

GIS를 활용한 영산호 수계 오염원 데이터베이스 구축과 오염원관리 사용자 인터페이스

양홍모

전남대학교 농과대학 조경학과

Database and User Interface for Pollutant Source and Load Management of Yeongsan Estuarine Lake Watershed Using GIS

Yang, Hong-Mo

Dept. of Landscape Architecture, College of Agriculture, Chonnam National University

ABSTRACT

The purpose of this study is to establish the databases of pollutant sources and water quality measurement data by utilizing GIS, and making the user interface for the management of pollutant sources. Yeongsan Estuarine Lake was formed of a huge levee of 4.35 km constructed by an agricultural reclamation project. Water quality of the reservoir has been degraded gradually, which mainly attributes to increase of point and non-point source pollutant loads from the lake's watershed of 33,374.3 km² into it.

Application of GIS to establishment of the database was researched of point sources such as domestic sewage, industrial wastewater, farm wastes, and fishery wastes, and non-point source such as residence, rice and upland field, and forest runoffs of the watershed of the lake. NT Arc/Info and ArcView were mainly utilized for the database formation. Land use of the watershed using LANDSAT image data was analyzed for non-point source pollutant load estimation

Pollutant loads from the watershed into the reservoir were calculated using the GIS database and BOD, TN, TP load units of point and non-point sources. Total BOD, TN, TP loads into it reached approximately to 141,715, 23,094 and 4,743 kg/day respectively. The loads can be used as input parameters for water quality predicting model of it.

A user-friendly interface program was developed using Dialog Designer and Avenue Script of ArcView, which can perform spatial analysis of point and non-point sources, calculate pollutant inputs from the sources, update attribute data of them, delete and add point sources, identify locations and volumes of wastewater treatment facilities, and examine water quality data of water sampling points.

Key Words : GIS, Point Source, Non-point Source, Spatial Analysis, Interface, Remote Sensing

I. 서론

영산호는 대규모 다목적 농업종합개발사업인 영산강 II지구 개발사업으로 영산강 하구에 4.35 km의 대형하구연이 축조되어 형성된 담수호(estuarine lake)이며, 전체유역이 33,374.3 km²에 달하는 방대한 면적이다. 하구(estuary)에 조성된 담수호는 유입하천의 수계(watershed)에서 각종 인간활동과 토지이용으로부터 배출되는 미처리 점원 및 비점원 오염물이 최종 유입되는 곳이다. 최근들어 영산호의 수질이 점점 악화되어 가는 추세에 있어 수질보전대책의 수립이 시급하며, 사회화의 사회경제적인 손실로 영산호의 수질관리에 관심이 높아지고 있다. 영산호 수질저하의 원인은 유역내에서 발생하는 점원(point source) 오염부하량의 현저한 증가와 비점원(non-point source) 오염부하량의 점진적 증가에 있다. 영산호의 수질을 보전하고 수질관리대책을 수립하기 위해서는 전체수계의 점오염원, 비점오염원, 환경기초시설, 수질현황의 자료를 데이터베이스로 구축하는 것이 일차적인 과제이다.

기존의 수질오염에 관한 연구나 환경부에서 매년 작성하는 영산강수질오염 보고서는 행정구역단위인 읍, 면, 동 단위로 오염원을 조사하여, 유역별로 오염원을 분류한 후 오염원 배출량과 오염부하량 원단위(unt)를 적용하여 유역별 오염부하량을 산출하고 있다. 이런 접근방법은 유역의 어느 위치(location)에 어떤 규모(scale)의 점오염원 및 비점오염원이 있는가를 분석할 수 없어 합리적인 수질오염 예측과 수질보전대책을 수립할 수 없는 단점이 있다(양홍모, 1988). 지리정보체계(geographic information systems: GIS)를 활용하여 유역의 오염원, 환경기초시설, 수질현황을 데이터베이스로 구축하면 이런 문제점을 해소할 수 있다.

본 연구는 GIS를 활용하여 영산호 수계의 점원 및 비점 오염원, 환경기초시설, 수질측정자료를 데이터베이스로 구축하는 방법을 연구하고, GIS 프로그램에 익숙하지 않은 사람도 컴퓨터 화면상에서 오염원 및 환

경기초시설의 공간분석(spatial analysis)을 수행할 수 있고, 유역별 오염원 배출량 및 오염부하량을 쉽게 산출할 수 있으며, 오염원, 환경기초시설, 수질자료에 변화가 있을 경우 쉽게 갱신(update)할 수 있는 사용자 인터페이스(interface)를 객체지향 프로그램을 이용하여 작성하는데 목적이 있다.

II. 재료 및 연구방법

1. 유역구분

영산호 수계에는 광주광역시와 나주시, 담양군, 장성군, 나주군의 전지역과 화순군, 함평군, 무안군, 영암군의 일부가 포함된다. 환경부는 영산호 수계를 영산강분류 I, 영산강분류 II, 광주천상류, 광주천하류, 영산강분류 III, 황룡강, 영산강분류 IV, 지석천, 영산강분류 V, 고막원천, 함평천, 영산강분류 VI의 12개 유역으로 구분하고 있다(환경부, 1997a). 기존의 자료들이 대부분 12개 유역을 기준으로 정리되어 있어 본 연구에서도 12개 유역으로 영산호 수계를 구분하였다.

2. 오폐수발생량 및 오염부하량 원단위

표 1은 환경부에서 오·폐수발생량과 발생부하량을 추정할 때 활용하도록 제시한 원단위이다(환경부, 1995). 환경부 원단위는 유역의 점원 및 비점원으로부터 발생하는 오염물 발생부하량을 산정할 때 활용하는 원단위이며, 전국 평균의 의미를 갖는다. 본 연구에서는 영산호 수계의 오염원에 관한 데이터베이스를 구축하고 환경부의 원단위를 적용하여 영산호 유역에서 발생하는 오염물 발생부하량을 산출하였다. 표 1에서 생활계, 산업계, 축산계, 양식계는 점오염원을 의미하며, 자연계는 비점오염원을 의미한다.

방대한 유역에서 호수로 유입되는 오염부하량의 예측에는 여러 접근방법이 활용되고 있다. 미국 등 구미

에서 일반적으로 활용하는 방법은 해당 유역을 토지이용별로 구분한 후 각 토지이용별 기저유출 및 강우유출 특성을 분석하기 위해 측정지점을 설정하여, 평상시 유량 및 수질과 강우유출시 적정 시간대별 유량 및 수질을 수년간 분석하여 토지이용별 오염물질부하 기대평균농도(Expected Mean Concentrations : EMC)를 파악한다(Saunders, 1996). 유역의 토지이용, 수년간 평균 강우량, 토지이용별 기대평균농도를 고려하여 유역에서 호수로 유입되는 오염부하량을 예측하게 된다.

국내에서는 호수로 유입되는 오염부하량을 파악하기 위해 강우유출시 적정 시간대별 유량과 수질을 수년간 측정하여 분석한 경우는 거의 없다. 따라서 호수로 유입되는 오염물 부하량을 예측하기 위해 원단위의 개념을 대부분 활용하고 있다. 환경부에서 제시한 발생부하량 원단위를 적용하여 발생부하량을 산출하여 이용하거나, 발생부하량에 배출부하율을 적용하여 배출부하량을 산정하고, 배출부하량에 유달율을 적용하여 유달부하량을 산정하여 이용하고 있다. 본 연구에서 작성한 사용자 인터페이스는 오염원 자료에 변화가 있을 경우 수정이 가능하고, 환경부의 오염원별 원단위가 변할 경우 수정된 원단위를 적용하여 오염부하량을 산출할 수 있다.

3. GIS이용 오염원 및 환경기초시설 데이터베이스 구축

1) 점오염원 및 환경기초시설

자료의 입력과 자동화는 지리정보체계 프로그램인 PC 및 Unix ARC/INFO Ver. 8.0.1(ESRI, 1999)와 ArcView Ver. 3.1(a)(ESRI, 1996)를 사용하였다. 표 2와 표 3은 데이터베이스 구축에 활용한 공간자료와 속성자료를 보여준다. 공간자료인 인구, 산업체, 축산사육시설, 양식장의 위치와 수계경계, 하천, 유역, 행정구역 등은 1:50,000 지도를 기준으로 작성하였다. 인구는 인구통계를 기준(전라남도, 1998 : 광주광역시, 1998)으로 시(市)는 동(洞)단위로, 읍과 면은 리(里)단위로, 동과 리의 중앙이나 주거지역이 밀집된 지점을 선정하여 입력하였으며, 점오염원과 환경기초시설은 1997년 5월 ~ 1998년 7월에 주소 조사와 현장답사를 통하여 위치를 파악하였다.

그림 1은 GIS를 활용한 데이터베이스 구축과정의 흐름도이다. 공간자료입력, Coverage¹⁾ 자동화, TM²⁾ 좌표화, 주제도³⁾ 작성은 ARC/INFO를 사용하였으며, 속성자료입력, 공간분석, 공간결합, 오염부하량산출은 ArcView를 이용하였다.

데이터베이스 구축과정을 인구현황을 이용하여 유역별 생활하수 발생량과 오염부하량 산출, 인구분포-하천-유역간의 공간 상호관계 분석을 예를 들어 설명한

표 1. 오·폐수발생량과 오염부하량 원단위

오염원 구분	오·폐수발생량	발생부하량			
		BOD	T-N	T-P	
생활계 오염원	도시	365 t/인·일	66 g/인·일	7.75 g/인·일	163 g/인·일
	농촌	213 t/인·일	55g/인·일		
발생부하량		-	354 g/m ² ·일	-	106 g/m ² ·일
축산계오염원	한우	33 t/두·일	95.7 g/두·일	14.73 g/두·일	2.0 g/두·일
	젖소	40 t/두·일	111.6 g/두·일	17.8 g/두·일	2.4 g/두·일
	돼지	12.5 t/두·일	31.4 g/두·일	5.6 g/두·일	1.9 g/두·일
양식계오염원	가두리	-	86 g/m ² ·일	10.52 g/두·일	5.37 g/두·일
	양어장	-	38.4 g/m ² ·일	5.15 g/m ² ·일	0.978 g/m ² ·일
자연계오염원	전	-	7.1 kg/km ² ·일	2.33 kg/km ² ·일	0.17 kg/km ² ·일
	답	-	5.12 kg/km ² ·일		
	내지	-	87.59 kg/km ² ·일	0.759 kg/km ² ·일	0.027 kg/km ² ·일
	임야	-	0.96 kg/km ² ·일	0.55 kg/km ² ·일	0.013 kg/km ² ·일
	기타	-	0.96 kg/km ² ·일	0.759 kg/km ² ·일	0.027 kg/km ² ·일

표 2 데이터베이스 구축 공간자료

구분	종류	내용	
수계경계	arc	영산강 수계의 경계	
유역	polygon	영산강 수계의 유역. 본류I, 본류II, 본류III, 본류IV, 본류V, 본류VI, 평주천상류, 광주천하류, 황룡강, 지식천, 고막원천, 함평천	
하천	arc	각 유역의 하천 및 지천	
행정구역	polygon	광역시의 구, 시의 동, 군의 읍과 민	
점오염원	· 인구	point	시의 동과 읍과 면의 리의 중앙이나 주거지역 밀집지점
	· 산업체	point	폐수배출 산업체의 위치
	· 소사육장	point	깃소 및 한우 사육장의 위치
	· 돼지사육장	point	돼지 사육장의 위치
	· 가두리	point	내수면(뚝·호소 등)에 설치된 양어장 위치
환경기초시설	· 양식장	point	일반양어장 및 육상양식어업 시설의 위치
	· 하수처리장	point	하수처리장 위치
	· 분뇨처리장	point	분뇨처리장 위치
	· 농공단지 처리장	point	농공단지 하폐수 공동처리장 위치
수질	point	수질샘플링 지점	

표 3 데이터베이스 구축 속성자료

구분	단위	비고	
점오염원	· 인구수	명	시는 동의 인구수, 읍과 민은 리의 인구수
	· 산업폐수배출량	m ³	폐수배출 입소의 폐수배출량
	· 소 사육두수	마리	깃소 및 한우 사육시설의 사육두수
	· 돼지 사육두수	마리	돼지 사육시설의 사육두수
	· 가두리 면적	m ²	내수면(뚝·호소 등)에 설치된 양어장의 면적
	· 양식장 면적	m ²	일반양어장 및 육상양식어업 시설의 면적
환경기초시설	· 오염부하량 BOD, 총질소, 총인	kg/일	각 점오염원의 BOD, 총질소, 총인의 부하량
	· 처리용량	m ³	하수처리장, 분뇨처리장, 농공단지 처리장의 처리용량
	· 방류량	m ³	하수처리장, 분뇨처리장, 농공단지 처리장의 처리후 방류량
	· 처리수준 BOD, 총질소, 총인	mg/l	환경기초시설의 처리후 방류수 수질
수질	mg/l	BOD, SS, T-N, T-P	

다. ARC/INFO에서 12개의 유역을 디지털라이저(digitizer)로 입력한 후 Polygon Coverage를 만들

었고 환경기초시설 위치를 입력하여 Point Coverage를 작성하였다. 인구현황은 동과 리의 중앙이나 주거지역이 밀집된 지점을 입력하여 Point Coverage를 만든 후 생활하수 미처리인구 Coverage와 처리인구 Coverage를 만들었다. ArcView에서 유역 Coverage의 Table¹⁾에 유역명 Field²⁾를 추가하여 유역의 이름을 입력하였다. 생활하수 미처리 인구 Coverage의 Table에 인구수, 하수발생량, BOD(biochemical oxygen demand : BOD)부하량, 총질소부하량, 총인부하량 Field를 추가한 후 인구수 Field에 해당 동과 리의 인구수를 입력하였다.

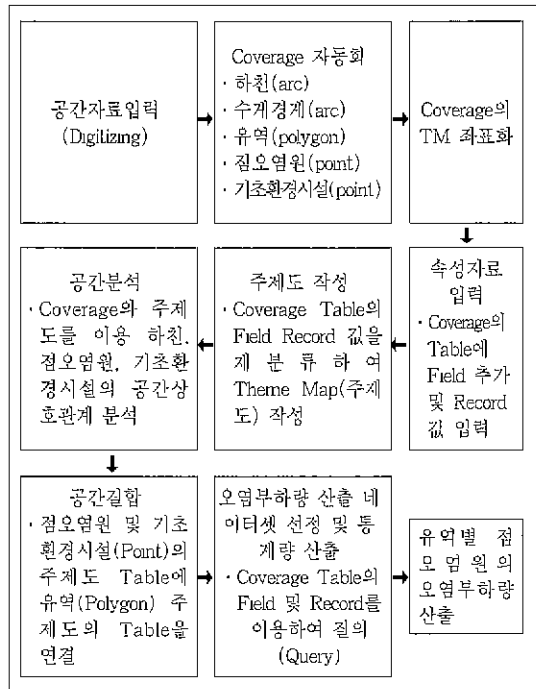


그림 1. GIS활용 데이터베이스 구축 흐름도

ARC/INFO에서 생활하수 미처리 인구 Coverage에 연결된 Table의 인구수를 분류하여 주제도를 작성하였다. ArcView의 공간결합(spatial merging)기능³⁾을 이용하여 생활하수 미처리 Coverage의 Table에 유역 Coverage의 Table을 연결하여 각 유역별로 인구수, 생활하수발생량, BOD부하량, 총질소부하량을 자동으로 산출할 수 있다.

위와 같은 방법으로 하천, 유역, 점오염원의

Coverage와 필요한 주제도를 작성하여 유역별로 하천-환경기초시설-점오염원의 공간상 상호관계를 화면 상에서 분석할 수 있고, 유역별 오염발생량과 오염부하량을 자동으로 계산할 수 있으며, 각 점오염원의 위치와 정보를 화면에서 확인할 수 있다.

2) 비점오염원

환경부에서 제시한 자연계오염원 발생부하량 원단위를 활용하여 토지이용으로부터 발생하는 비점오염 부하량을 산출하기 위해 영산호 유역의 토지이용을 농경지(전, 답), 대지, 임야, 기타로 분류하였다. PC NT 용 IA(Image Analyst) Ver. 7.01(Intergraph, 1997)을 이용하여 Landsat 위성자료를 RGB로 조합한 후, Arc/Info로 보내서 위성영상과 영산호 수계의 하천망을 정지시킨 후 영산호 수계의 위성영상을 추출하였다. IA에서 감독분류(supervised classification) 방법을 이용하여 분류한 토지이용을 ARC/INFO로 보내서 TM(황폐카르트르) 좌표로 전환하여 토지이용 coverage를 작성하였다. ARC/INFO에서 RGB로 조합된 위성자료, IA에서 작성하여 ARC/INFO로 보낸 토지이용 Coverage, 1:50,000 지형도 이용하여 ARC/INFO에서 작성한 토지이용 Coverage를 상호 비교하여 최종토지이용 Coverage를 작성하였다. 인공 위성 LANDSAT 자료는 1994년, 1997년, 1998년 자료를 활용하였다.

4. 오염원, 환경기초시설, 수질현황 통합 사용자 인터페이스 작성

사용자 인터페이스는 ArcView 객체지향 프로그램인 Avenue를 이용하여 작성하였으며(ESRI, 1996(b) ; ESRI, 1996(c) ; Razavi, 1997 ; Razavi and Warwick, 1997), 공간정보를 선택함과 동시에 속성정보를 분석할 수 있는 대화상자는 ArcView의 Dialog Designer Ver. 1.0(ESRI, 1997)를 이용하여 작성하였다(Razavi, 1997 ; Razavi and Warwick, 1997). 사용자 인터페이스는 영산호 수계의 점오염원 및 오염부하량, 비점오염원 및 오염부하량, 환경기초시설, 수질 등의 데이터베이스를 통합하여 컴퓨터 화면에 올릴 수 있으며, 전체수계 및

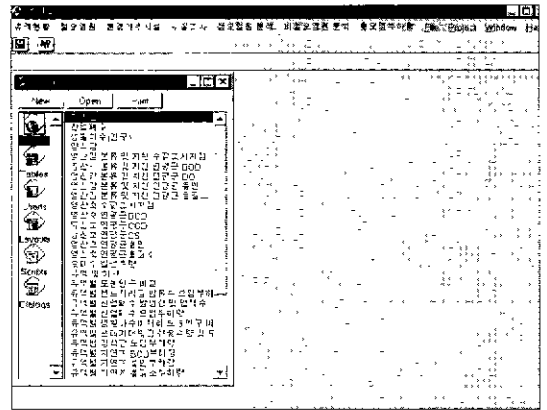


그림 2 사용자 인터페이스 주메뉴와 부메뉴 화면

표 4. 사용자 인터페이스 주메뉴와 부메뉴 구성

주메뉴	부메뉴
유역현황	유역 및 하천
	행정구역 도농인구
점오염원	생활하수(인구) 산업폐수 축산폐수
	환경기초시설
수질조사	하수종말, 분뇨, 농공단지폐수
	영산호 조사시점 및 수질 영신강 본류 및 지천 조사시점 및 수질
점오염원 분석	유역별 도농인구 비교 유역별 생활하수 미처리 도농인구 비교 처리장을 고려한 생활하수 발생량 및 오염부하량 유역별 산업폐수 발생량 및 폐수 유역별 산업폐수 오염부하량
	유역별 축산폐수 발생량 유역별 축산폐수 BOD부하량 유역별 축산폐수 총질소부하량 유역별 축산폐수 총인부하량 유역별 양식장 오염부하량 유역별 분뇨처리장 방류수 오염부하량 유역별 쓰레기 매립장 침출수량 및 오염부하량
	비점오염원 분석
	토지이용 유역별 자연계 BOD부하량 유역별 자연계 총질소부하량 유역별 자연계 총인부하량
	총오염부하량
	오폐수 발생총량 유역별 총BOD부하량 유역별 총질소부하량 유역별 총인부하량 총오폐수발생량 총BOD부하량 총질소부하량 총인부하량

소유역별로 점오염원 및 비점오염원의 위치와 오염부하량, 환경기초시설의 위치 및 현황, 수질 측정지점별 수질 변화 및 현황을 쉽게 파악할 수 있다. 점오염원의 공간 및 속성 자료의 추가, 삭제, 수정이 가능하며, 오염부하량의 원단위가 변할 경우도 오염부하량을 산출할 수 있도록 작성하였다.

그림 2에서 유역현황, 점오염원, 환경기초시설 등은 주메뉴이며 도농인구, 산업폐수, 생활하수(인구), 양식장 등은 부메뉴이다. 주메뉴는 부메뉴로 구성되어 표 4에서 '유역현황' 주메뉴는 '유역 및 하천', '행정구역', '도농인구'의 부메뉴로 구성되어있다.

III. 결과 및 고찰

1. 사용자 인터페이스 활용

주메뉴 '점오염원'의 부메뉴인 '축산폐수'를 마우스로 클릭하면 화면의 좌측에 젓소, 한우, 돼지, 축산폐수공동처리장 등의 주제도(Theme) 목록과 그림 3 상단의 축산폐수 대화상자(젓소, 한우, 돼지가 표시된 창)가 나타난다. 돼지를 선택하면, '오염원 자료', '오염원 자료 update', '오염부하량 계산', 'Label on', 'Label off' 등의 Label Button이 활성화되면서 '돼지' 주제도가 화면에 나타난다. '오염원 자료' Label Button을 클릭하면 젓소의 속성자료를 볼 수 있는 속성자료 대화상자(그림 3 하단의 유역, Label On, Label Off 표시 창)가 나타난다. 대화상자의

Combo Box에서 분류 VI 유역을 선택하면 돼지 사육시설 공간자료가 노란색으로 선택되고, 돼지 사육두수, BOD, 총질소, 총인 및 사육장주수가 화면에 나타나면서 동시에 유역별 총 오염부하량이 자동으로 계산된다. 오른쪽의 'Label on' 버튼을 클릭하면 선택된 공간정보의 ID가 화면에 나타난다.

축산폐수 대화상자의 '오염원 자료 Update' Label Button을 클릭하면 돼지의 공간자료와 속성자료를 수정, 추가, 삭제가 가능한 대화상자가 나타난다(그림 4 참조). List Box에 나타난 한 Record를 선택하면 자동으로 해당 돼지 사육시설 지점이 노란색으로 선택된다. 선택된 Record를 더블 클릭하면 데이터 값 수정이 가능한 대화창이 나타난다. 대화상자에서 '자료 삭제' Label Button을 누르면 선택된 Record의 공간자료

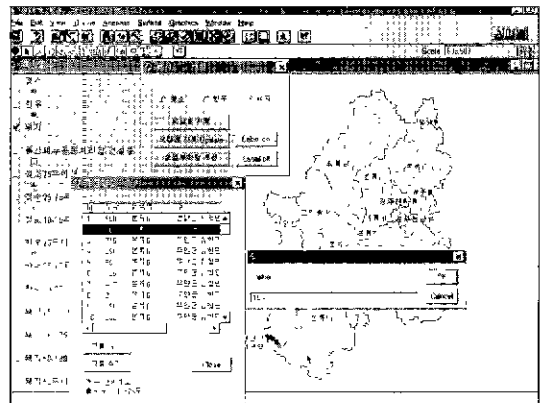


그림 4 돼지 속성자료 수정

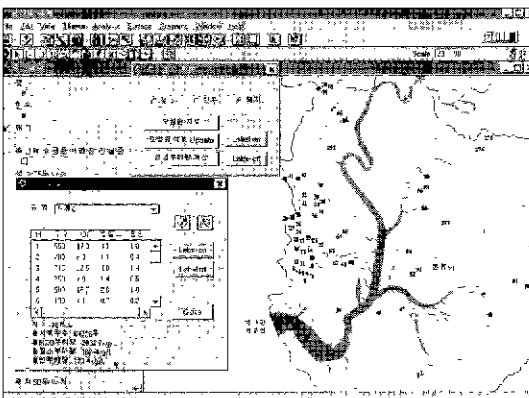


그림 3. 축산폐수 대화상자 및 속성자료 대화상자

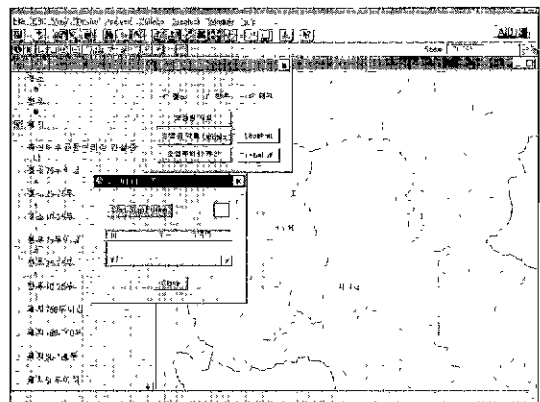


그림 5 돼지 공간자료 추가

(돼지 사육시설 위치)와 속성자료(사육시설 규모 및 사육두수 등)가 자동으로 삭제된다. '자료 추가' Label Button을 누르면 '공간데이터 추가' 대화상자가 나타나며, 주제도에 공간자료를 추가할 수 있다(그림 5 참조).

'오염부하량 계산' Label Button을 클릭하면 사육두수에 따른 BOD, 총질소, 총인 오염부하량을 계산할 수 있는 대화상자가 나타난다. List Box에는 돼지 사육시설 지점에 해당하는 'Id'와 '두수' 항목이 나타난다. 'BOD' Label Button을 클릭하면 BOD 오염원 단위를 입력할 수 있는 대화창이 나타나고 오염원 단위를 입력하고 OK Button을 누르면 BOD 오염부하량이 자동으로 계산된다(그림 6 참조).

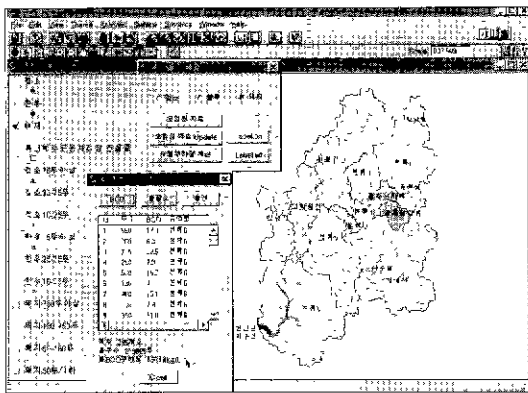


그림 6 돼지사육시설 오염부하량 계산

2. 오염원 분포 및 오염부하량

1) 생활하수

그림 7은 영산강 상류수계의 생활하수 처리 및 미처리 인구를 분류하여 작성한 주제도를 공간 상호관계를 분석하기 위해 중첩시킨 도면이다. 광주천 상류, 광주천 하류, 본류III 유역에 미처리 인구가 많이 분포하고 있으며, 본류 II와 지석천 유역에도 상당수 분포하고 있다. 현재 영산호 수계내에서 가동중인 하수처리장은 광주광역시 광주하수처리장 (시설용량 600천톤/일)과 송대하수처리장 (시설용량 60천톤/일), 나주시의 나주하수처리장 (시설용량 22.5천톤/일), 소규모의 화순군 도곡하수처리장(시설용량 6천톤/일)으로, 이들

하수처리장 이외에는 가동중인 하수처리장이 없어 생활하수의 대부분이 하천으로 유입되어 영산강 수질오염에 가장 큰 영향을 미치고 있다.

표 5의 미처리 생활하수 발생량은 상기 하수처리장의 하수처리 구역내 인구를 제외한 인구를 기준으로 오폐수발생량 원단위를 적용하여 산출하였다. 생활하수에 의한 총오염부하량은 하수처리장 방류수의 오염부하량과 미처리 생활하수의 오염부하량을 합하여 산출하였다. BOD가 32,665kg/일, 총질소 10,620kg/일, 총인 2,517kg/일에 달한다.

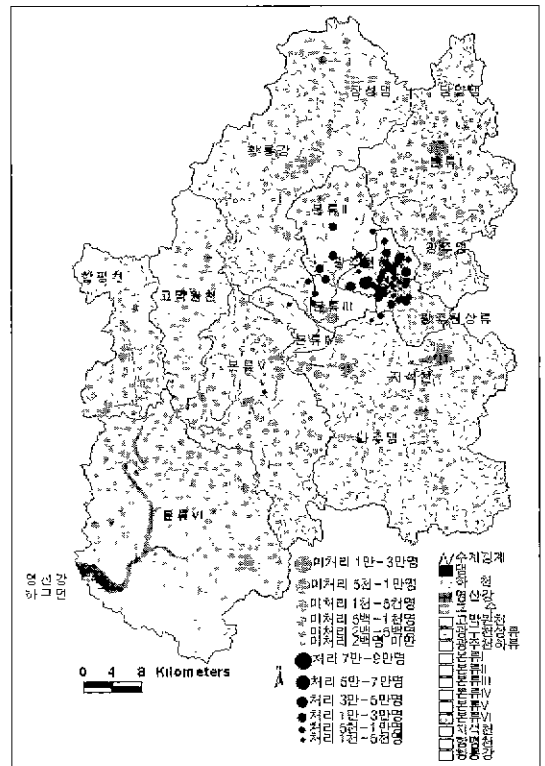


그림 7. 생활하수 처리 및 미처리 인구분포 현황

2) 산업폐수

그림 8은 하수처리장 및 농공단지 처리장으로 유입되는 산업폐수 배출업소를 제외한 산업폐수 배출업소의 분포를 나타낸다. 폐수배출량을 기준으로 작성한 주제도를 중첩시킨 도면으로 폐수배출 업체의 분포와 폐수배출량의 규모를 쉽게 분석할 수 있다. 본류 II와 본류 II의 하류 특히 광주광역시 광산구 일원에 폐수배

표 5. 생활하수에 의한 총오염부하량

구역	인구 (명)	생활하수 미처리 구역인구 (명)	미처리 생활하수 발생량 및 오염부하				하수처리장 방류수 오염부하량				생활하수 총오염부하량		
			발생량 (m ³ /일)	BOD (kg/일)	총질소 (kg/일)	총인 (kg/일)	방류량 (m ³ /일)	BOD (kg/일)	총질소 (kg/일)	총인 (kg/일)	BOD (kg/일)	총질소 (kg/일)	총인 (kg/일)
본류 I	61,828	61,828	16,333	3,644	479	101	-	-	-	-	3,644	479	101
본류 II	171,100	171,100	1,716	443	62	13	-	-	-	-	443	62	13
광주천상류	343,793	-	0	0	0	0	-	-	-	-	0	0	0
광주천하류	546,307	-	0	0	0	0	-	-	-	-	0	0	0
본류 III	170,451	170,451	12,157	2,198	258	54	560,000	9,500	6,720	1,680	11,698	6,978	1,734
황룡강	76,874	76,874	16,817	3,585	464	98	-	-	-	-	3,585	464	98
본류 IV	6,300	-	0	0	0	0	55,000	935	660	165	935	660	165
지석천	126,340	126,340	25,669	5,438	701	147	1,000	10	12	2	5,448	713	149
본류 V	81,146	81,146	16,738	3,652	478	100	25,000	375	400	75	4,027	878	175
고막원천	19,980	19,980	4,256	1,099	155	33	1,000	10	12	2	1,099	155	33
함평천	29,784	29,784	8,381	1,786	231	49	-	-	-	-	1,786	231	49
본류 VI	84,726	84,726	22,100	4,953	657	138	-	-	-	-	4,953	657	138
계	1,633,903	822,229	102,267	26,798	2,828	733	614,000	10,820	7,793	1,922	32,665	10,620	2,517

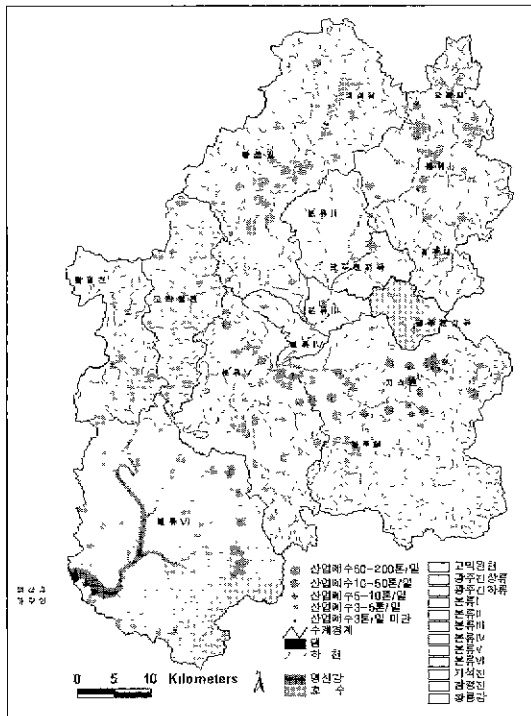


그림 8. 유역별 산업체 위치 및 폐수배출량 규모

출입소가 밀집되어 있으며, 본류 I 유역의 상류부, 황룡강 하류, 지석천 하류에도 산업폐수 배출업소들이 많

이 분포하고 있다.

표 6의 산업폐수 총오염부하량은 하수처리장과 농공단지 폐수처리장으로 유입되지 않는 산업폐수의 오염부하량과 농공단지 폐수처리장 방류수의 오염부하량을 합한 오염부하량을 나타낸다(한국산업공단, 1997). BOD가 29.061kg/일, 총인 95.2kg/일에 달한다. 환경부에서 제시한 오염부하량 원단위는 산업계에 의한 총질소 부하량을 제시하지 않아 산업폐수에 의한 총질소 부하량은 산출하지 않았다.

3) 축산폐수

축산폐수 발생량의 대부분을 차지하며 수질오염에 영향을 많이 미치는 한우, 젖소, 돼지의 유역별 사육현황을 조사 분석하였다. 그림 9는 젖소, 한우, 돼지의 사육두수별 주제도를 중첩시켜 출력한 도면으로 유역별 사육장 위치와 사육두수의 분포를 분석할 수 있다. 한우와 젖소는 본류 I, 본류 V, 본류 VI 유역에서 많이 사육하고 있다. 돼지는 본류 V와 본류 VI 유역에서 많이 사육하고 있다. 영산강 수계에는 축산폐수를 공동으로 처리하는 시설이 없어 소와 돼지의 사육이 집단화된 지역에서는 공동처리시설의 설치가 필요하다.

표 7은 영산호 수계의 각 유역별 축산폐수 발생량과 오염부하량을 나타낸다. 축산폐수 발생량과 오염부하

표 6. 산업체 수, 산업폐수 발생량 및 오염부하량

유역	산업체수	공동처리장 미유입 산업발생량 및 오염부하량			농공단지처리장 처리수 오염부하량				산업폐수 총오염부하량	
		발생량 (m ³ /일)	BOD (kg/일)	총인 (kg/일)	방류량 (m ³ /일)	BOD (kg/일)	총질소 (kg/일)	총인 (kg/일)	BOD (kg/일)	총인 (kg/일)
분류 I	62	9,715.0	3,439.1	10.30	870	13.0	14.0	26	3,452.1	12.9
분류 II	186	9,040.0	3,200.2	9.58	-	-	-	-	3,200.2	9.6
광주친상류	220	383.3	135.7	0.41	-	-	-	-	0.0	0.0
광주친하류	284	135.0	47.8	0.14	-	-	-	-	135.7	0.4
분류 III	43	5,018.0	1,776.4	5.32	-	-	-	-	47.8	0.1
황룡강	90	37,826.0	13,390.4	40.10	160	2.4	2.5	0.5	1,778.8	5.8
지석천	114	3,636.0	1,287.1	3.85	300	4.5	4.8	0.9	13,394.9	41.0
분류 V	57	196.0	69.4	0.21	330	5.0	5.3	1.0	1,292.1	4.9
고박원천	16	598.0	211.7	0.63	-	-	-	-	69.4	0.2
함평천	38	15,429.0	5,461.9	16.36	100	1.5	1.6	0.3	213.2	0.9
분류 VI	58	0	0	0	1,000	15.0	16.0	3.0	5,476.9	19.4
계	1,168	74,884	26,509	79.4	2,760	41.4	44.2	8.3	0	0

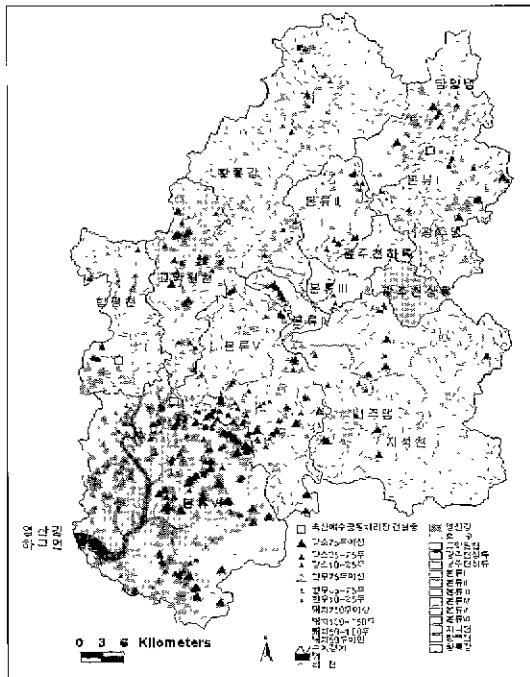


그림 9. 사육두수 분포 및 건설중인 축산폐수 공동처리장

량은 사육두수에 표 1의 원단위를 곱하여 산출하였다. 영산호 수계에서 소와 돼지 사육으로 발생하는 축산폐수 총발생량은 7.154 m³/일이며 분류VI, 분류V, 황룡

강, 분류I에서 발생량이 많다. 소와 돼지에 의한 총오염부하량은 BOD 19,609 kg/일, 총질소 3,193 kg/일, 총인 682 kg/일에 달한다.

4) 양어장

표 8은 유역별 가두리 및 유수식 사용면적과 오염부하량을 나타낸다. 가두리가 10개소, 유수식(일반 양식장, 옥상 양식장)이 82개소이다. 양어장 사용면적은 가두리 553,440 m², 유수식 487,865 m²이다. 지석천과 분류 V에 전체 양어장 수의 50%가 위치하고 있으며, 양어장 사용면적은 지석천 33.9%, 분류VI 17.0%, 분류I 14.7%로 나타난다. BOD 부하량은 24,373 kg/일, 총질소부하량은 3,202 kg/일, 총인부하량은 831 kg/일에 달한다.

5) 분뇨 및 쓰레기 침출수

영산호 수계내의 수거분뇨와 정화조오니의 처리효율이 100%에 달하여 미회수 분뇨에 의한 수질오염은 거의 없다(환경부, 1997b). 분뇨처리장 방류수 오염부하량은 방류수가 하수처리장으로 재유입되어 처리되지 않는 분뇨처리장의 방류수의 오염부하량을 나타낸다. 분뇨처리장의 처리수 수질기준은 분뇨처리장의 배출수 기준을 충족시키고 있으며, 처리수의 평균 BOD, 총질

표 7 축산폐수 발생량과 오염부하량

유역	소(두)			폐지(두)	축산폐수 발생량 및 오염부하량											
					폐수발생량 (m ³ /일)			BOD(kg/일)			총질소(kg/일)			총인(kg/일)		
	계	한우	젖소		계	소	돼지	계	소	돼지	계	소	돼지	계	소	돼지
본류 I	45,607	29,999	2,383	13,225	1,250	1,085	165	3,552	3,137	415	557	483	74	91	66	25
본류 II	7,033	3,935	1,540	1,558	211	192	19	598	549	49	94	85	9	15	12	3
광주천상류	123	50	3	70	3	2	1	7	5	2	1	1	0	0	0	0
광주천하류	1,099	174	130	795	21	11	10	57	32	25	9	5	4	2	0	2
본류 III	4,203	462	199	3,542	67	23	44	177	66	111	31	11	20	8	1	7
황룡강	47,072	19,254	1,789	26,029	1,032	707	325	2,860	2,043	817	461	315	146	92	43	49
본류 IV	2,340	743	190	1,407	51	33	18	136	92	44	22	14	8	4	1	3
지석천	73,372	9,096	1,295	62,381	1,152	372	780	3,032	1,073	1,959	515	166	349	141	22	119
본류 V	109,612	24,416	5,056	80,140	2,010	1,008	1,002	5,417	2,901	2,516	898	449	449	213	61	152
고막원천	40,654	14,709	3,432	22,513	891	622	269	2,467	1,791	676	397	277	120	78	37	41
함평천	19,264	9,775	910	8,579	466	359	107	1,306	1,037	269	208	160	48	38	22	16
본류 VI	140,892	53,020	5,339	82,533	2,996	1,964	1,032	8,262	5,670	2,592	1,336	874	462	276	119	157
계	188,499	113,213	16,927	220,239	7,154	4,414	2,740	19,609	12,736	6,883	3,193	1,966	1,227	682	265	417

표 8 양식장 현황 및 오염부하량

유역	양식장 현황(양식장)						오염부하량(kg/일)								
	계		가두리		유수식		BOD			총질소			총인		
	개소	면적(m ²)	개소	면적(m ²)	개소	면적(m ²)	계	가두리	양식장	계	가두리	양식장	계	가두리	양식장
본류 I	1	700	1	700	-	-	60	60	0	7	7	0	4	4	0
본류 II	1	1,340	-	-	1	1,340	51	0	51	7	0	7	1	0	1
본류 III	1	54,450	-	-	1	54,450	2,091	0	2,091	280	0	280	53	0	53
황룡강	12	54,823	3	10,000	9	44,823	2,581	860	1,721	336	105	231	98	54	44
지석천	26	217,370	5	36,875	21	180,495	10,102	3,171	6,931	1,318	388	930	375	198	177
본류 V	15	24,418	-	-	15	24,418	938	0	938	126	0	126	24	0	24
고막원천	12	50,857	-	-	12	50,857	1,953	0	1,953	262	0	262	50	0	50
함평천	1	1,871	-	-	1	1,871	72	0	72	10	0	10	2	0	2
본류 VI	23	147,611	1	18,000	22	129,611	6,525	1,548	4,977	856	189	667	234	97	127
계	92	553,440	10	65,575	82	487,865	24,373	5,639	18,734	3,202	689	2,513	831	353	478

소 총인은 각각 20. 80. 5 mg/ℓ로 조사되어 이들을 원단위를 사용하여 오염부하량을 산출하였다.

쓰레기 매립장의 침출수도 수질오염을 야기하고 있다. 매립장 건설시 정화조를 설치하고 있으나 일시적 저장기능을 하고 있다. 일부 매립장을 제외하고는 침출수를 별도로 처리하는 시설을 갖추고 있지 않다. 침출수의 오염부하량은 영산강 수질개선 종합대책 수립에 관한 연구(전라남도, 1996)에서 조사한 매립장 침출수의 오염부하량 원단위를 사용하여 산출하였다.⁸⁾

6) 비점원 오염

영산호 수계는 임야 1,741.56 km²(51.6%), 농경지(전, 답) 1,051.14 km²(31.6%), 대지 127.25 km²(3.8%)로 구성되어 있다. 표 10은 영산호 수계의 비점오염원 오염부하량을 나타낸다. 유역별 농경지, 임야, 대지 등의 면적에 표 1의 자연계 오염원 오염부하량 원단위를 곱하여 오염부하량을 산출하였다. 농경지는 표 1의 전과 답의 발생부하량 원단위의 평균값을 적용하였다. BOD 19,304 kg/일, 총질소 3,849 kg/일.

표 9. 분뇨처리장 및 쓰레기침출수 오염부하량

유역	분뇨처리장 방류수의 오염부하량				쓰레기 침출수량 및 오염부하량			
	방류량 (m ³ /일)	BOD (kg/일)	총질소 (kg/일)	총인 (kg/일)	침출수량 (m ³ /일)	BOD (kg/일)	총질소 (kg/일)	총인 (kg/일)
본류 I	120	2.4	9.6	0.60	451.3	2,747.8	187.3	5.4
황룡강	100	2.0	8.0	0.50	18.0	109.5	7.5	0.2
지석천	120	2.4	9.6	0.60	48.0	292.4	19.9	0.6
본류 V	-	-	-	-	4.3	26.1	1.8	0.1
고막, 원천	-	-	-	-	11.1	67.3	4.6	0.1
함평천	70	1.4	5.6	0.35	4.5	27.1	1.8	0.1
본류 VI	120	2.4	9.6	0.60	35.8	218.0	14.9	0.4
계	530	10.6	42.4	2.65	573	3,488.2	237.8	6.9

총인 197 kg/일에 달하며, BOD 부하량은 광주천 하류의 광주광역시 시가지에서 가장 많이 발생하고 있다. 총질소와 총인은 농경지가 많이 분포하고 있는 본류 V, 본류 VI, 본류 I, 본류 III, 지석천 유역에서 발생량이 높다. 토지이용활동, 영농활동 등으로 인해 발생하는 비점원 오염(Nonpoint Source Pollution)도 수질에 상당한 영향을 미친다. 점원오염은 오염원의 배출지점이 확실하고 오염의 양도 비교적 쉽게 파악할 수 있으나 비점원 오염은 오염의 발생지점과 발생량 등을 파악하기가 어렵다. 영산강 수계전체의 비점원오염에 대한 세밀한 연구가 수행된 적이 없어 후속 연구가 필요하다.

III. 결론

방대한 영상호 수계의 생활하수, 산업폐수, 축산폐수, 양식장 등 점오염원의 위치, 오염수발생량, 하수중말처리장, 분뇨처리장, 농공단지처리장, 축산폐수공동처리장, 쓰레기매립장의 위치 및 처리용량을 GIS 프로그램인 ARC/INFO 및 ArcView를 이용하여 데이터베이스로 구축하였다.

구축된 데이터베이스를 쉽게 활용할 수 있는 사용자 인터페이스를 ArcView 객체지향 프로그램인 Avenue를 이용하여 작성하였다. 전체수계 및 소유역별로 점오염원 및 비점오염원의 위치, 오염수 발생량, 오염부하량과, 환경기초시설의 위치 및 현황, 그리고 수질측정지점별 수질 변화 및 현황을 컴퓨터 화면상에

표 10 자연계(비점원) 오염부하량

	유역BOD부하량(kg/일)					총질소부하량(kg/일)					총인부하량(kg/일)				
	계	농경지	임야	대지	기타	계	농경지	임야	대지	기타	계	농경지	임야	대지	기타
본류 I	1,928	669	246	965	48	465	278	141	8	38	24	20	3	0	1
본류 II	1,790	323	32	1,418	17	175	132	18	12	13	9	9	0	0	0
광주천상류	862	32	35	788	7	45	12	20	7	6	0	0	0	0	0
광주천하류	2,277	66	9	2,189	13	60	26	5	19	10	1	1	0	0	0
본류 III	411	99	9	291	12	59	41	6	3	9	2	2	0	0	0
황룡강	1,597	660	343	535	59	519	270	197	5	47	24	19	4	0	1
본류 IV	457	222	18	204	13	114	92	10	2	10	6	6	0	0	0
지석천	2,206	764	412	933	77	609	303	237	8	61	29	22	5	0	2
본류 V	2,068	863	113	1,035	57	469	350	65	9	45	27	25	1	0	1
고막, 원천	1,266	547	113	577	29	316	223	65	5	23	17	16	1	0	0
함평천	1,269	428	95	726	20	244	167	55	6	16	13	12	1	0	0
본류 VI	3,173	1,389	241	1,459	84	774	556	138	13	67	45	40	3	0	2
계	19,304	6,062	1,666	11,140	436	3,849	2,450	957	97	345	197	172	18	0	7

서 쉽게 분석·산출·과확할 수 있었다. 점오염원의 공간자료를 추가하거나 삭제를 할 수 있으며, 점오염원의 속성자료에 변화가 있거나, 각 오염원별 오염부하량 원단위에 변화가 있을 경우 변화된 오염부하량의 산출이 용이하였다.

표 11은 처리장을 고려한 오염원별 BOD, 총인, 총질소의 부하량을 나타낸다. BOD부하량은 생활하수 26.5%, 산업폐수 20.5%, 축산폐수 19.7%, 양식장 17.2%, 자연계 13.6%, 쓰레기침출수 2.5% 순이며, 총질소 부하량은 생활하수 48.8%, 축산폐수 19.6%, 자연계 16.7%, 양식장 13.9%, 쓰레기 침출수 1% 순이다. 총인 부하량은 생활하수 56%, 축산폐수 20.2%, 양식장 17.5%, 자연계 4.2%, 산업폐수 2%, 쓰레기 침출수 0.1% 순이다. 생활하수가 BOD, 총인, 총질소의 부하량에 영향을 크게 미치고 있음을 알 수 있다. 축산폐수는 일일 폐수발생량은 전체 오폐수발생량의 1.5%에 지나지 않으나 BOD부하량의 19.7%, 총질소 부하량의 19.6%, 총인 부하량의 20.2%를 차지하고 있어 수질오염에 축산폐수가 미치는 영향이 크다는 사실을 알 수 있다.

표 11. 처리장을 고려한 오염원별 총오염부하량 (단위: kg/일)

	계	생활하수	산업폐수	축산폐수 (소+돼지)	양식장	자연계	쓰레기 침출수
BOD	141,715.3 (100%)	37,618 (26.5%)	29,061.1 (20.5%)	27,871 (19.7%)	24,373 (17.2%)	19,304 (13.6%)	3,488.2 (2.5%)
총질소	23,094.8 (100%)	11,277 (48.8%)	-	4,529 (19.6%)	3,202 (13.9%)	3,849 (16.7%)	237.8 (1.0%)
총인	4,743.1 (100%)	2,655 (56.0%)	952 (2.0%)	958 (20.2%)	831 (17.5%)	197 (4.2%)	6.9 (0.1%)

영산호 수계내에서 발생하는 생활하수 및 산업폐수 발생량을 고려하면 현재 운영중인 광주광역시외의 광주 하수처리장(600,000m³/일)과 송대하수처리장(60,000m³/일), 나주하수처리장(22,500m³/일)의 시설용량으로는 부족한 실정이다. 영산호 수계내의 유역별 생활하수 미처리량에서 유역별 하수종말처리 계획용량을 감한 유역별 생활하수처리 부족용량을 분류 I 은 9,533m³/일, 지석천은 21,777m³/일, 분류 V 16,738m³/일, 고막원천은 4,256m³/일, 분류 VI은 12,355m³/일이다. 유역별 하수처리 부족용량을 고려하면 분류 I, 지석천,

분류 V, 고막원천, 분류 VI에 각각 1개소씩 하수종말 처리장의 건설계획이 추가로 요구된다.

영산호 수계에서 소와 돼지 사육으로 발생하는 축산 폐수 총발생량은 10,150m³/일에 달한다. 영산호 수계 내에는 가동중인 축산폐수공동처리장이 없으며, 개별 축산농가에서 설치운영하는 축산폐수처리시설에 의해 축산폐수가 처리되고 있으나 그 처리효율이 낮아 축산 폐수공동처리장의 건설이 요구된다.

영산호 수계내에서 발생하는 수계대상 분뇨는 전량 수거되어 분뇨처리장에서 처리되고 있다. 분뇨에 의한 오염부하량은 생활하수, 산업폐수, 축산폐수 등과 비교하면 매우 낮다. 영산호 수계의 양식장의 오염부하도 상당량에 이르고 있어 육상양어장의 정화시설 설치와 가두리 사용면적을 점진적으로 축소하는 것이 바람직하다고 사료된다.

- 주 1. 벡터 데이터를 저장하는 기본단위로 지도의 공간자료를 수치지도(digital map)화한 것이다. 지리적 특성을 arc, polygon, point 등으로 저장한다
- 주 2. Transverse Mercator, 구면인 지구표면을 평면으로 투영(projection)하는 방법이다. 원통투영법(cylindrical projection)으로 원점을 적도상에 놓고 중앙경선(meridian)을 y축, 적도를 x축으로 투영한다.
- 주 3. 수치지도와 같은 의미이나 본 연구에서는 특정 Coverage를 세분하여 작성한 수치지도로 경의한다
- 주 4. Coverage의 속성자료를 저장하는 데이터 셋(set)을 의미한다.
- 주 5. Table에서 수직으로 한 칸(column)을 지칭한다.
- 주 6. ArcView의 Spatial Merging(공간결합) 기능은 특정 Coverage의 Table에 다른 Coverage의 Table을 연결시켜 연결된 Table을 구성하는 Field의 통계량을 자동으로 산출할 수 있다
- 주 7. Radio Button, Combo Box, List Box, Text Label Button, Label Button은 ArcView의 Dialog Designer의 대화상자창을 구성하는 요소들을 지칭함
- 주 8. 침출수의 단위는 m³/일이며 BOD는 6.089kg/일, 질소는 0.415kg/일, 총인은 0.012kg/일이다.

인용문헌

1. 환경부(1995) 수환경평가 참고자료(환경부 수정 67400-414)
2. 환경부(1997a) 고시집
3. 환경부(1997b) 오수·분뇨 및 축산폐수처리 통계
4. 영산강환경관리청(1998) '97수질오염원현황
5. 한국산업단지공단 산업입지정보센터(1997) 한국산업단지 총람.

6. 전라남도(1998) 주민등록인구통계
7. 광주광역시(1998) 주민등록 통계연보.
8. 전라남도(1996) 영산강 수질개선 종합대책 수립에 관한 연구
9. 양홍모(1988) 지리정보체계를 응용한 영산강상류 수계생태계의 점오염원 관리. 대한국토도시계획학회지 33(2) 187-203
10. ESRI (Environmental System Research Institute)(1994) Understanding GIS: The ARC/INFO Method, Redlands, CA
11. ESRI (Environmental System Research Institute)(1996a) Using ArcView GIS, Redlands, CA
12. ESRI (Environmental System Research Institute)(1996b) Avenue-Customization and application Development for ArcView, Redlands, CA
13. ESRI (Environmental System Research Institute)(1996c) Using Avenue, Redlands, CA.
14. ESRI (Environmental System Research Institute)(1997) Using the ArcView Dialog Designer (Version 1.0) Redlands, CA.
15. Intergraph(1997) Image Analyst User's Guide, Huntsville, Alabama
16. Razavi, A. H. (1997) ArcView GIS/Avenue Developer's Guide, ESRI.
17. Razavi, A. H. and Warwick, V. (1997) ArcView GIS/Avenue Programmer's Reference, ESRI.
18. Saunders, W. K. (1996) A GIS Assessment of Nonpoint Source Pollution in the San Antonio-Nueces Coastal Basin, Bureau of Engineering Research The University of Texas at Austin