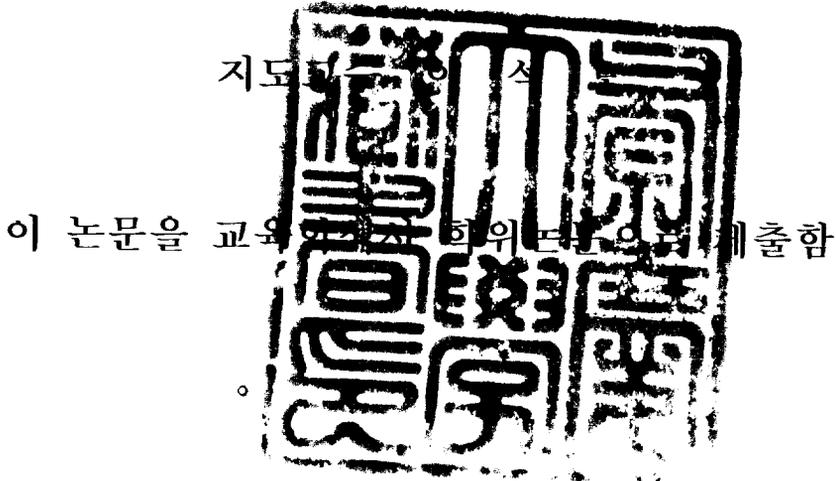


教育學碩士 學位論文

학교 주변의 소규모 저류지를 이용한
비점오염관리에 대한 환경교육



2005年 8月

釜慶大學校 教育大學院

環境教育專攻

金 美 惠

김미혜의 교육학석사 학위논문을 인준함

2005年 6月 日

주 심 이학박사 박 청 길



부 심 공학박사 김 상 단



위 원 공학박사 이 석 모



목 차

표 목차	ii
그림 목차	iii
Abstract	iv
I. 서 론	1
II. 문헌연구	4
2.1 비점오염원	4
2.2 비점오염원 관리 및 제어 방안	13
III. 연구내용 및 방법	35
3.1 교과서 평가 및 설문조사	35
3.2 비점오염원에 대한 현장실험	35
3.3 비점오염원 관리를 위한 학습지도안 작성	39
IV. 연구결과 및 고찰	40
4.1 환경교육 평가	40
4.2 비점오염원에 대한 저류지의 저감효과	48
4.3 비점오염원 관리를 위한 환경교육	72
V. 결론	82
참고문헌	85
Appendix	90

표 목 차

Table 2.1.1 Various types of non point source reduction facility	18
Table 3.2.1 Method of water analysis	39
Table 4.1.1 설문항목 및 질문내용	47
Table 4.1.2 설문조사 결과	48
Table 4.2.1 Water quality in the reservoir	49
Table 4.2.2 호소수질 환경기준	50
Table 4.2.3 Variation of rainfall(1st)	51
Table 4.2.4 Variation of rainfall(2nd)	52
Table 4.2.5 Variation of rainfall(3rd)	53
Table 4.2.6 Result of water quality analysis(1st)	54
Table 4.2.7 Result of nutrient analysis(1st)	54
Table 4.2.8 Result of water quality analysis(2nd)	57
Table 4.2.9 Result of nutrient analysis(2nd)	58
Table 4.2.10 Result of water quality analysis(3rd)	61
Table 4.2.11 Result of nutrient analysis(3rd)	61
Table 4.2.12 Runoff volume(1st)	64
Table 4.2.13 Runoff volume(2nd)	65
Table 4.2.14 Runoff volume(3rd)	65
Table 4.2.15 Loading and removal efficiency(1st)	67
Table 4.2.16 Loading and removal efficiency(2nd)	68
Table 4.2.17 Loading and removal efficiency(3rd)	69
Table 4.2.18 Technical methods of non-point source control	71

그림 목차

Fig. 3.1.1 Sampling site	36
Fig. 4.2.1 Variation of rainfall event(1st)	52
Fig. 4.2.2 Variation of rainfall event(2nd)	52
Fig. 4.2.3 Variation of rainfall event(3rd)	53
Fig. 4.2.4 Variation of organic matters and nutrient concentration(1st)	55
Fig. 4.2.5 Variation of organic matters and nutrient concentration(2nd)	59
Fig. 4.2.6 Variation of organic matters and nutrient concentration(3rd)	62
Fig. 4.2.7 Variation of runoff volume(1st)	64
Fig. 4.2.8 Variation of runoff volume(2nd)	65
Fig. 4.2.9 Variation of runoff volume(3rd)	66
Fig. 4.3.1 Flowrate measurement	79
Fig. 4.3.2 Flow-chart for the analysis of suspended solid	80

Environmental Education for the Management of Non-point Source Pollution with Small Reservoir near the High School

Mi Hye Kim

*Department of Environmental Education, Graduate School,
Pukyong National University*

Abstract

The sources of water pollution may be divided into point sources and non-point sources. Point source pollutants are regulated and controlled by the environmental standards, and the basic environmental facilities have been expanded and improved annually to treat them. According to researches in the characteristics and the treatment methods of each point source pollutant, it has been made to install the environmental facilities.

Although purification of point source pollutants may abate water pollution, the quality of water bodies is getting worse, nowadays. Recent management of water quality focused on point source pollutants, such as domestic and industrial wastewater. Effluent from artificial

facilities has been effective partially.

In environmental education, students need to realize the seriousness of water pollution and importance of non point source pollution management along with point source pollution management. Then they were taught the concepts of point and non-point source pollution which is not described in high school textbooks. They also noted that water pollution control is not effective with point source pollution management alone.

In practice, non point source samples like rainwater before and after passing through the reservoir in school are collected. Then the quality of these water samples is compared and the removal efficiencies are estimated. Students are persuaded that, by the comparative analysis, management of non-point source pollution is as important as point source pollution and it should be taken into account along with point source pollution for effective water pollution control.

This study is aimed to increase the interest and the awareness of environmental protection among high school students by practicing environmental survey themselves.

I. 서론

산업이 발달할수록 인간의 생활은 점점 편리해지지만 그 역작용으로 환경오염이 갈수록 증대되고 있는 실정이다. 환경오염 중에서도 대기오염이나 토양오염과 함께 수질오염이 우리 인간에게 미치는 해악은 매우 심각하다고 할 수 있다. 산업혁명 이후 공장폐수·도시하폐수 등의 과다 배출 때문에 자연수역이 점점 오염되자 선진국에서는 자국 수역의 오염방지 및 이미 오염된 수질의 복구를 위하여 연구, 법적규제, 시설투자 등을 활발히 하고 있으며, 범지구적인 환경보전을 위하여 국제간의 협력이 진행되는 등의 수질보전을 위한 노력이 활발하게 이루어지고 있다.

우리나라도 1960년대 초부터 추진된 국가경제개발계획에 따라 많은 공장이 건설되었고, 산업 활동이 급속하게 증가하였으며, 인구의 도시집중 또한 가속화됨으로써 공장폐수와 도시하폐수의 배출량이 급속히 증가되어 산업발전과 개발정책의 가속화에 비례하여 필연적으로 공공수역으로의 오염부하가 가중되어 왔다. 1960년대 말부터는 주요 하천과 연안의 수질오염이 사회문제화 되기 시작하자 정부에서는 공해방지법, 환경보전법, 해양오염방지법 등을 공포하였고 환경보전업무를 전담할 환경청(현 환경부)을 발족시켰다.

이같이 범국가적 차원으로 수질을 관리함에도 불구하고 수질이 향상되기는 커녕 점점 더 오염되고 있는 이유는 그동안의 수질관리가 주로 도시하수, 공장폐수 등 점오염원을 중심으로 관리되어 왔기 때문에 강우시 비점오염원에서 유출되는 오염물질은 적절히 관리되지 못했기 때문으로 분석할 수 있다.

수질오염물질의 발생원은 크게 점오염원과 비점오염원으로 구분할 수

있는데, 점오염원은 환경기준에 의해 규제 및 관리가 되고 있으며, 비점오염원에 비해 관리가 용이하므로 점오염원의 오염물질을 처리하기 위한 환경기초시설들이 매년 확충되었고, 이에 따라 환경기초시설의 설치에 필요한 점오염원별 배출특성이나 처리방법 등의 조사도 많이 이루어져 왔다.

그러나 점오염원의 오염물질 정화만으로는 수질악화를 둔화시킬 수는 있어도 수질은 향상되지 않고 점점 더 악화되고 있는 실정인데 이는 최근까지 주로 생활하수와 산업폐수 등의 점오염원에 국한하여 중점적으로 수질관리를 실행해서 부분적으로 효과를 얻을 수는 있었으나, 점오염원 이외의 비점오염원이 강우시 대량으로 하천 및 호소에 유입되기 때문에 점오염원에 국한한 수질관리만으로는 호소나 하천 등의 오염저감에는 한계가 있기 때문으로 추정할 수 있다.

한편, 환경문제는 그동안 인류가 보다 나은 삶을 영위하기 위해 행해온 무분별한 자원채취와 개발행위의 소산으로서 그 심각성이 지구 생태계의 자정능력 상실이라는 총체적 위기로 부각되고 있다. 이러한 지구 환경문제를 해결하기 위한 다각적인 노력들 중에, 어린 아동에서부터 성인에 이르기까지 체계적인 환경교육을 통해 환경친화적인 생활양식을 뿌리내리도록 하는 것이 우선되어야 한다는 견해들이 점점 확대되고 있어, 이러한 시각에서 최근 환경교육의 중요성이 매우 강조되고 있다.

그러나 지금까지의 환경교육은 그 역할을 제대로 수행하지 못한 것으로 평가받고 있는 실정이다. 즉, 「환경에 대한 교육」을 통하여 환경에 대한 지식과 환경오염의 해결을 위한 기술을 배양하는데 힘써 왔지만 이러한 노력이 환경을 위한 실천적 태도의 함양과 환경 보전적 활동으로 연결시키는데 있어서는 실패해온 것이다. 이러한 가운데 환경문제의 해결을 위해서는 실천적인 환경교육을 통하여 달성될 수 있다는 관점에서 앞으로의 환경교육은 「환경을 위한 교육」이 되어야 한다는 당위성이 제기되고 있는 것이

다.

따라서, 본 연구에서는 고등학교 학생들을 대상으로 하는 환경교육에서 학생들에게 수질오염의 심각성을 일깨우고 수질오염 방지 대책으로 점오염원 못지않게 비점오염원 관리가 중요함을 인식시키기 위한 교육을 행하는 것이 목적이다. 세부 내용으로는 현 고등학교 교과서에 기술되어 있지 않은 점오염원과 비점오염원의 개념을 학생들에게 인식시키고, 점오염원의 관리만으로는 수질관리가 제대로 이루어지지 않음을 주지시킨 후, 학생들이 손쉽게 접근할 수 있는 학교주변 환경을 환경교육장으로 활용하여 우수 등에 의한 비점오염물 발생량을 측정하도록 한다. 이러한 교육 과정을 통하여 학생들 스스로가 작은 환경문제들을 접해봄으로써 궁극적으로는 학생들의 환경보호에 대한 관심과 인식 증대를 기할 수 있을 것으로 기대된다.

II. 문헌연구

2.1 비점오염원

2.1.1 비점오염원의 의미

수역의 오염도는 수계로부터 유입되는 오염물질량과 유입수량에 의하여 결정되며, 유입되는 오염물질량은 유역에서 배출되는 양과 유하과정에서 물리, 화학 및 생물학적 작용에 기인한 오염물질 자정량에 의하여 결정된다. 따라서 수질관리를 위해서는 수질에 미치는 오염물질량의 조절과 수량관리가 필요하며, 또 발생하는 오염물질 양 중 인위적으로 관리가 가능한 점오염원과 관리가 불가능한 비점오염원으로부터 발생하는 오염물질 배출량의 산정이 필요하다.

공공수역으로 유입되는 오염물질은 발생원에서의 존재형태나 배출형태에 따라 크게 점오염원(point source)과 비점오염원(nonpoint source)으로 구분할 수 있다. 점오염원은 오염물질이 특정한 지점 또는 비교적 좁은 지역 안에서 발생하는 것을 가리키며, 오염물질이 배출되는 지점을 분명히 알 수 있는 오염원으로서 한 지점 혹은 좁은 구역 내에서 유출되는 오염원을 뜻하며, 대표적인 것에는 생활하수, 하수 및 분뇨처리장 배수, 산업폐수, 축산폐수 등이 있다. 그에 반해 비점오염원은 점오염원이 특정한 배출경로를 가진 것과는 달리 배출원을 알기 힘든 곳으로부터 유출되는 오염원을 말하며 도시노면배수나 농경지배수와 같이 불특정한 배출경로를 통해 발생된다.

수질환경보전법상의 '특정시설'에서 '기타수질오염원'으로 명칭이 변경된 수산물양식시설, 골프장시설, 운수장비·정비 또는 폐차장시설, 농축수산물 단순가공시설, 사진처리시설 등과 여기에 추가된 농지, 하역장, 제품야적장, 토지형질변경지역 등의 기타시설이 비점오염원에 해당된다. 즉, 비점오염물질은 주로 비가 올 때 지표면 유출수와 함께 유출되는 오염물질로서 농지에 살포된 비료나 농약, 토양침식물, 축사유출물, 교통오염물질, 도시지역의 먼지와 쓰레기, 자연동·식물의 잔여물, 지표면에 떨어진 대기오염물질 등을 말한다. 따라서 모든 오염물질을 포함한 채 배출되는 빗물이 실제로 주된 비점오염원이 된다.

점오염원은 발생위치와 발생량을 관별할 수 있으며 통제가 비교적 용이하나 비점오염원의 경우 배출지점이나 배출량을 측정하기가 힘들 뿐만 아니라 통제하기가 매우 어렵고 지형이나 지질, 토지 이용 형태에 따라 성분과 양이 크게 변한다.

뿐만 아니라 오염 부하량을 점오염원과 비점오염원으로 명확히 구별하기 어려운 양자의 중간적인 성격을 가진 부하발생원도 존재하고, 점오염원과 비점오염원이란 용어로 정의하기가 불충분한 경우도 있다.

비점오염원의 배출량에 영향을 미치는 요소는 강우강도와 강우 지속시간, 토지이용형태, 최종 강우 후의 경과 일수, 불법적인 오염물질 투입상태 등이며, 논 및 밭을 경작하는 지역은 퇴비, 지형, 지질, 기후 등이고, 산림 지역은 낙엽이 썩으면서 형성된 유기물 층이 주 영향요소이다.

2.1.2 비점오염원 관리의 필요성

환경기준에 의해 점오염원으로부터 배출되는 오염물질들은 그 양이 규제되고 있는 반면, 비점오염원들은 그다지 명확하게 드러나 있지 않고 상당히 넓게 분포되어 있어 현재로서는 규제가 여러 모로 미흡하여 상당량의 비점오염물질들이 유입되고 있다. 따라서 점오염원들에 대한 규제가 계속 강화되고 환경 기초시설들이 확충됨에 따라 점오염원의 관리는 잘 이루어지나 비점오염원이 수질에 미치는 영향은 갈수록 증가할 것이며, 이에 따른 비점오염원의 효율적 관리가 점점 더 그 비중을 더하게 될 것이다. 특히, 수질개선을 위해서는 점오염원의 규제와 병행하여 비점오염원에 대한 관리도 시급한 실정으로 특히 도시지역은 불투수성 포장비율이 높아짐에 따라 강우시 피크 유량도 커지고 이에 따라 비점오염물질의 이동력도 증가하여 수질과 수량적인 측면에서 큰 영향을 끼치고 있다. 일부 독성오염물질의 경우, 비점오염원에 의한 농도가 점오염원보다 높은 항목도 존재하며, 강우시 유입량도 막대하여 수질환경에 큰 영향을 미치고 있다. 미국연방환경청(USEPA)의 보고에 의하면 1972년에 수질청정법(Clean Water Act : CWA)이 통과한 후 점오염원에 대한 집중적인 관리로 오염물질의 유입이 감소되어 수질의 악화가 둔화되었으나 비점오염원의 영향으로 여전히 수질은 향상되지 않고 완만하나마 계속적으로 나빠지고 있어서 점오염원의 규제만으로는 수질개선의 한계가 있음을 인식하고, 비점오염원 배출에 대한 국가오염물배출관리시스템(National Pollutant Discharge Elimination System : NPDES) 허가규정을 적용하기 위한 프로그램 개발을 위해 노력하고 있다. 미국 국회에서도 Water Quality Act를 통해 비점오염원의 관리를 법제화하고 모든 주정부로 하여금 비점오염원이 수질에 미치는 영향을 파악하여 그 대책을 수립하도록 규정하였다.

친환경적이고 경제적인 수질관리방안을 수립하기 위해서는 비점오염이 수질에 미치는 영향이 보다 정확하게 이해되어야 하며 현재 이를 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

비점오염원은 지표면에 퇴적된 각종 오염물질들이 강우 시 한꺼번에 유출되어 단시간 내에 하천으로 유입됨에 따라 호소 및 하천의 부영양화를 유발하는 등 수질악화의 원인이 되고 있다. 하수 처리율이 향상되고 경제 활동 수준이 증가할수록 강우 시 지면으로부터 유출되는 비점오염원 부하가 공공수역의 수질에 미치는 영향이 높아지고 있는데, 비점오염원으로부터의 오염물질의 유출특성은 기후, 지형, 일시, 수문조건에 따라 배출양상이 다양하므로 수질오염에 미치는 영향을 정확하게 정량적으로 파악하는 일이 매우 어려우며, 그것을 해석하기 위한 기초 자료마저 매우 부족한 실정이다.

도시지역은 산림 및 농경지역보다 더 많은 지면 유출수와 영양염류 및 토사 등의 비점오염물질을 하천에 유입시키지만 농경지역 또한 농지의 비료, 살충제 살포 및 축산 활동에 의해 발생하는 비점오염물질을 하천으로 유입시키게 된다(Loehr, 1974). 특히 축산에 의한 비점오염원이 일부 점오염원보다 고농도의 오염물을 유출시키기도 하고, 농지의 경우 비록 농도는 낮더라도 발생면적이 넓어 총부하량의 큰 비중을 차지한다.

수도권 주민의 주 상수원인 한강수계의 팔당댐 상류지역에 대한 환경부의 '비점오염원연구용역' 결과, 1999년 말 기준으로 총 발생부하량(BOD기준) 16만 9702t/년 중 생활하수·산업폐수·축산폐수 등 점오염원에서 발생하는 오염부하량은 80.4%인 13만 6509t/년이고, 비점오염원에서 발생하는 오염부하량은 19.6%인 3만 3193t/년으로 조사되었으며, 총배출부하량(BOD기준)으로는 비점오염원이 44.5%에 이르는 것으로 추정되어, 비점오염원이 수질오염에 상당한 영향을 미치는 것으로 나타났는데, 4대 수계에 속하는

금강, 낙동강, 영산강 수계도 이와 비슷한 양상을 보일 것으로 추정된다.

따라서 규제기준이 설정되어 있는 점오염원들에 대한 규제가 계속 강화되고 환경기초시설들이 확충됨에 따라 비점오염원이 수질에 미치는 영향력의 비중이 점차 증가할 것이다. 즉, 미래의 수질관리 성공여부는 비점오염원의 효율적인 관리가 매우 큰 변수로 작용할 것이므로 공공수역의 수질관리를 위해서는 토지이용과 지역특성을 고려한 비점오염원 부하량의 합리적인 조사, 비점오염물질 저감을 위한 관리기술의 개발, 비점오염원 관리정책의 개발 등을 중점적으로 실시하여 현재까지의 점오염원에 치중된 수질관리에서 비점오염원을 고려한 수질관리 체제로 전환해야 할 것이다.

우리나라의 환경부 수질보전국에서는 2000년도에 바람직한 비점오염원 관리를 위한 기본적인 「비점오염원 관리요령」을 마련하여 일반적인 비점오염원의 관리사항 및 준수사항을 제시하고 있는데, 비점오염원에 대한 인식부족은 물론 이러한 사항들이 법적 의무 사항이 아니기 때문에 제도적, 기술적 저감대책이 부족하므로 비점오염원 관리를 위한 보다 체계적이고 적극적인 노력이 필요하다(낙동강수계관리위원회, 2004).

2.1.3 비점오염원의 특성

비점오염부하는 논과 같이 인위적인 관개시스템이 확립되어 있는 경우를 제외하면 강우에 의하여 발생된다. 즉, 강우에 의한 세출(洗出) 및 세류(洗流)작용에 기인한다. 빗방울, 표류, 강수 등에 의한 물리 화학적 풍화작용과 유수의 운반작용에 의하여 유출물질이 원위치에서 유거(流去)된다. 유출물질의 형태, 용존상태가 어떤 입상(粒狀)인가에 따라 부하의 발생 및 유송형태가 달라지며, 우수의 유출성분도 이것에 의하여 지배된다. 이와 같이 강우에 의하여 유역에서 발생하는 부하는 강우조건과 유역의 토지이용형태

에 따라 지배되는데, 강우조건에는 강우량, 강우강도, 강우계속시간 및 선행강우 등이 있고, 유역의 토지이용형태에는 산지, 논, 밭, 과수원, 시가지 등의 구분뿐만 아니라 식생이나 지질, 시가지의 용도 지역이나 표면상태에 따라 달라지는 유역특성 및 유출특성이 있다.

강우와 유역 간의 접촉면인 지표면에서의 침투능에 의한 우수의 분리과정은 표면유출의 발생과 그 규모를 좌우하며, 부하의 발생뿐만 아니라 수문학적으로 중요한 과정이다.

우수의 유출은 표면유출, 중간 유출, 지하유출로 나눌 수 있다. 입상물질의 대부분은 우수의 침투능을 상회하는 강우 강도가 큰 강우나 강의 유량이 큰 경우에 발생하는 표면유출에 편승하여 지표류로서 지표면상을 유하한다. 물론 이러한 입상물질은 유하 도중에 요지(凹地)에 저류되기도 하고, 강우수 자체에 포함되어 있는 용존 및 입상물질과 합해지거나, 선행 강우시 저류되어 있던 용존 및 입상물질에 의해서 탈착 혹은 용해된 용존 물질과도 함께 유하한다.

지표면 하에 침투된 우수는 토양자체에 함유되어 있던 수분을 하방이나 측방으로 밀어내거나, 토양입자나 수분사이에서 수질교환(용출, 흡탈착 등)을 행하면서 연직하방으로 이동(강하침투)하거나 횡방향으로 이동(측방침투) 하며, 산복(山腹)이나 구릉지의 사면 등에서 지표면에 재차 나타나는 중간유출과 강하침투에 지배되어 지중(地中)을 이동하다가 그대로 공공용수역의 수표면 하에 유입하는 지하수 유출이 있다. 또 중간유출에는 표층에서 유출하기 때문에 표면유출보다 늦게 유출이 시작되는 것과 비교적 빠른 시기에 유출되어 표면유출과 더불어 직접유출(단기유출, 홍수유출)을 구성하는 빠른 중간유출과 地中에서 체류시간이 크고 직접유출보다는 상당히 늦게 지층경계를 유출해서 지하수 유출과 더불어 간접유출(장기유출, 저수 유출)을 구성하는 늦은 중간유출이 있다.

이와 같이 지표면에서의 침투능에 기인한 우수의 분리과정은 표면유출의 발생과 그 규모를 좌우할 뿐 아니라, 비점오염부하의 존재위치와 존재 형태를 통하여 부하의 발생과정을 규정할 수 있다. 일반적으로 시가지의 가옥, 도로 등 불투수성 지표면상의 퇴적부하는 현존하는 부하로서 진정한 비점오염부하이며, 그 부하량은 선행강우 후의 무강우기간이 길어도 산정이 가능한 유한량이라 판단된다.

반면, 산지나 농경지와 같이 면적이 넓은 연직방향의 투수성 지표면에서 발생하는 부하는 잠재부하이며, 그 부하량은 규모가 큰 강우에 대해서 거의 무한량이다.

강우 자체도 부하발생원이며 河道나 湖面 등 공공용수역에서의 강수는 직접적인 부하로서 유출율, 유달율과는 관계가 적다. 그러나 강우 초기나 강우량이 적을 때에는 강수자체에 고농도의 오염물질을 함유하는 경우가 있는데, 이것은 강우의 rain out와 wash out의 양 작용에 의하여 대기 중의 물질을 포함한 강우가 내리기 때문이다. 따라서 강수 자체의 부하발생량은 대기오염의 상태에 따라 달라질 수도 있다.

우수는 빗방울로서 표토를 박리시킬 뿐 아니라, 산성비의 경우는 표토층의 칼슘과 마그네슘 등 무기염류를 용출하는 작용도 가지고 있다.

따라서 비점오염원으로부터 유출되는 오염물질의 특성을 규명하고자 할 때는 오염물질이 강우와 함께 유출되므로 강우의 불확정성에 따라 오염물질의 유출현상도 불확정적이기 때문에 단편적인 조사 결과만을 가지고는 수질보전대책의 기초 자료로 활용할 수 없다는 어려운 점이 있다(라덕관·김기섭, 1996).

비점오염원의 유출부하는 토지이용 형태에 따라 차이가 있다. 일반적으로 토지이용별 비점오염원 유출특성에서 유량과 오염물질 농도는 강우사상과 토지이용 특성에 따라 부하변동과 침투시간이 크게 차이가 나는 것으로

나타나며, 토지이용형태에 다소 차이는 있으나 대부분 유량침두피크보다는 오염물질 농도 침두피크가 앞서 나타나는 경향을 보인다. 또한 부하침두피크는 대부분 농도피크보다는 유량피크와 유사한 시기에 나타나 오염물질의 부하량은 농도보다는 유량에 의한 영향이 큰 것으로 알려져 있다. 특히 유량의 변화는 강우사상에 따라 다소 차이는 있으나 유역경사도가 높은 도시지역의 경우 유량이 급격히 증가 또는 감소하는 경향을 보이며, 급속한 우수의 유입과 유출이 일어나고, 논과 밭 지역은 완만한 증감곡선을 보이는 것이 특징이다. 이처럼 비점오염원은 강우시 다량으로 유입되기 때문에 침두유량과 농도, 그리고 시기에 따른 수질영향 조사가 반드시 이루어져야 비점오염원의 저감을 위한 시설 선정과 효율을 높일 수 있을 것이다(이현동·배철균, 2002).

토지이용별 오염물질의 농도는 강우 시에 유량이 급격히 증가하여도 유량의 증가폭에 비례하여 증가하거나 감소하지는 않으며, 유량의 증가와 더불어 약간 증가하는 양상을 나타낸다.

도시지역의 경우 가옥 내나 도로의 불투수성 지표면에 퇴적되어 있던 오염물질이 초기 강우와 동시에 배출되어 유하하기 때문에 강우 초기에는 유량증가와 더불어 오염물질의 농도가 증가하다가 강우가 지속됨에 따라 유량증가에 기인한 희석효과로 인하여 그 농도가 점점 낮아진다. 특히 강우에 의하여 도시지역 주변의 부유물이 배출되어 유하하기 때문에 강우 초기에는 SS의 농도가 급격히 증가하다가 강우가 지속됨에 따라 감소하는 경향을 나타내며, T-N의 농도는 강우 시 유량증가에 의한 희석효과로 인하여 그 농도가 낮게 나타나고 그 변화 폭도 미소하다.

논 및 밭 지역의 경우는 강우에 의하여 토양으로부터 유출되는 토사 등 무기성 부유물의 영향으로 인하여 SS농도의 변화만 뚜렷하게 나타나고, 유량변화에 따른 오염물질 농도의 변화폭은 미소한 편이다.

산림지역의 경우는 강우에 의하여 유량이 증가되면 산림주변으로부터 낙엽이 썩으면서 형성된 난분해성의 유기물질이 유입되기 때문에 BOD 농도에 비하여 COD 농도의 증가 폭이 크게 나타나며, 강우에 기인된 무기성 부유물질의 유출에 의하여 SS 농도의 변화가 뚜렷하게 나타난다. 특히 민둥산일 경우 적은 강우에서도 즉시 표면유출이 발생되며, 이 경우 직접유출에 의한 유출율이 거의 40% 이상에 달한다. 그러나 비교적 산림이 형성되어 있는 지역에서는 20~30mm이상의 강우가 아니면 뚜렷한 표면유출 현상은 나타나지 않는다.

‘총유효유출량’이란 강우 시작부터 종료 시까지의 총유출량 합을 배수면적으로 나눈 값이다. 도시지역에서의 유출은 건물의 밀집, 도로의 포장율 및 주차장 등의 증가에 따라 침투성 지표면이 감소하여 지하 침투가 차단됨으로서 유출시간이 빨라짐과 동시에 오염물질의 유출율이 크며 유역내 배수로 등의 보급 및 정비율이 증가함으로서 배수기능이 강화되는 한편 수질의 자연 정화 기능은 약화되는 특성을 가지고 있다. 미국의 경우 도시 하류 하천의 약 80% 정도가 비점오염원에 의해서 수질이 지배된다.

농업지역에서 유출되는 오염물질은 시비 등에 다른 영양염류와 농약살포에 의한 유해물질이며, 평상시의 유출은 지하수에 의한 유출이 대부분이며 계절에 따라서 관계용수가 일부 포함될 수도 있으나 비교적 유량 및 수질이 안정되어 있고, 부유물질은 농수로 또는 하도 내에 침전하게 되어 용존물질의 유출량이 많다.

산림지역은 토지 이용면에서 상대적으로 차지하는 비율이 매우 높아서 수역에 유입되는 오염부하량 중에서 큰 비중을 차지하며, 경제림 등 인공림 지역에서의 벌목이나 시비에 따른 오염물질 유출량이 증가하는 추세이고, 강우 시 탁류에 의한 산림표토의 수계유입이 오염부하 요인으로 작용한다.

유출량에 따른 오염물질배출량은 도시지역, 논지역, 밭지역, 산림지역 순으로 높게 나타난다. 토지이용에 따른 전체 오염물질 부하량 중 비점오염원이 차지하는 비율은 BOD의 경우 약 12%, T-N의 경우 약 60%로 보고 있으며, 토지이용형태별 단위면적당 연간 오염물질 배출량을 비율로 환산하면 도시가 월등히 높게 나타난다.

강우시 유량증가에 따른 오염물질의 농도는 유량이 증가함에 따라 약간 증가하는 양상을 나타내지만 유량이 증가하는 비율에 비하여 희석효과 때문에 그 증가폭은 그다지 크지 않다.

비점오염원의 토지이용형태별 사용 가능한 배출원 단위 자료값을 얻기 위해서는 많은 지역을 대상으로 조사 횟수를 늘려 조사해야 하며, 특히 오염물질 배출원 단위는 강우량에 따라 크게 좌우되므로 원단위 산정 시 강우특성을 면밀히 분석할 필요가 있다(라덕관·김기성, 1996).

2.2 비점오염원의 관리 및 제어 방안

2.2.1 비점오염원의 관리와 제어를 위한 연구 사례

비점오염원들은 토지이용 형태에 따라 편의상 몇 가지로 분류할 수 있다. 예를 들어 미국연방환경청에서는 농업(축산포함, agriculture), 임업(silviculture), 건설(construction), 도시 강우 유출(urban run-off), 광산(mining), 매립(Land Disposal), 수로변경(Hydrologic Modification), 기타의 8개의 분류를 사용하고 있다. 이들을 보다 크게 농업(agriculture), 도시(urban), 그리고 광산(mining)으로 분류하기도 한다.

이들 비점오염원들이 수질에 미치는 가장 중요한 영향은 침전물, 영양염

류, 미생물 특히 병원 미생물, 살충제, 독극물, 염도(salinity), 생태계 변이(habitat alteration), 그리고 산소 요구량이며(ASIWPCA, 1985) 이들 외에도 지역에 따라 유량, pH, 수온, 그리고 특정한 화학물질 등에 영향을 미치는 것으로 밝혀져 있다. 그러나 이들 영향의 정확한 기작에 대해 아직 충분히 이해하지 못하고 있으며 보다 효율적인 관리를 위해서는 앞으로 이에 대한 많은 연구가 필요할 것이다. 현재 많이 적용되고 있는 비점오염원의 관리방안들은 Best Management Practices(BMP_s)라 불리는데 이들 BMP_s는 오염원의 종류, 토지이용 형태, 지역의 특성 등을 고려하여 선정되며, 때로는 복합적으로 이용되기도 한다. 현재까지의 예를 보면 비용이 많이 드는 구조물이나 설비 등을 설치하는 방안들이 관리 방법 및 관습의 개선을 통한 방법보다 그렇게 효율적이라고 말할 수 없다.

3가지(농업, 도시, 광산)로 분류된 비점오염원들에 각각 적용되는 주요 BMP_s는 다음과 같다.

농업지역에 있어서는 보전 경작(conservation tillage), 수로 때입히기(grassed waterways), 강변 완충지대 설정(buffer zones near riparian habitats), 농약·비료 및 관개의 통합관리계획(integrated pest, nutrient and irrigation management plans), 농업화학물질 관리계획(agri-chemical management practices) 등이 시행된다.

도시지역에 주로 적용되는 BMP_s는 배출되는 빗물의 양을 관리하고 빗물과 함께 유출되는 오염물질을 줄이는 데에 중점을 둔다. 하수관거가 분리식 또는 합류식이나에 따라 시행될 BMP_s의 방법들이 다르다. 합류식 시스템은 평상시 오수를 처리장으로 운반하는 차집관거(interceptor)를 갖고 있다. 비가 오는 경우, 차집관거 또는 처리장의 용량이 넘쳐 합류오수가 주변으로 월류하게 된다. 몇몇 보고서에 따르면 이들 월류되는 합류오수를 저장하여 나중에 처리장의 용량에 여유가 있을 때 처리하는 것이 하수

관거를 분리하는 방안보다 수질에는 더 좋은 영향을 미친다고 한다. 이와 같은 합류오수의 월류를 방지하는 방안과 더불어 도시지역 BMPs는 토양의 침식방지, 침전물 유출제어, 빗물 유출제어, 습지보호를 위한 많은 방안들을 포함한다.

광산지역에서 비점오염원으로부터 배출되는 오염물질은 장소에 따라 그 양과 조성이 다양하여 관리방안도 지역에 따라 차이가 많다. 채광활동에 따라 관리방안이 전채광(pre-mining), 채광중(during-mining)과 채광후(post-mining) 방안으로 나뉘어 질 수 있다. 채광 전에는 나중을 대비해 지질, 토양, 그리고 다른 천연자원에 관해 가능한 한 많은 양의 데이터를 수집해 놓을 필요가 있다. 채광 중에는 깨끗한 물을 채광지역에서 분리시킬 방안이 마련되어야 하며 또한 오염되어 유출되는 빗물을 처리할 시설이 필요하다. 광산지역으로부터 배출되는 산폐수 및 기타 독성을 함유한 폐수는 가능한 한 현장에서 처리하는 것이 바람직하다. 이들 처리로부터 배출되는 슬러지는 대부분의 경우 금속의 함량이 높다. 채광 후에는 주로 재이용을 위한 관리 방안들이 적용된다. 예를 들면 오염된 지역의 표피를 다른 깨끗한 흙으로 바꾸고 표면에 때를 입히거나 녹색지대로 만드는 것과 같은 방안들이 사용된다.

비점오염원의 관리는 발생억제, 지표면 오염물질 제거, 강우유출수의 직접 하천유입억제, 오염물질 저감시설 설치 등의 단계별로 고려할 수 있으나 오염원으로 작용하기 전에 오염물질이 발생하는 지점에서부터 관리되는 것이 가장 중요하다(낙동강수계관리위원회, 2004).

비점오염물질은 대개 많은 비가 와야 유출되기 때문에 일간, 계절간 배출량의 차이가 크고 예측과 정량화가 어려우며, 인위적 조절이 어려운 기상조건, 지질, 지형 등에 영향을 많이 받는 특성을 지니고 있기 때문에 제도적으로 배출 기준을 정하기 어려운 문제점이 있다.

특히, 비점오염원의 방류점은 무수히 많고 빗물과 함께 토지로부터 하천으로 유입하는 형태이므로 오염발생원 관리를 하더라도 제거되지 않은 비점오염원의 관리대책에는 하천연변(riparian Area)의 관리가 중요하다.

수변선의 연안을 따라 일정거리의 너비를 가진 식생여과대, 인공 습지와 같은 일종의 완충지대(buffer Strips)를 설치하는 것이 그러한 관리 방법이며, 그 역할은 식물정화공정(phytoremediation) 기능에 의해 지표유출수의 오염물질을 침전, 여과, 흡착하고 유입수를 일시 저지하여 지하 침투를 지연시키는 능력을 지니도록 하는 것이다. 선진 외국에서의 BMPs(Best Management Practices) 실시 예를 살펴보면 완충지대 식생의 자연정화능력을 이용한 처리가 대단히 효과적임이 밝혀지고 있고, 이는 비점오염원의 배출 특성에 잘 부합되는 처리방식이라 할 수 있다(Paterson and schnoor, 1993). 예를 들면 포플러나무와 같은 식물을 식생완충대로 이용할 때 비점오염원 중에서도 다소 난분해성인 농약 및 유기성 오염물질의 처리에도 효율적인 결과를 나타냄을 여러 연구 결과 입증해보였다(Jensen, 1983).

우리나라에서도 다음과 같이 수질개선과 수량 확보 및 생태계 유지를 위한 수변완충녹지를 조성하여 비점오염원 관리와 생태계 복원이라는 두 마리 새를 동시에 잡을 수 있는 방안을 강구한 연구가 있다.

수변의 완충녹지(buffer zone)는 물을 저장하고, 물에서 유해한 물질을 제거하며 수중과 육상의 식물과 동물을 위한 서식처를 제공하는 등 많은 기능들을 수행하고 있다. 그러나 지금까지는 수질개선과 수량 확보 및 생태계유지를 위한 수변완충녹지의 중요성이 제대로 인식되지 못하여 많은 수변의 완충녹지가 훼손되어 왔다. 다행히 1998년 11월 「팔당호 등 한강수계 상수원 수질관리특별종합대책」에서 상수원의 수질을 보전하고 개선시키기 위한 예방대책의 일환으로 수변구역제도가 도입되어 수변의 완충녹지의 보전과 훼손된 완충녹지의 복원의 길이 열렸다. 수변완충녹지의 수질개

선 뿐만 아니라 생태계보호, 친수환경 제공, 수질에 대한 국민의 심리적 안전성 제고 등 여러 가지 기능을 동시에 이룰 수 있는 물환경을 지탱하는 가장 중요한 부분이다. 수변완충녹지를 효율적으로 조성하기 위해서는 개발전의 수문조건에 최대한 적합, 비점오염원 저감기능 강화, 하천흐름의 안정화, 하천 서식지와 식생 회복, 하상구조의 안정화 등이 도모될 수 있도록 하여야 한다. 수변완충녹지 적정규모를 결정하는데 있어서도 자원의 현재 혹은 잠재적 가치, 유역과 완충지 특징, 인접 토지이용의 강도, 완충지의 수질 및 서식처에 끼치는 기능 등을 종합적으로 검토하여야 한다. 그리고 관리에 있어서도 오염원 이동억제와 오염물질 저감기능 유지뿐 아니라 생태적 기능과 여가 공간 및 심미적 기능을 효과적으로 유지토록 관리가 이루어져야 한다(최지용, 2002).

다음은 비점오염원 저감을 위한 우수유출수 관리방안을 모색한 연구다.

도시유역은 비점오염원의 유출원 단위가 타 토지이용보다 월등히 높고 또한 불투수층의 증가로 인해 강우시 피크유출량 및 총 홍수량이 증가함과 동시에 지하 침투량은 감소하여 지하수 함량이 저하하고 도시 하천의 기저유출이 감소하여 건천화의 원인이 되기도 한다. 따라서 이 연구에서는 도시 지역의 수환경을 개선하기 위해서는 우수유출수 및 비점오염원 저감시설의 종류 및 기능과 역할을 살펴보고 이것이 비점오염원 저감과 유역수순환 개선목적을 동시에 달성할 수 있는 방안을 모색하였다.

이를 위해 토지이용별 우수유출과 비점오염원 유출관계를 살펴보고, 비점오염원 저감을 고려한 우수유출수 관리시설의 설치기준 및 우수유출수 관리시설의 도입을 위한 정책개선 방안을 도출하였다.

주요 과업범위는 비점오염원 저감을 위한 주요 우수유출수 관리시설의 특징 및 장단점 파악, 토지 이용별 우수유출과 비점오염유출관계 고찰, 주요국의 우수유출수 관리방안 조사, 우수유출 저감시설의 수질개선 효과 분

석, 비점오염 저감을 고려한 우수유출저감시설의 설치 기준 및 비점오염원 저감 시설 도입을 위한 정책개선 방안의 도출 등을 포함한다(한국환경정책평가연구원, 2002).

Table 2.1.1은 비점오염물질 저감시설을 나타낸 것이다.

Table 2.1.1 Various types of non point source reduction facility

시 설 형 태	시 설 종 류
저류형시설	저류지, 연못, 이중목적저류지, 인공습지
침수형시설	침투조, 침수도랑, 건조정, 유공포장
식생형시설	식생수로, 식생여과대
장치형시설	여과조, 선회류 고액분리기, 기름과 침전물 분리기, 강우유출수 처리장치(stormceptor), 초기강우 분리장치(stormgate)
하수처리형시설	응집·침전 처리, 생물학적 처리
복합 접촉산화시설	역간접촉산화 시설, 복합접촉산화 수로, 끈상접촉산화 시설
자연정화시설	습지, 수변구역, 수생식물

2.2.2 비점오염원에 대한 국내의 연구 현황 및 제도적 관리 방안

1970년대 말 미국에서는 공공수역의 수질을 이수목적에 적합하도록 유지하기 위하여 점오염원에 대한 zero discharge와 병행하여 비점오염원으로부터 발생하는 오염물질부하의 삭감이 필요하다는 판단 하에 이에 대한 조사 및 대책을 검토하기 시작하였고, 1987년 수질법에서는 농촌지역에서 발생하는 비점오염원의 통제 및 규제를 명문화하고 있다. 일본의 경우 1978년에 환경청에서는 비특정오염원 대책조사 검토회를 설치하여 비점오염원에 대한 조사를 본격적으로 실시하여 왔다. 그러나 우리나라의 경우에는 지금까지 점오염원에 대한 관리에 1970년대 말 미국에서는 공공수역의 수질을 이수목적에 적합하도록 유지하기 위하여 점오염원에 대한 zero discharge와 병행하여 비점오염원으로부터 발생하는 오염물질부하의 삭감이 필요하다는 판단 하에 이에 대한 조사 및 대책을 검토하기 시작하였고, 1987년 수질법에서는 농촌지역에서 발생하는 비점오염원의 통제 및 규제를 명문화하고 있다. 일본의 경우 1978년에 환경청에서는 비특정오염원 대책조사 검토회를 설치하여 비점오염원에 대한 조사를 본격적으로 실시하여 왔다. 그러나 우리나라의 경우에는 지금까지 점오염원에 대한 관리에만 노력하여 왔을 뿐 비점오염원에 대한 관리는 기초조사 및 유출부하량 조사 등의 난이성 때문에 매우 미흡한 실정이다.

점오염원의 경우 오염물질 배출량산정에 필요한 배출원단위는 국내에서도 많은 조사 연구가 수행되어 실용 가능한 값이 제시되고 있으나, 비점오염원의 배출원단위는 시간적 공간적 제약으로 인하여 조사연구가 아직 미흡한 실정이다(라덕관·김기성, 1996).

1) 국내의 비점오염원에 대한 연구 현황 및 제도적 관리 방안

우리나라에서는 90년대 중반부터 정부 합동으로 4대강 수계 물관리 종합대책을 수립하는 등의 비점오염원의 관리를 위해 노력해왔으며 환경부에서는 ‘비점오염원 관리요령(2000.12)’ ‘산업체 업종별 비점오염물질 관리 가이드라인(2002.12)’ 등 각 이해당사자가 자율적으로 비점오염관리에 참여가 가능하도록 지침을 제시하였다. 그러나 지금까지 국내의 비점오염원에 대한 연구는 대부분 발생량 예측과 유출특성에 관한 연구였고 2000년 이후에야 비로소 비점오염원 관리에 대한 연구가 시작되고 있는 실정이므로 앞으로의 효율적인 비점오염원 관리를 위해서는 비점오염물질 관리를 위한 저감시설의 실태나 효율 등에 대한 보다 활발한 연구가 필요하며 기존의 관리규정을 고찰하고 이를 바탕으로 한 합리적인 제도적 개선 방안을 마련해야 할 것이다.

다음은 국내의 비점오염원에 대한 여러 연구 중에서 몇몇 두드러진 연구를 소개하겠다.

(가) 수질총량규제방식의 활용방안에 관한 연구 (I) - 한국적 총량규제 제도의 방향제시

이 연구는 총량규제방식의 원리를 수질관리제도에 도입하여 우리의 현실에 적합한 수질총량규제제도의 마련하는 것으로서 현재 국내외에서 사용되고 있는 수질관리 및 총량규제제도에 필수적인 수질관리기법을 중심으로 특성 및 사용 시의 주의점 등을 종합 정리하였으며, 미국, 일본 및 유럽의 수질 총량 규제와 관련된 수질관리제도를 분석하고 각 제도의 특징, 장단점을 분석하여 우리의 현실에 적용시킬 수 있는가의 여부를 판단할 수 있는 자료를 제공하였고, 우리나라의 수문, 수질현황, 관리제도 등의 특성을 분석하였으며, 이러한 분석을 바탕으로 외국의 사례에서 연구한 제도들의

장점들을 고려하여 우리의 현실에 적용시킬 수 있는 총량규제방식의 방향을 제시하였다.

연구기간은 1993년 7월 1일 ~ 12월 31일이며, 주요 연구결과는 총량규제의 대상 지역 및 오염지표 선정이다.

우리나라의 수문 특성상 수자원 확보가 매우 중요하며 사회가 발전함에 따라 수자원 부족현상은 더욱 심각해질 것이다. 따라서 우리나라의 수질관리제도도 하천의 곳곳에 위치한 호소(인공댐 포함)에 초점을 두는 것이 맑은 물 공급 대책이라는 현안 문제 해결방안 차원에서 바람직하다 할 수 있다.

오염지표의 선정은 수질환경기준에서 호소의 생활환경 항목인 유기물오염지표 COD를 기준으로 하되 지역적 특성에 따라 인(P)을 고려하여야 하는데, 이는 수중생태계에서 인은 부영양화의 중요한 지표물질이며 부영양화에 따른 식물성 플랑크톤의 증식은 BOD의 증가를 유발시키기 때문이다(호소 내에서의 유기물 내부 생산). 예를 들어 소양호나 대청호처럼 물의 순환이 늦은 곳에서는 내부생산에 의한 유기물 오염부하량이 매우 크므로(약 70% 이상), 이런 지역에서는 인 부하량이 절대적으로 고려되어야 할 것이다.

총량규제 시행시의 문제점에 대한 분석결과는 다음과 같다.

- 특정지역의 개발제한 ; 상수원보호를 위한 총량규제를 실시할 경우에도 특정지역을 지정하는 데 있어 현실적인 어려움이 많을 것이며 또한 어려움을 무릅쓰고 총량규제를 위한 특별지역으로 지정하여도 특별한 보상을 하지 않는 한, 하천 하류에 위치한 대도시 주민을 위한 상수원 개발로 인하여 상류에 위치한 지역 주민들의 개발이익이 침해된다는 점에서는 논쟁을 피할 수 없다.
- 오염배출원 규제 of 효율성 ; 배출규제가 효과적으로 이루어지려면 항상

규제 내용의 이행여부에 대한 적절한 감시 및 통제가 뒤따라야 하나 우리나라에서는 '92년도 배출업소에 대한 지도 점검회수가 1개 업소 당 평균 1.8회 밖에 되지 않을 정도로 예산, 인력 등이 부족하여 효과적인 감시가 이루어지지 못하고 있다. 또한 지방 자치단체의 반 고의적인 단속 소홀도 하나의 문제점으로 지적되고 있다. 따라서 현재와 같은 수질 관리제도하에서는 지방자치단체는 수질오염방지를 위한 경제적 유인이 없어 환경단속업무에는 지역의 경제발전이라는 논리아래 더욱 더 소홀해 질 수 밖에 없으며, 이미 설치된 각종 환경기초시설의 관리도 소홀해질 수 밖에 없는 구조적 문제점이 있다. 이러한 문제점들은 다가오는 지방자치단체장의 직선제 실시에 따라 더욱 커질 것으로 예상된다.

- 재원문제 ; 상수도의 수질개선을 겨냥하여 환경처가 의욕적으로 추진하고 있는 맑은 물 공급대책의 예산규모는 3조5천2백억 원에 이르고 있으나, 부처간 협의과정에서 주요 재원조달방식인 환경세 신설, 환경공채 발행 등이 백지화 되어 예산확보가 매우 어려울 것으로 예상된다. 따라서 총량규제 방안에는 이러한 예산상의 어려운 점을 고려한 제도적 장치가 강구되어야 환경정책의 효율성 측면에서 바람직할 것이다.
- 비점오염원 문제 ; 지하수와 표면수에 영향을 주는 비점오염원은 점원오염과는 달리 산재된 오염원으로부터 나오므로 오염이 쉽게 목격되지도 않기 때문에 이렇다 할 인상을 주지도 않는다. 그리고 대부분의 오염자들이 그 지역주민이며 오염저감을 위한 목표를 항상 정량화할 수 있는 것도 아니어서 규제에 어려움이 따른다. 한편 우리나라도 소비생활이 향상되면서 생활오염원으로부터 발생하는 오염부하 등 비점오염원에 의한 오염이 가중되고 있으나, 환경관계법규에서 정의되고 규제되는 환경오염문제와 오염물질들은 주로 점오염원에서 발생하는 물질들을 대상으로 하고 있으며 비점원 오염의 문제와 관련된 법규는 극히 드물다. 따라

서 환경오염의 저감을 위한 적절한 보완책이 요구되며, 특히 상수원 지역에서는 비점오염원의 비중이 더욱 크다는 것을 고려할 때 비점오염원에 대한 대책이 시급하다.

- 시행상 기술적 문제점 ; 현재 우리나라에서 총량규제를 실시하는 데 있어서의 문제점은 공공처리 시설의 미비, 자연적 여건에 따른 환경용량 산정 곤란, 비점오염원 관리체계 미비, 감시망 구축의 한계 등이다.

우리나라에서 수질관리를 효과적으로 수행하기 위해서는 지방자치단체의 환경에 대한 인식 및 투자노력이 급선무이며, 이를 위해서는 수질보전을 위한 투자와 노력에 인센티브를 부여해야 할 것이다. 즉, 지방자치단체 간에 배출권 거래제도(Tradeable Discharge Permit)를 시행함으로써 적당한 규모의 지방자치단체를 하나의 점오염원으로 간주하는 총량규제 방식의 도입이 적절할 것으로 사료된다. 대기오염관리와는 달리 수질오염관리에서는 일정 규모 지방자치단체의 수경계가 주어지면, 그 지역으로 유입되는 오염물질의 총부하량과 그 지역으로부터 타 지역으로 유출되는 총부하량의 차이가 해당 지방자치 단체의 오염물질 총부하량으로 계산될 수 있기 때문이다. 한편 지방자치단체 내에서는 직접규제, 직접적 오염저감할당량 분배방식의 총량규제, 오염배출거래권 방식의 총량규제 등, 지역의 현실 여건과 준비 상태에 따라 오염저감대책을 마련할 수 있을 것이며, 지역마다의 특성이 있으므로 결정은 지방자치단체에 맡기는 것이 바람직할 것이다.

이 방법의 실행계획을 세우기 위해서는 여러 가지 세부사항 들(예를 들면, 시장의 크기, 교환 방법, 배출허용 최고치 등)이 결정되어야 하나, 이를 위해서는 먼저 총량오염지표의 결정을 위한 연구가 선행되어야 할 것이다.

이러한 지방자치단체 간 배출권 거래 제도를 실시할 경우 예상되는 이점(利點)은 다음과 같다.

- 상수원 보호지역의 수질보전을 위한 지역적 노력 증가,
- 배출권 거래 시 일정비율을 공제함으로서 수질개선 재원마련,
- 지방자치단체내의 점오염원 감독 강화,
- 지방자치단체의 환경기초시설 투자유도,
- 지방자치단체의 비점원오염 저감을 위한 교육 및 홍보 유도,
- 환경과 개발에 관한 '리우'선언 [원칙 16 : 국가당국은 오염자가 원칙적으로 오염의 비용을 부담하여야 한다는 원칙을 고려하여 환경비용의 내부화와 경제적 수단의 이용을 증진시키도록 노력하여야 함]의 이행.

결론적으로 여러 가지 여건 상 어느 한 지역을 대상으로 하는 총량규제 방식은 여러 가지 문제점으로 인해 어려움이 많은 것이 사실이다.

한편 우리나라에서는 현재 지방자치단체에 단속권이 있고 또 본격적인 지방자치단체장 직선제를 앞두고 있으므로 수질관리를 위해서는 지방자치단체의 협조가 절대적으로 필요한 상황이다. 이러한 인식에서 총량규제 방식(배출권 거래제도)의 원리를 한 수계 안에 있는 지방자치단체 간에 실시함으로써 지방자치단체의 수질보전 노력에 인센티브를 주게 되면 앞에서 예를 든 문제점의 해결이 빨라질 수 있고, 지방자치단체 내에서의 총량 규제 실시 시기도 앞당겨질 수 있을 것이다(박원규, 1993).

(나) 지속가능성 평가를 위한 지역 생태·경제 모형개발 II

이 연구에서는 첫째, 생태-경제 통합 체계를 분석하는 모형을 개발하는 방법론을 국내에 소개함으로써 지속 가능한 발전을 도모하였다.

현재 우리나라는 생태계의 동태성을 고려하기보다는 단순히 경제 산업과 오염물질 배출간의 관계에만 치중하고 있다. 이러한 문제점을 시정 보완하기 위하여 기존의 방법을 분석하여서 생태계와 경제계 간의 연계구조

에 대한 동태적인 체계를 구축함으로써 지속 가능한 발전을 위한 적절한 방법을 제시하고자 하였다.

이 연구의 제1차년도(2002년)에는 기존의 환경-경제 모형 연구에 대하여 이론적으로 평가해 보고 체계동태학적인 방법론에 의한 생태-경제 통합모형의 특성과 우리나라에의 적용가능성을 타진하여 그 가능성을 제시하였고 지방자치단체들이 수행하고 있는 참계 방류사업의 생태-경제 효과를 분석하는 시범적인 모형구축을 시도하였다.

제2차년도 연구에서는 기존의 지속가능성 평가를 위한 방법론과 관련 모형을 검토해 보고 체계동태학적인 접근방법을 이용한 생태-경제 통합모형을 실제 개발할 때 요구되는 지리 물리학적인 구조와 생태학적인 원칙과 기준을 제시하였으며, 한국의 생태-경제 체계분석을 위한 모의실험 모형을 개발하여 실제 적용함으로써 등 방법론의 유용성을 평가하였다.

둘째, 국가 및 지역의 지속가능성 진단에 관한 선행연구 검토하였다.

- 지속가능성의 개념 ; 환경자원의 재생산율을 넘지 않는 환경이용 행위
- 지속가능성의 유형
 - 약한 형태의 지속가능성 ; 인간이 만든 자본이 자연자본에 의해서 제공되는 서비스를 효율적으로 대체할 수 있는 대체성이 높다는 개념
 - 강한 형태의 지속가능성 ; 위와 같은 대체성이 낮다는 개념
- 적정규모의 이론
 - 환경이 지속적으로 활용되기 위해서는 총체적인 환경자원의 저장량이 보호되어야 한다는 것
 - 경제발전은 좀 더 많은 통과자원량을 요구하지만 환경계 내에서는 통과자원량은 지속적으로 성장할 수 없음
- ※ 통과자원량 : 환경 계에서 채취되어 경제계를 거쳐서 환경으로 돌아가는 물질의 총량

- 환경용량의 개념에는 인간 활동 수용체로서의 자연환경과 자원 공급자로서의 자연환경이라는 두 가지 관점이 내재·환경용량 평가방법에는 환경이용 공간, 생태축적, 생태배낭, 생태적 효율성, 식품수송거리 등의 개념이 활용
- 지속가능성지표
 - 지속가능발전 현황과 그 변화 추이를 파악하기 위하여 그것을 가장 잘 나타내 줄 수 있는 한정된 수의 대표적인 통계
 - 현재의 지속가능성 정도를 평가할 뿐만 아니라 각종 정책의 수립 및 집행이 지속가능성에 미치는 효과를 평가하는 척도로 활용한다.
 - 지속가능성지표로는 국제적 차원의 지표, 국가적 차원의 지표, 지역적 차원의 지표 등이 개발되고 있다.
 - 지속가능성 지표 종합
 - 경제부문 ; 경제규모와 소득수준을 나타내는 GDP, 일인당 GDP, 소비수준, 투자수준, 에너지소비 등이 주요지표
 - 환경부문 ; 온실가스배출, 도시의 대기질, 강의 수질, 산림지역 면적 및 산림자원 이용수준, 보호지역 면적 등이 주요지표
 - 사회부문 ; 빈곤인구비율, 실업률, 교육수준, 주거수준, 인구관련지표 등이 주요지표
- 체제이론과 지속가능성 평가방법으로서의 체제분석법
 - 생태계, 경제계, 사회계는 단순체계가 아닌 복합체계의 특성을 지닌다.
 - 이러한 생태 경제계를 우발적 특성, 계층적 통제, 의사소통 등의 특징을 지니는 하나의 복합체계로 간주하고 분석하려는 시도가 논의되고 있다.
- 위치분석과 지속가능성평가지도
 - 위치분석 ; 환경적, 정치적, 사회적, 경제적, 심리화적인 문제들은 때로는 상호 관련되어 있고 상호 내재되어 있거나 구조를 이루는 관계로 이해

해야한다. 위치분석은 모든 의사결정과정을 명확하게 만들며, 정보를 설명하고주제가 되는 것과 선택에 관한 것을 분명하게 한다.

- 지속가능성 평가지도: 위치정보를 설명하고 의사결정을 돕는 일종의 그래픽 틀로서 복잡한 문제 속의 중요한 차원들이 각각의 축으로 표현되는 지도로 구성된다.
- 체계동태 모형의 개요와 특성
- 체계동태모형의 개요 ; 동태적 사고, 환류적 사고, 사실적 사고를 근본요소로 한 체계적 사고에 근거를 두고 있다.
- 체계동태모형의 특성 ; 통계학과 이에 기초한 계량경제학 등 기존의 연구방법론과는 차이를 보이며, 이들의 차이를 인식하고 상호보완적으로 활용한다면 보다 효과적인 정책결정을 할 수 있다.
- 지속가능성 평가기준으로서의 물리적 환경용량을 분석하는 것에는 한계가 있기 때문에 지속 가능한 발전의 핵심은 환경생태계의 물리적 한계가 꾸준히 유지되도록 관리하는 것이다.
- 지속가능성 평가를 위한 지표의 개발 방식은 각 부문간의 관계가 유기적으로 연결되어 있지 않으므로 지속 가능한 발전을 위한 종합적인 시각을 제시한다기 보다는 단편적인 시각에 머물게 될 우려가 있다.

셋째, 생태-경제 통합 체계동태 모형화의 기초이론과 모형

- 생태-경제 통합모형화의 근본적인 목적은 생태계와 사회계의 상호 작용관계로 나타나는 생태-경제 통합 복합체계의 구조를 우선적으로 밝히는 것이며, 이러한 모형을 통하여 생태-경제 체계가 지속가능한 발전으로 나아가도록 도와주는 것이다.
- 생태계란 지구의 자연환경으로 생산자, 소비자, 분해자 등의 생물적 구성요소와 에너지, 물리적 요소, 화학물질 등의 비생물적 요소로 구성되어 있으며, 단일 개체의 성장이론으로는 로지스틱 성장이론, 고펜르쯔 성장

이론 등이 활용되고 있다. 생태계의 에너지흐름과 먹이사슬은 포식자-피식자 모델로 분석 가능하다.

- 경제계는 재화와 용역을 생산하고 분배하는 체계로서 생산자와 소비자로 구성되며 가격을 매개로 하여 생산과 소비에 대한 의사결정을 수행하며, 수요와 공급의 상호작용을 통해 형성된 가격을 지표로 하여 재화와 용역을 생산하고 배분한다. 그러므로 경제계를 분석하기 위해서는 가격형성기제의 이해가 선행되어야 한다.
- 경제계의 성장이론으로는 수요측면과 공급측면의 이론으로 구분되는데, 수요측면의 이론은 지역의 경제성장이 지역에서 생산된 재화나 서비스에 대한 수요에 의해 결정됨을 가정하는 것이고, 공급측면의 이론은 수요중심의 접근법과는 달리 지역의 경제규모와 성장은 지역이 직면하고 있는 생산 환경에 의해 결정됨을 가정하여 지역의 생산기술, 요소가격, 요소스톡의 변화 등이 공급을 결정한다는 것이다.
- 생태계와 경제계의 상호작용 모델 중에서 공유지의 비극이란, 많은 사람들이 한 목초지에서 양을 키우면서 계속해서 양을 방목하는 경우, 목초지와 양들이 공멸하는 결과를 초래한다는 것이고 최적수확시기란, 개인기업이 경쟁시장에서 언제 재생 가능한 자원을 수확하는 것이 가장 적절한지에 관한 논의이며, 사회발전과 지속가능성은 종래의 성장위주의 개념에서 탈피하고 자원배분에 있어서 분배적인 정의를 제고하고 기회의 균등을 확보하는 것을 강조하는 것이다.
- 지속가능성 평가를 위한 지역생태-경제 통합모형의 구축에는 경제활동부문으로는 인구, 자본, 자원 등 생산요소를 투입하여 재화를 생산하고 생산된 재화를 소비 또는 투자하는 활동을 모형화 하는 부문이 있고, 생산요소부문 중, 인구부문으로는 인구변화를 모형화하는 부문으로 인구규모를 나타내는 저량변수와 인구증가와 감소를 나타내는 유량변수로 구성

되며, 자본부문에는 경제활동에 투입되는 자본스톡의 변화를 모형화하는 부문, 자본규모를 나타내는 저장변수와 자본의 증가와 감소를 나타내는 유량변수로 구성된다.

- 환경 및 생태부문은 지역의 환경수준 변화를 모형화하는 부분으로서, 오염물질 배출량과 환경수준을 나타내는 유량변수로 구성된다.
- 사회발전부문으로, 사회적 측면에서 지속 가능한 발전은 인간의 역사 속에서 형성된 질서와 도덕, 윤리, 복지 제도 및 법 등의 역사문화와 풍속의 지속성을 의미하는데, 사회발전을 모형화하는 변수를 정립하는 것이 용이하지 않고 이에 대한 연구도 거의 전무한 상태이다.

넷째, 한국의 생태-경제 통합체계 동태 모형

- 앞에서 제시한 지역 생태-경제 통합모형에 우리나라의 실제 자료를 적용하여 시범적인 모의실험을 수행함으로써 이러한 방법론의 향후 활용 가능성을 점검해 보았다.
- 한국의 생태-경제 통합 체계분석을 위한 기초자료 조사 결과 자연자원은 일본 제국주의 지배와 한국동란을 겪으며 산림이 크게 훼손된 상태이며, 꾸준한 산림녹지화사업의 추진과 에너지 현대화로 인하여 임목 축적량이 크게 증가하고 있는 추세이다. 인구증가율은 급격하게 감소하고 있으며, 경제활동참가율은 60% 내외이고, 고령인구의 비중이 점차 증가하는 추세이다. 1997년 말 외환위기를 맞이하여 위기에 처했으나 정부의 적극적인 경제 구조 조정 정책으로 인하여 성장가도를 달리고 있다. 국내총생산 중에서 12% 정도가 해외로 유출되고 나머지 88%정도는 국내 소비(약 68.8%)와 투자(약 31.2%)에 쓰이고 있다. 환경오염 물질 배출량 추이 중, 대기오염의 경우, 아황산가스, 일산화탄소 등은 감소하고 있으나 오존, 질소산화물 등 자동차 배기가스 관련 오염물질은 증가하고 있는 추세이다. 수질의 경우, 오염정도는 감소하고 있으나 비점오염원에

- 의한 수질 부하량은 증가하고 있고, 폐기물의 경우, 1990년대 초반에 도입한 쓰레기종량제의 실시로 인하여 배출량이 크게 감소하고 있다. 사회발전은 최근 교육열이 높아지면서 국민의 평균교육수준은 10년을 넘으며 연령별로는 20대의 교육수준이 최고에 이르고 있지만, 낮은 청년 취업률과 상대적 빈곤의 심화 등으로 사회적인 불안요인이 심화되고 있다.
- 인구증가에 따른 출산율 감소와 출산율 감소에 따른 경제활동 인구의 감소를 모형화 하였고, 토지자원에는 농지와 산지를 자연자원으로는 산림을 이용하여 자연정화능력으로 활용하였다. 환경오염이 일정한계를 넘어서는 경우 사망률의 증가, 자본의 감가상각율의 급격한 증가 등 부정적 영향이 있을 것임을 가정했다.
 - 국내생산과 투자부문 ; 일부는 해외로 이전되고, 나머지는 국내투자와 소비에 배분. 투자부문은 생산을 위한 투자와 환경투자로 구분되며 환경투자는 수질, 대기, 폐기물 등에 배정되며 생산투자는 주택과 생산설비 투자에 배분
 - 환경부는 대기부문과 수질부문의 오염물질 발생량, 처리량, 자연정화량 등을 모형화. 여기서 오염물질은 생산과정과 소비과정에서 발생하는 것으로 가정. 현재의 모형은 폐기물 발생량은 포함하지 않았음. 대기오염 및 수질오염의 처리기능은 꾸준히 개선되는 것으로 가정
 - 사회발전부문 ; 소득불균등을 사회불안과 갈등의 심화로 전체경제의 효율을 떨어뜨리는 요인으로 인식. 이러한 효과는 생산함수의 상수항에 영향을 주는 것으로 가정하고 이에 대한 시나리오 설정을 통해 그 효과를 분석
 - 정책 시나리오 설정 및 효과분석을 해보면, 현재의 생산 및 소비체계를 유지할 경우 일정시점을 지나서면 노동투입량의 감소로 인하여 일정부분 성장한 후에 정체상태로 접어들 것이며 이에 따라 소비와 투자, 자

본형성도 정체상태를 보일 것이다. 그러나 국민생산량과 투자의 증대에 따른 용지수요로 농지와 산지 면적은 지속적으로 감소할 것으로 전망된다. 대기오염의 경우에는 지속적으로 악화되다가 경제성장 및 인구증가가 정체되면서 안정상태에 이르게 될 것. 임목축적량의 증가에 따른 자정능력의 향상으로 다소의 영향을 받는 것으로 보이며, 수질오염의 경우 대기오염과 달리 농지면적의 감소와 함께 자정능력이 감소하면서 더욱 악화될 전망이다.

- 환경투자를 20%로 상향 조정하였을 경우에는 경제는 여전히 성장을 거듭하다가 정체상태에 이르게 될 것이며, 수질오염은 급격하게 개선되나 대기의 경우 급격한 개선효과는 미약한데, 이러한 결과는 환경투자의 증대로 처리시설을 통해서 처리되는 수질오염물질의 양이 많아지나 대기 부문에 배정되는 자원의 양이 적기 때문이다. 흥미있는 현상의 하나는 생산적 투자가 감소하면서 수질의 자정능력은 완만하게 감소하나 대기의 자정능력은 꾸준히 증가하는 양상을 보이는데, 이는 생산적 투자가 지속적으로 이루어지기 때문에 수질오염을 정화시켜주는 농지의 면적은 감소하나 대기오염을 정화해주는 산림은 산림의 생산성을 증대시키기 위한 투자가 증가하면서 단위면적당 임목 축적량의 증대가 산지면적의 감소에 따른 영향을 능가하기 때문인 것으로 판단된다.
- 환경질의 개선이나 사회발전 등은 생산함수에 있어서 기술계수의 변화나 요소투입의 승수 변화로 나타날 것이다. 사회적 생산성이 향상되면 노동투입에 대한 승수가 증가할 것이고 경제전반의 효율성이 향상되거나 저하된다면 이는 생산함수의 기술계수변화로 나타나는 결과이다. 사회발달로 생산함수의 기술계수가 증가하는 상황을 가정할 경우에는 일반적인 변화형태는 현상유지 시나리오와 유사하나 정체가 나타나는 시점이 보다 연장이 되는 일반적인 기술발전 효과와 동일해진다. 그런데 단순히

생산적 효율만 증대시킬 경우 경제규모의 확대에 따라 대기, 수질오염 물질의 배출량이 급증하여 궁극에는 환경오염의 심화로 인한 사망률 증대, 자본침식량의 증대 등으로 생산 활동의 위축을 초래하게 된다. 사회 전체의 효율 향상은 환경오염과 자원고갈의 시기만을 늦출 뿐 근본적인 해결책이 되지는 않는다는 점도 지적되어야 할 것이다. 즉, 자원 및 환경이용 구조에 대한 근본적인 개혁 없이는 장기적인 지속 가능한 사회를 이룰 수 없을 것임을 시사하고 있다.

- 지속 가능한 발전을 위해서는 사회발전 투자, 교육개선 투자, 환경개선투자 등을 통해서 사회의 전반적인 자원이용 효율을 개선하려는 노력이 매우 중요하나 투자의 방향 조정이 요구된다. 그런데 대기오염의 심화가 환경질 악화의 주요 원인으로 나타나고 있어서 대기오염에 대한 투자 배분율을 높이고 대기오염물질 처리기술을 획기적으로 개선해야 함을 시사한다. 고도의 경제성장을 지속적으로 유지하고자 할 경우 환경질 악화가 경제성장을 저해하는 요인으로 작용하게 된다(정희성·윤갑식, 2003).

(다) 방동저수지 유역의 토지이용에 따른 비점오염 부하발생 원단위 산정

- 방동저수지 상류 5개 토지이용별 유출수량과 수질조사를 실시하고 비점오염원 원단위를 산정하였다. 산지에서 SS 84kg/ha/년, BOD 4.2kg/ha/년, COD 15kg/ha/년, T-P 0.1kg/ha/년, T-N 1.1kg/ha/년으로 배출부하 원단위가 가장 작았다. 거주지역에서 SS 319kg/ha/년, BOD 34kg/ha/년, COD 98kg/ha/년, T-P 5.6kg/ha/년, T-N 8.7kg/ha/년으로 배출부하 원단위가 가장 많았다.
- 비점오염원은 강우·유출과 관련이 있어 전체 비점오염원의 약 46%가 7~8월에 유출되며, 건기인 10월에서 4월까지의 연간 총량의 약 20%, 5월에서 9월까지의 약 80%가 유출된다.

- 유기물질은 SS, BOD, COD는 거주지역에서, 영양물질인 T-N은 논·밭 지역에서 T-P는 논·밭·거주지역 및 방목지에서 많이 유출되고 있다 .
- T-N, T-P등 영양물질이 농지에서 많이 유출되어 저수지와 같은 폐쇄 수역에 부영양화로 인한 수질악화의 원인이 된다. 비점오염원이 우기에 집중 배출되어 공공수역에 큰 오염원으로 작용하므로 도시하천을 이용한 비점오염원 관리방안과 비점오염원 발생원 저감방안을 적극 추진하여야 한다.

(라) 합류식하수관의 오염물질 유출특성에 관한 연구

도시지역에서 발생하는 합류식하수관 월류수는 많은 오염물질을 포함하고 있다. 합류식하수관 월류수(CSO)는 생활하수에서 자동차 타이어 조각 까지 다양한 종류의 오염물질을 함유하고 있으며, 독성물질 성분까지도 함유하고 있다. 합류식하수관 월류수는 하수와 강우 유출량이 차집관거 용량을 초과할 경우 인근 공공수역으로 방류된다.

강우시 유출수는 노면에 퇴적되어 있는 오염물질을 운반하고, 하수관로와 맨홀에 퇴적되어 있는 오염물질을 단시간 내에 유출시키는 초기세척 현상을 동반하여 인근 공공수역으로 오염물질을 배출시킨다. 따라서 점오염원 뿐만 아니라 합류식하수관 월류수와 같은 비점오염원까지 제어해야만 하천 수질환경기준을 달성할 수 있을 것이다.

합류식하수관 월류수에 대한 수량 및 수질특성을 파악하기 위해서 본 연구는 대전광역시 동구에 소재한 99.5ha 유역면적을 가진 유역을 선정하였다. 측정항목은 유량, pH, 탁도, BOD₅, COD_{Cr}, SS, VSS, NO-N, NO₃-N, TKN, PO₄-P, TP, 유기온계면활성제, 노말핵산 추출물질, 그리고 Pb, Cu, Fe 등이다.

측정결과를 근거로 하여 유출부하량과 유출유량과의 회귀식을 도출하였

고, 강우량에 따른 초기 세척효과 발생 유·무를 분석하였다. 강우시 합류식 하수관 월류수 수질특성은 강우초기에 높은 농도를 나타내는 초기세척 현상과 강우지속시간에 따라 그 농도가 감소하는 경향을 가지는데, 이러한 현상을 기초로 강우지속시간에 따른 합류식하수관 월류수 수질농도를 예측할 수 있는 Pollutograph 모델식을 개발하여 적용하였다.

2) 국외의 비점오염원에 대한 연구 현황 및 제도적 관리 방안

외국의 경우도 비점오염원관리를 위한 모니터링의 어려움 때문에 그동안의 많은 연구와 노력에도 불구하고 그 성과가 미흡했으나, 생태공학(Mistch and Jorgensen, 1989)이 발전하면서 습지를 이용한 수질관리 기술이나 농업생산과 수질관리를 동시에 해결하려는 등의 노력이 활발하게 진행되고 있다. 즉, 국외의 비점오염원 저감방안에 대한 연구는 습지의 조성 과 복원을 통한 생태공학적 해결에 집중되고 있다.

비점오염원 관리를 위한 생태공학적 접근법으로는 초지습지를 이용한 영양염 제거, 부유물질 제거에 관한 연구 및 습지조성과 복원을 통한 수질관리에 대한 연구, 산림습지를 이용한 비점오염원관리에 대한 연구 등이 있다.

Ⅲ. 연구내용 및 방법

3.1 교과서 평가 및 설문조사

현 고등학교에서 행해지고 있는 환경교육 현황을 파악하기 위해 현재 사용되어지고 있는 환경교과서를 평가하여 기존 교과과정을 비판하다. 또한<Appendix 1>의 설문조사를 통하여 학생들이 갖고 있는 환경에 대한 인식도를 파악한다.

3.2 현장실험

3.2.1 대상 저수지 유역의 환경 현황

연구대상 지역은 부산광역시 수영구 D여고를 둘러싸고 있는 산 중턱에 위치한 약 100m³ 크기의 원통형 저류지로서, 강우 시 골짜기로부터 강우유출수를 일시적으로 저류하는 장소이다.

평상시에 저류지의 유입이 거의 없어서 저류지는 비어있는 상태로 유지되고 강우 시에만 골짜기로부터 강우유출수가 유입된다. 일정량 이상의 유량이 모여지면 저류지 전면에 있는 웨어를 통해 월류되어 유출된다. 저류지의 형상 및 위치는 Fig. 3.1.1과 같다.

3.2.2 조사방법

(1) 조사방법

강우가 시작된 시점부터 종료한 후까지, 대상 지점의 유량이 최대를 지나 감소되는 적정 시점까지 시간대별로 조사를 실시하였으며, 유량조사와 유입수, 유출수를 채수하였다. 시료는 채수하여 실험실로 보내어 분석하였다.

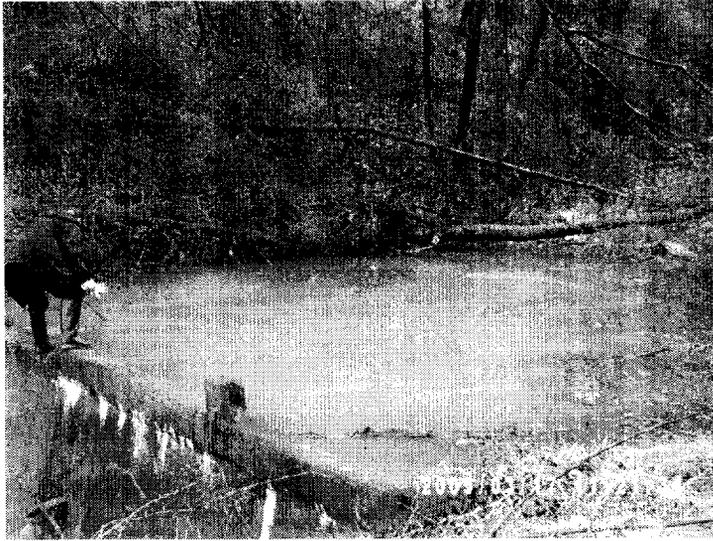


Fig. 3.1.1 Sampling site.

(2) 유량조사

유량조사는 수질오염공정시험법의 하천유량 측정방법 중 유속-면적법 (Velocity Area Method)를 이용하였으며, 사용된 유속계는 Valeport BFM001이었다.

(3) 부하량 및 삭감효율 평가

삭감효율을 평가하기 위한 방법은 제거농도로 계산하는 EMC(Event Median Concentration) efficiency와 부하량으로 계산하는 Mass efficiency로 나눌 수 있으며, 각 방식별 계산식은 아래와 같다. 본 조사에서는 두가지 방식 모두 비교·검토하였다. Mass efficiency를 이용한 삭감효율평가는

농도와 유량을 곱하여 부하량으로 계산하였다.

$$\text{EMC efficiency}(\%) = [(\text{Conc}_{\text{in}} - \text{Conc}_{\text{out}}) / (\text{Conc}_{\text{in}})] * 100$$

Conc_{in} : 유입 농도

Conc_{out} : 유출 농도

$$\text{Mass efficiency}(\%) = [(\text{SOL}_{\text{in}} - \text{SOL}_{\text{out}}) / (\text{SOL}_{\text{in}})] * 100$$

SOL_{in} : 유입 부하량

SOL_{out} : 유출 부하량

3.2.3 분석방법

수질분석 항목 중 수온, 수소이온농도, 용존산소는 현장에서 YSI-6570을 이용하여 측정하였고, 그 밖의 항목은 2ℓ 용량의 폴리에틸렌병에 채수하여 실험실로 운반한 후 분석하였다. Table 3.2.1은 조사항목별 분석방법을 나타낸 것이다.

(1) 수온

현장에서 YSI-6570를 사용하여 1/10℃까지 측정하였다.

(2) pH

현장에서 YSI 6570를 사용하여 측정하였다.

(3) 용존산소(Dissolved Oxygen, DO)

용존산소는 현장에서 YSI-6570를 사용하여 측정하였다.

(4) 화학적산소요구량(Chemical Oxygen Demand, COD)

수질오염공정시험법에 있는 산성 과망간산칼륨법으로 분석을 수행하였다.

(5) 총부유물질(TSS) 및 휘발성부유물질(VSS)

총부유물질(TSS)은 유리섬유 여과지를 사용하여 105~110℃에서 2시간 건조시킨 후 무게를 측정하였다. 총부유물질을 측정하고 난 후 여과지를 전기로에 넣고 550±50℃에서 15~20분간 회화시킨 후 휘발성 부유물질(VSS)을 측정하였다. 이는 부유물질 중의 유기물질 함량을 나타낸다.

(6) 용존무기질소(DIN)

① 암모니아질소($\text{NH}_4^+ \text{-N}$)

전처리한 시수를 알칼리성 과망간산 매질 속에서 촉매로 작용하는 니트로시아나트륨의 존재하에 차아염소산나트륨과 페놀을 첨가하여 생성된 인도페놀 색소를 640nm에서 흡광도를 측정하였다. 검량선은 염화암모늄(NH_4Cl)용액을 사용하여 작성하였다.

② 아질산질소($\text{NO}_2^- \text{-N}$)

전처리한 시료중의 아질산염을 산성 용액 중에서 술폰아미드와 α -나프틸에틸렌디아민이염산 용액에 반응시켜 생성된 적색의 아조 염료를 543nm에서 흡광도를 측정하였다. 검량선은 아질산나트륨(NaNO_2)용액을 사용하여 작성하였다.

③ 질산성질소($\text{NO}_3^- \text{-N}$)

전처리한 시료를 카드뮴 환원칼럼에 통과시켜(카드뮴 환원법) 술폰아미드와 α -나프틸에틸렌디아민이염산 용액에 반응시켜 생성된 적색의 아조 염료를 543nm에서 흡광도를 측정하였다.

(7) 인산인($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)

전처리한 시료를 몰리브덴산암모늄과 아스코르빈산, 타르타르산, 안티모닐 칼륨으로 구성된 혼합 시약과 반응시켜 흡광도를 880nm에서 측정하였다.

Table 3.2.1 Method of water analysis

조 사 항 목	분 석 방 법
수온	YSI-6570 현장측정
수소이온농도(pH)	YSI-6570 현장측정
용존산소(DO)	YSI-6570 현장측정
화학적산소요구량(COD)	산성 과망간산칼륨법
부유물질(SS)	유리섬유 여과지법
용존무기질소(DIN)	$\text{NH}_4^+\text{-N} + \text{NO}_2^-\text{-N} + \text{NO}_3^-\text{-N}$
인산인($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)	흡광광도법(아스코르빈산 환원법)
유량	유속-면적법(Velocity-Area Method)

3.3 비점오염원 관리를 위한 학습지도안 작성

현행 고등학교 환경교과서에서 언급하고 있지 않는 비점오염원의 개념 및 비점오염물질 측정법, 그리고 비점오염원 관리 대책 등에 대한 교육을 행하기 위하여 학습지도안을 작성하여 학생들에게 적용한다. 또한, 학습지도안을 적용하는 과정에서 필요한 과학실험을 행하기 위한 방법도 강구한다.

IV. 연구결과 및 고찰

4.1 환경교육 평가

4.1.1 환경교과서 평가

(1) 기존 교육과정의 비판

현행 교육과정은 현 산업사회의 특성에 가장 잘 부합하도록 조직되었다. 특히 교육방법과 관련해서 20세기 중반까지는 행동주의가 가장 큰 영향을 발휘했고, 이후 인지주의가 유력하게 경합하기 시작했으며, 최근에는 구성주의도 다른 한 몫을 차지하고 있다.

현행 환경교육의 토양을 이루는 기존의 교육과정과 방법이 산업사회의 특성과 강력한 인간중심주의를 반영하고 있기 때문에, 당연하게도 현행 환경교육의 과정과 학습이론, 방법 역시 같은 제약을 받을 수밖에 없다. 이에 기존의 행동주의와 인지주의 그리고 구성주의에 기초한 교육과정과 방법론을 자연 친화적 문명 패러다임에 부합할 수 없는 것으로 비판하고, 그 대안으로 최근에는 홀리스틱 환경교육을 주장하는 추세이다.

첫째, 행동주의 교육은 생태주의 관점에서 여러 한계를 가질 수밖에 없다. 행동주의는 관찰된 행동을 토대로 인간의 정신을 제대로 파악했다고 여긴다. 그런데 기본적으로 인간의 정신은 관찰 가능한 행동으로만 구현되지 않는다. 이것은 행동으로 드러나지 않은 정신이나 의식의 영역을 암흑(black box) 속으로 가두는 결과를 초래한다. 이런 선상에서 행동주의는 평가 중심으로 교육을 수행한다. 그러나 행동으로 드러나지 않는 감성에 대해 평가를 하지 못하게 되고, 또한 물리적 행동과 거리가 먼 인지적 과

정이나 정서적 측면 및 관계적 영성에 대해서는 전적으로 무지할 수밖에 없게 된다. 그러므로 행동주의적 교육과정에 따른 환경교육은 절름발이 상태를 면치 못하게 될 것이다.

둘째, 인지주의적 교육과정에 따르면, 환경보호에 대한 인식만 갖추고 있으면 교육은 제대로 된 것으로 간주한다. 그러나 인식은 바르게 갖고 있지만, 실천은 반환경적으로 나타날 수 있다. 이것이 최대 난점이다. 인지주의가 이런 한계를 갖는 이유는 인간에게 이성 이외에도 감성과 영성의 능력이 있고, 이를 배양하는 데 관심을 두지 않았던 데 있다.

셋째, 구성주의는 학습 주체인 내가 어떻게 생각하느냐에 따라서 학습 내용을 어떻게 구성할 것인지에 관심을 갖는다. 결국 구성주의는 창의성(CQ: Creative Quotient)을 고양시키는 데 효과적이다. 그러나 구성주의에 바탕을 둔 환경교육도 분명한 한계에 봉착한다. 상대주의에 빠짐으로써 자칫 보편적·일반적 지식의 원리를 저버리는 한계를 갖게 된다. 따라서 구성주의에 바탕을 둔 환경교육은 보편적 생태주의 원리를 채택할 수 없다는 한계에 봉착하게 된다. 학습이 방향을 잡지 못한 채 주관적이면서 맹목적으로 흐를 소지를 남긴다는 것도 한계다.

(2) 홀리스틱 교육이론과 환경교육

1980년대 중반 이후 캐나다를 시작으로 홀리스틱 교육이 태동했다. 기존의 어떤 교육도 본질적으로, 인간을 자연과 분리된 것으로 파악할 뿐만 아니라 자연에 대하여 우위성을 갖는 존재로 파악하는, 인간중심주의 입장에 서있다. 이에 반해 홀리스틱 교육은 기본적으로 인간을 자연과의 연관관계 속에서 파악한다. 그것은 개인을 초월하여 가족·이웃·사회·자연·지구·우주 등 모든 존재가 서로 연관되어 있기 때문에, 개인이 병들면 가족이 병들고 이웃·사회·자연이 병들며, 지구가 병든다고 보는 전체론적

연관성에 기반을 두고 있다. 이는 지구 생태계 파괴 문제를 생명존중 사상을 바탕으로 해결하여 이 세상과 사회를 조화·정의·평화·사랑·협동이 넘치는 세상으로 만들자는 의도를 지니고 있다.

홀리스틱 교육과정은 또한 포괄적(inclusive)이다. 홀리스틱 교육과정의 변형적 학습(transformational learning)은 총체적 언어교수법과 창의적 문제해결, 협동학습을 촉진하는 내용을 포괄하고 있어서, 교사와 학습자로 하여금 다양한 유형의 연관을 맺도록 유도한다. 그리고 홀리스틱 교육과정은 연관(connection)을 중요시한다. 그것은 사고와 직관을 통합하고, 심신의 관계를 지각하며, 개인과 공동체의 관계를 중시한다. 그리고 개인적 자아를 넓혀서 지구 생명체와 일체감을 느끼는 큰자기(Self realization)의 실현으로 확장한다. 이렇게 홀리스틱 교육과정은 개인과 지구 공동체를 생명적으로 연관되어 있다고 여기는 관계성을 핵심으로 하기 때문에, 생명 위기 시대의 학습원리로 가장 바람직한 내용과 방법을 지닌다고 할 수 있다. 특히 그것은 이성과 감성, 창의성, 영성을 모두 중시한다는 점에서, IQ와 EQ(Emotional Quotient), 그리고 CQ와 SQ(Spiritual Quotient) 모두를 포괄하는 교육을 시도한다는 점에서 가장 자연 친화적이며, 따라서 생태주의적이라고 할 수 있다.

(3) 홀리스틱 환경교육의 생태적 합리성 관점에서 평가한 내용

다음은 환경을 생각하는 전국 교사모임에서 고등학교 환경교과서를 홀리스틱 환경교육의 생태적 합리성 관점에서 평가한 내용이다.

학생들의 환경의식 조사결과, 환경보전에 대한 인식을 대체로 갖고 있음을 확인할 수 있었지만, 학교 수업 시간 보다는 여론 매체를 통해 형성된 경우가 대부분이어서 지식이 정확하지 않고 막연한 것임을 알 수 있었다. 이것은 체계적이고 근본적인 학교 환경교육을 통해 바로 잡아야 할 과

제로 부상했으며, 향후 환경교육 연구자와 교사에게 많은 것을 시사한다고 할 수 있다.

더욱 진전된 환경교육을 위해서 향후 환경교과서가 다음과 같은 사항을 적극 고려할 것이다.

첫째, 환경문제는 학제 간 접근이 필요하다는 인식 속에서, 환경교과서에 자연과학의 내용은 물론 인문과학과 사회과학의 접근을 균형있게 연계적으로 반영하여 집필할 필요가 있다.

둘째, 교과서는 사회적으로 중요한 비중을 차지하는 만큼 교과서 내용 및 방향과 관련해서 연관 분야의 전문가가 참여하여 정확하고 바르게 집필할 필요가 있다.

셋째, 학교 교육의 제약적 특성상 이성에 호소하는 내용을 주로 다룰 수밖에 없는 여건 속에서, 그 내용은 최대한 생태적 합리성의 원리에 부응하는 형태로 이루어지도록 한다.

넷째, 앞에서 실천에 이르도록 하기 위해서는 생태적 감성, 더 나아가 생태 영성까지 고려하는 선에서 교과서가 집필되도록 노력할 필요가 있다. 그리고 이런 선상에서 체험학습의 내용을 보다 강화할 필요가 있다.

4.1.2 일선 고등학교의 환경교육 실태

환경문제는 그동안 인류가 보다 나은 삶을 영위하기 위해 행해온 무분별한 자원채취와 개발행위의 소산으로서 그 심각성이 지구 생태계의 자정 능력 상실이라는 총체적 위기로 부각되고 있다. 지구촌 곳곳에서 지구 환경문제를 해결하기 위한 다각적인 노력들이 환경보호 및 생태계 보존과 환경오염 및 공해방지 등의 차원에서 이루어져 왔지만 지난 30여 년 간의 이러한 환경문제해결을 위한 노력들은 별다른 성과를 거두지 못함으로써 최

근에 들어와서는 환경문제의 근원적인 해결이 이러한 사후 처방적인 노력들만으로는 불가능하다고 인식하게 되었으며 어린 아동에서부터 성인에 이르기까지 체계적인 환경교육을 통해 환경친화적인 생활양식을 뿌리내리도록 하는 것이 우선되어야 한다는 견해들이 점점 확대되고 있고 이러한 시각에서 최근 환경교육의 중요성이 매우 강조되고 있다.

환경문제의 해결은 그 동안 환경문제를 유발해온 그릇된 발전관과 자연 착취적이고 자연정복적인 가치관을 환경조화적인 지속적 발전관과 공존공생적인 자연관으로 변화시킴으로써 환경오염을 유발하는 행동의 자제와 환경친화적 행동의 실천 속에서 달성될 수 있는 것이므로, 이는 바로 환경교육을 통하여 환경친화적인 가치관과 태도를 함양하고, 환경을 위한 실천이 이루어지도록 해야 하는 것이기 때문이다.

그러나 지금까지의 환경교육은 그 역할을 제대로 수행하지 못한 것으로 평가받고 있는 실정이다. 즉, 「환경에 대한 교육」을 통하여 환경에 대한 지식과 환경오염의 해결을 위한 기술을 배양하는데 힘써 왔지만 이러한 노력이 환경을 위한 실천적 태도의 함양과 환경 보전적 활동으로 연결시키는데 있어서는 실패해온 것이다. 이러한 가운데 환경문제의 해결을 위해서는 실천적인 환경교육을 통하여 달성될 수 있다는 관점에서 앞으로의 환경교육은 「환경을 위한 교육」이 되어야 한다는 당위성이 제기되고 있는 것이다(김대회, 1997).

고등학교 '환경'교과서인 '생태와 환경'의 목표는 인간과 자연과의 관계에서 나타나는 상호 작용을 전체적으로 이해하고 환경문제의 올바른 인식과 그 문제점에 대한 감수성을 가지며 환경보전, 환경문제의 예방과 해결에 필요한 가치와 태도를 기르는 것으로서 특히, 다른 교과목에 비해 실천 지향적인 성격을 많이 가지고 있으며 환경을 보전하기 위한 참여, 환경문제에 대한 종합적 인식과 해결 방법을 주안점으로 삼고 있다(환경부,

2002).

현재 제7차 교육과정의 고등학교 환경교육은 학생들이 국민공통기본교과로서 10학년에 이수하는 과목 중 ‘과학’ 교과목의 VI단원에서 ‘환경’이라는 단원명으로 교육되고 있으며, ‘생태와 환경’이라는 과목으로 11~12학년의 ‘교양일반선택과목’에 4단위를 선택하여 이수하도록 되어 있지만, 대부분의 일선학교에서는 ‘생태와 환경’을 선택하고 있지 않다.

이렇게 고등학교 과정에서는 환경교육이 실제로 상당히 미흡하게 이루어지고 있는 실정이며, 특히 다른 교과목에 비해 실천지향적인 성격을 많이 가지고 있는데도 불구하고 너무 ‘환경에 대한 교육’만으로 치우치는 경향이 있다.

모든 환경문제를 다룰 때 그 기본이 되는 것은 환경에 대한 생태학적 지식으로서 이러한 지식은 과학자가 아니면 다룰 수 없기 때문에 주로 과학과에서 다루어야겠지만(제7차 교육과정에 제시된 과학과의 내용에서도 역시 환경은 중요한 부분으로 나타나 있다.) 자연 환경을 그 탐구의 대상으로 하는 과학의 학문적 특성 상 교육과정에 제시된 거의 모든 내용 요소가 환경교육에 포함될 수 있고 환경문제가 인간의 생존과 직결되는 만큼 과학이나 환경과목 이외의 타 과목에도 환경과 관련된 다양한 내용을 수록하여 광범위하게 환경교육을 실시해야 할 것이다.

4.1.3 환경 교과에 대한 학생들의 관심도 조사

학생들의 환경에 대한 인식과 환경과목에 대한 선호도를 알아보기 위해 설문 조사를 실시하였다. 설문조사 대상은 인문계 고등학교 1학년, 2학년 여학생들로서 140명의 의견을 조사하였다.

(1) 설문조사 결과

설문조사 결과는 Table 4.1.1과 Table 4.1.2와 같다. 환경교육 경험, 환경교육 비중, 환경교육 유형, 환경실천, 환경개발에 관한 4가지 항목별 27 문항을 조사하였다. 조사결과를 정리하면 아래와 같다.

- 중학교 때 환경과목을 배웠는가? 예는 “그렇다.”가 가장 많았다.
- 환경교육의 교육과정에서의 비중은 ‘중간’에 응답한 사람이 가장 많았다.
- 강조해야할 환경교육의 유형에 대한 질문에는 이해식 교육, 체험식 교육, 실천식 교육 모두 강조해야한다고 응답한 사람이 가장 많았다.
- 환경문제를 해결하기위한 방안으로 생활에 반응할 수 있는 사항들에 대한 질문에는 ‘환경운동 단체가입’항목만 제외하고 대부분 “반영할 수 있다.”로 응답했다.
- 환경과 개발에 대한 생각을 묻는 항목에는 “과학 기술은 이로움보다 피해가 많다.”라는 생각에만 ‘중간’이 가장 많았고 나머지 항목은 “그렇다.”가 가장 많았다.

이상에서 설문조사한 결과를 바탕으로 볼 때 학생들이 기본적으로 환경에 대한 중요성은 인식하고 있으나 구체적이고 현실적인 환경에 대한 개념이나 의식이 갖추어져 있지 않아 그 실천적 의지도 부족하며, 현재 환경교육이 과도한 입시제도 등에 의하여 비 중요 과목으로 밀려나서 제대로 이루어지지 않고 있음이 여실히 드러난다.

Table 4.1.1 설문항목 및 질문내용

답변1) 부정 또는 반대 ↔ ↔ ↔ 답변5) 긍정 또는 찬성

항 목	질 문 내 용	1	2	3	4	5
환경교육을 받은 경험	중학교 때 환경과목을 배웠는가?	20	3	5	5	97
환경교육의 교육과정에서의 비중	환경 과목이 고등학교 교육과정에 필요하다고 생각하는가?	18	29	63	12	8
	환경교육에 관한 교육을 한 가지 이상 받아야만 하는 것으로 규정이 바뀐다면 이를 수용할 것인가?	16	14	70	23	7
강조해야 할 환경교육의 유형	환경교육에서 환경에 대한 이해식 교육의 중요도는가?	6	20	41	44	40
	환경교육에서 환경으로부터의 체험식 교육의 중요도는가?	3	11	32	44	40
	환경교육에서 환경을 위한 실천식 교육의 중요도는가?	4	15	38	39	34
환경문제 해결방안 중 생활에 반영할 수 있는 사항	재사용 가능 물품 이용료 지급(병우유 등)	8	13	47	30	32
	재생 용품 사용 의무화(재생 화장지 등)	1	21	46	29	32
	환경운동 단체 가입	28	46	41	12	3
	강화된 환경규제의 준수	6	25	52	34	13
	환경관련 교육 및 모임 참석	24	32	50	22	2
	환경요령 행동자에 대한 실증 및 고발	9	28	33	26	35
	개인의 자발적 생활 양식 변화	·	6	31	57	36
	쓰레기 종량제 준수	4	5	24	42	55
	남긴 음식물에 대한 벌금 부과	11	28	35	37	19
	등.하교 시 자가용 대신 대중교통 수단 이용	5	20	30	33	42
환경과 개발에 대한 내용	과학 기술은 이로운보다 피해가 많다.	4	23	94	8	1
	환경자원이 심각하게 남용되고 있다.	·	2	19	68	41
	현 경제, 사회체제로는 환경위기를 극복할 수 없다.	4	17	38	48	23
	과학기술의 발달만으로는 환경문제를 해결할 수 없다.	2	19	22	46	41
	인간이 자연 질서를 파괴하는 것은 큰 재앙을 초래할 것이다.	·	4	13	43	70
	자라는 세대에게 과학기술을 가르치는 만큼 자연에 대하여 가르쳐야 한다.	·	1	19	48	62
	인류가 생존하기 위해서는 자연과 조화롭게 살아야만 한다.	·	1	13	39	77
	급속한 경제 성장은 이로운보다는 피해를 더 낳는다.	1	14	61	36	19
	환경친화적인 생활에서 사람들은 더 행복하게 살 것이다.	·	11	22	55	42
	신기술 개발은 환경문제의 해결과 관련하여 개발되어야만 한다.	1	7	28	49	45
	환경교육에 관한 협의회가 구성되어 생활과 관련된 규제 조치를 내린다면 귀하는 이를 따를 것입니까?	3	7	56	55	12

Table 4.1.2 설문조사 결과

항 목 (%)	부정 또는 반대	약간부정	보통	약간긍정	긍정 또는 찬성
환경교육을 받은 경험	15.38	2.31	3.85	3.85	74.62
환경교육의 교육과정에서의 비중	13.07	16.54	51.15	13.46	4.62
강조해야할 환경교육의 유형 (이해식, 체험식, 실천식 교육)	3.33	11.79	28.46	32.56	29.23
환경문제 해결방안 중 생활에 반영할 수 있는 사항	7.38	17.23	29.92	24.77	20.69
환경과 개발에 대한 내용	1.05	7.41	26.92	34.62	30.28

4.2 비점오염원에 대한 저류지의 저감효과

4.2.1 평상시 저류지의 수질

대상 지역은 평상시에는 유입과 유출이 없으며 강우시에만 강우유출수가 골짜기를 통해 흘러들어 저류지로 유입된다. 저류지 주변은 사람들의 출입이 없는 산중턱이고, 주변 토양은 낙엽 및 도목 등의 부식질이 두텁게 깔려있다. 본 연구대상 저류지는 강우량이 많을 경우 일시적으로 유출수를 저류하여 하류의 침수피해를 방지하기 위한 일종의 소규모 사방댐의 기능으로 설치된 것으로 사료된다. 또한 저류지의 물은 저류지 하부에 설치된 파이프를 통해 필요할 경우 학교 내 연못으로 보내어 연못 유지관리수로서 사용하고 있다. 대상저류지의 평상시 수질을 알아보기 위하여 저류지의 물을 채수하여 분석한 결과는 Table 4.2.1과 같다.

수질측정 결과, 수소이온농도는 6.83로 중성에 가까웠으며, 용존산소농도는 9.25mg/ℓ로서 산소농도가 풍부함을 알 수 있었다. 화학적 산소요구량

은 3.40mg/ℓ를 나타내었고, 부유물질의 농도는 1.78mg/ℓ로서 낮은 농도를 보였고 채수 당시에도 저류지 내부를 볼 수 있을 정도로 투명도가 양호했다. 용존성무기질소의 농도는 2.7612mg/ℓ였으며, 이중 질산성 질소의 농도가 가장 높은 것으로 보아 고여있는 동안 질산화가 진행되고 있는 것으로 추정된다. 인산인의 농도는 0.005mg/ℓ로 낮게 나타났다.

조사대상이 된 저류지는 산지로부터 유입되는 일종의 계곡물로서 Table 4.2.2의 호소수질환경기준을 적용하면 유기물로서는 III등급에 속하나 부유물질 및 용존산소의 농도로서는 I, II등급에 속하는 것으로 파악되었다.

Table 4.2.1 Water quality in the reservoir

Temp. (°C)	pH	DO	COD	TSS	VSS	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN*	PO ₄ ³⁻ -P
						mg/ℓ				
12.59	6.83	9.25	3.40	1.78	0.40	0.307	0.033	2.422	2.7612	0.005

* DIN = NH₄⁺-N + NO₂⁻-N + NO₃⁻-N

Table 4.2.2 호소수질 환경기준

등급	이용목적별 적용대상	기 준					
		pH	COD (mg/ℓ)	SS (mg/ℓ)	DO (mg/ℓ)	TN (mg/ℓ)	TP (mg/ℓ)
I	상수원수1급 자연환경보전	6.5~8.5	1이하	1이하	7.5이상	0.200	0.010
II	상수원수2급 수산용수1급 수영용수	6.5~8.5	3이하	5이하	5이상	0.400	0.030
III	상수원수3급 수산용수2급 공업용수1급	6.5~8.5	6이하	15이하	5이상	0.600	0.050
IV	공업용수2급 농업용수	6.0~8.5	8이하	15이하	2이상	1.0	0.100
V	공업용수3급 생활환경보전	6.0~8.5	10이하	쓰레기 등이 떠있지 않을 것	2이상	1.5	0.150

비고 : 총인, 총질소의 경우 총인에 대한 총질소의 농도비율이 7미만일 경우에는 총인의 기준은 적용하지 아니하며, 그 비율이 16이상일 경우에는 총질소의 기준을 적용하지 아니한다.

1. 수산용수 1급 : 빈부수성수역의 수산생물용
2. 수산용수 2급 : 중부수성수역의 수산생물용
3. 자연환경보전 : 자연경관등의 환경보전
4. 상수원수 1급 : 여과등에 의한 간이정수처리후 사용
5. 상수원수 2급 : 침전여과등에 의한 일반적 정수처리후 사용
6. 상수원수 3급 : 전처리등을 거친 고도의 정수처리후 사용
7. 공업용수 1급 : 침전등에 의한 통상의 정수처리후 사용
8. 공업용수 2급 : 약품처리등 고도의 정수처리후 사용
9. 공업용수 3급 : 특수한 정수처리후 사용
10. 생활환경보전 : 국민의 일상생활에 불쾌감을 주지 아니할 정도

4.2.2 소규모 저류지에 의한 저감효과

(1) 지역개황

본 연구에서 선정된 저류지는 평상시 저류지로의 유입과 유출은 없는 상태이나 강우시에는 강우유출수가 골짜기로 모여서 저류지내로 유입되고 강수량이 많을 경우에는 저류지를 월류하여 도랑을 따라 하수구로 유출된다.

본 연구대상 저류지의 강우시 비점오염물질 저감 정도를 파악하기 위하여 강우가 시작한 시점부터 종료시점까지의 현장수질측정과 시료채취 그리고 유량변화를 측정하였다.

1차 조사 시 부산 수영구 D여고 일대에는 총 38mm의 강우가 내렸다. 17일 03시부터 내리기 시작한 비는 6~9시경 집중되었고, 17일 12시경부터 그치기 시작했다. 1차조사시의 시간대별 강수량은 Table 4.2.3과 같고, 강수량변화 그래프는 Fig. 4.2.1과 같다. 2차 조사 시에는 D여고 일대에 총 31mm의 강우가 내렸고, 22일 03시부터 내리기 시작한 비는 오전 9시 경에 집중되었으며 12시 이후부터는 서서히 그치기 시작했다. 2차조사시의 시간대별 강수량 및 강수량변화 그래프는 Table 4.2.4와 Fig. 4.2.2와 같다.

3차 조사 시 D여고 일대에는 총 29.5mm의 강우가 내렸고, 10일 5시경부터 강우가 집중되었으며 15시 경에 그치기 시작하였다. 3차조사시의 시간대별 강수량 및 강수량 변화 그래프는 Table 4.2.5과 Fig. 4.2.3과 같다.

Table 4.2.3 Variation of rainfall(1st)

시간	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	합계
날짜	(mm)															
3/17	-	-	7.5	-	-	14	-	-	14	-	-	3.5	-	-	-	38

자료 : 부산지방기상청

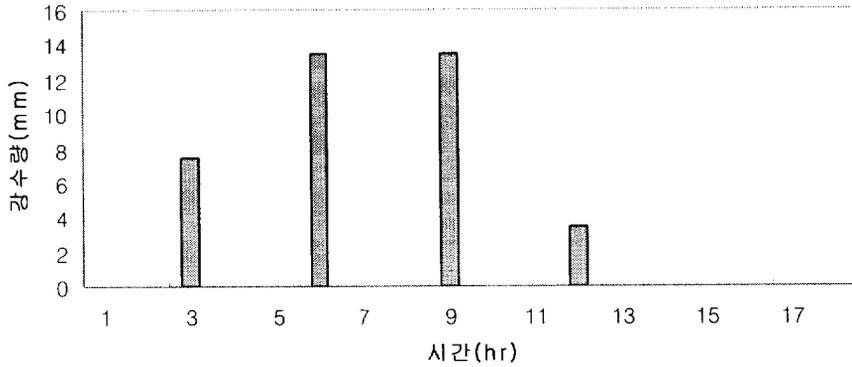


Fig. 4.2.1 Variation of rainfall event(1st)

Table 4.2.4 Variation of rainfall(2nd)

시간 날짜	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	합계
	(mm)															
3/22	-	-	7	-	-	8	-	-	13	-	-	3	-	-	0	31

자료 : 부산지방기상청

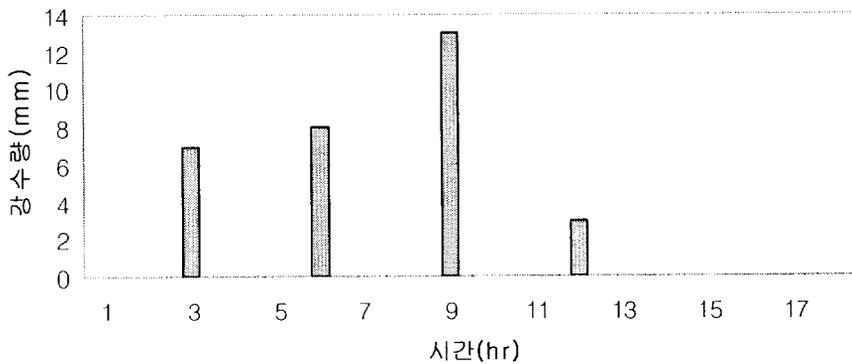


Fig. 4.2.2 Variation of rainfall event(2nd).

Table 4.2.5 Variation of rainfall(3rd)

시간 날짜	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	합계
	(mm)																
4/10	1.5	1	0	6	8	6	3.5	0.5	0.5	1	1	0	0	0	0.5	0	29.5

자료 : 부산지방기상청

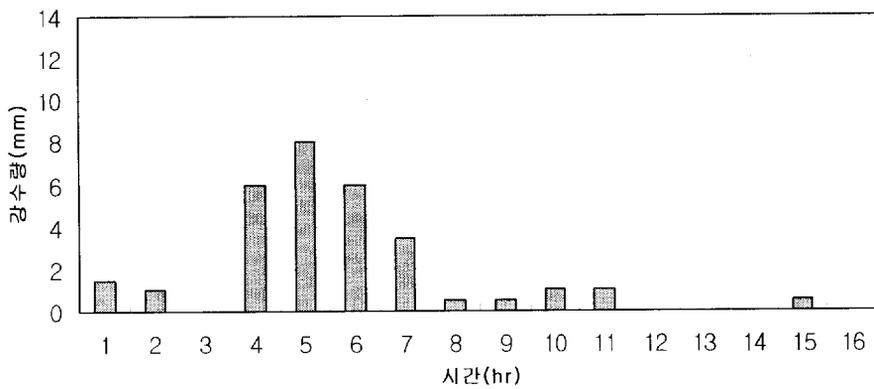


Fig. 4.2.3 Variation of rainfall event(3rd)

(2) 수질특성

1) 1차조사

1차 조사(2005. 3. 17)시 조사대상지역의 일반항목 및 영양염류 분석결과를 Table 4.2.6, Table 4.2.7와 Fig. 4.2.4과 같다.

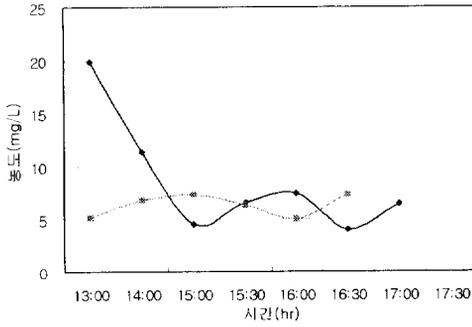
Table 4.2.6 Result of water Quality analysis(1st)

시간	항목	유입					유출						
		수온	pH	DO	COD	TSS	VSS	수온	pH	DO	COD	TSS	VSS
		(°C)		(mg/ℓ)				(°C)		(mg/ℓ)			
13:00		9.49	6.80	11.85	19.9	18.50	13.25				5.2	5.61	3.17
14:00		10.48	6.82	11.17	11.4	6.41	1.79				6.8	4.21	0.53
15:00		10.30	6.82	11.07	4.5	4.25	1.25				7.3	4.57	0.57
15:30		10.28	6.84	11.02	6.6	6.18	2.94				6.4	4.00	0.24
16:00		10.34	6.89	11.02	7.4	6.96	2.90				5.0	3.61	0.28
16:30		10.22	6.91	10.97	4.0	3.75	1.50				7.3	3.78	0.44
17:00		10.14	6.93	10.90	3.5	3.28	0.30				-	-	-
17:30		10.06	6.92	10.88	-	4.84	0.32				-	-	-

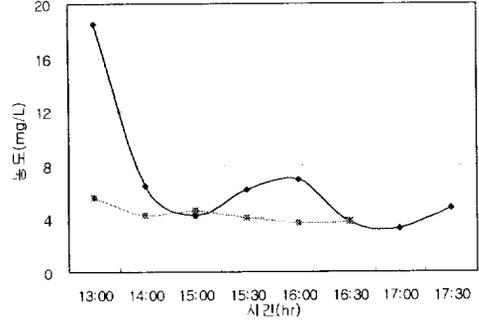
Table 4.2.7 Result of nutrient analysis(1st)

시간	항목	유입					유출				
		NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN*	PO ₄ ³⁻ -P	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN*	PO ₄ ³⁻ -P
		(mg/ℓ)					(mg/ℓ)				
13:00		0.013	0.011	2.494	2.518	0.010	0.084	0.016	2.518	2.618	0.010
14:00		0.330	0.014	2.498	2.842	0.005	0.049	0.012	2.501	2.562	0.005
15:00		0.140	0.008	2.504	2.652	0.005	0.050	0.014	2.513	2.577	0.005
15:30		1.167	0.009	2.525	3.701	0.005	0.379	0.009	2.540	2.579	0.008
16:00		0.220	0.009	2.547	2.756	0.008	0.030	0.012	2.574	2.965	0.003
16:30		0.809	0.006	2.564	1.379	0.008	0.255	0.006	2.550	2.811	0.005
17:00		0.124	0.005	2.595	2.724	0.008	-	-	-	-	-
17:30		0.217	0.006	2.594	2.817	0.010	-	-	-	-	-

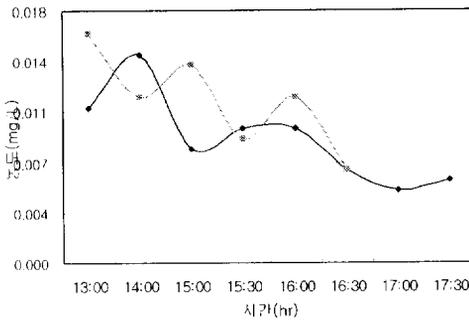
* DIN = NH₄⁺-N + NO₂⁻-N + NO₃⁻-N



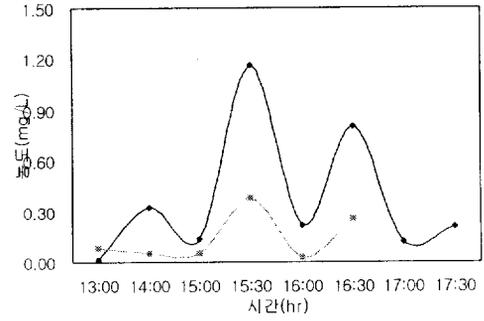
(a) COD 변화



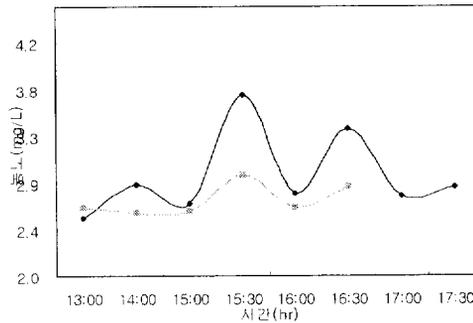
(b) TSS 변화



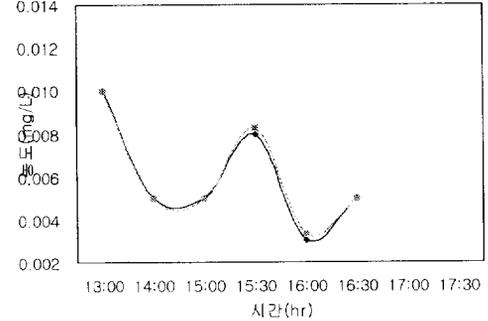
(c) NO₂-N 변화



(d) NO₃-N 변화



(e) DIN 변화



(f) PO₄³-P 변화

Fig. 4.2.4 Variation of Organic matters and Nutrient concentration(1st)
(범례 : 원형실선 ; 유입, 네모실선 ; 유출).

가. 화학적산소요구량(COD)

1차 조사 시의 화학적 산소요구량의 유입농도 침투 피크는 유량의 침투 피크시간 보다 조금 앞서 나타났으며, 유량이 감소함에 따라 농도가 점차 줄어들었다. 유출수의 농도변화는 유량이 감소함에 따라 약간 증가하는 경향을 보이고 있었다. 유량의 증가로 인해 저류조내 체류시간이 감소하여 저류지내에서의 유기물질의 저감효과는 그다지 크지 않은 것으로 판단된다(Fig. 4.2.3(a)).

나. 총부유물질(TSS)

SS의 농도변화는 유량의 증감에 따라 변동이 현저한 전형적인 지표이다. 침투유량이 나타났던 14시 경에 SS의 농도가 가장 높았으며 유량이 감소함에 따라 SS의 농도도 급격히 감소하는 것으로 나타났다. 유출수의 농도는 유량의 증감에 따른 변화가 나타나지 않고 대체로 일정한 농도로 나타남으로서 저류지를 통한 SS의 저감효과가 있는 것으로 판단된다(Fig. 4.2.4(b)).

다. 용존성무기질소(DIN)

DIN중 아질산성 질소의 농도는 유량이 감소함에 따라 점차 감소하는 경향을 나타냈고, 질산성 질소의 경우는 유량이 감소하면서 점차 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 유량의 증가가 저질을 교란하여 농도변화에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 실제로 저류지의 수심이 얇고 저류지내 바닥에 침전물이 많이 존재함을 3차 조사 시 확인할 수 있었다(Fig. 4.2.4(e)).

라. 인산인($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)

침투유량이 나타났던 14시 경에 유입, 유출수의 인산인 농도는 거의

비슷하였으며 유량이 감소함에 따라 유입수의 인산인 농도는 감소하는 경향을 보였고, 유량이 감소하는 일정시간 후 농도펄스가 나타났다. 유량감소에 따른 유출수의 인산인 농도도 점차 감소하다가 일정시간 후 다시 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 용존성무기질소(DIN)의 거동과 유사하게 저류지내 저질의 교란으로 인한 영향으로 판단된다(Fig. 4.2.4(f)).

2) 2차조사

2차 조사(2005. 3. 22)시 조사대상지역의 일반항목 및 영양염류 분석결과는 Table 4.2.8, Table 4.2.9과 Fig. 4.2.5와 같다.

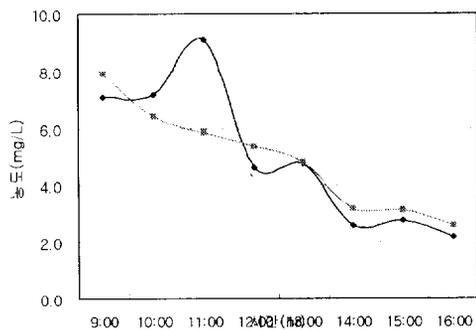
Table 4.2.8 Result of water Quality analysis(2nd)

항목 시간	유입						유출					
	수온	pH	DO	COD	TSS	VSS	수온	pH	DO	COD	TSS	VSS
	(°C)		(mg/ℓ)				(°C)		(mg/ℓ)			
9:00	8.31	8.88	10.31	7.1	9.30	6.74				7.9	22.97	6.76
10:00	9.21	7.13	10.62	7.2	10.26	6.67				6.4	16.10	10.95
11:00	9.49	7.05	10.66	9.1	23.00	16.00				5.9	4.16	1.82
12:00	9.68	7.01	10.66	4.6	2.60	0.26				5.4	3.28	1.19
13:00	10.01	7.04	10.63	4.8	5.28	3.06				4.8	4.47	2.11
14:00	10.39	6.98	10.64	2.6	4.67	2.44				3.2	3.43	1.32
15:00	10.65	7.00	10.47	2.8	4.33	2.00				3.1	3.24	0.29
16:00	10.71	6.96	10.53	2.2	3.06	0.83				2.6	2.75	0.50

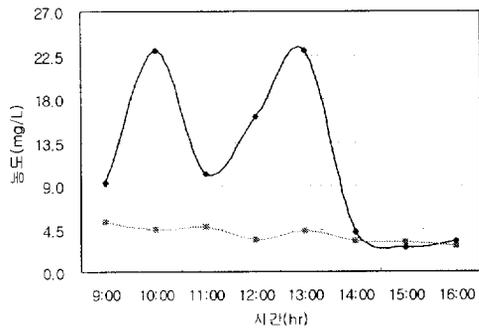
Table 4.2.9 Result of nutrient analysis(2nd)

시간	유입					유출				
	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN*	PO ₄ ³⁻ -P	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN*	PO ₄ ³⁻ -P
	(mg/ℓ)					(mg/ℓ)				
9:00	0.318	0.009	2.569	2.896	0.012	0.334	0.015	2.556	2.904	0.007
10:00	0.025	0.009	2.561	2.595	0.010	0.049	0.012	2.566	2.627	0.008
11:00	0.358	0.009	2.555	2.922	0.008	0.493	0.010	2.502	2.579	0.010
12:00	0.096	0.006	2.557	2.660	0.010	0.067	0.009	2.547	3.049	0.022
13:00	0.276	0.006	2.528	2.811	0.010	0.179	0.010	2.539	3.621	0.008
14:00	0.015	0.007	2.476	2.497	0.010	0.073	0.007	2.541	2.728	0.010
15:00	0.082	0.005	2.558	2.645	0.008	0.072	0.006	2.506	2.584	0.008
16:00	0.082	0.006	2.506	2.594	0.010	0.038	0.006	2.513	2.558	0.010

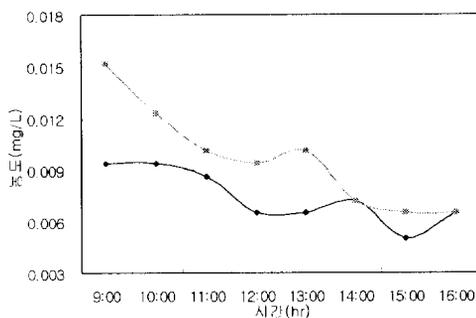
* DIN = NH₄⁺-N + NO₂⁻-N + NO₃⁻-N



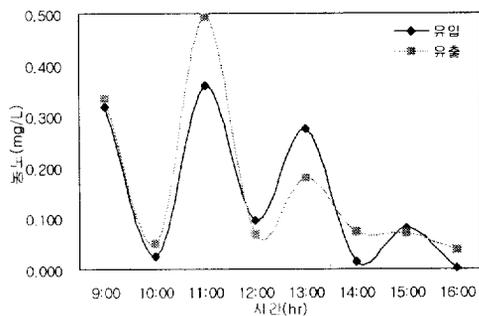
(a) COD 변화



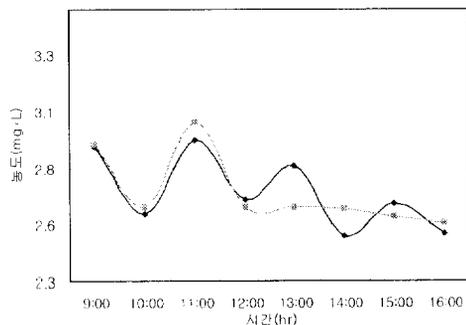
(b) TSS 변화



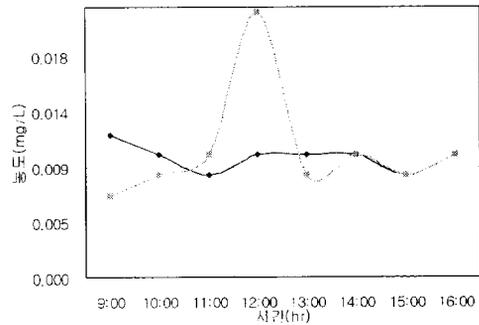
(c) NO₂⁻-N 변화



(d) NO₃⁻-N 변화



(e) DIN 변화



(f) PO₄³⁻-P 변화

Fig. 4.2.5 Variation of Organic matters and Nutrient concentration(2nd)

가. 화학적산소요구량(COD)

2차 조사시의 침투유량은 10시 경에 나타났으며 COD의 유입수의 농도도 침투유량시 가장 높게 나타났다. 유량이 점차 감소함에 따라 유입수와 유출수의 COD 농도도 감소하는 경향을 나타내었다. 유입수와 유출수의 COD 농도 차이가 거의 나타나지 않는 것으로 보아 저류지를 통한 유기물질의 저감효과는 없는 것으로 판단된다(Fig. 4.2.5(a)).

나. 총부유물질(TSS)

침투유량이 나타났던 10경에 유입수의 SS농도가 가장 높았으며, 유량이 감소하다 소폭 증가했던 13시 경에 SS농도 또한 다시 증가 하였다. 유량의 증감에 따른 SS의 변동이 다른 수질 항목에 비해 가장 민감한 것으로 나타났다(Fig. 4.2.5(b)).

다. 용존성무기질소(DIN)

유량의 변동에 따른 DIN의 변화는 거의 나타나지 않고 일정한 농도 범위를 나타내었으며, DIN 중 질산성 질소의 변동 폭이 가장 크게 나타났다. 2차 조사에서도 1차 조사 시와 같이 유량이 감소함에 따라 농도펄스가 나타났으며, 저류지를 통한 DIN의 저감효과는 없는 것으로 판단된다(Fig. 4.2.5(b)).

라. 인산인($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)

침투유량이 나타났던 10시경의 유입수 인산인 농도는 유출수에 비해 낮게 나타났고, 이후 유량 증감에 따른 유입, 유출수의 인산인 농도변화는 거의 없었으며 유량이 14시 이후로는 거의 같은 농도를 나타내었다. 저류지를 통한 인산인의 저감효과는 없는 것으로 판단된다(Fig. 4.2.5(b)).

3) 3차조사

3차 조사(2005. 4.10)시 조사대상지역의 일반항목 및 영양염류 분석결과를 Table 4.2.10, Table 4.2.11과 Fig. 4.2.6같다.

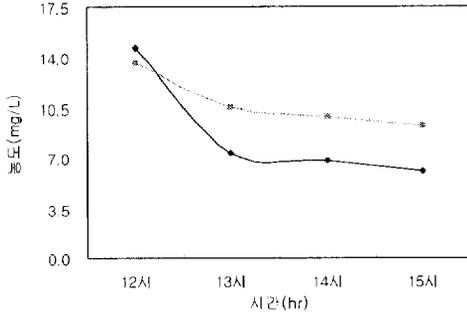
Table 4.2.10 Result of water Quality analysis(3rd)

항목 시간	유입						유출					
	수온	pH	DO	COD	TSS	VSS	수온	pH	DO	COD	TSS	VSS
	(°C)		(mg/ℓ)				(°C)		(mg/ℓ)			
13:00	12.91	7.56	10.31	7.4	7.25	4.75	13.59	7.37	9.24	10.6	3.33	2.56
14:00	12.42	7.29	10.50	6.9	5.06	3.04	13.35	7.20	9.40	10.0	2.35	1.88
15:00	12.34	7.32	10.40	6.1	5.83	4.44	13.23	7.24	9.44	9.3	1.94	1.39

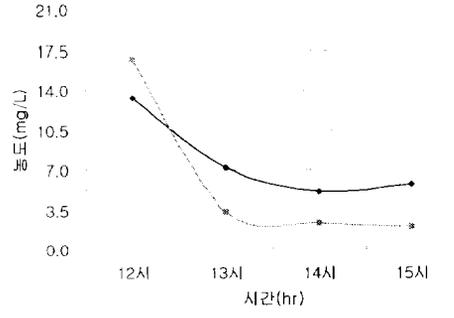
Table 4.2.11 Result of nutrient analysis(3rd)

항목 시간	유입					유출				
	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN*	PO ₄ ³⁻ -P	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN*	PO ₄ ³⁻ -P
	(mg/ℓ)					(mg/ℓ)				
13:00	0.026	0.003	2.512	2.541	0.005	0.087	0.010	2.512	2.610	0.005
14:00	0.045	0.003	2.465	2.513	0.006	0.041	0.009	2.444	2.494	0.005
15:00	0.027	0.003	2.504	2.533	0.006	0.099	0.009	2.583	2.691	0.003

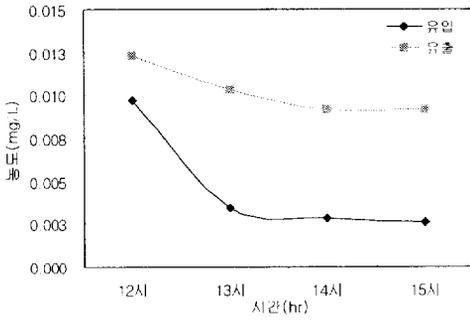
* DIN = NH₄⁺-N + NO₂⁻-N + NO₃⁻-N



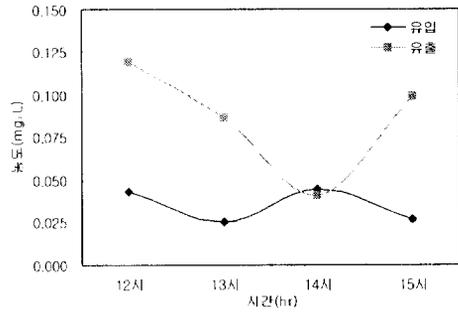
(a) COD 변화



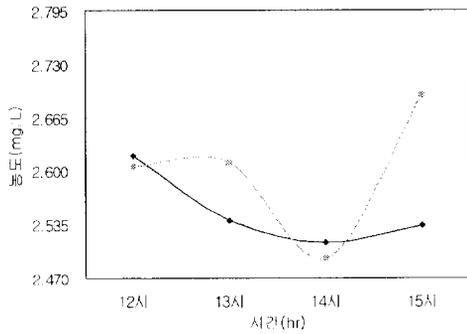
(b) TSS 변화



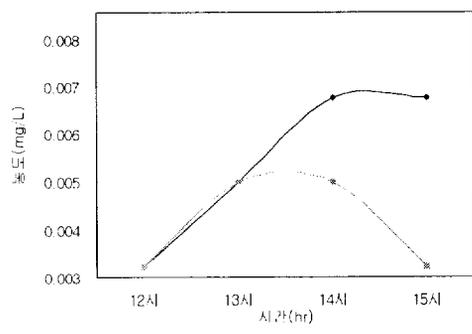
(c) NO₂ -N 변화



(d) NO₃ -N 변화



(e) DIN 변화



(f) PO₄³⁻-P 변화

Fig. 4.2.6 Variation of Organic matters and Nutrient concentration(3rd)

가. 화학적산소요구량(COD)

3차 조사 시 유량이 감소함에 따라 유입수 와 유출수의 COD 농도도 감소하는 경향을 보였지만, 유량이 감소함에 따라 유출수의 농도가 유입수의 농도보다 높게 나타나는 것으로 보아 저류지를 통한 COD 저감효과는 없는 것으로 판단된다(Fig. 4.2.6(a)).

나. 총부유물질(TSS)

유량이 감소함에 따라 SS의 농도도 감소하는 경향을 보이고 있고, 1~3차에 걸친 조사에서 SS의 저감효과가 확실히 나타나는 것을 알 수 있었다(Fig. 4.2.6(b)).

다. 용존성무기질소(DIN)

유량이 감소함에 따라 유입수의 DIN농도도 감소하는 경향을 보였으며, DIN농도를 지배하는 질산성 질소의 농도변화는 유량이 감소함에 따라 다시 증가하는 경향을 보였다(Fig. 4.2.6(e)).

라. 인산인($\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$)

유출수 인산인 농도는 유입수에 비해 약간 낮게 나타났으나 큰 차이는 보이지 않았다. 따라서, 본 조사결과 저류지를 통한 인산인의 저감효과는 없는 것으로 판단된다(Fig. 4.2.6(f)).

(3) 유량특성

1, 2, 3차 조사 시 조사대상 지점의 유량조사를 위하여 저류지 유입부의 골짜기를 선택하여 단면과 유속을 측정하여 유량을 산정하였다. 강우지속 시간에 따라 유량이 증가하면 최대강우강도 지점을 지나 점차 줄어드는 경향을 나타내고 있었다(Fig. 4.2.7~9).

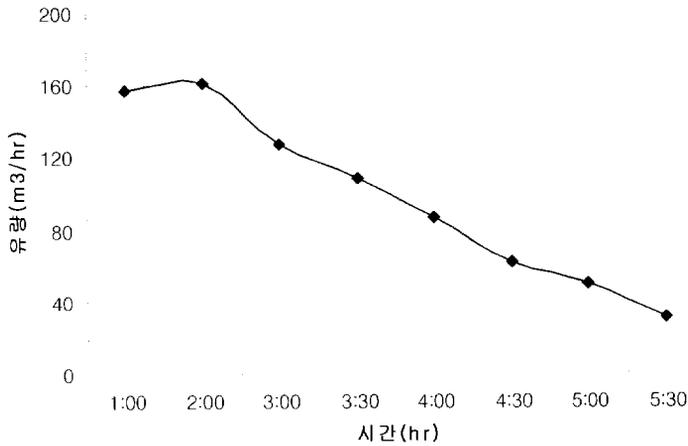


Fig. 4.2.7 Variation of runoff volume(1st)

Table 4.2.12 Runoff volume(1st)

시간	유량(m ³ /hr)
13:00	157.68
14:00	161.64
15:00	127.15
15:30	108.54
16:00	86.40
16:30	61.56
17:00	49.75
17:30	31.32

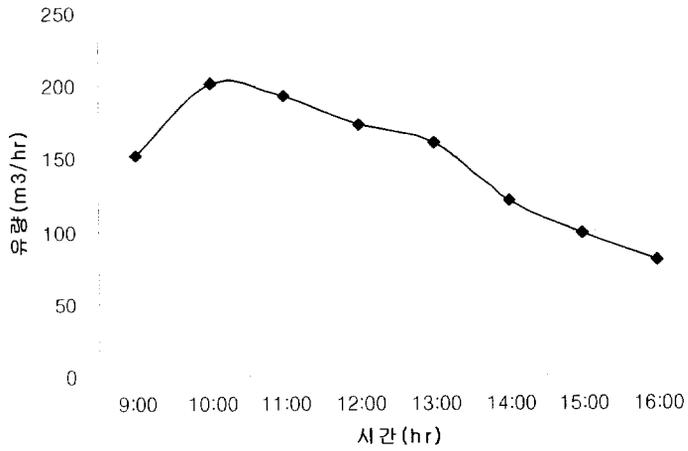


Fig. 4.2.8 Variation of runoff volume(2nd)

Table 4.2.13 Runoff volume(2nd)

시간	유량(m ³ /hr)
9:00	152.1
10:00	201.1
11:00	193.1
12:00	172.4
13:00	160.0
14:00	120.7
15:00	97.8
16:00	79.2

Table 4.2.14 Runoff volume(3rd)

시간	유량(m ³ /hr)
13:00	52.5
14:00	30.1
15:00	9.7

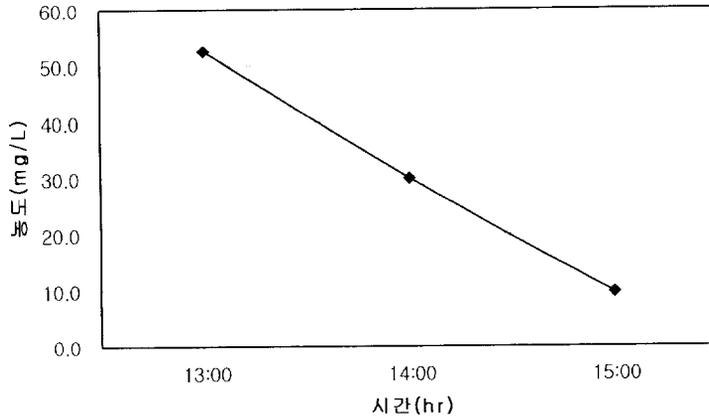


Fig. 4.2.9 Variation of runoff volume(3rd)

(4) 부하량 및 삭감효율

1) 1차조사

부하량은 시간별 각 수질농도에 유량을 곱하여 산정하였다. 강우지속시간에 따라 유출부하량이 증가하는 경향을 보였으며, 강우강도가 감소하는 지점부터 부하량도 감소하는 현상을 나타내었다.

각 항목별, 시간별 유입·유출 부하량과 삭감효율은 Table 4.2.15 와 같다. 산출된 각 항목별 총 유입부하량은 COD 7.473Kg, TSS 6.310Kg, DIN 1.694Kg, 그리고 $PO_4^{3-}P$ 0.006Kg이었고, 총 유출부하량은 COD 3.341Kg, TSS 3.125Kg, DIN 1.872Kg 그리고 $PO_4^{3-}P$ 0.005Kg으로 조사되었다.

삭감효율은 COD와 TSS의 경우는 각각 55.3, 22.4%로 나타났으나 영양염의 경우는 오히려 저류되었던 것이 유출되는 경향을 보였다.

Table 4.2.15 Loading and removal Efficiency(1st)

시간		항목	COD	TSS	VSS	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN*	PO ₄ ³⁻ -P
유입 (kg/hr)	13:00	3.138	2.917	2.089	0.002	0.002	0.393	0.397	0.002	
	14:00	1.838	1.036	0.290	0.053	0.002	0.404	0.459	0.001	
	15:00	0.572	0.540	0.159	0.018	0.001	0.318	0.002	0.001	
	15:30	0.176	0.670	0.319	0.127	0.001	0.274	0.402	0.001	
	16:00	0.639	0.601	0.250	0.019	0.001	0.220	0.002	0.001	
	16:30	0.246	0.231	0.031	0.050	0.000	0.158	0.208	0.001	
	17:00	0.323	0.163	0.015	0.006	0.000	0.129	0.136	0.000	
	17:30	0.000	0.152	0.010	0.007	0.000	0.081	0.088	0.000	
	합계	7.473	6.310	3.164	0.282	0.008	1.978	1.694	0.006	
유출 (kg/hr)	13:00	0.814	0.885	0.500	0.013	0.003	0.397	0.413	0.002	
	14:00	1.103	0.681	0.085	0.008	0.002	0.404	0.414	0.001	
	15:00	0.933	0.581	0.073	0.006	0.002	0.320	0.328	0.001	
	15:30	0.041	0.434	0.026	0.041	0.001	0.276	0.318	0.001	
	16:00	0.003	0.312	0.024	0.003	0.001	0.222	0.226	0.000	
	16:30	0.447	0.233	0.027	0.016	0.000	0.157	0.173	0.000	
	17:00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	17:30	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
	합계	3.341	3.125	0.735	0.087	0.008	1.776	1.872	0.005	
삭감 효율 (%)	13:00	74.06	69.68	76.07	-560.00	-46.67	-0.97	-3.97	0.00	
	14:00	39.99	34.32	70.68	85.01	20.00	-0.12	9.85	0.00	
	15:00	-63.06	-7.53	54.29	-268.75	-72.73	-0.35	-16300	0.00	
	15:30	76.70	35.17	92.00	97.44	7.69	-0.61	20.9	-66.67	
	16:00	99.50	48.13	90.42	-1607.69	-23.08	-1.07	-11200	60.00	
	16:30	-81.70	-0.80	11.12	68.46	0.00	0.57	16.81	40.00	
	17:00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	17:30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
	평균	55.3	22.37	49.32	-273.19	-14.35	-0.32	-10.5	4.17	

2) 2차조사

Table 4.2.16 Loading and removal Efficiency(2st)

항목 시간		COD	TSS	VSS	NH ₄ ⁺ -N	NO ₂ ⁻ -N	NO ₃ ⁻ -N	DIN [*]	PO ₄ ³⁻ -P	
		유입 (kg/hr)		9:00	1.080	1.415	1.026	0.048	0.001	0.379
10:00	1.444			4.620	1.341	0.005	0.002	0.502	0.522	0.002
11:00	1.757			1.981	3.090	0.069	0.002	0.484	0.564	0.002
12:00	0.801			2.775	0.045	0.017	0.001	0.435	0.458	0.002
13:00	0.763			3.681	0.489	0.044	0.001	0.408	0.450	0.002
14:00	0.313			0.502	0.295	0.002	0.001	0.309	0.302	0.001
15:00	0.273			0.254	0.196	0.008	0.000	0.254	0.259	0.001
16:00	0.174			0.260	0.066	0.006	0.001	0.205	0.199	0.001
합계	6.604			15.486	6.547	0.199	0.009	2.976	3.194	0.011
유출 (kg/hr)		9:00	1.200	0.803	1.028	0.152	0.002	0.389	0.442	0.001
		10:00	1.285	0.900	2.201	0.201	0.002	0.516	0.528	0.002
		11:00	1.134	0.901	0.351	0.095	0.002	0.483	0.580	0.002
		12:00	0.924	0.590	0.206	0.012	0.002	0.439	0.452	0.004
		13:00	0.769	0.694	0.337	0.029	0.002	0.406	0.421	0.001
		14:00	0.384	0.391	0.159	0.009	0.001	0.307	0.316	0.001
		15:00	0.307	0.299	0.029	0.098	0.001	0.245	0.253	0.001
		16:00	0.205	0.218	0.040	0.079	0.001	0.199	0.202	0.001
		합계	6.209	4.794	4.350	0.675	0.012	2.984	3.194	0.012
삭감 효율 (%)		9:00	-11.14	43.26	-0.19	-216.7	-61.54	-2.47	-0.5	42.86
		10:00	11.02	80.53	-64.18	-3920.0	-30.77	-2.73	-1.1	16.67
		11:00	35.46	54.50	88.64	-37.7	-16.67	0.09	-2.8	-20.00
		12:00	-15.32	78.75	-359.76	29.4	-44.44	-0.87	1.3	-116.67
		13:00	-0.83	81.16	31.10	34.1	-55.56	0.32	6.4	16.67
		14:00	-22.90	22.15	46.17	-350	0.00	0.89	-4.6	0.00
		15:00	-12.77	-17.64	85.30	-1125	-28.57	3.44	2.3	0.00
		16:00	-18.02	16.25	40.00	-1217	0.00	3.13	-1.5	0.00
		합계	5.98	44.87	-16.62	-239	-29.69	0.22	0	-7.56

2차조사시 각 항목별, 시간별 유입·유출 부하량과 삭감효율은 Table 4.2.16과 같다. 산출된 각 항목별 총 유입부하량은 COD 6.604Kg, TSS 15.486Kg, DIN 0.199Kg, 그리고 $PO_4^{3-}P$ 0.011Kg이었고, 총 유출부하량은 COD 6.209Kg, TSS 4.794Kg, DIN 3.194Kg 그리고 $PO_4^{3-}P$ 0.012Kg으로 조사되었다. 삭감효율의 경우는 1차와 유사한 결과를 보였다.

3) 3차조사

3차조사시 각 항목별, 시간별 유입·유출 부하량과 삭감효율은 Table 4.2.17과 같다. 산출된 각 항목별 총 유입부하량은 COD 0.653Kg, TSS 0.589Kg, DIN 0.233Kg, 그리고 $PO_4^{3-}P$ 0.001Kg이었고, 총 유출부하량은 COD 1.570Kg, TSS 1.443Kg, DIN 0.705Kg 그리고 $PO_4^{3-}P$ 0.001Kg으로 조사되었다. 삭감효율의 경우는 1, 2차와 유사한 결과를 보였다.

Table 4.2.17 Loading and removal Efficiency(3rd)

시간 \ 항목		항목							
		COD	TSS	VSS	NH_4^+-N	$NO_2^- -N$	$NO_3^- -N$	DIN*	$PO_4^{3-} -P$
유입 (kg/hr)	13:00	0.388	0.381	0.249	0.001	0.000	0.132	0.133	0.000
	14:00	0.206	0.152	0.091	0.001	0.000	0.074	0.076	0.000
	15:00	0.059	0.056	0.043	0.000	0.000	0.024	0.024	0.000
	합계	0.653	0.589	0.384	0.003	0.000	0.230	0.233	0.001
유출 (kg/hr)	13:00	0.175	0.175	0.135	0.005	0.001	0.132	0.137	0.000
	14:00	0.071	0.071	0.057	0.001	0.000	0.073	0.075	0.000
	15:00	0.019	0.019	0.013	0.001	0.000	0.025	0.026	0.000
	합계	1.570	1.443	0.972	0.013	0.001	0.691	0.705	0.001
삭감 효율 (%)	13:00	54.84	54.02	46.02	-239.13	-200.00	-0.03	-2.71	0.00
	14:00	65.71	53.53	38.04	7.50	-220.00	0.87	0.73	25.00
	15:00	68.15	66.67	68.75	-270.83	-255.56	-3.15	-6.23	50.00
	합계	62.90	58.07	50.94	-167.49	-225.19	-0.77	-2.73	25.00

4.2.3 비점오염물질저감을 위한 제안

비점오염원은 넓은 면적에 분포하는 오염물질로서 산림, 초지, 도시용지, 건설지, 농경지, 하상퇴적물, 도로, 대기오염강하물 등의 부하를 포함하며, 일반적으로 이들 부하는 강우 시 유출되기 때문에 일간, 계절간 배출량의 변화가 크며 예측과 정량화가 어려운 특성을 지니고 있다. 또한 도시화의 증대에 따라 투수지역의 감소로 인하여 소량의 강우에도 우수유출의 영향을 크게 받고 있으며, 불투수 지역에서 누적된 각종 오염물질의 유출로 도시지역으로부터 인근 수계가 심각한 수질오염의 영향을 받고 있다. 따라서 장래의 수질관리는 비점오염원의 효율적인 관리여부에 달려 있다고 해도 과언이 아니다.

비점오염원의 유출부하는 토지이용 형태에 따라 차이가 있는데 일반적으로 토지이용별 비점오염원 유출특성에서 유량과 오염물질 농도는 강우사상과 토지이용특성에 따라 부하변동과 침투시간이 크게 차이가 나는 것으로 나타나며, 토지이용 형태에 다소 차이는 있으나 대부분 유량침투 피크 보다는 오염물질 농도침투 피크가 앞서 나타나는 경향을 보인다. 또한 부하침투피크는 대부분 농도 피크보다는 유량피크와 유사한 시기에 나타나 오염물질의 부하량은 농도보다는 유량에 의한 영향이 큰 것으로 알려져 있다. 특히 유량의 변화는 강우사상에 따라 다소 차이는 있으나 유역경사가 높은 산림지역과 불투수층 비율이 높은 도시지역의 경우 유량이 급격히 증가 또는 감소하는 경향을 보이며, 급속한 우수의 유입과 유출이 일어나고, 논과 밭 지역은 완만한 증감곡선을 보이는 것이 특징이다. 이처럼 비점오염원은 강우시 다량으로 유입되기 때문에 침투 유량과 농도, 그리고 시기에 따른 수질영향 조사가 반드시 이루어져야 비점오염원의 저감을 위한 시설의 선정과 효율을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

비점오염원의 저감을 위한 관리기술은 매우 다양하다. 그러나 가장 중요한 것은 토지이용 형태와 그 지역의 특성에 맞는 최적관리기술의 선정과 적용이라 할 수 있다. 일반적으로 비점오염원의 관리는 오염물질이 발생하는 해당지역에서 이를 저감하는 것이 가장 좋으며, 그 다음으로는 강우유출 과정 중에서 이를 수집하여 처리하는 것이 바람직하며, 오염부하가 클 경우 적절한 공법 등을 통하여 직접 처리하여 수계로 방류하는 것이 좋다 (Table 4.2.18).

그러나 이러한 관리기술은 오염물질의 발생과 유출 후 이루어지는 형태이므로 지역적 여건과 유출특성에 대한 세밀한 분석이 이루어진 후 적합한 방법의 선정이 이루어져야 한다. 더불어 어떠한 비점오염원의 저감을 위한 시설 등을 설치하기에 앞서 이루어져야 할 것이 기존 시설의 활용과 이에 대한 대국민적 교육과 홍보를 통한 비점오염원의 발생원 자체를 감소시키는 일일 것이다.

Table 4.2.18 Technical methods of non-point source control

발생원 관리	수집시스템 관리	직접처리	제도·교육·홍보
침식방지 공법	침전트랩 설치	물리/화학적 처리	습지보전
침투향상 공법	침투도랑, 연못 설치	생물학적 처리	토지이용규제
지표면저류 공법 발생원 청소	준설 관거월류수 조절 식생조성 우수유수지 활용		도시청결관리 사업장 법적관리 교육·홍보활동

4.3 비점오염원 관리를 위한 환경교육

4.3.1 비점오염원 교육을 적용한 본시 교수, 학습 지도안

현행 고등학교 환경교과서인 ‘생태와 환경’에 언급되어 있지 않은 비점오염원의 개념 및 비점오염물질 측정법, 그리고 비점오염원 관리 대책 등에 대한 교육을 행하기 위하여 본시 교수, 학습 지도안을 <Appendix 2>와 같이 작성하여 학생들에게 적용해 보았다.

(1) 학습 주제 및 수업 모형

지도안 1의 학습 주제는 비점오염원과 비점오염물질 측정법으로 정하였고, 학습 목표는 다음과 같이 정하였다.

- 비점오염원의 정의에 대해 이해한다.
- 수질오염관리에서 비점오염원 관리의 중요성을 인식한다.
- 하천 유량측정 방법을 안다.
- 비점오염물질 중에서 부유물질(SS)을 측정할 수 있다.

수업 모형은 탐구 수업, 경험 수업, 발견 수업으로 정하였고, 탐구 형태는 조별 탐구와 교사의 시범 탐구를 혼합한 형태를 취하였다.

교수, 학습기자재는 파워포인트자료, 비점오염물질(SS)이 포함된 물, 증류수, 비이커, 유속계(Valeport BFM001), YSI-6570, 여과기(유리섬유여과지GF/C), 시계접시, 드라이오븐, 전기로, 데시케이터, 전자저울 등을 준비했다.

지도안 2의 학습 주제는 저류지의 비점오염물질 측정과 관리방안으로 정하였고, 학습 목표는 다음과 같이 정하였다.

- 학교 주변 저류지에서 SS측정, 유입,유출수의 양 측정, 부하량 측정을 직접 할 수 있다.
- 비점오염현장조사에 직접 참여함으로써 환경사랑 정신을 가진다.

수업 모형은 경험 수업, 참여 수업, 야외 수업, 실험 수업으로 정하였고, 탐구 형태는 조별 탐구와 교사의 시범 탐구를 혼합한 형태를 취하였다.

교수.학습 기자재는 유속계(Valeport BFM001), YSI-6570, 채수병(2ℓ, 폴리에틸렌), 증류수, 비이커, 여과기(유리섬유여과지GF/C), 시계접시, 드라이오븐, 전기로, 데시케이터, 전자저울, 채집망, 쓰레기봉투, 청소 용구 등을 준비했다.

(2) 단원의 개관과 강조점

물은 사람과 동식물이 살아가는 데 필수적인 요소이다. 우리는 매일 물을 마시면서 살아가야 하는데, 각종 오염 물질로 인하여 물이 점점 오염되고 있다. 또한, 바다도 육지에서 유입되는 오염 물질, 기름 등으로 인하여 오염되고 있다. 우리는 물의 오염을 방지하기 위해서 어떻게 해야 할까?

이 단원에서는 수질오염의 원인과 수질오염 물질의 특성을 알아보고, 수질 오염에 따른 피해 사례와 해양 오염에 관하여 알아보고 방지 대책을 찾아보고자 한다.

또한, 수질오염원 중에서 비점오염원이 무엇인지, 그 관리 대책은 어떻게 할 수 있는지에 대해 알아보고자 한다.

(3) 단원 설정의 이유

현행 환경교과서인 '생태와 환경, 교과서에는 수질오염의 주된 발생원으로 생활 하수, 공장 폐수, 축산 폐수 등을 언급하고 있으며, 수질오염 물질

의 종류를 다음 <표 >와 같이 분류하여 다루고 있으나 배출 특성에 따른 분류인 점오염원, 비점오염원으로는 분류되어 있지 않다.

점오염원은 환경기준에 의해 규제 및 관리가 되고 있으며, 비점오염원에 비해 관리가 용이하므로 점오염원의 오염물질을 처리하기 위한 환경기초시설들이 매년 확충되었고, 이에 따라 환경기초시설의 설치에 필요한 점오염원별 배출특성이나 처리방법 등의 조사도 많이 이루어져 왔으나, 점오염원의 오염물질 정화만으로는 수질악화를 둔화시킬 수는 있어도 수질은 향상되지 않고 점점 더 악화되고 있는 실정인데 이는 최근까지 주로 생활하수와 산업폐수 등의 점오염원에 국한하여 중점적으로 수질관리를 실행해서 부분적으로 효과를 얻을 수는 있었지만, 점오염원 이외의 비점오염원이 대량으로 하천 및 호소에 유입되기 때문에 점오염원에 국한한 수질관리만으로는 호소나 하천 등의 오염저감에는 큰 효과가 없기 때문에 추정할 수 있다. 즉, 하천 및 호소 등의 수질오염 악화 및 수질 개선 효과가 적은 원인이 비점오염원의 관리 소홀에 기인함이 여러 연구 조사에 의해 밝혀지고 있다.

그래서, 본 교수. 학습 지도안을 통하여 비점오염원의 정의 및 비점오염원 관리가 수질오염관리에 있어 얼마나 중요한지, 또한 비점오염원의 관리 대책은 어떤 것들이 있는지를 인식할 수 있도록 하고자 한다.

(4) 단원의 목표

1) 지식의 이해

- 수질오염의 원인이 무엇인지 안다.
- 수질오염 물질의 특성을 이해한다.
- 수질오염원 중에서 비점오염원이 무엇인지 안다.

2) 탐구 능력의 신장

- 수질오염의 피해사례를 조사해본다.
- 비점오염원의 관리대책에 대해 생각해 본다.

3) 태도의 함양

- 수질오염의 피해가 얼마나 심각한지를 깨닫고, 우리 인간의 삶에 필수적 요소인 물오염이 갈수록 심각해지므로, 지구환경을 보호해야겠다는 마음을 가지며, 수질오염을 줄이기 위한 생활 속의 작은 실천을 하도록 한다.

- 수질오염원 중 비점오염원 관리가 얼마나 중요하며, 지구 환경이 오염되면 될수록 관리가 어려운 비점오염물질이 많이 발생함을 이해하여 환경보호에 대한 관심을 갖도록 한다.

(5) 학습체계도

현 교과서에는 대단원인 환경오염에 중단원으로 대기오염, 수질오염, 토양오염과 유실, 폐기물 오염 및 기타 로 분류하고, 각 오염의 발생 원인 및 종류와 특성, 각 오염에 의한 피해사례와 방지 대책에 대하여 언급되어 있는데, 본 연구에서는 중단원 수질오염에 비점오염원과 관련된 내용을 첨가하여 교수. 학습지도안을 작성하고 적용해보았다.

(6) 학습지도계획

환경오염 단원은 총 13시간을 할당하였는데, 이 중 대기오염은 3시간, 수질오염은 4시간, 토양오염은 3시간, 폐기물 오염도 3시간으로 배분하였고, 수질오염 단원에서 비점오염원과 관련된 수업은 5차시와 6차시에 걸쳐서 이루어지도록 구성하였다.

(7) 교수.학습 본시지도안

1) 본시지도안 1

도입에서는 선행학습의 확인을 위하여 수질오염물질의 종류와 물의 오염 정도를 나타내는 척도에 무엇이 있는지를 물어보아 학생들의 선행학습의 도달수준을 확인한 후 학습 목표를 제시한다.

전개에서는 비점오염원에 대한 개념인식 및 수질관리에 있어서 비점오염원 관리가 중요한 이유 등을 학생들의 생각을 끄집어내어 같이 정리해본다. 탐구 활동은 비점오염물질 측정법 중에서 유입.유출수의 양 측정, 부유물질 측정 방법을 설명한 후, 조별로 준비한 시수의 부유물질 측정 실험을 실시하도록 한다. 유리섬유여과지법에 의한 부유물질 측정은 5시간 정도 소요되므로, 본시가 끝난 후에 쉬는 시간을 이용하여 조별 실험을 하도록 지도한다.

정리 및 토의 단계에서는 실험 결과를 각 조의 모둠장이 실험보고서에 기록하게 한 후, 다음 시간에 조별로 결과를 발표하도록 한다.

차시예고 단계에서는 다음 시간에는 학교 주변 저류지에서 SS측정, 유입,유출수의 양 측정, 부하량 측정을 직접할 것이므로 체육복과 운동화를 착용하고, 청소용구와 쓰레기 봉투를 반장과 주변이 준비하여 조례대 앞에 집합할 것을 안내한다.

2) 본시지도안 2

도입에서는 선행학습의 확인을 위하여 비점오염원이란 무엇인지, 비점오염원에는 어떤 것이 있는지, 수질관리에서 비점오염원관리가 왜 중요한지, 비점오염물질 측정법에는 어떤 방법이 있는지 등을 물어보아 학생들의 선행학습의 도달수준을 확인한 후 학습 목표를 제시한다.

전개에서는 학교 주변에 큰 저류지를 설치한 이유에 대해 생각해보도록

유도한 후, 저류지가 비점오염원 관리 시설 중 하나임을 인식할 수 있도록 유도한다. 탐구 활동은 저류지에서 조별로 유속-면적법을 이용하여 유입, 유출수의 양을 측정하고, 채수병에 저류지의 유입수와 유출수를 채수하여 실험실에 가져와서 유리섬유여과지법으로 SS측정을 해보도록 한다.

실험이 끝나면 저류지 위에 떠 있는 쓰레기는 채집망으로 제거하고 주변의 쓰레기를 줍는 등의 환경정화 활동을 실시한다.

정리 및 토의 단계에서는 빗물과 수질오염과의 상관관계를 학생들과 함께 토의해 본 후에 수질오염을 방지하기 위해서 학생들이 실천할 수 있는 일들을 이야기해본다. 학생들이 비점오염현장조사에 참여하고 난 후의 소감을 이야기해 보게 한다.

다음 시간에는 해양 오염의 피해와 방지대책에 대하여 공부하겠음을 예고하고, 해양오염에 대한 자료 조사를 사전에 해보도록 과제를 제시한다.

4.3.2 교내의 비점오염원관리를 통한 환경교육

(1) 고등학교 환경교과목에서 비점오염원 관리의 중요성이 언급되었는지의 여부

10학년의 '과학'교과목에서는 '환경'단원이 '1.생물농축, 2.산성비, 3.온실효과, 4.소음'내 중단원으로 분류되어 있는데 이들 단원 중에서 '1. 생물농축' 단원에서 수질오염과 관련된 내용을 다루고 있지만 비점오염원에 관한 내용은 전혀 언급되고 있지 않으며, 11~12학년의 '생태와 환경'교과목에서도 비점오염원에 관한 내용은 전혀 언급되고 있지 않다.

그러므로, 학교의 환경교과서에 점오염원과 비점오염원에 대한 내용을 수록하고, 효율적인 수질 관리를 위해서는 비점오염원 관리 또한 점오염원 관리 못지않게 중요함을 학생들에게 교육할 필요성이 있다.

(2) 비점오염원 관리를 위한 학교의 환경교육

- ① 우선, 학생 들이 점오염원과 비점오염원의 의미를 알게 한다.
- ② 점오염원 관리 못지않게 비점오염원 관리 또한 중요함을 인식시킨다.
- ③ 비점오염원의 관리 방안을 생각해 보게 한 후 발표시킨다.
- ④ 학교 저류지에 흘러 들어오는 유입수와 유출수의 수질을 분석한 결과를 직접 학생들에게 제시하고, 비점오염물질의 저감시설 중의 하나인 저류형 시설과 그 효용성을 소개한다.
- ⑤ 학생들로 하여금 환경친화적 가치관을 가질 수 있도록 직접 환경정화 운동에 참여할 수 있도록 권장하며, 이를 학교 봉사점수 인정 등의 방법으로 활성화 시킨다.

(3) 비점오염원 관리를 위한 기초 실험

1) 하천유량측정방법

일반적인 하천유량측정방법은 유속-면적법(Velocity-area method)으로 구한다. 흔히 유량이라 하면 단위시간당(hr or sec) 흐르는 물의 양(l , m^3)으로 정의된다. 관심대상 하천 혹은 수로의 유량을 계산하기 위한 방법으로서 유속-면적법(Velocity-area method)이 있다. 연중 유량의 변화가 크지 않고 하천바닥의 상태가 고른 지점을 선정하여 물이 흐르는 방향과 직각이 되도록 하천의 양 끝을 로프로 고정하고 등간격으로 측정점을 정한다.

Fig. 4.3.1과 같이 하천에 물이 흐르는 단면을 여러개의 소구간 단면으로 나누어 각 소구간마다 수심 및 유속계로 1~2개의 점 유속을 측정하고

소구간 단면의 평균 유속 및 단면적을 구한다. 이 평균 유속에 소구간 단면적을 곱하여 소구간 유량(q_m)으로 한다.

소구간 단면에 있어서 평균유속 V_m 은,

- 수심이 0.4m 미만일 때 $V_m = V_{0.6}$
- 수심이 0.4m 이상일 때 $V_m = (V_{0.2} + V_{0.8}) \times 1/2$

여기서 $V_{0.2}$, $V_{0.6}$, $V_{0.8}$ 은 각각 수면으로부터 전 수심의 20%, 60% 및 80%인 점의 유속을 의미한다.

이렇게 구해진 소구간 단면적과 유속을 이용하여 아래식과 같이 총 유량을 산정하게 된다. 여기서 Q 는 총유량, q_m 은 소구간 유량, V_m 은 소구간 유속을 의미한다.

$$Q = q_1 + q_2 + q_3 \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot + q_m$$

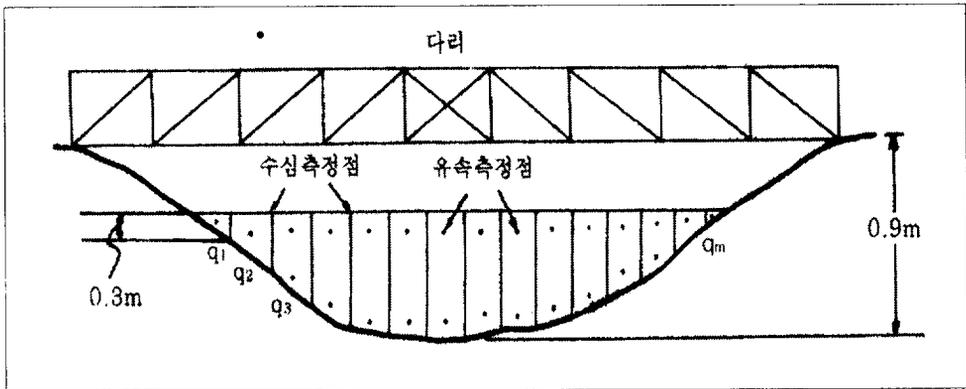


Fig. 4.3.1 Flow rate measurement

2) 부유물질의 측정방법(SS : Suspended Solid)

가. 정의

부유물질은 농지나 공사장의 나대지로부터 토양침식작용에 의해 발생하고, 매립이나 준설공사장에서 토사유출에 의해 발생하는데 부유물질로 인해 물을 흐리게 하여 각종 물이용 목적에 부적합하게 만드는 수질오염물질이다. 부유물질의 종류로는 토사에 의한 부유물질과 식물플랑크톤 번식에 의한 휘발성 부유물질이 있다. 부유물질의 영향으로는 정수장에서 먹는 물을 만드는 공정에 있어서 정수비용을 증가시키고 수중으로의 광의 투과를 감소시켜 수중식물의 광합성을 저해하며, 저층에 퇴적됨으로 저서생물 생육에 지장을 주며, 항만과 저수지의 수심을 감소시키기도 한다. 부유물질의 측정방법은 유리섬유여과지(GF/C)를 이용하여 일정량의 시수를 여과하여 여과기에 분리된 물질을 105℃~110℃에서 2시간 건조시킨 후 무게로 표시한다. 이를 총 부유물질(TSS)이라고 한다. TSS를 측정한 여과지를 500±50℃에서 15분간 회화시킨 후 무게의 감량을 휘발성 부유물질(VSS)이라고 한다.

나. 실험방법

전체적인 실험 과정을 Fig. 4.3.2와 같이 Flow Chart로 나타내었고 이에 필요한 실험장비에 대한 설명은 Fig. 4.3.3과 같다.

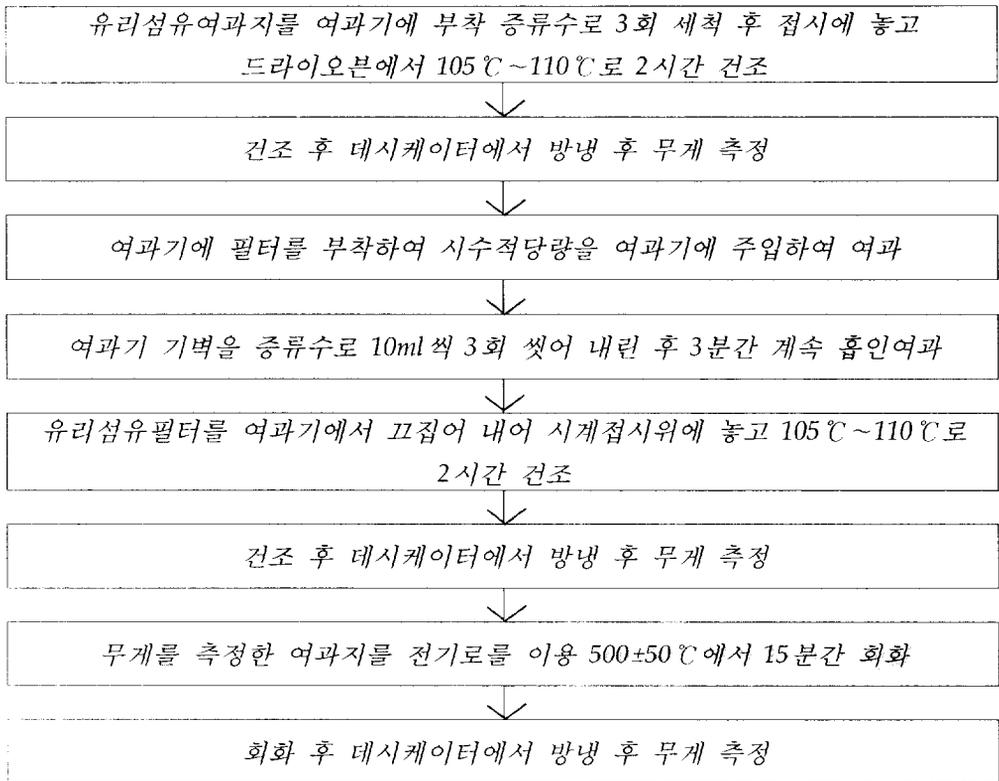


Fig. 4.3.2 Flow chart for analysis of suspended solid.

V. 결론

산업발달에 의한 경제적 발전과 삶의 질이 향상됨에 따라 환경오염 또한 급격히 증대하였다. 또한 우리나라는 유엔에서 지정한 「물부족국가」로 분류되어 수자원 확보 및 관리는 무엇보다 중요하다. 이에 범 국가적인 차원에서 수질관리정책이 시행되었으나, 수질이 향상되기 보다는 점점 악화되고 있다. 이러한 이유는 그 동안의 수질관리가 점오염원 중심으로 관리되어 왔기 때문에 강우시 비점오염원의 유출을 적절히 관리하지 못했기 때문이다.

고등학교 학생을 대상으로 한 환경교육에서 학생들에게 수질오염의 심각성을 일깨우고 수질오염방지대책으로 점오염원관리 못지않게 비점오염 관리가 중요함을 인식시키고자 현 고등학교 교과서에 기술되어 있지 않는 점오염원과 비점오염원의 개념을 학생들에게 주지시킨 후 환경교육장으로 학교인근의 인공저류지를 대상으로 비점오염물질 삭감효율 분석·평가를 실시하고 체험학습을 다음과 같은 과정으로 적용하였다.

1. 학교 주변에 비점오염원 관리 장소가 있는지 물색한 결과 연못과 저류지를 찾았다.
2. 강우시, 학교 주변 소규모 저류지에서 직접 비점오염물질 측정을 3회 실시했다.
3. 학생들에게 비점오염원의 개념을 주지시켰다.
4. 수질오염관리에 있어 점오염원관리 못지않게 비점오염원 관리가 중요함을 인식시켰다.
5. 학교 가까운 곳에 비점오염원 관리를 위한 시설 중 하나인 저류지

가 있음을 보여 주었다.

6. 학생들이 직접 비점오염물질 중 SS측정, 유입수와 유출수의 유량 측정, 부하량 측정 등을 해보도록 지도했다.
7. 저류지 주변의 쓰레기를 제거하는 등 작은 환경보호운동을 실천해 보도록 하였다.

이상과 같이 학교 주변의 소규모 저류지를 이용한 비점오염원관리에 대한 환경교육을 실시한 결과, 학생들이 종전에 가지고 있지 않았거나 부족했던 환경에 대한 인식을 체험교육, 실천교육을 통하여 보다 더 고양시킬 수 있었다.

또한, 고등학교 학생들을 대상으로 환경의식 및 환경과목에 대한 설문조사를 실시한 결과를 보더라도 학생들이 기본적으로 환경에 대한 중요성은 인식하고 있으나 구체적이고 현실적인 환경에 대한 개념이나 의식이 갖추어져 있지 않아 그 실천적 의지도 부족하며, 현재 환경교육이 과도한 입시제도 등에 의하여 비 중요 과목으로 밀려나서 제대로 이루어지지 않고 있음이 여실히 드러난다.

그러므로, 앞으로의 환경교육이 나아가야할 방향을 제언한다면, 다음과 같다.

첫째, 환경에 대한 이해식 교육보다는 환경을 위한 실천식 교육과 환경으로부터의 체험식 교육의 중요성에 대한 인식이 높으므로 현장 체험적이고 문제 해결적인 다양한 형태의 환경교육 프로그램이 개발되어야 할 것이다.

둘째, 환경교육을 위한 장을 멀리서 찾을 것이 아니라 학교 주변에서 학생들이 쉽게 접할 수 있는 환경체험학습장을 충분히 활용하여야 할 것이다.

셋째, 수질 관리에 있어 점오염원 관리 못지않게 비점오염원 관리가 중요하므로 현행 교과서에 언급되어 있지 않은 비점오염원이 개념 및 그 관리의 중요성에 대한 언급이 제 8차 환경교과서에는 반드시 수록되어야 할 것이다.

넷째, 환경문제는 인간이 발생시켰으므로 그 해결 또한 인간이 해야 한다는 책임 의식을 체험식, 실천적 환경교육을 통해 키울 수 있어야겠다.

다섯째, 체험적, 실천적 환경교육을 통한 환경친화적 가치관을 함양시킴으로써 환경문제를 유발할 수 있는 행동의 자제 및 환경보호에 대한 인식 증대를 가질 수 있도록 해야 할 것이다.

다들 환경이 중요하다는 것은 인정하지만 환경행동으로까지 이어지는 경우가 극히 드문데, 이는 자기 환경화가 이루어지지 않았기 때문이다. 학생들이 미래지향적인 관점에서 환경을 바라보고 환경문제에 대한 관심과 의식의 변화를 증진시켜 환경행동으로 이어질 수 있도록 앞으로의 환경교육이 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- Jensen, R.(1983) : Natural Wastewater Treatment System, Texas Water Resources, Vol.14, No.3, pp.1~18
- Loehr, Raymond C.,(1974) : Characteristics and comparative magnitude of nonpoint sources. Journal WPCF, Vol.46, No.8, pp.1849~1872
- Mitch W. J. and S. E. Jorgensen, 1989, Ecological Engineering, John Wiley & Sons, New York, 461pp
- Paterson, K.G. and Schnoor, J.L.(1993) : Vegetative Alteration of Nitrate Fate in Unsaturated Zone, J.Environ. Eng., Vol.119, No.5, pp. 986~993
- 김대희, 1997, 환경친화적 가치관에 따른 환경교육의 발전방향에 관한 연구, 서울대학교 대학원 농업교육과 농촌사회교육전공
- 라덕관·김기성, 1996, 수질에 미치는 비점오염원의 영향, 순천대학교 공업기술연구소 논문집 제10호 pp.139~149
- 박원규, 1993, 수질총량규제방식의 활용방안에 관한 연구 (I) - 한국적 총량규제제도의 방향제시 - 한국환경기술개발원 연구보고서: pp.261~295
- 이현동·배철호, 2002, 비점오염원 유출특성과 저감을 위한 최적관리방안, 한국물환경학회지, 총설, 18권 6호 pp.569~576
- 정희성·윤갑식, 2003, 지속가능성 평가를 위한 지역 생태-경제 모형개발
- 최지용, 2002, 물환경 생태복원을 위한 수질관리, 한국환경생물학회 Vol.20 No. pp.20~29
- 한국환경정책평가연구원, 2002, 비점오염원 저감을 위한 우수 유출수 관리

방안, 한국환경기술개발원 연구보고서 Vol.-No.3 pp.1~168
환경부, 2002, 학교환경교육 내용체계화 연구
환경부, 환경관리공단, 2003, 비점오염원관리를 위한 강우유출수 관리 매뉴얼

<Appendix 1>

환경친화적 가치관과 환경 교과에 대한 관심도 조사에 관한 설문지

본 설문지는 환경에 대한 학생들의 인식과 환경과목에 대한 학생들의 선호 등을 알아보아 환경교육에 작으나마 도움이 될 수 있는 연구를 하기 위한 설문 조사이니 질문에 성실하게 답해 주시면 감사하겠습니다.

이 설문 자료는 본인의 교육학 석사논문 지필에 참고하기 위한 것으로, 본 연구 이외의 목적에는 사용하지 않을 것을 약속드립니다.

응답은 귀하의 의견과 일치되는 부분의 숫자에 V 표시하면 됩니다. 감사합니다.

2005년 4월
부경대학교 교육대학원 환경교육전공
지도교수 : 이 석 모
연구자 : 김 미 혜 드림

귀하는 고등학교 ()학년입니까?

다음은 환경과 개발에 대한 내용으로서 귀하의 의견과 일치된다고 생각되는 곳에 V 표시를 하십시오.

- | | | 적극반대 | 반대 | 중립 | 찬성 | 적극찬성 |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|------|
| 1. 과학 기술은 이로운보다 피해가 많다. | 1----- | 2----- | 3----- | 4----- | 5----- | |
| 2. 환경자원이 심각하게 남용되고 있다. | 1----- | 2----- | 3----- | 4----- | 5----- | |
| 3. 현 경제, 사회체제로는 환경위기를 극복할 수 없다. | 1----- | 2----- | 3----- | 4----- | 5----- | |
| 4. 과학기술의 발달만으로는 환경문제를 해결할 수 없다. | 1----- | 2----- | 3----- | 4----- | 5----- | |
| 5. 인간이 자연 질서를 파괴하는 것은 큰 재앙을 초래할 것이다. | 1----- | 2----- | 3----- | 4----- | 5----- | |

6. 자라는 세대에게 과학기술을 가르치는 만큼 자연에 대하여 가르쳐야 한다.

1-----2-----3-----4-----5

7. 인류가 생존하기 위해서는 자연과 조화롭게 살아야만 한다.

1-----2-----3-----4-----5

8. 급속한 경제 성장은 이로운보다는 피해를 더 낳는다.

1-----2-----3-----4-----5

9. 환경친화적인 생활에서 사람들은 더 행복하게 살 것 이다.

1-----2-----3-----4-----5

10. 신기술 개발은 환경문제의 해결과 관련하여 개발되어야만 한다.

1-----2-----3-----4-----5

11. 환경교육에 관한 협의회가 구성되어 생활과 관련된 규제 조치를 내린다면 귀하는 이를 따를
것입니까?

1-----2-----3-----4-----5

다음 환경문제 해결 방안에 대하여 귀하의 관심 수준과 일치되는 곳에 V
표시를 하십시오.

	관심 없음	보통 수준	관심 많음
1.쓰레기 감축 및 관리 체계	1-----2-----3-----4-----5		
2. 대기 오염 개선 분야	1-----2-----3-----4-----5		
3. 산림 보호 분야	1-----2-----3-----4-----5		
4. 상하수도 개선 분야	1-----2-----3-----4-----5		

- 5. 토양 보전 분야 1-----2-----3-----4-----5
- 6. 강 및 호수 오염 개선 분야 1-----2-----3-----4-----5
- 7. 해양 오염 개선 분야 1-----2-----3-----4-----5
- 8. 야생 동식물 보호 분야 1-----2-----3-----4-----5
- 9. 자원 및 에너지 절약 분야 1-----2-----3-----4-----5

다음은 환경교육과 관련된 사항으로서 귀하의 의견과 일치된다고 생각되는 곳에 V표시를 하십시오.

- 교육과정에는 있으나
- | | | | |
|--|----------|---------|-----|
| | 진혀 안 배웠음 | 기의 안배웠음 | 배웠음 |
|--|----------|---------|-----|
- 1. 중학교 때 환경과목을 배웠습니까? 1-----2-----3-----4-----5
- | | | | |
|--|-------|-----|-------|
| | 필요 없음 | 필요함 | 꼭 필요함 |
|--|-------|-----|-------|
- 2. 환경 과목이 고등학교 교육과정에 필요하다고 생각합니까? 1-----2-----3-----4-----5
- | | | | |
|--|-------|-------|-------|
| | 수용 안함 | 보통 수준 | 적극 수용 |
|--|-------|-------|-------|
- 3. 환경교육에 관한 교육을 한 가지 이상 받아야만 하는 것으로 규정이 바뀐다면 이를 수용할 것입니까? 1-----2-----3-----4-----5

다음의 환경교육의 유형에 대해 앞으로 강조해 나가야 할 정도에 대한 귀하의 의견과 일치된다고 생각되는 곳에 V표시를 하십시오.

- | | | | |
|--|-------|-------|-------|
| | 강조 안함 | 보통 수준 | 매우 강조 |
|--|-------|-------|-------|
- 1. 환경에 대한 이해식 교육 1-----2-----3-----4-----5

2. 환경으로부터의 체험식 교육 1-----2-----3-----4-----5
3. 환경을 위한 실천 교육 1-----2-----3-----4-----5
4. 기타, () 1-----2-----3-----4-----5

다음 환경문제 해결방안에 대하여 귀하가 받아들여 생활에 반영할 수 있다고 생각되는 곳에 V 표시를 하십시오.

- | | 소극 반영 | 보통 수준 | 적극 반영 |
|----------------------------|---------------------------|-------|-------|
| 1. 재사용 가능 물품 이용료 지급(병우유 등) | 1-----2-----3-----4-----5 | | |
| 2. 재생 용품 사용 의무화(재생 화장지 등) | 1-----2-----3-----4-----5 | | |
| 3. 환경운동 단체 가입 및 활동지원 | 1-----2-----3-----4-----5 | | |
| 4. 강화된 환경규제의 준수 | 1-----2-----3-----4-----5 | | |
| 5. 환경관련 교육 및 모임 참석 | 1-----2-----3-----4-----5 | | |
| 6. 환경오염 행동자에 대한 실책 및 고발 | 1-----2-----3-----4-----5 | | |
| 7. 개인의 자발적 생활 양식 변화 | 1-----2-----3-----4-----5 | | |
| 8. 쓰레기 종량제 준수 | 1-----2-----3-----4-----5 | | |
| 9. 남긴 음식물에 대한 벌금 부과 | 1-----2-----3-----4-----5 | | |
| 10. 강화된 자가용 이용 억제책 | 1-----2-----3-----4-----5 | | |

귀하가 현재의 환경의식을 갖는 데 결정적으로 영향을 준 계기는? 다음 중 특별히 영향을 준 계기가 있다면 해당되는 곳에 모두 V표시를 하십시오.

1. 신문, TV 등에서의 환경기사 및 환경재난 뉴스 ()
2. 환경 교육 ① 이해식 () ② 체험식 () ③ 실천식 () ④ 기타 ()
3. 농산물 등에 대한 사랑 ()
4. 환경재난에 따른 위기 의식 ()
5. 환경운동 단체가입 및 활동 ()
6. 행복의 가치에 대한 의식의 변화 ()
7. 숲 또는 산 등에서 받은 친화적 느낌 ()
8. 환경문제 발생과 해결에 대한 책임 의식 ()
9. 국가간 계층간의 불평등에 대한 반성적 의식 ()
10. 자원절약 등 환경문제 해결과 관련된 실천적 행동 ()
11. 성서의 가르침에 대한 깨달음 및 종교 생활 ()
12. 동양의 전통적 사상(도교, 불교 등)에 대한 깨달음 및 종교 생활 ()
13. 기타; ()

<Appendix 2>

2005학년도

환경과 교수.학습 지도안 1

단원	III. 환경오염 2. 수질오염
일시	0000년 0월 0일 0교시
장소	과학실
대상	0학년 0반 (00명)
지도 교사	김 미 혜

00 고 등 학 교

I. 학습 주제 및 수업 모형

대단원	Ⅲ. 환경오염	소단원	2. 수질오염	차시	5/13
학습 주제	비점오염원과 비점오염물질 측정법		교과서	64~65쪽	
학습 목표	1. 비점오염원의 정의에 대해 이해한다. 2. 수질오염관리에서 비점오염원 관리의 중요성을 인식한다. 3. 하천 유량측정 방법을 안다. 4. 비점오염물질 중에서 부유물질(SS)을 측정할 수 있다.				
열린 수업 전략	수업 모형	실험 수업			
	탐구 형태	조별 탐구, 시범 탐구			
	교수·학습 기자재	과워포인트자료, 비점오염물질(SS)이 포함된 물, 유속계(Valeport BFM001), YSI-6570, 증류수, 비이커, 여과기(유리섬유여과지GF/C), 시계접시, 드라이오븐, 전기로, 데시케이터, 전자저울			

Ⅱ. 환경 교과에 대한 학생들의 관심도 조사

학생들의 환경에 대한 인식과 환경과목에 대한 선호도를 알아보아 환경교육에 작으나마 도움이 될 수 있는 연구를 하기 위하여 다음과 같은 설문 조사를 실시했다. 설문조사 대상은 인문계고등학교 1학년, 2학년 여학생들로서 140명의 의견을 조사하였다.

III. 설문조사 결과

설문조사 결과는 다음과 같이 나왔다.

답변1) 부정 또는 반대 ↔ ↔ ↔ 답변5) 긍정 또는 찬성

항 목	질 문 내 용	1	2	3	4	5
환경교육을 받은 경험	중학교 때 환경과목을 배웠는가?	20	3	5	5	97
환경교육의 교육과정에서의 비중	환경 과목이 고등학교 교육과정에 필요하다고 생각하는가?	18	29	63	12	8
	환경교육에 관한 교육을 한 가지 이상 받아야만 하는 것으로 규정이 바뀐다면 이를 수용할 것인가?	16	14	70	23	7
강조해야할 환경교육의 유형	환경교육에서 환경에 대한 이해식 교육의 중요도는?	6	20	41	44	40
	환경교육에서 환경으로부터의 체험식 교육의 중요도는?	3	11	32	44	40
	환경교육에서 환경을 위한 실천식 교육의 중요도는?	4	15	38	39	34
환경문제 해결방안 중 생활에 반영할 수 있는 사항	제사용 가능 물품 이용료 지급(병우유 등)	8	13	47	30	32
	재생 용품 사용 의무화(재생 화장지 등)	1	21	46	29	32
	환경운동 단체 가입	28	46	41	12	3
	강화된 환경규제의 준수	6	25	52	34	13
	환경관련 교육 및 모임 참석	24	32	50	22	2
	환경오염 행동자에 대한 실책 및 고발	9	28	33	26	35
	개인의 자발적 생활 양식 변화	·	6	31	57	36
	쓰레기 종량제 준수	4	5	24	42	55
	남긴 음식물에 대한 벌금 부과	11	28	35	37	19
환경과 개발에 대한 내용	등.하교 시 자가용 대신 대중교통 수단 이용	5	20	30	33	42
	과학 기술은 이로움보다 피해가 많다.	4	23	94	8	1
	환경자원이 심각하게 남용되고 있다.	·	2	19	68	41
	현 경제, 사회체제로는 환경위기를 극복할 수 없다.	4	17	38	48	23
	과학기술의 발달만으로는 환경문제를 해결할 수 없다.	2	19	22	46	41
	인간이 자연 질서를 파괴하는 것은 큰 재앙을 초래할 것이다.	·	4	13	43	70
	자라는 세대에게 과학기술을 가르치는 만큼 자연에 대하여 가르쳐야 한다.	·	1	19	48	62
인류가 생존하기 위해서는 자연과 조화롭게 살아야만 한다.	·	1	13	39	77	

	급속한 경제 성장은 이로운보다는 피해를 더 낳는다.	1	14	61	36	19
	환경친화적인 생활에서 사람들은 더 행복하게 살 것이다.	.	11	22	55	42
	신기술 개발은 환경문제의 해결과 관련하여 개발되어야만 한다.	1	7	28	49	45
	환경교육에 관한 협의회가 구성되어 생활과 관련된 규제 조치를 내린다면 귀하는 이를 따를 것입니까?	3	7	56	55	12

설문조사결과를 취합하면 다음 표와 같다.

항 목 (%)	부정 또는 반대	약간부정	보통	약간긍정	긍정 또는 찬성
환경교육을 받은 경험	15.38	2.31	3.85	3.85	74.62
환경교육의 교육과정에서의 비중	13.07	16.54	51.15	13.46	4.62
강조해야할 환경교육의 유형 (이해식, 체험식, 실천식 교육)	3.33	11.79	28.46	32.56	29.23
환경문제 해결방안 중 생활에 반영할 수 있는 사항	7.38	17.23	29.92	24.77	20.69
환경과 개발에 대한 내용	1.05	7.41	26.92	34.62	30.28

- 중학교 때 환경과목을 배웠는가? 에는 “그렇다.”가 가장 많았다.
- 환경교육의 교육과정에서의 비중은 ‘중간’에 응답한 사람이 가장 많았다.
- 강조해야할 환경교육의 유형에 대한 질문에는 이해식 교육, 체험식 교육, 실천식 교육 모두 강조해야한다고 응답한 사람이 가장 많았다.
- 환경문제를 해결하기위한 방안으로 생활에 반영할 수 있는 사항들에 대한 질문에는 ‘환경운동 단체가입’항목만 제외하고 대부분 “반영할 수 있다.”로 응답했다.

· 환경과 개발에 대한 생각을 묻는 항목에는 “과학 기술은 이로움보다 피해가 많다.”라는 생각에만 ‘중간’이 가장 많았고 나머지 항목은 “그렇다.”가 가장 많았다.

이상에서 설문조사한 결과를 바탕으로 볼 때 학생들이 기본적으로 환경에 대한 중요성은 인식하고 있으나 구체적이고 현실적인 환경에 대한 개념이나 의식이 갖추어져 있지 않아 그 실천적 의지도 부족하며, 현재 환경교육이 과도한 입시제도 등에 의하여 비 중요 과목으로 밀려나서 제대로 이루어지지 않고 있음이 여실히 드러난다.

IV. 단원의 개관과 강조점

물은 사람과 동식물이 살아가는 데 필수적인 요소이다. 우리는 매일 물을 마시면서 살아가야 하는데, 각종 오염 물질로 인하여 물이 점점 오염되고 있다. 또한, 바다도 육지에서 유입되는 오염 물질, 기름 등으로 인하여 오염되고 있다. 우리는 물의 오염을 방지하기 위해서 어떻게 해야 할까?

이 단원에서는 수질오염의 원인과 수질오염 물질의 특성을 알아보고, 수질 오염에 따른 피해 사례와 해양 오염에 관하여 알아보고 방지 대책을 찾아보자.

또한, 수질오염원 중에서 비점오염원이 무엇인지, 그 관리 대책은 어떻게 할 수 있는지에 대해 알아보자.

V. 단원 설정의 이유

현행 환경교과서인 ‘생태와 환경, 교과서에는 수질오염의 주된 발생원으로 생활 하수, 공장 폐수, 축산 폐수 등을 언급하고 있으며, 수질오염 물질의 종류를 다음 <표 >와 같이 분류하여 다루고 있으나 배출 특성에 따른 분

류인 점오염원, 비점오염원으로는 분류되어 있지 않다.

점오염원은 환경기준에 의해 규제 및 관리가 되고 있으며, 비점오염원에 비해 관리가 용이하므로 점오염원의 오염물질을 처리하기 위한 환경기초시설들이 매년 확충되었고, 이에 따라 환경기초시설의 설치에 필요한 점오염원별 배출특성이나 처리방법 등의 조사도 많이 이루어져 왔으나, 점오염원의 오염물질 정화만으로는 수질악화를 둔화시킬 수는 있어도 수질은 향상되지 않고 점점 더 악화되고 있는 실정인데 이는 최근까지 주로 생활하수와 산업폐수 등의 점오염원에 국한하여 중점적으로 수질관리를 실행해서 부분적으로 효과를 얻을 수는 있었지만, 점오염원 이외의 비점오염원이 대량으로 하천 및 호소에 유입되기 때문에 점오염원에 국한한 수질관리만으로는 호소나 하천 등의 오염저감에는 큰 효과가 없기 때문으로 추정할 수 있다. 즉, 하천 및 호소 등의 수질오염 악화 및 수질 개선 효과가 적은 원인이 비점오염원의 관리 소홀에 기인함이 여러 연구 조사에 의해 밝혀지고 있다.

그래서, 본 교수, 학습 지도안을 통하여 비점오염원의 정의 및 비점오염원 관리가 수질오염관리에 있어 얼마나 중요한지, 또한 비점오염원의 관리 대책은 어떤 것들이 있는지를 인식할 수 있도록 한다.

VI. 단원의 목표

1. 지식의 이해

- 수질오염의 원인이 무엇인지 안다.
- 수질오염 물질의 특성을 이해한다.
- 수질오염원 중에서 비점오염원이 무엇인지 안다.

2. 탐구 능력의 신장

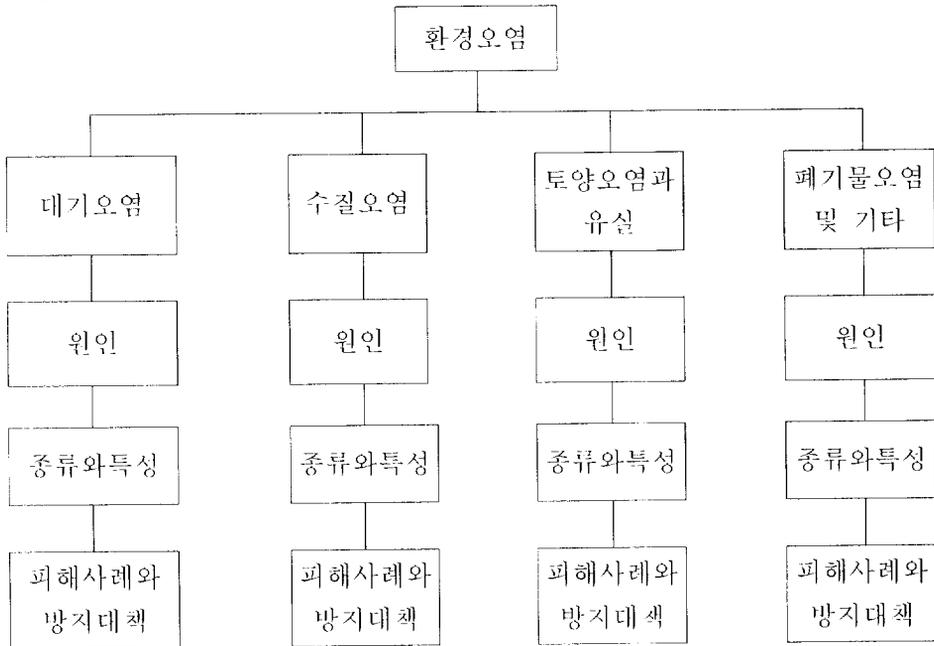
- 수질오염의 피해사례를 조사해본다.
- 비점오염원의 관리대책에 대해 생각해 본다.

3. 태도의 함양

· 수질오염의 피해가 얼마나 심각한지를 깨닫고, 우리 인간의 삶에 필수적 요소인 물오염이 갈수록 심각해지므로, 지구환경을 보호해야겠다는 마음을 가지며, 수질오염을 줄이기 위한 생활 속의 작은 실천을 하도록 한다.

· 수질오염원 중 비점오염원 관리가 얼마나 중요하며, 지구 환경이 오염되면 될수록 관리가 어려운 비점오염물질이 많이 발생함을 이해하여 환경보호에 대한 관심을 갖도록 한다.

VII. 학습체계도



VIII. 학습지도계획

대 단 원	소단원	시간배당		지도내용
		시간수	차시	
III. 환 경 오 염	1. 대기 오염	3	1/13	대기 오염의 원인 및 대기 오염 물질의 종류와 특성
			2/13	대기 오염의 피해 사례와 방지 대책
			3/13	악취의 피해 사례와 방지 대책
	2. 수질 오염	4	4/13	수질 오염의 원인 및 수질 오염 물질의 종류와 그 방지 대책
			5/13	비점오염원과 비점오염물질 측정법
			6/13	저류지의 비점오염물질 측정과 관리방안
			7/13	해양 오염의 피해와 방지대책
	3. 토양 오염과 유실	3	7/13	토양 오염의 원인과 오염 물질
			8/13	토양 오염의 피해 사례와 방지 대책
			9/13	토양 유실
	4. 폐기물 오염 및 기타	3	10/13	폐기물의 종류
			11/13	폐기물에 의한 환경 오염 사례와 방지 대책
			12/13	소음과 진동의 발생원 및 영향
계	13			

Ⅸ. 교수·학습 본시 지도안

대단원	Ⅲ. 환경오염 2. 수질 오염		대상학년	2
소단원	(2) 수질 오염 물질의 종류 ② 비점오염물질과 방지 대책		차시	5/13
학습 목표	1. 비점오염원의 정의에 대해 이해한다. 2. 수질오염관리에서 비점오염원 관리의 중요성을 인식한다. 3. 하천 유량측정 방법을 안다. 4. 비점오염물질 중에서 부유물질(SS)을 측정할 수 있다.			
단계	학습내용	교수·학습 방법		자료 및 유의점
		교사	학생	
도입 (5분)	· 선행학습의 확인 · 학습목표의 확인	▷수질오염물질에는 어떤 것이 있는가? ▷물의 오염 정도를 알아보는 척도에는 어떤 것이 있는가? ▷학습 목표의 제시	▶함께 생각한다. 희망자는 대답한다 ▶전체 다같이 생각하며 답함. ▶학습 목표 숙지	파워포인트1 (학습목표)
전개 (40분)	· 개념 인식 및 탐구방법 안내	▷비점오염원이란? - 수질오염원 중 발생장소가 불확실한 오염원 ▷비점오염원에는 어떤 것이 있을까? ▷비점오염원에는 어떤 것이 있는지 정리해 준다. ▷수질관리에서 비점오염원관리가 왜 중요할까? ▷수질관리에서 비점오염원 관리가 중요한 이유를 정리해준다.	▶경청 ▶함께 생각한다. 희망자는 대답한다. ▶경청 ▶함께 생각한다. 희망자는 대답한다. ▶경청	파워포인트2 (비점오염물질 측정법)
	· 탐구 활동 실시-제형 활동	▷비점오염물질 측정을 위해서 유입,유출수의 양 측정, SS측정법을 살펴봅시다. ▷유입,유출수의 양 측정, 부하량 측정법은 이론적으로 설명한다. ▷비점오염물질 측정법 중 학생들이 간단하게 할 수 있는 SS 측정방법을 설명한다. ▷조별로 SS측정을 실시한다	▶경청 ▶경청 ▶경청 ▶정확하게 실험에 임한다.	파워포인트3 (SS측정방법)
정리 (5분)	· 정리의 및 예고 · 차시 예고	▷실험 결과를 실험보고서에 기록하게 한 후 조별로 결과를 발표하게 한다. ▷다음 시간에는 학교 주변 지류지에서 SS측정, 유입,유출수의 양 측정, 부하량 측정을 직접 해 보겠습니다.	▶각 조의 모듬장이 실험 결과를 기록하여 다음 시간에 발표한다.	· 복장은 체육복과 운동화 · 반장과 주머니는 정소도구(빗자루, 집게, 쓰레기 봉투등)을 준비 · 집합장소는 조레대 앞

실험 보고서 I

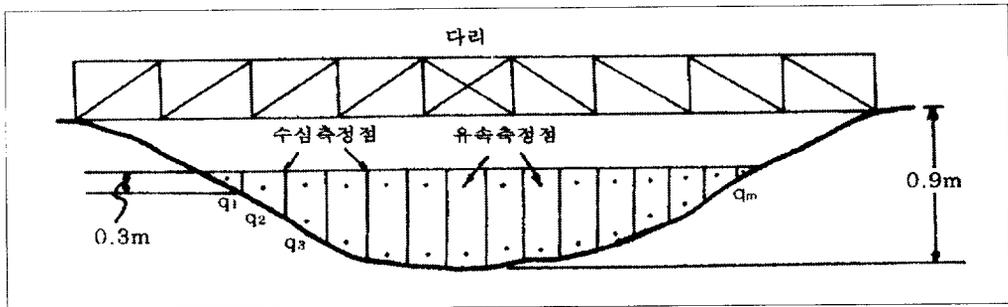
실험 일시	년 월 일	교시	학 번
실험 제목	비점오염물질 측정법		성 명
실험 목표	1) 하천 유량측정 방법을 안다. 2) 비점오염물질 중에서 부유물질(SS)을 측정할 수 있다.		
준비물	비점오염물질(SS)이 포함된 물, YSI-6570, 여과기(유리섬유여과지GF/C), 종류수, 비이커, 시계접시, 드라이오븐, 전기로, 데시케이터, 전자저울		

* 실험 과정

1. 하천 유량측정 방법 중 <유속-면적법>

* 유속-면적법: 연중 유량의 변화가 크지 않고 하천 바닥의 상태가 고른 지점을 선정하여 물이 흐르는 방향과 직각이 되도록 하천의 양 끝을 로프로 고정하고 등간격으로 측정점을 정한다. 아래 그림과 같이 하천에 물이 흐르는 단면을 여러 개의 소구간 단면으로 나누어 각 소구간마다 수심 및 유속계로 1~2개의 점 유속을 측정하고 소구간 단면의 평균 유속 및 단면적을 구한다.

- 유량: 단위 시간당 흐르는 물의 양 [ℓ / hr] [m^3 / sec]
- 소구간 유량(q_m): 평균 유속 \times 단면적
- 소구간 유속(V_m)
 - 수심 $< 0.4\text{m}$: $V_m = V_{0.6}$
 - 수심 $\geq 0.4\text{m}$: $V_m = (V_{0.2} + V_{0.8}) \times 1/2$
 ($V_{0.2}$, $V_{0.6}$, $V_{0.8}$ 는 각각 수면으로부터 전 수심의 20%, 60%, 80%인 점의 유속)
- 총유량(Q) = $q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_m$



2. 비점오염물질 중에서 부유물질(SS) 측정법

- ① 유리섬유여과지를 여과기에 부착, 증류수로 3회 세척 후 접시에 놓고 드라이오븐에서 105°C ~ 110°C로 2시간 건조한다.
- ② 건조 후 데시케이터에서 방냉 후 무게 1(여과지의 무게)을 측정한다.
- ③ 여과기에 필터를 부착하여 시수 적당량을 여과기에 주입하여 여과시킨다.
- ④ 여과기 기벽을 증류수로 10ml씩 3회 씻어 내린 후 3분간 계속 흡인 여과한다.
- ⑤ 유리섬유 필터를 여과기에서 고집어내어 시계접시 위에 놓고 105°C ~ 110°C로 2시간 건조한다.
- ⑥ 건조 후 데시케이터에서 방냉 후 무게 2를 측정한다.
- ⑦ 무게를 측정한 여과지를 전기로를 이용하여 500±50°C에서 15분간 회화시킨다.
- ⑧ 회화 후 데시케이터에서 방냉 후 무게 3을 측정한다.

* 실험 결과

실험 과정대로 실험을 실시한 후 결과를 다음 표에 기록하시오.

측정 항목	무게1	무게2	TSS (무게2-무게1)	무게3	VSS (무게2-무게3)
측정값(mg)					

※ TSS : 총부유물질 VSS : 휘발성부유물질

2005학년도

환경과 교수.학습 지도안 II

단원	III. 환경오염 2. 수질오염
일시	0000년 0월 0일 0교시
장소	학교 주변 저류지
대상	0학년 0반 (00명)
지도 교사	김 미 혜

00 고 등 학 교

I. 학습 주제 및 수업 모형

대단원	Ⅲ. 환경오염	소단원	2. 수질오염	차시	6/13
학습 주제	비점오염물질 측정과 관리방안			교과서	64~65쪽
학습 목표	1. 학교 주변 저류지에서 SS측정, 유입,유출수의 양 측정, 부하량 측정을 직접 할 수 있다. 2. 환경 보호 운동에 직접 참여함으로써 환경사랑 정신을 가진다.				
열린 수업 전략	수업 모형	경험 수업, 참여 수업, 야외 수업, 실험 수업			
	탐구 형태	조별 탐구, 시범 탐구			
	교수.학습 기자재	유속계(Valeport BFM001), YSI-6570, 증류수, 비이커, 채수병(2ℓ, 폴리에틸렌), 여과기(유리섬유여과지 GF/C), 시계접시, 드라이오븐, 전기로, 대시케이터, 전자저울,채집망, 쓰레기 봉투, 청소 용구			

Ⅱ. 교수. 학습 분시 지도안

대단원	Ⅲ. 환경오염	2. 수질 오염	대상 학년	2
소단원	(2) 수질 오염 물질의 종류 ② 비점오염물질과 방지 대책		차시	6/13
학습 목표	1. 저류지의 비점오염물질을 측정할 수 있다. 2. 비점오염원 관리시설 중 하나인 저류지의 역할을 안다. 3. 환경정화운동을 통해 환경사랑 정신을 가진다.			

단계	학습 내용	교수.학습 방법		자료 및 유의점
		교사	학생	
도입 (5분)	<ul style="list-style-type: none"> · 선행 학습의 확인 · 학습 목표의 확인 	<ul style="list-style-type: none"> ▷비점오염원이란? ▷비점오염원에는 어떤 것이 있을까? ▷수질관리에서 비점오염원관리가 왜 중요할까? ▷비점오염물질 측정법에는 어떤 방법이 있는가? ▷학습 목표의 제시 	<ul style="list-style-type: none"> ▶함께 생각한다. 희망자는 대답한다. ▶함께 생각한다. 희망자는 대답한다. ▶함께 생각한다. 희망자는 대답한다. ▶함께 생각한다. 희망자는 대답한다. ▶학습 목표 숙지 	조례대앞에서 집합한 후 저류지로 함께 이동한다.
전개 (40분)	<ul style="list-style-type: none"> · 개념 인식 및 구방법 안내 	<ul style="list-style-type: none"> ▷우리학교 주변에 비점오염원이 모여 있는 장소인 저류지에 가볼까요 ▷학교 주변에 이런 장소가 있었다는 것을 알고 있었던 사람은? ▷선생님도 최근에야 이런 큰 저류지가 학교 주변에 있다는 것을 알고 학교 시설에 저류지가 왜 필요한 지를 생각해 봤답니다. 여러분은 왜 필요하다고 생각하나요? 	<ul style="list-style-type: none"> ▶선생님의 인솔 하에 인사불란 하게 움직인다. ▶해당자는 손을 든다. ▶함께 생각한다. 희망자는 대답한다. 	저류지로 이동할 때 다른 학급에 방해가 되지 않도록 정숙하게 이동할 수 있도록 지도한다.
	<ul style="list-style-type: none"> · 탐구 활동 실시- 체험 활동 	<ul style="list-style-type: none"> ▷지난 시간에 배운 비점오염물질 측정법을 이 저류지에서 직접 적용해보자. ▷실험이 끝나면 저류지 위에 떠 있는 쓰레기는 채집망으로 제거하고 주변의 쓰레기를 줍게 한다. 	<ul style="list-style-type: none"> ▶교사의 지도하에 실험에 성실히 일한다 	저류지가 깊으므로 안전에 주의할 것.
정리 (5분)	<ul style="list-style-type: none"> · 정리 및 토의 · 자시 예고 	<ul style="list-style-type: none"> ▷비점오염원은 거의 '빗물'이라 할 수 있다고 했죠. 그럼, 빗물과 수질오염과의 상관관계를 이야기해 봅시다. ▷수질오염을 방지하기 위해서 우리들이 실천할 수 있는 일들을 이야기해 봅시다. ▷여러분들이 환경운동을 실천하고 난 후의 소감을 한번 이야기해 봅시다. 	<ul style="list-style-type: none"> ▶함께 생각한다. 희망자는 대답한다. ▶함께 생각한다. 희망자는 대답한다. ▶자신의 느낌을 말한다. ▶경청 	

	<p>▷다음 시간에는 해양 오염의 피해와 방지대책에 대하여 공부하겠습니다. 해양은 생명의 원천이며 미래 자원의 보고이므로 우리 인간의 삶에 매우 중요한 공간이죠. 해양오염에 대한 자료조사를 사전에 해보고 오도록 합니다.</p>		
--	--	--	--

실험 보고서 II

실험 일시	년 월 일 교시	학 번	
실험 제목	저류지의 비점오염물질 측정	성 명	
실험 목표	1) 저류지의 비점오염물질을 측정할 수 있다. 2) 비점오염원 관리시설 중 하나인 저류지의 역할을 안다. 3) 환경정화운동을 통해 환경사랑 정신을 가진다.		
준비물	유속계(Valeport BFM001), YSI-6570, 채수병(2ℓ, 폴리에틸렌), 여과기(유리섬유여과지GF/C), 증류수, 비이커, 시계접시, 드라이오 븐, 전기로, 데시케이터, 전자저울, 채집망, 쓰레기 봉투, 청소 용구		

* 실험 과정

- 1) YSI-6570를 이용하여 저류지의 수온, pH, DO 등을 측정한다.
- 2) 유속-면적법을 이용하여 유량을 측정한다.
- 3) 저류지의 물을 채수병에 담아와서 실험실에서 유리섬유 여과지법으로 부유 물질을 측정한다.
- 4) 저류지 주변의 환경정화운동을 실시한다.

* 실험 결과

- 1) 저류지의 환경 및 유입, 유출량, 비점오염물질 중 SS의 양 등을 측정한 결과를 다음 표에 기록한다.

	수온	pH	DO	유입량	유출량	부유물질의 양
1						
2						
3						
4						
5						

- 2) 호소수질환경기준에 의거할 때 우리학교 저류지물은 몇 등급에 해당될까?
- 3) 환경정화운동을 실시한 후의 느낌을 솔직하게 적어보세요.