2005년도 해양환경안전학회 춘계학술발표회

論 文

연안역 통합관리에서의 GIS 활용방안
- 오염부하량 산출을 중심으로-

최정민[1], 권석재[2]

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

최근 전세계적으로 해양을 보전하고 관리하려는 노력이 증대됨에 따라 연안관리의 중요성도 크게 부각되고 있다. 미국에서는 이미 1972년에 연안자원의 지속가능한 개발을 위한 연안관리법이 제정되었고, 1992년 브라질 리오에서 개최된 유엔환경개발회의 (UNCED: United Nations Conference on Environment and Development)에서 Agenda 21을 채택하면서 전세계의 연안국가들에게 국가계획에 연안통합관리계획을 포함시키도록 요구하면서 전세계 해양국들도 이에 동참하고 있다.

연안의 지속적인 관리에 있어서 가장 큰 비중을 차지하는 것은 육상에서 기인하는 오염물질의 해양으로의 유출문제일 것이다. 이러한 오염물질은 생물자원에 해를 입히고, 인류건강을 위협하며, 어업을 포함한 해양활동에 장애가 되고, 해수의 질을 손상시키며, 해양환경의 쾌적성을 떨어뜨리게 된다. 이러한 육상기인 오염원의 대상은 바다로 유입하는 하천의 유역[3] 전체이며, 다시 말해 육지의 전부라 할 수 있다. 그러나 우리나라의 연안보전법에 의하면 육역범위를 해안선으로부터 500m 내외로 규정하고 있어 연안보전의 실효성에 의문이 제기되고 있다. 현재는 환경부에서 낙동강과 금강, 영산강의 대하천 유역을 대상으로 물관리및주민지원등에관한법률을 제정하고 그에 따른 환경오염총량관리지침을 제정하여 오염원 관리방안을 마련하고 있다. 이에 대하천 외에 연안에 인접한 소하천들의 유역도 적극적인 오염총량관리가 시급한 실정이다. 또한 이러한 연안관리계획과 총량오염관리제도를 도입함에 따라 연안육역실태에 관한 정보를 GIS(Geographic Information System)시스템으로 구축하여 지속적인 관리와 새로운 정책수립에 활용하려는 노력이 증대되고 있다.

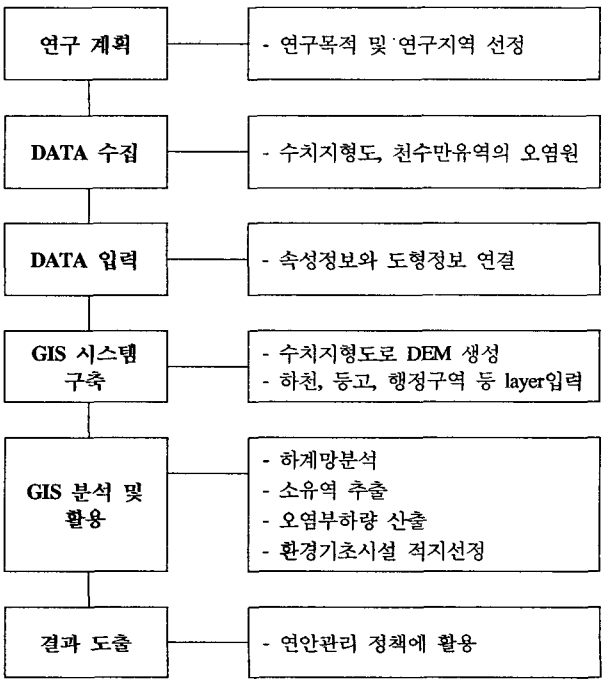
이에 본 연구에서는 연안관리에 있어 육상기인 오염원을 관리하는데 활용되는 GIS관련 기술과 연구들을 검토하고, 천수만지역을 대상으로 GIS를 활용하여 오염원관리 기준인 유역범위를 선정하고 오염부하량을 산출하여, 연안오염관리에 있어 기초자료를 제공하고자 한다.

1.2 연구방법

연안의 육상기인 오염원을 관리에 있어 GIS의 이용사례 및 활용방안 검토는 GIS의 응용과 관련된 연구문헌을 이용하였으며, 천수만유역에서 오염부하량을 산출은 환경부와 각 시군청으로부터 자료를 수집하고 GIS 프로그램을 이용하여 입력 및 분석하였다.

연구에 사용된 수치지도는 국토지리정보원에서 발행한 1:25,000 수치지형도를 이용하였으며, GIS 프로그램으로는 Intergraph사의 MGE 모듈과 ESRI사의 Arcgis 8.1을 병행 사용하였다.

<표-2>. 연구 수행절차



1) 한국해양연구원 연구원
2) 한국해양연구원 선임연구원
3) 유역(basin) : 강의 물이 모여서 흘러드는 주위의 지역으로 집수구역이라고도 하며, 일반적으로 분수령으로 둘러싸인 지형적 분수계를 의미한다.

2. GIS를 이용한 육상기인 오염원 관리 연구 검토

환경부의 환경오염총량관리지침에 따르면 하천의 유역을 단위유역과 소유역, 세부유역으로 구분하여 오염총량관리를 시행하도록 규정하고 있다. 이에 따라 학계에서도 유역을 구분하여 오염원을 관리하는 시스템 개발 연구가 활발히 진행되고 있으며, 그와 관련된 내용은 다음과 같다.

① 오염부하량 산출 시스템 개발

유역관리에 필요한 정보들을 주제도로 만들어 비교분석하고 단위 유역별로 오염부하량을 산출하는 시스템을 만든 연구로, 최종욱 외(1998)가 안양천에서 단위유역별 오염부하량을 산출하였으며, 이홍근 외(2002)는 충남 보령호 유역을 대상으로 오염원 및 수리,수문,기상자료를 DB로 구축하였다. 신사철 외(2002)는 경안천 유역에서 DEM[4], 하계망, 토양도, 토지피복도, 임상도, 위성자료 등을 제공하는 GIS 시스템을 구축하였다.

② 단위유역 특성 분석 및 수질측정을 통한 비교분석

오염부하량 산출과 관련하여 하계망 분석을 통해 집수관지역을 선정하고 그곳의 수문모형 및 수질측정 등을 통해 오염부하량 산출결과와 비교하는 연구로 김철 외(2001)가 황룡강 유역에서 GRID 형태로 유역내 오염부하량을 산출한 후 송정취수장에서의 측정치와 비교하였다. 오염관리를 위해 단위 유역별 특성을 반영한 연구로 천승규 외(2001) 등은 상류와 하류의 하천구간에 따른 각 단위 유역별 오염부하량 산출과 총량관리에서의 삭감방안에 대한 연구를 수행했다.

③ DEM을 활용한 유역구분

수치지도의 DEM을 활용하여 유역구분을 명확하게 하려고 시도한 연구로서 성효현 외(2000)와 김경탁 외(2003)가 적절한 내삽법[5]과 DEM 오류제거 알고리즘[6] 등을 제시하였다.

④ 환경기초시설의 적지선정

각 주제도를 중첩분석하여 환경기초시설의 적지를 분석한 연구로 김석규 외(1999)와 이태관 외(2003) 등의 축산폐수처리시설과 하수처리 시설 입지선정에 관한 연구가 있다. 앞으로는 이러한 연구에 앞의 ①, ②, ③의 연구 결과가 적극 활용될 것으로 전망된다.

이러한 유역의 오염부하량 산출 및 관리에 관한 연구는 국외에서도 Shamsi 외(1993)가 SWMM과 ARC/INFO 및 ERDAS를 결합하여 유역개발에 따른 유출특성 분석 하였고, Saunder 외(1996)가 텍사스 San Antonio-Nueses 하구지역에 대해 DEM을 이용하여 각 셀의 오염부하량과 유출량을 산정하고 연간 평균 오염부하량을 계산하여 비점오염원으로 예상되는 오염농도의 평균값을 계산하였으며, Olivera(1996)가 Avenue Script를 이용하여 유역구분 및 유출량을 산정하는 등 활발히 진행되고 있다.

4) DEM(Degital Elevation Models) : 3차원 상에서 표현되는 격자형의 수치표고 데이터베이스

5) 내삽법(interpolation) : 둘 이상의 변수에 대한 함수 값을 알고 그것들 사이의 임의의 변수에 대한 함수 값 관계 내지는 그 근삿값을 구하는 계산법으로 GIS에서 3D형상을 구현할 때 등고선 사이에 임의의 고도값을 부여하는 역할을 한다.

6) DEM 오류제거 알고리즘 : Shink, Peak 등의 오류 제거 기법

3. GIS를 활용한 천수만 유역의 오염부하량 산출

3.1 유역 구분

육상에서의 오염물질은 해안가를 제외하고는 대부분 하천을 통해 바다로 유입하게 된다. 따라서 육상으로부터의 오염물질 유입을 억제하기 위해서는 하천을 잘 보전해야하며, 하천의 유역내의 오염원을 잘 관리해야한다. 이러한 이유로 오염원 관리에 있어 우선적으로 선행되어야 할 것이 유역을 구분하는 일이다. 환경부의 수계오염총량관리기술지침에서도 단위유역과 소유역, 세부유역으로 구분해서 오염원을 조사하도록 규정하고 있다. 그러나 유역구분에 대한 명확한 지침이 없고, 단지 DEM(Degital Elevation Models)을 이용하여 각 유역의 경계를 구획하도록 명시되어 있다.

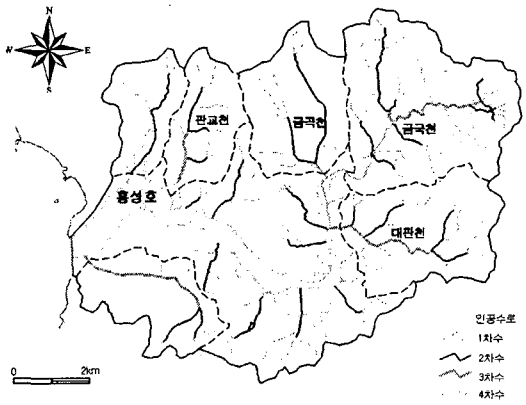
그러나 하천의 유역을 구분하는 것은 그리 쉽지 않다. 사방이 산지에 둘러싸이고 분수령이 뚜렷한 분지에서, 그곳을 흐르는 하천의 유로가 하나인 경우에는 유역 결정이 쉽지만 구릉이나 대지를 흐르는 하천의 경우는 유역을 경계 짓는 분수령마저 분명하지 않다. 또 하류의 평야부에서는 지형과는 관계없이 물길이 나고, 인공수로 등이 만들어져 유역의 구분이 불분명하다. 또한 오염원을 관리하기 위한 용도로 하천의 유역을 구분한다면 집수구역을 정점으로 일정한 규모를 가진 유역을 선정해야한다.

환경부에서는 오염원 조사시 단위 유역을 구분하고 있으며, 수자원공사에서도 하천관리용도도로 전국을 21개 대권역과, 117개 중권역, 840개의 전국표준유역으로 구분하고 있다. 본 연구 지역인 천수만의 유역구분을 비교해보면 결과 환경부에서는 11개의 유역으로 수자원공사는 6개의 유역으로 구분하고 있었다. 그러나 이러한 유역구분은 오염원관리 측면에 봤을 때 천수만 지역의 특성을 잘 반영하고 있다고 보기 어렵다. 이에 본 연구에서 유역구분을 수정 · 제안하였다(그림-2, 표-3 참조).

<표-3> 환경부와 수자원공사의 유역비교

기관	유역명	유역개소
환경부	광천천, 와룡천, 천교천, 청지천, 홍성호, 천수만1(태안군 태안읍, 남면), 천수만2(서산시 팔봉면, 부석면), 천수만3(서산시 고북면, 해미면), 천수만4(태안군 안면읍, 고남면), 천수만5(홍성군 서부면, 갈산면), 천수만6(보령시 천북면, 오천면)	11
수자원공사	대권역 : 금강서해권역, 중권역 : 부남방조제, 금강서해권역 소권역 : 부남방조제, 간월방조제, 안면도, 금리천, 광천천, 봉당천	6

유역구분을 위해서 우선적으로 하계망 분석을 통해 하천의 유로와 차수, 패턴을 분석하였다(그림 1 참조). 그 결과 천수만으로 유입하는 하천 중 5차수 하천은 보령호, 간월호가 4차수하천은 홍성호와 와룡천, 3차수 하천은 부남호를 비롯한 교성천, 송천천 등이 있었다. 그러나 4-5차수 이상의 하천들은 모두 방조제에 막혀 천수만으로의 유출이 자유롭지 못한 특징이 있다. 또한 천수만유역내 하천들은 상류부에는 하곡을 따라 수지상패턴[7]으로 하천이 발달하였고, 지류와 본류가 만나는 곳에는 대체로 취락지가 많이 발달해 있었다. 하류부에는 간척지 및 평야가 넓게 분포하며 농업용수로 이용되는 인공수로가 많았다.

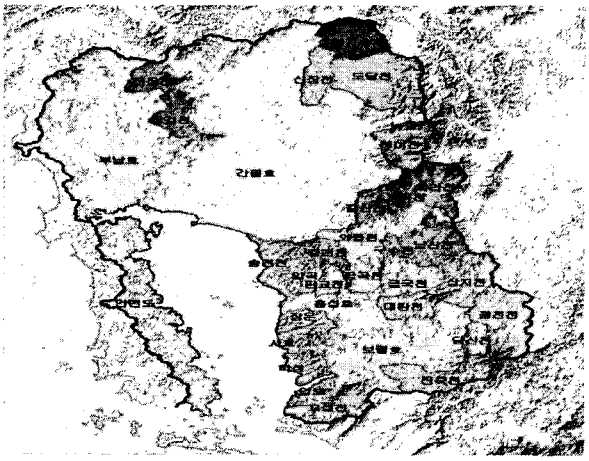


<그림-2> 하계망분석의 예(홍성호 유역)

하계망분석과 DEM을 이용하여 유역을 구분한 결과 천수만유역내에는 크게 유로길이 10km 이상이고, 3차수이상의 지류하천을 갖는 하천의 유역과 유역분지가 해안방향으로 틔어있는 유로길이 10km 미만의 소하천유역으로 구분되었다. 해안가에 인접해있으면서 유역면적이 작은 소하천의 경우 경제성 문제로 인하여 하수처리시설이 입지한 경우가 드물고 하천에 의한 자정기능 없이 바로 오염물이 바다로 유입되고, 하천뿐만 아니라 토양으로부터 직접 바다로 유입되기 때문에 보다 엄격한 오염원 관리가 필요한 지역이다. 반면 유역이 큰 하천의 경우 오염부하량이 큰 특정 지류하천의 합류지점에 하수처리시설을 설치하여 오염방지에 적극인 대처가 가능하다는 특징이 있다.

천수만 유역내에 큰 규모의 유역을 갖는 하천은 보령호, 홍성호, 부남호, 간월호이다. 이들유역은 지류하천에 따라 소유역을 구분하였다. 본 연구에서는 오염원을 관리할 목적으로 유역을 분류하였기에 유역의 구분은 수질오염 측정을 할 수 있는 집수관 설치가 가능한 지역을 대상으로 하였으며, 따라서 가능한 인공수로가 형성된 평야지대는 피하고 하류가 단일유로를 형성한 곳을 선별하였다. 또한 적어도 1개리를 포괄할 수 있는 유역면적 3㎢이상의 유역을 기준으로 하였다. 이러한 기준으로 분류한 것이 <그림 2>와 같으며, 부남호와 간월호 유역의 북쪽에 위치한 태안읍과 서산시의 시내지역은 집수구역의 설정이 어렵고 하수종말처리장이 위치하고 있어 유역구분을 하지 않았다.

7) 하천의 수지상패턴 : 나뭇가지 형태로 하계망이 잘 발달한 형태



<그림-3> 천수만유역의 단위유역 구분도

3.2 천수만 유역의 오염부하량 분석

천수만 유역내에는 총 6개의 단위유역과 33개의 소유역으로 구분되며, 간월호의 경우 4차수 하천인 와룡천이 간월호 하류에서 합류하기 때문에 간월호와 와룡천의 중유역이 구분되었다. 각 유역별로 환경부의 수계오염총량관리지침에 따라 인구, 가축, 산업, 토지별로 오염부하량과 총오염부하량을 산출하여 비교하였다(표-3 참조).

오염부하량 산출을 위한 기본자료는 환경부의 2002년 전국오염원기초조사 자료를 활용하였으며, 리단위의 자료를 GIS의 속성테이블로 구축하였고, 리경계와 유역경계가 불일치하는 경우는 면적대비로 오염부하량을 산출하였다.

그 결과 천수만의 전체 총 오염부하량은 BOD 88,332kg/일, T-N 24,964kg/일, T-P 7,505kg/일이며, 단위유역별로는 간월호가 천수만 총오염부하량 중 41.5%(BOD기준)를 차지하고 있으며, 다음으로 보령호(25.8%), 홍성호(17.7%), 부남호(5.8%) 천수만해안(5.5%) 안면도(3.7%) 순으로 나타났다. 소유역 별로는 홍성호의 지류인 대판천과 간월호 지류인 도당천이 각각 BOD 5,969.5kg/일, 4,639.8kg/일로 부하량이 높게 나타났다. 면적대비 오염부하량을 살펴보면 부남호의 지류하천인 진장천이 591kg/일/㎢로 가장 높게 나타났고, 다음으로 와룡천 유역의 구수천이 336kg/일/㎢, 홍성호 유역의 금곡천이 270.4kg/일/㎢ 순으로 나타났다. 단위면적 당 오염부하량이 높다는 것은 오염원이 밀집해있다는 의미이며, 그 만큼 오염원 관리에 대한 대처가 신속해야한다는 것을 반증한다. 천수만 유역내 오염부하량 비교에서 흥미로운 사실은 간월호와 와룡천의 상류지역이 상수원보호구역으로 지정되어 있음에도 불구하고 오염부하량이 비교적 크다는 사실이다. 이는 가축사육 두수에 따른 오염부하량이 높기 때문인 것으로 보여진다.

천수만과 접해있는 교성천, 사호리, 송천천, 영보리, 학성리의 경우 최근까지 큰 개발이 이루어지지 않은 상황임에도 총오염발생부하량 및 단위면적당 오염발생부하량이 다른 지역과 비교해 볼 때 높은 편이며, 천수만 오염관리 차원에서 보다 엄격한 오염관리가 이루어져야하겠다.

이러한 오염부하량 산정결과는 하계망 분석과 DEM을 이

용한 유역구분의 효용성을 평가하는 자료로 활용할 수 있다. 천수만내에는 와룡천유역의 가곡천, 갈산천, 부남호유역의 장검천, 진장천, 홍성호유역의 양곡리유역에서 오염부하량이 BOD기준으로 200kg/일 이하로 다른 유역에 비해 낮게 나타났으며, 이들 지역은 지속적인 수질측정 및 환경기초시설의 입지 선정 등 상황에 따라선 오염원관리의 우선순위에서 배제될 수 있다.

4. 결 론

깨끗한 연안을 만들고 관리하기 위해서는 육상으로부터의 오염물질 차단이 무엇보다도 중요하다. 최근 이러한 육상기인 오염물질의 해양유출을 막고자 총량오염관리제도를 도입하고 있으며 이와 관련하여 GIS를 이용한 연안관리시스템 개발 및 오염부하량 산출과 관련된 연구들이 활발히 진행되고 있다.

<표-4> 천수만내 유역별 오염부하량 및 면적 비교

단위유역		소유역	총오염발생부하량			유역면적(㎢)	하천차수	비고
			BOD(kg/일)	T-N(kg/일)	T-P(kg/일)			
천수만해안		교성천	64.2	38.1	2.8	16.8	3	화력발전소입지
		사호리	1,315.2	361.1	142.0	13.8	3	
		송천천	1,916.5	566.6	156.6	18.9	3	
		영보리	231.6	68.1	15.6	6.7	3	
		학성리	1,337.4	359.5	138.5	8.1	2	
			4,864.9	**1,393.4**	**455.5**	**64.3**		
보령호		광천천	6,110.3	1,598.7	597.7	28.5	4	상수원보호구역
		상지천	1,811.7	502.3	136.8	21.0	4	
		당산천	1,449.7	369.2	138.9	6.6	5	
		진죽천	212.5	87.2	11.4	20.2	4	
		보령호	13,178.2	3,519.0	1,278.2	63.2	5	
			22,762.4	**6,076.4**	**2,163.0**	**139.5**		
홍성호		금곡천	2,244.2	576.6	200.9	8.3	3	
		금국천	2,919.0	778.2	281.6	16.2	4	
		대판천	5,969.5	1,532.6	637.7	10.1	3	
		양곡	97.3	31.5	9.0	4.7	2	
		장은리	736.2	202.6	66.6	6.7	3	
		판교천	854.2	227.5	88.2	5.4	3	
		홍성호	2,791.0	755.5	267.9	27.0	4	
			15,611.4	**4,104.5**	**1,551.9**	**78.4**		
부남호		장검천	107.0	38.5	4.5	12.1	3	
		진장천	143.0	54.5	11.7	10.1	3	
		부남호	4,898.4	1,716.7	307.0	139.3	3	
			5,148.4	**1,809.7**	**323.2**	**161.5**		
간월호	간월호	도당천	4,639.8	1,183.2	355.8	35.8	3	상수원보호구역
		성암저수지	1,373.1	418.9	101.4	19.1	3	상수원보호구역
		신장천	985.1	284.5	79.2	12.3	2	
		해미천	221.2	83.1	10.8	17.1	3	상수원보호구역
		간월호	19,740.6	5,864.3	1,383.6	313.6	5	
			26,959.8	**7,834.0**	**1,930.8**	**397.9**		하수종말처리장
	와룡천	가곡천	196.2	60.6	13.4	6.0	3	상수원보호구역
		갈산천	167.2	60.8	11.8	8.4	3	상수원보호구역
		구수천	1,176.5	300.7	115.7	3.5	2	
		남산천	1,686.6	486.1	131.5	20.4	3	
		외라천	-	-	-	16.4	4	자료없음
		중리천	1,083.8	314.8	94.6	9.5	3	
		와룡천	5,424.9	1,398.6	499.1	31.0	4	
			9,735.2	**2,621.6**	**866.1**	**95.2**		
			36,695.0	**10,455.6**	**2,796.9**	**493.1**		
안면도			**3,250.2**	**1,124.8**	**214.0**	**62.0**		하수처리장
천수만 전체총계			**88,332.3**	**24,964.4**	**7,504.5**	**998.8**		

본 연구에서는 천수만유역을 대상으로 하계망 분석과 DEM을 이용하여 오염관리측면에서 단위 유역을 구분하고 각 유역별 오염부하량을 산출한 후, 그 효용성을 비교·평가하였다.

그 결과 천수만 유역은 총 6개의 단위유역과 33개의 소유역으로 구분되었으며, 간월호의 경우 4차수 하천인 와룡천이 간월호 하류에서 합류하기 때문에 간월호와 와룡천의 중유역이 구분되었다. 단위유역 구분의 특징은 유로길이 10km 이상이고, 3차수이상의 지류하천을 갖는 하천의 유역과 유역분지가 해안방향으로 틔어있는 유로길이 10km 미만의 소하천유역으로 구분한 것이다. 또한 유역면적이 큰 하천의 소유역은 수질오염 측정을 할 수 있는 집수관 설치가 가능한 지역을 대상으로 하여, 유역면적 3㎢이상의 하류가 단일유로로 되어 있는 곳으로 구분하였다.

유역별 오염부하량의 산출 결과 단위유역에서는 간월호의 오염부하량이 가장 높았고, 소유역 별로는 홍성호의 지류인 대판천이, 단위면적당 오염부하량은 부남호의 지류하천인 진장천이 높게 나타났다. 오염부하량 산출 항목인 인구, 산업, 축산, 토지 중 축산에 의한 오염부하량이 가장 높게 나타났다. 이러한 오염부하량 산정결과는 하계망 분석과 DEM을 이용한 유역구분의 효용성을 평가하는 자료로 활용할 수 있으며, 지속적인 수질측정 및 환경기초시설의 입지 선정에서도 활용될 수 있다.

또한 해안에 인접하여 단위면적이 적은 소하천의 유역은 연안오염과 직접적인 관련이 있고, 경제성 등의 이유로 환경기초시설의 입지에 어려움이 있기 때문에 오염원관리에 적극적으로 관심을 가져야할 대상이다. 그럼에도 불구하고 연안보전법에는 연안육역범위를 해안으로부터 500m 내외로 한정하고 있어, 오염원관리에 큰 문제점을 갖고 있다. 따라서 본 연구결과에서 나타난 봐와 같이 해안에 접해있는 소하천의 유역경계를 연안육역범위의 기준으로 하여 연안관리계획을 진행하는 것이 더 나은 방안이라고 판단된다.

참 고 문 헌

[1] 김경탁, 김주훈, 최윤석, 이정일, 2003, 수문학적 DEM 활용기술의 개발, 대한토목학회 학술발표자료집

[2] 김석규, 김철, 1999, GIS를 이용한 영산강 유역의 축산폐수관리, 대한위생학회지, 14,3 pp.1-9

[3] 김철, 김석규, 2001, 이용한 황룡강 유역의 유출량 및 오염부하량 산정, 한국GIS학회지, No.3, pp425-438

[4]성효현, 이자영, 2000, 하천유역구분을 위한 DEM 구축기법에 관한 연구-대구시 건천유역을 사례로, 한국지형학회지, 제7권 제2호, pp. 1-12.

[5] 심사철, 2002,공간정보를 이용한 유역 관리시스템 개발, 한국지리정보학회지, 제5권, 제3호 통권16호, pp.33-44

[6] 이태관, 2003, 하수처리시설의 입지 타당성 평가에 관한 연구, 환경과학논집 제 8권 제 1호 pp.7-16.

[7] 이태관, 정현욱, 2003, GIS를 활용한 공공시설 적지선정에 관한 연구 : 대구시 하수처리장을 중심으로, 水處理技術 제11권 제1호 pp.19-31.

[8] 이홍근, 2002, GIS를 활용한 유역관리 시스템 개발, 한국도시환경학회지, 제2권 제1호 통권 제3호, pp.47-63.

[9] 조동오, 2001, 우리나라 연안통합관리의 평가요인에 관한 연구, 해양안전학회지, 제7호, pp.1-25.

[9] 천승규, 조희찬, 이광수, 2001, 하천구간 및 배수구역 특성을 로려한 금강수계 오염총량관리제 시행방안 연구, 대한환경공학회지, No.5, pp.767-779.

[10] 최종욱, 유병태, 이민환, 김건홍, 1999, GIS를 이용한 안양천 유역의 오염부하량 산정, 대한위생학회지, 제14권 제3호, pp1-9

[11] 해양수산부, 1999, 연안통합관리 정보시스템 구축을 위한 연구개발, 해양수산부.

[12] Jones, K.B., A.C. Neale, M.S. Nash, R.C. Van Remortel, J.D. Wickham, K.H. Riiters and R.V. O'neill. 2001, Predicting nutreint and sediment loadings to streams from landscape metrics: A multiple watershed study from the United States Mid-Atlantic Region. Landscape Ecology 16, pp.301-312.

[13] 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.

[14] Olivera, F., 1996, Spatial Hydrology of the Urubanba river system in Peru using Geographic Information System, Center for Research in Water Resources University of Texas.