

공간관계를 이용한 지하수 관정의 안전도 평가를 위한 시스템 설계 및 구현

이재봉[†] · 곽훈성^{††}

요약

본 논문은 지하수 관정의 안전성 평가를 위한 시스템을 구현하였다. 지하수의 수질은 지상오염 원인의 영향을 받으므로 수질 성분의 측정으로 영향을 원인과 그 정도를 파악할 수 있다. 본 논문은 지하수 관정과 영향을 주는 지리-객체의 공간관계를 지리정보시스템의 포함(contains) 연산자와 거리(distance) 연산자를 사용하여 평가하는 방법을 제안하였다. 연구대상은 전라북도 군산 지역으로서 주로 제4기 충적층에 있는 75개의 지하수 관정의 성분 측정값을 제안한 방법으로 비교 평가한 결과를 ZEUS 2000 지리정보시스템에 저장, 표현할 수 있게 하고 ZEUS/SQLX, ZEUS/COM 그리고 Visual Basic 6.0 프로그래밍 언어를 이용하여 검색, 연구 분석 할 수 있는 사용자 인터페이스를 구현하였다. 연구의 결과 지하수 관정과 다른 지리-객체들의 공간관계를 확인하였고 지리정보시스템을 이용한 효과적인 안전성 평가지수를 개발하였다. 더욱 많은 지역의 사례에 대한 비교 평가로 제안한 평가 모델을 검증하는 것을 향후 연구과제로 남긴다.

Design and implementation of ground water safety evaluation system using spatial relationships

Jae Bong Lee[†] · Hoon Sung Kwak^{††}

ABSTRACT

This paper is about to implement a system for ground water safety evaluation. Since ground water quality is affected from the contamination source of surface water, one can estimate the magnitude of affection and the source themselves. This paper suggests a method to evaluate the spatial relationship of ground water and its contamination sources, using "contains" and "distance" operators in GIS. The research area is the Kunsan City in Chonbuk province, and are 75th wells those are located between the 4th alluvium land types. The results of measured chemical factors and results of related evaluation of these wells are stored and represented in ZEUS 2000 GIS DBMS, and an interface for searching and studying, is implemented by using ZEUS/SQLX, ZEUS/COM, and Visual Basic 6.0 programming languages. After this research, the spatial relationship between hydro-geological geo-objects and ground water is verified and a efficient evaluation system using GIS is suggested. It is the topic of further study that tries to calibrate the suggested evaluation model by applying it to wider area.

키워드 : 지하수(Ground Water), 안전성 평가(Safety Evaluation), 수질(Water Quality), 공간 관계성(Spatial Relationship), 지리-객체(Geo-Object)

1. 서론

군산지역은 금강과 만경강 하류의 퇴적물로 형성된 지질에 위치하고 있다. 또한 일부는 바다를 간척하여 형성된 곳으로 바다로부터 많은 영향을 받고 있다. 군산지역은 해상 운송 수단을 기반으로 산업이 발달하게 되고 그로 인한 인구의 증가가 가속화되고 있다. 이는 두 가지 원인을 제공하는데, 첫째 수자원을 필요로 하게 되고 둘째 자연 환경 오염을 가중시킨다. 미국, 영국 등 세계의 선진 각 국가들보

다도 지하수 이용 비율이 낮은 우리나라는 지하수의 개발과 이용이 점차 증가하고 있다[3]. 따라서 이미 개발된 지하수 관정의 오염에 대한 안전도를 평가하고 앞으로 개발될 지하수 관정의 적합성 평가가 요구된다. 관정은 지상의 지리적 환경에 영향을 받게 되므로 지상의 주변 환경에 대한 고려가 필요하다.

본 논문은 지하수 오염에 대한 안전도 평가를 위해 지리적 환경에 있는 오염원(contamination source)을 고려함에 있어 지리-객체 영향력과 공간적 관계성을 이용하였다. 관정의 지하수는 지리-객체와 위상적 관계뿐만 아니라 지질, 지형 등과 같은 DRASTIC 요소, 거리 관계와 관정의 깊이도 영향을 받는다. 관찰된 지하수 관정의 지리 영역은 전라북도 군산시 지역이 되며, 관정 지리-객체와 연관된 주변

※ 본 연구는 군산대학교 새만금환경연구센터(과학기술부 RRC) 사업에 의해 수행되었음.

† 정 회 원 : 전북대학교 대학원 컴퓨터공학과

†† 정 회 원 : 전북대학교 전자정보공학부 교수

논문접수 : 2003년 7월 31일, 심사완료 : 2003년 11월 7일

환경을 구성하는 지리-객체들로는 바다, 경작지, 공단 등이 있다. 관정 지하수의 성분이 GIS를 위한 지리-종속 속성이 되고, 이를 포함한 각각의 지리-객체의 성분이 지리-종속 속성이 지리-필드가 된다. 관정 지리-객체는 공간적 관계에 있는 다른 지리-객체로부터 영향을 받게 되는데, 관정 지리-객체의 성분을 가지고 있는 다른 지리-객체의 성분을 거리, 깊이와 성분의 농도를 이용하여 평가한다. 이를 원인 지수라 한다. 관정 지리-필드는 다른 지리-객체의 성분을 가지게 되고 관정 지리-필드를 깊이, 거리, 농도로 오염의 결과를 평가하게 되는데, 이를 결과지수라 한다. 평가되어진 원인지수와 결과지수를 상대적으로 분석하여 원인에 대한 결과로서 관정의 오염에 대한 안전 정도가 평가될 수 있다. 이를 평가지수라 한다.

관정 오염 안전도 평가를 위해 ZEUS 공간 데이터 타입을 상속받은 클래스를 설계하고 다른 지리-객체와 관정 지리-객체의 공간 관계성 연산을 위하여 ZEUS/SQLX을 이용하였다. 지하수 관정의 관정 지리-필드는 군산시 지역 지하수 관정 75개소의 성분을 분석하여 이용하였다[2]. 공간 데이터베이스를 위해서 ZEUS SERVER를 이용하고 ZEUS/COM과 VisualBasic 6.0을 이용하여 GUI 형태의 인터페이스로 시스템을 구현하였다.

본 논문은 관정 개발의 계획의 적합성 검토와 기존 관정의 용도의 재평가 및 주변 지역 개발 계획 수립에 활용될 수 있다.

본 논문의 구성은 제 2장에서 관련 연구, 제 3장에서 관정 안전도 평가를 위한 데이터 모델을 제시하고, 제 4장에서는 원인지수, 결과지수와 평가지수에 의한 안전도를 평가하고, 제 5장에서는 지하수 관정의 안전도 관리 시스템을 구현 비교 검토하고, 마지막으로 결론을 내리고 향후 연구에 대해 토의한다.

2. 관련 연구

지리정보시스템(Geographic Information System : GIS)은 관정의 주변 환경을 평가하는 방법을 제공한다. 이 시스템은 지하수 관정의 지구 좌표계에 따른 위치, 지형, 지질 그리고 오염원의 분포 및 영향력 등을 분석할 수 있게 한다[18]. GIS에 의한 지하수 관정의 관리를 위해서 지리적 분석을 위한 요소가 필요하다. 지리적 분석 요소로서 지리적 현상과 관계성을 들 수 있다. GIS에서 지리 현상으로서 표현의 대상인 지리-객체는 실세계의 객체 특성을 객체의 속성과 객체 사이의 관계를 규정하여 추상화한 공간상의 유일한 존재[8, 15]로 규정한다. 지하수 관정에서 측정된 수질은 지하수에 포함되어 균일하게 연속적으로 지하에 분포되어 있는 객체의 속성으로 지리적으로 종속되어 있다. 이를 지리-필드라 한다[7].

GIS는 지하수 관정이 지리적 주변 환경과 어떠한 관계성이 있는지를 분석할 수 있게 한다. 이런 시스템은 관정의 위치와 다른 지리-객체와의 위상적 관계를 설명할 수 있다.

다른 지리-객체의 속성과 관정의 연관성을 분석하고, 거리적 관계를 추가하며 관계성 분석이 합리적으로 타당한 결과를 도출하였다고 할 수 있다.

지하수 오염과 관련된 평가 모델로 DRASTIC이 있다[10]. 이사로[20]는 충주호 주변 지역의 관정 지하수의 오염 취약성을 평가하기 위해 이 모델에 GIS를 활용하여 수리지질학적 요인을 분석하였다. 김만규[18]는 지하수 개발의 설계와 타당성을 지원하기 위해 오염원, 지질, 관리자 등의 관련 자료를 이용하여 지상의 환경을 고려하였다. 김만규는 “GIS를 이용한 지하수 개발 설계 지원 시스템으로 지하수 모의 조작을 위하여 널리 알려진 프로그램으로 AQTESOLV와 WHPA를 사용하였다.

GIS는 실세계의 지리적 현상에 대한 것으로 실세계의 지리-영역은 응용하고자하는 주제에 따라 비지리-객체와 지리-현상으로 나타내고 지리-현상을 공간상에 독립적으로 존재하는 지리-객체와 공간에 종속하는 지리-필드로 세분화하여 제시할 수 있게 한다[16]. Borges[13] 등은 지리-필드의 연산 규칙과 공간 사이의 관계를 위한 규칙을 공간 관계성과 망-관계성으로 표현하였다. 지하수 오염 가능성 분석을 위한 DRASTIC 모델은 지리-객체 속성을 기반으로 평가되었다[20].

3. 지하수 오염에 대한 안전도 평가를 위한 지리 데이터 모델

전라북도 군산시의 지하수 안전도 평가를 응용분야로 하여 지리정보시스템을 구축하고자 할 때, 이 안전도 평가 지역인 군산시 지역에서 지리-객체는 서해바다, 지하수 관정, 경작지 및 공단 등이다. 이 지리영역에서 축척(scale), 해상도(resolution)와 도량형(measurement unit)에 따라 공간 개체의 속성과 공간 개체 사이의 관계성의 한계가 결정된다. 공간-종속 속성은 지리-객체와 지리-필드 사이의 관계성을 함수를 도입하여 표현한 것이다. 공간 종속 속성은 측정 척도(measurement scale)에 따라 표현된다. 또한 지리영역에서 지형, 지물은 응용하고자 하는 관점에 따라 지리-객체로 표현할 수도 있고 지리-필드로도 표현될 수 있다. 즉, 지리영역에서 지형, 지물이 주제에 따라 연속적으로 균일하게 분포된 지리영역이 되면 지리-필드로 볼 수 있고, 하나의 독립적으로 존재하는 대상이 되면 지리-객체로도 볼 수 있다. 예를 들어 “만경강”이 물고기 서식지일 때 물고기 입장에서 보면 “만경강”은 지리-필드가 되고 물고기는 지리-객체가 된다. 그러나 “만경강”을 가로지르는 “전주 군산간 도로” 입장에서 보면 “만경강”은 지리-객체로 볼 수 있다[8].

공간 관계성 입장에서 “지하수 관정”이라는 지리-객체가 “경작지”라는 지리-객체에 지리적으로 포함되는 위상 관계성을 형성하고, 또한 관정 지리-객체는 바다 지리-객체와 떨어져 있다.

그래서 이 장에서는 안전도 평가를 모델링하기 위해 지

리-객체에서 추출한 지리-필드를 규정한다. 그리고 수치지도상에 독립적으로 존재하는 지리-객체를 기술하고, 이 지리-객체들 사이의 공간적 관계성을 모델링하고자 한다[8].

3.1 지리-필드

지리-필드는 지구 표면의 어느 영역 상에서 연속적으로 분포된 변수를 표현할 때의 지리영역을 의미한다[15]. 지리-필드 모델에서 속성 및 메소드의 정의역을 나타내는 기본 자료형은 raster기반 자료형과 vector기반 자료형으로 구분된다[13]. raster 기반 자료형은 Grid of Cells(GC), Irregular Points(IP)와 Grid of Points(GP)이 있으며, vector 기반 자료형은 Triangular Irregular Network(TIN), Adjacent Polygons(AP), Isolines(IL)이 있다[13]. 그래서 지리-필드 모델의 정의역(FDOM) 전체 집합(U_{FDOM})은 $U_{FDOM} = \{GC, IP, GP, TIP, AP, IL\}$ 이다.

응용하고자 하는 지리영역(geographic domain)에서 지리-필드의 위치는 속성 영역(attribute domain)으로부터 수집된 값에 사상(mapping)된다. 예를 들어, 고도, 온도, 그리고 강수량이 이러한 지리-필드 모델링을 사용하여 구현되어진 공간 변수들이다. 이 지리-필드에 대한 [정의 1]은 다음과 같다.

[정의 1] 지리-필드 GF

- $GF = \langle go_oid, X, B, SC \rangle$

지리-필드 GF에서 go_oid는 객체식별자이고, $X = \langle x_i, v_i \rangle$ 에서 x_i 는 지리-필드 상의 위치를 나타내고 $1 \leq i \leq n$ 이다. 여기서 n은 전체 위치의 개수를 의미한다. 또한 v_i 는 위치 x_i 에 있는 필드 값을 나타낸다. B는 지리-필드들의 행위(behavior)이며, SC는 지리-필드의 기하학적 속성을 표현하기 위한 척도(scale)를 나타내며, $SC = \{nominal, ordinal, interval, ratio\}$ 이다. □

예를 들어, “전라북도 군산지역”에서 존재하는 지하수 관정, 경작지, 바다, 공단 등에서 연속적으로 균일하게 분포되어서 나타내는 온도, 염도, 습도 및 산성도(ph) 등은 지리-필드에 해당한다.

공간상에 균일하게 연속적으로 분포하고 있는 것을 지리-필드라 한다. 지리-필드는 공간에 종속해서 지도상에 표현할 수 있는 속성들을 의미한다. 지하수의 관정, 경작지, 바다 및 공단 등에서 채취한 성분들이 각각 지리-필드가 된다[15].

군산 지역에 있는 75개소의 지하수 관정에 대한 지리-필드는 화학적인 성분을 포함하여 25가지의 공간-종속 속성을 채취하여 측정하였다. 이 측정 자료의 요소는 다음의 (그림 1)(a)와 같다.

일반적으로 해수 성분은 지구상의 거의 모든 원소를 포함하고 있다. 해수는 염소이온과 나트륨이온이 85%를 차지하고 황산이온, 마그네슘이온 및 칼슘이온 등이 나머지의 대부분을 차지한다[3]. 바닷물에서 채취한 화학성분에 대한 지리-필드는 (그림 1)(b)와 같다.

(a) 관정 지리-필드

| 관정번호 | 위치 | Na | Ca | Mg | Cl | SO4 | HCO3 | NO3 | NO2 | NH4 | Fe | Mn | Cd | Pb | Hg | CN | 유기탄 | PCB | TCE | Cu | |
|------|------|--------|-------|------|-----|-----|------|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|----|--|
| 1 | 25-4 | 262-26 | 960 | 11.9 | 1.1 | 0.1 | 0.1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 25-4 | 262-26 | 226.0 | 11.9 | 1.9 | 0.1 | 0.1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 25-4 | 262-26 | 140.0 | 21.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 25-4 | 262-26 | 200.0 | 20.1 | 1.0 | 0.1 | 0.1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | 25-4 | 262-26 | 300.0 | 18.7 | 1.1 | 0.1 | 0.1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | 25-4 | 262-26 | 100.0 | 18.7 | 1.1 | 0.1 | 0.1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 25-4 | 262-26 | 100.0 | 18.7 | 1.1 | 0.1 | 0.1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 25-4 | 262-26 | 100.0 | 18.7 | 1.1 | 0.1 | 0.1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 25-4 | 262-26 | 100.0 | 18.7 | 1.1 | 0.1 | 0.1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 25-4 | 262-26 | 100.0 | 18.7 | 1.1 | 0.1 | 0.1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 11 | 25-4 | 262-26 | 100.0 | 18.7 | 1.1 | 0.1 | 0.1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 12 | 25-4 | 262-26 | 100.0 | 18.7 | 1.1 | 0.1 | 0.1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 13 | 25-4 | 262-26 | 100.0 | 18.7 | 1.1 | 0.1 | 0.1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 14 | 25-4 | 262-26 | 100.0 | 18.7 | 1.1 | 0.1 | 0.1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 25-4 | 262-26 | 100.0 | 18.7 | 1.1 | 0.1 | 0.1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 16 | 25-4 | 262-26 | 100.0 | 18.7 | 1.1 | 0.1 | 0.1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 17 | 25-4 | 262-26 | 100.0 | 18.7 | 1.1 | 0.1 | 0.1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 18 | 25-4 | 262-26 | 100.0 | 18.7 | 1.1 | 0.1 | 0.1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 19 | 25-4 | 262-26 | 100.0 | 18.7 | 1.1 | 0.1 | 0.1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 20 | 25-4 | 262-26 | 100.0 | 18.7 | 1.1 | 0.1 | 0.1 | | | | | | | | | | | | | | |

(b) 바다 지리-필드

| 순서 | 성분 | 값(mg/kg) | 추가 |
|----|-------|----------|----|
| 1 | Br | 0.13 | 추가 |
| 2 | Ca | 40.1 | 삭제 |
| 3 | Cl | 1897.9 | 확인 |
| 4 | H3BO3 | 2.6 | 확인 |
| 5 | HCO3 | 13.97 | 확인 |
| 6 | K | 36 | 취소 |
| 7 | Mg | 127.2 | 확인 |
| 8 | Na | 1055.61 | 확인 |
| 9 | So4 | 264.86 | 닫기 |

(a) 관정 지리-필드 (b) 바다 지리-필드

(c) 경작지 지리-필드

| 순서 | 성분 | 값(mg/kg) | 추가 |
|----|------|----------|----|
| 1 | Cd | 1.5 | 추가 |
| 2 | Cr+6 | 4 | 삭제 |
| 3 | As | 6 | 확인 |
| 4 | Pb | 100 | 확인 |
| 5 | Hg | 4 | 확인 |
| 6 | CN | 2 | 취소 |
| 7 | 유기탄 | 10 | 확인 |
| 8 | PCB | 0 | 확인 |
| 9 | TCE | 8 | 닫기 |
| 10 | Cu | 50 | 확인 |

(d) 공단 지리-필드

| 순서 | 성분 | 값(mg/kg) | 추가 |
|----|------|----------|----|
| 1 | Cd | 12 | 추가 |
| 2 | Cr+6 | 12 | 삭제 |
| 3 | As | 20 | 확인 |
| 4 | Pb | 400 | 확인 |
| 5 | Hg | 16 | 확인 |
| 6 | CN | 120 | 취소 |
| 7 | 유기탄 | 30 | 확인 |
| 8 | PCB | 12 | 확인 |
| 9 | TCE | 40 | 닫기 |
| 10 | Cu | 200 | 확인 |

(c) 경작지 지리-필드 (d) 공단 지리-필드

(그림 1) 지리-필드 인터페이스

또한 위의 (그림 1)(c)는 지적법 제5조 제1항의 규정에 의해 임야, 하천 및 경작지 등의 지리-객체에 대한 토양오염을 평가하기 위한 환경 기준이고, (그림 1)(d)는 동법 규정에 의한 공장용지 및 도로 등의 지리-객체에 대한 토양오염을 평가하기 위한 환경 기준이다[6].

위의 (그림 1)(c)와 (그림 1)(d)에서 TCE는 유기염소화합물, PCB는 폴리클로로다이티드비페닐, TPH는 석유계 총탄화수소, PCE는 테트라클로로에틸렌 그리고 BTEX는 벤젠, 톨루엔과 자일렌이다.

3.2 지리-객체와 공간 관계성

지리-객체는 지구 표면의 임의의 영역에서 독립적으로 존재하는 객체를 의미한다. 객체 지향 공간 객체 모델을 지원하는 ZEUS의 기본 자료형은 Point, Simpleline, Polyline과 Polygon 등을 가지고 있다.

공간상의 지구 표면에서 지리정보시스템의 자료로 만들기 위해서 지형과 지질의 지역적 범위로서 공간 영역을 정의한다[8]. 이 공간영역에서 개별적으로 존재하는 자연지형이나 인공지물을 지리-객체라 한다[15]. 예를 들어, 군산시라는 지리영역에서 지리-객체는 지하수의 관정, 경작지, 바다 및 공단 등이다. 이에 대한 지리-객체는 다음의 [정의 2]와 같이 규정할 수 있다.

[정의 2] 지리-객체

- $GO = \langle go_oid, V, M, shape, R \rangle$

지리-객체 GO에서 go_oid는 객체식별자를 나타내고, V는 속성들의 값들이며, M은 객체들의 메소드이며, shape는 지리객체의 기하형태를 나타내는 기하 속성으로 이에 대한 자료형은 ZEUS의 공간 기존 자료형 Point, Simpleline 및 Polygon 등을 이용한다. R은 지리-객체와 지리-객체 사이의 관계성을 나타내는 것으로 위상관계, 거리관계와 방향관

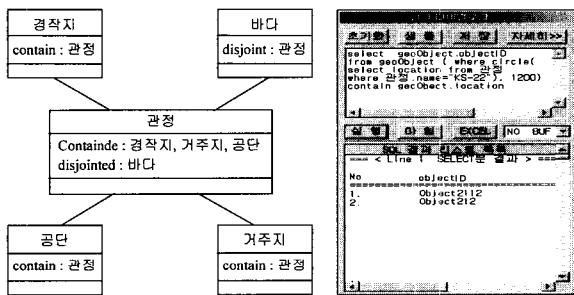
계로 구성된다. □

위의 [정의 2]에서 공간 관계성을 세부적으로 고찰하면, 공간 관계성에 따라 속성-영역을 형성하기 위한 클래스 구조는 연속적인 변형(continuous deformation) 하에서 변화하지 않는 기하학적 형태(geometric figures)의 속성을 위상 속성이라 하고, 변화하는 속성은 측정(metrics) 속성이라 한다. 그래서 공간-객체와 공간-객체 사이의 관계를 나타내고 있는 관계 클래스는 공간 관계의 의미에 따라 위상 특성에 의한 위상관계, 측정에 의한 방향관계와 거리관계로 구분된다. 이를 구체적으로 기술하면, 공간-객체 사이의 위상 관계는 contain, disjoint, cross, intersect, inside 및 equal 등이다. 공간 객체들 사이의 거리 관계는 distance와 perimeter이다[8, 9].

위의 [정의 2]에 의해 대상이 되는 영역은 지리 영역이며 대상이 되는 객체는 지리-객체이다. 지리-객체들 사이의 지리 관계성에 대해 구체적으로 설명하여 보자. 예를 들어, 지리 영역 “전라북도 군산시”에서 지하 수질 오염 측정을 위해 관정 지리-객체의 기하학적 형태에 대한 지리 자료형은 점이나 면으로 나타낼 수 있다. 본 논문에서는 관정 지리-객체를 점(point) 자료형으로 선언한다. 그래서 관정 지리-객체(point)와 다른 지리-객체들(polygon) 사이의 위상 관계성과 거리 관계성을 다음의 <표 1>과 같이 기술할 수 있다.

<표 1> 관정 지리-객체와 다른 지리-객체 사이의 공간 관계 현황

| 지리-객체 \ 관 정 | 공간 관계성 | |
|-------------|----------|----------|
| | 위상 관계성 | 거리 관계성 |
| 주거지 | contain | distance |
| 바다 | disjoint | distance |
| 공단 | contain | distance |
| 경작지 | contain | distance |



(a) 지리-객체 클래스계층구조 (b) 위상 관계 연산을 위한 ZEUS/SQLX (그림 2) 공간 관계성에 의한 클래스계층구조와 질의 다이얼로그 인터페이스

공간 관계성 입장에서 “지하수 관정”이라는 지리-객체가 “경작지”라는 지리-객체에 지리적으로 포함되는 위상 관계성을 형성하고, 관정 지리-객체는 주거지 지리-객체에 포함되어 있으며, 또한 관정-객체는 바다 지리-객체와 떨어져 있다. 이에 대한 개념적 모델을 설계하면, 다음의 (그림 2)(a)

와 같고, (그림 2)(b)는 관정 지리-객체와 다른 지리-객체 사이의 위상 관계 연산을 위한 ZEUS의 SQLX 구문이다.

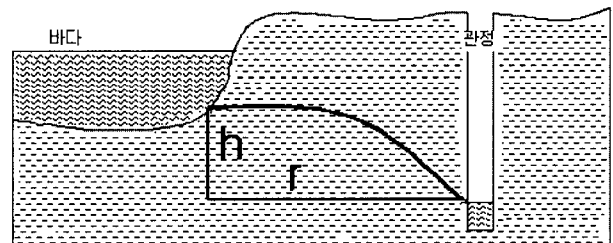
4. 관정의 오염에 대한 안전도 평가

인류 문명의 발전은 인간의 삶의 질을 향상시켰지만, 자연과 서로 공존하면서 살아가는 인간은 여러 오염물질을 발생시켜 자연환경을 파괴시키고 있다. 오염원들은 지하로 침투되어 인류의 생명의 근원인 지하수를 오염시키게 된다. 이러한 자연환경에 직접적인 영향을 미치는 오염원인들은 다음과 같다.

- ① 인간과 가축의 배설물과 생활 오배수
- ② 농업 생산을 위해서 사용되는 화학비료와 농약
- ③ 공장에서 배출되는 산업 폐기물

위에서 기술한 오염원들의 효과를 알아보기 위해서 지하수의 오염에 대한 안전도를 평가할 수 있는 효율적인 방법이 필요하다. 그래서 본 논문은 지하수 안전도 평가를 하기 위해 관정 지리-필드의 성분들을 분석하고, 지하수가 인간에 의해서 발생하는 오염원으로부터 얼마나 영향을 받는지를 평가를 내리는 방법을 제시하고자 한다.

제 2장에서 규정한 관정 지리-필드의 성분들은 경작지, 바다 및 공단 등의 지리-객체들에 분포하고 있는 화학적 성분에 영향을 받을 수 있다. 또한 관정 지리-객체는 연관된 지리-객체들과 수평적 거리(r)과 수직적 깊이(h)의 거리 관계성을 갖는다. 세부적으로 관정 지리-객체와 위상관계와 거리관계를 형성하는 다른 지리-객체의 화학적 성분은 지하를 통과하면서 여과되는데 투수매체인 토양에 따라 여과되는 정도가 달라질 수 있다. 이 여과되는 정도를 농도계수로 정의한다. 농도계수는 투수계수에 비례하고 수평적 거리(r)와 수직적 깊이(h)에 반비례한다. 예를 들어, 관정 지리-객체와 바다 지리-객체에 대한 위상적 관계는 다음의 (그림 3)과 같이 표현할 수 있다.



(그림 3) 관정 지리-객체와 바다 지리-객체 사이의 위상 관계

본 논문은 관정 지하수 안전도 평가를 내리기 위한 방법으로 오염원으로부터 영향을 받게 될 정도를 원인지수로 규정하고, 관정으로부터 채취한 수질을 분석하여 나타난 결과를 결과지수로 도출하여 평가하고자 한다.

4.1 오염 원인

지하수 오염을 평가하기 위해서 관정 지리-객체와 지리적 환경에 따라 종속하는 다른 지리-객체의 화학적 성분들의 값을 성분계수(E)라 규정하고, 이 화학적 성분이 지하를 통과하면서 여과되는 정도를 값을 농도계수(D)라 한다. 이 성분 계수와 농도계수는 지하수 안전도 평가의 원인이 된다. 그래서 지하수 안전도 평가의 원인 정도를 나타내는 원인지수(C)는 다음의 식 (1)과 같이 유도할 수 있다.

$$C = E * D \tag{1}$$

위 식 (1)에 의한 성분계수는 관정 지리-객체와 위상적으로 관계가 있는 지리-객체가 포함하고 있는 화학 성분에 의해서 결정된다. 성분 계수는 제 2.1절의 (그림 1)의 지리-필드들로 분해되지도 않고 잔류되어 인간과 자연에 영향을 주는 성분들이다.

또한 지상의 지리-객체의 영향을 받는 관정의 지하수는 토양에 의해서 여과된다. 관정과 위상적 관계에 있는 지리-객체의 원인 성분은 토양의 지질의 특성에 의해서 정화되는 정도가 결정된다. 지질의 특성은 수원이 하루(day)동안 침투하는 거리(m)인 투수계수(k)(m/day)로 결정된다[5]. 이 투수계수에 대한 식 (2)는 다음과 같다.

$$k = Q / (A dh / dl) = (m^3 d^{-1})(m) / (m^2)(m) = m / d \tag{2}$$

여기서 Q는 단위시간당 흐르는 물의 양, k는 투수계수이며, 이는 물을 통과시키는 공동(공극 또는 파쇄대)의 크기 및 배열에 따라 달라지고, 유체(물)의 점성도, 밀도, 중력장의 세기에 따라 좌우된다. 또한 A는 물의 흐름방향에 직각인 면의 단면적, 그리고 dh/dl은 수리경사이다. 군산 지역은 제 4기 충적토와 제4기 해성퇴적암으로 투수 계수가 0.01~200[m/day]이다[1].

위에서 나타낸 (그림 3)에 의해서 농도계수(D)는 투수계수(k)에 비례하고, 관정 지리-객체와 지상의 지리-객체와 위상적 관계를 나타내는 수평적 거리(r)와 수직적 깊이(h)에 반비례한다. 이 농도계수(D)의 식 (3)은 다음과 같다.

$$D_{wi} = k_{wi} / (h_i + r_i) \tag{3}$$

여기서 w(1 ≤ w ≤ 75)는 군산지역의 관정 지리-객체의 수를 나타내고, i(1 ≤ i ≤ 4)는 관정 지리-객체와 위상관계를 형성하는 지리-객체의 수를 나타낸다.

군산지역의 관정 지리-객체, 관정 지리-객체와 위상관계를 형성하는 다른 지리-객체, 그리고 관정 지리-객체와 지리적 환경에 따라 종속하는 다른 지리-객체의 지리-필드들에 의한 오염원 원인지수는 다음의 [정의 3]으로 기술할 수 있다.

[정의 3] 원인지수(C : Cause Index)

관정의 원인지수(C)는 관정에 영향을 미치는 각 지리-

객체의 성분 계수(E)와 농도계수(D)에 비례하며 모든 성분에 대한 농도계수 비례의 합으로 얻어지는데 다음의 식 (4)와 같다.

$$C_w = \sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^t (E_j * D_{wi}) \tag{4}$$

여기서 w(1 ≤ w ≤ 75)는 군산지역의 관정 지리-객체의 수를 나타내고, i(1 ≤ i ≤ 4)는 관정지리-객체와 위상관계를 형성하는 다른 지리-객체의 수를 나타내고, f(1 ≤ j ≤ 25)는 관정 지리-객체와 지리적 환경에 따라 종속하는 다른 지리-객체의 지리-필드들의 수를 나타낸다. □

[정의 3]에 의해서 관정의 원인지수가 큰 것은 다른 관정에 비하여 상대적으로 영향을 많이 받을 수 있는 원인이 크다는 것을 나타내고, 제 2.1절의 (그림 1)에 의해서 지하수 관정에서 추출한 지리-필드 값들 중에서 임의의 한 관정 위치 KS-22에 대한 원인지수의 현황은 (그림 4)와 같다.

| 성분 | 값 | 측정계수 |
|-----------------|---------|--------|
| Na | 10,5561 | 0.1907 |
| Mg | 1,272 | 0.0229 |
| Ca | 0,4001 | 0.0072 |
| K | 0,38 | 0.0068 |
| Sr | 0,013 | 0.0002 |
| SO ₄ | 2,6486 | 0.0478 |

원인지수: 0.2831

(그림 4) 원인지수 인터페이스

4.2 오염 결과

지하수 오염의 결과는 관정 지리-객체로부터 채취된 관정 지리-필드의 값을 나타내는 측정계수(M) (Measurement Factor)와 관정 지리-객체와 지리적 환경에 따라 종속하는 다른 지리-객체의 성분 계수(E)가 지하를 통과하면서 정화되는 정도의 값인 농도계수(D)에 의해서 결정된다. 이 성분 계수와 농도계수는 지하수 안전도 평가의 결과를 도출하는데 이를 위한 값이 결과지수(R)이다.

이 측정계수는 관정으로부터 채취된 지리-필드 값에 의해서 결과지수를 결정한다. 채취된 관정 지리-필드의 측정계수는 관정 객체와 위상적 관계에 있는 지리-객체의 공간 종속 속성인 지리-필드에 나타난다. 이 성분의 값은 앞에서 기술한 농도계수에 비례하는데 이를 측정계수(M)라하고 다음의 식 (5)와 같이 기술할 수 있다.

$$M_j = e_j * D_{wi} \tag{5}$$

여기서 $w(1 \leq w \leq 75)$ 는 군산지역의 관정 지리-객체의 수를 나타내고, $i(1 \leq i \leq 4)$ 는 관정지리-객체와 위상관계를 형성하는 다른 지리-객체의 수를 나타내고, $f(1 \leq j \leq 25)$ 는 관정 지리-객체와 지리적 환경에 따라 종속하는 다른 지리-객체의 화학적 성분들의 수를 나타낸다. □

예를 들어 관정 지리-객체 (A)으로 측정된 지리-필드 Na는 해수에 가장 많이 포함된 성분 (e_{Na})이다. 따라서 지리-객체 바다와의 위상적 관계에서 농도계수 (D_s)에서 측정계수 (M_{Na})는 다음 식 (6)과 같이 얻을 수 있다.

$$M_{Na} = e_{Na} * D_s \quad (6)$$

여기서 $e_{Na}(mg/l)$ 는 관정의 Na 측정값이고 농도계수 ($D_s = k_s / (h_s + r_s)$)는 관정 객체와 바다 객체 사이의 지질 투수 계수 (k_s)와 성분 Na를 가지는 바다 객체와 위상적 관계(깊이 : $h_s(m)$, 거리 : $r_s(m)$)에서의 농도에 관한 것이다.

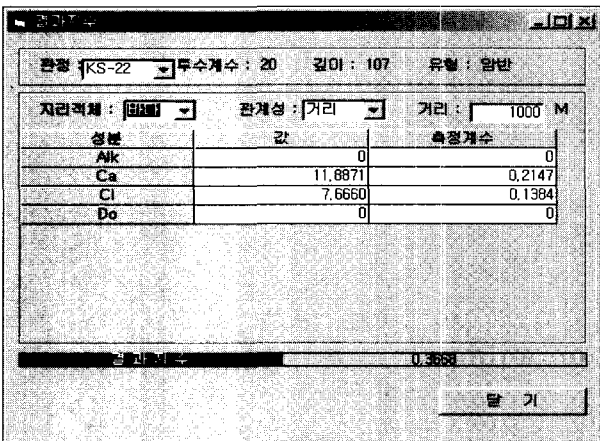
그래서 앞에서 규정한 식 (5)와 식 (6)에 의해서 결과지수는 다음의 [정의 4]와 같이 규정할 수 있다.

[정의 4] 결과지수 (R : Result Index)

결과지수는 관정에서 채취한 지리-필드의 값을 영향을 줄 수 있는 위상적 관계에 있는 지리-객체와의 관계로 표현한 것이다. 결과지수 (R)는 다음의 식 (7)과 같다.

$$R_w = \sum_{i=1}^p M_i \quad (7)$$

여기서 $i(1 \leq p \leq 25)$ 는 관정에서 측정된 성분으로 지상의 지리-객체에 포함된 성분들이다. □



(그림 5) 결과지수 인터페이스

[정의 4]의 결과지수에 의해서 결과지수가 큰 값은 외부의 영향을 많이 받았을 가능성이 큰 것을 알 수 있고, 제 2.1절의 (그림 1)에 의해서 지하수 관정에서 추출한 지리-필드 값들 중에서 임의의 한 관정 위치를 다음의 (그림 5)와 같이 결과지수 현황을 나타낼 수 있다.

4.3 안전도 평가

앞에서 규정한 [정의 3]에 의해서 관정의 원인지수는 관정에 영향을 미치는 각 지리-객체의 성분 계수와 농도계수의 합으로 얻어지고, [정의 4]에 의해서 결과지수는 관정에서 채취한 지리-필드의 값을 영향을 줄 수 있는 위상적 관계에 있는 지리-객체와의 관계로 표현한 것이다. 본 절에서 규정하고자 하는 것은 관정에 영향을 미칠 수 있는 원인지수와 영향을 받은 결과지수에 의해서 다음의 [정의 5]와 같이 관정 안전도 평가지수를 규정할 수 있다.

[정의 5] 평가지수 (T : Test Index)

관정에 영향을 미칠 수 있는 정도와 영향을 받은 정도를 나타내기 위해서 원인지수와 결과지수의 평균이다.

$$T_w = (C_w + R_w) / 2 \quad (8)$$

여기서 $w(1 \leq w \leq 75)$ 는 관정수를 나타낸다. □

식 (8)에서 평가지수 (T)가 0에 가까울 수록 전혀 영향을 받지 않은 관정이고, 큰 값을 가질수록 외부로부터 영향을 많이 받음을 알 수 있다.

| 번호 | 관정 | 원인지수 | 결과지수 | 평가지수 |
|----|-------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | KS-4 | 1.401937652 | 1.900812881 | 1.825687633 |
| 2 | KS-6 | 4.164583482 | 5.967803633 | 3.783096779 |
| 3 | KS-7 | 5335.203642 | 4.387390231 | 1336.397758 |
| 4 | KS-8 | 3192.59997 | 0.470573528 | 800.0176508 |
| 5 | KS-9 | 3395.208027 | 1.621371875 | 851.2073498 |
| 6 | KS-11 | 79.39936197 | 2.439572627 | 22.70973365 |
| 7 | KS-14 | 458.2251387 | 1.117230487 | 117.3355923 |
| 8 | KS-18 | 78.48214117 | 0.599380114 | 22.52038032 |
| 9 | KS-19 | 1869.95989 | 0.176057352 | 470.5339868 |
| 10 | KS-22 | 0.925526282 | 0.161340868 | 3.771716787 |
| 11 | KS-24 | 1.196552002 | 0.773752868 | 4.242576217 |
| 12 | KS-29 | 4.917570009 | 6.655275259 | 7.393211317 |
| 13 | KS-32 | 1.424373475 | 1.268087247 | 5.42311518 |
| 14 | KS-38 | 1.30392332 | 1.022309613 | 5.581558233 |

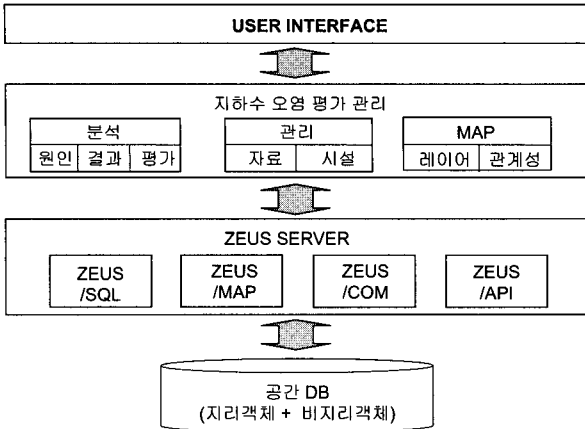
(그림 6) 평가지수 인터페이스

관정에서 채취한 지하수의 안전도를 평가하기 위해서 앞에서 기술한 원인지수와 결과지수에 따른 평가지수를 위의 (그림 6)에서 보이고 있다.

5. 지하수 오염 안전도 시스템 구현 및 비교 평가

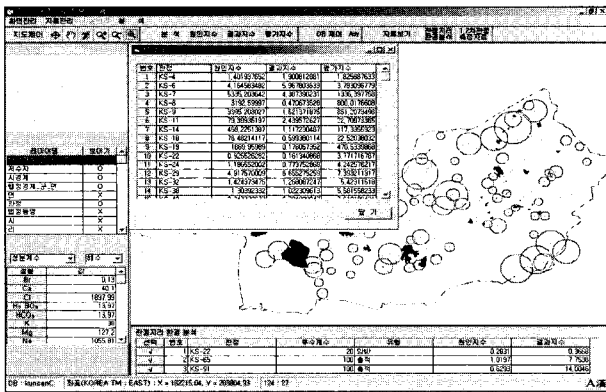
5.1 시스템 구성 및 기능

제 3장에 의해 지하수의 오염 안전도 평가를 위한 지리 데이터모델과 제4장의 관정의 오염에 대한 안전도 평가를 위한 객체지향 공간 데이터베이스 설계에 의해 구현한 관정 안전도 관리 시스템의 구조는 Windows 2000 서버 OS 환경 위에 객체 관계형 공간 데이터베이스관리시스템인 ZEUS 2000이 실행되고, 본 논문에서 구현한 인터페이스에 의해 운영된다. 시스템의 구조는 다음의 (그림 7)와 같다.



(그림 7) 지하수의 안전도 평가/관리 시스템 구조

(그림 7)의 시스템 구조에서 지하수의 안전도 평가/관리 시스템은 ZEUS/COM과 Win32 API를 이용한 VisualBasic 6.0으로 제작하였다. (그림 1)(a)의 측정 자료와 (그림 4)의 원인지수와 (그림 5)의 결과지수를 식 (8)의 평가지수를 표현하는 평가 시스템은 다음의 (그림 8)과 같다.



(그림 8) 관정 지하수 안전도 평가 관리 시스템

(그림 8)에서 보면, 기본화면은 주메뉴(화면관리, 자료관리, 시설관리, 분석, 도움말), 지도제어(도구모음(확대축소, 화면이동 등), 분석도구모음(원인지수, 결과지수, 평가지수), 색인 지도창, 지도레이어창(레이어명, 보이기), 계수(성분계수, 측정계수)와 상태표시줄(DB명, TM 좌표값, 화면상위치), 그리고 지도를 보여주는 지도창으로 구성되어 있다.

각 기능을 세부적으로 기술하면, 지도레이어창은 제 3장의 (그림 2)에서 규정한 클래스계층구조에 기준하여 지도를 보여주는 여부를 결정하기 위한 기능이다. 오염 요소는 지상의 오염 원인과 관정의 지리-필드를 확인하기 위한 것이다. 분석도구모음은 본 논문이 제안하고자하는 기능으로, 제 3장의 (그림 1)(a)에서 측정된 현황에 기반한 관정의 원인지수와 (그림 4)에서 결과지수를 지도창에 원으로 표시하며, 원인지수와 결과지수에 의해 구해진 (그림 6)의 평가지수를 값에 따라 지도 창에 폴리곤으로 표시한다.

5.2 공간적 요소와 DRASTIC을 이용한 비교 및 검토

본 논문은 관정의 오염에 대한 안전도를 평가하기 위한 것이다. 지하수와 관정의 개발에 관련하여 연구되어진 논문들을 다음의 <표 2>와 같이 비교하였다.

<표 2> 공간적 요소와 DRASTIC 모델의 요소에 의한 비교

| 비교 대상 | 속성 | 공간적 요소 | | | | DRASTIC | | | | | | |
|---------|----|--------|-------|-----|----|---------|---|---|---|---|---|---|
| | | 지리-객체 | 지리-필드 | 관계성 | 위상 | D | R | A | S | T | I | C |
| 이사로[20] | | x | x | x | x | o | o | o | o | o | o | o |
| 김만규[18] | | x | x | x | x | x | x | x | o | o | x | x |
| 이홍로[7] | | o | o | x | x | o | x | x | x | x | x | x |
| 본 논문 | | o | o | o | o | o | x | x | x | o | x | o |

D - Depth to Water, R - net Recharge, A - Aquifer media, S - Soil media, T - Topography or Slope, I - Impact of vadose zone media, C - hydraulic Conductivity
 o : 고려됨, x : 고려되지 않음.

지하수 관정의 안전도 평가에 있어서 지리적 환경의 고려가 필요한 공간적 요소는 필수적이다. 공간적 요소 중 지리-객체에 대해서 이사로는 관정의 오염 취약성 평가를 지리정보시스템 측면에서 지리-객체를 정의하지 않았다. 김만규는 GIS 기반으로 지리적 환경을 고려하였으나, 실세계의 현상들을 지리-객체로 정의하지는 않았다. 본 논문과 이홍로는 실세계의 지리 현상에서 나타나는 관정, 바다, 경작지, 공단 등을 지리-객체로 정의하였다.

공간적 요소 중 지리-필드 측면에서 살펴보면, 이사로와 김만규는 평가 요소가 지리-필드로 규정하지 않았다. 이홍로는 관정의 지리-필드를 5가지로 선택하여 정의하였다. 본 논문은 관정 지리-필드(25개), 바다 지리-필드(9개), 공단 지리-필드(13개) 및 경작지 지리-필드(12개)를 정의하였다.

본 논문은 공간적 요소 중 관정 지리-객체와 관련된 다른 지리-객체 사이의 관계의 판단을 고려하였다. 이사로와 김만규는 지리적 관계성을 고려하지 않았고, 이홍로는 관계성을 정의하였으나, 이용하지 않았다. 본 논문은 관정 지리-객체가 다른 지리-객체에 어떻게 영향을 받았는지 평가하기 위한 관계성을 정의하고 구현하였다.

지하수 오염 취약성의 평가를 위한 모델인 DRASTIC 요소와 비교하면 다음과 같다. 김만규는 지리적 측면에서 연구되어 토양도와 지형도등을 사용하였으나, DRASTIC의 토양매체(S)나 지형 및 경사도(T)와 같은 특성을 사용하였다. 이홍로는 DRASTIC의 관정의 깊이(D)를 고려하였다. 본 논문은 DRASTIC의 관정의 깊이(D), 지형도(T), 수리전도도(투수계수 : C)가 고려되었다.

본 논문은 관정의 오염에 대한 안전도 평가를 위해 관정의 깊이, 지리적 환경 및 관정이 위치한 지질을 이용하였다. 관정의 오염 원인은 지리적 환경에 있는 다른 지리-객체가 되고 관정의 오염의 결과는 관정의 현재 성분인 관정 지리-필드가 된다.

6. 결 론

본 논문은 관정 지리-객체와 다른 지리-객체들 사이의 공간 관계성에 의한 지하수 관정의 오염에 대한 안전도 평가와 관리를 위한 것이다. 평가 요소로서 수리 지질학적 요인인 투수 계수를 이용하여 관정 지리-객체와 지리적 관계를 가지는 다른 지리-객체의 농도계수를 결정하고, 이 계수를 이용하여 관정에서 관측된 성분의 측정계수를 산출하였다. 위와 같은 평가 요소들은 지리 환경적 요인을 나타내는 원인지수와 지하수 관정의 성분의 관측과 외부 지리-객체에 의한 영향으로 분석된 결과지수를 구하는데 이용되었다. 그 결과 같은 수리 지질학적 요인을 가지고 있으면 물리적 공간 관계성의 요인이 커질수록 오염에 대한 안전도가 상대적으로 증가함을 알 수 있었다. 본 논문은 지하수 개발 계획과 이미 개발된 관정의 주변 환경 관리에 활용될 수 있다.

본 연구는 기존의 관정 주변 환경의 고려뿐만 아니라 지하의 환경인 관정의 깊이와 지질을 고려하고 지상 환경에서 다른 지리-객체 사이의 거리 관계를 구체적으로 고려할 수 있는 방법을 제안하였다.

향후 연구방향으로 지리적 환경에 따른 관정들의 등급별로 그룹화하고 관정들의 특성에 따라 그룹별로 주제도를 만들고자 한다.

참 고 문 헌

[1] 지하수 관리기본계획, 건설교통부, 1996.
 [2] 김강주, "군산시 지역 지하수 관정 성분 분석 자료", 2003.
 [3] 부산협동소금, 소금의 용도에서 해수 주성분, http://www.saltworld.co.kr/sub_4do_10.htm, 2003.
 [4] 수자원 종합정보시스템의 수질오염도에서 지하수 수질, <http://wamis.kowaco.or.kr>, 2003.
 [5] 윤태훈, "응용 수문학", 청문각, p.183, 2002.
 [6] 이민효, "토양, 지하수 오염", 동화기술, p.202, 2003.
 [7] 이홍로, "객체 지향 지리 데이터 모델에 의한 지하수의 오염 취약성 분석을 위한 관리 시스템 구현", 한국지리정보학회지, 제6권 제2호, pp.101-112, 2003.
 [8] 이홍로, "지리객체와 지리필드에서 지하수속성과 공간관계 역할에 기반한 객체지향 공간 데이터 모델", 한국정보지리학회 논문지D, 제8-D권 제5호, 2001.
 [9] 이홍로, 김삼남, 류근호, "속성 버전을 통한 개체-관계 모델의 시간지원 객체지향 데이터 모델로의 변환", 한국정보과학회 논문지(B), 제25권 제6호, 1998.
 [10] Aller, L., Bennett, T., Lehr, J. H., Petty, R. J. and Hackett, G., DRASTIC : A Standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. national water well association, EPA-600/2-97-035, 1987.
 [11] Beeri, C., "Formal Models for Object-Oriented Databases," In : Pro. 1st. int'l Conf. on DOOD, pp.370-389, 1989.
 [12] Booch, G., J. Rumbaugh and Jacobson, *The Unified Modeling Language User Guide*, Addison-Wesley, Reading, MA. 1999.

[13] Borges, K. A. V., Laender, A. H. F. and Davis Jr., C. A., "Spatial Data Integrity Constraints in Object Oriented Geographic Data Modeling," ACM GIS, pp.1-6, 1999.
 [15] Camara, G. "Models, languages and Architectures for geographical Information Systems," Ph. D. theses, INPE in Brazil, 1995.
 [16] Filho, J. L. and Lochpe, C., "Specifying Analysis Patterns for Geographic Databases on the Basis of a Conceptual Framework," ACM GIS, pp.7-13, 1999.
 [17] Hadzilacos, Th., and Tryfona, N., "Executing the Entity-Relationship Models to Capture Spatial Semantics," SIGMOD RECORD, 1997.
 [18] Man-Kyu, KIM "The Support System for Groundwater Development Design using GIS," The Journal of GIS Association of Korea, Vol.9, No.2, pp.207-225, July, 2001.
 [19] Revolutionary GIS solution ZEUS 2000, GIS를 위한 객체 관계형 공간 데이터베이스 관리시스템, 한국통신데이터(주), 2000.
 [20] Sa-Ro Lee, Youn-Jong Kim, "Analysis Groundwater Pollution Potential and Risk using DRASTIC System," *The Journal of GIS Association fo Korea*, Vol.4, No.1 pp.1-11, April, 1996.



이 재 봉

e-mail : jbonglee@mail.chonbuk.ac.kr

1990년 원광대학교 공과대학 전자계산 공학과(학사)

1994년 전북대학교 대학원 컴퓨터공학과(석사)

1997년 전북대학교 대학원 컴퓨터공학과 과정수료(박사)

1997년~현재 전북대학교 컴퓨터공학과 시간강사
 관심분야 : 객체지향 시공간 데이터 모델링, 지리정보시스템(GIS), 소프트웨어 공학, 시공간 데이터베이스



곽 훈 성

e-mail : hskwak@moak.chonbuk.ac.kr

1970년 전북대학교 전기공학과(학사)

1979년 전북대학교 대학원 전기공학과(공학박사)

1981년~1982년 미국 텍사스주립대학 연구교수

1988년~1990년 대한전자공학회평의원 및 전북지부장

1994년~1995년 국가교육연구전선망추진위원
 1997년~1998년 전주영상축전조직위원장 및 전북대 영상산업 특성화사업단장
 1998년 과학기술법령정비정책위원
 1998년~현재 전북대학교 전자정보공학부 교수
 1997년~현재 (사)영상산업연구센터 대표
 1999년~현재 조달청우수제품(정보통신) 심사위원
 현재 전북대학교 영상산업(학부전공) 및 영상공학과(대학원)주임교수, 한국게임학회 중신회원
 관심분야 : 영상처리(위성정보), 인공지능, 컴퓨터비전, 컴퓨터 게임 등