



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2014년06월18일
 (11) 등록번호 10-1409440
 (24) 등록일자 2014년06월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
 G06Q 50/26 (2012.01)
 (21) 출원번호 10-2012-0135429
 (22) 출원일자 2012년11월27일
 심사청구일자 2012년11월27일
 (65) 공개번호 10-2014-0067763
 (43) 공개일자 2014년06월05일
 (56) 선행기술조사문헌
 JP2005101224 A*
 KR100901779 B1*
 *는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
 한국지질자원연구원
 대전광역시 유성구 과학로 124 (가정동)
 (72) 발명자
 윤희성
 대전 서구 월평동로 83, 109동 506호 (월평동, 다
 모아아파트)
 하규철
 대전 유성구 은구비남로 34, 804동 1301호 (노은
 동, 열매마을8단지)
 (뒷면에 계속)
 (74) 대리인
 김정수

전체 청구항 수 : 총 9 항

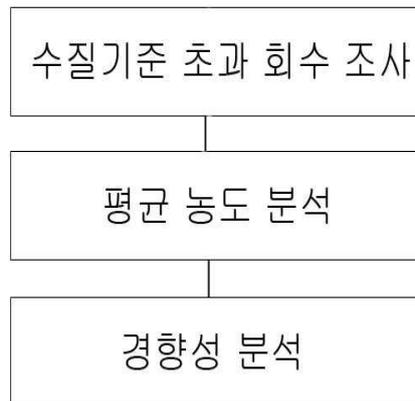
심사관 : 육성원

(54) 발명의 명칭 **통계적 분석 방법을 이용한 지하수 수질 시계열 자료의 오염 등급 정량화 및 지하수 수질등급 평가방법**

(57) 요약

본 발명은 환경부에서 설치 및 운영하고 있는 지하수 수질 측정망 자료를 활용하여 지하수 수질 측정망의 오염등급을 정량화 및 지하수 수질등급을 평가하는 방법에 관한 것으로, 본 발명에 따르면, 지하수 수질 측정망 자료에서 측정된 농도 변화 자료들을 통계적으로 분석하여, 지하수 수질 측정망의 각 지점별 자료에 대해 수질기준 초과횟수 조사, 평균농도 분석 및 경향성 분석을 수행하고, 분석결과를 이용하여 오염등급을 정량화하며, 이를 바탕으로 항목, 지역, 용도, 음용별 지하수 수질등급을 평가하는 통계적 분석 방법을 이용한 국가 지하수 수질 측정망의 오염등급 정량화 및 지하수 수질등급 평가방법이 제공된다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

이강근

서울 강남구 도곡로78길 13, 301동 501호 (대치동,
대치동삼성3차아파트)

배광욱

경기 군포시 산본천로 34, 638동 802호 (산본동,
주공6단지세종아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 GP2012-013

부처명 지식경제부

연구사업명 주요사업-기관고유업무형-기본

연구과제명 대수층 인공함양 지하수 확보 융복합 핵심기술 개발

기 여 율 1/1

주관기관 한국지질자원연구원

연구기간 2012.01.01 ~ 2012.12.31

특허청구의 범위

청구항 1

국가 지하수 수질 측정망의 농도변화 자료를 통계적으로 분석하여 오염도와 경향성을 파악하고 오염지수와 등급을 정량적으로 평가하기 위한 일련의 처리를 컴퓨터 또는 전용의 하드웨어에 실행시키도록 구성되는 통계적 분석 방법을 이용한 오염등급 정량화 방법에 있어서,

상기 일련의 처리는,

각각의 측정 항목별로 상기 국가 지하수 수질 측정망의 농도변화 자료로부터 얻어진 각 지점별 측정 농도값이 수질기준을 초과한 횟수를 조사하는 수질기준 초과회수 조사단계;

각각의 측정 항목별로 각 지점별 측정 농도값에 대한 신뢰구간을 결정하고 상기 신뢰구간과 수질기준을 비교하는 평균 농도 분석단계; 및

각각의 측정 항목별로 각 지점별 측정 농도값에 대하여 시간에 따른 농도의 경향성을 조사하는 경향성 분석단계를 포함하여 구성되고,

상기 경향성 분석단계는,

이하의 수학적식을 이용하여 각 시간 간격에 대한 지하수 농도의 기울기(Q)를 계산하는 단계;

$$Q = \frac{x_{i'} - x_i}{i' - i}$$

(여기서, $x_{i'}$ 는 시간 i' 에서의 농도, x_i 는 시간 i 에서의 농도, i' 은 시간 i 이후의 시간임)

이하의 수학적식을 이용하여 n 개의 농도 자료에 대하여 N' 개의 Q를 계산하는 단계;

$$N' = \frac{n(n-1)}{2}$$

상기 Q를 크기순으로 정리하고, 이하의 수학적식을 이용하여 상기 Q의 중앙값을 기울기 예측값(Q')으로 결정하는 단계;

$$Q' = Q_{[(N'+1)/2]} \quad N' : \text{홀수}$$

$$= \frac{1}{2}(Q_{[N'/2]} + Q_{[(N'+2)/2]}) \quad N' : \text{짝수}$$

이하의 수학적식을 이용하여, Mann-Kendall 통계값의 분산 추정값 (VAR(S))을 이용해 신뢰구간을 결정하는 단계;

$$VAR(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p-5) \right]$$

(여기서, n 은 자료의 수, t_p 는 p 번째 값의 반복 자료 수, q 는 반복 자료가 존재하는 횟수임)

이하의 수학적식을 이용하여, 양측검증 Z 통계값 $Z_{1-\alpha/2}$ 의 값을 이용해 오차 허용률 α 에 대한 신뢰구간의 간격(C_α)을 구하는 단계; 및

$$C_\alpha = Z_{1-\alpha/2} \times \sqrt{VAR(S)}$$

이하의 수학적식을 이용하여 농도 기울기의 신뢰구간의 양끝 값에 대한 순위(M1, M2)를 구하는 단계를 포함하는 처리를 수행하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 오염등급 정량화 방법.

$$M1 = \frac{N' - C_\alpha}{2}; \quad M2 = \frac{N' - C_\alpha}{2} + 1$$

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 수질기준 초과회수 조사단계는,

각각의 측정 항목별로 각 지점별 측정 농도값이 수질기준을 초과한 횟수가 미리 지정된 횟수를 초과하는 경우 오염을 지시하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 오염등급 정량화 방법.

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 평균농도 분석단계는,

각각의 측정 항목별로 각 지점별 측정 농도의 평균과 표준오차를 계산하여 평균 농도의 95% 신뢰구간을 결정하고,

상기 신뢰구간의 상한선이 수질기준보다 높은 경우 오염을 지시하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 오염등급 정량화 방법.

청구항 4

제 3항에 있어서,

상기 평균 농도의 95% 신뢰구간을 결정하는 과정은 이하의 [수학적식 1]에 의해 이루어지는 것을 특징으로 하는 오염등급 정량화 방법.

[수학적식 1]

$$\left(\bar{X} - 1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{X} + 1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$

(여기서, \bar{X} 는 농도 평균, σ 는 농도 표준편차, n 은 관측횟수임)

청구항 5

삭제

청구항 6

제 1항에 있어서,

상기 경향성 분석단계는,

경향성 분석 결과 신뢰구간 내에 0이 포함되지 않는 경우 상기 농도의 기울기(Q)가 경향성이 있는 것으로 판단하고, 경향성 분석 결과 신뢰구간 내에 0이 포함되는 경우는 상기 농도의 기울기(Q)가 경향성이 없는 것으로 판단하여, 상기 농도의 기울기(Q)가 증가하는 것으로 분석되는 경우 오염을 지시하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 오염등급 정량화 방법.

청구항 7

제 6항에 있어서,

상기 경향성 분석단계는,

상기 측정 항목이 수소 이온농도인 경우는, 상기 농도 기울기가 증가하거나 감소하는 경우 모두 오염을 지시하도록 구성되는 것을 특징으로 하는 오염등급 정량화 방법.

청구항 8

청구항 1항 내지 4항, 청구항 6항, 청구항 7항 중 어느 한 항에 기재된 오염등급 정량화 방법을 컴퓨터에 실행시키도록 구성된 프로그램이 기록된 기록매체.

청구항 9

국가 지하수 수질 측정망의 농도변화 자료를 통계적으로 분석하여 오염도와 경향성을 파악하고 오염지수와 등급을 정량적으로 평가하기 위한 일련의 처리를 컴퓨터 또는 전용의 하드웨어에 실행시키도록 구성되는 통계적 분석 방법을 이용한 지하수 수질등급 평가방법에 있어서,

상기 일련의 처리는,

청구항 1항 내지 4항, 청구항 6항, 청구항 7항 중 어느 한 항에 기재된 오염등급 정량화 방법을 수행하여 오염 지시인자를 정의하는 오염 지시인자 정의단계;

상기 오염 지시인자 정의단계에서 정의된 각각의 오염 지시인자에 대하여 오염된 것으로 판단된 횟수를 나타내는 오염지수를 구하는 오염지수 산출단계;

상기 오염지수 산출단계에서 산출된 오염지수에 근거하여 지하수 수질등급을 평가하는 수질등급 평가단계를 포함하여 구성된 것을 특징으로 하는 지하수 수질등급 평가방법.

청구항 10

제 9항에 있어서,

상기 지하수 수질등급 평가방법은,

각각의 상기 오염지수에 따라 상기 지하수 수질등급을 '안전(Clean)', '오염 가능(Possibly contaminated)', '오염(Contaminated)', '오염 심각(Seriously contaminated)'의 네 가지로 분류하도록 구성된 것을 특징으로 하는 지하수 수질등급 평가방법.

청구항 11

삭제

청구항 12

삭제

명세서

기술분야

- [0001] 본 발명은 지하수 수질 시계열 자료의 오염등급 정량화 및 지하수 수질등급 평가방법에 관한 것으로, 더 상세하게는, 측정된 농도 변화 자료들을 통계적으로 분석하여 오염도와 경향성을 파악하고, 오염지수와 등급을 정량적으로 평가함으로써, 수질 측정 자료의 오염등급을 정량화 및 지하수 수질등급을 평가하는 방법에 관한 것이다.
- [0002] 또한, 본 발명은, 국가 지하수 수질 측정망의 각 지점별 자료에 대해 수질기준 초과횟수 조사, 평균농도 분석 및 경향성 분석을 수행하고, 분석결과를 이용하여 지하수 수질등급을 평가하고, 아울러, 이를 바탕으로 항목, 지역, 용도, 음용별 지하수 오염도를 평가하는 통계적 분석 방법을 이용한 국가 지하수 수질 측정망의 오염등급 정량화 및 지하수 수질등급 평가방법에 관한 것이다.

배경기술

- [0003] 현재, 우리나라에서는, 2008년 말을 기준으로 전국에 걸쳐 약 134만 개의 관정에서 연간 약 37억³의 지하수를 이용하고 있으며, 이러한 관정 개소수와 지하수 이용량은 계속 증가하고 있는 추세이다(국가지하수정보센터, 2010).
- [0004] 또한, 지하수는 한번 오염되면 회복하기 위해 많은 비용과 시간이 필요하기 때문에 지하수 보전을 위한 체계적이고 지속적인 노력이 요구되며, 이에 따라, 환경부에서는, 전국적인 지하수 수질 현황과 변화를 파악하여 지하수 수질을 보전하고 관련 정책 수립을 위한 기초자료를 확보하기 위해, 1999년 이후 지하수 수질 측정망을 설치 및 운영하고 있으며, 매년 수질기준 초과율을 중심으로 수질분석 결과를 발표하고 있다.
- [0005] 그러나, 지하수 수질 측정망은 우리나라의 지하수 수질에 대한 방대한 자료를 제공하고 있으나, 이를 적극적으로 활용한 연구는 현재까지도 많이 이루어지지 않았다.
- [0006] 즉, 상기한 바와 같은 지하수 수질 측정망을 실제 연구에 이용한 사례로는, 예를 들면, 박정구 외(2007)에 의해 지하수 수질 측정망 지점에 대한 관정 현황 평가에 대한 연구가 수행된 바 있고, 안주성 외(2007)는 국내 지하수의 비소 산출양상에 대한 연구에 지하수 수질 측정망 자료를 이용한 사례가 정도가 있었다.
- [0007] 여기서, 지하수 수질 측정망 자료를 활용하여 우리나라 지하수 수질감시 및 보전에 기여하기 위해서는, 측정된 농도 변화 자료들을 바탕으로 오염의 정도를 정량적으로 제시하는 것이 무엇보다 중요하다.
- [0008] 이에 따라, 지하수 오염도의 정량화를 위해 지하수 오염 취약성 지수 분포도 작성과 관련하여 많은 연구가 진행되었다.
- [0009] 더 상세하게는, 수리 지질학적 요소를 이용하여 오염가능성을 평가하는 광역적 분석 방법으로서, 예를 들면, DRASTIC(Aller et al., 1987), SINTACS(강진희, 박은규, 2010; Civita, 1994; Edet, 2004; Al-Amoush et al., 2010), GOD(Foster, 1987; Mendoza and Barmen, 2006) 등과 같은 다양한 지수산정법이 개발되어, GIS(Geographic Information System)와 연계하여 활용되어 왔다.
- [0010] 특히, DRASTIC은 미국 EPA(Environmental Protection Agency)에서 개발된 분석 시스템으로서, 다양한 지역에 대한 적용 연구(이사로, 김윤종, 1996; 함세영 외, 2004; Babiker et al., 2005; Wen et al., 2009), 수정된 모형의 개발 및 적용 연구(Guo et al., 2007; Gomezdelcampo and Dickerson, 2008; Sinan and Razack, 2009), 수치모델과의 연계 연구(이현주 외, 2008; Yu et al., 2010) 등 국내외에 걸쳐 가장 많은 연구가 진행되었다.
- [0011] 또한, 이러한 종래의 방법은, 최근 빠르게 전산화되고 있는 수리 지질학적 요소의 데이터베이스를 이용하여 광역적 오염가능성을 제시할 수 있고 계산 과정이 단순하다는 장점이 있으나, 실제 농도 관측값을 활용하지 않아

그 효율성을 검증하기가 어렵고, 더욱이, 가중값 결정과 관련하여 주관적 요소가 많아 불확실성이 크다는 한계가 있는 것이었다.

[0012] 아울러, 농도 관측 자료를 이용하여 오염지수를 산정하는 방법으로는, 농도값을 구간에 따라 분류하여 지수화하거나(Pusatli et al., 2009), 수질 기준에 대한 비율을 이용하여 지수화하는 방법 등이 연구되어 왔다(이병대 외, 2007; Backman et al., 1998; Rapant et al., 1999; Vasanthavigar et al., 2010).

[0013] 그러나 이러한 종래의 방법들은, 대상 지역의 현장 측정 자료를 바탕으로 오염도를 평가한다는 점에서는 신뢰성이 높지만, 대부분 단일 시점에서의 농도값을 이용하는 점과 농도의 시간적 경향성을 고려할 수 없다는 점에서 그 한계가 있는 것이었다.

[0014] 따라서 상기한 바와 같은 종래기술의 오염도 평가방법들의 문제점을 해결하기 위하여는, 실제 현장의 농도 측정 자료를 이용하여 신뢰성을 높이는 동시에, 그러한 농도값의 시간적 경향성까지 모두 고려한 새로운 오염등급 정량화 및 오염도 평가방법을 제공하는 것이 바람직하나, 아직까지 그러한 요구를 모두 만족시키는 방법은 제공되지 못하고 있는 실정이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0015] 본 발명은 상기한 바와 같은 종래기술의 문제점들을 해결하고자 하는 것으로, 따라서 본 발명의 목적은, 측정된 농도 변화 자료들을 통계적으로 분석하여 오염도와 경향성을 파악하고, 오염지수와 등급을 정량적으로 평가함으로써, 지하수 수질 감시 및 보전에 기여하기 위한 통계적 분석 방법을 이용한 지하수 수질 측정망의 오염등급 정량화 및 지하수 수질등급 평가방법을 제공하고자 하는 것이다.

[0016] 또한, 본 발명의 다른 목적은, 지하수 수질 측정망의 각 지점별 자료에 대해 수질기준 초과횟수 조사, 평균농도 분석 및 경향성 분석을 수행하고, 분석결과를 이용하여 지하수 수질등급을 평가하며, 나아가, 이를 바탕으로 항목, 지역, 용도, 음용별 지하수 오염도를 평가하는 통계적 분석 방법을 이용한 지하수 수질 측정망의 오염등급 정량화 및 지하수 수질등급 평가방법을 제공하고자 하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0017] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위해, 본 발명에 따르면, 국가 지하수 수질 측정망의 농도변화 자료를 통계적으로 분석하여 오염도와 경향성을 파악하고 오염지수와 등급을 정량적으로 평가하기 위한 일련의 처리를 컴퓨터 또는 전용의 하드웨어에 실행시키도록 구성되는 통계적 분석 방법을 이용한 오염등급 정량화 방법에 있어서, 상기 일련의 처리는, 각각의 측정 항목별로 상기 국가 지하수 수질 측정망의 농도변화 자료로부터 얻어진 각 지점별 측정 농도값이 수질기준을 초과한 횟수를 조사하는 수질기준 초과횟수 조사단계; 각각의 측정 항목별로 각 지점별 측정 농도값에 대한 신뢰구간을 결정하고 상기 신뢰구간과 수질기준을 비교하는 평균 농도 분석단계; 및 각각의 측정 항목별로 각 지점별 측정 농도값에 대하여 시간에 따른 농도의 경향성을 조사하는 경향성 분석단계를 포함하여 구성된 것을 특징으로 하는 오염등급 정량화 방법이 제공된다.

[0018] 여기서, 상기 수질기준 초과횟수 조사단계는, 각각의 측정 항목별로 각 지점별 측정 농도값이 수질기준을 초과한 횟수가 미리 지정된 횟수를 초과하는 경우 오염을 지시하도록 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0019] 또한, 상기 평균농도 분석단계는, 각각의 측정 항목별로 각 지점별 측정 농도의 평균과 표준오차를 계산하여 평균 농도의 95% 신뢰구간을 결정하고, 상기 신뢰구간의 상한선이 수질기준보다 높은 경우 오염을 지시하도록 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0020] 아울러, 상기 평균 농도의 95% 신뢰구간을 결정하는 과정은 이하의 [수학식 1]에 의해 이루어지는 것을 특징으로 한다.

[0021] [수학식 1]

$$\left(\bar{X} - 1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{X} + 1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$

[0022]

[0023] (여기서, \bar{X} 는 농도 평균, σ 는 농도 표준편차, n 은 관측횟수임)

[0024] 더욱이, 상기 경향성 분석단계는, 이하의 [수학식 2]를 이용하여 각 시간 간격에 대한 지하수 농도의 기울기 (Q)를 계산하는 단계;

[0025] [수학식 2]

$$Q = \frac{x_{i'} - x_i}{i' - i}$$

[0026]

[0027] (여기서, $x_{i'}$ 는 시간 i' 에서의 농도, x_i 는 시간 i 에서의 농도, i' 은 시간 i 이후의 시간임)

[0028] 이하의 [수학식 3]을 이용하여 n 개의 농도 자료에 대하여 N' 개의 Q를 계산하는 단계;

[0029] [수학식 3]

$$N' = \frac{n(n-1)}{2}$$

[0030]

[0031] 상기 Q를 크기순으로 정리하고, 이하의 [수학식 4]를 이용하여 상기 Q의 중앙값을 기울기 예측값(Q')으로 결정하는 단계;

[0032] [수학식 4]

$$Q' = Q_{[(N'+1)/2]} \quad N' : \text{홀수}$$

$$= \frac{1}{2}(Q_{[N'/2]} + Q_{[(N'+2)/2]}) \quad N' : \text{짝수}$$

[0033]

[0034] 이하의 [수학식 5]를 이용하여, Mann-Kendall 통계값의 분산 추정값 (VAR(S))을 이용해 신뢰구간을 결정하는 단계;

$$VAR(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p-5) \right]$$

[0035]

[0036] (여기서, n 은 자료의 수, t_p 는 p 번째 값의 반복 자료 수, q 는 반복 자료가 존재하는 횟수임)

[0037] 이하의 [수학식 6]을 이용하여, 양측검증 Z 통계값 $Z_{1-\alpha/2}$ 의 값을 이용해 오차 허용률 α 에 대한 신뢰구간의 간격(C α)을 구하는 단계; 및

[0038] [수학식 6]

$$C_{\alpha} = Z_{1-\alpha/2} \times \sqrt{VAR(S)}$$

[0039]

[0040] 이하의 [수학식 7]을 이용하여 농도 기울기의 신뢰구간의 양끝 값에 대한 순위(M1, M2)를 구하는 단계를 포함하는 처리를 수행하도록 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0041] [수학식 7]

$$M1 = \frac{N' - C_{\alpha}}{2}; \quad M2 = \frac{N' - C_{\alpha}}{2} + 1$$

[0042]

[0043] 또한, 상기 경향성 분석단계는, 경향성 분석 결과 신뢰구간 내에 0이 포함되지 않는 경우 상기 농도의 기울기(Q)가 경향성이 있는 것으로 판단하고, 경향성 분석 결과 신뢰구간 내에 0이 포함되는 경우는 상기 농도의 기울기(Q)가 경향성이 없는 것으로 판단하여, 상기 농도의 기울기(Q)가 증가하는 것으로 분석되는 경우 오염을 지시하도록 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0044] 여기서, 상기 경향성 분석단계는, 상기 측정 항목이 수소 이온농도인 경우는, 상기 농도 기울기가 증가하거나 감소하는 경우 모두 오염을 지시하도록 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0045] 아울러, 본 발명에 따르면, 상기에 기재된 오염등급 정량화 방법을 컴퓨터에 실행시키도록 구성된 프로그램이 기록된 기록매체가 제공된다.

[0046] 더욱이, 본 발명에 따르면, 지하수 수질 측정망의 농도변화 자료를 통계적으로 분석하여 오염도와 경향성을 파악하고 오염지수와 등급을 정량적으로 평가하기 위한 일련의 처리를 컴퓨터 또는 전용의 하드웨어에 실행시키도록 구성되는 통계적 분석 방법을 이용한 지하수 수질등급 평가방법에 있어서, 상기 일련의 처리는, 오염 지시인자를 정의하는 오염 지시인자 정의단계; 상기 오염 지시인자 정의단계에서 정의된 각각의 오염 지시인자에 대하여 오염된 것으로 판단된 횟수를 나타내는 오염지수를 구하는 오염지수 산출단계; 상기 오염지수 산출단계에서 산출된 오염지수에 근거하여 지하수 수질등급을 평가하는 수질등급 평가단계를 포함하여 구성되는 것을 특징으로 하는 지하수 수질등급 평가방법이 제공된다.

[0047] 여기서, 상기 지하수 수질등급 평가방법은, 각각의 상기 오염지수에 따라 상기 지하수 수질등급을 '안전(Clean)', '오염 가능(Possibly contaminated)', '오염(Contaminated)', '오염 심각(Seriously contaminated)'의 네 가지로 분류하도록 구성되는 것을 특징으로 한다.

[0048] 또한, 상기 오염 지시인자 정의단계는, 상기에 기재된 오염등급 정량화 방법을 수행하여, 상기 수질기준 초과회수 조사단계, 상기 평균 농도 분석단계 및 상기 경향성 분석단계의 각 분석 결과를 상기 오염 지시인자로서 정의하는 것을 특징으로 한다.

[0049] 아울러, 본 발명에 따르면, 상기에 기재된 지하수 수질등급 평가방법을 컴퓨터에 실행시키도록 구성된 프로그램이 기록된 기록매체가 제공된다.

발명의 효과

[0050] 상기한 바와 같이, 본 발명에 따르면, 실제 농도 관측값을 활용하지 않아 그 효율성을 검증하기가 어렵고, 가중값 결정과 관련하여 주관적 요소가 많아 불확실성이 크며, 또한, 단일 시점에서의 농도값을 이용하여 농도의 시간적 경향성을 고려할 수 없다는 점에서 한계가 있었던 종래기술들의 문제점을 해결하여, 실제 현장의 농도 측정 자료를 이용하여 신뢰성을 높이는 동시에, 그러한 농도값의 시간적 경향성까지 모두 고려한 새로운 오염등급 정량화 및 지하수 수질등급 평가방법이 제공된다.

[0051] 따라서 본 발명에 따르면, 국가에서 설치 및 운영하고 있는 국가 지하수 수질 측정망 자료를 활용하여, 측정된 농도 변화 자료들을 통계적으로 분석하여 오염도와 경향성을 파악하고 오염지수와 등급을 정량적으로 평가함

로써, 국가 지하수 수질 감시 및 보전에 기여할 수 있다.

[0052] 또한, 본 발명에 따르면, 지하수 수질 측정망의 각 지점별 자료에 대해 수질기준 초과횟수 조사, 평균농도 분석 및 경향성 분석을 수행하고, 분석결과를 이용하여 지하수 수질등급을 평가하며, 이를 바탕으로 항목, 지역, 용도, 음용별 지하수 오염도를 평가할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0053] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 통계적 분석 방법을 이용한 지하수 수질 측정망의 오염등급 정량화 방법의 전체적인 구성을 개략적으로 나타내는 플로차트이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 통계적 분석 방법을 이용한 지하수 수질 측정망의 지하수 수질등급 평가방법의 전체적인 구성을 개략적으로 나타내는 플로차트이다.

도 3은 지하수 수질 관측지점의 농도변화 자료의 내용을 나타내는 도면이다.

도 4는 도 3에 나타난 자료내용에 근거하여 오염등급을 분류하는 과정을 나타내는 도면이다.

도 5는 오염 지시율을 항목별로 표시하여 표로 나타낸 도면이다.

도 6 및 도 7은 오염우려 지역과 일반지역에 대한 도시별 및 행정구역별 오염등급 분포를 나타내는 도면이다.

도 8 및 도 9는 오염우려 지역과 일반지역에 대한 도시별 및 행정구역별 오염등급 분포를 나타내는 도면이다.

도 10은 전체 자료에 대한 항목별 평균 오염지수를 나타내는 도면이다.

도 11은 지하수 사용 용도별 오염 정도를 파악하기 위해 각 항목에 대한 생활, 농업, 공업용별로 평균 오염지수를 조사한 결과를 나타내는 도면이다.

도 12는 수질분석 결과 중 먹는 물 용도로 이용되는 경우의 자료만을 분리하여 오염지수가 1 이상인 지점들 수를 조사한 결과를 나타내는 도면이다.

도 13은 분석방법의 신뢰구간이 오염등급 분류에 미치는 영향을 살펴보기 위해, 각 분석방법의 신뢰도를 70%에서 99%까지 증가시키며 평균 오염지수의 변화를 관찰한 결과를 나타내는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0054] 이하, 첨부된 도면을 참조하여, 본 발명에 따른 통계적 분석 방법을 이용한 지하수 수질 측정망의 오염등급 정량화 및 지하수 수질등급 평가방법의 구체적인 실시예에 대하여 설명한다.

[0055] 여기서, 이하에 설명하는 내용은 본 발명을 실시하기 위한 하나의 실시예일 뿐이며, 본 발명은 이하에 설명하는 실시예의 내용으로만 한정되는 것은 아니라는 사실에 유념해야 한다.

[0056] 즉, 본 발명은, 후술하는 바와 같이, 환경부에서 운영하는 지하수 수질 측정망의 농도변화 자료를 통계적으로 분석하여 오염도와 경향성을 파악하고, 오염지수와 등급을 정량적으로 평가하기 위한 통계적 분석 방법을 이용한 지하수 수질 측정망의 오염등급 정량화 및 지하수 수질등급 평가방법에 관한 것이다.

[0057] 또한, 본 발명은, 후술하는 바와 같이, 지하수 수질 측정망의 각 지점별 자료에 대해 수질기준 초과횟수 조사, 평균농도 분석 및 경향성 분석을 수행하고, 분석결과를 이용하여 지하수 수질등급을 평가하는 통계적 분석 방법을 이용한 지하수 수질 측정망의 오염등급 정량화 및 지하수 수질등급 평가방법에 관한 것이다.

[0058] 아울러, 본 발명은, 상기한 바와 같은 평가 내용을 바탕으로, 후술하는 바와 같이, 항목, 지역, 용도, 음용별 지하수 오염도를 평가하는 통계적 분석 방법을 이용한 지하수 수질 측정망의 오염등급 정량화 및 지하수 수질등급 평가방법에 관한 것이다.

[0059] 여기서, 먼저, 지하수 수질 측정망의 자료내용에 대하여 설명하면, 지하수 수질 측정망은, 2008년 기준으로 환경청에서 관리하는 오염 우려지역 781 지점, 지방자치단체에서 관리하는 일반지역 1240 지점과, 국토해양부에서 관리하는 국가 지하수 관측망 478 지점 등, 총 2499 지점에 대하여 4 ~ 5월의 상반기와 9 ~ 10월의 하반기의 연 2회에 걸쳐 수질측정이 수행되고 있다.

[0060] 이 중, 오염 우려지역과 일반지역은 1999년부터, 국가 지하수 관측망은 2005년부터 수질측정이 수행되어

왔으며, 지하수 수질 측정망의 측정항목은 일반 오염물질 5개 항목과 특정 유해물질 15개 항목으로 구성되어 있다.

- [0061] 구체적으로는, 일반 오염물질 5개 항목은, 수소 이온농도, 대장균 수, 질산성 질소, 염소 이온, 일반세균이며, 오염 우려지역에서는 대장균 수 대신에 전기전도도를 측정한다.
- [0062] 또한, 특정 유해물질은, 카드뮴, 비소, 시안, 수은, 유기인, 페놀, 납, 6가크롬, 트리클로로에틸렌, 테트라클로로에틸렌, 1,1,1-트리클로로에틸렌, 벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌이다.
- [0063] 아울러, 상기한 각각의 항목들에 대한 측정결과는 토양 지하수 정보시스템(sgis.nier.go.kr)에서 제공하고 있으며, 환경부의 2008년 지하수 수질 측정망 운영결과 보고서에 따르면, 4,827개의 조사시료 중 6.9%인 335개가 수질기준을 초과하여 2007년 초과율(5.4%)보다 증가한 것으로 조사되었다(환경부, 2008; 환경부, 2009).
- [0064] 따라서 이하에 설명하는 본 발명의 실시예에서는, 환경부의 2007년도와 2008년도 지하수 수질측정망 운영결과 보고서를 기준으로 하여, 다른 항목들에 비해 수질기준 초과 빈도가 높은 일반세균(BT), 질산성질소(NO₃-N), 염소이온(Cl⁻), 수소이온농도(pH), 트리클로로에틸렌(TCE)을 분석 대상으로 하였다.
- [0065] 또한, 전기전도도(EC)의 경우, 오염 우려지역에서만 측정되고 수질기준이 없어 수질기준 초과 항목에 없지만, 전반적인 이온농도의 지시인자로서 유용하고 높은 값이 관측되는 지점이 많은 것으로 조사되어 분석 대상에 포함시켰으며, 각 항목에 대한 분석 기준은, 이하의 [표 1]에 나타난 바와 같은 먹는 물 수질기준을 적용하였고, 수질기준이 없는 전기전도도의 경우, 일반수 범위를 고려하여 500 μS/cm으로 설정하였다(한정상, 1998).
- [0066] 아울러, 각 항목에 대해 2001년부터 2008년까지의 최대 16회의 수질측정 자료를 분석하였고, 2004년부터 측정이 시작된 일반세균의 경우는 10회의 수질측정 자료를 분석하였으며, 측정 지점은, 오염 우려지역과 일반지역에 대한 2021 지점 중 관측 주소지가 자주 변경되어 분석이 어렵다고 판단된 15개 지점을 제외한 2006개 지점을 고려하였다.

표 1

[0067]	측정항목	NO ₃ N	Cl ⁻	TCE	pH	BT	EC
	먹는 물 수질기준	10mg/l	250mg/l	0.03mg/l	5.8-8.5	100cfu/ml	500 μS/cm

- [0068] 계속해서, 첨부된 도면을 참조하여, 상기한 바와 같은 본 발명의 실시예에 따른 통계적 분석 방법을 이용한 지하수 수질 측정망의 오염등급 정량화 및 지하수 수질등급 평가방법의 구체적인 내용에 대하여 설명한다.
- [0069] 먼저, 도 1을 참조하면, 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 통계적 분석 방법을 이용한 지하수 수질 측정망의 오염등급 정량화 방법의 전체적인 구성을 개략적으로 나타내는 도면이다.
- [0070] 즉, 도 1에 나타난 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 통계적 분석 방법을 이용한 지하수 수질 측정망의 오염등급 정량화 방법은, 지하수 수질 측정망의 항목별 오염도를 정량화하기 위하여, 각 지점별 측정 농도값 중 해당 항목의 수질기준을 초과한 횟수를 조사하여 오염을 판단하는 수질기준 초과회수 조사단계와, 각 지점별 측정 농도의 평균과 표준오차를 계산하여 신뢰구간을 결정하고 수질 기준과 신뢰구간을 비교하여 오염을 판단하는 평균 농도 분석단계 및 시간에 따른 농도의 경향성을 조사하여 오염을 판단하는 경향성 분석단계를 포함하여 구성된다.
- [0071] 또한, 도 2를 참조하면, 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 통계적 분석 방법을 이용한 지하수 수질 측정망의 지하수 수질등급 평가방법의 전체적인 구성을 개략적으로 나타내는 플로차트이다.
- [0072] 즉, 도 2에 나타난 바와 같이, 본 발명의 실시예에 따른 통계적 분석 방법을 이용한 지하수 수질 측정망의 지하수 수질등급 평가방법은, 상기한 도 1에 나타난 바와 같은 각 단계의 분석 결과를 종합하여, 즉, 상기한 바와 같은 수질기준 초과회수 조사단계, 평균농도 분석단계 및 경향성 분석단계의 각 분석 결과를 오염 지시인자로 정의하는 단계와, 상기 단계에서 정의된 각각의 오염 지시인자에 대하여 오염된 것으로 판단된 횟수를 나타내는 오염지수를 구하는 오염지수 산출단계와, 상기 오염지수 산출단계에서 산출된 오염지수에 근거하여 지하수 수질등급을 분류하는 수질등급 분류단계를 포함하여 구성된다.

- [0073] 여기서, 상기한 수질기준 초과횟수 조사단계, 평균농도 분석단계 및 경향성 분석 단계는 반드시 상기에 기재된 순서로만 진행되어야 하는 것은 아니며, 각 단계의 순서는 필요에 따라 임의로 변경 가능하다.
 - [0074] 또한, 상기한 바와 같은 일련의 단계들은, 전용의 하드웨어를 통하여 실행되거나, 또는, 그러한 처리를 컴퓨터를 통해 실행시키도록 구성되는 프로그램의 형태로 제공될 수도 있는 등, 필요에 따라 다양한 형태로 구성될 수 있다.
 - [0075] 더 상세하게는, 먼저, 수질기준 초과 회수 조사에 대하여 설명하면, 수질기준 초과 회수 조사는, 각 지점별 측정 농도값 중 해당 항목의 수질기준을 초과한 횟수를 조사하고, 지정된 횟수를 넘을 경우 오염을 지시하도록 구성된다.
 - [0076] 여기서, 관측횟수가 일정하지 않은 경우, 오염지시 초과횟수를 관측횟수의 일정 비율로 결정하는 것이 타당할 수 있다.
 - [0077] 즉, 본 실시예에서 사용된 자료는 최대 16회(일반세균의 경우 10회)의 관측자료이지만, 미측정된 자료나 이상자료가 다수 존재하고, 기간 내 측정 지점이 변경된 부분이 많아 실제로 고려할 수 있는 자료의 관측 횟수는 이보다 적은 경우가 많다.
 - [0078] 따라서 많은 자료를 활용하게 되는 경우, 관측 횟수의 적절한 비율을 고려하여 적용하는 과정이 먼저 수행되는 것이 바람직하다.
 - [0079] 또한, 본 실시예에서는, 가장 엄격한 기준을 적용하여, 초과횟수가 1 이상이면 오염을 지시하는 것으로 하였다.
 - [0080] 다음으로, 평균농도 분석단계는, 수질기준 초과횟수 조사만으로는 조사 기간 동안의 농도 분포가 오염 가능성을 가지는지를 판단할 수 없으므로, 각 지점별 측정 농도의 평균과 표준오차를 계산하여 평균 농도의 95% 신뢰구간을 결정하고, 수질 기준과 신뢰구간을 비교하여 오염을 지시하는 것으로 판단한다.
 - [0081] 즉, 평균 농도 신뢰구간의 상한선이 수질기준보다 높은 경우 오염을 지시하는 것으로 판단하고, 수질기준이 구간으로 존재하는 pH의 경우는 그 반대의 경우도 고려하도록 구성된다.
 - [0082] 여기서, 상기한 바와 같이 각 지점별 측정 농도의 평균과 표준오차를 계산하여 평균 농도의 95% 신뢰구간을 결정하는 과정은 이하의 [수학식 1]에 의해 이루어진다.
 - [0083] [수학식 1]
- $$\left(\bar{X} - 1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \bar{X} + 1.96 \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$
- [0084]
 - [0085] 여기서, \bar{X} 는 농도 평균, σ 는 농도 표준편차, n은 관측횟수를 나타낸다.
 - [0086] 다음으로, 경향성 분석단계에 대하여 설명한다.
 - [0087] 앞서 설명한 바와 같이, 해당 지역의 오염도를 판단하는데 있어서는 농도의 크기에 대한 분석뿐만 아니라, 시간에 따른 농도의 경향성을 조사하는 것이 필요하다.
 - [0088] 따라서 본 실시예에서는, 농도의 경향성 분석을 위해 Sen의 경향성 분석법(Trend test)을 적용하였다.
 - [0089] 구체적으로는, Sen의 경향성 분석법은, 비모수적 분석 방법으로서, 실제 관측값을 그대로 적용하지 않고 구간기울기 값들의 서열을 이용함으로써, 이상값이나 결측값의 영향을 크게 받지 않는 특징이 있다.
 - [0090] 아울러, 이러한 Sen의 경향성 분석법은 국내외 지하수 환경과 관련된 많은 연구에 적용되어 왔다(이진용 외, 2006; 최현미·이진용, 2009; Lee et al., 2007; Naftz et al., 2008; D'Alessandro et al., 2010).
 - [0091] 또한, Sen의 경향성 분석을 위하여는, 먼저, 이하의 [수학식 2]를 이용하여, 각 시간 간격에 대한 지하수 농도의 기울기(Q)를 계산한다.

[0092] [수학식 2]

$$Q = \frac{x_{i'} - x_i}{i' - i}$$

[0093]

[0094] 여기서, $x_{i'}$ 는 시간 i' 에서의 농도, x_i 는 시간 i 에서의 농도, i' 은 시간 i 이후의 시간을 나타낸다.

[0095] 따라서 [수학식 2]의 계산을 통해, 이하의 [수학식 3]에 나타난 바와 같이, n 개의 농도 자료에 대하여 N' 개의 Q 가 계산된다

[0096] [수학식 3]

$$N' = \frac{n(n-1)}{2}$$

[0097]

[0098] 이후, Q 를 크기순으로 정리하고, 이하의 [수학식 4]를 이용하여 Q 의 중앙값을 기울기 예측값(Q')으로 결정한다.

[0099] [수학식 4]

$$Q' = Q_{[(N'+1)/2]} \quad N' : \text{홀수}$$

$$= \frac{1}{2}(Q_{[N'/2]} + Q_{[(N'+2)/2]}) \quad N' : \text{짝수}$$

[0100]

[0101] 여기서, Sen의 경향성 분석법에서는, 신뢰구간의 결정을 위해 이하의 [수학식 5]에 나타난 바와 같은 Mann-Kendall 통계값의 분산 추정값 ($VAR(S)$)을 이용하게 된다.

[0102] [수학식 5]

$$VAR(S) = \frac{1}{18} \left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p-5) \right]$$

[0103]

[0104] 여기서, n 은 자료의 수, t_p 는 p 번째 값의 반복 자료 수, q 는 반복 자료가 존재하는 횟수를 나타낸다.

[0105] 다음으로, 오차 허용률 α 에 대한 신뢰구간의 간격($C\alpha$)은, 양측검증 Z 통계값 $Z_{1-\alpha/2}$ 의 값을 이용하여 이하의 [수학식 6]과 같이 계산된다.

[0106] [수학식 6]

$$C_{\alpha} = Z_{1-\alpha/2} \times \sqrt{VAR(S)}$$

[0107]

[0108] 상기한 바와 같이, 본 실시예에서는, 95% 신뢰구간을 고려하여 $Z_{1-\alpha/2} = 1.96$ 을 이용하였다.

[0109] 또한, [수학식 6]을 이용하여 농도 기울기의 신뢰구간의 양끝 값에 대한 순위(M1, M2)를 구하면 이하의 [수학식 7]과 같다.

[0110] [수학식 7]

$$M1 = \frac{N' - C_{\alpha}}{2}; \quad M2 = \frac{N' - C_{\alpha}}{2} + 1$$

[0111]

[0112] [수학식 7]과 같이 하여 M1과 M2에 대한 Q'를 구하고, 이 신뢰구간 내에 0이 들어가지 않으면, 계산된 농도의 경향성 Q는 통계적으로 0과 같지 않다는 의미를 지니게 되고, 경향성을 인정할 수 있다(M1, M2).

[0113] 그러나 신뢰구간 내에 0이 포함된다면, 계산된 기울기가 통계적으로 0과 다르지 않다는 의미이고, 경향성이 없다고 판단하게 된다(Maurice and Kendall, 1955; Sen, 1968; Gilbert, 1987).

[0114] 따라서 상기한 바와 같은 방법으로 경향성 분석을 수행하여 농도 기울기가 증가한다고 분석되는 경우 오염을 지시하는 것으로 판단한다.

[0115] 단, 수소 이온농도의 경우, 농도 기울기가 증가하거나 감소하는 경우 모두 오염을 지시하는 것으로 판단한다.

[0116] 계속해서, 본 발명의 실시예에 따른 지하수 수질등급 평가방법에 대하여 설명한다.

[0117] 즉, 본 실시예에서는, 상기한 바와 같이 수질기준 초과횟수 조사, 평균농도 분석, 경향성 분석의 세 가지 방법을 오염 지시인자들로 설정하였고, 이에 근거하여, 이하의 표 2에 나타낸 바와 같이, 각각의 오염 지시인자 오염을 판단하는 횟수를 오염지수로 정의하고, 오염지수에 따라 지하수 수질등급을 '안전(Clean)', '오염 가능(Possibly contaminated)', '오염(Contaminated)', '오염 심각(Seriously contaminated)'의 네 가지로 분류하였다.

[0118] 따라서 표 2에 나타낸 바와 같이, 단순히 농도의 초과율이나 평균값을 이용하는 것은 복잡하고 다양한 전국적인 오염 상태를 충분히 고려하기 어려운 한계점이 있으나, 상기한 본 발명의 실시예에 나타낸 바와 같이 세 가지 분석법에 의한 오염 지시인자들의 조합을 활용하여 수질등급을 분류함으로써, 다양한 오염 이력 및 가능성을 보다 효과적으로 고려할 수 있다.

표 2

[0119]

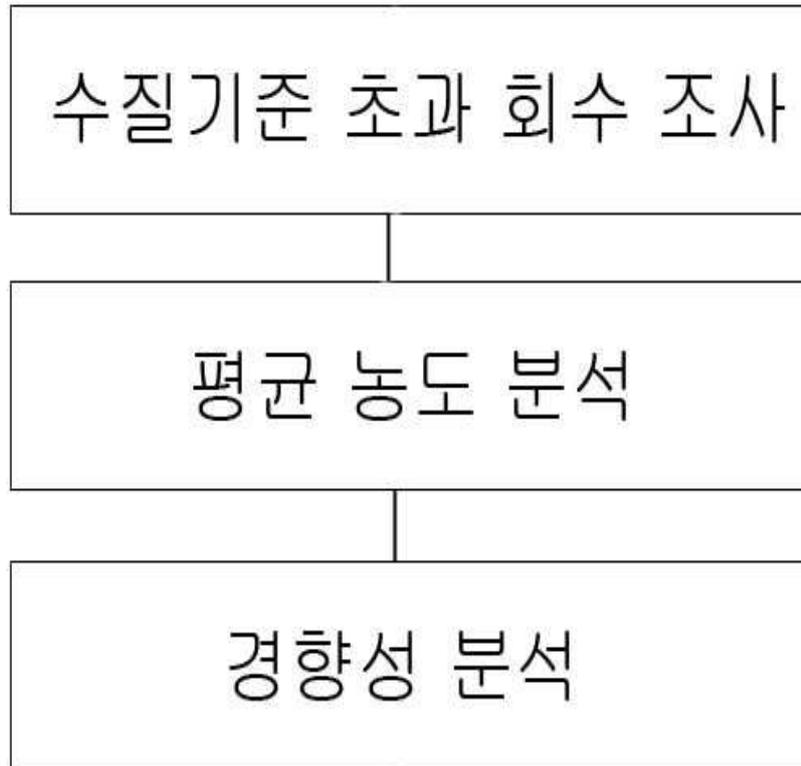
오염 지시인자를 포함하는 방법의 수	수질등급	오염 지시인자
0	안전	0
1	오염 가능	1
2	오염	2
3	오염 심각	3

- [0120] 따라서 상기한 바와 같이 하여, 본 발명에 따른 통계적 분석 방법을 이용한 지하수 수질 측정망의 오염등급 정량화 및 지하수 수질등급 평가방법을 구현할 수 있다.
- [0121] 계속해서, 상기한 바와 같은 본 발명에 따른 통계적 분석 방법을 이용한 지하수 수질 측정망의 오염등급 정량화 및 지하수 수질등급 평가방법을 실제의 사례에 적용하여 수행된 분석 결과에 대하여 설명한다.
- [0122] 즉, 도 3 및 도 4를 참조하면, 도 3은 지하수 수질 관측지점의 농도변화자료를 나타내는 도면이고, 도 4는 도 3에 나타난 바와 같은 자료내용에 근거하여 상기한 바와 같은 본 발명에 따른 방법에 의해 오염등급을 분류하는 과정을 나타내는 도면이다.
- [0123] 더 상세하게는, 도 3a는 경상북도 청도군 금천면 갈지리 797번지 지점의 질산성 질소에 대한 자료를 나타내는 도면으로, 도 4를 참조하면, 수질기준 초과횟수 조사, 평균농도 분석, 경향성 분석 결과 모두 오염을 지시하여 오염지수 3인 '오염심각' 등급에 해당됨을 알 수 있다.
- [0124] 또한, 도 3b는 경기도 안성시 대덕면 소현리 420번지 지점의 TCE에 대한 자료로서, 도 4을 참조하면, 오염 지시인자 중 수질기준 초과횟수 조사에서만 오염을 지시하여 오염지수 1인 '오염가능' 등급에 해당됨을 알 수 있다.
- [0125] 아울러, 도 5를 참조하면, 도 5는 상기한 각 분석방법의 오염 지시율, 즉, 전체 분석지점 중 오염을 판단한 지점의 비율을 항목별로 표시하여 표로 나타낸 도면이다.
- [0126] 도 5에 나타난 바와 같이, 수질기준 초과횟수 조사와 평균농도 분석 결과 질산성 질소, 일반세균, 전기전도도에 대한 오염 지시율이 높은 것으로 나타났음을 알 수 있다.
- [0127] 또한, 경향성 분석 결과, 전기전도도에 대한 오염 지시율이 가장 높고, 질산성 질소, 염소이온, 수소이온 농도가 약 10% 내외의 오염 지시율을 나타내는 것을 알 수 있으며, 이러한 수질분석 결과를 이용하여, 6개 항목에 대한 2006개 지점의 오염등급을 결정하였다.
- [0128] 즉, 도 6 내지 도 9를 참조하면, 도 6 내지 도 9는 각각 오염우려 지역과 일반지역에 대한 도시별(도 6, 도 8) 및 행정구역별(도 7, 도 9) 오염등급 분포를 나타내는 도면이다.
- [0129] 오염등급 분석 결과, 전반적으로 오염 우려지역이 일반지역보다 높은 오염도를 나타내고 있고, 도시와 행정구역 간의 뚜렷한 차이는 보이지 않음을 알 수 있다.
- [0130] 계속해서, 전체 지점에 대한 수질분석 결과를 바탕으로 항목, 지역, 용도, 음용여부별 평균 오염지수를 비교, 분석한 결과에 대하여 설명한다.
- [0131] 즉, 도 10을 참조하면, 도 10은 전체 자료에 대한 항목별 평균 오염지수를 나타내는 도면이다.
- [0132] 구체적으로는, 도 10a에 나타난 바와 같이, 오염 우려지역의 전기전도도의 평균 오염지수가 1.00으로 가장 높았고, 질산성 질소와 일반세균이 각각 0.59와 0.36으로 비교적 높았음을 알 수 있다.
- [0133] 또한, 도 10b를 참조하면, 각 도시 및 행정구역의 모든 항목에 대한 평균 오염지수를 살펴보면, 도시 중 서울, 인천, 광주와 행정구역 중 경기, 전라도가 상대적으로 높은 평균 오염지수를 나타내는 것을 알 수 있다.
- [0134] 다음으로, 도 11을 참조하면, 도 11은 지하수 사용 용도별 오염 정도를 파악하기 위해 각 항목에 대한 생활, 농업, 공업용별로 평균 오염지수를 조사한 결과를 나타내는 도면이다.
- [0135] 도 11에 나타난 바와 같이, 질산성 질소의 경우, 농업용으로 이용되는 지점에서의 평균 오염지수가 0.84로 상대적으로 높았고, TCE의 경우, 전체적인 평균 오염지수는 0.07로 높지 않았지만, 공업용으로 이용되는 경우의 평균 오염지수는 0.35로 지하수 오염과 용도와의 상관관계가 높은 것을 알 수 있다.
- [0136] 아울러, 전기전도도의 경우, 전체적으로 0.90 이상의 높은 평균 오염지수를 나타내고 있으며, 공업용으로 이용되는 지점의 경우가 1.36으로 가장 높음을 알 수 있다.
- [0137] 그러나 염소이온, 수소이온농도, 일반세균수의 경우는, 용도별로 뚜렷한 차이를 나타내지 않음을 알 수 있다.
- [0138] 여기서, 지하수를 음용수로 이용할 경우, 지하수 오염이 보다 큰 위해를 줄 수 있기 때문에 각 항목에 대한 오염 취약성을 조사할 필요가 있다.
- [0139] 즉, 도 12를 참조하면, 도 10은 수질분석 결과 중 먹는 물 용도로 이용되는 경우의 자료만을 분리하여 오염지수가 1 이상인 지점들 수를 조사한 결과를 나타내는 도면이다.

- [0140] 도 12에 나타낸 바와 같이, 조사 결과, 음용수로 이용되는 지점은 총 723개 지점이었고, 질산성 질소와 일반세균에 대해 오염지수가 1 이상인 지역이 각각 224개 지점과 118개 지점으로 높게 나타났다.
- [0141] 또한, 오염 우려지역에 대해서만 측정된 전기전도도의 경우, 음용수로 이용하고 있는 186개 지점들 중 90개 지점에서 오염지수가 1 이상으로 나타났다.
- [0142] 특히, 일반세균의 경우, '오염가능'에 해당하는 오염지수 2인 지점이 63개 지점이나 되어 오염에 취약함을 알 수 있다.
- [0143] 여기서, 상기한 지하수 수질분석 중 평균 농도분석과 경향성 분석에서는 각각 농도 평균값과 농도기울기 추정값에 대한 95% 신뢰도에 해당하는 신뢰구간을 이용하였으나, 본 발명자들은, 분석방법의 신뢰구간이 오염등급 분류에 미치는 영향을 살펴보기 위해, 각 분석방법의 신뢰도를 70%에서 99%까지 증가시키며 평균 오염지수의 변화를 관찰하고 그 결과를 도 13에 나타내었다.
- [0144] 즉, 도 13을 참조하면, 도 13은 분석방법의 신뢰구간이 오염등급 분류에 미치는 영향을 살펴보기 위해 각 분석방법의 신뢰도를 70%에서 99%까지 증가시키며 평균 오염지수의 변화를 관찰한 결과를 나타내는 도면이다.
- [0145] 도 13에 나타낸 바와 같이, 민감도 분석을 수행한 결과, 평균 농도분석에 비해 경향성 분석에 대한 신뢰도가 평균 오염지수 결정에 높은 민감도를 보이는 것을 알 수 있으며, 특히, 수소 이온농도와 전기전도도의 경우가 높은 민감도를 나타내는 것을 알 수 있다.
- [0146] 따라서 상기한 바와 같은 분석 내용을 정리하면 다음과 같다.
- [0147] 먼저, 각 항목에 대한 분석 결과에서, 오염 우려지역에서만 측정되는 전기전도도를 제외하면 전반적으로 질산성 질소와 일반세균에 대한 오염도가 큰 것으로 나타났으며, 전기전도도의 경우, 수질기준이 없어 임의의 기준을 설정하였는데, 모든 분석방법에 대해 가장 큰 오염 지시율을 나타내었다.
- [0148] 즉, 전기전도도는 지하수의 전체적인 이온농도의 정도를 효과적으로 알 수 있는 지표로 활용 가능하고, 현재 오염 우려지역에서 높은 오염도를 보여주고 있으므로, 일반지역까지 측정범위를 넓히는 것이 필요할 것으로 판단되며, 또한, 염소이온과 수소이온 농도의 경우, 전체적인 오염도는 크지 않지만 경향성 분석 결과 10% 내외의 오염 지시율을 보여 이후 지속적인 관찰이 필요할 것으로 판단된다.
- [0149] 다음으로, 지역별로 전체 항목 평균 오염지수를 비교한 결과, 도시 중 서울, 인천, 광주와 행정구역 중 경기, 전라도가 상대적으로 오염도가 높았고, 제주도의 평균오염지수가 가장 낮았으나, 제주도는 측정지점 수가 40개 지점으로 가장 적었으므로, 이후 측정지점 수를 늘릴 필요가 있을 것으로 판단된다.
- [0150] 계속해서, 지하수 용도별 평균 오염지수를 조사한 결과, 질산성 질소와 TCE가 각각 농업용과 공업용으로 사용되는 경우 높은 오염지수를 나타내고 있으므로, 이후 지하수 수질을 효과적으로 관리하는데 토지 이용도와의 연계된 연구가 필요할 것으로 판단된다.
- [0151] 아울러, 지하수를 음용수로 이용하는 경우의 오염지수별 관측지점 수에 대해 분석한 결과는, 질산성 질소와 일반세균이 오염에 가장 취약한 것으로 조사되었다.
- [0152] 따라서 상기한 바와 같이 하여 본 발명에 따른 통계적 분석 방법을 이용한 지하수 수질 측정망의 오염등급 정량화 및 지하수 수질등급 평가방법을 구현할 수 있으며, 또한, 상기한 바와 같이, 본 발명에 따른 정량화 및 평가 방법과 그 결과들을 적절히 활용함으로써, 지하수 수질 측정망을 더욱 효과적으로 관리하고 보다 용이하게 오염도를 정량적으로 파악 및 분석할 수 있다.
- [0153] 이상, 상기한 바와 같은 본 발명의 실시예를 통하여 본 발명에 따른 통계적 분석 방법을 이용한 지하수 수질 측정망의 오염등급 정량화 및 지하수 수질등급 평가방법의 상세한 내용에 대하여 설명하였으나, 본 발명은 상기한 실시예에 기재된 내용으로만 한정되는 것은 아니며, 따라서 본 발명은, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 설계상의 필요 및 기타 다양한 요인에 따라 여러 가지 수정, 변경, 결합 및 대체 등이 가능한 것임은 당연한 일이라 하겠다.

도면

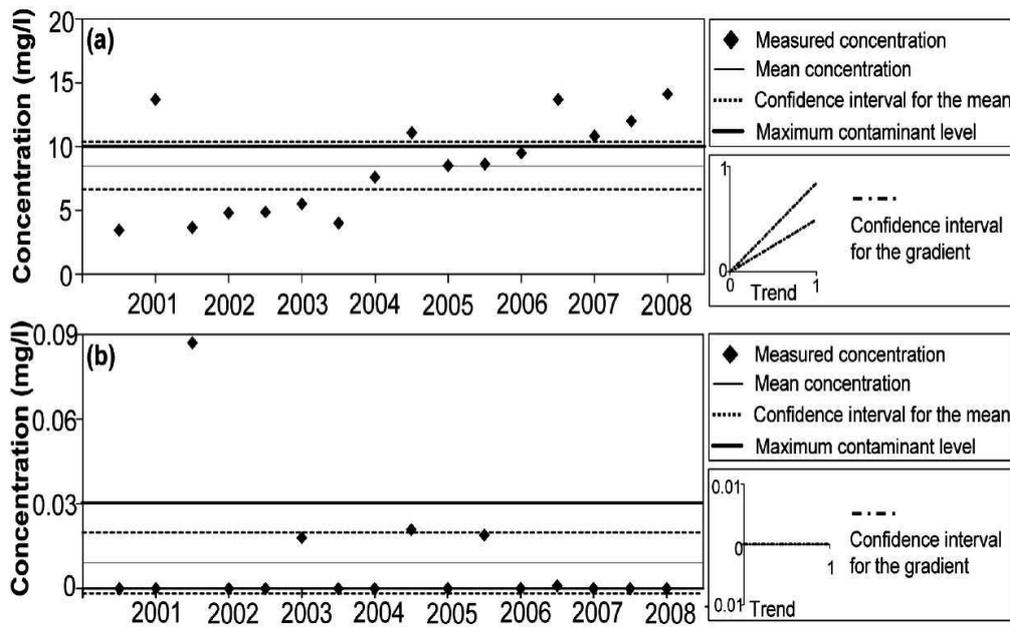
도면1



도면2



도면3



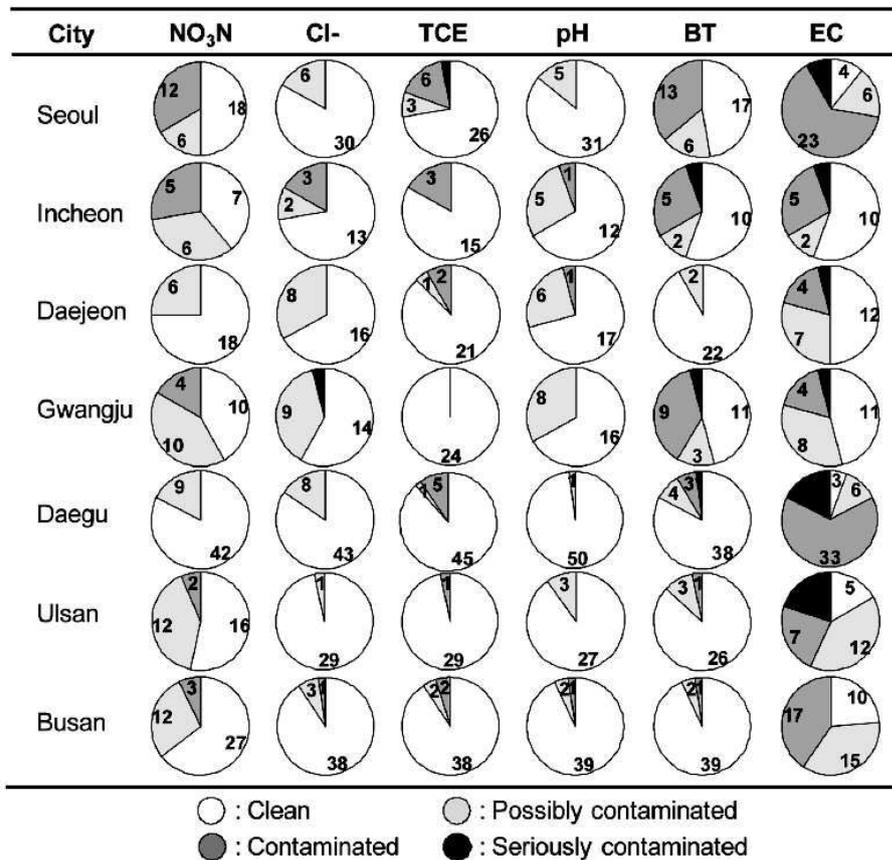
도면4

Measurement item	NO ₃ N	TCE
Location code	ST0201	FH1202
Frequency of water quality standard violations	6	1
Average concentration analysis	Violation	No violation
Sen's trend test	Up trend	No trend
Number of indications (Contamination index)	3	1
Grade	Seriously contaminated	Possibly contaminated

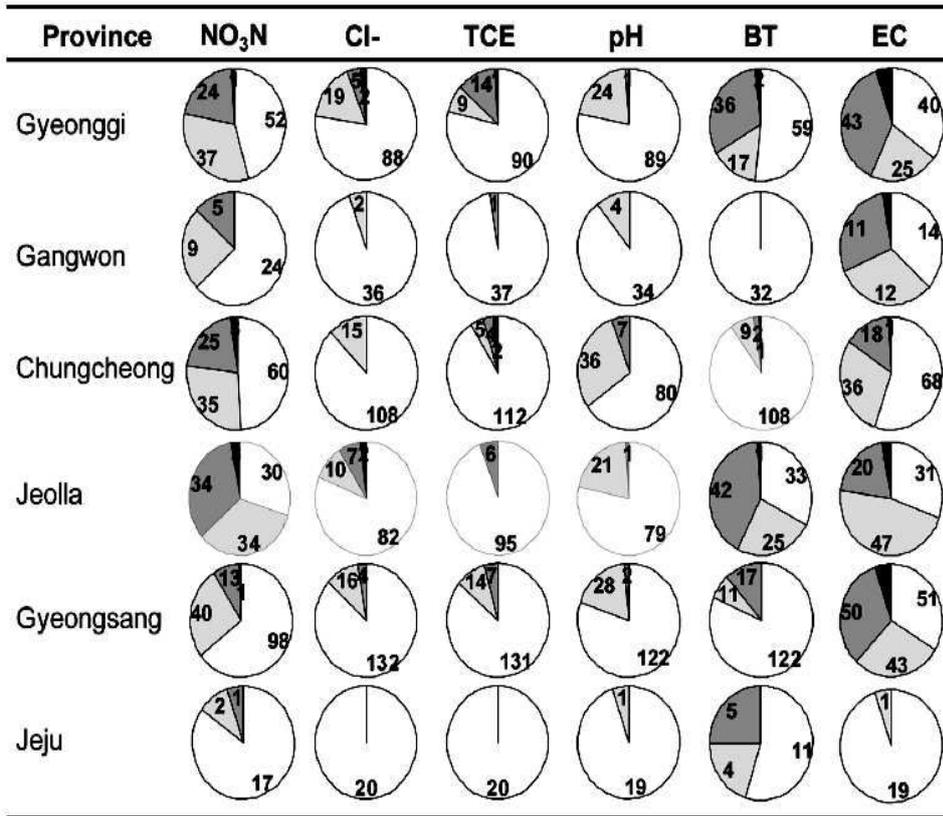
도면5

Statistical Analysis	NO ₃ N	Cl ⁻	TCE	pH	BT	EC
Frequency of water quality standard violations	33.9%	2.7%	4.8%	4.6%	20.8%	54.2%
Average concentration analysis	11.5%	1.1%	2.8%	0%	13.8%	31.7%
Sen's trend test	10.0%	10.8%	0.3%	9.5%	2.2%	21.3%

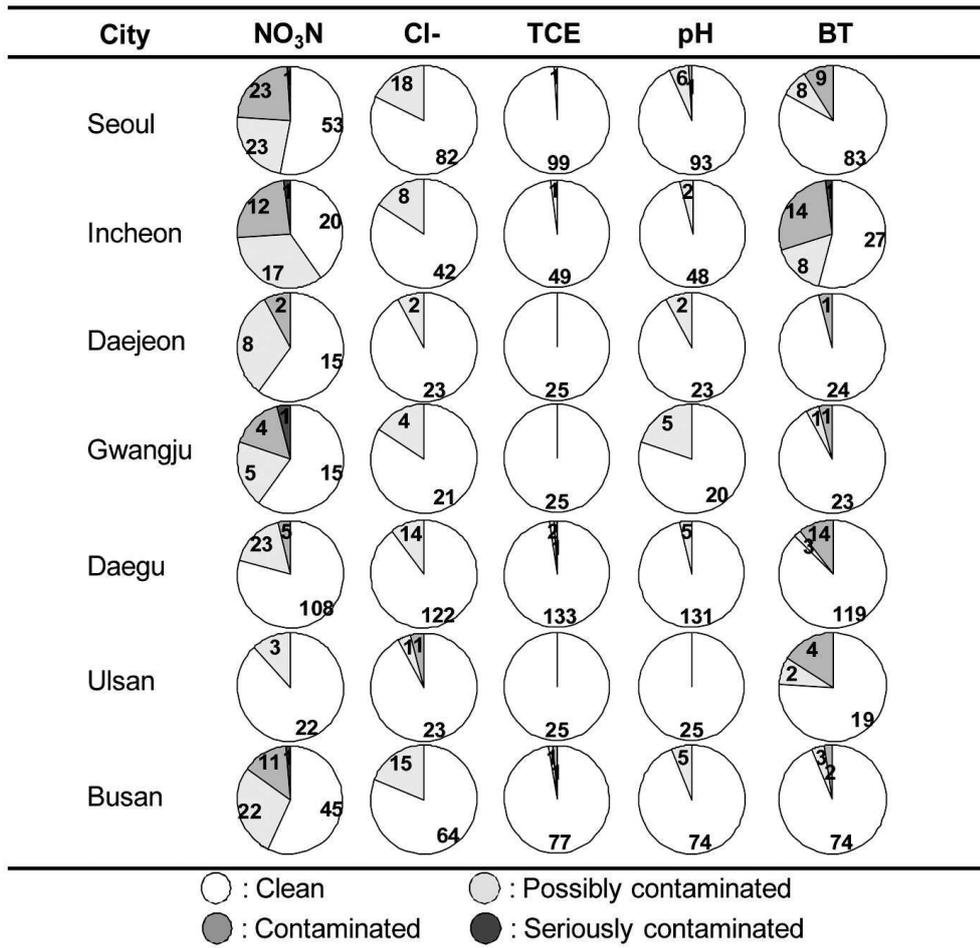
도면6



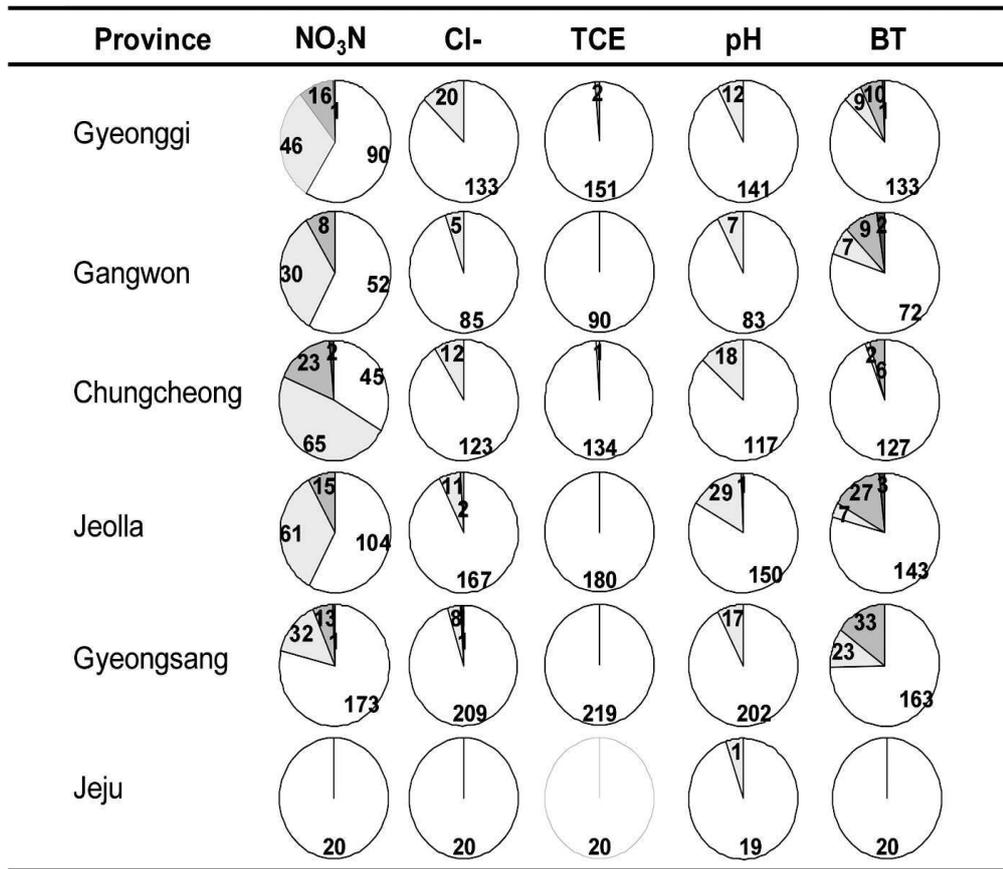
도면7



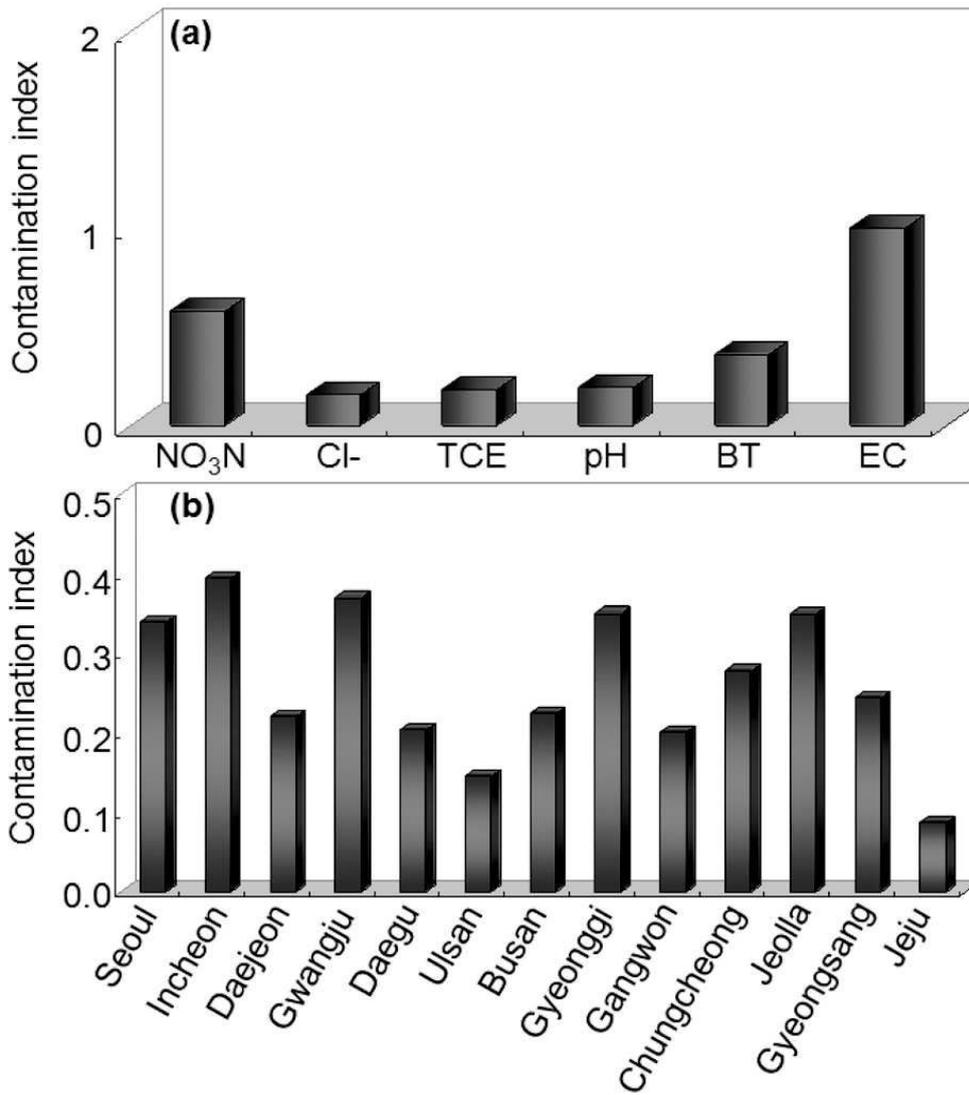
도면8



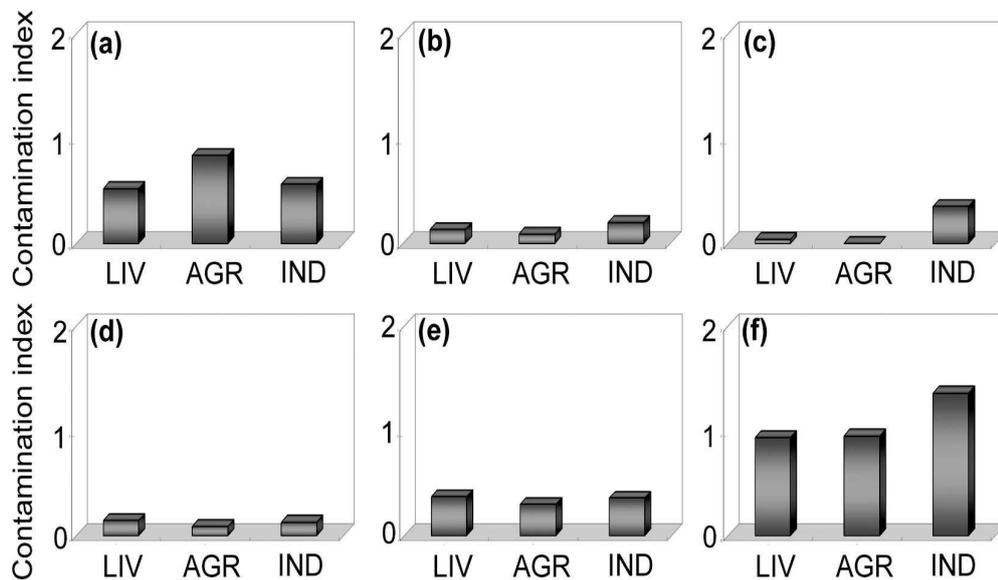
도면9



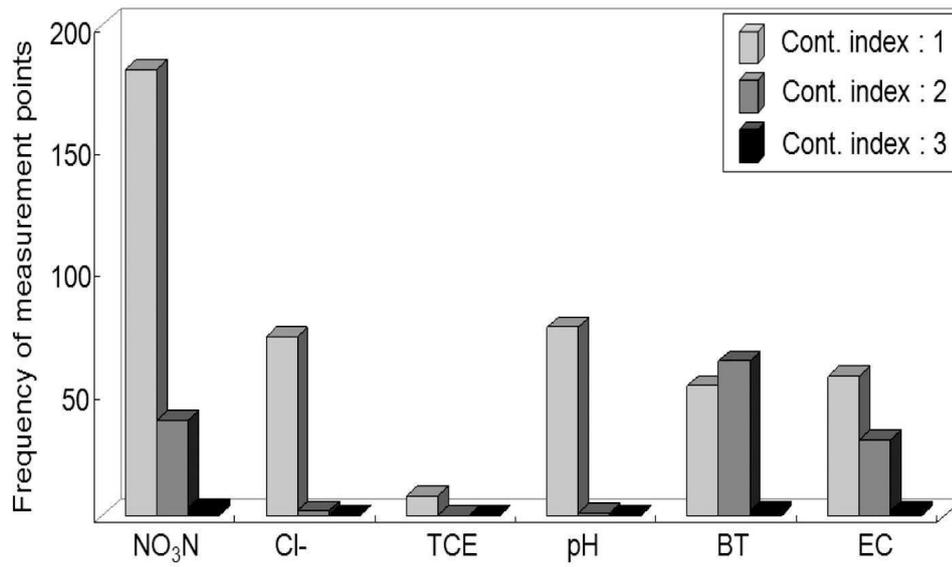
도면10



도면11



도면12



도면13

