

수자원 관리와 보호를 위한 GIS활용연구 A GIS Technology for Groundwater Protection

김윤종(Kim, Youn Jong)¹⁾
성익환(Sung, Ig Hwan)
김원영(Kim, Won Young)
유일현(Yu, Il Hyon)
박준동(Park, Jun Dong)

한국자원연구소
한국자원연구소
한국자원연구소
한국자원연구소
서울대학교

요약/Abstract

본 연구에서는 수자원 관리와 보호를 위하여 1차적으로 연구지역에 지표유출량과 지역층진량이 계산되어 물 수지분석이 이루어진 후, 분석된 유출량 및 층진량 계수들은 GIS를 이용하여 설계된 환경지질정보시스템(Environmental Geologic Information System : EGIS)내에서 지하수 자원 보호를 위한 GIS모델의 중요 요소로써 재처리되어 최종적으로 지하수의 광역적 오염 가능성 분석을 가능케 하였다. 이를 위하여 작성된 실 지표유출량 분석도와 광역적 지하수 오염 분석도는 수자원 관리와 보호를 위한 필수 사항들이며, 많은 양의 환경정보들이 시스템내에서 수치화, 분석 및 처리과정을 거쳐 생산되었다. 환경정보 데이터베이스구축은 본 환경지질정보 시스템을 이용하여 체계적, 조직적으로 수행되어졌으며, 금번 연구를 위하여 구현된 환경지질정보시스템 기술은 국가의 자연 자원 관리를 위한 기초 연구로서 활용될 것이다.

GIS technique was applied for the work of water supply protection, and GIS maps were produced by this technique in Cheong-ju area. They are actual runoff map and regional groundwater protection map. The digital database was established for creation of these maps in EGIS(Environmental Geologic Information system). A lot of environmental, hydrological and geotechnical data relating to the area were collected from various sources, and used along with the results of the field investigation and laboratory works in the interpretation of environmental geologic

characteristics of the area. These special maps can be applied in the establishment of water supply protection and regional land use planning. For instant, the actual runoff map is very important for hydrologic study, and groundwater protection map for susceptibility to groundwater contamination in the area. Actual runoff of the study area was calculated about 148mm using the method of SCS(Soil Conservation Service) in GIS. The GIS technique was effective in watershed analysis and water balance study.

서 론

수자원 관리과 보호를 위하여는 지표수와 지하수원 등에 관련된 여러 정보들이 동시에 체계적으로 분석되어야 한다. 또한 수자원 보호모형연구는 이런 광범위한 환경 및 수문분야가 포함되며, 특히 중요한 요소들은 (Dicks, 1991) 지하수 공급양, 지표수원 보호 지역의 분석, 우물 영향권 분석, 지표유출량 및 지역충진량 등이고, 종합분석을 위하여는 그들 각각에 대한 모형들이 우선 개발되어야 한다. 본 연구에서는 그러한 근본적인 목적에 접근하기 위하여 수문분석시 가장 중요한 지표유출량과 단위 지역별 충전량 분석, 그리고 그들을 이용한 광역적 지하수 오염 가능성 분석도를 GIS기술을 활용하여 작성하였으며, 그러한 분석을 위하여 방대한 양의 환경 및 수문정보들이 환경지질정보시스템내에서 조직적, 체계적으로 분석되어졌다. 또한 SCS(Soil Conservation Service) 방법에 의하여 환경지질정보시스템내에서 정량적으로 분석된 지표유출량 계산은 연구지역의 지역적 충전량 및 대수층 성질분석과 물 수지균형(water balance analysis)연구에도 활용되었으며, 동시에 광역적 지하수 오염 가능성 분석을 위한 GIS 모델의 자료층을 구성시켰

다. 본 지하수 오염 가능성 분석 모델의 기본은 미국 EPA(Environment Protection Agency)에서 개발된 DRASTIC 모델(Aller et al, 1985)을 기초로 하여 그것을 한국형 모델로 재 개발하였다. 본 모델의 초기 요소들은 지하수위, 충전량, 대수층 구성물질, 토양특성, 지형경사, 비포화대 영향, 수리계수 등 7개의 환경지질 및 수문학 요소들이며, 필요에 따라서 토지 이용도, 농약 사용양 등의 요소추가는 좀더 개선된 분석에 도움이 된다. 본 모형의 근본 목적은 넓은 지역에 대한 1차적 지하수 오염 가능성 분석이며 어떤 특정지역에 대한 정밀 환경지질학적 평가가 아니다. 대상지역의 축적도 1 : 1,000,000 부터 1 : 25,000 정도로 다양하게 적용될 수 있으나 수리역학적 자료들의 취득에 따른 어려움으로 좀더 세밀한 축적도의 조사는 다른 방법이 추가로 적용되어야 할 것이다. 결국 이러한 환경수문학적 특성을 고려한 GIS 모형의 개발을 위해서는 상기 7개 요소들이 지하수 오염에 영향을 미치는 중요도에 따른 가중치, 그리고 각 요소들의 영향 범위(ranges)와 등급이 먼저 결정되어야 하며(Griner, 1980, M.P.Mullen, 1991, M. Etheshami et al, 1991), 본 연구에서 이러한 요소내의 실제 등급 결정은 연구지역에서의 각각 영향 범위에 따른 환

경지질학적 평가를 통하여 개발되었다.

지표 유출량 및 지역 충전량 분석

연구지역의 물 수지분석을 위하여는 대상 지역의 지표 유출량(runoff)과 지역 충전량(recharge) 분석이 선행되어야 한다. 본 분석들은 수문분석을 위한 초기 작업들이며, 금번 연구에서는 통일된 환경지질정보시스템 내에서 체계적, 조직적으로 이루어졌다. 지상에 도달한 강우량의 일부는 흙의 표면을 통하여 침투하고, 그 초과분은 흙 표면으로 흘러 유출을 하게 되며, 따라서 강우로부터 야기되는 유출은 지하의 충전량에 크게 영향을 미친다. 또한 강우로부터의 유출은 흙의 건조 상태에 따라 크게 달라진다. 즉 매우 건조한 상태에서의 흙은 무한에 가까운 침투율을 갖고 있으나, 이미 발생한 강우 영향으로 흙의 함수량이 큰 상태라면 같은 강우량이라고 할지라도 건조 상태보다 많은 유출을 야기시킨다. 이와같이 흙의 초기 함수 상태에 따라 지표 유출량과 충전량은 직접적으로 영향을 받는다. 이러한 분석들을 위하여 금번 연구에서는 연구지역의 강수량, 기온, 증발산량이 우선 분석되고, 이들을 기초로 SCS(Soil Conservation Service)의 방법을 이용하여 지표의 실 유출량이 계산되었다. 또한 분석된 실 유출량은 지역 충전량과 물 수지분석, 그리고 지하수 오염 가능성분석을 위하여 환경지질정보시스템내에서 재처리되어 GIS 모델로 직접 INPUT되었다.

○ 강수와 기온 : 1986년부터 1992년까지의 년 평균 강수량은 1,224mm, 월 평균 강수량은 103.3mm이며(기상년월보, 1986-1992), 년 평균 강수량중 약 70% 이상이 6월에서 9월

사이에 집중적으로 내리고 이중 약 70% 이상이 증발 혹은 지표수 유출로 인하여 바다로 유실되고 있어 지하수로 충전될 수 있는 양은 강수량에 비해 상당히 적음을 나타내고 있다. 최근 7년간의 년 평균 기온은 12.6°C이며, 년간 평균기온분포는 11월에서 3월사이에는 -3°C에서 5°C내외에 분포하고, 4월에서 8월 사이는 10°C에서 25°C까지 상승한 후 9월에서부터 월 평균 5°C씩 하강하기 시작하여 익년 1월까지 하강을 계속하는 특징을 보인다. 본 연구 지역의 이러한 대기의 기온변화는 직접적으로 물의 순환 과정에 영향을 준다. 특히 증발, 증발산, 식물의 성장 등은 물의 양적인 면에 영향을 주며, 기온의 차이에 의한 식물의 성장 여부 등은 유출 현상과 물의 흐름 상태에도 많은 영향을 끼치고 있다. 본 지역의 기온 변화에 따른 물의 흐름상태의 정량적 분석은 아래의 증발산 계산과 지표 유출 계산에서 설명하였다.

○ 증발산량(ETR) : 증발산은 수면으로부터의 증발과 식물로부터의 증발을 합한 것으로서 수분이 기체 상태로 대기로 환원되는 모든 것을 포함하는 것이다. 이는 기상학적 인자 이외에도, 식물의 종류, 색깔 농도, 식물의 밀도, 성장 속도, 잎 표면 크기 등 식물 요소뿐만 아니라 토양의 공극률, 투수계수, 입자의 크기, 토양의 함수율 등에 직접적으로 영향을 받기 때문에 증발산량 산정은 자유수면 및 식물의 표면으로부터의 증발량이 계산되어야 한다. 본 연구에서 이용된 Turc 공식(Warren Viessman et al., 1989)에 의한 증발산량 계산은 토양내 포함되어 있는 수분의 증발과 지표면 식물에 의한 증발산량을 포함한 것으로, 본 연구 지역내 평균 기온과 강수량 자료를 이용하여 다음과 같이 산출

하였다(1992년도 기준).

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0.9 + P^2L^2}}$$

여기서 $L = 300 + 250T + 0.05T^3$, $P = 990.1mm$, $T = 11.8^\circ C$, $L = 677.2mm$ 이다. 본 계산 결과에서 연구지역의 증발산량(ETR)은 568mm로 계산되었다.

○ 지표 유출 및 충전량 : 강우량으로부터 침투에 의한 손실을 뺀 값, 즉 초과 강우량 또는 지표유출량 계산방법에는 SCS방법(FHWA/RD-81, 1981)을 이용하였으며, 초과 강우량(excess rainfall) 또는 직접 유출량(direct runoff)을 구하는 방법으로서 다음과 같은 간단한 공식이 이용되고 있다.

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P} \quad \dots\dots\dots ①$$

여기서 F는 시간(t)에서 흙의 저류량, S는 흙이 완전 포화되었을 경우 저류량, Q는 직접 유출량(mm), P는 누적 강우량(mm)이다. 즉 강우로부터 발생하는 직접 유출량은 흙이 최대로 저류할 수 있는 양(S)과 실제로 흡수되는 물의 양(F)의 함수로 표시되며, 직접 유출량과 강우량과의 차이이다. 즉 $F = P - Q$ 이며, 이 관계를 식 ①에 대입하면 다음의 ②공식을 얻게 된다.

$$Q = \frac{P^2}{P+S} \quad \dots\dots\dots ②$$

식 ②는 강우가 시작되면서 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 식 ②의 P값에서 초기 손실(Ia)를 제하여야 한다. SCS는 경험에 의하여 $Ia = 0.2S$ 로 만들었으며, 이 관계를 식 ②에 입하여 아래의 ③식을 얻을 수 있다.

$$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \quad \dots\dots\dots ③$$

$(P < 0.2S \text{ 이면 } Q = 0)$

따라서 S의 결정은 침투의 진행 상태에 따라 크게 다르며, 또한 침투는 흙 지표의 종류등에 따라 다르기 때문에 그러한 조건에 따라 S를 구하는 방법은 다음의 공식을 이용하였다(FHWA/RD-81, 1981).

$$S = \frac{25,400 - 254}{CN} \quad \dots\dots\dots ④$$

여기서 CN은 Curve Number로서 SCS에서 흙의 종류 및 지표의 상태에 따라 정한 지수이다. 식③, ④를 사용하여 직접 유출 또는 초과 강우량을 계산하는데 있어서 고려되어야 할 사항은 다음 세가지로 구분된다 : (1)흙의 종류, (2)토지의 사용 용도, (3)흙의 초기 함수상태. 따라서 위의 세가지 요소는 식 ④의 CN값에 의하여 직접 유출량 계산에 반영되었으며, CN 값도 이에 따라 구분되어야 한다. 이러한 계산을 위하여 흙의 종류를 유출 발생 가능 정도에 따라 Table 1과 같이 A,B,C,D의 네가지로 분류하였다. Table 3-(A)는 조사 지역내 토지 사용에 따른 CN값을 제시하고 있으며, 이는 흙의 초기 함수상태가 보통인 경우의 값이다(Table 2). 흙의 초기 함수 상태 결정은 선행 강우(antecedent precipitation)에 따라 구분된다. Table 3-(A)에서 얻은 각종

Table 1. SCS classification of soil

흙의 분류	특 징
A	최저유출발생가능성(Lowest runoff potential) 이 있는 진흙, silt가 거의 없는 깊은 모래층 또는 자갈층
B	유출발생가능성이 A분류보다는 높은(Moderately low runoff potential) 사질토이며 침투율은 평균보다 높으나 다소 진흙이나 silt가 포함된 흙
C	유출발생가능성이 B분류보다는 높은(Moderately high runoff potential) 흙으로서 진흙과 silt가 많이 섞여 얇은 층을 구성하며 침투율은 평균보다 다소 낮은 흙
D	유출발생가능성이 가장 높은(High runoff potential) 흙으로서 대부분이 진흙과 silt로서 불투수층과 직접 접하여 있는 흙

Table 2. AMC(Antecedent Moisture Condition) of soil

분류	흙의 초기함수상태(AMC)		비 고
	휴 한 기	성 속 기	
I	<12.7mm	<36mm	매우건조상태
II	12.7-28.0mm	36-53mm	보 통
III	>28.0mm	>53mm	매우포화상태

Table 3. SCS Curve number(CN)

(A) AMC II for selected agricultural, suburban and urban land use

청주지역 지표구성	km ²	%	(N)값	가중평균 값
Waters	31.1	6.3	98	6.2
Forests	152.9	31.1	77	24.1
Agricultural lands	153.4	31.2	78	24.3
Barren lands	80.9	16.4	86	14.1
Alluvium	58.0	11.8	86	10.1
Residential area	10.4	2.1	90	1.9
River deposits	5.7	1.1	91	1.0
Total	492.4	100.0		81.7=82

(가중평균값=(%/100)×CN값)

(B) CN and S(Storage) for AMC I, III

초기함수조건	I	II	III
CN값	65	82	93
S값	137	56	19

Table 4. Total runoff(Q) of Cheong-ju area(1992.1-1992.12)

Date	Precipitation(mm)	AMC	CN	S	Q(mm)
4/ 9	19.6	II	82	56	1.1
4/10	39.1	II	82	56	9.3
4/21	21.8	II	82	56	1.7
5/ 7	60.1	I	65	137	6.3
7/10	25.8	II	82	56	3.0
7/12	17.5	II	82	56	0.6
7/17	43.1	II	82	56	11.6
8/12	33.6	II	82	56	6.4
8/14	30.0	II	82	56	4.7
8/15	17.4	III	93	19	5.7
8/25	46.7	I	65	137	2.4
8/26	15.0	III	93	19	4.2
8/27	83.2	III	93	19	64.1
9/ 7	16.0	II	82	56	0.4
9/24	97.1	I	65	137	23.5
9/29	13.2	III	93	19	3.1
12/8	14.4	II	82	56	0.2
Total					148.3

평균 CN값 82는 초기 함수 II에서의 값이므로 이를 I, III의 값으로 바꾸면 Table 3-(B)와 같이 된다. 따라서 식 ③과 식④를 이용하여 연구지역내 1992년도 주요 호우때 일어날 수 있는 총 유출량과 각 지표 요소별 유출량 계산결과가 Table 4,5에 수록되었다. Table 5의 총 강수량에 대한 총 유출량 비율(Runoff Potential Ratio ; R.P.R=TQ/P)은 각 요소들의 전체 강수량(P : 990mm)에 대한 전체 유출량 (TQ)의 비율을 나타내며(Fig.1-A), 다음절의

Table 5. Actual runoff(Q) and Runoff Potential Ratio(R.P.R) (1992.1-1992.12)

지표요소	년강수량(P:990mm)중 요소별 총유출량(mm) (TQ)	총강수량(P)에 대한 총유출량(TQ)의 비율(%) (R.P.R=TQ/P)	면적 (%)	요소별 실유출량 (mm) (Q)	실유출량비(%) (Q/148.3)
Water(하천)	331.8	33.5	61.3	21.08	14.2
Forests(삼림)	107.37	10.8	31.3	33.4	22.5
Agricultural lands (전답, 경작지)	110.13	11.1	31.2	34.36	23.2
Barren lands (공한지)	180.0	18.3	16.4	29.65	20.0
Alluvium(충적층)	180.4	18.2	11.8	21.28	14.3
Residential areas (주거지)	259.52	26.2	2.1	5.44	3.7
River deposits (하상퇴적물)	281.35	28.4	1.1	3.09	2.1
총 계			100.0	148.3	100.0

*총강수량(P)에 대한 총유출량(TQ)의 비율(Runoff Potential Ratio:R.P.R(%))=TQ/P

*Water의 실유출량(Q)계산:148.3mm-각 요소별 실유출량의 합=21.08mm

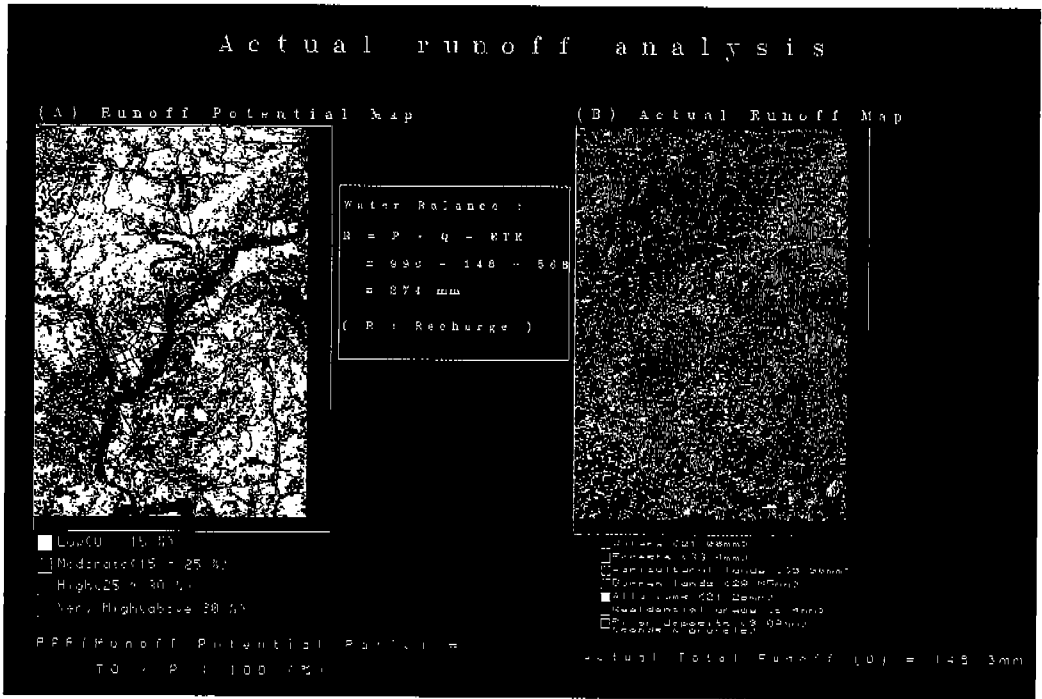


Fig. 1 Actual runoff map

지하수 광역적 오염 분석을 위한 GIS 모델의 초기 자료로서 사용되었다. 또한 실 유출량 비는 각 요소들의 실 면적이 고려된 실제 총 유출량(Q: 148mm)에 대한 각 요소들의 유출량 비를 표시한 것이다(Fig.1-B). 계산 결과 총 강우량 990mm 중 실 지표유출량은 148mm로써 강우량중 14.9%에 해당된다. 결국 연구지역의 물수지균형(water balance)은 년평균 강수량(P) 990mm 중 148mm가 지표로 유출(Q)되고, 568mm가 증발산(ETR)되며 나머지 274mm가 지하로 유입(R: recharge) 되는데, 이중 일부는 토양 내로 저장되고 그 나머지는 대수층 내로 침투되어 지하수위를 형성하는 실 충전량(net recharge)으로 계산된다($R = P - Q - ETR = 990 - 148 - 568 = 274$ mm).

지하수의 광역적 오염 가능성 분석

EPA(Envorinmental Protection Agency)의 DRASTIC(Aller et al, 1985) 모델을 기본으로 개발된 본 모형(Table 6)은 기본적으로 다음의 6개 요소를 중심으로 분석되었다; 지하수위(depth to water table), 충전량(recharge), 대수층 구성물질(aquifer media), 토양특성(soil media), 지형경사(slope), 대수층의 수리상수(hydraulic conductivity of the aquifer). 여러 형태의 기본 자료들로부터 취득된 정보들이 상기 요소들을 분석하기 위하여 환경지질정보시스템내에 공통 데이터베이스와 목적 데이터베이스로 구분되어 종합적인 환경지질 데이터베이스를 구축시켰다. 공통 데이터베이스는 지형 등고, 시추자료 등 1차 가공 처리가 가능한 자료들의 집합체로 구성시켰으며, 목적 데이터베이스는 토양도, 지

Table 6. Regional model for groundwatee protection
(Aller, 1985 : Kim et al., 1992)

Resource data	weight	rating
depth to water table	5	1-10
recharge	4	1- 5
aquifer media	3	1- 8
soil media	2	1-10
topography(slope)	1	1-10
hydraulic conductivity of the aquifer	3	1- 8

질도, 토지 이용도 등이 포함된다. 특히 충전량 분석을 위한 목적 데이터베이스는 앞절에서 계산된 지표 유출량과 물 수지분석 자료들에 의하여 이루어졌다. 또한 지하수위, 대수층 성질, 투수계수 등 지하지질 정보들은 농어촌진흥공사의 수맥도(1983-1991)와 지하수 조사자료(1970-1991)를 기초로 414공의 시추 자료로부터 추출되어 본연구 목적에 맞게 재정리하여 환경지질정보시스템내에서 시추자료 데이터베이스를 구축한 후 여러 종류의 필요한 정보(지하수위, 토양 두께, 투수계수 등)들을 추출, 분석시켰다. 본 모델의 정확도는 이러한 기본적인 환경지질, 수리역학 자료들의 취득 과정과 방법에 크게 좌우될 수 있기 때문에 많은 주의를 필요로 한다. Aller(1985)와 Griner(1989)의 연구를 기본으로 설계, 개량된 본 모델의 등급 구분 내용설명은 아래와 같다.

○ 지하수위(Table 7-A) : 시추자료와 야외조사(우물, 하천)를 통하여 작성되었으며, 고지대의 자료는 충분치 못하였다. 등급 구분은 Griner의 등급에 맞추어 7개의 등급이 주어졌으며, 10이 최고 등급(0-1.5미터)으로써 가장 문제가 있는 지역이다. 실제 본지역의 지하수위는 대부분 10-20미터 내외로 추정

되며, 특히 충적층지역에서의 지하수위는 2.5-5미터 내외로 조사되었다(농어촌진흥공사, 1983-1991).

○ 대수층 물질(Table 7-B) : 기본적인 수리지질단위 구분에 의하여 이루어져야 하며, 본 연구에서는 일반 지질(청주지역 지질도, 1974)과 시추자료(농어촌진흥공사, 1970-1991)를 기초로 화강암류, 편암류, 편마암류 및 토사층(충적층)으로 4대 구분되었다. 연구지역 북서부지역에서는 선캠브리아기의 흑운모 편마암(Biotite gneiss)들의 분포가 우세하고, 본역의 대부분을 차지하는 주라기의 흑운모 화강암(Biotite granite)과 반상 화강암(Propyritic granite)들이 이들을 관입한 형태로 나타나며, 이러한 일반 지질상황은 상기의 광역적인 수리지질단위 구분의 기초가 되었다.

○ 토양(Table 7-C) : 농촌진흥청 정밀토양도(1977)와 일부지역의 토양시료 분석을 통하여 SCS 및 통일분류법에 맞추어 재 분류된 후 분석이 이루어졌다. 대부분의 토양은 모암(화강암, 편마암류)의 영향으로 SM(silty sands), SC(clayey sands)가 주분포를 보이며, 편마암지역의 일부는 ML(silts and very fine sands)로 분류되고 하상 부근의 충적층은 GP (poorly graded gravels)가 주류를 이룬다. 위와 같은 분석을 기초로 토양 등급을 GP(10), SP(9), SM(8), SC(7), ML(4)의 5구분으로 나누었다.

○ 충전량(Table 7-D) : 앞절에서 분석된 R.P.R(Runoff Potential Ratio, Table 5)은 연구지역의 지역적인 충전량에 대한 등급설정(1-5)을 가능하게 하였다. 특히 토지 이용 요소들에 따른 지표 유출량의 정량적 분석은 지역 충전량 등급 구분을 위하여 반드시 선행됨이 바람직하다.

○ 지형 경사분석(Table 7-E) : 지형도(1 : 25,000)로 부터 추출된 등고선(Digital Line Data)는 지형 경사분석을 위하여 TIN(Triangulated Irregular Network) 형태의 자료구조로 변환한 후 경사도가 작성되었으며, 등급 구분은 Aller(1985)의 일반적 분류를 적용하였다. 본역의 남동부를 제외한 지역은 대부분 완만한 경사를(25% 미만) 보이고 있으며, Aller의 구분은 본역의 이러한 지형적 특성상 무리가 없는 것으로 간주되었다.

○ 투수계수(Table 7-F) : 본 요소를 전 대상지역에 대하여 인지하는 것은 일반적으로 불가능하다. 본 연구를 위하여 시험 시추자료에서 획득한 투수량계수(T)와 포화대두께(A)에 의하여 대부분 이 값들을 산출한 후 ($T=K \times A$), 컴퓨터상에서 내삽법을 이용하여 투수계수의 등곡선들이 추출되어 분석되었다. 풍화도와 기반암 상태에 따라서 이 값은 많은 변화를 보이나, 본지역에서 실시된 시험시추 깊이(약 20미터 내외)를 고려할 때 그들에 대한 분석에는 많은 제한이 뒤따른다. 본지역의 대략적인 투수계수를 화강암류 $4.6 \times 10^{-5} - 3.2 \times 10^{-4} \text{m/sec}$, 변성암류 $10^{-4} - 4.6 \times 10^{-4} \text{m/sec}$, 토사류(충적층) 10^{-3}m/sec 이하 등으로 그 특성에 따라서 3등급으로 구분하였다. 정밀 분석을 위하여는 아주 많은 시험시추, 물리탐사 및 현장조사를 통하여 좀더 자세한 대수층의 수리역학 성질이 인지되어야 한다.

PI(Pollution Index)와 광역적 지하수 오염 분석도

최종 오염 가능성 구분을 위하여는 앞절에서 설명된 각 요소내의 영향 등급이 설정된

Table 7. Ranges and ratings for susceptibility of groundwater contamination.

(A) depth to wear

range(meter)	rating
0 - 1.5	10
1.5 - 3.0	9
3.0 - 9.0	7
9.0 - 15.0	5
15.0-21.0	3
21.0-30.0	2
30.00이상	1

(B) aquifer media

range	rating	typical rating
sands and gravels(alluviums)	6-9	8
geniss	3-5	5
schist	3-5	4
granite	3-5	3

(C) soil media

soil media	rating
GP(poorly graded gravels, gravel-sand mixtures)	10
SP(poorly graded sands, gravelly sands)	9
SM(silty sands, poorly graded sand-silt mixtures)	8
SC(clayey sands, poorly graded sand-clay mixtures)	7
ML(inorganic silts and very fine sands, silty or clayey fine sands with slight plasticity)	4

(D) recharge

(R.P.R:Runoff Potential Ratio)

R.P.R(%)	Runoff	Area(%)	지표 요소	recharge (rating)
0-13	Low	62.3	산림 및 전답	5
13-20	Moderate	28.2	광한지, 충적층	4
20-27	High	3.2	주거지	2
270이상	Very high	6.3	하, 하상퇴적물	1
		100		

(E) topography(slope)

slope(%)	rating
>8	5
12-18	4
6-12	3
3-6	2
0-3	1

(F) hydraulic conductivity(K)

hydraulic conductivity(m/day)	rating
0-28($0-3.2 \times 10^{-4}$ m/sec)	4
28-80($3.2 \times 10^{-4}-4.6 \times 10^{-4}$ m/sec)	6
>80 ($> 10^{-3}$ m/sec)	8

후, 그 요소들이 오염 가능성에 미치는 중요성을 고려하여 가중치가 결정되어야 한다. 가중치도 연구지역의 환경 및 수문학적 특성을 고려하여 정하여져야 하며, 본 연구에서는 Aller(1985)의 일반적 기준과 지역적 특성을 감안하여 아래와 같이 결정하였다 (Table 6) : 지하수위(5), 충전량(4), 대수층 구성물질(3), 토양특성(2), 지형경사(1), 대수층의 수리계수(3). 최종 오염도 작성을 위하여는 PI(Pollution susceptibility Index)를 계산하여야 하며, 이는 EPA의 DRASTIC 계수 계산방법에 의하여 산출하였다. 즉 최종 중첩되는 지역들에 대하여 각 요소들의 등급(r)과 가중치(w) 곱의 총합으로 계산되며 PI값이 높을수록 오염 가능성이 높은 지역으로 평가될 수 있다. 사용자 입장에서 이러한 GIS 모델 적용시 고려되어야 될 가장 중요한 사항은, GIS 모형에 의한 분석이 대상지역의 1차 광역적 분석이며 최종적 오염 결과 분석이 아닌 점을 명심하여야 한다. 연구지역에서

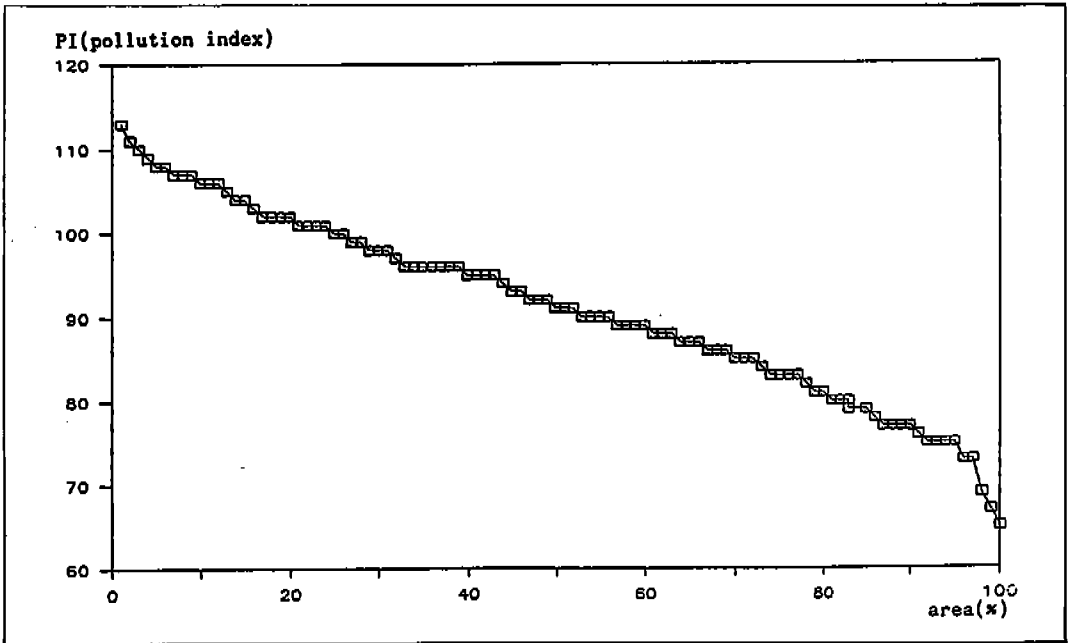


Fig. 2 Percentage cumulative curve(area vs. PI)

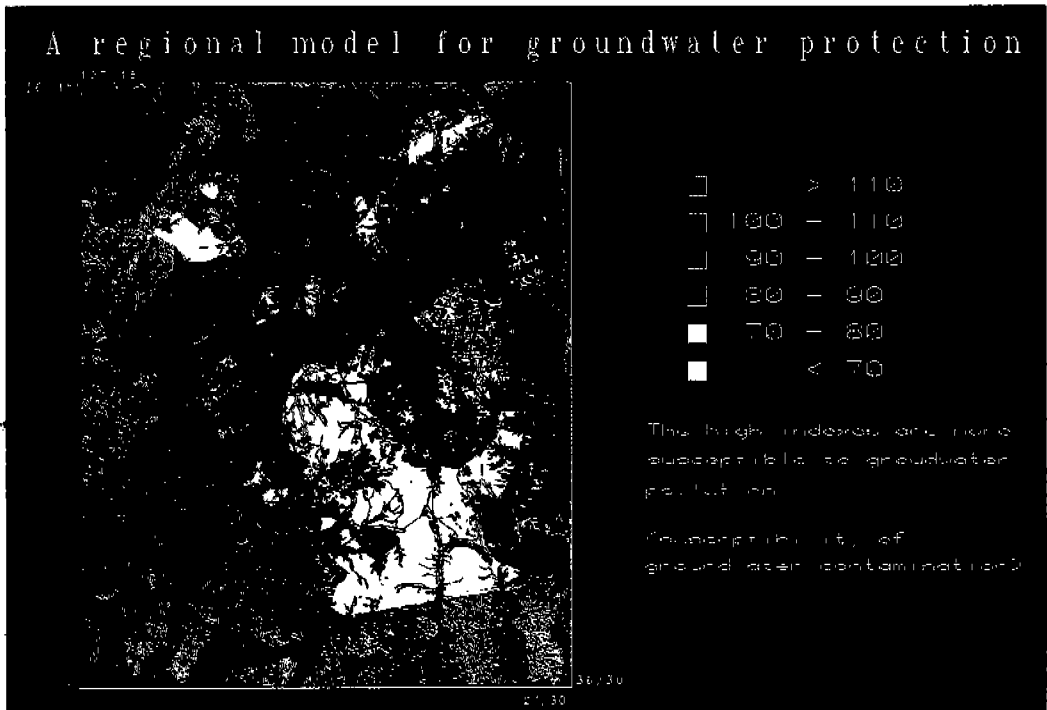


Fig. 3 A regional model for groundwater protection

Table 8. Frequency of PI(Pollution Index)

RENCO	FREQUENCY	PI	AREA(m ²)	RENCO	FREQUENCY	PI	AREA(m ²)
1	1	0	-3.90005E+08	39	1,699	87	11,246,520.000
2	1	45	4,843.152	40	1,715	88	9,588,220.000
3	4	45	4,848.152	41	2,020	89	15,274,326.000
4	4	49	8,223.189	42	2,038	90	15,124,395.000
5	2	52	4,040.827	43	2,172	91	12,485,678.000
6	3	53	10,898.350	44	1,658	92	12,342,709.000
7	30	55	154,056.000	45	1,446	93	6,737,625.000
8	9	56	27,852.470	46	1,410	94	5,913,795.000
9	20	57	83,767.870	47	1,631	95	15,331,793.000
10	34	58	65,668.000	48	1,566	96	27,759,960.000
11	56	59	265,424.300	49	1,199	97	5,920,766.000
12	4	60	73,441.090	50	1,565	98	10,198,570.000
13	13	61	35,900.270	51	1,008	99	5,503,841.000
14	19	62	119,204.900	52	1,703	100	9,320,559.000
15	269	63	1,342,281.000	53	1,442	101	17,807,680.000
16	17	64	54,761.910	54	1,406	102	16,819,170.000
17	579	65	4,076,556.000	55	1,061	103	5,535,960.000
18	220	66	820,118.100	56	1,122	104	7,531,298.000
19	472	67	4,658,899.000	57	936	105	5,786,362.000
20	353	68	1,179,367.000	58	1,275	106	8,978,363.000
21	452	69	2,963,761.000	59	843	107	10,374,590.000
22	113	70	1,257,454.000	60	599	108	6,319,041.000
23	194	71	1,392,206.000	61	458	109	3,133,571.000
24	108	72	653,207.200	62	294	110	1,867,986.000
25	1,033	73	7,576,475.000	63	340	111	2,391,867.000
26	134	74	425,567.200	64	223	112	1,330,406.000
27	1,802	75	13,195,045.000	65	198	113	2,213,005.000
28	931	76	4,345,508.000	66	155	114	788,207.900
29	1,394	77	13,032,914.000	67	162	115	917,273.500
30	980	78	3,517,019.000	68	56	116	188,754.100
31	1,426	79	8,128,784.000	69	64	117	411,089.500
32	918	80	11,052,749.000	70	22	118	84,644.090
33	1,210	81	8,295,214.000	71	29	119	227,464.700
34	836	82	4,820,408.000	72	17	120	72,400.590
35	1,925	83	14,016,980.000	73	15	121	37,598.340
36	683	84	2,448,966.000	74	2	122	3,033.030
37	2,209	85	11,438,662.000	75	3	123	350.688
38	1,288	86	12,886,053.000				

최종 계산된 PI의 범위는 45-123의 범위(Table 8)를 보여 주었으며, 최종 오염 가능성도 작성을 위한 PI값과 그의 면적 분포에 대한 누적 곡선이 작성되었다(Fig.2). 이 곡선의 분석은 70과 110부근의 변곡점들에 의하여 PI 구분을 위한 상한치(110 이상)와 하한치(70 이하)를 결정시켰으며, PI값이 96인 지역이(7%) 가장 넓은 면적 분포를 보여 준다. 또한 PI값 95, 96, 97 부근을 제외하고 곡선의 기울기는 심한 변화를 보이지 않고 있다. 이러한 결과는 연구지역의 오염 가능 분석도 작성을 위한 PI값의 구분을 10단위로 설정케 하였으며(70이하, 70-80, 80-90, 90-100, 100-110, 110 이상), 그들에 대한 면적 분포 비율을 Table 9에 표시하였다. PI값은 오염가능성에 상대적인 수치로써, 값이 클수록 오염 가능성이 높은 지역으로 분석되며, 최종 1차 지하수 오염 가능성에 대한 광역분석도(Fig.3)가 위의 PI 등급에 의하여 6등급으로 구분되어 작성되었다. 1차 분석 결과에서 가장 문제가 되는 지역은 본역의 주요 하천인 미호천, 무심천 부근 및 이들 하천과 인구 밀집지역 사이의 비교적 완만한 지형경사 지역으로 나타났다.

결 론

본 연구를 위하여 다양하고 많은 양의 환경 및 수문정보들이 여러 전문가들에 의하여 종합 분석되었으며, 그들을 통일된 환경지질 정보시스템에서 체계적으로 구현시킬 수 있었다. 이러한 것이 GIS의 중요한 기능 중 하나이며, 환경수문학 연구분야에서의 GIS의 활용은 점차 확대될 전망이다. 동시에 그를 위한 수자원 정보시스템 연구가 필수적으로 요구된다. 지표 유출량 분석도는 대상지역의 환경지질 및 수문학적 연구를 위한 필수 정보이며, 연구지역의 물 수지균형 분석을 위한 중요한 자료이다. 또한 미국 EPA의 모형을 기초로 개발된 광역적 지하수 오염 분석 모델은 대상지역의 적용에 있어서 지하 지질 자료의 부족에도 불구하고 비교적 만족할만한 결과를 보여주었다. 이와같이 GIS기술은 환경수문학의 종합적 분석에 아주 중요한 역할을 하고 있으며, 금번 연구를 통하여 구현된 환경지질정보시스템은 그 활용성이 확실히 증명되었다. 동시에 GIS 모형들의 내부 설계는 대상지역의 환경수문학적 특성에 따라서 재 조절될 수 있으며, 이러한 모형들은 1차 광역적 조사를 위한 것으로써 추후 문제점이 제기 된 지역들에 대한 정밀 조사가 필수적으로 시행되어야 한다. GIS 기술의 적용에서 가장 중요한 점은 초기 자료들의 정확성과 대상지역의 환경지질학적 평가이다. 금번에 GIS를 이용하여 개발된 기술들은 지하수의 광역적 오염 방지대책 수립을 가능케 함은 물론, 환경지질 정보학의 새로운 분야 개발에도 큰 의의가 크다. 동시에 본 기술은 전 국토의 자연 자원관리를 위하여 국토자원 종합정보시스템 개발의 기초 기술로 활용될

Table 9. PI classification

PI	area(%)	remarks
greater than 110	2	*MIN: 45,
100-110	22	MAX:123
90-100	29	
80-90	27	
70-80	17	
below 70	3	
total	100(%)	

수 있으며, 국토 기본도들의 자동화 생산 기술에도 적극 적용될 수 있다.

참 고 문 헌

기상년월보(청주지역), 1986-1992. 기상청.
 김연기, 성익환, 조병욱, 임정웅외, 1992. 한국 수문지질도 및 보고서(가남지역), 한국 자원연구소.
 김윤중, 김원영, 유일현, 백종학, 이현우, 류중희, 1990. 쓰레기 매립장 부지선정을 위한 GIS 활용연구, 대한원격탐사학회, Vol.6, No.2, pp.135-151.
 김윤중, 김원영, 유일현, 1992. GIS Technology for analysing regional geologic hazard, 지질공학회지, Vol.2, No.2, pp.131-140.
 수맥도 조사보고서, 1983-1991. 농어촌진흥 공사.
 지하수 조사보고서, 1970-1982. 농어촌진흥 공사.
 정밀토양도(청주시, 청원군 및 연기군), 1977. 농촌진흥청, 농업기술연구소.
 청주지역 지질도(1/50,000), 1974. 국립지질광 물연구소.
 환경지질고 작성기법연구(I), 1992. 한국자원연구소.
 환경지질도 작성기법연구(II), 1993. 한국자원연구소.
 Aller, L., T. Bennette, J. H. Lehr, and R. J. Petty, 1985. DRASTIC: A standardized system for evaluatin ground water pollution potential using hydrogeologic settings, National Water Well Association, EPA/600/2-85/018, May 1985.
 Carver, S. J., 1991. Integrating multi-criteria

evaluation with geographic information systems, In. J. Geographical Information Systems, Vol.5, No.3, pp.321-339.

Dicks, S., and R. Christianson, 1991. A GIS based model for identifying lands acquisition for water resource protection, GIS/LIS '91 proceedings, 28 October-1 November 1991, Atlanta Georgia, pp.219-228.
 Ehteshami, M., R. C. Peralta, H. Eisele, H. Deer and TW. Tindall, 1991. Assessing pesticide contamination to groundwater: a rapid approach, Ground Water, Vol.29, No.6, pp. 862-868.
 FHWA/RD-81/060, 1981, Extension of the soil conservation service rainfall-runoff methodology for ungaged watersheds, Federal Highway Administration Office.
 Goodchild, M. F., 1991. Integerating GIS and environmental model as global scales, GIS/LIS '91 proceedings, Oct-Nov. 1991, Atlanta Georgia, pp.117-126.
 Griner, A. J., 1989. The automation of DRASTIC - A regional model for mapping susceptibility of groundwater contamination, GIS /LIS '89 proceedings, November 26-30. 1989, Orlando Florida, pp.679-684.
 Kim, Y. J., Kim, W. Y., Yu, I.H., Seo, D.J., and Yang, Y.K, 1992. Analysis of regional geologic(landslides) hazards using GIS technology, XVII ISPRS Congress, Washington, August 1992.
 Kim, Y.J., J. Chorowicz, C. Ichoku and S. Riazonoff, 1992. A combined algorithm for automated drainage network extraction, Water Resources Research, Vol.28, No.5, pp.1293-

1302.

- Mullen, M. P., 1991. A GIS technology for ground water assessments, GIS/LIS '91 proceedings, 28 October-1 November 1991, Atlanta Georgia, pp.243-252.
- Robinove, C. J., 1986. Principles of logic and the use of digital geographic information systems. U.S. Geological Survey Circular 977.
- Randquist, D. C., A. J. Peters, L. Di, D. A. Rodekohl, R. L. Ehrman and G. Murray, 1991. Geocarto International (2), pp.51-58.
- Warren Viessman, JR., Lawis, G.L. and Knapp, J.W., 1989. Introduction to Hydrology, pp. 55-107.
- Zaporozec, A., 1989. Hydrogeologic mapping for

groundwater protection, Recent advances in ground-water hydrology, American Institute of Hydrology, pp.588-597.

김윤중, 성익환, 김원영, 유일현 :
한국자원연구소
대전시 유성구 가정동 30번지
305-350
TEL : (042) 868-3057
FAX : (042) 861-9720

박준동 :
서울대학교 지리학과
서울특별시 관악구 신림동
151-742