

공간보간법을 이용한 전라북도 서해안 지역의 지하수 염소이온 분석 The Analysis of Chloride Ion of Ground Water in the West Coast District of Jeollabuk-Do using Spatial Interpolation

이근상* · 임동길** · 최연웅*** · 조기성****

Lee, Geun Sang · Im, Dong Gil · Choi, Yun Woong · Cho, Gi Sung

要 旨

본 연구에서는 GIS 공간보간법을 이용하여 전라북도 서해안지역의 지하수관정 염소이온 농도를 분석하였다. 특히 해수침투를 평가하기 위해 지하수관정중 검정점을 지정하였으며, 역거리가중치, 스플라인 그리고 크리깅 보간법에 의한 염소이온 농도의 오차특성 분석이 수행되었다. 본 연구의 주요 결론으로서 첫째, 485개 지하수 관정의 염소이온 농도 자료를 이용하여 공간 보간법의 오차특성을 분석한 결과 IDW 방법이 해수침투에 의한 염소이온 농도를 추정하는데 가장 적합한 것으로 나타났다. 둘째, 대상지역의 평균 염소이온 농도를 분석한 결과, 군산시가 541 mg/l로서 공업용수 수질기준에도 미달하는 것으로 나타났다. 그리고 김제시와 고창군은 먹는물 수질기준을 만족하는 것으로 나타났으며 부안군은 272mg/l로서 먹는물 수질기준에 약간 미달하는 것으로 분석되었다. 셋째, 행정구역 별 분석에서 군산시는 서해안에 접해 있는 대명동, 중동, 장재동, 금암동의 평균 염소이온 농도가 매우 높게 분석되었으며, 만경강과 접해 있는 회현면과 대야면도 공업용수 수질기준에도 미달하는 등 전반적으로 해수침투에 의한 영향이 큰 것으로 나타났다.

핵심용어 : 공간보간, 염소이온, 지하수, 해수침투

Abstract

In this study, the data that examined the chloride ion concentration of ground water wells in the west coast of Jeollabukdo applying the GIS spatial estimation method were analyzed. In particular, through the designation of a validation point among ground water wells and then the analysis of error characteristics of the chloride ion concentration by each method of IDW (Inverse Distance Weight), Spline, and Kriging Interpolation method which is proper for estimating salt water intrusion was selected. The main conclusion from this study is as follows. First, as a result of analyzing the error characteristics of various spatial estimation methods by using the data from the chloride ion concentration of 485 ground water wells, the IDW method was found to be the most appropriate for estimating chloride ion concentration by salt water intrusion. Second, analyzing the average chloride ion concentration of the targeted regions has revealed that Gunsan-si with the record of 541 mg/l did not meet water quality standards even for industrial use. Both Gimje-si and Gochang-gun satisfied drinking water quality standards and Buan-gun with 272 mg/l was slightly below the standards for drinking water. Third, concerning the results of analysis according to administrative districts, as the areas adjacent to the west coast such as Daemyeong-dong, Joong-dong, Jangjae-dong and Guemam-dong in Gunsan-si are found to have very high chloride ion concentration, and both Hoehyeon-myeon and Daeya-myeon bounded by the Mankeong river did not meet water quality standards even for industrial use. From these facts, it is concluded that salt water intrusion has a great effect on Gunsan-si generally.

Keywords : Spatial Interpolation, Chloride Ion, Ground water, Salt water intrusion

2011년 8월 19일 접수, 2011년 9월 21일 채택

- * 종신회원 · 전주비전대학 지적부동산과 교수(gslee@jvision.ac.kr)
- ** 교신저자 · 전북도청 기획관리실 주무관(dklim74@korea.kr)
- *** 종신회원 · 조선이공대학 토목건설과 교수(ywchoi@chosun-c.ac.kr)
- **** 종신회원 · 전북대학교 토목공학과 교수(gscho@jbnu.ac.kr)

1. 서론

우리나라는 비약적인 산업 발달과 인구 증가로 용수 수요가 급속히 증가하고 있다. 그러나 국토의 지역적인 특성으로 인해 우리나라의 수자원은 지역적으로 불균형을 이루고 있으며, 이러한 환경에서 용수수요를 충족시키기 위한 방법으로 지하수 개발이 대규모로 시행되고 있다. 특히 지하수의 의존도가 높은 해안지역에서는 적절한 평가의 부재 속에 지하수의 개발이 무분별하게 진행되면서 지하수의 수위변화로 인해 해수가 담수지하수계로 침입하는 해수침투 현상이 발생하고 있다. 해수침투는 대부분의 해안지방에서 일어나는 자연재해로 토양의 염분화에 따른 농작물 수확감소, 지하수 염분화에 의한 생활·농업·공업용수의 부족 등을 야기한다. 이러한 해수침투는 다른 지하수 오염과 같이 회복시키는 데에 막대한 비용과 시간이 소요되기 때문에 피해 가능지역에서의 정확한 현황파악과 적극적인 피해 방지대책수립이 중요하다(김경호와 장창덕, 2007).

최근 전라북도 서해안 지역에서도 새만금개발로 인한 경제·산업 활동증가 및 인구집중으로 생활·공업·농업 용수 등 많은 수자원이 필요하게 되었다. 이러한 수자원의 확보를 위해 광범위한 지하수 개발이 시행되고 있으나 개발과정중 양상되는 고염분의 폐공과 무계획적인 과다 양수는 지하수에 해수침투를 유발하는 또 다른 원인으로 작용하고 있다(농림수산식품부, 2008).

2008년 우리나라의 지하수 개발 이용량은 약 37.8억 m^3 /년으로 전체 수자원의 약 11%를 차지할 만큼 중요성이 증대되었으며, 시설수도 1994년 63만 지하수공에서 2008년 134만공으로 급속한 증가현상을 보이고 있다(함태성, 2010). 또한 서해안을 중심으로 새만금 개발로 인한 산업 및 관광 인프라가 계획되고 있는 시점에서 청정 수자원 확보가 무엇보다도 중요하다고 판단되며, 이러한 수자원을 확보하기 위해서 추진되는 댐 건설은 환경생태학적 반대여론 관점에서 어려움이 있기 때문에 지하수 개발을 통한 확보 방안이 절실한 형편이다.

전라북도 서해안 지역의 청정 지하수 자원 개발 및 유지관리를 위해 전라북도 보건환경연구원에서는 2008년에 황토의 겔화를 이용한 지하수 불용공 처리 방법에 관한 연구논문을 발표하 바 있다(전라북도 보건환경연구원, 2009). 그러나 지하수 개발시 관정개발 성공률이 30% 정도로 낮아 폐공 발생을 원천적으로 줄이기 위한 방안이 절실하며, 지하수 개발시 충분한 지리학적 특성을 파악하여 관정개발 성공률을 높이는 것이 지하수 개발업무에 매우 중요하게 되었다.

본 연구에서는 전라북도 서해안 지역을 중심으로 지하수의 염소이온 농도의 주 원인이 되는 바닷물의 염분으로 인한 영향범위를 효과적으로 분석하고 향후 지하수 개발시 폐공발생 위험을 최소화하기 위해, 지하수 관정에서 관측한 염소이온농도 자료를 기초로 GIS (Geographic Information System) 공간 보간법을 활용한 염소이온 농도 분포특성을 평가하였다. 특히 염소이온농도 분포의 신뢰성을 평가하기 위해 지하수 관정 중 일부관정들을 검증점(Validation Point)으로 지정하여 역거리가중치(IDW; Inverse Distance Weight), 스플라인 그리고 크리깅 등의 공간 보간법에 대한 오차분석을 통해 대상지역의 지하수 염소이온 농도 분석을 위한 적정 공간 보간법을 제시하였다. 또한 대상지역내의 염소이온 농도 분석결과를 먹는물 및 공업용수 수질기준 구간별로 평가하였으며, 염소이온 농도가 높게 나타난 군산시를 대상으로 영역격자(Zone Grid)를 구성하여 분석함으로써 읍면동별 염소이온 현황을 평가하였다.

2. 지하수 이용현황과 염소이온 측정

2.1 지하수 이용 현황

오늘날 기후변화로 인하여 한쪽 지역에서는 대규모 집중호우가 발생하고, 다른 지역에서는 극심한 가뭄이 발생하는 현상들이 자주 일어나고 있다. 특히 극심한 가뭄과 함께 오는 갈수기에는 심각한 농작물의 피해가 발생하고 지표수의 수질도 더 악화되어 인간의 생존에도 영향을 주고 있다. 이러한 상황은 지표수를 대체·보완할 자원으로서의 지하수에 더욱 관심을 갖게 하고, 지하수의 이용·개발 욕구를 더욱 증대시키고 있다. 실제로 우리나라의 지하수 이용현황을 보면 전체적으로 꾸준히 증가하고 있는 추세에 있다. 그림 1과 같이, 지하수 개발·이용 시설은 1994년 64만여 공, 2005년 127만여 공, 2008년에는 134만여 공으로 증가하고 있다. 그리고 지하수 이용량은 1994년 25.7억 m^3 에서 꾸준히 증가하다가 2003년 이후 37억 m^3 수준을 유지하고 있다.

통계자료에 의하면 지하수 취수공의 수는 꾸준히 증가하고 있는 반면, 지하수 이용량은 2003년 이후 일정 수준을 유지하고 있다. 오늘날 지하수 취수공을 더 깊이 더 많이 뚫고 있음에도 지하수 이용량이 크게 증가하지 않다는 것은 그만큼 지하수 자원의 상황이 열악해지고 있다는 의미이며, 따라서 현재의 지하수 개발·이용 업무에 대한 보다 체계적인 분석과 대책이 필요하다(함태성, 2010). 최근 지하수 정보에 대한 체계적인 관리 및 개발지원을 위한 다양한 국가사업들이 추진되고

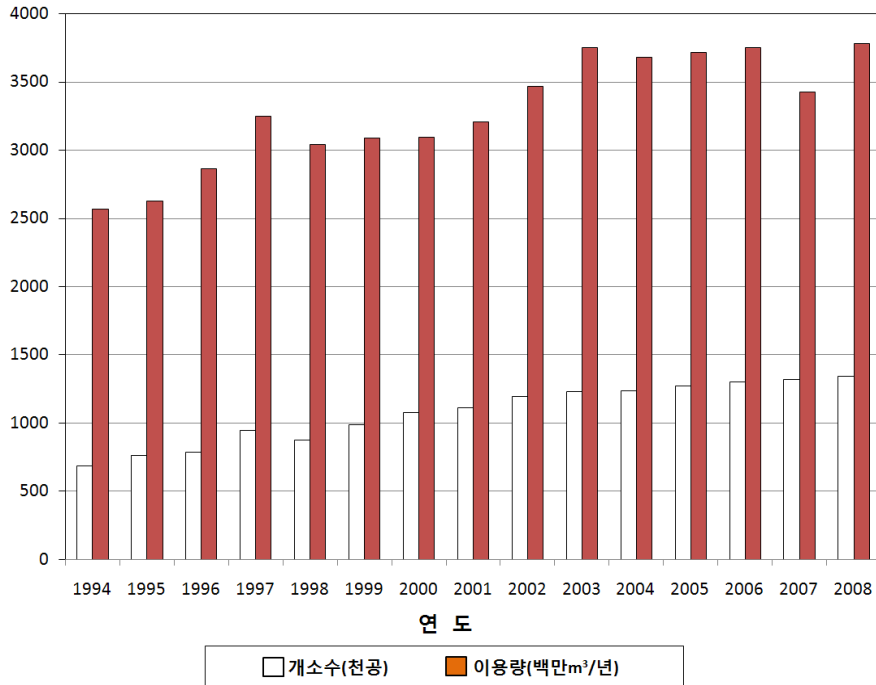


그림 1. 지하수 이용 현황

있으며, 특히 GIS를 활용한 지하수정보 지도 제작 및 오염 예측, 해수침투 자료 해석을 위한 GIS 활용 그리고 GIS 기반 지하수 개발 지원시스템 연구 등이 수행된 바 있다(건설교통부, 2000; 건설교통부, 2003; 김규범 등, 2006; 김만규, 2001; 이사로 등, 2006; 조시범과 손호웅, 2004; 최선영 등, 2004).

2.2 전라북도 서해안지역의 염소이온 측정

일반적인 지하수 유동에서는 지하수에 용해된 용질 함량은 유동에 영향을 주지 않는 것으로 가정하지만 담수 및 해수 인접부에서는 이들 밀도차이가 매우 중요하다. 용해물질의 차이로 인해 해수 밀도 $\rho_s(1.025 \text{ g/cm}^3)$ 는 담수 밀도 $\rho_f(1.000 \text{ g/cm}^3)$ 보다 크다. 담지하수는 일반적으로 용해물질 함유량이 연속적으로 증가하여 염수로 변화되기 때문에 어느 정도의 확산대(transition zone)가 나타나게 된다(Bear, 1979; Cruz와 Silav, 2000; Fetter, 1994; Zhou 등, 2000).

해안지역에서는 생활농업-공업용수 확보를 위한 수자원 개발에 많은 어려움이 있기 때문에 지하수 개발을 통한 용수확보를 많이 시도하고 있다. 최근 연안지역의 해수침투로 지하수에서 염소이온 농도가 많이 검출되고 있으며, 이로 인한 지하수 활용 가치 저하로 폐공의 개수도 점차 증가하고 있다. 폐공이란 지층을 굴착한

공(hole) 또는 우물(well) 중 현재 또는 미래에 이용할 계획이 없고, 지하수 수질오염방지를 위한 별도의 조치 없이 방치되어 있는 공을 말한다. 그러므로 지하수를 개발·이용하기 위해 착정한 우물, 토목건축조사 및 지질조사용 시추공 중에서 당초의 목적을 상실한 지하 굴착공은 모두 폐공에 해당한다.

폐공의 종류는 크게 지하수 개발 중 발생하는 폐공과 지하수 이용 중 발생하는 폐공으로 구분할 수 있다. 지하수 이용 중 발생하는 폐공 사례에서 염수의 침입에 의한 폐공발생이 최근 전라북도 서해안 지역에서 주로 발생하고 있다. 폐공은 지표 오염원의 유입 창구 또는 유입된 오염원을 지하 심부까지 이동시키는 통로 역할을 하고 있으며 그 자체가 직접 오염원으로 작용하기도 한다. 따라서 장기간 방치되었거나 잘못 처리된 폐공이 지하수 오염에 미치는 영향은 매우 크다(건설교통부, 2002; 이명재 등, 2007; 장정옥과 윤여진, 1995).

전라북도 보건환경연구원에서는 군산시, 김제시, 부안군, 고창군 등의 전라북도 서해안지역을 대상으로 2009년에서 2010년 동안에 주거지내 지하수 관정을 중심으로 총 620개 지점에 대한 염소이온 농도를 질산은 적정법을 사용하여 평가하였다. 질산은 적정법의 원리는 염소이온과 질산은이 정량적으로 반응한 다음 과잉의 질산은이 크롬산과 반응하여 크롬산은의 침전으

표 1. 연구대상지역 현황

구 분	면적(km ²)	세대수	인구(명)			행정구역			
			계	남	여	계	읍	면	동
군산시	675	106,797	273,174	138,743	134,431	27	1	10	16
김제시	545	41,481	95,557	47,670	47,887	19	1	14	4
부안군	493	27,623	60,597	29,910	30,687	13	1	12	-
고창군	608	27,814	61,407	30,215	31,192	14	1	13	-

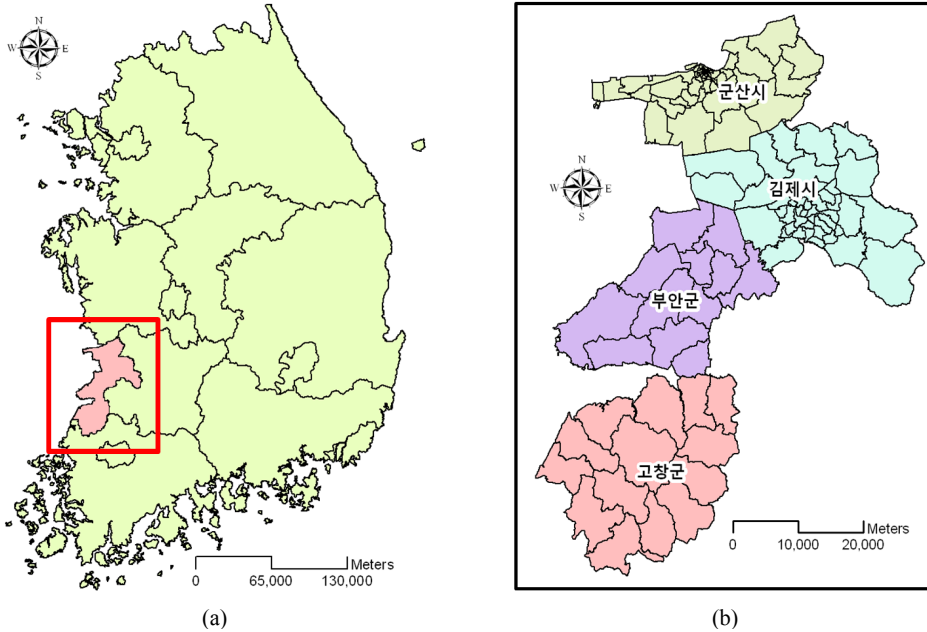


그림 3. 연구대상지역

로 나타나는 점을 적정의 종말점으로 하여 염소이온의 농도를 측정하는 방법이다. 시험방법으로는 시료 50ml를 정확히 채수하여 삼각플라스틱에 넣고 수산화나트륨용액 또는 황산용액을 사용하여 중화한 다음 크롬산칼륨용액 1ml를 넣어 0.01N-질산은용액으로 적정하였다. 그리고 적정의 종말점은 엷은 적황색 침전으로 나타날 때로 하여 염소이온 농도를 계산하였다.

염소이온

$$(mg\ Cl/L) = (a - b) \times f \times 0.3545 \times 1000 / V \quad (1)$$

a : 시료의 적정에 소비된 0.01N-질산은 용액(ml)

b : 바탕시험액의 적정에 소비된 0.01N-질산은 용액(ml)

f : 0.01N-질산은 용액의 농도계수

v : 시료량(ml)

3. 연구대상지 및 공간보간법 오차분석

3.1 연구대상지

본 연구대상지역은 전라북도 서해안 지역으로서 행정구역상으로는 군산시, 김제시, 부안군, 고창군 4개 지방자치단체를 선정하였다. 군산시는 약 675km²의 면적을 가지고 있으며, 이 중 기존지역이 390km²이고 새만금지역이 285km²이다. 행정구역은 1개 읍, 10개 면, 16개 동으로 구성되어 있다. 또한 인구는 2011년 2월 기준으로 총 273,174 명으로 나타났으며, 이중 남자는 138,743 명 그리고 여자는 134,431 명으로 조사되었다. 군산시를 비롯한 김제시, 부안군, 고창군의 면적, 세대수, 인구, 행정구역에 대한 현황은 표 1과 같다.

3.2 공간보간법 오차분석

본 연구에서는 전라북도 보건환경연구원에서 군산시, 김제시, 고창군, 부안군 지역을 대상으로 분석한 총

620개의 지하수 관정의 염소이온 농도자료를 이용하여 GIS 공간 보간법의 오차분석을 실시하였다. 먼저 총 620개의 지하수 관정 중 오차분석을 위한 검정점으로 135점을 선정하였으며 나머지 485점은 샘플점으로 지정하여 이 점들을 기초로 공간보간법별로 염소이온 농도 분포도 작성에 활용하였다. GIS 공간 보간을 위해 선정한 485개 샘플점에 대해 IDW, 스플라인 그리고 크리깅 보간법을 적용하였으며, 특히 크리깅은 선형, 원형, 구형, 지수형 그리고 가우스형을 선정하여 활용하였다.

IDW는 관측점간의 거리에 반비례하여 가중치를 할당하는 방법이며, 스플라인은 완화곡선에 적용하여 구간별로 별도의 다항식을 채택하여 적용하는 방법이다. 또한 크리깅 보간법은 기하학적 거리에 대한 상관관계가 아니라 통계학적인 상관관을 이용하는 것으로서 반베리오그램의 형태에 따라 다양한 형태를 가지게 된다. 분석을 위해 먼저 485개 샘플점을 공간 보간을 위한 포인트 데이터로 지정한 후 격자 분석을 위해 ArcGIS의 『Spatial Analyst』 확장팩을 이용하여 각 보간법별 공간 보간을 수행하였다. 분석을 위한 격자자료의 해상도는 10m로 지정하였으며, 보간 후 연구대상지역 셰이프 파일 자료를 이용하여 Clipping하였다. 각 보간법별로 생성한 염소이온 농도 분포도의 정확도를 평가하기 위해 135개 검정점 자료를 10m 해상도의 격자자료로 변환한 후 격자연산을 통해 각 검정점별 오차를 계산한 후 135개 지점의 통계분석을 통해 표 2와 같이 각 보간법별 오차특성을 분석하였다. 오차의 평균값은 정오차(+)와 부오차(-)의 영향을 제거하기 위해 절대값에 따른 결과값을 이용하였다. 분석 결과 IDW의 평균오차가 134mg/l로 가장 낮게 나타났으며, 가우스형 크리깅 보간법이 348mg/l로 가장 큰 차이를 보였다. 오차의 표준편차에서도 IDW가 277mg/l로 가장 편차가 작게 나타났으며, 가우스형 크리깅 보간법이 738mg/l로 가장 크게 나타났다. 따라서 지하수 관정에서 채수하여 분석한 염소이온 농도 자료를 이용하여 전라북도 서해안 지역의 염소이온 농도 분포도를 제작하기 위한 공간 보간법으로는 IDW 보간법이 가장 적합한 것으로 분석되었다. 공간보간법을 적용한 오차의 평균값과 표준편차가 대부분 크게 나타났다. 이는 염소이온 농도가 지역마다 매우 큰 차이를 나타내고 있다는 것을 의미하며, 해수침투가 심한 서해안지역에서 효과적인 지하수 개발을 위한 업무를 지원하기 위해서는 비교적 편차가 존재하더라도 최적의 공간보간법을 선정하여 지하수 염소이온의 공간패턴을 분석하는 것이 매우 중요하다고 판단된다.

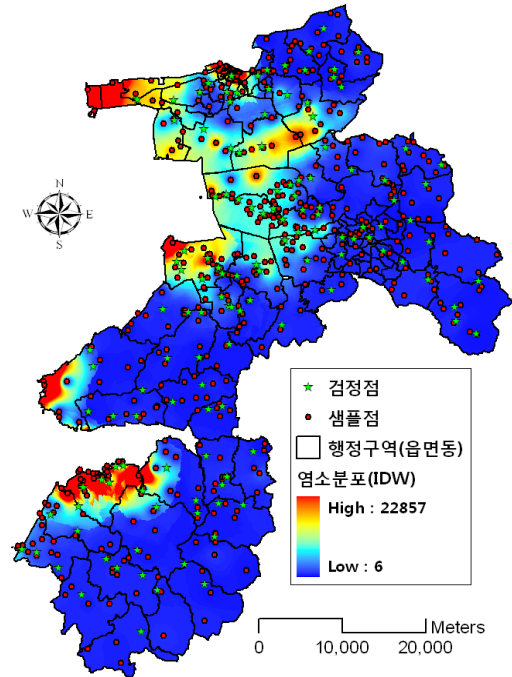


그림 4. 샘플점을 이용한 지하수 염소이온 분포 (IDW)

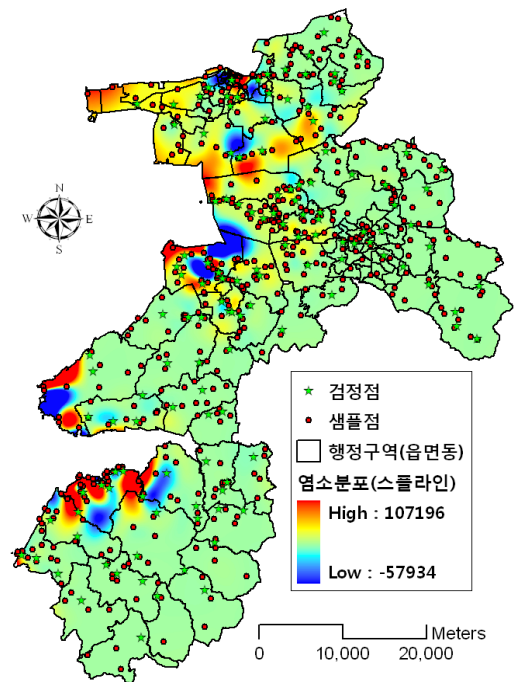


그림 5. 샘플점을 이용한 지하수 염소이온 분포 (스플라인)

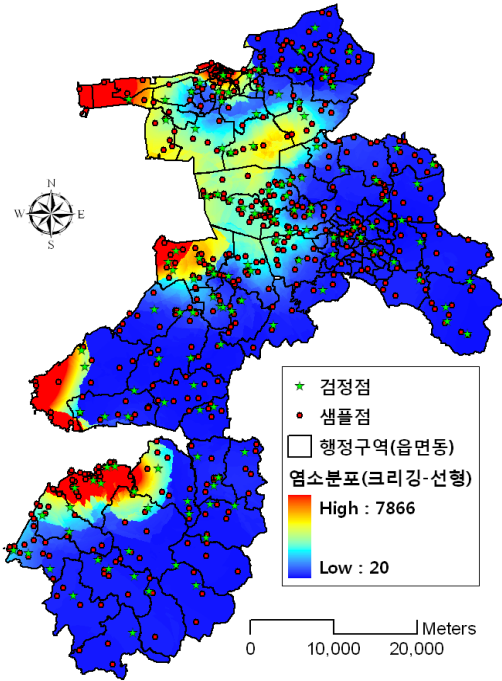


그림 6. 샘플점을 이용한 지하수 염소이온 분포 (크리깅-선형)

표 2. 공간 보간법 오차 분석(단위:mg/l)

보간법	최소	최대	평균	표준편차	
IDW	0	2,962	134	277	
스플라인	0	3,579	313	676	
크리깅	선형	0	3,801	307	623
	원형	0	3,813	301	606
	구형	0	3,816	299	600
	지수형	0	3,803	306	620
	가우시안형	0	4,924	348	738

4. 적용 및 분석결과

4.1 지하수 염소이온 분석

전라북도 서해안 지역의 염소이온 농도 분포를 추정하기 위해 135개 검정점을 활용한 오차분석을 실시하였으며, 이를 통해 IDW 보간법을 염소이온 농도 추정을 위한 가장 적합한 공간 보간법으로 선정하였다. 최종적으로 전라북도 서해안 지역의 염소이온 농도 분포를 분석하기 위해 샘플점 485개와 검정점 135개를 포함한 총 620개의 지하수 관정별 염소이온 농도 자료를 이용하였으며, 공간보간법으로는 IDW 보간법을 이용하였다. 대상지역에 대한 염소이온 농도 분석결과, 최

소값과 최대값이 각각 6mg/l와 22,857mg/l로 나타났으며, 평균값과 표준편차는 각각 276mg/l와 630mg/l로 분석되었다.

우리나라는 1963년 처음으로 수도법에 근거하여 『수도법에 의한 수질기준·수질검사방법·건강진단 및 위생상에 관한 규정』으로 먹는물의 수질기준이 설정되었고 1980년대 말까지는 큰 변동이 없었다. 그러나 우리나라도 각종 산업이 발달하면서 하천이 급격히 오염되기 시작하여 상수원인 낙동강, 영산강 등의 강 하류지역의 수질은 3급수 이하로 되어서 일반적인 정수처리 방법으로는 양질의 물을 생산할 수 없게 되었다. 또한 1989년 이후 매년 중금속, 트리할로메탄, 페놀, 디클로로메탄 등의 수돗물 오염사고가 발생하여 정부도 수돗물의 수질을 개선하기 위하여 상수원의 변경, 광역상수도의 확충, 기존 정수장에서의 시설개선, 고도정수처리 시설의 도입 등 많은 노력을 기울여 수돗물의 수질은 상당히 개선되었다. 먹는물 수질기준 외에 오염될 가능성이 높은 유해물질에 대해 먹는물 수질감시항목 제도를 도입하여 모니터링을 실시하고 있다. 먹는물 및 먹는샘물에 대한 수질기준은 『먹는물수질기준및감사등에 관한규칙』 환경부령 제210호에서 정하고 있으며, 이 기준에 의한 먹는물의 수질기준 중 염소이온은 250mg/l 미만으로 확보하도록 되어 있다(<http://likms.assembly.go.kr/law/jsp/LawSrch.jsp>). 또한 공업용수의 염소이온 농도는 500mg/l 미만으로 확보하도록 규정되어 있다.

따라서 본 연구에서는 생활농업·공업용수 수질기준의 영향을 검토하기 위해 염소이온 농도의 구간을 250mg/l 미만, 250~500mg/l 그리고 500mg/l 초과 지역으로 나누어 그림 8과 같이 제작하였으며, 각 염소이온 농도 구간별 면적 특성은 표 3과 같다. 분석결과 먹는물 수질기준을 만족하는 250mg/l 미만인 구간에서 균산시가 44.4%로 가장 낮은 점유면적을 나타내었으며, 고창군이 87.0%로 가장 높은 점유면적을 보였다. 김제시와 부안군은 각각 78.9%와 77.6%로 비교적 높은 비율을 나타내었다. 따라서 대상지역 중 균산시는 먹는물 수질기준에 부합하지 않은 지역이 55.6%로 김제시, 부안군 그리고 고창군에 비해 매우 높은 특성을 보였으며, 이는 균산시가 해수침투에 의한 영향이 다른 지자체에 비해 큰 것을 의미하며, 먹는물 수질기준에 부합하지 않은 균산시 읍면동 지역에 대해서는 향후 생활용수 공급을 위한 대책 마련이 필요할 것이다.

먹는물 수질기준에는 벗어나 있지만 공업용수로 활용가능한 250~500mg/l 구간에서는 고창군이 5.2%로 가장 낮게 나타났으며, 균산시가 14.4%로 가장 높게 나타났다. 공업용수로도 활용이 제약되어 있는 500mg/l

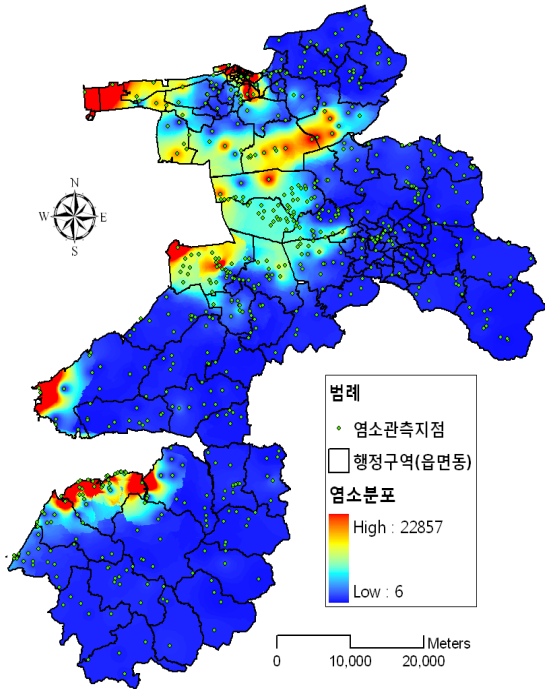


그림 7. 지하수 염소이온 분포

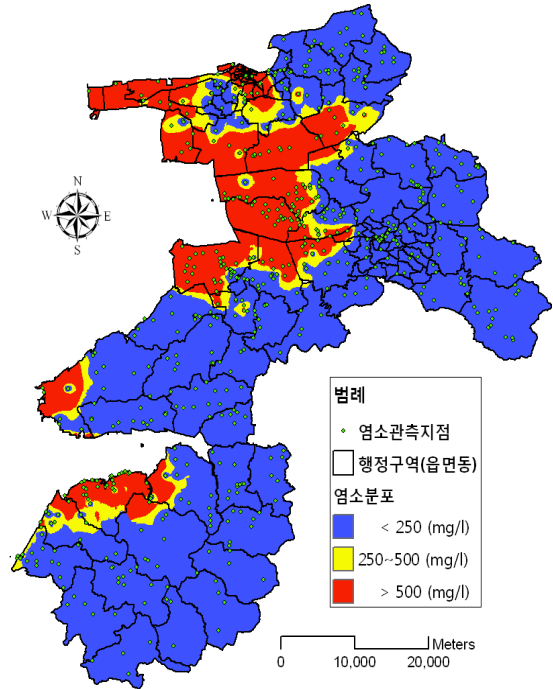


그림 8. 수질기준 구간별 염소이온 분포

표 3. 수질기준 구간별 염소이온 농도 분석(단위:km²)

구 분	< 250mg/l	250~500mg/l	> 500mg/l	합 계
군산시	173.099 (44.4%)	56.365 (14.4%)	160.536 (41.2%)	390.000 (100.0%)
김제시	430.386 (78.9%)	27.443 (5.1%)	87.171 (16.0%)	545.000 (100.0%)
부안군	382.809 (77.6%)	26.891 (5.5%)	83.300 (16.9%)	493.000 (100.0%)
고창군	528.767 (87.0%)	31.448 (5.2%)	47.785 (7.8%)	608.000 (100.0%)
합 계	1515.061 (74.4%)	142.147 (7.0%)	378.792 (18.6%)	2,036.000 (100.0%)

초과 구간에서는 고창군이 7.8%로 가장 낮게 나타났으며, 군산시가 41.2%로 가장 높게 나타났다. 따라서 군산시는 김제시, 부안군, 고창군에 비해 해수침투로 인해 농업용수로도 부합하지 않은 염소이온 농도 면적이 각각 2.6배, 2.4배 그리고 5.3배 큰 것으로 분석되었다. 이러한 자료에 기초해 볼 때, 향후 군산시는 먹는물 기준에 부합하는 250mg/l 미만 지역인 44.4% 지역을 제외한 55.6% 지역에 대한 세부적인 위치를 파악하고, 이들 지하수의 현실적인 이용방안을 수립하거나 혹은 해수침투 지역에 대한 저감대책 업무에 활용해야 될 것이다.

4.2 군산시 행정구역별 지하수 염소이온 분석

본 연구에서는 해수침투에 의한 염소이온 농도가 가장 높게 나타난 군산시에 대해 읍면동별로 영역격자 (Zone Grid)를 지정하여 IDW 보간법에 의한 읍면동별 염소이온 농도를 계산하였다. 또한 먹는물과 농업용수 수질기준을 구간별로 분석하여 읍면동별 점유면적을 계산하였다.

그림 9는 군산시의 염소이온 농도 분포도이며 표 4는 읍면동별 염소이온 농도에 대한 통계특성을 분석하여 정리한 것이다. 군산시의 염소이온 농도는 최소값이 6mg/l, 최대값이 7720mg/l, 평균값이 541mg/l 그리고 표준편차가 621mg/l로 나타났다. 군산시의 평균 염

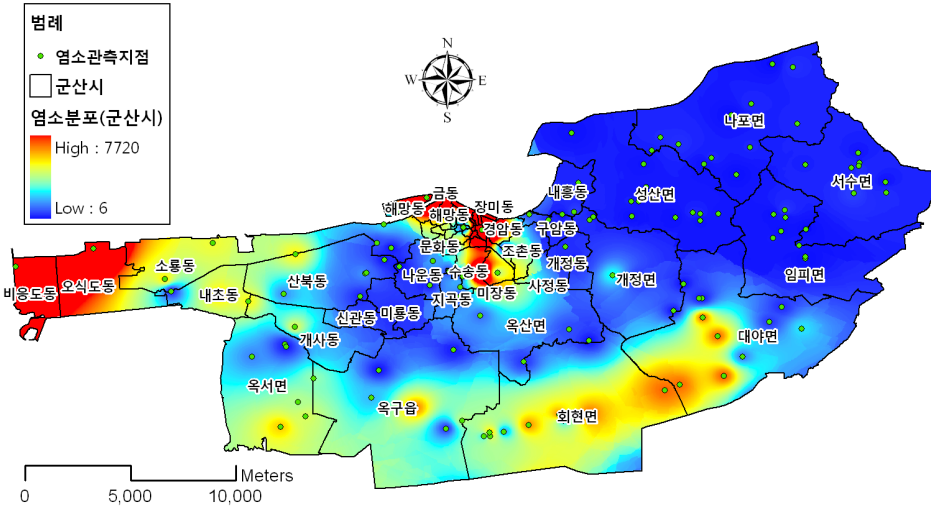


그림 9. 군산시 염소이온 농도 분포

표 4. 군산시 읍면동별 염소이온 분석(단위:mg/l)

구 분	최소	최대	평균	표준편차	구 분	최소	최대	평균	표준편차
임피면	7	371	57	48	사정동	92	1,225	470	265
신흥동	1,378	2,341	1,780	217	신관동	73	494	182	103
금 동	1,423	2,930	2,140	310	개사동	118	1,182	524	227
월명동	928	1,654	1,281	131	개정면	12	650	195	120
오식도동	226	3,200	1,962	684	성산면	14	466	39	30
삼학동	310	1,944	984	247	나포면	9	86	45	12
금광동	789	1,121	991	74	옥서면	12	1,310	720	278
신평동	933	1,152	1,034	46	회현면	28	1,608	937	325
송풍동	757	1,484	1,018	166	내초동	58	1,260	929	247
선양동	151	618	389	114	나운동	6	776	210	146
둔율동	168	1,155	377	203	내흥동	16	257	79	50
서수면	7	124	53	15	소룡동	21	2,146	874	390
해망동	530	3,972	2,054	986	지곡동	38	856	310	85
중앙로1가	941	1,681	1,335	158	수송동	90	4,611	1,461	945
영화동	1,467	1,933	1,667	98	문화동	221	1,055	673	192
장미동	1,240	2,206	1,798	185	옥산면	24	1,622	404	249
중앙로2가	350	2,826	1,251	537	미장동	827	4,243	1,532	587
영 동	1,221	1,663	1,378	112	명산동	635	1,189	881	135
신영동	2,026	5,226	2,796	693	구암동	16	624	99	86
죽성동	1,371	2,116	1,735	201	비응도동	1,768	3,300	2,636	403
평화동	1,473	3,895	2,406	576	신창동	948	1,626	1,301	170
중앙로3가	1,336	4,630	2,974	761	미룡동	70	320	124	61
대명동	3,292	7,721	5,849	1,157	대야면	14	1,622	607	436
장재동	1,815	5,776	3,507	969	옥구읍	24	1,495	605	269
미원동	147	2,707	1,028	590	동흥남동	1,491	3,866	2,460	533
중 동	2,936	6,258	4,258	670	오룡동	586	1,012	881	98
금암동	2,153	5,819	3,226	687	산북동	24	1,182	464	278
조촌동	39	1,237	628	330	서흥남동	522	1,968	956	360
경장동	62	3,928	998	750	개복동	602	1,138	873	111
경암동	281	7,621	2,326	1,573	송창동	502	870	652	91
개정동	13	257	109	45	창성동	330	1,004	621	158

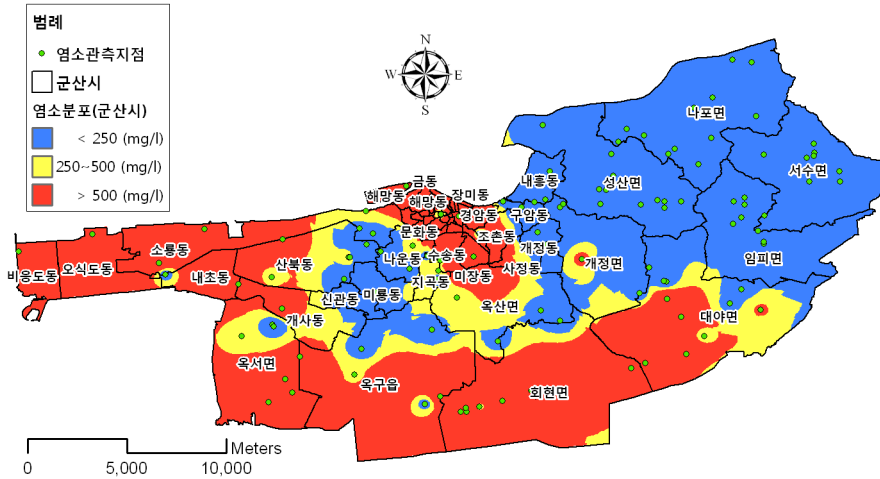


그림 10. 수질기준 구간별 군산시 염소이온 분포

표 5. 군산시 읍면동의 수질기준 구간별 염소이온 분석(단위:km²)

구 분	< 250mg/l	250~500mg/l	> 500mg/l	합 계	구 분	< 250mg/l	250~500mg/l	> 500mg/l	합 계
임피면	22.869	0.358	-	23.227	사정동	0.445	0.855	0.868	2.168
신흥동	-	-	0.158	0.158	신관동	2.353	0.616	-	2.968
금 동	-	-	0.302	0.302	개사동	1.019	3.506	4.051	8.576
월명동	-	-	0.305	0.305	개정면	13.214	4.226	0.386	17.827
오식도동	0.002	0.145	9.835	9.982	성산면	28.596	0.203	-	28.799
삼학동	-	0.008	0.304	0.312	나포면	32.833	-	-	32.833
금광동	-	-	0.125	0.125	옥서면	1.018	4.569	16.425	22.011
신흥동	-	-	0.163	0.163	회현면	1.486	3.520	35.575	40.579
송풍동	-	-	0.420	0.420	내조동	0.162	0.375	5.153	5.689
선양동	0.011	0.055	0.015	0.079	나운동	2.959	1.216	0.265	4.439
둔율동	0.016	0.024	0.012	0.052	내흥동	3.944	0.017	-	3.962
서수면	25.637	-	-	25.637	소룡동	1.535	2.326	13.239	17.101
해망동	-	-	1.650	1.650	지곡동	0.295	1.551	0.038	1.884
중앙로1가	-	-	0.090	0.090	수송동	0.109	0.246	1.929	2.284
영화동	-	-	0.091	0.091	문화동	0.048	0.059	0.604	0.711
장미동	-	-	0.291	0.291	옥산면	4.815	8.799	4.095	17.708
중앙로2가	-	0.006	0.094	0.101	미장동	-	-	1.509	1.509
영 동	-	-	0.018	0.018	명산동	-	-	0.077	0.077
신영동	-	-	0.107	0.107	구암동	1.853	0.122	0.010	1.984
죽성동	-	-	0.040	0.040	비응도동	-	-	5.413	5.413
평화동	-	-	0.034	0.034	신창동	-	-	0.067	0.067
중앙로3가	-	-	0.037	0.037	미룡동	3.702	0.441	-	4.142
대명동	-	-	0.220	0.220	대야면	10.568	10.628	18.615	39.811
장재동	-	-	0.088	0.088	옥구읍	6.170	6.736	27.643	40.548
미원동	0.010	0.020	0.105	0.133	동흥남동	-	-	0.272	0.272
중 동	-	-	0.185	0.185	오룡동	-	-	0.158	0.158
금암동	-	-	0.211	0.211	산북동	3.656	5.080	5.441	14.177
조촌동	0.489	0.518	1.764	2.770	서흥남동	-	-	0.272	0.272
경장동	0.050	0.090	0.379	0.519	개복동	-	-	0.047	0.047
경암동	-	0.029	1.263	1.291	송창동	-	-	0.036	0.036
개정동	3.240	0.005	-	3.246	창성동	-	0.016	0.047	0.062

소이온 농도인 541mg/l는 공업용수 수질기준에도 미달하는 수치로서, 따라서 군산시는 해수침투로 인해 지하수의 염소이온 농도가 매우 심각한 수준임을 알 수 있다.

군산시 읍면동별 염소이온 농도를 분석한 결과, 서해안에 인접되어 있는 대명동, 중동, 장재동, 금암동의 평균 염소이온 농도가 각각 5849mg/l, 4258mg/l, 3507mg/l, 3226mg/l로 매우 높게 나타났다. 반면 성산면, 나포면, 서수면, 임피면이 각각 39mg/l, 45mg/l, 53mg/l, 57mg/l로 매우 낮게 나타났다. 성산면과 나포면은 북쪽 지역이 강과 접해 있지만 금강하구둑 상류의 담수의 영향으로 해수침투에 의한 영향은 없는 것으로 분석되었다. 회현면과 대야면은 남쪽으로 만경강과 인접해 있으며 이 지역의 평균 염소이온 농도는 각각 937mg/l과 607mg/l로서 공업용수 수질기준에도 미달하는 것으로 분석되었다. 이 두 지역은 서해안과 만경강이 인접되어 있으며, 내륙 상당부분까지 해수침투에 의한 영향이 크게 나타났다. 따라서 이 지역은 지하수 개발시 염소이온 농도가 매우 높을 것으로 예상되므로 지하수 개발을 통한 수자원 확보는 가급적 자제하는 것이 바람직할 것이다.

그림 10은 수질기준 구간별로 분석한 군산시의 염소이온 농도 분포도이며 표 5는 군산시 읍면동의 수질기준 구간별 염소이온 농도에 대한 점유면적을 분석한 것이다. 분석결과 임피면, 서수면, 개정동, 성산면 그리고 나포면의 대부분 지역들은 250mg/l 미만으로서 먹는물 수질기준을 만족하는 것으로 나타났으나, 신흥동을 비롯한 29개 읍면동 지역은 500mg/l을 초과하여 공업용수 수질기준에도 미달하는 하는 것으로 분석되었다. 따라서 군산시는 금강하구둑 상류부에 위치하고 있는 읍면동을 제외하고는 서해안의 해수침투로 인해 염소이온 농도가 매우 높게 분포하는 것으로 나타났으며, 향후 군산시에서는 이러한 염소 분포특성 자료에 기초하여 지하수 개발 업무에 활용하거나 혹은 정수장을 통한 용수 확보 방안을 마련하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 전라북도 서해안 지역을 대상으로 해수침투에 의한 염소이온 농도 분포특성을 GIS 공간 보간법을 이용하여 분석한 결과 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1) 485개 지하수 관정의 염소이온 농도 자료를 이용하여 공간 보간법의 오차특성을 분석한 결과 IDW 방

법이 해수침투에 의한 염소이온 농도를 추정하는데 가장 적합한 것으로 나타났다.

2) 대상지역의 평균 염소이온 농도를 분석한 결과, 군산시가 541mg/l로서 공업용수 수질기준에도 미달하는 것으로 나타났다. 그리고 김제시와 고창군은 먹는물 수질기준을 만족하는 것으로 나타났으며 부안군은 272mg/l로서 먹는물 수질기준에 약간 미달하는 것으로 분석되었다. 또한 먹는물 수질기준(250mg/l 미만), 공업용수 수질기준(250~500mg/l), 공업용수 수질기준 미달(500mg/l)에 대한 군산시의 점유비율은 각각 44.4%, 14.4%, 41.2%로서 다른 지방자치단체에 비해 해수침투에 의한 영향이 큰 것으로 나타났다.

3) 행정구역별 분석에서 군산시는 서해안에 접해 있는 대명동, 중동, 장재동, 금암동의 평균 염소이온 농도가 매우 높게 분석되었으며, 만경강과 접해 있는 회현면과 대야면도 공업용수 수질기준에도 미달하는 등 전반적으로 해수침투에 의한 영향이 큰 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 『2011년 위성정보 공공활용사업』 일환으로 수행되었으며 연구비를 지원해주신 항공우주연구원과 자료를 제공해주신 『전북보건환경연구원』에 감사드립니다.

참고문헌

1. 건설교통부, 2002, “폐물관리통합지침”.
2. 건설교통부, 2000, “지하수 정보관리시스템 유지보수 보고서”, p.162.
3. 건설교통부, 2003, “국가지하수 정보센터 설치·운영 계획보고서”, p.65.
4. 김경호, 장창덕, 2007, “충상 해안대수층에서 해수침투 특성에 대한 정성적 고찰”, 건설기술논문집, 제26권, 제2호, pp.57-70.
5. 김규범, 손용철, 김종욱, 김대호, 이창원, 김양희, 2006, “지하수 정보관리체계 고찰 및 Web-GIS 기반의 국가지하수정보지도 구축 모형”, 한국지리정보학회지, 제9권, 제3호, pp.107-122.
6. 김만규, 2001, “GIS를 이용한 지하수개발 설계지원시스템”, 한국GIS학회지, 제9권, 제2호, pp.207-225.
7. 농림수산식품부, 2008, “해수침투조사사업 보고서”, p.699.
8. 이명재, 이진용, 목종구, 여인옥, 이강근, 박유철, 안경환, 원종호, 2007, “다중 추적자 시험을 통한 폐공의 지하수 오염가능성 평가”, 대한지질학회, 제43권, 제2호,

- pp.241-252.
9. 이사로, 김용성, 원종호, 2006, "GIS 및 원격탐사를 이용한 포항시 지하수 잠재가능성도 작성 및 검증", 한국 GIS학회지, 제14권, 제1호, pp.115-128.
 10. 장정욱, 윤여진, 1995, "지하수 개발후 폐공발생시의 처리방법에 관한 연구 보고서", 대한주택공사.
 11. 전라북도 보건환경연구원, 2009, "전라북도 보건환경연구원보", 제17권, pp.151-178.
 12. 조시범, 손호용, 2004, "지하수오염 예측을 위한 GIS 활용연구", 지구물리, 제7권, 제2호, pp.121-134.
 13. 최선영, 황세호, 박권규, 신제현, 윤왕중, 2004, "해수침투 조사자료의 통합적 해석을 위한 GIS의 적용", 한국 GIS학회지, 제12권, 제3호, pp.49-60.
 14. 함태성, 2010, "지하수의 체계적 보전관리를 위한 입법적 검토", 환경법연구, 제32권, 제1호, pp.475-507.
 15. 환경부, 2001, 먹는물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙, <http://likms.assembly.go.kr/law/jsp/LawSrch.jsp>.
 16. Bear, J., 1979, "Hydraulics of groundwater", McGraw-Hill.
 17. Cruz, J.V. and Silva, M.O., 2000, "Groundwater salinization in Pico Island(Azores, Portugal): origin and mechanics", Environmental Geology, Vol.39, pp.1181-1189.
 18. Fetter, C.W., 1994, "Applied Hydrogeology(3rd Ed.)", Macmillan.
 19. Zhou, X., M. Chen, X. Ju, X. Ning and J. Wang, 2000, "Numerical simulation of sea water intrusion near Beihai, China", Environmental Geology, Vol.40, pp.223-233.