

염/담수 분포특성을 이용한 해수침투보호구역 설정

황세호, 신제현, 박권규, 박윤성*, 이상규

한국지질자원연구원, *충남대학교 (hwangse@kigam.re.kr)

<요약문>

본 논문에서는 국내의 서·남해 연안지역에서 광범위하게 발생하고 있는 해수침투의 확산방지를 위하여 해수침투보호구역이라는 개념을 소개한다. 해수침투보호구역을 설정하기 위해서는 해당 지역 해수침투대의 고분해능 염분농도분포가 필요하며 이와 같은 염분농도분포도는 물리탐사 기술로 작성이 가능하다. 전남 영광지역에서 물리탐사 기술로 작성한 해수침투대의 고분해능 염분농도 분포도는 시험시추 결과, 매우 신뢰성이 높았으며 염분농도의 공간적인 분포도에서 해수침투로 인한 지하수 개발 제한지역, 보호구역 등에 대한 설정이 가능하였다. 향후, 해수침투의 확산방지와 지속적인 지하수의 개발이 가능한 해수침투보호구역설정에 대한 후속적인 조치가 필요할 것으로 판단된다.

주요어 : 해수침투, 염/담수 경계, 염분분포도, 해수침투보호관리구역

1. 서론

연안지역에서 사회활동이 증가함에 따라서 인구의 증가는 물론 생활의 영위와 유지·발전에 필수적인 각종 수자원 및 시설물의 확보, 그리고 생태 시스템의 유지 등이 매우 중요한 문제로 부각되고 있다. 특히, 해안지역의 경우, 지표수는 물론 지하수 자원의 안정적인 확보는 매우 어려운 문제로 국가적인 차원에서 수자원에 대한 관리가 필수적이다. 연안지역에서 부족한 수자원의 확보 방법 중의 하나로 지하수를 개발·이용하는데 해안에서 내륙으로 수 km 이상까지 해수침투대가 존재하여 필요한 지하수의 확보에 많은 어려움이 따른다. 해수침투는 증발산량에 의한 지하수면의 변화, 조석의 영향, 기후이상(지구 온난화)으로 인한 해수면 상승 등과 같은 자연적 요인과 연안지역에서 무분별한 지하수 개발에 따른 지하수위 하강 및 지하수의 고갈 등과 같은 인위적 요인에 의해 담수 지하수계로 염수가 침입하여 발생한다. 해수침투로 인해 지하수 개발이 불가능한 경우에는 내륙에서 연안지역까지 각종 용수공급을 위한 관개로 시설공사나 염수의 담수화 같은 시설이 필요하며 따라서 막대한 비용과 시간이 소요된다. 더욱이, 해수침투로 염수화된 지역의 피해개선에는 천문학적 비용과 장기간의 복구기간이 소요되며 해수침투는 광범위하게 발생하기 때문에 완벽한 복구는 현실적으로 불가능하다. 본 논문에서는 매우 광범위하게 발생하는 해수침투를 보다 효과적으로 관리할 수 있는 방법 중의 하나로 해수침투보호구역이란 개념을 제시하며 이와 같은 개념은 해수침투 특성을 고려하여 연안지역에서의 지하수 개발이나 이용시 제한적인 행위 설정에 이용될 수 있다.

2. 본 론

서-남해 연안지역에 대한 광역 해수침투 조사 목적으로 해안에서 10 km 이내에 위치하는 지하수 관정에 대한 수리지화학분석 결과, 현재 전체 관정 중에서 약 47 % 정도가 해수의 영향을 받는 것으로 나타났다(황세호 등, 2003a; 그림 1 참조). 연안 지역에서 관정 개발시, 염수가 나올 경우 폐공되는 관정이 많은 점을 고려하면 실제적으로 해수침투의 영향을 받는 범위는 더 큰 것으로 판단된다.

따라서 연안지역에서의 지속적인 담수 지하수 개발에는 해수침투의 확산을 최소화하면서 지하수 자원을 안정적으로 확보할 수 있는 기술개발이 매우 중요하다. 일례로, 연안지역과 접하고 있는 지방자치단체에서 지하수자원의 확보를 위한 지하수 개발과 관련된 업무 중에서 가장 큰 애로점은 어느 지역까지 지하수의 개발이 가능한지, 가능하다면 어느 정도나 지하수를 이용해야 염수 지하수공의 발생을 예방할 수 있는지 등과 같은 매우 현실적인 문제들이다. 그럼에도 불구하고, 현재 연안지역에서 이용하고 있는 많은 관정들은 경험적으로 개발·운영되는 관정들로서 이들의 개발에 있어 염/담수의 분포 지역 등에 대한 정보는 지역 주민들이나 관정 개발 업체의 경험에 전적으로 의존하고 있다고 해도 과언이 아니다.

한편, 관정이 부족한 경우 염/담수 분포에 대한 공간적인 특성에 대한 정보는 관정위치 선정에 효과적으로 이용될 수 있다. 즉, 황세호 등(2003b)은 수리지화학 분석 결과에서 대수층 지하수의 전기전도도와 등가염분농도와의 관계식을 유도하고 전기비저항탐사 자료와 공극검층자료를 이용하여 대수층의 염분농도를 추정하기도 하였다(그림 2 참조).

실제 이와 같은 시도는 넓은 지역에 대한 해수침투 특성을 신속하게 평가할 수 있는 장점이 있다. 그림 2는 광역적인 해수침투 가능분포도로서 염/담수의 정확한 경계면 파악은 어렵지만 한 지역의 해수침투 분포 특성을 신속하게 파악하는 데에는 매우 효과적이다. 현재, 국내의 경우 그림 2와 같은 해수침투가능 분포도는 서-남해의 총 9개 지역(당진, 김제, 무안, 영광, 해남, 장흥, 고흥, 하동, 김해)에 대해 평균 12×8 km의 크기로 작성되어있다. 그러나 이와 같은 결과

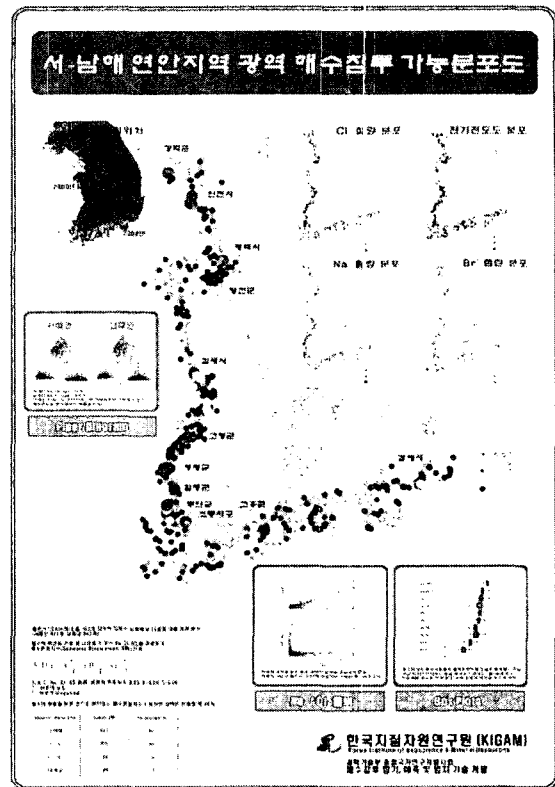


그림 1. 수리지화학 조사법으로 작성한 서-남해 지역 해수침투가능 분포도.

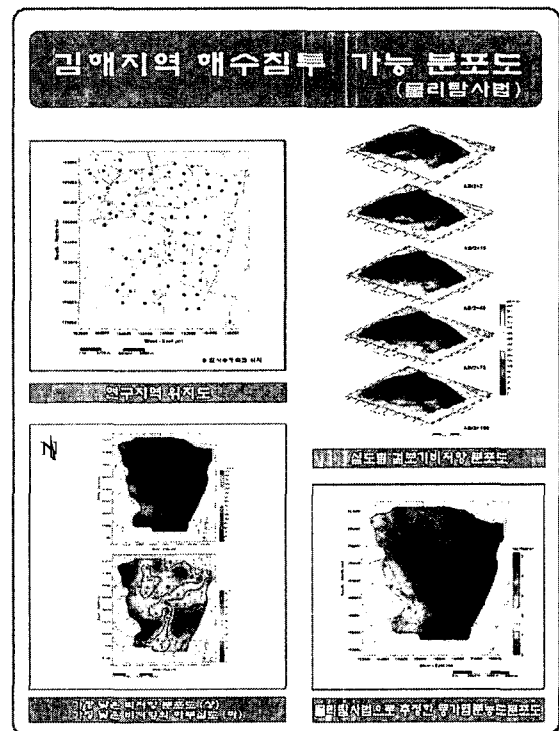


그림 2. 물리탐사법으로 작성한 해수침투가능 분포도 (김해지역).

는 광역적인 개념에서의 해수침투 특성 파악에는 이용 가능하지만 보다 현실적으로 이용하기 위해서는 보다 적극적인 행위가 필요하다.

미국의 경우, 연안 지역에서의 해수침투 방지를 목적으로 해수침투보호구역(Seawater Intrusion Protection Zones; SIPZ)을 설정, 법으로 시행하고 있는데 그 기준은 지하수 내에 Cl의 함량이다. 즉, Cl의 양을 기준으로 100 - 200 ppm 인 경우는 위험, 200 ppm 이상인 경우는 매우 위험으로 분류하고 위험의 정도와 해안에서 양수정까지의 거리를 고려하여, 적정 양수량을 포함하는 세부적인 사항들을 법으로 정하여 시행하고 있다. 국내의 경우에는 지질조건, 강우 및 증발산량, 지하수 이용량 등의 차이에 따라 미국의 기준을 그대로 적용하기는 어려우나, 이러한 개념을 도입·운용하는 것은 현실적인 관점에서 의미 있다.

그림 3은 박권규 등(2004)이 전남 영광지역에서 지표 및 시추공 물리탐사를 이용하여 추정된 사질층에 대한 고분해능 염분농도 분포도이며 YK-19, YK-20 및 YK-은 탐사 결과를 이용하여 선정된 시추공 위치도이다. 그림 3의 결과는 해수침투 특성화와 관련하여 시사하는 바가 많은데, 무엇보다도 해수침투대의 등가염분농도분포도를 고분해능으로 작성했으며 시추 조사 결과, 물리탐사 결과와 매우 잘 일치한다. 그림 3에서 해칭으로 표현한 선(2.7 log10-ppm)을 담수와 혼합수의 경계로 보면 이는 NaCl 등가염분농도 농도 약 500 ppm에 해당된다. 염수 영역에 해당하는 위치에서 양수시험을 시행한 결과, 지표탐사, 물리검층, 시추공 수리시험 등의 결과가 매우 잘 일치하는 것으로 나타났다. 따라서 이 부근에서 내륙 쪽으로 일정한 거리(염분도를 고려하여 설정함)에 위치하는 영역을 해수침투보호구역 (SIPZ: Seawater Intrusion Protection Zone)으로 설정하고 이 지역 내에서는 지하수공의 개발이나 이용은 해수침투가 가중되지 않는 범위 내에서 시행될 수 있도록 해야 한다. 해수침투보호구역의 선정은 해당 당사자에게 개발 계획이나 시행 단계에 제한을 줄 수 있는 요소가 있기 때문에 민원의 발생과 생활의 불편을 최소화 할 수 있는 범위 내에서 지정해야 할 것이다. 지금까지의 연구 결과, 그림 3에서와 같은 염/담수의 경계에 대한 추정은 실질적으로 현장에 적용 가능하기 때문에 이를 토대로 해수침투보호구역을 지정·운용하는 것은 현실적으로 효과적인 방안이 된다. 그림 3의 결과를 참조할 때, 염분농도를 기준하여 농도가 500 ppm 이상인 지역은 지하수 개발 제한지역, 500 ppm 이하에서 200 ppm 구역은 해수침투보호구역으로 지정하는 것이 바람직하며, 해수침투보호구역에서 지하수 개발 및 이용 시, 수위변화와 전기전도도 (또는 염분도)를 측정하도록 하는 것이 추천된다.

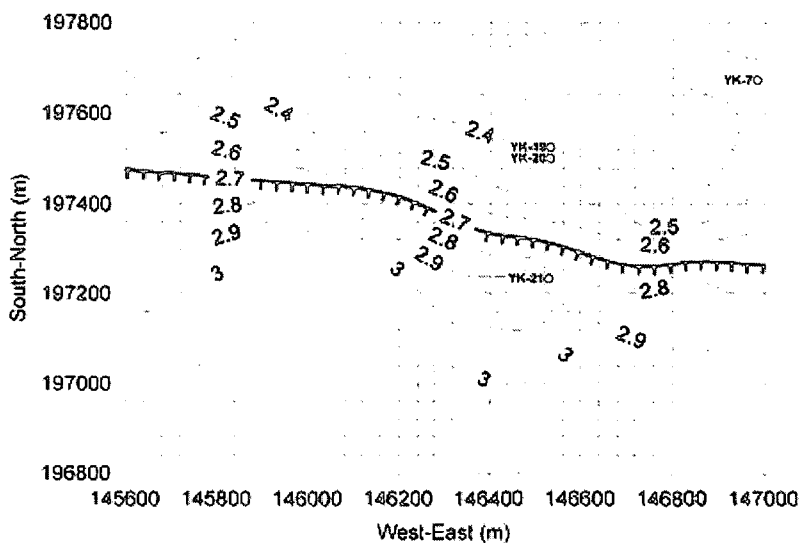


그림 3. 시추공 YK-19, YK-20 및 YK-21호공의 위치와 사질층의 등가염분농도 추정 분포도로 단위는 ppm 이며 염분도에 상용로그를 취한 값임.

3. 결론

서-남해 연안지역에서 광범위하게 발생/진행되고 있는 해수침투의 효과적인 관리를 목적으로 해수침투보호구역이란 개념을 제안하였다. 이는 무엇보다도 주요 해수침투대의 연안대수층의 염분분포도에 대한 특성화 기술이 선행되어야 하며 현장에 적용이 가능해야 한다. 본 연구에서는 물리탐사 조사를 통해 고분해능의 염/담수 영역을 영상화하고 시험시추를 통해 그 적용성을 검토하였다. 그 결과 연안지역의 수리지질학적인 선행 정보가 있는 경우, 고분해능의 염/담수 분포의 영상화가 가능하며 이와 같은 결과는 지하수 개발정책의 적지 선정에 매우 효과적으로 이용될 수 있음을 확인하였다.

따라서 본 연구에서 제시한 해수침투보호구역의 개념은 해수침투대의 확산방지와 관련하여 현실적인 방안이 될 수 있을 것으로 기대되며 향후, 해수침투대의 염분농도 특성에 따른 지하수 개발이나 이용 등에 보다 구체적인 사항이 작성되어야 할 것으로 판단된다.

사사

이 연구는 과학기술부 국책연구개발사업인 자연재해방재기술개발(M1-0324-00-0006)의 지원으로 수행되었음을 밝힙니다.

참고문헌

- 박권규, 신제현, 박윤성, 황세호, 2004, 지표 물리탐사법을 이용한 염/담수 영역의 고분해능 영상화, 한국지하수토양학회 2004 춘계학술발표회.
- 황세호 윤성택, 박인화, 신제현, 신광섭, 이상규, 2003a, 서-남해 연안지역의 광역 해수침투 특성, 한국지구시스템공학회, 2003 춘계학술발표회, p. 413.
- 황세호, 윤성택, 신제현, 이상규, 양승진, 2003b, 국내 연안지역 지하수의 전기비저항과 등가염분농도와의 관계 고찰, 한국지구시스템공학회 2003 춘계학술발표회. p153.