

실험실 모형을 이용한 지하수 해수침투현상 실험

○ 홍성훈¹⁾, 한수영²⁾, 박남식³⁾, 배상근⁴⁾

1. 서 론

지하수는 생활을 영위하기 위해 필요한 용수원 또는 하천, 습지 등 주변 생태계를 유지하는 역할 등 수자원으로서 중요한 역할을 한다. 해안지역의 경우 1인당 지하수 이용량이 261m³으로 전국 평균 65m³의 4배로서 지하수자원이 용수공급원으로 중요한 역할을 한다. 즉, 지하수자원에 대한 높은 의존도로 인해 해안 지역 지하수 개발의 무분별한 개발, 과다 사용, 오염문제 등 지하수 관리가 취약한 상태이다. 이런 해안 지하수 환경에 영향을 미치는 대표적인 환경장애는 해수침투이다. 해수침투는 지하수환경에 악영향을 미치는 6군 35종의 잠재오염원 중 비점오염원으로 분류되어있다(지하수 환경과 오염, 1994). 실제 폐관정 원인에 대한 조사 결과를 살펴보면 염도 증가로 인해 발생하는 관정의 수는 매년 증가하는 추세이다(수자원공사, 2002). 이처럼 해안 지역에서는 해수침투 현상을 유발하는 담수와 해수의 밀도차이를 고려한 지하수 흐름 모의가 필요하다. 즉, 밀도차이는 지하수 및 오염원의 흐름 경로 및 흐름 형상 등을 변화시킬 수 있는 중요한 인자이다. 근자의 연구에서는 추적자 및 대수층 속성 결정에 있어 밀도 차이의 중요성을 제시하기 위한 실험실 모형 실험(Jalbert 등, 2000), 밀도효과와 조석 변화등 해안지역 특성을 고려한 실험실 모형 실험(Inouchi 등, 2001 : Zhang 등, 2001)등 담수와 해수의 밀도차이에 따른 수리매개변수 결정, 지하수 흐름 및 오염원의 이동경로의 변화를 모의하는 실험이 수행되어졌다.

따라서, 본 연구에서는 실험실 모형을 이용하여 해안지역에서 발생하는 해수침투 현상을 실험하고자 한다. 우선 실험실 모형 제작을 위하여 실험에 관련된 기본적인 수리매개변수 측정 실험을 수행하였다. 그리고 구해진 수리상수값을 이용하여 흐름에 대한 기본적인 수치 모의 실험을 수행하였고, 그 결과로부터 실험실 모형의 보안을 통해 실험실 모형을 제작하였다. 최종적으로 해수침투 현상을 실험실 모형과 수치모형을 통하여 재현하고 비교 검토하고자 한다.

2. 실험 모형의 기본 제원

지하수 수리 모형의 크기는 192cm×160cm×53cm(가로×세로×높이)의 철제 구조로 이루어져 있으며 양쪽 측면은 육안으로 관측할 수 있게끔 유리로 제작되었다(그림 1). 또한 대수층 내 구성매체가 좌우측 담수조

1) 정희원·동아대학교 토목공학과 박사과정(051-200-6706 : wghsh72@smail.donga.ac.kr)

2) 정희원·동아대학교 토목공학과 석사과정(051-200-6706 : frogman@smail.donga.ac.kr)

3) 정희원·동아대학교 토목공학과 교수(051-200-7629 : nspark@mail.donga.ac.kr)

4) 정희원·계명대학교 토목공학과 교수(053-580-5295 : skbae@kmu.ac.kr)

및 염수조로 유입되는 것을 방지하기 위하여 조밀한 철망이 삽입되어져 있다. 좌측과 우측의 담수조와 해수조에는 각 수위를 조절할 수 있는 직경 3.8cm의 by-pass기능의 수위조절판이 있다. 이 수위 조절판을 통하여 담수위 및 해수위 경계조건인 임의의 조절이 가능하다. 하부에는 수위 측정용 밸브 및 배수 밸브들이 설치되어져 있다. 수위 측정용 밸브는 총 64개로서, 전면과 후면 가까운 곳에는 각각 10개의 측정 밸브가 설치되어져 있고 안쪽으로는 7개씩의 측정밸브가 6개 세트로 이루어져있다. 그리고 담수조와 해수조의 수위를 측정하는 밸브가 각각 1개씩 설치되어져있다. 그리고 배수 밸브로는 총 10개로, 담수조 및 해수조에 각각 5개씩 설치되어져 있다(그림2).

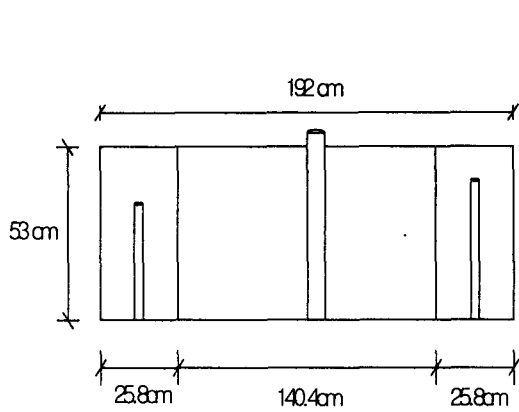


그림 1. 실험실 모형 개략도(단면도)

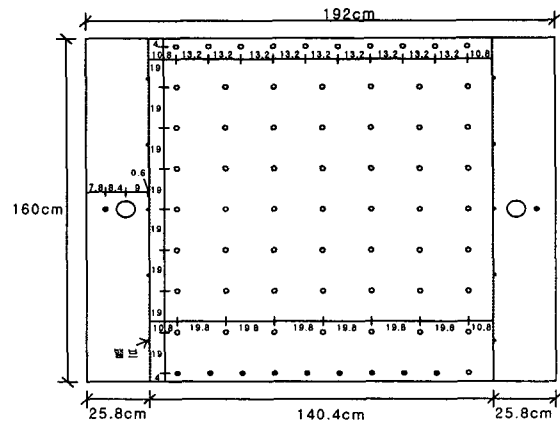


그림 2. 수위 관측 지점

3. 수리매개변수 측정

첫째로, 실험실 모형의 대수층을 구성하고 있는 모래의 입도 분석을 수행하였다. 7개의 표준체를 사용하여 (#4, #10, #20, #40, #60, #100, #200) 체가름 실험을 하였다. 분석결과 본 실험에 사용된 대수층 매체 모래의 평균입경(d_{50})은 약 0.47mm이고, $d_{60}=0.49mm$, $d_{10}=0.28mm$ 로 조사되었고 균등계수(Uniform coefficient) $C_u(=d_{60}/d_{10})$ 는 1.75로서 빈입도 분포(poorly graded sand)를 나타내고 있다(DAS, 1994). 즉 대수층 매체로 사용된 모래의 입도 분포는 불량하지만 입도는 균등(well-sorted sand)한 것으로 조사되었다.

둘째로, 대수층의 가장 중요한 수리매개변수인 수리전도도 측정 실험을 수행하였다. 현장에서는 양수시험 혹은 slug test 등을 통하여 수리전도도를 구하지만 본 실험에서는 담수의 유출량 실험을 이용하였다. 정상상태 비피압대수층에서의 이론적 수위값과 비교하기 위하여 양쪽 저수조 2곳과 대수층 내 9곳의 수위를 관측하였다(그림 2, • 지점). 수위 관측값의 비교를 위한 수학적 모델은 비피압 대수층에서의 1차원 정상상태 흐름을 고려하였다. 지배방정식은 1차원 Laplace equation이고, 경계조건으로는 $x=0$ 에서 $h=h_1$, $x=L$ 에서 $h=h_2$ 이다. 경계조건을 이용하여 지배방정식을 풀고 수위에 대한 식으로 나타내면 식 1과 같다.

$$h = \sqrt{h_1^2 + \frac{(h_2^2 - h_1^2)}{L} \cdot x} \quad (1)$$

1차원 정상상태 흐름에서 거리 x에 따른 수위값과 관측값을 비교하였다(그림 3).

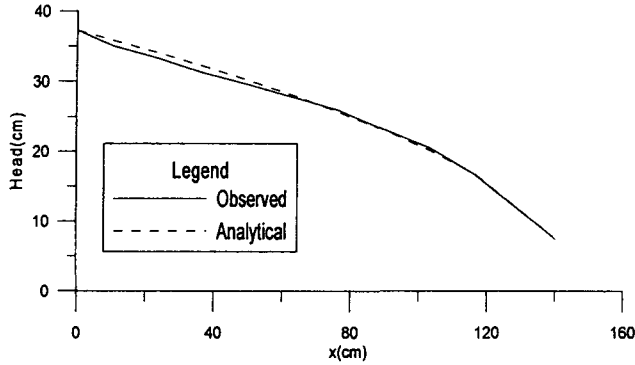


그림 3. 수위 비교

유출량 실험은 상기 결과를 토대로 본 실험의 지하수 흐름이 정상상태에 도달하였다는 가정하에 수행되었다. 유출량은 정상상태 도달 후 배수탱크에서 부피측정법에 의해 측정되었다. 유출량이 많지 않았기에 사용된 부피 측정용 기구로는 1000ml 메스실린더와 초시계를 사용하였다. 관측된 유량을 이용하여 실험 탱크 내 대수층을 구성하고 있는 모래 매질의 수리전도도를 산정하였다. 관측된 유량이 정상상태에서 유출된 유출량이라면 식 2를 이용하여 수리전도도를 구할 수 있다.

$$Q = -K \left[\frac{h_2^2 - h_1^2}{2L} \right] \cdot B \quad (2)$$

표 1. 수리전도도 값

	구성매체	수리전도도(cm/s)
한정상(1998)	모래	$4.7 \times 10^{-3} \sim 0.14$
	quick sand	$2.4 \times 10^{-3} \sim 0.38$
	사구	$4.7 \times 10^{-3} \sim 0.24$
DAS(1994)	Coarse Sand	0.01 ~ 1.0
	Fine Sand	0.001 ~ 0.01
Fetter(1994)	silty sands, fine sands	$1.0 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-3}$
	well-sorted sands	$1.0 \times 10^{-3} \sim 1.0 \times 10^{-1}$

여기서 $Q=5.22 \times 10^{-5}$ m³/sec , $h_1=0.372$ m , $h_2=0.074$ m, $L=1.404$ m, $B=1.5702$ m이다. 구해진 수리전도도 $K=7.024 \times 10^{-4}$ m/s = 7.024×10^{-2} cm/s이다. 이 값은 일반적으로 제시되어지는 모래의 수리전도도 범위내에 속하지만, 그 범위 내에서도 큰 편인 것으로 조사되었다.(표 1)

3. 실험 모형

그림 4는 구해진 수리매개변수 및 유출량 등을 고려하여 제작된 해수침투 실험 모형도이다. 입도 분석에 의하여 본 실험에서 수행될 대수층 매체의 평균입도크기는 0.47mm이고, 유출량 실험을 통해 구해진 대수층의 수리전도도는 7.024×10^{-2} cm/s이다. 그리고 염수의 비중값은 1.1이고, 수치 모의 실험에 의해 결정된 염수 공급 고수조의 규모는 94 l ~ 141 l 이고, 담수 및 염수 저수조의 규모는 대략 141 l ~ 282 l 로 조사되었다.

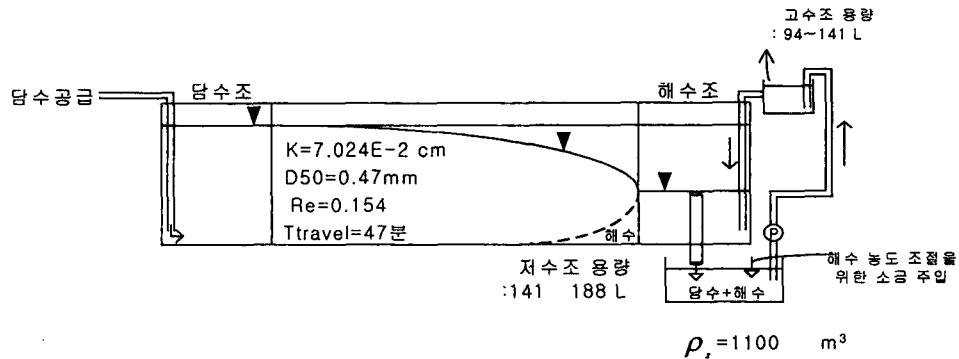


그림 5. 실험 모형도

4. 결론

본 연구에서는 다양한 경계조건에 대하여 실험실 모형을 이용한 해수침투 현상 재현 및 관측을 실험하고자 하였다. 담수위와 해수위의 변화, 그리고 해수밀도의 변화 등 다양한 조건에서 해안 대수층 내 지하수 흐름 거동을 살펴보고 관측하였다.

실험실 모형을 이용한 해수침투 현상 실험에서는 담수와 해수의 밀도 차이가 중요한 인자이다. 즉, 해수의 염분 농도에 따라 해안 대수층 내 지하수 흐름이 상이함을 관측할 수 있었다. 또한 해수위 및 담수위 경계 조건 역시 해수침투 현상에 영향을 미치는 중요한 인자이다. 다시 말하면, 해안으로의 지하수 유출량에 따라 해수침투 거동은 달라지는 것을 관측할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(3-3-1)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 한국수자원공사(2002) 지하수세상, <http://groundwater.kowaco.or.kr/>.
2. 한정상(1998), 지하수환경과 오염, 전영사, pp. 677-679.
3. Das, B.M. (1994). **Principles of Geotechnical Engineering**. PWS, pp. 23-24.
4. Fetter, C.W. (1994). **Applied Hydrogeology**, Prentice Hall, pp. 98
5. Inouchi, K., and T. Kakinuma. (2001). "Unsteady-state behavior of coastal groundwater : a sand tank experimnet", *Japanese Journal of Limnology*, Vol. 62, No. 1, pp. 41-50.
6. Jalbert, M., J. H., Dane., L. M. Abriola., and K. D. Pennell. (2000). " A nondimensional evaluation of tracer sensitivity to sensity effects", *Ground Water*, Vol. 38, No. 2, pp. 226-233.
7. Zhang, Q., R. E. Volker., and D. A. Lockington. (2001). " Influence of seaward boundary condition on contaminant transport in unconfined coastal aquifers", *Journal of Contaminant Hydrology*, Elsevier, Vol. 49, No. 1, pp. 201-215.