

GIS를 이용한 충주호주변의 비점원 오염 분석 연구

김윤종 ** · 유일현 ** · 김원영 ** · 류주형 *** · 이영훈 *** · 민경덕 ***

Analysis of Non-point Source Pollution using GIS Technique

Youn-Jong Kim · Il-Hyon Yu · Won-Young Kim
Ju-Hyeung Yu · Young-Hoon Lee · Kyung-Duck Min

요 약

호소나 하천들의 오염은 일반적으로 점원 오염과 비점원 오염으로 구분할 수 있다. 연구 대상지역인 충주호주변은 호소 주위 도시들의 하수나 공장 폐수에 의한 점원 오염뿐만 아니라, 강우에 의한 토양 침식 등에 의하여 야기되는 비점원 오염이 수년전부터 아주 중요한 오염원으로 등장되고 있다. 본 연구에서는 충주호주변의 이러한 비점원 오염을 GIS를 이용하여 정량적으로 분석하였으며, 대상 환경정보들을 데이터베이스화하여 GIS 지도모형연구를 실시하였다. 지표 유출량 분석이 이루어진 후, 토양 유실량 계산과 원격탐사기법을 이용한 호소의 녹조류 분석 등이 실시되었으며, GIS를 이용하여 구현된 환경지질정보시스템에 의하여 종합 분석되었다. 본 연구는 한국자원연구소 환경지질연구그룹에서 시행하고 있는 환경지질도작성 연구사업의 일부이며, 금번 연구결과를 토대로 차년도 목표에서는 호소주변 개발에 따른 자연환경 오염 최소화의 개발적지 선정과 호소주변 도시들의 확장, 발달에 의한 호소 환경오염 방지 대책이 연구될 것이다.

ABSTRACT: Despite the widespread use of GIS over the past ten years, it has been limited application for regional modeling of pollutant loadings such as sediment, nitrogen, and phosphorus(non-point source pollution). The goals of this study were to:

* 본 연구는 과학기술처 특성연구사업 및 교육부 기초과학연구소 학술연구조성비(1994)로 이루어진 것임.

** 한국자원연구소 (Korea Institute of Geology, Mining & Materials, 30 Kajung-dong, Yusung-ku, Taejon, Korea, 305-350, Tel.(042)868-3057)

***연세대학교 지질학과(Department of Geology, Yonsei University, 134 Shinchon-dong, Sudaemoon-ku, Seoul, Korea, 120-749, Tel.(02)361-2667)

select important processes and parameters of watersheds that contribute to non-point source pollution degradation, develop a ranking model to use the environmental geologic data and verify the model by comparing results with existing water quality data(Chung-ju Lake) for specific watersheds. The GIS database consisted of topography, geology, soils, precipitation, rainfall erosivity, land use, and watershed boundaries. The index(NP-SP) for assessing non-point source pollution was comprised in the following three separate components: soil loss index(SLI) assesses the potential soil erosion and sediment delivery from field to stream; run-off potential ratio(R.P.R) predicts the potential production of surface runoff; chlorophyll-a index ranks the potential manure(animal or human) production within a watershed. The GIS model was a valuable tool to assess the impact of environmental pollution in watersheds.

서론

충주호는 국내에서 저유량이 가장 큰 호수이며, 주위의 좋은 경관때문에 수년전부터 호소주변 개발이 진행되고 있다. 그러나 이러한 자연 개발은 실제로 수질 및 토양 오염을 심각하게 유발시킬 수 있기 때문에 본 연구에서는 호소주변의 자연 환경 오염을 최소화할 수 있는 방안을 금번에 개발된 GIS 도면(환경지질도)들을 이용하여 분석하였으며, 이러한 도면들은 추후 관련 환경자료들의 보완 및 수정에 의하여 재생성되어질 수 있다. 금번 연구를 통하여 작성된 GIS 도면들은 당연구 그룹에서 환경지질연구의 수행을 위하여 GIS (ARC/INFO)를 활용, 구현한 환경지질정보시스템내에서(김윤종의, 1994; Fig.1) 지도모형 기법을 통하여 생성된 것들이다. 토양으로부터 유실 토사나 농업용 화학 물질에 의한 개방적이고 불특정한 비점원 오염(Non-point so-

urce pollution) 분석의 연구 흐름도가 Fig.2에 표시되었다. 충주호주변의 초기 오염 상태는 넓은 분수계(Fig.3-A)들의 영향으로 호소주변 식당 등의 하수(점원 오염)에 의한 오염뿐만 아니라 이러한 비점원 오염 분석이 아주 중요하다. Table 1과 Fig.3은 비점원 오염 연구를 위하여 작성된 초기 GIS 자료층들이다. 이 자료들을 이용하여 지표 유출과 토양 유실이 종합적 분석을 위하여 먼저 분석되었으며, 이렇게 생성된 두개의 2차 GIS 자료층(환경지질 목적도; 환경지질도작성기법연구(III), 1994)을 다시 중첩시켜 최종적으로 비점원 오염 분석도(종합 환경지질도)를 작성하였다. 또한 TM영상(1991.3)을 이용하여 원격탐사기법을 활용한 녹조류(Chlorophyll-a)의 분포 상황을 분석하였으며, 위에서 작성된 비점원 오염 분석도와 비교 검토한 후, 최종적으로 호소주변 환경오염에 대한 분석을 실시하였다. Fig.4은 충주호로 유입되는 비점원 오염 물질들의 대략 경로 분석표이다. 현재는 지표 유출과 토

GIS를 이용한 충주호주변의 비점원 오염 분석 연구

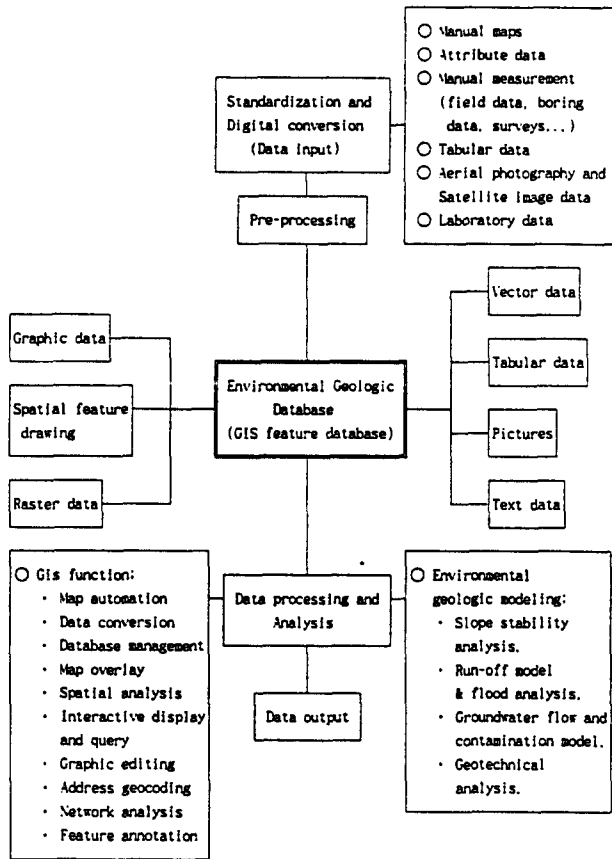


Table 1. GIS data layer for non-point source pollution analysis

data layer	source data
지형도	임경, 계천, 영월, 충주, 덕산, 단양 (1:50,000)
지질도	목계, 황강리, 단양, 충주, 영춘, 계천 (1:50,000)
토양도	충주·증원군, 계천, 단양 (1:25,000 정밀토양도)
수계 선도	지형도(1:50,000)
수계 다각형도	지형도(1:50,000)
도로망도	지형도(1:50,000, 1:100,000)
거주지 분포도	항공사진(1:20,000), 지형도(1:50,000)
행정구역도	지형도(1:50,000)
단층선도	지질도 (1:50,000), 항공사진(1/20,000)
위성영상	TM 영상 (1991년 3월)
토지이용도	TM 영상, 항공사진(1:20,000), 지형도(1:25,000)

Fig. 1 Environmental Geologic Information System (EGIS) (Kim et al, 1994)

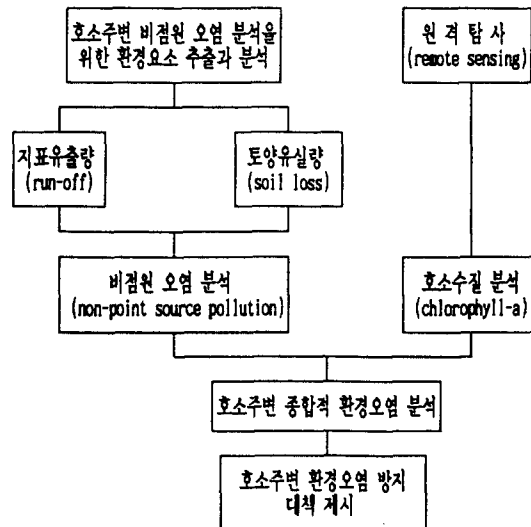


Fig. 2 GIS strategy for non-point source pollution analysis

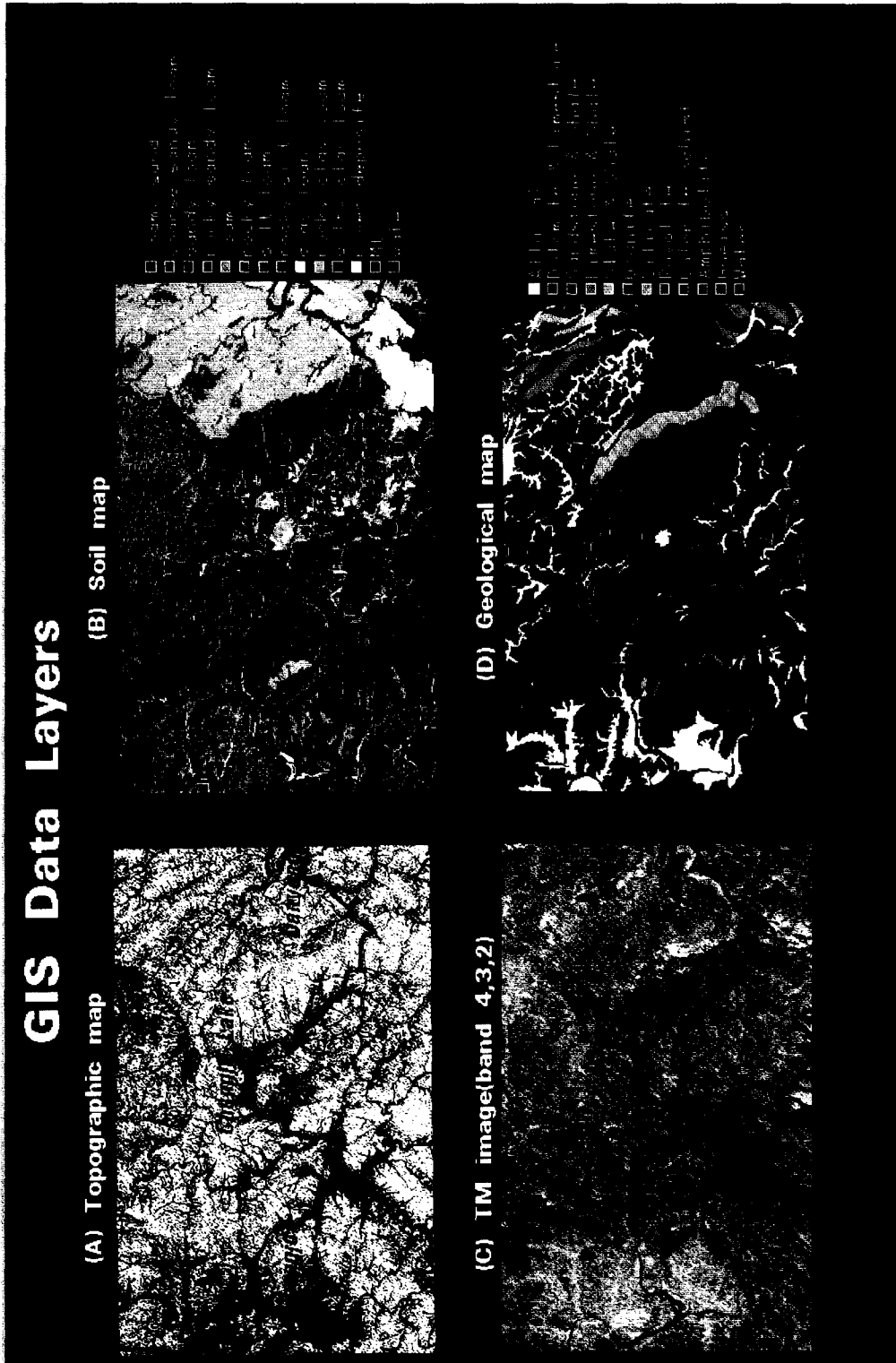


Fig. 3 GIS data layers for non-point source pollution analysis

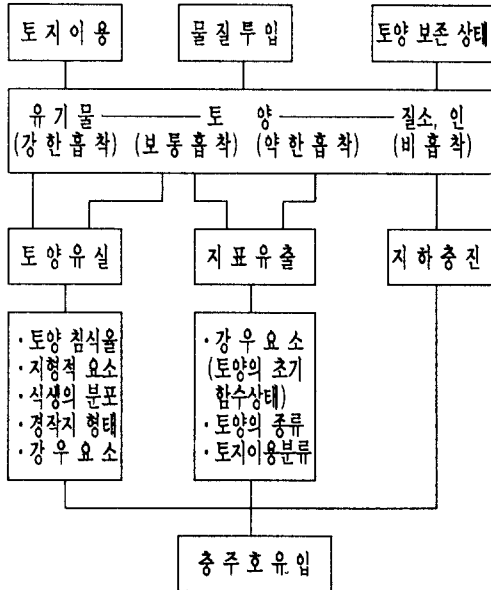


Fig. 4 Non-point source pollution in the study area

양 유실에 의한 상부 오염이 매우 심각하며, 지하 충전량(Recharge)에 의한 지하수 오염은 비점원 오염보다 아직까지는 덜 심각한 상태이나 그에 대한 예방대책을 시급히 마련하여야만 될 것으로 사료된다.

지표 유출량 분석

Fig.5는 연구지역의 지표 유출량 분석을 위한 연구 흐름도이다. 금번연구에서는 S.C.S (Soil Conservation Service)방법을 이용하여 다음과 같은 간단한 공식을 지표 유출량 계산에 사용하였다 : $F/S = Q/P$ (F:시간(t)에서 흙의 저유량, S:흙이 완전 포화되었을 경우 저유량, Q:직접 유출량(mm), P:누적 강우량(mm))(FHWA/RD-81/060, 1981; 김윤종의, 1993). 강우로부터 발생하는 직접 유출량은

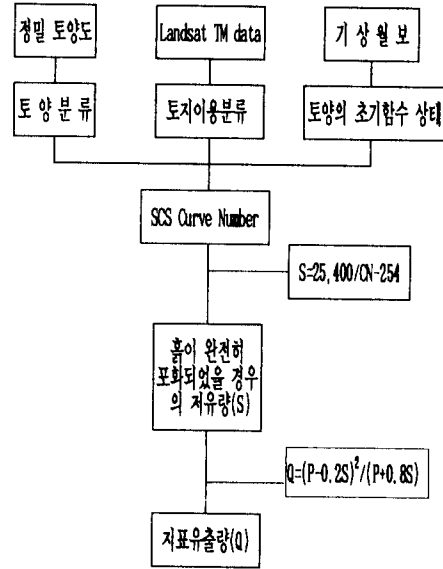


Fig. 5 Run-off analysis

흙이 최대로 저유할 수 있는 양(S)과 실제로 흡수되는 물 양(F)의 함수로 표시되며, 직접 유출량과 강우량과의 차이이다. 즉 $F=P-Q$ 이며, 이 관계를 위식에 대입하면 다음과 같이 된다; $Q = P^2/(P+S)$. 이식은 강우가 시작되면서 부터 즉시 유출이 발생하는 경우이나, 실제로 강우 발생 초기에는 강우의 전부가 침투되며 유출이 발생하는 것은 강우 강도에 따라 다르나 얼마간의 시간이 경과된 후에 발생하는 것이 보통이다. 따라서 초기의 침투를 고려한다면 위식의 P값에서 초기 손실(I_a)를 제외하여야 한다. SCS는 경험에 의하여 $I_a=0.2S$ 로 만들었으며, 이 관계를 위식에 대입하면 다음 식을 얻을 수 있다; $Q=(P-0.2S)^2/(P+0.8S)$, $P<0.2S$ 이면 $Q=0$. 따라서 S의 결정은 침투의 진행 상태에 따라 크게 다르며, 또한 침투는 흙의 종류, 지표 상태 등에 따라 다르기 때문에 SCS는 이러한 흙의 종류, 지표 상태에 따라서 S를 구하는 방법을 다음과 같이 제시하

Table 2. SCS Curve Number (AMC II)

land use	hydrologic soil group			
	A	B	C	D
Vegetation(dense)	25	55	70	77
Vegetation(loose)	45	66	77	83
Field	62	71	78	81
Rice field	72	81	88	91
Grass	30	58	71	78
Residential area	77	85	90	92
Water	98			

(SCS: Soil Conservation Service,
AMC: Antecedent Moisture Content)

Table 3. Curve Number (AMC I and III)

CN	Corresponding CNs	
	Condition I	Condition III
100	100	100
95	87	98
92	81	97
91	80	97
90	78	96
88	75	95
85	70	94
83	67	93
81	64	92
80	63	91
78	60	90
77	59	89
75	57	88
72	53	86
71	52	86
70	51	85
66	46	82
65	45	82
62	42	79
60	40	78
58	38	76
55	35	74
50	31	70
45	26	65
40	22	60
35	18	55
30	15	50
25	12	43

(CN: Curve Number)

Table 4. S(storage) value

land use	AMC	HYDROLOGIC SOIL GROUP(CN)				S			
		A	B	C	D	A	B	C	D
Vegetation (dense)	I	12	35	51	59	1863	471	244	177
	II	25	55	70	77	762	208	109	76
	III	43	74	85	89	337	89	45	31
Vegetation (loose)	I	26	46	59	67	722	238	177	125
	II	45	66	77	83	310	131	76	52
	III	65	82	89	93	137	56	31	19
Field	I	42	52	60	64	351	234	169	143
	II	62	71	78	81	156	104	72	60
	III	79	86	90	92	68	41	28	22
Rice field	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
Grass	I	15	38	52	60	1439	414	234	169
	II	30	58	71	78	593	184	104	72
	III	50	76	86	90	254	80	41	28
Residential area	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
Water		98				5			

(AMC: Antecedent Moisture Content, CN: Curve Number)

고 있다. $S=(25,400/CN)-254$ 여기서 CN은 Curve Number로써 SCS에서 흙의 종류 및 지표 상태에 따라 정한 지수이다. Table 2,3은 연구 지역에서 흙의 종류 및 초기함수상태(AMC)가 II인 경우와 이들에 의하여 조정된 CN 값이며, Table 4는 위 공식에 의하여 계산된 S(Storage)값이다. 따라서 연구지역의 1993년 강우량(P:1500mm)과 위에서 계산된 값들에

GS를 이용한 충주호주변의 비점원 오염 분석 연구

Table 5. R.P.R(Run-off Potential Ratio) of the study area(1993)

지표구성 (FLD)	흙의 종류 (SCS)	FROF (item name)	TQ(연강 우량중 요소별 총유출량)	R.P.R (총강우량 에 대한 총유출량의 비율) (TQ/P)×100	면적	면적비 (%)	Q(요소별 실유출량) TQ×면적 /100	유출량비(%) (Q/353.56)×100
Field	A	11	200.86	13.39	54.93	4.65	9.34	2.64
	B	12	291.86	19.46	176.78	14.95	43.63	12.35
	C	13	376.23	25.08	47.05	3.98	14.97	4.23
	D	14	428.45	28.56	22.24	1.88	8.05	2.28
계					301	25.46	75.99	21.50
Vegetation (loose)	A	21	130.49	8.70	97.36	8.24	10.75	3.04
	B	22	278.21	18.55	323.92	27.40	76.23	21.56
	C	23	393.74	26.25	77.06	6.52	25.67	7.24
	D	24	495.68	33.04	28.56	2.42	12.00	3.39
계					526.9	44.58	124.65	35.29
Water		31	1181.84	78.79	78.61	6.65	78.59	22.23
Rice field	A	41	296.73	19.78	35.95	3.04	9.02	2.55
	B	42	428.60	28.57	63.57	5.38	23.06	6.52
	C	43	580.67	38.71	10.38	0.88	5.11	1.45
	D	44	688.04	45.87	5.33	0.45	3.10	0.88
계					115.23	9.75	40.29	11.40
Residential area	A	51	358.51	23.90	7.72	0.65	2.33	0.66
	B	52	512.25	34.15	10.61	0.90	4.61	1.30
	C	53	639.96	42.66	7.41	0.62	4.03	1.14
	D	54	710.42	47.36	8.41	0.71	5.04	1.43
계					34.15	2.88	16.01	4.53
Grass	A	61	34.60	2.31	3.50	0.30	0.10	0.03
	B	62	173.67	11.58	6.16	0.52	0.90	0.26
	C	63	291.86	19.46	2.83	0.24	0.70	0.20
	D	64	376.32	25.09	1.80	0.15	0.56	0.16
계					14.29	1.21	2.26	0.65
Vegetation (dense)	A	71	21.58	1.44	21.67	1.83	0.39	0.11
	B	72	156.14	10.41	63.63	5.38	8.40	2.38
	C	73	276.93	18.46	16.30	1.38	3.82	1.08
	D	74	359.05	23.94	10.39	0.88	3.16	0.89
계					111.99	9.47	15.77	4.46
총계					1182.17	100.00	353.56	100.00

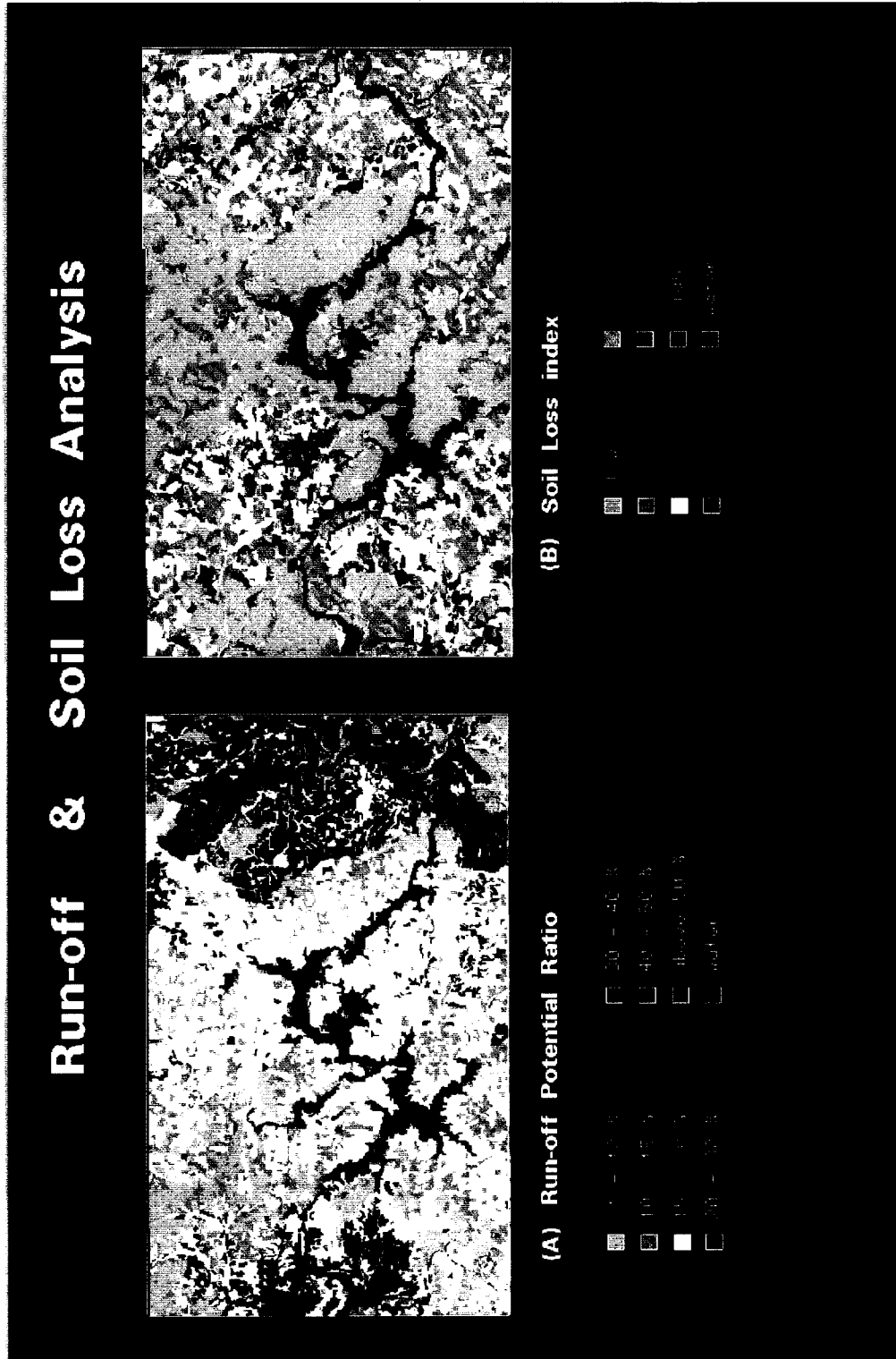


Fig. 6 Run-off and Soil loss analysis

의하여 산출된 지표 요소별 유출량(Q)과 R.P.R(Run-off Potential Ratio)이 Table 5에 표시되었다. R.P.R(김윤종의, 1993)은 전체 강수량(P:1500mm)에 대한 각 요소들의 전체 유출량(TQ) 비율($R.P.R= TQ/P$)을 나타내며, 실유출량비는 각 요소들의 실면적이 고려된 실제 총 유출량(Q:353mm)에 대한 각 요소들의 유출량비를 표시한 것이다. 최종 비점원 오염분석을 위해서는 R.P.R이 중요하며, 이 값들이 7등급(1~10%, 10~15%, 15~20%, 20~30%, 30~40%, 40~50%, 50%이상)으로 구분된 후, 본연구의 첫번째 GIS 도면인 지표 유출량 분석도(Fig.6-A: 환경지질 목적도)가 완성되었다.

토양 유실

GIS를 이용한 토양 유실 분석을 위하여 일반적 경험식인 토양 유실 공식(USLE; Wischmeier, 1978)이 이용되었으며, 강우, 토양 침식률, 사면 길이와 지형 경사, 식생 분포와 관리, 농작물 경작형태 등의 환경요소들이 환경지질 정보시스템에서 정량적으로 분석되어 토양 유실 분석도가 작성되었다. 최종 작성된 토양 유실 분석도의 정확도는 토양 유실 공식에 이용되는 환경 요소들의 정확도에 기인되며, GIS를 이용한 금번 연구에서는 실 토양 유실량 대신에 토양 유실 계수(SLI; Soil Loss Index)를 계산하여 도면화 시켰다(김윤종의, 1994). 토양 유실 계산을 위한 요소중 제일 중요한 토양 침식률(K) 계산은 1/25,000 정밀도(농촌진흥청, 1978)와 Wischmeier의 도표(Morgan, 1979)를 이용하여 정량적으로 분석하였으며, 식생 분포 및 경작지 형태

관련 요소들은 인공위성 영상(TM 영상, 1991.3), 항공사진, 지형도, 야외 관찰을 토대로 작성된 토지 이용도가 사용되었다.

토양 유실 계수;

토양 유실 분석을 위하여는 일반적으로 Wischmeier와 Smith(1978)의 수정된 토양 유실 공식(USLE)이 사용되고 있으며, 본 연구에서도 경험식인 본 토양 유실 공식이 활용되어 광역적 분석을 위한 토양 유실 계수(SLI: Soil Loss Index)가 산출되었다. 토양 유실 공식의 사용에 있어서 가장 문제가 되는 것은 실제 토양 유실량 계산을 위하여 적용하여야만 되는 여러 환경 요소들의 정확도이다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 금번연구에서 개발된 토양 유실 계수(SLI)는 분석되는 환경 요소들에 대하여 상대적 평가 방법(범위와 등급 구분)을 사용하였기 때문에 최종 분석 결과에 대한 오차를 줄일 수 있음은 물론, 대상 연구지역의 자연 환경 특성을 충분히 고려할 수 있다. 결국 이계수는 토양 유실 공식에 이용되는 각 요소들의 값들을 연구 지역의 토양 침식 정도에 따라서 등급 구분을 한 후, 그 값들의 총 곱합으로 표시된다($SLI = Kr \times Rr \times Lr \times Sr \times Cr \times Pr$; SLI:토양 유실 계수, Kr:토양 침식 등급, Rr:강우, Lr,Sr:사면 길이와 지형 경사의 등급, Cr:토지 피복 등급, Pr: 경작 형태 구분). 다음은 토양 유실 계수 산출을 위한 기본 요소들의 내용 설명이다.

토양 침식률과 강우;

토양 침식률(K:soil erodibility)은 일반적으로 토양 조직, 유기물 함량, 토양 구조, 투수성 등에 지배되며, 연구지역의 K값을 평가

하기 위하여 Wischmeier의 침식률 계산표 (Soil erodibility nomograph:1978)가 이용되었다. 이 표에서 토양은 그 특성에 따라 상대적인 K값이 계산되며, 계산을 위한 연구지역의 토양 분류는 정밀토양도(농촌진흥청, 1978), 야외조사, 실내 실험 등을 통하여 이루어졌다. Table 6은 Wischmeier 계산표에 의하여 최종적으로 산출된 연구지역의 K값(0.05~0.50; 환경지질도작성기법연구(III),1994)들을 토양 유실 계수 계산을 위하여 재배열한 등급(SKR) 구분표이며, Fig.7-A는 이들을 그림으로 나타

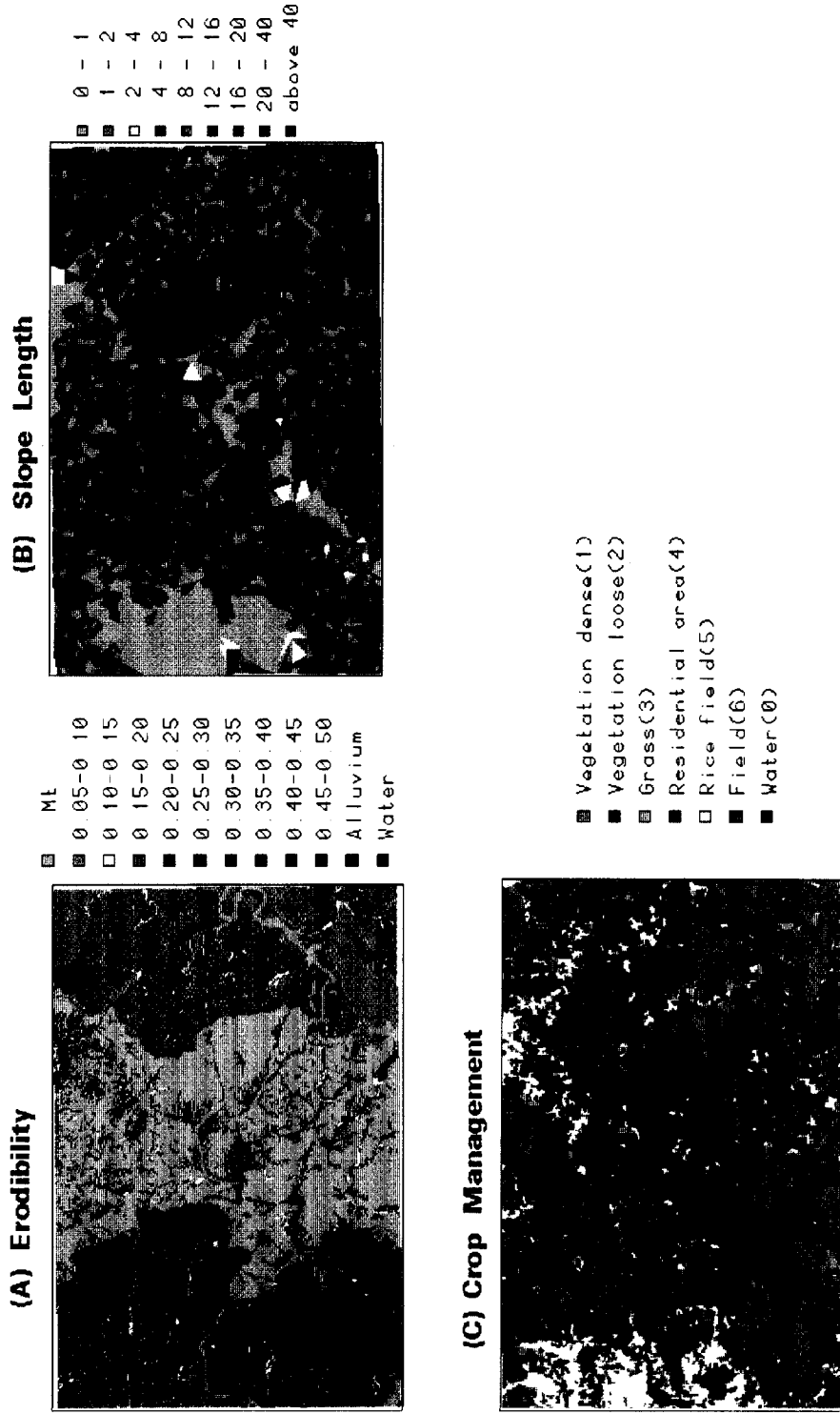
낸 것이다. 또한 강우에 의한 토양 유실 요소 R은 이론적으로 연구지역의 30분동안 강우의 최고 운동에너지로 정의되며, EI_{30} (Wischmeier index)의 계산과, Roose의 경험식(Morgan,1979)을 이용하여 산출할 수 있다. 본 연구에서도 후자를 이용하여 연구지역 R의 개략치를 계산하였으나, 금번 연구에서 개발된 토양 유실 계수를 위하여는 전체 분수계에 대하여 일정한 R의 기준치(1)만이 부여되었다.

Table 6. Soil erodibility(K-value)

K - value	토양명 (STX NO)	rating (SKR)
	Mt(산악 및 암석노출지)	1
0.05-0.01	낙동(13),청심(64),평창(69)	2
0.11-0.15	구곡(10),뇌곡(18),칠곡(66),풍전(71),풍천(72)	3
0.16-0.20	가천(1),관악(8),대곡(17),대구(18),덕산(21),매곡(26),모산(27),백산(30),삼각(33),송산(37),수암(38),안미(41),예산(43),예천(44),장성(57),중동(60),평안(67),평전(68),학곡(73),행곡(75)	4
0.21-0.25	각화(2),고천(5),고평(6),금곡(12),남계(14),덕천(22),덕평(23),부곡(31),신흥(39),오산(45),우평(51),임곡(56),지곡(61),지산(62),청풍(65),고산(85),청산(86)	5
0.26-0.30	강서(3),고령(4),과천(7),괴산(9),대산(19),도전(24),마지(25),미원(28),사촌(32),석천(35),안릉(40),연곡(42),용계(48),용지(49),율곡(53),종곡(59),호계(76),화동(77),화수(78),외산(83),과림(84)	6
0.31-0.35	논산(15),상주(34),옥계(46),우곡(50),월곡(52),이현(55),평택(70),황룡(79),회곡(80)	7
0.36-0.40	방곡(29),석토(36),옥천(47),제천(58),진목(63)	8
0.41-0.45	규암(11)	9
0.46-0.50	은곡(54),함창(74),흑석(81)	10
	하천 범람지(82)	11
	Water(100)	0

(STX NO: 데이터베이스내의 index number 임)

Data Layers for Soil Loss Analysis



국립농업과학기술연구소 토양보전연구소 연구

Fig. 7 Data layers for soil loss analysis

사면 길이 및 지형 경사:

사면 길이와 지형 경사 분석(LS)은 전체 분수계를 몇개의 부분수계로 구분하여 지형 경사와 길이 관계표(Wischmeier, 1978)에서 그들에 대한 합리적 값들이 추출되었다(Table 7, Fig.7-B). 이 요소는 분수계내의 사면 길이와 지형 기복이 토양 유실에 미치는 영향을 분석하는 요소로써, 실유실량의 계산을 위하여는 Wischmeier(1978)의 표준 경사가 활용될 수도 있다.

Table 7. LS (Slope length steepnes)factor

사면 경사(%)	LS value(USDA)	rating
0 ~ 1.0	0.152	1
1.0 ~ 2.0	0.25	2
2.0 ~ 4.0	0.40	3
4.0 ~ 8.0	1.01	4
8.0 ~ 12.0	3.14	5
12.0 ~ 16.0	5.71	6
16.0 ~ 20.0	8.98	7
20.0 ~ 30.0	12.9	8
30.0 ~ 40.0		8
40.0 ~ 50.0		9
50.0 ~ 60.0		9
60.0 ~ 70.0		9
70 이상		9

(USDA: U.S Department of Agriculture)

토지 피복과 경작 형태:

경작지 종류와 경작물의 밀도가 토양 유실에 미치는 영향이 토지 피복 요소(C)이며, 인공위성 영상(1991년 TM영상)을 수치 영상 처리 기법을 이용하여 작성된 토지 이용 현황도가 이 요소를 분석하기 위하여 사용되었다. Table 8은 미국 농무성(USDA,1975; Wischmeier,1978)에서 산출한 C값을 연구지역의 토지 이용도에 맞게 일부 수정한 후, 각각의 토지 피복 요소에 등급이 부여된 표이

며, Fig.7-C는 토지 이용도의 요소별 C값을 그림으로 나타낸 것이다. 또한 경작 형태 요소(P)는 특히 경사면에서의 경작지 형태, 경작물의 배열상태, 계단 경작 및 그들의 복합적 형태 등이 토양 유실에 미치는 영향이 고려된 것이나, 연구지역의 경작지 분포는 아주 적으며, 경사가 약 2% 미만지역에 거의 국한되므로 이 값들은 앞의 LS요소와 더불어서 동시에 고려되었다.

Table 8. C(Land Cover and management)factor

land use	C factor(USDA)	rating
field	0.3 ~ 0.4	6
rice field	0.2 ~ 0.3	5
residential area	0	4
grass	0.1 ~ 0.2	3
vegetation(dense)	0.1 ~ 0.2	1
vegetation(loose)	0 ~ 0.1	2
water	0	0

(rating 이 높을수록 soil loss가 심한 지역으로 사료됨.)

(USDA: U.S Department of Agriculture)

토양 유실 분석도:

최종 토양 유실 분석도 작성을 위한 요소들의 등급표가 Table 9에 요약되었다. 최종 토양 유실 계수(SLI)의 분포는 1-594범위를 나타내었고, 그 값이 높을수록 토양 유실이 많은 지역으로 분석된다. 토양 유실 계수들의 적절한 구분을 위하여 그들 면적에 대한 누적 곡선(Fig.8)을 그린 후, 중요한 변곡점들이 추출되었으며, 전체 분포 면적중 약 80%가 유실 계수 100미만 지역에 분포하고 있다. 최종 결과 분석도(Fig.6-B)는 토양 침식에 따른 유실이 부분적으로 심각하며(SLI:100-170, moderate-high), 특히 지형 경사 변곡점 등의 심한 토양 유실지역(170이상)들에 대한 적절한 방지

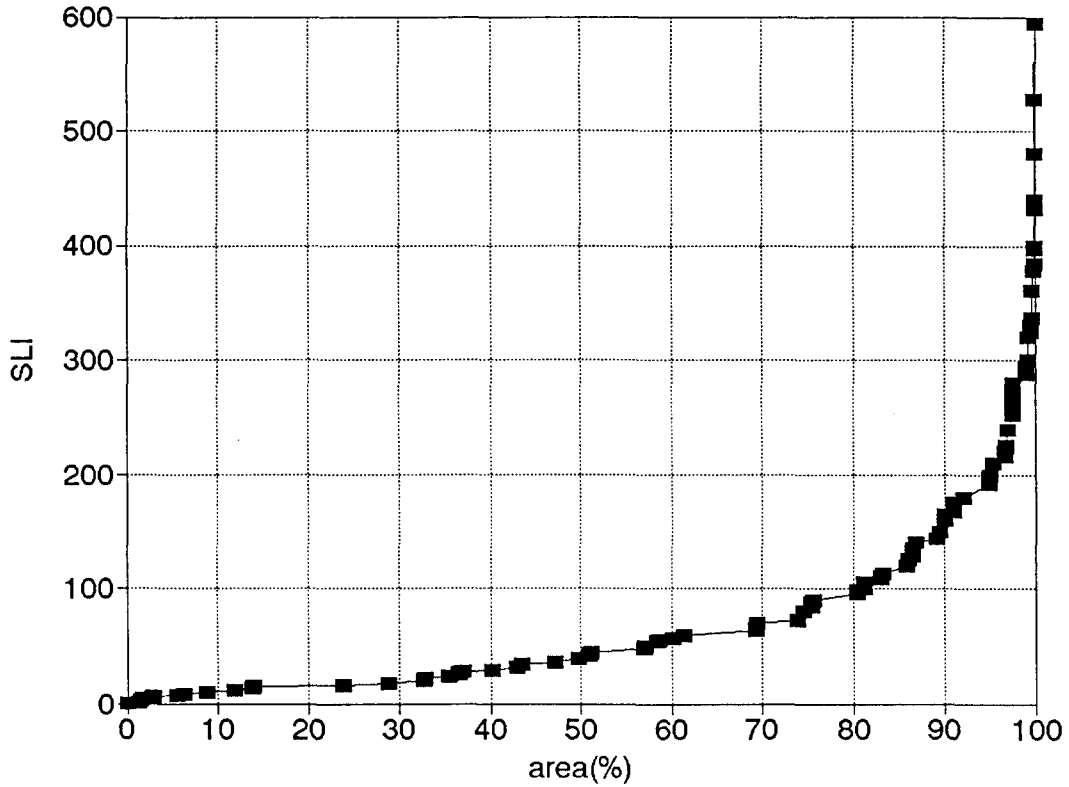


Fig. 8 Percentage cumulative curve(area vs. SLI)

대책이 요구되고 있음을 보여주고 있다.

Table 9. Soil loss analysis

Coverage	Rating	Source data
soil-erodibility	1~11	Soil map
slope-length	1~9	Topographic map
crop-management	1~6	Landsat TM data
rainfall	738.15	기상연보

녹조류 분석

녹조류(Chlorophyll-a) 분석을 위해서는 TM영상(1991.3)을 이용한 원격탐사기법이 활

용되었다. 일반적인 처리방법으로는 TM영상의 1(Blue: X_1), 2(Green: X_2)번 Band를 이용한 Ratio기법(X_2/X_1)을 가장 많이 활용하며, 이는 녹조류가 위 Band들의 파장대에 민감하기 때문이다. 그러나 실제의 X_2/X_1 값은 매우 작은 분포를 보이기 때문에 화면에 표시가 거의 불가능하다. 본 연구에서는 1, 2번 Band의 최소, 최대치를 구하고 그들의 비율(Ratio)에 Arctangent값을 구한 후, 직선방정식에 의한 기본 수식($Aratio = \arctan(X_2/X_1) \times 790 - 186$)을 산출하여 최종 분석 지표(Aratio)를 계산하였으며, 이 값이 높을수록 녹조류의 농도가 높은 분포를 보여주는 것으로 분석되었다. Aratio의 값은 71~190의 분포를 보였으며,

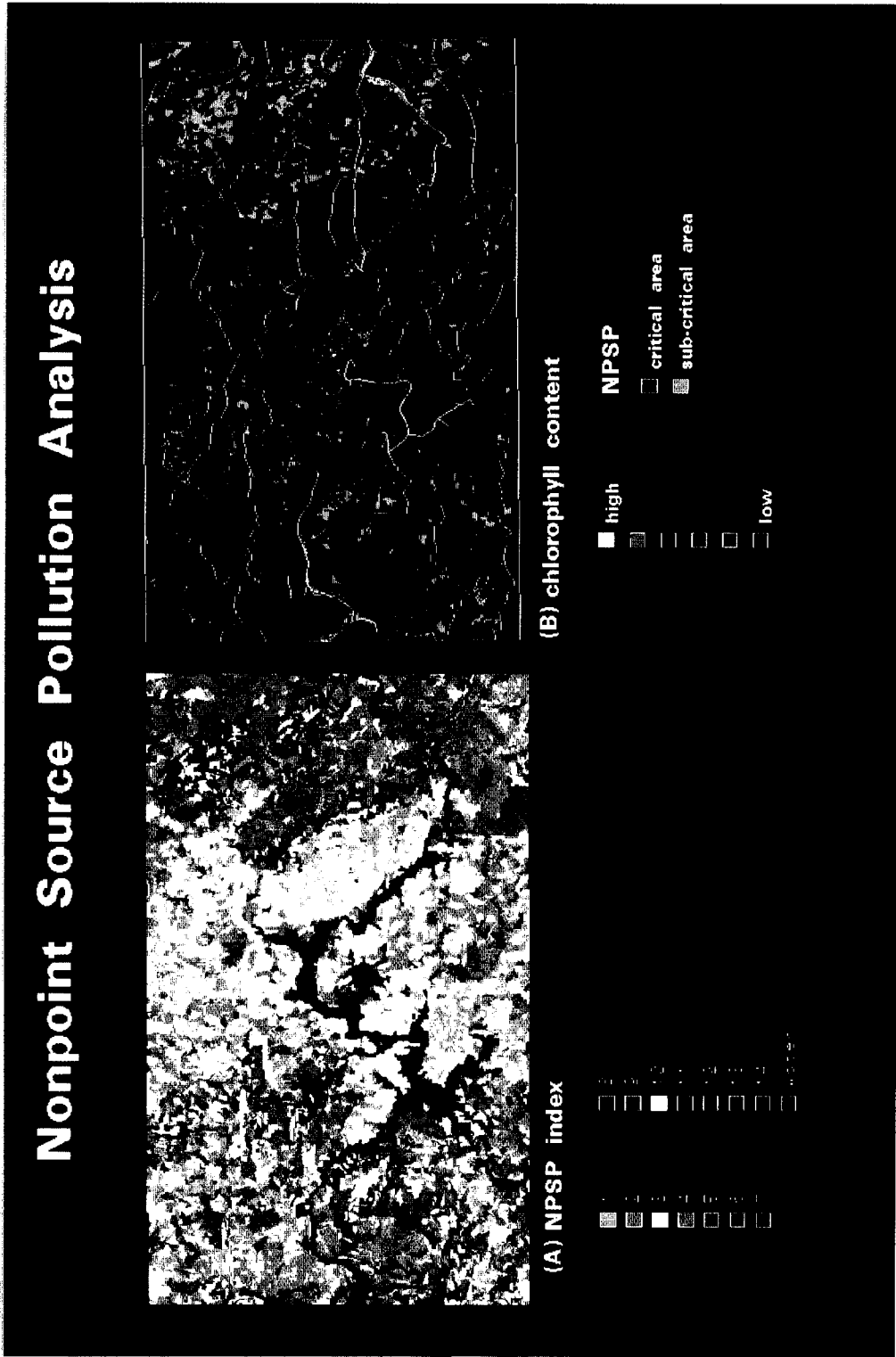


Fig. 9 Non-point source pollution analysis

화면 표시를 위하여 6구분된 후 최종 녹조류 분석도(Fig.9-B)가 작성되었다. 단양과 제천 지역의 생활 하수 및 축산 폐수에 의한 오염의 심각성과 청풍지역 가두리 양식장에 의한 수질 악화 현상이 잘 보여지고 있으며, 충주댐 하부의 얇은 수심지역은 유기물 등의 퇴적에 의한 심한 오염이 잘 나타나고 있다.

비점원 오염 분석도

종합 분석을 위한 최종 비점원 오염도 작성을 위하여 앞에서 생성된 토양 유실도와 지표 유출 분석도가 환경지질정보시스템내에서 먼저 중첩된 후(Table 10), 녹조류 분석도가 첨가되어 최종 도면(Fig.9-A)이 완성되었다. 최종 비점원 오염 지표(NPSP: Non-point Source Pollution Index)의 재등급 범위는 1~14(Table 11)로 나뉘어졌으며, Fig.10은 NPSP와 그들 면적에 대한 누적 곡선이다. 이 그림에서 누계 면적(area%)이 95~100% 지역(NPSP가 10이상)은 Critical area로(Sivertun, A., et al,1988), 91~94% 지역(NPSP가 9

~10)은 Sub-critical area로 분류될 수 있으며(Fig.9-B), 이러한 지역들은 비점원 오염에 대하여 아주 민감하기 때문에 적절한 환경 오염 예방 대책이 필요하다. Table 12와 Fig.11은 각 부분수계별 Critical, Subcritical area의 면적 대비표이다.

Table 11. Non-point Source Pollution Index (NPSP)

NPSP	area(m ²)	area (%)	Carea (%)
1	10380745	0.95	0.95
2	72572312	6.69	7.65
3	357187420	32.97	40.63
4	166069697	15.33	55.96
5	121129403	11.18	67.14
6	148487198	13.71	80.85
7	65867648	6.08	86.93
8	54135507	4.99	91.92
9	42665891	3.93	95.86
10	33499119	3.09	98.95
11	7204351	0.66	99.62
12	3181089	0.29	99.92
13	702023	0.06	99.98
14	177482	0.01	100
Total	1083259885	100	

(Carea: cumulated area)

Table 10. Secondary overlay for non-point source pollution analysis

Coverage	Rating	Source data
Soil loss	1~7	<ul style="list-style-type: none"> soil-erodibility, slope-length, crop-management, rainfall
Run-off	1~7	<ul style="list-style-type: none"> soil map landuse 기상년월보

결론

GIS를 이용하여 충주호주변의 비점원 오염에 대한 종합적 분석이 실시된 금번 연구는 당연구그룹에서 1994년도에 구현된 환경지질정보시스템의 시범연구로써 수행되었으며, 수집된 일부 기본 환경자료들의 정량적 분석은 호소주변의 환경오염 대책을 수립하는데 필수 정보로써 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

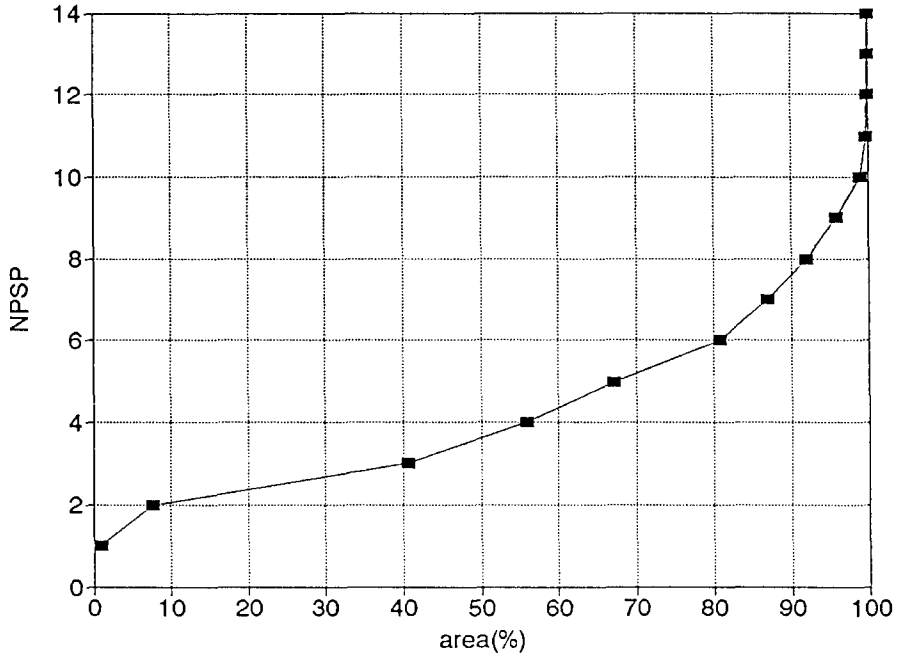


Fig.10 Percentage cumulative curve(are vs. NPSP)

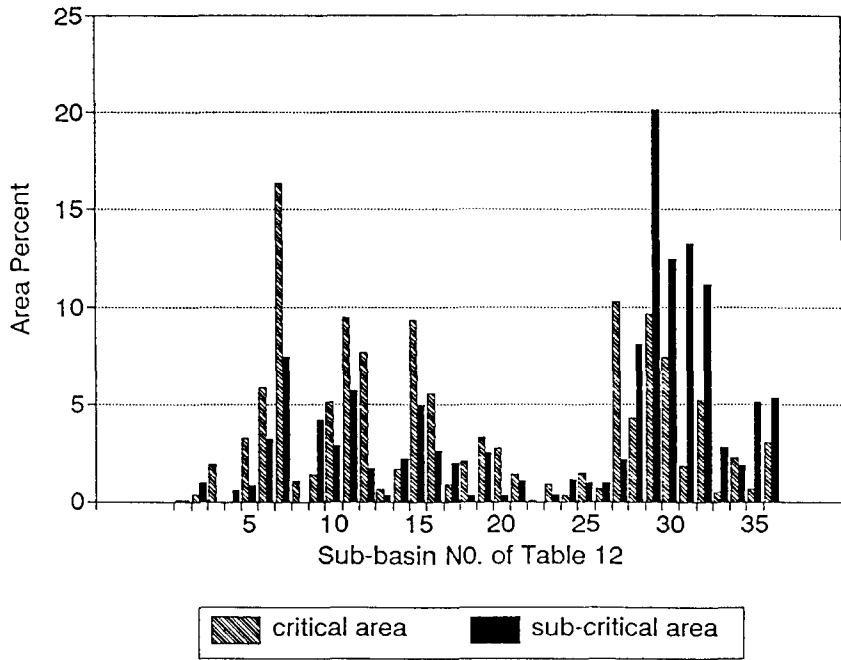


Fig.11 Critical and sub-critical area of non-point source pollution

Table 12. Critical and sub-critical area of non-point source pollution

sub-basin	sub-basin area		critical area		sub-critical area	
	(m ²)	percent	(m ²)	percent	(m ²)	percent
7	10684268	100	1744532	16.32	791968	7.41
10	73568024	100	3770835	5.12	2091107	2.84
11	35265476	100	3336488	9.46	2007616	5.69
12	93227952	100	7110571	7.62	1596133	1.71
15	12984355	100	1203946	9.27	638626	4.91
16	29443874	100	1640646	5.57	754231	2.56
27	8134504	100	837850	10.29	176829	2.17
28	21146488	100	905944	4.28	1706434	8.06
29	27618938	100	2649595	9.59	5560581	20.13
30	76068760	100	5607127	7.37	9437413	12.40
31	9353903	100	167276	1.78	1235543	13.20
32	38829132	100	2011824	5.18	4314158	11.11
35	20706114	100	139689	0.67	1058233	5.11
36	34170652	100	1038792	3.04	1819761	5.32

는데 필수 정보로써 활용될 수 있을 것으로 또한 금번연구를 통하여 개발된 여러 환경지표(SLI, NPSP 등)들은 비점원 오염 분석 과정의 경제적 효율성을 극대화 시킬 수 있었으며, 이러한 분석 기법은 앞으로 다른 목적의 환경지질연구에도 활용될 수 있다. 호소주변의 개발을 위해서는 환경 오염을 최소화할 수 있는 확실한 예방책이 우선적으로 수립되어야만 하며, 이러한 요구는 본 연구를 통하여 개발된 비점원 오염 분석도(종합 환경지질도) 작성 기법 연구가 아주 효과적으로 활용될 수 있을 것이다. 동시에 이러한 분석을 위한 GIS 기술의 적용에서 가장 중요한 점은 초기 환경

자료들의 정확성과 대상지역에 대한 정확한 환경지질학적 평가라는 점을 명심하여야한다.

참 고 문 헌

- 기상월보, 기상청 (1986~1993).
 김윤종외, 1994, 환경지질도 작성을 위한 GIS응용연구, 지질공학회지, 제4권 제3호, pp. 321-331.
 김윤종외, 1994, 금강 유역 토양유실 분석을 위한 GIS응용연구, 한국GIS학회지, 제2권 제2호, pp.165-174.

- 김운중외, 1993, 수자원 관리와 보호를 위한 GIS 활용연구, 지질공학회지, 제3권 제3호, pp.253-266.
- 김운중외, 1990, 쓰레기 매립장 부지설정을 위한 GIS활용연구, 대한원격탐사학회, Vol.6, No.2, pp.135-151.
- 원주지방 환경처, 1991, 충주호의 수질오염 방지대책 연구.
- 정밀토양도(1/25,000),1978, 농촌진흥청, 농업기술연구소.
- 한국지질도(목계, 제천, 영춘, 충주, 황강리, 단양), 1969, 한국동력자원연구소.
- 환경지질도 작성기법연구(I), 1992, 한국자원연구소.
- 환경지질도 작성기법연구(II), 1993, 한국자원연구소.
- 환경지질도 작성기법연구(III), 1994, 한국자원연구소.
- Donovan,J.K., 1991, The U.S.EPA's Rangeland project: Intergration of GIS and a non point source pollution model, '91 ESRI(11th) user conference, Vol.2, pp.261-272.
- Hamlett,J.M., Peterson,G.W., Baumer,G.M., Miller,D.A., and Day,R.L., 1991, GIS-based Watershed Ranking for Non-point Pollution in Pennsylvania, GIS/LIS 91, pp.593-605.
- FHWA/RD-81/060,1981, Extension of the soil conservation service rainfall-runoff methodology for ungaged watersheds, pp.1~75.
- Kim,Y.J., Chorowicz,J., Ichoku,C., and Riazanoff,S., 1992, A combined algorithm for automated drainage network extraction, Water Resources Research, Vol.28, No.5, pp.1293-1302.
- Mitchell,J.K., et al, 1993, Using an intergrated AGNPS/GIS system for validation of small watersheds, Hydro GIS '93, pp.141-151.
- Morgan,R.P.C., 1979, Soil Erosion(Topics in Applied Geography), pp.41-56.
- Sivertun,A., Reinelt,L.E., and Castensson,R., 1988, A GIS method to aid in non-point source critical area analysis, Int. J. GIS, Vol.2., No.4., pp.365-378.
- Sudhakar,S., Pal,D.K., 1993, Water Quality Assessment of the Lake Chilka, Int. J. Remote Sensing, Vol.14. No. 14, pp.2575-2579.
- U.S.D.A, 1975, Soil conservation service, Engineering field manual, pp.2-3 to 2-29.
- Wischmeier,W.H., and Smith,D.D., 1978, Predicting rainfall erosion losses-A guide to conservation planning, U.S. Department of Agriculture handbook No.537.