

## GIS를 이용한 경기도 화남2지구의 지하수오염 예측에 관한 연구

손호웅\*

\* 배재대학교 공과대학 토목환경공학과

### 요 지

본 연구는 DRASTIC 모델에 구조선밀도, 토지이용 인자를 추가한 수정 DRASTIC 모델을 개발하여 경기도 화남2지구의 지하수오염 가능성을 예측하고자 하였다. 우리나라의 수리지질 환경에서 대수층은 대부분 암반 대수층인 점을 고려했을 때, 구조선밀도는 지하수 및 오염물질 유동에 직접적인 영향을 미치고, 토지이용은 점오염원 혹은 비점오염원의 영향을 간접적으로 반영할 수 있기 때문이다. 통계분석을 위하여 각 인자별 격자 레이어를 생성하고, 각각의 상관계수를 분석함으로써 신뢰도 여부를 판단하였다. 최종 결과물인 종합오염현황도는 수정 DRASTIC Potential과 여러 가지 오염원의 발생 부하량 값을 논리비교함으로써 수리지질학적인 측면에서의 오염가능성 지역과 수질측면에서의 오염가능성 지역을 예측할 수 있는 방안을 제시할 수 있었다.

핵심용어(Keywords) : GIS분석, DRASTIC 모델, 지하수오염, 구조선밀도, 토지이용, 종합오염현황도

Shon, Howoong, A Study on the Prediction of Groundwater Contamination using the GIS in Hwanam 2 Sector, Gyeonggi Province, Korea

ABSTRACT : This study has tried to develop the modified DRASTIC Model by supplying the parameters, such as structural lineament density and landuse, into conventional DRASTIC model, and to predict the potential of groundwater contamination using GIS in Whanam 2 Area, Gyeonggi Province, Korea. Since the aquifers in Korea is generally through the joints of rock-mass in hydrogeological environment, lineament density affects to the behavior of groundwater and contaminated plumes directly, and land-use reflect the effect of point or non-point source of contamination indirectly.

손호웅

For the statistical analysis, lattice layers of each parameter were generated, and then level of confidence was assessed by analyzing each correlation coefficient. Composite contamination map was achieved as a final result by comparing modified DRASTIC potential and the amount of generation load of several contaminant sources logically. The result could suggest the predictability of the area of contamination potential in the respects of hydrogeological aspect and water quality.

## 서 언

근래에 들어 사회적으로 지하수의 수질 문제가 대두되면서 지하수 오염 방지대책이 많이 논의되고 있으나 아직까지 지하수 오염 방지에 대한 구체적인 방안이 제시되지 못하고 있고 또한 일반 대중에 대한 홍보도 미비한 상태이다.

본 연구에서는 지하수 오염가능성 지역을 예측하고 보다 효율적인 지하수 관리를 위해서 DRASTIC 방법과 잠재오염원 발생부하량을 GIS를 이용하여 경기도 화남2지구에 적용함으로써 종합오염현황도를 구축하고 지역별 지하수오염 정도를 평가하였다. 또한 기존 모델과 비교분석하였으며, 이를 활용하여 지하수오염 확산을 방지하기 위하여 국토개발에 따른 시설물 인허가를 제한할 수 있는 기틀을 마련하고자 하였다.

37°10' 00"에 위치한다.

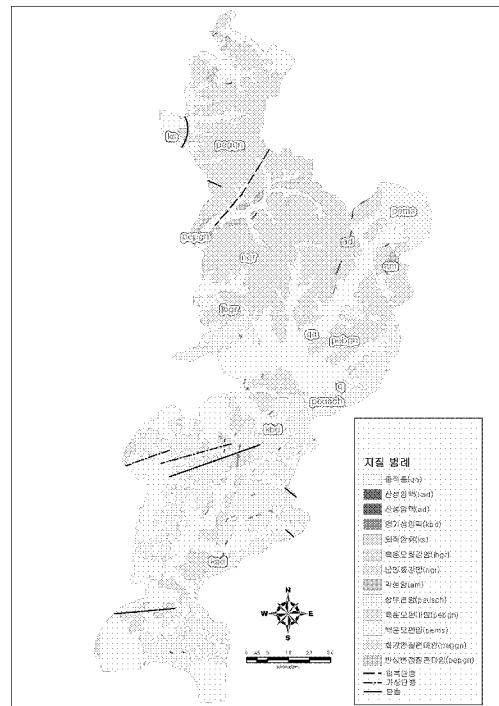


Fig. 1 Geologic map of Study area

## 지형 및 일반지질

본 연구지역은 경기도 화성시 남양면 및 우정면 등을 포함하고 서해안과 접해있으며 지리좌표상 동경 126°49' 00", 북위

변성암류는 연구지역 전역에 걸쳐 넓은 분포를 보여주며, 반상변정질편마암, 화강암질편마암, 백운모편마암, 흑운모편마암 및 규암을 협재하는 상부편암 등으로 구성되며, 이중 상부편암은 북동에서 남서방향

으로 길게 대상으로 분포하고 남쪽으로 가면서 넓게 분포하며, 운모편암, 석영편암, 각섬석편암으로 구성된다.

화강암질 편마암은 중동부와 북부에 분포하며 반상변정질 편마암이 박층으로 협재되어 있기도 하며, 곳에 따라 높은 지대에 운모편암이 소규모로 덮여 있기도 한다. 백운모편암은 대부분이 백운모로 구성되나 간혹 흑운모편암, 석영편암, 결정질석회암 및 석회규산염암이 박층으로 협재되어 습곡에 의해 반복되어 나타난다.

시대미상의 화성암류로는 각섬암과 남양화강암으로 구성되며, 남양화강암에 대비되는 흑운모화강암의 생성시기는 주라기로 판명되었다. 각섬암은 팔탄면 창곡리에 소규모로 분포하며 변성암류를 관입하고 있다. 남양화강암 및 흑운모화강암은 남양면, 비봉면 일대에 분포하며, 암체의 남부는 편마암상 구조를 보여주는 반면, 암체의 북단에는 흑운모화강암의 양상을 보여준다.

본 연구지역은 하나의 큰 유역(Watershed)이지만 세부적인 조사를 위하여 11개의 소유역으로 구분하였다(Fig. 3).

**Pollution Potential Parameters :**

**Depth to Groundwater**

우리나라에서 관정은 대부분 충적층에 분포하고 있어 본 연구지역 전체를 포함하기 위해서는 산악지역에 대한 지하수위를 추정해야 한다. 따라서 충적지역에서는 270여개

의 관정에 대한 지하수위를 측정하였고, 산악지역에 대한 지하수위는 충적층 지역의 관정에서 나타난 자연수위와 해발고도와의 상관분석에서 유추된 다음과 같은 회귀방정식을 이용하여 산정하였다(Fig. 2).

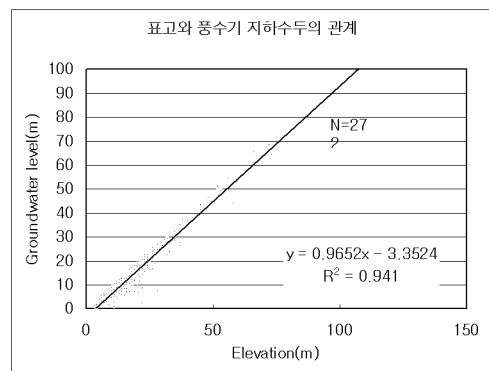
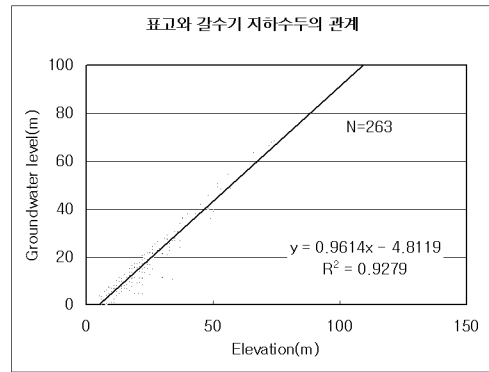
$$Y = 0.9633X - 4.0822 \quad (1)$$

$$DTG = X - Y \quad (2)$$

where, DTG = Depth to Groundwater

Y = Groundwater Level

E = Elevation



<Fig.2> Scatter Diagram of Elev. & W. Level

손호웅

본 연구지역에서 지하수면의 깊이에 대한 DRASTIC 방법의 등급분류 결과, 6개의 등급(2, 3, 5, 7, 9, 10)으로 나눌 수 있는데, 9등급이 53.55%의 면적비로 가장 넓

게 분포하고 10등급이 34.43%, 7등급이 11.05% 등 전반적으로 오염가능성이 매우 높게 나타나고 있다(Table 1, Fig. 3).

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

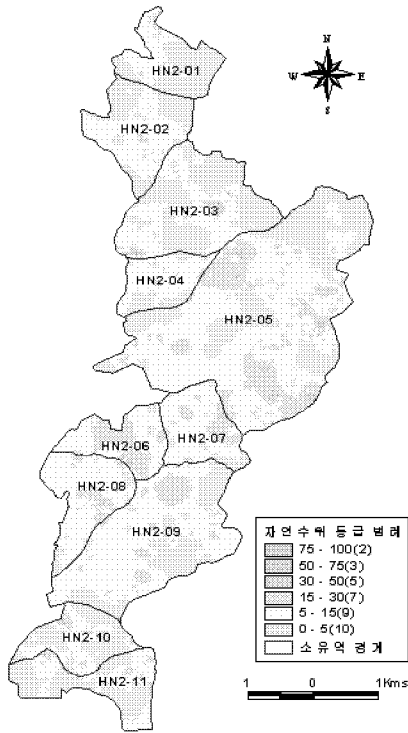
| Parameters                   | Rat   | Ratio of area(%) | Ranges                                       |
|------------------------------|-------|------------------|--|
| Depth to water(m)            | 2     | 0.02             | 75 - 100                                     |
|                              | 3     | 0.10             | 50 - 75                                      |
|                              | 5     | 0.86             | 30 - 50                                      |
|                              | 7     | 11.05            | 15 - 30                                      |
|                              | 9     | 53.55            | 5 - 15                                       |
| 10                           | 34.43 | 0 - 5            |  |
| Net Recharge                 | 8     | 100.00           |  |
| Aquifer Media                | 3     | 22.90            | Metamorphic/Igneous                          |
|                              | 4     | 36.64            | Weathered Metamorphic/Igneous                |
|                              | 8     | 40.46            | Sand and Gravel                              |
| Soil Media                   | 2     | 4.52             | Muck   |
|                              | 4     | 18.90            | Silty Loam                                   |
|                              | 5     | 59.26            | Loam   |
|                              | 6     | 17.03            | Sandy Loam                                   |
|                              | 9     | 0.22             | Sand   |
|                              | 10    | 0.06             | Thin or Absent                               |
| Topography(%)                | 1     | 31.75            | > 18   |
|                              | 3     | 5.74             | 12 - 18                                      |
|                              | 5     | 8.37             | 6 - 12                                       |
|                              | 9     | 9.30             | 2 - 6  |
|                              | 10    | 44.83            | 0 - %  |
| Impact of vadose zone        | 6     | 45.97            | Metamorphic/Igneous                          |
|                              | 8     | 54.03            | Sand and Gravel                              |
| Hydraulic Conductivity (m/s) | 1     | 9.55             | $4.7 \times 10^{-7} \sim 4.7 \times 10^{-5}$ |
|                              | 2     | 5.35             | $4.7 \times 10^{-5} \sim 1.4 \times 10^{-4}$ |
|                              | 4     | 32.67            | $1.4 \times 10^{-4} \sim 3.3 \times 10^{-4}$ |
|                              | 8     | 52.43            | $3.3 \times 10^{-4} \sim 4.7 \times 10^{-4}$ |

Net Recharge

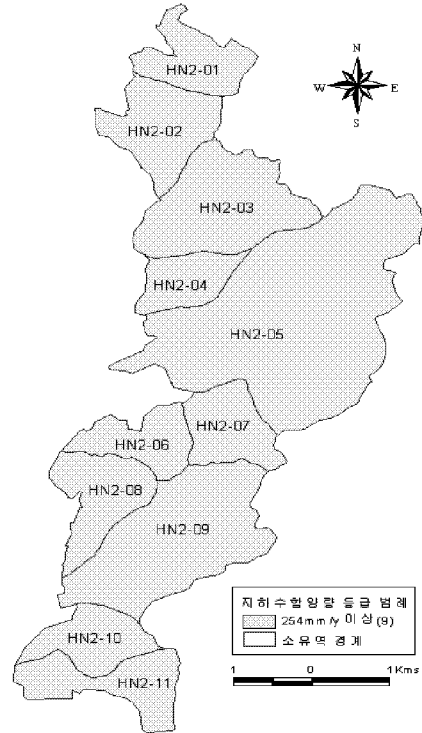
순수 함양량 산정은 물수지방법(함양량 = 강우량 - 유출량 - 증발산량)을 적용하였는데 조사지역내 기상관측소의 부재로 인하여, Thiessen 방법 및 TIN(Triangular Irregular Network) 방법에 의거 소유역별 강우량을 산정하였고(Thiessen, 1911), 지표 유출량은 SCS-CN 방법(Soil Conservation Service, 1972)

을 그리고 증발산량은 Penman-Monteith의 경험공식(Penman, 1994; 선우중호, 1983)을 이용하였다.

결과적으로 일반적인 DRASTIC 기준에 의하면 조사지역내 함양량은 10인치 이상인 9등급으로 나타났다 (Table 1, Fig. 4). 이는 조사지역이 지형특성상 해안가에 위치하고 있어서 강우량이 내륙지역에 비해 많고 지형경사가 완만하기 때문이다.



<Fig. 3> Rating Map of Depth to water



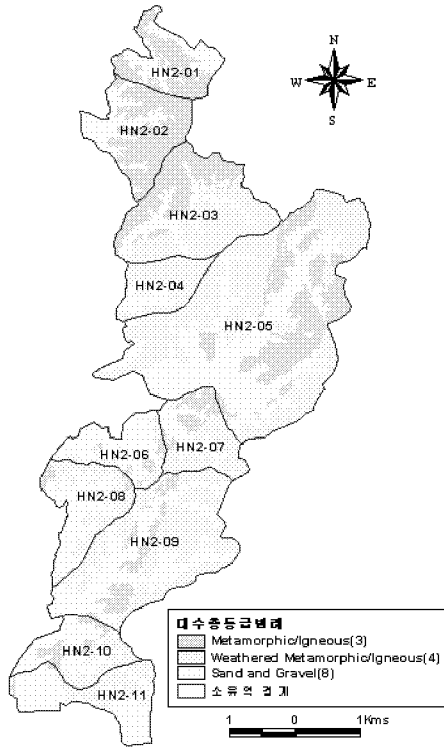
<Fig. 4> Rating Map of Net Recharge

### Aquifer Media

대수층 매질에 대한 자료는 1 : 50,000 축척의 지질도를 이용하였는데 크게 3가지 즉, 충적층(8등급, 40.46%), 풍화된 변성/화성암(4등급, 36.64%), 변성/화성암(3등급, 22.9%)으로 구분된다(Table 1, Fig. 5).

### Soil Media

연구지역의 토양매질은 1:25,000 축척의 정밀토양도(수원시)를 이용하여 DRASTIC 기준에 따라 등급과 가중치를 적용한 결과, 양토(Loam)가 59.26%(등급 5)로서 가장 넓은 분포를 이루고 있고, 실트질 양토(Silty Loam), 사양토(Sandy Loam)가 각각 18.90%, 17.03%의 분포를 이루고 있다. 따라서 토양매질만을 고려했을 때 지하수오염취약성 정도는 보통정도라 할 수 있다 (Table 1, Fig. 6).



<Fig. 5> Rating Map of Aquifer Media



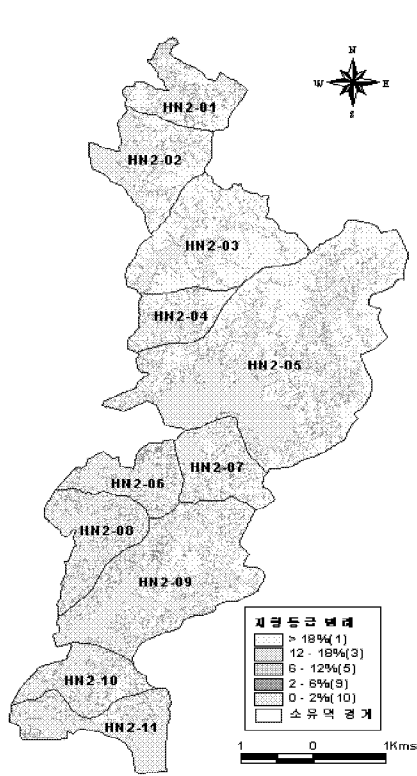
<Fig. 6> Rating Map of Soil Media

### Topography

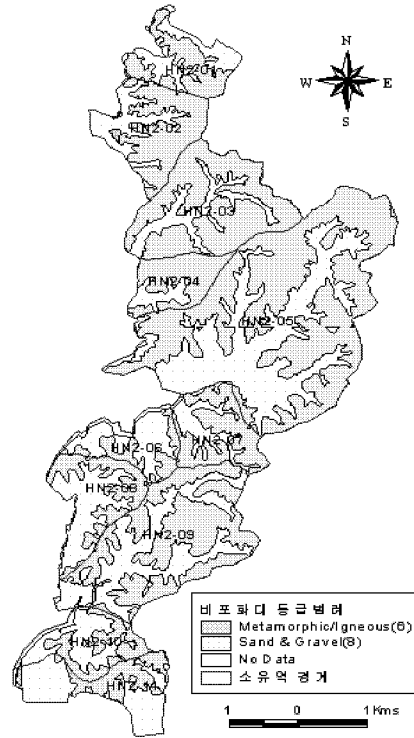
지형 경사는 DEM을 이용하여 경사를 백분율로 계산하였는데 등급이 10, 1인 지역이 각각 44.83%, 31.75%로 가장 많이 분포하고 있다. 이는 평야지대와 임야 때문인데 지하수오염취약성 분석에서 매우 큰 Potential 차이를 나타낸다(Table 1, Fig. 7).

### Impact of the Vadose zone Media

Cullen et al.(1992)는 비포화대를 지표와 지표하에서 최초로 나타나는 최상부 대수층 사이의 지질 단면으로 정의하고 있으나, 본 연구에서는 기초 자료의 부족으로 인하여 기존 수리지질도 및 지질도를 이용하여 DRASTIC 모델의 기준에 적용하였는데 크게 번성/화성암(등급 6, 45.97%)과 충적층(등급 8, 54.03%)으로 구분하였다( Table 1, Fig. 8).



<Fig. 7> Rating Map of Topography



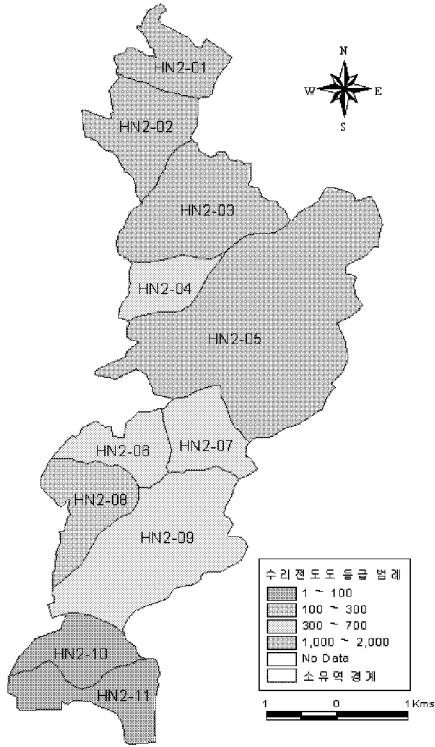
<Fig. 8> Rating Map of Vadose zone

### Hydraulic Conductivity of the Aquifer

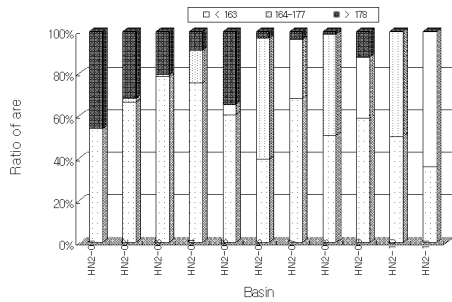
본 조사지역내 수리전도도는 39개 대표 지점에서 각종 수리시험(양수시험, 순간수위시험, 침투율조사) 결과를 소유역별 대표 등급을 적용한 결과 등급 8( $3.3 \times 10^{-4}$  ~  $4.7 \times 10^{-4}$  m/s)이 52.43%의 면적비율을 보임으로써 가장 넓은 분포면적을 이루고 있다 (Table 1, Fig. 9)

### General DRASTIC Assessment

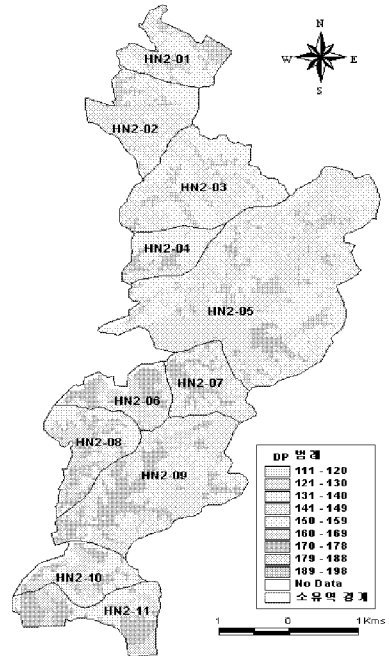
본 조사지구내 General DRASTIC Pollution(이하 GDP)을 Natural Break 방법에 의해 3단계로 분류하여 면적분포비를 Fig.10과 같이 도표화 하였으며, 이중 GDP가 178 이상인 경우 HN2-01 유역에서 45.9%로 가장 넓은 분포를 이루고 있고 HN2-05 유역이 34.5%, HN2-02 유역이 31.6%의 순으로 나타나고 있어, 이들 지역은 다른 지역에 비해 상대적으로 높은 수리지질학적 오염가능성을 보이고 있다(Fig. 11).



<Fig. 9> Rating Map of Hydro Cond.



<Fig. 10> Histogram of General DRASTIC



<Fig. 11> DRASTIC Map



<Fig. 12> Classification of Landuse



### Land Use

토지이용도는 토양도를 이용하여 8개 그룹으로 분류하였고, 미국 남동부 텔라웨어 지역에서 지하수 오염 취약성 평가를 하기 위해서 Barry et al.(1990)이 제시한 토지이용 분류에 대한 범위와 등급(Table 2)을 적용한 결과 Fig. 12와 같다.

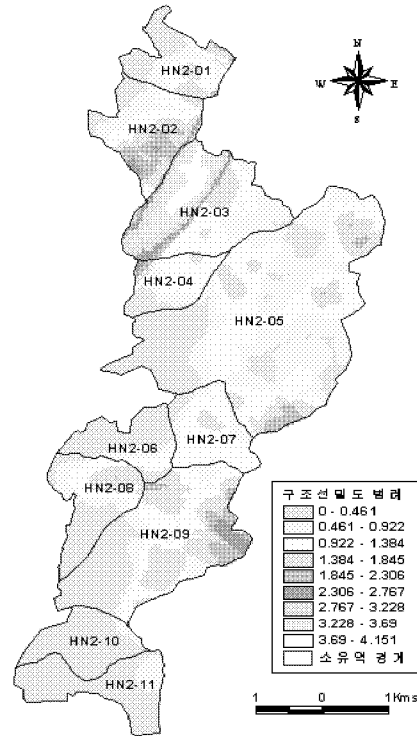
Table 2. Range for landuse(Barry et al., 1990)

| 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      |

### Lineament Density

구조선밀도 분석은 기반암에서 지하수 유동이 주로 파쇄대를 통하여 이루어지고 있는 우리나라와 같은 수리지질학적인 환경에서는 매우 중요한 인자이다(한정상, 1980; 한정상 등, 1994).

구조선은 높은 투과성의 파쇄대나 암맥과 같이 잠재적인 지하수 유동의 경계요소(flow barrier)로써 작용하는데(Sander et al., 1997), 긴 파쇄대는 일반적으로 점토광물화



<Fig. 13> Lineament Density

(clay mineralization) 때문에 누수가 잘 일어나지 않을 수 있는 반면에 상대적으로 작은 파쇄대는 상당히 높은 투과율과 대규모 누수 문제를 일으킬 수 있다(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).

본 연구지역에서의 구조선밀도 분석은 지질도폭상의 구조선, DEM, Landsat TM 그리고 SPOT 등의 위성영상자료를 이용하여 분석하였는데, DEM 및 위성영상자료를

손호웅

이용하는 주요 목적은 광역적인 구조선을 빠르고 손쉽게 구별할 수 있다는 점과 사람이 탐지하기 어려운 지역도 쉽게 구분할 수 있기 때문이다. 그러나 위성영상 자체의 오차 즉, 산 그림자나 구름에 의한 지표 반사도값 손실 등과 같은 문제점은 여러 가지 보정을 통하여 해결해야 한다.

본 조사지구에서는 단지 파쇄대내에서 대수층내 오염물질 유입 가능성과 파쇄대는 모두 투수율이 좋다는 가정하에서 구조선밀도를 산정하였고, 이를 등간격으로 10 등급화하여 DRASTIC에 적용하였다.

$$Density(\rho) = \frac{(L1 * V1) + (L2 * V2)}{Area(A)}$$

(3)

where, L1, L2 : the length of the portion of each line that falls within circle

V1, V2 : The corresponding {item} values

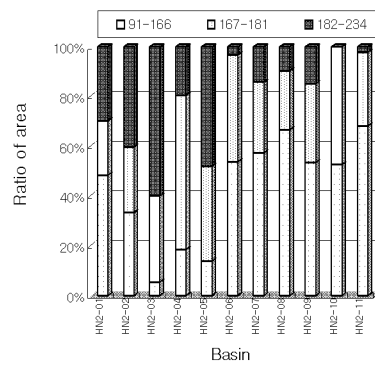
A : Area of the circle

결과적으로 조사지역내 HN2-03인 소유역에서 가장 큰 구조선밀도가 나타나고 있는데 이 곳은 실제로 지질도상에 큰 단층이 지나가는 곳이다. 소유역 HN2-09의 동부지역도 마찬가지로 지질도상의 큰 단층의 연장선지역으로써 밀도가 매우 크게 나타나고 있다(Fig. 12).

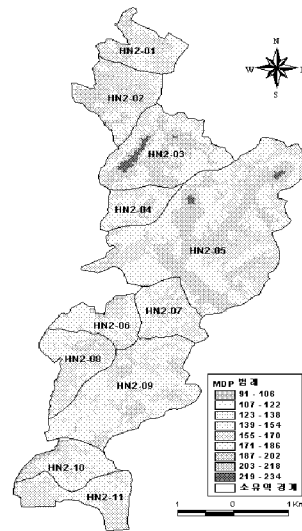
### Modified DRASTIC Assessment

상기 General DRASTIC Assessment 방법과 똑같은 방법에 의한 결과(Fig. 14) Modified

DRASTIC Pollution(이하 MDP)이 180~234 사이에서 면적대비 가장 넓은 분포를 이루는 곳은 HN2-03 유역(60%)이고, HN2-05 유역은 48%, HN2-02 유역은 40%의 순으로 넓은 분포를 이루고 있다(Fig. 14).



<Fig. 14> Histogram of Modified DRASTIC



<Fig. 13> Modified DRASTIC

통계학적 접근을 통한 부가인자 사용의 적합성 여부 결정

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 DRASTIC이 많은 인자들로 구성되어 있다는 점은 결과의 변이성과 개별 인자들에 대한 잘못된 판단의 영향을 제한할 수 있는 선호적인 특성이라고 할 수 있다(Rosen, 1994). 따라서 본 연구에서 DRASTIC과 수정(modified) DRASTIC의 분산계수를 비교해 본 결과 약 0.02 차이를 보이고 있는데, 이는 수정 DRASTIC을 사용할 경우에는 분산계수자료 해석시 일어날 수 있는 판단오류를 상대적으로 줄이고 보다 신뢰성 있는 결과를 유추할 수 있다는 것을 의미한다.

DRASTIC 인자들은 서로 독립적이지 않고 어느 정도의 상관관계를 갖는다. 이는 인자들 자체보다는 오염가능성에 있어서 인자들 간의 상호관계라고 할 수 있다(Rosen, 1994). 따라서 본 연구에서는 연구지역내에서의 인자별 특성을 알아보고자 다음과 같은 방법으로 각 인자들 간의 상관관계( $\gamma$ )를 구하였다(Table 3).

where, n = the total number of cells in a grid(Nrows × Ncols)

i = any cell on the first input grid

j = any cell on the second input grid that is offset from i's location

$z_i$  = the value of the attribute of cell i

$z_j$  = the value of the attribute of cell j

$\bar{z}_i$  = the mean value of the attribute of the first grid

$\bar{z}_j$  = the mean value of the attribute of the second grid

$C_{ij}$  = the similarity of i's and j's attributes:

$$(z_i - \bar{z}_i) \times (z_j - \bar{z}_j).$$

Table 3은 각 인자들 간의 상호 상관관계를 나타낸 것으로서, 토지이용(Landuse) 인자는 지형인자와 가장 높은 상관관계(계수: 0.388)를 보이고, 구조선밀도 인자는 수리전도도 인자와 가장 높은 상관관계(계수: 0.340)를 갖는 것으로 나타났다.

$$\gamma = \sum_k^n c_{ij} / (\sqrt{\sum_k^n (z_i - z_m)^2} \times \sqrt{\sum_k^n (z_j - z_m)^2}) \quad (7)$$

Table 3. Correlation matrix of individual layers

| Layer | 1      | 2     | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9     |
|-------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 1     | 1.000  |       |        |        |        |        |        |        |       |
| 2     | 0.000  | 1.000 |        |        |        |        |        |        |       |
| 3     | -0.027 | 0.000 | 1.000  |        |        |        |        |        |       |
| 4     | -0.017 | 0.000 | -0.397 | 1.000  |        |        |        |        |       |
| 5     | -0.044 | 0.000 | 0.345  | -0.296 | 1.000  |        |        |        |       |
| 6     | -0.008 | 0.000 | 0.990  | -0.394 | 0.300  | 1.000  |        |        |       |
| 7     | 0.006  | 0.000 | -0.212 | 0.024  | -0.332 | -0.147 | 1.000  |        |       |
| 8     | 0.006  | 0.000 | 0.243  | -0.019 | 0.388  | 0.235  | -0.204 | 1.000  |       |
| 9     | 0.010  | 0.000 | -0.220 | 0.191  | -0.233 | -0.195 | 0.340  | -0.121 | 1.000 |

※ 1-Depth to water, 2-Net recharge, 3-Aquifer media, 4-Soil media, 5-Topography  
6-Vadose zone, 7-Hydraulic conductivity, 8-Landuse, 9-Lineament density

지하수오염예측도 평가

작성방법

Fig. 15는 지하수 오염예측도를 작성하기 위한 모식도로서 지하수 유동 및 오염물질 거동에 영향을 미치는 여러 인자들 중 대표성 있는 주요 오염인자들에 대해 발생원의 단위 부하량을 산정하고 이를 100x100 격자모양으로 세분화하여 이를 Table 4의 기준에 의거 수정 오염취약성도와 더불어 9가지로 분류함으로써 수리

지질학적 혹은 오염부하량에 따른 취약지구와 실질적인 오염지역을 유추할 수 있는 최종적인 오염예측도를 작성하였다(Fig. 16-19).

Table 4는 수정 오염취약성도(Modified DRASTIC Potential)와 오염부하량(BOD, TN, TP, SS)과의 연결관계를 나타낸 표로서 MDP의 A, B, C와 부하량의 a, b, c 분류기준은 정규분포에서 등면적 기준에 의한 것이다. 이는 일정지역에서 오염부하량이 큰 비중을 차지하느냐 혹은 오염취약성이 큰 비중을 차지하느냐에 따라 구분할 수 있도록 분류한 것이다.

<Table 4> 오염예측도 등급분류표

| Modified DRASTIC | 오염부하량   | 오염부하량(Kg/일/10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> ) |       |       |
|------------------|---------|---|-------|-------|
|                  |         | a(높음)                                       | b(보통) | c(낮음) |
|                  |         | > 14  | 8-14  | < 8   |
| A(높음)            | 178-234 | Aa  | Ab    | Ac    |
| B(보통)            | 164-177 | Ba  | Bb    | Bc    |
| C(낮음)            | 81-163  | Ca  | Cb    | Cc    |

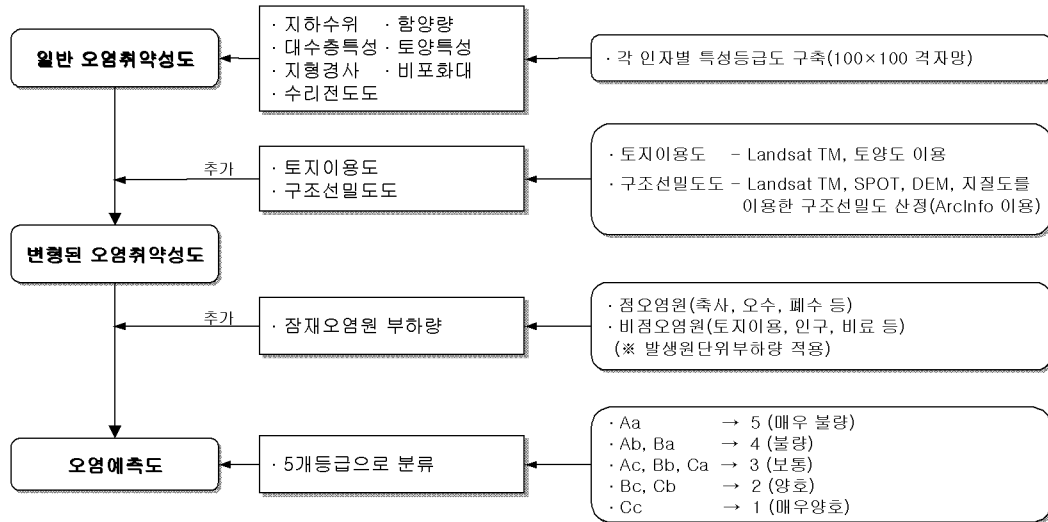


Fig. 15 Flow chart for identification of groundwater contamination potential area

### 결과분석

본 조사지역의 종합오염예측현황도는 수정 DRASTIC에 축사, 인구, 토지이용에 대한 부하량을 논리비교하여 9개의 분류로 나타내었고 각 분류는 상대적인 평가를 위한 것이다.

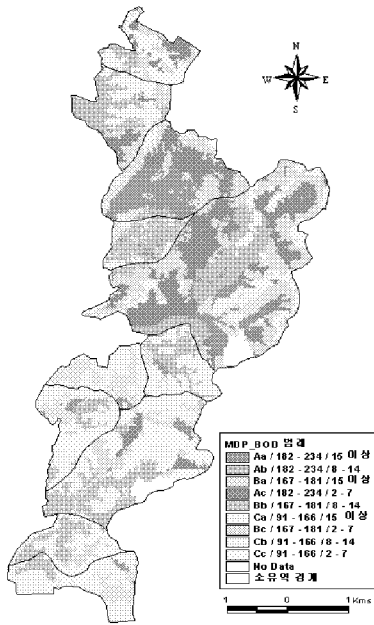
결과적으로 수정 오염취약성도와 오염부하량(BOD)를 중첩한 결과 소유역 HN2-01인 경우 Cc가 36.3%로 가장 넓은 분포를 이루고 있고 소유역 HN2-02인 경우는 Ab와 Cb가 각각 29.6%와 28.2%, HN2-03인 경우는 Aa가 34.8%, HN2-04인 경우는 Bb가 5.08%, HN2-05인 경우는 Ac와 Bc가 각각 29.9%와 28.6%, HN2-06인 경우는 Ca와 Ba가 각각 53.7%와 43.0%, HN2-07인 경우는 Cb가 39.5%, HN2-08인 경우는 Cb가 29.9%, HN2-09인 경우는 Cc가 23.9%,

HN2-10인 경우는 Bb가 31.8%, HN2-11인 경우는 Ca가 36.3%로써 각각의 소유역별 가장 넓은 분포면적을 차지하고 있다.

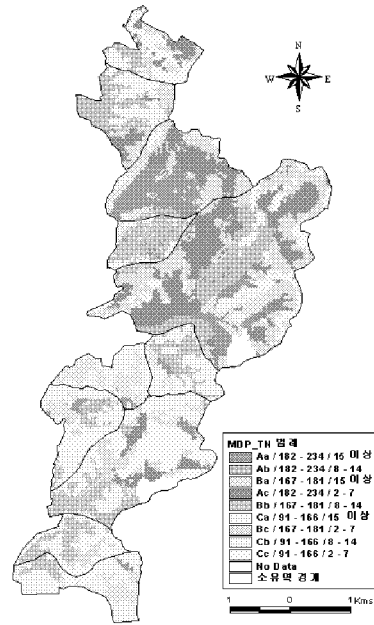
Fig. 16~20을 고려해볼 때 지하수관리 주요대상인 지역은 소유역 HN2-03인 지역으로서 구조선이 발달되어 있고 잠재오염원 및 오염부하량도 크게 나타나고 있는바, 향후 국토개발에 따른 시설물(특히 오염원) 인허가시 신중한 주의를 기울여야 할 것이다.

반면에 소유역 HN2-01과 HN2-09 지역은 지하수 오염가능성이 가장 낮게 나타나서 향후 시설물의 건설에 가장 적합한 지역으로 추정된다.

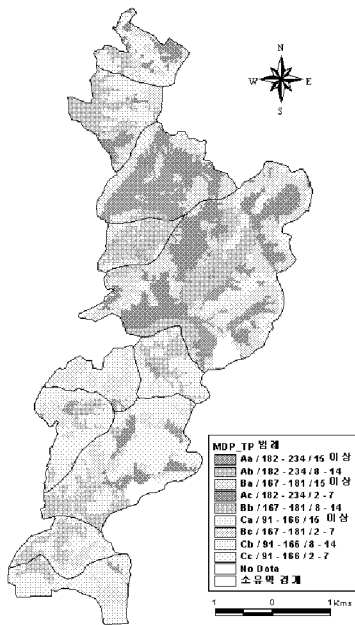
소유역 HN2-02의 서쪽부근과 HN2-06, HN2-07 상부, HN2-11의 동쪽부근은 관심대상으로서 국토개발에 따른 토지이용 및 시설물 건설시 주의를 요한다.



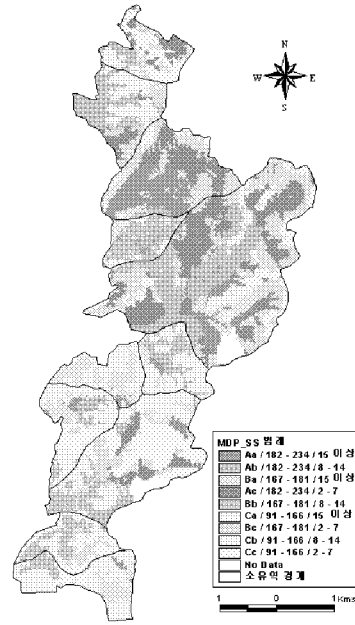
<Fig. 16>오염예측도(MDP+BOD)



<Fig. 17>오염예측도(MDP+TN)

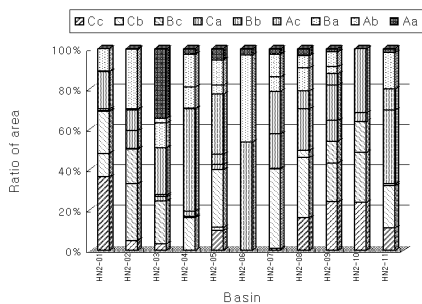


<Fig. 18>오염예측도(MDP+TP)



<Fig. 19>오염예측도(MDP+SS)

일반적으로 수정 지하수오염취약성도와 오염부하량 BOD, TN, TP, SS를 각각 중첩했을 때 거의 비슷한 양상을 보이지만 지역적으로 축사, 토지이용, 인구현황 등이 다르기 때문에 다소 등급분류 변화가 있을 수 있다. 특히 부유물질(SS)를 중첩했을 때 소유역 HN2-05의 안석리 지역은 다른 지역에 비해 등급 상승변화(Ac → Ba)를 보이는 것으로 나타났다. 또한 생물학적 산소요구량(BOD)를 중첩했을 경우는 소유역 HN2-09의 조암리 지역이 기타 지역에 비해 한 단계 높은 그룹(Cc → Cb)으로 나타나고 있어 이러한 오염부하량을 가중시키는 법적 행정조치를 피해야 할 것이다.



<Fig. 20> 소유역별 오염예측(MDP + 오염부하량(BOD)) 분류 히스토그램

Fig. 20은 Table 4에 근거하여 만들어진 지하수오염 예측분류 히스토그램으로서 일반 DRASTIC (Fig. 10)과 수정 DRASTIC(Fig. 13)을 상호 비교해보면 소유역 HN2-08~11인 지역에서 Aa가 상대적으로 많이 나타남으로 인해 이들 지역의 오염부하량이 큰 비중을 차지하고 있다고 볼 수 있다.

### 수질검사 자료와의 비교·검토

Fig. 21에서 NO3-N은 우리나라 먹는물 기준인 10mg/l 이상인 지역만을 표시하였다. pH는 전반적으로 4.0~7.5 사이의 값이 나왔는데 다소 위해한 4.0~5.0 범위의 값만을 나타냈으며, EC는 1000 $\mu$ S/Cm 이상인 값만을 표시함으로써 종합적인 오염현황을 알아보려고 하였다. 또한, 조사관정에 대한 밀도를 구함으로써 지하수이용량과 지하수오염과의 관계를 알아보려고 하였다.

전반적으로 EC는 서해안 근처에서 높게 나타났고, NO3-N은 본 조사지역이 농촌이라는 점을 고려했을 때 전체적으로 먹는물 수질기준을 초과한 것으로 나타났다. 특히 HN2-04 유역은 EC가 매우 높고, NO3-N 및 pH가 역의 상관관계를 갖으면서 수질기준을 초과하고 있으며 관정밀도도 높게 나타나고 있다. 실제 현장조사 결과 이 지역은 축사가 밀집되어 있어 보다 체계적인 관리방안이 수립되어야 할 것이다. HN2-07 유역과 HN2-09 유역 경계부근에서도 NO3-N 및 pH가 기준을 초과하는 것으로 나타났는데 이는 이곳에 1개의 대규모 축사시설물 때문인 것으로 나타났다. Table 5는 각 유역별 잠재오염원 분포현황을 나타낸 표로서 HN2-03, HN2-04, HN2-05, HN2-09 유역에서 잠재오염원이 타유역에 비해 상대적으로 많이 분포하는 것으로 나타났다.

HN2-05 유역에서는 개발가능량 대비 이용량이 38.1% 정도로서 유역중에서 가장 높게 나타나고 있는 바 향후 지하수개발시 행정조치가 이루어져야 할 것으로 여겨진다.

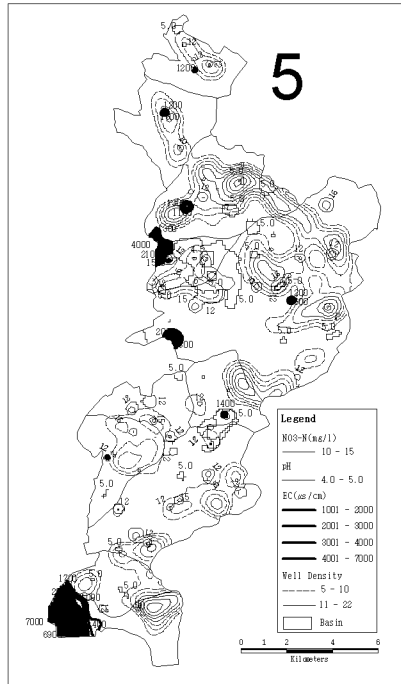


Fig. 21 Thematic Map of EC, pH, NO3-N and Well-Density

<Table 5> 소유역별 잠재오염원 분포현황

| 유역     | 잠재오염원(개소수) |     |      |      |     |
|--------|------------|-----|------|------|-----|
|        | 축사         | 주유소 | 폐수시설 | 오수시설 | 매립장 |
| 계      | 475        | 23  | 74   | 162  | 2   |
| HN2-01 | 13         | -   | -    | -    | -   |
| HN2-02 | 22         | -   | -    | -    | -   |
| HN2-03 | 63         | 4   | 6    | 36   | -   |
| HN2-04 | 65         | -   | 1    | 1    | 1   |
| HN2-05 | 117        | 9   | 35   | 58   | -   |
| HN2-06 | 25         | -   | 1    | -    | -   |
| HN2-07 | 26         | -   | 6    | 5    | -   |
| HN2-08 | 52         | 1   | -    | -    | -   |
| HN2-09 | 63         | 5   | 21   | 45   | -   |
| HN2-10 | 19         | 1   | 3    | 3    | 1   |
| HN2-11 | 10         | 3   | 1    | 14   | -   |



## 토의 및 결론

본 연구는 DRASTIC 모델을 사용함에 있어서 첫째, 부가적 인자 사용의 필요성을 제시하고 둘째, 수정 DRASTIC 모델을 사용했을 경우에 변이양상을 알아보고 셋째, 오염 예측도 작성방안을 제시하고 넷째, 최종적인 오염취약성 지역을 확인하고자 하였다.

1. 부가 인자를 첨가한 수정 DRASTIC 모델을 개발하여 이를 연구지역에 적용한 이유는, 첫째, 일반적인 DRASTIC 모델에서 각 인자별 자료층 구축시 나타날 수 있는 범위 및 등급 설정에 대한 오차의 분산을 줄이기 위함이고, 둘째, 우리나라의 경우 지하수는 거의 암반 지하수이므로 오염물질의 유동에 있어서 구조선은 매우 중요한 역할을 하므로, 구조선 밀도는 지하수 오염 가능성 평가시 국내의 수리지질학적인 환경에 있어서 반드시 필요한 인자이며, 토지이용은 점 혹은 비점 오염원의 영향을 간접적으로 반영할 수 있다는 점에서 두 인자 모두 중요하다고 판단되며, 셋째, 분산계수가 줄어들므로써 자료의 신뢰성이 높아지고, 또한, 지하수 오염 가능성이 높은 지역을 구체적으로 나타낼 수 있기 때문이다.

2. 일반적인 DRASTIC 모델을 적용한 결과 HN2-01 유역에서 GDP가 가장 많은 분포를 이루었으나, 수정 DRASTIC 모델을 사용했을 때는 HN2-03 유역이 구조선밀도 및 토지이용의 영향 때문에 상대적으로 큰 값을 보이고 있으며, 잠재오염원 및 오염 부하량도 크게 나타나고 있으므로 향후 국

토개발에 보다 신중한 주의를 기울여야 할 것이다. 또한, 수정 DRASIC 모델을 사용한 결과 일반적인 DRASTIC 모델에 비해 오염 가능 지역이 보다 세분화되었고, 결과적으로 오염 가능성이 높은 취약지역을 구체적으로 나타낼 수 있었다.

3. 지하수오염예측도는 수정 DRASTIC과 잠재오염원 부하량을 논리비교함으로써 오염근원이 수리지질학적인 원인인지 혹은 잠재오염원이 원인인지를 유추할 수 있었다. 본 연구지역에서 지하수오염 가능성이 가장 높다고 예측되는 곳은 HN2-03 유역이고 반대로 가장 낮은 지역은 HN2-10 유역이라고 유추된다.

4. 수질검사 자료에서는 HN2-04 유역 및 경계부인 HN2-05 유역이 가장 주목할만한 지역으로 나타났는데, 이들 지역은 EC, NO<sub>3</sub>-N 및 관정밀도가 매우 높고 pH는 4.0~5.0 사이의 낮은 값을 보이고 있다. 또한 HN2-03 유역은 타유역에 비해 면적대비 가장 높은 관정밀도를 보이고 있어, 오염예측도와 비교했을 때 지자체의 지하수 개발 인허가에 신중을 기해야 할 것으로 판단된다.

5. 본 연구에서는 부가 인자들의 가중치 결정에 있어서 인자별 상관계수를 이용하였는데 향후 가중치 결정에 있어서 보다 체계적인 방법이 요구되고, 그러한 방법 중의 하나로서 신경망(Neural network)을 이용한 역산 가중치를 결정하는 것도 좋은 방법이라고 판단된다.

참고문헌

- 김동학 등, 1979, 한국지질도(1:50,000), 아산 지역도폭 및 설명서, 자원개발연구소.
- 김동학 등, 1980, 한국지질도(1:50,000), 평택 지역도폭 및 설명서, 자원개발연구소.
- 농촌진흥청 식물환경연구소, 1972, 평택군 정밀토양도(1: 25,000).
- 선우중호, 1983, 수문학, 동명사.
- 오인섭, 박석환, 1973, 한국지질도(1:50,000), 오산지역도폭 및 설명서, 국립지질 광물연구소
- 이병주 등, 1993, 한국지질도(1:50,000), 발안 지역도폭 및 설명서, 한국자원연구소.
- 한국자원개발연구소, 1980, 평택 지질도폭 (1: 50,000).
- 한국자원연구소, 1993, 발안 지질도폭(1: 50,000).
- 한정상, 1980, 한반도의 암반지하수에 관한 연구, 한국수문학회지, v. 14, 73-81.
- 한정상, 한규상, 1992, 고지대 결정질 파쇄암의 수리지질특성과 수리지질학적 이방성에 관한 연구, 지질학회지, v.28, 19-31.
- 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., E. Rohr-Torp, and H. Skarphagen, 1993, Groundwater resources in hard rock; Experiences from the Hvaler study Southeastern Norway Memoires of the XXLVth 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
- Thiessen, A. H., 1911, Precipitation for large  
areas, Mon. Weath. Rev., Vol. 39, p.  
1082-1084.
- Wise, D. U., 1983, Linesmanship and the  
practice of linear geo-art: Discussion  
and reply, Reply, Geological Society  
of America Bulletin, Vol. 93, 1379p.