

DRASTIC SYSTEM을 이용한 지하수 오염 가능성 및 위험 분석 연구

이사로*·김윤종*

Analysis of Groundwater Pollution Potential and Risk using DRASTIC System

Sa - Ro Lee · Youn - Jong Kim

요 약

지하수 오염가능성을 분석하기 위한 DRASTIC 시스템은 미국 EPA(Environmental Protection Agency)에서 개발한 것으로 수리지질학적 요소들을 이용하여 상대적으로 오염가능성을 평가하는 표준화된 시스템이다. DRASTIC 시스템은 우물(취수정) 위치선정, 쓰레기 매립지 적지선정, 토지이용 등에 지하수 보호 기초자료로 이용될 수 있고, 지하수 오염 감시 목적과 정화를 위해 이용되기도 한다. 본 연구는 이 시스템을 사용하여 충주호 주변지역의 광역적인 지하수 오염 가능성을 GIS(Geographic Information System)를 활용하여 분석하였다. 금번 연구에 사용된 수리지질학적 요인은 지하수위, 충전량, 대수층, 토양, 경사, 수리 전도도 등이다. 또한 충주호 주변의 실제 오염자료(질소, 인)들의 일부 정량적 분석치를 이용하여 지하수의 비점오염원에 대한 위험도를 분석하였다. GIS 데이터베이스를 활용하여 출력된 도면들은 지하수 오염 가능성 및 위험 정도를 한눈에 쉽고 빠르게 파악할 수 있게 하였으며, AML(ARC Macro Language)로 작성된 그래픽 사용자 인터페이스 프로그램은 많은 양의 분석자료들을 빠른 시간에 손쉽게 처리할 수 있게 하였다.

ABSTRACT: DRASTIC system developed by U.S.EPA, is widely used for assessing groundwater pollution potential. The system can be applied to site selection of well or waste disposal, landuse planning for groundwater protection, and monitoring. In this study, GIS(Geographic Information System) was established hydrogeological database of DRASTIC system and cartographic modeling to asses regional groundwater pollution potential around Chungju Lake. Hydrogeological factors of the system were depth to water, net recharge, aquifer media, soil media, slope and hydraulic conductivity. Risk of groundwater pollution to non-point source pollution, was also analyzed by incorporation of actual pollution sources(N, P) and DRASTIC system. The GIS data could be very quickly analysed hydrogeological characteristics of the study area by graphic user interface programs developed with AML(ARC Macro Language) of ARC/INFO.

* 한국자원연구소(Korea Institute of Geology, Mining & Materials, 30 Kajung-dong, Yusug-ku, Taejon, Korea, 305-350, Tel.(042)868-3052)

서 론

국내에서는 1970년대 이후 정부기관과 각 산업체에서 농업, 공업 및 생활 용수로 지하수 자원의 적극적 개발과 이용에 높은 관심들을 보이고 있으나, 지하수 자원의 보존과 오염 방지에는 중점을 두지 못하는 실정에 있다. 지하의 대수층내로 오염물질이 침입하여 지하수가 오염된 경우에 자연적으로 오염물질이 대수층으로 부터 완전히 제거되는데 걸리는 시간은 수백-수천년이 소요되며, 또한 이를 정화하려면 엄청난게 많은 비용과 시간이 소요된다. 그리고 만약 오염된 지하수를 사용할 경우 그 피해는 더욱 커질 수 있다. 따라서 지하수가 오염되기 이전에 철저한 오염 방지대책과 관리가 필요하며, 이를 위해 먼저 지하수 오염 가능성에 따른 과학적이고 적절한 지하수의 관리 방안 마련이 필요하다. 본 연구에 사용된 DRASTIC 시스템은 수리지질학적 요인을 분석하여 광역적으로 지하수 오염 가능성을 평가하는 표준화된 시스템으로 1987년 미국 EPA에서 개발되어 현재 널리 이용되고 있다. 금번 연구에서는 이러한 DRASTIC 시스템을 이용하여 충주호 주변의 지하수 오염가능성을 분석하였으며, GIS를 도입하여 관련 자료의 데이터베이스 구축, 분석, 출력 등을 수행하였다.

DRASTIC 시스템

DRASTIC 시스템은 1987년 EPA에서 개발된 시스템으로 수리지질학적 요인을 사용하여 지하수 오염 가능성을 상대적으로 평가하기 위한 시스템이다. 이 시스템은 강우로 인해 오염물질이 물과 섞여서 지표면에서 지하수로 이동된다는 가정하에 개발된 시스템으로 특정지역 평가방법이 아닌 광역적(100 acres 이상) 분석 시스템이다.

DRASTIC 시스템에서의 수리지질학적 요인은 지하수 오염 가능성에 영향을 끼치는 물리적 특성을 가진 요인들로 아래와 같다.

지하수위까지의 깊이	D-Depth to water
충진량	R-net Recharge
대수층 매체	A-Aquifer media
토양 매체	S-Soil media
지형 혹은 경사	T-Topography or slope
비포화대 매체의 영향	I-Impact of vadose zone media
수리 전도도	C-hydraulic Conductivity

이러한 DRASTIC 시스템은 우물(취수정) 위치 선정, 쓰레기 매립지 적지선정, 토지이용 등에 지하수 보호를 위한 기초 자료로 활용될 수 있으며, 지하수 오염 감시 목적에도 이용될 수도 있다. 즉 오염가능성이 많고 토지이용이 잠재적 오염원인 지역에 더 많은 지하수 감시 시스템이 설치될 수 있고, 또 오염이 발견된 후에는 정화와 복구 노력에 대한 자원의 효율적 배치를 위해 이용될 수 있다. 비록 DRASTIC 시스템은 오염 발생지역은 알 수 없지만, 더 높은 오염 가능성을 가진 지역을 확인할 수 있고 그 지역에 대한 정화 노력을 더 집중시키는 정책을 세우는 자료를 제공하게 되는 것이다.

각 DRASTIC 요소는 다른 요소와의 상대적인 중요성으로 평가된다. 이러한 상대적 중요성은 가중치(Weight)로 나타내며, 각 요소에 대하여 1부터 5까지 부여되고 지하수 오염에 영향을 미치는 가장 중요한 요소의 가중치는 5이다(Table 1; Aller et al.,

Table 1. Assigned weights for DRASTIC features(Aller et al., 1987).

Feature	Weight
Depth to Water	5
Net Recharge	4
Aquifer Media	3
Soil Media	2
Topography	1
Impact of the Vadose Zone Media	5
Hydraulic Conductivity of the Aquifer	3

DRASTIC SYSTEM을 이용한 지하수 오염 가능성 및 위험 분석 연구

1987). 또한 각 DRASTIC 요소는 오염 가능성에 대해 영향을 주는 지역 혹은 매체 종류로 분류되며 이것을 범위(Range)라 한다. 이러한 범위는 오염가능성에 대한 다른 범위의 상대적 중요성을 결정하는 것으로서 등급(Rating)이라 하며, 각 DRASTIC 요소는 1부터 10까지의 값을 가지는 등급이 할당된다.

지하수 오염 가능성 분석은 최종적으로 DRASTIC 지수(오염 가능성 지수)의 계산에 의하여 결정되며, 그의 계산은 아래와 같다.

$$\text{DRASTIC 지수} = DrDw + RrRw + ArA + SrSw + TrTw + Irlw + CrCw \quad (1)$$

(r, w는 각 요소들의 등급과 가중치임)

DRASTIC 지수는 그 값이 높을수록 지하수 오염 가능성이 상대적으로 높고, 반대로 지수값이 낮을수록 지하수 오염 가능성이 낮다는 것을 의미한다.

비점 오염원에 대한 위험 분석

DRASTIC 시스템을 이용하여 지하수의 오염 가능성을 평가한 결과에 대상지역에서 실제로 발생되고 있는 오염원들을 고려하여 분석하면 그 지역의 지하수 오염에 대한 위험성(risk)을 평가할 수 있다. 연구지역의 지하수는 특히 호소주변의 많은 비점원 오염물질들에 의하여 영향을 받는 것으로 생각되며, 호소주변의 농경지에 뿌려지는 농약과 축사들에서 배출되는 분뇨물 등이 중요한 지하수 오염 물질들이다. 이러한 비점원 오염원에 대한 위험 분석을 위하여 충주호 주변지역의 토지이용에 따른 질소(N)와 인(P)에 대한 단위면적(km²)당 1일 동안의 배출량 산출자료가 이용되었다(한국관광공사, 1988). 이 자료를 기초로 토지이용별 질소와 인의 배출량을 백분율로 계산한 범위와 등급을 Table 2와 같이 설정하였으며, 실제로 논과 밭들이 다른지역들에 비하여 아주 높은 등급을 가지고 있다(41, 82). 이 분석결과와 DRASTIC 시스템의 결과를 중

첩기법을 사용하여 처리한 후 최종적으로 질소와 인에 대한 지하수 오염의 위험 분석도를 작성하였다.

Table 2. Ranges and Ratings of N and P for Landuse.

Range	N Rating	P Rating
Field	41	6
Loose Vegetation	9	6
Rice Field	41	82
Residential Area	7	5
Grass	7	5
Dense Vegetation	9	6

(N : Nitrogen, P : Phosphorus)

그래픽 사용자 인터페이스 프로그램

본 사용자 인터페이스 프로그램은 UNIX 환경(SUN OS)에서 ARC/INFO 소프트웨어의 매크로 언어인 AML(Arc Macro Language)을 이용하여 개발되었으며, GIS 소프트웨어에 대해 잘 모르는 초보자도 사용하기 쉽고, 작업을 빠르게 할 수 있도록 작성되었다. 프로그램은 마우스를 이용하여 사용자가 원하는 메뉴를 선택하며 필요한 기능을 실행시킬 수 있다(Fig.1). 또한 여러개의 메뉴를 화면에 동시에 띄어놓고 사용할 수 있고, 메뉴의 위치도 원하는 곳으로 이동시킬 수 있으며, 도움말 기능이 있어 필요할 때는 사용자가 언제나 이용할 수 있다. 본 프로그램은 주메뉴와 하부메뉴로 구성되어 있으며, 주메뉴에 대한 설명은 아래와 같다.

1. Display and Query : 지하수위까지의 깊이, 충전량, 대수층 매체, 토양 매체, 경사, 수리전도도 등에 관한 화면표시, 확인, 선택, 속성값 출력.
2. General DRASTIC System : 일반 DRASTIC system 분석 및 그 결과에 대한 화면표시, 확인, 선택, 속성값 검색.

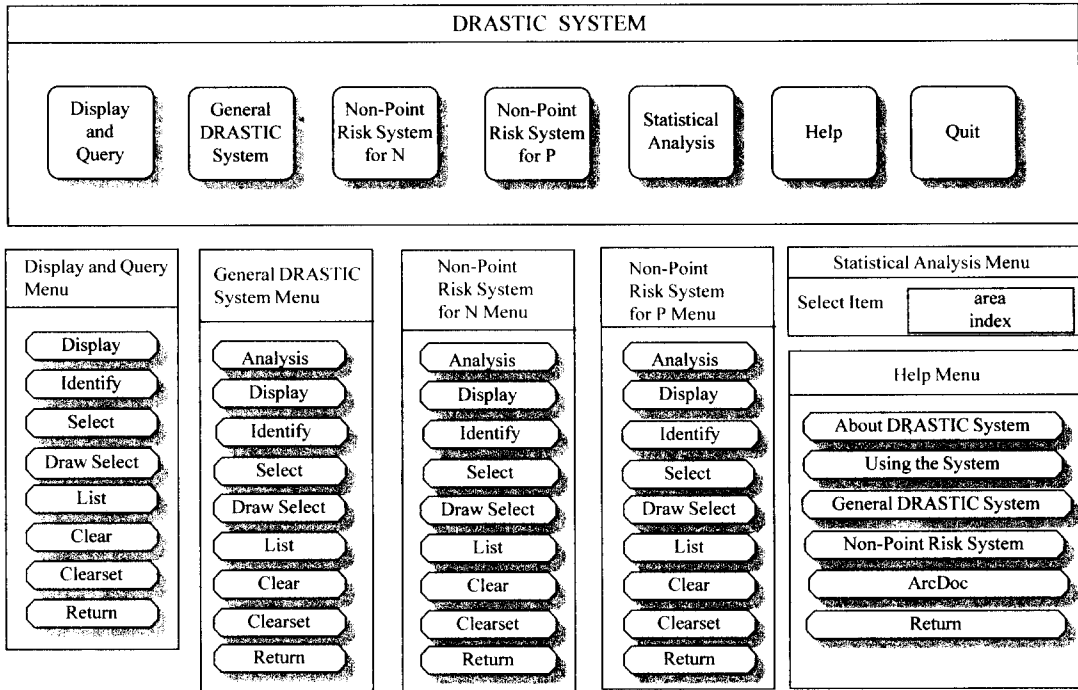


Fig. 1 Graphic user interface menu system

3. Agricultural DRASTIC System : 농업 DRASTIC system 분석 및 그 결과에 대한 화면표시, 확인, 선택, 속성값 검색.
4. Risk System : 질소와 인에 대한 비점 오염원 분석 및 그 결과에 대한 화면표시, 확인, 선택, 속성값 검색.
5. Statistical Analysis : 특정 항목에 대한 최대, 최소, 평균, 표준편차, 총합 등 간단한 통계값의 계산.
6. Help : 사용자를 위한 도움말 제공.
7. Quit : 종료.

충주호 주변지역에 대한 적용 연구

금번 연구를 위한 전체적인 자료 흐름은 Fig.2와 같다. 연구지역에 대한 수문 및 환경지질학적 자료 수집, GIS 데이터베이스 구축, DRASTIC 분석을

위한 수리지질학적 요소들의 추출, DRASTIC 및 위험 분석 등이 체계적으로 실시되었다.

연구 지역 현황

본 연구지역은 충청북도의 북동부 지역에 위치하고 있으며 행정구역상 충주시, 단양군, 증원권, 제천군 등으로 구성되어 있다. 축척 1:50,000 지형도상으로는 임정, 제천, 영월, 충주, 덕산, 단양도폭(위도 36° 52'30"-37° 07'30", 경도 127° 22'30"-128° 22'30")의 충주호 주변지역으로 약 1182km² 정도의 면적이다. 중부 내륙의 남한강 중상류 산악지대로서 충주호를 둘러싸고 있는 연구지역은 지질학적으로 옥천 지향사대에 속하는 복잡한 지질구조를 가지고 있다.

데이터베이스 구축

- 시추공 자료 : 수백도(농어촌진흥공사, 1987-

DRASTIC SYSTEM을 이용한 지하수 오염 가능성 및 위험 분석 연구

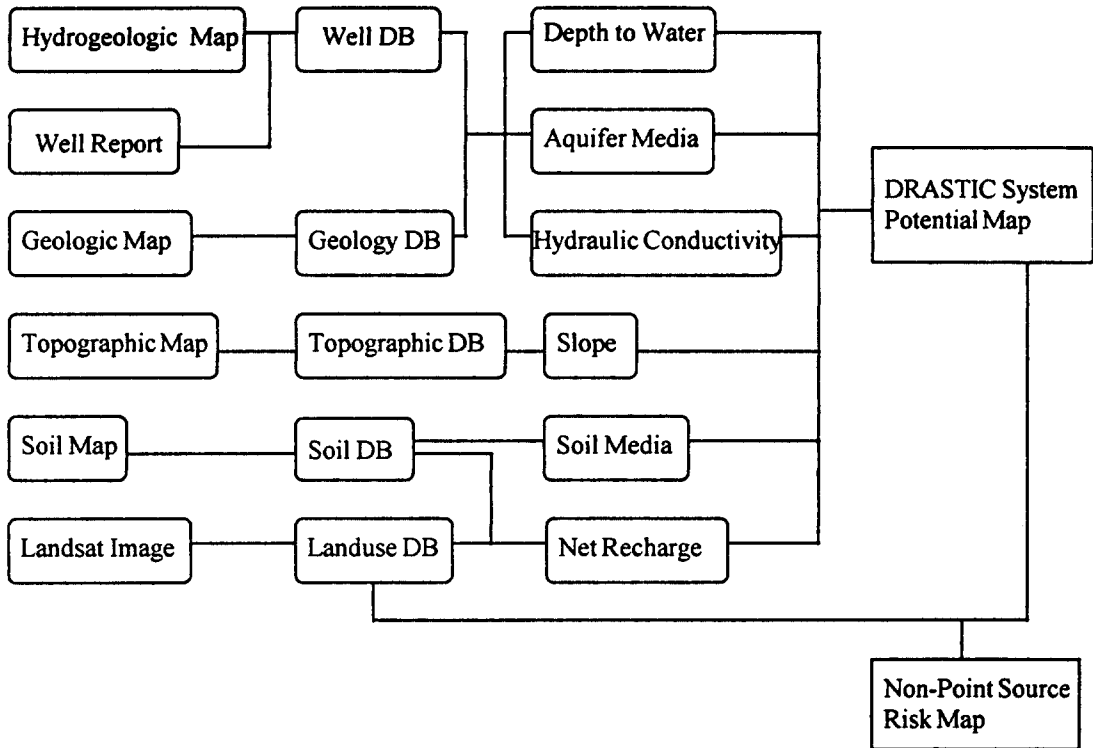


Fig. 2 Data flow diagram

- 1992)와 충주댐 관련 시추조사 자료 등을 이용하여 총 229공에 대한 데이터베이스가 구축되었다. 데이터베이스의 내용은 시추공의 고유 숫자, 시추지점의 표고, 지하수위까지의 깊이, 토양층, 풍화대 및 연암대 깊이 등으로 구성되어 있다.
- 지질 : 지질도상의(국립지질조사소, 1965) 암상과 단층 등이 입력되었다. 수리전도도는 자료의 부족으로 일부 시추공 데이터와 암상자료를 토대로 등급설정의 위한 넓은 범위가 주어졌으며, 실제 분석에 있어서는 DRASTIC 시스템(Aller et al., 1987)의 제시된 수리전도도 분류 범위가 넓어 그 구분에 큰 어려움이 없었다. 사용된 지질도는 목계, 제천, 영춘, 충주, 황강리, 단양 도폭이며, 데이터베이스는 넓이, 둘레, 암상, 대수층 등급, 수리전도도 등급 등

의 속성자료를 포함하고 있다.

- 토양 : 1978년 농촌진흥청 농촌기술연구소에서 발간한 정밀 토양도(1:25,000)가 입력되었다. 토양 매체들의 넓이, 둘레, 토양분류, 등급 등이 토양 속성표를 구성하고 있다.
- 토지이용 : 연구지역의 토지이용도를 작성하기 위하여 Landsat TM 인공위성 영상(1991년 3월)이 이용되었다. 수치 영상처리를 이용하여 인공위성 영상으로부터 토지이용을 구분한 후에 ARC/INFO 자료로 변환시켜 토지이용 데이터베이스를 구축하였다.
- 지형 : 축척 1:50,000 지형도(국립지리원)를 이용하여 등고, 도로망, 철도망, 수계, 집 및 도시 등으로 분류, 입력하였으며, 벡터 등고자료를 TIN 구조로 변경하여 지형 경사도를 구하였다.

수리지질학적 요소들의 범위와 등급

DRASTIC 시스템을 적용하기 위한 연구지역의 수리지질학적 요인들 즉 지하수위까지의 깊이, 충전량, 대수층 매체, 토양 매체, 경사, 수리전도도들에 대한 범위와 등급 설정에 대한 설명은 다음과 같다. 비포화대의 영향은 자료 부족으로 분석에 포함시키지 못하였다.

- 지하수위까지의 깊이(Fig.3-A):시추공 데이터베이스내의 총 229개공에 대한 자료들로부터 회귀분석법을 이용하여 연구지역의 지하수위를 전체적으로 분석하였다. 넓은 연구대상지역에 대하여 지하수위 자료의 부족과 지역적 편중은 이러한 분석을 통해서만이 전체적인 분석을 가능하게 할 수 있었으며, 그 관계식은 다음과 같다.

$$wt = 0.990185203 \times s - 3.32505955, r^2 = 0.985 \quad (2)$$

(s:지표 고도, wt:지하수위)

상관계수(r^2)는 0.985로 비교적 높은 값을 보여주었으며, (2)식을 이용하여 계산된 연구지역의 지하수 깊이 범위와 등급, 면적은 Table 3과 같다.

Table 3. Ranges and ratings of depth to water.

Range(m)	Rating	Area (km ²)	Area Ratio (%)
less than 4.5	9	132.3	11
4.5-9.1	7	969.9	85
more than 9.1	5	42.9	4

- 충전량(Fig.3-B):이값을 구하기 위한 지표 유출량 계산(김윤종외, 1995)은 SCS(Soil Conservation Service) 방법이 이용되었다. 증발산량은 보완관계식을 이용한 토지이용별 한강유역의 증발산량 추정값(신사철 외, 1995)을 이용하여 구하였으며, 차단량(Intercept; Table

4)은 다음과 같은 Horton의 식을 이용하여 구하였다(선우중호, 1983).

$$INT = a + bp \quad (3)$$

(INT:차단에 의한 손실(차단량), p:총강우량, a,b:토지이용별 차단손실 계수)

이 식은 특정강우에 대하여 차단에 의한 손실을 계산하는 식이다. (3)식에 의하여 계산된 결과들과 다음 (4)식을 이용하여 토지이용별 침투량(Infiltration; Table 4)을 구하였으며, 이 값들이 DRASTIC 시스템의 충전량(Net recharge) 범위와 등급 결정에 활용되었다 (Table 5).

$$INF = P - R - E - INT \quad (INF:침투량, P:강우량, R:유출량, E:증발산량, INT:차단량) \quad (4)$$

- 대수층 및 토양 매체(Fig.3-C,D):연구지역의 수리지질학적 평가를 통하여 지질과 토양 데이터베이스로부터 그들에 대한 범위, 등급 및 면적들이 계산되었다(Table 6,7). 또한 지형경사 구분(Fig.3-E)은 벡터 등고자료로부터 경사도가 작성되어 Table 8에 정리되었다.
- 수리전도도(Fig.3-F):지질 및 시추공 데이터베이스로부터 작성된 수리전도도 구분(Table 9)은 암상자료를 기본으로한 수리전도도의 넓은 범위가 설정되었으며, 추후 시추조사 등 정밀조사를 통하여 일부 보완되어져야한다.

DRASTIC SYSTEM을 이용한 지하수 오염 가능성 및 위험 분석 연구

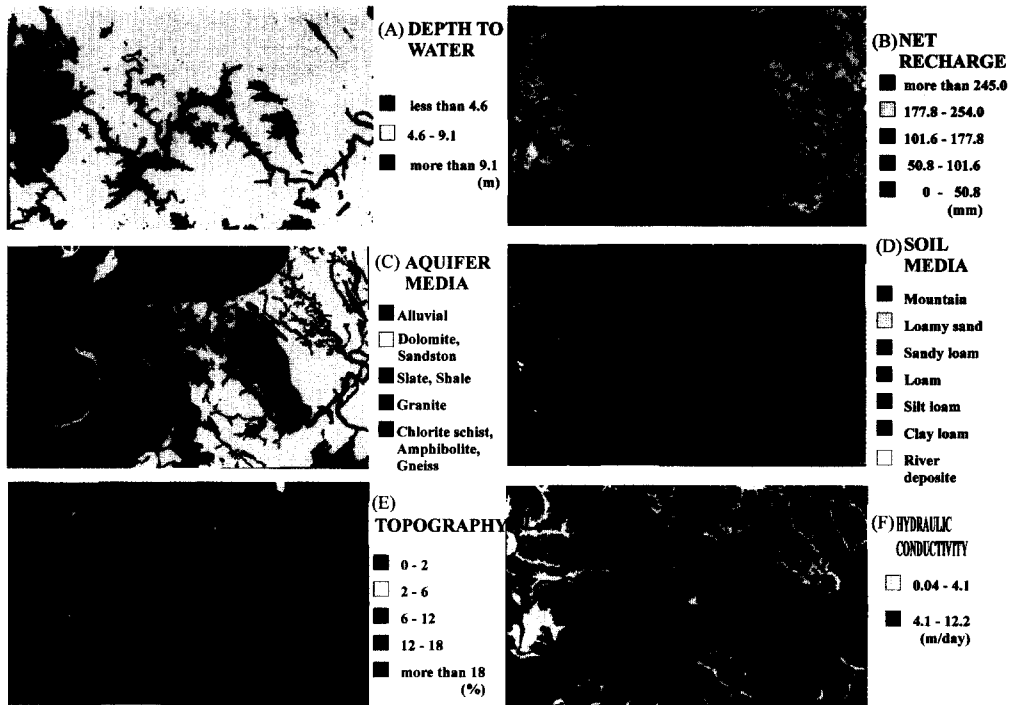


Fig. 3 Data layers of DRASTIC system

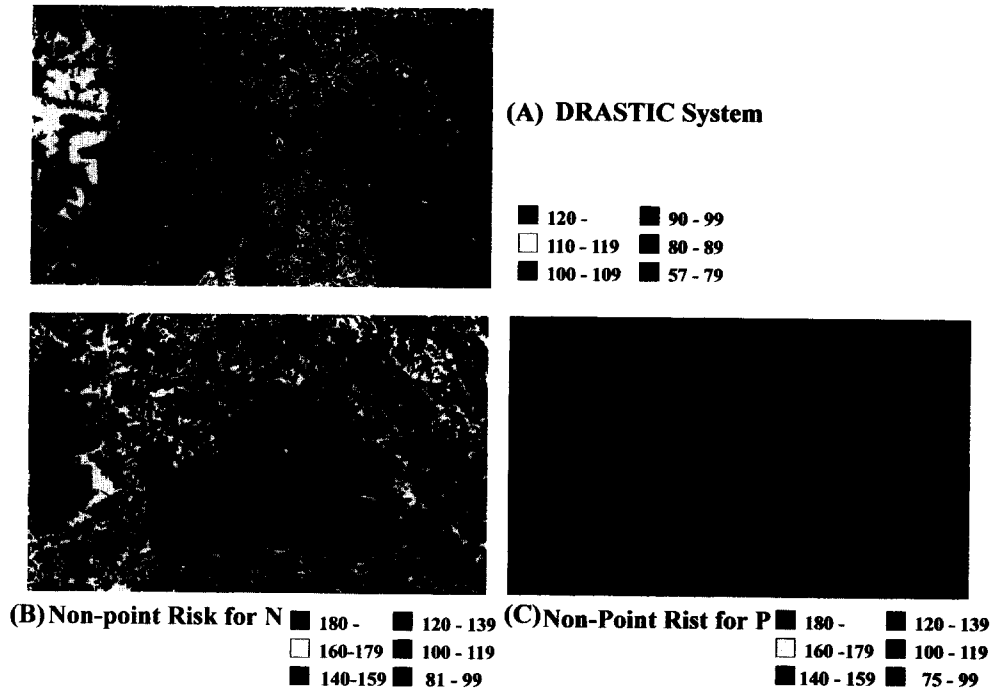


Fig. 4 Analysis of groundwater pollution potential and risk by DRASTIC system

Table 4. Runoff, evapotranspiration, intercept and infiltration for landuse and soil type (mm)

Landuse	Soil Type	Area Ratio (%)	Precipitation (P)	Runoff (R)	Evapotranspiration (E)	Intercept (INT)	Infiltration (INF)
Vegetation (loose)	A	8.2	1442.7	130.5	612.5	249.5	450.17
	B	27.4	1442.7	278.2	612.5	249.5	302.45
	C	6.5	1442.7	393.7	612.5	249.5	186.92
	D	2.4	1442.7	495.7	612.5	249.5	84.98
Vegetation (dense)	A	1.8	1442.7	21.6	626.8	266.7	527.62
	B	5.4	1442.7	156.1	626.8	266.7	393.06
	C	1.4	1442.7	276.9	626.8	266.7	272.27
	D	0.9	1442.7	359.1	626.8	266.7	190.15
Rice Field	A	6.7	1442.7	296.7	667	130.9	348.06
	B	3.0	1442.7	428.6	667	130.9	216.19
	C	5.4	1442.7	580.7	667	130.9	64.12
	D	0.9	1442.7	688.0	667	130.9	-43.25
Field	A	4.7	1442.7	200.9	667	130.9	443.93
	B	15.0	1442.7	291.9	667	130.9	352.93
	C	4.0	1442.7	376.2	667	130.9	268.56
	D	1.9	1442.7	428.5	667	130.9	216.34
Grass	A	0.3	1442.7	34.6	626.8	277.7	623.50
	B	0.5	1442.7	173.7	626.8	277.7	484.43
	C	0.2	1442.7	291.9	626.8	277.7	366.24
	D	0.2	1442.7	376.3	626.8	277.7	281.78
Residential Area	A	0.7	1442.7	358.5	230.4	0	853.79
	B	0.9	1442.7	512.3	230.4	0	700.05
	C	0.6	1442.7	640.0	230.4	0	572.34
	D	0.7	1442.7	710.4	230.4	0	501.88

Table 5. Ranges and ratings for net recharge.

Range(mm)	Rating	Area (km ²)	Area Ratio (%)
0-50.8	1	18.4	2
50.8-101.6	3	36.4	3
101.6-177.8	6	1.8	0
177.8-254.0	8	164.4	15
more than 254.0	9	872.0	80

DRASTIC SYSTEM을 이용한 지하수 오염 가능성 및 위험 분석 연구

Table 6. Ranges and ratings of aquifer media.

Aquifer media	Rating	Area(km ²)	Area Ratio(%)
Alluvium	8	117.9	10
Dolomite and limestone	6	389.0	34
Sand and shale, limestone and shale, slate and shale	5	2.5	1
Granite	4	308.8	27
Silicate, chlorite schist, amphibolite, gneiss	3	313.0	28

Table 7. Ranges and ratings of soil media.

Soil media	Rating	Area (km ²)	Area Ratio (%)
Mountain	10	330.6	29
Loamy sand	9	0.8	0
Sandy loam	6	229.7	20
Loam	5	273.1	24
Silt loam	4	65.8	6
Clay loam	3	229.1	20
River deposite	2	5.7	1

Table 8. Ranges and ratings of slope.

Range	Rating	Area (km ²)	Area Ratio (%)
0- 2	10	462.4	40
2- 6	9	2.8	1
6-12	5	15.2	1
12-18	3	21.1	2
more than 18	1	643.6	56

Table 9. Ranges and ratings of hydraulic conductivity.

Range(m/day)	Rating	Area (km ²)	Area Ratio (%)
0.04- 4.1	1	1027.2	90
4.1-12.2	2	117.9	10

분석 결과

DRASTIC 시스템의 수리지질학적 요인들을 GIS를 이용하여 각각 지도화(Fig.3)하고 이들을 중첩, 분석하여 DRASTIC 지수의 분포를 분석 및 분류하였다.

식 (1)에 의한 DRASTIC 시스템의 분석 결과값인 DRASTIC 지수(오염 가능성 지수)는 총 58791개의 다각형에 대해 최소값이 57, 최대값이 139였으며, 평균값은 104.7, 표준편차는 12.0이었다(Table 10). DRASTIC 지수를 각각의 면적비율 고려하여 대분류하고 지도로 작성하여 연구지역의 지하수 오염 가능성을 쉽게 파악하도록 하였다(Fig.4-A). 충주호 주변지역에 대한 지하수 오염 가능성 분석 결과는 대체로 충주시와 충주시 위쪽 지역, 제천군 지역이 상대적으로 지하수 오염 가능성이 높게 나타났다으며, 단양군, 증원군 지역은 지하수 오염 가능

Table 10. Ranges and area of DRASTIC index.

Range of index	Area(km ²)	Area ratio(%)
0~ 80	35.1	3
80~ 90	31.4	3
90~100	317.3	29
100~110	363.8	33
110~120	236.7	22
more than 120	104.3	10

성이 낮게 나타났다.

비점 오염원에 의한 지하수 오염의 위험 분석은 DRASTIC 시스템에 토지이용별로 질소(N)과 인(P)의 발생량을 더한 것으로 N에 의한 위험도와 P에 의한 위험도 2가지로 분류하였다. 이것은 실제로 지하수가 N과 P에 대한 오염의 위험도를 상대적으로 분석한 것이다. N에 대한 비점 오염원에 의한 위험 분석 결과(Fig.4-B)는 총 102892개의 다각형에 대해 최소값이 81, 최대값이 207이었으며, 평균값은 143.4, 표준편차는 29.0이었다. 그리고 P에 대한 비점 오염원에 의한 위험 분석 결과(Fig.4-C)는 총 102892개의 다각형에 대해 최소값이 75, 최대값이 277이었으며, 평균값은 143.4, 표준편차는 38.3이었다. 이 값들이 높을수록 N과 P에 대한 지하수 오염의 위험도가 큰 것을 의미하는 것이며, 제천군, 충주시 주변 등이 N과 P에 대한 위험도가 큰 지역으로 분류되었다.

결론 및 토의

본 연구는 DRASTIC 시스템을 이용하여 충주호 주변지역에 대한 광역적 지하수 오염 가능성 및 위험성을 분석하였다. 이를 위하여 사용된 GIS와 그래픽 사용자 인터페이스 프로그램들은 여러 검색 및 분석 단계들을 자동화함은 물론 많은 양의 수리 지질학적 자료들을 빠른 시간에 손쉽게 처리할 수 있게 하고, 또한 경제적으로 연구지역의 지하수 오염 가능성에 대해 평가할 수 있게 하였다.

1. 넓은 대상지역에 대하여 지하수 오염 가능성과 위험 분석을 GIS를 이용하여 정확하고, 쉽고, 빠르게 분석할 수 있었다.
2. 그래픽 사용자 인터페이스를 개발하여 GIS와 지하수 오염에 대한 전문지식이 없는 사람도 쉽게 자료들을 분석 하고 결과를 이용할 수 있게 하였으며, 마우스를 이용하여 사용자가 필요한 메뉴를 선택할 수 있게 하였다.

3. 충주호 주변지역에 대한 지하수 오염 가능성 및 위험 분석 결과는 대체로 충주시 지역과 충주시 위쪽 지역, 제천군 지역이 상대적으로 지하수 오염 가능성이 높게 나타났으며, 단양군, 증원군 지역은 상대적으로 지하수 오염 가능성이 낮게 나타났다.

4. 지하수위, 비포화대 및 물수지 분석을 위한 기초 자료의 부족으로 정확한 지하수 오염 분석에는 한계가 있었다. 그러나 넓은 연구지역에서는 1차적으로 DRASTIC 시스템에 의한 지하수 오염 가능성 분석이 최대한 정확 신속하게 그리고 경제적으로 선행된 후, 국토개발, 토지이용 등의 사업들이 이루어져야 한다. 좀 더 정확한 분석을 위해서는 앞으로 시추 및 현장 조사에 의한 정확한 지하수문 자료들을 획득하여 연구지역의 물수지를 평가하고, 그 결과를 지하수 오염 자료와 비교 검토함으로써 우리 환경에 맞는 DRASTIC 시스템을 개발, 적용하여야 한다. 결국 이러한 시스템들은 추후 국내의 체계적인 지하수 관리 체계 확립을 위하여 보다 적극적으로 활용되어져야만 된다고 생각된다.

참고 문헌

- 김기동, 1994, 지하수 거동 및 오염 해석을 위한 지리정보시스템 적용에 관한 연구 : GIS 사용자 Interface 개발. 연세대학교 지질학과 석사논문.
- 김윤종, 성익환, 김원영, 유일현, 박준동, 1993, 수자원 관리와 보호를 위한 GIS 활용연구. 지질공학회지, 제3권, pp.253-266.
- 김윤종, 유일현, 김원영, 류주형, 이영훈, 민경덕, 1995, GIS를 이용한 충주호 주변의 비점원 오염 분석연구, 한국 GIS 학회지, 제3권, 제1호, pp.1-18.
- 류주형, 1995, 지리정보시스템을 이용한 충주호 주변 지역의 비점 오염원 분석. 연세대학교 지질

DRASTIC SYSTEM을 이용한 지하수 오염 가능성 및 위험 분석 연구

- 학과 석사논문.
- 선우중호, 1983, 수문학, 동명사.
- 수맥도 조사보고서(충청북도), 1987-1992, 농어촌진흥공사.
- 신사철, 澤本正樹, 김치홍, 1995, NOAA-AVHRR data를 이용한 증발산량추정. 한국수자원학회지, 제28권, 제1호, pp.71-79.
- 이사로, 1993, 지리정보시스템을 이용한 청주지역의 광역적 산사태 분석연구. 연세대학교 지질학과 석사논문.
- 정밀토양도(충주시, 증원군, 제원군), 1978, 농촌진흥청, 농업기술연구소.
- 충주댐예정지역 시추조사 보고서, 1968, 한국수자원개발공사.
- 충주호의 수질오염 방지대책 연구, 1991, 원주지방환경처.
- 한국지질도(목계, 제천, 영춘, 충주, 황강리, 단양), 한국자원연구소.
- 환경영향평가서(충주호권역 관광종합 개발계획안), 1988, 한국관광공사.
- 환경지질도 작성 기법 연구(I, II, III), 1994, 한국자원연구소.
- Aller L., Bennett T., Lehr J.H., Petty R.J., and Hackett G., 1987, DRASTIC: A Standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. National Water Well Association, EPA-600/2-87-035
- Ehteshami M., Richard C. P., Hubert E., Howard D., and Terry T., 1991, Assessing pesticide contamination to ground water: A rapid approach. GROUND WATER, Vol.29, pp.862-868.
- Hubert J., and James P. V., 1981, Extension of the soil conservation service rainfall-runoff methodology for ungaged watersheds. Report No. FHWA RD-81 060.
- James W. M., 1994, GIS-based groundwater pollution hazard assessment: a critical review of the DRASTIC model. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol.60, pp.1117-1127.
- Michael J. B. and William D., 1991, Hydrogeological investigations: Data and information management. Computers & Geosciences, Vol.17, pp. 1119-1136.
- Robert J. K., William E. K., Istvan B., Richard L. E., and Paul D. Y., 1994, Correlation between DRASTIC vulnerabilities and incidents of VOC contamination of municipal wells in nebraska. GROUND WATER, Vol.32, pp.31-34.
- Rosen L., 1994, A study of the DRASTIC methodology with emphasis on swedish conditions. GROUND WATER, Vol.32, pp.278-285.
- Thomas A. W. and Alex K. W., 1989, Estimating water-table altitudes for regional ground-water flow modeling, U.S. Gulf Coast. GROUND WATER, Vol.27, pp.333-340.
- Zaporozec A., 1989, Hydrogeologic mapping for ground-water protection, Recent advances in ground-water hydrology. American Institute of Hydrology, pp.588-597.