 배출되는 주요한 비점오염물질에는 유사, 유기물, 영양염류, 중금속 등이 있다. 농촌 유역의 비점오염 관리를 위한 접근 방식은 농촌 유역의 물순환 과정을 고려하여 단계별로 발생원 제어, 배출 제어, 유역 제어의 3단계로 나누어 추진할 수 있다. 비점오염을 저감하기 위한 방법으로는 관개효율 향상 등을 통한 농경배수 저감, 친환경 경작 실시, 비료 및 농약 사용방법 개선을 통한 친환경농업으로 전환하는 방법, 축산분뇨를 방치하거나, 노천야적, 무단방류 등을 억제, 축산퇴비(액비) 등은 동절기 결빙상태나 토양수분이 많은 조건에서는 살포를 지양하는 방법 등의 비구조적 방법과 저류지와 습지, 자연형 초생수로 등을 설치하거나 축사의 오, 폐수가 밖으로 배출되지 않도록 차단벽, 비가림시설, 유출방지턱 등을 설치하는 등의 구조적 방법이 있다. 최적관리기법은 농업비점오염원에 의해 초래되는 오염량을 수질목표에 상응하는 수준으로 줄이거나 억제하는 권장된 수단으로서 기술적, 경제적, 행정적으로 볼 때 가장 효율적으로 실현 가능한 영농방법으로 정의되며, 환경부에서는 다양한 최적관리기법을 제시하고 있다. 농촌유역의 비점오염을 저감하기 위한 최적관리기법을

도입하기 위해서는 장기간의 조사연구가 선행되어야 할 필요가 있으며, 비점오염모델의 구축을 통해 다양한 최적관리기법의 적용에 따른 비점오염의 저감효과를 분석하여 대상유역의 비점오염부하량을 효과적으로 저감할 수 있는 최적관리기법을 선정할 수 있게 된다. 이로부터 농촌의 수질환경개선을 위한 적합한 비점오염물질 저감을 위한 가이드라인이 마련될 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

1. 고익환, 윤석영, 노재화, 2008. 자연, 사회환경 개선을 위한 하천유지유량. 한국수자원학회지 41(4): 10-14.
2. 김승 외, 2004. Water for Our Future. 에코리브르.
3. 김태철, 성찬용, 이달원, 남상운, 노재경, 김대식, 2006. 지역기반공학, 에코시티사업단
4. 남귀숙, 이광식, 권상필, 배요섭, 윤경섭, 김영철, 2005. 농촌지역 비점오염물질 관리방향 연구 및 기술개발(I), 농림부 연구보고서.
5. 박승우, 2006. 비점원 오염 모델의 종류와 적용방법, 한국수자원학회지, 39(12), pp. 19-26.
6. 윤용남, 2007. 수문학-기초와 응용. 청문각
7. 윤춘경, 2006. 인공습지를 이용한 비점오염원 처리방법, 한국수자원학회지, 39(12), pp. 27-32.
8. 이광야, 김해도, 정광근, 최선화, 2005. 농촌유역 수질개선을 위한 농촌용수 공급체계 재정비방안연구. 농업기반공사 연구보고서.
9. 최지용, 2006. 비점오염원 관리정책의 현황과 전망, 한국수자원학회지, 39(12), pp. 12-18.
10. 환경부, 2006. 비점오염원관리 업무편람.
11. 환경부, 2007. 사업유형별 환경영향평가서 작성지침(안) 개발연구.