

Guelph 투수계를 이용한 김해시 탄섬 강변여과수 지역의 지표 수리전도도 분포 조사

정재훈 · 김형수*

한국수자원공사 수자원연구원

Field Measurement of Surface Hydraulic Conductivity Distribution Using Guelph Permeameter : A Case Study in the Riverbank Filtration Site of Kimhae (Ddanseom)

Jae-Hoon, Jeong · Hyung-Soo, Kim*

Korea Institute of Water and Environment, Korea Water Resources Corporation

ABSTRACT

A method estimating unsaturated hydraulic conductivity using Guelph permeameter was developed and applied to the Ddanseom area of Kimhae in Nakdong River basin where the facilities producing bank-filtrated groundwaters are currently under construction. It is believed that the hydraulic conductivity values obtained from this study are useful in determination of recharges through unsaturated zone or from the river. The distribution of the surface hydraulic conductivity shows that sediments are finer downstream, implying the downstream part of Ddanseom has the higher potential of groundwater production.

Key words : Riverbank filtration (RBF), Alluvium, Hydraulic conductivity, Groundwater, Guelph permeameter, Kimhae, Nakdong River

요 약 문

Guelph 투수계를 이용한 현장 토양 불포화 수리전도도의 산정기법을 제시하고 이 기법을 활용하여 강변여과수 취수 계획 지역인 김해시 낙동강 탄섬 일대의 지표 특성을 조사하였다. 조사된 지표 포화 및 불포화 수리전도도의 값은 대규모 강변여과 개발에 대한 지하수 모델링 평가시 중요한 경계조건인 지표 함양량과 하천 경계조건을 설정하는데 활용될 수 있다. 탄섬의 지표 수리전도도는 상류에 조립질 입자가, 하류에 상대적으로 세립질 입자가 퇴적되었음을 보여주었고, 이러한 현상은 강의 부유물이 퇴적되는 특성을 반영하고 있다. 이러한 결과는 상대적으로 탄섬의 남측 지역(상류)이 북측 지역(하류)에 비해 강변여과 방식 취수에 유리한 조건을 가질 수 있음을 시사한다.

주제어 : 강변여과, 충적층, 수리전도도, 지하수, Guelph 투수계, 김해, 낙동강

1. 서 론

수자원의 수량과 수질의 문제가 국가적인 관심사로 대두되면서 양질의 수자원을 확보하기 위한 다양한 노력이 활발히 진행되고 있다. 특히 지하수/지표수의 연계 이용으

로 그 활용성이 증대되는 강변여과(RBF; riverbank filtration) 취수에 대한 관심이 고조되면서 이에 관한 많은 연구가 수행되고 있다. 일반적인 지하수인공함양 기법에 대한 소개와 더불어 독일 등의 강변여과 현장에 대한 소개는 김형수 등(1999)의 보고서에서 찾을 수 있으며, 국

*Corresponding author : hskim@kwater.or.kr

원고접수일 : 2008. 12. 31 게재승인일 : 2008. 4. 10

질의 및 토의 : 2008. 6. 30 까지

내의 대표적인 강변여과 관련 연구로는 우리나라 최초의 강변여과수 취수장인 창원시 지역의 수리지질 특성을 평가하고 지하수 유동 모델링을 수행한 함세영 등(2004)의 연구와 강변여과 계획 지역이었던 고령군 지역에 대한 지하수 모델링을 수행한 원이정 등(2006)의 연구 등이 있다. 한편, 충적층 지하수 혹은 하상의 물이 갖는 계절적 온도 변화 특성을 이용하여 하절기와 동절기에 냉난방 에너지로 강변여과수를 활용하는 방식에 대한 연구(서민우 등, 2006)등 강변여과 관련 다양한 연구가 최근 들어 국내에서 활발히 수행되고 있다. 국외의 대표적인 연구로는 강변대수층으로 강물이 침투되는 과정 속에서 하상 침전물에 존재하는 박테리아가 질소산화물의 유기화합물인 변화에 대해 성장 및 소멸되는 모의 실험을 Claude Doussan (1997)등이 수행하였으며, 강변대수층에서 질산염과 총 이온 및 NaCl 추적자를 이용해 강물과 지하수의 희석과 침투 비율에 대한 연구를 Bernhard Wett(2002)등이 연구하였다. 이밖에도 강변여과 관련 연구는 매우 활발히 수행되고 있으며, 이미 관련 논문들을 취합한 서적들도 최근 들어 지속적으로 발간되고 있다(Ray et al, 2003; Ray 2002).

이러한 다양한 연구 중 강변여과 취수원 개발에 중요한 검토 항목으로 지표면과 주변 하상의 수리전도도에 대한 정량적인 조사와 평가가 요구된다. 지표의 불포화 수리전도도는 강우가 대수층으로 함양되는 조건을, 포화 수리전도도는 강물이 대수층으로 함양되는 조건을 결정하는 중요 요소들로서, 특히 지하수 모델링을 통한 강변여과수의 개발량 산정에 가장 필수적인 입력 변수들에 속한다. 다시 말해 지하수 모델링을 통한 강변여과 취수 수량/수질의 정량적 해석을 위해서는 우선적으로 충분한 지표면의 불포화 수리전도도와 인접 하상의 포화 수리전도도의 분포 특성을 고려하여, 강우에 의한 함양량과 하천의 경계 조건을 설정 하는 것이 필요하다.

일반적으로 지표 토양의 수리전도도를 구하기 위해서는 실내 시험 또는 현장 침투 시험이 활용된다. 실내 시험은 현장 토양 시료를 채취하여 입도 분석을 실시하고 그 결과를 바탕으로 입도 분석 결과와 수리전도도 사이의 기존 관계식(Hazen 방법 등)을 활용하여 수리전도도를 구하는 방식과 시료에 대한 직접적인 컬럼(column) 시험을 실시해서 구하는 방법으로 대분된다(이진용, 2001). 그러나 이러한 실내 시험법은 자연적으로 발달된 흙의 구조를 교란시켜 현장 토양의 재현성 문제점을 안고 있다.

이러한 실내 시험법을 보완하기 위해 현장 침투 시험을 실시하는데 이러한 현장 침투시험은 일반적으로 토양 표층부에서는 디스크 장력 침투계(disk tension infiltrometer)

를 이용해 측정하고, 20~80 cm 심도의 표토층에서는 Guelph 투수계를 이용해 측정한다. 디스크장력 침투계는 지표부근의 불포화 수리전도도, 포화 수리전도도, 토양의 모세관 길이, 수차도(sorptivity)를 측정할 수 있다. 그러나 현장 시험 시 토양 표면의 상태, 디스크 및 침투계 본체 설치 조건에 따라 측정값이 변하는 한계를 내포하고 있다. Guelph 투수계에서는 포화 수리전도도, 토양수분 흐름흡입력(ϕ_m), α 상수, 수차도(s)를 측정할 수 있으며, Reynolds (1986)에 의해 수치적 계산이 정립되었고 이후 많은 연구자들에 의해 해석적 개념 및 현장 적용에 관한 연구가 활발히 이루어져 왔다.

이러한 현장 침투시험의 대표적인 국내 연구로는 Guelph 투수계를 이용해 현장에서 포화 수리 전도도, 토양수분 흐름흡입력을 측정해 수문학적 적용성을 검토한 박승기 등(1991)의 연구와 디스크 장력침투계와 Guelph Permeameter를 이용하는 방법과 사례를 제시한 이진용 등(2001)의 연구를 들 수 있다. 한편 외국의 대표적인 연구로는 토양의 종류와 조사공 크기를 3가지 형태로 구분하여 Guelph 투수시험을 실시해 측정치와 토양 및 우물(조사공) 형태에 따른 상호연관성에 대해 연구한 Salverda (1993)의 연구, Guelph 투수계의 우물 형상계수(C-Factor)의 적용에 관한 연구를 수행한 Zhang(1998)의 연구 등이 있다.

현재까지의 Guelph 투수계는 현장 토양에서 정상 침투율을 측정해 포화 수리전도도를 수치적으로 계산하여 이용해 왔으며, 직접적으로 수리전도도를 산정하고자 하는 노력은 상대적으로 부족하였다.

따라서 본 연구에서는 Guelph 투수계를 이용해 현장 토양의 불포화 수리전도도를 직접적으로 산정할 수 있는 기법을 정립하고 이를 강변여과수 개발예정지인 김해시 낙동강 탄성 일대에서 직접 적용하여, 이 일대 지표의 포화 및 불포화 수리전도도의 분포 특성을 분석하였다.

2. 수리전도도 산정 이론

Guelph 투수계는 Mariotte 사이폰의 원리를 적용하여 우물에서 불포화 토양으로 충전되는 물의 정상류율을 측정하는 Fig. 1과 같은 정수위 투수계이며, 우물의 직경은 60mm, 측정 범위는 10^{-6} cm/s까지 측정이 가능하다(Soil Moisture Corp., 1991).

Reynolds(1987)등은 우물의 정상류 흐름 해석을 위한 Richards 방정식을 (1)식과 같이 풀이하였는데 우변의 첫 번째와 두 번째 항은 우물에서 흘러나오는 현장포화성분

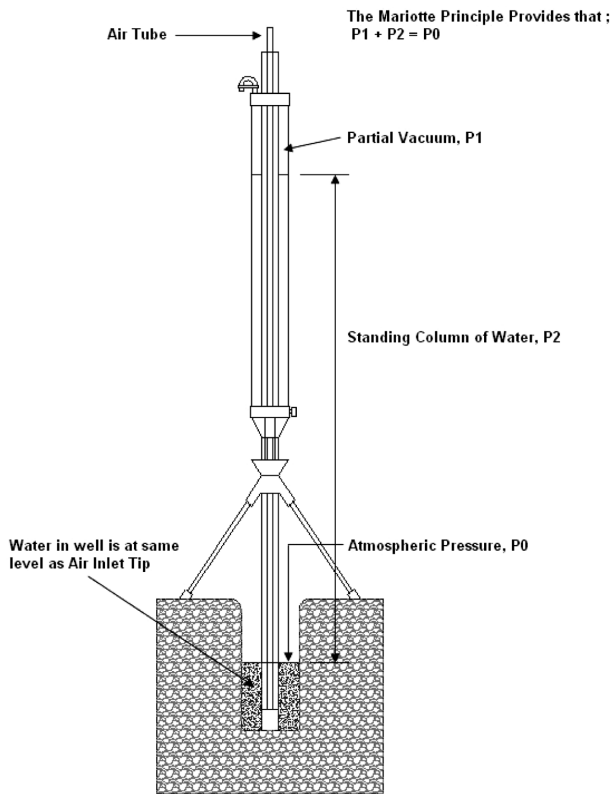


Fig. 1. An illustration of the Guelph permeameter used in this study.

으로 고려할 수 있고, 세 번째 항은 흐름의 불포화 또는 모세관 성분으로 고려될 수 있다.

$$Q_s = \frac{2\pi H^2}{C} K_{sat} + \pi r^2 K_{sat} + \frac{2\pi H^2}{C} \phi_m \quad (1)$$

여기서, Q_s 는 우물의 밖으로 흐르는 정상류율(cm^3/s), H 는 우물의 안의 일정수두(cm), r 은 우물의 반지름(cm), k_{sat} 는 포화 수리전도도(cm/s), ϕ_m 은 토양수분흐름흡입력(cm^2/s), C 는 우물의 반경과 수두높이에 지배받는 수치적 형상계수(H/r)이다. 우물의 반경을 3.0 cm, 우물의 일정수두 높이를 5 cm, 10 cm를 유지하여 측정하게 되면 제작사에서 제시한 표준식 (2)식으로 포화 수리전도도를 산정할 수 있다.

$$k_{sat} = 0.0041(X \text{ or } Y)R_2 - 0.0054(X \text{ or } Y)R_1 \quad (2)$$

여기서, X 는 외측 집수통의 단면적(35.22 cm^2), Y 는 내측 집수통의 단면적(2.16 cm^2), R_1 은 5cm 일정수두의 정상침투율(cm/s), R_2 는 10 cm 일정수두의 정상침투율(cm/s)이다. 현장 토양의 투수성이 매우 좋거나 나쁠 경우 우물의 일정수두를 각각 낮추거나 높게 된다. 이러한 경우에는 Guelph 투수계의 C-factor(우물형상계수)를 적용하여 (3)

식~(7)식을 이용하여 산정한다.

$$k_{sat} = G_2 Q_2 - G_1 Q_1 \quad (3)$$

$$G_2 = \frac{H_1 C_2}{\pi [2H_1 H_2 (H_2 - H_1) + r^2 (H_1 C_2 - H_2 C_1)]} \quad (4)$$

$$G_1 = G_2 \frac{[H_2 C_1]}{[H_1 C_2]} \quad (5)$$

$$Q_1 = X R_1 \text{ or } Y R_1 \quad (6)$$

$$Q_2 = X R_2 \text{ or } Y R_2 \quad (7)$$

여기서, H_1 , H_2 는 우물의 일정수두 높이, r 은 우물의 반지름(3.0 cm), C_1 과 C_2 는 우물의 일정수두에 대한 장비 고유의 C-factor로써 우물의 일정수두 높이를 얼마로 하느냐에 따라 결정되는 상수값이다. 본 연구에서는 3 cm와 6 cm로 측정한 지점에 대해서는 $C_1 = 0.6$, $C_2 = 0.97$ 을 적용하였다. 본 연구에서는 Guelph 투수계를 이용한 현장투수시험시 서로 다른 일정 수두로 측정 한다는 점과 Gardner(1958)가 제안한 불포화 수리전도도와 포화 수리전도도의 지수형 관계식 (8)의 관계를 활용하여 Guelph 투수계를 이용해 측정한 포화 수리전도도로부터 불포화 수리전도도를 산정하였다.

$$k(h) = k_{sat} \exp(\alpha h) \quad (8)$$

여기서, $k(h)$ 는 토양의 모세관 장력에 대한 수리전도도 함수를 의미하고, α 는 λ^{-1} 으로 정의되며 λ 는 불포화 조건하에서 공기가 매질체에 최초로 유입될 때 모세관 장력을 의미한다.

Wooding(1968)이 제안한 우물의 정상상태 침투해를 서로 다른 일정수두 높이 h_1 , h_2 에 대해 정리하면 (9)식, (10)식과 같으며

$$Q(h_1) = \pi r^2 k_{sat} \exp(\alpha h_1) \left[1 + \frac{4}{\pi r \alpha} \right] \quad (9)$$

$$Q(h_2) = \pi r^2 k_{sat} \exp(\alpha h_2) \left[1 + \frac{4}{\pi r \alpha} \right] \quad (10)$$

(10)식을 (9)식으로 나누면 (11)식과 같이 불포화 수리전도와 포화 수리전도의 지수적 관계식의 계수인 α 를 현장 조사 자료를 통해 결정 할 수 있다.

$$\alpha = \lambda^{-1} = \frac{\ln[Q(h_2)/Q(h_1)]}{h_2 - h_1} \quad (11)$$

여기서, h_1 , h_2 는 우물의 일정수두 높이이며, $Q(h_1)$ 과

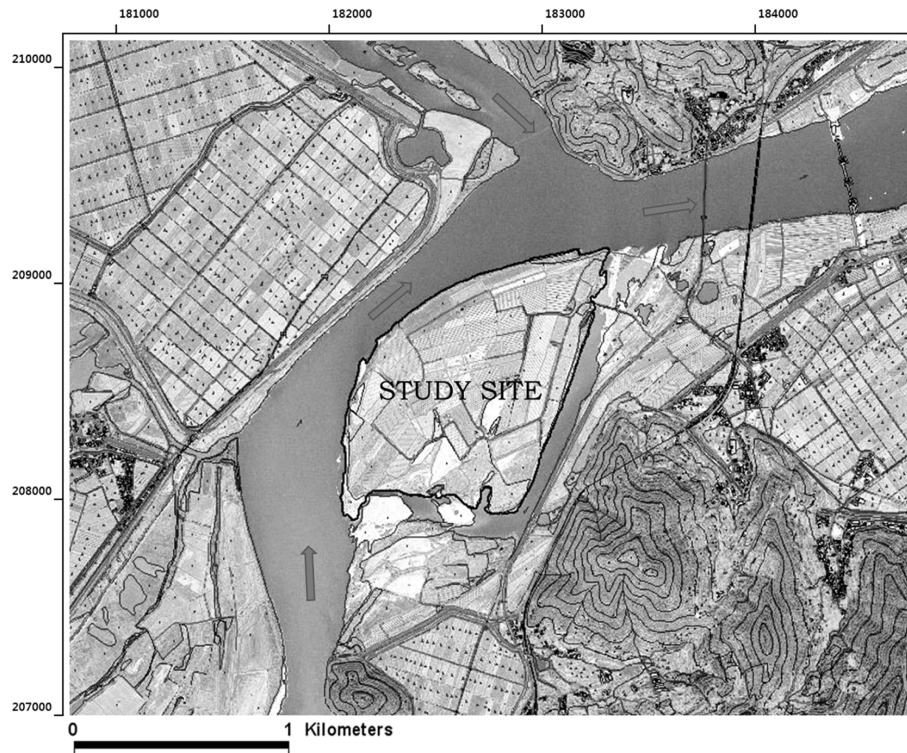


Fig. 2. A satellite photograph of study area taken in 2004 superimposed with topographic map.

$Q(h_2)$ 는 h_1 , h_2 의 일정수두에서 정상침투율에 도달했을 때의 정상침투량이다. 결국, 현장에서 측정한 포화투수계수(k_{sat})와 α 와 현장에서 측정한 포화 수리전도도 값을 관계식 (8)에 적용해 불포화 수리전도도(k)를 산정할 수 있다.

3. 현장시험 및 방법

3.1. 연구 지역

Guelph 투수계를 이용한 현장 투수시험의 연구대상 지역은 경상남도 김해시 생림면 마시리에 위치한 낙동강내 하상퇴적층인 탄성 일원이다. Fig. 2는 국립지리원에서 촬영된 2004년 항공사진과 수치지형도를 중첩한 모습이다. 2004년 이후의 항공사진 분석 결과 본 지역의 충적층은 지속적인 변화 양상을 보이고 있어 계속적으로 퇴적과 침식이 반복되는 것으로 판단된다.

조사 대상 지역인 탄성을 중심으로 북동쪽은 미봉산(해발 283.7 m), 남동쪽은 작악산(해발 377.8 m), 북서쪽은 봉어산(해발 278.8 m) 등이 존재하며 탄성 하류에서 낙동강과 밀양강이 합류한다. 물의 흐름 방향은 낙동강이 남쪽에서 동쪽, 밀양강은 북서쪽에서 낙동강과 합류하여 동쪽으로 유하하며 탄성 주변 낙동강의 최심 하상고는 E.L

-17.75 m이고, 남동쪽에서 유하하는 샛강의 최심하상고는 E.L -6.41 m이다. 연구지역의 기반암은 중생대에 형성된 유천층군과 불국사 관입암류인 흑운모 화강암으로 구성되어 있고, 탄성은 제4기 미고결 퇴적물로 충적층이 이를 부정합으로 피복되어 있다(건설교통부·한국수자원공사, 2005; 이하영과 김상욱, 1964). 연구 대상 지역의 충적층은 Fig. 3과 같이 상부에는 주로 모래와 점토가 퇴적되어 있으며, 하부에는 15 m 내지 20 m 두께의 모래/사갈층이 기반암 위에 퇴적되어 있어 투수성이 매우 높은 지역이다. 이 모래/사갈층은 이 지역의 주요 대수층으로 간주된다.

3.2. Guelph 투수시험

Guelph 투수 시험은 Fig. 4에 나타난 25개 지점의 표토층 50 cm 심도에서 실시하였으며, 우물의 직경은 60 mm, 우물의 일정수두는 현장 토양의 투수성 정도에 따라 투수성이 클 경우는 3 cm-6 cm의 일정수두로 측정하고 투수성이 크지 않을 경우에는 5 cm-10 cm로 실시하였다. 그 이유는 투수성이 큰 토양에서 우물의 일정수두를 높게 잡으면 빠른 시간에 침투가 발생하여 측정이 곤란하고, 투수성이 낮은 토양에서 우물의 일정수두를 낮게 잡으면 장시간에 걸쳐 측정되는 점을 감안한 것이다. 이

Table 1. Results of the field hydraulic conductivity tests

Research point	H ₁ (cm)	H ₂ (cm)	R ₁ (cm/s)	R ₂ (cm/s)	Q ₁ (cm ³ /s)	Q ₂ (cm ³ /s)	k _{sat} (cm/s)	λ^{-1}	k (cm/s)
BH-1	3.0	6.0	0.450	0.733	15.849	25.828	0.05663	0.163	0.06664
BH-2	3.0	6.0	0.200	0.267	7.044	9.392	0.00617	0.096	0.00679
BH-3	3.0	6.0	0.100	0.140	3.522	4.931	0.00522	0.112	0.00584
BH-4	3.0	6.0	0.140	0.200	4.931	7.044	0.00860	0.119	0.00969
BH-5	5.0	10.0	0.029	0.067	0.062	0.144	0.00025	0.167	0.00030
BH-6	3.0	6.0	0.225	0.327	7.925	11.505	0.01549	0.124	0.01754
BH-7	3.0	6.0	0.250	0.380	8.805	13.384	0.02268	0.140	0.02608
BH-8	3.0	6.0	0.400	0.600	14.088	21.132	0.03372	0.135	0.03860
BH-9	5.0	10.0	0.020	0.030	0.043	0.065	0.00003	0.081	0.00003
BH-10	3.0	6.0	0.200	0.250	0.432	0.540	0.00005	0.074	0.00005
BH-11	3.0	6.0	0.050	0.075	1.761	2.642	0.00421	0.135	0.00482
BH-12	3.0	6.0	0.040	0.070	1.409	2.465	0.00658	0.187	0.00793
BH-13	3.0	6.0	0.080	0.100	2.818	3.522	0.00033	0.074	0.00036
BH-14	3.0	6.0	0.033	0.060	1.174	2.113	0.00602	0.196	0.00732
BH-15	5.0	10.0	0.045	0.100	1.585	3.522	0.00588	0.160	0.00690
BH-16	3.0	6.0	0.200	0.300	7.044	10.566	0.01686	0.135	0.01930
BH-17	3.0	6.0	0.400	0.600	14.088	21.132	0.03372	0.135	0.03860
BH-18	3.0	6.0	0.050	0.070	1.761	2.465	0.00261	0.112	0.00292
BH-19	3.0	6.0	0.125	0.160	4.403	5.635	0.00172	0.082	0.00187
BH-20	3.0	6.0	0.130	0.200	4.579	7.044	0.01256	0.144	0.01450
BH-21	5.0	10.0	0.006	0.009	0.013	0.019	0.00001	0.069	0.00001
BH-22	3.0	6.0	0.060	0.090	2.113	3.170	0.00506	0.135	0.00579
BH-23	3.0	6.0	0.230	0.400	8.101	14.088	0.03702	0.184	0.04452
BH-24	3.0	6.0	0.070	0.125	2.465	4.403	0.01231	0.193	0.01493
BH-25	3.0	6.0	0.300	0.450	10.566	15.849	0.02529	0.135	0.02895
Ave.	—	—	0.153	0.232	5.063	7.704	0.01276	0.132	0.01481

4.2. 수리전도도의 공간적 분포 특성

연구지역에서 얻어진 불포화 수리전도도 및 포화수리전도도의 공간적 분포를 각각 Fig. 5와 Fig. 6과 같이 Kriging하여 나타내었다.

연구지역 주변의 낙동강 흐름은 서쪽에서 주하천이 유하하고 동쪽의 샛강은 홍수기에만 유하하는 특성을 가지고 있다. 연구지역의 남쪽인 낙동강의 상류측은 투수성이 매우 좋은 반면 하류측인 북쪽으로 갈수록 투수성이 상대적으로 낮아지는 현상을 보여주었다. 이러한 특성은 강을 따라 이동하던 토사류가 탄성 부위에 도달한 후 일차적으로 입자가 크고 무거운 조립질의 부유물을 먼저 퇴적시키고, 이후 이동하면서 점진적으로 상대적으로 입자가 작고 가벼운 세립 토사를 퇴적시키고 있다는 것을 시사한다.

실제로 연구지역에서 실시한 지반조사 결과를 보여주는 지층 단면도 Fig. 3에서도 연구지역 북쪽(낙동강 하류측)으로 점토층이 깊게 발달되어 있는 특성을 볼 수 있다(대

우건설, 2006). 또한 연구지역 조사지점의 50 cm 심도에서 채취해온 토양시료를 입도분석(KS F 2302)한 결과 Fig. 7과 같은 결과를 나타내었는데, 연구지역의 상류측에 위치한 BH-2, BH-4, BH-6, BH-12, BH-25지점의 입경 분포는 25개 조사지점의 평균입경가적곡선을 기준으로 우측으로 분포하고 연구지역의 하류측에 위치한 BH-9, BH-10, BH-11, BH-18, BH-21지점의 입경분포는 기준곡선의 좌측에 분포하고 있다. 즉 상류측 토양의 특성은 모래질이 우세하고 하류측 토양의 특성은 점토질이 우세한 결과를 나타내고 있으며 이러한 결과는 토양층의 수리전도도 값으로 잘 표현되고 있다.

연구지역의 25개 지점에서 조사한 불포화 수리전도도와 각 지점의 모래함유량과의 상관관계를 분석한 결과 Fig. 8과 같은 유의성을 나타내었다. 연구지역 토양의 입경가적곡선 특성과 마찬가지로 수리전도도가 클수록 모래의 함유량이 높음을 알 수 있다.

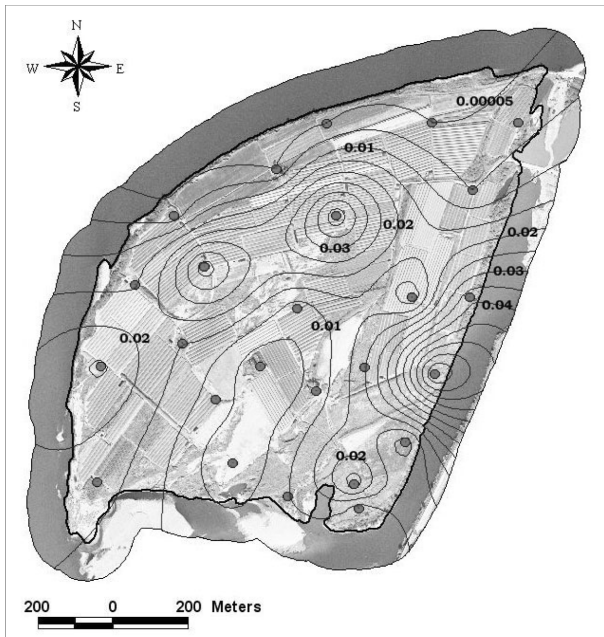


Fig. 5. Kriged spatial distribution of the unsaturated hydraulic conductivity (Unit : cm/sec).

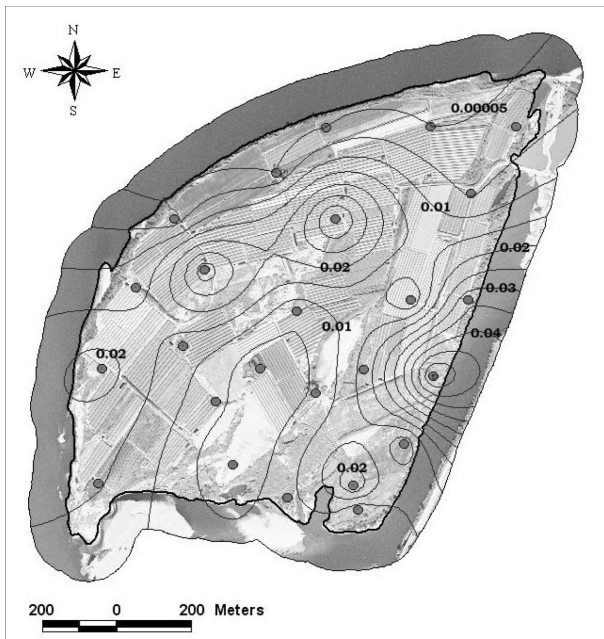


Fig. 6. Kriged spatial distribution of saturated soil hydraulic conductivity (Unit : cm/sec).

5. 결 론

본 연구에서는 Guelph Permeameter를 이용한 현장투수 시험 결과를 바탕으로 불포화 수리전도도를 조사하는 기법을 제시하였으며, 실제 현장 조사를 통해 현재 강변여

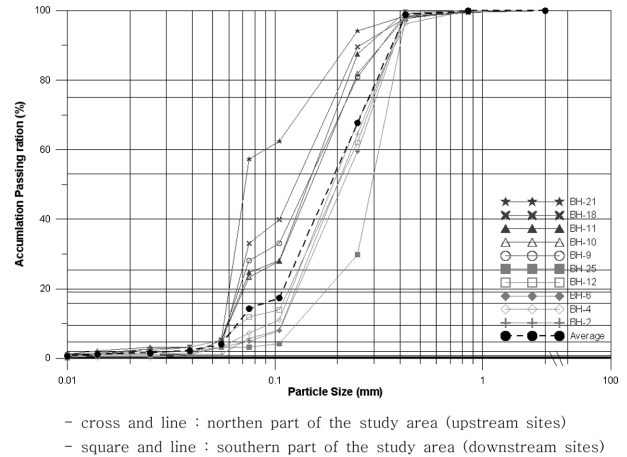


Fig. 7. Particle size analysis results.

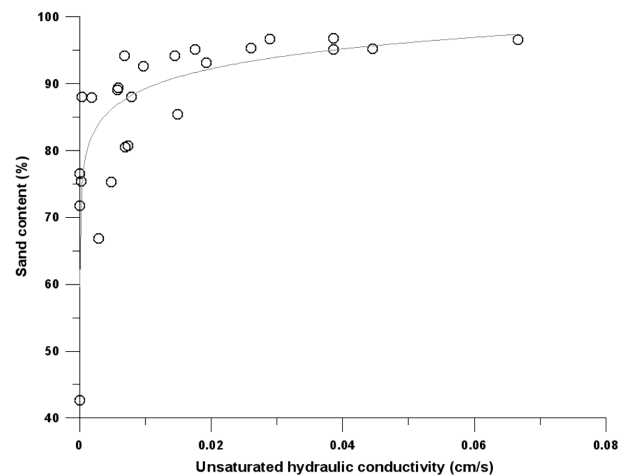


Fig. 8. The relationship between unsaturated hydraulic conductivity and sand content.

과 취수를 계획하고 있는 김해시 탄섬 일대 지표의 포화 및 불포화 수리전도도를 조사하였다. 본 연구의 주요 결과는 다음과 같이 정리된다.

① 불포화 수리전도도와 포화 수리전도도의 지수형 관계식(Gardner, 1958)을 이용하면 현장에서 Guelph 투수계를 이용한 포화 수리전도도 측정을 통해 불포화 수리전도도를 조사할 수 있다. 이 때, 관계식의 α 계수는 서로 다른 일정 수두를 활용하는 Guelph 투수계 조사 값을 통해 산정된다.

② 강변여과방식 취수 계획 지역인 낙동강내 하상층적층인 김해시 탄섬의 지표 포화 및 불포화 수리전도도의 값을 조사하였다. 이러한 포화 및 불포화 수리전도도의 값은 대규모 강변여과 개발에 대한 지하수 모델링 평가에 필요한 입력 변수를 결정하는데 활용될 수 있다.

③ 탄성 지표의 수리전도도는 상류에 조립질 입자, 하류에 상대적으로 세립질 입자가 퇴적되었음을 보여주며, 이러한 현상은 강의 부유물이 퇴적되는 특성을 반영하고 있다. 또한 이러한 투수성 입자의 배열은 강에서 대수층으로 유입되는 유량에 영향을 줄 것으로 판단되며, 상대적으로 탄성의 상류 지역이 하류 지역에 비해 강변여과 방식 취수에 유리한 조건을 가질 수 있음을 시사한다.

사 사

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비 지원(과제번호 3-4-3)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다. 또한 현장 조사와 자료를 협조해 준 대우건설 구분식 현장소장님, 한라산업개발 정근식 박사님과 관계 직원들, 그리고 현장 작업을 성실하게 도와준 수자원연구원의 최두형, 김영식, 서경수, 최상혁, 오인숙 연구원에게도 깊이 감사드립니다.

참 고 문 헌

건설교통부·한국수자원공사, 2005, 김해시 지하수 기초조사수문지질도 김해지역 수문지질도 (HG-2005-GH).

김형수, 한찬, 류정아, 1999, 지하수 함양 및 활용증대방안 연구, WRR-99-1, 한국수자원공사 연구보고서.

대우건설, 2006, 김해시 강변여과수 개발사업 토질보고서, p. 105.

박승기, 김태철, 2001, 현장투수계를 이용한 유역 토양의 수리학적 특성 분석, 한국관개배수위원회, 8(1), 61-69.

서민우, 정우성, 김형수, 황기섭, 안영섭, 2006, 강변여과수 활용 냉난방시스템 개발 및 시범시설 구축, 지열에너지저널, 2(1), 11-19.

원이정, 구민호, 김형수, 2006, 경북 고령군 강변여과 취수 지역의 지하수 유동 모사 및 민감도 분석, 지하수토양환경, 11(2), 45-55.

이진용, 이명재, 최예권, 김용철, 이강근, 2001, 현장 토양 투수계수 측정 : 방법 및 사례, 한국지하수토양환경학회 추계학술발표회 논문집, p. 188-190.

이하영, 김상욱, 1964, 김해 지질도, 국립지질조사소.

함세영, 정재열, 김형수, 한정상, 류수희, 2004, 창원시 북면 낙동강 주변 하성퇴적층의 지하수유동 모델링, 자원환경지질, 37(5), 499-508.

Bernhard, W., Hannes, J., and Kurt, Ingerle., 2002, Flood induced infiltration affecting a bank filtrate well at the River Enns, Austria, *Journal of Hydrology*, 266, 222-234.

Claude, D., Guillemette, P., Emmanuel, L., and Michel, D., 1997, River bank filtration : modelling of the changes in water chemistry with emphasis on nitrogen species, *Journal of Contaminant Hydrology*, 25, 129-156.

Gardner, W.D., 1958, Some steady state solutions of unsaturated moisture flow equations with application to evaporation from a water table, *Soil Science*, 85, 228-232.

Ray, C.(ed.), 2002, Riverbank filtration: understanding contaminant biogeochemistry and pathogen removal, Kluwer Academic Publisher.

Ray, C., Melin, G., and Linsky, R. B.(ed.), 2003, Riverbank filtration Improving source-water quality, Kluwer Academic Publisher.

Reynolds, W. D., 1986, The Guelph Permeameter method for in situ measurement of field-saturated hydraulic conductivity and matric flux potential, *Ph.D. Dissertation. University of Guelph*, Guelph, Ont.

Reynolds, W.D. and Elrick, D.E., 1987, A Laboratory and numerical assessment of the Guelph permeameter method, *Soil Science*, 144(4), 282-299.

Salverda, A.P. and Dane, J.H., 1993, An examination of the Guelph permeameter for measuring the soil's hydraulic properties, *Geoderma*, 57(4), 405-421.

Soil Moisture Corp., 1991. Model 2800K1 Guelph Permeameter: Operating Instructions, Santa Barbara, CA 93105, USA.

Zhuanfang, F., Zhang, Pieter, H., Groenevelt, Gary, and W., Par-kin, 1998, The well-shape factor for the measurement of soil hydraulic properties using the Guelph Permeameter, *Soil & Tillage Research*, 49, 219-221.