

GIS를 응용한 주암 상수원수계의 오염원 DB 구축과 수질관리 생태계모형¹

양홍모² · 권유리³

Pollutant Source Database and Water Quality Management Ecosystem Model for Juam Reservoir Watershed Using GIS¹

Hong-Mo Yang², Yu-Ri Kwon³

요 약

주암호는 전라남도와 광주광역시에 약 1,180,000톤/일의 생활용수와 공업용수를 공급하는 상수원이다. 상수원수계의 생활하수, 축산폐수, 숙박업소, 식당 등 점오염원과 주거지, 농경지, 산림지역에서 우수와 함께 유출되는 비점오염원으로부터 발생하는 오염부하량으로 이들 상수원의 수질은 점점 악화되어 3급수로 전락할 우려가 높아지고 있다. 이들 상수원의 수질관리에 있어 중요한 인자의 파악과 인자들간 상호작용의 이해를 용이하게 해주는 수계수질관리 부분생태계모형을 제시하였으며, 지리정보체계를 응용하여 수계의 점오염원과 비점오염원을 데이터베이스화하는 방법, 오염부하량 산출방법, 점원 및 비점오염원의 공간분석, 상수원보호구역으로부터 완충구역 분석, 위성자료 분석을 통한 상수원 수계 토지이용분석과 비점오염원 부하량산출 응용 방법 등을 연구하였다. 분석결과 주암호수계의 BOD 부하량은 주거지, 생활하수, 축산폐수, 경작지, 식당이 차지하는 비율이 높으며, 총질소 부하량은 경작지, 산림, 생활하수, 축산폐수가 높으며, 그리고 총인 부하량은 생활하수, 축산폐수, 경작지가 높은 것으로 나타났다. 점오염원인 생활하수, 축산폐수, 식당뿐만 아니라 비점오염원인 경작지도 수질오염에 상당한 영향을 미치고 있다.

주요어 : 수계수질관리 부분생태계모형, 지리정보체계, 점오염원, 비점오염원, 데이터베이스

ABSTRACT

Juam Reservoir has provided domestic and industrial water of about 1,180,000ton per day to Chollanam-do Province and Kwangju City. Its water quality has been gradually degraded, which attributes to the increasing pollutant loads discharged from residences, animal farms, restaurants and motels. Considerable quantities of pollutants from non-point sources, especially residential and agricultural runoffs, also have caused a gradual degradation of the quality. A watershed water quality management partial ecosystem model is proposed for the compre-

1 접수 5월 31일 Received on May 31, 1999

2 전남대학교 조경학과 Dept. of Landscape Architecture, Chonnam Nat'l Univ., Kwangju 500-757, Korea(hmy@chonnam.chonnam.ac.kr)

3 전남대학교 지리정보체계협동과정 석사 Dept. of Geoinformatics, Chonnam Nat'l Univ., Kwangju 500-757, Korea(ylgwn@hitel.net)

hensive water quality management of the lake. It can easily identify important components of the water quality management and interrelationships between them. Application of GIS (Geographical Information Systems) for database management of point and non-point sources of the reservoir watershed was discussed. A spatial analysis of point and non-point sources, a buffer zone examination of a specific distance from the shorelines of the lakes, calculations of pollutant inputs into the reservoirs, and analyses of land uses of the watershed using remote sensing data are also addressed.

KEY WORDS : WATER QUALITY MANAGEMENT PARTIAL ECOSYSTEM MODEL, GIS, POINT SOURCE, NON-POINT SOURCE, DATABASE

서론

전라남도와 광주광역시에 생활 및 공업 용수를 공급하는 주암호의 수질이 점점 악화되어가고 있다. 수계의 수질을 종합적으로 관리하기 위해서는 수질관리 생태계모형(water quality management ecosystem model)을 활용하는 것이 보다 합리적이다. 수질관리 생태계모형은 수질오염 관리에 있어 중요한 인자의 파악과 인자들간 상호작용의 이해를 용이하게 해 주어 수질관리 대안을 비교할 수 있는 틀을 제공할 수 있다.

주암호의 수질관리를 위한 연구가 진행되어 오고 있지만 유역의 오염원 및 오염배출량과 부하량을 산출할 수 있는 데이터베이스가 구축되어 있지 않은 실정이다. 합리적인 수질관리를 위해서는 각 오염원의 공간상 위치를 쉽게 파악할 수 있어야 하며, 하천이나 호수로부터 얼마나 떨어진 위치에 어떤 오염원이 위치하고 있는가를 분석할 수 있어야 한다. 그리고, 유역별로 오염원의 종류와 규모의 분석, 오염발생량 및 부하량 산출이 용이하여야 하며, 오염원의 위치와 발생량에 변화가 있을 때 자료의 수정이 용이해야 한다. 이러한 분석, 파악, 산출, 자료수정을 위해서는 지리정보체계(GIS)를 활용한 데이터베이스 구축이 필수적이다.

본 연구에서는 주암호 수질관리를 위한 수질관리 부분생태계모형(partial ecosystem model)을 제시하며, GIS를 활용하여 주암호 수계 내의 점원 및 비점오염원의 공간자료와 속성자료를 입력하여 데이터베이스를 구축하는 방법을 연구한다. 구축한 데이터베이스를 기초로 유역별 오염배출량 및 부하량을 산출하는 방법과 오염원에 관한 공간분석 방법을 연구하며, GIS로 구축한 데이터베이스를 이용자들이 쉽게 활용할 수 있는 방법을 연구한다.

연구내용 및 방법

1. 수계수질관리 생태계모형과 GIS 응용

연구에 응용하는 모형(model)을 크게 수식모형과 개념모형으로 대별할 수 있다. 수식모형은 연구대상이 되는 체계(system)를 구성하고 있는 요소(인자, 변수)들간에 설정된 가설을 수학적 공식으로 표현하며, 개념모형은 요소들간의 상호관계를 개념적으로 설명한다(Patten, 1983; Slocombe, 1993; James, 1995). 수계수질관리에 있어 수식모형은 수질오염을 야기하는 몇 가지 제한된 인자와 수계의 반응을 비교적 쉽게 예측할 수 있지만, 복잡한 수질오염 인자들과 수계의 상호작용 파악을 위해서는 개념모형이 더 효율적이다(양홍모, 1997).

수계수질관리에서 수문학적 접근은 유출량(runoff), 유출오염부하, 강우, 하천유량, 하천수질 등의 분석을 기초로 수계수질 분석 및 예측에 중점을 두고 있다. 대부분 수식모형을 활용하고 있으며, 비점원오염 모형(Nonpoint Source Pollution Model) 연구에 집중되어 있다. STORM(Storage, Treatment, Overflow, Runoff Model), CREAMS(Chemical, Runoff, and Erosion from the Agriculture Management System), ANSWERS(Areal Nonpoint Source Watershed Environmental Response Simulation), AGNPS(Agricultural Nonpoint Source Pollution Model)는 대표적인 비점원 모형들이며, QUAL2E, WASP5는 대표적인 하천수질모형(surface water quality model)이다. GIS를 수계수질관리 수문학적 접근에 활용하는 방법은 위에서 언급한 모형에 필요한 입력자료의 전처리에 응용하는 방법(ad hoc integration), 모형의 입력자료 전처리뿐

만 아니라 이들 모형수행 결과를 GIS 화면상에 표현하는 데 응용하는 접근(partial integration)들이 대부분이며(Tim and Jolly, 1994), 이 경우 GIS 프로그램과 모형수행 프로그램은 각각 다르게 운영된다. GIS를 이용한 수계수질관리 연구에는 미국 San Antonio-Nueces 하구의 수질보전을 위한 비점원 관리(Saunders, 1996), GIS를 이용한 충주호 주변 비점오염원 분석(류주형, 1995) 등이 있다. 최근에 선진국을 중심으로 GIS 프로그램 내에서 전처리, 이들 모형의 수행 및 모형분석 결과를 화면상에 출력을 하려(complete integration)는 연구가 시도되고 있다.

수계수질관리에서 생태적 접근은 오염물질과 에너지의 입·출력에 중점을 두어 왔으며, 대부분 개념모형을 응용하고 있다. 수계의 수질을 종합적으로 관리하기 위해서는 수문학적 접근과 생태적 접근의 통합이 필요하였으며, 두 접근의 통합과정에서 수계생태계(watershed ecosystem)의 개념이 사용되기 시작하였다(Phillips-Howard, 1985). 최근의 수계생태계모형은 수계에 영향을 미치는 생물·물리적으로뿐만 아니라 사회·경제·제도적 요소까지를 포괄하는 개념으로 확장되고 있다(Downs *et al.*, 1991; Michaelson, 1991). 수계생태계모형은 중요한 구성요소의 파악, 구성요소간 상호작용의 규명, 통제작용의 이해, 학문간 연구를 용이하게 해 주는 장점이 있다.

수계생태계모형 접근에서 총괄생태계모형(holis-

tic ecosystem)은 가능한 모든 주요 변수를 고려할 수 있는 잠재력과 종합적 영향을 파악할 수 있는 장점이 있으나, 광범위한 자료가 요구되며 변수들간 다양한 상호관계를 규명하는 데는 한계가 있어, 부분생태계(partial ecosystem)모형을 활용하는 경우가 대부분이다. 생태계모형은 특정지역(site-specific)의 관리나 문제파악에는 유용하나, 특정지역에 적용된 생태계모형을 유사한 지역에 적용하기 위한 일반화(generalization)에는 한계가 있다(Yang, 1992; 양홍모, 1997). 증명되지 않은 무수히 많은 상호관계로 인하여 하나의 일반화된 생태계모형으로 통합하려는 노력은 현재의 과학적 지식이 충분히 해결하여 주지 못하기 때문이다. 수계의 구성요소간 입출력 상호작용 분석(Deardon, 1992), 북미 5대호 수질관리를 위한 수계의 생물·물리적, 제도적, 사회·경제적 구성요소들의 상호작용 연구(Slocome, 1993)는 총괄생태계모형에 기초하고 있다. GIS를 수계수질관리 부분생태계모형의 오염물질 입·출력 파악에 활용하는 연구로는 영산강 상류수계의 수질오염요소의 상호작용 분석(양홍모, 1998), 주암호 상수원의 유역별 오염부하 파악(권유리, 1999) 등이 있다.

본 연구에서는 주암호 수계의 오염물질 입·출력을 중심으로 부분생태계모형에 속하는 수질관리 생태계모형을 제시하였다. Figure 1은 주암호수계 수질관리 부분생태계모형으로 상수원, 점오염원, 비점오염원, 제도·규제의 부체계(subsystem)로 구성되어

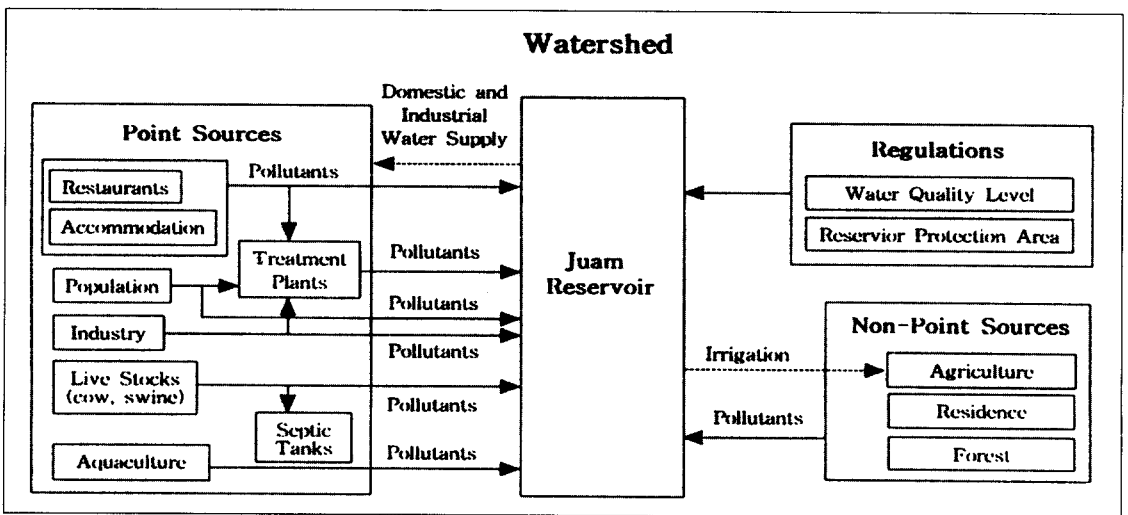


Figure 1. Water quality management partial ecosystem model for Juam Reservoir

있으며 구성요소들간 상호작용을 보여 주고 있다. 점오염원 부체계는 식당, 숙박업소, 인구, 산업폐수, 가축(소, 돼지), 양식장과 여기에서 배출되는 오염물질을 처리하는 처리장으로 구성되며, 점오염원에서 발생한 오염물은 처리장으로 유입되어 처리되거나 미처리 상태로 호수에 유입된다. 비점오염원 부체계는 경작지, 주거지, 산림지역으로 구성되며 강우 유출수에 의해 오염물질이 호수로 유입된다. 제도·규제 부체계는 상수원보호구역 범위와 상수원 수질기준이 중요한 구성인자이다. Figure 1을 기초로 GIS를 활용하여 유역별 점오염원 및 비점오염원 위치, 오염물질 부하량을 데이터베이스화하는 방법을 제시한다.

2. 수질현황 및 유역 구분

주암 상수원은 주암댐으로 형성된 주암호와 상사댐으로 형성된 상사호로 이루어져 있다. 주암호수계와 상사호수계의 면적은 각각 563.4km², 134.7km²

에 이르며, 두 호수 사이에는 도수터널이 설치되어 있어 주암호의 물을 상사호로 보낼 수 있다. 주암호는 생활용수 640,000톤/일을, 상사호는 생활용수 300,800톤/일과 공업용수 239,000톤/일을 전라남도의 시·군과 광주광역시에 공급할 계획이다. 상수원보호구역은 주암호와 상사호의水域과 주암댐과 상사댐 근처의 일부陸域에 설정되어 있으며 그 면적은 주암호와 상사호가 각각 47.8km², 14.5km²이다(권유리, 1999).

상수원 수질기준은 일반적으로 COD를 적용하고 있다. 국내의 호소수질환경기준은 COD를 기준으로 상수원 1급수는 1mg/l, 상수원 2급수는 3mg/l, 상수원 3급수 6mg/l 이하로 규정하고 있다.

Table 1은 주암호 취수탑 부근의 수질현황을 보여 준다. 1997년 평균 COD는 1996년도보다 0.3mg/l 이 증가한 상태이며, 1997년 평균 BOD는 1996년보다 0.2mg/l 증가를 보이고 있다(환경부, 1999). 현재 주암호 취수탑 부근의 수질은 상수원 2급수 정도이나 점진적인 수질악화로 3급수로 전락이 우려되고 있다. 주암호의 중간 수역 부분에는 해마다 조류(algae)가 발생하는 현상이 일어나고 있다(무등일보, 1997). 수질관리와 유입하천을 고려하여 주암호수계는 동북천유역(유역 1), 보성강유역(유역 2), 송광천유역(유역 3), 주암상수원보호구역유역(유역 4)의 4개 유역으로 구분하고, 상사호수계는 도정천유역(유역 5), 상사상수원보호구역유역(유역 6)의 2개 유역으로 구분한다.

Table 1. Average annual water quality near Juam Dam

	1992	1993	1994	1995	1996	1997
COD(mg/l)	2.3	2.5	2.3	2.4	2.3	2.6
BOD(mg/l)	1.1	1.7	1.9	1.5	1.1	1.3

Table 2. Units for wastewater discharge volume and pollutant loads

Pollutant sources	Wastewater discharge	Unit	Pollutant loads			
			BOD	T-N	T-P	
Population	Urban	365 l/capita · day	g/capita · day	66	7.75	1.63
	Rural	213 l/capita · day		55		
Live stock	Cow	36 l/head · day	g/head · day	104	16.3	2.2
	Swine	12.5 l/head · day		31.4	5.6	1.9
Industry	Industrial wastewater discharge(m ³ /day)	g/m ³ · day		354	-	1.06
Aquaculture	Net pen	-	g/m ² · day	86	10.52	5.37
	Raceway pond	-		38.4	5.15	0.978
Land use	Residence	-		87.59	0.759	0.027
	Agriculture	-	kg/km ² · day	6.1	2.33	0.17
	Forest	-		0.96	0.55	0.013
Restaurants	300 l/m ² · da	g/m ² · day		75	-	-
Accommodation	300 l/capita · day	g/capita · day		60	-	-

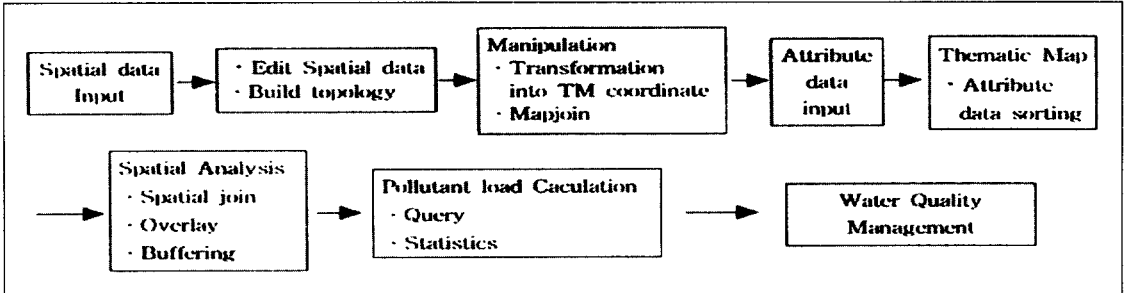


Figure 2. Flow of GIS application

3. 오·폐수배출량 및 오염부하량 원단위

오·폐수발생량은 각 오염원에서 배출되는 양을 의미한다. 오염부하량은 각 오염원에서 호수나 하천까지 유입되는 오염부하를 정량적으로 표현한 것이며, 유로과정에서 정화되는 양을 고려한다. 유역의 부하량은 그 유역의 호수나 하천의 수질예측과 환경기초시설 규모산정 등에 기초자료로 활용된다. 유역에서 발생하는 오염부하량을 추정하기 위해서는 오·폐수발생량 및 오염부하량의 원단위 산정이 필요하다. Table 2는 본 연구에서 적용한 오·폐수발생량 및 오염부하량을 산출하기 위한 원단위(unit)이다. 국내 수질관련 연구소에서 연구한 오·폐수발생량과 오염부하량 원단위는 각 연구기관에 따라 다소 차이가 있어, 현재 국내에서 일반적으로 적용하는 환경부에서 제시한 오·폐수발생량과 오염부하량 원단위(환경부, 1992)를 기준으로 작성하였다. 환경부 원단위에 제시되어 있지 않은 식당과 숙박업소의 오수발생량과 오염부하량 원단위는 건물의 연면적을 기준으로 환경부 고시자료(환경부고시 제1997-85호)를 활용하여 산출하였다. 산업폐수에 의한 총질소 부하량과 식당 및 숙박업소 총질소 및 총인 부하량 원단위는 국내 연구보고서 및 환경부 원단위에 제시되지 않아 생략하였다.

4. GIS 활용 데이터베이스 구축 및 인터페이스 작성

Figure 1의 수질관리 생태계모형을 기초로 GIS를 활용하여 점오염원의 위치 및 오염배출량과 비점원 오염부하를 산출하기 위한 토지이용현황을 데이터베이스화하고, 각 오염원으로부터 오염부하량을 분석할 수 있는 사용자 인터페이스(interface)를 작성하였다.

Table 3과 Table 4는 공간자료와 속성자료를 나타낸다. 수계, 호수, 상수원보호구역 등의 공간자료는 1/50,000 지도를 기준으로 작성하였으며, 점오염원과 환경기초시설은 1998년 4월~8월에 주소조사와 현장답사를 통하여 위치를 파악하였고, 인구는 1:50,000 지형도에 정치시킨 후 위성자료를 분석하여 추출한 주거지, 경작지, 산림지역과 지형도의 토지이용을 비교하여 작성하였다.

Figure 2는 GIS 이용과정 흐름도이다. 공간자료를 디지털화(digitizer)로 입력한 후 Coverage를 작성하고(ESRI, 1990), 각 주제도를 황메카토르(TM) 좌표체계로 변환한 후 도엽을 연결한다. 완성된 주제도에 속성자료를 입력하여 주제도(thematic map)를 작성한다. 수계, 오염원, 오염부하량의 정보에 쉽게 접근하고 분석할 수 있는 인터페이스를 ArcView의 객체지향 프로그램인 Avenue(ESRI, 1996)로 작성하여 필요한 주제도를 화면에 올려서 상수원-하천-환경기초시설-오염원의 공간상호관계를 분석하고, 오염부하량을 자동으로 계산할 수 있도록 하였다. 자료입력과 자동화에는 지리정보체계 프로그램인 PC 및 Unix ARC/INFO와 ArcView, 위성자료분석은 MGE의 IA(Image Analyst)(Intergraph, 1997)를 활용하였다.

생활하수에 의한 오염부하량 산출과정을 통하여 오염원의 공간 및 속성자료와 원단위의 연계를 설명한다. 축산폐수, 식당, 숙박업소의 공간분석과 오염부하량의 산출, 토지이용으로부터 발생하는 비점오염부하량 산출도 유사한 방법을 사용하였다.

ARC/INFO에서 해당 洞과 里의 인구수를 입력한 인구 Coverage 작성한다. ArcView에서 인구 Coverage를 올려 Table에 하수발생량, BOD 부하량, 총질소 부하량, 총인 부하량 Field를 추가한다.

Table 3. Spatial data

Spatial data	Data type	Description
· Watershed boundary	arc	Watershed boundary of reservoirs
· Rivers and Streams	arc	Rivers and streams flowing into reservoirs
· Reservoirs	polygon	Juam and Sangsa Reservoirs
· Reservoir protection area	polygon	
· Small watershed	polygon	Divisions of Juam and Sangsa watersheds
· Municipal area	polygon	Area of City, Gun, and Meyon
· Point sources		
Restaurants	point	Location of restaurants
Accommodation	point	Location of motels and inns
Population	point	Center of residence(Ri)
Cow	point	Location of farm
Swine	point	Location of farm
Industry	point	Location of industrial buildings
Aquaculture	point	Location of aquaculture facilities
· Non-point		
Land use	polygon	Area of residence, agriculture, and forest
· Treatment facilities		
Wastewater treatment plant	point	Location of treatment plant
Septic tank	point	Location of septic tank

Table 4. Attribute data

Attribute data	Unit	Description
· Point Source		
Restaurants	m ²	Area of each restaurant
Accommodation	m ²	Area of each motel and inn
Population	Capita	Inhabitants of Ri
Cow	Head	Number of cows of each farm
Swine	Head	Number of swine of each farm
Industry	m ³	Wastewater discharge volume
Aquaculture	m ²	Area of facilities
· Non-point Source		
Land use	m ²	Area of residence(Ri), agriculture, and forest
· Treatment facilities		
Wastewater treatment plant	m ³	Treatment volume
Septic tank	m ³	Treatment volume

ArcView의 Calculation 기능을 이용하여 인구수와 원단위(Table 2 참조)를 곱하여 하수발생량, BOD 부하량, 총질소 부하량, 총인 부하량을 계산하여 해당 Field의 Record에 값을 자동으로 입력한다. ArcView에서 공간결합(spatial merging)기능을 이용하여 인구 Coverage의 Table과 ARC/INFO에서 작성한 유역 Coverage의 Table을 연결하여 각 유역

별로 인구수, 하수발생량, BOD 부하량, 총질소 부하량, 총인 부하량의 통계량을 자동으로 산출한다.

이와 같은 방법으로 각 오염원의 위치와 정보, 유역별 오염발생량과 오염부하량을 자동으로 계산할 수 있으며, 상수원-하천-오염원-환경기초시설의 공간상 상호관계를 화면상에서 분석할 수 있다.

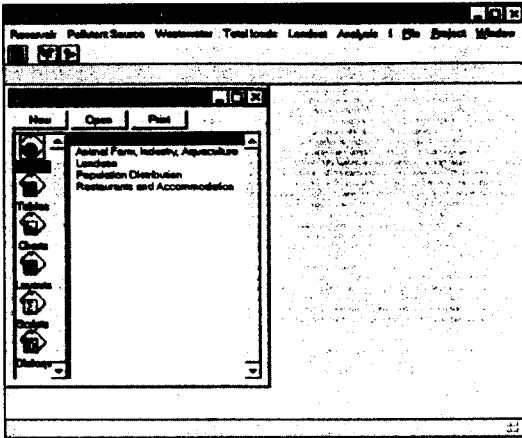


Figure 3. Initial window of GIS database

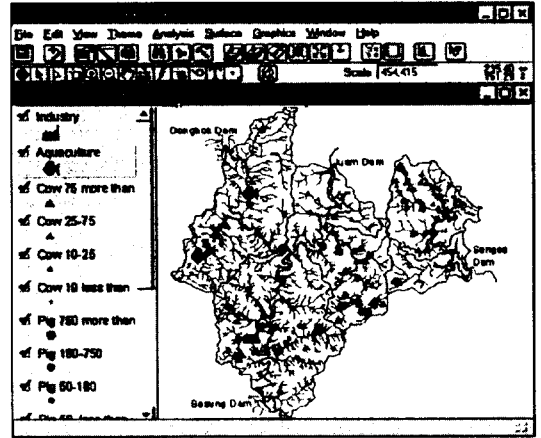


Figure 4. Locations of animal farms, industrial building, aquaculture facilities

결과 및 고찰

1. 점오염원 현황 및 오염부하량

(1) 생활하수

Table 5에서 주암호수계에는 농촌인구 20,839명이, 상사호수계에는 도시인구 5,007명과 농촌인구 1,023명이 거주하고 있다. 읍단위 지역은 농촌마을보다 도시 생활하수로 분류하여 보고 오염부하량을 산정하였다. 주암호와 상사호수계에는 간이오수처리장이 각각 33개소, 7개소가 설치되어 있다. 미처리인구는 간이오수처리장이 설치되어 있지 않은 지역의

인구를 나타내며, 주암호와 상사호수계의 미처리인구는 각각 16,750명(80.3%), 5,515명(91.5%)에 달하여 간이오수처리장 혹은 하수처리장의 증설이 시급한 실정이다.

생활하수에 의한 오염부하량은 미처리발생량에 의한 오염부하량과 간이오수처리장에서 방류되는 방류수의 오염부하량을 산출한 후 총오염부하량을 산출하였다. 간이오수처리장의 방류수 수질은 방류수 수질 기준을 충족시키고 있어 BOD 20mg/l, 총질소 15mg/l, 총인 3mg/l를 적용하여 오염부하량을 계산하였다. 생활하수에 의한 주암호수계의 BOD 총부하량은 941.44 kg/일이며, 상사호는 359.6kg/일

Table 5. Discharge volumes and pollutant loads from residential areas

Watershed	Total population		Population (wastewater untreated)		Pollutant loads from untreated wastewater				Discharge volume and pollutant loads from treatment plants				Total pollutant loads from domestic water(kg/day)				
	Urban	Rural	Urban	Rural	Discharge (m ³ /day)	Pollutant loads(kg/day)			No. of treatment plants	Discharge (m ³ /day)	Pollutant loads(kg/day)			BOD	T-N	T-P	
						BOD	T-N	T-P			BOD	T-N	T-P				
Juam	W1	-	7,839	-	6,792	1,446.7	373.6	52.6	11.1	9	233.1	4.7	3.5	0.7	378.3	56.1	11.8
	W2	-	8,107	-	6,629	1,412.0	364.6	51.4	10.8	10	342.0	6.8	5.1	1.0	371.4	56.5	11.8
	W3	-	3,927	-	3,095	659.2	170.2	24.0	5.0	6	205.2	4.1	3.1	0.6	174.3	27.1	5.6
	W4	-	966	-	234	49.8	12.9	1.8	0.4	8	226.8	4.5	3.4	0.7	17.4	5.2	1.1
	Total	-	20,839	-	16,750	3,567.7	921.3	129.8	27.3	33	1,007.1	20.1	15.1	3.0	941.4	144.9	30.3
Sangsa	W5	5,007	-	4,664	-	1,702.4	307.8	36.1	7.6	5	205.2	4.1	3.1	0.6	311.9	39.2	8.2
	W6	-	1,023	-	851	181.3	46.8	6.6	1.4	2	45.0	0.9	0.7	0.1	47.7	7.3	1.5
	Total	5,007	1,023	4,664	851	1,883.7	354.6	42.7	9.0	7	250.2	5.0	3.8	0.7	359.6	46.5	9.7

W1: Dongbok stream, W2: Boseong River, W3: Songkwang stream, W4: Juam reservoir, W5: Dojeong stream, W6: Sangsa reservoir

이다.

(2) 축산폐수

수질오염에 영향을 많이 미치는 소와 돼지의 오염 부하량을 분석하였다. Table 6에서 주암호수계에는 소 3,726두, 돼지 10,587두가 사육중이며 이들로부터 발생하는 BOD 부하량은 각각 387.4kg/일, 332.4kg/일이다. 상사호수계에는 소 1,592두, 돼지 3,844두가 사육중이며, BOD 부하량은 각각 165.5kg/일, 120.7kg/일이다. Figure 4에서 유역 2와 유역 5에 소가 다수 분포하고 있으며, 돼지는 유역 3에 많이 분포하고 있다. 축산폐수시설에 관한 법률은 소의 경우 허가대상(75두 이상), 신고대상(25~75두), 간이정화조설치(10~25두)로 사육규모를 구분하며, 돼지는 허가대상(750두 이상)과 신고대상(180~750두), 간이정화조설치(50~180두)로 구분하고 있어 이를 기준으로 주제도를 작성하였다. 주암·상사호수계에는 소 75두 이상 사육시설이 9개소, 돼지 750두 이상 사육시설이 4개소가 있어 이들 사육시설의 이전이 필요하다.

(3) 식당·숙박업소 현황 및 오염부하량

주암호수계에는 146개 식당과 14개 숙박업소가 있으며 상사호수계에는 56개 식당과 5개 숙박업소가 있다. 간이정화조가 설치되지 않은 식당의 오수 오염 부하량과 식당에 설치된 간이정화조의 처리수 오염부하량을 고려하여 오염부하량을 산출하였다. 간이정화조의 처리수 수질기준은 BOD 30mg/l 를 적용하여 오염부하량을 계산하였다.

식당의 BOD 부하량은 주암호수계가 399.3kg/일, 상사호수계가 237.4kg/일로 식당에서 배출되는 오수가 수질에 상당한 영향을 미치고 있다. Figure 5에서 규모가 큰 식당이 주변에 인접되어 수질오염에 미치는 영향이 상대적으로 크다. 각 숙박업소는 간이정화조가 설치되어 있어 처리수의 BOD 부하량이 주암호 2.1kg/일, 상사호 6.8kg/일로 매우 낮다.

(4) 산업폐수와 양식장

산업폐수 배출업소는 유역 2에 1개소가 위치하며 배출용량이 1m³/일로 소규모이다. 양식장은 유역 2에 4개소가 있으며 총면적이 7,877m², BOD 부하량은 302.5kg/일이다(Figure 4 참조).

2. 비점오염원 현황 및 오염부하량

유역 Coverage와 위성이미지 분석으로 작성한 토지이용 Coverage를 중첩시켜 각 유역별 주거지, 경작지, 산림의 면적을 산출하여 오염부하량을 계산하였다. Table 7에서 주거지, 경작지, 산림의 BOD 부하량은 주암호수계가 각각 1,524.1kg/일, 624.1kg/일, 397.4kg/일, 상사호수계가 324.0kg/일, 137.3kg/일, 97.0kg/일이다. 질소와 인은 호수의 부영양화와 밀접한 관계가 있으며 특히 인은 조류(algae)성장의 한계인자(limiting factor)로 작용한다. 산림의 오염부하량은 자연생태계의 최소한의 부하량(background input)으로 수질오염관리에서 크게 문제가 되지 않는다. 주암호수계 총질소 부하량은 주거지 13.2kg/일, 경작지 238.4kg/일이며, 총인

Table 6. Discharge volume and pollutant loads from farm wastes

Watershed	Discharge volume and pollutant loads from cows						Discharge volume and pollutant loads from swine				
	No. of cows	Discharge (m ³ /day)	Pollutant loads(kg/day)			No. of swine	Discharge (m ³ /day)	Pollutant loads(kg/day)			
			BOD	T-N	T-P			BOD	T-N	T-P	
Juam	W1	507	18.3	52.7	8.3	1.1	2,578	32.2	80.9	14.4	4.9
	W2	1,800	64.8	187.2	29.3	4.0	1,192	14.9	37.4	6.7	2.3
	W3	1,383	49.8	143.8	22.5	3.0	6,817	85.2	214.1	38.2	13.0
	W4	36	1.3	3.7	0.6	0.1	-	-	-	-	-
	Total	3,726	134.2	387.4	60.7	8.2	10,587	132.3	332.4	59.3	20.2
Sangsa	W5	1,506	54.2	156.6	24.5	3.3	1,512	18.9	47.5	8.5	2.9
	W6	86	3.1	8.9	1.4	0.2	2,332	29.2	73.2	13.1	4.4
	Total	1,592	57.3	165.5	25.9	3.5	3,844	48.1	120.7	21.6	7.3

W1: Dongbok stream, W2: Boseong River, W3: Songkwang stream, W4: Juam reservoir, W5: Dojeong stream, W6: Sangsa reservoir

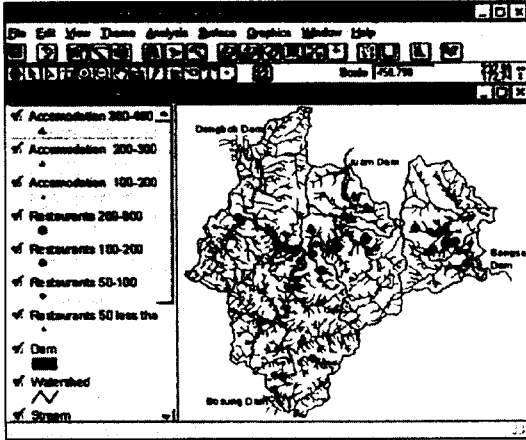


Figure 5. Distribution of restaurants and accommodation(motels and inns)

부하량은 주거지 0.4kg/일, 경작지 17.4 kg/일이다. 상사호수계 총질소 부하량은 주거지 2.8kg/일, 경작지 52.4kg/일이며, 총인 부하량은 주거지 0.1kg/일, 경작지 3.8kg/일이다. 수계 내의 경작활동이 상수원 수질에 미치는 영향이 크다는 사실을 알 수 있다.

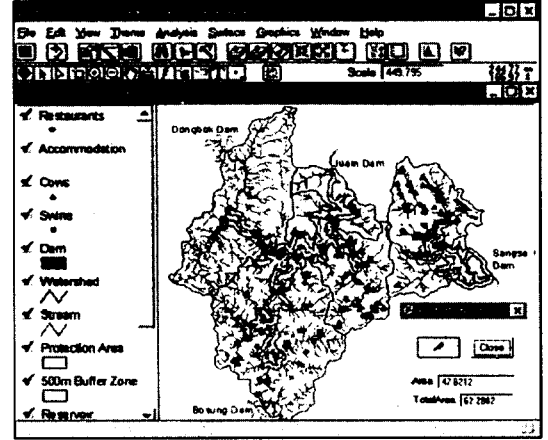


Figure 6. Reservoir protection area and 500-meter-distance buffer zone from reservoir protection area

3. 총 오·폐수 발생량과 오염부하량

주암호수계의 총 BOD 부하량 비율은 주거지 31.0%, 생활하수 19.2%, 축산폐수 14.7%, 경작지 12.7%, 식당 8.1%, 산림 8.1%, 양식장 6.2% 순이며, 총질소 부하량은 경작지 30.3%, 산림 29.0%, 생활하수 18.5%, 축산폐수 15.3%, 양식장 5.2%, 주거지 1.7%순이고, 총인 부하량은 생활

Table 7. Total pollutant loads form Juam and Sangsa Reservoir watersheds

Water-shed	Pollutant loads (kg/일)	Point sources							Non-point sources				Total
		Polulation	Cows and Swine	Restaurants	Accommodation	Industry	Aquaculture	Subtotal	Residence	Agriculture	Forest	Subtotal	
Juam	BOD	941.4 (19.2%)	719.8 (14.7%)	399.3 (8.1%)	2.1 (0.0%)	0.4 (0.0%)	302.5 (6.2%)	2,365.5 (48.2%)	1,524.1 (31.0%)	624.1 (12.7%)	397.4 (8.1%)	2,548.6 (51.8%)	4,911.1 (100%)
	T-N	144.9 (18.5%)	120.0 (15.3%)	-	-	-	40.6 (5.2%)	305.5 (39.0%)	13.2 (1.7%)	238.4 (30.3%)	227.6 (29.0%)	479.2 (61.0%)	784.7 (100%)
	T-P	30.3 (33.9%)	28.4 (31.7%)	-	-	0.0 (0.0%)	7.7 (8.6%)	66.4 (74.2%)	0.4 (0.4%)	17.4 (19.4%)	5.3 (5.9%)	74.1 (25.8%)	89.5 (100%)
Sangsa	BOD	359.6 (24.8%)	286.2 (19.8%)	237.4 (16.4%)	6.8 (0.5%)	-	-	890.0 (61.5%)	324.0 (22.4%)	137.3 (9.5%)	97.0 (6.7%)	558.3 (38.5%)	1,448.3 (100%)
	T-N	46.5 (22.7%)	47.5 (23.2%)	-	-	-	-	94.0 (45.9%)	2.8 (1.4%)	52.4 (25.6%)	55.5 (27.1%)	110.7 (54.1%)	204.7 (100%)
	T-P	9.7 (37.7%)	10.8 (42.0%)	-	-	-	-	20.5 (79.8%)	0.1 (0.4%)	3.8 (14.8%)	1.3 (5.1%)	5.2 (20.2%)	25.7 (100%)
Total	BOD	1,301.0 (20.5%)	1,006.0 (15.8%)	636.7 (10.0%)	8.9 (0.1%)	0.4 (0.0%)	302.5 (4.8%)	3,255.5 (51.2%)	1,848.1 (29.0%)	761.4 (12.0%)	494.4 (7.8%)	3,103.9 (48.8%)	6,359.4 (100%)
	T-N	191.4 (19.3%)	167.5 (16.9%)	-	-	-	40.6 (4.1%)	399.5 (40.4%)	16.0 (1.6%)	290.8 (29.4%)	283.1 (28.6%)	589.91 (59.6%)	989.4 (100%)
	T-P	40.0 (34.7%)	39.2 (34.0%)	-	-	0.001 (0.0%)	7.7 (6.7%)	86.901 (75.4%)	0.5 (0.4%)	21.2 (18.4%)	6.6 (5.7%)	94.601 (24.6%)	115.201 (100%)

하수 33.9%, 축산폐수 31.7%, 경작지 19.4%, 양식장 8.6%, 산림 5.9%, 주거지 0.4%순이다.

상사호수계의 총 BOD 부하량 비율은 생활하수 24.8%, 주거지 22.4%, 축산폐수 19.8%, 식당 16.4%, 경작지 9.5%, 산림 6.7%, 숙박업소 0.5% 순이며, 총질소 부하량은 산림 27.1%, 경작지 25.6%, 축산폐수 23.2%, 생활하수 22.7%, 주거지 1.4%순이고, 총인 부하량은 축산폐수 42.0%, 생활하수 37.7%, 경작지 14.8%, 산림 5.1%, 주거지 0.4%순이다.

주암·상사호수계의 BOD 부하량은 주거지, 생활하수, 축산폐수, 경작지, 식당이 차지하는 비율이 높으며, 총질소 부하량은 산림, 경작지, 생활하수, 축산폐수가 높고, 총인 부하량은 축산폐수, 생활하수, 경작지가 높다. 점오염원인 생활하수, 축산폐수, 식당뿐만 아니라 비점오염원인 경작지도 수질오염에 상당한 영향을 미치고 있다.

Figure 6에서 공간분석 방법인 Buffering을 이용하여 水域 상수원보호구역 경계로부터 500m 완충지역을 설정하여 기존의 점오염원과 마을을 이주시키고 경작활동을 금했을 경우, 오염부하량 저감률을 분석한 결과 주암호수계의 BOD, 총질소, 총인의 저감률은 각각 16.7%, 10.9%, 12.5%이며, 상사호수계는 13.8%, 5.2%, 5.8%이다. 호수에 인접하여 있는 점오염원인 생활하수, 축산폐수로부터 BOD 부하량의 저감효과는 기대가 되나 비점오염원 부하량의 상당 비율을 차지하는 질소와 인의 저감률은 낮다. 주거지와 경작지가 호수주변보다 상류수계에 분포하고 있어 완충지역의 설정은 호수의 부영양화를 막는 데는 효과가 적음을 알 수 있다.

결 과

분석결과 상수원 오염의 주요 인자는 생활하수, 축산폐수, 경작지로 나타난다. 생활하수가 주암호수계와 상사호수계에서 각각 20%, 8%밖에 처리되고 있지 않아 하수처리시설의 증설이 시급하다. 2차 처리수준의 기계식 오수처리시설은 BOD를 제거하는 데는 효과적이거나 호수의 부영양화의 원인이 되는 질소와 인(Horne & Goldman, 1994; Novotny & Olem, 1994)을 효율적으로 제거하지 못하는 단점이 있다(Tchobanoglous & Burton, 1991). 축산시설 중 소 25두, 돼지 50두 이상의 축산시설은 점진적인 이전이 필요하며 축산폐수 정화시설의 증설도 필요하다. 경작지와 대지에서 발생하는 비점오염원을

줄이는 방법은 취락지 이전과 경작활동의 규제가 필요하여 경제적·사회적 어려움이 따른다.

陸域 상수원보호구역은 주암댐과 상사댐 주변에만 적은 면적이 설정되어 있어 상류수계의 각종 인간활동으로부터 발생하여 호수로 유입되는 오염물질을 합리적으로 관리할 수 없는 실정이다. 현재의 취락, 경작지, 축산시설 등이 유지되면서 상수원 수질을 COD 2mg/l (상수원 2급수 - COD 3mg/l 이하)로 유지하는 데는 근본적인 어려움이 있다. 호수경계로부터 일정 陸域을 상수원보호구역으로 확대 지정하면서 수계의 토지이용활동을 규제하지 않고서는 수질을 보전하기 어려운 상황이다. 본 연구를 통하여 제시한 GIS를 이용한 상수원 오염원 데이터베이스 구축방법은 오염원 현황과 부하량을 쉽게 파악할 수 있으며, 오염원에 변화가 있을 경우 수정이 가능하여 지속적인 수계생태계 관리에 활용이 가능하다. 개발한 인터페이스는 이용자들이 쉽게 데이터베이스를 이용할 수 있고 오염원 공간분석과 오염부하량 산출이 용이하며, 제시한 수계수질관리 부분생태계모형은 오염부하량을 합리적으로 산출하는 개념모델로 활용이 가능하다. 보다 합리적인 주암호 상수원수질관리를 위해서는 각 구역의 중요 지점별 유량과 수질 조사가 수행되어야 하고, GIS를 활용한 유량 및 수질 데이터베이스를 구축하여 본 연구에서 수행한 오염원 데이터베이스와 통합이 요구되며, 이들 데이터베이스를 이용한 수질예측 모형을 GIS 프로그램 내에서 수행할 수 있는 후속연구가 필요하다.

인 용 문 헌

- 권유리(1999) GIS를 응용한 상수원수계관리 방안에 관한 연구 - 주암호를 중심으로. 전남대학교 대학원 석사학위논문, 13-15쪽.
- 경기개발연구원(1997) 팔당상수원 수질개선방안에 관한 연구.
- 무등일보사(1997) 무등일보, 1997년 9월 6일. 류주형(1995) 지리정보시스템을 이용한 충주호 주변 지역의 비점오염원 분석. 연세대학교 대학원 석사학위논문, 53-54쪽.
- 양홍모(1997) 자연 및 인간 환경이 공존하는 지역의 환경계획에 있어 생태계모형 접근. 대한민국도·도시계획학회지 32(4):21-40.
- 양홍모(1998) 지리정보체계를 응용한 영산강상류 수계 생태계의 점오염원 관리. 대한민국도·도시계획학회지 33(2):187-203.

- 장태연(1997) GIS를 이용한 하천의 오염도 산정. 인하대학교 대학원 박사학위논문, 102-103쪽.
- 환경부(1992) 수질보전장기종합계획수립 종합보고서, 174-213쪽.
- 환경부(1999) <http://www.moenv.go.kr> 수질오염도 자료.
- 환경부고시 제1997-85호, 건축물의 용도별 오수발생량 산정방법.
- Deardon, P.(1992) Integrated Watershed Management Planning and Information Needs in Northern Thailand: A Case Study of the Nam Mae Taeng, Regions and Resources Study Group, Research Report No. 6. University of Victoria, British Columbia.
- Downs, P. W., Gregory, K. J., and Brooks, A.(1991) How Integrated Is River Basin Management? *Environmental Management* 15(3):299-309.
- ESRI(Environmental Systems Research Institute)(1996) Avenue-Customization and Application Development for ArcView, Redlands, CA., pp. 1-21.
- ESRI(Environmental Systems Research Institute)(1990) Understanding GIS, Redlands, CA., pp. 2-16~2-26.
- Horne, A. J. and Goldman, C. R.(1994) *Limnology*, McGraw-Hill, New York, pp. 464-470.
- Intergraph(1997) *Image Analyst User's Guide*, Huntsville, Alabama, pp. 3-13.
- James D.(1995) *Integrated Watershed Management: Past, Present, and Future* in Robert C. Ward. (ed.) *Integrated Watershed Management: a New Paradigm for Water Management*, Water Resource Update, No. 100.
- Michaelson, T.(1991) *Participatory Approaches in Watershed Management Planning*, Unasylva 164(42):3-7.
- Novotny, V. and Olem, H.(1994) *Water Quality: Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution*, Van Nostrand Reinhold, New York, pp. 783-796.
- Patten, B. C.(1983) *Ecosystem Modeling as Environmental Management Tool*, in *Marine Ecosystem Modeling*, K. W. Turgeon (ed.), U. S. National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington, D.C., pp, 243-255.
- Phillips-Howard, K. D.(1985) The Anthropogenic Catchment-Ecosystem Concept: an Irish Example, *Human Ecology*, 13(2):209-240.
- Saunders, W. K.(1996) A GIS Assessment of Non-point Source Pollution in the San Antonio-Nueces Costal, Basin, Bureau of Engineering Research, The University of Texas at Austin, pp. 1-28.
- Slocombe, D. S.(1993) *Environmental Planning, Ecosystem Science, and Ecosystem Approaches for Integrating Environment and Development*, *Environmental Management*, 17(3):289-303.
- Tchobanoglous, G. and Burton, F. L.(1991) *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, and Reuse*, McGraw-Hill, New York, pp. 663-759.
- Tim, U. S. and Jolly, R.(1994) Evaluating Agricultural Nonpoint-source Pollution Using Integrated Geographic Information Systems and Hydrologic/Water Quality Model, *J. of Environmental Quality*, 23:25-35.
- Yang, H.(1992) *Ecological Design of Estuarine Environment for a Sustainable Urban Ecosystem*, Ph. D. Dissertation, University of California, Berkeley, pp. 23-47.