

## GIS를 이용한 경기도 평택군 지역의 지하수 오염 가능성 평가 연구

### A Study on Groundwater Contamination Potential of Pyungtaek-Gun Area, Kyunggi-Do Using GIS

조시범(Si-Beom Jo) · 민경덕(Kyung-Duck Min) ·  
우남칠(Nam-Chil Woo) · 이사로(Sa-Ro Lee)

**요 약 :** 본 연구는 GIS를 활용하여 미국 EPA에서 개발한 DRASTIC 모델에 구조선 밀도, 토지이용을 추가한 변형된 DRASTIC 모델을 개발하고 경기도 평택군 지역의 지하수 오염 가능성을 평가하고자 하였다. 본 연구에서 추가적인 인자를 사용한 이유는 구조선 밀도의 경우 우리나라의 수리지질 환경에서 대수층은 대부분 암반 대수층인 점을 고려했을 때, 지하수 및 오염 물질 유동에 있어서 구조선의 역할이 매우 중요하기 때문이며, 토지 이용은 점오염원 혹은 비점오염원의 영향을 간접적으로 연구지역에 적용할 수 있기 때문이다. 통계적인 분석을 위하여 각각의 인자별 벡터 레이어를 격자 레이어로 전환하고 각 인자별 상관계수, 3 방향의 주성분 분석에 의한 공분산, 고유치, 고유벡터 등을 구하여 인자들간의 상관관계를 비교 분석하였다. 또한 일반적인 DRASTIC 레이어와 구조선 밀도 레이어, 토지이용 레이어간의 상관계수를 각각 구하고, 이를 각각의 가중치로 적용하여 최종적인 변형된 DRASTIC 모델을 구축하였다. 변형된 DRASTIC 모델을 사용한 결과 일반적인 DRASTIC 모델에 비해 오염 가능 지역이 많이 세분화되었고, 그 결과 오염 가능성이 높은 취약 지역을 구체적으로 구분할 수 있었다.

**Abstract :** This study is providing Modified DRASTIC Model to which lineament density and land use are added as additional factors using geographic information system(GIS), and then to evaluate groundwater contamination potential of Pyungtaek-Gun area in Kyunggi-Do. In this study, the reason for using additional factors is because, in case of lineament density, when we consider that most of aquifer is bedrock aquifer in hydrogeologic environment of the Korea, lineament is very important to flow of groundwater and contamination material, and because land use can reflect indirectly impact of point or non-point source in study area. For statistical analysis, vector coverage per each factor is converted to grid layer and after each correlation coefficient between factors, covariance, variance, eigenvalue and eigenvector by principal component analysis of 3 direction, are calculated. correlation between factors is analyzed. Also after correlation coefficients between general DRASTIC layer and rated lineament density layer and between general DRASTIC layer and rated land use layer are calculated, final modified DRASTIC Model is constructed by using them with each weighting. when modified DRASTIC Model was compared with general DRASTIC Model, contamination potential in modified DRASTIC Model is fairly detailed and consequently, vulnerable area which has high contamination potential could be presented concretely.

#### 서 론

근래에 들어서면서 우리 생활과 직접적으로 관련된 지하수 자원의 중요성에 대한 관심이 날로 급증하고 있고 이에 따라 지하수 오염 방지대책이 많이 논의되고 있다. 그러나 아직까지 지하수 오염 방지에 대한 구체적인 방안이 제시되지 못하고 있고 또한 일반 대중에 대한 홍보도 미비한 상태이다.

본 연구에서는 지하수 오염 가능성 지역을 예측하고 보다 효율적인 지하수 관리를 위해서 정성적인 평가방법인 DRASTIC 모델을 이용하였고, 이 모델을 경기도 남부 평택군 지역에 대

해 적용하여 일반적인 DRASTIC Potential map을 작성하고 행정구역별 지하수 오염 가능성 정도를 평가하고자 하였다. 또한 보다 정확한 지하수 오염 취약성 평가를 위하여 추가적인 인자들을 사용한 Modified DRASTIC Potential map을 구축함으로써 최종적인 지하수 오염 가능성 지역을 선정하며 기존 모델 적용 결과와 비교 분석을 실시하고자 하였다. 연구방법은 Figure 1과 같다.

#### 지형 및 일반지질

본 연구 지역은 경기도 남부 평택군으로써 1개읍, 8개면, 2개동이 포함되는 약 405.8 Km<sup>2</sup>의 면적을 갖는 지역으로써, 이 지역은 경도 126° 45' 00"-127° 15' 00", 위도 36° 45' 00"-37° 10' 00" 사이에 포함된다. 그리고 평택지역은 해수준면에서 최

\* 연세대학교 지구시스템과학과(Dept. of Earth System Sciences, Yonsei University, Seoul, 120-749, Korea)

\*\* 한국자원연구소(Mining & Materials, Korea Institute of Geology, Taejeon 305-350, Korea)

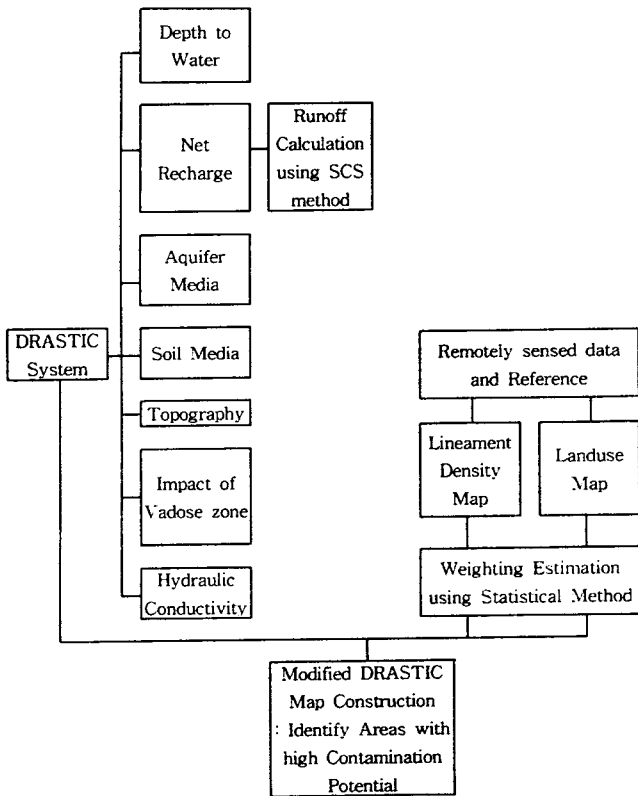


Figure 1. Flow chart for identification of groundwater contamination potential area.

고 150 m에 달하는 기복을 보여주고 있으나 충적층 지대는 해발 10 m 미만이며 능부는 대략 표고 30 m 정도로 낮고 완만한 구릉들로 형성되었다.

본 연구 지역은 대체로 선캠브리아기의 변성암류와 이를 관입한 후기의 화성암류로 양분된다. 전자는 장기간의 광역변성 작용을 받은 퇴적기원의 변성암류로 구성되어 있고, 수차에 걸친 구조조 운동을 받아 지질구조가 매우 교란되어 있다. 변성암류에서 규암과 편암을 위주로 한 암층을 서산층군이라고 하고 그 상부에 평택혼성편마암, 온양편마암, 천안편마암으로 구성된 경기편마암복합체가 점이적으로 놓여있다. 후자인 화성암류는 쥐라기 화성암류와 백악기 화성암류로 구성되어 있고, 쥐라기 화성암류로는 편마상합반정각섬석화강암, 편마상각섬석화강암, 흑운모화강암 등이 분포하고, 백악기 화성암류로는 조립화강암과 맥암류를 들 수 있다. 또한 제 4기의 충적층은 화성암류와 부정합 관계에 있고 모래와 점토 등이 잘 발달되어 있다.

### DRASTIC 정의 및 소개

DRASTIC이란 일정한 지역에서의 지하수 오염 가능성(Groundwater Pollution Potential) 평가 방법으로써 1987년 미국 환경청과 미국 지하수 협회(NGWA)의 전신인 미국정호협회(NWWA)에 의하여 개발된 모델이다(EPA-600/2-87-035).

DRASTIC 모델은 7가지의 인자 즉, 지하수면의 깊이(Depth to water), 충전량(Recharge), 대수층 매질(Aquifer media), 토양 매질(Soil media), 지형(Topography), 비포화대 매질의 영향(Impact of vadose zone), 수리전도도(Conductivity)로 이루어져 있다. 각각의 인자는 지하수 오염에 영향을 미치는 중요도에 따라서 가중치가 설정되어 있으며, 각 인자를 여러 범위로 세분화하여 각각의 범위에 등급이 정해져 있다. 또한, DRASTIC 모델은 다음과 같은 몇 가지 기본 가정에 근거한다.

첫째, 오염원은 지표에 위치한다.

둘째, 오염물질의 지하유입은 강수량에 의존한다.

셋째, 오염물질은 물과 같은 유동성을 갖는다.

넷째, 평가지역은 0.4 Km<sup>2</sup>(100 acres) 이상이어야 한다.

### 데이터베이스 설계 및 구축

#### 지하수면의 깊이

본 연구지역에서의 지하수면의 깊이는 1984년부터 1993년까지의 경기도 전체지역의 약 616 여개 관측공에서 측정된 지하수면의 깊이에 대한 자료를 이용하였고, ARC/INFO GRID 모델에서 관측된 자료를 갖고 내삽함으로써 경기도 전체에 대한 지하수면의 깊이를 유추할 수 있게 하였다. 그런 다음 평택군에 해당되는 부분만을 본 연구에 적용하였다(Figure 2).

본 연구지역에서 지하수면의 깊이에 대한 DRASTIC 모델의 등급분류 결과, 10개 등급중에서 3개의 등급으로 나눌 수 있었고 각 등급에 따른 연구지역의 면적은 Table 1과 같다.

#### 순수 충전량

충진량이란 강우량에서 유출량, 증발산량, 차단량을 뺀 것으로 대수층으로 침투되는 물의 양을 말한다. 강우가 지상에 도달하기까지 낙하 도중의 증발, 식물 등에 의한 차단 등에 의해 강우의 일부는 손실되고 나머지는 지상에 도달하게 된다. 지상에 도달한 강우량의 일부는 흙의 표면을 통하여 침투되고, 그 초과분은 흙의 표면으로 흘러 유출을 형성하게 된다. 본 연구에서는 지표 유출량 계산시 토질과 토지이용에 기초하는 SCS 방법을 이용하였고, 강우량 자료는 수원 측후소(기상월보, 1997)에서 측정된 자료를 이용하였다. 증발산량은 Penman의 경형공식을 이용하였고 식물의 성장기에 따라 토양 수분에 대한 식



Figure 2. Rating map for depth to water.

Table 1. Range, rating, area, area ratio for 9 factors of study area

Factors	Range	Rating	Area (Km <sup>2</sup> )	Area Ratio (%)
Depth to water (m)	4.6~9.1	7	12.1	2.98
	1.5~4.6	9	390.36	96.06
	0.0~1.5	10	3.93	0.97
Net recharge (mm/yr)	0~50.8	1	13.54	3.34
	101.6~177.8	6	4.39	1.08
	177.8~254.0	8	5.36	1.32
	254 +	9	382.67	94.26
Aquifer media	Metamorphic/Igneous	3	199.89	49.18
	Limestone	6	8.82	2.17
	Sand and Gravel	8	195.31	48.06
Soil media	Muck	2	22.14	5.45
	Silty loam	4	104.72	25.77
	Loam	5	209.95	51.66
	Sandy loam	6	48.87	12.02
	Peat	8	5.94	1.46
	Sand	9	2.41	0.59
Topography (%)	18 +	1	1.74	0.44
	12~18	3	7.80	1.98
	6~12	5	35.72	9.04
	2~6	9	132.80	33.63
	0~2	10	216.86	54.91
Impact of vadose zone	Metamorphic/Igneous	4	199.96	49.20
	Limestone	6	204.17	50.24
Hydraulic conductivity (GPD/ft <sup>2</sup> )	1~100	1	8.80	2.17
	700~1,000	6	199.96	49.20
	2,000 +	10	195.37	48.07
Lineament density	0~2.2	1	182.52	44.97
	2.2~4.5	2	91.76	22.61
	4.5~6.7	3	79.02	19.47
	6.7~8.9	4	35.29	8.70
	8.9~11.1	5	17.30	4.26
Land use	All other	0	62.73	15.45
	grass	3	55.55	13.68
	Urban	5	86.91	21.41
	Agriculture land	9	200.80	49.46

Table 2. Precipitation, runoff, evapotranspiration, infiltration for landuse

Landuse	Soil Type	Precipitation (mm)	Runoff (mm)	Evapotranspiration (mm)	Infiltration (mm)
Vegetation (loose)	A	1394.3	58.89	656.445	678.965
	B	1394.3	168.78	656.445	569.075
	C	1394.3	283.77	656.445	454.085
	D	1394.3	384.40	656.445	353.455
Vegetation (dense)	A	1394.3	12.32	656.445	725.535
	B	1394.3	100.38	656.445	637.475
	C	1394.3	207.69	656.445	530.165
	D	1394.3	320.39	656.445	417.465
Rice Field	A	1394.3	225.55	644.71	524.04
	B	1394.3	348.55	644.71	401.04
	C	1394.3	487.76	644.71	261.83
	D	1394.3	582.54	644.71	167.05
Field	A	1394.3	139.05	644.71	610.54
	B	1394.3	220.93	644.71	528.66
	C	1394.3	300.09	644.71	449.5
	D	1394.3	348.55	644.71	401.04
Grass	A	1394.3	44.51	644.71	705.08
	B	1394.3	128.79	644.71	620.8
	C	1394.3	237.89	644.71	511.7
	D	1394.3	337.19	644.71	412.4
Urban	A	1394.3	283.77	588.442	522.088
	B	1394.3	423.58	588.442	382.278
	C	1394.3	535.78	588.442	270.078
	D	1394.3	598.06	588.442	207.798

물의 소비수량이 다른 점(선우중호, 1992)을 고려하여 월별 보정계수를 곱함으로써 식물에 의한 차단량도 함께 고려되도록 하였다. 즉 충전량 = 강수량 - 유출량 - 증발산량(식물에 의한 차단량 고려됨)의 관계식을 이용하였다(Table 2). 연구지역에 대한 범위, 등급, 면적, 면적비율(%)은 Table 1과 같고, 각 등급별 분포는 Figure 3과 같다.

대수층 매질

본 연구지역의 대수층 매질에 대한 자료는 1 : 50,000 축척의 발안(1993), 오산(1973), 아산(1979), 평택(1980)의 지질도폭을 이용하였다.

연구 지역의 지질은 크게 3가지의 대수층 매질 즉, 충적층, 변성/화성암, 석회암으로 구성되었으며, 이를 DRASTIC 모델 인자 등급 기준에 적용해 보면 각 등급별 속성값은 Table 1과

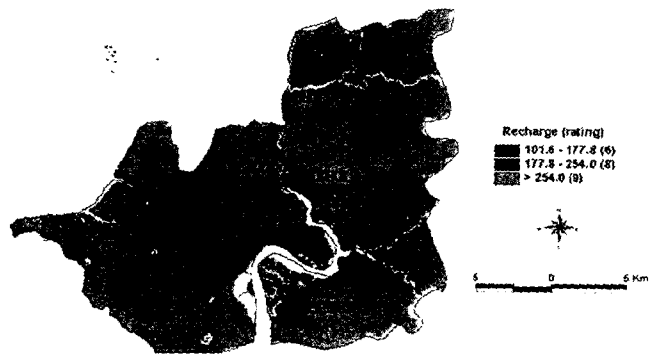


Figure 3. Rating map for Recharge.

같으며, 분포는 Figure 4와 같다.

토양 매질

토양은 활발한 생물활동에 의해서 특징되는 비포화대의 최상부로서 평균적으로 지하 1.6 m내의 풍화대이다(Ailler et al., 1987). 본 연구지역의 토양매질의 특성은 경기도 평택군 지역의 1:25,000 축척의 정밀 토양도를 이용하여 GIS 자료층으로 구축하였고, 이를 DRASTIC 모델 기준에 따라 등급과 가중치를 적용한 결과, 등급이 각각 2, 4, 5, 6, 8, 9인 식토, 미사질 양토, 양토, 사양토, 갈탄, 모래등 6개의 토양분류로 나눌 수 있었다(Table 1, Figure 5).

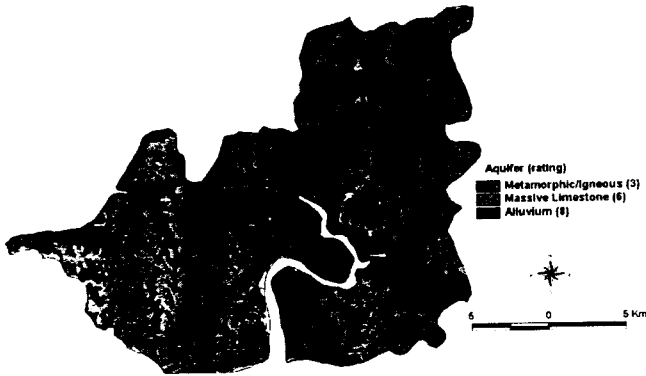


Figure 4. Rating map for aquifer media.

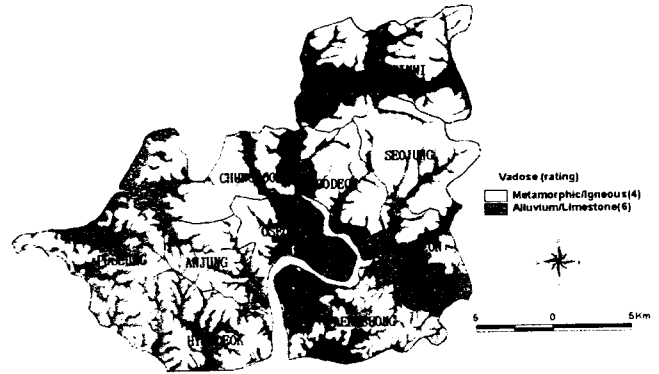


Figure 7. Rating map for vadose zone.

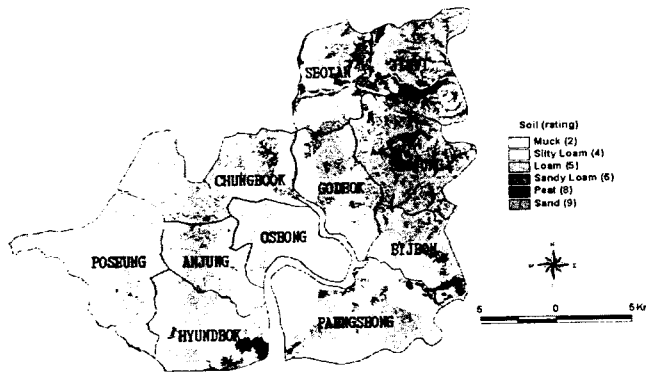


Figure 5. Ratingmap for soil media.

### 지형 경사

지형 경사는 수치고도자료(DEM)를 이용하여 GIS 소프트웨어 중의 하나인 ARC/INFO GRID 모듈에서 경사를 백분율로 계산하였으며, 계산 결과 값들은 DRASTIC 모델 인자의 기준에 적합하도록 등급을 설정하였다. 속성값은 Table 1과 같으며, 분포는 Figure 6과 같다.

### 비포화대 매질의 영향

Cullen *et al.*(1992)는 비포화대를 지표와 지표하에서 최초로 나타나는 최상부 대수층 사이의 지질 단면으로 정의하고 있으나, 본 연구에서는 기초 자료의 부족으로 인하여 기존 수맥도

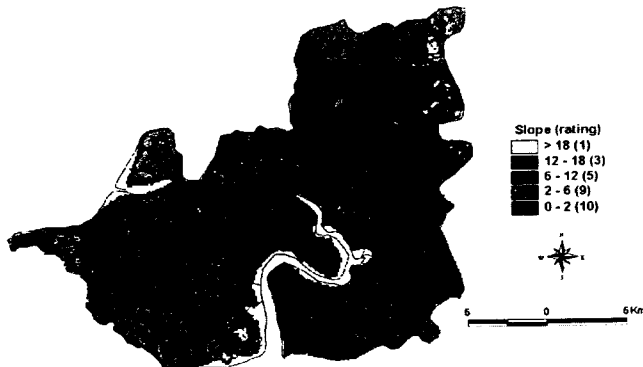


Figure 6. Rating map for Topography.

및 지질도를 이용하여 DRASTIC 모델의 기준에 적용하였다. 그 결과 지역적인 분포는 Figure 7과 같고, 속성값은 Table 1과 같다.

### 수리전도도

수리전도도는 지질도를 이용하여 Freeze and Cherry(1979)가 제시한 암반의 지질특성에 따른 수리전도도의 범위를 적용하였다. 그 결과 3개 그룹의 암석에 따른 수리전도도로 구분할 수 있었고, 그에 따른 속성값은 Table 1과 같으며, 분포는 Figure 8과 같다.

### 토지이용

토지 이용도는 Landsat TM 영상자료를 이용하여 7개의 그룹으로 분류하였고, 미국 남동부 델라웨어 지역에서 지하수 오



Figure 8. rating map for hydroconductivity.

Table 3. Ranges and ratings for landuse (Barry *et al.*, 1990)

Range	Rating
Landfill/dump, Industrial waste disposal	10
Agricultural land, Auto junkyard/salvage	9
Quarries/gravel pits, Other surface mining, Wastewater spray irrigation, Confined feedlots	6
Unconfined feedlots, Miscellaneous urban	5
Golf course, High-density residential	3
Medium-density residential, Seasonal Trailer park	2
Low-density residential, Wastewater treatment plant	1
All other	0

염 취약성 평가를 하기 위해서 Barry *et al.*(1990)에 의해서 제안된 토지이용 분류에 대한 범위와 등급(Table 3)을 적용한 결과 구축된 토지이용 등급도는 Figure 9와 같고 속성값은 Table 1과 같다.

**구조선 밀도**

구조선 밀도는 지질도폭상의 구조선과 1992년 9월 LANDSAT TM 영상자료를 이용하여 분석하였다.

구조선은 높은 투과성의 파쇄대나 암맥과 같이 잠재적인 지하수 유동의 경계요소(flow barrier)로써 작용하는데(Sander *et al.*, 1997). 긴 파쇄대가 지하수 및 오염물질의 유동에 있어서 큰 역할을 한다. 그러나 가장 긴 파쇄대가 지하수 오염에 있어서 반드시 중요한 것은 아니다. 긴 파쇄대는 일반적으로 점토 광물화(clay mineralization) 때문에 누수가 잘 일어나지 않을 수 있고 반면에 작고 중간 정도의 파쇄대는 상당히 높은 투과율과 대규모 누수 문제를 일으킬 수 있기 때문이다(Banks *et al.*, 1993). 따라서 구조선의 분류는 구조선의 길이에 따른 수리지질학적인 특성의 변이에 의해서 매우 복잡해지며 궁극적으로는 같은 특징에 대해서 다중분류(multiple classification)가 필요하다(Wise, 1983).

그러나, 본 연구에서는 단지 파쇄대내에서 지하수내로의 오염물질 유입 가능성만을 고려하였으며 구조선의 다중분류는 하지 않고 구조선 밀도만으로써 이를 반영하고자 하였다. 또한 파쇄대는 모두 투수율이 좋다는 가정하에서 이루어졌다. 결과



Figure 9. Rating map for land use.

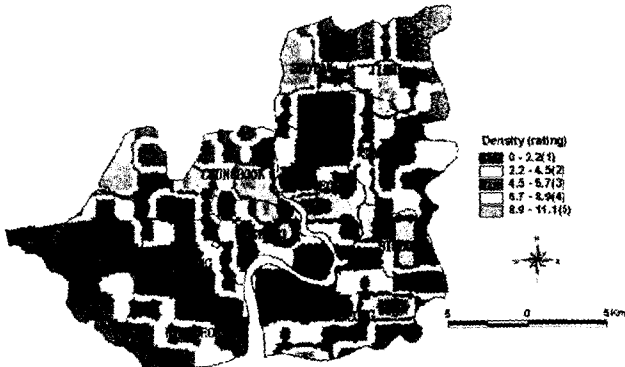


Figure 10. Rating map for lineament density/

적으로 본 연구 지역의 구조선 밀도 등급도는 Figure 10과 같으며, 등급별 속성값은 Table 1과 같다.

**부가인자 사용의 적합성 여부에 따른 통계학적 접근**

부가적인 인자 사용의 필요성에 대한 통계학적인 접근 방법 인자들의 가중치 적용 여부에 상관없이 분산계수(Coefficient of Variance: CV)는 인자의 수가 증가함에 따라 감소하는 경향이 있다. 따라서 DRASTIC 모델이 많은 인자들로 구성되어 있다는 점은 결과의 변이성과 개별 인자들에 대한 잘못된 판단의 영향을 제한할 수 있는 선호적인 특성이라고 할 수 있다(Rosen, 1994). 그러므로 본 연구에서는 부가적인 인자사용의 필요성 및 개별인자에 대한 오류의 가능성을 최소화할 목적으로 분산계수를 이용하였고 다음과 같은 방법에 의해서 구해진다.

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^L (C_{ij} - c_i)^2 \quad (1)$$

여기서,  $c_i$  ( $i=1, \dots, M$ ): 각 인자들에 대한 격자(grid)의 평균 값  
 $C_{ij}$  ( $i=1, \dots, M; j=L$ ): 각 인자들에 대한 격자(grid) 값

$$\sigma_{tot} = \left( \sum_{i=1}^M \sigma_i^2 \right)^{1/2} \quad (2)$$

$$CV = \frac{\sigma_{tot}}{\sum_{i=1}^M c_i} \quad (3)$$

본 연구지역에 대해서 실제적으로 일반적인 DRASTIC 모델에서 구해진 분산계수(CV)와 부가적인 인자(토지이용도, 구조선밀도)를 이용하여 얻어진 변형된 DRASTIC 모델에서 구해진 분산계수를 비교해 본 결과 약 0.02 차이(Table 4)를 보이고 있는데 이는 자료 해석시 일어날 수 있는 오류를 줄이고 좀 더 신뢰성 있는 결과를 유추할 수 있다는 것을 의미한다.

통계학적인 방법을 이용한 부가 인자의 가중치 결정 방법 DRASTIC 모델 인자들은 서로 독립적이지 않고 어느 정도의 상관관계를 갖는다. 이는 인자들 자체보다는 오염 가능성에 있어서 매우 중요한 인자들간의 상호 관계라고 말할 수 있다(Rosen, 1994).

Table 4. Standard deviation, mean and CV for each parameters

DRASTIC Parameters	Standard Deviation	Mean	Coefficient of Variance (CV)
Depth to water	1.52753	8.67	CV <sub>7</sub> = 0.25
(Net) recharge	3.55903	6.0	
Aquifer media	3.5	4.25	
Soil media	3.18479	4.86	
Topography	3.84708	5.6	
Impact of vadose zone	3.05505	3.33	CV <sub>9</sub> = 0.23
Hydraulic conductivity	4.64579	4.25	
Land use	3.77492	4.25	
Lineament density	1.58114	3.0	

Table 5. Correlation coefficient for 9 factors

γ	D	R	A	S	T	I	C	LU	L.D
D	1								
R	-0.0067	1							
A	0.0133	-0.0908	1						
S	-0.0006	0.6156	-0.2846	1					
T	-0.0540	-0.0289	0.2594	-0.1579	1				
I	0.0125	-0.0378	0.9436	-0.2402	0.2435	1			
C	0.0003	-0.0668	0.8493	-0.2143	0.2034	0.8245	1		
L.U	-0.0385	0.0605	0.3578	-0.1145	0.2650	0.3578	0.2873	1	
L.D	-0.0952	0.0332	0.1459	0.0006	0.0995	0.1401	0.1520	0.1243	1
DRASTIC								0.35276	0.15469

(L.U : Land use, L.D : Lineament Density )

따라서, 본 연구에서는 각 인자들간의 상관관계를 구하여 연구 지역내에서의 인자별 특성을 알아보고, 또한, 부가적 인자에 대한 상관계수를 이용하여 이를 가중치로 적용하였다.

본 연구에서 각 인자들간 상관관계는 다음과 같은 방법에 의해서 구하였다.

$$\gamma = \frac{\sum_{k=1}^n c_{ij}}{\sqrt{(\sum_{k=1}^n (z_i - z_m)^2) \times (\sum_{k=1}^n (z_j - z_m)^2)}}$$

여기서, n = 격자형 자료에서 총 격자 수(Nrows×Ncolumes)

i = 처음 입력 격자형 자료의 임의의 격자

j = 두번째 입력 격자형 자료의 임의의 격자

z<sub>i</sub> = 격자 i번째의 값

z<sub>j</sub> = 격자 j번째의 값

c<sub>ij</sub> = i번째 값과 j번째 값의 유사성: (z<sub>i</sub> - z<sub>m</sub>) × (z<sub>j</sub> - z<sub>m</sub>).

Table 5에서 보면 각 인자들은 토지이용이나 구조선 밀도에 각기 다른 상관계수를 나타내고 있는데 본 연구에서는 이들 두 인자의 가중치 결정에 있어서 7가지의 인자가 두 인자에 미치는 영향을 종합적으로 적용하기 위하여 7가지 인자 전체를 중첩시킨 DRASTIC 레이어와 토지이용 레이어, 구조선 밀도 레이어와의 상관계수를 이용하였다. 그리고 상관계수에 10을 곱함으로써 가중치를 1~10 사이의 범위를 갖도록 하였고, 그 결과 토지이용 인자와 구조선밀도 인자는 각각 3.5, 1.5의 가중치를 적용할 수 있었다.



Figure 11. General DRASTIC index.

### 지하수 오염 취약성 평가

Figure 11는 일반적인 7가지의 수리지질학적인 인자들만을 사용해서 얻어진 지하수 오염 가능성을 나타내고 있는 도면이고, Table 6은 Figure 11에 대한 DRASTIC 지수(이하 DI 라고 함)를 분류한 도표로써 일반적인 DRASTIC 모델인 경우에 있어서 DI별 오염 가능성 면적과 지역면적별 DI 면적비율을 보여주고 있다. 오염 가능성 면적이 크다고 해서 이 지역이 오염 가능성이 가장 심각하다고 볼 수는 없는데, 이유는 오염 가능성 면적이 크지만 상대적으로 그 지역이 다른 지역에 비해서 넓은 면적을 갖고 있으면, 최종적인 오염 가능성은 높지 않기 때문이다. 오히려 면적비율을 고려하였을 때 상대적으로 지역적인 오염 가능성 평가가 쉽게 이루어질 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 면적과 면적비율을 모두 고려하였지만 주로 면적 비율에 비중을 두고 평가하였다.

Figure 11에서 최상위 20%(167-193) 범위내 각각 면적별, 면적비율별 오염 가능성 순위(Table 6)를 보면 다음과 같다.

첫째, DI 면적만을 고려한 경우

팽성읍 > 포승면 > 청북면 > 서탄면 > 진위면 > 오성면 > 비전동 > 고덕면 > 현덕면 > 서정동 > 안중면

Table 6. DRASTIC index, area and area ratio for general DRASTIC system within 60%~100%

REGION	AREA (m <sup>2</sup> )	Area (m <sup>2</sup> ) for DRASTIC Index		Area Ratio	
		140~166 (60~80%)	167~193 (80~100%)	60~80%	80~100%
		ANJUNG	25122640	17783857.67	6456076.92
BIJEON	25031428	8346800.65	16291903.81	33.35	65.09
CHUNGBOOK	47241560	26198693.20	18232909.94	55.46	38.60
GODEOK	32015976	19148568.17	12019189.87	59.81	37.54
HYUNDEOK	36853060	23759239.27	9579367.94	64.47	25.99
JINWI	36382280	18164161.02	16394758.66	49.93	45.06
OSUNG	28143302	8805109.99	16346930.40	31.29	58.08
PAENGSEONG	54968752	18823250.27	33626184.79	34.24	61.17
POSEUNG	50076972	24864259.90	22578526.25	49.65	45.09
SEOJEONG	41136096	32568465.67	8053442.38	79.17	19.58
SEOTAN	28939728	5786277.93	16818121.55	19.99	58.11

둘째, 지역면적별 DI 면적비율만을 고려한 경우  
 비전동 > 팽성읍 > 서탄면 > 오성면 > 포승면 > 진위면 > 청  
 북면 > 고덕면 > 현덕면 > 안중면 > 서정동

Figure 12는 최종적인 변형된 DRASTIC map으로써 이는 일  
 반적인 DRASTIC map과 토지이용도, 구조선 밀도도를 중첩시  
 켜서 얻어진 도면이다. 또한 Table 7은 Figure 12에 대한 DI  
 속성값을 나타내고 있다. DI의 최상위 20% 범위내 각 DI 면  
 적별, DI 면적비율별 오염 가능성 순위는 다음과 같다.

첫째, DI 면적만을 고려한 경우  
 팽성읍 > 청북면 > 오성면 > 포승면 > 비전동 > 서탄면 > 진  
 위면 > 고덕면 > 현덕면 > 서정동 > 안중면

둘째, 지역면적별 DI 면적비율만을 고려한 경우  
 비전동 > 팽성읍 > 오성면 > 서탄면 > 진위면 > 청북면 > 고  
 덕면 > 포승면 > 현덕면 > 안중면 > 서정동

상기의 결과는 일반적인 DRASTIC Map의 결과와 비교했을  
 때 중간 정도의 오염 가능성을 보이는 몇몇 지역을 제외한 가  
 장 오염 가능성이 높은 지역과 가장 낮은 오염 가능성 지역의  
 순위는 일치한다. 따라서, 상기의 2가지 경우를 종합적으로 분  
 석한 결과 DI 면적 및 면적비율을 고려했을 때 팽성읍, 비전  
 동이 각각 가장 높은 오염 가능성을 보이고 있고, 서정동이나

안중면이 가장 낮은 오염 가능성을 보이고 있다.  
 지하수 오염에 대해 가장 높은 오염 취약성을 나타내는 지  
 역은 강 근처의 충적층이고, 가장 낮은 오염 가능성을 보이는  
 곳은 지하수위가 상대적으로 깊은 산간지역이다. 이는 미국의  
 Nebraska 지역에서 DRASTIC 모델을 적용했던 결과와도 일치  
 한다(Kalinski *et al.*, 1993).

본 연구에서 Table 6, 7을 분석한 결과 전반적으로 인자를  
 첨가함으로써 60~100% 범위내에서 상대적인 지하수 오염 가  
 능성을 보이는 면적 비율이 점점 작아지고 있다. 결과적으로  
 일반적인 DRASTIC 모델을 사용했을 경우와 2가지 인자를 첨  
 가한 변형된 DRASTIC 모델을 사용했을 경우를 비교해 보면,  
 인자가 증가함에 따라 가장 높은 오염 가능성(80~100%)을 보  
 이는 곳이 매우 구체화되었고, 또한 최종적인 분석에 있어서  
 더욱 신뢰할 수 있는 결과를 유추할 수 있었다.

### 토의 및 결론

본 연구는 지하수 오염 가능성 평가 및 대수층 보전 대책을  
 위한 보조자료로 사용하기 하여 많이 쓰이고 있는 DRASTIC  
 모델을 사용함에 있어서 첫째, 각 인자들이 국내 수리지학적  
 환경에서의 적용상의 문제점을 알아보고, 둘째, 부가적 인자 사  
 용의 필요성을 제시하고 인자들간 상관관계를 통한 가중치를  
 적용하였고, 셋째, 일반적인 DRASTIC 모델을 사용했을 경우  
 와 변형된 DRASTIC 모델을 사용했을 경우에 있어서 가장 높  
 은 지하수 오염 가능성을 보이는 지역의 면적 분포 변이양상  
 이 어떻게 달라지는가 등을 알아보고자 하였다.

1. DRASTIC 모델 인자들의 국내 수리 지질학적 환경에의  
 적용에 있어서 문제점은 각 인자에 따른 기초자료가 매우 빈  
 약하여 이의 모델 적용상의 문제점이 발생하였고, 또한, 각 인  
 자별 범위가 너무 광역적으로 구분되어 있어서 본 연구지역에  
 적용해 본 결과, 분포 양상이 매우 단순화되어 구체적인 오염  
 가능성 정도를 나타내지 못한다는 단점이 있었다.

2. 부가 인자를 첨가한 변형된 DRASTIC 모델을 개발하여  
 이를 연구지역에 적용한 이유는, 첫째, 앞서 언급했듯이 일반  
 적인 DRASTIC 모델에서 각 인자별 자료층 구축시 나타날 수  
 있는 범위 및 등급 설정에 대한 오차의 분산을 줄이기 위함이고,  
 둘째, 우리나라의 경우 지하수는 모두 암반 지하수이므로  
 오염물질의 유동에 있어서 구조선은 매우 중요시 여겨진다. 따  
 라서 구조선 밀도는 지하수 오염 가능성 평가시 국내의 수리  
 지질학적인 환경에 있어서 반드시 필요한 인자이고, 토지이용  
 은 점 혹은 비점 오염원의 영향을 간접적으로 반영할 수 있다  
 는 점에서 두 인자 모두 중요하다고 생각되었으며, 셋째, 분산  
 계수가 줄어들어 자료의 신뢰성이 높아지고, 또한, 지하수  
 오염 가능성이 높은 지역을 구체적으로 나타낼 수 있다는 점  
 때문이다.

3. 일반적인 DRASTIC 모델과 변형된 DRASTIC 모델을 사  
 용했을 때 두 모델에서 나타난 공통점은 우선, 면적만을 고려  
 했을 경우 가장 높은 오염 가능성을 나타내는 지역은 팽성읍이  
 었고, 면적 비율만을 고려했을 경우에는 비전동, 팽성읍의 순으  
 로 나타났다. 반면에, 가장 낮은 오염 가능성을 나타내는 지역



Figure 12. Modified DRASTIC index map.

Table 7. DRASTIC index, area and area ratio for modified DRASTIC system within 60%~100%

REGION	AREA (m <sup>2</sup> )	Area (m <sup>2</sup> ) for DRASTIC Index		Area Ratio (%)	
		165~198 (60~80%)	199~232 (80~100%)	60~80%	80~100%
ANJUNG	25122640	11608802.44	6106987.32	46.21	24.31
BIJEON	25031428	7608730.62	15528427.32	30.40	62.04
CHUNGBOOK	47241560	16018360.10	17520973.71	33.91	37.09
GODEOK	32015976	16143614.56	11469128.89	50.42	35.82
HYUNDEOK	36853060	16639442.63	9180708.32	45.15	24.91
JINWI	36382280	9980320.60	13661263.71	27.43	37.55
OSUNG	28143302	6442073.46	15819049.70	22.89	56.21
PAENGSEONG	54968752	16611249.18	31084640.97	30.22	56.55
POSEUNG	50076972	21223325.15	15709794.57	42.38	31.37
SEOJEONG	41136096	21639270.60	6933099.25	52.60	16.85
SEOTAN	28939728	8439277.46	14999691.43	29.16	51.83

은 면적만을 고려한 경우 안중면, 서정동의 순으로 나타났고, 면적 비율만을 고려한 경우에는 서정동, 안중면의 순위를 보였다.

4. 변형된 DRASIC 모델을 사용한 결과 일반적인 DRASTIC 모델에 비해 오염 가능 지역이 많이 세분화되었고, 결과적으로 오염 가능성이 높은 취약지역을 구체적으로 나타낼 수 있었다.

5. 본 연구에서는 부가 인자들의 가중치 결정에 있어서 인자별 상관계수를 이용하였는데 향후 가중치 결정에 있어서 좀 더 체계적인 방법이 요구되고, 그러한 방법중의 하나로써 실제적으로 연구 지역의 오염 지역을 알고 있다는 가정하에서 신경망(Neural network)을 이용한 역산 가중치를 결정하는 것도 좋은 방법이라고 사료된다.

**참고문헌**

김동학 등, 1979. 한국지질도(1:50,000). 아산지역도폭 및 설명서, 자원개발연구소.  
 김동학 등, 1980. 한국지질도(1:50,000). 평택지역도폭 및 설명서, 자원개발연구소.  
 농촌진흥청 식물환경연구소, 1972. 평택군 정밀토양도(1: 25,000).  
 오인섭, 박석환, 1973. 한국지질도(1:50,000), 오산지역도폭 및 설명서, 국립지질광물연구소  
 이병주 등, 1993. 한국지질도(1:50,000). 발안지역도폭 및 설명서, 한국자원연구소.  
 한국자원개발연구소, 1980. 평택 지질도폭(1: 50,000).  
 한국자원연구소, 1993. 발안 지질도폭(1: 50,000).  
 Aller, L., Bennett, T., Lehr, J. H., Petty, R. J. and Hackett, G., 1987. DRASTIC: A standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings, USEPA Document #EPA/600/2-87-035.  
 Banks, D., Rohr-Torp, E. and Skarphagen, H., 1993, Groundwater resources in hard rock: Experiences from the Hvaler study South-

eastern Norway Memoires of the XXIVth Congress of IAH, Hydrogeology of Hard Rocks, Oslo, 1993. p. 39-51.  
 Barry M. Evans and Wayne L. Myers, 1990. A GIS-based approach to evaluating regional groundwater pollution potential with DRASTIC, Journal of Soil and Water Conservation, Vol.45. No.2, p. 242-245.  
 Cullen, S. J., Kramer, J. H., Everett, L. G. and Eccles, L. A., 1992. Is our groundwater monitoring strategy illogical? Groundwater Monitoring and Remediation (GWMR, Summer 1992), (103-107), Groundwater Publishing Co., Dublin, USA.  
 Kalinski, R. J., Kelly, W. E., Bogardi, I., Ehrman, R. L. and Yamamoto P. D., 1993, Correlation Between DRASTIC Vulnerabilities and Incidents of VOC Contamination of Municipal Wells in Nebraska.  
 Penman, H. L., 1994, Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Royal Society(London) A 193, p. 120-146.  
 Rosen, L., 1994, A study of the DRASTIC Methodology with Emphasis on Swedish Conditions, GROUND WATER, Vol.32. No.2, p. 278-285.  
 Rundquist, D. C., Peters, A. J., Di, L., Rodekohl, D. A., Ehrman, R. L. and Murray, G., 1991, Statewide groundwater vulnerability assessment in Nebraska using the DRASTIC/GIS model. Geocarto International, Vol.6, No.2, p. 51-57.  
 Sander, P., Minor, T. B. and Chesley, M. M., 1997, Ground-Water Exploration Based on Lineament Analysis and Reproducibility Tests, GROUNDWATER, Vol.35, No.5, p. 888-894.  
 Soil Conservation Service(SCS), 1972. Hydrology, SCS National Engineering Handbook, Section 4, Washington, D.C., U.S. Department of Agriculture  
 Wisc. D. U., 1983, Linesmanship and the practice of linear geo-art: Discussion and reply, Reply, Geological Society of America Bulletin, Vol.93, 1379p.