

碩士學位論文

조립토 지반에 설치된
침투트렌치의
비침투량(比浸透量) 산정식 제안



濟州大學校 大學院

土木海洋工學科

金 度 亨

2008年 2月

조립토 지반에 설치된
침투트렌치의
비침투량(比浸透量) 산정식 제안

指導教授 南 正 萬

金 度 亨

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2008年 2月

金度亨의 工學 碩士學位 論文으로 認准함

審査委員長 _____ 印

委 員 _____ 印

委 員 _____ 印

濟州大學校 大學院

2008年 2月

Suggestion of the specific infiltration formula for an
infiltration trench installed in a granular ground

Do-Hyeong Kim

(Supervised by Professor Jung-Man Nam)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for
the degree of Master of Engineering

2008. 2

This thesis has been examined and approved

Thesis director, Sang-Jin Kim, Prof. of Civil engineering

Thesis director, Dong-Wook Lee, Prof. of Civil engineering

Thesis director, Jung-Man Nam, Prof. of Civil engineering

February. 2008

Department of Civil & Ocean Engineering

GRADUATE SCHOOL

CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

List of Tables	iii
List of Figures	iv
Summary	vi
I. 서 론	1
1. 연구배경 및 목적	1
1. 연구내용 및 범위	2
II. 기본 이론	3
1. 침투트렌치의 개요 및 구조	3
2. 현장침투시험	5
2.1 현장침투시험 절차	5
2.2 조사 지점의 선정	6
2.3 현장침투시험	7
2.4 시험 결과의 정리	13
3. 설계침투량의 산정	14
3.1 단위설계침투량	14
3.1 기준침투량	14
4. 투수시험의 종류 및 방법	24
4.1 실내투수시험	24
4.2 현장투수시험	27
III. 침투트렌치의 모형시험	38
1. 모형시험장치	38
2. 사용 재료	40
2.1 표준사	40
2.2 송이	40

3. 시험 방법	41
3.1 표준사에 대한 투수시험	41
3.2 침투시험	41
3.2 시험 결과	44
IV. 침투트렌치의 현장시험	47
1. 현장투수시험	47
1.1 시험 방법	47
1.2 시험 결과	49
2. 인위적 저류를 통한 현장침투시험	50
2.1 시험 방법	51
2.2 시험 결과	55
V. 침투량 분석	56
1. 비침투량에 대한 기존식과 제안식의 비교	56
2. 기존식에 의한 설치시설의 침투량 분석	58
3. 제안식에 의한 설치시설의 침투량 분석	60
4. 침투량 산정의 비교 분석	62
VI. 결 론	68
VII. 참고문헌	70

List of Tables

Table 2.1	The test purpose and the number of survey points	6
Table 2.2	The comparison of In-situ infiltration method by using a simple facility and a facility with a real structure	9
Table 2.3	Constant Head method test	10
Table 2.4	K_t , K_f equation of the square infiltration facilities (the side and the base)	19
Table 2.5	K_t , K_f equation of the square infiltration facilities(the base)	20
Table 2.6	K_t , K_f equation of the circular infiltration facilities (the side and the base)	21
Table 2.7	K_t , K_f equation of the circular infiltration facilities(the base)	22
Table 2.8	K_t , K_f equation of the rectangle infiltration facilities(the side and the base), infiltration(the base), infiltration gutter and infiltration trench(the side and the base)	23
Table 2.9	Advantage and Disadvantage of test methods	37
Table 3.1	The specific infiltration(K_i) results obtained by the model test	45
Table 4.1	The results of Permeameter test	49
Table 4.2	The infiltration facilities of each areas	50
Table 4.3	W, H, L of an infiltration trench in each areas	51
Table 4.4	Critical infiltration results obtained by In-situ test	55
Table 5.1	The infiltration results obtained by a pre-existed formula	58
Table 5.2	The infiltration results obtained by a suggestion formula	60
Table 5.3	The critical infiltration results obtained by In-situ infiltration test, a pre-existed formula, a suggestion formula	62

List of Figures

Fig. 2.1	The cross-section of an infiltration trench	3
Fig. 2.3	The test facility to use the Bore-hole method	7
Fig. 2.4	The test facility to use the base infiltration method	8
Fig. 2.5	The example of test facility with a real structure	8
Fig. 2.6	K_t -Infiltration depth relation curve for the Bore-hole method	15
Fig. 2.7	K_t -Infiltration depth relation curve for the base infiltration method	16
Fig. 2.8	Design shape factor-Design height- K_t relation curve	16
Fig. 2.9	Design shape factor-Design height- K_t relation curve	17
Fig. 2.10	Design shape factor-Design height- K_t relation curve	17
Fig. 2.11	Design shape factor-Design height- K_t relation curve	18
Fig. 2.12	Design shape factor-Design height- K_t relation curve	18
Fig. 2.13	Constant-head test	24
Fig. 2.14	The falling-head test	26
Fig. 2.15	Schematic Diagram of two-stage in situ Hydraulic Conductivity Test with Boutwell Permeameter for Case in which Potentiometric Level is below Base of Permeameter	28
Fig. 2.16	Curve of k_2/k_1 versus m Required to Satisfy for $L/D=1.0, 1.5,$ and 2.0	30
Fig. 2.17	Borehole Test with Constant Water Level	31
Fig. 2.18	Factor C versus H/r	33
Fig. 2.19	Hydraulic Conductivity from Porous Probe Tests	35
Fig. 3.1	The structure of a soil tank	38
Fig. 3.2	The structure of an infiltration trench	39
Fig. 3.3	Grain-size distribution curve for Jumunjin sand	40
Fig. 3.4	Specimen preparation to operate the infiltration test	42
Fig. 3.5	The model infiltration test	43
Fig. 3.6	The figure of streamlines	43
Fig. 3.7	The specific infiltration(K_t) graph obtained by the model test	44

Fig. 4.1	The location to carry out experiment on infiltration test	47
Fig. 4.2	Borehole Test with Constant Water Level	48
Fig. 4.3	The figure of Borehole Test with Constant Water Level	48
Fig. 4.4	The structure of an infiltration trench	50
Fig. 4.5	Ground excavation	52
Fig. 4.6	Installation of an infiltration trench	52
Fig. 4.7	The figure of an infiltration trench	53
Fig. 4.8	Pouring the water into an infiltration trench	53
Fig. 4.9	The measurement of water level	54
Fig. 5.1	The comparison between a pre-existed formula and a suggestion formula for the specific infiltration	56
Fig. 5.2	Comparison of the specific infiltrations for B-2 area	63
Fig. 5.3	Comparison of the specific infiltrations for D-1 area	64
Fig. 5.4	Comparison of the specific infiltrations for A-1, A-2, D-3 areas 64	
Fig. 5.5	Comparison of the specific infiltrations for B-1, D-2 areas	65
Fig. 5.6	Comparison of the specific infiltrations for C-1 area	65
Fig. 5.7	The comparison between the infiltration Q obtained by In-situ infiltration test and the infiltration Q obtained by the suggestion formula.	65
Fig. 5.8	The comparison between the infiltration Q obtained by In-situ infiltration test and the infiltration Q obtained by the pre-existed formula	65

Summary

Recently, runoff is increasing suddenly due to heavy rainfall and development, for this, the damages are increasing. And although the runoff reduction facilities are installed for preventing this damage, the proper infiltration formula in soil condition of Jeju area isn't made exactly. Also if a pre-existed formula is applied in estimating an infiltration, the infiltration is different from a true infiltration because soils distributed in Jeju area have high permeability. So to suggest the specific infiltration formula for granular which has high permeability, the model test was conducted. Through this model test, the specific infiltration formula was suggested as following.

$$K_i(\text{m}^2/\text{m}) = 7.565h + (2.428W - 0.025)$$

And it is expected that the infiltration obtained from suggestion formula is higher than it obtained from a pre-existed formula about twice.

Also In-situ permeameter test and infiltration test were conducted for 8 points in 4 areas. For In-situ permeameter test, coefficient of permeability was estimated from Borehole Test with constant water level. Also critical infiltration was obtained from infiltration test. The results of permeameter test was from 1.03×10^{-2} to 1.63×10^{-1} (cm/sec), permeability was very high. Also critical infiltration was from 22.24 to 212.7 (m³/hr), high infiltration effect was obtained. But critical infiltration obtained from a pre-existed formula was very low from 15.73 to 148.21 (m³/hr).

So critical infiltration obtained from in-situ infiltration test, a pre-existed formula, suggestion formula was compared respectively. In result, critical infiltration obtained from suggestion formula was closed to critical infiltration obtained from in-situ infiltration test

I. 서 론

1. 연구배경 및 목적

최근 들어 집중호우의 발생빈도가 높아지고 있으며 다양한 개발행위로 인한 우수유출량이 크게 증가하고 있다. 이에 따라 각종 재해에 의한 피해가 급증하고 있으며 이러한 자연적, 인위적 재해요인의 절감을 위한 연구에 많은 관심을 보이고 있다. 침투트렌치 시설은 이런 재해요인을 절감할 수 있는 시설로서, 우수를 인공적으로 지하에 침투시키거나 저류시켜 하천이나 저지대로의 유출을 최대한 억제하려는 시설이다. 이러한 침투트렌치 시설은 국외의 경우 보편화 단계에 이르고 있으며, 국내의 경우도 우수유출저감시설에 대한 기본적인 법적, 제도적 장치가 마련되어 많이 활용되고 있는 단계이다.

제주도의 경우 우수유출에 따른 재해를 방지하기 위해 침투트렌치 시설을 활용하고는 있으나, 국외의 규정을 그대로 모방하고 있는 실정이며 침투량을 산정하는 공식 또한 일본의 우수저류침투기술협회에서 제시한 간편식을 그대로 적용하고 있다. 하지만 제주도는 다른 지역과 달리 화산재로 구성되어 있어 대체적으로 지반의 투수성이 높은 편이며 기존의 침투량 산정식을 적용할 경우 실제 지반의 침투량과 큰 오차를 보이고 있다.

따라서 모형시험을 통해 얻어진 조립토 지반에 적합한 비침투량 산정식을 제안하여 기존식 및 제주도 지역에 설치된 침투트렌치 시설의 현장침투시험을 통해 얻어진 침투량과 비교 분석하고자 한다. 또한 본 연구를 통해 얻어진 결과를 토대로 제안된 조립토 지반에 적절한 비침투량 산정식이 차후에 제주도 지역의 침투트렌치시설의 설계 시 기초자료 및 설계지침으로 활용할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

2. 연구내용 및 범위

본 연구에서는 침투트렌치 시설의 침투량 산정 시 제주도 지반과 같이 투수성이 높은 조립토 지반에 대해 적절한 비침투량 산정식을 제안하고자 한다. 현재 사용되고 있는 침투량 산정식은 투수계수와 비침투량의 곱으로 계산되는데, 여기서 기존의 비침투량 산정식을 투수성이 높은 조립토 지반에 대해 그대로 적용할 경우 큰 오차가 발생한다. 따라서 투수성이 높은 조립토 지반에 대한 비침투량 산정식을 제안하기 위해 다음과 같은 내용 및 범위를 설정하였다.

■ 침투트렌치의 모형시험

- 침투트렌치의 모형시험을 통해 비침투량 산정식 도출.

■ 시험 지점의 현장투수시험

- 침투트렌치 시설을 설치한 4개 지역의 8개소 지점의 투수계수 분석.

■ 시험 지점의 현장침투시험

- 침투트렌치 시설을 설치한 4개 지역의 8개소 지점에 대해 현장침투시험을 통한 침투량 분석.

■ 침투량 분석

- 비침투량 산정에 대한 제안식과 간편식의 비교 분석.
- 제안식과 간편식에 의해 얻은 침투량과 현장침투시험에 의한 침투량의 비교 분석.
- 투수성이 높은 조립토 지반에 대한 비침투량 산정식 제안.

II. 기본이론

1. 침투트렌치의 개요 및 구조

트렌치는 땅을 판 후에 쇄석 등 다공매질을 충전하고 내부에 침투관(유공관, 다공관 등을 말한다)을 설치해서 침투 트렌치에 충전된 쇄석 층의 분산, 침투된다. 굴착한 도랑에 쇄석을 충전하고 그 안에 유입수를 균일하게 분산시키기 위해 투수성 관을 포설한 구조를 가지며, 침투트렌치는 우수배수시설로 겸용되는 경우가 많기 때문에 투수관 지름, 경사 등의 기능을 잃지 않도록 고려할 필요가 있다. 그림 2.1은 일반적인 침투트렌치의 구조를 나타낸 그림이다.

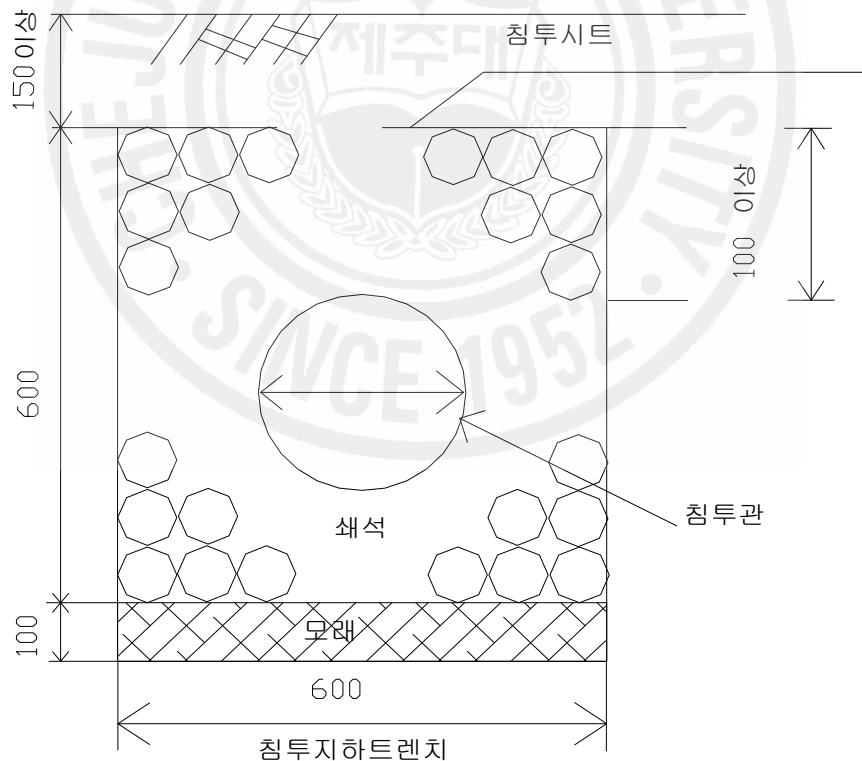


Fig. 2.1 The cross-section of an infiltration trench

그리고 일반적으로 침투트렌치를 설치할 때의 기준은 다음과 같다.

■ 폭 600mm, 깊이 600~700mm를 표준으로 한다.

■ 트렌치 내에는 접속된 침투 통에서 유입한 물을 분산시키기 위해 쇠석 속에 침투관을 설치한다.

■ 쇠석의 상부에는 침투시트를 깔고, 보통 흙으로 매립한다.



2. 현장침투시험

침투시설 설치 예정지역에서는 지반의 침투 능력 평가를 목적으로 현장침투시험을 실시한다. 시험방법으로는 bore-hole법을 기준으로 하고 지반상황에 따라 저면침투법이나 실물시험에 정수위법을 적용하여 실시한다.

2.1 현장침투시험 절차

현장침투시험은 ①조사지점의 선정, ②현장침투시험, ③시험결과 정리의 순서로 실시하며 이를 도시하면 그림 2.2와 같다.

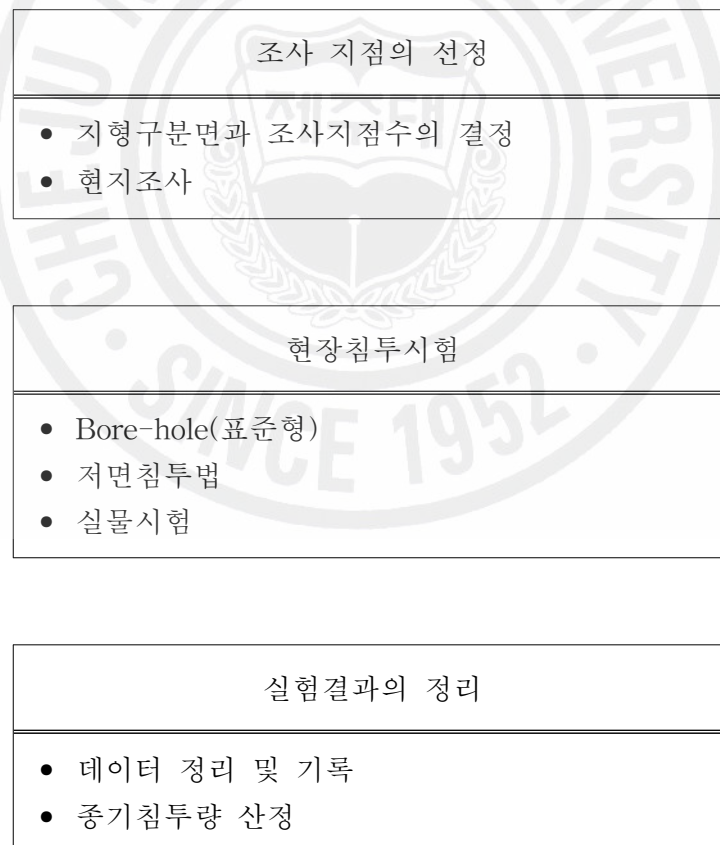


Fig. 2.2 The procedure of In-situ infiltration test

2.2 조사 지점의 선정

자료조사에 근거하여 각기 다른 지형마다 아래의 순서에 따라 침투시험 장소를 선정한다.

(1) 조사지점 수의 결정

조사지점 수는 시험 목적 등에 따라 표 2.1에서 제시한 기준으로 결정한다. 대상 지역이 극히 소규모의 경우(1.0ha 미만)는 아래 표의 조사지점 개수의 선정기준에 관계없이 유연하게 조사지점 수를 줄일 수 있다.

Table 2.1 The test purpose and the number of survey points

목 적	대상지역	조사지점수의 목표
하천 유역에 있어서의 지형 구분면마다 평균침투량 파악	하천유역	지형구분면마다 3개소
단지 등 특정 개발지역 내의 우수침투사업계획 책정	신규개발지 기존개발지	대표적 지반마다 (질성토별, 토질별) 3개소

(2) 지도상 선정

- ① 조사지점은 설치 가능하다고 추정되는 유역 및 각기 다른 지형마다 균등하게 분산, 배치한다.
- ② 시험 시 한 지점 당 약 20m²의 토지를 일시적으로 차용할 필요가 있으므로, 가능한 한 공유지(학교, 공원 등) 또는 기존의 이용자가 없는 지역을 선정한다.

(3) 현장조사

지도상으로 선정한 후 지점을 확정하거나 지형이나 토질, 지하수위의 분포 등을 확인하기 위하여 현장조사를 실시한다. 현장조사에서의 유의점은 다음과 같다.

- ① 시험에 필요한 면적(약 20m² 이상)이 확보 가능한지를 조사한다.

- ② 용지의 차용이 가능한지를 조사한다.
- ③ 주변에 시험에 사용할 수 있는 수원이 있는지를 조사한다.
- ④ 침투에 장애가 될 수 있는 지하 매설물이 부근에 있는지를 조사한다.
- ⑤ 그 외, 조사지점이 지형을 대표할 수 있는 지점인지를 지형, 지질, 토지이용 등에 대해 가능한 범위 내에서 조사한다.

2.3 현장침투시험

(1) 시험시설의 형상

시험 시설은 설치가 간편하며 주입수량을 쉽게 조절할 수 있고 침투능력의 정도나 신뢰성이 높아야 한다. 현재 가장 널리 이용되고 있는 간이형 시험법을 간단한 모식도로 나타내면 그림 2.3~2.5와 같다. 그림 2.3의 bore-hole 법과 그림 2.4의 저면침투법이 있으며, 실물시험 방법은 그림 2.5와 같다. 그리고 표 2.2는 각 방법별 장·단점을 설명하고 있다.

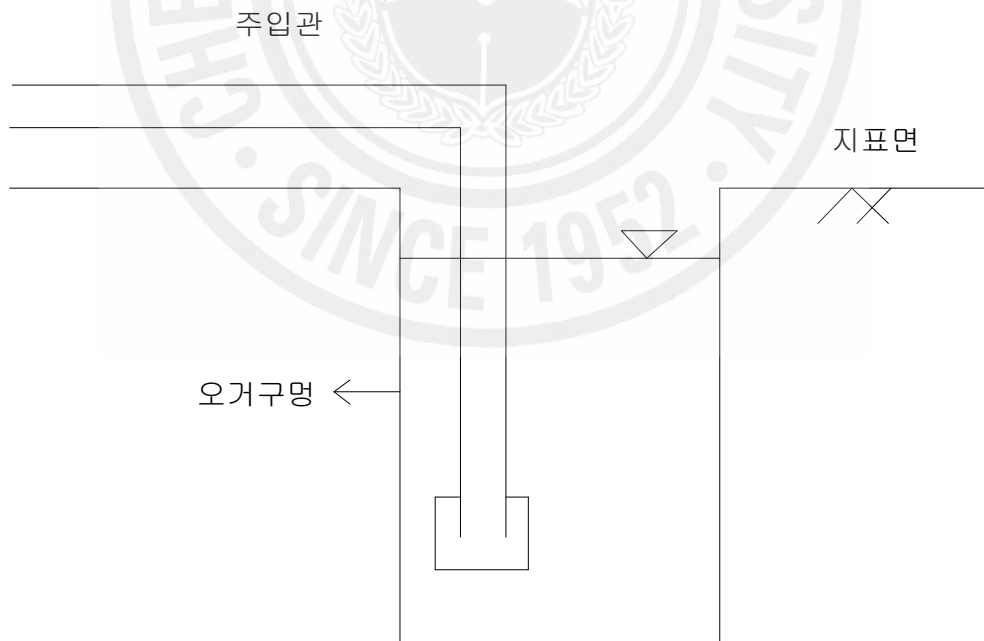


Fig. 2.3 The test facility to use the Bore-hole method

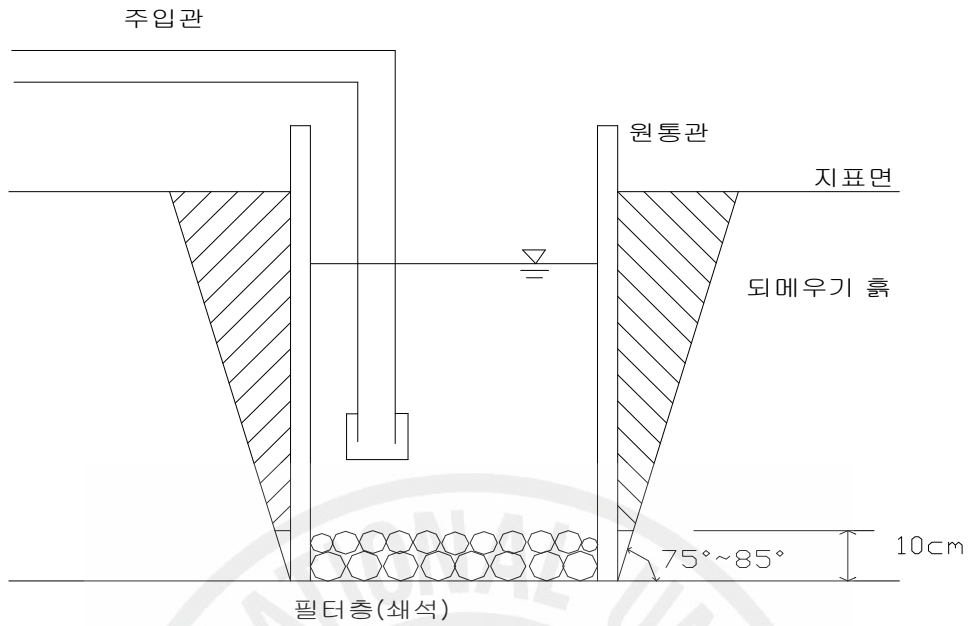


Fig. 2.4 The test facility to use the base infiltration method

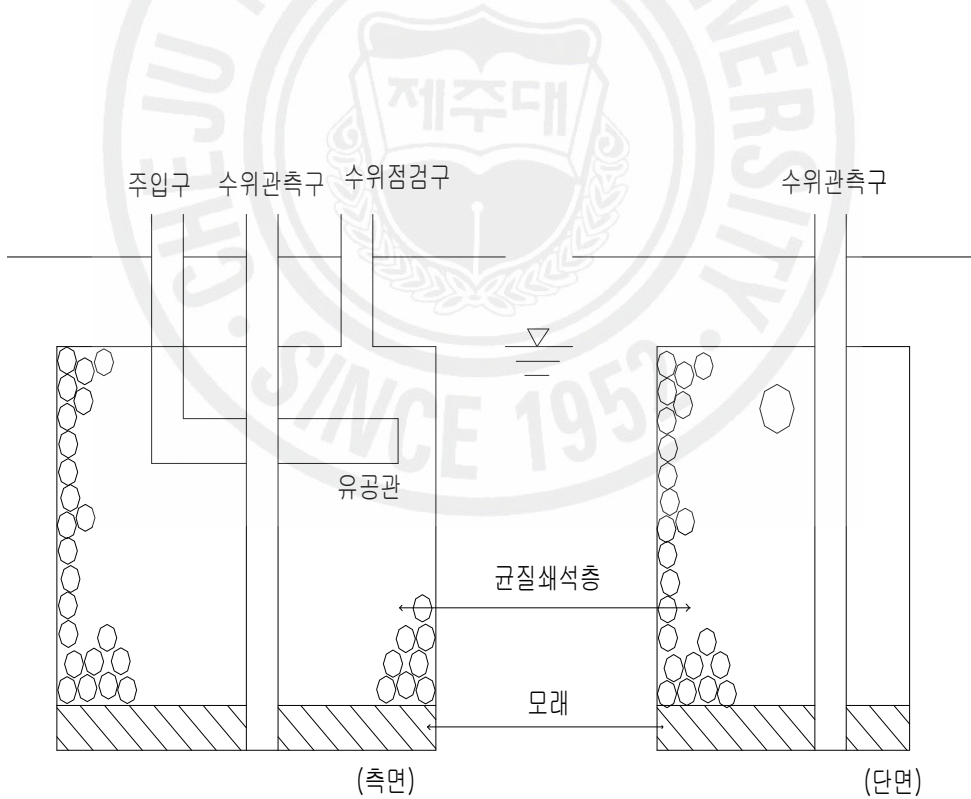


Fig. 2.5 The example of test facility with a real structure

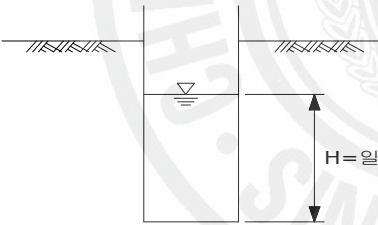
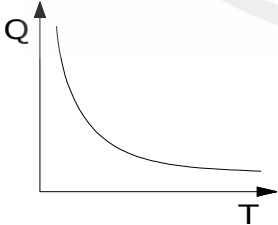
Table 2.2 The comparison of In-situ imfiltration method by using a simple facility and a facility with a real structure

시험법	간이형 시설		실물시험
	Bore-hole법 (원통형 전면침투법)	원통형 저면침투법	
시험 시설의 개요	<ul style="list-style-type: none"> • 직경 20cm 정도의 오거구멍을 이용한다. • 침투면은 수면 아래의 전면(측면과 저면). 	<ul style="list-style-type: none"> • 적당한 크기의 피트 굴삭 후, 직경 30cm의 원통을 세워 되묻는다. • 침투면은 원통의 저면뿐이다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 원통형 또는 각형의 통, 거형 트렌치 등이 고려된다. • 침투면은 쇄석과 원지반과의 접촉부(사이에 부직포가 들어가는 경우 있음) 수위 아래의 전면(측면과 저면).
시설 설치상 장, 단점	<ul style="list-style-type: none"> • 실물시설과 비교해 굴착토량은 현저히 적다. • 저면침투법과 비교해 굴착토량이 적다. • 저면침투법과 비교해 설치가 다소 용이. • 침투면의 점검, 손질이 곤란. • 자갈, 옥석 혼합 퇴적층에서의 시설설치는 사실상 불가능. 	<ul style="list-style-type: none"> • 실물시설과 비교해 굴착할 토량은 현저히 적다. • Bore-hole법과 비교해 굴착하는 토량이 많다. • 굴착, 되묻기가 있으며, 설치에 다소 시간을 필요로 한다. • 침투면의 세밀한 점검이 가능. • 토질에 따른 설치상의 제약은 없다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 간이형 시설과 비교해 토공량이 매우 많다. • 인력만으로는 설치의 곤란하며 토목기계가 필요하다. • 쇄석, 부직포 등 재료를 많이 필요로 한다. • 침투면이 넓으므로 세밀한 점검에 시간이 요구된다. • 토질에 따른 설치상의 제약은 없다.
시험법상 장, 단점	<ul style="list-style-type: none"> • 실물시설에 비해 주입수량은 조금이면 된다. • 측면으로부터의 침투도 있고, 지반의 연직방향, 수평방향의 평균적인 침투성 파악을 할 수 있다. • 원칙적으로는 투수성의 이방성(수평, 연직방향에서의 차이)을 해석할 수 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 실물시설에 비해 주입수량은 조금이면 된다. • 저면에서의 침투를 위해 저면 설치 위치에서 연직방향만의 침투성 평가가 된다. • 주입수가 주위 되묻는 부분에 섞이는 경우가 있다(침투능력을 과대평가하는 것이 된다). 	<ul style="list-style-type: none"> • 간이형 시설과 비교해 주입수량이 현저히 많아진다. • 시설규모가 크므로 보다 큰 영역에서의 지반 침투능력의 평가가 가능하다. • 실물시설이므로 시험 결과를 그대로 설계에 이용할 수 있다.

(2) 시험 방법

지반의 침투 능력이나 실제시설의 침투량을 산정하기 위해서는 표 2.3에서와 같이 정수위법을 이용하여 종기침투량을 확인하여야 한다. 측정 침투깊이는 설치 예정 침투시설의 침투심 H 를 표준으로 하고, 시험 정도의 향상을 위하여 원칙적으로 $1/2H$ 의 침투깊이로 동일한 시험을 실시하는 것으로 한다.

Table 2.3 Constant Head method test

시험 방법	장 점	단 점
<p>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 2~4시간이다</p>  	<ul style="list-style-type: none"> • 실제시설의 침투량을 적절히 구할 수 있다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 변수위법에 비해 다량의 물이 필요하다. • 주입량을 측정하는 기구 및 상시관찰이 필요하다.

(3) 시험시설의 설치와 시험 순서

1) Bore-hole법

① Bore-hole의 굴착

핸드 오거를 이용하여 설정한 bore-hole 깊이까지 굴착한다.

② 토질의 확인 및 시료채취

굴착 시에는 토질의 판정을 함과 동시에 필요에 따라 침투 부분을 대표하는 토질 시료를 채취하여 실내시험을 실시한다.

③ 침투면의 손질

오거를 이용해서 굴착할 때는 굴착공 벽면에 진흙막이 생기거나 굴착공 바닥에 흙이 쌓여서 실제 침투능을 확인할 수 없게 되는 경우가 있다. 따라서 구멍 내의 상태를 잘 관찰하여야 하며, 필요한 경우에는 와이어 브러시 등으로 이물질을 제거하는 동시에 굴착한 흙은 모두 굴착공 밖으로 꺼낼 수 있도록 한다.

④ 충전재 등의 삽입

Bore-hole법을 이용해서 굴착한 후에는 침투면이 손상되지 않도록 주의하면서 자갈 또는 쇠석을 충전한다. 이 때, 물의 주입과 수위 측정전극 등의 장치 삽입을 위한 다공케이싱도 설치한다. 이 작업은 주입수에 의한 침투면의 세굴 및 진흙의 교란을 방지하기 위한 것이며, 흙의 배출 방지용 부직포를 포설하여 사용할 수도 있다.

⑤ 정수위법 시험

다음의 순서로 본 시험을 실시한다.

가) 실제 설치시설의 설계 침투심에 해당하는 수위까지 물을 주입해서 실제와 같은 초기조건을 만든다.

나) 수원으로부터의 물 주입량을 수위 센서나 전자 밸브 등으로 조정하고 위의 침투심을 유지한다.

다) 경과 시간마다 유량계 등으로 주수량을 측정한다. 측정시간 간격은 10분 간격을 목표로 하지만 변화가 두드러진 경우에는 시간 간격을 좁힌다.

라) 주수량이 거의 일정하게 될 때까지 나)~다)를 반복한다. 반복시간은 2~4시간을 기준으로 한다.

마) 침투심 H에서의 시험 종료 후 침투심 H/2에서의 시험을 나)~라)의 순서로

반복한다.

⑥ 원형복귀

마지막에는 굴착토를 되묻고 단단하게 밟아서 원래의 상태로 복귀시킨 후에 시험을 종료한다.

2) 저면침투법

① 굴착

계획 단면에 따라 굴착을 한다. 지반을 굴착하는 데는 백호, 크레인 등의 기계를 사용해도 무방하지만 침투면은 스코프를 이용해서 인력으로 굴착한다.

② 토질 확인 및 시료채취

굴착 시에는 토질 관정을 함과 동시에, 필요에 따라 침투면 부근에서 토질 시료를 채취하여 실내시험을 실시한다.

③ 침투면의 손질

침투면은 와이어 브러시로 깨끗하게 정리해서 침투능을 확인할 수 있도록 세심하게 손질한다.

④ 원통 파이프 세트

가) 원통 파이프는 지중에 약간 밀어 넣듯이 장치한다.

나) 파이프 선단으로부터 물이 주위에 스며드는 것을 방지하기 위해 파이프 외측의 피트 아래 부분에 점토 등을 투입하고 단단히 밟아서 마개를 한다.

다) 그 위에 굴착토를 파이프 외측에 되묻어서 단단히 밟는다.

라) 파이프 내부에 자갈 및 쇄석을 조심스럽게 넣는다. 이 때, 침투면이 손상되지 않도록 주의한다.

⑤ 정수위법시험

Bore-hole법에서 제시한 순서에 따라 시험한다.

⑥ 원형복귀

마지막으로 원통 파이프를 당겨서 뽑아 굴착토를 되묻고 단단히 밟아 원형 복귀시켜 시험을 종료한다.

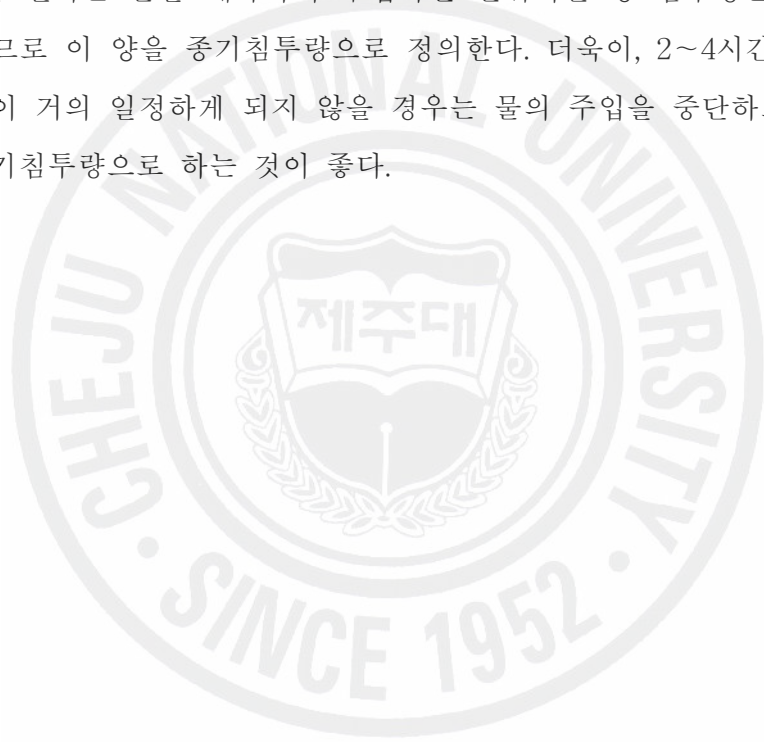
2.4 시험 결과의 정리

(1) 데이터 정리 및 기록

현장침투시험에서의 측정치에는 시설형상, 설계침투심 및 주입수의 단위시간 당 침투량 및 침투총량 등의 기록 외에 막힘이나 침투능과의 관계 파악에 필요한 주입수의 수질(탁함), 수온(기온) 등을 기록한다.

(2) 종기침투량

침투 시험 결과는 물을 계속하여 주입하면 단위시간 당 침투량은 거의 일정치를 나타내므로 이 양을 종기침투량으로 정의한다. 더욱이, 2~4시간 물을 주입해도 침투량이 거의 일정하게 되지 않을 경우는 물의 주입을 중단하고 그 때의 침투량을 종기침투량으로 하는 것이 좋다.



3. 설계침투량의 산정

3.1 단위설계침투량

침투시설의 단위설계침투량은 시설의 형상과 설계수두를 변수로 하는 간편식을 이용해 기준침투량을 구하고 여기서 구한 값에 영향계수를 곱해서 산정한다.

$$Q = C * Q_f$$

여기서,

Q : 침투시설의 단위설계침투량

Q_f : 침투시설의 기준침투량

C : 영향계수

일반적으로 0.9(지하수위의 영향) * 0.9(공극 막힘에 의한 영향) = 0.81

3.2 기준침투량

기준침투량(Q_f)을 정확히 파악하기 위해서는 토양의 포화, 불포화 특성을 고려한 이론적인 해석이 필요하지만 각각의 침투시설마다 이론적인 해석을 하는 것은 실제적으로 어려운 일이므로 여러 가지 토양의 물성에 크게 영향을 받지 않는 비침투량(침투시설로부터의 침투량을 포화투수계수로 나눈 값)을 이용하여 기준침투량을 산정한다. 각 시설별 기준침투량은 다음 식으로 구한다.

$$\begin{aligned} Q_f &= \frac{Q_t}{K_t} \times K_f \\ &= k_0 \times K_f \end{aligned}$$

여기서,

Q_f : 설치시설의 기준침투량(침투시설 1m, 1개 또는 1m²당 m³/hr)

Q_t : 시험시설의 총침투량(m³/hr)

K_f : 설치시설의 비침투량(m²)

K_t : 시험시설의 비침투량(m²)

k_0 : 토양의 포화투수계수(m/hr)

여기서, 비침투량은 시설의 형상, 즉, 직경 D(m)와 설계 침투심 H(m)의 관계를 이용하여 결정되는 상수이며, 아래의 그림들과 표를 이용하여 비침투량 K_t 를 산정한다.

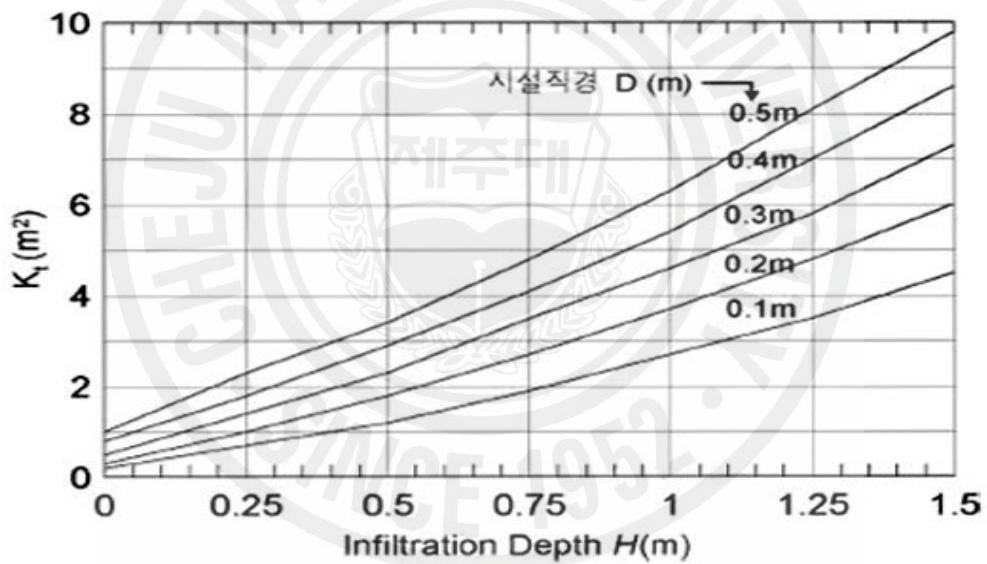


Fig. 2.6 K_t -Infiltration depth relation curve for the Bore-hole method

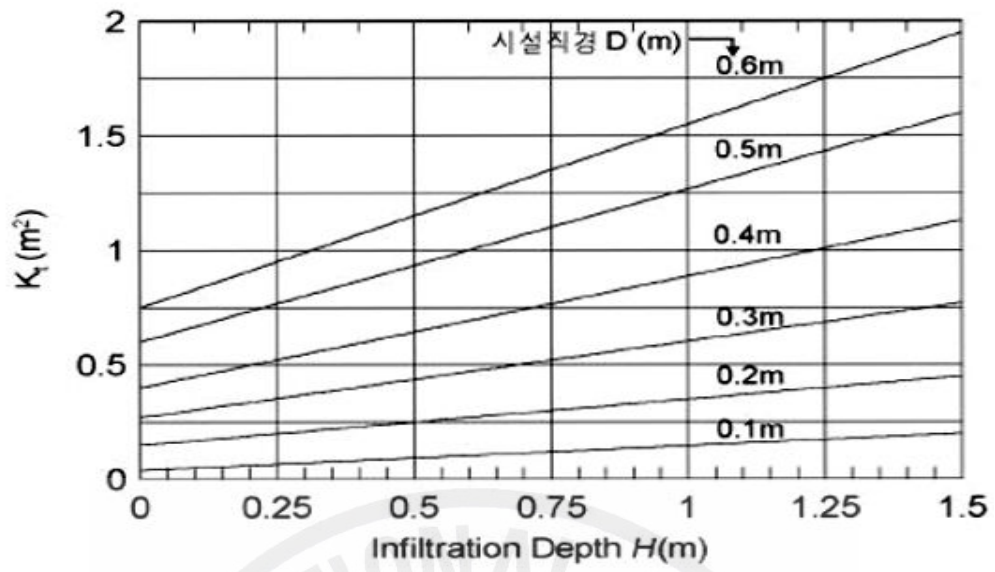


Fig. 2.7 K_t -Infiltration depth relation curve for the base infiltration method

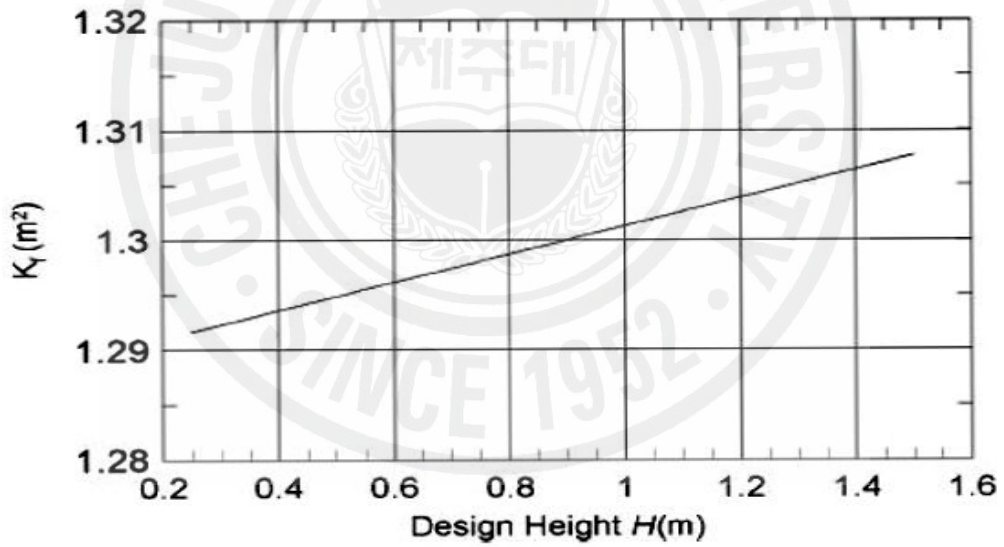


Fig. 2.8 Design shape factor-Design height- K_t relation curve
(a) Infiltration pavement

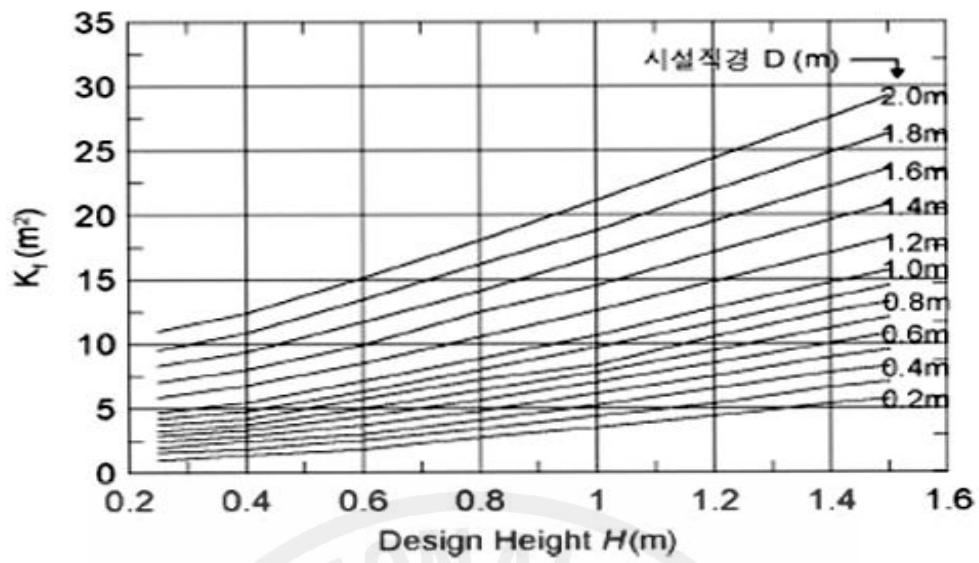


Fig. 2.9 Design shape factor-Design height- K_t relation curve
 (b) Circular infiltration collector well
 (The side and base infiltration)

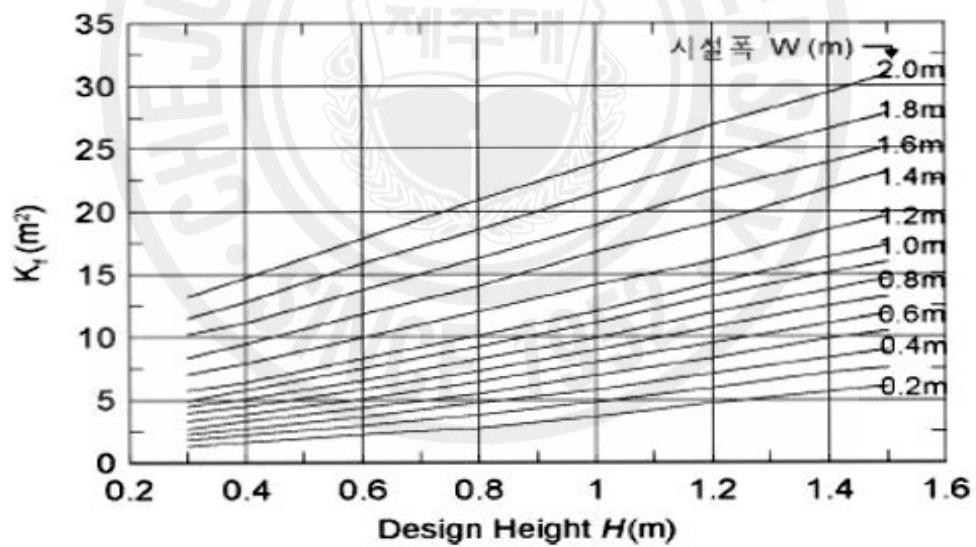


Fig. 2.10 Design shape factor-Design height- K_t relation curve
 (c) Square infiltration collector well
 (The side and base infiltration)

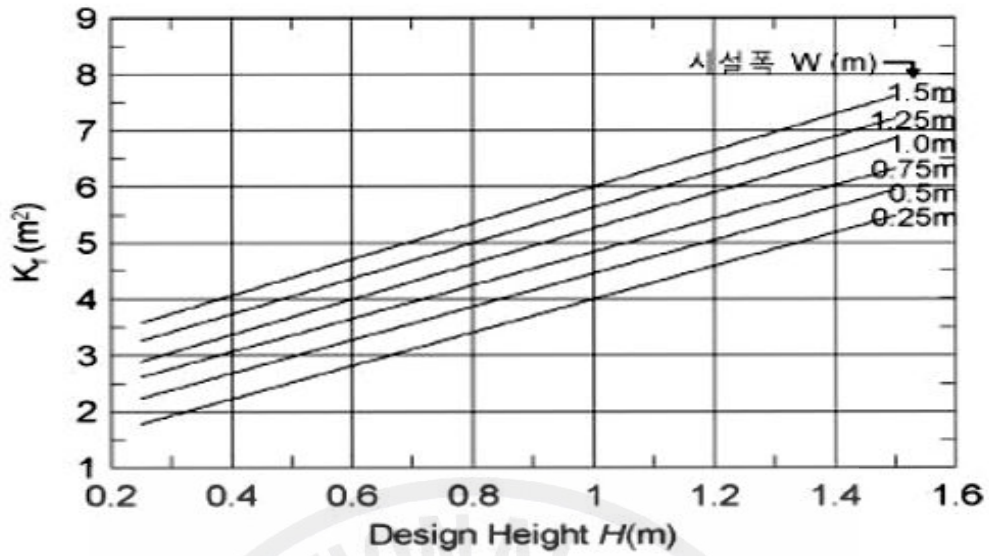


Fig. 2.11 Design shape factor-Design height- K_t relation curve
 (d) Connection between infiltration collector well and Trench(The side and base infiltration)

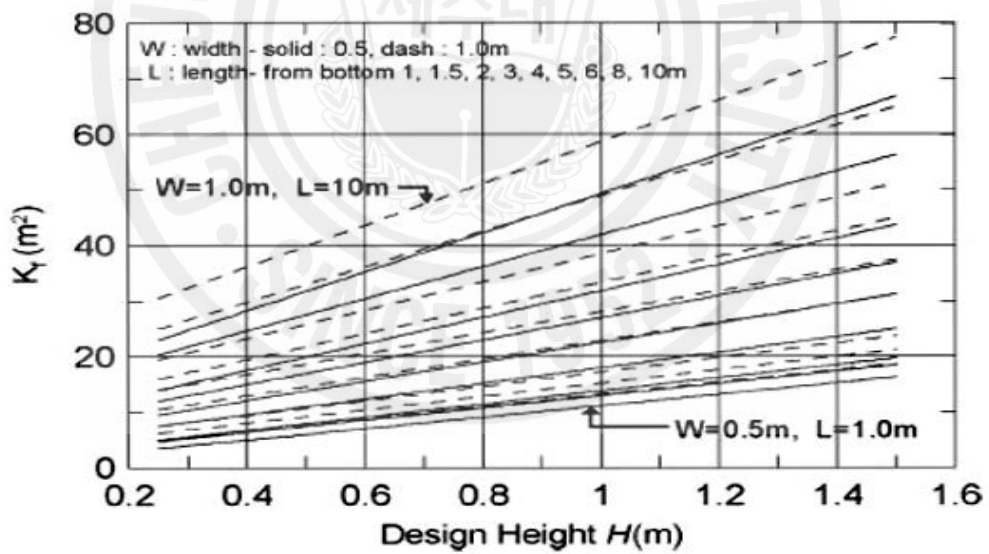


Fig. 2.12 Design shape factor-Design height- K_t relation curve
 (e) Rectangle infiltration collector well and Trench
 (The side and base infiltration)

Table 2.4 K_t , K_r equation of the square infiltration facilities(the side and the base)

시 설	정방형 침투집수정				
침투면	측면 및 저면				
모식도					
산 정 식 의 적 용 범 위	설계 수두	약 1.5m			
	시설 규모	폭 $\leq 1m$	$1m \leq$ 폭 $\leq 10m$		
기 본 식		$K = aH^2 + bH + c$ H : 설계수두(m) W : 시설 폭(m)	$K = aH + b$ H : 설계수두(m) W : 시설 폭(m)		
	계 수	a	$0.12W + 0.985$	$-0.453W^2 + 8.289W + 0.753$	$0.747W + 21.355$
		b	$7.837W + 0.82$	$1.458W^2 + 1.27W + 0.362$	$1.263W^2 + 4.295W - 7.649$
		c	$2.8582 - 0.283$		
비 고		쇄석공극저류 침투시설에 적용가능	쇄석공극저류 침투시설에 적 용가능	쇄석공극저류 침투시설에 적용가능	

Table 2.5 K_t , K_r equation of the square infiltration facilities(the base)

시 설	정방형 침투집수정		
침투면	저면		
모식도			
산 정	설계 수두	약 1.5m	
식 의 적 용 범 위	시 설 규 모	$폭 \leq 1m$	$1m \leq 폭 \leq 10m$
			$10m \leq 폭 \leq 80m$
기 본 식	$K = aH + b$ H : 설계수두(m) W : 시설 폭(m)		
계 수	a	$1.676 W - 0.137$	$-0.204 W^2 + 3.166 W - 1.936$
	b	$1.496 W^2 + 0.671 W - 0.015$	$1.345 W^2 + 0.736 W + 0.251$
			$1.265 W - 15.670$
			$1.259 W^2 + 2.336 W - 8.13$

Table 2.6 K_t , K_f equation of the circular infiltration facilities(the side and the base)

시 설	원통 침투집수정		
침투면	측면 및 저면		
모식도			
산 정 식 의 적 용 범 위	설계 수두	약 1.5m	
	시설 규모	$0.2m \leq \text{직경} \leq 1m$ $1m \leq \text{직경} \leq 10m$	
기본식	$K = aH^2 + bH + c$ H : 설계수두(m) W : 시설직경(m)	$K = aH + b$ H : 설계수두(m) W : 시설직경(m)	
계 수	a	$0.475D + 0.945$	$6.244D + 2.853$
	b	$6.07D + 1.01$	$0.93D^2 + 1.606D - 0.773$
	c	$2.570D - 0.188$	-
비 고			

Table 2.7 K_t , K_r equation of the circular infiltration facilities(the base)

시 설	원통 침투집수정		
침투면	저면		
모식도			
산 정 식 의 적 용 범 위	설계 수두	약 1.5m	
	시설 규모	$0.3m \leq \text{직경} \leq 1m$	$1m \leq \text{직경} \leq \text{약}10m$
기본식	$K = aH + b$ H : 설계수두(m) W : 시설직경(m)		
계 수	a	$1.497D - 0.100$	$2.556D - 2.052$
	b	$1.13D^2 + 0.638D - 0.011$	$0.924D^2 + 0.993D - 0.087$

Table 2.8 K , K_r equation of the rectangle infiltration facilities(the side and the base), infiltration(the base), infiltration gutter and infiltration trench(the side and the base)

시 설	거형의 침투집수정	침투성(침투지)	침투측구 및 침투트렌치	
침투면	측면 및 저면	저면	측면 및 저면	
모식도				
산 정 식 의 적 용 범 위	설계 수두	약 1.5m		
	시설 규모	연장 약 200m, 폭 약 4m	침투지는 저면적이 약 400m ² 이상	폭 약 1.5m
기본식	$K = aH + b$ H : 설계수두(m) L : 시설연장(m) W : 시설 폭(m)	$K = aH + b$ H:설계수두(m)	$K = aH + b$ H : 설계수두(m) W : 시설 폭(m)	
계 수	a	$3.297L + (1.971W + 4.663)$	0.014	3.093
	b	$(1.401W + 0.684)L + (1.214W - 0.834)$	1.287	$1.34W + 0.677$
	c			
비 고	쇄석공극저류 침투시설 에 적용가능	비침투량 : 단위면적당 값 저면적이 넓은 쇄석공극저 류 침투시설에 적용가능	비침투량 : 단위길이 당 값	

4. 투수시험의 종류 및 방법

4.1 실내투수시험

(1) 정수위투수시험(constant-head test)

① 시험법의 개요

정수위 투수시험은 조립토가 많이 함유되어 투수성이 높은 경우 즉 10^{-4} cm/sec 이상의 시료에 사용된다.

② 시험 장치의 설치 및 측정 방법

정수위투수시험의 대표적인 시험 장치는 그림 2.13과 같다. 이 시험 장치에서는 물의 흐름량을 측정하는 동안 입구와 출구 사이의 수두차가 일정하게 유지되도록 한다. 물의 흐름량이 일정하게 된 후에 일정한 시간 동안에 시료를 통과한 물을 눈금이 그려진 플라스크에 집수 측정한다.

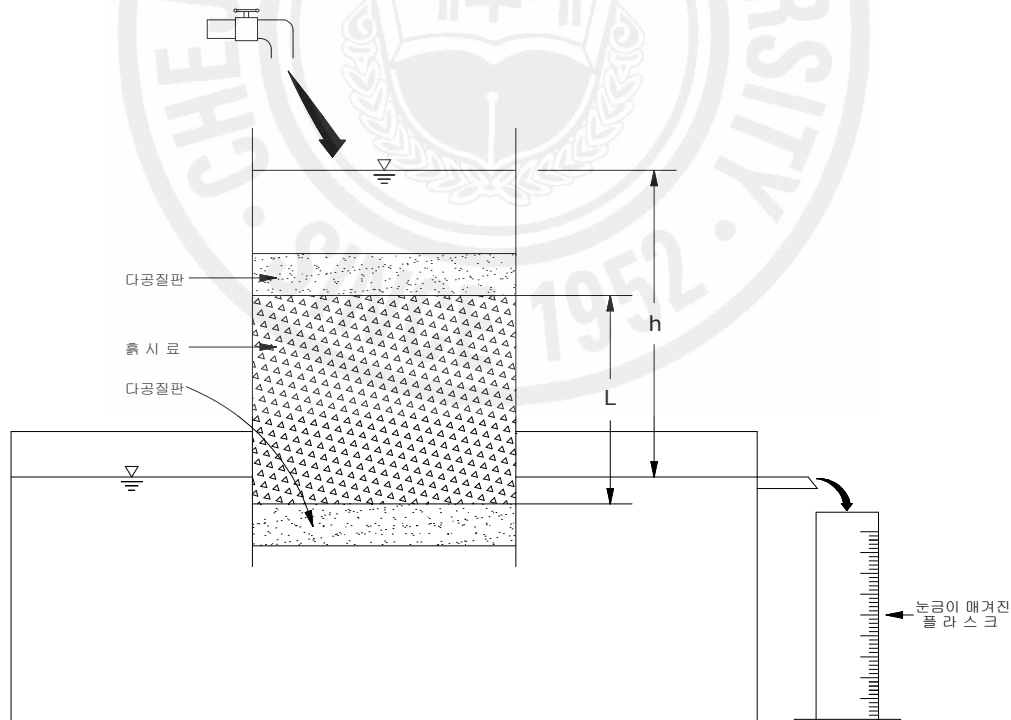


Fig. 2.13 Constant-head test

이와 같이 집수 측정된 총유량은 다음과 같다.

$$Q = Avt = A(ki)t \quad (1)$$

여기서,

- Q : 집수된 물의 양
- A : 흠 시료의 단면적
- t : 집수시간

그리고, 동수구배 i 는

$$i = h/L \quad (2)$$

여기서, L 은 시료의 길이이다. 식 (2)를 식 (1)에 대입하면 다음과 같다.

$$Q = A\left(k\frac{h}{L}\right)t \quad (3)$$

또는

$$k = \frac{QL}{Aht} \quad (4)$$

(2) 변수위투수시험(falling-head test)

① 시험법의 개요

변수위 투수시험은 세립토가 많이 함유되어 투수성이 낮은 경우, 즉 10^{-4} cm/sec 이하의 시료에서 주로 사용된다.

② 시험장치의 설치 및 측정방법

변수위 투수시험의 대표적인 시험 장치는 그림 2.14와 같다. 물은 스탠드파이프를 통하여 흡속으로 흐른다. $t=0$ 일 때 초기 수두 차 h_1 을 기록하고, 물이 흠 시료를 통하여 흐르게 한 뒤 $t=t_2$ 일 때의 최종 수두 차 h_2 를 기록한다.

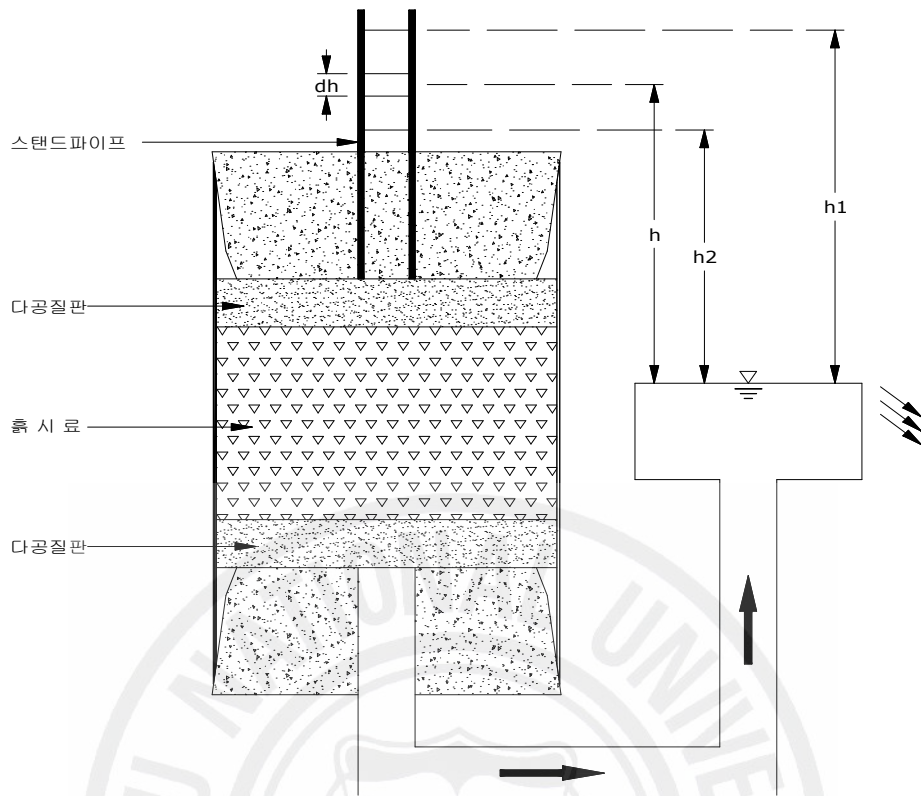


Fig. 2.14 The falling-head test

임의의 시간 t에서 시료를 통해 흐르는 유량은 다음과 같다.

$$q = k \frac{h}{L} A = -a \frac{dh}{dt} \quad (5)$$

여기서,

q : 유량

a : 스탠드파이프의 단면적

A : 흙 시료의 단면적

식 (5)를 다시 정리하면

$$dt = \frac{aL}{Ak} \left(-\frac{dh}{h} \right) \quad (6)$$

식 (6)의 좌변을 시간 0에서 t까지 적분하고, 우변을 h_1 에서 h_2 까지의 수두 차에 대해 적분하면 다음과 같다.

$$t = \frac{aL}{Ak} \log_e \frac{h_1}{h_2} \quad (7)$$

$$k = 2.303 \frac{aL}{At} \log_{10} \frac{h_1}{h_2} \quad (8)$$

4.2 현장투수시험

(1) 부트웰 투수계(Boutwell Permeameter)

① 시험법의 개요

이 시험법은 Boutwell. G. P.(1983)가 개발한 것으로 보링 공의 상태에 따라 I, II 두 단계로 투수계수를 측정하며, 습윤 구역의 형태를 케이싱 구역(Cased zone)과 케이싱이 없는 구역(Uncased zone)으로 구분하여 수평, 수직 투수계수를 변수두 시험으로 측정하고, 그 값은 계산 방법에 따라 달라진다.

② 가정 조건

흙은 균질이고, 균일하게 물로 젖어 있으며, 보링 공의 표면은 오염되어 있지 않다. 경계조건은 무한이고, 흡인력의 효과는 무시하므로 건조한 흙에는 사용이 제한된다. 투수계의 바닥(I 단계)이나 케이싱이 안 된 단면(II 단계)의 중심에서 간극수압은 0이고, I, II 단계에서 정상상태에 도달되며, 시험 중 체적변화는 없는 것으로 한다.

③ 시험장치의 설치 및 측정방법

그림 2.15와 같이 지반에 보링공은 1~수m 굴착한 후 그 속에 직경 20~30cm의 케이싱을 박고, 케이싱과 보링공 사이의 간격은 그라우팅으로 봉합하여 측정하며, 식 (9)와 같은 Hvorselev(1949)의 공식으로 I 단계의 투수계수(K_1)를 계산한다. 시간의 변화에 따른 K_1 의 값을 체크하고 흐름이 정상상태에 도달하면 I 단계의 시험이 완료된다.

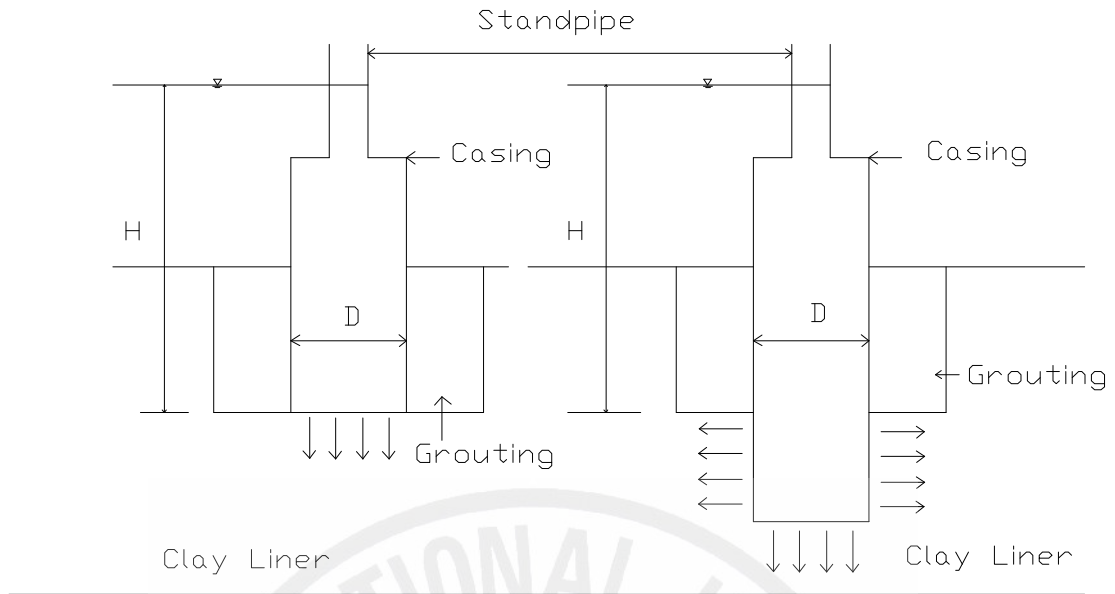


Fig. 2.15 Schematic Diagram of two-stage in situ Hydraulic Conductivity Test with Boutwell Permeameter for Case in which Potentiometric Level is below Base of Permeameter

④ 적용 공식

가) I 단계 시험은 케이싱이 있는 보링공으로의 흐름을 평가하는 경우로서 식 (9)로 투수계수를 계산한다.

$$k_1 = \frac{\pi d^2}{11D(t_2 - t_1)} \ln \frac{H_1}{H_2} \quad (9)$$

여기서,

K_1 : I 단계 시험에서의 투수계수(cm/s)

d : 스탠드 파이프의 직경(cm)

D : 케이싱의 직경 또는 보링공의 직경(cm)

t_1, t_2 : 최초 및 최종 측정시간(s)

H_1, H_2 : 최초 및 최종 측정수위(cm)

나) II 단계 시험은 케이싱이 없는 보링공으로서의 흐름을 평가하는 경우로서 이 단계에서는 K_2 의 값에 유의성이 있을 때까지 측정을 계속한다. 보링공을 오거

나 틈월 샘플러(Thin wall sampler)로 깊게 파고, 오염된 흙을 최 속로 보링공 표면으로부터 제거한 후 투수계를 재조립하여 변수위시험으로 측정을 계속하여 식 (10)으로 투수계수를 계산한다.

$$k_2 = \frac{A}{B} \ln \frac{H_1}{H_2} \quad (10)$$

여기서,

$$A = d^2 \ln \left\{ \left[\frac{L}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{L}{D} \right)^2} \right] \right\} \quad (11)$$

$$B = 8D \frac{L}{D} (t_2 - t_1) \left\{ 1 - 0.562 \exp \left[-1.57 \left(\frac{L}{D} \right) \right] \right\} \quad (12)$$

K_2 : II 단계시험에서의 투수계수(cm/s)

L : 케이싱 바닥으로부터 연장된 보링공의 길이(cm)

$$\frac{k_2}{k_1} = m \frac{\ln \left[\frac{L}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{L}{D} \right)^2} \right]}{\ln \left[\frac{mL}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{mL}{D} \right)^2} \right]} \quad (13)$$

$$m = \sqrt{\frac{k_h}{k_v}} \quad (14)$$

$$k_h = mk_1 \quad (15)$$

$$k_h = \frac{1}{m} k_1 \quad (16)$$

여기서,

m : 상수로서 그림 2.16으로부터 K_h , K_v 를 구하는데 사용된다.

K_h : 수평 투수계수(cm/s)

K_v : 수직 투수계수(cm/s)

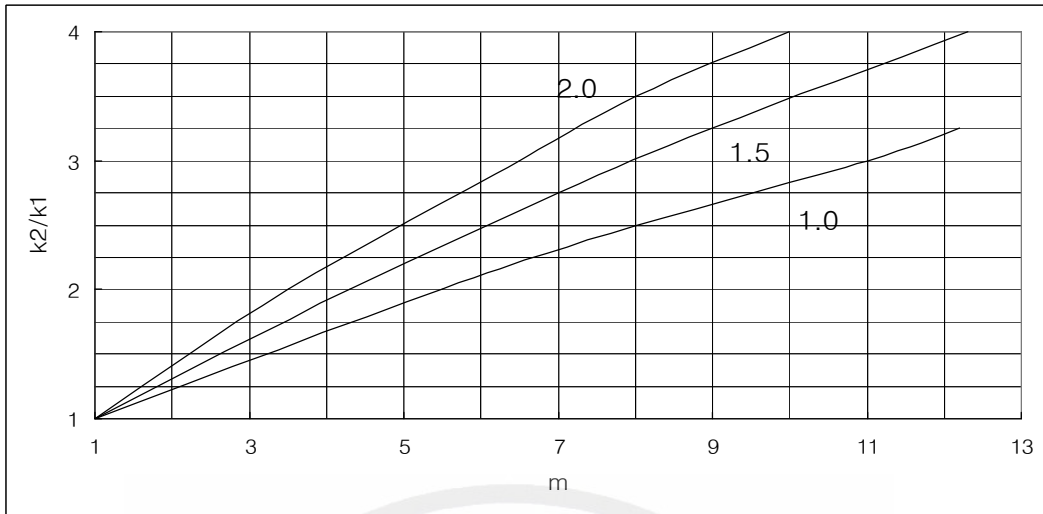


Fig. 2.16 Curve of k_2/k_1 versus m Required to Satisfy for $L/D=1.0, 1.5$ and 2.0

(2) 정수두 보링공 투수계(Constant Head Borehole Permeameter) 또는 겔프 투수계(Guelph Permeameter)

① 시험법의 개요

이 시험법은 Olson & Daniel(1981)이 겔프 투수계와 같이 보링공 내에서 정수위를 유지하기 위하여 마리오트 싸이폰(Mariotte syphon)이나 Float valve를 사용하여 개발한 것으로 정수위를 유지하기 위한 유량을 측정하고, 봉합은 증발손실을 최소화시키지만 흡속의 공기를 압축하지 않고 뒤채움 재료와 스탠드 파이프에서 수위차가 발생하지 않도록 해야 한다.

② 가정조건

흙은 균질하고, 등방성이며, 물에 젖어 있고, 보링공의 표면은 오염되어 있지 않고, 젖었을 때 팽창하지 않는다. 흡인력이 고려되기 때문에 부트웰(Boutwell) 방법보다 정밀하나 높은 등방성 흙에 대하여 $K_h = K_v$ 라는 가정은 오차의 원인이 된다.

③ 시험장치의 설치 및 측정방법

그림 2.17과 같이 지반에 지경 $2r$ 의 보링공을 굴착한 후 보링공에 직경 20~30mm의 구멍 뚫린 케이싱을 타입하고 그 주위를 입상토로 채운 후 벤토나이트 그라우팅으로 봉합하여 설치한다.

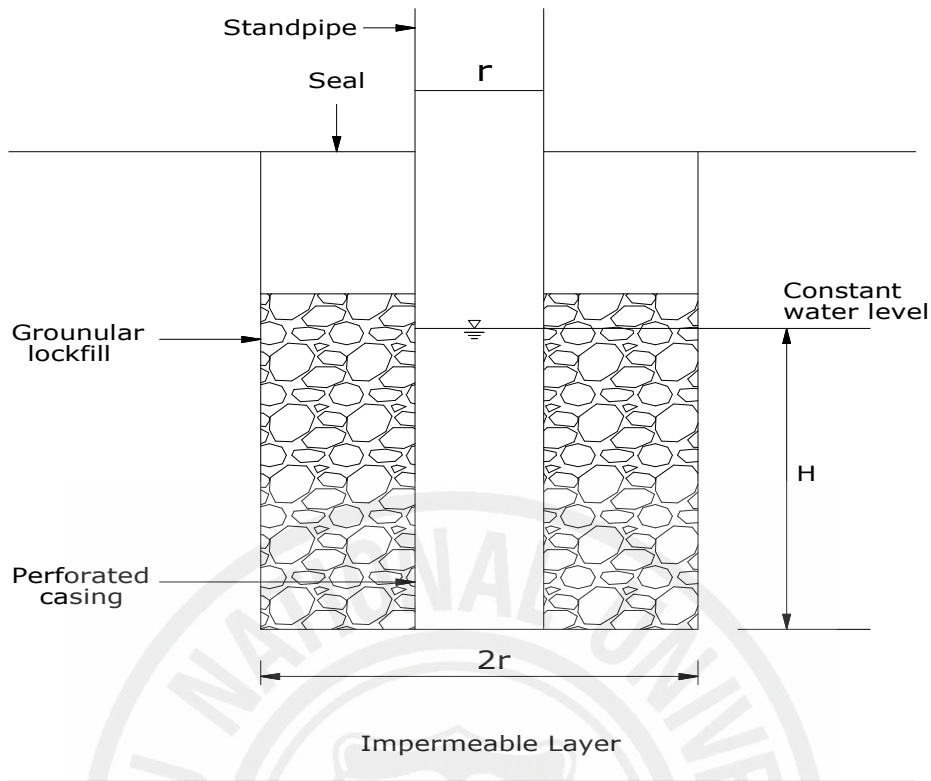


Fig. 2.17 Borehole Test with Constant Water Level

④ 적용공식

가) 제 1 과정에서 k 의 계산에 사용되는 Philip's Solution(1985)은 다음과 같다.

$$k = \frac{q}{r^2 \sqrt{R^2 - 1} \left[F_1 + \frac{F_2}{A} \right]} \quad (17)$$

여기서,

q : 유량(cm^3/s)

r : 보링공의 반경(cm)

$R = H/R$

H : 정수두(cm)

$$A = \frac{1}{2} \alpha r \quad (18)$$

α : 흙의 모세관 성질을 측정하는 흡수수(Sorptive number)라는 변수로서

세립토에 대한 대표적인 값은 $0.002cm^{-1} \sim 0.01cm^{-1}$ 이다.

$$F = \frac{4.117(1 - R^{-2})}{\ln[R + \sqrt{R^2 - 1}] - \left[\sqrt{1 - \frac{1}{R^2}} \right]} \quad (19)$$

$$F = \frac{4.280}{\ln[R + \sqrt{R^2 - 1}]} \quad (20)$$

나) 제 2 과정은 식 (17)로 계산된 k 를 Stephens et al.(1987)의 수치해석의 상관 분석으로 계산된 k 값과 비교한다.

$$k = \frac{q}{rHC_u} \quad (21)$$

여기서, 무차원 계수 $C_u = \alpha_v(cm^{-1}), H(cm), r(cm)$ 로부터 다음 식으로 구한다.

$$\begin{aligned} \log(C_u) = & [0.653\log R] - [0.257\log \alpha_v] - [0.633\log(H)] \\ & + [0.021\sqrt{R}] - \left[\frac{0.313}{\sqrt{N}} \right] + (1.456r) + 0.453 \end{aligned} \quad (22)$$

여기서, 세립토에 대한 N 과 α_v 는 각각 약 1.8, 약 $0.002cm^{-1}$ 이다.(Stephens et al 1988).

다) 제 3 과정은 다음 식(Elrick et al., 1988)으로 k 를 계산한다.

$$k = \frac{Cq}{2\pi H^2 + \pi r^2 C + \frac{2\pi H}{\alpha^*}} \quad (23)$$

여기서,

C : 그림 2.18로 결정한다.

πH : 보링공에서의 유체의 정상상태 깊이(m)

α^* : 식 (18)의 α 와 같으며, Elrick은 현장에서 다져진 점토에 대하여 약

0.001cm⁻¹을 제시하였다.

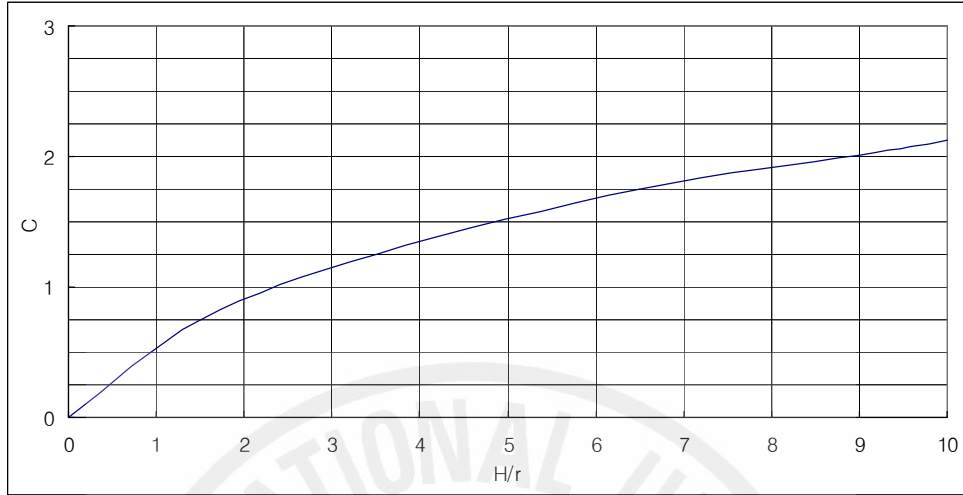


Fig. 2.18 Factor C versus H/r
(Reynolds and Elick 1987 ; Soil-moisture Equipment Corp. 1987)

Reynolds & Elick(1986)은 I 단계와 II 단계에서 H₁과 H₂(H₂ > H₁)의 수심을 유지하는데 필요한 유량(q₁과 q₂)으로부터 투수계수를 구하는 다음 식을 제안하였다.

$$k = G_2 - G_2 q_1 \quad (24)$$

여기서,

$$G_2 = \frac{H_1 C_2}{\pi \{ 2H_1 H_2 (H_2 - H_1) + r^2 (H_1 C_2 - H_2 C_1) \}} \quad (25)$$

$$G_1 = G_2 \frac{H_2 C_2}{H_1 C_2} \quad (26)$$

H₁, H₂ : I, II 단계에서의 수심(cm)

C₁, C₂ : 그림 2.18에서 H/r에 따른 I 단계와 II 단계에서의 C값

(3) 원추형 다공성 탐침(Cone Shaped Porous Probe) 또는 BAT 투수계

① 시험법의 개요

이 시험법은 Torsrensson, B. A.(1984)와 Torstensson & Petsonk, A. M.(1986)이 개발한 것으로 다져진 점토 차폐재에 사용되며 원리는 주사침으로 여러 번 관입시킬 수 있는 고무 씰(Seal)이 조립된 직경 30mm, 높이 40mm의 필터 팁(Filter tip)을 파이프에 붙여 지반 속에 압입시키는 현장 피에조미터의 일종이다. 투수시험을 위한 필터 팁은 압력을 받거나(Outflow test) 부분적인 진공 하에 있을 수 있는 용기(Chamber)에 연결되어 있다. 이것은 용기 내 가스의 압력변화가 수평 투수계수의 결정을 위하여 기록되고 사용되는 동안 변수위 투수시험을 시작한다. 가스 압력은 압력변환기(Pressure transducer)로 측정하고 시험할 때 채수용기를 강하시켜 주사침에 필터 팁을 연결하면 지하수가 유입하여 채수용기내의 압력이 상승하는 것을 측정함으로써 유입량의 경과시간을 구한다.

② 가정조건

흙은 균질이고, 등방성이며, 물에 균일하게 젖어있고, 비압축성이다. 다공성 요소(Porous element)의 표면은 오염되어 있지 않고, 경계조건은 무한이며, 흡인력의 효과는 무시한다. 등온상태이고, 압력 실에서 용해가스의 효과는 무시한다.

정수위와 변수위 시험을 수행하고, Hvorslev(1949)의 식을 사용하며 $K_h=K_v$ 인 흩속에서 K_h 와 K_v 사이의 어디에서 한 값을 측정한다.

③ 시험장치의 설치 및 측정방법

그림 2.19와 같이 직경 30mm, 높이 40mm의 원추형의 다공성 탐침을 보링공의 바닥 밑 흩속으로 지반이 교란되지 않도록 밀거나 돌려서 박고 그 표면에 케이싱을 설치한다. 채수용기는 물과 공기를 포함하며, 용기내의 공기는 규정된 압력으로 되어있다.

물이 탐침으로 유출입 함에 따라 용기의 공기압이 변화한다. 압력 변환기는 압력변화를 감지하고 유량과 수두는 보일(Boyle)법칙과 용기 내에 있는 가스압력의 변화에 의하여 계산된다.

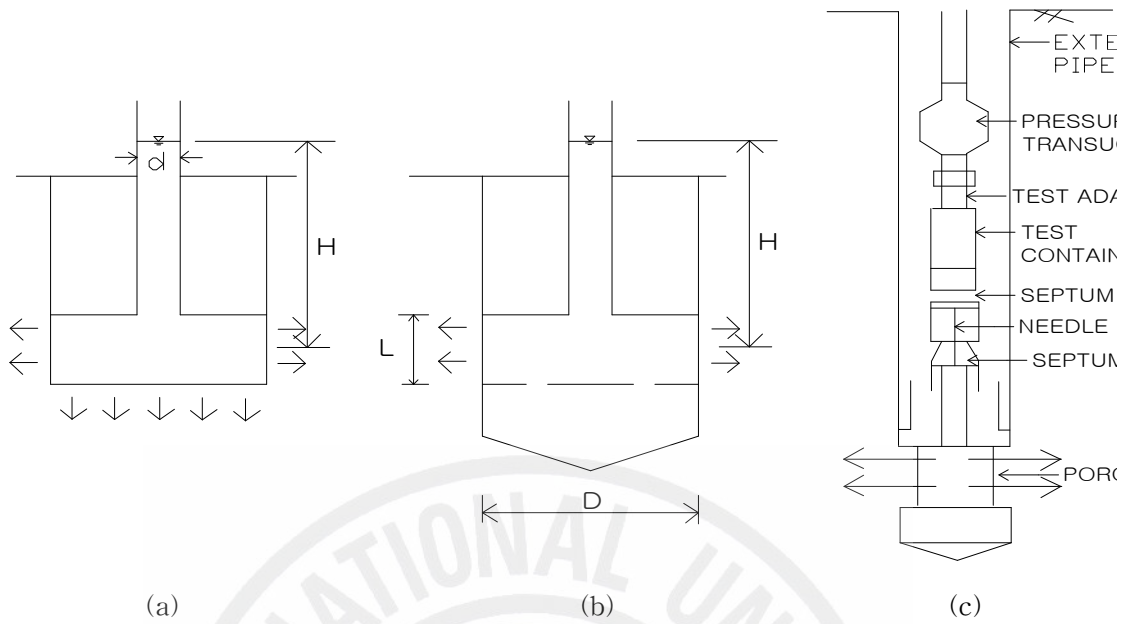


Fig. 2.19 Hydraulic Conductivity from Porous Probe Tests

④ 적용 공식

• 정수위 시험일 때 $k = \frac{q}{FH}$ (27)

• 변수위 시험일 때 $k = \frac{\pi d^2 / 4}{F(t_2 - t_1)} \ln \frac{H_1}{H_2}$ (28)

(a)의 경우 :

$$F = \frac{2\pi}{\ln \left[\frac{L}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{L}{D}\right)^2} \right]} \quad (29)$$

(b)의 경우 :

$$F = \frac{2\pi L}{\ln \left[\frac{L}{D} + \sqrt{1 + \left(\frac{L}{D}\right)^2} \right]} - 2.8D \quad (30)$$

(c)의 경우 :

$$K = \frac{P_0 V_0}{F} \frac{1}{(P_t)_2 P_3} \frac{P_t}{t} \quad (31)$$

여기서,

k : 투수계수(cm/s)

P_0 : 시험 용기 내에서 초기 가스 압력(cm), 물의 높이로 표시됨.

V_0 : 시험 용기내의 초기 가스의 체적(cm^3)

P_t : 시간 t_1 과 t_2 사이에 측정된 평균 압력(cm), 물의 높이로 표시됨.

P_3 : 시험 용기에 작용한 총 압력(cm), 물의 높이로 표시됨.

$\frac{P_t}{t}$: 압력 변화율(cm of water/s)

F : Flow factor(cm)

y : Porous probe의 길이(cm)

d : Porous probe의 직경(cm)

(4) 각 현장투수시험 방법의 특징

표 2.9는 각각의 현장투수시험 방법의 장점과 단점을 정리하여 나타낸 것이다.



Table 2.9 Advantage and Disadvantage of test methods

	부트웰 투수계 (Boutwell Permeameter)	정수두 보링공 투수계 또는 겔프 투수계	원추형 다공성 탐침 또는 BAT 투수계
장점	<ul style="list-style-type: none"> • 설치가 쉽고 설치비용이 저렴. • 설치깊이와 경사지반에서도 측정이 가능. • 수직, 수평방향의 투수계수 측정 가능. • $1E-07\text{cm/s}$ 이하의 낮은 투수계수의 흙에서도 측정이 가능. • 실험실과 현장 측정치의 결과가 서로 잘 맞는다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 설치가 쉽고 비용이 저렴하며 설치깊이가 깊다. • 시험기간이 짧다(수 시간~수 일). • 측정된 투수계수는 기본적으로 수평적인 값이다. • 흡인력의 효과를 고려하므로 흙의 불포화 성질을 정밀하게 고려한다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 설치가 비교적 쉽고, 시험시간이 짧으며(수분~수시간), 깊은 깊이에 사용할 수 있다. • 푸르브로 간극수압의 측정이 가능하며, 투수계수가 낮은 흙에서 측정이 빠르다. • $1E-08\text{cm/s}$ 이하인 흙에서 측정되는 투수계수가 기본적으로 수평적인 값이다. • 설치비가 다소 비싸나 많은 시험을 비교적 신속하게 실시할 수 있어 시험단가를 낮출 수 있다.
단점	<ul style="list-style-type: none"> • 시험된 흙의 양이 적고, 불포화토에는 부적합. • 흡인력의 효과를 설명할 수 없다. • $1E-07\text{cm/s}$ 이하의 투수계수의 흙에 대하여는 측정시간이 수일~수주일이 소요. 	<ul style="list-style-type: none"> • 시험에 사용된 흙의 양이 비교적 적고 수직 투수계수 측정에 부적합. • $1E-07\text{cm/s}$의 투수계수의 흙에 대하여는 측정이 곤란. 	<ul style="list-style-type: none"> • 설치비가 다소 비싸고, 시험되는 흙의 양이 적으며, 포러스요소가 오염될 염려가 있어 수평 투수계수의 값을 평가 절하할 수 있다. • 불포화토에는 이용하지 못한다.

Ⅲ. 침투트렌치의 모형시험

1. 모형시험장치

침투트렌치의 모형시험을 통해 비침투량을 산정하기 위해 그림 3.1, 3.2와 같이 토조와 침투트렌치를 각각 제작하였다.

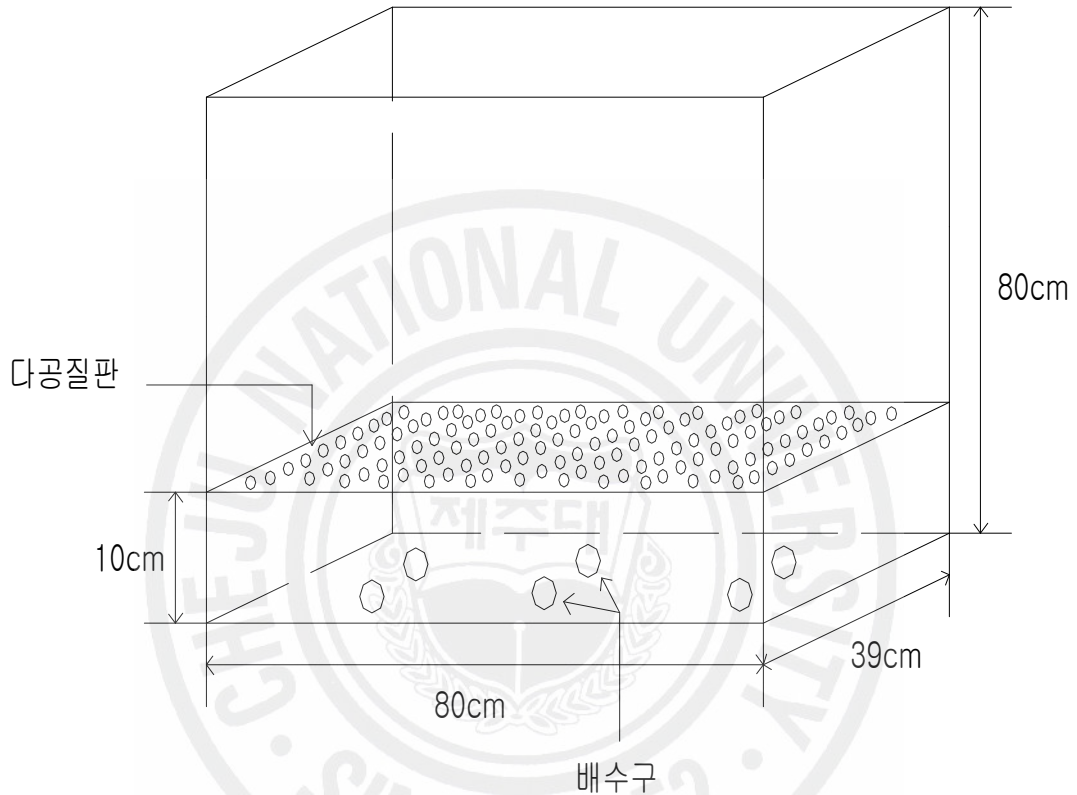


Fig. 3.1 The structure of a soil tank

토조의 크기는 39×80×80cm이고 토조의 하부에 총 6개의 배수구를 만들었으며 토조의 하부에서 10cm의 여유 공간을 두어 배수에 영향을 미치지 않도록 했다. 그리고 토조 하부에서 10cm상단에 다공질판을 만들었으며, 옆면은 모두 무공의 아크릴판으로 이루어졌다.

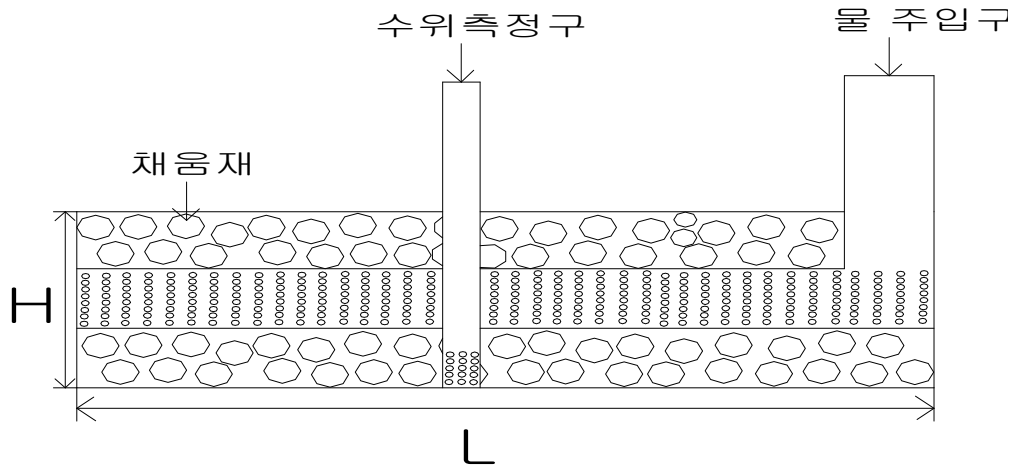


Fig. 3.2 The structure of an infiltration trench

그림 3.2는 실제 침투트렌치와 같은 구조로 이루어진 모형 침투트렌치이다. 여기서 H, L은 각각 모형 침투트렌치 시설의 높이와 길이이며, W는 폭이다. 이 모형 침투트렌치는 L은 모두 동일하게 하고 W(폭)를 각각 12, 22, 32cm로 총 3개의 모형 침투트렌치를 준비하였다. 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.

여기서, 폭 방향의 한 쪽 면을 토조 한 쪽 끝에 붙여 침투가 안 되게 만든 이유는 침투시험 시 물의 흐름이 토조의 양쪽 끝 면에 닿음으로써 자유로운 물의 흐름이 방해받는 것을 방지하기 위해서이다.

따라서 폭 방향의 경우 한 쪽 면만 물의 침투를 허용하였으므로 후에 침투량 산정 시 양 쪽 면의 대칭을 이용하여 12, 22, 32cm에 대한 W(폭)의 크기를 각각 24, 44, 64cm로 계산하였다.

2. 사용 재료

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, C_u 는 12.22이고 C_g 는 0.88이다. 그림 3.2는 주문진 표준사의 입도분포곡선이다.

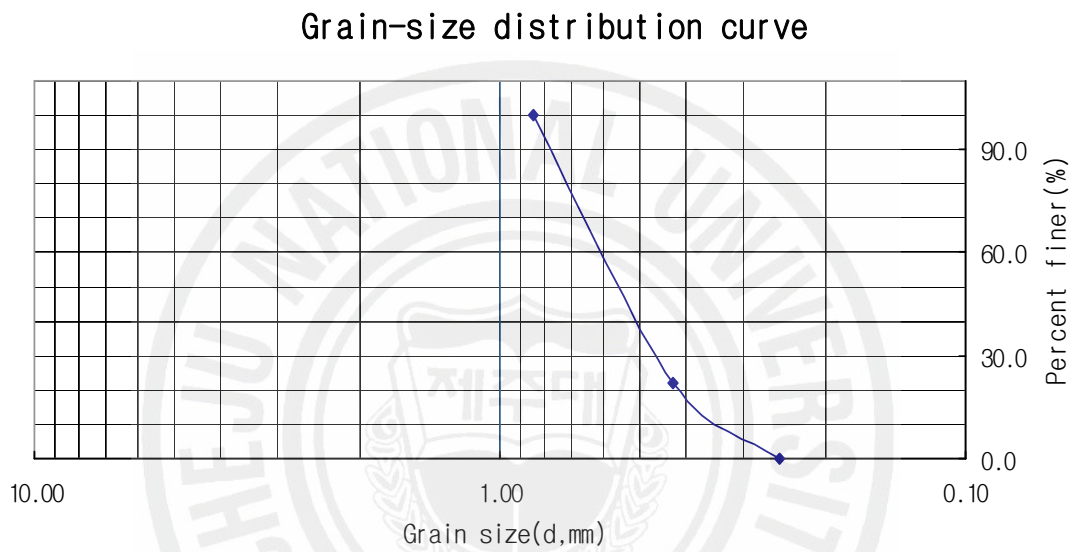


Fig. 3.3 Grain-size distribution curve for Jumunjin sand

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%이었다.

3. 시험 방법

3.1 표준사에 대한 투수시험

침투 시험을 실시하기 전에 먼저 모래 지반의 투수계수를 측정하기 위해 정수위 투수시험을 실시하였다. 시료는 초기에 상대밀도 60%에 맞추어 그 중량만큼 준비한 후 5cm 고무관을 사용하여 지면으로부터 약 10cm 만큼의 높이에서 표준사를 자유 낙하시켜 성형하였다. 정수위 투수시험 결과 상대밀도 60%일 때의 표준사의 투수계수는 4.18×10^{-2} 이다.

3.2 침투시험

침투시험을 하기 위해 시료상태를 투수시험과 동일하게 성형하였다. 초기에 상대밀도 60%에 맞추어 그 중량만큼 준비한 후 5cm 고무관을 사용하여 지면으로부터 약 10cm 만큼의 높이에서 표준사를 자유 낙하시켜 성형하였다. 처음 하부 다공질 관으로부터 10cm 높이만큼 시료를 성형한 후 모형트렌치를 토조 한 쪽 끝으로 붙여 시료 위에 얹혀 놓았다. 그리고 다시 처음과 같은 방법으로 시료를 35cm 더 쌓아올렸다. 이 때 시료를 성형하는 동안 모형트렌치 내에 채움재를 같은 높이로 채워 넣었다. 채움재는 모형트렌치 하부로부터 5cm 높이로 채운 후, 트렌치 관을 올려놓고 다시 채움재를 채워 넣었다. 그림 3.4는 침투시험을 위해 시료를 성형하는 장면이다.



Fig. 3.4 Specimen preparation to operate the infiltration test

모형 침투시험은 트렌치 관의 물 주입구를 통해 물을 주입한 후 모형 침투트렌치의 W(폭)을 12, 22, 32cm로 변화시키면서 각각의 W(폭)에 대해 모형 침투트렌치 내의 수위를 5, 10, 15, 20, 25, 30cm로 각각 유지시켰으며, 그 때의 유량을 확인하여 종기침투량으로 결정했다. 이 때 W(폭)의 결정 시 침투면의 대칭을 이용하여 각각 24, 44, 64cm로 결정하였으며, 종기침투량 또한 결과 값에 2배를 곱하였다. 그림 3.5는 모형 침투시험을 실시하는 장면이다. 그림 3.6은 앞부분에서 언급했듯이 물의 흐름이 토조의 양쪽 끝 면에 닿음으로써 자유로운 물의 흐름이 방해받는지 확인하기 위해 물의 주입 시 잉크를 같이 넣어 물의 흐름을 표시한 그림이다.

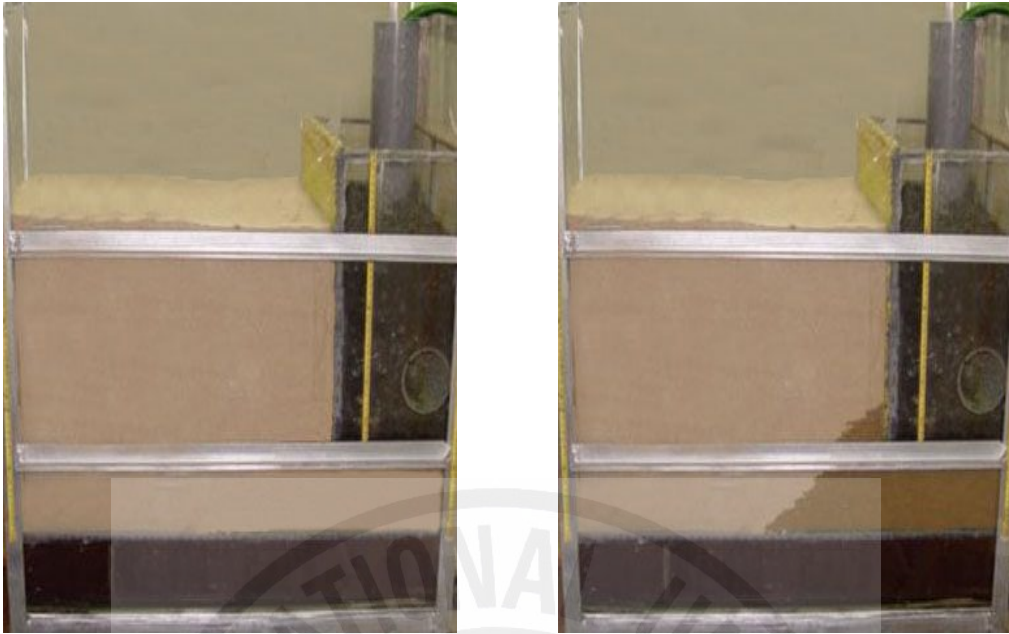


Fig. 3.5 The model infiltration test



Fig. 3.6 The figure of streamlines

3.3 시험 결과

12, 22, 32cm의 폭에 대해 환산된 24, 44, 64cm의 모형 침투트렌치의 W(폭)에 대해 각각 그 정수위를 5, 10, 15, 20, 25, 30cm로 유지시켰을 때 얻은 종기침투량을 이용하여 각각의 제원에 대한 비침투량 식을 얻었다. 여기서 종기침투량은 투수계수와 비침투량의 곱으로 계산되어지므로 앞에서 각각의 종기침투량을 정수위 투수시험으로 얻은 투수계수로 나눠줘서 비침투량을 산정하였다. 그리고 이때의 비침투량 값은 단위길이 당 값이다. 그림 3.7과 표 3.1은 각각 모형 침투트렌치의 W(폭)과 정수위 높이 h에 따른 비침투량을 나타낸 표와 그래프이다.

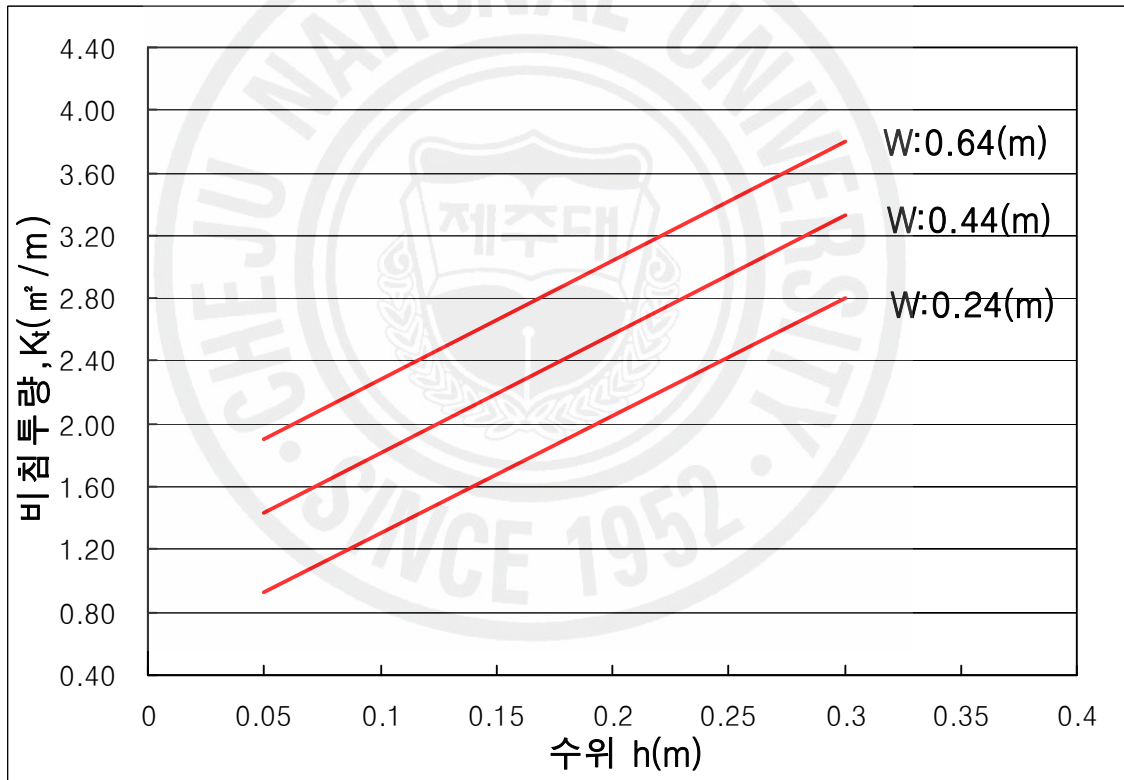


Fig. 3.7 The specific infiltration(K_i) graph obtained by the model test

Table 3.1 The specific infiltration(K_t) results obtained by the model test

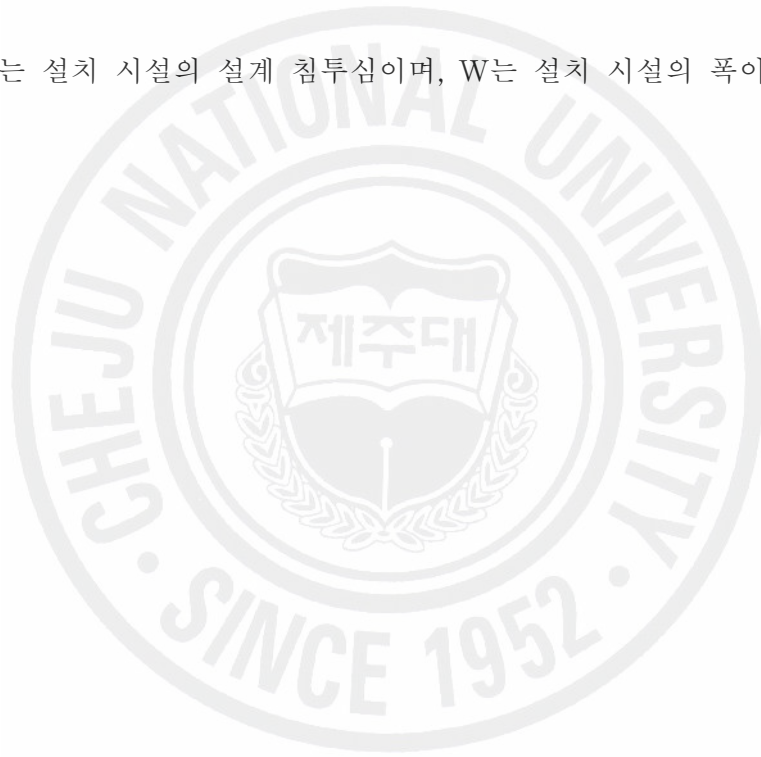
시설 폭 W(m)	정수위 높이 h(m)	침투량 q(m ³ /hr)	투수계수 K(m/hr)	비침투량 K _t (m ² /m)
0.24	0.05	0.55	1.50	0.93
	0.10	0.74		1.27
	0.15	0.98		1.68
	0.20	1.23		2.09
	0.25	1.44		2.45
	0.30	1.63		2.77
0.44	0.05	0.80	1.50	1.36
	0.10	1.12		1.91
	0.15	1.32		2.25
	0.20	1.48		2.53
	0.25	1.71		2.92
	0.30	1.97		3.35
0.64	0.05	1.07	1.50	1.83
	0.10	1.40		2.39
	0.15	1.56		2.65
	0.20	1.76		3.00
	0.25	2.03		3.46
	0.30	2.21		3.77

표 3.1에서 시설 폭은 침투면의 대칭을 이용하여 실제 침투면에 2배로 산정한 값이며, 침투량 또한 모형시험에서 얻은 침투량에 각각 2배만큼 산정한 값이다. 그리고 투수계수는 침투시험 시 시료의 성형 상태와 동일한 상태로 정수위투수 시험을 실시하여 얻은 값이다.

위의 표 3.1의 결과로부터 그림 3.7과 같이 설치 시설의 설계 침투심 h 와 설치 시설의 폭 W 를 변수로 갖는 비침투량식을 도출해냈다.

$$\text{비침투량 } K_t = 7.565h + (2.428W - 0.025)$$

여기서, h 는 설치 시설의 설계 침투심이며, W 는 설치 시설의 폭이다.



IV. 침투트렌치의 현장시험

침투트렌치의 침투효과를 분석하기 위해 그림 4.1과 같이 4 지점에 대해서 현장 투수시험 및 침투시험을 실시하였다.



Fig. 4.1 The location to carry out experiment on infiltration test

1. 현장투수시험

1.1 시험 방법

현장침투시험을 실시하기에 앞서 침투량 산정 시 지반의 투수계수가 가장 중요한 요소이므로 A, B, C, D 각각의 지점에 대하여 정수두 보링공 투수법 (Constant Head Borehole Permeameter)을 이용하여 투수계수를 알아보았다.

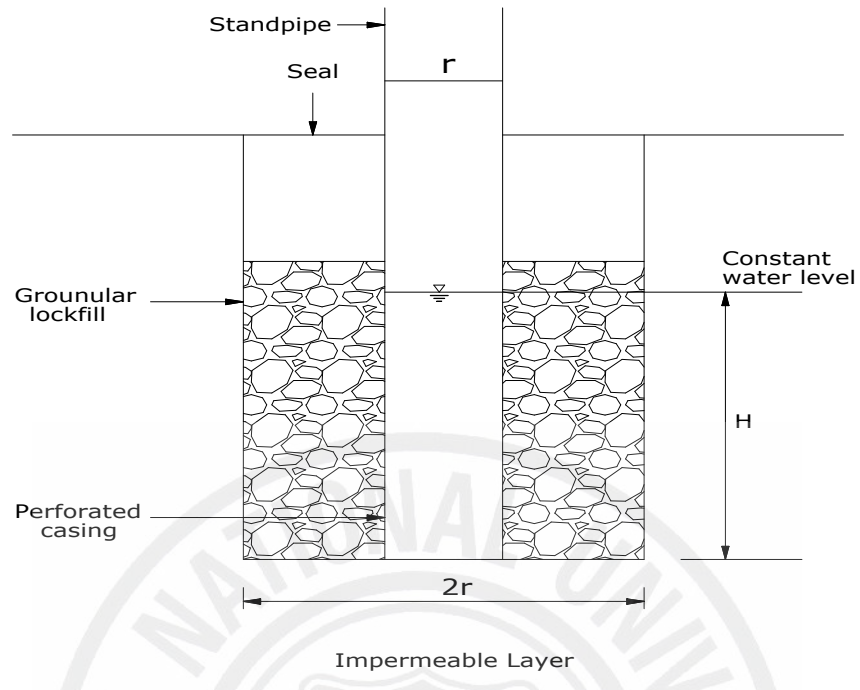


Fig. 4.2 Borehole Test with Constant Water Level



Fig. 4.3 The figure of Borehole Test with Constant Water Level

그림 4.2는 정수두 보링공 투수법의 시험장치의 단면도이며, 그림 4.3은 실제 설치된 시험 장치이다. 위의 그림과 같이 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 체크한다. 이때 정수위 H는 수동수위측정기를 사용하였다.

1.2 시험 결과

A, B, C, D 각각의 지점에 대하여 정수두 보링공 투수법(Constant Head Borehole Permeameter)을 이용하여 현장투수시험을 실시한 결과 표 4.1과 같은 결과를 얻었다. 이 때 정수두 보링공 투수법의 공식을 적용하는 과정에서 α 값을 조립토 지반에 대한 값인 0.04를 적용하였다.

Table 4.1 The results of Permeameter test

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

A, B, C, D 지점의 투수계수는 모두 $1.03 \times 10^{-2} \sim 1.63 \times 10^{-1}$ (cm/sec)로 대체적으로 높은 투수성을 보이고 있다.

2. 인위적 저류를 통한 현장침투시험

침투시설의 침투효과를 분석하기 위해 인위적 저류를 통하여 침투시험을 실시하였으며, 표 4.2는 각각의 지점의 침투시설 설치 현황이다.

Table 4.2 The infiltration facilities of each areas

지 점	설치 시설	개소
A	침투트렌치	2
B		2
C		1
D		3

현장침투시험을 위해 A 지점 2개소, B 지점 2개소, C 지점 1개소, D 지점 3개소를 각각 설치하였다. 그리고 그림 4.4는 설치한 침투트렌치의 구조이다.

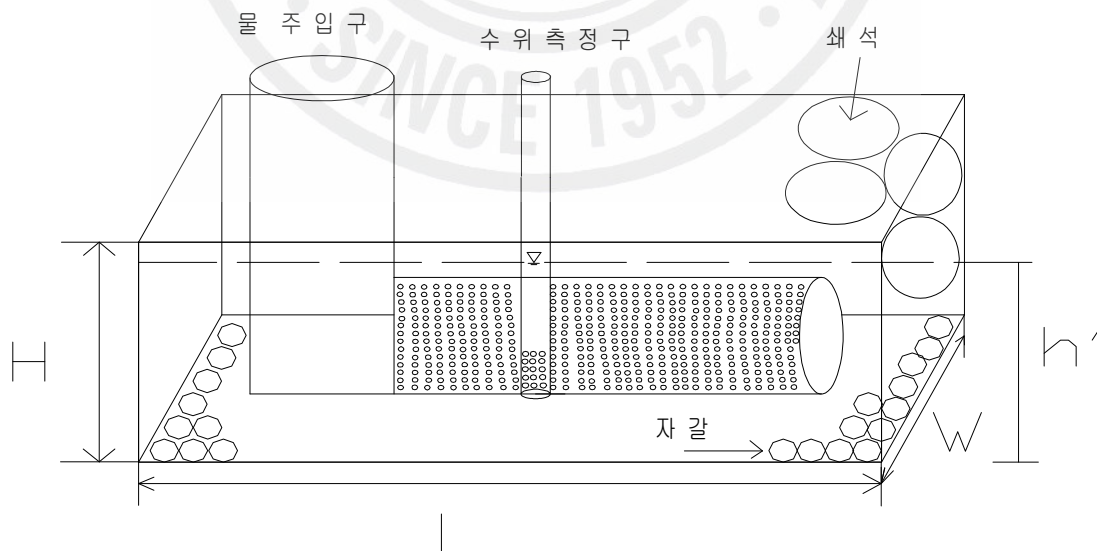


Fig. 4.4 The structure of an infiltration trench

여기서, W, H, L은 각각 설치한 침투트렌치의 폭, 높이, 길이이며, h'은 물을 주입했을 때 트렌치 내의 수위가 일정하게 될 때의 정수위 높이이다. 그리고 다음 표 4.3은 그림 4.4와 같은 침투트렌치를 각각의 지점에 설치할 때의 침투트렌치의 제원이다.

Table 4.3 W, H, L of an infiltration trench in each areas

지 점	W(m)	H(m)	L(m)
A-1	1.5	1.08	3.0
A-2	1.5	1.08	5.0
B-1	1.7	2.2	5.0
B-2	1.2	2.0	3.0
C-1	5.0	4.0	10
D-1	1.4	0.8	5.0
D-2	1.7	1.4	5.0
D-3	1.5	1.5	5.0

2.1 시험 방법

실물실험방법을 이용하여 실험을 하였으며 방법은 다음과 같다. 지반의 침투 능력이나 실제시설의 침투량을 산정하기 위해서 일정한 수위가 될 때까지 트렌치 내에 물을 주입하고, 그 수위가 변화하지 않도록 주입량을 조절하고 경과 시간마다 주입량을 측정하며 주입량이 안정될 때까지 계속하는 정수위법을 이용하였으며 이때의 종기침투량을 확인하여 설계 침투량의 산정 시 고려하였다. 시험 중 수위 측정에는 수동수위측정기를 사용하였다. 다음은 침투트렌치 시설의 설치 순서이다.

① 지반 굴착



Fig. 4.5 Ground excavation

② 침투트렌치 설치



Fig. 4.6 Installation of an infiltration trench

③ 침투트렌치 설치 완료



Fig. 4.7 The figure of an infiltration trench

④ 침투트렌치 내 물 주입

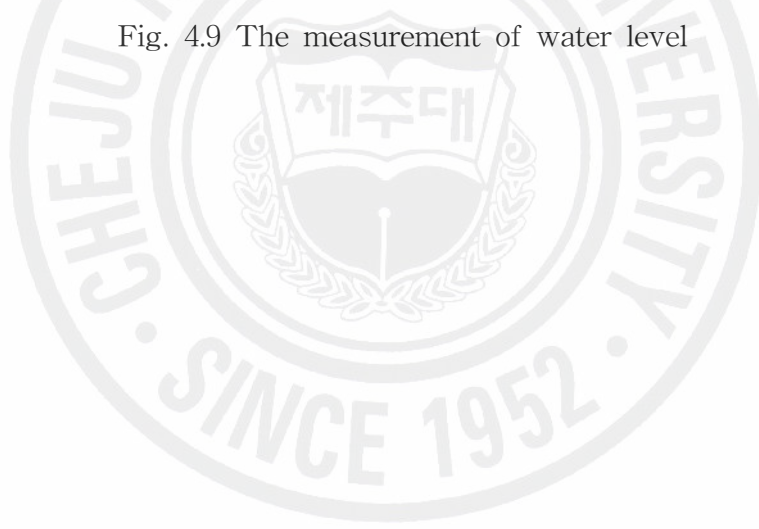


Fig. 4.8 Pouring the water into an infiltration trench

⑤ 수위 측정



Fig. 4.9 The measurement of water level



2.2 시험 결과

A, B, C, D 각각의 지점에 대해 실물시험방법을 이용하여 현장침투시험을 실시하였다. 시험 결과 각각의 침투시설의 종기침투량을 산출할 수 있었으며 그 결과는 표 4.4와 같다.

Table 4.4 Critical infiltration results obtained by In-situ test

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

여기서, W(m), H(m), L(m)은 각각 설치한 침투트렌치의 폭, 높이, 길이이며, h'(m)는 트렌치 내에 물을 계속 주입했을 때 수위가 일정하게 되는 정수위 높이이다. 그리고 종기침투량(m³/hr)은 그 때의 단위시간당 침투량이다.

위의 표 4.4에서 알 수 있듯이 실험 지역의 침투시험은 대체적으로 투수성이 높은 지반을 대상으로 실시하였으므로 침투량이 22.24~269.49(m³/hr)로 높은 침투량을 보이고 있다.

V. 침투량 분석

1. 비침투량에 대한 기존식과 제안식의 비교

모형시험에 의해 얻은 비침투량 산정식과 기존의 비침투량 산정식을 비교해보기 위해 그림 5.1에 비침투량에 대해 W(폭)과 H(수위)를 변수로 하는 기존식과 제안식을 도식하였다.

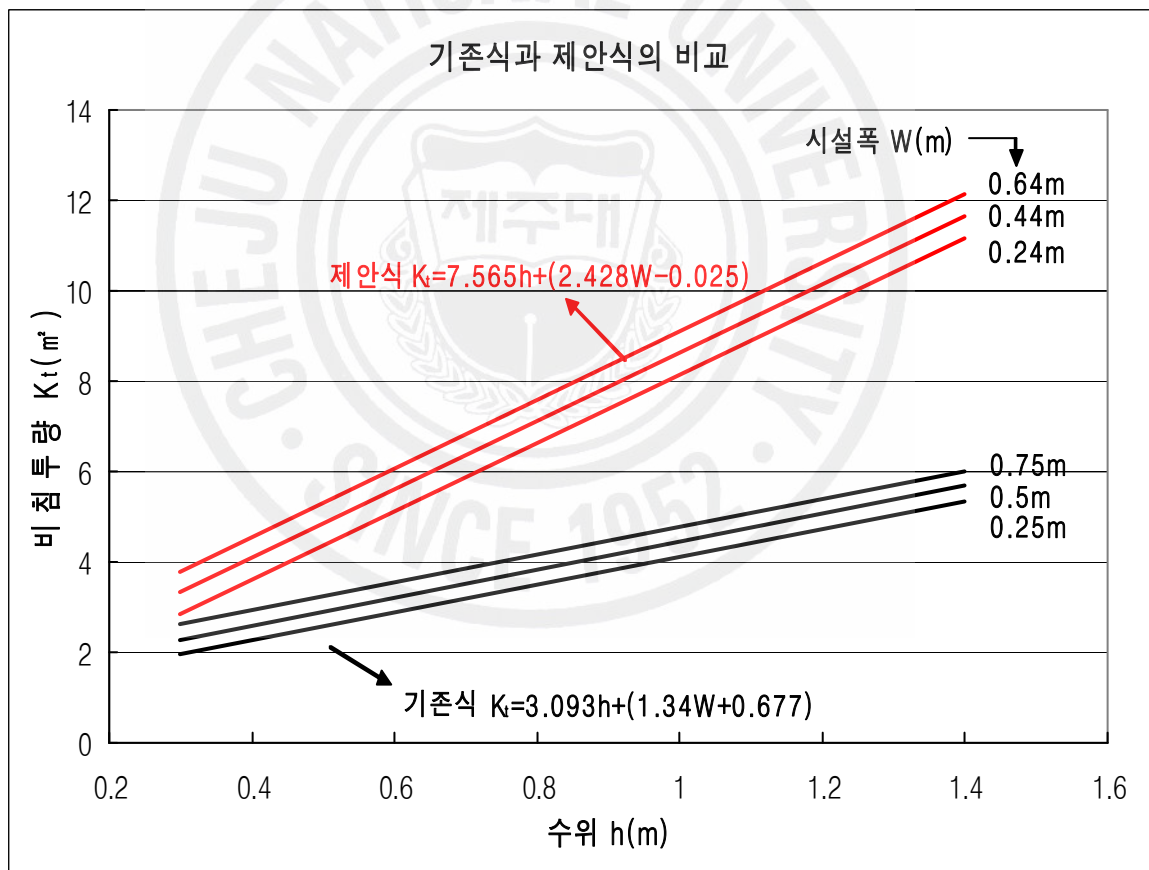


Fig. 5.1 The comparison between a pre-existed formula and a suggestion formula for the specific infiltration

위의 그래프에서도 볼 수 있듯이 기존식의 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. 이 때 제안식의 경우 기존식에 비해 시설 폭이 증가하면서 비침투량의 차이가 더 많이 발생하는 것을 알 수 있으며, 수식에서도 알 수 있듯이 제안식이 기존식에 비해 기울기가 거의 2배 정도로 나타나고 있다. 이는 후에 제안식을 적용하여 침투량을 산정할 경우 기존식에 비해 대략 2배 정도 크게 산정되리라고 예측할 수 있다.



2. 기존식에 의한 설치시설의 침투량 분석

<우수저류침투기술협회, 1995>에서 제안한 간편식에 대해서 총 8개소의 침투트렌치 시설에 대해서 각각의 지점의 투수계수와 설치시설의 제원을 이용하여 침투량을 산정한 결과 표 5.1과 같다.

Table 5.1 The infiltration results obtained by a pre-existed formula

설치시설	지 점	투수계수 K (cm/sec)	비침투량 K_t (m^2/m)	기준침투량 (m^3/hr)
침투트렌치	A-1	1.63E-01	4.017	70.72
	A-2	7.56E-02	3.924	53.40
	B-1	3.11E-02	4.378	24.51
	B-2	4.03E-02	3.615	15.73
	C-1	1.03E-02	8.274	30.68
	D-1	4.15E-02	4.192	31.32
	D-2	9.19E-02	6.234	103.12
	D-3	1.44E-01	5.718	148.21

여기서, 침투트렌치의 침투량 산정 시 기존식의 침투트렌치 산정식을 이용하여 비침투량을 계산하였으며, 계산에 사용된 식은 다음과 같다.

$$Q_f = (k * K_t) * L$$

여기서, Q_f : 기준침투량(m^3/hr)

k : 지반의 투수계수(cm/sec)

K_t : 침투트렌치 시설의 비침투량(m^3/m)

L : 설치한 침투트렌치의 길이(m)

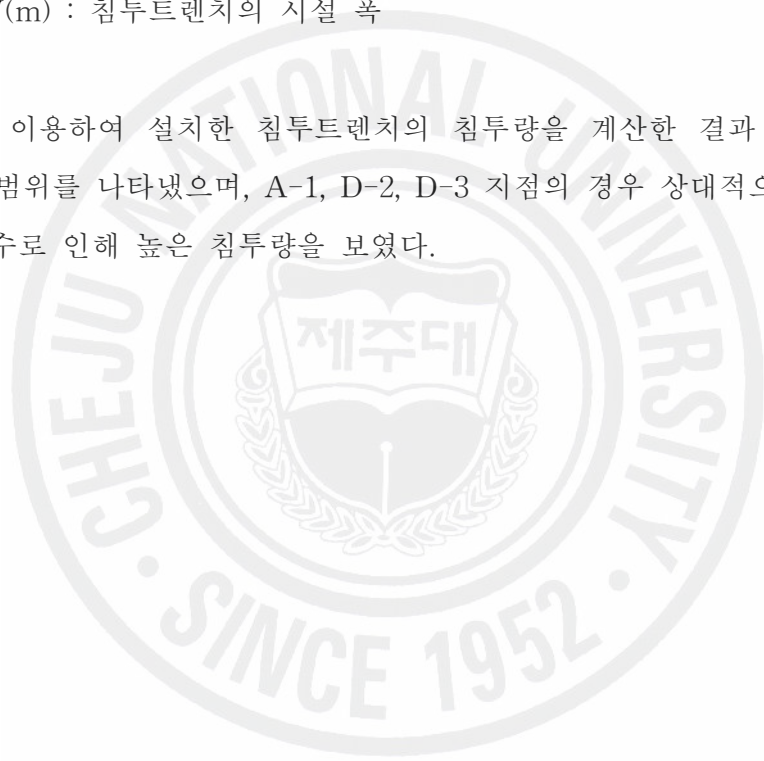
그리고 침투트렌치 시설의 비침투량은 다음과 같은 식으로 계산된다.

$$K_t(m^2/m) = 3.093h + (1.34W+0.677)$$

여기서, h(m) : 정수위 높이

W(m) : 침투트렌치의 시설 폭

간편식을 이용하여 설치한 침투트렌치의 침투량을 계산한 결과 15.73~167.77 (m^3/hr)의 범위를 나타냈으며, A-1, D-2, D-3 지점의 경우 상대적으로 지반의 높은 투수계수로 인해 높은 침투량을 보였다.



3. 제안식에 의한 설치시설의 침투량 분석

모형시험에 의해 얻은 비침투량식을 이용하여 총 8개소의 침투트렌치 시설에 대해서 각각의 지점의 투수계수와 설치시설의 제원을 이용하여 침투량을 산정한 결과 표 5.2와 같다.

Table 5.2 The infiltration results obtained by a suggestion formula

설치시설	지 점	투수계수 K (cm/sec)	비침투량 K_t (m^2/m)	기준침투량 (m^3/hr)
침투트렌치	A-1	1.63E-01	6.871	120.95
	A-2	7.56E-02	6.644	90.41
	B-1	3.11E-02	7.583	42.45
	B-2	4.03E-02	6.142	26.73
	C-1	1.03E-02	14.310	53.06
	D-1	4.15E-02	7.384	55.16
	D-2	9.19E-02	12.122	200.52
	D-3	1.44E-01	11.031	285.92

여기서, 침투트렌치의 침투량 산정 시 제안한 침투트렌치 산정식을 이용하여 비침투량을 계산하였으며, 계산에 사용된 식은 다음과 같다.

$$Q_f = (k * K_t) * L$$

여기서,

Q_f : 기준침투량(m^3/hr)

k : 지반의 투수계수(cm/sec)

K_i : 침투트렌치 시설의 비침투량(m^3/m)

L : 설치한 침투트렌치의 길이(m)

그리고 침투트렌치 시설의 비침투량은 다음과 같은 식으로 계산된다.

$$K_i(m^3/m) = 7.565h + (2.428W - 0.025)$$

여기서,

$h(m)$: 정수위 높이

$W(m)$: 침투트렌치의 시설 폭

제안식을 이용하여 설치한 침투트렌치의 침투량을 계산한 결과 26.73~323.68 (m^3/hr)의 범위를 나타내고 있다. 또한 기존식에 의해 얻은 침투량과 비교해 볼 때 제안식에 의해 얻은 침투량이 대략 2배 정도 크게 산정되는 것을 알 수 있다.

4. 침투량 산정의 비교 분석

제안식과 기존식에 의해 얻은 설치시설의 침투량을 현장침투시험에 의한 침투량과 비교한 결과 표 5.3과 같은 결과를 얻었다.

Table 5.3 The critical infiltration results obtained by In-situ infiltration test, a pre-existed formula, a suggestion formula

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

표 5.3으로부터 알 수 있듯이 기존식에 의해 얻은 침투량 보다 제안식에 의해 얻은 침투량이 현장침투시험에 의해 얻은 침투량에 더욱 근접한 결과를 보이고 있다. 하지만 B-2 지점과 D-3 지점의 경우에는 제안식에 의해 얻은 침투량이 현장침투시험에 의해 얻은 침투량 보다 다소 큰 결과를 보이고 있다. 이는 이 2 지점에서의 현장투수시험 시 침투트렌치 저면의 한 부분에서 측정된 결과를 사용

했으며, 이 때 현장투수시험을 실시하기 위해 지반을 보링한 부분이 다른 부분에 비해 공극이 더 많아서 투수계수가 과다 산정된 것으로 사료된다. 따라서 투수계수 값을 이용하여 얻은 제안식에 의한 침투량이 현장침투시험에 의해 얻은 침투량 보다 더 크게 산정된 것으로 사료된다.

다음 각각의 그림 5.2 ~5.6은 각각 현장에 설치된 침투트렌치의 W(폭, m)와 h(정수위 높이, m)를 제안식과 기존식에 적용한 비침투량 값과 현장침투시험에 의해 얻은 비침투량 값을 비교한 그림이다.

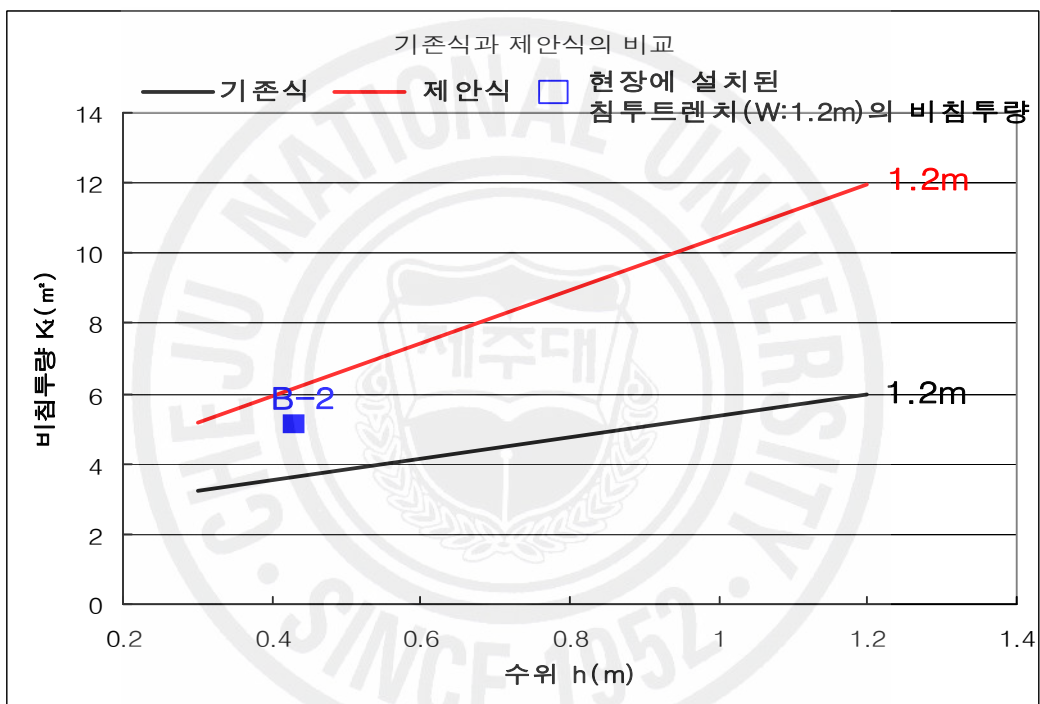


Fig. 5.2 Comparison of the specific infiltrations for B-2 area

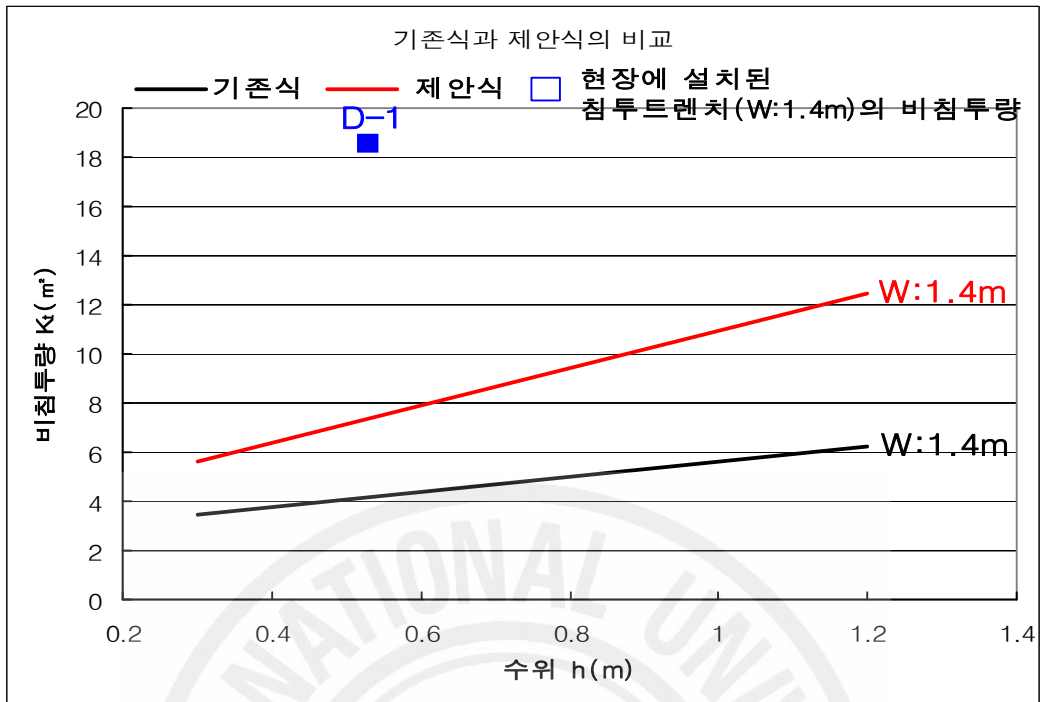


Fig. 5.3 Comparison of the specific infiltrations for D-1 area

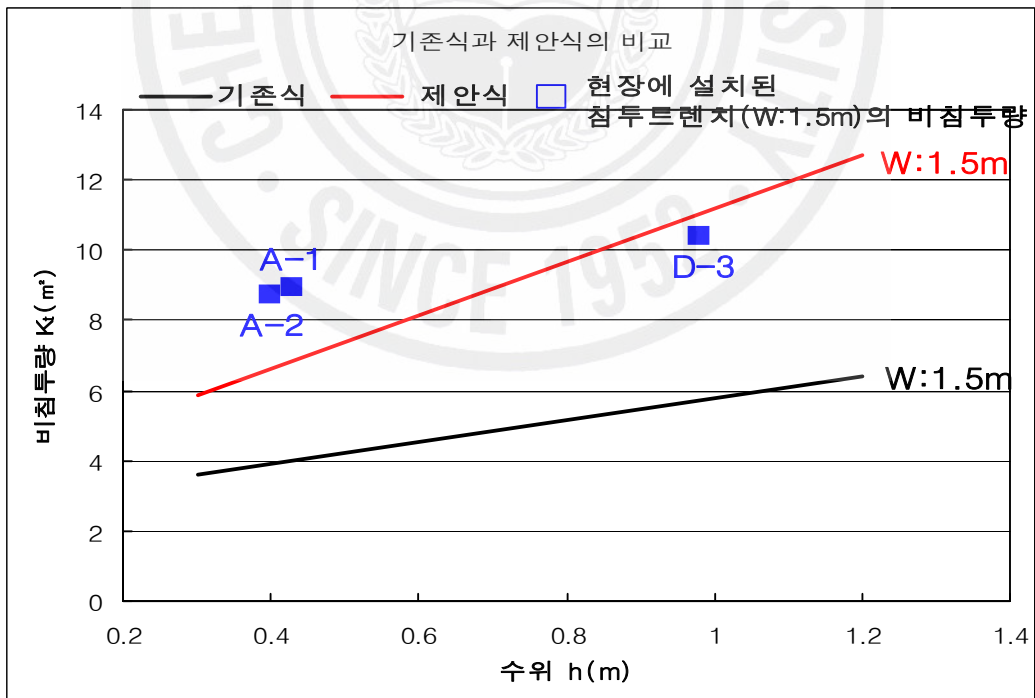


Fig 5.4 Comparison of the specific infiltrations for A-1, A-2, D-3 areas

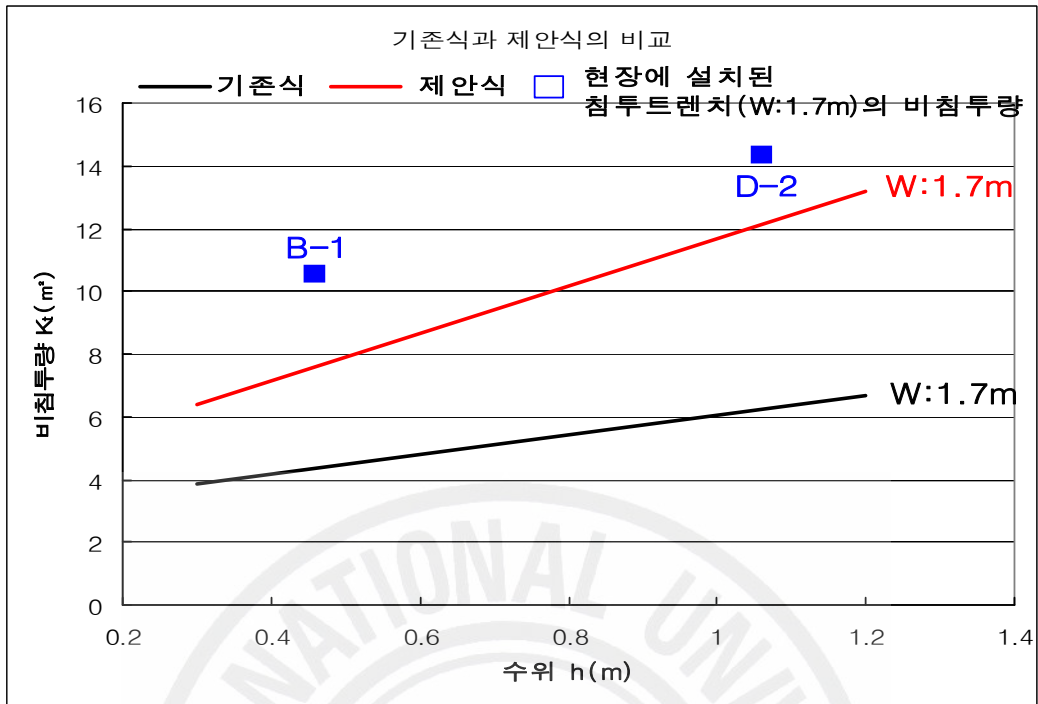


Fig. 5.5 Comparison of the specific infiltrations for B-1, D-2 areas

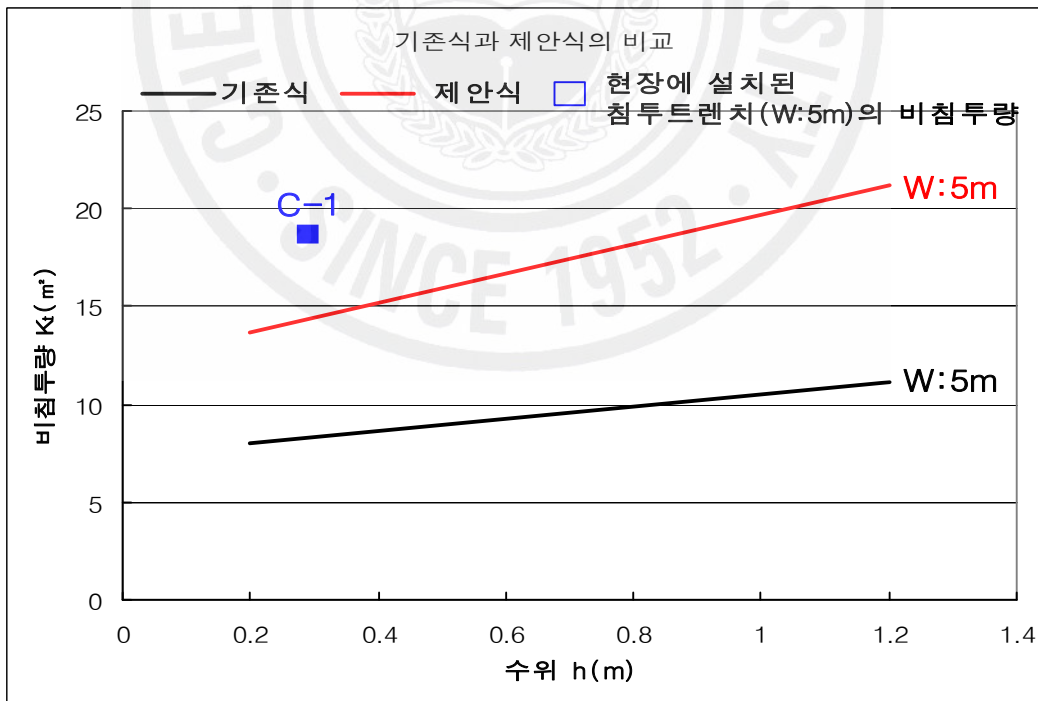


Fig. 5.6 Comparison of the specific infiltrations for C-1 area

위의 그림 5.2~5.6으로부터 알 수 있듯이 제안식에 의해 얻은 비침투량이 기존식에 의해 얻은 비침투량 보다 현장침투시험에 의해 얻은 비침투량에 더욱 근접한 결과를 보이고 있다. 또한 각각의 지점에 대해서 제안식 및 기존식으로부터 얻은 비침투량을 이용하여 침투량을 산정한 후 현장침투시험에 의해 얻은 침투량과 비교한 결과 그림 5.7, 5.8과 같다.

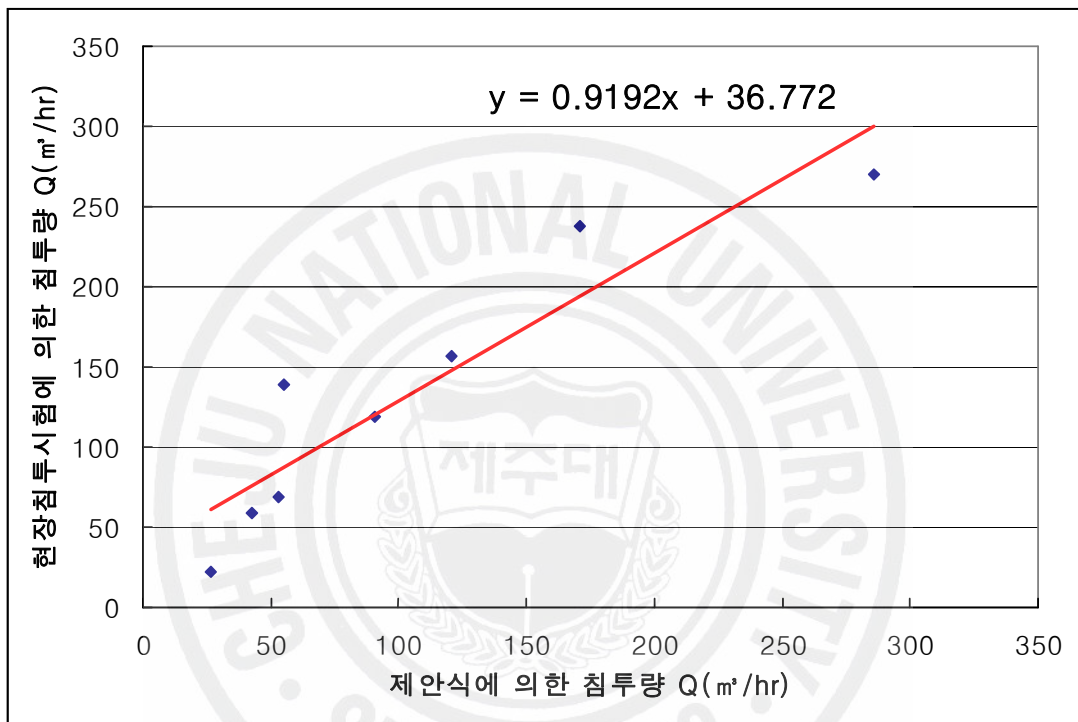


Fig. 5.7 The comparison between the infiltration Q obtained by In-situ infiltration test and the infiltration Q obtained by the suggestion formula.

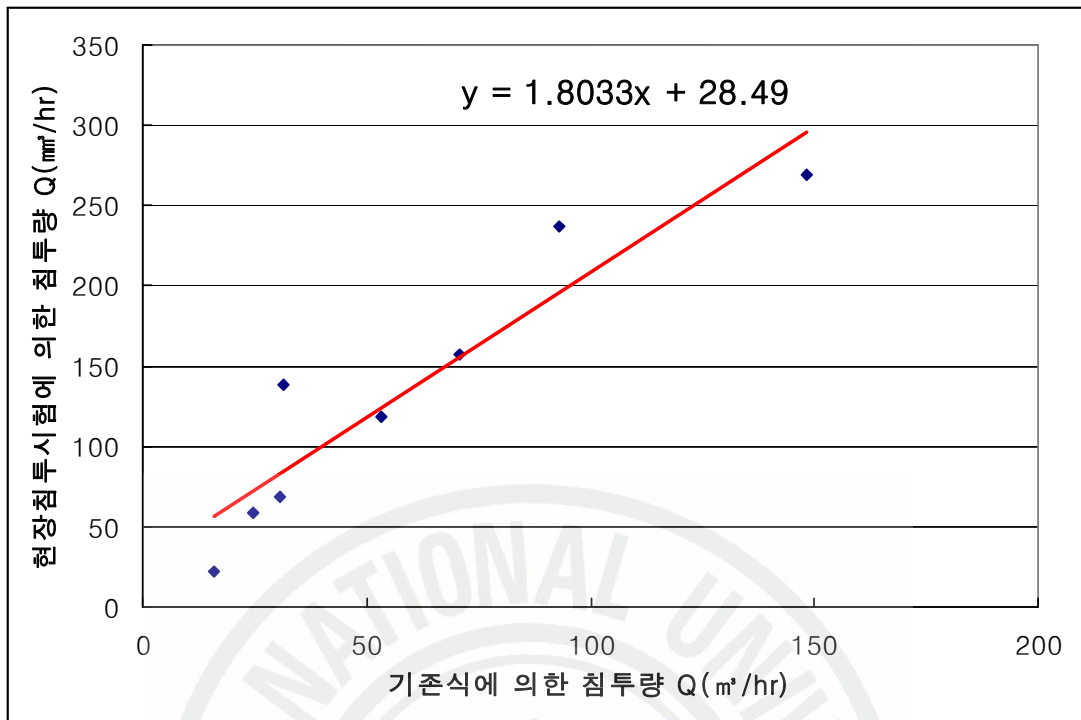


Fig. 5.8 The comparison between the infiltration Q obtained by In-situ infiltration test and the infiltration Q obtained by the pre-existed formula

그림 5.7은 각각의 지점에 대해서 제안식에 의해 얻은 침투량과 현장침투시험에 의해 얻은 침투량을 비교한 결과이며, 그림 5.8은 기존식에 의해 얻은 침투량과 현장침투시험에 의해 얻은 침투량을 비교한 결과이다. 여기서 각각의 지점에 대한 결과 값을 추세선으로 도시한 결과 제안식에 의해 얻은 침투량이 기존식에 의해 얻은 침투량보다 추세선의 기울기가 1에 더욱 근접하다. 따라서 제안식에 의해 얻은 침투량이 현장침투시험에 의해 얻은 침투량과 더욱 근접하다는 것을 알 수 있다. 따라서 위의 결과를 종합해보면 투수성이 높은 조립토를 이용하여 실시한 모형시험으로부터 얻은 제안식이 기존식에 비해 투수성이 높은 제주도 지반에 더욱 적합하다는 것을 알 수 있다.

VI. 결 론

최근 들어 집중강우의 빈도가 많아짐에 따라 우수유출을 저감하고자 저감 시설을 많이 설치하고 있으며, 그 중요성이 높아지고 있다. 따라서 본 연구에서는 투수성이 높은 조립토 지반에 대한 비침투량식을 산정하기 위해 모형시험을 실시하였으며, 실제 침투트렌치 설치 시 침투효과를 분석하기 위해서 4개 지점에 침투트렌치를 설치하여 침투효과를 알아보았다. 또한 기존의 비침투량 산정식과 모형시험을 통해 얻은 비침투량 산정식을 비교 분석하고, 이를 통해 얻은 결과를 현장실험결과와 비교 분석해 보았다.

1. 표준사를 이용하여 모형시험을 실시하여 투수성이 높은 조립토에 대해 다음과 같은 비침투량 산정식을 얻었다.

$$K_i(\text{m}^2/\text{m}) = 7.565h + (2.428W - 0.025)$$

2. 비침투량 산정에 있어 기존식과 모형시험을 통해 얻은 제안식을 비교한 결과 제안식의 경우 기존식에 비해 약 2배 정도 높은 결과 값을 얻었다.

3. 침투트렌치 시설을 설치한 지점에 대하여 각각 정수두 보링공 투수법을 이용하여 투수시험을 실시한 결과 $1.03 \times 10^{-2} \sim 1.63 \times 10^{-1}(\text{cm}/\text{sec})$ 로 높은 투수성을 보였다.

4. 4개 지점의 8개의 침투트렌치 시설에 대하여 현장침투시험을 실시한 결과 중기침투량이 $22.24 \sim 269.49(\text{m}^3/\text{hr})$ 로 높은 침투효과를 보였다.

5. 현장침투시험에 의해 얻은 침투량과 기존식 및 제안식에 의해 얻은 각각의 침

투량을 비교한 결과 제안식에 의해 얻은 침투량이 현장침투시험에 의해 얻은 침투량에 더 가까운 값을 보이고 있다.

6. 표준사를 사용한 모형시험에 의한 침투량은 화산재로 이루어져 있는 제주도 지반의 현장침투시험에 의한 침투량과 비슷한 결과를 보였다. 하지만 차후 화산재를 사용한 모형시험을 실시할 경우 제주도 지반에 더욱 적합한 결과를 얻을 수 있을 것이다.



VII. 참고문헌

- 강영태, 2001, 개발에 따른 우수유출 저감시설 활용방안, 연세대학교 석사학위논문, pp.20-23
- 김현수, 2002, 인천 침수피해지역의 우수유출저감시설 설치효과, 인천대학교 석사학위논문, pp.7-8
- 박성준, 2004, 산지형 집합주거단지 개발에 따른 빗물침투시설 적용 지침에 관한 연구, 경희대학교 석사학위논문, pp.18-20
- 이종규, 2007, 토질역학, 기문당, pp
- 장복진, 2001, 현장자료 및 수치모형을 이용한 침투집수정의 유출저감에 관한 연구, 명지대학교 석사학위논문, pp.10-19
- 장연수 • 이광열, 2006, 지반환경공학(제2판), pp.171-234
- 제주특별자치도, 2007, 제주도 특성에 적합한 재해영향 저감기준 연구(Ⅰ), pp. 천병식, 1998, 지반공학(이론과 실제), pp.94-158
- 행자부 국립방재연구소, 1998, 우수유출 저감시설 설치기법연구(Ⅰ) 보고서, pp. 63-71, 87-98
- 행자부 국립방재연구소, 1999, 우수유출 저감시설 설치기법연구(Ⅱ) 보고서, pp. 114-127, 188-198
- 행자부 국립방재연구소, 2000, 우수유출 저감시설 설치기법연구(Ⅲ) 보고서, pp.
- 행자부 국립방재연구소, 2001, 우수유출 저감시설 설치기법연구(Ⅳ) 보고서, pp.
- 행자부 국립방재연구소, 2002, 우수유출 저감시설 설치기법연구(Ⅴ) 보고서, pp.
- 행자부 국립방재연구소, 2000, 우수유출 저감시설의 적용을 위한 시범지역 운영 방안, pp.
- Braja M. Das, 2003, 토질역학, 사이텍 미디어, pp.178-182
- Braja M. Das, 1998, Principles of Geotechnical Engineering(Fourth Edition),

- PWS PUBLISHING COMPANY, pp.
- David E. Daniel, 1989, In Situ Hydraulic Conductivity Tests For Compacted Clay, Journal of Geotechnical Engineering, Vol.115, No.9, pp.1205-1224
- Giorgio Cassiani, 1998, A new method for the interpretation of the constant-head well permeameter, Vol.210, Issues 1-4, pp.11-20
- Hans F. Winterkorn and Hsai-Yang Fang, 1975, Foundation Engineering Handbook, pp.105-109
- JOHN N. CERNICA, 2004, 기초공학, 구미서관, pp.
- LAKSHMI N. REDDI, 2003, SEEPAGE IN SOILS, pp
- NAVFAC DM-7.1/2/3, 1982, SOIL MECHANICS DESIGN MANUAL, pp.7.1-259-7.1-305
- T.W.Lambe & R.V.Whitman, 1995, Soil Mechanics(SI Version), pp.

