

ORIGINAL ARTICLE

해안지역 안정적 수자원 확보를 위한 기초적 연구

고병련 · 오영훈* · 안승섭¹⁾

제주국제대학교 토목공학과, ¹⁾경일대학교 건설공학부

Basic Study for Securing Stable Water Resources in Coastal Area

Byoung-Ryoun Koh, Young-Hun Oh*, Seung-Seop Ahn¹⁾

Department of Civil Engineering, Jeju International University, Jeju 690-714, Korea

¹⁾School of Construction Engineering, Kyungil University, Gyeongsan 712-701, Korea

Abstract

Many countries around the world are amplifying interest and studies on irrigation, flood control and environment with concern on serious water problems. Especially for irrigation in water supply vulnerable areas such as coastal areas - islands, business on underwater resource security facilities are promoted to secure stable water resources due to development of society and increase of life quality. Also, various policies such as reuse of leaking underwater, utilization of underwater at waterfront, and artificial recharge, etc are planned and designed. In order to develop small sized underwater resource secure technology, verification of seawater-freshwater interface is executed and how the balance between these will develop is a great interest of coastal areas - islands.

In this study, seawater-freshwater interface behavior analysis experiment was conducted while reflecting properties of coastal areas - islands and executed hydraulic similitude of saltwater intrusion form control technology on abstraction.

Key words : Experiments of hydraulic model, Coastal areas, Seawater-freshwater interface

1. 서론

도시화에 따른 물 수요 증가와 국민들의 깨끗한 물에 대한 욕구 증대로 지하수 이용량은 점차 증가 추세를 보이고 있다. 이에 따른 수자원 부족의 해결차원에서 지표수 취수원에 대한 대안 중 하나로 지하수 인공함양에 의한 지하 저수 및 활용기술이 시도되고 있다. 지하수의 사용량 증가와 더불어 도서·해안 등 물 공급 취약지역의 해수침입에 따른 지하수 오염에 대한 관심이 대두되기 시작하면서 이에 따른 연구가 진행되고 있다.

일반적으로 도서·해안지역의 담수대수층이 해수면 밑에 있을 때, 담수는 바다로 유출되고 해수는 담수대수층 아래에 썩기모양으로 유입되는 현상이 일어나게 되는데 이를 염수침입이라고 한다(Freeze와 Cherry, 1979).

이러한 해수-담수 경계면의 특성을 정역학적으로 설명한 최초의 연구자들이 Ghyben(1888)과 Herzberg(1901)이다. 이것을 Ghyben-Herzberg 법칙이라 하며 도서·해안의 지역에서 널리 적용되었다. 그러나 실제 해안에서의 흐름은 정적평형에 있지 않고 강우, 조석, 조류, 대수층의 특성변화 등 해안선 근처의 경계면에선 동적

Received 21 August, 2014; Revised 12 November, 2014;

Accepted 5 December, 2014

*Corresponding author: Young-Hun Oh, Dept. of Civil Engineering, Jeju International University, Jeju 690-714, Korea

Phone: +82-64-754-0287

E-mail: civil612@jeju.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

인 평형을 이루고 있다(Bear, 1999). 따라서, 담수체의 배출에 따른 해안지역에서의 경계면 해석을 위해 Glover(1964)는 경계면의 해안선을 원점기준으로 하여 내륙으로 거리와 표고를 기준으로 하는 심도가 주어지는 단순한 모형을 개발하였다.

한편, 국내의 실험에 의한 연구로는 Park, Hong, Sim(2003)이 유전자 방법과 병렬처리기술을 이용하여 해안지역의 지하수 최적 양수량 결정 모형을 개발하였고, Kim(2009)은 부산 용호만 해안대수층에서 조석에 의한 해수와 담수 경계면의 변동 연구에 의한 해수와 담수 경계면의 변동을 파악하였다. Suh, Oh, Kim, Ho (2010)는 해안대수층에서 담수-염수 경계면 변화에 따른 최대담수량과 염수침투제어에 대한 실험적 연구로 해안대수층의 지형특성과 수리특성에 의한 담수-염수 경계면과 최대 담수량의 변화를 연구하였다.

도시·해안지역 수자원 부족의 해결차원에서 대수층을 활용한 우기-주입, 건기-양수 실험을 실시하여 지하수자원 적정관리 및 주입에 따른 소요 수량을 안정적으로 공급하기 위한 지하수의 산출 특성에 대한 정확한 평가 및 예측이 필요한 실정이다.

본 연구는 실험실 규모의 수리모형실험을 이용하여 해수-담수 경계면분석과 양수시 해수썰기의 변화양상을 분석함으로써 해안지역의 안정적 수자원 확보기술 개발을 위한 기초적 자료를 제공하는데 목적이 있다.

2. 소규모 실험실 수리모형 설계

본 연구에서는 해안지역과 같은 수자원 취약지역의 지형학적특성을 고려하여, Fig. 1과 같이 지하면의 수위

변화에 따른 A모형과 B모형으로 구분하여 실험실 수리모형을 제작하였다. 모형의 설계는 담수가 정지 상태이고, 조석이 없는 바다나 염수와 접하는 등방·균질의 대수층에 적용할 수 있도록 Fig. 1(a)와 같이 염수와 담수의 수위를 같게 하였고, Fig. 1(b)는 수리경사에 따른 해안 쪽으로 담수의 흐름을 고려하여 수리경사를 2.75%로 하고 물탱크 양쪽 경계면에 모래공극 크기를 고려한 스크린을 설치하였다. 본 연구에서는 해안지역에서 과잉양수에 의한 염수침입을 고려한 수리모형실험을 수행하기 위해 Fig. 1(b)의 수리모형을 사용하였고, 염수-담수 경계면 위치는 양수에 의한 염수침입과 염수썰기의 변화를 감시하고, 양수에 의한 염수침입 시 자연상태에서의 회복과 지하수 유동에 따른 염수의 원상회복을 고려하였다.

모형의 제작을 위해서는 지하수위 변화를 고려하여 모래를 110±5℃로 24시간이상 건조시켜 체분석(0.24~0.42mm)하여 50mm간격으로 층다짐과 물다짐을 실시하여 투수계수(K)가 2.76×10⁻²cm/sec이 되도록 하였다. 또한 도시·해안지역 특성을 고려한 염수-담수의 경계면 위치, 양수에 의한 염수침입과 염수썰기의 변화를 감시하고 양수에 의한 염수침입 시 자연 상태에서 회복과 지하수 유동에 따른 염수썰기 회복을 고려하여 투명한 아크릴판을 이용하였다. 일정한 지하수위와 해수면을 유지하기 위해 월류관을 설치하였고 주입-양수 관정에는 모래의 입경을 고려해 관정 하부에서 길이15mm의 스크린을 설치하였다.

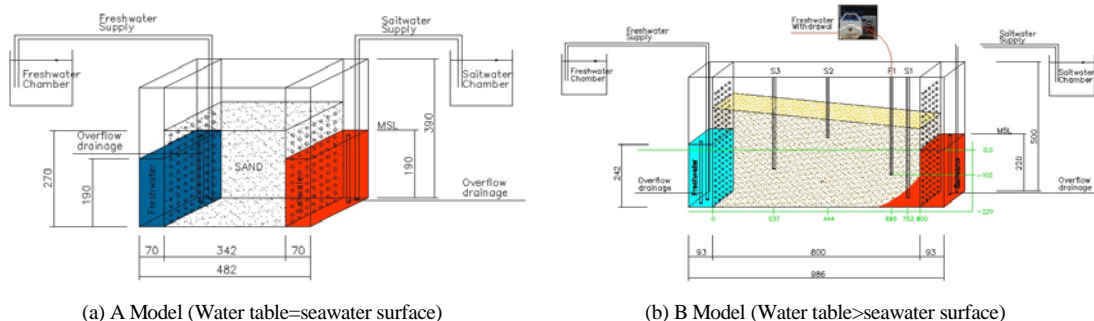


Fig. 1. Design of hydraulic experiment model (Schematic diagram of the experimental setup).

3. 모형실험에 의한 기초적 연구

3.1. 염수와 담수의 경계면 거동실험

이상적인 해안대수층의 평형상태는 염수와 담수의 경계에서 압력은 같다는 조건에 의해 Fig. 2와 같이 염·담수의 밀도 차에 의한 Ghyben-Herzberg의 원리(Koh, 1990)인 $h = 40 h_f$ 가 성립되어 평균해수면 아래의 담수층 두께는 평균해수면 위의 담수층 두께의 40배로 담수가 해수 위에 떠 있는 상태를 유지한다고는 해석되고 있다.

그러나 실제지하수 유동에서는 분자확산 등에 의하여, 명확한 경계가 형성되는 것이 아니고 상당히 두꺼운 천이구역에서 점진적인 염도변화를 보인다는 점을 고려하여 염·담수 경계면 형성 여부를 파악하기 위한 실험을 실시하였다. 본 실험에서는 Ghyben-Herzberg의 원리에 의한 염·담수의 경계면의 거동을 고찰하기 위해 지하수면과 해수면의 수위에 따른 실험을 실시하였고, 실험에 적용된 인자는 Table 1과 같다.

실험 결과, Table 1의 A Model인 경우 Fig. 3에서 나타난 바와 같이 동수구배가 없는 지하수흐름을 형성한

상태에서 실험시작 3일 후에 30°의 경사각을 갖는 날카로운 염·담수 밀도 차에 의한 Ghyben-Herzberg 경계가 완전히 발달하였는데, 이는 외적영향이 전혀 없다는 가정 하에 균질하고 평형인 해안대수층 상태에서 Ghyben-Herzberg 원리가 성립되고 있음을 보여주고 있다. 그리고 실험시작 4일 후에는 일정 두께의 염·담수 경계면에서 혼합대(mixing zone)가 형성되었다. 수리경사를 2.75%를 준 B Model 실험에서는 Fig. 4와 같이 염수담수 경계면인 염수췌기는 해수면에서 98.8mm하강하여 나타났다. 이런 실험결과는 Ghyben-Herzberg 원리가 외적영향이 없는 정적상태에서는 해수면에서 날카로운 직선형태로 나타나나, 동수구배 등 외적영향을 받는 경우 흐름은 동적상태가 되어 염수췌기는 해수면 하부에서 완만한 포물선 형태로 된다는 수정 Ghyben-Herzberg 원리(Hubbert, M.K.(1948)와 Glover, R.E.(1959))를 확인해 주고 있다.

3.2. 염수췌기 실험

해안 대수층에 우물을 설치하여 양수하면 염·담수의 평형상태는 파괴되고 염수가 육지 쪽으로 흘러 들어

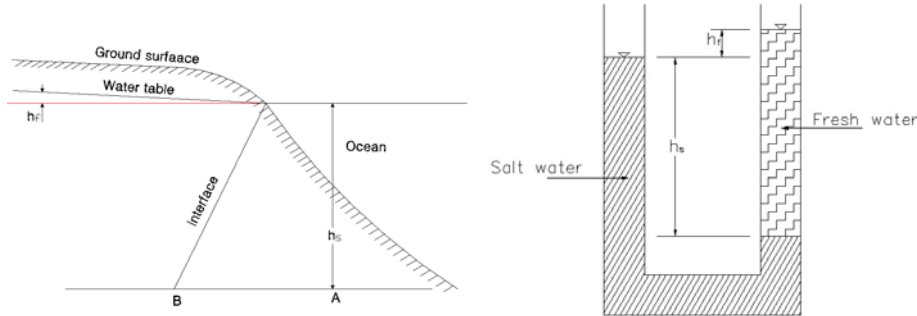


Fig. 2. Ghyben-Herzberg principle.

Table 1. Model applied factor

Assortment		A Model (Water table=seawater surface)	B Model (Water table>seawater surface)
Fresh water	Water level	190 mm	242 mm
	Density	1.000 g/ml	1.000 g/ml
Salt water	Water level	190 mm	218 mm
	Density	1.025 g/ml	1.040 g/ml
Size of water tank (mm)		L482×B289×H390	L986×B100×H500
Aquifer size (mm)		342×289×270	800×100×480-310

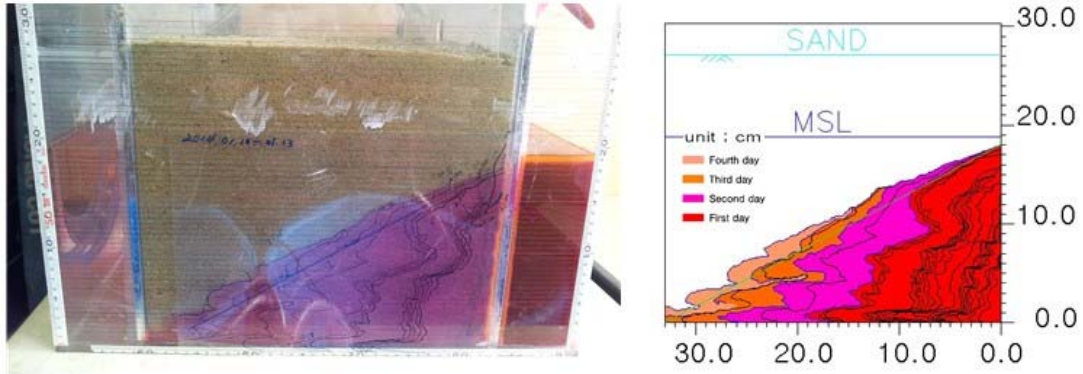


Fig. 3. Result of seawater and freshwater interface behavior experiment (A Model).

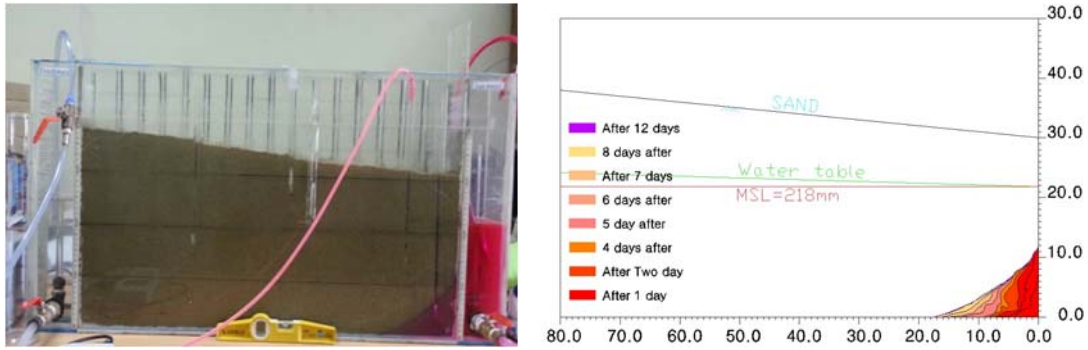


Fig. 4. Result of seawater and freshwater interface behavior experiment (B Model).

오게 된다. 이때 양수를 과다하게 하면 염수가 관정에까지 도달하게 되며, 해안지역의 대수층에서 당면하고 있는 지하수 장애를 염수침입(seawater intrusion)이라 한다. 염수 침입현상은 두께가 얇은 해안 대수층에 우물을 깊게 굴착하여 과다하게 양수하면 담수 아래의 염수가 원추상승에 의한 염수췌기(upconing)가 발생한다. 따라서, 해안 대수층에서의 과다한 양수를 하게 될 경우에는 Fig. 5와 같이 염수의 수평침입과 원추상승에 의한 연직염수췌기를 유발하여 대수층의 수질을 저하시키게 된다.

Fig. 5에서 나타낸 바와 같이 우물에서 양수를 시작하면 시간이 흐를수록 원추상승 높이가 증가하여 일정한 정상상태에 도달하게 된다. 이것은 Fig. 6의 해안지역 대수층에서 염수-담수 경계면 형성에 따른 염수췌기 실험에서 보는 바와 같이 관정의 수직하방에서의 염수의 상승높이 z 는 Dupuit의 가정과 Ghyben-Herzberg

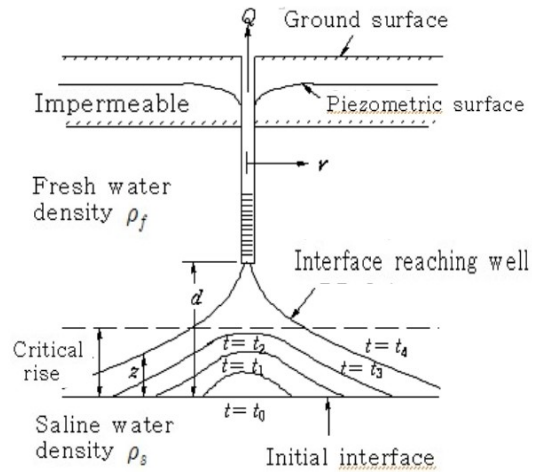


Fig. 5. Diagram of upconing of underlying saline water to a pumping well (Schmorak, S.와 A. Mercado, 1969).

Table 2. Experiment according to the well bottom and the interface distance

	A (d=95mm)	B (d/2 = 47.5mm)
Total withdrawal volume	5362.20 ml	2167.20 ml
Withdrawal time	17 hrs	12 hrs
Withdrawal rate	5.26 ml/min	3.01 ml/min
Increased level of seawater (z)	20.36 mm	23.14 mm
Well bottom-interface (d)	95.00 mm	47.50 mm
z/d	0.214	0.487
Maximum permissible pumping (Q_{max})	12.30 ml/min	3.06 ml/min
Result	Upconing	None

(Schmorak, S.와 A. Mercado, 1969)의 관계식으로 부터 다음과 같이 구해진다(Table 2).

$$Q_{max} \leq \pi d^2 K(\Delta\rho / \rho_f)$$

$$Q_{max} \leq \pi \times 4.75^2 \times 0.0181 \times (0.04/1.000)$$

$$= 0.051 \text{ cm}^3/\text{sec}$$

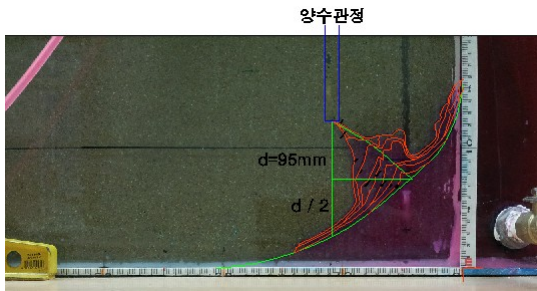


Fig. 6. Diagram of upconing of underlying saline water to a pumping well in coastal areas.

$$z = \frac{Q}{2\pi d K(\Delta\rho/\rho_f)}$$

$$= \frac{0.05}{2 \times \pi \times 4.75 \times 0.0181 \times (0.04/1.000)}$$

$$= 2.314 \text{ cm}$$

$$z/d = \frac{2.314}{4.75} = 0.487$$

여기서, Q 는 양수량, d 는 우물 하단으로부터 양수 시작 전의 담수와 염수의 경계면까지의 깊이, K 는 투수계수, $\Delta\rho$ 는 염수와 담수의 밀도 차이이다.

만약 원추상승이 임계높이를 초과하면 상승작용이 가속화되어 염수가 급격히 상승하여 우물에 도달하게 된다. 따라서, $z/d=0.5$ 이하를 허용 염수췌기 값으로 하면 허용최대 양수량은 다음과 같다.

본 실험에서는 Fig. 1(b)와 같은 실험장비 제원에 대하여 Table 3와 같은 조건으로 해안 지하수흐름에 대한 경계면에서의 모의실험을 통해 염수-담수 경계면의 염수췌기 현상에 대한 실험을 실시하였다. Table 3에서 관정 F1은 담수 양수정, F2와 F3는 담수 주입정이며, S1 염수 양수정으로 염지하수 양수 시 upconing 또는 downconing을 확인하기 위해 설치된 것이다.

실험에서는 양수시 염수췌기의 변화를 감시하고, 양수에 의한 염수침입 시 자연상태에서의 회복과 인위적 작용에 의한 염수의 원상회복 시간을 확보하여 양수시의 적정양수량을 확인하는 실험을 병행하였다. 또한 모의실험에 있어 사용된 모래는 자연상태의 모래를 층다짐을 하였고, 36시간 동안 수조모형의 수위가 242mm인 담수부분에서 월류관을 이용하여 일정한 수위가 유지되도록 물을 공급하였다. 공급된 물은 일정수위가 되면 월류관을 통해 밖으로 배출되고, 일부는 모래층으로 유입되어 대수층을 형성하며 수위가 218mm인 염수부에 도달되어 일정한 수위를 유지하도록 담수만을 가지고 사용하였다. 이 과정이 거친 후 투수계수시험을 실시하였다. 그리고 염수는 담수와 구분하기 위해 Rhodamine B와 염수를 혼합하였으며, 염수의 일정한 밀도를 유지하기 위해서 염수밀도는 1.04g/cm³로 구성하였다. 그리고 실험에서는 대수층의 투수계수는 1.81×10⁻²cm/sec로 지하수면 경사는 2.75%로 하여 7일간 1일

Table 3. Conditions for experimental of seawater upconing

Experimental Factor	Value(or size)	
Location of seawater-freshwater interface	129.0 mm	
Coefficient of permeability (K)	1.81×10^{-2} cm/sec	
Withdrawal well diameter	12 mm	
Total withdrawal volume	2160 ml	
Withdrawal time	12 hrs	
Withdrawal rate	3 ml/min	
Increased level of seawater (z)	2.316 cm	
Well bottom-interface (d)	4.75 cm	
z / d	0.487	
Maximum permissible pumping (Q_{max})	3.06 ml/min	
Location of TOP	640 mm	
Aquifer size	800×100×480~310(mm)	
Well	Bottom of water level	Screen length
F1	-102 mm	15 mm
F2	45 mm	15 mm
F3	-74 mm	15 mm
S1	-188 mm	15 mm

간격으로 해수썰기의 변화를 측정하였다.

실험 결과, 대수층에서 지하수의 흐름은 7.89 cm³/min로 하여 양수관정 F1에서 양수한 결과, 지하수면의 경사에 따른 지하수면의 곡률형상이 염수면 접촉부에서 변화가 있다는 것을 알 수 있었다. 또한, 염수의 침입에 의한 염수썰기는 염·담수의 밀도 차만이 아니라 지하수면이 경사와 밀접한 관계를 갖고 있는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 지하수면의 경사가 클 경우 염수-담수 경계면이 위치는 염수면에서 깊게 하강하여 형성되고 있으며, 지하수면의 경사가 완만한 곳에서는 염수면에서 낮게 하강하여 형성되고 있는 것이 확인되었으며, Table 4에서 제시한 것과 같이 Test 3인 양수량 4.8 cm³/min일

때부터 원추상승에 따른 염수썰기가 발생하였다.

다음으로 염수썰기 도달시간을 분석하기 위하여 양수를 달리한 3가지 형태(Test 3, 4, 5.)의 시나리오에 의한 실험을 실시하였다. 실험결과, 원추상승(upconing)에 의해 염수썰기가 관정까지 도달시간은 11시간 55분이 소요 되었다. 그러나 염수의 썰기를 제거하기 위해 대수층 내 흐름만으로 회복시키는데 소요되는 시간은 30시간 25분이 소요되었다. 결국 관정에서 과잉양수로 염수썰기가 발생한 후 염수썰기 제거를 위해 양수를 중단할 경우 회복에 필요한 시간은 염수썰기 발생 시간의 2.5배정도가 소요되고 있다.

또한 해수썰기 위치는 지하수의 유출량 7.89cm³/min

Table 4. Experiment result of saltwater intrusion

Test.	Wells	Withdrawal volume	Result (saltwater intrusion)
Test 1	F1	2.8 cm ³ /min	none
Test 2	F1	3.0 cm ³ /min	none
Test 3	F1	4.8 cm ³ /min	well bottom upconing
Test 4	F1	7.2 cm ³ /min	interface symmetry upconing
Test 5	F1	8.1 cm ³ /min	pollution on coastal area

Table 5. Reach seawater upconing test results for each scenario

Classification		a) Scenario 1	b) Scenario 2	c) Scenario 3
Saltwater upconing reach time		11 hours 40 minutes	16 hours 30 minutes	11 hours
Underground Water flow	Rate (cm/sec)	1.81×10^{-2}	1.81×10^{-2}	1.81×10^{-2}
	Efflux (cm/min)	7.89	7.89	7.89
Pumping	Rate (cm/sec)	11.6×10^{-2}	8.8×10^{-2}	13.9×10^{-2}
	Withdrawal amount (cm ³ /min)	7.87	5.97	9.43
Upconing form		Interface symmetry	Bottom rise	Side cone

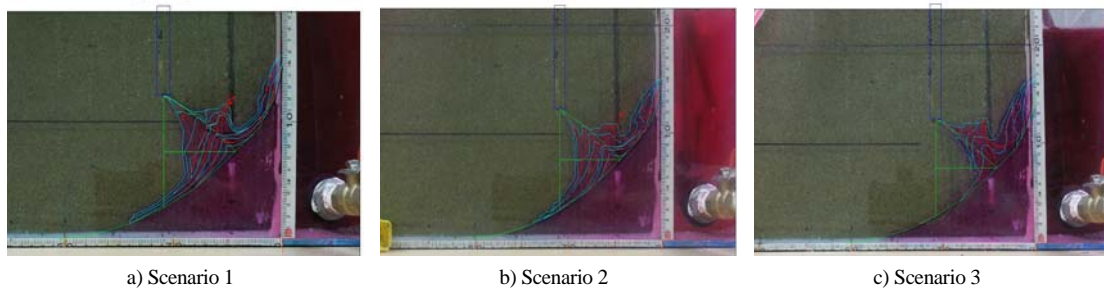


Fig. 7. Experiment result of saltwater intrusion.

로 하여 양수량을 각각 달리할 경우 Table 5 및 그리고 Fig. 7와 같은 결과를 얻었다. Fig. 7의 b)는 양수량을 지하수 유출량보다 적게 실험했을 때 이며, 양수량과 지하수 유출량을 같게 했을 때는 염수췌기 초기 발생지점에서 염수-담수경계면에 대칭적으로 염수췌기가 형성되었다. 양수량을 지하수 유출량 보다 크게 실험한 결과 해안대수층에서의 과잉양수에 의한 지하수오염은 원추상승 영향 외에도 염·담수 경계면(해안면)에서부터 측면 오염이 발생하여 과잉양수는 염수가 막 바로 들어오는 형태로 염분화를 급속히 촉진시키고 있는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 7의 c)).

4. 고찰

Fig. 8과 같이 자연상태에서의 지하수면은 평균해수면보다 위에 존재하므로 자유수면과 해수면의 차를 h , 해수면의 깊이를 H 일 경우 $P = \omega h = \rho_f g h$ 에서 $\rho_f g (h + H) = \rho_s g H$ 가 되어 담수와 해수의 압력이 같을 경우 $(\rho_s - \rho_f)H = \rho_f h$ 가 성립되며 $H = \frac{\rho_f}{\rho_s - \rho_f} h$ 의 식을 유도할 수 있다.

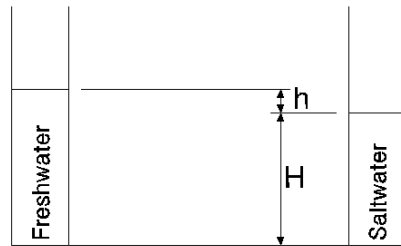


Fig. 8. Salt-Fresh water interface schematic diagram.

염·담수 경계면에 대한 실험결과에 의해 유도된 식은 염수·담수가 접하고 있는 해안가에서 Ghyben-Herzberg 원리에 의하면 자유수면 $h=0$ 일 때 염수·담수 경계면이 염수면과 같은 높이를 유지한다는 것을 말해 주고 있다. 하지만 실험실 수조에서 대수층 거리를 800mm로 하고 대수층 수위는 242mm, 염수면은 218mm로 경계면 거동 실험을 했을 때 염수·담수가 접하는 해안면에서는 염·담수 경계면이 Fig. 9과 같이 해수면에서 98.8mm 하강하여 나타나고 있다. 이런 결과는 해안면에서 염·담수 경계면은 염·담수의 밀도차에 반비례, 지하수면의 동수경사에 비례하여 나타나고 있는 계산한 값과 같

은 결과를 얻었다.



Fig. 9. Experiment result of seawater-freshwater interface.

염수썰기실험에서는 과잉양수로 인해 발생하는 염수썰기 면적만큼 담수대수층에서 지하수 손실이 발생하고 있는 것을 확인되었다. 이것은 Liu(2007)가 미국 하와이섬에서 적용한 염·담수 경계면에서 강제양수를 했을 때 지하수흐름에 대한 유동을 규명한 RAM2 (Robust Analytical Model 2)에서 분석한 결과와 같은 결과를 보여주고 있는 것을 확인할 수 있었다. 즉, Liu의 연구결과에 의하면 Fig. 10과 같이 염수썰기에 의한 담수대수층의 손실이 발생한다고 하였다. 실제 실험을 통하여 확인한 결과 Test 3, 4인 경우 RAM2의 결과와 같게 나타나고 있으나, Test 5인 관정내로 해수침입인 경우 대수층의 담수 부존에 관계없이 해수침입으로 오염이라는 지하수상태가 발생하여 지하수 양수량은 수자원적 의미가 없다는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 실험실 규모의 수리모형 실험을 이용하여 염수-담수 경계면 분석과 양수 시 염수썰기의 변화양상을 분석하였으며, 연구결과 다음과 같다.

먼저, 해안대수층의 해안면에서 염수와 담수 경계면은 동수경사에 비례하고, 유체의 밀도에 반비례하여 해수면보다 하강한 위치에서 형성되었다.

다음으로, 해안지역에서 과잉양수에 의한 원추상승은 양수관정하단에서 염수-담수경계면까지 깊이의 1/2 지점에서 해안으로 수평선을 연장했을 때 염수-담수경계면과 만나는 점에서 시작되며, 염수썰기의 거동은 연장한 수평선을 기준으로 해수-담수경계면과 대칭으로 형성되고 있다.

마지막으로, 염수썰기 현상은 지하수 유동속도와 양수량에 의해 위치가 결정되고 있으며, 과잉양수로 염수썰기가 발생한 후 썰기 제거를 위해 양수를 중단할 경우 회복에 필요한 시간은 썰기 발생 시간의 2.5배정도가 소요되는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 모형의 실험과 제작과정에서 다공질 매질로 모래를 사용하였으나, 계속되는 연구에서는 수리전도도가 다른 매질층을 형성하는 실험을 통해 염수-담수경계면 거동 확인이 필요하다. 또한 염수-담수의 경계면 거동분석 실험에 의한 염수썰기형태의 제어 기술의 결과를 해안·도서지역에서 현장검증하고, 지하수모델링 적용 등에 의해 비교 분석하는 작업도 선행하고자 한다.

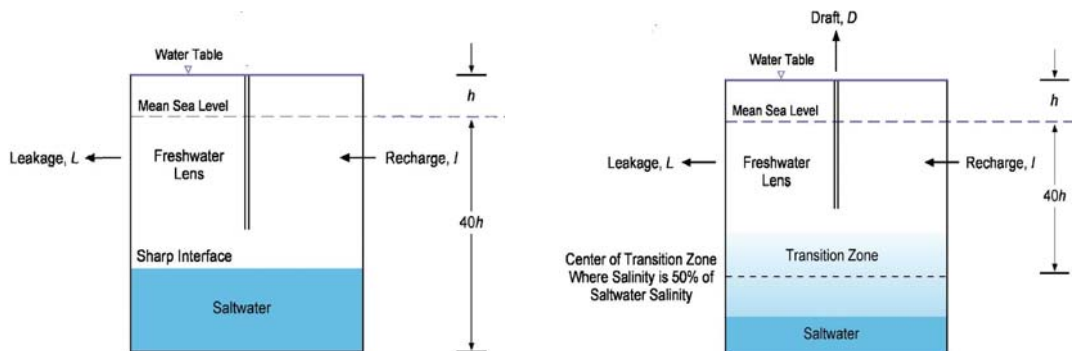


Fig. 10. Upconing under a pumping well in a basal aquifer by RAM2 (Liu, 2007).

감사의 글

본 연구는 대규모 청정 지하저수지 기술개발 연구단 (과제번호13AWMP-B066761-01)을 통하여 지원된 국토교통연구기획사업에 의하여 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

References

- Bear, J., Cheng, A. H. D., Sorek, S., Ouaza, D., and Herrera, I., 1999, Seawater intrusion in coastal aquifers: Concepts, Methods, and Practices. Kluwer Academic Publishers, Boston, Massachusetts, 625.
- Bloetscher, Frederick, et al., 2005, Groundwater injections; modeling, risks, and regulations, Scitech Book News, 28, 4.
- Christopher, S., Lowry, Mary P., Anderson, 2006, An assessment of aquifer storage recovery using ground water flow models, Ground Water, 44, 5, 661.
- Clark C.K. Liu, 2007, RAM2 Modeling and the Determination of Sustainable Yields of Hawaii Basal Aquifers, Project Report PR-2008-06, Water Resources Research Center.
- Fetter, C. W., JR, 1973, Water resources management in coastal plain aquifers, Proceedings of the International Water Resources Association, First World Congress on Water Resources, 322-31.
- Freeze, R. A., J. A. Cherry., 1979, Groundwater, Englewood Cliffs, N. J.: Prentice-Hall.
- Ghyben, W. B., 1888, Nota in verband met de voorgenomen putboring nabij amsterdam, Tijdschrift van Let Koninklijk Inst, van Ing.
- Glover, R. E., 1959, The pattern of fresh-water water in a coastal aquifer, J. Geophys. Res., 64, 4, 457-459.
- Glover, R. E., 1964, The pattern of fresh-water flow in a coastal aquifer, In sea water in coastal aquifers. U.S. Geological Survey Water-Supply, 1613, 32-35.
- Herzberg, A., 1901, Die wasserversorgung einiger nordseebader. J. Gasbeleucht. Wasserversorg., 44, 815-819.
- Hubbert, M.K., The theory of groundwater motion, J. Geol., 48, 785-944.
- Huyakorn, P. S., Springer, E. P., Guvanasen, V., and Wadsworth, T. D., 1986, A three-dimensional finite-element model for simulating water flow in variably saturated porous media, Water Resources Research, 22, 13, 1790-1808.
- Jeju Green Environment Center, 2011, 2012, Based study for seawater intrusion appropriate management in coastal groundwater in Jeju.
- Kim, S. S., 2009, The variation of seawater/freshwater interface with the tide at the coastal aquifer of the yongho bay in busan, Masters degree, Pukyong national university.
- Koh, B. R., 1990, A study on the location of fresh-salt water interface in a coastal aquifer, Jeju college of technology conference, 11, 241-254.
- Ministry of Education Science and Technology, 2011, Application of optimal management system for coastal groundwater, 42-62.
- Park, N. S., Huyakorn, P. S., Wu, Y. S., Barcelo, M. D., 1993, A sharp-interface saltwater intrusion code for layered aquifer systems, Proceedings of ASCE International Symposium on Engineering Hydrology, 1159-1164.
- Park, N. S., Wu, Y. S., 1994, Evaluation of vertical leakage schemes for multilayer sharp-interface saltwater intrusion model, Proceedings of the x international conference on computational methods in water resources, 1027-1034.
- Park, N. S., Hong, S. H., Sim, M. G., 2003, Development of Optimal Pumping Model for Coastal Region Using Genetic Algorithms and Parallel Processing, Korean Society of Civil Engineers Conference, 23, 5B, 397-403.
- Schmorak, S., A. Mercado, A., 1969, Upconing of fresh water-sea water inter-face below pumping wells, field study, Water Resources Research, 5, 1290-1311.
- Suh, S, K., Oh, C. M., Kim, W, I., Ho, J. S., 2010, Experimental Study of Freshwater Discharge and Saltwater Intrusion Control in Coastal Aquifer, Korea Society of Hazard Mitigation conference, 10, 5, 159-168.