

조립토 지반에 설치된 침투트렌치의 비침투량 산정식 제안

Suggestion of the Specific Infiltration Equation for Infiltration Trench Installed in a Granular Ground

남 정 만¹ Nam, Jung-Man
윤 중 만^{2*} Yun, Jung-Mann
김 도 형³ Kim, Do-Hyeong

ABSTRACT

The model test and field test for an infiltration trench were carried out to estimate the infiltration quantity in a granular ground with high permeability like Jeju's ground. The specific infiltration equation was suggested on the basis of the model test result. It shows that the infiltration quantity by the proposed equation is larger than about two times of that by the existed equation. Meanwhile, the infiltration quantity from field test is similar to that from the proposed equation as the result of comparison between infiltration quantity of the filed test and that of the proposed equation and the existed equation. Therefore, it may be right that the proposed equation is applied to estimate the infiltration quantity of the infiltration trench in a granular ground with high permability.

요 지

본 연구에서는 제주도와 같이 투수성이 매우 높은 지반에서의 침투량을 산정하기 위하여 침투트렌치에 대한 모형시험 및 현장시험을 실시하였다. 모형시험결과를 토대로 비침투량 산정식을 제안하였다. 제안된 식에 의해 산정된 침투량은 기존식에 의해 산정된 침투량보다 약 2배 정도 크게 나타났다. 한편, 현장침투시험을 통해 얻어진 침투량을 제안식과 기존식에 의해 얻은 침투량과 비교 한 결과, 현장침투시험을 통해 얻은 침투량은 제안식에 의해 얻은 침투량과 거의 비슷하게 나타났다. 따라서 투수성이 높은 조립토 지반에 설치된 침투트렌치의 침투량을 산정함에 있어 본 연구에서 제안된 침투량 산정식을 적용하는 것이 타당하다.

Keywords : Infiltration trench, Model test, Field test, Specific infiltration equation, Infiltration quantity

1. 서 론

최근, 기상이변에 따른 집중호우의 발생빈도가 높아지고 있으며, 강수량도 상당히 많아 우수유출량이 크게 증가하여 각종 재해에 의한 피해가 급증하고 있는 실정이다. 이와 같은 다량의 우수유출에 의한 자연적, 인위적 재해요인의 절감을 위하여 우수유출 저감시설을 지중에 설치하고 있다. 우수유출 저감시설은 많은 양의 우수를 인위적으

로 지중에 침투시키거나 저류시켜 하천이나 저지대로의 유출을 최대한 억제하려는 시설이다. 이러한 우수유출 저감시설은 국외의 경우 보편화 단계에 이르고 있으며, 국내의 경우도 우수유출저감시설에 대한 기본적인 법적, 제도적 장치가 마련되어 많이 활용되고 있는 단계이다(행자부 국립방재연구소, 1998~2002).

제주도에서는 우수유출에 따른 재해를 방지하기 위해 우수유출 저감시설 가운데 침투트렌치를 많이 활용하고는

1 비회원, 제주대학교 해양과학대학 토목공학과 교수 (Non-Member, Professor, Dept. of Civil Engrg., Cheju National University)

2* 정회원, 안산공과대학 건설계열 건설전공 부교수 (Member, Associate Professor, Dept. of Civil Engrg., Ansan College of Technology, E-mail: jmyun@act.ac.kr)

3 비회원, 동아지질 설계지원팀 사원 (Non-Member, Civil Design Team, Dong-Ah Geological Engrg. CO., LTD.)

있다(제주특별자치도, 2007). 그러나 침투트렌치 설계 및 시공 시 국외의 규정을 그대로 적용하고 있는 실정이며 침투량 산정 시 일본의 우수저류침투기술협회에서 제시한 간편식을 적용하고 있다. 이 간편식을 제주도와 같이 다공질의 현무암 및 화산재로 구성되어 있는 투수성이 매우 높은 지반에 적용할 경우 실제 지반의 침투량과 큰 차이가 발생하게 된다. 따라서 최근 들어 우리나라 지반특성에 맞는 우수유출 저감시설의 침투 특성에 대한 연구가 활발히 진행되어 오고 있다(강영태, 2001; 김현수, 2002; 홍동철, 2007).

본 연구에서는 제주도에 설치되는 우수유출 저감시설인 침투트렌치의 침투량을 정확히 산정하기 위하여 투수성이 높은 조립토 지반에서 적용할 수 있는 비침투량 산정식을 제안하고, 이를 침투트렌치에 대한 설계 및 시공 자료로 활용하고자 한다. 이를 위해 침투트렌치에 대한 모형시험 및 현장시험을 실시하였다. 모형시험을 통해 비침투량 산정식을 제안하고, 제안된 비침투량 산정식과 기존의 비침투량 산정식을 비교 분석하였다. 그리고 현장침투시험을 통해 얻어진 침투량과 제안식 및 기존식에 의해 얻은 침투량을 비교 분석하였다.

2. 기본 이론

2.1 침투트렌치의 구조

그림 1은 일반적인 침투트렌치의 구조를 나타낸 것이다. 일반적으로 침투트렌치는 폭 600mm, 깊이 600~700mm를 표준으로 하며, 트렌치 내에는 접속된 침투 통에서 유입한 물을 분산시키기 위해 쇄석 속에 침투관을 설치한다. 그리고 쇄석의 상부에는 침투시트를 깔고 150mm 정도 두께의 흙으로 매립한다.

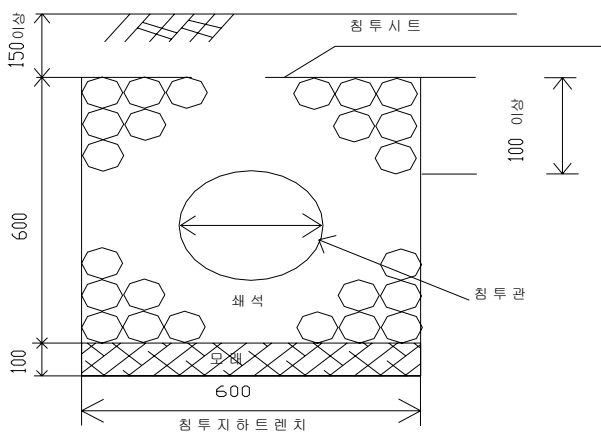


Fig. 1. Cross-section of infiltration trench

2.2 시험시설의 형상

시험 시설은 설치가 간편하며 주입수량을 쉽게 조절할 수 있고 침투능력의 정도나 신뢰성이 높아야 한다. 그림 2는 현재 가장 널리 이용되고 있는 실물시험 방법을 나타낸 것이다.

2.3 시험방법

지반의 침투 능력이나 실제시설의 침투량을 산정하기 위해서는 그림 3에서와 같이 정수위법을 이용하여 종기침투량을 확인하여야 한다. 측정 침투깊이는 설치 예정 침투시설의 침투깊이 H 를 표준으로 하고, 시험 정도의 향상을 위하여 원칙적으로 $1/2H$ 의 침투깊이로 동일한 시험을 실시하는 것으로 한다. 이 때 일정한 수위가 될 때까지 원통 내에 물을 주입하고, 그 수위가 변화하지 않도록 주입량을 조절하고 경과 시간마다 주입량을 측정하며 주입량이 안정될 때까지 계속한다. 주입 시간은 간이형 시험으로 2~4 시간이다.

2.4 기준침투량의 산정

기준침투량(Q_f)을 정확히 파악하기 위해서는 지반의 포화, 불포화 특성을 고려한 이론적인 해석이 필요하다. 그러나 각각의 침투시설에 대한 이론적인 해석은 실질적으로 어려움이 있으므로 지반의 특성에 크게 영향을 받지 않는 비침투량을 이용하여 기준침투량을 산정한다. 각 시설

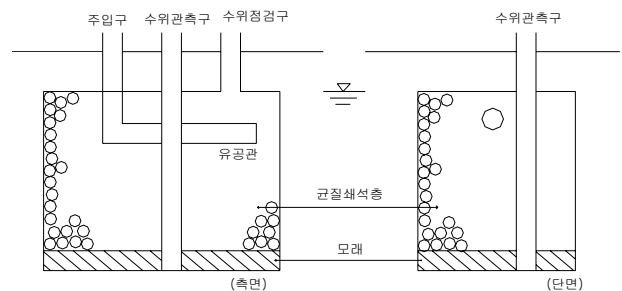


Fig. 2. Example of test facility with real structure

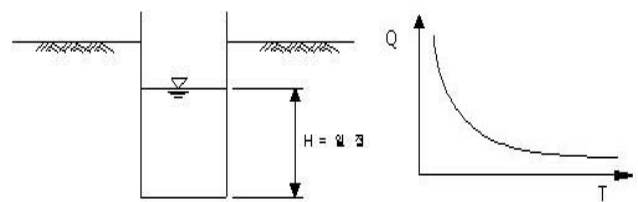


Fig. 3. Constant-head test

별 기준침투량은 다음 식으로 구한다.

$$Q_f = \frac{Q_t}{K_t} \times K_f = k \times K_f \quad (1)$$

여기서,

Q_f : 설치시설의 기준침투량(m^3/hr)

Q_t : 시험시설의 총기침투량(m^3/hr)

K_f : 설치시설의 비침투량(m^2)

K_t : 시험시설의 비침투량(m^2)

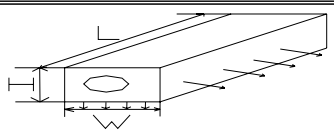
k : 지반의 투수계수(m/hr)

여기서, 비침투량은 시설의 형상, 즉, 직경 $D(m)$ 와 설계 침투 깊이 $H(m)$ 의 관계를 이용하여 결정되는 상수이다. 표 1은 침투트렌치 시설의 비침투량(K_t) 산정식을 나타낸 것이다.

2.5 현장투수시험

현장투수시험은 그림 4에서 나타낸 정수두 보링공 투수 시험(Constant Head Borehole Permeameter)법을 이용하였다(Giorgio C, 1998). 지반에 직경 $2r$ 의 보링공을 굴착

Table 1. K_t equation of infiltration trench

시설	침투트렌치	
침투면	측면 및 저면	
모식도		
산정식의 적용범위	설계수두	약 1.5m
	시설규모	폭 약 1.5m
기본식	$K_t = aH + b$ H : 설계수두(m), W : 시설 폭(m)	
계수	a	3,093
	b	$1.34W + 0.677$
비고	비침투량 : 단위길이 당 값	

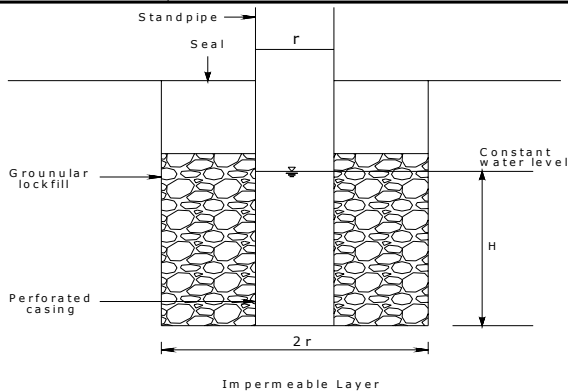


Fig. 4. Borehole test with constant water level

한 후 보링공에 직경 20~30mm의 구멍 뚫린 케이싱을 타 입하고 그 주위를 입상토로 채운 후 벤토나이트 그라우팅으로 봉합하여 설치한다.

투수계수 k 는 다음과 같다.

$$k = \frac{q}{r^2 \sqrt{R^2 - 1} \left[F_1 + \frac{F_2}{A} \right]} \quad (2)$$

여기서,

q : 유량(cm^3/s)

r : 보링공의 반경(cm)

$R = H/R$

H : 정수두(cm)

$$A = \frac{1}{2} \alpha r \quad (3)$$

α : 흡수수(세립토의 경우 $0.002cm^{-1} \sim 0.01cm^{-1}$)

$$F = \frac{4.117(1 - R^{-2})}{\ln \left[R + \sqrt{R^2 - 1} \right] - \left[\sqrt{1 - \frac{1}{R^2}} \right]} \quad (4)$$

$$F = \frac{4.280}{\ln \left[R + \sqrt{R^2 - 1} \right]} \quad (5)$$

3. 모형시험

3.1 모형시험장치

그림 5는 침투트렌치의 모형시험을 위해 제작된 모형 토조를 나타낸 것이다. 모형 토조는 1cm 두께의 아크릴판으로 제작하였으며 크기는 $39 \times 80 \times 80cm$ 이다. 그리고 토조의 하부에 총 6개의 배수구를 만들었으며, 토조 하부로부터 10cm상단에 다공질판을 설치하였으며, 배수에 영향을 미치지 않도록 하였다.

그림 6은 실제 침투트렌치와 같은 구조로 이루어진 모형 침투트렌치를 나타낸 것이다. 모형 침투트렌치는 길이

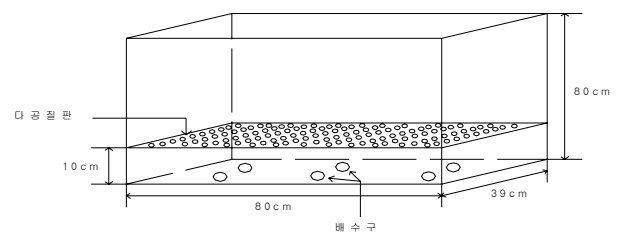


Fig. 5. model box

(L)는 동일하게 하고, 폭(W)은 각각 12, 22, 32cm로 변화시켜 3개의 모형 침투트렌치를 제작하였다. 모형 침투트렌치의 길이 방향의 양쪽 면과 폭 방향의 한 쪽 면은 완전히 폐쇄하여 침투시험 시 물이 침투되지 못하도록 했으며, 폭 방향의 다른 한 쪽 면과 하부 면은 물이 침투할 수 있도록 하였다. 그리고 표준사보다 투수성이 높은 천으로 물의 침투를 허용하는 침투트렌치 한 쪽 면과 하부 면을 연결함으로써 물이 침투하는데 있어 영향을 받지 않도록 하였다.

3.2 사용 재료

3.2.1 표준사

제주도 지반과 같은 투수성이 높은 지반을 재현하기 위해 투수성이 높고 입경이 비교적 균일한 주문진 표준사를 사용하였다. 이 주문진 표준사는 비중이 2.7이고, 입도가 0.25~0.85mm이며, Cu는 12.22이고 Cg는 0.88이다. 그리

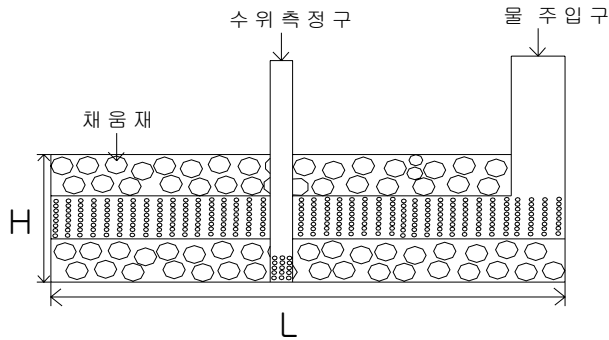


Fig. 6. Structure of infiltration trench

고 정수위 투수시험 결과 상대밀도 60% 일 때의 표준사의 투수계수는 4.18×10^{-2} 이다.

3.2.2 송이

침투트렌치 내의 채움재로서 투수성이 높으면서 하부 지반에 하중 부담을 주지 않는 재료로서 송이를 채움재로 사용하였다. 송이의 경우 4.75~9.5mm 사이의 균일한 입경을 사용하였으며, 이때의 공극률은 34%이다.

3.3 침투시험

3.3.1 시험방법

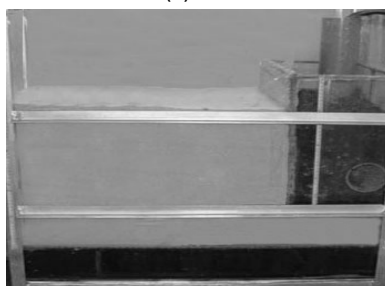
그림 7은 모형침투시험 과정을 나타낸 것이다. 그림 7(a)와 같이 모형지반은 5cm 고무관을 사용하여 지면으로부터 약 10cm 만큼의 높이에서 표준사를 자유 낙하시켜 성형하였다. 처음 하부 다공질 판으로부터 10cm 높이만큼 시료를 성형한 후 모형침투트렌치를 토조 한 쪽 끝에 설치하였다(그림 7(b)). 그리고 다시 처음과 같은 방법으로 시료를 35cm 더 쌓아올렸다. 이 때 시료를 성형하는 동안 모형침투트렌치 내에 채움재를 같은 높이로 채워 넣었다. 채움재는 모형침투트렌치 하부로부터 5cm 높이로 채운 후, 침투트렌치관을 올려놓고 다시 채움재를 채워 넣었다(그림 7(c)). 한편, 그림 7(d)는 침투트렌치관의 물 주입구를 통해 물을 주입한 후 침투트렌치관 주변지반으로의 침투형상을 나타낸 것이다.



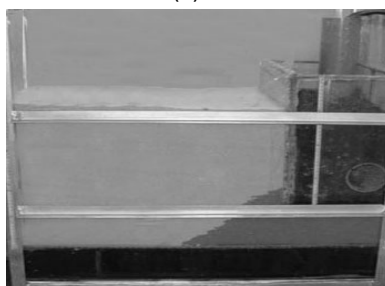
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 7. Process of model infiltration test

3.3.2 시험 결과

모형침투트렌치의 폭(W)를 12, 22, 32cm로 변화시키면서 각각의 침투트렌치 폭에 대해 모형 침투트렌치 내의 수위를 5, 10, 15, 20, 25, 30cm로 각각 유지시켰으며, 이때 측정된 유량을 침투량으로 하였다. 침투트렌치 폭의 결정 시 침투면의 대칭을 이용하여 각각 24, 44, 64cm로 결정하였으며, 종기침투량은 모형시험에서 얻은 침투량의 2배로 하였다.

그림 8은 모형시험으로부터 얻은 종기침투량을 이용하여 각각의 침투트렌치 폭에 대한 비침투량을 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 침투수위 h와 침투트렌치의 폭 W를 변수로 하는 비침투량은 다음과 같이 식 (6)으로 나타낼 수 있다.

$$K_t = 7.565h + (2.428W - 0.025) \quad (6)$$

4. 현장시험

침투트렌치의 침투효과를 분석하기 위하여 현장침투시험은 4개의 현장, 8개소에서 실시하였다.

4.1 현장투수시험

4.1.1 시험방법

침투량 산정 시 지반의 투수계수가 가장 중요한 요소이므로, 현장침투시험을 실시하기 전에 A, B, C, D 4개의 현장에서 정수두 보링공 투수시험법을 이용하여 지반의 투수계수를 측정하였다.

그림 9는 현장에 설치된 정수두 보링공 투수 시험 장치이다. 지반에 직경 2r의 보링공을 굴착한 후 보링공에 직경 20~30mm의 구멍 뚫린 케이싱을 타입하고 그 주위를 입상토로 채운 후 물을 주입해서 정수위 H에 필요한 유량을 측정하였다.

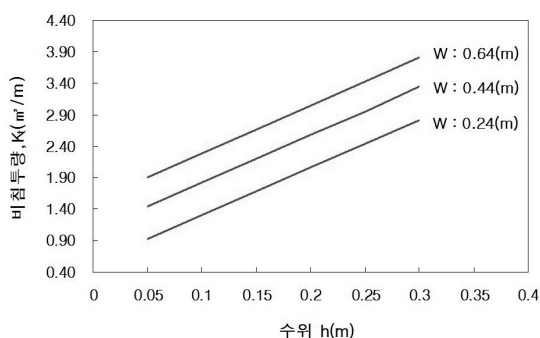


Fig. 8. Specific infiltration equation(K_t) obtained by model test

4.1.2 시험결과

표 2는 A, B, C, D 4개의 현장에서 실시한 현장투수시험 결과를 나타낸 것이다. 표에 나타난 바와 같이 4개의 현장에서 측정된 지반의 투수계수는 $1.03 \times 10^{-2} \sim 1.63 \times 10^{-1}$ (cm/sec)로 투수성이 높은 지반임을 알 수 있다.

4.2 현장침투시험

4.2.1 시험방법

현장침투시험은 실물실험방법을 이용하여 실시하였다. 지반의 침투 능력이나 실제시설의 침투량을 산정하기 위해서 일정한 수위가 될 때까지 트렌치 내에 물을 주입하고, 그 수위가 변화하지 않도록 주입량을 조절하고 경과 시간마다 주입량을 측정하고 이때 측정된 침투량을 종기침투량으로 하여 설계 침투량의 산정 시 적용하였다.

그림 10은 지중에 설치한 침투트렌치를 개략적으로 나타낸 것이다. 여기서, W, H, L은 각각 설치한 침투트렌치의 폭, 높이, 길이이며, h'은 물을 주입했을 때 트렌치 내의 수위가 일정하게 될 때의 정수위 높이이다. 한편, 그림 11은 시험현장에서 침투트렌치를 설치하는 모습을 나타낸 것이다.

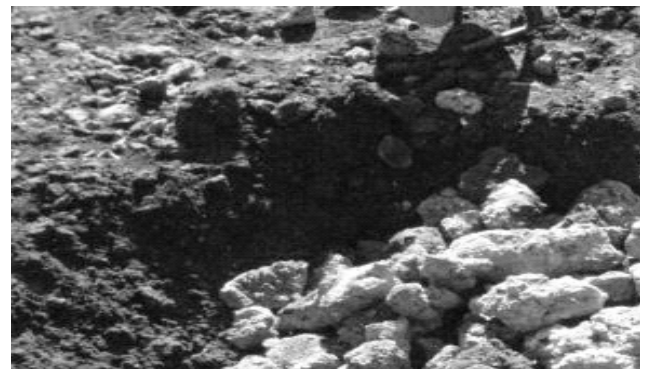


Fig. 9. Borehole test with constant water level

Table 2. Results of permeameter test

현 장		투수계수(cm/sec)
A	1	1.63E-01
	2	7.56E-02
B	1	3.11E-02
	2	4.03E-02
C		1.03E-02
D	1	4.15E-02
	2	9.19E-02
	3	1.44E-01

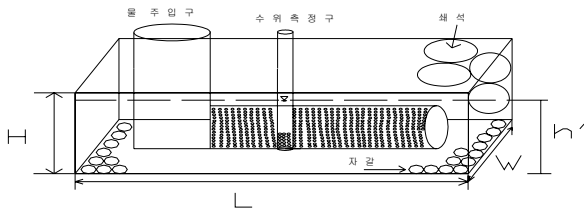


Fig. 10. Structure of infiltration trench installed in field



Fig. 11. Installation of infiltration trench in field

4.2.2 시험결과

A, B, C, D 각 현장에서 실물시험방법을 이용하여 현장 침투시험을 실시하였다. 표 3은 각 현장에서 설치된 침투 트렌치로부터 측정된 총기침투량을 나타낸 것이다. 표에 나타난 바와 같이 침투시험은 대체적으로 투수성이 높은 지반에서 실시하였으므로 침투량이 22.24~269.49(m³/hr)로 높게 나타났다.

5. 분석 및 고찰

5.1 비침투량에 대한 비교 분석

그림 12는 모형시험에 의해 얻은 비침투량 산정식과 기존의 비침투량 산정식을 비교하여 나타낸 것이다. 기존식

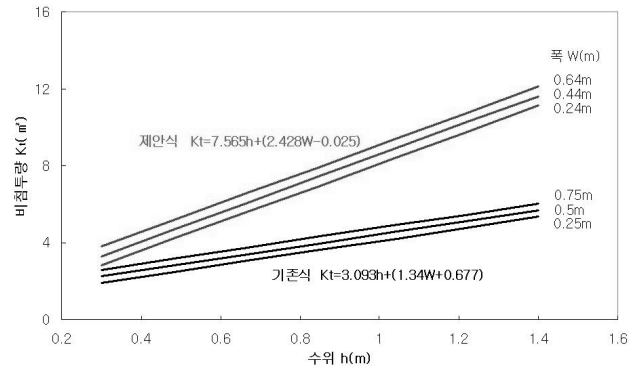


Fig. 12. Comparison between existed equation and proposed equation for specific infiltration quantity

의 경우 침투트렌치 시설의 폭을 각각 0.25, 0.5, 0.75m로 변화시켰으며, 제안식의 경우 0.24, 0.44, 0.64m로 변화시켰다. 그리고 수위는 기존식과 제안식 모두 동일하게 적용하였다. 그림에 나타난 바와 같이 모형시험으로부터 얻은 제안식이 기존의 제안식보다 크게 산정되었다. 그리고 수위가 높아질수록 비침투량의 증가량은 제안식이 기존식보다 크게 나타나고 있으며, 침투트렌치의 폭이 증가할수록 비침투량의 차이가 더 크게 나타나고 있다. 제안식에 의해 산정된 비침투량은 기존식에 의해 산정된 것보다 대략 2배 정도 이상 크게 나타났는데 이는 제주도 지역의 지반이 대체적으로 투수성이 높은 다공성을 지닌 조립토로 이루어졌기 때문이라 판단된다.

5.2 침투량에 대한 비교 분석

표 4는 제안식과 기존식에 의해 얻은 침투트렌치의 침투량과 현장침투시험으로부터 얻은 침투량을 비교하여 나타낸 것이다. 표에 나타난 바와 같이 현장침투시험으로부터 산정된 침투량은 기존식에 의해 얻은 침투량 보다는 제안식에 의해 얻은 침투량과 매우 유사함을 알 수 있다. 그리고 현장침투시험으로부터 산정된 침투량이 가장 크고,

Table 3. Critical infiltration quantity obtained by field test

현 장		W(m)	H(m)	L(m)	h'(m)	총기침투량(m ³ /hr)
A	1	1.5	1.08	3.0	0.43	157.08
	2	1.5	1.08	5.0	0.40	118.63
B	1	1.7	2.2	5.0	0.46	59.04
	2	1.2	2.0	3.0	0.43	22.24
C		5.0	4.0	10	0.29	69.20
D	1	1.4	0.8	5.0	0.53	138.41
	2	1.7	1.4	5.0	1.06	237.26
	3	1.5	1.5	5.0	0.98	269.49

Table 4. Infiltration quantity obtained by field test, existed equation and proposed equation

현 장	투수계수 K (cm/sec)	현장침투시험에 의한 침투량 (m ³ /hr)	기존식에 의한 침투량 (m ³ /hr)	제안식에 의한 침투량 (m ³ /hr)	
A	1	1.63E-01	157.08	70.72	120.95
	2	7.56E-02	118.63	53.40	90.41
B	1	3.11E-02	59.04	24.51	42.45
	2	4.03E-02	22.24	15.73	26.73
C		1.03E-02	69.20	30.68	53.06
D	1	4.15E-02	138.41	31.32	55.16
	2	9.19E-02	237.26	103.12	200.52
	3	1.44E-01	269.49	148.21	285.92

기존식에 의해 산정된 침투량이 가장 작게 나타났다.

그림 13은 각각 현장에 설치된 침투트렌치의 폭(W)에 대하여, 현장침투시험에 의해 얻은 침투량을 제안식 및 기

존식의 침투량과 비교하여 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 침투트렌치의 폭이 1.2m인 경우에는 현장침투 시험으로부터 산정된 침투량은 기존식과 제안식 사이에

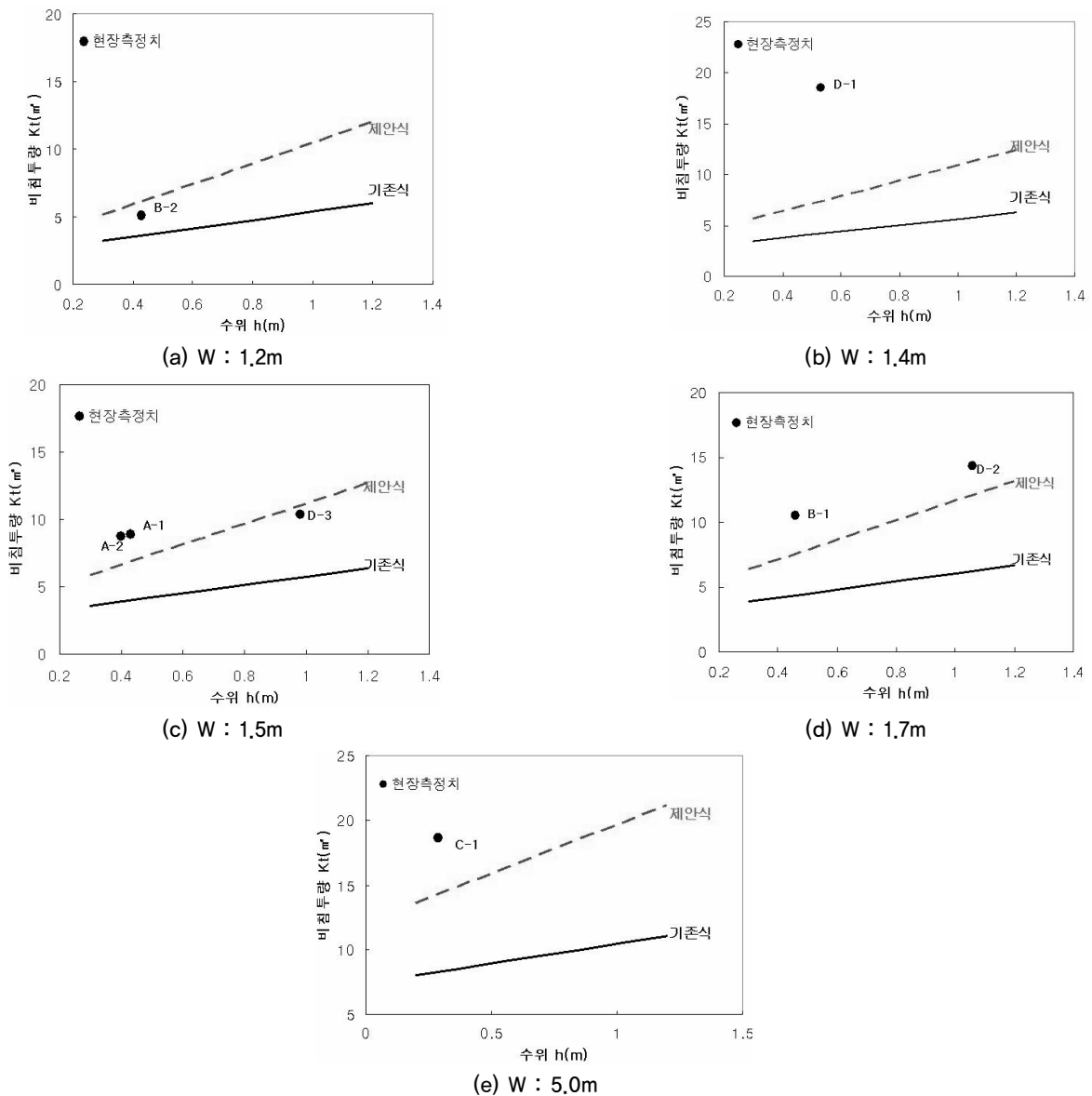


Fig. 13. Comparison of specific infiltration quantity for infiltration trench width

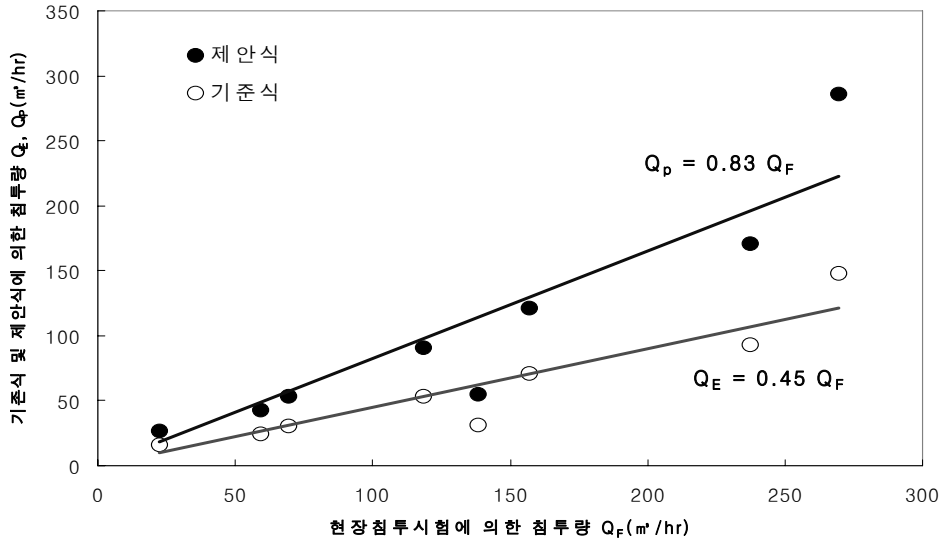


Fig. 14. Comparison between infiltration quantity(Q_F) obtained by field test and infiltration quantity(Q_E , Q_P) obtained by proposed equation and existed equation

분포하고 있으며, 폭이 1.5m, 1.7m, 5m인 경우에는 제안식에 매우 근접하여 분포하고 있다. 그러나 폭이 1.4m인 경우에는 현장침투시험으로부터 산정된 침투량은 기준식 및 제안식과는 다소 큰 차이를 보이며 분포하고 있다. 이는 침투량 산정 시 적용된 지반의 투수계수가 침투트렌치 설치작업으로 지반이 크게 교란된 침투트렌치 저면에서 측정되어 실제 지반의 투수계수보다 크게 산정된 것으로 사료된다.

한편, 그림 14는 기준식 및 제안식으로부터 산정된 침투량을 현장침투시험으로부터 측정된 침투량과 비교분석한 결과를 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 기준식에 의해 산정된 침투량(Q_E)은 현장침투시험에 의해 측정된 침투량(Q_F)의 0.45배로, 기준식에 의해 산정된 침투량이 현장침투량보다 1/2배 정도 작게 나타났다. 그러나 본 연구에서 제안된 식에 의해 산정된 침투량(Q_P)은 현장침투시험에 의해 측정된 침투량(Q_F)의 0.83배로, 제안식에 의한 침투량과 현장침투량은 거의 유사하게 나타났다. 따라서 그림 13과 그림 14의 분석결과를 종합하여 보면 제주도와 같이 투수성이 높은 조립토 지반에 설치된 침투트렌치의 침투량 산정시에는 기준식 보다는 모형시험으로부터 얻은 제안식을 적용하는 것이 보다 합리적임을 알 수 있다.

6. 결론

본 연구에서는 제주도와 같이 투수성이 높은 조립토 지

반에 적합한 비침투량 산정식을 제안하기 위하여 모형시험 및 현장시험을 실시하였다. 그리고 기준식과 제안식에 의해 산정된 침투량과 현장침투시험에서 측정된 침투량을 비교 분석한 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 지반의 투수계수가 침투트렌치의 침투량 산정에 상당히 큰 영향을 미치므로 지반의 투수계수를 정확히 측정하여야 한다.
2. 침투트렌치 시설을 설치한 현장의 지반의 투수계수는 $1.03 \times 10^{-2} \sim 1.63 \times 10^{-1}$ (cm/sec)로 상당히 크게 나타났다. 모형시험을 실시하여 이와 같이 투수성이 높은 조립토 지반에 설치된 침투트렌치의 비침투량을 정확히 산정할 수 있는 식($K_t = 7.565h + (2.428W - 0.025)$)을 제안하였다.
3. 침투트렌치의 비침투량 산정식은 모형시험으로부터 얻은 제안식이 기존의 제안식보다 약 2배 정도 크게 나타났다. 그리고 수위가 높아질수록 비침투량의 증가량이 제안식이 기준식 보다 크며, 트렌치의 폭이 증가할수록 비침투량의 차이가 더 크게 나타났다.
4. 현장침투시험에 의해 측정된 침투량은 제안식에 의해 산정된 침투량과 매우 유사하게 나타났다. 따라서 제주도와 같이 투수성이 높은 조립토 지반에 설치된 침투트렌치의 침투량 산정 시에는 기준식 보다는 제안식을 적용하는 것이 보다 합리적임을 알 수 있다.

참고문헌

1. 강영태 (2001), *개발에 따른 우수유출 저감시설 활용방안*, 석사학위논문, 연세대학교.
2. 김현수 (2002), *인천 침수피해지역의 우수유출저감시설 설치효과*, 석사학위논문, 인천대학교.
3. 홍동철 (2007), *제주도 지역의 침투집수정 시설의 설치효과 분석*, 석사학위논문, 제주산업대학교 산업대학원.
4. 제주특별자치도 (2007), *제주도 특성에 적합한 재해영향 저감기준 연구(I)*.
5. 행자부 국립방재연구소 (1998), *우수유출 저감시설 설치 기법연구(I) 보고서*.
6. 행자부 국립방재연구소 (1999), *우수유출 저감시설 설치 기법연구(II) 보고서*.
7. 행자부 국립방재연구소 (2000), *우수유출 저감시설 설치 기법연구(III) 보고서*.
8. 행자부 국립방재연구소 (2001), *우수유출 저감시설 설치 기법연구(IV) 보고서*.
9. 행자부 국립방재연구소 (2002), *우수유출 저감시설 설치 기법연구(V) 보고서*.
10. Giorgio Cassiani (1998), "A new method for the interpretation of the constant-head well permeameter", Vol.210, Issues 1-4, pp.11-20.

(논문접수일 2008. 11. 17, 심사완료일 2008. 12. 6)