



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0105117
(43) 공개일자 2010년09월29일

(51) Int. Cl.

G06F 17/18 (2006.01) G06F 17/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2009-0023973

(22) 출원일자 2009년03월20일

심사청구일자 2009년03월20일

(71) 출원인

부경대학교 산학협력단

부산 남구 용당동 산 100번지 부경대학교내

(72) 발명자

정상용

서울특별시 구로구 신도림동 435-10 신도림3차 푸르지오아파트 1706호

강동환

부산광역시 남구 용호4동 도시타워아파트 206

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

윤의섭, 김수진

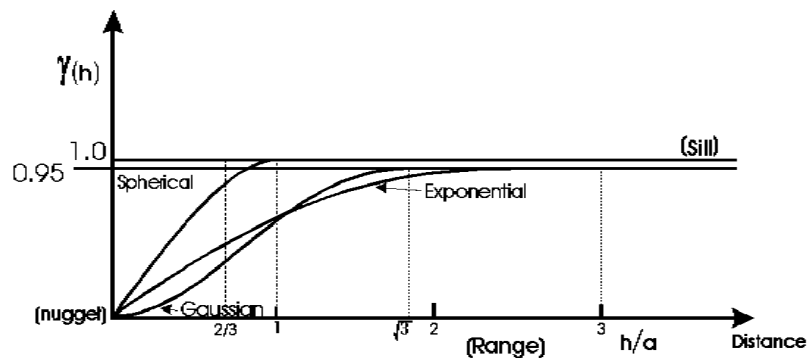
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가 방법 및 시스템

(57) 요약

본 발명은 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가 방법 및 시스템에 관한 것으로, 본 발명의 하나의 모습에 따라, 조사지역에서 획득된 지하수 수질자료를 조사지점의 2차원 공간좌표(X, Y 좌표)와 해당 조사지점에서의 오염물질의 농도에 대한 조사자료로 입력받고, 임계값을 설정하여 해당 조사지점에서의 오염물질의 농도 자료를 임계값을 기준으로 '0'과 '1'로 변환하여 지시확률변수를 산출하는 자료변환단계; 조사자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료의 공간상 분포특성을 베리오그램(variogram)에 의해 나타내고, 공간상 분포특성을 나타내는 실험적 베리오그램에 적합한 이론상 베리오그램 모델을 검증하여 선정하는 교차타당성 검증단계; 교차타당성 검증하여 선정된 이론상 베리오그램 모델로부터 산출되는 반베리오그램(semivariogram)을 이용하여 추정치 산출에 필요한 공분산(covariance)을 결정하는 베리오그램분석 단계; 지시변환된 지시확률변수로부터 지시크리깅을 실시하여 지시 추정자를 추정 산출하며 지시 추정자를 산출하기 위해 불편향(unbiased)조건과 최소 추정오차분산 조건에 공분산을 적용하여 가중치를 결정하는 지시크리깅단계; 지시크리깅에 의해 좌표 격자상으로 산출된 추정자 값들을 이용하여, 평가지역의 오염가능성에 대한 확률도를 작성하는 확률도 작성단계; 및 확률도를 이용하여 평가지역의 지하수오염 가능성을 평가하는 오염가능성 평가단계;를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가방법이 제안된다. 또한 다른 모습으로 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가시스템이 제안된다.

대표도 - 도5



(72) 발명자

김병우

부산광역시 수영구 광안4동 571-6

김태형

부산광역시 부산진구 당감1동 262-24

김태균

부산광역시 남구 용호2동 529-3

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 3-3-3

부처명 교육과학기술부

연구관리전문기관

연구사업명 21세기프론티어 연구개발사업

연구과제명 지하수 적정관리시스템 구축 및 적용 기술 지원

기여율

주관기관 수자원의 지속적 확보기술개발사업단

연구기간 2008년 4월 1일 ~ 2009년 3월 31일

특허청구의 범위

청구항 1

조사지역에서 획득된 지하수 수질자료를 조사지점의 2차원 공간좌표(X, Y 좌표)와 해당 조사지점에서의 오염물질의 농도에 대한 조사자료로 입력받고, 임계값을 설정하여 해당 조사지점에서의 오염물질의 농도 자료를 임계값을 기준으로 '0'과 '1'로 변환하여 지시확률변수를 산출하는 자료변환단계;

상기 조사자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료의 공간상 분포특성을 베리오그램(variogram)에 의해 나타내고, 상기 공간상 분포특성을 나타내는 실험적 베리오그램에 적합한 이론상 베리오그램 모델을 검증하여 선정하는 교차타당성 검증단계;

상기 교차타당성 검증하여 선정된 이론상 베리오그램 모델로부터 산출되는 반베리오그램(semivariogram)을 이용하여 추정치 산출에 필요한 공분산(covariance)을 결정하는 베리오그램분석 단계;

지시변환된 지시확률변수로부터 지시크리깅을 실시하여 지시 추정자를 추정 산출하며 상기 지시 추정자를 산출하기 위해 불편향(unbiased)조건과 최소 추정오차분산 조건에 상기 결정된 공분산을 적용하여 가중치를 결정하는 지시크리깅단계;

상기 지시크리깅에 의해 좌표 격자상으로 산출된 추정자 값들을 이용하여, 평가지역의 오염가능성에 대한 확률도를 작성하는 확률도 작성단계; 및

상기 확률도를 이용하여 평가지역의 지하수오염 가능성을 평가하는 오염가능성 평가단계;를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가방법.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 교차타당성 검증단계는 상기 조사자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료의 공간상 분포특성을 실험적 베리오그램에 의해 나타내는 실험적 베리오그램 수행단계 및 상기 공간상 분포특성을 나타내는 실험적 베리오그램에 적합한 이론상 베리오그램모델을 교차타당성 검증하여 선정하는 베리오그램모델 선정단계를 포함하여 이루어지고,

상기 베리오그램분석단계는 상기 선정된 이론상 베리오그램모델을 사용하여 지시확률변수 변환 값에 대한 반베리오그램을 산출하는 반베리오그램 산출단계 및 상기 산출된 반베리오그램을 이용하여 추정치 산출에 필요한 공분산(covariance)을 결정하는 공분산 산출단계를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가방법.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 베리오그램모델 선정단계에서의 이론상 베리오그램모델 선정은 구형 (Spherical) 모델, 지수형 (Exponential)모델, 가우시안(Gaussian)모델 중의 어느 하나를 통계학적 또는 그래픽 교차타당성 검증하여 적합한 모델로 선정하고,

여기에서, 상기 통계학적 교차타당성 검증은 상기 조사자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료 중의 하나의 자료를 추출하는 과정과 추출된 자료의 지점에서 어느 하나의 이론상 베리오그램모델로부터 산출되는 반베리오그램과 공분산모델을 가지고 크리깅을 이용하여 추정치를 산출하는 과정과 조사자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료 중의 상기 하나의 자료의 참값과 추정치와의 오차를 산정하는 과정을 통하여 수행되고,

상기 그래픽 교차타당성 검증은 어느 하나의 이론상 베리오그램모델로부터 산출되는 반베리오그램과 공분산모델을 가지고 크리깅을 이용하여 추정치를 산출하는 과정과 크리깅을 이용하여 산출된 추정치와 상기 조사자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료의 참값을 대응시켜 선형그래프로 표시하는 과정과 상기 선형그래프의 기울기를 비교하는 과정을 통하여 수행되는 것을 특징으로 하는 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가방법.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 실험적 베리오그램 수행단계에서의 실험적 베리오그램은

$$2\gamma(h) = E\left\{ \sum [z(x) - z(x+h)]^2 \right\} \\ = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i+h)]^2$$

에서 얻어지고,

여기서, $2\gamma(h)$ 는 거리 h 사이의 자료간의 실험적 베리오그램, $\gamma(h)$ 는 거리 h 만큼 떨어진 자료간의 반 베리오그램, $z(x)$ 는 임의의 지점 x 에 있는 오염물질 농도자료 값 또는 상기 농도자료의 2진변환 값, $z(x+h)$ 는 $z(x)$ 에서 h 만큼 떨어진 지점의 농도자료 값 또는 상기 농도자료의 2진변환 값, $N(h)$ 는 거리 h 만큼 떨어진 $z(x_i)$ 와 $z(x_i+h)$ 의 쌍들의 갯수이고,

$$\gamma(h) = C \left[\frac{3}{2} \cdot \frac{h}{a} - \frac{1}{2} \cdot \frac{h^3}{a^3} \right] \quad (h \leq a)$$

상기 구형 모델은 $\gamma(h) = C$ ($h > a$)으로 표현되고,

$$\gamma(h) = C \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right] \quad (h \leq 3a)$$

상기 지수형 모델은 $\gamma(h) = C$ ($h > 3a$)으로 표현되고,

$$\gamma(h) = C \left[1 - \exp\left(-\frac{h^2}{a^2}\right) \right]$$

상기 가우시안 모델은 으로 표현되고,

여기서, C 는 자료에서 얻어지는 랜덤함수의 분산, a 는 반베리오그램이 상관관계를 갖고 있는 범위(range), h 는 자료들간의 거리이고,

상기 공분산 산출단계에서의 공분산 $C(h)$ 는 $C(h) = sill - \gamma(h)$ 으로부터 결정되고, $sill$ 은 자료들간의 거리가 일정한 범위(range)를 넘어서 공간적 상관관계가 약화되거나 상실되어 반베리오그램간의 상관관계가 없어지고 수렴된 상태의 반베리오그램 값인 것을 특징으로 하는 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가방법.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 지수형모델에서 실질적 반베리오그램의 범위 a' 은 $3a$ 이고,

상기 가우시안모델에서 실질적 반베리오그램의 범위 a' 은 $a\sqrt{3}$ 인 것을 특징으로 하는 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가방법.

청구항 6

청구항 1 내지 5 중의 어느 하나의 청구항에 있어서,

상기 지시크리깅 단계에서, 상기 지시 추정자 $I^*(u_0; z_k)$ 는

$$I^*(u_0; z_k) = \sum_{j=1}^n \lambda_j(z_k) I(u_j; z_k)$$

를 통해서 산출되며, 여기서 $I(u_j; z_k)$ 는 특정 임계

값(z_k)을 기준으로 한 관측지점($u_j, j=1, 2, \dots, m$)에서의 지시확률변수이며, $\lambda_j(z_k)$ 는 특정 임계값(z_k) 기준

으로 $I^*(u_0; z_k)$ 값을 추정하기 위한 값에 할당되는 가중치로서 상기 불편향조건과 최소 추정오차분산 조건을 통해 결정되고,

상기 불편향조건은 $E[I^*(u_0; z_k) - I(u_j; z_k)] = 0$ 이고 최소 추정오차분산 조건은

$$Var[I^*(u_0; z_k) - I(u_j; z_k)] = \overline{C}(u_0, u_0) - 2 \sum_i \sum_j \lambda_i \lambda_j \overline{C}(u_i, u_j)$$

$\overline{C}(u_0, u_i)$

$= \text{minimal}$ 이고, 여기서

는 거리 h 만큼 떨어진 두 영역 u_0 와 u_i 에서의 공분산 $C(h)$ 으로서 상기 베리오그램분석단계를 통하여 결정되는 것을 특징으로 하는 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가방법.

청구항 7

청구항 6에 있어서, 상기 가중치 결정은,

상기 불편향조건과 최소 추정오차분산 조건으로부터, 라그랑지 승수법(Lagrange multiplier method)를 이용한 라그랑지(Lagrange) 목적함수에서의 최소를 구하여 지시크리깅 추정 행렬식을 산출하고, 산출된 추정 행렬식을 풀어 가중치를 결정하는 것을 특징으로 하는 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가방법.

청구항 8

청구항 6에 있어서,

상기 자료변환단계에서 음용수, 생활용수, 농업용수, 공업용수 중의 어느 하나 또는 그 이상의 기준에서 제시된 수질기준을 임계값(z_k)으로 설정하고,

조사지점에서의 오염물질의 농도 자료값 $Z(u)$ 에 대하여 임계값(z_k) 기준으로 초과시 '0', 이하시 '1'로 변환되도록 하는 경우에는:

$$I(u; z_k) = \begin{cases} 1, & \text{if } Z(u) \leq z_k, \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad k=1, 2, \dots, m$$

지시확률변수 $I(u; z_k)$ 는 으로 산출하고;

$$E[I(u; z_k | (n))] = \text{Prob}\{Z(u) \leq z_k | (n)\}$$

$$= F(u; z_k | (n))$$

$I(u; z_k)$ 의 기대값은 로 산출하며, 오염가능성에 대

한 확률은 $P(u; z_k | (n)) = 1 - F(u; z_k | (n))$ 으로 산정하고, 여기서 $F(u; z_k | (n))$ 은

$Z(u) \leq z_k$ 조건 자료의 누적분포함수의 확률이고,

그리고, 조사지점에서의 오염물질의 농도 자료값 $Z(u)$ 에 대하여 임계값(z_k) 기준으로 초과시 '1', 이하시 '0'으로 변환되도록 하는 경우에는:

$$I(u; z_k) = \begin{cases} 0, & \text{if } Z(u) \leq z_k, \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad k=1, 2, \dots, m$$

지시확률변수 $I(u; z_k)$ 는 으로 산출하고;

$$E[I(u; z_k | (n))] = \text{Prob}\{Z(u) > z_k | (n)\} \\ = F(u; z_k | (n))$$

$I(u; z_k)$ 의 기대값은 로 산출되며 확률

$F(u; z_k | (n))$ 는 오염가능성에 대한 누적분포함수의 확률을 의미하는 것을 특징으로 하는 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가방법.

청구항 9

청구항 1 내지 5 중의 어느 하나의 청구항에 있어서,

상기 베리오그램분석단계에서, 조사자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료의 공간상 분포특성을 베리오그램(variogram)에 의해 나타내는데 있어서,

수집된 자료들간의 거리를 소정의 크기의 분리거리 h 를 설정하고 일정한 허용한계 Δh 를 이용하여 자료들간의 거리가 $h - \Delta h$ 보다 크고 $h + \Delta h$ 보다 적은 자료간의 베리오그램은 분리거리 h 또는 자료들의 거리의 평균거리를 갖는 것으로 판단하여 산출하고 산출된 베리오그램에 의해 공간상 분포특성을 나타내고,

공간상 분포특성을 나타내는 산출된 분리거리에 따른 베리오그램에 의해 자료간의 상관관계를 갖는 범위(range)와 상기 상관관계를 갖는 범위를 넘어서 공간적 상관관계가 약화되거나 상실되는 반베리오그램 값에 해당하는 상수를 결정하고,

산출된 분리거리에 따른 베리오그램과 베리오그램 모델과의 매칭을 통해 적합한 베리오그램 모델로부터 산출된 반베리오그램(semivariogram)을 이용하여 추정치 산출에 필요한 공분산(covariance)을 결정하는 것을 특징으로 하는 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가방법.

청구항 10

청구항 6에 있어서,

상기 베리오그램분석단계에서, 조사자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료의 공간상 분포특성을 베리오그램(variogram)에 의해 나타내는데 있어서,

수집된 자료들간의 거리를 소정의 크기의 분리거리 h 를 설정하고 일정한 허용한계 Δh 를 이용하여 자료들간의 거리가 $h - \Delta h$ 보다 크고 $h + \Delta h$ 보다 적은 자료간의 베리오그램은 분리거리 h 또는 자료들의 평균거리를 갖는 것으로 판단하여 산출하고 산출된 베리오그램에 의해 공간상 분포특성을 나타내고,

공간상 분포특성을 나타내는 산출된 분리거리에 따른 베리오그램에 의해 자료간의 상관관계를 갖는 범위(range)와 상기 상관관계를 갖는 범위를 넘어서 공간적 상관관계가 약화되거나 상실되는 반베리오그램 값에 해당하는 상수를 결정하고,

산출된 분리거리에 따른 베리오그램과 베리오그램 모델과의 매칭을 통해 적합한 베리오그램 모델로부터 산출된 반베리오그램(semivariogram)을 이용하여 추정치 산출에 필요한 공분산(covariance)을 결정하는 것을 특징으로

하는 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가방법.

청구항 11

조사지역에서 획득된 지하수 수질자료를 조사지점의 2차원 공간좌표(X, Y 좌표)와 해당 조사지점에서의 오염물질의 농도에 대한 조사자료로 입력받고 지시 추정자를 산출하기 위해 제공하는 입력부;

상기 입력부로부터 제공된 오염물질의 농도자료를 설정된 임계값 기준으로 '0'과 '1'로 변환시켜 지시확률변수를 산출하는 지시확률변수 산출모듈과, 상기 농도자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료의 공간상 분포특성을 베리오그램(variogram)에 의해 나타내며 상기 공간상 분포특성을 나타내는 실험적 베리오그램에 적합한 이론상 베리오그램 모델을 검증하여 선정하는 교차타당성 검증모듈과, 상기 교차타당성 검증하여 선정된 이론상 베리오그램 모델로부터 산출되는 반베리오그램(semivariogram)을 이용하여 지시 추정자 산출에 필요한 공분산(covariance)을 산출하는 베리오그램분석모듈과, 지시변환된 지시확률변수로부터 지시크리깅을 실시하여 지시 추정자를 추정 산출하며 상기 지시 추정자를 산출하기 위해 불편향(unbiased)조건과 최소 추정오차분산 조건에 상기 결정된 공분산을 적용하여 가중치를 결정하는 지시크리깅 모듈을 포함하는 지시크리깅 연산부;

상기 지시크리깅 연산부에서 산출된 추정자 값들의 좌표 격자상 분포를 이용하여 평가지역의 오염가능성에 대한 확률도를 산출하는 확률도 작성모듈과, 산출된 확률도를 이용하여 평가지역의 지하수오염 가능성을 평가하는 오염가능성 평가모듈을 포함하는 오염판단부; 및

상기 오염판단부에서 산출되는 확률도 및 오염가능성 평가 결과를 디스플레이하는 디스플레이부; 를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가시스템.

청구항 12

청구항 11에 있어서,

상기 교차타당성 검증모듈은 상기 농도자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료의 공간상 분포특성을 실험적 베리오그램에 의해 나타내하는 실험적 베리오그램 수행 서브모듈 및 상기 공간상 분포특성을 나타내는 실험적 베리오그램에 적합한 이론상 베리오그램모델을 구형(Spherical)모델, 지수형(Exponential)모델, 가우시안(Gaussian)모델 중에서 교차타당성 검증하여 선정하는 베리오그램모델 선정 서브모듈을 포함하여 이루어지고,

상기 베리오그램분석모듈은 상기 선정된 이론상 베리오그램모델을 사용하여 지시확률변수 변환값에 대한 반베리오그램을 산출하는 반베리오그램 산출 서브모듈 및 상기 산출된 반베리오그램을 이용하여 추정치 산출에 필요한 공분산(covariance)을 산출하는 공분산 산출 서브모듈을 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가시스템.

청구항 13

청구항 12에 있어서,

$$2\gamma(h) = E\left\{ \sum [z(x) - z(x+h)]^2 \right\} \\ = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i+h)]^2$$

상기 실험적 베리오그램은 에서 얻어지고, 여기서,

$2\gamma(h)$ 는 거리 h 사이의 자료간의 실험적 베리오그램, $\gamma(h)$ 는 거리 h 만큼 떨어진 자료간의 반베리오그램, $z(x)$ 는 임의의 지점 x 에 있는 오염물질 농도자료 값 또는 상기 농도자료의 2진변환 값, $z(x+h)$ 는 $z(x)$ 에서 h 만큼 떨어진 지점의 농도자료 값 또는 상기 농도자료의 2진변환 값, $N(h)$ 는 거리 h 만큼 떨어진 $z(x_i)$ 와 $z(x_i+h)$ 의 쌍들의 갯수이고,

$$\gamma(h) = C \left[\frac{3}{2} \cdot \frac{h}{a} - \frac{1}{2} \cdot \frac{h^3}{a^3} \right] \quad (h \leq a)$$

상기 구형 모델은 $\gamma(h) = C$ $(h > a)$ 로 표현되고,

$$\gamma(h) = C \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right] \quad (h \leq 3a)$$

상기 지수형 모델은 $\gamma(h) = C$ $(h > 3a)$ 으로 표현되고,

$$\gamma(h) = C \left[1 - \exp\left(-\frac{h^2}{a^2}\right) \right]$$

상기 가우시안 모델은 $\gamma(h) = C$ 으로 표현되고,

여기서, C 는 자료에서 얻어지는 랜덤함수의 분산, a 는 반베리오그램이 상관관계를 갖고 있는 범위(range), h 는 자료들간의 거리이고,

상기 베리오그램모델 선정 서브모듈은 설정에 따라 통계학적 또는 그래픽 교차타당성 검증하여 적합한 베리오그램 모델을 선정하고,

여기에서, 상기 통계학적 교차타당성 검증은 상기 조사자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료 중의 하나의 자료를 추출하는 과정과 추출된 자료의 지점에서 어느 하나의 이론상 베리오그램모델로부터 산출되는 반베리오그램과 공분산모델을 가지고 크리깅을 이용하여 추정치를 산출하는 과정과 조사자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료 중의 상기 하나의 자료의 참값과 추정치와의 오차를 산정하는 과정을 통하여 수행되고, 상기 그래픽 교차타당성 검증은 어느 하나의 이론상 베리오그램모델로부터 산출되는 반베리오그램과 공분산모델을 가지고 크리깅을 이용하여 추정치를 산출하는 과정과 크리깅을 이용하여 산출된 추정치와 상기 조사자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료의 참값을 대응시켜 선형그래프로 표시하는 과정과 상기 선형그래프의 기울기를 비교하는 과정을 통하여 수행되고,

상기 공분산산출 서브모듈은 $C(h) = sill - \gamma(h)$ 로부터 공분산 C(h)를 결정하고, 여기서 sill은 자료들간의 거리가 일정한 범위(range)를 넘어서 공간적 상관관계가 약화되거나 상실되어 반베리오그램간의 상관관계가 없어지고 수렴된 상태의 반베리오그램 값이고,

$$I^*(u_0; z_k) = \sum_{j=1}^n \lambda_j(z_k) I(u_j; z_k)$$

상기 지시크리깅추정치 산출모듈은 $I^*(u_0; z_k)$ 를 통해서 지시 추정자

$I^*(u_0; z_k)$ 를 산출하며, 여기서, $I(u_j; z_k)$ 는 특정 임계값(z_k)을 기준으로 한 관측지점(u_j ,

$j=1,2,\dots,m$)에서의 지시확률변수이며, $\lambda_j(z_k)$ 는 특정 임계값(z_k) 기준으로 $I^*(u_0; z_k)$ 값을 추정하기 위한 값에 할당되는 가중치로서 상기 불편향조건과 최소 추정오차분산 조건을 통해 결정되고,

상기 불편향조건은 $E[I^*(u_0; z_k) - I(u_j; z_k)] = 0$ 이고 최소 추정오차분산 조건은

$$\begin{aligned} Var[I^*(u_0; z_k) - I(u_j; z_k)] &= \overline{C}(u_0, u_0) - 2 \sum_i \sum_j \lambda_i \lambda_j \overline{C}(u_i, u_j) \\ &= \text{minimal} \end{aligned}$$

이고, 여기서 $\overline{C}(u_0, u_i)$

는 거리 h 만큼 떨어진 두 영역 u_0 와 u_i 에서의 공분산 C(h) 으로서 상기 베리오그램분석모듈을 통하여 결정되는 것을 특징으로 하는 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가시스템.

청구항 11 내지 13 중의 어느 하나의 청구항에 있어서, 상기 베리오그램분석모듈은,

상기 입력부에서 제공된 조사자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료의 공간상 분포특성을 베리오그램(variogram)에 의해 나타내는데 있어서,

수집된 자료들간의 거리를 소정의 크기의 분리거리 h 를 설정하고 일정한 허용한계 Δh 를 이용하여 자료들간의 거리가 $h-\Delta h$ 보다 크고 $h+\Delta h$ 보다 적은 자료간의 베리오그램은 분리거리 h 또는 자료들의 평균거리를 갖는 것으로 판단하여 산출하고 산출된 베리오그램에 의해 공간상 분포특성을 나타내고,

공간상 분포특성을 나타내는 산출된 분리거리에 따른 베리오그램에 의해 자료간의 상관관계를 갖는 범위(range)와 상기 상관관계를 갖는 범위를 넘어서 공간적 상관관계가 약화되거나 상실되는 반베리오그램 값에 해당하는 상수를 결정하고,

산출된 분리거리에 따른 베리오그램과 베리오그램 모델과의 매칭을 통해 적합한 베리오그램 모델로부터 산출된 반베리오그램(semivariogram)을 이용하여 추정치 산출에 필요한 공분산(covariance)을 산출하는 것을 특징으로 하는 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가시스템.

명세서

발명의 상세한 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가 방법 및 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 우리나라는 물론 전 세계적으로 경제성장과 산업의 발달로 인간의 환경은 날로 악화되어 가고 있다. 특히, 인간의 생존에 절대적으로 필요한 물은 경제성장과 산업의 발달로 오염이 심화되어 가고 있다. 풍부하고 깨끗한 물은 인간의 행복한 삶과 직결되어 있다. 오염된 지하수를 정화하는 데는 엄청난 비용과 많은 시간이 소요된다. 정화를 하기에 앞서 오염부지에서 지하수나 토양의 오염가능성을 확률적으로 평가하여 오염가능성이 큰 지점의 지하수나 토양을 선별적으로 정화한다면, 정화에 소요되는 막대한 비용을 많이 줄일 수 있게 된다.

[0003] 본 발명은 크리깅(Kriging) 기법을 이용하는 통계적인 방법이다. 크리깅 기법은 Matheron(1969)이 그 이론을 개발하였으며, 광상의 매장량과 품위 등을 추정하는 데 처음으로 이용하였다. 크리깅 기법은 조사지역에서 취득한 소수의 한정된 자료를 이용하여 다수의 자료를 예측해내는 강력한 통계적 기법이다. 이 때 추정되는 자료는 불편향(Unbiased)이고 최소의 추정오차분산을 갖게 된다. 따라서 크리깅 기법은 다른 어떠한 통계적 기법(예: Polygon, Trend Surface Analysis, Spline 등)보다 정밀한 통계적 추정방법이어서, 공간상에 분포하는 자료의 추정에 널리 이용되고 있다.

[0004] 크리깅에는 자료의 성격에 따라 여러 가지 종류의 크리깅(정규크리깅, 만능크리깅, 코크리깅 등)이 개발되어 왔으며, 본 발명에서 이용하는 크리깅 기법은 지시크리깅(Indicator Kriging)이다. 이 기법은 자료의 정성적인 분석에 유용하며, 예컨대, 조사자료에서 임계값을 설정하여 자료가 임계값을 초과한 경우에는 “0” 을, 임계값 이하인 경우에는 “1” 로 설정하여 크리깅하는 방법이다. 따라서 지시변환된 값들은 “1” 과 “0” 사이의 값들로서 임계값 이하의 오염물질 농도에 해당하는 확률이 된다.

[0005] 지하수 오염가능성 평가에 대한 종래의 기술에는 미국 환경청에서 개발한 DRASTIC 기법과 PATRIOT 기법, 캐나다의 British Columbia 적용기법, 벨기에의 Flemish 지역에 적용된 기법 등 지역에 따라서, 또한 목적에 따라서 여러 가지 기법들이 개발되었다. DRASTIC 기법은 우리나라에서 가장 많이 이용되고 있으며, 특징은 지수적(INDEX) 방법이며 평가에 여러 가지의 인자(지하수위(Depth to Groundwater), (순)함양량(Net Recharge), 대

수층유형(Aquifer Media), 토양유형(Soil Media), 지형의 경사(Topography), 비포화대 구성물질(Impact of Vadose Zone), 수리전도도(Hydraulic Conductivity))를 필요로 한다. 또한 오염원이 지표상에 위치해야 하며, 강수의 지하 함양으로 오염물질이 지하수에 유입되어야 하고, 오염물질의 유동성이 커야하며, 무엇보다도 평가 지역의 면적이 100 Acre(12만평) 이상이 되어야 하는 조건이 필요하다.

[0006] PATRIOT 기법은 농약의 오염에 대한 오염취약성 평가이며, 캐나다의 British Columbia 지역에 적용된 기법은 산악지역이 많아서 대수층 두께와 수리성만을 고려하였다. 벨기에의 Flemish 지역에 적용된 기법은 평가인자로 대수층물질, 토양성상과 지하수위를 이용하며, 사질토 지역에 유용한 기법이다.

[0007] 이상의 기법들은 평가인자가 여러 가지 있어야 하며, 지역이 광역적이어야 한다. 또한 오염의 취약성만 평가할 수 있고, 오염 가능성에 대한 확률적 평가는 할 수가 없다. 현재까지 지하수의 오염가능성에 대한 평가는 특별한 기법이 이용되지 않았다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0008] 본 발명에서는 중금속이나, 유해 유기물에 의한 지하수 오염의 가능성을 확률적으로 평가할 수 있다.

[0009] 본 발명의 제안을 통해, 기존의 지수에 의한 평가방법에 비교하여 오염의 가능성을 확률적으로 평가할 수 있으며, 정규크리깅의 원리와 방법을 이용하므로 활용의 수월성을 갖으며, 계산시간이 짧고 간편하게 하도록 하는 방법 및 시스템을 제안하고자 한다.

[0010] 또한 본 발명은 지하수오염 평가뿐만 아니라, 지표수오염 평가, 토양오염 평가 등에도 활용할 수 있도록 하고자 한다.

과제 해결수단

[0011] 본 발명은 전술한 목적을 달성하기 위한 것으로, 본 발명의 하나의 모습에 따라, 조사지역에서 획득된 지하수 수질자료를 조사지점의 2차원 공간좌표(X, Y 좌표)와 해당 조사지점에서의 오염물질의 농도에 대한 조사자료로 입력받고, 임계값을 설정하여 해당 조사지점에서의 오염물질의 농도 자료를 임계값을 기준으로 '0'과 '1'로 변환하여 지시확률변수를 산출하는 자료변환단계; 조사자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료의 공간상 분포특성을 베리오그램(variogram)에 의해 나타내고, 공간상 분포특성을 나타내는 실험적 베리오그램에 적합한 이론상 베리오그램 모델을 검증하여 선정하는 교차타당성 검증단계; 교차타당성 검증하여 선정된 이론상 베리오그램 모델로부터 산출되는 반베리오그램(semivariogram)을 이용하여 추정치 산출에 필요한 공분산(covariance)을 결정하는 베리오그램분석 단계; 지시변환된 지시확률변수로부터 지시크리깅을 실시하여 지시 추정자를 추정 산출하며 지시 추정자를 산출하기 위해 불편향(unbiased)조건과 최소 추정오차분산 조건에 공분산을 적용하여 가중치를 결정하는 지시크리깅단계; 지시크리깅에 의해 좌표 격자상으로 산출된 추정자 값들을 이용하여, 평가지역의 오염가능성에 대한 확률도를 작성하는 확률도 작성단계; 및 확률도를 이용하여 평가지역의 지하수오염 가능성을 평가하는 오염가능성 평가단계;를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가방법이 제안된다.

[0012] 바람직하게는, 전술한 교차타당성 검증단계는 조사자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료의 공간상 분포특성을 실험적 베리오그램에 의해 나타내는 실험적 베리오그램 수행단계 및 공간상 분포특성을 나타내는 실험적 베리오그램에 적합한 이론상 베리오그램모델을 교차타당성 검증하여 선정하는 베리오그램모델 선정단계를 포함하여 이루어지고, 전술한 베리오그램분석단계는 선정된 이론상 베리오그램모델을 사용하여 지시확률변수 변환 값에 대한 반베리오그램을 산출하는 반베리오그램 산출단계 및 산출된 반베리오그램을 이용하여 추정치 산출에 필요한 공분산(covariance)을 결정하는 공분산 산출단계를 포함하여 이루어진다.

[0013] 또한, 바람직하게는, 전술한 베리오그램모델 선정단계에서의 이론상 베리오그램모델 선정은 구형 (Spherical) 모델, 지수형(Exponential)모델, 가우시안(Gaussian)모델 중의 어느 하나를 통계학적 또는 그래픽 교차타당성 검증하여 적합한 모델로 선정하고, 여기에서, 통계학적 교차타당성 검증은 조사자료 또는 지시확률변수로 변환

된 자료 중의 하나의 자료를 추출하는 과정과 추출된 자료의 지점에서 어느 하나의 이론상 베리오그램모델로부터 산출되는 반베리오그램과 공분산모델을 가지고 크리깅을 이용하여 추정치를 산출하는 과정과 조사자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료 중의 하나의 자료의 참값과 추정치와의 오차를 산정하는 과정을 통하여 수행되고, 그래픽 교차타당성 검증은 어느 하나의 이론상 베리오그램모델로부터 산출되는 반베리오그램과 공분산모델을 가지고 크리깅을 이용하여 추정치를 산출하는 과정과 크리깅을 이용하여 산출된 추정치와 조사자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료의 참값을 대응시켜 선형그래프로 표시하는 과정과 선형그래프의 기울기를 비교하는 과정을 통하여 수행된다.

[0014] 전술한 목적을 달성하기 위한 본 발명의 다른 하나의 모습에 따라, 조사지역에서 획득된 지하수 수질자료를 조사지점의 2차원 공간좌표(X, Y 좌표)와 해당 조사지점에서의 오염물질의 농도에 대한 조사자료로 입력받고 지시 추정자를 산출하기 위해 제공하는 입력부; 입력부로부터 제공된 오염물질의 농도자료를 설정된 임계값 기준으로 '0'과 '1'로 변환시켜 지시확률변수를 산출하는 지시확률변수 산출모듈과, 농도자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료의 공간상 분포특성을 베리오그램(variogram)에 의해 나타내며 공간상 분포특성을 나타내는 실험적 베리오그램에 적합한 이론상 베리오그램 모델을 검증하여 선정하는 교차타당성 검증모듈과, 교차타당성 검증하여 선정된 이론상 베리오그램 모델로부터 산출되는 반베리오그램(semivariogram)을 이용하여 지시 추정자 산출에 필요한 공분산(covariance)을 산출하는 베리오그램분석모듈과, 지시변환된 지시확률변수로부터 지시크리깅을 실시하여 지시 추정자를 추정 산출하며 지시 추정자를 산출하기 위해 불편향(unbiased)조건과 최소 추정오차분산 조건에 공분산을 적용하여 가중치를 결정하는 지시크리깅 모듈을 포함하는 지시크리깅 연산부; 지시크리깅 연산부에서 산출된 추정자 값들의 좌표 격자상 분포를 이용하여 평가지역의 오염가능성에 대한 확률도를 산출하는 확률도 작성모듈과, 산출된 확률도를 이용하여 평가지역의 지하수오염 가능성을 평가하는 오염가능성 평가모듈을 포함하는 오염판단부; 및 오염판단부에서 산출되는 확률도 및 오염가능성 평가 결과를 디스플레이하는 디스플레이부; 를 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가시스템이 제안된다.

[0015] 바람직하게는, 전술한 교차타당성 검증모듈은 농도자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료의 공간상 분포특성을 실험적 베리오그램에 의해 나타내하는 실험적 베리오그램 수행 서브모듈 및 공간상 분포특성을 나타내는 실험적 베리오그램에 적합한 이론상 베리오그램모델을 구형(Spherical)모델, 지수형(Exponential)모델, 가우시안(Gaussian)모델 중에서 교차타당성 검증하여 선정하는 베리오그램모델 선정 서브모듈을 포함하여 이루어지고, 전술한 베리오그램분석모듈은 선정된 이론상 베리오그램모델을 사용하여 지시확률변수 변환값에 대한 반베리오그램을 산출하는 반베리오그램 산출 서브모듈 및 산출된 반베리오그램을 이용하여 추정치 산출에 필요한 공분산(covariance)을 산출하는 공분산 산출 서브모듈을 포함하여 이루어진다.

[0016] 게다가, 바람직하게는, 전술한 베리오그램모델 선정 서브모듈은 설정에 따라 통계학적 또는 그래픽 교차타당성 검증하여 적합한 베리오그램 모델을 선정하고, 여기에서, 전술한 통계학적 교차타당성 검증은 조사자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료 중의 하나의 자료를 추출하는 과정과 추출된 자료의 지점에서 어느 하나의 이론상 베리오그램모델로부터 산출되는 반베리오그램과 공분산모델을 가지고 크리깅을 이용하여 추정치를 산출하는 과정과 조사자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료 중의 하나의 자료의 참값과 추정치와의 오차를 산정하는 과정을 통하여 수행되고, 전술한 그래픽 교차타당성 검증은 어느 하나의 이론상 베리오그램모델로부터 산출되는 반베리오그램과 공분산모델을 가지고 크리깅을 이용하여 추정치를 산출하는 과정과 크리깅을 이용하여 산출된 추정치와 조사자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료의 참값을 대응시켜 선형그래프로 표시하는 과정과 선형그래프의 기울기를 비교하는 과정을 통하여 수행된다.

[0017] 또한, 바람직한 모습으로, 전술한 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가방법 또는 시스템의 하나의 실시

$$\begin{aligned} 2\gamma(h) &= E\{ \sum [z(x) - z(x+h)]^2 \} \\ &= \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i+h)]^2 \end{aligned}$$

예에서는, 전술한 실험적 베리오그램이

에서 얻

어지고, 여기서, $2\gamma(h)$ 는 거리 h 사이의 자료간의 실험적 베리오그램, $\gamma(h)$ 는 거리 h 만큼 떨어진 자료간의 반베리오그램, $z(x)$ 는 임의의 지점 x 에 있는 오염물질 농도자료 값 또는 농도자료의 2진변환 값, $z(x+h)$ 는 $z(x)$ 에서 h 만큼 떨어진 지점의 농도자료 값 또는 농도자료의 2진변환 값, $N(h)$ 는 거리 h 만큼 떨어진 $z(x_i)$ 와 $z(x_i+h)$ 의 쌍들의 갯수이다.

$$\gamma(h) = C \left[\frac{3}{2} \cdot \frac{h}{a} - \frac{1}{2} \cdot \frac{h^3}{a^3} \right] \quad (h \leq a)$$

또한, 구형 모델은 $\gamma(h) = C$ ($h > a$)으로, 지수형 모델은

$$\gamma(h) = C \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right] \quad (h \leq 3a)$$

$\gamma(h) = C$ ($h > 3a$)으로, 가우시안 모델은

$\gamma(h) = C \left[1 - \exp\left(-\frac{h^2}{a^2}\right) \right]$ 으로 표현되고, 여기서 C 는 자료에서 얻어지는 랜덤함수의 분산, a 는 반베리오그램이 상관관계를 갖고 있는 범위(range), h 는 자료들간의 거리를 나타낸다.

게다가, 바람직하게는, 공분산 $C(h)$ 는 $C(h) = sill - \gamma(h)$ 으로부터 결정되고, 여기서 sill은 자료들간의 거리가 일정한 범위(range)를 넘어서 공간적 상관관계가 약화되거나 상실되어 반베리오그램간의 상관관계가 없어지고 수렴된 상태의 반베리오그램 값인 것을 특징으로 한다.

바람직하게는, 또한, 지수형모델에서 실질적 반베리오그램의 범위 a'은 $3a$ 이고, 가우시안모델에서 실질적 반베리오그램의 범위 a'은 $a\sqrt{3}$ 으로 나타낼 수 있다.

게다가, 전술한 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가방법 또는 시스템의 바람직한 하나의

$$I^*(u_0; z_k) = \sum_{j=1}^n \lambda_j(z_k) I(u_j; z_k)$$

실시예에서는, $I^*(u_0; z_k)$ 를 통해서 지시 추정자 $I^*(u_0; z_k)$ 가 산

출되며, 여기서, $I(u_j; z_k)$ 는 특정 임계값(z_k)을 기준으로 한 관측지점(u_j , $j=1,2,\dots,m$)에서의 지시확률변

수이며, 여기서, $\lambda_j(z_k)$ 는 특정 임계값(z_k) 기준으로 $I^*(u_0; z_k)$ 값을 추정하기 위한 값에 할당되는 가중치로서 불편향조건과 최소 추정오차분산 조건을 통해 결정되고, 불편향조건은

$$E[I^*(u_0; z_k) - I(u_j; z_k)] = 0$$

이고 최소 추정오차분산 조건은

$$Var[I^*(u_0; z_k) - I(u_j; z_k)] = \overline{C}(u_0, u_0) - 2 \sum_i \sum_j \lambda_i \lambda_j \overline{C}(u_i, u_j)$$

$= minimal$ 이고, 여기서 $\overline{C}(u_0, u_i)$ 는

거리 h 만큼 떨어진 두 영역 u_0 와 u_i 에서의 공분산 $C(h)$ 으로서 전술한 베리오그램분석단계 또는 베리오그램분석모듈을 통하여 결정된다.

바람직한 모습으로, 전술한 지시크리깅 가중치의 결정은 불편향조건과 최소 추정오차분산 조건으로부터, 라그랑지 승수법(Lagrange multiplier method)를 이용한 라그랑지(Lagrange) 목적함수에서의 최소를 구하여 지시크리

김 추정 행렬식을 산출하고, 산출된 추정 행렬식을 풀어 가중치가 결정된다.

[0023] 또 바람직한 모습으로, 전술한 실시예들에서의 임계값(z_k)은 음용수, 생활용수, 농업용수, 공업용수 중의 어느 하나 또는 그 이상의 기준에서 제시된 수질기준을 설정하고, 조사지점에서의 오염물질의 농도 자료값 $Z(u)$ 에 대하여 임계값(z_k) 기준으로 초과시 '0', 이하시 '1'로 변환되도록 하는 경우에는: 지시확률변수 $I(u; z_k)$ 는

$$I(u; z_k) = \begin{cases} 1, & \text{if } Z(u) \leq z_k, \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad k=1, 2, \dots, m$$

으로 산출하고; $I(u; z_k)$ 의 기대값은

$$E[I(u; z_k | (n))] = \text{Prob}\{Z(u) \leq z_k | (n)\} \\ = F(u; z_k | (n))$$

로 산출하며, 오염가능성에 대한 확률은

$$P(u; z_k | (n)) = 1 - F(u; z_k | (n))$$

으로 산정하고, 여기서 $F(u; z_k | (n))$ 은 $Z(u) \leq z_k$

조건 자료의 누적분포함수의 확률이다.

[0024] 또한, 조사지점에서의 오염물질의 농도 자료값 $Z(u)$ 에 대하여 임계값(z_k) 기준으로 초과시 '1', 이하시 '0'으로 변환되도록 하는 경우에는: 지시확률변수 $I(u; z_k)$ 는

$$I(u; z_k) = \begin{cases} 0, & \text{if } Z(u) \leq z_k, \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad k=1, 2, \dots, m$$

으로 산출하고; $I(u; z_k)$ 의 기대값은

$$E[I(u; z_k | (n))] = \text{Prob}\{Z(u) > z_k | (n)\} \\ = F(u; z_k | (n))$$

로 산출되며 확률 $F(u; z_k | (n))$ 은 오염가

능성에 대한 누적분포함수의 확률이다..

[0025] 또한, 전술한 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가방법 또는 시스템의 바람직한 하나의 실시예들에 있어서, 베리오그램분석단계에서 또는 베리오그램분석모듈이 조사자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료의 공간상 분포특성을 베리오그램(variogram)에 의해 나타내는데 있어서, 수집된 자료들간의 거리를 소정의 크기의 분리거

리 h 를 설정하고 일정한 허용한계 Δh 를 이용하여 자료들간의 거리가 $h - \Delta h$ 보다 크고 $h + \Delta h$ 보다 적은 자료간의 베리오그램은 분리거리 h 또는 자료들의 평균거리를 갖는 것으로 판단하여 산출하고 산출된 베리오그램에 의해 공간상 분포특성을 나타내고, 공간상 분포특성을 나타내는 산출된 분리거리에 따른 베리오그램에 의해 자료간의 상관관계를 갖는 범위(range)와 상기 상관관계를 갖는 범위를 넘어서 공간적 상관관계가 약화되거나 상실되는 반베리오그램 값에 해당하는 상수를 결정하고, 산출된 분리거리에 따른 베리오그램과 베리오그램 모델과의 매칭을 통해 적합한 베리오그램 모델로부터 산출된 반베리오그램(semivariogram)을 이용하여 추정치 산출에 필요한 공분산(covariance)을 산출하는 것을 특징으로 한다.

효 과

[0026] 본 발명은 비모수적 지구통계 기법을 이용하여 지하수 오염의 가능성을 평가함으로써, 종래의 인덱스(Index)를 이용한 DRASTIC 기법 등에 비하여 훨씬 정량적이며 간편하다.

[0027] 본 발명에 따라, 지하수 오염의 현황과 가능성에 대하여 정밀하게 평가할 수 있으므로, 효율적이고 경제적으로 오염된 지하수를 정화할 수 있다. 또한 지시크리깅 방법은 정규크리깅의 원리와 방법을 그대로 이용하기 때문에, 사용이 간편하고 소요 시간이 짧다.

[0028] 지시크리깅을 이용함으로써, 지하수 오염가능성 평가방법 또는 시스템에 있어서, 본 발명의 다양한 실시예에 따른 구성과 작용으로부터 본질적으로 도출되는 특유하고 현저한 효과를 얻을 수 있다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

- [0029] 전술한 과제를 달성하기 위한 본 발명의 실시 예들이 첨부된 도면을 참조하여 설명된다. 본 실시 예들을 설명함에 있어서, 동일부호는 동일한 구성을 의미하고, 중복되는 부가적인 설명은 아래에서 생략될 수 있다.
- [0030] 본 발명의 전체에서, 조사지역은 실제로 조사가 이루어진 지역을 의미하고, 평가지역은 실체가 조사가 이루어지지 않아 지시크리깅을 이용하여 오염여부에 대한 추정이 이루어지는 지역 또는 그 지역과 조사지역을 포함하는 의미로 사용된다.
- [0031] 우선, 본 발명의 하나의 모습에 따른 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가 시스템을 도면을 참조하여 살펴본다.
- [0032] 도 3은 본 발명의 하나의 모습에 따른 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가 시스템의 실시예를 나타내는 개략적인 블록도이고, 도 4는 도 3의 교차타당성 검증모듈과 베리오그램분석모듈의 하나의 실시예를 나타내는 개략적인 블록도이다.
- [0033] 도 3을 참조하면, 본 발명의 하나의 실시예로, 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가 시스템은 입력부(100), 지시크리깅 연산부(200), 오염판단부(300) 및 디스플레이부(400)를 포함하여 이루어진다. 도시되지 않았으나, 바람직하게는, 입력된 자료를 저장하는 저장부를 포함하고 있으며, 외부로 출력하기 위한 출력부도 구비할 수 있다.
- [0034] 입력부(100)는 조사지역에서 획득된 지하수 수질자료를 조사지점의 2차원 공간좌표(X, Y 좌표)와 해당 조사지점에서의 오염물질의 농도자료로 입력받는다. 농도자료를 입력받는 방식은 사용자에게 의한 입력 또는 외부 저장매체를 통한 기록된 자료의 전송 또는 외부 매체로부터 전송받는 경우를 전부 포함한다. 입력받은 자료는 지시 추정자를 산출하기 위해 지시크리깅 연산부(200)로 제공된다.
- [0035] 지시크리깅 연산부(200)는 지시확률변수 산출모듈(210), 교차타당성 검증모듈(230), 베리오그램분석모듈(250) 및 지시크리깅 모듈(270)을 포함하고 있다. 지시확률변수 산출모듈(210)은 입력부(100)로부터 제공된 오염물질의 농도자료를 설정된 임계값 기준으로 '0'과 '1'로 변환시켜 지시확률변수를 산출한다.
- [0036] 교차타당성 검증모듈(230)은 농도자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료의 공간상 분포특성을 실험적 베리오그램에 의해 나타내는 공간상 분포특성을 나타내는 실험적 베리오그램에 적합한 이론상 베리오그램 모델을 검증하여 선정한다.
- [0037] 그리고, 베리오그램분석모듈(250)은 교차타당성 검증하여 선정된 이론상 베리오그램 모델로부터 산출되는 반베리오그램(semivariogram)을 이용하여 지시 추정자 산출에 필요한 공분산(covariance)을 산출한다.
- [0038] 바람직하게는, 도 4를 참조하면, 전술한 교차타당성 검증모듈(230)은 실험적 베리오그램 수행 서브모듈(231) 및 베리오그램모델 선정 서브모듈(233)을 포함하고 있다. 먼저, 실험적 베리오그램 수행 서브모듈(231)은 입력부(100)에서 제공된 조사자료(농도자료) 또는 지시확률변수로 변환된 자료의 공간상 분포특성을 실험적 베리오그램에 의해 나타낸다. 베리오그램모델 선정 서브모듈(233)은 공간상 분포특성을 나타내는 실험적 베리오그램에 적합한 이론상 베리오그램모델을 구형(Spherical)모델, 지수형(Exponential)모델, 가우시안(Gaussian)모델 중에서 교차타당성 검증하여 선정한다.
- [0039] 또한 바람직하게는, 도 4를 참조하면, 전술한 베리오그램분석모듈(250)은 반베리오그램 산출 서브모듈(251) 및 공분산 산출 서브모듈(253)을 포함하고 있다. 반베리오그램 산출 서브모듈(251)에서는 앞서 선정된 이론상 베리오그램모델을 사용하여 지시확률변수 변환값에 대한 반베리오그램을 산출한다. 그리고, 공분산 산출 서브모듈(253)은 산출된 반베리오그램을 이용하여 추정치 산출에 필요한 공분산(covariance)을 산출한다. 베리오그램분석모듈(250)의 구체적인 작동 모습은 다음에서 하나의 실시예들을 통하여 자세히 설명될 것이다.

- [0040] 그리고 지시크리깅 모듈(270)은 지시변환된 지시확률변수로부터 지시크리깅을 실시하여 지시 추정자를 추정 산출하며 지시 추정자를 산출하기 위해 불편향(unbiased)조건과 최소 추정오차분산 조건에 공분산을 적용하여 가중치를 결정한다.
- [0041] 지시크리깅 연산부(200)의 각각의 모듈의 작동 모습은 다음에서 구체적인 실시예로서 설명될 것이다.
- [0042] 그리고, 오염판단부(300)는 지시크리깅 연산부(200)에서 산출된 추정자 값들의 좌표 격자상 분포를 이용하여 평가지역의 오염가능성에 대한 확률도를 산출하는 확률도 작성모듈(310)과 산출된 확률도를 이용하여 평가지역의 지하수오염 가능성을 평가하는 오염가능성 평가모듈(330)을 포함하고 있다.
- [0043] 디스플레이부(400)에서는 오염판단부(300)에서 산출되는 확률도 및 오염가능성 평가 결과를 디스플레이한다. 바람직하게는 지시크리깅 연산부(200)에서 산출되는 값들에 대한 도지도 가능하다.
- [0044] 다음으로, 발명의 다른 모습에 따른 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가 방법을 구체적으로 살펴본다. 본 발명의 구체적인 실시예는 방법 발명 그 자체뿐만 아니라 앞서 언급한 평가시스템 발명의 실시예들에서의 작동 모습을 나타낸다. 이하에서 작동 모습을 설명함에 있어서 사용되는 도면부호는 앞서 설명한 평가시스템의 구성에 따른 것이다.
- [0045] 도 1은 본 발명의 하나의 모습에 따른 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가 방법의 실시예를 나타내는 순서도이고, 도 2는 도 1의 교차타당성 검증단계와 베리오그램분석단계의 하나의 실시예를 나타내는 순서도이다.
- [0046] 도 1을 참조하여 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가 방법의 하나의 실시예를 살펴보면, 자료변환단계(S100), 교차타당성 검증단계(S200), 베리오그램분석단계(S300), 지시크리깅단계(S400), 확률도 작성단계(S500) 및 오염가능성 평가단계(S600)를 포함하고 있다. 각 단계별로 구체적으로 살펴본다.
- [0047] 본 발명에 따른 아래의 하나의 실시예는 GS⁺ 소프트웨어(2005, version 7, Gamma Design Software)를 구비하여 구현하였음을 밝혀둔다. 그러나, 본 발명의 범위가 이러한 실시예의 구현에 의해 한정되는 것은 아니다.
- [0048] [자료변환단계(S100)]
- [0049] 본 단계에서는 임계값을 설정하여 실제 조사된 오염물질의 농도자료를 지시변환하는 단계이다.
- [0050] 먼저, 조사지역에서 취득된 지하수 수질자료를 조사지점의 2차원 공간좌표(X, Y 좌표)와 해당 조사지점에서의 오염물질의 농도로 정리한다. 정리된 자료와 임계값을 입력받는다. 임계값은 바람직하게 음용수, 생활용수, 농업용수, 공업용수 등 중에서 어느 하나 또는 하나 이상에서 제시된 수질기준을 임계값으로 설정할 수 있다. 또한 설정된 임계값은 중금속이나 유류물질 등의 각 항목별 수질기준에 따라 음용수, 생활용수, 농업용수, 공업용수 등의 하나에 대한 수질기준에서 다수의 임계값을 가질 수 있다.
- [0051] 하나의 실험예로서, 도 6은 본 발명의 하나의 실시예에서의 조사지역의 오염물질 농도자료의 예로, 경상남도 마산지역의 지하수에서 조사된 염소이온의 농도분포도이다. 염소이온은 다량일 경우에 인체에 유해하기 때문에, 지하수 수질평가에서 중요한 성분이다.
- [0052] 설정된 임계값을 기준으로 '0'과 '1'로 조사자료를 변환시켜 지시확률변수를 생성한다. 예컨대, 지시확률변수의 산출은 본 발명의 다른 하나의 실시예인 평가 시스템에서의 지수확률변수 산출모듈에 의해 이루어진다. 지시확률변수는 '0'과 '1'의 이진법적인 조사지역에 따른 랜덤함수이다. 지시크리깅(indicator kriging)은 특정임계값(z_k)을 초과하는 확률을 추정하기 위한 비모수적 지구통계기법이다.
- [0053] 하나의 실험예로서, 도 7은 도 6의 염소이온 자료를 지시크리깅에 이용하기 위하여 지시변환한 값들을 나타낸 분포도이다. 이 때 염소이온의 임계값은 음용수의 기준치인 250mg/L을 적용하였다.
- [0054] 바람직한 모습으로, 설정된 임계값보다 초과된 자료들은 '0'으로, 임계값 이하의 자료들은 '1'로 변환시킬 수 있다. 또는 이와 반대로 설정된 임계값보다 초과된 자료들은 '1'로, 임계값 이하의 자료들은 '0'으로 변환시킬 수도 있으며, 이 경우 오염가능성의 확률을 나타내기 위한 자료값들의 조건은 반대가 된다. 본 발명의 실시예들

에서 임계값 기준의 '초과'와 '이하'를 언급하고 있으나, 본 발명의 범위는 문헌적으로 또는 균등적으로 '이상'과 '미만'의 경우를 포함하고 있다.

[0055] 이하에서는 특별한 언급이 없는한 임계값보다 초과된 자료들은 '0'으로, 임계값 이하의 자료들은 '1'로 변환시키는 경우를 중심으로 설명하도록 한다.

[0056] 지시크리깅에서 '0'과 '1'로 지시변환된 지시확률변수($Z(u)$)는 아래의 식(1)과 같이 표현된다.

$$I(u; z_k) = \begin{cases} 1, & \text{if } Z(u) \leq z_k, \quad k=1,2,\dots,m \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

[0058] 이 경우에 $I(u; z_k)$ 의 기대값(expected value)은 아래의 식(2)로 표현된다.

$$\begin{aligned} E[I(u; z_k | (n))] &= \text{Prob}\{Z(u) \leq z_k | (n)\} \\ &= F(u; z_k | (n)) \end{aligned} \quad (2)$$

[0060] 여기서, 식 (2)에서 구해진 확률($F(u; z_k | (n))$)은 실제로 지하수 이용 용도별 기준치 이하의 사건들이 나타날 확률을 의미한다. 따라서, 오염가능성에 대한 확률을 구하기 위해서는 아래의 식 (3)과 같이 산정하면 된다.

$$P(u; z_k | (n)) = 1 - F(u; z_k | (n)) \quad (3)$$

[0062] 여기서 $F(u; z_k | (n))$ 은 $Z(u) \leq z_k$ 조건 자료의 누적분포함수(cumulative distribution function)의 확률이며, $P(u; z_k | (n))$ 은 $Z(u) > z_k$ 조건 자료에 대한 확률이다.

[0063] 만일, 임계값보다 초과된 자료들은 '1'로, 임계값 이하의 자료들은 '0'으로 변환시키는 경우에는, 지시확률변수 $I(u; z_k)$ 는 아래의 식 (1)'으로 표현되고,

$$I(u; z_k) = \begin{cases} 0, & \text{if } Z(u) \leq z_k, \quad k=1,2,\dots,m \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)'$$

[0065] $I(u; z_k)$ 의 기대값은 아래의 식(2)'으로 표현된다.

$$\begin{aligned} E[I(u; z_k | (n))] &= \text{Prob}\{Z(u) > z_k | (n)\} \\ &= F(u; z_k | (n)) \end{aligned} \quad (2)'$$

[0067] 이 경우 확률 $F(u; z_k | (n))$ 은 오염가능성에 대한 누적분포함수의 확률을 의미한다.

[0068] [교차타당성 검증단계(S200)]

[0069] 다음으로, 도 2를 참조하여 교차타당성 검증단계(S200)의 구체적인 모습들을 살펴본다. 교차타당성 검증단계(S200)에서는 조사자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료의 공간상 분포특성을 베리오그램(variogram)에 의해 나타내고, 공간상 분포특성을 나타내는 실험적 베리오그램에 적합한 이론상 베리오그램 모델을 검증하여 선정한

다. 바람직하게, 교차타당성 검증단계(S200)는 본 발명의 다른 하나의 실시예에 따른 평가 시스템의 교차타당성 검증모듈(230)에 의해 수행된다.

[0070] 도 2에 도시된 바를 참조하면, 바람직한 하나의 실시예로, 교차타당성 검증단계(S200)는 실험적 베리오그램 수행단계(S210) 및 베리오그램모델 선정단계(S230)를 포함하고 있고, 바람직하게, 각 단계는 본 발명의 다른 하나의 실시예에 따른 평가 시스템의 각각 실험적 베리오그램 수행 서브모듈(231), 베리오그램모델 선정 서브모듈(233)에 의해 수행된다.

[0071] 도 2의 실험적 베리오그램 수행단계(S210)에서는 조사자료 또는 자료변환단계(S100)에서 지시확률변수로 변환된 자료의 공간상 분포특성을 실험적 베리오그램에 의해 나타낸다. 이에 대하여 구체적으로 살펴본다.

[0072] 공간상에 분포하는 표본 자료(조사자료)의 특성은 베리오그램(variogram)에 의해서 나타난다. 베리오그램(variogram)은 공간상에 분포하는 임의의 두 자료간의 차이의 분산(variance)으로 구해진다(Journel and Huijbregts, 1978).

[0073] 크리깅에 사용되는 베리오그램의 정의식은 일반적으로 아래의 식 (4)로 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} 2\gamma(h) &= E\left\{ \sum [Z(x) - Z(x+h)]^2 \right\} \\ &= \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i+h)]^2 \end{aligned} \quad (4)$$

[0075] 여기서 $2\gamma(h)$ 는 거리 h 만큼 떨어진 자료값들간의 베리오그램(variogram)이고, 구체적으로는 표본자료(조사자료)로 부터 얻어지는 실험적 베리오그램이고, $\gamma(h)$ 는 반베리오그램(semivariogram)으로 구체적으로는 조사자료로부터 얻어지는 실험적 반베리오그램이다. 그리고, Z(x)는 임의의 지점 x 에 있는 자료의 값이며, Z(x+h)는 Z(x)에서 h 만큼 떨어진 지점의 자료 값이다. N(h)는 거리 h 만큼 떨어진 쌍들의 표본자료(조사자료) Z(x_i)와 Z(x_i+h)의 갯수이다.

[0076] 본 발명의 실시예에서는, 앞선 조사자료 또는 지시변환단계(S100)에서 지시확률변수로 변환된 자료의 공간상 분포특성이 베리오그램(variogram)에 의해 나타내게 되는데, 앞선 식(4)를 참조하면 실험적 베리오그램은 아래의 식 (4)'에 의해 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} 2\gamma(h) &= E\left\{ \sum [z(x) - z(x+h)]^2 \right\} \\ &= \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i+h)]^2 \end{aligned} \quad (4)'$$

[0078] 여기서, $2\gamma(h)$ 는 거리 h 사이의 자료간의 실험적 베리오그램, $\gamma(h)$ 는 거리 h 만큼 떨어진 자료간의 실험적 반베리오그램, z(x)는 임의의 지점 x 에 있는 오염물질 농도자료 값 또는 농도자료의 2진변환 값, z(x+h)는 z(x)에서 h 만큼 떨어진 지점의 농도자료 값 또는 농도자료의 2진변환 값, N(h)는 거리 h 만큼 떨어진 z(x_i)와 z(x_i+h)의 쌍들의 갯수이다.

[0079] 즉, 본 실시예에서, z(x_i)와 z(x_i+h)는 농도자료의 실제값일 수 있고, 바람직하게는 앞서 언급한 지시확률변수와 같이 임계값을 기준으로 초과 또는 이하의 여부에 따라 '0'과 '1'의 2진수로 표현되는 자료값이다.

[0080] 하나의 실시예로서, 도 8은 도 7의 지시변환된 값들을 이용하여 작성된 실험적 베리오그램이다.

[0081] 다음으로, 공간상 분포특성을 나타내는 실험적 베리오그램에 적합한 이론상 베리오그램모델을 결정하는 과정을 살펴본다.

[0082] 도 2의 베리오그램모델 선정단계(S230)에서는 공간상 분포특성을 나타내는 실험적 베리오그램에 적합한 이론상 베리오그램모델을 교차타당성 검증하여 선정한다. 채집된 자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료로부터 식 (4)나 (4)'과 같은 베리오그램의 정의식에 의한 실험적 베리오그램을 구하여 자료간의 거리와 공간적 상관관계를 그래프로 나타낼 수 있고, 실험적 베리오그램이 나타내는 자료의 공간적 상관관계를 이상적으로 표현하는 이론상 베리오그램을 결정해야 한다. 이러한 실험적 베리오그램과 적합한 이론상 베리오그램모델을 선정하는 것은 모델별로 검증을 통하여 교차 타당성 검증에 의해 이루어질 수 있다. 바람직하게는, 모델별로 적합성이 비슷한 양상으로 나타나는 경우에는 그 중에서 하나의 가장 적합한 모델을 선정하기 위해 각 임계값을 갖는 요소별로 가장 적합하지 않은 모델을 찾아내어 제거하는 과정을 거치며 가장 적합한 모델을 선정할 수도 있다.

[0083] 교차타당성 검증(cross validation test) 방법에 대하여 구체적으로 살펴본다.

[0084] 베리오그램모델 선정단계(S230)에서 표본자료에 대한 최적의 모델을 선정하기 위하여 교차타당성 검증이 필요하다. 교차 타당성 검증에는 통계학적 방법과 그래픽 방법이 이용된다. 본 발명에서는 2가지 방법을 모두 이용할 수 있다. 바람직한 실시도면으로 제시되는 실시예에서는, 도 9 및 10에 도시된 바와 같이, GS⁺ 소프트웨어를 이용한 그래픽방법만이 제시되어 있다. 표본자료에 대하여 통계학적인 방법과 그래픽방법을 이용한 결과, 구상형 모델이 가장 적합한 것으로 나타났다. 각 방법에 대한 설명은 다음과 같다.

[0085] ① 통계학적 교차타당성 검증

[0086] 통계학적 교차타당성 검증은 조사자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료 중의 하나의 자료를 추출하는 과정과 추출된 자료의 지점에서 어느 하나의 이론상 베리오그램모델로부터 산출되는 반베리오그램과 공분산모델을 가지고 크리깅을 이용하여 추정치를 산출하는 과정과 조사자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료 중의 하나의 자료의 참값과 추정치와의 오차를 산정하는 과정을 통하여 수행된다. 통계학적 교차타당성 검증은 바람직하게 통계학적 교차타당성 모듈에 의해 수행될 수 있다.

[0087] 통계학적 방법의 절차는 다음과 같다(Davis, 1987).

[0088] 첫째, 1개의 자료를 전체의 조사자료에서 뽑아낸다. 추출해낸 지점에 대하여 나머지 자료들과 이론상 베리오그램 모델 중 어느 하나의 베리오그램모델로부터 반베리오그램을 산출하고 반베리오그램을 이용하여 공분산모델을 적용하여 공분산을 구하여 크리깅을 이용하여 값을 추정해낸다. 이 경우 크리깅은 정규크리깅이나 지시크리깅일 수 있다. 바람직하게는 원래의 조사자료로부터 추정치를 산출하는 경우는 정규크리깅을 이용하고, 지시변환된 자료로부터 추정치를 산출하는 경우는 지시크리깅을 이용한다.

[0089] 둘째, 앞서 산출된 추정치와 조사자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료 중의 추출된 알고있는 하나의 자료의 참값(true value)으로부터 오차를 계산한다. 바람직하게는, 크리깅 분산을 이용하여 감소오차(reduced error)를 다음의 식(5)와 같이 계산한다.

$$RE = \frac{Z(x) - Z^*(x)}{\sqrt{\sigma_k^2}} \quad (5)$$

[0091] 여기서 Z(x)는 조사자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료의 참값이고, Z^{*}(x)는 나머지 자료들과 선정된 이론

상 베리오그램모델과 공분산모델을 가지고 크리깅을 이용하여 추정해낸 추정치이고, σ_k 은 조사자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료의 표준편차이다.

[0092] 바람직하게는, 선정된 모델이 가장 적합하다면 감소오차의 평균(Mean Reduced Errors, MRE)이 0에 가까워야 하고 감소오차의 표준편차(Standard Deviation of Reduced Errors, SDRE)가 1.0에 가까워야 한다(Davis, 1987; Solow, 1990). 감소오차의 평균은 다음의 식(6)에 의해, 감소오차의 표준편차는 식(8)에 의해 나타낼 수 있다. 여기서 VRE는 감소오차의 분산이다.

$$MRE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \left[\frac{Z(x) - Z^*(x)}{\sqrt{\sigma_k^2}} \right]_i \approx 0 \quad (6)$$

$$VRE = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (RE - MRE)_i^2 \quad (7)$$

$$SDRE = \sqrt{VRE} \approx 1.0 \quad (8)$$

또한, 바람직하게는, 이외에 몇가지의 다른 통계값들도 선정된 모델의 적합성을 판정하기 위해 이용될 수 있다.

i) 평균 오차(ME)는 다음의 식(9)로 표현되고 0에 가까워야 한다.

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n [Z(x) - Z^*(x)]_i \quad (9)$$

ii) 평균 제곱오차(MSE)는 다음 식(10)으로 표현되고 최소가 되어야 한다.

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^m [Z(x) - Z^*(x)]_i^2 \quad (10)$$

iii) 평균 제곱오차의 제곱근(SRMSE) 역시 최소가 되어야하며 다음 식(11)로 표현된다.

$$SRMSE = \sqrt{MSE} \quad (11)$$

iv) 오차의 분산(VE)은 다음 식(12)와 같이 평균 크리깅(Kriging) 분산(MKV)과 같아야 한다.

$$VE = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (Error - ME)^2 = MKV \quad (12)$$

아래의 표는 하나의 실시예에 따라 도 6과 같이 마산지역의 염소이온 농도에 대한 통계학적 교차타당성 검증 방법에서 이용되는 값을 나타내고 있다. 아래의 표는 구형 베리오그램 모델로부터 크리깅을 이용하여 추정된 추정치와 원래의 조사자료들로부터 얻어진 것이다.

통계값	원래의 조사자료	지시변환자료
MRE	-0.08	-0.11
SDRE	0.99	1.01
ME	-268	-0.03
MSE	11,279,438	0.07
SRMSE	3,358	0.27
VE	11,385,581	0.07

- [0107] ② 그래픽 교차타당성 검증
- [0108] 크리깅 추정치들의 검증에서 통계학적 방법 이외에 유용하게 이용되고 있는 방법이 그래픽 검증이다. 이것은 추정치와 표본자료의 원래값을 대응시켜 단순한 선형 그래프에 표시하는 방법이다. 추정치와 원래값들이 정확히 일치할 경우에는 기울기가 1인 직선에 표시되며, 일치하지 않는 값들은 이 직선에서 벗어나게 표시된다.
- [0109] 즉, 그래픽 교차타당성 검증은 어느 하나의 이론상 베리오그램모델로부터 산출되는 반베리오그램과 공분산모델을 가지고 크리깅을 이용하여 추정치를 산출하는 과정과 크리깅을 이용하여 산출된 추정치와 조사자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료의 참값을 대응시켜 선형그래프로 표시하는 과정과 선형그래프의 기울기를 비교하는 과정을 통하여 수행된다.
- [0110] 도 9는 본 발명의 하나의 실시예에 따라 그래픽 교차타당성 검증 방식에 의하여 도 6의 염소이온 자료 값과 구형 베리오그램 모델로부터의 추정치를 대응시켜 표시한 선형그래프이고, 도 10은 본 발명의 하나의 실시예에 따라 그래픽 교차타당성 검증 방식에 의하여 도 7의 지시변환된 염소이온 자료 값과 구형 베리오그램 모델로부터의 추정치를 대응시켜 표시한 선형그래프이다.
- [0111] 염소이온의 측정된 원 조사자료 값을 이용한 경우 구형 베리오그램이 가장 적합한 것으로 나타났으며, 이 때 직선의 기울기는 도 9에 도시된 바와 같이 1.435 이다. 도 9의 x축은 추정치 염소이온 농도 값이고 y축은 실제 염소이온농도의 값이고, 회귀계수는 기울기인 1.435이고, y절편은 -975.76이다.
- [0112] 즉, $Y = 1.435 X - 975.76$ 이다.
- [0113] 지시변환된 값을 이용한 경우 역시 구형 베리오그램이 가장 적합한 것으로 나타났으며, 도 10에 도시된 바와 같이 직선의 기울기는 1.219이다. 회귀계수는 기울기인 1.219이고, y절편은 -0.06이다.
- [0114] 즉, $Y = 1.219 X - 0.06$ 이다.
- [0115] 한편, 교차타당성 검증단계(S200)에서 또는 교차타당성 검증모듈(230)이 조사자료 또는 지시확률변수로 변환된 자료의 공간상 분포특성을 베리오그램(variogram)에 의해 나타내는데 있어서, 대상공간에서 무작위로 채집된 자료들간의 거리는 0부터 공간 영역의 크기까지 다양한 분포를 보이게 되고 이 경우 거리와 베리오그램의 그래프를 그리면 오히려 자료들의 공간적 상관성을 찾아내기 어려워질 수 있다. 그러므로, 실험적 베리오그램의 작성을 위해 분리거리의 개념이 사용될 필요가 있다.
- [0116] 바람직하게는, 본 발명에 따른 평가방법 또는 시스템의 바람직한 실시예들에 있어서, 수집된 자료들간의 거리들에 대하여 소정의 크기의 분리거리 h 를 설정하고 일정한 허용한계 Δh 를 이용하여 자료들간의 거리가 $h - \Delta h$ 보다 크고 $h + \Delta h$ 보다 작은 자료간의 베리오그램은 분리거리 h 또는 자료들의 평균거리를 찾는 것으로 판단하여 거리에 따른 실험적 베리오그램을 산출한다. 분리거리에 대한 허용한계는 일반적으로 분리거리의 50%를 사용한다. 그 경우 전 구간내에서 누락되는 베리오그램이 없게 된다. 그러나 필요에 따라서는 50%보다 적은 값을 사용할 수 있다. 그리고 산출된 분리거리 또는 평균거리에 따른 실험적 베리오그램에 의해 공간상 분포특성을 나타내게 된다.
- [0117] 베리오그램 또는 반베리오그램의 모델은 sill(문턱치)의 존재 유무에 따라 여러가지 모델로 구분된다. sill은 문턱치라고도 하는데, 이는 일정한 범위(range), 즉 상관거리를 넘어서 자료들간의 공간적 상관관계가 약화되거나 상실되어 베리오그램 또는 반베리오그램이 일정한 경향없이 분포하거나 일정한 값을 유지하며 수렴되는 상태의 반베리오그램 값을 나타낸다. 이론상 베리오그램모델은 sill(문턱치)이 존재하는 경우로는 구형(Spherical) 모델, 지수형(Exponential)모델, 가우시안(Gaussian)모델이 있으며, sill이 없는 경우로는 파워모델(선형모델을 포함함), 로그리듬모델(대수모델), 홀효과모델 등이 있다.
- [0118] 바람직하게는, 지하수 수질자료 처리에서 sill이 존재하는 경우에 해당하는 구형(Spherical)모델, 지수형(Exponential)모델, 가우시안(Gaussian)모델의 3가지 모델이 실험적 베리오그램과 적합성 판단대상이 되는 이론상 베리오그램모델로 사용된다. 즉, 바람직하게는, 베리오그램모델 선정은 구형(Spherical)모델, 지수형(Exponential)모델, 가우시안(Gaussian)모델 중의 어느 하나의 이론상 베리오그램모델과 매칭시켜 적합한 모델

을 선정하는 것에 의해 이루어진다. 더 바람직하게는 매칭되는 적합한 모델로 구형(Spherical)모델이 선정된다.

[0119] 도 7에 따른 실험적 베리오그램의 경우 구형모델이 가장 적합한 것으로 나타났으며, 베리오그램 인자는 너깃(nugget) 0.0271, sill 0.1262, 상관거리(range) 550 m 이다. 여기에서 너깃은 두 위치 간의 공간거리가 '0'일 때의 반베리오그램 값으로 아주 작은 변화량 또는 측정오차를 나타낸다. 상관거리는 자료들간의 공간적 상관관계가 약화되거나 또는 상실되어 베리오그램이 일정한 경향없이 분포하거나 일정한 값을 유지하기 시작하는 거리를 의미한다.

[0120] 도 4는 본 발명의 하나의 실시예에서의 베리오그램모델 선정 대상이 되는 sill을 갖는 경우의 3가지 베리오그램 모델이다. 대부분의 지하수 수질자료 처리에 있어서 이 모델들이 적용된다. sill이 존재하는 경우의 3가지 모델을 구체적으로 살펴본다.

[0121] ① 구형모델(Spherical model)

[0122] 구형(Spherical)모델은 아래의 식 (13)과 식 (14)로 반베리오그램을 나타낸다.

$$\gamma(h) = C \left[\frac{3}{2} \cdot \frac{h}{a} - \frac{1}{2} \cdot \frac{h^3}{a^3} \right] \quad (h \leq a) \quad (13)$$

$$\gamma(h) = C \quad (h > a) \quad (14)$$

[0125] 여기서 C 는 자료에서 얻어지는 분산, 즉 바람직하게는 2진변환된 자료의 랜덤함수의 분산이고, a 는 반베리오그램이 상관관계를 갖고 있는 범위(range)이고, h 는 자료들간의 거리이다.

[0126] ② 지수형모델(Exponential model)

[0127] 지수형(Exponential)모델은 아래의 식 (15) 및 (16)로 나타내어진다.

$$\gamma(h) = C \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right) \right] \quad (h \leq 3a) \quad (15)$$

$$\gamma(h) = C \quad (h > 3a) \quad (16)$$

[0130] 지수형모델은 sill 값에 근사적으로 접근하며, 바람직하게는, 지수형 모델에서 실질적인 반베리오그램의 범위(상관거리) a'은 3a이다. 이러한 지수형모델은 수문학과 관련된 자료에 이용된다.

[0131] ③ 가우시안모델(Gaussian model)

[0132] 가우시안(Gaussian)모델은 아래의 식 (17)에 의해 나타내어진다.

$$\gamma(h) = C \left[1 - \exp\left(-\frac{h^2}{a^2}\right) \right] \quad (17)$$

[0134] 가우시안 모델 역시 sill값에 근사적으로 접근하며, 또한 바람직하게는, 가우시안모델에서 실질적인 반베리오그램의 범위 a'은 $a\sqrt{3}$ 이다.

[0135] 바람직하게는, 전술한 구형(Spherical)모델, 지수형(Exponential)모델, 가우시안(Gaussian)모델을 적용하는데 있어서, 너깃(nugget)효과를 고려할 때, 반베리오그램 $\gamma(h)$ 는 식 (13) 내지 (17)의 우변에 각각 너깃효과 값을 더해준다.

[0136] [베리오그램분석단계(S300)]

[0137] 다음으로, 도 2를 참조하여 베리오그램분석단계의 구체적인 모습들을 살펴본다. 베리오그램분석단계(S300)에서는 교차타당성 검증하여 선정된 이론상 베리오그램 모델로부터 산출되는 반베리오그램(semivariogram)을 이용하여 추정치 산출에 필요한 공분산(covariance)을 결정하는데, 바람직하게, 베리오그램분석단계(S300)는 본 발명의 다른 하나의 실시예에 따른 평가 시스템의 베리오그램분석모듈(250)에 의해 수행된다.

[0138] 도 2에 도시된 바를 참조하면, 바람직한 하나의 실시예로, 베리오그램분석단계(S300)는 반베리오그램 산출단계(S310) 및 공분산 산출단계(S330)를 포함하고 있고, 바람직하게, 각 단계는 본 발명의 다른 하나의 실시예에 따른 평가 시스템의 각각 반베리오그램 산출 서브모듈(251), 공분산 산출 서브모듈(253)에 의해 수행된다. 반베리오그램 산출단계(S310)에서는 바람직하게 반베리오그램 산출모듈(251)에 의해 앞서 베리오그램모델 선정단계(S230)에서 선정된 이론상 베리오그램모델을 사용하여 지시확률변수 변환 값에 대한 반베리오그램을 산출하며, 공분산 산출단계(S330)에서는 바람직하게 공분산 산출모듈(253)에 의해 앞서 산출된 반베리오그램을 이용하여 추정치 산출에 필요한 공분산(covariance)을 결정한다. 지시확률변수 변환 값에 대한 반베리오그램은 지시확률변수로 변환된 자료에 의한 공간상 분포특성을 나타내는 반베리오그램 값을 축으로 하는 이론상 베리오그램모델로부터 얻어진다.

[0139] 크리깅에 의한 자료 추정에는 조사자료들 간의 공분산(covariance)의 결정이 요구된다. 도 2의 공분산 산출단계(S330)에서는 베리오그램모델로부터 산출된 반베리오그램을 이용하여 추정치 산출에 필요한 공분산(covariance)을 결정한다. 공분산은 두개의 확률변수의 분포가 결합된 결합확률분포의 분산으로, 방향성을 나타낸다. 즉, 두 개의 확률변수의 상관정도를 나타낸다.

[0140] 아래의 식 (18)은 반베리오그램을 이용하여 공분산을 산출하는 것을 나타낸다.

$$C(h) = sill - \gamma(h) \quad (18)$$

[0142] 여기서 C(h)는 거리 h 만큼 떨어진 자료들간의 공분산이고, $\gamma(h)$ 는 거리 h 만큼 떨어진 자료들간의 반베리오그램으로서, 바람직하게는, 도 2의 반베리오그램 산출단계와 같이 앞서 이론상 베리오그램모델 중 조사자료에 적합한 이론상 베리오그램모델에 의해 산출되는 반베리오그램이다. 공분산은 조사자료들의 이론상 베리오그램모델의 반베리오그램에서 얻어진다.

[0143] [지시크리깅 단계(S400)]

[0144] 본 단계에서는 지시변환된 자료를 이용하여 지시크리깅을 실시하는 단계이다. 도 1의 지시크리깅단계(S400)에서는 지시변환된 지시확률변수로부터 지시크리깅을 실시하여 지시 추정자를 추정 산출하며 지시 추정자를 산출하기 위해 불편향(unbiased)조건과 최소 추정오차분산 조건에 공분산을 적용하여 가중치를 결정한다. 바람직하게, 지시크리깅단계(S400)는 본 발명의 다른 하나의 실시예에 따른 평가 시스템의 지시크리깅 연산부(200)의 지시크리깅 모듈(270)에 의해 수행된다.

[0145] 이하, 지시크리깅의 실시 모습을 구체적으로 살펴본다.

[0146] 지시크리깅의 추정자(indicator estimator) $I^*(u_0; z_k)$ 는 아래의 식 (18)과 같다.

$$I^*(u_0; z_k) = \sum_{j=1}^n \lambda_j(z_k) I(u_j; z_k) \quad (18)$$

여기서 $I(u_j; z_k)$ 는 관측지점($u_j, j=1, 2, \dots, m$)에서의 지시확률변수, λ_j 는 $I^*(u_0; z_k)$ 값을 추정하기 위한 값에 할당되는 가중치이다.

여기서 가중치 λ_j 는 반베리오그램을 통해 산출된 공분산을 이용하여 결정된다. 가중치를 구하기 위해서는 아래와 같은 제약조건이 요구된다.

지시크리깅의 추정은 불편향(Unbiased)이고 추정오차분산(estimation variance)이 최소가 되어야 한다.

불편향조건은 다음의 식 (19)로 표현된다. 즉, 예측되는 추정치가 오차(편향값)이 없어야 한다.

$$E[I^*(u_0; z_k) - I(u_j; z_k)] = 0 \quad (19)$$

$$1 - \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0$$

식 (19)와 식 (18)의 관계로부터 이 되어야 함을 알 수 있다.

다음으로, 최소의 추정오차분산 조건에 따라 추정치의 오차에 대한 분산이 최소가 되어야 한다.

$$\text{Var}[I^*(u_0; z_k) - I(u_j; z_k)] = \text{minimal}$$

즉, 이어야 한다.

바람직하게는, 하나의 실시예로서, 다음의 식 (20)으로 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{Var}[I^*(u_0; z_k) - I(u_j; z_k)] &= \overline{C}(u_0, u_0) - 2 \sum_i \sum_j \lambda_i \lambda_j \overline{C}(u_i, u_j) \\ &= \text{minimal} \end{aligned} \quad (20)$$

여기서 $\overline{C}(u_0, u_i)$ 는 거리 h 만큼 떨어진 두 영역 u_0 와 u_i 에서의 공분산 $C(h)$ 이며, 이것은 베리오그램으로 부터 구할 수 있다.

바람직하게, 지시크리깅 가중치의 계산은 불편향조건과 최소 추정오차분산 조건으로부터, 라그랑지 승수법(Lagrange multiplier method)를 이용한 라그랑지(Lagrange) 목적함수에서의 최소를 구하여 지시크리깅 추정행렬식을 산출하고, 산출된 추정 행렬식을 풀어 가중치를 구할 수 있다. 라그랑지 목적함수에서 최소는 가중치와 라그랑지승수에 대해 각각 편미분하여 각각의 편미분 값이 0이 되어야 한다. 각각의 편미분 값이 0이 되는 추정식으로부터 추정 행렬식을 산출하여 행렬식에 대한 해로써 가중치를 산출하게 된다.

[확률도 작성 단계(S500)]

본 단계는 지시크리깅에 의해 격자상으로 추정된 값들을 이용하여, 평가지역의 오염가능성에 대한 확률도를 작성하는 단계(S500)이다. 바람직하게는 본 발명의 다른 실시예에 따른 평가시스템의 확률도 작성모듈(310)에 의해 수행된다.

지시크리깅에 의해 추정되고, 교차타당성 검증에 의해 신뢰성이 확보된 추정값들에 대한 확률도는 SURFER 소프트웨어(2002, version 8, Golden Software Inc.)를 이용하여 작성할 수 있다. 바람직하게, 본 단계에서 작성된 확률도는 색상에 의해 오염가능성을 가시적으로 표현할 수 있으며, 또한 수치적으로도 나타낼 수 있다는 장점이

있다.

[0163] 하나의 실시예로서, 도 11는 본 발명의 하나의 실시예에 따라 지시변환된 자료의 베리오그램을 이용하여 지시크리깅을 적용한 결과로 만들어진 염소이온의 오염가능성 확률도이다.

[0164] [지하수 오염가능성 평가 단계(S600)]

[0165] 본 단계에서는 확률도를 이용하여 평가지역의 지하수오염 가능성을 평가한다. 바람직하게는 본 발명의 다른 실시예에 따른 평가시스템의 오염가능성 평가모듈(330)에 의해 수행된다.

[0166] 확률도상에서 50% 이상의 확률을 나타내는 구간은 지하수 오염의 가능성이 큰 지역으로 오염된 지하수의 정화가 필요하다. 따라서 오염가능성을 평가한 후에, 확률도를 이용하여 정화가 필요한 지역의 면적을 산출한다.

[0167] 이상에서, 본 발명은 첨부된 도면을 참조하여 바람직한 실시 예들을 중심으로 구체적으로 설명되었다. 첨부된 도면 및 기술한 실시 예들은 본 발명에 대한 당해 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자의 이해를 돕기 위해 예시적으로 설명된 것이므로, 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음은 자명하다. 그러므로, 기술한 실시 예들은 제한적인 것이 아닌 예시적인 것으로 여겨져야 하며, 본 발명의 범위는 기술한 실시 예들이 아닌 첨부된 특허청구범위에 기재된 발명에 따라 해석되어야 하고, 그 범위는 당해 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의한 다양한 변경, 대안, 균등물을 포함한다.

도면의 간단한 설명

[0168] 도 1은 본 발명의 하나의 모습에 따른 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가 방법의 실시예를 나타내는 순서도이다.

[0169] 도 2는 도 1의 교차타당성 검증단계와 베리오그램분석단계의 하나의 실시예를 나타내는 순서도이다.

[0170] 도 3은 본 발명의 하나의 모습에 따른 지시크리깅을 이용한 지하수 오염가능성 평가 시스템의 실시예를 나타내는 개략적인 블록도이다.

[0171] 도 4는 도 3의 교차타당성 검증모듈과 베리오그램분석모듈의 하나의 실시예를 나타내는 개략적인 블록도이다.

[0172] 도 5는 본 발명의 하나의 실시예에서의 베리오그램모델 선정 대상이 되는 Si11을 갖는 경우의 3가지 베리오그램 모델이다.

[0173] 도 6은 본 발명의 하나의 실시예에서의 조사지역의 오염물질 농도자료의 예로, 경상남도 마산지역의 지하수에서 조사된 염소이온의 농도분포도이다.

[0174] 도 7은 도 6의 염소이온 자료를 지시크리깅에 이용하기 위하여 지시변환한 값들을 나타낸 분포도이다.

[0175] 도 8은 도 7의 지시변환된 값들을 이용하여 작성된 실험적 베리오그램이다.

[0176] 도 9는 본 발명의 하나의 실시예에 따라 그래픽 교차타당성 검증 방식에 의하여 도 6의 염소이온 자료 값과 구형 베리오그램 모델로부터의 추정치를 대응시켜 표시한 선형그래프이다.

[0177] 도 10은 본 발명의 하나의 실시예에 따라 그래픽 교차타당성 검증 방식에 의하여 도 7의 지시변환된 염소이온 자료 값과 구형 베리오그램 모델로부터의 추정치를 대응시켜 표시한 선형그래프이다.

[0178] 도 11는 본 발명의 하나의 실시예에 따라 지시변환된 자료의 베리오그램을 이용하여 지시크리깅을 적용한 결과로 만들어진 염소이온의 오염가능성 확률도이다.

[0179] < 도면의 주요부분에 대한 부호의 설명 >

[0180] 100 : 입력부 200 : 지시크리깅 연산부

[0181] 210 : 지시 확률 변수 산출모듈 230 : 교차타당성 검증모듈

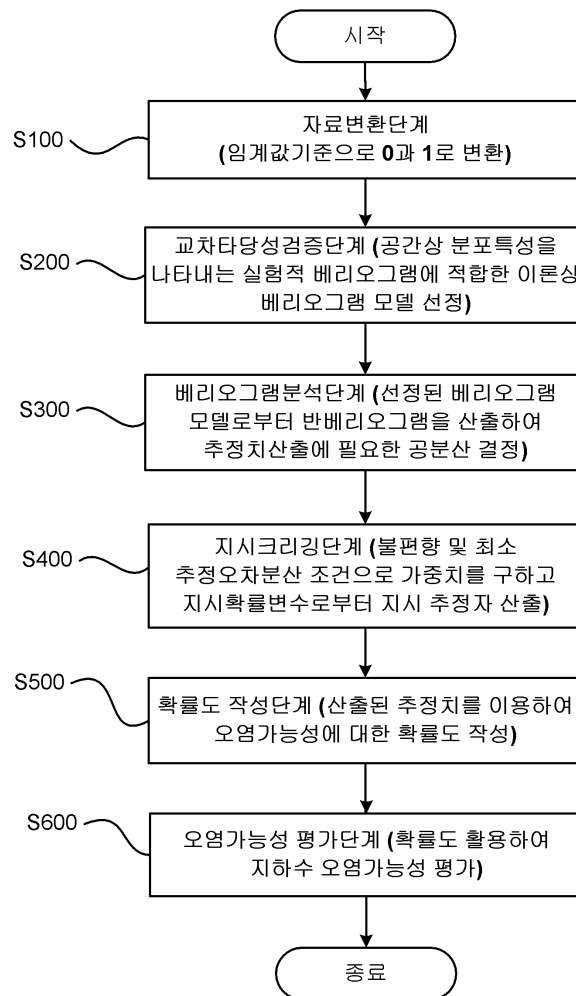
[0182] 231 : 실험적 베리오그램 수행 서브모듈

[0183] 233 : 베리오그램모델 선정 서브모듈

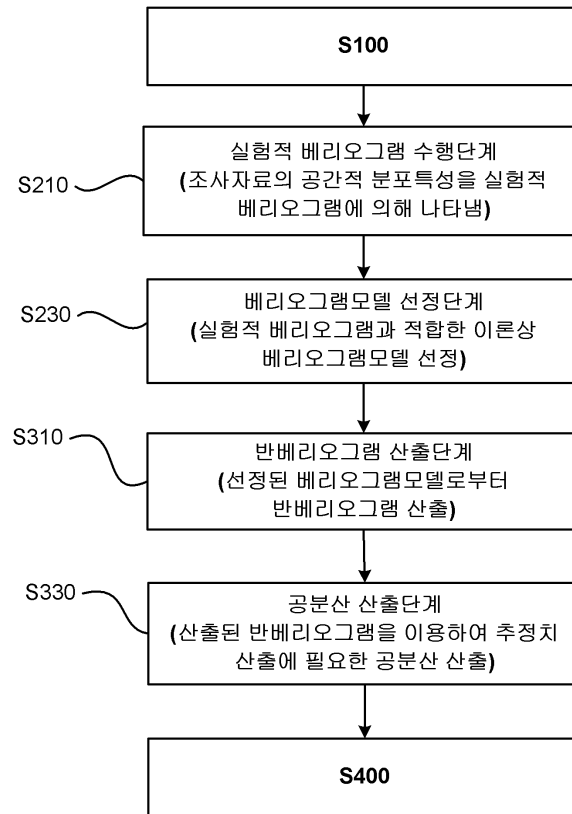
[0184]	250 : 베리오그램분석모듈	251 : 반베리오그램 산출 서브모듈
[0185]	253 : 공분산 산출 서브모듈	
[0186]	270 : 지시크리깅 모듈	300 : 오염판단부
[0187]	310 : 확률도 작성모듈	330 : 오염가능성 평가모듈
[0188]	400 : 디스플레이부	

도면

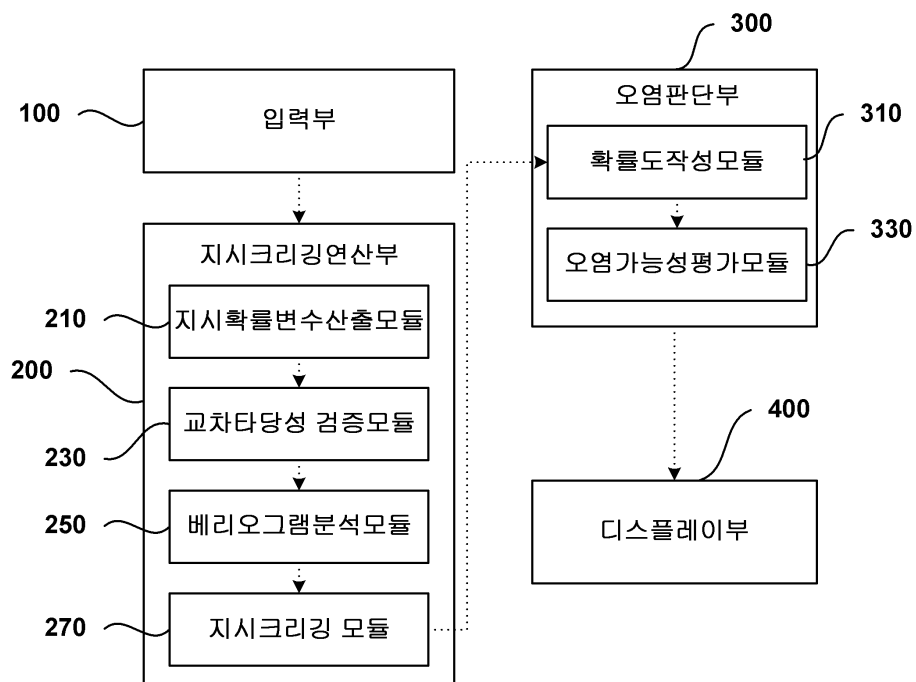
도면1



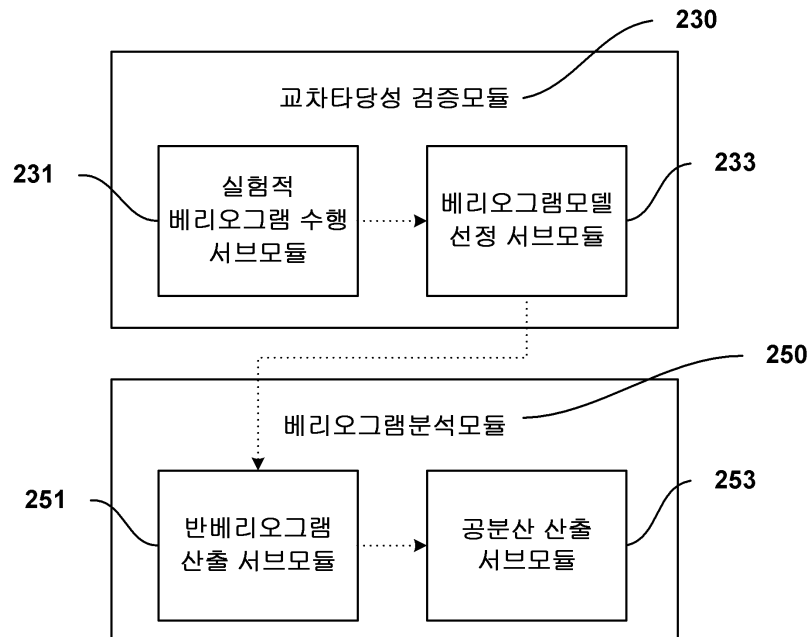
도면2



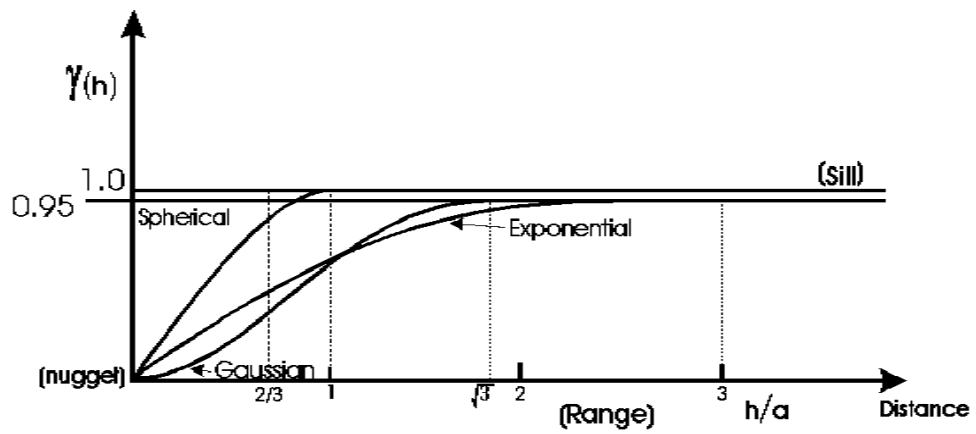
도면3



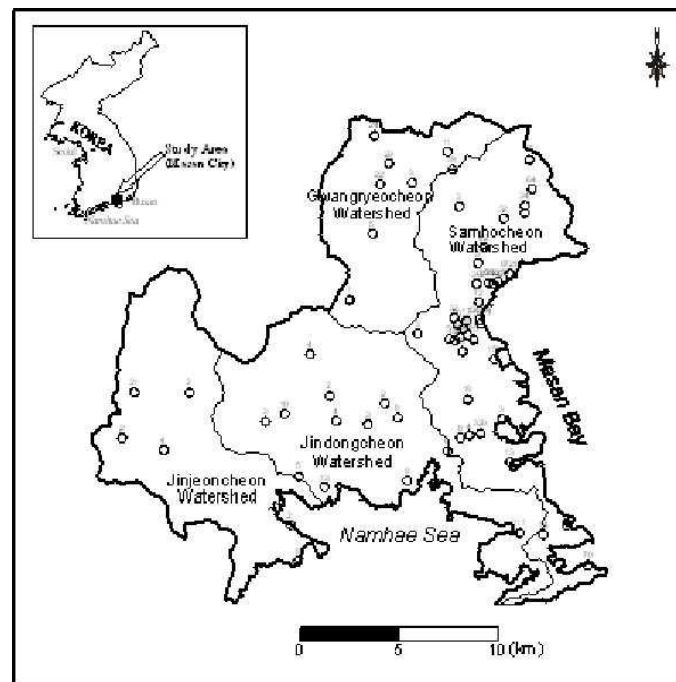
도면4



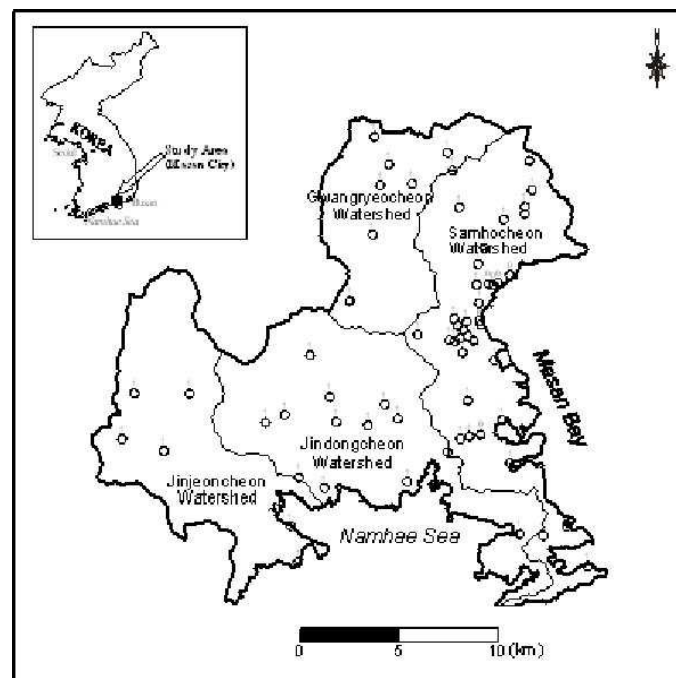
도면5



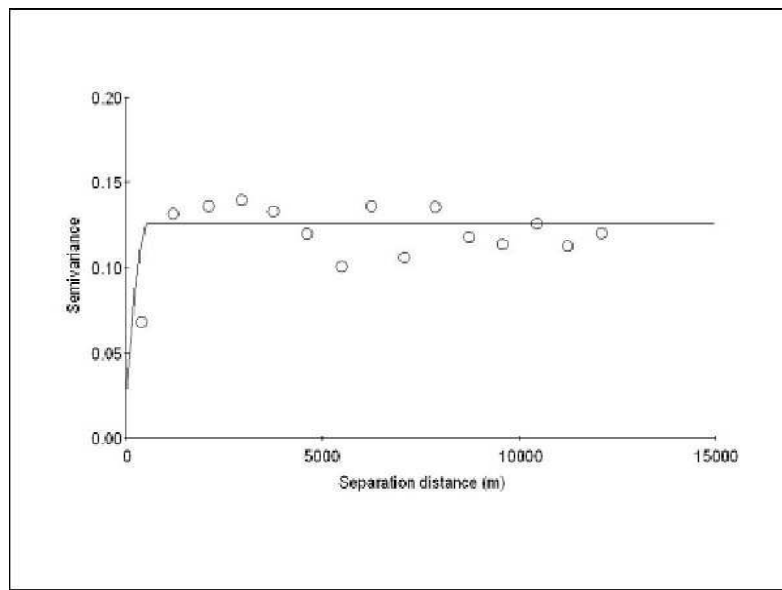
도면6



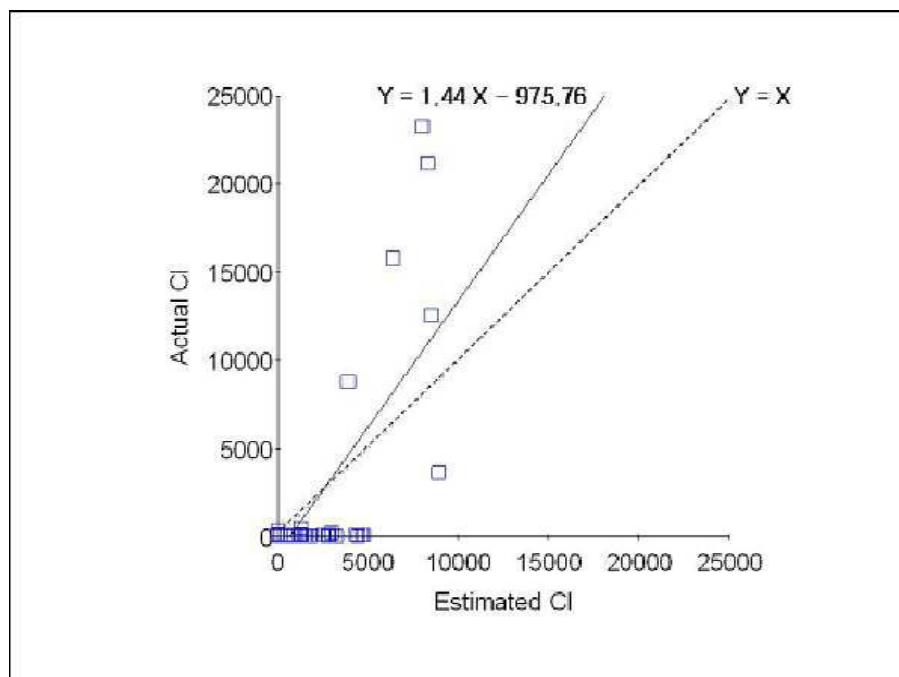
도면7



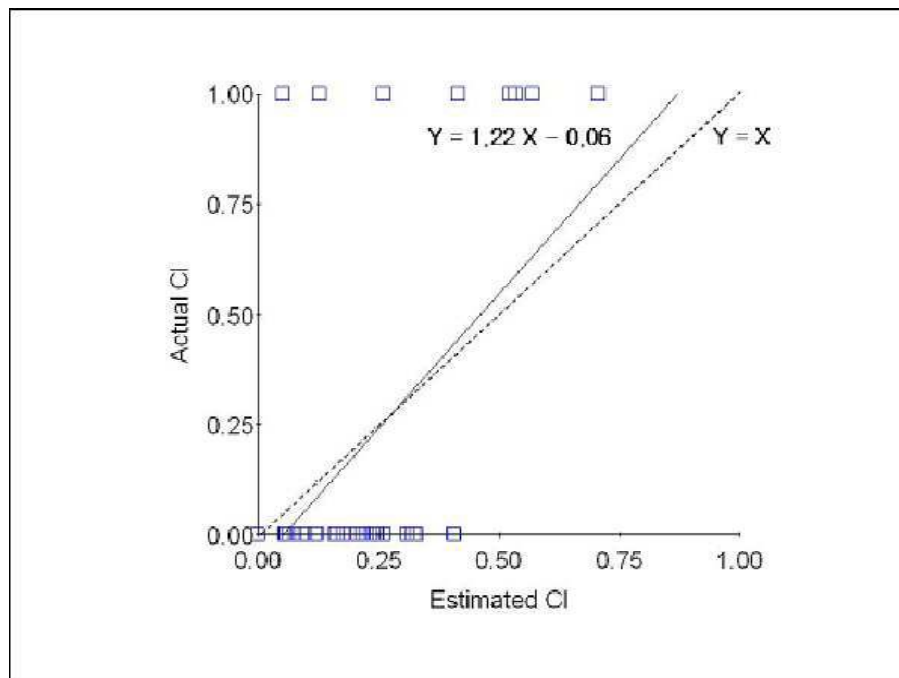
도면8



도면9



도면10



도면11

