

경기도 일부 공원묘역의 지하수 오염가능성

이재황 · 이준수 · 김계훈*

서울시립대학교 환경원예학과

Groundwater Vulnerability of Some Cemeteries in Gyeonggi Province

Jae-Hwang Lee, Jun-Soo Lee, and Kye-Hoon Kim*

Dept. of Environ. Horticulture, The University of Seoul, 130-743

The purpose of this study was to investigate the vulnerability for groundwater contamination at the some cemeteries in Gyeonggi Province. Twenty-eight out of 43 cemeteries in Gyeonggi province were selected for this study. The DRASTIC model was applied to those cemeteries, and the reliance of the model was assessed using the water quality data of the target areas. The DRASTIC model was used for the assessment of the potential for groundwater contamination using hydrogeological factors. Seven factors including depth of water, net recharge, aquifer media, soil media, topography, impact of the vadose zone, hydraulic conductivity of the aquifer were assessed. The DRASTIC index of the study area ranged from 82 to 126 with an average value of 113.99(±11.48). The DRASTIC index was relatively greater in the northern Gyeonggi province than that in the southern area. The DRASTIC index was similar for the areas with the similar burial rate and burial density. This study demonstrated that burial rate and burial density should be considered along with the 7 basic factors for the evaluation of groundwater vulnerability of the cemeteries.

Key words: Cemetery, Groundwater, Vulnerability, DRASTIC model

서 언

우리나라는 매장을 선호하는 장묘문화로 인해 묘지 면적이 지속적으로 증가하고 있다. 매년 18만기의 묘지가 발생하며 전국의 묘지면적은 1999년 말 현재 1,007 km²로 서울(605 km²)의 1.65배, 제주도(1,845 km²)의 절반 이상에 해당한다(MOHW, 2003). 이 면적은 2005년 현재 우리나라 국토면적(99,646 km²)의 1%가 넘는 수치이다. 경기도지역의 경우 수도권 인구 집중의 결과로 묘지의 증가율은 다른 지역에 비하여 더욱 높은 편이다. 경기도에서만 매년 0.45 km²의 산림이 집단묘지로 되어가고 있는데 이는 연간 경기도에서 전용되는 총 산림면적인 13km²의 3.4%이며, 연평균 전국 묘지용 산림 형질변경 면적 0.85 km²의 53%에 해당된다(Kim, 2003). 이러한 문제를 해결하기 위하여 매장 위주의 장묘문화를 화장위주의 장묘문화로 개선하도록 장려하고 있다. 일반인들의 화장에 대한 인식이 많이 바뀌면서 2005년 현재 52.6%의 화장률(MOHW,

2005)을 나타내고 있지만 아직 외국의 화장비율에 비하면 낮은 수치이다. 앞으로 50% 이상의 화장률을 유지한다는 가정하에 매장면적을 추정하면, 매년 사망자는 약 24만명 이상(MOHW, 2005)이고 여기에 법률상의 묘지허가 면적을 적용하여 총 면적으로 환산하면 최소 약 1.2 km²의 묘지가 매년 증가하게 된다. 현재까지는 묘지증가에 따른 국토면적 및 산림의 비효율적 이용 등 주로 경제적 손실에 관한 문제들만이 부각되고 있다. 장묘제도 개선을 위한 방안으로 사회적으로는 화장을 장려하고 법률적으로는 분묘1기당 면적을 30 m²에서 10 m²으로 줄이도록 장묘법을 개정하였다. 그러나 이러한 방안은 매장밀도의 증가에 따른 토양 및 지하수 오염에 대한 문제는 고려되지 않은 것이다. 즉 우리나라의 장묘문제는 시신 한 구당 사용가능 묘지면적의 감소만이 주요 관심사항일뿐 묘지 주변 토양이나 지하수오염 가능성에 대한 문제는 제기되지 않고 있다. 묘지의 경우 지하수법에서 지하수보전구역에서의 설치를 제한하고만 있을 뿐 장묘법상 묘지설치기준에는 붕괴, 침수가 되지 않고 공공시설로부터 일정간격 떨어져 설치하도록 명시되어 있어 설치기준으로만 볼 때에는 지하수 오염을 방지할 수 있는 항

접수 : 2008. 4. 13 수리 : 2008. 6. 25

*연락처 : Phone: +82222102967,

E-mail: johnkim@uos.ac.kr

목이 없는 실정이다. 이러한 법적인 문제뿐만 아니라 국내에서는 현재까지 묘지지역 오염가능성에 대한 연구는 전무한 실정이다. 시신을 매장하는 것은 엄밀한 의미에서는 ‘유기성 폐기물을 매립’하는 행위이므로 지속적인 묘지의 증가로 발생하는 오염물을 사전에 처리하기 위해서는 지하수 오염취약성평가를 통해 묘지 선정 단계에서부터 토양 및 지하수 오염방지에 최선을 다해야 한다.

본 연구는 DRASTIC 모델을 이용하여 경기도 일원 공원묘지를 대상으로 묘지 가동에 따른 지하수 오염 취약성을 평가하기 위하여 수행하였다.

재료 및 방법

지하수오염 취약성 평가지역 지하수오염 취약성 평가를 하기 위하여 경기도 지역의 묘지를 선택하였다. 공설묘지의 경우 넓이가 넓고 매장수가 많지만 지하수를 이용하지 않기 때문에 평가지역에서 제외하였다. 경기도 지역의 법인묘지는 총 43곳인데 이중 지하

수를 사용하지 않는 곳과 새로 신설되어 매장수가 적은 곳을 제외한 28곳을 선정하였다. 평가지역의 분포는 Fig. 1과 같으며 Table 1에 이들 묘지의 현황을 나타내었다.

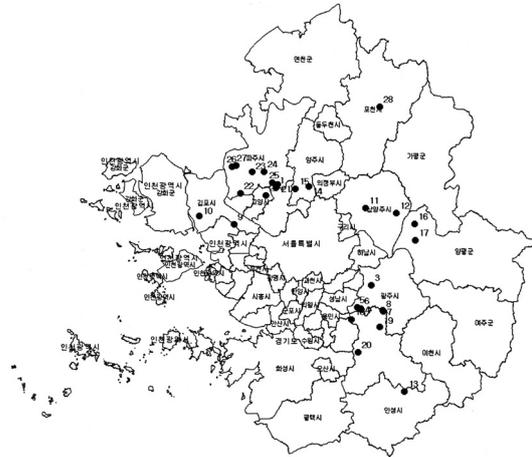


Fig. 1. Location of assessment sites.

Table 1. The conditions of burial grounds investigated in this study.

No.	Site	Opening date	Area	Capacity of graves	No. of graves	Burial rate
			m ²			%
1	Bek-ran	1979	61,050	2,500	2,455	98.2
2	Kuk-je	1975	99,868	3,464	3,457	99.8
3	Chung-hyun	1976	95,430	4,747	1,770	37.3
4	Sung-nam	1976	148,088	7,493	7,180	95.8
5	Pan-gyo	1978	95,868	3,418	3,383	99.0
6	Sam-sung	1978	150,546	7,536	7,492	99.4
7	Gwang-ju	1974	504,140	20,000	12,804	64.0
8	Han-nam	1978	130,926	7,465	4,737	63.5
9	Ko-ryeo	1976	185,357	4,646	4,476	96.3
10	Kim-po	1981	32,660	3,200	2,985	93.3
11	Yoeng-rak	1968	114,737	12,505	6,493	51.9
12	Mo-ran	1966	335,267	13,053	11,904	91.2
13	Su-won	1986	113,197	22,358	9,538	42.7
14	Un-kyoun	1971	101,345	5,067	4,681	92.4
15	Shin-se-kye	1971	178,883	8,944	7,147	79.9
16	Mu-gung-hwa	1976	192,430	10,140	6,361	62.7
17	Pal-dang	1977	142,661	9,415	5,372	57.1
18	Chun-ju-kyo	1967	342,745	20,723	20,723	100.0
19	Yong-in	1975	556,017	22,166	21,707	97.9
20	Seoul	1979	58,088	3,877	3,806	98.2
21	Hwa-kyo	1970	97,124	2,990	2,285	76.4
22	Il-san	1973	166,682	9,174	8,506	92.7
23	Nak-won	1970	218,877	4,480	4,441	99.1
24	Ha-nul	1971	47,458	3,479	582	16.7
25	Jo-an	-	-	-	-	-
26	Kyung-mo	1995	311,176	30,130	7,126	23.7
27	Ki-dok-kyo	1971	107,802	4,300	4,028	93.7
28	Kum-ju	1971	49,587	2,010	1,899	94.5

지하수오염취약성 평가 지하수에 영향을 미치는 잠재 오염원은 그 종류가 다양하고 변화양상 또한 매우 유동적인 관계로 오염원인 분석과 오염물질의 이동경로에 대한 예측이 어렵다. 1987년 미의회 기술평가국(Office of Technology Assessment, OTA)이 분류한 지하수환경의 잠재오염원을 근간으로 하면 현재까지 확인된 국내 지하수자원의 잠재오염원은 6군 35종으로 분류가 가능하다. 이중 묘지지역은 2군인 “저장, 처리, 처분시설로부터 누출된 오염물질”로 분류가 된다(Han, 2000). 묘지는 점오염원으로서 강우의 지하침투에 의해 침출수가 생성되고 이들이 하부 지하수계로 이동하여 지하수 환경을 오염시킬 수 있다. 지하수오염을 방지하기 위한 합리적인 방법은 해당 지역의 잠재오염원 분포현황을 확인하고 각 지역별 수리지질학적인 특성에 따른 지하수의 오염 취약성을 정확하게 평가·예측하여 지하수 환경 보존 대책을 수립하는 것이다. 지하수 오염취약성 평가방법으로는 DRASTIC, SIA(Surface Impoundment Assesment, 지표저류시설 평가법), LSR(Landfill Site Rating, 매립지의 오염가능성 평가법), 폐기물 토양, 매립부지의 상호행렬식 평가법(waste-soil-site interaction matrix), SRM(Site Rating Methodology, 부지점수화 평가법), WHPA(Well Head Protection Area, 취수정 보호계획) 및 pesticide index 평가법이 있다. 이 중 DRASTIC은 기초조사된 수문지질학적인 자료만을 가지고 경험적으로 지하수 오염 취약성을 평가하는 방법이다(Aller et al., 1987). DRASTIC은 외국에서 이용사례가 높고(Al-zabet, 2002; Ettazarini et al., 2004; Fredrick et al., 2004; Herlinger et al., 2006), 국내에서도 지하수 오염취약성 평가시 주로 적용되는 방법이다(Cho et al., 1999; Cho et al., 2004; Hamm et al., 2004; Lee et al., 1996; Lee et al., 1997; Lee et al., 2006; Min et al., 1996). 본 연구에서는 많은 양의 수리지질학적 자료들을 쉽고 빠르게 분석할 수 있는 DRASTIC모형을 이용하여 지하수 오염취약성 평가를 실시하였다.

DRASTIC의 개요 DRASTIC 모델은 지하수 오염에 영향을 미칠 수 있는 수리지질학적 요인을 중심으로 구성된 7개의 요인으로 구성되어 있다. DRASTIC이란 다음 7가지 인자의 머릿글자로 구성되어 있다(Aller et al., 1987).

- ① 지하수위(Depth of water)
- ② 지하수 함양량(net Recharge)
- ③ 대수층 매질(Aquifer media)
- ④ 토양의 매질(Soil media)
- ⑤ 지형구배(Topography)

- ⑥ 비포화대 구성물질(Impact of the vadose zone)
- ⑦ 대수층의 수리전도도(hydraulic Conductivity of the aquifer)

DRASTIC 모델은 1987년 미국 환경보호국(Environmental Protection Agency; EPA)과 미국 지하수협회(National Ground Water Association, NGWA)의 전신인 미국정호협회(National Water Well Association, NWWA)에 의하여 개발된 모델이다(EPA-600/2-87-035). 이 방법은 일정한 지역의 지하수 오염가능성을 이와 관련된 수리지질학적 요인을 수치로 평가하고 각각의 인자들에 의한 영향을 종합적으로 평가하는 방법이다.

DRASTIC 모델에 의한 평가는 각 요인간 가중치(weight), 범위(range), 등급(rating)에 의하여 결정된다. 각 DRASTIC 요인은 다른 요인과의 상대적인 중요성으로 평가되는데 이러한 상대적인 중요성을 가중치로 나타낸다. Table 2와 같이 각 DRASTIC 요인은 1부터 5까지 상대적 가중치를 갖는데 가장 중요한 요인은 5이고 가장 덜 중요한 요인은 1이 된다. 범위는 오염가능성에 따라 범위 또는 매개체의 종류로 나뉘는 것을 의미한다. 등급은 각 범위의 상대적 중요성을 결정하기 위해 부과된 값을 의미한다. 각 범위는 1에서 10사이의 값으로 등급이 결정된다.

Table 2. Assigned weight for DRASTIC features.

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
Max	226
Min	23

Source: Aller et al., 1987

식(1)과 같이 DRASTIC 지수는 7가지 DARSTIC 인자의 등급에 각각의 가중치를 곱한 값을 합산하여 구한다.

$$DI = DrDw + RrRw + ArAw + SrSw + TrTw + IrIw + CrCw$$

----- 식(1)

DI = DRASTIC index, *r* = 등급(rating), *w* = 가중치(weight)

DRASTIC 지수가 산정되면 지하수오염 가능성이 상대적으로 다른 지역에 비해 더 취약한 지역인지 확인이 가능하다. DRASTIC 지수가 높을수록 지하수

오염가능성은 높다. 하지만 DRASTIC 지수는 상대적 인 평가를 수행하는 것이지 절대적인 평가의 답을 제공하는 것은 아니다.

지하수위 지하수위는 지표면에서 대수층까지의 거리로서 지하수면의 심도가 깊을수록 지표 오염물질에 의한 지하수의 오염가능성은 낮아진다.

본 연구의 평가지점들은 대개 산악지역에 분포한 묘지들로서 1일 양수능력이 150톤 이하로 지하수영향 조사가 수행되지 않은 지역들이었기 때문에 평균양수량, 자연수위, 안정수위, 수리전도도등의 측정값을 찾을 수 없었다. 이러한 기초자료의 부재를 대체할 방법으로 지하수공의 해발고도와 자연수위와의 상관분석에서 유추된 회귀방정식의 평균값을 이용한 방법을 이용하였다(Cho et al., 1999; Cho et al., 2004; Min et al., 1996)

조사지점의 지하수위를 구하기 위해서 국가지하수 관측망의 경기도 지역 25개 지점의 표고와 실시간 지하수두관측자료간의 상관분석을 통하여 회귀방정식을 도출하였다.

GPS(Global Positioning System)를 이용하여 각 조사지점의 좌표를 구하였고, 구해진 좌표들은 DEM(Digital Elevation Model)을 이용하여 각 지점의 해발고도를 구하였다. 앞서 도출한 경기도지역의 표고와 지하수두간의 회귀방정식에 해발고도를 대입하여 지하수위를 유추하였다.

지하수 함양량 지하수 함양량은 강우 중 지표면을 침투하고 지하수면에 도달한 단위면적당 물의 양을 말한다. 이렇게 지하로 침투한 물은 오염물질을 지하수면에서는 수직적으로, 대수층내에서는 수평적으로 이동시킬 수 있다. 게다가 지하수 함양량은 비포화대와 포화대에 있는 오염물질의 회석과 분산을 결정한다. 즉, 강수량중 지하수 함양량은 액상 및 고상의 오염물질을 지하수면까지 이동시키고 용탈시키는 중요한 매개물이 된다.

지하수 함양량을 산정하기 위해 물수지 분석법을 이용하였다. 물수지 분석법은 일정 지역단위 지역내의 강수량과 직접유출량, 증발산량, 지하수함양량 간에 수문평형상태가 유지된다는 가정으로 식(2)와 같은 방법으로 지하수 함양량을 구할 수 있다.

$GR = P - DR - PE$ ----- 식(2)
P=강수량, GR=지하수함양량, DR=직접 유출량
PE=증발산량

본 연구에서 강수량은 조사지점으로 선정한 28개소

의 묘지와 근접한 6곳의 기상관측소 자료를 사용하였다. 직접유출량은 SCS-CN 방법으로 구하고 증발산량은 Thornthwait 방법으로 구했다.

- 직접유출량

직접유출량은 SCS-CN방법을 이용하여 구했다. SCS-CN방법은 토양의 피복상태와 이용상태 및 선행 강수량에 따른 CN(runoff curve number)지수를 이용하여 직접유출량을 추정하는 것이다. SCS-CN방법의 기본 가정은 첫째로 초기손실량 Ia(initial abstraction)가 만족되어야 한다는 것이다. 강우(P)가 시작되어 초기손실량(Ia)보다 적은 경우, 유출은 생기지 않는다(Jin, 2001). 둘째, 실제로 토양으로 흡수되는 물의 양과 토양이 최대로 저류할 수 있는 양(최대잠재저류량, S)과의 관계는 강우로부터 발생하는 직접유출량과 초기손실을 제외한 강우량과의 관계와 같다(Lee et al., 2003).

직접유출량(Q)을 구하. 관계식은 식(3)과 같으며 SCS강우-유출관계식이라 한다.

$Q = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S}$ ----- 식(3)
 $P \leq 0.2S$ 일 경우 $Q = 0$

최대잠재저류량(S)는 강우전 토양상태인 선행토양함수조건과 토지이용 및 토지처리 상태 등을 나타내는 유출곡선지수(runoff curve number, CN)로부터 결정되는데 그 관계식은 다음과 같다.

$CN = \frac{25,400}{S+254}$, $S = \frac{25,400}{CN} - 254$ ---- 식(4)

CN 지수는 0 100사이의 값으로 토양과 작물을 포함한 식생과 토지이용상태에 의하여 유도된다. CN 값의 산정은 SCS방법을 사용하여 토지피복, 수문학적적 토양군, 그리고 선행함수조건(Antecedent Moisture Condition, AMC)에 의해 결정된다(Kim, 2003; Park et al., 1999; Lee et al., 2003; Hamm et al., 2005).

CN 지수는 동일한 종류의 토양에 대해서도 토지의 사용용도에 따라 유출 발생능력이 다르게 되므로 토지사용에 따라 다른 값을 갖게 된다. Table 3은 미국 SCS에서 산정한 도시지역의 CN 지수를 나타낸 것이다.

본 연구의 조사지점은 묘지지역으로 개활지(open space)로 분류된다. 이를 위하여 개활지 중 Table 3의 피복률이 50 75%로 피복상태가 보통인 지역의 CN 지수를 이용하였다. CN지수는 토지의 이용용도가 동일하더라도 수문학적 토양군에 따라 달라진다. 토양

Table 3. Hydrologic soil-cover complexes (AMC- II , Ia=0.2S).

Cover description	Cover description			
	A	B	C	S
Full developed urban area(vegetation established)				
Open space (park, golf courwes, cemeteries, etc.)				
Poor condition (grass cover<50%)	68	79	86	89
Fair condition (grass cover 50% to 75%)	49	69	79	84
Good condition (grass cover>75%)	39	61	74	80

Source: USDA, 1997

의 고유성질인 수문학적 토양군을 Table 4에 나타내었다. 토양의 성질에 따라 강우의 침투량이 달라지므로 지하수면으로 스며드는 강수량은 달라진다. 토양의 입단형태, 토성, 유기물함량 등이 이러한 침투율과 유거율을 달라지게 한다. 이 특성을 양적으로 표현하기 어려우므로, SCS에서는 토양의 구분을 대표토양의 침투능을 기준으로 하여 4가지 수문학적 토양군으로 분류하였다. 본 연구에서는 Joeng et al.(1995)이 분류해 놓은 토양통별 수문학적 토양군을 이용하였다. 평가지역별 토양통의 분류를 위해 한국농업토양정보시스템(<http://asis.rda.go.kr>)의 정밀토양도를 이용하였다.

Table 4. Hydrological soil group.

Soil type	Properties	Permeability
		mm hr ⁻¹
A	Lowest runoff potential, high infiltration rate	7.62~11.43
B	Moderately low runoff potential, good drainage	3.80~7.62
C	Moderately high runoff potential, low infiltration rate	1.27~3.81
D	Highest runoff potential, bed drainage	0~1.27

Table 3의 CN 지수는 선행토양함수조건(antecedent moisture condition, AMC)이 CN(II)일 때의 값들이다. 총강수량과 유효우량간의 관계분석에 있어서 5일 혹은 30일 선행강수량은 한 지역의 선행토양함수조건을 대변하는 지표로 흔히 사용된다. 어떤 지역에 동일한 강우가 있을때 선행강수량이 많으면 지역의 토양 습윤도가 높아져서 유출량이 많아지며, 반대로 선행강수량이 적은 경우 침투량이 증가하여 유출량은 작아진다.

SCS-CN방법에서는 Table 5와 같이 선행토양함수조건을 1년 중 식물의 생육이 왕성한 생육기와 비생육기로 나누어 세가지 조건으로 나뉜다. AMC-I는 지역의 토양이 대체로 건조상태에 있어 지표유출량이 대단히 작은 상태를 나타낸 것이며, AMC-II는 지표 유출량이 보통인 상태, AMC-III는 토양이 수분으로 거의 포화되어 있어서 지표유출량이 대단히 많은 상태를 나타내는 것이다.

Table 5. Antecedent soil moisture condition (AMC).

AMC Group	Antecedent precipitation (mm)	
	Growing season	Dormant season
I	P _s <35.56	P _s <35.56
II	35.56<P _s <53.34	35.56<P _s <53.34
III	P _s >53.34	P _s >53.34

Source: USDA, 1997

본 연구에서는 선행토양함수조건을 구하기 위해서 기상청(<http://www.kma.go.kr>) 자료 중 2001년 2005년까지 5년간의 일일 강수량을 이용하였다. 선행 토양함수조건을 식물생육이 왕성하게 일어나는 6월 8월을 생육기, 그 외 1월 5월과 9월 12월을 비생육기로 나누었다. 연간 강수량은 조사지점에서 가장 가까운 이천, 양평, 서울, 수원, 인천, 양평 총 6개 지점의 기상관측소 자료를 이용하였다. 각 기상관측소별 기상자료를 이용한 묘지를 Table 6에 나타내었다.

Table 6. Observation spot.

Observation spot	Site
cheon	Gwangju, Hannam, Yongin, Suwon, Chunghyeon
Yangpyeong	Yeongnak, Moran, Mugunghwa, Paldang, Geumju
Seoul	Gukje, Baengnan, Hwagyo, Sinsegye, Ungyeong
Suwon	Cheonjugyo, Seoul, Seongnam, Pangyo, Samseong
Incheon	Goryeo
Ganghw	Gimpo, Ilsan, Gidokgyo, Gyeongmo, Nagwon, Haneul, Joan

- 증발산량

증발산량은 보통 원통형 증발산계(lysimeter)를 이용하여 측정한다. 하지만 직접적인 측정에 의해서 증발산량을 구하는 것이 어렵기 때문에 Hamm et al.(2004) 및 Kim et al.(1970)이 사용했던 간접적인 방법인 Thornthwaite의 방법을 이용하였다.

Thornthwaite 방법은 증발산에 영향을 미치는 기상 인자와 증발산량간의 상관관계를 분석하여 경험적인 방법으로 지역의 잠재증발산량을 산정하는 방법이다. 이 식은 기온과 일조시간의 함수만으로 나타내기 때문에 요구변수가 적어 다른 방법들에 비해 사용하기

편리하다. 식(5)가 Thornthwait에 사용되는 식이다.

$$j = (t_n/5)^{1.514} \text{ ----- 식(5)}$$

는 월별 열지표(monthly heat index)를 나타낸 것이고 t_n 은 1월부터 12월까지의 월평균기온을 나타낸 것이다. 월별 열지표를 합산하면 연간 열지표 J는 다음과 같다.

$$J = \sum_{n=1}^{12} j_n \text{ ----- 식(6)}$$

월평균 기온이 t_n °C일 때, 월별 잠재증발산 UPE(m)는 다음식으로 나타낸다.

$$UPE(m) = 16.2(10t_n)^{\alpha} \text{ ----- 식(7)}$$

여기서 α (연간 열지수) = $(675 \times 10^{-9})J^3 - (771 \times 10^{-7})J^2 + (179 \times 10^{-4})J + 0.49239$ 이다.

보정된 월별 잠재증발산 PE(m)는 다음과 같다.

$$PE(m) = UPE(m) \cdot \frac{D}{30} \cdot \frac{T}{12} \text{ ----- 식(8)}$$

D는 해당월의 일수, T는 해당월의 최대 일조시간이다. P(월평균 강우량) > PE(m)일때 PE(m)가 월별 실제 증발산이 된다(Hamm et al., 2005).

본 연구에서는 서울, 이천, 인천, 강화, 양평, 수원기 상관측소의 2001년 2005년 월평균기온을 이용하여 연간열지표(J)를 구한 후 월별 잠재증발산(PE)을 산출하였다. 잠재증발산을 산출하기 위해 사용된 해당 월의 최대 일조시간은 국제연합식량농업기구(Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO)의 월별 최대일조시간을 이용하였다. 조사지역의 위도는 북위 37° 정도이므로 북위 35°와 북위 40°의 최대 일조시간을 식(9)에 대입하여 산출하였다.

$$\text{북위}37^{\circ} \text{ 값} = \text{북위}35^{\circ} \text{ 값} - \{(\text{북위}35^{\circ} \text{ 값}) - (\text{북위}40^{\circ} \text{ 값})\} \cdot 2/5 \text{ ----- 식(9)}$$

대수층 매질 대수층이란 일반적으로 경제적으로 개발할 수 있는 정도로 다량의 지하수를 포함하고 있는 암석 및 지층을 말한다. 즉, 대수층이란 지하수를 포함하고 있는 지질단위로서 충분한 양의 지하수가 채수 및 용출되어 용수의 원천으로 충분히 사용가능한 지층 및 암석을 의미한다(Hamm et al., 2000). 지하수는 대수층내 공극과 틈새에 저장된다. 대수층내 지하수의 유동체계는 대수층매질에 의해 영향을 받는데, 오염물질의 이동경로와 이동길이는 이러한 지하수의 유동체계에 의해 영향을 받는다.

대수층매질은 7개의 범위로 나뉘며 대표점수는 8개 범위로 나뉘는데 각 범위는 절리면篠カ穂育 분포정도, 분급, 투수성 등의 기준으로 나눈다.

본 연구를 위한 대수층 매질에 대한 자료는 지질도를 이용하였다. 지질도는 한국지질정보시스템()을 이용하여 김포, 인천, 둔촌, 딱섬, 양수리, 양평, 이천, 수원 1:50,000의 지질도폭을 이용하였다.

토양 매질 지표면에 있는 오염물질은 토양을 통하여 수직으로 침투, 이동하여 불포화층까지 이동하게 된다. 즉, 토양은 오염원의 지하수오염가능성을 가늠할 첫 번째 매질이 되는 것이다. 미사질이나 식질과 같이 입자가 고운 토양은 상대적으로 토양 투수성과 오염원의 이동을 저감시킨다. 더욱이 토양층이 두꺼우면 오염물질의 자연저감작용, 생물학적 분해, 흡착, 휘발작용의 효과가 커지게 된다. 토양에 포함되어 있는 유기물의 양도 지하수 오염가능성을 평가하는 중요한 요소이다. 유기물의 양이 많을수록 유기물 표면에 오염물질을 흡착시켜 이동을 저해시킨다. 토양층이 얇거나 자갈층일 경우 오염가능성이 가장 높으며 유기질이 많거나 식질토양일 경우 오염가능성이 낮다. 토양 매질에 대한 평가는 농업토양정보시스템(<http://geoinfo.kigam.re.kr>)에서 1:25,000 정밀토양도를 이용하였다.

지형구배 지형구배는 조사지역의 경사도와 지표면의 경사도 변화를 말한다. 지형구배는 오염물질이 한 지역에서 머무르는 정도를 결정하여 오염원으로부터 다른 곳으로 이동하거나 지하로 침투하는 것을 결정한다. 즉 지형경사가 급할수록 유속이 빨라져 유출량은 증가하고 지하수 함양량은 감소한다. 반대로 지형경사가 완만할수록 지하수 함양량이 증가하여 지하수 오염가능성이 높아진다.

GPS(Global Positioning System)를 이용하여 각 조사 지점의 위도와 경도를 측정후 그 측정값을 농업과학기술원의 수치표고모형(Digital Elevation Model, DEM)에 적용하여 경사율을 계산하였다.

비포화대 구성물질 비포화대는 포화되지 않은 또는 비연속적으로 포화된 지하수면 위의 공간을 말한다. 비포화대 매질은 토양층과 지하수면사이 오염물질의 자연저감을 결정한다. 생물학적 분해, 중화, 기계적인 여과, 화학반응, 휘발과 분산 등 이런 모든 과정들은 비포화대 내에서 일어난다. 생물학적분해와 휘발작용은 지표면 아래로 내려갈수록 저감된다. 또한 비포화대 매질은 오염물질의 경로와 이동거리에 영향을 끼친다. 특히 오염물질의 이동경로는 파쇄대와 절

리층의 존재여부에 따라 크게 달라지게 된다. 비포화대 매질에 대한 등급을 결정할 때에는 입자크기, 분급, 균질성여부, 세립질 매질의 양이 고려되어야 한다. 기존의 시추 및 측정자료에는 비포화대에 대한 구체적인 조사자료가 명시되어 있지 않았다. 이에 따라 본 연구에서는 비포화대의 지하수오염가능성을 평가하기 위해 토양투수성과 지하수위의 깊이를 이용 Piscopo(2001)의 방법을 따랐다. 불포화층에 오염원이 이동되는 정도에 따라 지하수 오염가능성이 높아지기 때문에 오염물질의 이동속도와 길이를 결정하는 투수성과 깊이를 이용하는 것이다.

대수층의 수리전도도 수리전도도란 대수층이 물을 통과시킬 수 있는 능력을 말하고, 오염물질이 지하수의 횡적 이동과 더불어 얼마나 주변지역으로 확산될 수 있는가를 지시하는 요소로 작용한다. 이는 주어진 수리경사도에서 지하수가 흐르는 속도와 양을 조절하며, 공극과 공극사이의 연결정도에 의해서 조절된다. 여기서 말하는 공극이란 입자사이의 공극, 파쇄대, 절리면 등을 모두 포함한다. 수리전도도가 높을수

록 오염 인자가 대수층 내로 침투할 가능성이 크기 때문에 등급이 높게 나타낸다.

수리전도도는 지하수영향평가시 수리시험을 통하여 분석, 결정하게 되지만 본 연구의 조사지점은 지하수 영향평가가 이루어지지 않은 지역으로 전지역에서 수리전도도 자료를 구할 수 없었다. 따라서 본 연구에서는 지질도를 이용한 조사지점의 지질형태를 Freeze와 Cherry(1979)가 제시한 암종별 수리전도도의 범위에 적용하였다.

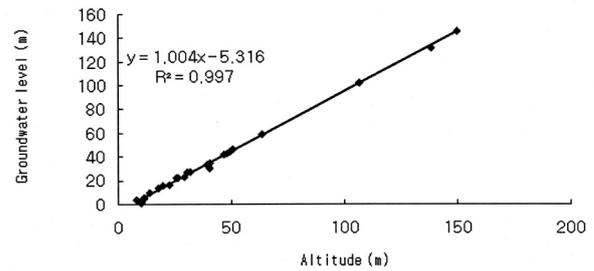


Fig. 2. Relationship between altitude and groundwater level.

Table 7. DRASTIC index of depth to water table.

No.	Site	Altitude	Calculated groundwater level	Depth to water table (m)	DRASTIC index
1	Bek-ran	58	52.97	5.03	35
2	Kuk-je	38	38.87	5.13	35
3	Chung-hyun	265	260.98	4.02	45
4	Sung-nam	111	106.23	4.77	35
5	Pan-gyo	238	233.85	4.15	45
6	Sam-sung	114	109.24	4.76	35
7	Gwang-ju	175	170.54	4.46	45
8	Han-nam	124	119.29	4.71	35
9	Ko-ryeo	82	77.09	4.91	35
10	Kim-po	90	84.83	5.17	35
11	Yoeng-rak	159	154.46	4.54	45
12	Mo-ran	207	202.7	4.30	45
13	Su-won	226	221.79	4.21	45
14	Un-kyoung	143	138.38	4.62	35
15	Shin-se-kye	106	101.2	4.80	35
16	Mu-gung-hwa	203	198.68	4.32	45
17	Pal-dang	319	315.25	3.75	45
18	Chun-ju-kyo	179	174.56	4.44	45
19	Yong-in	187	182.6	4.40	45
20	Seoul	179	174.56	4.44	45
21	Hwa-kyo	127	122.31	4.69	35
22	Il-san	20	14.78	5.22	35
23	Nak-won	46	40.91	5.09	35
24	Ha-nul	97	92.16	4.84	35
25	Jo-an	121	116.28	4.72	35
26	Kyung-mo	19	13.78	5.22	35
27	Ki-dok-kyo	33	27.85	5.15	35
28	Kum-ju	112	107.23	4.77	35

결과 및 고찰

지하수 오염 취약성 평가

- 지하수위

조사지역의 지하수 기초자료의 부재로 지하수위를 구하기 위해서 해발고도와 자연수위와의 상관분석을 통한 회귀방정식을 도출하였다. Figure 2와 같이 두 수치간에는 R²값이 0.9978로 높은 상관관계를 보였다. 즉 해발고도를 이용한 지하수위의 산출은 높은 신뢰성을 가지고 있다고 할 수 있다.

조사지점의 해발고도를 상기 회귀방정식에 대입하여 자연수위를 구하였다. 해발고도와 자연수위의 차이가 지하수위의 깊이가 되는 것이다. 평가지점의 지하수위는 3.75 ~ 5.22 m사이로 크게 7등급과 9등급으로 나뉘었다. 지하수위의 DRASTIC 지수는 Table 7과 같다.

- 지하수 함양량

지하수 함양량은 물수지 분석법을 이용하여 계산하였다. 물수지 분석을 통한 지하수 함양량은 강우량에

서 직접 유출량과 증발산량을 뺀 값으로 지하로 침투되는 물의 양을 말한다. 강우량은 1996년부터 2005년까지 서울, 인천, 이천, 강화, 양평, 수원 기상관측소의 자료를 이용하였다.

CN 지수는 개활지(피복률 50 ~ 75%) 토양을 기준으로 토양통에 따라 분류된 수문학적 토양군을 적용하여 설정하였다. 설정된 CN 지수에 따라 최대 잠재 증발산량을 구한 후 연강우량과 계산하여 직접유출량을 도출하였다.

증발산량은 1996년부터 2005년까지 서울, 인천, 이천, 강화, 양평, 수원 기상관측소에서 측정된 10년간의 월평균기온을 이용하여 산출하였다. 각각 구해진 직접유출량과 증발산량은 연강수량에서 빼주어 지하로 유입되는 지하수 함양량을 계산하였다. 자료의 정확성을 높이기 위해서 10년간의 평균값을 구하였다. Table 8과 같이 연간 지하수 함양량이 최대등급인 254 mm를 넘는 지역은 15곳으로 평가되었으며 금주와 조안은 강수량에 비하여 높은 증발산량에 의해 지하수 함양량이 낮은 것으로 보인다.

Table 8. DRASTIC index of net recharge.

No.	Site	Precipitation	Direct runoff	Evapotrans.	Net recharge	DRASTIC index
		mm	mm	mm	mm	
1	Bek-ran	1671.3	828.3	491.2	216.2	32
2	Kuk-je	1581.0	828.3	260.3	447.1	36
3	Chung-hyun	1406.7	753.6	183.7	425.4	36
4	Sung-nam	1380.7	800.7	182.6	348.1	36
5	Pan-gyo	1380.7	800.7	182.6	348.1	36
6	Sam-sung	1410.8	800.7	182.6	348.1	36
7	Gwang-ju	1436.8	753.6	183.7	425.4	36
8	Han-nam	1408.6	753.6	183.7	425.4	36
9	Ko-ryeo	1419.3	793.8	185.9	300.1	36
10	Kim-po	1487.8	716.4	483.0	196.3	32
11	Yoeng-rak	1507.9	764.8	449.2	205.7	32
12	Mo-ran	1484.3	764.8	449.2	205.7	32
13	Su-won	1527.1	753.6	183.7	425.4	36
14	Un-kyoun	1671.3	828.3	260.3	447.1	36
15	Shin-se-kye	1604.5	828.3	491.2	216.2	32
16	Mu-gung-hwa	1507.9	764.8	231.2	423.7	36
17	Pal-dang	1454.2	764.8	231.2	423.7	36
18	Chun-ju-kyo	1410.8	800.7	182.6	348.1	36
19	Yong-in	1406.7	753.6	394.2	214.9	32
20	Seoul	1501.1	800.7	182.6	348.1	36
21	Hwa-kyo	1632.5	828.3	491.2	216.2	32
22	Il-san	1515.8	716.4	257.9	421.3	36
23	Nak-won	1515.8	716.4	483.0	196.3	32
24	Ha-nul	1515.8	716.4	483.0	196.3	32
25	Jo-an	1515.8	716.4	636.4	42.8	4
26	Kyung-mo	1515.8	716.4	483.0	196.3	32
27	Ki-dok-kyo	1487.8	716.4	483.0	196.3	32
28	Kum-ju	1419.7	764.8	605.1	49.8	4

Table 9. DRASTIC index of vadose zone.

No.	Site	Permeability	Rating	DTW [†]	Rating	DRASTIC index
1	Bek-ran	Moderate	3	5.03	4	14
2	Kuk-je	Mod-high	4	5.13	4	16
3	Chung-hyun	Mod-high	4	4.02	5	18
4	Sung-nam	Mod-high	4	4.77	5	18
5	Pan-gyo	Mod-high	4	4.15	5	18
6	Sam-sung	Mod-high	4	4.76	5	18
7	Gwang-ju	Mod-high	4	4.46	5	18
8	Han-nam	Mod-high	4	4.71	5	18
9	Ko-ryeo	High	5	4.91	5	20
10	Kim-po	Mod-high	4	5.17	4	16
11	Yoeng-rak	Moderate	3	4.54	5	16
12	Mo-ran	Moderate	3	4.30	5	16
13	Su-won	High	5	4.21	5	20
14	Un-kyoun	High	5	4.62	5	20
15	Shin-se-kye	Moderate	3	4.80	5	16
16	Mu-gung-hwa	High	5	4.32	5	20
17	Pal-dang	High	5	3.75	5	20
18	Chun-ju-kyo	Mod-high	4	4.44	5	18
19	Yong-in	Moderate	3	4.40	5	16
20	Seoul	High	5	4.44	5	20
21	Hwa-kyo	Moderate	3	4.69	5	16
22	Il-san	Mod-high	4	5.22	4	16
23	Nak-won	Moderate	3	5.09	4	14
24	Ha-nul	Moderate	3	4.84	5	16
25	Jo-an	Moderate	3	4.72	5	16
26	Kyung-mo	Mod-high	4	5.22	4	16
27	Ki-dok-kyo	Moderate	3	5.15	4	14
28	Kum-ju	Slow	2	4.77	5	14

[†] Depth to water

- 대수층 매질

대수층 매질은 1:50,000의 김포, 인천, 둔천, 딱섬, 양수리, 양평, 이천, 수원 지질도폭을 이용하였는데 주로 풍화된 변성/화성암, 호상편마암(banded gneiss)이었다. 이러한 지질상은 대수층 매질 평가시 모두 3등급에 속하여 상대적으로 지하수 오염가능성이 낮은 형태를 띠고 있었다. 대부분의 묘지지역이 산간에 위치해 있어 비슷한 지질양상을 보인 것으로 생각되며 대수층 매질에 의한 DRASTIC 지수의 변별력은 없는 것으로 보인다.

토양 매질 조사지점의 토성판별은 1:25,000의 정밀토양도를 이용하였다. 농업토양정보센터의 토양지도에서 각 조사지점의 위치를 확인한 후 토양통으로 분류하였다. 토양통의 특성에 따라 각 지점의 토성을 찾았다.

평가지역의 토양은 크게 식양토, 양토, 사양토로 나뉘었으며, 각각 6등급, 10등급, 12등급으로 분류되었다. 대부분의 묘지가 산지에 분포해 있어서 구릉지 및

산악지에 분포하는 토양통들이었다.

지형구배 지형의 경사도를 구하기 위해 수치표고 모델에 적용할 각 지점의 위도와 경도를 GPS를 이용하여 측정하였다. GPS를 이용하여 측정된 각 지점의 좌표는 수치표고모델에 적용하여 해발고도를 산출하여 경사율(%)을 구했다. 대부분의 묘지들이 산악지 및 구릉지에 분포되어 있기 때문에 조사지점의 경사율은 18% 이상의 경사율을 보였다.

비포화대 구성물질 비포화대 구성물질의 DRASTIC 지수는 토양의 투수율과 지하수위의 깊이를 조합하여 산출하였다(Piscopo, 2001). 조사지역의 투수율은 1:25,000의 정밀토양도를 이용하였다.

대수층의 수리전도도 수리전도도는 1:50,000의 지질도에서 암상의 형태를 확인한 후, Freeze와 Cherry(1979)가 제시한 암종별 수리전도도를 이용하여 구하였다. 지질도상 각 지역 암상 형태의 차이가

없었기 때문에 김포공원묘지를 제외하고 모두 DRASTIC 지수가 3이었다. 수리전도도 인자로 각 지역의 오염 취약성 정도를 세밀하게 분류할 수 없어서 지역간 변별력이 없었다.

DRASTIC 지수에 의한 조사지역 지하수의 오염가능성 각 지역의 DRASTIC 지수는 Table 10과 같다. DRASTIC 시스템의 분석 결과값인 DRASTIC 지수는 총 28개 지역에 대해 최소값이 74, 최대값이 126이었으며, 평균값은 113.39, 1.48이었다. 묘지 지역의 지하수 오염 가능성 분석 결과 경기 북부 지역에 위치한 조안과 금주에서 DRATIC 지수가 74로 가장 낮게 나타났고, 하늘, 백란, 낙원 등은 110이하로 비교적 낮게 나타났다. 반면에 경기 동남부 지역에 위치한 충현, 수원, 판교, 광주, 무궁화, 팔당, 천주교, 서울, 운경은 DRASTIC 지수가 120이상으로 경기 북부 지역에 비하여 비교적 지하수 오염가능성이 높은 것으로 보인다.

경기 북부 지역이 동남부 지역에 비하여 지하수위가 낮고 연간 지하수 함양량이 높은 사양토의 토성을

가지고 있기 때문에 지하수 오염가능성이 상대적으로 높게 평가된 것이다. Figure 3은 각 지역의 DRASTIC 지수를 도표화한 것이다. 지하수 오염가능성에 가장 큰 영향을 미치는 인자는 지하수위와 지하수 함양량이었다. 또한 이 값들은 지역간 변별력도 가지고 있었다. 반면 수리전도도와 대수층 매질은 기본 측정자료의 부재로 인해 지역간 변별력이 없었다.

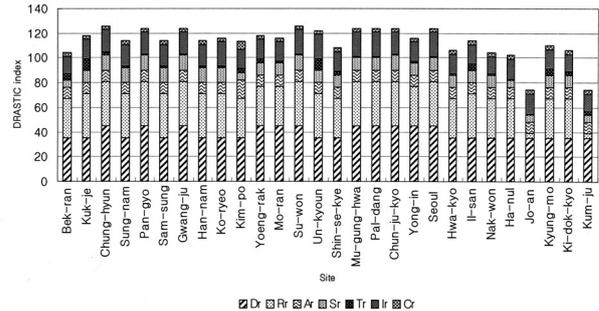


Fig. 3. Aggregated DRASTIC index.

Table 10. Result of DRASTIC index.

Site	Dr	Rr	Ar	Sr	Tr	Ir	Cr	DRASTIC index
Chung-hyun	45	36	9	12	3	18	3	126
Su-won	45	36	9	12	1	20	3	126
Pan-gyo	45	36	9	12	1	18	3	124
Gwang-ju	45	36	9	12	1	18	3	124
Mu-gung-hwa	45	36	9	10	1	20	3	124
Pal-dang	45	36	9	10	1	20	3	124
Chun-ju-kyo	45	36	9	12	1	18	3	124
Seoul	45	36	9	10	1	20	3	124
Un-kyoun	35	36	9	10	9	20	3	122
Kuk-je	35	36	9	10	9	16	3	118
Yoeng-rak	45	32	9	10	3	16	3	118
Ko-ryeo	35	36	9	12	1	20	3	116
Mo-ran	45	32	9	10	1	16	3	116
Yong-in	45	32	9	10	1	16	3	116
Sung-nam	35	36	9	12	1	18	3	114
Sam-sung	35	36	9	12	1	18	3	114
Han-nam	35	36	9	12	1	18	3	114
Il-san	35	36	9	10	5	16	3	114
Kim-po	35	32	15	6	3	16	6	113
Kyung-mo	35	32	9	10	5	16	3	110
Shin-se-kye	35	32	9	10	3	16	3	108
Hwa-kyo	35	32	9	10	1	16	3	106
Ki-dok-kyo	35	32	9	10	3	14	3	106
Bek-ran	35	32	9	6	5	14	3	104
Nak-won	35	32	9	10	1	14	3	104
Ha-nul	35	32	9	6	1	16	3	102
Jo-an	35	4	9	6	1	16	3	74
Kum-ju	35	4	9	6	3	14	3	74

결 론

본 연구에서 사용된 DRASTIC 모델의 7가지 인자 중 수리지질학적인 기본자료의 부재로 자료를 찾는 데 어려움이 많았다. 수리전도도의 경우 측정된 수리전도도 값이 없어 Freeze와 Cherry(1979)가 제시한 암종별 수리전도도 값에 각 지역의 지질도를 대입하여 유추해냈기 때문에 지역간 오염취약성을 세밀하게 분류하지 못했다. 현재까지 우리나라에서 개발된 지하수 오염가능성을 평가하는 모델이 없으므로 DRASTIC 모델을 적용할 수밖에 없지만 우리나라 실정에 맞도록 수정, 보완 되어야 할 것이다. 또한 부재한 자료들은 대체할 수 있는 다른 방법이 연구되어야 할 것이며 우리나라 환경에 맞는 지하수 오염취약성평가방법에 대한 연구가 꾸준히 진행되어야 할 것이다.

현재 우리나라 지하수법에는 묘지지역이 지하수 수질에 영향을 미칠 수 있는 잠재적 오염원이기 때문에 지하수보전구역에 집단묘지의 설치를 제한하고 있다. 앞으로 지하수 오염취약성이 높고 매장밀도가 높은 지역의 지속적인 모니터링을 통한 관리가 필요하다. 그러나 근본적으로 묘지선정시 지하수 오염취약성 조사가 선행되어 오염가능성을 사전에 차단해야 할 것이다. 또한 현재 일률적으로 법에서 규정한 시신 한구당 사용가능 묘지면적도 지하수오염가능성에 따라 적정 매장밀도 및 매장용량을 재산정하는 등 묘지 가동으로 인한 토양 및 지하수의 오염을 방지하기 위한 다각적인 대책 수립이 필요하다.

적 요

본 연구는 묘역의 운영에 의한 지하수의 오염가능성을 조사하기 위하여 경기도 지역의 43개 묘역 중 28개를 대상으로 수행하였다. 이를 위하여 대상 묘역에 일곱가지의 수리지질학적 인자들(지하수위, 지하수 함양량, 대수층 매질, 토양 매질, 지형 구배, 비포화대 구성물질, 대수층의 수리전도도)을 사용하여 지하수 오염 가능성을 평가하는 DRASTIC 모델을 적용하였다.

본 연구에서 연구대상지 DRASTIC 지표는 82~126 범위였고 평균은 113.99(1.48)이었다. 연구대상지인 경기도지역의 묘역의 DRASTIC 지표는 북부가 남부보다 상대적으로 높은 값을 보였다. DRASTIC 지표는 동일한 매장률과 매장밀도를 가지는 지역들 간에는 비슷한 값을 보였다. 이 연구는 DRASTIC 모델을 이용하여 묘역의 지하수 오염가능성을 평가할 때 모델 적용에 필요한 일곱 가지 기본 인자뿐 아니라 매장률과 매장밀도도 고려하는 것이 필요함을 보였다.

사 사

이 논문은 2006년도 서울시립대학교 학술연구조성비에 의하여 연구되었습니다.

인 용 문 헌

- Aller, L., T. Bennett, J.H. Lehr, R.J. Petty, and G. Hackett 1987. DRASTIC: A standard system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. U.S. Environmental Protection Agency/600/2-87/035.
- Al-zabet, T. 2002. Evaluation of aquifer vulnerability to contamination potential using the DRASTIC method. *Environmental geology* 43:203-208.
- Ettazarini, S., and N.E. Mahmoudi 2004. Vulnerability mapping of the turonian limestone aquifer in the phosphates plateau. *Environmental geology* 46(1):113-117.
- Fredrick, K.C., M.W. Becker, D.M. Flewelling, W. Silavisesrith, and E.R. Hart. 2004. Enhancement of aquifer vulnerability indexing using the analytic element method. *Environmental geology* 45(8):1054-1061.
- Hamm, S.Y., J.Y. Cheong, H.S. Kim, J.S. Han, and Y.H. Cha. 2005. Groundwater flow modeling in a riverbank filtration area, Deasan-Myeon, Changwon City. *Economic and Environmental Geology* 38(1):67-78.
- Hamm, S.Y., J.Y. Cheong, M.J. Kim, I.S. Kim, and H.S. Hwang. 2004. Assessing Groundwater Vulnerability Using DRASTIC Method and Groundwater Quality in Changwon City. *Economic and Environmental Geology* 37(6):631-645.
- Han J.S. 2000. *Groundwater Environment and Pollution*. p.703-711. Pakyoungsa, Seoul, Korea.
- Herlinger, R., and A.P. Viero. 2007. Groundwater vulnerability assessment in coastal plain of Rio Grande do Sul State, Brazil, using drastic and adsorption capacity of soils. *Environmental geology* 52:819-829.
- Jeong, J.H., S.P. Jang, H.I. Kim, H.T. Jeong, K.S. Hue, and H. Park. 1995. Classification of Hydrologic Soil Group for Runoff Potential. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 37(6):12-32.
- Jin, E.J. 2001. A Study on the Hydrologic Change Analysis by Urbanization- Focused on Detention Storage Estimation Using SCS method. Master's thesis, Seoul National University, Seoul, Korea.
- Jo, S.B., K.D. Min, N.C. Woo, and S.R. Lee. 1999. A Study on Groundwater Contamination Potential of Pyungtaek-Gun Area, Kyunggi-Do Using GIS. *Journal of Korean Society of Groundwater Environment* 6(2):87-94.
- Jo, S.B., and H.W. Shon. 2004. A Study on The Prediction of Groundwater Contamination Using GIS. *Journal of Korean Geophysical Society* 7(2):121-135.
- Kim, K.T. 2003. A Suggestion for the Determination of CN Using Detailed Soil Map. *Journal of Korea Water Resources Association* 36(4):45-53.

- Kim, R.O. 1970. Water Balance of Korea According to Thornthwaite's Method. The Journal of the Korean Geographical Society 5(1):14-30.
- Lee, B.J, and D.H. Bae. 2003. Runoff Curve Number Estimation for Cover and Treatment Classification of Satellite Image (II): - Application and Verification . Journal of Korea Water Resources Association 36(6):999-1012.
- Lee, S.H., and S.K. Bae. 2003. Estimation of Groundwater Recharge Rate by SCS-CN Method in Wicheon Basin. Journal of Nakdonggang Environmental Research Institute 8(1):177-183.
- Lee, S.R., and S.H. Choi. 1997. Groundwater Pollution Susceptibility Assessment of Younggwang Area Using GIS Technique. Journal of Korean Society of Groundwater Environment 4(4):223-230.
- Lee, S.R., and Y.J. Kim. 1996. Analysis of Groundwater Pollution Potential and Risk using DRASTIC System. Journal of GIS Association of Korea 4(1):1-11.
- Lee, Y.D, and H.K. Song. 2006. A Study on Vulnerability of Groundwater Pollution for Western Area in Jeju Island. Proceedings of Biannual Conference for Korean Society of Groundwater and Soil Environment p.316-318.
- Min, K.D., Y.H. Lee, S.R. Lee, Y.J. Kim, and J.S. Han. 1996. Analysis of Groundwater Pollution Potential and Development of Graphic User Interface using DRASTIC System. Journal of Korean Society of Groundwater Environment 3(2):101-109.
- MOHW (Ministry for Health, Welfare and Family Affairs). 2003. A Funeral Service Information. Ministry for Health, Welfare and Family Affairs.
- Park, J.S., K.H. Kim, M.W. Jeon, and J.S. Kim. 1999. Estimation Methods of Groundwater Recharge Rate in Small Basin. Journal of Korean Society of Groundwater Environment 6(2):76-86.
- Piscopo, Gennaro. 2001. Groundwater vulnerability map explanatory notes. NSW department of land and water conservation.
- USDA (United States Department of Agriculture) NRCS (Natural Resource Conservation Service). 1997. National engineering handbook part 630-hydrology.