

지리정보체계를 이용한 만경강·동진강의
유역정보 및 오염부하량 분석
Analysis of the Watershed Information and Pollutants Load
using GIS in Mankyung and Dongjin Rivers

고재원* · 정신태* · 김철** · 조홍연***

Jae Won Ko*, Shin Taek Jeong*, Chul Kim** and Hong Yeon Cho***

要 旨 : 만경강·동진강 유역의 유역정보를 지리정보시스템(GIS) 도구를 이용하여 추출·분석하였다. 수치지도, 토지이용도, 점오염원, 강우량 및 강우관측소 정보, 수질관측소 정보, 원단위 오염부하량 정보를 데이터베이스화 하였으며, 유출량 산정 및 유달부하량 산정의 입력자료가 되는 유역의 경사도, Thiessen 다각형에 의한 강우량, 유역의 COD, TN, TP 발생오염부하량 등의 자료를 산정하였다. 수집·생성된 자료를 분석한 결과, 새만금 유역은 하천 상류유역을 제외하면 대부분이 완만한 평야지대로 형성되어 있으며, 인구 및 산업시설은 전주, 익산 지역에 집중되어 있는 반면 축산농가는 전 유역에 광범위하게 산재되어 있는 것으로 파악되었다.

핵심용어 : 만경강, 동진강, 지리정보시스템, 유역정보, 오염부하량

Abstract □ The watershed information of the Mankyung River and Dongjin River is obtained and analysed using the GIS tool. The informations, i.e., digital map, land use, point sources, weather station, water quality measurement station, and pollutants load unit are managed by DB system. The slope, rainfall, and generated pollutants loads of COD, TN, and TP which are the input data of the rainfall-runoff-pollutants load model are estimated. From the analysis of the collected and generated data, the almost watershed area is composed of agricultural lands except the upstream regions. The population and industrial area are densely located in Cheonju City and Iksan City, whereas the farming areas are widely distributed.

Keywords : mankyung river, dongjin river, GIS, watershed information, pollutants load

1. 서 론

새만금 종합개발사업은 만경강·동진강 하구에 방조제를 축조하여 새만금호를 조성하는 사업으로 현재 제1호, 제3호 방조제 끝막이 공사가 완료되었고, 제2호, 제4호 방조제 공사도 50% 이상 진행된 단계이다. 그러나, 동사업과 병행되어 추진되는 수질개선대책이 미흡하여 새만금호의 심각한 수질오염이 예상되고 있기 때문에 사업추진여부에 대한 논란이 고조되고 있다. 정부에서는 민관합동조

사단을 구성하여 동사업에 대한 종합적인 조사를 실시하여 적합한 수질보전대책을 마련하고 있으며, 환경부에서는 관계기관에서 제시한 수질보전대책의 타당성 및 실현 가능성 등을 종합적으로 검토하고 있는 상황이다. 따라서, 수질개선사업의 추진계획 및 유역특성을 고려하여 보다 정확하게 새만금호의 수질환경변화를 예측할 수 있는 모형의 구축작업이 절실히 요구된다. 그러나, 모형의 구축작업은 보다 정확하고 신뢰성있는 입력자료, 즉 유역의 특성 및 오염원 정보에 근거하고 있기 때문에 새만금호에

*원광대학교 공과대학 토목환경공학과(Department of Civil & Environmental Engineering, Wonkwang Univ., Iksan, Jeonbuk 570-749, Korea)

**호남대학교 공과대학 토목환경공학과(Department of Civil & Environmental Engineering, Honam Univ., Kwangju 560-714, Korea)

***한국해양연구원 연안항만공학연구본부(Coastal & Harbor Engineering Research Lab., Korea Ocean Research & Development Institute, Ansan, Kyonggi 425-744, Korea)

직접적인 영향을 미치는 만경강·동진강 유역의 정보추출 및 분석작업이 체계적으로 수행되어야 한다. 이러한 분석작업의 하나로 GIS를 이용한 분석이 사용되고 있으며, 강우-유출모형 혹은 수질모의모형 등을 실제 유역에 적용, 비교, 평가한 예는 국내·외를 통하여 많은 연구가 있다. 이러한 연구로 Shamsi and Schneider(1993)는 SWMM과 ARC/Info 및 ERDAS(Earth Resource Data Analysis System)를 결합하여 유역의 개발에 따른 유출특성을 살펴보았으며, 국내에서는 이범희(1998)가 GIS와 전문가시스템을 이용하여 도시유출 및 수질모형의 개발을 시도하였다.

본 연구에서는 만경강·동진강 유역(이하 새만금 유역)의 영향을 받는 하천 및 해역의 장애 수질변화를 보다 신뢰성있게 예측하기 위한 모형구축의 선행단계에 해당하는 새만금 유역의 유역정보 추출·분석작업을 GIS를 이용하여 수행하였다. 연구에 이용된 새만금유역의 정보를 지형 및 공간분포와 관련하여 추출·분석하였다. 유역정보추출 대상자료는 유역의 강우-유출 및 오염물질 유출과 관련된 항목으로, 유역의 지형(고도, 하천망도 등) 및 토지이용도, 오염원의 분포 자료 등이며, 인공위성 자료 및 수치지도, 단위지도 등을 이용하여 추출하였다. 또한, 토지이용도, 유역의 오염원단위 및 유역면적자료 등을 이용하여 유역의 오염부하량을 산정·분석하였다.

2. 연구내용 및 방법

GIS 활용을 위한 운영과정은 자료의 수집·처리·관

리·분석, 정보제시 등으로 구성된다. 본 연구에서 자료의 수집, 관리 및 처리단계에서는 Arc/Info Software를 사용하였으며, 정보의 제시단계에서는 Arc/Info와 호환성이 높은 ArcView Software를 사용하였다. Arc/Info를 이용하여 유역의 수문유출(강우-유출)과 오염부하량(오염물질 유출), 오염원에서 발생하는 오염물질의 확산경로를 추출·분석하였다(Maidment, 1996). 이 과정에서 Arc/Info의 매크로언어인 AML을 이용하여 반복되는 연산을 포함하는 수문분석과 수질분석을 자동화하였으며, ArcView는 Arc/Info에서 생성된 자료를 도시하는데 이용하였다.

본 연구의 대상유역은 대규모 방조제 공사가 진행중인 새만금 유역으로서 Table 1에 유역의 소유역 분할 및 행정구역을 나타내었고, Table 2에 각 유역별 수자원 이용량을 나타내었다. 연평균 강우량(기상청, 2000), 만경강 중권역 수질오염원 조사결과(전주지방환경관리청, 2000) 보고서와 토지피복도(환경부, 2000) 자료를 오염원·오염물질 분석을 위한 입력자료로 활용하였으며, 1:25,000 축척의 수치지도(국립지리원, 1998)를 기본 지형도로 이용하였다. 유역의 경계는 수자원 단위지도(건설교통부, 1998)

Table 2. 유역별 수자원 이용량 (단위 : 106 톤/년)

구분	생활용수	공업용수	농업용수	하천유지용수	계
만경강	115.2	67.6	499.2	63.1	745.1
동진강	22.3	10.4	458.5	15.8	507.0

(자료) 수자원개발 가능지점 및 광역배분계획 기본조사 보고서 (건설교통부·한국수자원공사, 1996).

Table 1. 새만금 유역의 소유역분할 및 행정구역

중권역	유역	유역구간	행정구역
만경강	전주천	완주 상관 용암리~만경강 합류	전주 완산구-덕진구, 완주군
	소양천	완주 소양 신촌리~삼례읍 하리	전주 덕진구, 완주군
	삼천	완주 구이 백여리~전주 서신동	전주 완산구, 완주군
	분류1	완주 고산 서봉리~소양천 합류전	완주군
	분류2	소양천 합류후~익산천 합류전	전주 덕진구, 완주군
	분류3	익산천 합류후~백구제수문	김제시
	익산천	익산 금마 신용리~만경강 합류전	익산시
	분류4	백구제수문~서해	김제시, 익산시, 군산시
	탑천	함라산~군산 대야 광교리	군산시, 익산시
	동진강	정읍천	정읍 내장 내장리~내장 송산리
본류	본류	정읍 산외 평사리~부안 동진 안성리	정읍시
	고부천	고창 신흥 도림리~부안 동진 장동리	고창군, 정읍시, 부안군
	원평천	김제 금산 화율리~김제 죽산 죽산리	정읍시, 김제시

Table 3. 유역정보자료의 구분

수집자료	생성자료	관련 모형
- 수치지도(지형도)	- DEM(Burning-in DEM)	- 유역유출량 추정모형
- 유역의 수로도	- 유역경사도	- 유달오염부하량 산정
- 강우관측소 위치도	- 유역흐름 및 하천망도	- 하천수질예측모형
- 강우량	- Thiessen 다각형도	
- 점오염원 위치도	- 발생오염부하량	
- 원단위오염부하량		
- 토지이용도		
- 수질관측소 위치도		
- 유량 및 수질 측정자료		

를 이용하였다. 유역정보자료의 대부분은 조사자료이며, 토지피복도 자료는 인공위성자료(Landsat TM)를 환경부에서 분석한 내용을 원용하였다. GIS 도구를 이용하여 생성된 지형도를 바탕으로, 유역에서의 유출경로를 생성하였고, 강우에 의한 유출량 및 유출계수 등을 산정하였다. 유량자료는 수자원편람(건설교통부, 1998)과 유량연보(건설교통부, 1998) 자료를 이용하였다. 또한 유출경로를 바탕으로 오염원에서의 오염물질 확산경로와 오염부하량을 산정·분석하였다. 수집한 자료는 GIS 도구를 이용하여 Table 3과 같은 유역유출량 및 오염부하량 산정모형에 필요한 직접적인 입력자료를 생성하는데 사용하였다.

3. 수치지도에서 지형도(DEM)의 추출

분포형 유출모형은 유역의 공간적인 수문변화를 상세하게 파악할 수 있으며, 유출수에 의한 토사 및 오염물질의 이동량도 파악할 수 있다. 또한 유역의 지형정보(경사, 흐름방향), 토양의 종류 및 식생피복이 강우-유출모형의 매개변수를 결정하는데 중요한 요인으로 작용하기 때문에 계측자료가 빈약한 유역에 적용하기가 용이하다. 새만금유역은 전체 유역면적이 2,700 km² 정도이지만, 어느 관청에서도 만경강·동진강의 소유역에 대한 자세한 하천의 지리정보와 오염원 정보를 보유하고 있지 않다. 익산지방

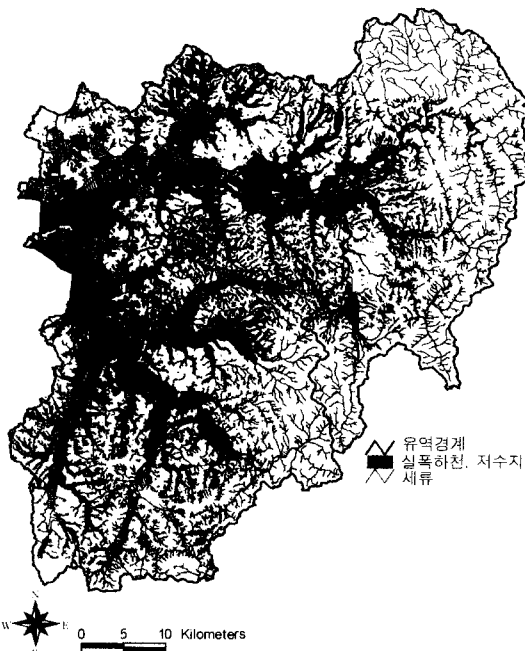


Fig. 1. 수치지도의 수로도(수계).

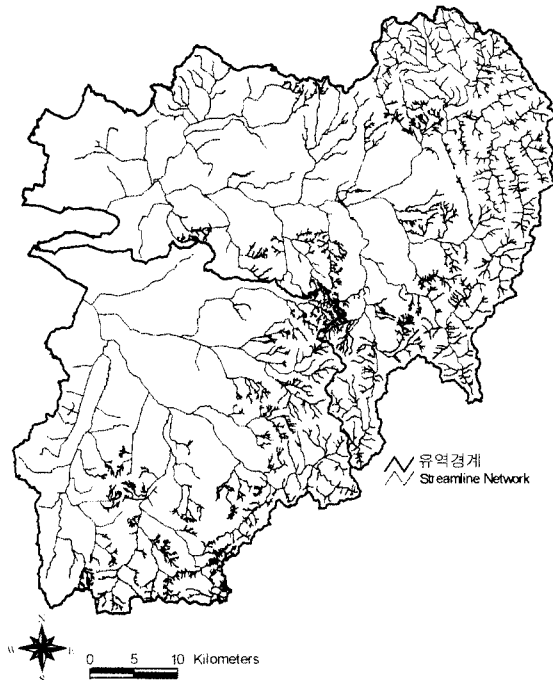


Fig. 2. 수계에서 추출된 하천망.

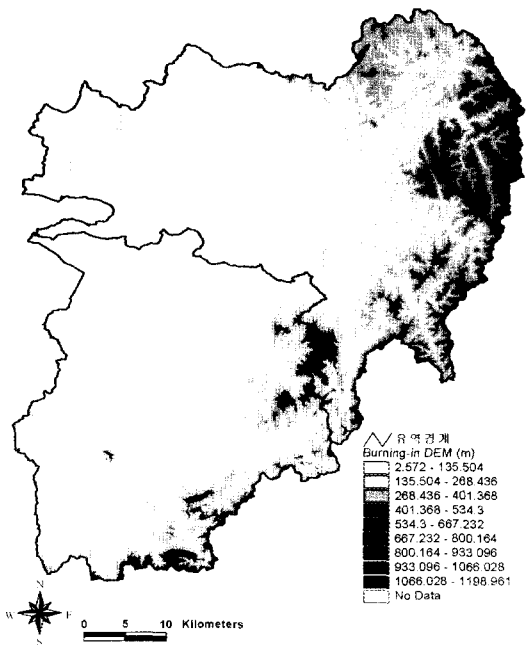


Fig. 3. Burning-in DEM.

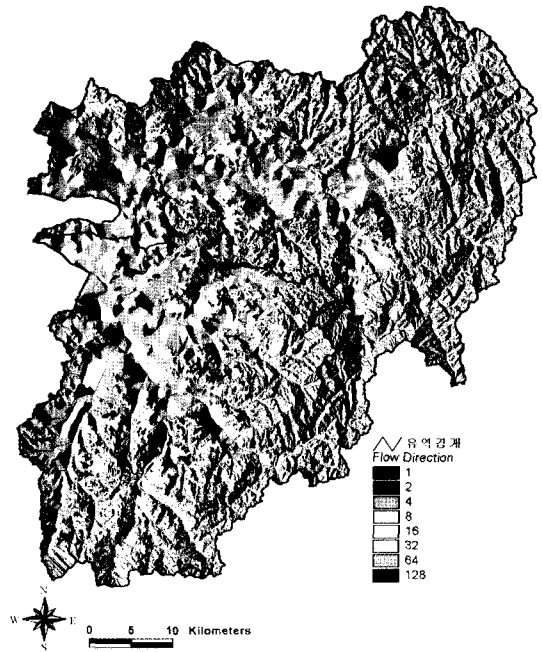


Fig. 4. 흐름방향.

본계획보고서(1993)가 있지만, 보통 10년에 한번씩 발행 하므로 최근의 자료를 확보하기는 쉽지가 않다. 한편, 유량은 현재 영산강 홍수통제소에서 총 12개의 수위관측소를 운영하고 있지만 예산 관계상 침수가 자주 발생하는 대천(만경강), 신태인(동진강) 2개소만을 대표적으로 운영하고 있는 실정이다. 또한 취득할 수 있는 자료는 대부분이 중권역을 중심으로 한 조사자료이고 토지 이용도는 1:50,000 축척의 종이지도와 같은 해상도를 가지고 있으므로 소유역에 대한 자료추출이 절실한 실정이다.

본 연구에서는 자료를 효율적으로 활용·관리할 수 있도록 하기 위하여 수치지도의 벡터자료를 래스터 자료인 격자자료로 변환하였다. 새만금유역의 모든 수로는 벡터 자료로 입력하였으며, 입력된 수로자료(수계)로부터 호수

나 하천의 폭을 제거하여 연속된 하천만으로 구성된 하천망을 추출하였고(Fig. 1, 2참조), 이를 지형자료와의 중첩을 위해 격자자료로 변환하여 하천의 경사와 흐름방향(Fig. 4참조)을 분석할 수 있도록 하였다.

지표면의 형태를 수치로 표현하는데 가장 보편적으로 쓰이는 방법은 격자기반 DEM(Digital Elevation Model) 추출이다. 이 DEM은 연속된 표면을 등록번호(register)로 표현한 것으로 정확성은 주로 격자(cell) 크기에 의해 결정된다(격자의 크기에 따른 대표적인 특성: Table 4참조; Maidment, 1993). 본 연구에서는 새만금 유역의 면적을 고려하여, 30 m x 30 m 격자간격으로 DEM을 추출하였다. DEM은 한 개의 격자가 위치(X, Y)좌표와 고도값만을 가지고 있기 때문에 수치지도보다 작은 용량의 데이터로 저

Table 4. 수치고도 셀 크기

Geographic Cell Size	Linear Cell Size (m)	Watershed Area (km ²)	Region Area (km ²)	Typical Application
1"	30	5	1,000	Urban Watersheds
3"	90	40	8,000	Rural Watersheds
15"	460	1,000	200,000	River Basins
30"	930	4,000	900,000	Nations
3'	5,600	150,000	30,000,000	Continents
5'	9,300	400,000	90,000,000	Global

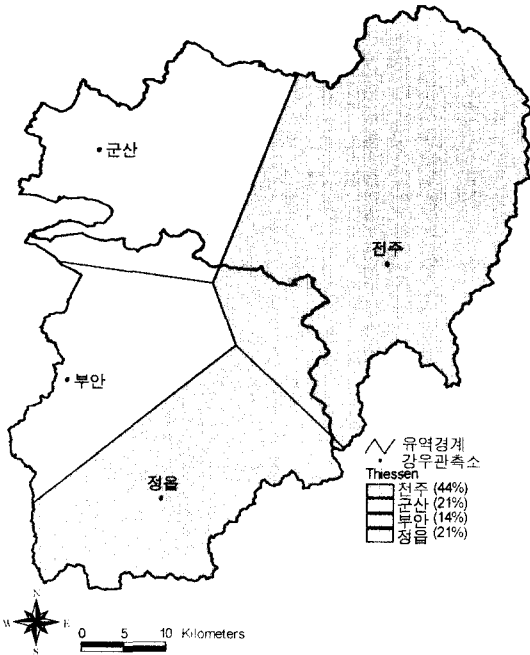


Fig. 5. Thiessen 다각형.

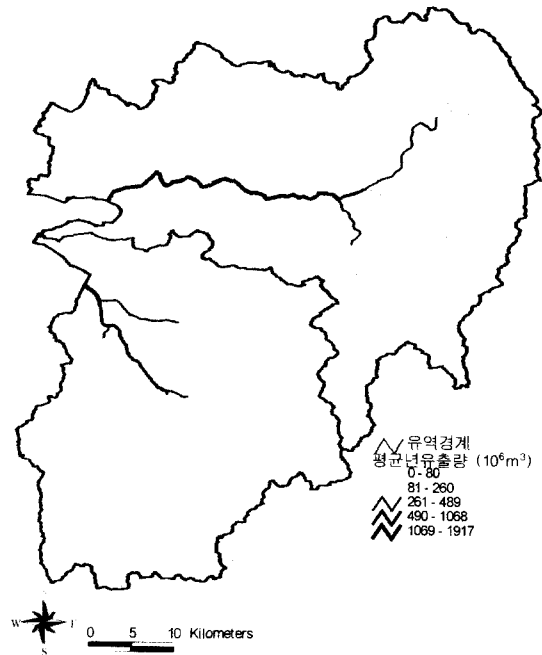


Fig. 6. 평균 연유출량.

장할 수 있는 장점이 있고, 격자와 격자간의 모든 수치적 연산이 가능하므로 수치해석 소프트웨어는 필요치 않다. 그러나, DEM은 몇 가지의 오류를 가지고 있다. 첫째로 정점(peak)을 들 수 있는데, 정점은 더 낮은 고도값의 격자로 둘러 쌓인 곳이다. 다음으로, 웅덩이(sink)가 있는데, 웅덩이는 더 높은 고도값을 가진 격자로 둘러 쌓인 지역으로 침하되고 우묵한 곳이며, 웅덩이 오류는 흐름방향 계산시 오류가 발생해 바람직하지 못한 결과를 낼 수 있으므로 다른 표면정보를 중첩시키기 전에 제거해야 할 필요가 있다. 웅덩이를 제거한 DEM은 하천부분을 명확하게 하기 위하여 하

천중심선을 제외한 격자의 고도를 일정한 값만큼 올려주는 Buming-in을 수행하여 Fig. 3을 표현하였다(Maidment, 1996). 추출된 DEM을 보면, 새만금 유역은 70~80% 정도의 광대한 평야지대와 저지대가 하류부에 광범위하게 자리잡고 있음을 알 수 있다. 한편, 격자와 주변격자의 고도를 고려하여 유역에서의 Fig. 4와 같은 흐름방향을 추출하였고, 강우관측소 위치와 강우량 정보를 이용하여 Fig. 5의 Thiessen 다각형을 구성하였다. 그리고, Fig. 6은 강우량 정보와 추출된 흐름방향을 토대로 연평균 유출량을 산정한 것이다. 상세한 내용은 고재원(2001)에 수록하였다.

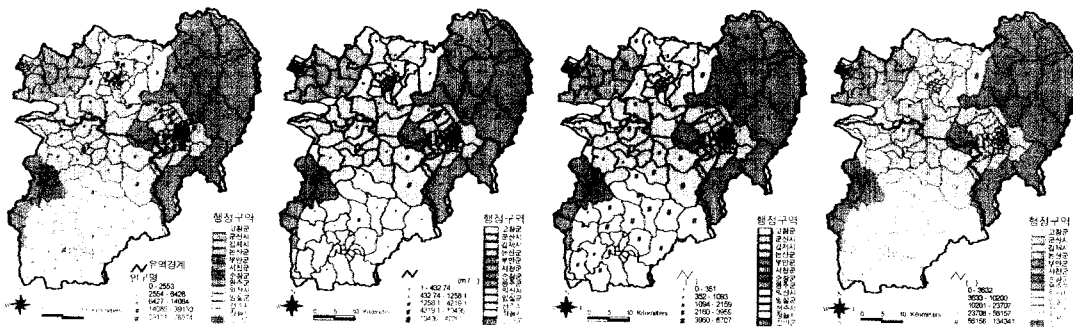


Fig. 7. 점오염원의 분포(인구, 산업시설, 소, 돼지).

Table 5. 오염원별 오·폐수 발생량 오염 부하량(원단위)

구 분	오·폐수 발생량	발생부하량			
		BOD	T-N	T-P	
생활계	355 l/인·일	64.5 g/인·일	7.75 g/인·일	1.63 g/인·일	
산업계	1(발생량 전체)	354 g/m ³	1.06 g/m ³	1.06 g/m ³	
축산계	소, 말	14.6 l/두·일	104 g/두·일	16.3 g/두·일	2.2 g/두·일
	젖 소	45.6 l/두·일	104 g/두·일	16.3 g/두·일	2.2 g/두·일
	돼 지	8.6 l/두·일	31.4 g/두·일	5.6 g/두·일	0.9 g/두·일
어업계	가두리	-	86 g/m ²	16.8 g/m ²	3.4 g/m ²
	유수식	-	38.4 g/m ²	5.15 g/m ²	0.978 g/m ²
자연계	농 경 지	-	6.1 kg/km ² ·일	2.33 kg/km ² ·일	0.17 kg/km ² ·일
	대 지	-	87.6 kg/km ² ·일	0.759 kg/km ² ·일	0.027 kg/km ² ·일
	임 야	-	0.96 kg/km ² ·일	0.55 kg/km ² ·일	0.013 kg/km ² ·일
	기 타	-	0.96 kg/km ² ·일	0.759 kg/km ² ·일	0.027 kg/km ² ·일

4. 오염원 분포정보 및 오염 부하량 산정

유역별 오염원은 점오염원과 비점오염원으로 분류할 수 있다. 점오염원은 주로 위치, 수량으로 나타나는 통계자료로 인구, 축산시설, 산업시설, 어업 등에 의하여 발생하는 오염물질이 해당되고, 비점오염원은 면적으로 표현되는 농경지, 대지, 임야 등에서 유출되는 오염물질이 해당된다. 점오염원은 1999년 통계자료(전주지방환경관리청, 2000)를 사용하였으며, 하천을 소유역별로 구분하고 유역 내에서 다시 시·동·읍·면으로 구분하여 Fig. 7과 같이 입력하였다. 점오염원 분포를 분석하면, 인구 및 산업단지 시설에 의한 오염물질 배출은 전주, 익산 지역에 집중되어 있으나, 축산폐수를 발생하는 소, 돼지 등의 사육농가는 전 유역에 광범위하게 산재되어 있음을 알 수 있다.

수치화된 자료는 연산을 보다 쉽게 하기 위해 다시 격자정보로 변환한 후 환경부에서 제공한 Table 5의 오염물질별 원단위를 곱하여 총 BOD, T-N, T-P 항목의 오염부하량을 기 구분된 소유역별로 산정하였다. 환경부의 원단위를 살펴보면 점오염원단위의 가측은 1일 오폐수 발생량에 대한 평균 오염발생부하량으로 가측 1마리가 하루에 배출하는 평균 오염부하량이고, 산업계는 하루에 배출하는 오·폐수량이 업체마다 차이가 있으므로 단위 폐수량에 대한 오염 발생부하량을 산정한 것이다. 또한, 비점오염원(자연계 오염물질)단위는 단위 면적당 발생하는 1일 평균 오염발생부하량을 산정한 것으로 새만금 유역의 Fig. 8과 같은 토지피복도를 입력자료로 활용하였고, Fig.

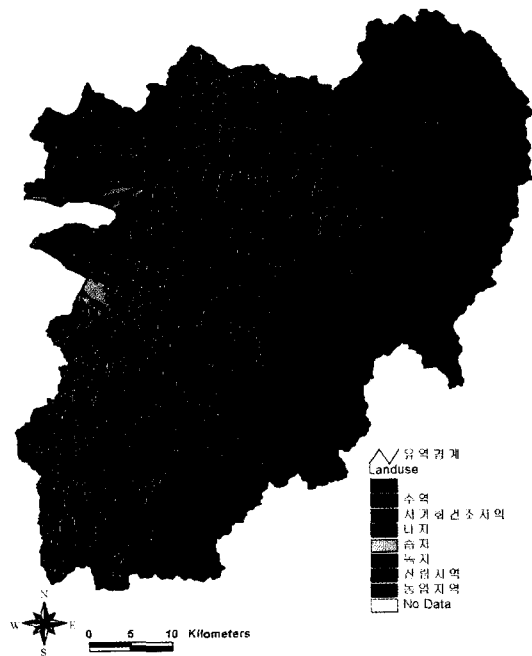


Fig. 8. 토지피복도(Landuse).

9의 수질관측소 위치정보를 이용하여 발생오염부하량과 유역오염부하량과의 관계를 파악하는 자료로 활용하였다. 새만금 유역은 전주, 익산의 도시지역을 제외하면 대부분이 농경지로 형성되어 있고, 만경강·동진강 상류지역은 산림 및 녹지로 구성되어 있음을 알 수 있다.

그림 10은 각 격자에 대하여 구해진 단위 오염부하량 정

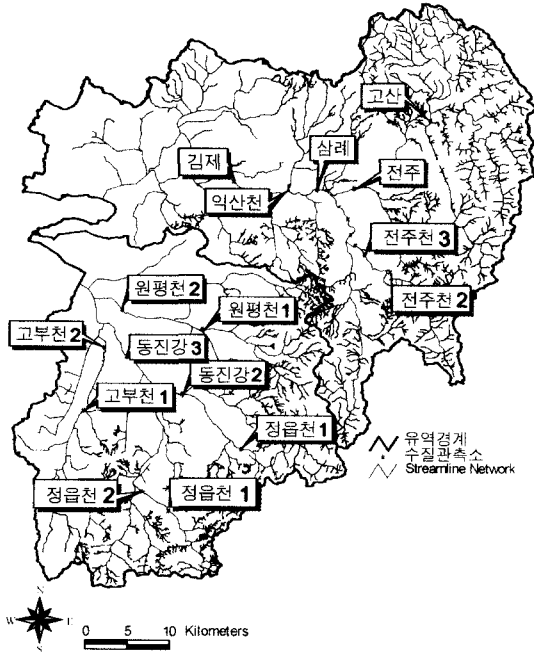


Fig. 9. 수질 관측소 명칭과위치.

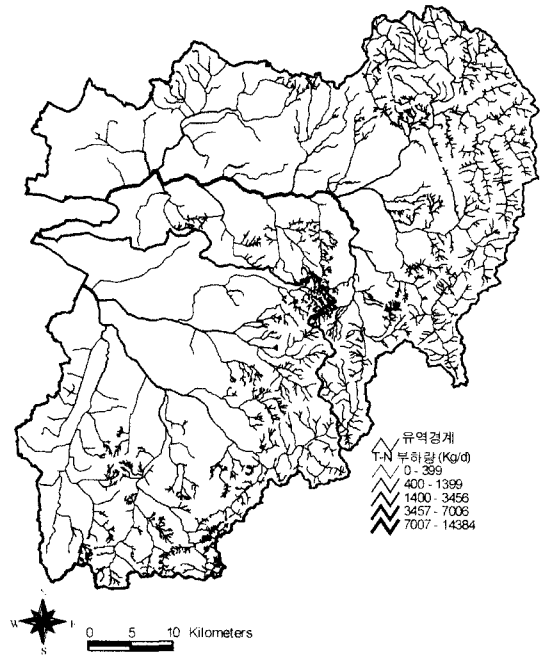


Fig. 11. T-N 부하량.

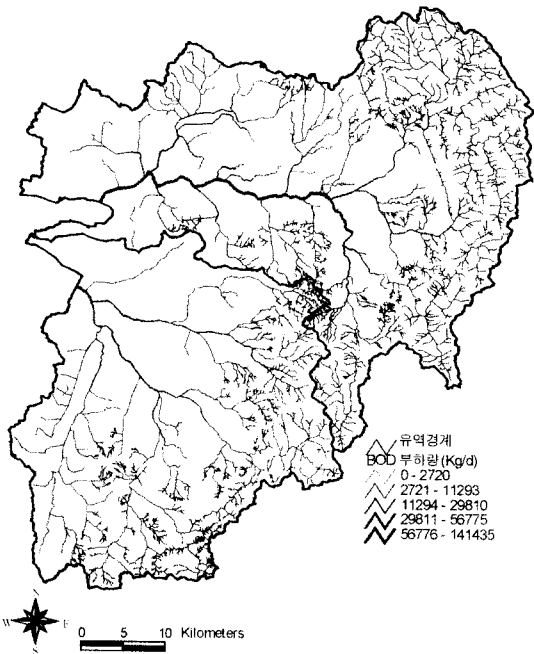


Fig. 10. BOD 부하량.

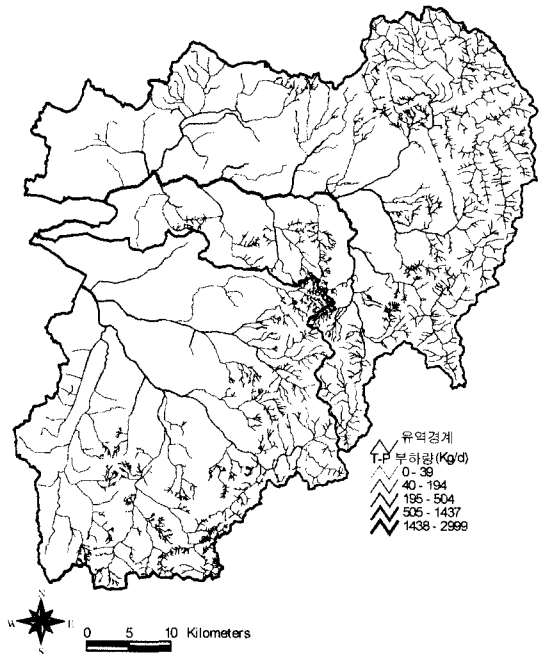


Fig. 12. T-P 부하량.

보를 흐름누적(flow accumulation)하여 유역 전체의 BOD 오염부하량을 산정한 내용이고, T-N, T-P 오염부하량도 같은 방법으로 Fig. 11 및 12와 같이 예측하였다. 유역의 발생오염부하량을 추정된 결과, 만경강·동진강 하류부의 BOD 오염부하량은 50,000 kg/day 정도로 파악되었으며, T-N, T-P 부하량은 각각 10,000 kg/day, 2,000 kg/day 정도로 파악되었다.

5. 결 론

새만금 유역의 유역유출량 산정모형 및 오염물질 유출 모형의 입력자료가 되는 공간적인 유역정보를 GIS 도구를 이용하여 추출·분석하였다. Arc/Info 모형과 ArcView 모형을 이용하여 얻을 수 있는 모든 지형정보를 데이터베이스화하였고, 수치화된 자료를 Arc/Info 모형을 이용하여 자료의 양을 최적화할 수 있으며, 여러 가지 기능과 연산을 통하여 신속한 분석이 가능하도록 하였다. 또한, 분석된 자료를 사용자가 쉽게 이해할 수 있도록 ArcView 모형을 이용하여 주제도(thematic map)를 제작하여 유역의 수질보전계획 및 설계를 위한 기초자료로 활용할 수 있도록 하였다.

한편, 유역의 유출량 산정 및 오염물질 유출모형의 구축을 위한 선행작업으로 모형의 입력자료가 되는 발생오염부하량, 유역의 경사도, 토지이용도 등의 자료를 수치지도, 유역의 원단위 오염부하량 등을 이용하여 생산하였다. 수집·생산된 자료를 이용하여 새만금 유역의 특성을 분석한 결과, 전주, 익산의 도시지역을 제외하면 대부분이 농경지로 형성되어 있고, 만경강·동진강 상류지역은 산림 및 녹지로 구성되어 있음을 알 수 있다. 또한, 인구 및 산업단지시설에 의한 오염물질 배출은 전주, 익산 지역에 집중되어 있으나, 축산폐수를 발생하는 소, 돼지 등의 사육농가는 전 유역에 광범위하게 산재되어 있다. 그리고, 유역의 원단위와 토지이용도를 이용하여 유역의 발생오염부하량을 추정된 결과, 만경강·동진강 하류부의 BOD 오염부하량은 50,000 kg/day 정도로 파악되었으며, T-N, T-P 부하량은 각각 10,000 kg/day, 2,000 kg/day 정도로 파악되었다.

사 사

본 연구성과는 2000년도 원광대학교 교비지원을 받아 수행되었습니다. 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 고재원, 2000. 지리정보체계(GIS)를 이용한 만경강·동진강에서의 수질관리 연구, 원광대학교 대학원, 석사학위 논문.
- 건설교통부, 1998. 수자원 단위지도, 한국수자원공사, <http://wamis.kowaco.or.kr/>.
- 건설교통부, 1999. 수치지도, 국립지리원.
- 기상청, 2000. 1961~1999 월평균강우량, <http://www.kma.go.kr>.
- 이리지방국토관리청, 1993. 동진강, 만경강 하천정비 기본 계획.
- 이병희, 1998. 지리정보체계 및 전문가시스템을 이용한 도시유출 및 수질모형의 개발, 서울대학교 대학원, 박사학위 논문.
- 전주지방환경관리청, 2000. 만경강 중권역 1999 수질오염원 조사결과.
- 환경부, 2000. 토지 피복도, <http://www.me.go.kr/main.html>.
- 환경부, 2000. 환경통계연감, <http://www.me.go.kr/main.html>.
- Maidment, D.R., 1993. "Developing a Spatially Distributed Unit Hydrograph by Using GIS", *Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management*, edited by K. Kovar and H.P. Nachtnebel, International Association of Hydrological Sciences, Wallingford, UK.
- Maidment, D.R., 1996. "A GIS Assessment of Nonpoint Source Pollution in The San Antonio-Nueces Coastal Basin", Univ. of Texas at Austin.
- Shamsi, U.M. and Schneider, A.A. 1993. Chapter 19. GIS based Hydraulic Model Picture the Interceptor Future, *New Techniques for Modeling the Management of Stormwater Quality Impacts*, Lewis Publishers, pp. 415-442

Received August 2, 2001

Accepted September 10, 2001