



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

제주도 지역의 침투집수정 시설의
설치효과 분석



濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

土木工學 專攻

洪 東 澈

2 0 0 7

碩士學位論文

제주도 지역의 침투집수정 시설의
설치효과 분석

指導教授 南正萬



濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

洪東澈

2007

제주도 지역의 침투집수정 시설의 설치효과 분석

指導教授 南正萬

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2007年 8月

濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科 土木工學 專攻

洪東澈의 工學 碩士學位 論文을 認准함

2007年 8月

委員長	印
委長	印
委員長	印

The effect analysis for infiltration collector well
in Jeju area

Dong-Cheol Hong

(Supervised by Professor Jung-Man Nam)

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

2007. 8.

This thesis has been examined and approved.

Department of Construction and Environmental Engineering
GRADUATE SCHOOL OF INDUSTRY
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

목 차	i
List of Tables	iii
List of Figures	iv
Summary	vi
I. 서 론	1
II. 기존 이론	2
1. 우수유출저감시설	2
1) 우수유출저감시설의 정의	2
2) 우수유출저감시설의 연구동향	2
3) 우수유출저감시설의 종류	4
2. 국외의 침투시설 설치기준	19
1) 일본	19
2) 미국	23
3. 우수유출저감시설의 기대 효과	34
III. 투수시험	37
1. 투수시험의 종류 및 방법	37
1) 실내투수시험	37
2) 현장투수시험	38
2. 침투량 산정	50
1) 단위설계침투량	50
2) 기준침투량	51
IV. 현장시험	59
1. 현장투수시험	59
2. 인위적 저류를 통한 현장침투시험	60
1) A 지점	61
2) B, C, D 지점	63

V. 침투량 분석	67
1. 현장투수계수	67
2. 현장침투시험에 의한 침투량 분석	68
3. 기존의 침투량 산정식에 의한 분석	69
4. 침투량 산정의 비교 분석	70
VI. 결 론	72
VII. 참고 문헌	73



List of Tables

Table 2.1	Limit depth of storage facilities	8
Table 2.2	The installation types of the rainfall-runoff reduction facilities	11
Table 2.3	Soil limitation of the Infiltration trench	13
Table 2.4	Advantage and disadvantage of Infiltration well method	17
Table 2.5	The related laws to be examined before the implementation	19
Table 2.6	The technical guide table related to infiltration facilities in Japan	23
Table 3.1	Advantage and Disadvantage of test methods	50
Table 3.2	K_t , K_f equation of the square infiltration facilities(the side and the base)	56
Table 3.3	K_t , K_f equation of the square infiltration facilities(the base)	56
Table 3.4	K_t , K_f equation of the circular infiltration facilities(the side and the base)	57
Table 3.5	K_t , K_f equation of the circular infiltration facilities(the base)	57
Table 3.6	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)	58
Table 4.1	The infiltration facilities of each areas	60
Table 5.1	Permeameter test results	67
Table 5.2	Critical infiltration results by In-situ test	68
Table 5.3	Critical infiltration results by the simplicified formulae	69
Table 5.4	Comparison & analysis between Critical infiltration results by In-situ test and Critical infiltration results by the simplicified formulae	70

List of Figures

Fig 2.1	Types of the runoff reduction facilities(NIDP, 1999)	5
Fig 2.2	An example of Infiltration trench	12
Fig 2.3	An example of Infiltration gutter	14
Fig 2.4	An example of Infiltration pavement	15
Fig 2.5	An example of infiltration bucket	15
Fig 2.6	An example of Infiltration well method	16
Fig 2.7	An example of Storage-infiltration facilities with broken stones	17
Fig 3.1	Constant-head test	37
Fig 3.2	Falling-head test	39
Fig 3.3	Schematic Diagram of two-stage in situ Hydraulic Conductivity Test with Boutwell Permeameter for Case in which Potentlometric Level is below Base of Permeameter	41
Fig 3.4	Curve of k_2/k_1 versus m required to satisfy for $L/D=1.0,1.5$ and 2.0	43
Fig 3.5	Borehole Test with Constant Water Level	44
Fig 3.6	Factor C versus H/r (Reynolds and Elick 1987; Soil-moisture Equipment Corp. 1987)	46
Fig 3.7	Hydraulic Conductivity from Porous Probe Tests	48
Fig 3.8	K_t -Infiltration depth relation curve in the Bore-hole method	52
Fig 3.9	K_t -Infiltration depth relation curve in the base infiltration method	52
Fig 3.10	Design shape factor-Design Height- K_t relation curve, (a) Infiltration pavement	53
Fig 3.11	Design shape factor-Design Height- K_t relation curve, (b) Circular infiltration collector well(The side and base infiltration)	53
Fig 3.12	Design shape factor-Design Height- K_t relation curve, (c) Square infiltration collector well(The side and base infiltration)	54
Fig 3.13	Design shape factor-Design Height- K_t relation curve, (d) Connection between infiltration collector well and Trench(The side and base infiltration)	54
Fig 3.14	Design shape factor-Design Height- K_t relation curve, (e) Rectangle infiltration collector well and Trench(The side and base infiltration)	55
Fig 4.1	The location to carry out experiment on infiltration test	59
Fig 4.2	The figure of Constant Head Borehole Permeameter	60
Fig 4.3	The figure of infiltration bucket	61

Fig 4.4	The cross section of infiltration bucket	61
Fig 4.5	Bore-hole test in A area	62
Fig 4.6	The figure of infiltration collector well in B area	63
Fig 4.7	The figure of infiltration collector well in C area	63
Fig 4.8	The figure of infiltration collector well in D area	64
Fig 4.9	The cross section of infiltration collector well	64
Fig 4.10	The view of infiltration test 1	65
Fig 4.11	The view of infiltration test 2	66
Fig 5.1	The relation between infiltration area and K_f	71



Summary

Recently, runoff is increased suddenly due to heavy rainfall and development, for this, the damages are increasing. So although the runoff reduction facilities are installed for preventing this damage, the proper infiltration equation in soil condition of Jeju area isn't made exactly. So the purpose of this study is to compare between infiltration from in situ test and original infiltration equation. permeameter test and infiltration test were conducted for 1 infiltration bucket and 8 infiltration collector well in 4 area. For 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 $8.61E-02$ to $9.70E-01$ (cm/sec), permeability was very high. Also critical infiltration was from 17.11 to 287.1(m^3/hr), high infiltration effect was obtained. On the other hand, the results between infiltration from infiltration test and from original infiltration equation were great different from 21.31 to 212.7 m^3/hr . Therefore K_t which has a fluent of infiltration area based on results obtained from infiltration test was proposed as an exponential function. Although the equation represented as an exponential function can't estimate exact infiltration due to few data, if more infiltration tests are conducted in the future, proper infiltration equation to Jeju area will be made.

I. 서론

최근 들어 집중호우와 태풍 등의 기상이변으로 인하여 집중호우의 발생빈도가 높아지고 있으며, 또한 다양한 개발행위로 인한 유역 유출양이 크게 증가하고 있다. 앞으로, 이러한 자연적·인위적 재해로 인하여 더욱 우수유출량은 증가할 것으로 예상되고 있다. 이에 따라 이러한 자연적, 인위적 재해요인의 절감을 위한 연구에 많은 관심을 보이고 있다. 우수유출저감시설은 이런 재해요인을 절감할 수 있는 시설로서, 우수를 인공적으로 지하에 침투시키거나 저류시켜 하천이나 저지대로의 유출을 최대한 억제하려는 시설이다. 이러한 우수유출저감시설은 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 우수유출저감시설을 활용하고는 있으나, 국외의 규정을 그대로 모방하고 있는 실정이며 침투량을 산정하는 공식 또한 일본의 우수저류침투기술협회에서 제시한 간편식을 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 제주도 지역에 대한 우수유출저감시설의 침투량을 분석할 필요가 있다.

본 연구에서는 우수유출저감시설 중 침투통을 설치한 1개 지역의 1개소와 침투집수정을 설치한 3개 지역의 8개소에 대해 현장투수시험 및 현장침투시험을 실시하였다. 이들 실험 결과를 토대로 투수계수 및 침투량의 효과를 분석하고, 기존의 침투량 산정식과 비교 분석하였다. 또한 본 연구를 통해 얻어진 결과를 토대로 제주도 지반에 적절한 비침투량 계산식을 산정하여 제주도 지역의 침투시설 및 저류지의 설계 시 기초자료 및 설계지침으로 활용할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

II. 기존 이론

1. 우수유출 저감시설

1) 우수유출 저감시설의 정의

우수유출 저감시설이란 기존에 유역이 가지고 있던 우수배제 능력을 유지 보완하고 토지이용 변화에 따라 증가하는 유출량을 억제하여 유역의 하류부에 대한 홍수 부담을 저감하는 시설을 말한다.

우수유출 저감시설은 빗물이 지표면을 흐르거나 배수시설로 유하할 때 지하로 스며들게 하는 침투 형과 우수를 일시적으로 저류하고 있다가 홍수가 지난 후 방류하는 저류 형으로 분류할 수 있다.

침투 형 시설은 소규모 지역, 공원이나 녹지 등을 이용하여 침투 율을 증가시키는 방법과 보도나 주차장 같은 불투수면 표면을 투수성이 높은 재료를 이용하여 침투가 가능하도록 하는 방법이 있으며, 빗물을 유도하여 지하로 침투시키는 시설에는 침투 트렌치, 침투통, 침투측구 등이 있다.

저류 형 시설은 빗물을 소규모 단위로 처리하는 지역 내 저류 형(on-site)과 유역내의 분할된 소유역 출구 또는 유역출구에 우수지, 저류지 등을 설치하여 유출수를 저류하는 지역 외 저류형(off-site)이 있다. 지역 내 저류시설의 경우에는 공원, 학교 운동장, 광장 등의 공공시설과 공동주택의 동과 동 사이, 주차장 등의 우수관거로 유입되기 이전에 소규모 저류효과를 얻을 수 있는 시설들로 확대되고 있으며, 빗물이 흐르거나 저장 시에 지하로 침투를 유도하는 복합적인 우수처리 시스템으로 발전되고 있다.

2) 우수유출저감시설의 연구동향

일본, 미국 등의 일부 선진국에서는 우수유출저감 시설에 대한 연구와 실제적용이 이루어지고 있으며 일본의 경우를 보면 적극적인 우수유출 저감목표의 시설에 대한 연구가 진행되고 있고 실제로 대규모 도시 저류지의 이용과 지하침투시설 등

을 적용하고 있다. 국내에서도 최근 이상 기후와 도시화로 인한 도시홍수에 대한 문제가 제기되면서 유출저감 시설에 대한 연구와 시설기준 마련 등을 위한 문제가 제기되면서 유출저감 시설에 대한 연구와 시설기준 마련 등을 위한 활동이 활발히 진행되고 있다.

미국의 경우에는 우수유출저감시설의 설치에 있어 주변경관과 조화를 이루어 그 주목적인 우수유출 저감은 물론 생태계공원 등의 부가적인 목적을 함께 추구하고 시설물이 인위적인 유지관리 보다는 자연적으로 유지관리 되도록 고안한 습식저류지 등의 이용이 주를 이루고 있다.

국의 연구동향을 살펴보면 일본에서는 투수성 포장에 대해서 1970년대부터 시가지의 가로수 육성의 관점으로부터 동경도 건설국을 중심으로 연계 및 시공에 관한 지침서가 종합되어 간행되었다. 1980년대에는 유역으로부터 유출을 억제하기 위하여 설치하였던 종래의 재난방지 조절지에 공원이나 공동주택지의 빈 땅 등을 이용한 유역저류시설 및 침투시설의 기술지침(안)을 제정하였고, 1990년대에는 도시지역의 우수유출억제 연구를 위한 시범유역을 설치하고 우수유출저감시설을 시공한 후 수문량의 자동계측시스템을 사용한 실험적 연구가 활발히 진행되었다. 2000년대에는 우수저감협회를 주축으로 활발하게 우수유출 저감시설에 대한 연구가 진행되고 있다. 우수이용시설을 도입하면서 필요가 되는 조사, 계획, 설계 등에 관한 유의사항이나 시설사례, 참고자료 등을 체계적으로 정리하였고, 침투시설의 보급을 도모하기 위해서 구체적인 시설의 구조와 시공방법과 유지관리방안에 대한 연구가 진행되고 있다.

국내에서도 1990년대 중반에 들어서면서 국부적 집중강우와 도시화로 인한 홍수 문제의 심각성을 인식하면서부터 우수유출 저감에 대한 연구가 활발히 진행되었다. 서울시에서는 1995년 「우수유출률 저감대책」 과 1998년 「우수유출 저감시설 기준 연구」, 2000년 「우수유출 저감시설 시범사업 검토연구」에 대해 연구한 바 있으며 1997년 한국건설기술연구원과 단양군청이 합동으로 「홍수피해 예방을 위한 우수유출량 저감방안 활용지침서」를 제시하였다. 방기성(1998)은 우수유출 저감대책 중심의 도시형 재해예방기능 강화를 위한 정책을 발표하였으며 심재현(1999)은 우수유출저감시설 설치에 의한 재해경감효과에 관한 연구를 수행하였다. 또한 이종국 등(1999)은 우수유출저감시설의 효과를 검증할 수 있는 실시간 측정기법을 소개하였다. 1998년부터 2003년까지 국립방재연구소에서는 우수유출저감시설 설치기법 및

제도화를 위한 5개년에 걸친 연차별 계획을 수립하였다. 현재까지 1998년에 지방도로 측구의 침투집수정 설치를 중심으로 연구를 수행하여 보고서 「우수유출 억제시설의 설치기법 연구(I)」를 발표하였고, 1999년에는 시범유역 개발 및 저감효과 실측을 중심으로 「우수유출 억제시설의 설치기법 연구(II)」를, 2000년에는 법령분석 및 투수성 포장재, 저류시설 기준 검토를 수록한 「우수유출 억제시설의 설치기법 연구(III)」를, 2001년에는 투수성 유출저감시설 설치기준 조사 및 분석을 통해 향후 시설설치 확대를 유도하기 위해 투수성 저감시설별 설치기준(안)을 제시한 「우수유출 억제시설의 설치기법 연구(IV)」를 발표하였다. 그리고 이에 관련하여 2002년에 최계운 등은 「투수성 유출저감시설 설치기준에 관한 연구」를 발표한 바 있다.

3) 우수유출저감시설의 종류

(1) 저류형

우수저류형 시설은 저류나 침투 등에 의한 유출량의 조절방법에 따라 기술적으로 구분하거나 설치 위치에 따라 입지적으로 구분한다. 기술적으로 분류를 하면 유입된 빗물을 지하로 침투시키는 것을 주목적으로 하는 함양지가 있고 모아진 빗물을 저류하였다가 채워지면 다음 단계의 저류지로 월류 시키면서 저장된 빗물에 대해서는 방류구를 통해 서서히 하류로 방류하는 우수지가 있다.

그리고 유입되는 빗물을 저장하여 하류로 천천히 방류하는 저류지가 있는데, 저류지는 다른 저류형 시설과 연계되지 않는다는 것이 우수지와 차이점을 할 수 있다. 또한 이런 우수지와 저류지는 저수지 바닥과 저수지 제방을 통해 침투를 유도함으로써 통상 함양지의 기능도 함께 가지고 있다.

우수저류시설을 설치위치에 따라 분류하면 먼저 유역의 말단부에 설치되어 유역으로부터 유입된 우수를 조절할 목적으로 설치되는 지역 외 저류(우수지, 펌프장, 방재 조절지)와 도시유역 내에 내린 강우를 우수관거, 우수지 및 하천으로 유입하기 전에 일시적으로 저류시켜 유출을 억제하는 지역 내 저류시설로 분류한다.

가. 지역 외 저류시설

a. 전용조정지

지역 외 저류는 유출되는 우수를 임의 유역 출구지점에 집수·저류·억제하기 위하여 설치되는 시설물로서 다목적 우수지 치수녹지 및 방재조절지 등을 들 수 있



Fig 2.1 Types of the runoff reduction facilities

다. 이러한 저류시설은 우수유출량을 일괄적으로 처리하기 때문에 저류 가능량이 많고, 배수과정에서 기술적으로 신뢰성이나 안전도가 높은 유출 억제방법이라 할 수 있다. 지역 외 저류의 일반적인 구조형식을 보면 댐식 굴입식 및 지하식 등이 있다. 댐식은 작은 언덕의 골짜기 부분에 설치하는 방식이며 굴입식은 주로 평탄지를 굴입하여 조정용량을 확보하는 것으로 우수의 유출이라는 단일 기능만을 목적으로 하는 전용조정지이다. 반면 지하식은 지하저류조 매설관 등에 일시적으로 우수를 저류하는 조정지로서의 기능과 토지의 유효활용을 도모하는 겸용조정지이다. 전용조정지는 실제 국토가 넓은 미국과 유럽에서 주로 실시하고 있는데, 주로 조정시설계 시 우수저류 기능 외 도시유역에서 초기유출수로 인한 비점오염원을 줄이고자 하는 두 가지의 목적을 가지고 있다. 저류지는 보통 건식 저류지, 확장된 건식 저류

지 및 습식 저류지로 나누어진다.

- 건식 저류지

건식 저류지는 우기 시 유출을 저류하는 곳으로 일반적으로 홍수가 일어나지 않도록 설계빈도로부터 발생하는 최대유량을 줄이기 위해 설계된다. 하지만 저류시간이 짧아 대부분 미립자의 오염물들이 유출로 인해 가라앉을 만한 충분한 시간이 없고, 바닥에 가라앉은 오염물질들도 빗물의 흐름에 아주 쉽게 부유하기 때문에 비점 오염원을 제거하는 데에는 효과적이지 못한 단점이 있다. 건식 저류지의 오염물 제거효과는 모든 오염물질에 대해 평균적으로 약 0~20% 정도인 것으로 알려져 있다.

- 확장된 건식저류지

저류지 방류방식으로 건식저류지의 방류구조를 바꾼 형식으로서 도시구역에서 우수 유출제어를 위한 최적관리 수단의 하나로 1년 빈도와 같이 적고 빈번한 강우를 대상으로 설계한 방안이다. 확장된 건식 우수지의 오염제거 효과는 얼마나 많은 유출수가 저류되는가에 의해 좌우된다. 일반적으로 부유물질과 같은 미립자의 오염물에 대해서는 40~70% 정도의 제거효과를 보이고 있지만 영양물질 등과 같은 용존 오염물질에 대해서는 제거효과가 아주 낮다.

- 습식 저류지

습식 저류지는 일정량의 물을 항상 보유하여 미립자 오염물질이 가라앉도록 하고 용존 오염물질 등을 생물학적 방법 혹은 다른 과정을 통해 제거하도록 하는 시설물이다. 일반적으로 부유물질에 대한 제거효과는 50~90% 이며, 영양물질에 대해 40~60% 아연에 대해 40~45% 정도로 알려지고 있다.

b. 겸용 조정지

겸용 조정지는 다른 용도의 시설물에 우수의 저류기능을 부여하여 활용하는 시설물로서 연못저류와 지하저류 및 지하 공간 저류 등이 있다.

- 연못저류

보통 지표면에 설치되는 저류지로 비교적 대용량이며 상시 저수하고 그 크기는

작은 호수나 공원 등의 연못에 가깝다. 시설의 설계는 자연 상황 공간의 이용가치, 경관, 지형, 기후 등의 특성에 따라 변하며, 주로 수변 및 여가활용 시설로서 이용되고 있다. 그러므로 수변 친수환경을 즐기는 사람들의 안전성을 확보하고 양호한 저류수질을 유지할 수 있어야 한다.

일반적으로 설계에 필요한 자료는 소요 저류량과 최대방류량이다. 소요 저류량은 강우유출수의 유입시작부터의 총유입량과 총 유출량과의 차이가 최대일 때의 값으로 결정된다. 일본의 경우 최대방류량은 하류의 하수와 수로의 최대유량 혹은 지방행정기관의 유량규제를 위해 결정한 규정 등에 의해 결정이 된다.

- 지하공간저류

지하저류는 우수저류시설을 지하에 설치한 것으로 지하 부를 주차장, 공원 등 다른 용도로 이용할 수 있도록 구조화한 것으로서 땅 값이 비싼 시가지에 설치하는 것이 일반적이다. 저류수심은 경제적 이유뿐만 아니라 토사반출 등의 작업성을 고려하여 2m 미만으로 하는 것이 바람직하며 설계에 있어 가장 중요한 요소는 시설의 관리문제이다.

- 건물지하 저류

주로 고층주택 및 큰 건물 등의 건물 지하공간을 이용하여 설치하며, 홍수가 빈번히 발생하는 지역으로 고밀도 주택가에서 사용한다. 설계상 유의점은 지하저류와 같지만 그 외에 해충의 발생을 방지하기 위해 평상시는 물이 고여 있지 않게 하며 저수조 설계 시 계획수위보다 높은 위치에 방충망을 부착한 환기통을 장치하도록 한다. 또한 주택에 습기가 차지 않도록 방지해야 한다.

나. 지역 내 저류시설

지역 내 저류는 강우의 이동을 최소한으로 억제하고 비가 내린 그 지역에서 우수를 저류하는 방식으로 토지의 이용계획에 있어서 녹지나 시설물 등에 내린 비를 저류하는 기능을 포함하는 것이다. 지역 내 저류시설의 종류는 주차장, 교정, 공원 및 지붕저류 등을 들 수 있으며 각각의 저류한계수심은 다음과 같다.

Table 2.1 Limit depth of storage facilities(NIDP, 1998)

토지이용	저류시설	저류한계수심(cm)
집합주택	건물 간 저류	30
주차장	주차장 저류	10
초등학교	교정저류	30
중학교		30
고등학교		30
아동공원	공원저류	20
근린·지구공원		30
건물간·지붕	지붕저류	10-15

- 건물 간 저류

연립주택 및 건물사이 공간을 지역 내 저류시설로써 이용하는 경우에 긴급차량의 진입, 건축물의 보호, 아동에 대한 안전대책 및 유지관리 등을 종합적으로 배려하여 저류가능 용량을 설정하도록 하여야 한다.

- 주차장 저류

주차장 저류를 설계하는데 있어서는 자동차의 브레이크 장치가 잠기지 않도록 하고 저류된 우수로 인해 주행에 지장을 주지 않도록 하며, 강우 시 이용자들의 주차장 이용을 고려해서 저류수심은 약 10cm로 제한하고 있다. 미국 콜로라도 주의 경우 저류수심이 30cm로 강우 종료 후 30분 이내에 배수되도록 설계되어 있다.

- 공원저류

공원·녹지 등을 저류시설로써 이용하는 경우에는 공원의 기능, 이용자의 안전 대책, 경관 등을 배려해서 저류장소 및 저류가능 용량을 설정한다. 일본의 경우 공원녹지의 면적은 개발면적의 약 3% 이상으로 하고 있다. 비교적 대규모인 택지개발 지구에서 만들어지는 공원은 지구근린공원과 아동공원이 있다. 공원의 수가 되는 아동공원은 아동이나 유아에 대한 안전성을 고려한 깊이로 할 것과 얇은 굴입식을

원칙으로 할 것 등과 같은 규정에 의해 그 형태결정에 제약이 있다. 따라서 아동공원 저류는 저류시설의 규모가 작은 것으로 다른 지역의 우수를 집수하기는 어려운 단점이 있다. 반면, 지구근린 공원은 유효수심을 크게 할 수 있는 지역으로 운동장을 조합한 구조가 가능하므로 치수효과가 크게 기대되고 우수량이 많은 다른 지역으로부터의 집수가 가능하다.

- 학교 운동장 저류

학교·유치원 등의 옥외운동장을 지역 내 저류시설로써 이용하는 경우에는 아동·유아에 대한 안정성을 배려하여 설정하도록 한다. 학교 운동장저류는 운동장 전체에 우수를 저류하는 방식으로 구조는 수심이 얇은 굴입식을 원칙으로 한다.

- 운동장 포장은 투수성 포장으로 한다.
- 운동장 가장자리의 아래를 굴입해 턱을 만들어 일시 저류한다.
- 침투 관을 매설하여 침투집수정으로 유도하고 여기에서 우수를 지중에 침투시킨다.

학교 운동장저류의 경우 침수가 장시간 지속되는 경우에는 체육수업 등의 지장을 초래하므로, 강우가 종료된 후에는 신속히 기능회복을 도모할 수 있도록 하여야 한다. 또한, 주차장 저류와 같이 우기 시 학생들의 등·하굣길을 위해 보행고의 높이를 높이는 것이 중요하다.

- 지붕저류

연립주택 등의 옥상을 지역 내 저류시설로써 이용하는 경우에는 지붕방수 및 건축물의 기본 구조도의 영향을 배려해서 저류가능용량을 설정하도록 한다. 지붕저류의 특성은 특히 도시형 홍수에 많은 피해를 입는 고밀도의 시가지 지역에 대해 아주 효과적인 방법이라고 할 수 있다. 지붕저류는 사람과 차량의 통행에 장애가 되지 않을 뿐만 아니라 일반적으로 보이지 않는 곳에 설치되므로 외관상의 문제와 어린이들의 안전성 문제도 해결할 수 있는 방법이다.

지붕저류의 기본적인 구조는 지붕경사가 수평한 연립주택 등의 옥상에 웨어를 설치하거나, Loop Trench를 설치하여 저류된 빗물을 배수통으로 연결, 유출량을 조정하는 것으로 저류시간은 일반적으로 24시간을 초과하지 않도록 한다.

- 기타지역에서 이용할 수 있는 시설

체육관, 절· 교회 및 관공서 등은 일반적으로 지역 내에 있는 시설로 부지면적이 좁은 건물 주변에 여기저기 산재되어 있어 여유가 없고 우수 유출억제를 위한 시설 도입이 곤란하다. 그러나 민간 소유의 부지에 가능한 범위 내에서 다음과 같은 우수 유출억제시설을 설치하도록 한다.

- 정원 등은 토지를 개량하여 침투능력을 높인다.
- 여유가 있는 토지의 부분은 가능한 범위에서 쇠석포장으로 한다.
- 침투집수정으로 우수를 지중에 침투시킨다.
- 나무와 풀을 심는다.

(2) 침투형

우수 저류형 시설은 침투홍수량을 저감시킬 수는 있지만 총유출량을 감소시키는 기능은 매우 적다. 반면, 우수 침투시설은 토지의 침투능력에 따라 지하로 침투시켜 우수의 다목적 이용이 가능하게 한다. 이와 같은 이유로 인해 일본에서는 과거의 방재조정지 등의 저류형 유출 억제시설에서 현재에는 개발로 인해 증대되는 유출량은 되도록 현지에서 처리한다는 개념을 기본으로 즉, 유역대책의 개념으로 기존에 설치된 방재조정지 이외에 침투시설을 겸용한 우수저류· 침투방식을 선택하고 있다.

가. 침투형 유출억제 시설의 원리

침투형 유출억제 시설은 지붕에서부터의 우수배수를 대상으로 전처리용의 침사지와 트렌치를 기본시설로서 이용하여 토양의 불 포화대를 통과해서 토양 중으로 침투시키는 것이다. 지붕에서부터 유하하는 우수는 우수 통을 지나 침전지에 유입된다. 강우량이 적은 경우에는 침전지의 하부 측에 그물을 설치하고 침투집수정 통과시 주위에 분포되어 있는 흡수재에 의해 흡수가 일어난다. 그러나 홍수 시에는 우수의 유입량이 증가함에 따라 침전조 내의 수위가 상승하게 된다. 수위상승에 따른 우수는 침전조 내의 중간부분에 설치된 스크린을 통과하게 된다. 이때 스크린은 토사· 쓰레기 등이 트렌치 내부로 유입되는 것을 방지하는 역할을 하며 토사· 쓰레기 등이 제거된 우수는 도관으로 이동한다.

도관 역사 최근에는 침투를 유도하는 시설로 바뀌고 있다. 유입되는 빗물이 계속 증가하면 도관을 거쳐 들어온 우수는 접촉제를 거쳐서 중력침투 방지용의 방수

통에 유입된다. 방수 통에 유입한 빗물은 화학 섬유망을 지나 주위로 빗물이 흡수된다. 모세관현상에 의해 흡수재에 흡수된 빗물은 토양 중으로 침투가 일어나는데 대부분은 옆으로 나머지는 아래방향으로 침투가 된다. 계속하여 유입되는 빗물이 증가하여 이 모든 시설이 채워지면 기존의 우배수관거로 유입되어 하류로 흘러간다.

다시 말해 이러한 지하침투 공법은 빗물을 지표 또는 지표부근의 흠속으로 분산, 침투시켜서 유역 밖으로의 우수유출을 최소한으로 제어하는 기법으로 지하수 함양을 촉진하여 지하생태계에도 좋은 효과가 있는 환경을 고려한 기법이라 할 수 있다.

Table 2.2 The installation types of the rainfall-runoff reduction facilities

비고	설치방법	비 고	총 저류량의 고려방법
I	침투시설단독	각 집수구역마다 침투시설을 설치하고, 침투시설로부터의 유출수를 하수관거에 의해 집수구역 외로 방출한다.	침투시설내의 저류량
II	침투시설단독	하수관거로부터 공원 내 등에 나누어 설치된 침투시설에 인도하여 처리한다.	
III	침투시설 + 지역 내 저류	침투시설로부터 월류를 지역 내 시설에 의해 재 조절한다.	지역 내 저류시설의 저류 량과 침투시설
IV	침투시설 + 지역 내 저류	침투시설로부터 월류되는 물을 지역 내 저류시설에 저류하고, 재침투시설로 침투 처리한다.	내의 저류 량을 합한다.
V	지역 내 저류 + 침투시설	지역 내 저류시설로 우수를 조절하고 침투시설로 처리한다.	지역 내 저류시설의 저류 량과 침투시설 내의 저류 량을 합할 수 없다.
VI	침투시설 + 유역출구조정지	침투시설로부터의 유출수를 유역출구에 설치된 조정지로 조정한다.	침투시설로부터의 방출량이 유역출구 조정지의 유입량이 된다.

나. 침투형 유출억제 시설의 종류

a. 침투법(확수법)

침투법은 지표의 불포화 층의 얇은 위치에서 우수를 침투· 확산시켜 유출을 억제하거나 저류에 의하여 유출시간을 지연시키고자 하는 방법으로 침투측구, 침투집수정, 투수성 포장 및 침투트렌치로 세분된다.

- 침투트렌치

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 투수성관을 포설한 구조를 가지며, 침투트렌치는 우수배수시설로 겸용되는 경우가 많기 때문에 투수관 지름, 경사 등의 기능을 알지 않도록 고려할 필요가 있다.

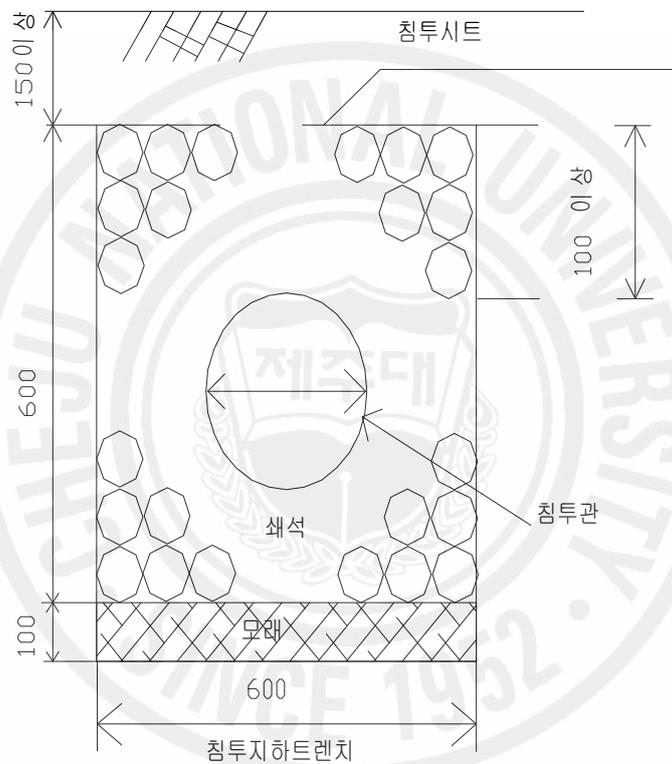


Fig 2.2 An example of infiltration trench

일반적으로 침투트렌치를 설치할 때의 기준은 다음과 같다.

- 폭 600mm, 깊이 600~700mm를 표준으로 한다.
- 트렌치 내에는 접속된 침투 통에서 유입한 물을 분산시키기 위해 쇄석 속에 침투관을 설치한다.
- 쇄석의 상부에는 침투시트를 깔고, 보통 흙으로 매립한다.

다음의 표 2.3은 침투트렌치에서 사용되는 토양종류에 따른 최저 침투율과 시간 경과에 따른 침투량을 나타낸 것이다.

Table 2.3 Soil limitation of the Infiltration trench

토양종류	최저 침투율 (fe-in./hr)	SCS 토양그룹	트렌치 침투량(mm)	
			48시간	72시간
Sand	8.27	A	992	1489
Loamy Sand	2.41	A	290	434
Sandy Loam	1.02	B	122	183
Loam	0.52	B	62	93
Silt Loam	0.27	C	32	49
Sandy Clay Loam	0.17	C	20	31
Clay Loam	0.09	D	11	16
Silt Clay Loam	0.06	D	7	11
Sandy Clay	0.05	D	6	9
Silty Clay	0.04	D	6	7
Clay	0.02	D	2	4

- 침투집수정

통의 밑면에 쇠석이 충전 되어 있는 시설물을 말한다. 우수는 통의 밑 부분의 쇠석을 통해 스며들며 불포화지층을 통해서 분산, 침투된다. 통 주변을 쇠석으로 충전하고 집수한 우수를 침투집수정 아래 부분 및 측면에서 지표의 비교적 얇은 부분으로 침투시키는 통 종류이다. 침투집수정은 유공 콘크리트나 포러스 콘크리트를 이용하는 경우가 많으며 그 형상은 원형, 정방형 및 구형 등이 있다. 쇠석부의 형상을 기준으로 침투집수정으로부터의 침투량을 산정하며, 침투집수정은 원형이지만 쇠석부가 정방형 모양인 경우에는 정방형 침투집수정으로 간주한다.

- 침투측구

침투구라고도 하며 측구 밑 부분에 쇠석 등의 다공성 매질로 충전 되어 있는 시설물을 말한다. 침투구로 유입되는 우수는 측구 밑 부분의 지표아래의 불 포화대 또는 포화대를 통하여 분산시킨다. 투수성 콘크리트를 이용하여 측구 저면 및 측면을 쇠석으로 충전하고 집수한 우수를 그 저면 및 측면으로부터 침투시키는 측구 시설물이다. 공원이나 운동장에 설치하면 토사 쓰레기 등의 유입에 따른 기능저하를 일으키는 경우가 많으므로 설치장소에 따라 적절한 유지관리가 필요하다. 측구 저

면을 쇠석으로 충전하여 침수한 우수를 그 저면으로부터 불 포화대 혹은 포화대를 통해 지하로 분산시키는 시설이다.

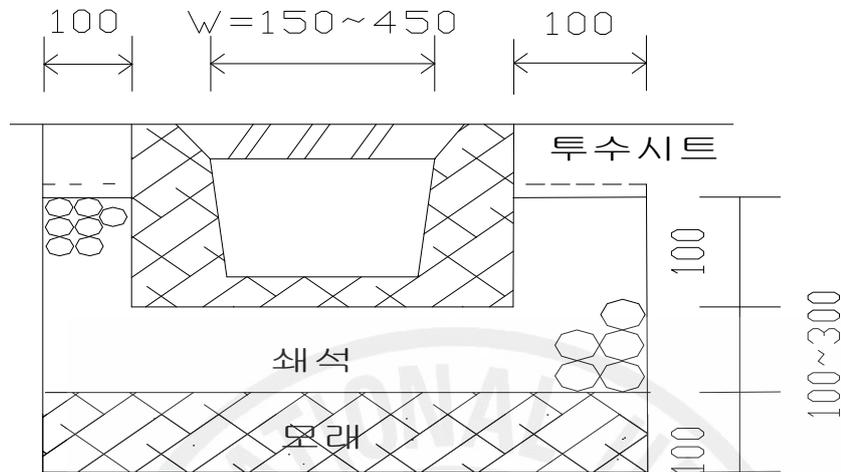


Fig 2.3 An example of Infiltration gutter

일반적인 침투측구의 시공은 다음과 같은 방법으로 시행한다.

- 바닥에 모래 100mm, 쇠석 100~300mm 두께로 쇠석을 시공한다.
- 측구는 다공성으로 하고 폭은 침투량, 저류량을 고려해서 150mm~450mm로 한다.
- 측구에 낙차가 있거나, 말 단부 접속 침투구 앞에 월류웨어를 설치한다.
- 상부에 뚜껑을 설치한다.
- 지붕에서부터 우수배수를 대상으로 유입부에 침전 부를 설치하여 부유물 질로 인한 막힘을 고려한다.

• 투수성 포장

우수가 포장 면에 도달하자마자 포장재의 공극을 통해 직접 지표면 아래로 침투될 수 있는 투수성이 큰 포장재를 말한다. 우수를 투수성의 포장재나 콘크리트 포장 등을 통해 땅속으로 침투시키는 기능을 가진다. 포장재의 저류에 따른 유출억제 기능을 기대하는 경우도 많다. 막힘 등에 따른 기능저하가 현저하기 때문에 적절한 유지관리가 필요하다.

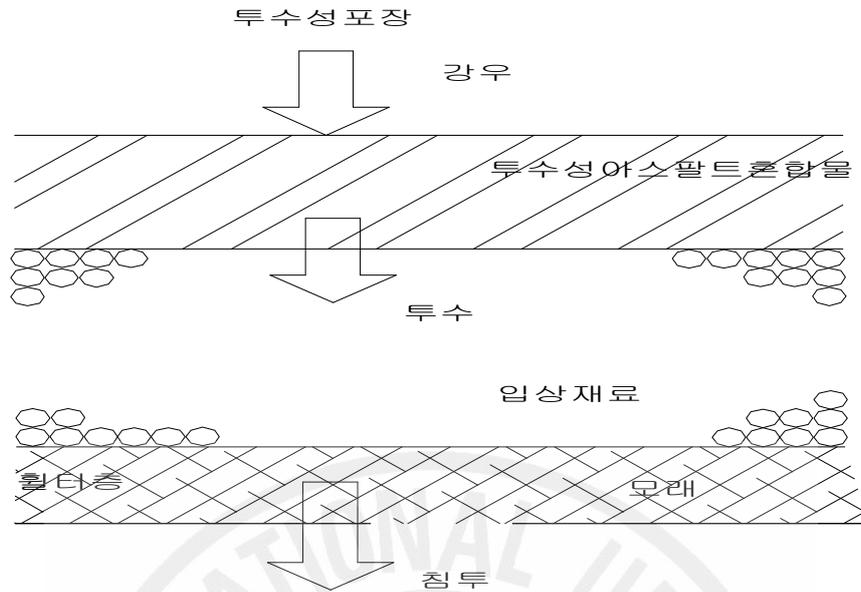


Fig 2.4 An example of Infiltration pavement

- 침투통

침투통은 통의 저면에 모래, 쇠석을 충전하여 채운 구조를 말한다. 집수한 통 하부저면에서 불 포화대 혹은 포화대를 통해서 분산 침투시키는 시설이다. 상부구조는 택지 형, U 형 및 도로암거 형 등이 있으며 상부는 뚜껑 및 덮개를 설치한다.

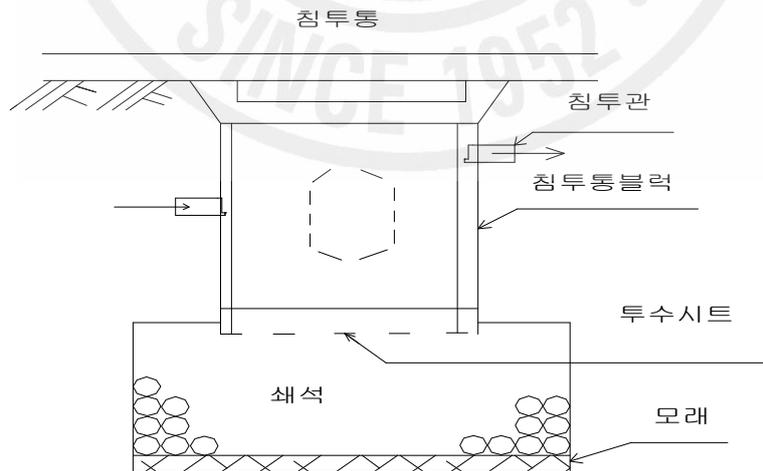


Fig 2.5 An example of infiltration bucket

- 침투지

저류시설의 저면으로부터 저류수를 땅속에 침투시키는 것으로 저류에 따른 홍수 조정 기능과 침투에 따른 유출억제 기능의 두 가지 기능을 갖춘 시설이다. 막힘 등에 따른 기능저하가 현저하기 때문에, 적절한 유지관리가 필요하다.

b. 우물법

우물법에 의한 시설에는 건식우물법과 습식우물법이 있는데, 우물 내에 지하수가 있는 경우를 습식우물법, 지하수가 없는 경우를 건식우물법이라고 한다. 우물에 우수주입은 펌프를 사용한 압입방식과 중력에 의해 자연 주입시키는 방식이 있는데 압입방식의 경우는 주입배수량이 대량이거나 강우시만 간헐적으로 사용되는 단점이 있으므로 주로 자연주입 방식이 사용되고 있다. 우물법은 지하수위가 낮은 장소에 적합한 방법으로 주입수에 포함된 부유물질에 의해 우물내부의 막힘에 대한 문제점을 가지고 있다. 따라서 어떤 우물이라도 비가 그친 후 1주일에서 1개월 사이에 한번은 우물을 건조시켜 막힘의 문제가 되는 퇴적물을 제거하여야 한다.

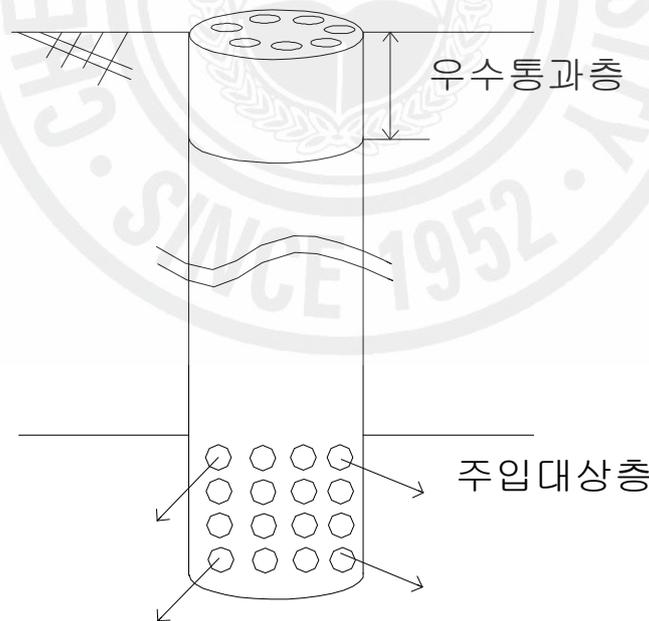


Fig 2.6 An example of Infiltration well method

Table 2.4 Advantage and disadvantage of Infiltration well method

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> 투수성이 크다. 하수도 본관이 없는 지역에 있어서도 시공이 가능하다. 	<ul style="list-style-type: none"> 토지제공자가 필요하다. 토지제공자가 형편에 따라 철거하는 경우가 발생한다. 모래층이 깊은 경우에는 시공이 곤란하다. 막힘이 발생한다.

<출처: 우수유출 저감시설 설치기법연구(2), 행자부 국립방재연구소>

c. 저류, 침투법

쇄석공극저류는 쇄석 등의 공극을 우수의 저류공간으로 이용하는 저류와 침투의 두 기능을 동시에 가지는 방법이다.

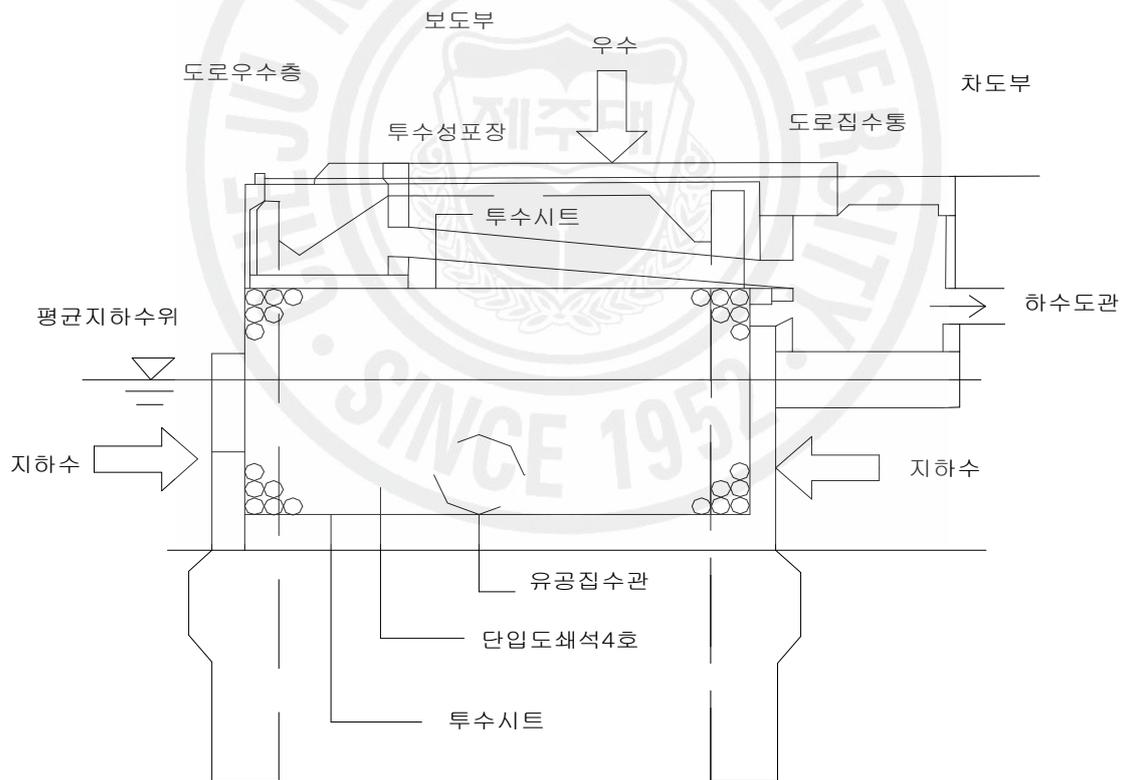


Fig 2.7 An example of Storage-infiltration facilities with broken stones

쇄석공극저류는 지중이 쇄석구(트렌치), 쇄석 조를 설치하여 쇄석간의 공극에 우수를 유입시키고 그 상부는 녹지나 운동장으로 이용하는 것이다. 이와 같은 쇄석공극저류에 필요한 경비는 다른 저류시설, 침투시설과 비교해서 일반적으로 저렴하며 시설 계획규모의 융통성이 크다. 그러나 쇄석공극저류의 문제점은 아래와 같은 것들이 지적되고 있다.

■공극부에 토사 등이 개입되는 것과 같이 시간경과에 따른 저류기능의 저하된다. 따라서 시공 시 토사 개입을 방지하는 것으로 저류조 상면에 투수층을 연장하여 상부의 유입토사 등을 차단하는 방법, 유입부의 스크린을 설치하는 방법 등의 대책이 필요하다. 그러나 쇄석의 공극부분이 막히는 것을 완전히 방지할 수는 없다. 따라서 저류조에 대한 안전율은 사용하는 장소와 기간에 따라 적절히 설정하는 것이 필요하다.

■저류조를 구성하는 쇄석들이 시간이 경과함에 따라 침하된다. 또한 이러한 침하량은 사용하는 쇄석의 성질과 그 시공법에 따라서 침하량이 다르다. 따라서 저류시설 상부의 토지이용에 따라 재료 시공법 등을 고려하는 것이 필요하다. 일반적으로 도로의 노반재료로 사용하여 입도를 조정한 쇄석(M재, C재)은 견고한 정도에 따라서 공극률의 변동 폭이 크다는 것을 설계, 시공 시 주의하여야 한다.

이상에서 살펴본 확수법과 쇄석공극저류 역시 우물법에서 언급한 바와 같이 막힘 등에 의한 기능저하라는 문제점을 가지고 있다. 침투시설에서 막힘의 제일 큰 원인은 용해성 유기물이 침투층에 존재하여 침투능을 저하시킨다. 이는 원인물질인 유기물이 공기와 물의 공존 장소인 침투면에서는 토양에서 쉽게 분해되므로 한 달 주기로 침투와 건조를 반복한다면 해결될 수 있고, 부유물질(SS : suspended solid)에 의한 막힘에 대한 문제로 우수가 지표면상을 흐를 때에는 유하과정에서 퇴적되어 있는 토사를 운반해 오기 때문에 막힘의 요인이 되고 있다. 따라서 침투시설에서는 지붕에서 모아진 우수를 토사 등에 접촉시키지 말고 그대로 지하 침투통으로 침투시키므로 투수성 포장의 막힘 문제를 우선적으로 해결할 수 있다. 침투측구, 침투구의 경우는 구면 저부와 사석부에 침투되는 토사를 방지하기 위해 뚜껑으로 막는 방법이 있다. 침투포장의 경우는 고압세정을 하여 토사 등의 막힘을 제거하여 침투량을 회복할 수 있다.

2.국외의 침투시설 설치기준

1) 일본

가. 관련 제도 및 법규

일본의 치수대책으로서 토지이용규제는 침수위험 구역에 주민을 살지 않게 하거나, 개발을 제한 또는 위험구역에서 이전을 촉진하는 방안을 활용하고 있다. 물(우수, 지하수, 하천수)에 관련된 법규는 아래의 표와 같으며 특히 개발행위에 대한 구체적인 제도로써 규정한 것을 살펴보면 도시계획법에 의한 개발행위 등의 규제, 건축기준에 의한 재해위험 구역의 지정, 택지개발지도 지침 등이 있다. 이중 도시계획법에 관련된 사항을 살펴보면 다음과 같다.

Table 2.5 The related laws to be examined before the implementation

관 련 법 규	관 련 사 항	우수	지하수	하천수
도시계획법에 의한 개발행위규제	개발행위의 허가(제29조)	○	○	○
건축물에서의 위생적 환경확보에 관한 법률	건축물 환경위생 관리 기준(제4조, 시행령2조)	○	○	
수도법	상수보급수의 요금징수	○		
하수도법	하천도로 방류하는 경우의 요금징수	○	○	
하천법	하천의 사용 및 하천에 관한 규제			○
매수 재이용의 배관설비 취급기준(후생성 : 1981년 4월)		○		
수세변소 용수의 잠정수질기준 등의 설정에 대한 기준 (후생성 : 1981년 4월)		○		
잡용수 이용에 관한 지도지침 (동경도: 1984년 1월)	배수재이용의 지도		○	
택지개발요강 등	우수유출억제의 요청	○		

<출처: 우수유출 저감시설 설치기법연구(2), 행자부 국립방재연구소>

a. 도시계획법에 의한 개발행위의 규제

개발행위의 규제에 관한 조항은 도시계획법 제29조(개발행위의 허가) 및 도시계

획법 33조(개발허가의 기본), 도시계획법 시행령 제26조 등이다. 도시계획법 제29구 조는 개발행위의 제한에 대한 예외 조항을 많이 두고 있다. 그러나 동법 제29조1항 의 시행령의 정한 규모는 1,000㎡로 하였다. 즉 개발의 규모가 1,000㎡이상일 경우 는 시도지사의 허가를 받아야 한다. 또한 무질서한 도시화를 방지하기 위해 필요하 다고 인정할 경우에는 시도지사가 조례에서 구역의 제한을 300㎡~1,000㎡로 정할 수 있도록 하였다.

일본의 개발행위 허가관련 법규내용중 도시계획법과 동법 시행령을 살펴보면 다 음과 같다.

○ 도시계획법 제29조(개발행위의 허가) : 시가화 구역 또는 시가화 조정구역 내에 있어 개발행위를 하려고 하는 자는 미리 건설성 령에서 정해진 대로 시도지사의 허 가를 받아야 한다.

○ 도시계획법 제33조(개발허가의 기본) 제1항 제3호 : 시도지사는 개발허가의 신 청이 있는 경우 해당신청에 관한 개발의 행위가 각호에 규정된 기본에 적합한 가 살펴보고 또한 그 신청의 수속에 이 법률 또는 이 법류에 의한 명령의 규정에 위반 하고 있을 때는 개발허가를 하지 않아야 한다. 배수로와 기타의 배수시설은 다음의 사항을 감안하여 개발구역내의 하수도법 제2조 제1항에 규정된 하수를 유효하게 배 출시킴과 동시에 그 배출에 의해 개발구역 및 그 주변지역에 홍수 등에 의한 피해 가 발생하지 않는 구조 및 능력을 적당하게 배치시키도록 설계하여야 한다. 이 경 우에 해당배수시설에 관한 도시계획이 결정되어 있는 경우에는 설계를 계획에 맞게 실시하여야 한다.

○ 도시계획법 시행령 제26조 제2호 : 개발구역내의 배수시설은 방류 전 배수능력, 이수상황 및 기타 상황을 감안하여 개발구역내의 하수를 유효하고 적절하게 배출시 키도록 하수도 및 배수로, 기타의 배수시설 또는 하천, 기타의 공공수역, 해역에 접 속시켜야 한다. 이 경우에 유역 전에 불가피하게 배수를 실시할 경우에는 개발구역 내에 일시 우수를 저류하는 조정지와 기타시설을 설치해야 한다.

b. 방재조정지

각 자치단체에 따라 조례의 명칭은 다르지만 방재조정지를 계획하는 경우의 세 부사항은 각 자치단체의 조례에 규정되어 있다.

㉠ 조정지의 위치와 관리

개발에 따른 잠정조정지의 위치는 일부 지방자치단체에서 「공공시설 또는 그에 준하는 시설에 설치된 것」으로 市町村에서 관리하고 있는 것을 제외하고 조정지는 잠정시설로서 어떤 한정된 위치를 가져야 한다.

㉡ 조정지의 목적

방재조절지의 설치목적은 재해로부터 안전하고 양호한 생활환경을 정비하고, 구역의 무분별한 개발을 방지하는데 있다. 현재 일본 3대 도시권(동경권, 오오사카권, 나고야권)에서 약 7할의 시군구가 지침을 마련 적용되고 있다. 또한 조정지의 다목적 이용을 위해 공원의 약 20%가 이용되고 있는 실정이다.

㉢ 조정지의 기술기준

조정지의 설치지도에서 계획제원의 설정에 관한 기술기준을 보면 각 자치단체별로 차이는 있으나 대략 확률규모가 확률 1/50~1/30사이인 것으로 나타나고 있다.

㉣ 건축기준에 의한 재해 위험구역의 지정

본 법에는 홍수 등에 의한 위험이 있는 구역을 지정하여 주거용으로 제공하는 건축물의 건축 금지를 규정하고 있다. “위험한 곳에 거주하지 않는다.”는 것은 사람들에게 부정적인 이미지가 강하기 때문에 홍수에 관해서 지정된 것은 매우 적다(동법 제39조). 또 많은 사례에는 1종, 2종으로 나누어서 설정하고 있으며, 어떤 높이 이상(높은 언덕 또는 성토에 있음)이면 거주 가능하다고 규정되어 있는 예도 있다.

㉤ 침수실적도 발표

일본 전국의 중소하천에서 대략 300개의 하천의 침수실적이 발표되고 있다. 주민의 진출입이 빈번한 지역의 경우 새로 이사 온 주민이 확인하여야 할 주요 사항 중의 하나가 침수정보이다. 따라서 침수실적도를 발표함에 따라 수시 주민을 효과적으로 대처할 수 있다. 그러나 침수실적도는 지형의 변화 또는 하수도의 부설 등의 여러 환경조건의 변화에 따라 가변적이므로 반드시 현실에 적합하도록 작성되어야 한다. 이것을 보완하기 위해 침수예상도의 작성이 시도되었다. 1986년 6월 일본 방송공사(NHK)에 의해 新河岸川(신가시가와)의 침수예상도가 발표되었으며, 그 후 많은 하천 유역에 대해서 침수예상도가 작성되어 활용되고 있다.

㉥ 택지개발지도의 지침

인구의 급격한 도시집중에 따라 도시교외의 무질서한 개발이 진행되었다. 따라

서 열악한 도시환경의 개발을 피하고, 시군구가 택지개발지도 지침을 작성해서 대응한 것이 30년대 후반이었다. 공원을 보면 공원면적 6%의 면적이 포함되지만 치수에서도 개발에 따른 유출 증가분을 방재조정지에서 담당하거나 하류하천의 개수사업을 실시하여 이에 대응하는 경우가 많다. 방재조정지는 부분적인 공사로 문제를 해결하기 때문에 많이 채택되고 있다. 이에 관한 시설기술기준도 작성되었다(방재조절지 등 기술기준(안), 일본하천협회, 1987년). 지침은 조례가 아니기 때문에 구속력은 없으나 지침을 만족시키지 않으면 개발허가가 쉽게 나오지 않으므로 현실적으로는 유효하게 작용하고 있다. 처음에는 20 ha 이상 되는 대규모 개발에만 1 ha 이상 개발 시에는 대부분 적용되고 있다. 그 중에서도 소규모 개발대책으로서 0.5 ha 이하인 경우의 예도 있다.

㉞ 시설의 내수화

시설의 내수화 방법은 앞서 설명한 건축기준법의 재해위험구역이 지정된 경우에는 마루 상부를 하한의 규정으로 설정하며, 구체적으로는 성토에 의해 높게 하는 것이 일반적이다. 많은 소하천 상류부의 개발에 따라 하천의 하류주변에서 발생될 수 있는 침수피해를 성토에 의해 저감시킬 수 있다.

㉟ 저장 빗물의 이용계획

저장된 빗물을 이용하는데 관련된 재정제도는 아래의 표와 같이 정리할 수 있다. 우수이용에 직접 관련되는 것은 우수유출 및 홍수유출의 억제시설에 관련해서 우수이용 시설을 설치함으로써 재정적 부담을 경감하는 것이다.

c. 우수유출 억제시설 설치촉진을 위한 관련제도

일본에서는 도시화에 따른 종합치수대책을 수립할 경우 하천외의 공공시설에 일정규모이상의 저류 및 침투시설 사업 시 소요예산 중 일정규모를 국고지원으로 하여 이를 권장하고 있다. 또한 물의 재이용 차원에서 관련시설물을 설치할 경우 역시 소요예산중 일정률을 국고에서 지원하고 있다. 그리고 민간이나 개인의 우수저류시설이나 침투시설을 건설할 경우 장기·저리로 자금을 융자해주며 세제제도에서도 소득세, 법인세 등에 特別償却制度를 적용해서 이런 시설물의 건설을 권장·유도하고 있다.

나. 침투시설 설치 기준

일본의 우수유출 억제시설에 관련한 자료는 표 2.6과 같다.

Table 2.6 The technical guide table related to infiltration facilities in Japan

명칭	책 정 연 월	책 정 기 관	적 용 내 용
防災調節池等 技術基準(案)	1974년 3월 1979년 12월 개정 1987년 3월 재개정	주택·도시정비공단 지역신흥정비공단 사단법인 일본하천협회	하천유역의 도시화에 따른 유출량 증대를 억제하여 하류하천에서의 홍수부담을 경감하기 위해 설치하는 홍수조절지의 계획, 설계, 시공 및 다목적 이용 등에 대한 일반적인 기본사항들을 적시하고 있음
流域貯留施設等 基準指針(案)	1993년 증보	건설성 하천국 도시하천실 감수 사단법인 일본하천협회	유역저류침투사업으로, 교정, 공원, 광장 등의 저류 및 침투기능을 가지는 시설에 적용됨
下水道 雨水調整池 技術基準(案)	1984년 10월	하수도 신기술 추진기구	유역의 보수 및 우수기능의 유지를 도모하기 위해 설치하는 하수도 우수침투시설의 설계, 시공관리에 관계된 기술사항을 설명함
道路土工排水工 指針	1990년 개정	일본도로협회	침투성 포장 및 지하침투통을 포함한 도로 배수공의 설계, 시공, 유지관리에 관계된 기술사항을 설명함
浸透型 流出抑制施設의 現地浸透能力調 査Manual試案	1984년 8월	건설성 토목연구소	현지침투능력 시험법 및 설계침투량의 설정방법에 대해 기본적인 사항을 설명함

<출처:「雨水浸透施設技術指針」, 일본 우수저류침투기술협회,1995>

2) 미국

가. 관련 제도 및 법규

하천지역, 연안지역 및 홍수터 지역의 토지소유자가 개발 사업을 시행하고자 할 때 미국의 수자원평의회(Water Resources Council)는 토지소유자에게 개발행위로 인한 홍수재해의 위험 가능성을 최소화하는 방안을 강구토록 하는 규제를 요구할 수 있도록 하였는데, 이것이 1971년 평의회가 제정한 “Regulation of Flood Areas to Reduce Flood Losses”이다.

a. 규제의 시행절차

- 토지 소유자가 토지를 개발 또는 매각하기 위해 토지를 세분하려고 할 때 세분

될 토지가 홍수터 구역에 포함되면 사전에 해당 지방의 토지관리국에 신고한다.

- 소유자는 토지관리국과 사업계획을 비공식적으로 검토한 후, 규정된 자료를 포함하여 예비구획분할도를 제출한다.
- 토지관리국은 세분화 개량공사계획의 적부를 검토하고, 세분화 목적에 적합한지를 평가한다.
- 만약 구역지정조례, 또는 홍수로, 홍수의 주변 및 해안의 위험지역에 대한 홍수 위험지도가 포함되어 있지 않을 경우 토지관리국은 토지 소유자에게 추가적인 측량 정보를 제시하도록 요구할 수 있다.
- 토지관리국은 전문가의 기술지원을 얻어 제시된 정보를 분석하여, 홍수지역에 포함되는지 여부를 판단하고, 이에 따라 해당지역의 세분계획이 그 지역 홍수 위험에 대하여 안전한 가 여부를 조례기준에 따라 판정한다.
- 토지관리국은 예비구획분할도에 대해 공청회를 개최하여 상기 계획의 영향을 받게 될 토지 소유자들이 의견을 개진할 수 있도록 한다.
- 공청회 후 토지관리국은 토지분활계획의 승인 여부를 결정하며, 필요에 따라서는 개발에 따른 재해위험을 최소화하는 조건을 첨부할 수도 있다.
- 토지관리국은 위와 같은 조건에 따라 토지 소유자에게 개발행위를 하도록 승인해 주며, 만약의 경우 이를 위반할 가능성에 대비하여 이행공탁금을 제시할 수 있으며, 개발행위가 당초의 계획과 승인조건에 위반될 시에는 공탁금을 압류할 수 있는 권한을 가진다.

b. 토지의 개발 허가 시 고려해야 할 사항

토지를 세분화하여 개발하고자 하는 행위자 및 세분화계획을 검토, 승인하는 기관은 다음과 같은 사항들을 주의하여 사업을 계획하거나 검토하여야 한다.

- 토지세분화 및 성토, 도로 및 사용목적에 의한 홍수위 상승과 유속의 증가에 따른 인명과 재산피해 위험
- 홍수 시 그 사용목적물이 다른 토지 또는 하류로 떠내려가 수해를 유발시킬 위험성
- 급수 및 위생시설의 충분한 정도의 홍수시의 질병, 오염 및 비위생 상태를 방지할 능력
- 신청된 시설 및 그 내용물의 홍수피해에 대한 취약성과 그 피해가 개인에게 미

치는 영향

- 신청된 시설이 지역사회에 제공하는 서비스의 정도 및 중요성
- 물에 인접한 지역의 세분화 조건
- 신청된 세분화 계획과 토지사용을 대체할 수 홍수위험이 없는 대체지 유무
- 신청 구조물과 현재 또는 장래에 예상되는 해당지역 개발사업과의 적합성
- 신청된 토지세분화 계획과 해당지역 종합개발계획 및 홍수터 관리계획과의 관계
- 홍수 시 긴급차량이 계획구조물에 접근하는데 있어서의 안정성
- 예상되는 홍수위, 유속, 지속기간, 수위상승률 및 홍수에 의한 퇴적물의 운반
- 홍수 중 또는 홍수 후에 오수, 가스, 전기, 수도시설, 교량과 같은 공공시설의 정비와 수리에 소요되는 비용

c. 이행보조금 제도

조례에서 규정된 개량공사가 적절한 방법으로 완공되기까지는 최종구획분할도는 심의기관의 승인을 받을 수 없다. 즉 개발행위로 인한 영향을 완전하게 방지시킬 수 있는 구조물이나 계획이 완성된 이후에야 최종구획분할도는 승인될 수 있다. 그러나 세분계획자가 다음과 같은 사항을 이행할 것을 조건으로 개량공사의 완성 전에 최종승인을 할 수도 있다.

- 심의기간에 의해 승인된 계획도 및 사양서를 첨부하여, 예정에 따라 공사를 이행할 것을 보증하는 계약을 지방행정기관과 체결한다.
- 위에서 규정한 계약의 체결과 동시에 승인된 계획, 사양 및 예정에 따라 개량공사를 이행할 것을 보증하기 위해 세분계획자는 일정 금액을 공탁해야 한다. 금액은 개량공사의 비용에 상당하는 금액이다.
- 공탁금은 계약된 개량공사가 제대로 이행되지 않았을 경우 행정기간이 세분계획자에 대해 보완조치를 하도록 개량공사 완료 후 수개월간 유보한다.
- 계약서에는 결점 부를 보완하는데 필요한 금액만큼을 행정기관이 공탁금에서 사용할 수 있으며, 공탁금의 잔액은 개량공사가 개발에 의한 영향을 완전하게 제거하였다고 판단되며 세분계획자에게 환불한다.

나. 침투시설 설치 기준

- a. 콘크리트 격자의 modular 포장 (SW BMP 3.01 : FDM 설계코드)

때(잔디), 자갈, 모래 같은 투수성 재료를 채우고 빈 공간을 채우고 일정한 간격으로 배열하며, 강도가 강한 구조적 재료로 구성된 포장을 말한다.

- 목적

- ① 차량 통행에 적절한 강도를 가지고, 지표수를 침투시키며 오염물을 감소시킨다.
- ② 유출량과 침투유출률을 감소시켜 하수관 범람, 하류 부 침식, 유사오염 등을 줄인다.
- ③ 오염물의 부하와 집중을 감소시킨다.

- 적용 대상지역 조건

- ① 교통량이 적은 지역에서 포장이 요구되고 빠른 배수가 필요한 곳에 사용한다.
- ② 오염물이 침투해서 지하수를 오염시켜서는 안 된다.
- ③ 사용 가능 지역으로는 주차장, 에어프린, 유도로, 활주로 노면, 긴급 주정차선, 교차로, 자전거 도로, 보도, 안뜰, 수영장, 주거지역내 차도, 거주용 및 상업용 사유 차도 등이 있다.

- 포장형태

① Poured-in-place concrete slab : 현지에서 대량 생산되며, 슬래브가 강철로 보강되었기 때문에 큰 하중을 받는 경우에 적합하고 결빙에 강하다.

② Pre-Cast Concrete Grids

- Lattice Paver : 일반적으로 평평하며 격자형 모양이다.
- Castllated Paver : 돌출부를 가진 복잡한 표면으로 잔디비율이 높다.
- Modular Unit Paver : 점토 벽돌, 화강암, 콘크리트 등으로 만들어지며 공극 없는 단위체 사이의 틈에 투수성 재료로 피복한다.

현지특성에 맞게 포장형태를 결정해야 하는데, 토양투수성, 재구성, 경사, 깊이, 이동방향, 지하수 피압 여부, 지표면 배수조건 등의 환경적 요인과 일시적인 포장 혹은 영구적 포장 여부, 수문학적 자료 등을 고려하여 결정해야 한다.

- 설계기준

- ① 3년 빈도 1시간 지속기간 강우의 적어도 80%를 침투시킬 수 있어야 한다.

- ② 배수유역에 대해 0.5 in 유출 고에 해당하는 유출량을 저류하도록 설계된다면 80%~90%의 오염물을 처리하도록 고려되어야 한다.
- ③ 저류된 우수는 다른 현지 저류시스템에서 특정화한 제한 시간(72시간) 이내에 침투시켜야 한다.
- ④ 식생회복과 결합된 포장은 지표면에 피해를 주지 않도록 제한 시간(대부분 잔디에 대해 24~36시간 저류) 내에 저류된 우수를 처리해야 한다.

- 유지관리

- ① 잔디가 이러한 설비와 결합되어 사용된 곳에서는 급수, 비료주기, 잔디 깎기 등의 관리가 필요하다.
- ② 비료, 살충제, 기타 화학약품 등의 사용은 가능한 한 제한되어야 한다.

- b. 다공성 아스팔트 포장 (SW BMP 3.06 : FDM 설계코드)

포장 면으로 운반되는 유출을 빨리 침투시키고 일시적인 저류를 할 수 있도록 다공성 아스팔트 포장 재료와 공극이 큰 골재를 사용한다. 다공성 아스팔트 포장은 침투유량을 감소시켜 하수관 범람을 막고, 하류부 수로의 침식과 유사오염을 감소시키며, 침투와 저하의 박테리아 활동에 의해 수질을 개선할 수 있다. 적절한 투수성을 가지고 안정화된 토양인 곳과 강도문제를 고려해 주차장과 같이 교통량이 적은 곳에 사용한다.

- 시공 시 문제점

- ① 노반(subgrade)이 젖어 있을 경우 즉, 노반(路盤)이 포화된 상태에서 설계하중을 지지할 수 없다면 적용할 수 있다.
- ② 우수로 인해 아스팔트 표층이 벗겨질 수 있으나 골재가 적절히 건조 상태를 유지하고 아스팔트가 적절히 혼합되어 있으며 문제가 되지 않을 수 있다.
- ③ 경사진 곳에서 급격한 지표면 배수는 포장 면 아래 부분에 수압이 걸리게 할 수 있다. 집수 관을 사용하여 지표 하 유출을 모아 포장 면 밖으로 배출함으로써 이러한 문제점을 완화시킬 수 있다.
- ④ 기름이나 미립자 등으로 인해 공극이 막혀 침투능이 감소될 수 있다. 정기적으로 진공청소를 통해 이러한 문제점을 막을 수 있다.

⑤ 아스팔트 기름이나 자동차로부터 누출된 가솔린 등으로 인해 지하수를 오염시킬 수 있다. 오염물을 함유한 우수는 식생이나 토양을 거쳐 걸러질 수 있고 유자 물질과 생물학적으로 분해 가능한 오염물은 토양재 박테리아에 의해 분해되어야 한다.

• 예상되는 장점

- ① 다공성 포장 재료를 사용함으로써 지표면 유출을 감소시켜 우수관리 시설물의 크기나 수량을 줄일 수 있어 비용부담을 절약할 수 있다.
- ② 표면이 젖어 있을 때 마찰증대로 인한 차량의 미끄러짐을 방지할 수 있어 안정성을 개선할 수 있다.
- ③ 수질개선 투수성 지반이고 지하수위가 충분히 아래에 있다면 침투능이 증대되고 이로 인해 오염부하를 감소시킬 수 있다.
- ④ 자연 상태의 수분을 보유할 수 있어 식생을 보존할 수 있다.
- ⑤ 재래식 포장에 비해 소음 감소효과가 있고 색상주입이 가능해 미적효과를 증대시킬 수 있다.

• 일반적인 설계기준

- ① 우수수질 규제를 만족시키는 저류량(retention storage)

미국의 플로리다 주에서는 주차장, 도로, 기타 유출에 기여하는 지역으로부터 처리되지 않은 초기유출고의 0.5in 만큼의 유량 또는 3년 빈도 1시간 지속시간 설계강우로 발생하는 유출량의 80%를 저류하고 침투시킬 저류지를 확보해야 한다. 전자를 기준으로 저류량을 산정하면 요구되는 저류용량(V_r)은 다음 식에 의해 구해진다.

$$V_r = \frac{1}{2} \text{ inch} * A * 43,560 \text{ sq. ft. /ac} * 1 \text{ ft} / 12 \text{ in} = 1815 A$$

여기서, A는 시설물 면적에 기타 유출에 기여하는 면적의 합이다.

- ② 가능한 저류량 산정

실제 이용 가능한 저류용량은 아래 식과 같이 포장 내 가능 저류량과 지표 하 토양 내 공극의 합으로 구할 수 있다.

가능 저류용량 V_s 는

$$V_s = A * d_1 * p_1/100 + A * d_2 * p_2/100$$

여기서, V_s 는 포장과 지표 하 토양재 가능 저류량(ft^3), A 는 포장면적(ft^2), d_1 과 d_2 는 각각 포장 및 지표 하 토층 두께(ft)이며, p_1 과 p_2 는 포장 및 지표 하 토층 공극률이다.

③ 저류용량 처리시간

강우가 있을 후 72시간 내에 저류용량을 회복 즉, 저류된 우수가 완전 침투되어야 한다. 침투유량은 Darcy의 법칙과 연속방정식을 이용한 다음 식으로부터 회복유량 Q 를 구할 수 있다.

$$Q = k i A$$

여기서, Q 는 처리유량(침투유량), k 는 토양의 투수계수(in/hr), i 는 동수경사(보통 1로 가정), A 는 포장면적이다.

저류용량 V_r 은 위 식에서 구한 Q 로 나누어 처리시간(침투시간) T_d 를 구한다. $T_d = V_r/Q$ 이며, $T_d/3,600 \leq 72$ 이면 설계는 허용된다.

• 현지 조사 사항

- ① 지질조사용 보링 : 토양의 특성 및 투수성을 결정하기 위해 보링작업을 실시해야 한다. 포장면으로부터 유출을 운반하는 능력을 다공성 포장 시스템의 처리효과에 결정적인 역할을 한다. 토양의 투수성이 좋지 않을 경우에는 다른 우수처리 방법을 모색해야한다.
- ② 침투시험 : Double ring infitrometer test가 일반적으로 사용되는데 굴착이 완료 되었을 때 그 토양을 사용해 토양의 침투능을 결정할 수 있어야 한다.

• 설계 시 고려사항

- ① 지표 하 토층이 포화되어 강도가 떨어져 도로 하중지지능력이 감소할 수 있으므로 이상적인 토층은 하중에 견딜만한 강도가 있고 배수가 잘 되며 지하수위가 지표면으로부터 모세관현상이 발생하지 않도록 훨씬 아래에 존재해야 한다. 이

런 조건을 만족하는 토양은 모래질 또는 모래-점토질 토양이며 SCS에서 정한 기준으로 Type A, B형 토양이 적합하다.

- ② 시험결과 토층의 불투성성이 매우 낮아 처리시간 내에 배수를 할 수 없을 경우, 트렌치나 지하 암거설치 등의 부가적인 우수시스템이 필요하다.
- ③ 특히 투수성 콘크리트를 사용할 때 상대적으로 부드러운 골재는 상당량의 수분을 흡수하여 결과적으로 바람직한 물-시멘트 비를 얻기 어려우므로 사용할 때 주의를 요한다. 다공성 포장 재료로 선정된 골재는 수화물이 되어서는 안 되고 적절한 강도와 내구성이 있어야 하며, 인산 또는 칼슘 성분을 포함해서는 안 된다.

c. 침투 트렌치(SW BMP 3.03 : FDM 설계코드)

우수유출을 유공관으로부터 굵은 골재로 채워진 트렌치내로 역침투시키고, 트렌치 벽과 바닥을 통해 우수유출을 침투시키는 지표 하 저류시설물이다. 수질개선을 위해 우수유출의 초기유출수(First Flush)를 처리하며, 현지로부터 침투유량을 감소시켜 하류부의 홍수 및 수로침식을 감소시킨다. 우수유출이 집수지역에 도달하기 전에 오염물을 여과하고 또한 지하수 함량을 개선시키는 목적이 있다.

• 적용 대상지 조건

- ① 지표 하 토양의 침투율을 보장하기 위해 충분히 투수성이 커야하고 지하수에 오염물이 침투되지 않도록 지하수위가 시설물의 설계 깊이보다 충분히 낮아야 한다.
- ② 공간이 제한되고 다른 설비를 건설하는데 부지 값이 비싼 경우 사용된다.
- ③ 지붕배수, 주차장, 테니스장으로부터의 유출 처리 시 많은 경우에 같이 사용된다.
- ④ 우수유출이 고농도의 부유물질을 포함한 경우 적합하지 않다.
- ⑤ 기름, 유지성분의 제거 장치가 이 시스템으로 배수되기 전에 설치되어야 한다.

• 설계 시 고려사항

- ① 현지특성
 - 지하로 침투되는 정도는 토양의 물리적 특성, 지하수위, 기반암 깊이 등에 좌우

된다.

- 일반적으로 지하수위가 높거나 석회암 등이 지표면으로부터 몇 ft 내에 있는 경우 침투시스템을 사용해서는 안 된다.

- 공간이 협소하고 땅값이 비싸며 개발로 인해 오염된 지표수의 수질처리를 위해 사용된다.

② 전체 침투시설물 유출제어시스템 중 한부분과 통합되어 사용될 수 있다. 넓은 지역이나 대부분지역이 불투수성 지역인 경우에 침투장치는 유출과 오염부하의 일부분을 처리할 수 있다.

③ 시설물의 기하학적 성질이 다양하나, 넓고 얇은 트렌치는 깊고 가는 트렌치 보다 투수율이 높다. 일반적으로 바다에 대한 측면 비는 4:1을 넘어서는 안 된다.

④ 기름, 부유, 유기물질, 침강입자 등은 저류용량 감소 및 침투율을 감소시키기 때문에 침투시설물 이전에 기름 및 유사제거장치, 저지수로 등의 유출여과장치를 거쳐 제거되어야 한다.

• 설계기준

① 저류용량

침투시설의 크기는 그 목적에 따라 결정된다. 오염제거가 주목적일 때에는 저류용량이 클수록 처리효과가 크다. 배수유역에 대해 0.5in 또는 1in 경우에 해당하는 유출량만큼을 저류하면 연 80% 제거효과가 있는 것으로 알려져 있다. 이를 기준으로 다음과 같이 필요저류용량(volume of storage required) V_{SR} 을 구한다.

$$V_{SR} = \frac{1}{2} \text{ in} * A(\text{acres}) * \frac{43,360 \text{ ft}^2}{\text{ac}} * \frac{1 \text{ ft}}{12 \text{ in}} = 1815 A$$

여기서, A는 배수면적이다.

② 공극(void space)

- 사용가능 저류용량을 산정하기 위해서 설계자는 골재의 공극 비를 알아야 한다. 일반적으로 골재의 크기는 1.5in 직경이 적절하다. 둥근 돌이 모난 돌에 비해 공극비가 더 크다.

- 플로리다 주에서 사용가능용량은 40~50% 공극을 기초로 다음에서 계산한다.

$$\text{공극체적 } V_{SA} \text{ (ft}^3\text{)} = 0.5(\text{공극비}) * W * H * L$$

여기서, W는 트렌치 폭, H는 트렌치 깊이 또는 최고 지하수위 상부부분, L은 트렌치 길이이다.

- V_{SA} 는 V_{SR} 이상이어야 하므로 다음과 같은 관계식을 얻는다.

$$0.5WHL = 1815 \text{ A로부터 트렌치 길이}$$

여기서, $L = \frac{3630A}{WH}$ 이다.

③ 트렌치 내 관(distribution pipe)이 있는 경우 이용가능 저류용량은 아래 식으로부터 구할 수 있다.

$$V_{SA} = \text{관 체적} + [(\text{트렌치체적} - \text{관 체적}) * \text{공극비}]$$

④ 수위강하 시간 해석

오염물 제어량을 충족시키기 위해 설계된 침투시설물은 요구되는 처리용량(0.5 in 유출)을 72시간 내에 침투시켜야 하는데, 이것은 Darcy 방정식으로부터 검정한다. 이로부터 계산된 침투유량을 저류용량으로 나누어 수위강하 시간(침투시간)을 결정한다. 만일 이 시간이 허용 제한시간인 72시간을 넘으면 저류용량과 수위강하 시간이 모두 만족될 때까지 다시 설계한다. 보통 안전계수로 2를 사용하며 따라서 결과치의 2배를 취한다.

• 설계 시 고려사항

① 토양분석

적절한 침투능을 가진 지표화 토층을 보장하도록 설계 계획 시 토양분석을 한다. 트렌치에서는 0.6 이상의 침투율을 보장해야 한다. 토양이 주로 미세입자로 구성되어 있으면 공극이 막힐 우려가 있다.

② 지형 정보

유출량 해석 시 표고변화, 토양피복에 대한 충분한 정보를 수집해야 한다. 경사진 지역에 공사할 경우 과포화, 지표 파이핑 현상, 성토재료 때문에 하류 부 경사 지점에 심각한 문제를 야기시킬 수 있다.

- 공사 설계기준

- ① 암반 내 트렌치

암반은 콘크리트 슬래브 같이 지표층에 가해지는 하중을 지지할 수 있어야 하고, 발파작업 없이 굴착해야 한다. 가장 바람직한 방법은 유입 구를 설치하고 트렌치 가까이에 수사지(catch basin)를 설치하고 관을 통해 트렌치로 유량이 운반되게 하여 유출 수에 포함된 여러 물질을 줄일 수 있어 효과적이다.

- ② 안정화된 토층 내 트렌치

유공관이 보통 사용되는데 관과 트렌치 벽 사이에 굵은 골재는 측벽이 붕괴되는 것을 막고 집수된 우수를 트렌치 벽으로 분산시키는 역할을 한다. 관의 유무에 관계없이 트렌치는 보통 4~5 ft의 폭과 투수층 토양까지 충분한 깊이로 설계한다. 굵은 골재 또는 다른 채움 재료는 트렌치 바닥에 성토되고 일반적으로 최소 2ft의 관 흐름 경사를 준다. 그 다음으로 유공관을 놓고 설계 저류고까지 골재로 트렌치를 채운다.

- ③ 점착력이 없는 토양 내 트렌치

안정화된 토양 내 트렌치 설계와 동일하게 시공되지만 측면경사는 공사 중 지주 같은 버팀 시설이 없는 경우 1.5 : 1 또는 2 : 1의 측면경사가 요구된다. 트렌치 주변에 여과 재료(filter cloth)가 사용되어 미세입자의 유입을 막아야 한다.

- ④ 일반적인 권장사항

중장비가 토층을 다질 우려가 있으므로 트렌치 공사 장소는 통제해야 하며, 우회단(driversion berms)을 트렌치 주위에 설치하여 유사 및 침식을 제어해야 한다. 또한 트렌치는 백호나 trencher로 굴착해야 하며, 일반적인 고무 타이어를 가진 장비, 불도저, front-end loaders 등의 장비는 토층을 다지게 되므로 피해야 한다.

- 유지관리

- ① 정기적 점검, 제초작업, 유사처리, 초목제거 등 일상적인 유지관리가 필요하다.

- ② 막힘으로 인한 복구공사비는 초기 공사비의 약 20% 정도 예산이 소요된다.

- ③ 트렌치 표면 내 막힘 현상은 식물 여과 층과 상부토층 사이에서 일어나며, 상층을 제거하고 막힌 식물 여과층(filter fabric)을 제거하여 새로운 여과 층을 설치 한다.

- ④ 트렌치 지하부의 막힘은 직물 여과 층(filter fabric)과 트렌치 바닥 사이에서 일어나는데, 복구공사 시에는 표층, 식생층, 골재, 여과층 등이 제거되고 다시 침투성 토양으로 채워줘야 하므로 작업이 어렵고 비용이 많이 든다.

3. 우수유출저감시설의 기대 효과

1) 홍수피해 경감

우수유출 저감시설의 설치로 지류에서의 침투유출이 지체되어 합류부에서의 중첩효과를 완화시키며, 침투유출의 침투를 유도함으로써 유출량이 줄어들게 된다. 우수유출 저감시설을 설치한 후의 유출특성은 침투홍수량 측면에서 설치전과 비교하여 볼 때 발생시각이 지체되고 그 양이 감소하게 된다. 따라서 우수유출 저감시설을 설치함으로써 홍수 시 도시유역에서의 피해경감을 기대할 수 있으며, 나아가 상습 침수지역에 대한 대책으로 활용할 수 있다.

2) 지하수의 함양과 수자원의 확보

우수유출 저감시설을 설치함으로써 지표면의 우수를 지하로 침투시킬 수 있기 때문에 지하수의 함양이 높아지게 된다. 따라서 우기 혹은 홍수기에 유출로 유실되던 수자원을 개발가능한 지하수 자원으로의 변화를 유도함으로써, 수자원 확보에 일익을 담당할 수 있게 된다. 또한 우기에 저류된 우수를 이용하여 하류 부 하천에 수량을 계속적으로 공급할 수 있으며, 침투된 지하수가 하천에 수량을 공급함으로써 평상시뿐만 아니라 갈수기에도 하천유량을 충분히 확보할 수 있게 한다. 이를 통하여 도시하천의 건천화를 예방할 수 있다.

3) 하천, 지하수와 토양의 오염저감 및 갈수기 오염저감

홍수기에 유출수의 빠른 유속에 의하여 지표에 있던 오염물, 부유물과 유사 등이 함께 쓸려 내려가게 된다. 이러한 유출수를 일시 저류시키면 유속이 감소하게 되어, 유사는 퇴적되고 오염물과 부유물질을 유출 수에서 분리할 수 있는 상태가 된다. 따라서 하천으로 유입되는 유출수의 오염부하가 낮아져 결과적으로는 하천의

오염을 줄일 수 있게 된다. 한편, 지하수로 침투 및 침투되는 지표수의 함양이 높아짐으로써 지하수의 오염농도가 낮아지게 되어 개발가능한 지하수량의 증대를 도모할 수 있다. 이렇게 증대된 지하수량은 부가적으로 오염된 토양의 희석과 세정에도 기여하게 된다. 또한, 앞에서 언급한 바와 같이 갈수기의 유출량이 확보됨으로써 유출량 부족으로 하천의 오염부하가 문제가 되는 갈수기의 오염방지도 유리하다.

4) 생태계의 복원

우기에 지하수량을 확보함으로써 지중에서 서식하는 생명체에게 필요한 물을 공급하게 되어 토양 생태계의 복원을 도모할 수 있다. 또한 갈수 시에도 우기에 확보된 지하수를 이용함으로써 지하수 부족으로 인한 식생의 고갈을 방지할 수 있다. 동시에 지하수는 하천으로 유입되므로 하천 수중 생태계의 복원에도 기여하게 된다.

5) 도시민의 정서함양

하천 유량이 확보되고 저류지 등 수변공간을 확보함으로써 도시민의 휴식과 레크리에이션의 공간으로의 활용도가 높아지게 된다. 또한 수중생태계와 수변생태계가 복원됨으로써 도시민의 자연 친화와 정서함양에 도움을 줄 수 있다.

6) 지반침하의 방지

설계 시 침투시설 및 저류시설을 설치하여 이를 통한 우수배수량을 확보함으로써 지하수위의 저하로 인한 지반침하를 미연에 방지할 수 있다.

7) 바닷물의 역 침투에 의한 염수화 방지

바다에 인접한 구역의 경우 지하수가 고갈되면 인접한 바다로부터의 해수유입이 진행되며, 이에 따라 지하수의 염소화 현상이 발생한다. 우수유출 저감시설을 설치함으로써 일정량의 지하수위가 확보되며 따라서 바닷물의 역 침투에 의한 염수화를 방지할 수 있다.

8) 용지, 부지내의 수 처리 시설 설치 비용절감

우수유출 저감시설을 설치함으로써 구역이 침수되는 것을 사전에 방지할 수 있

으며 저류시설을 이용하여 사용가능한 물을 확보함으로써 용지, 부지 내에 별도의 수 처리 시설을 만들지 않고도 수 공급을 원활하게 할 수 있다. 또한, 각 가정의 저류시설에 저장된 우수를 중수도로 활용하여 화장실, 정원 또는 허드렛물을 사용하게 되면 이로 인한 경제적 이득도 도모할 수 있다.



Ⅲ. 투수시험

1. 투수시험의 종류 및 방법

(1) 실내투수시험

a) 정수위투수시험(constant-head test)

① 시험법의 개요

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

② 시험장치의 설치 및 측정방법

정수위투수시험의 대표적인 시험장치는 그림3.1과 같다. 이 시험장치에서는 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.

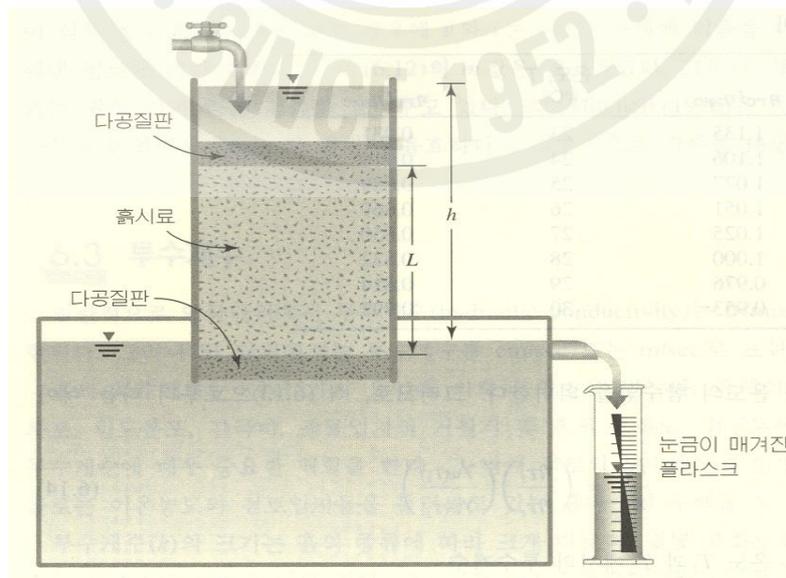


Fig 3.1 constant-head test

이와 같이 집수 측정된 총유량은 다음과 같다.

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

여기서,

- Q : 집수된 물의 양
- A : 흡시료의 단면적
- t : 집수시간

그리고, 동수구배 I는

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

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

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

또는

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

b) 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

변수위투수시험의 대표적인 시험장치는 그림3.2와 같다. 물은 스탠드파이프를 통하여 흡속으로 흐른다. t=0 일 때 초기수두차 h1을 기록하고, 물이 흡시료를 통하여 흐르게 한 뒤 t=t2일 때의 최종수두차 h2를 기록한다.

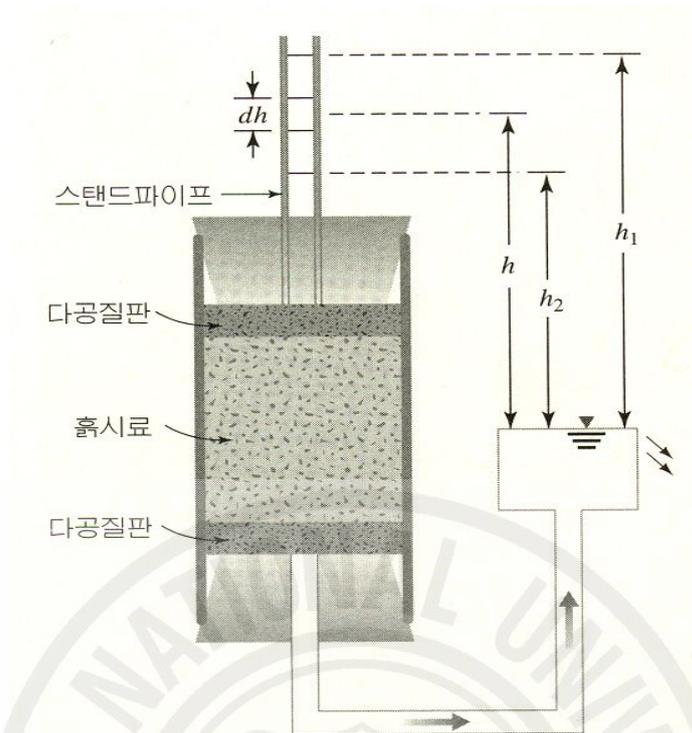


Fig 3.2 falling-head test

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 : 흙시료의 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 h1에서 h2까지의 수두차에 대해 적분하면 다음과 같다.

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

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

(2) 현장투수시험

a) 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 값을 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 간극수 압은 0이고, I, II 단계에서 정상상태에 도달되며, 시험 중 체적변화는 없는 것으로 한다.

③ 시험장치의 설치 및 측정방법

그림 3.3과 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 Hvorslev(1949)의 공식으로 I 단계의 투수계수(K₁)를 계산한다. 시간의 변화에 따른 K₁의 값을 체크하고 흐름이 정상상태에 도달하면 I 단계의 시험이 완료된다.

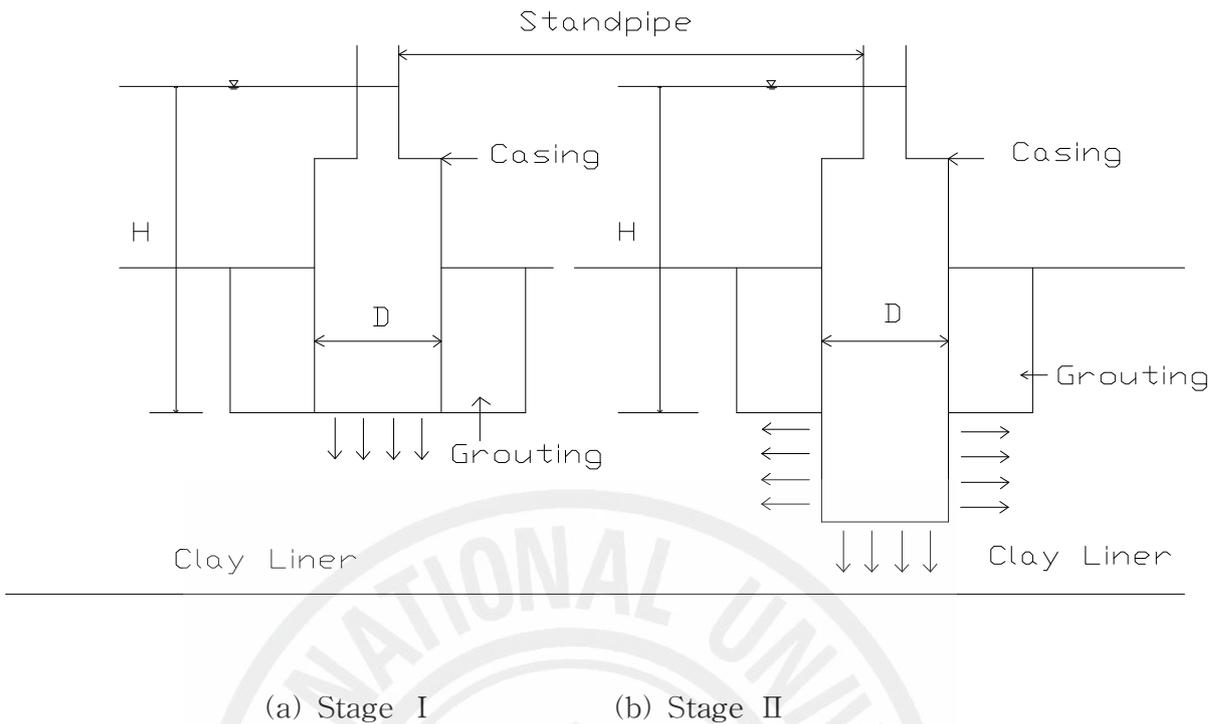


Fig 3.3 Schematic Diagram of two-stage in situ Hydraulic Conductivity Test with Boutwell Permeameter for Case in which Potentiometric Level is below Base of Permeameter

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 오거나 턴 월 샘플러(Thin wall sampler)로 깊게 파고, 오염된 흙을 쇠 솔로 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 3.4로부터 K_h , K_v 를 구하는데 사용된다.

K_h : 수평 투수계수(cm/s)

K_v : 수직 투수계수(cm/s)

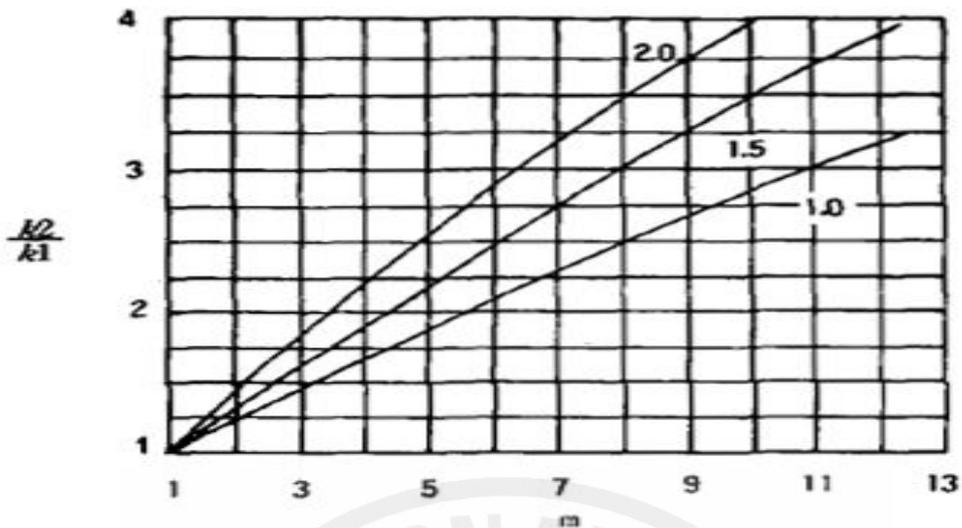


Fig 3.4 Curve of k_2/k_1 versus m Required to Satisfy for $L/D=1.0, 1.5,$ and 2.0

b) 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(Mariphte 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 3.5과 같이 지반에 지경 $2r$ 의 보링공을 굴착한 후 보링공에 직경 $20\sim 30\text{mm}$ 의 구멍 뚫린 케이싱을 타입하고 그 주위를 입상토로 채운 후 벤토나이트 그라우팅으로 봉합하여 설치한다.

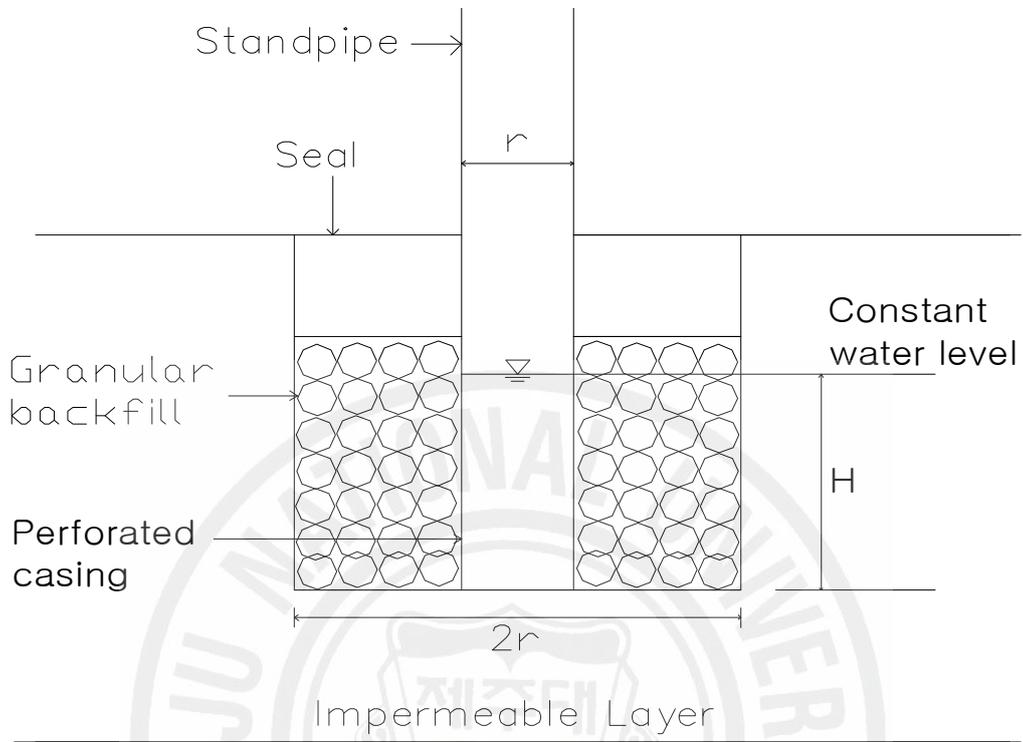


Fig 3.5 Borehole Test with Constant Water Level

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)

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

α : 흙의 모세관 성질을 측정하는 흡수수(Sorptive number)라는 변수로서 세립토에 대한 대표적인 값은 $0.002\text{cm}^{-1} \sim 0.01\text{cm}^{-1}$ 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 상관분석으로 계산된 k 값과 비교한다.

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

여기서, 무차원 계수 $C_u = \alpha_v(\text{cm}^{-1}), H(\text{cm}), r(\text{cm})$ 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 3.6으로 결정한다.

πH : 보링공에서의 유체의 정상상태 깊이(m)

α^* : 식 (18)의 α 와 같으며, Elrick은 현장에서 다져진 점토에 대하여 약 0.001cm^{-1} 을 제시하였다.

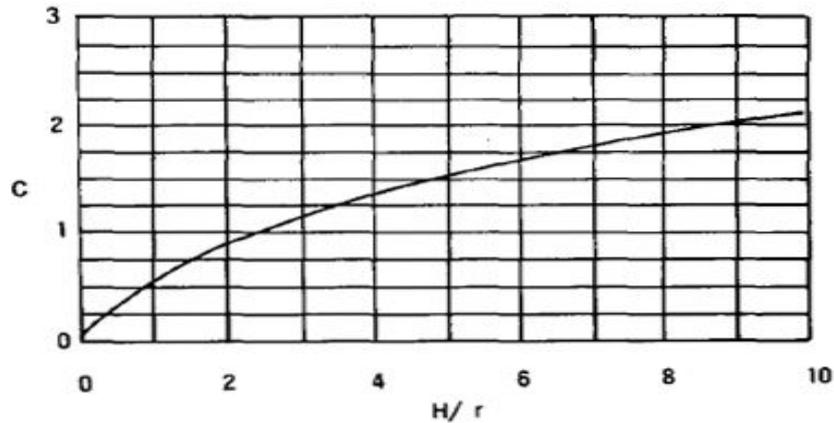


Fig 3.6 Factor C versus H/r(Reynolds and Elick 1987;
Soil-moisture Equipment Corp. 1987)

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 2.11에서 H/r에 따른 I 단계와 II 단계에서의 C값

c) 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 씬(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 흙속에서 K_h 와 K_v 사이의 어디에서 한 값을 측정한다.

③ 시험장치의 설치 및 측정방법

그림 3.7과 같이 직경 30mm, 높이 40mm의 원추형의 다공성 탐침을 보링공의 바닥 밑 흙속으로 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 압력 변화를 감지하고 유량과 수두는 보일(Boyle)법칙과 용기 내에 있는 가스압력의 변화에 의하여 계산된다.

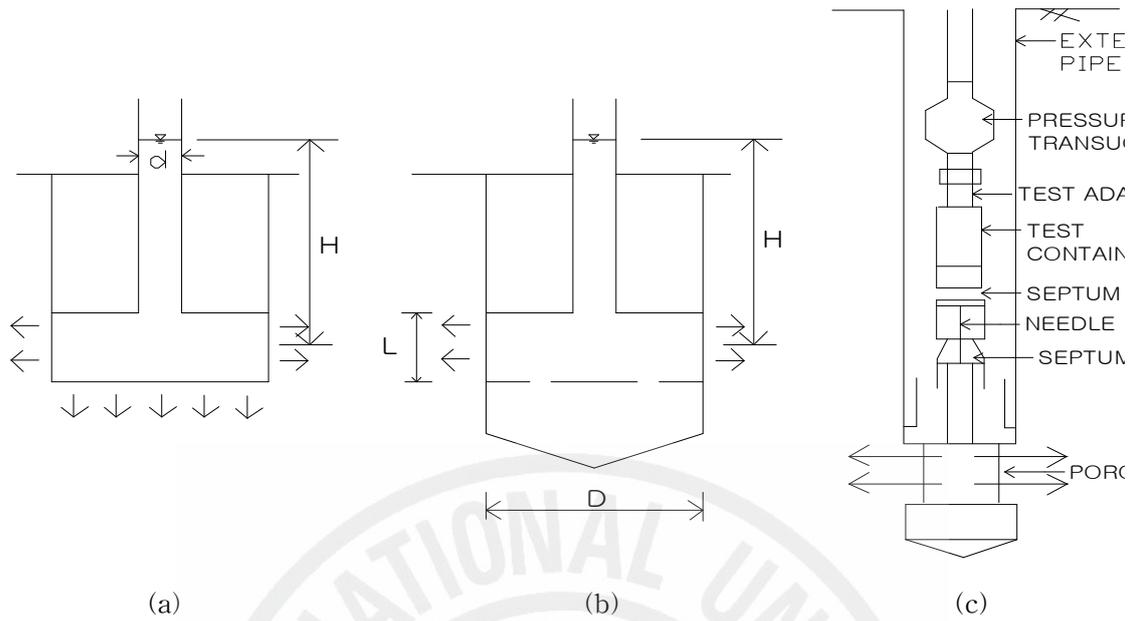


Fig 3.7 Hydraulic Conductivity from Porous Probe Tests

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)

P0 : 시험 용기 내에서 초기 가스 압력(cm), 물의 높이로 표시됨.

V0 : 시험 용기내의 초기 가스의 체적(cm^3)

Pt : 시간 t1과 t2 사이에 측정한 평균 압력(cm), 물의 높이로 표시됨.

P3 : 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)

d) 각 현장투수시험 방법의 특징

표 3.1은 각각의 현장투수시험 방법의 장점과 단점을 나타내고 있다.

Table 3.1 Advantage and Disadvantage of test methods

	부트웰 투수계 (Boutwell Permeameter)	정수두 보링공 투수계 또는 켈프 투수계	원추형 다공성 탐침 또는 BAT 투수계
장 점	<ul style="list-style-type: none"> • 설치와 비용이 저렴 • 설치깊이와 경사지반에서도 측정이 가능 • 수직, 수평방향의 투수계수 측정 가능 • 1E-07cm/s 이하의 낮은 투수계수의 흙에서도 측정이 가능 • 실험실과 현장 측정치의 결과가 서로 잘 맞는다. 	<ul style="list-style-type: none"> • 설치와 비용이 저렴하며 설치깊이가 깊다. • 시험시간이 짧다(수 시간~수일). • 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-08cm/s 이하인 흙에서 측정되는 투수계수가 기본적으로 수평적인 값이다. • 설치비가 다소 비싸나 많은 시험을 비교적 신속하게 실시할 수 있어 시험단가를 낮출 수 있다.
단 점	<ul style="list-style-type: none"> • 시험된 흙의 양이 적고, 불포화토에는 부적합. • 흡인력의 효과를 설명할 수 없다. • 1E-07cm/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-07cm/s의 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.

2. 침투량 산정

(1) 단위 설계침투량

침투시설의 단위 설계침투량은 시설의 형상과 설계수두를 변수로 하는 간편식을 이용해 기준 침투량을 구하고 여기서 구한 값에 영향계수를 곱해서 산정한다.

$$Q = C * Q_f$$

여기서,

Q : 침투시설의 단위 설계침투량

Q_f : 침투시설의 기준침투량

C : 영향계수

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

(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.

$$Q_f = \frac{Q_t}{K_t} \times K_f \\ = k_0 \times K_f$$

여기서,

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

Q_t : 시험시설의 총기침투량(m³/hr)

K_f : 설치시설의 비침투량(m²)

K_t : 시험시설의 비침투량(m²)

k₀ : 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_t를 산정한다.

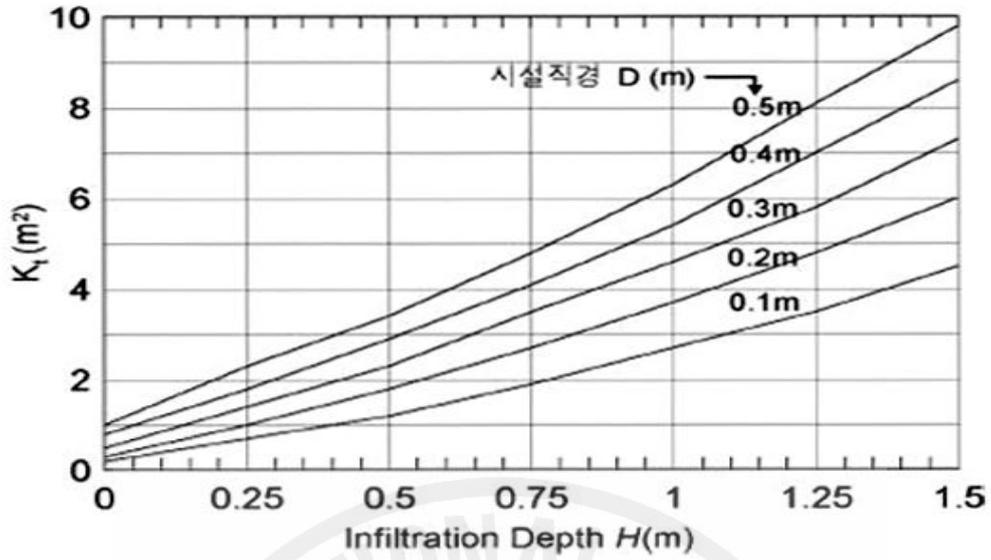


Fig 3.8 K_t -Infiltration depth relation curve in the Bore-hole method

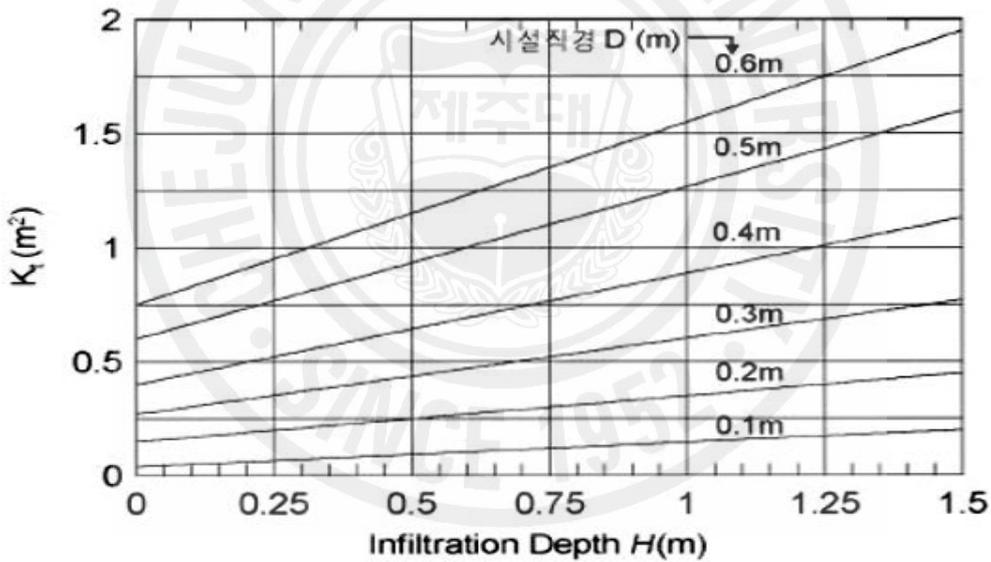


Fig 3.9 K_t -Infiltration depth relation curve in the base infiltration method

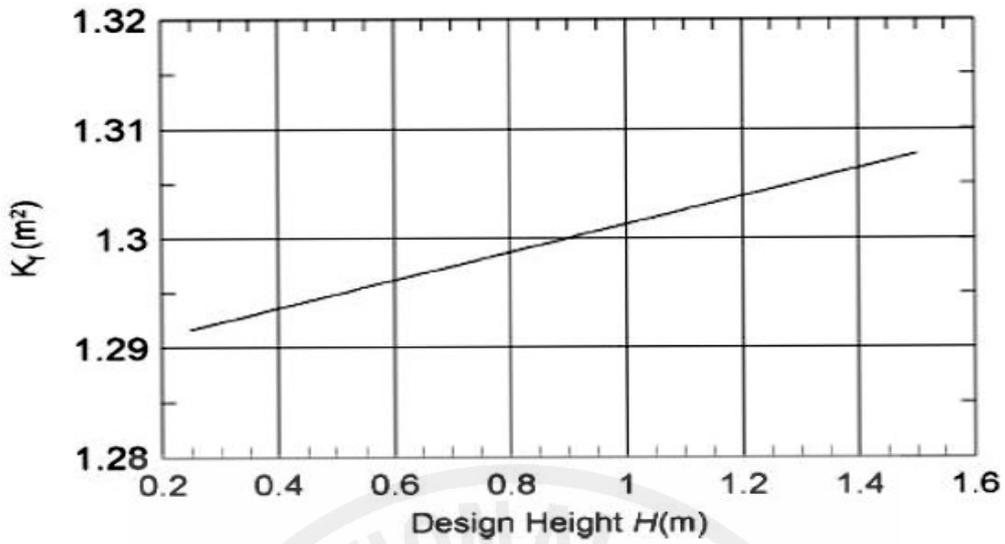


Fig 3.10 Design shape factor-Design Height- K_t relation curve
(a) Infiltration pavement

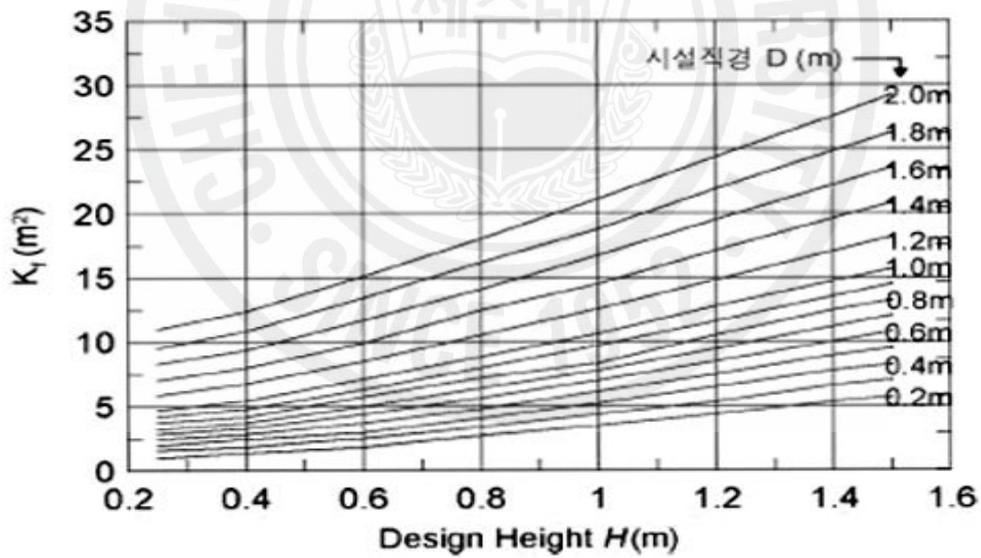


Fig 3.11 Design shape factor-Design Height- K_t relation curve
(b) Circular infiltration collector well
(The side and base infiltration)

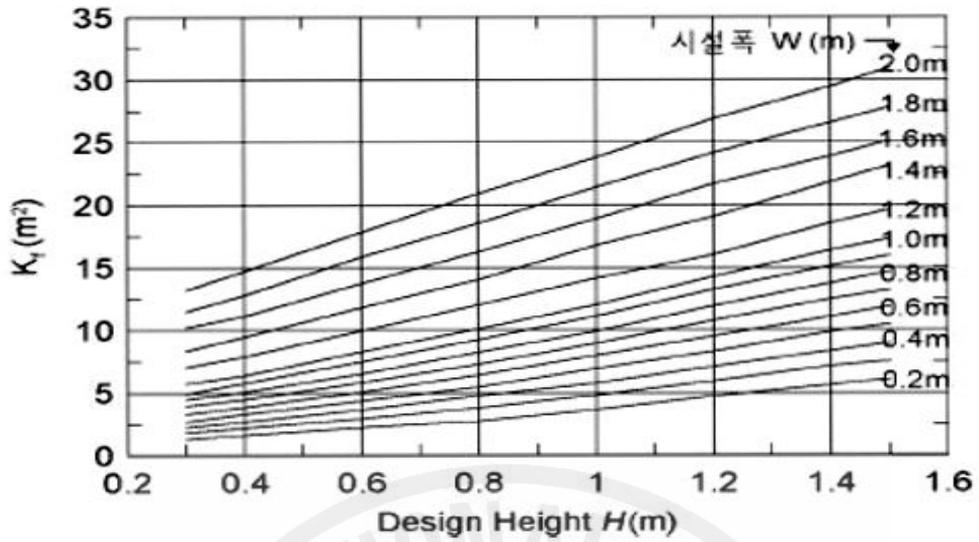


Fig 3.12 Design shape factor-Design Height- K_t relation curve,
 (c) Square infiltration collector well
 (The side and base infiltration)

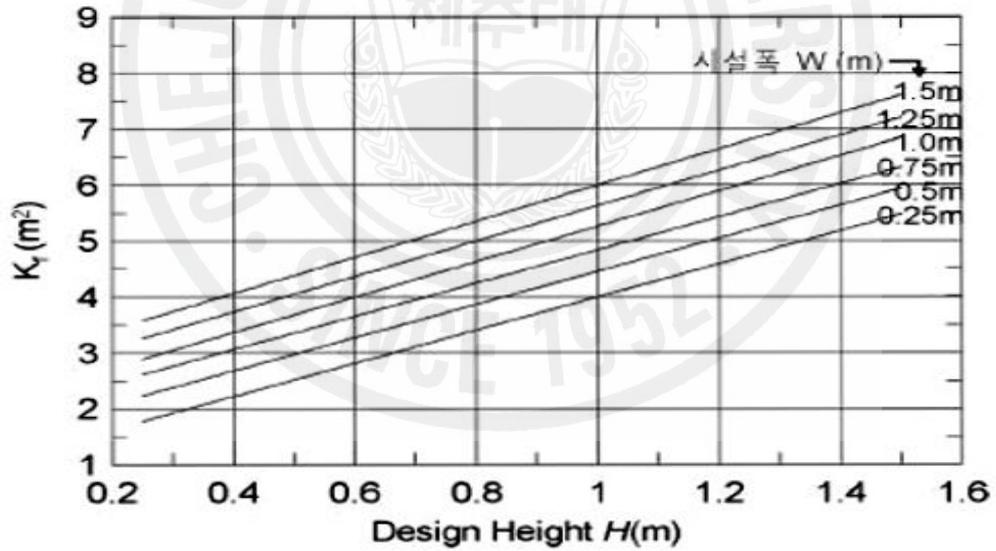


Fig 3.13 Design shape factor-Design Height- K_t relation curve,
 (d) Connection between infiltration collector well and
 Trench(The side and base infiltration)

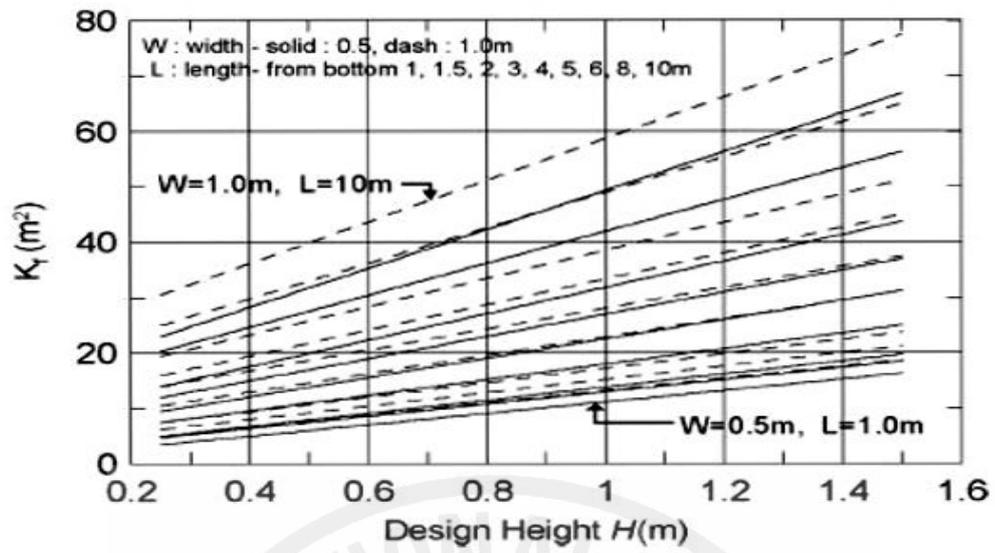


Fig 3.14 Design shape factor-Design Height- K_t relation curve,
 (e) Rectangle infiltration collector well and Trench
 (The side and base infiltration)

Table 3.2 Kt, Kf equation of the square infiltration facilities(the side and the base)

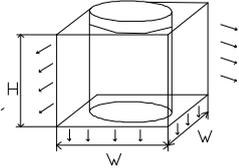
시 설	정방향 침투집수정			
침투면	측면 및 저면			
모식도				
산 정 식 의	설계 수두	약 1.5m		
적 용 범 위	시 설 규 모	폭 ≤ 1m	1m ≤ 폭 ≤ 10m	10m ≤ 폭 ≤ 80m
기 본 식	$K = aH^2 + bH + c$ H:설계수두(m) W:시설폭(m)		$K = aH + b$ H:설계수두(m) W:시설폭(m)	
계 수	a	0.12W + 0.985	$-0.453W^2 + 8.289W + 0.723$	$0.747W + 21.355$
	b	7.837W + 0.82	$1.458W^2 + 1.27W + 0.362$	$1.263W^2 + 4.295W - 7.649$
	c	2.8582 - 0.283		
비 고	쇄석공극저류 침투시설에 적용가능		쇄석공극저류 침투시설에 적용가능	

Table 3.3 Kt, Kf equation of the square infiltration facilities(the base)

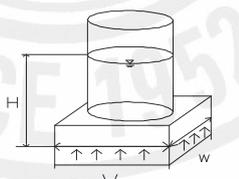
시 설	정방향 침투집수정			
침투면	저면			
모식도				
산 정 식 의	설계 수두	약 1.5m		
적 용 범 위	시 설 규 모	폭 ≤ 1m	1m ≤ 폭 ≤ 10m	10m ≤ 폭 ≤ 80m
기 본 식	$K = aH + b$ H:설계수두(m) W:시설폭(m)			
계 수	a	1.676W - 0.137	$-0.204W^2 + 3.166W - 1.93$	1.265W - 15.670
	b	$1.496W^2 + 0.671W - 0.015$	$1.345W^2 + 0.736W + 0.251$	$1.259W^2 + 2.336W - 8.13$

Table 3.4 Kt, Kf equation of the circular infiltration facilities(the side and the base)

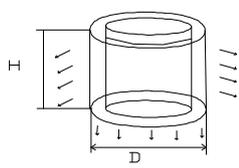
시 설	원통 침투집수정	
침투면	측면 및 저면	
모식도		
산 정 식 의 설 계 수 두	약 1.5m	
적 용 범 위	시 설 규 모	$0.2m \leq \text{직경} \leq 1m$
		$1m \leq \text{직경} \leq 10m$
기 본 식	$K = aH^2 + bH + c$ H:설계수두(m) W:시설직경(m)	$K = aH + b$ H:설계수두(m) W:시설직경(m)
계 수	a	0.475D+0.945
	b	6.07D+1.01
	c	2.570D-0.188
비 고		

Table 3.5 Kt, Kf equation of the circular infiltration facilities(the base)

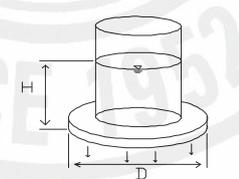
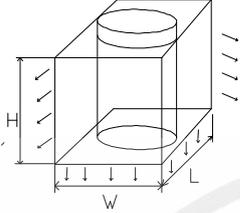
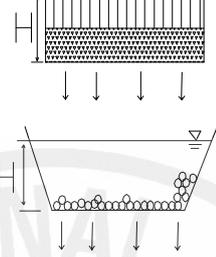
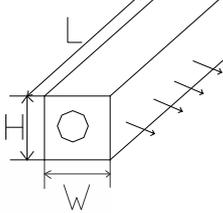
시 설	원통 침투집수정	
침투면	저면	
모식도		
산 정 식 의 설 계 수 두	약 1.5m	
적 용 범 위	시 설 규 모	$0.3m \leq \text{직경} \leq 1m$
		$1m \leq \text{직경} \leq \text{약}10m$
기 본 식	$K = aH + b$ H:설계수두(m) W:시설직경(m)	
계 수	a	1.497D-0.100
	b	$1.13D^2 + 0.638D - 0.011$
		$2.556D - 2.052$
		$0.924D^2 + 0.993D - 0.087$

Table 3.6 Kt, Kf 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	$K = aH + b$ L: 시설연장(m) W: 시설폭(m)	$K = aH + b$ H: 설계수두(m)	$K = aH + b$ H: 설계수두(m) W: 시설폭(m)	
계수	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 침투시설에 적용가능	비침투량: 단위면적당 값 저면적이 넓은 쇄석공극저류 침투시설에 적용가능	비침투량: 단위길이당 값	

IV. 현장 시험

침투시설의 침투효과를 분석하기 위해 아래 그림과 같이 4 지점에 대해서 현장투수시험 및 침투시험을 실시하였다.

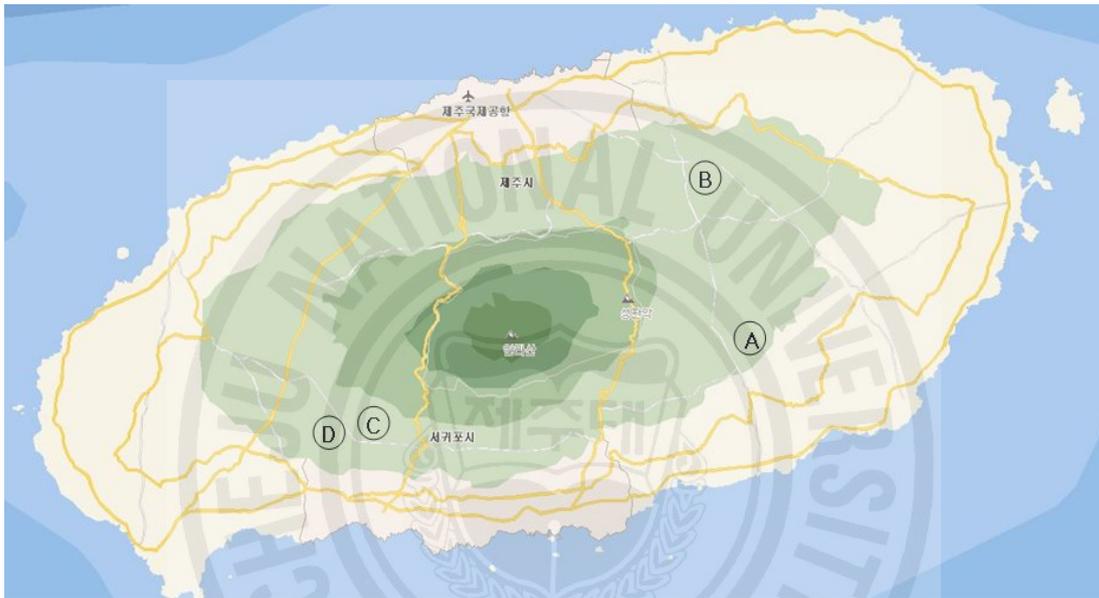
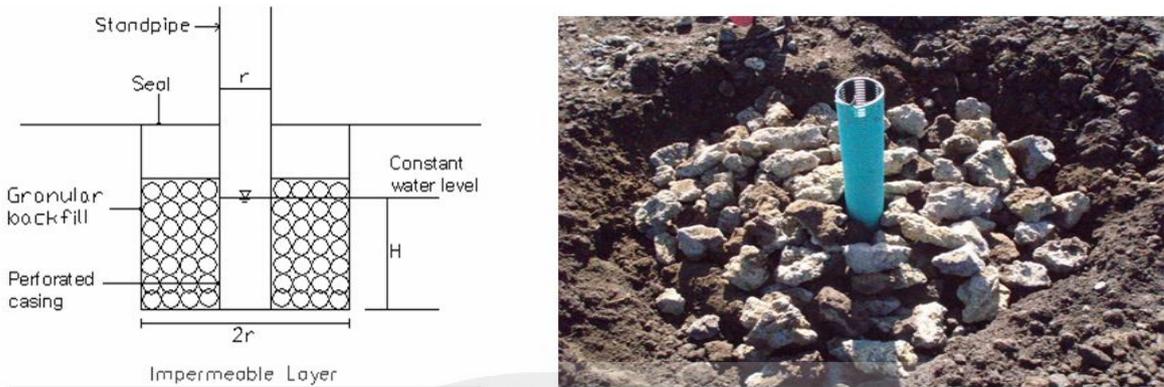


Fig 4.1 The location to carry out experiment on infiltration test

1. 현장투수시험

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. 이 때 B 지점의 경우 실제 침투시설이 설치된 저면에서 투수시험을 실시하였으며, A, C, D 지점의 경우 현장침투시험을 실시할 때 시설의 직경과 수위가 일정하게 유지할 때의 수위, 그리고 그 때의 유량을 체크한 후 정수두 보링공 투수법의 공식에 적용하여 투수계

수를 계산하였다.



(a) (b)
Fig 4.2 The figure of Constant Head Borehole Permeameter

그림 4.2에서 (a)는 정수두 보링공 투수법의 시험장치의 단면도이며, (b)는 실제 설치된 시험 장치이다.

2. 인위적 저류를 통한 현장침투시험

침투시설의 침투효과를 분석하기 위해 인위적 저류를 통하여 침투시험을 실시하였으며, 표 4.1은 각각의 지점의 침투시설 설치 현황이다.

Table 4.1 The infiltration facilities of each areas

지 점	설치 시설	개소
A	침투통	1
B	침투집수정	2
C		1
D		5

(1) A지점

A지점의 경우 침투시설의 침투효과를 분석하기 위해 1개소에 침투통 시설에 대하여 현장침투시험 실시하였다.

가. 침투시설



Fig 4.3 The figure of infiltration bucket

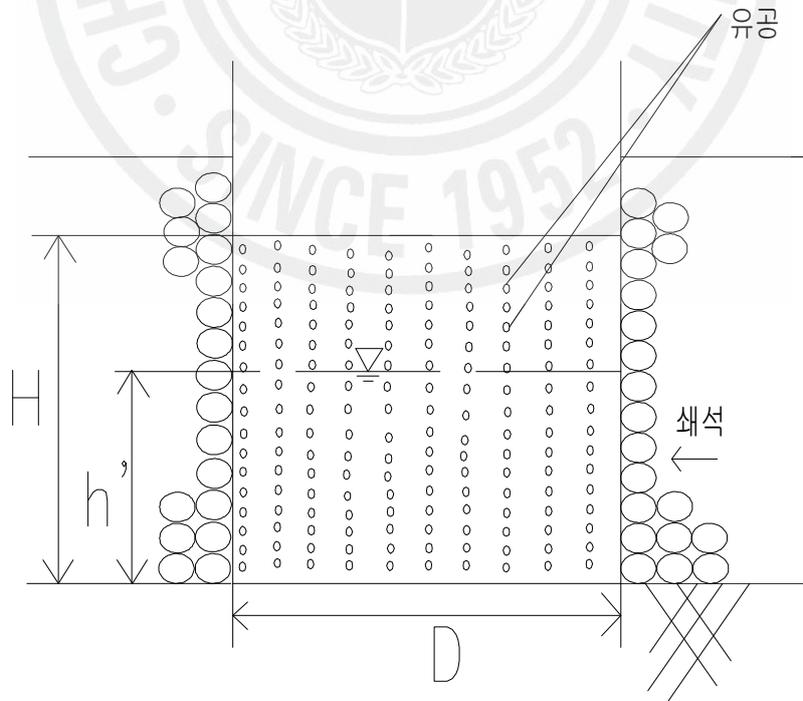


Fig 4.4 The cross section of infiltration bucket

그림 4.3과 4.4는 실제 설치된 침투시설의 전경과 단면도이다. 여기서, D와 H는 설치시설의 직경과 높이이며, h'은 물을 계속 주입했을 때 더 이상 수위가 올라가지 않는 정수위 상태일 때의 수위이다.

나. 시험방법

Bore-hole법(원통형 전면침투법)을 이용하여 일정한 수위가 될 때까지 침투통내에 물을 주입하고, 그 수위가 변화하지 않도록 주입량을 조절하고 경과시간마다 주입량을 측정하며 주입량이 안정될 때까지 계속한다. 수위 측정 시 수동수위측정기를 사용하였다. 그림 4.5는 침투통 시설 내에 물을 주입하는 모습이다.



Fig 4.5 Bore-hole test in A area

(2) B, C, D 지점

B, C, D 지점의 경우 침투시설의 침투효과를 분석하기 위해 침투집수정에 대하여 현장침투시험 실시하였다.

가. 침투시설



Fig 4.6 The figure of infiltration collector well in B area



Fig 4.7 The figure of infiltration collector well in C area



Fig 4.8 The figure of infiltration collector well in D area

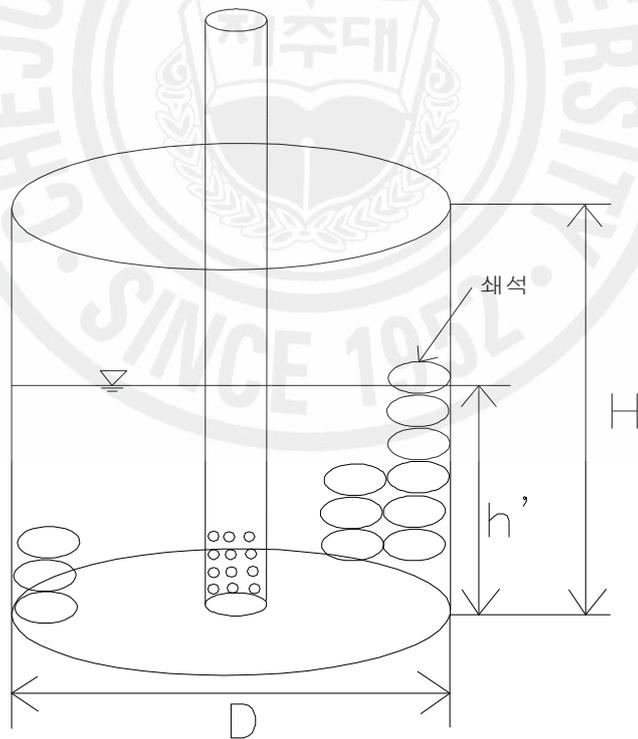


Fig 4.9 The cross section of infiltration collector well

그림 4.6, 4.7, 4.8은 B, C, D 지점의 각각의 침투시설의 전경이며, 그림 4.9는 침투집수정의 단면도이다. 여기서, D와 H는 설치시설의 직경과 높이이며, h' 은 물을 계속 주입했을 때 더 이상 수위가 올라가지 않는 정수위 상태일 때의 수위이다.

나. 시험방법

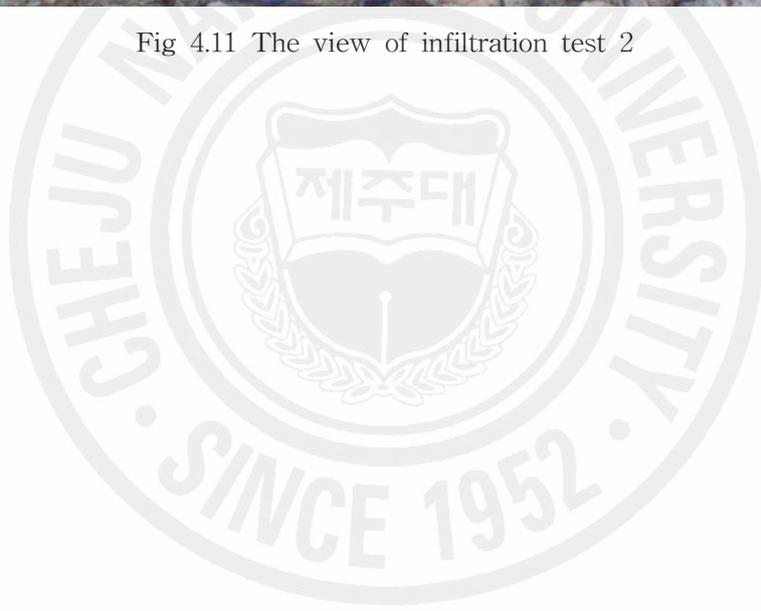
B, C, D 지점의 경우 실물실험방법을 이용하여 실험을 실시하였으며, 시험방법은 다음과 같다. 지반의 침투 능력이나 실제시설의 침투량을 산정하기 위해서 일정한 수위가 될 때까지 침투집수정 내에 물을 주입하고, 그 수위가 변화하지 않도록 주입량을 조절하고 경과 시간마다 주입량을 측정하며 주입량이 안정될 때까지 계속하는 정수위법을 이용하였으며 이때의 종기침투량을 확인하여 침투량의 산정 시 고려하였다. 또한 수위 측정 시 수동수위측정기를 사용하였다. 그림 4.10은 침투집수정에 살수차를 이용하여 물을 주입하는 모습이며, 그림 4.11은 수동수위측정기를 사용하여 수위를 측정하는 모습이다.



Fig 4.10 The view of infiltration test 1



Fig 4.11 The view of infiltration test 2



V. 침투량 분석

1. 현장투수계수

정수두 보링공 투수법(Constant Head Borehole Permeameter)을 이용한 현장투수 시험 결과 $8.61E-02 \sim 9.70E-01$ (cm/sec)로 투수성이 높았으며, 그 결과는 표 5.1과 같다.

Table 5.1 Permeameter test results

지 점	투수계수 K(cm/sec)
A-1	$8.61E-02$
B-1	$2.75E-01$
B-2	$1.54E-01$
C-1	$8.32E-01$
D-1	$1.19E-01$
D-2	$4.21E-01$
D-3	$2.96E-01$
D-4	$7.83E-02$
D-5	$9.70E-01$

2. 현장침투시험에 의한 침투량 분석

각각의 시험 지역에 설치된 침투시설의 침투량을 분석하기 위해 1개소의 침투통에 대해서는 Bore-hole법(원통형 전면침투법)을 실시하였으며, 3개 지점의 총 8개소의 침투집수정에 대해서는 실물실험방법 등을 이용하였다. 시험 결과 각각의 침투시설의 종기침투량을 산출할 수 있었으며 그 결과는 표 5.2와 같다.

Table 5.2 Critical infiltration results by In-situ test

설치시설	지 점	D(m)	H(m)	h'(m) <정수위 높이>	종기침투량(m ³ /hr)
침투통	A-1	1.2	3.1	1.21	17.11
침투 집수정	B-1	3	3.1	0.565	283.9
	B-2	2.75	4.55	1.09	283.9
	C-1	1.30	0.9	0.64	187
	D-1	2.12	3.2	1.07	69.2
	D-2	1.48	2.6	1.14	125.6
	D-3	1.81	2.2	1.22	126.7
	D-4	1.66	1.8	1.05	28.5
	D-5	1.48	2.8	0.84	287.1

여기서 D(m)와 H(m)는 각각 침투시설의 직경과 높이이며, h'(m)은 물을 주입했을 때 수위가 더 이상 올라가지 않고 일정하게 될 때의 수위이다. 그리고 종기침투량(m³/hr)은 그 때의 단위시간당 침투량이다.

위의 표 5.2에서 알 수 있듯이 실험 지역의 침투시험은 대체적으로 투수성이 높은 지반을 대상으로 실시하였으므로 침투량이 17.11~287.1(m³/hr)로 높은 침투량을 보이고 있다.

3. 기존의 침투량 산정식에 의한 분석

<우수저류침투기술협회, 1995>에서 제안한 간편식을 이용하여 1개소의 침투통과 8개소의 침투집수정에 대해서 각각의 지점의 투수계수와 설치시설의 제원을 이용하여 침투량을 산정한 결과 표 5.3과 같다.

Table 5.3 Critical infiltration results by the simplified formulae

설치시설	지 점	투수계수 K (cm/sec)	비침투량 Kt(m ²)	기준침투량(m ³ /hr)
침투통	A-1	8.61E-02	15.01	46.52
침투 집수정	B-1	2.75E-01	24.61	243.6
	B-2	1.54E-01	12.86	71.2
	C-1	8.32E-01	9.91	296.8
	D-1	1.19E-01	24.03	102.94
	D-2	4.21E-01	17.43	264.17
	D-3	2.96E-01	19.34	206.09
	D-4	7.83E-02	17.67	49.81
	D-5	9.70E-01	13.8	481.9

여기서, 침투통 및 침투집수정의 경우 침투량 산정 시 원형 침투집수정 산정식을 이용하여 비침투량을 계산하였으며, 계산에 사용된 식은 다음과 같다.

$$\text{기준침투량(m}^3\text{/hr)} = \text{투수계수(m/hr)} * \text{비침투량 Kt(m}^2\text{)}$$

$$\text{여기서, 비침투량 Kt(m}^2\text{)} = (6.244D+2.853)*h'+(0.93D^2+1.606D-0.773)$$

D:설치시설의 직경, h':정수위 높이

간편식을 이용하여 침투량을 계산한 결과 46.52~481.9(m³/hr)의 범위를 나타냈으며, A-1, D-4 지점의 경우 상대적으로 낮은 투수계수로 인해 낮은 침투량을 보였다.

4. 침투량 산정의 비교 분석

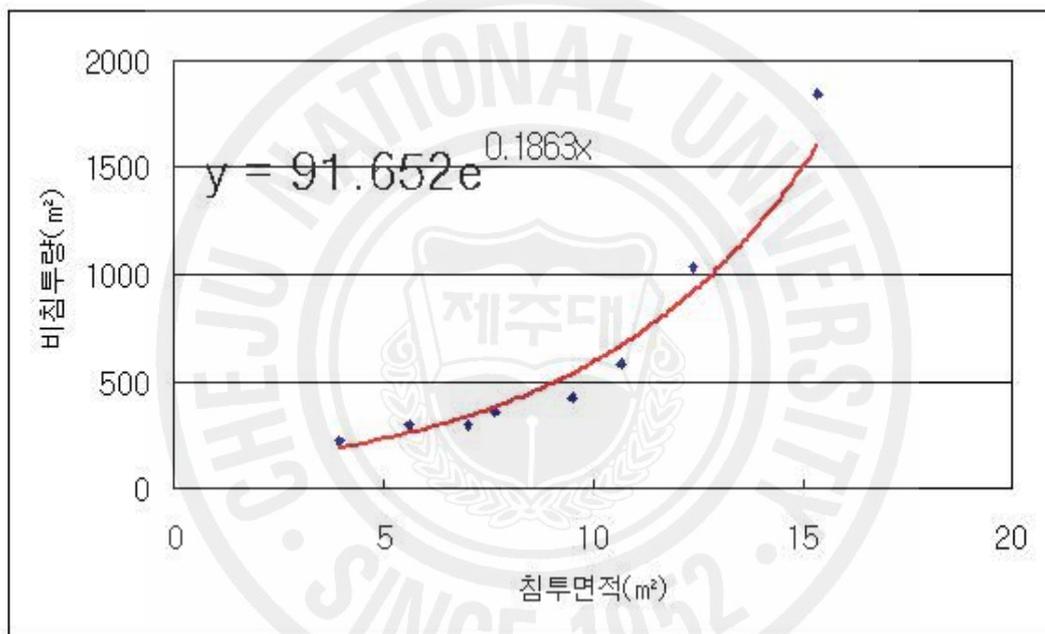
현장침투시험에 의한 침투량과 <우수저류침투기술협회, 1995>에서 제안한 간편식에 의한 침투량을 서로 비교한 결과 표 5.4와 같다.

Table 5.4 Comparison & analysis between Critical infiltration results by In-situ test and Critical infiltration results by the simplicified formulae

설치시설	지 점	투수계수 K (cm/sec)	현장침투시험에 의한 침투량(m ³ /hr)	간편식에 의한 침투량(m ³ /hr)
침투통	A-1	8.61E-02	17.11	46.52
침투 집수정	B-1	2.75E-01	283.9	243.6
	B-2	1.54E-01	283.9	71.2
	C-1	8.32E-01	187	296.8
	D-1	1.19E-01	69.2	102.94
	D-2	4.21E-01	125.6	264.17
	D-3	2.96E-01	126.7	206.09
	D-4	7.83E-02	28.5	49.81
	D-5	9.70E-01	287.1	481.9

위의 결과로부터 현장침투시험에 의한 침투량과 간편식에 의한 침투량 사이의 값이 최소 21.31m³/hr에서 최대 212.7m³/hr까지 큰 차이를 보이고 있다. 따라서 이들 지반이 모두 투수성이 매우 높다는 점을 감안해 볼 때 투수성이 높은 지반의 실제 침투량 산정 시 보정이 필요할 것으로 사료된다. 따라서 현장에서 실시한 침투시험 결과를 바탕으로 침투면적에 따른 비침투량을 지수함수로써 다음과 같이 표현할 수 있었다.

$$y = 91.6e^{0.19x}$$



현장실험 결과를 바탕으로 침투면적을 변수로 하는 지수함수로 표현한 비침투량식은 데이터의 부족으로 정확한 침투량을 산정해 낼 수 없지만, 더 많은 실험을 바탕으로 한다면 투수성이 높은 제주도 지반에 적합한 침투량 산정식을 도출해 낼 수 있을 것이다.

VI. 결 론

최근 들어 집중강우의 빈도가 많아짐에 따라 우수유출을 저감하고자 저감 시설을 많이 설치하고 있으며, 그 중요성이 높아지고 있다. 따라서 본 연구에서는 저감시설에 대한 침투효과를 분석하기 위해서 4개 지점에 침투통 및 침투집수정을 설치하여 침투효과를 알아보았다. 또한 기존의 침투량 산정식과 현장실험결과를 비교, 분석해보았다.

1. 침투시설을 설치한 지점에 대하여 각각 정수두 보링공 투수법을 이용하여 투수시험을 실시한 결과 $8.61E-02 \sim 9.70E-01$ (cm/sec)로 높은 투수성을 보였다.
2. 4개 지점의 9개의 침투시설에 대하여 현장침투시험을 실시한 결과 종기침투량이 $17.11 \sim 287.1$ (m³/hr)로 높은 침투효과를 확인하였다.
3. 현장침투시험에서 얻은 침투효과는 실제 강우조건과 선행호우조건 등을 배제한 순수한 침투시설에 대한 침투효과이므로 정확한 침투효과를 분석하기 위해서는 실제호우를 고려하여 침투효과를 분석해야 할 것이다.
4. 현장침투시험에서 얻은 침투량과 기존의 침투량 산정식을 이용한 침투량을 비교한 결과 최소 21.31m³/hr에서 최대 212.7m³/hr까지 큰 차이를 보이고 있다. 이에 따라 현장침투시험에서 얻은 결과를 바탕으로 침투면적을 변수로 하는 비침투량을 지수함수로써 제안하였다. 또한 지수함수로써 표현한 식은 실험 데이터의 부족으로 정확한 침투량을 산정해 낼 수 없지만, 더 많은 실험 결과를 바탕으로 한다면 투수성이 높은 제주도 지반에 적합한 침투량 산정식을 도출해 낼 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
- 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 운영방안 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
- T.W.Lambe & R.V.Whitman, 1995, Soil Mechanics(SI Version), pp.

감사의 글

이 논문이 완성되기까지 항상 세심한 지도와 배려로써 학문적·정신적 깊은 가르침을 베풀어주신 남정만 지도교수님께 깊은 감사를 드립니다.

그리고 논문심사과정에서 세심한 배려와 조언을 아끼시지 않으신 양성기 교수님, 김남형 교수님, 이병걸 교수님, 박상렬 교수님, 김상진 교수님, 이동욱 교수님께도 감사를 드립니다.

논문이 완성되기까지 학업을 하면서 바쁜 와중에도 논문작성에 많은 도움을 준 지반공학 연구실 김도형 학생에게 깊은 감사를 드리고 김승현, 양태혁, 홍종완 학생에게도 감사를 드립니다.

한편 학업에 전념할 수 있도록 항상 이해와 격려해주신 제주시 김찬중 도시과장님, 고희경 건설과장님 그리고 건설과 도로관리계 여러 직원들에게 감사를 드립니다.

대학원생활 동안 힘이 되어준 산업대학원 선배님이신 양재수님, 김홍준님, 고대호님, 강지성님, 박진영님, 육경수님과 동기생인 김남식님, 오영진님, 차성님, 김형철님, 홍정호님, 그리고 후배인 에게도 심심한 감사를 표합니다.

또한 오늘이 있기까지 낳아주시고 키워주시고 몸이 불편하신데도 불구하고 네 손자를 건강하게 보살펴주시는 아버님과 어머님, 외손자를 너무나 사랑하는 장인과 장모님께 머리 숙여 감사를 드립니다.

그리고 우리집안 여덟 식구를 말없이 챙기는 사랑하는 아내 양 문심님과 학원을 안다녀도 묵묵히 열심히 공부 잘하는 주연이, 스포츠면 스포츠, 세계사면 세계사, 영재반에서 과학도를 꿈꾸는 권민이, 여자이면서도 남자친구들과 방과 후에는 꼭 축구를 하고 집에 오는 건강한 지영이, 여섯 살이면서도 누나, 형에게 글을 배워 글을 잘 읽고 우리 집에서 귀여움을 독차지하는 성민이, 평소 저를 아끼고 이끌어주신 집안 친지어르신들께도 이 기회를 빌어 감사를 드리고자 합니다.

2007. 7

홍동철