

# GIS를 이용한 주암호 유역의 오염부하량 산정 및 수질모의

김 철<sup>1\*</sup> · 김석규<sup>1</sup>

## Calculation of Pollutant Loads and Simulation of Water Quality in Juam Lake Watershed using GIS

Chul KIM<sup>1</sup> · Souk-Gyu KIM<sup>1</sup>

### 요 약

광주·전남의 상수원인 주암호 유역에 대해 GIS를 이용하여 점오염원과 비점오염원 부하량을 산정하였으며 기 개발된 모형을 이용하여 수질을 모의하였다. 점오염원 부하량은 환경부에서 발표한 원단위(1998)를 이용하여 산정하였고, 비점오염원 부하량은 유출곡선지수를 이용한 SCS방법으로 직접유출량을 계산한 후 우리나라 유역의 특성에 맞는 토지이용별 기대평균농도 값을 이용하여 산정하였다. 수질모의는 미국환경청에서 개발한 WASP모형(2001)을 이용하였으며 대상유역을 GIS를 이용하여 경사, 방향, 고도, 토양, 토지이용과 강우량에 따라 44개의 소유역으로 구분하고, 그중 하나의 소유역에 대해 모형을 적용하였다. 모형의 결과치를 수질관측치와 비교한 결과 매우 유사함을 알 수 있었다.

주요어: 기대평균농도, 수질모의, 수치고도모형, 유출량, GIS, SCS방법, WASP모형

### ABSTRACT

Point & nonpoint source pollutant loads were calculated in Juam lake watershed using GIS, and water quality was simulated using water quality model. Point source pollutant loads were estimated using the unit pollutant loads presented by the Ministry of Environment(MOE, 1998). Nonpoint source pollutant loads were estimated using the value of the direct runoff multiplied by expected mean concentration. The direct runoff was calculated using SCS curve number method. Water quality simulation was conducted using WASP model(2001) developed by U.S. EPA. In order to apply the model, Juam lake watershed was divided into 44 subbasins according to slope, elevation, soil type, landuse and precipitation. Then the model was applied to one subbasin. Simulation results were compared to observed values and the result should good agreement with each other.

*KEYWORDS: Expected Mean Concentration, Simulation of Water Quality, Digital Elevation Model, Runoff, GIS, SCS Method, WASP Model*

2002년 9월 6일 접수 Received on September 6, 2002 / 2002년 9월 20일 심사완료 Accepted on September 20, 2002  
1 호남대학교 토목환경공학과 Department of Civil and Environmental Engineering, Honam University  
\* 연락처 E-mail: kuchul@honam.ac.kr

## 서 론

댐으로 형성된 인공호소는 여러 가지 원인에 의해 수질이 점점 악화되어 수계생태계가 파괴되고, 수자원으로서의 용도가 점차 저하되고 있는 실정이다. 특히, 유역내에 존재하는 축산농가, 양어장, 식당, 숙박업소, 거주하는 사람들로부터 발생하는 점오염원과 강우시 산림, 초지, 도시용지, 농경지, 도로 등으로부터 발생하는 비점오염원이 수질을 오염시키는 주요인이라 할 수 있다. 전라남도 일부와 광주광역시 주요 용수공급원인 주암호도 역시 부영양화가 상당히 진행되어 수질이 점점 악화되고 있다. 현재 우리나라에서는 범정부적으로 수질관리 정책을 추진하고 있으나 아직도 하천과 호소의 수질은 크게 향상되지 않고 있다. 이러한 시점에서 악화되고 있는 수질을 회복시키기 위해서는 수질오염의 원인이 되는 점오염원 및 비점오염원에 의한 오염부하량을 정확히 파악해서 적절한 오염방지 대책을 세워야 한다. 오염부하량을 파악하기 위해서는 발생원에 대한 정확한 자료가 데이터베이스로 구축되고 구축된 자료의 공간적인 분포가 필수적인 사항이므로 GIS를 이용하면 이러한 작업을 효율적으로 할 수 있을 것이다. 또한, 호소의 수질보전과 관리를 위해서는 수질에 대한 예측이 필요하다.

본 연구에서는 주암호 유역을 연구대상지로 선정하여 GIS를 이용하여 점오염원에 대해 데이터베이스를 구축한 후 환경부에서 제시한 원단위를 이용하여 점오염원 오염부하량을 산출하고 미국 토양보존국(SCS)의 유출곡선지수(CN)를 이용하여 유출량을 산정한 후 유출량과 기대평균농도(EMC) 값을 이용하여 비점오염원 부하량을 산정하였다. 또한 GIS 자료와 연계가 용이하고 그 계산능력의 우수성이 입증된 미국 환경청(EPA)에서 개발한 WASP 모형을 이용하여 수질을 모의하였다.

## 연구동향

최근 인공댐의 수질을 효과적으로 관리하기 위해 점오염원 뿐만 아니라 비점오염원에 대한 관리가 필요함에 따라 부하량과 수질모의에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 많은 자료를 효율적으로 관리하고 제어할 수 있는 GIS와 연계한 연구가 지속되고 있다.

최종욱(1998)은 GIS와 수질모형을 이용하여 안양천의 수질오염을 해석하고자 연구를 수행하였는데, 도형정보를 수치지도화하고 오염원과 오염원 원단위를 속성정보로 데이터베이스화하여 소유역별 오염부하량을 산정하였다. Saunders와 Maidment(1996)는 텍사스 San Antonio-Nueces 하구지역에 대해 DEM을 이용하여 각 셀의 오염부하량과 유출량을 산정하고 연간 평균 오염부하량을 계산하여 비점오염원으로 예상되는 오염농도의 평균값을 계산하였고, Olivera(1996)는 Avenue Script를 이용하여 유역구분 및 유출량 산정 등의 기능을 수행하였다. Quenzer(1998)는 Corpus Christi Bay를 대상으로 100m 셀의 DEM으로 유출량을 산정하였다. 누적유출량에 EMC를 적용하여 비점오염원 부하량을 계산하였고 점오염원 부하량과 대기오염에 대해서 고려하였다.

WASP 모형의 적용사례를 보면, 김성홍(1990)은 감조하천 특성을 보이는 한강 하류부에 대하여 WASP 모형을 이용하여 수질예측을 하였고, 선종우(1991)는 WASP4 모형을 이용하여 팔당호에 대해 수질오염 실태와 수질예측을 수행하였다. 조홍연(1993)은 팔당호에 WASP4 모형을 적용하여 모형의 매개변수 추정을 수행하였고 장래 수질예측을 하였다. 박영진(1996)은 농촌유역의 소하천인 복하천 상류구간에 WASP4 모형을 적용하여 수질예측을 하였다. 장태연(1997)은 GIS를 이용하여 삼척 오십천에 대하여 유역의 오염부하량을 산정하고 이를 하천수질예측 모형에 적용하여 하천의 오염도를 연구하였다. 최종욱(1998)은

WASP5을 이용하여 수질개선 대책으로 하수처리장의 위치를 선정하였으며, 신동석(1999)은 안양천 수질예측을 위해 WASP5 수질모형을 선정하고 그 적용성을 검토하였다. 황운애(2000)는 불확실한 입력자료들의 불확실성 검토를 퍼지이론을 이용하여 해석하고, 이를 수질모델링에 그대로 결합시킬 수 있는 방법을 개발하였다.

## 연구의 기본이론

### 1. SCS 방법

유출의 정의는 지상으로 떨어진 강우의 일부분이 지표 또는 하천으로 흐르는 과정이라고 할 수 있다. 따라서 유출은 강우에 대한 유역의 반응으로서 강우-유출 분석은 강우가 유역에 발생할 때 흙의 종류, 토지이용상태, 토지피복상태 등에 따라 지표면으로 흐르는 유출량을 결정하는 것이라고 할 수 있다. 유출량은 유량을 시간에 따라 나타내는 수문곡선으로 표시할 수 있으며 유출량의 시간적 분포는

토지이용상태 뿐만 아니라 유역의 크기, 하천의 상태와 같은 유역의 모든 요소가 작용한 결과라고 할 수 있다. 유효강우량은 우량주상도로부터 손실량을 제거한 값인데 총강우량으로부터 유효강우량을 결정하는 방법에는 Horton의 침투형곡선법,  $\phi$ -index법, SCS 방법 등이 있으나 침투형곡선법과  $\phi$ -index법은 호우에 대한 유출량 자료가 없을 경우에는 직접 산정이 불가능하여 직접유출량을 산정할 수 없다. 흙의 종류와 토지이용에 따라 달라지는 유출곡선지수(CN: curve number)를 사용하여 직접 유출량을 구하는 SCS 방법은 호우에 대한 유출량 자료가 없어도 직접유출량을 산정할 수 있기에 널리 이용되고 있다. 그림 1에 그리드를 기초로 한 SCS방법을 이용하여 유출량을 산정하는 흐름도를 나타내었다.

토양의 특성에 따라 강우에 의한 유출은 달라진다. 즉 토양의 성질에 따라 침투형이 상이하므로 직접유출의 크기도 달라진다. 토양의 구성물질은 자갈, 모래, 미세립자 등의 광물질과 유기물로 구성되는데 광물입자의 크기는

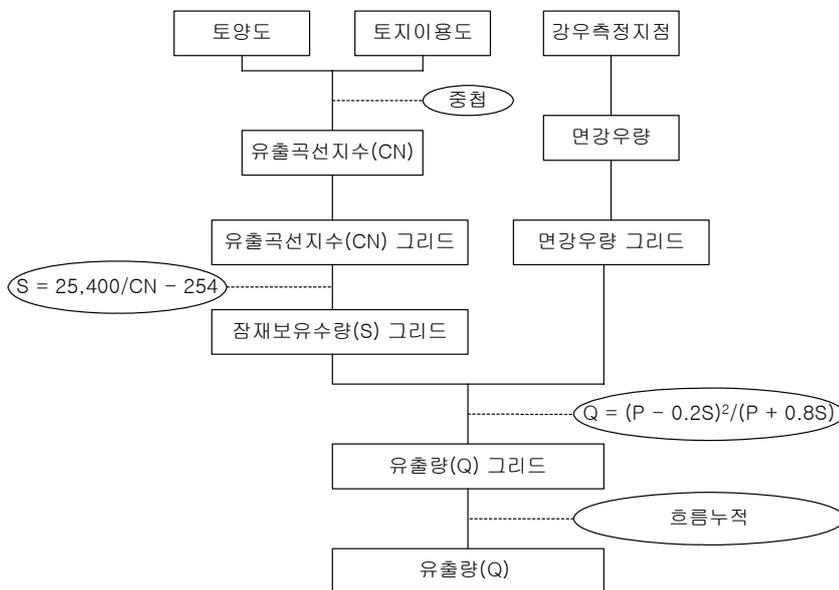


FIGURE 1. The flowchart for calculation of runoff

국제토양학회에 의해 자갈(2.0~0.2mm), 모래(0.2~0.02mm), 미사토(0.02~0.002mm), 점토(0.002mm이하)로 구분되며, 이들의 분포비율에 의해 토양이 분류된다.

CN값은 유역의 선행토양함수조건(AMC)에 따라 달라진다. 이 값은 선행강우에 따라 AMC-I, AMC-II, AMC-III로 분류된다. SCS에서는 유효강우량과 총강우량의 관계를 표준화하기 위해 CN값을  $0 \leq CN \leq 100$ 으로 정의하였고, CN은 유역의 수문학적 토양형, 토지의 이용 및 처리상태와 선행토양함수조건에 따라 값이 결정된다. 유출곡선지수(CN)와 최대잠재보유수량(S)의 관계는 다음 식(1)과 같다.

$$CN = \frac{25,400}{S + 254} \text{ 혹은 } S = \frac{25,400}{CN} - 254 \quad (1)$$

강우량(P)와 최대잠재보유수량(S)를 이용하여 식(2)에 적용하여 유출량을 계산한다.

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad P > 0.2S$$

$$Q = 0 \quad P < 0.2S \quad (2)$$

## 2. 점오염원 부하량

발생부하는 조사분석 대상에 포함되는 모든 발생원에 대해서 각각의 발생오염부하를 실측하는 것이 원칙이지만, 발생원마다 발생량과 발생 형태가 다르므로 발생원 모두에 대해 계속적으로 오염부하를 실측하는 것은 실제로 불가능하다. 따라서 각 발생원으로부터 실측데이터를 이용하여 하나의 개체의 단위로 1일 또는 1년에 발생하는 발생량을 오염부하 발생원단위 또는 원단위라 하며, 이를 이용하여 오염부하발생량을 추정하는 것이 일반적이다. 대부분의 연구에서 1일에 발생하는 발생량의 원단위를 적용한다. 환경부에서는 오·폐수발생량과 오염부하량을 추정할 때 필요한 원단위를 제시하였는데 표 1에 나타내었다. 식당과 숙박업소는 건축물의 용도별 오수발생 원단위를 활용하였다. 식당의 경우에는 면적의 20%, 숙박업소의 경우에는 면적당 소요되는 인원을 기준으로 산출한다. 표 2에 식당과 숙박업소 원단위를 나타내었다.

TABLE 1. The unit pollutant loads presented by the Ministry of Environment

오염원		오·폐수발생량	BOD오염부하량	T-N오염부하량	T-P오염부하량
생활계	도시	365 ℓ/인×일	66g/인×일		
	농촌	213 ℓ/인×일	55g/인×일	7.75g/인×일	1.63g/인×일
축산계	한우	33 ℓ/인×일	95.7g/두×일	14.7g/두×일	2.0g/두×일
	젓소	40 ℓ/인×일	111.6g/두×일	17.8g/두×일	2.4g/두×일
	돼지	12.5 ℓ/인×일	31.4g/두×일	5.6g/두×일	1.9g/두×일
산업계		폐수발생량(m <sup>3</sup> /일)	354g/m <sup>3</sup> ×일	-	1.06g/m <sup>3</sup> ×일
양식계	가두리	-	86g/m <sup>3</sup> ×일	10.52g/m <sup>3</sup> ×일	5.37g/m <sup>3</sup> ×일
	유수식	-	38.4g/m <sup>3</sup> ×일	5.15g/m <sup>3</sup> ×일	0.978g/m <sup>3</sup> ×일

자료) 영산강환경관리청(1998)

TABLE 2. The unit pollutant loads of restaurants and lodgings

용도		오수발생량	BOD농도(mg/L)	BOD부하량	비고
판매 시설	식품접객업	300 ℓ/m <sup>2</sup> ×일	250	75g/m <sup>2</sup> ×일	면적은 연면적의 20%로 함
숙박 시설	여인숙, 여관, 호텔, 모텔, 콘도미니엄, 유스호스텔	300 ℓ/인×일	200	60g/인×일	인원은 숙박객의 정원에 종업원을 가산한 것으로 함

자료) 환경부고시 제 1998-85호, 건축물의 용도별 오수발생량 산정방법

가축에 의한 부하량은 발생부하량과 배출부하량으로 나눌 수 있다. 발생부하량은 분뇨를 포함하는 총발생오염부하량을 나타내며, 배출부하량은 발생원에서 분은 제거되고 노와 세척수만을 고려한 부하량을 말한다. 본 연구에서는 축산폐수처리후 처리수에 대한 정확한 오염물질 부하량을 추정할 자료가 존재하지 않으므로 배출부하량을 고려하였다. 산업폐수는 생활오수와 산업폐수로 구분이 이루어져야 하나 일반적으로 혼합되어 배출된다. 환경부에서는 일반적으로 오염부하량을 산출할 때 총질소부하량을 산출하지 않아 본 연구에서도 제외하였다. 양어장 오염부하량은 육상에서 양어하는 유수식 양어장이 분포하므로 유수식 양어장에 대한 원단위를 적용하여 오염부하량을 계산하였다.

### 3. 비점오염원 부하량

각 그리드 셀에 대한 오염량을 계산하기 위해서는 셀과 연관된 오염농도 값이 필요하다. 토지이용에 따라 적용되는 기대평균농도(EMC)값은 공간적으로 평균오염농도를 부여하는 하나의 방법이다. SCS방법에 의해 각 셀별로 산정된 유출량 그리드에 EMC값을 부여하고 단위 셀 면적을 고려하여 비점오염원 부하량을 산정하였다.

$$\text{각 셀별 오염부하량} = \text{SCS 방법으로 산출된 유출량} \times \text{EMC} \times \text{Cell 면적}$$

환경부(1995)에서 비점오염원 조사를 통해 우리나라의 토지이용 특성을 고려하여 EMC 값을 산정하였는데, 주암호 유역에서 산정한 EMC 값은 표 3과 같다.

TABLE 3. EMC values

Constituent	토지이용				
	주거지	논	밭	임야	기타
BOD(mg/L)	67.23	8.39	3.48	1.90	0.50
T-N(mg/L)	1.82	5.00	2.16	1.67	1.50
T-P(mg/L)	0.57	0.30	0.07	0.04	0.12

### 4. WASP 모형

수질예측모형은 수리학적 복잡성 정도에 따라서 무차원 모형, 구획 모형, 1차원 모형, 2차 또는 3차 모형으로 나눌 수 있다. 무차원 모형은 소규모 호소의 완전혼합을 가정한 모형이며, 구획 모형은 수체의 성질이 서로 다른 횡단면의 구획으로 나누며, 1차원 모형은 수심에 따른 농도 경사 등을 고려하며, 2차원 또는 3차원 모형은 종방향이나 횡방향 변화와 수직적 변화를 고려하여야 할 경우에 적용된다. 호소의 수질예측을 위해서 사용할 수 있는 모형으로는 WASP, QUAL2E, MIT, MIT-EPA, WQRRS, WRE, WRE&RAM, HSPF 등이 있으며 본 연구에서는 국내·외에서 사용된 많은 사례가 있을뿐만 아니라 GIS와 연계가 쉽고, 그 계산능력의 우수성이 입증된 미국 환경청(US EPA)에서 개발한 WASP(Water Quality Analysis Simulation Program) 모형을 선택하였다.

WASP모형은 1981년 Di Toro 등에 의해 미국 환경청에서 처음 개발되어 수정과 보완을 거쳐 1991년 수체내 독성물질 거동까지 분석가능한 WASP5 모형으로 발전되어 왔고, GIS와 연동이 쉽도록 하여 2001년에 WASP6로 발전되었다. 이 모형은 연못, 저수지, 호수, 하천, 강, 하구 및 해양에서의 수체 이동과 13종의 주요 수질항목, 즉 DO, BOD 등 부영양화 관련 물질과 독성물질의 이동 및 상호반응에 대한 모의가 가능하며, 수계에 대한 동적분할 모형으로서 시간에 따른 입력값의 변화를 고려할 수 있어 연중 변화는 물론 짧은 시간 간격 사이의 수질성분 변화를 분석하는데도 대단히 유용하며 대상수계에 따라 3차원 분석까지 가능하다. WASP는 총 10개의 입력자료 그룹으로 나누어져 있으며, 이에 따라 필요한 자료를 입력한다. 모형의 입력자료는 모형수행을 위한 기본 입력자료, 분할구획 및 구획연결의 입력자료, 운송 및 확산에 관련된 입력자료, 경계조건 및 오염부하량에 관한 입력

자료, 모형의 환경매개변수 및 반응상수와 시간함수, 수질항목의 초기 조건 자료 등이다.

### 자료구축

#### 1. 점오염원 자료

주암호 유역의 인구는 리별로 2000년도 인구통계를 기준으로 파악하여 입력하였다. 주암호 유역에는 한우, 젓소, 돼지, 말, 가금, 양 등 다양한 축종이 사육되고 있는데, 말과 양은 극히 사용두수가 적고, 가금은 사육두수는 많으나 세척수의 발생이 없어 폐수발생량이 적으므로 본 연구에서는 말과 양, 가금을 고려하지

않고 한우, 젓소, 돼지만을 대상으로 하였다. 유역내에서 미처리된 산업폐수를 방출하는 산업체는 1개소로 폐수배출량이 0.4톤/일이다. 육상에서 양어하는 유수식 양어장이 유역내에 4개가 분포하고 있는데 그 사용면적은 7,877m<sup>2</sup>이다. 유역내에 분포되어 있는 식당은 202개소이고 숙박업소는 19개소이다. 그림 2~5에 점오염원 현황을 나타내었다.

#### 2. 토양도와 토지이용도

토양도는 한국 토양조사 사업기구와 농촌진흥청 식물환경 연구소에서 작성한 1:50,000 개략토양도를 기준으로 작성하였고, 토지이용

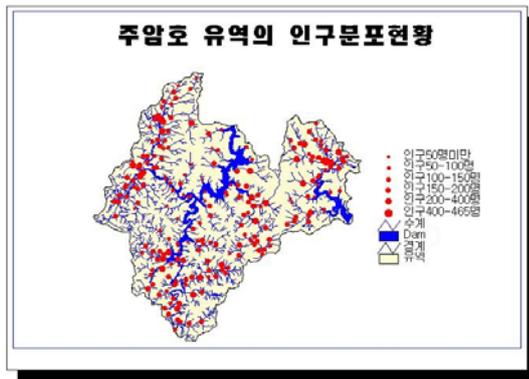


FIGURE 2. State of population distribution in Juam lake watershed

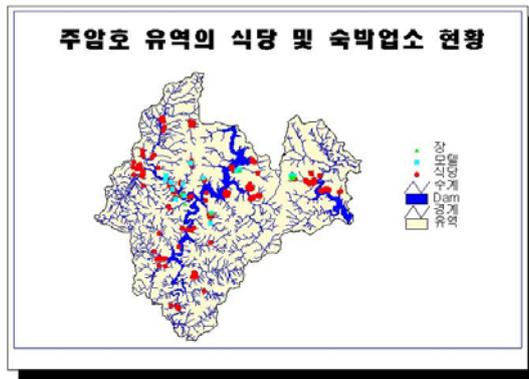


FIGURE 3. Location of restaurants and loadings in Juam lake watershed



FIGURE 4. Location of a fish farm in Juam lake watershed

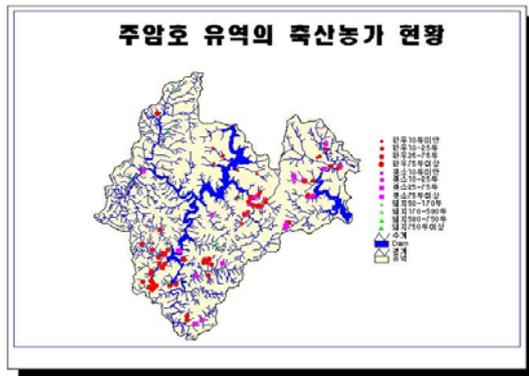


FIGURE 5. Location of a livestock farm in Juam lake watershed

도는 1999년 5월 21일의 LandsatTM 영상에 대해 무감독 분류를 수행하여 자동적으로 군집화하였으며 이들을 재분류하는 hybrid method를 이용하고 화소값으로 인식하기 난해한 특정물체는 육안판독하여 주거지, 논, 밭, 산림, 호수, 기타의 6가지로 분류하여 작성하였는데 그 결과 78.2%의 정확도를 얻었다. 그림 6과 그림 7에 토지이용현황과 토양도를 나타내었다.

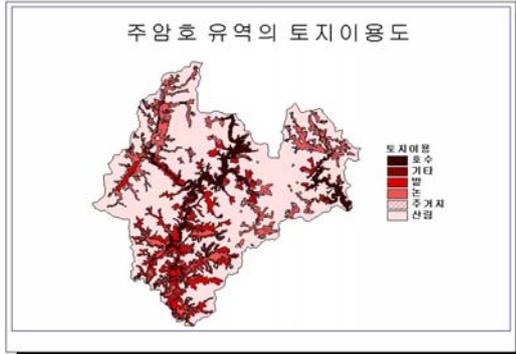


FIGURE 6. The landuse map in Juam lake watershed

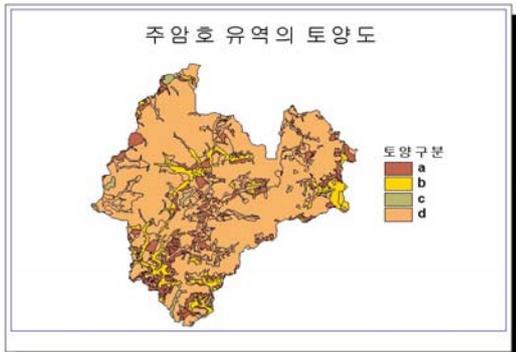


FIGURE 7. The soil map in Juam lake watershed

### 3. 수치고도모형(DEM)과 소유역

본 연구에서는 수치지형도를 이용하여 수치고도모형을 작성하였다. 수치고도모형의 해상도는 유역 면적이 1,000km<sup>2</sup>이하일 때 30m×30m로 하는 경우가 계산상의 오차가 가장 적

어(Saunders와 Maidment, 1996) 본 연구에서도 셀 사이즈를 30m×30m로 하였다. 지표유출, 차단저류, 침투 같은 인자들이 각 소유역마다 다르기 때문에 소유역별 변수를 사용하기 위해서 경사, 방향, 고도, 토양, 토지이용과 강우량에 따라 주암호 전체 유역을 44개의 소유역으로 자동으로 구분하였다. 그림 8에 수치고도모형을 나타내었고, 그림 9에 분할된 소유역을 나타내었다.

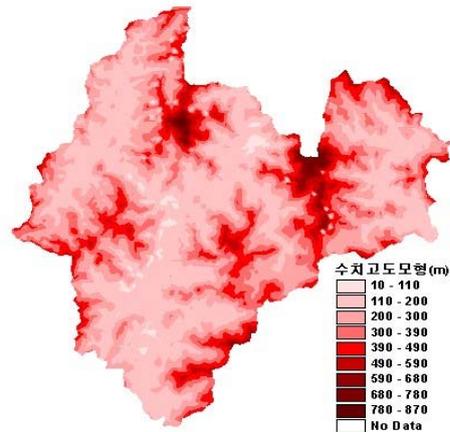


FIGURE 8. Digital elevation model in Juam lake watershed

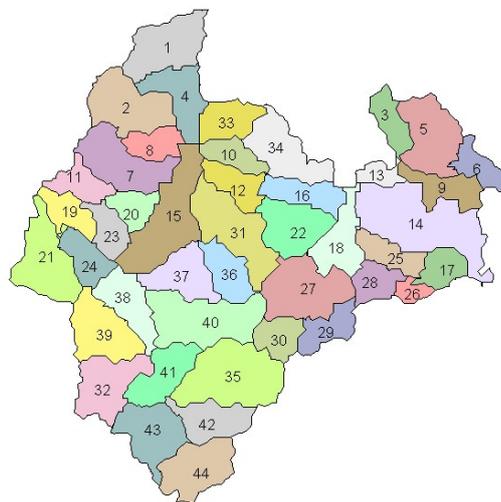


FIGURE 9. Divided subbasins

TABLE 4. Curve number and maximum potential retention by AMC

토지이용	AMC	토양형별 CN				토양형별 S			
		A	B	C	D	A	B	C	D
임야	I	18	40	54	63	1157	381	216	149
	II	35	60	73	80	471	169	94	64
	III	55	78	87	91	208	72	38	25
밭	I	53	64	75	80	225	143	85	64
	II	72	81	88	91	99	60	35	25
	III	86	92	95	97	41	22	13	8
논	I	60	60	60	60	169	169	169	169
	II	78	78	78	78	72	72	72	72
	III	90	90	90	90	28	28	28	28
도심지	I	59	70	78	81	177	109	72	60
	II	77	85	90	92	76	45	28	22
	III	89	94	96	97	31	16	11	8
물	I	94	94	94	94	16	16	16	16
	II	98	98	98	98	5	5	5	5
	III	99	99	99	99	3	3	3	3

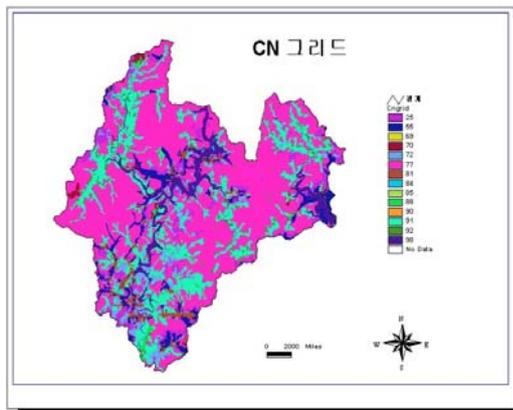


FIGURE 10. Curve number grid

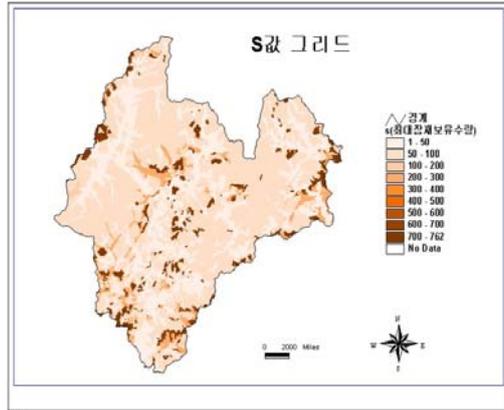


FIGURE 11. Maximum potential retention grid

모형의 적용

1. 유출량

주암호 유역에 대해서 토지이용상태 및 토양별, AMC-I, AMC-II, AMC-III 조건에 대한 유출곡선지수(CN) 값과 식(1)에 의해서 잠재보유수량(S)을 산정하여 표 4에 수록하였다. 표 4에서 토양형별 CN값은 선우중호(1998)를 참조하였다.

토양도와 토지이용도를 중첩시켜 유출곡선지수 다각형을 만들고 다각형을 그리드로 변환하여 결과를 그림 10에 나타내었으며, 유출곡선지수 그리드를 토대로 잠재보유수량 그리드를 작성하여 그림 11에 나타내었다.

유역내에 포함하고 있는 강우측정지점이 11 지점에서 측정한 이를 티센다각형 방법으로 면강우로 바꿔 작성한 강우량 그리드와 잠재보유수량 그리드를 이용하여 유출량을 계산하

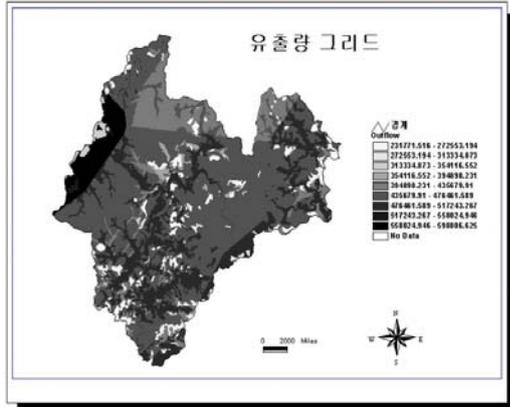


FIGURE 12. Runoff volumes grid

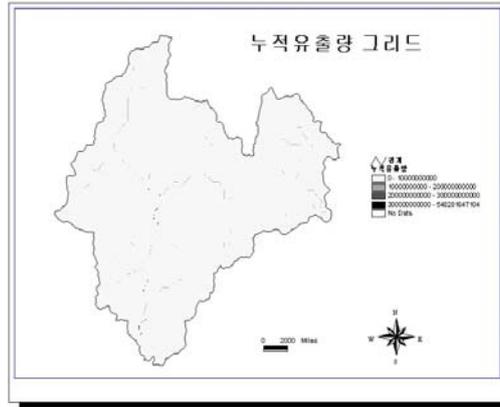


FIGURE 13. Flowaccumulation runoff volumes grid

TABLE 5. Point source pollutant loads in Juam lake watershed

종 류	발생량 (m <sup>3</sup> /일)	BOD부하량 (kg/일)	T-N부하량 (kg/일)	T-P부하량 (kg/일)
생활하수	3567.7	921.3	129.8	27.3
축산폐수	266.5	719.8	120.0	28.4
산업폐수	1	0.4		0.001
양어장폐수		302.5	40.6	7.7
식 당	707.3	176.8		
숙박업소	116.1	23.2		
합 계		2,144.0	290.4	63.401

여 그림 12에 나타내었다. 유역 전체의 유출량을 구하기 위해 누적흐름의 원리를 이용하였는데 그 결과를 그림 13에 나타내었다. 누적흐름 그리드를 이용해 계산한 주암호 유역의 총 유출량은 6,989만톤/년으로 산정되었다.

## 2. 오염부하량

원단위를 이용하여 주암호 유역에서 계산된 점오염원 오염부하량은 표 5와 같다.

비점원 오염부하량은 EMC 그리드와 유출량 그리드, 셀 면적의 곱으로 생성된다. 생성된 비점오염원 BOD 그리드, T-N 그리드, T-P 그리드를 그림 14, 그림 15, 그림 16에 나타내었다.

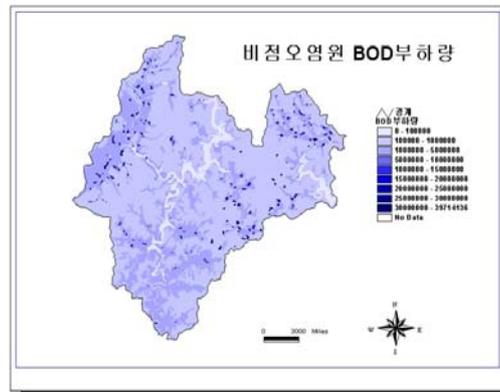


FIGURE 14. BOD pollutant loads of nonpoint source pollution

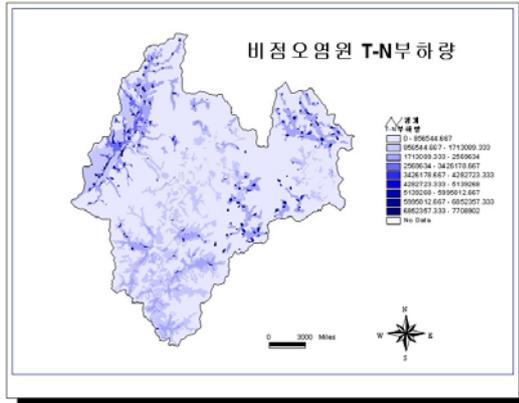


FIGURE 15. T-N pollutant loads of nonpoint source pollution

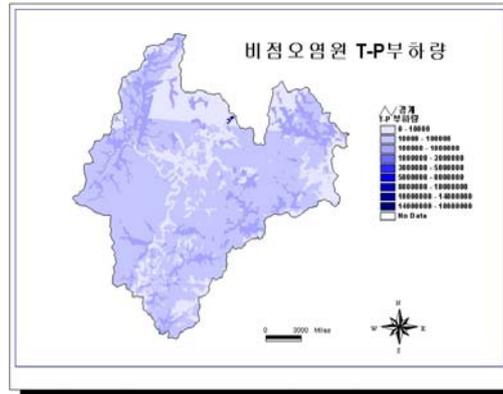


FIGURE 16. T-P pollutant loads of nonpoint source pollution

점오염원 부하량과 비점오염원 부하량을 합하여 전체 오염부하량을 계산하였다. 표 6에 산정된 전체 오염부하량을 나타내었다.

TABLE 6. Total pollution loads

종류	BOD부하량 (kg/년)	T-N부하량 (kg/년)	T-P부하량 (kg/년)
점오염원	782,560	105,996	23,141
비점오염원	2,957,773	1,645,004	77,630
전체	3,740,333	1,751,000	100,771

### 3. 수질모의

본 연구에서는 주암호 유역을 크게 44개의 소유역으로 나누었으며, 각 소유역을 상층, 하층 그리고 저니층으로 구분하였다. 구분된 소유역중 동북천 유역에 대해 수질을 모의하였다. WASP모형을 적용하기 위해서 많은 매개변수 값이 필요한데 동북천 유역에 적당한 매개변수를 구하기 위하여 매개변수 최적화를 실시하였다. 매개변수 초기값은 사용자매뉴얼(Ambrose 등, 1988)에 나온 값을 사용하였으며 실측치와 계산치와의 차이가 최소가 되도록 시행착오법을 사용하였다.

TABLE 7. Comparison of parameters used WASP model

Const. Code	Ambrose et al.	선종우	본연구
K1320C(11)	0.09-0.13	0.09	0.12
K1320T(12)	1.08	1.035	1.08
KNIT(13)	2.0	2.0	2.0
K140C(21)	0.09	0.01	0.1
K140T(22)	1.045	1.08	1.08
KNO3(23)	0.1	0.10	0.1
K1C(41)	2.0	2.0	2.0
K1T(42)	1.069	1.068	1.069
CCHL(46)	30.0	30.0	30
IS1(47)	200-750	420.0	300
KMNG1(48)	0.025	0.02	0.02
K1RC(50)	0.125	0.125	0.125
K1RT(51)	1.045	1.045	1.045
K1D(52)	0.02	0.03	0.03
PCRB(57)	0.025	0.02	0.025
NCRB(58)	0.25	0.23	0.25
KDC(71)	0.16-0.21	0.14	0.16
KDT(72)	1.050	1.04	1.04
OCRB(81)	2.6667	2.67	2.67
K1013C(91)	0.075	0.010	0.075
K1013T(92)	1.08	1.08	1.08
K58C(100)	0.22	0.22	0.22
	1.08	1.08	1.08

표 7에는 WASP모형에서 사용되는 매개변

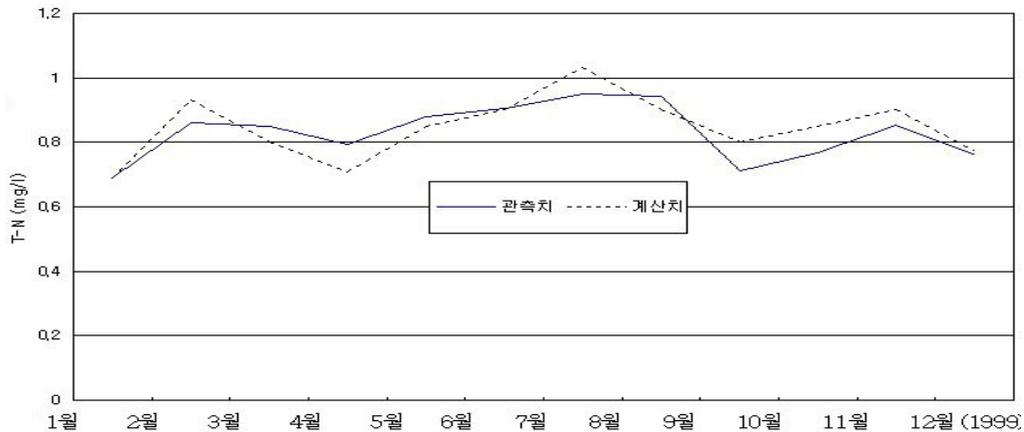


FIGURE 17. Observed and simulated nitrogen values in Dongbok stream

수 값을 나타내었는데 사용자매뉴얼에서 제시한 값, 기존 연구(선종우, 1991)에서 사용한 값과 본 연구에서 사용한 값을 각각 나타내었다. 세 경우의 값을 비교하면 거의 유사함을 알 수 있다. 최적화된 매개변수를 이용하여 동북천 유역에 대해 BOD, 질소, 인 등의 모의결과를 얻었으며 그중 질소의 실측치와 계산치를 비교하여 그림 17에 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 관측치와 계산치의 추이가 비슷하게 변화하며 값의 차이도 비슷함을 알 수 있다.

## 결 론

주암호 유역내에서 발생하는 점오염원 및 비점오염원에 대해 데이터베이스를 구축하고 환경부에서 제시한 원단위를 이용하여 점오염원 부하량을 계산하였으며, SCS방법으로 유출량을 산정한 후 유출량과 토양과 토지이용에 따라 그 값이 달라지는 기대평균농도(EMC)를 이용하여 비점오염원 부하량을 산정하였다.

유출량은 흙의 종류와 토지이용에 따라 달라지는 유출곡선지수(CN)를 사용하여 SCS방법으로 계산하였는데 그 결과 주암호 유역의 총 유출량은 6,989만톤/년으로 산정되었다. 점

오염원 부하량과 비점오염원 부하량을 합하여 전체 오염부하량을 계산하였다. 계산된 오염부하량은 수질정책 수립과 수질관리를 위한 기본적인 자료로 활용될 수 있을 것이다.

주암호로 흐르는 소유역의 수질예측을 위하여 동북천 소유역에 WASP 모형을 적용하였다. 시행착오법을 사용하여 모형의 매개변수를 최적화하였으며 최적화된 매개변수를 사용하여 BOD, 질소, 인 등을 계산하였다. 모형의 관측치와 계산치를 비교한 결과 서로 유사함을 알 수 있었다. 수질모델링은 호소의 장래수질을 보다 신뢰성 있는 방법으로 예측함으로써 호소의 목표수질 달성 또는 현재의 수질을 유지할 수 있도록 합리적이고 경제적인 수질개선 대책을 수립하는데 기초자료로 사용될 수 있을 것이다. **KAGIS**

## 참고문헌

- 김성홍. 1990. 감조하천에 대한 정상상태 수질 모형의 적용방안 연구. 서울대학교 석사학위논문.
- 김철, 김석규. 2001. GIS를 이용한 황룡강 유역의 유출량 및 오염부하량 산정. 한국GIS학회지 9(3):425-438.

- 박영진. 1996. 농촌유역 소하천에 대한 WASP의 적용. 서울대학교 석사학위논문.
- 신우중호. 1998. 수문학. 동명사.
- 신중우. 1991. 팔당호 수질에 대한 WASP4 모형의 적용성 검토. 서울대학교 석사학위논문.
- 신동석. 1999. 안양천 수질에 대한 WASP5 모형의 적용성 검토. 서울시정개발연구원.
- 영산강환경관리청. 1998. '97수질오염원현황.
- 장태연. 1997. GIS를 이용한 하천오염도 산정. 인하대학교 박사학위논문.
- 조홍연. 1993. WASP4 모형의 매개변수 추정. 대한토목학회 논문집 13(4):179-188.
- 최중욱. 1998. GIS와 수질모형을 이용한 안양천의 수질오염도 해석. 인하대학교 박사학위논문.
- 환경부. 1995. 비점오염원 조사연구사업보고서.
- 황윤애. 2000. 퍼지이론을 이용한 주암호 수질 모델링. 전남대학교 석사학위논문.
- Ambrose, R.B. et al. 1988. WASP4 A Hydrodynamic and Water Quality Model. EPA.
- Benaman, J. 1996. Modeling of dissolved oxygen in the Houston Ship Channel using WASP5 and geographic information system. Masters Report, University of Texas at Austin, TX.
- Heidtke, T.M. and M.T. Auer. 1993. Application of a GIS-based nonpoint source nutrient loading model for assessment of land development scenarios and water quality in Owasco Lake, New York. In: H. Olem(ed.). Water Science & Technology : Diffuse Pollution. Pergamon Press Ltd., Oxford, UK.
- Olivera, F. 1996. Spatial hydrology of the Urubamba river system in Peru using Geographic Information Systems. Online Report. Center for Research in Water Resources, University of Texas.
- Quenzer, A. M. 1998. A GIS assessment of the total loads and water quality in the Corpus Christi Bay system. Online Report. Center for Research in Water Resources, University of Texas.
- Saunders, W.K. and D.R. Maidment. 1996. A GIS assessment of nonpoint source pollution in the San Antonio-Nueces Coastal Basin. Online Report. Center for Research in Water Resources, University of Texas.
- Wool, T.A., R.B. Ambrose, J.L. Martin and E.A. Comer. 2001. Water Quality Analysis Simulation Program(WASP) Version 6.0 User's Manual. **KAGIS**