



## 저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 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](#) 

2009年 2月  
碩士學位論文

지역별 강우특성에 따른 화강풍화토의  
침투해석

朝鮮大學校 大學院

土木工程學科

柳俊圭

지역별 강우특성에 따른 화강풍화토의  
침투해석

*Saturation Analysis of Granite Weathering Soil  
by Local Rainfall Characteristic*

2009年 2月 日

朝鮮大學校 大學院

土木工學科

柳 俊 圭

지역별 강우특성에 따른 화강풍화토의  
침투해석

指導教授 沈 泰 燮

이 論文을 工學碩士學位 論文으로 提出함.

2009年 2月

朝鮮大學校 大學院

土木工學科

柳 俊 圭

柳俊圭의 碩士學位論文을 認准함.

委員長 朝鮮大學校 教授 \_\_\_\_\_(印)

委 員 朝鮮大學校 教授 \_\_\_\_\_(印)

委 員 朝鮮大學校 教授 \_\_\_\_\_(印)

2009年 2月

朝鮮大學校 大學院

# 목 차

## ABSTRACT

제1장 서 론 .....	1
1.1 연구목적 및 배경 .....	2
1.2 연구동향 .....	3
1.3 연구내용 및 방법 .....	4
제2장 강우의 침투특성 고찰 .....	5
2.1 강우시 간극수압 분포 .....	6
2.2 습윤대의 형성 .....	7
2.3 포화깊이 결정 방법 .....	12
2.3.1 포화시간 .....	12
2.3.2 국내의 강우분포 특성 .....	14
2.3.3 강우강도와 한계투수계수 .....	15
제3장 화강 풍화토의 특성 .....	20
3.1 화강풍화토의 응력이력 .....	20
3.2 풍화에 따른 특성 변화 .....	21
3.3 풍화토의 공학적 특성 .....	22
3.3.1 물리적 특성 .....	22
3.3.2 화성암과 변성암류의 풍화토 .....	22

3.3.3 퇴적암류의 풍화도 .....	25
3.4 압축성, 다짐특성 및 투수특성 .....	27
<b>제4장 지역별 침투특성 분석 .....</b>	<b>28</b>
4.1 한계강우강도와 지속시간 .....	28
4.1.1 지역별 한계강우강도와 지속시간(서울) .....	29
4.1.2 지역별 한계강우강도와 지속시간(대전) .....	32
4.1.3 지역별 한계강우강도와 지속시간(부산) .....	35
4.1.4 지역별 한계강우강도와 지속시간(목포) .....	38
4.1.5 지역별 한계강우강도와 지속시간(광주) .....	41
4.1.6 지역별 한계강우강도와 지속시간(여수) .....	44
4.1.7 지역별 한계강우강도와 지속시간(속초) .....	47
4.1.8 지역별 한계강우강도와 지속시간(전주) .....	50
4.2 침투깊이에 따른 한계투수계수 .....	51
4.2.1 체적함수비(30%)의 변화에 따른 한계투수계수 .....	51
4.2.2 체적함수비(35%)의 변화에 따른 한계투수계수 .....	55
4.2.3 체적함수비(40%)의 변화에 따른 한계투수계수 .....	59
<b>제5장 결 론 .....</b>	<b>63</b>
<b>참 고 문 헌 .....</b>	<b>64</b>

# 표 목 차

표 2.1 지역별 확률강우강도식 회귀계수값 일람표 .....	16
표 3.1 전국 16개 지역 화강풍화토의 물리적 특성 .....	24
표 3.2 전남지역 석회암 풍화토의 물리적 특성 .....	25
표 3.3 경상남도 지역의 이암 및 사암 풍화토의 물리적 특성 .....	26
표 4.1 서울지역의 한계강우 강도와 지속시간 .....	30
표 4.2 대전지역의 한계강우 강도와 지속시간 .....	33
표 4.3 부산지역의 한계강우 강도와 지속시간 .....	36
표 4.4 목포지역의 한계강우 강도와 지속시간 .....	39
표 4.5 광주지역의 한계강우 강도와 지속시간 .....	42
표 4.6 여수지역의 한계강우 강도와 지속시간 .....	45
표 4.7 속초지역의 한계강우 강도와 지속시간 .....	48
표 4.8 전주지역의 한계강우 강도와 지속시간 .....	51
표 4.9 지역별 한계투수계수[ $z_w=1.00\text{m}, \mu = 30\%$ ] .....	50
표 4.10 지역별 한계투수계수[ $z_w=0.75\text{m}, \mu = 30\%$ ] .....	51
표 4.11 지역별 한계투수계수[ $z_w=0.4\text{m}, \mu = 30\%$ ] .....	52
표 4.12 지역별 한계투수계수[ $z_w=1.00\text{m}, \mu = 35\%$ ] .....	53
표 4.13 지역별 한계투수계수[ $z_w=0.75\text{m}, \mu = 35\%$ ] .....	54
표 4.14 지역별 한계투수계수[ $z_w=0.4\text{m}, \mu = 35\%$ ] .....	55
표 4.15 지역별 한계투수계수[ $z_w=1.00\text{m}, \mu = 40\%$ ] .....	56
표 4.16 지역별 한계투수계수[ $z_w=0.75\text{m}, \mu = 40\%$ ] .....	57
표 4.17 지역별 한계투수계수[ $z_w=0.4\text{m}, \mu = 40\%$ ] .....	58



# 그 립 목 차

그림 2.1	강우시 사면내의 간극수압 .....	6
그림 2.2	간극수압계수 .....	7
그림 2.3	습윤대의 형성(Lumb, 1975) .....	9
그림 2.4	일정 깊이까지의 포화조건에 대한 강우강도와 지속시간 .....	16
그림 3.1	풍화에 따른 풍화토의 특성변화 .....	21
그림 3.2	우리나라 화강풍화토의 #200체 통과량 .....	23
그림 3.3	퇴적암 풍화토의 #200체 통과율 .....	28
그림 4.1	최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 30%) .....	29
그림 4.2	최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 35%) .....	29
그림 4.3	최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 40%) .....	30
그림 4.4	최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 30%) .....	32
그림 4.5	최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 35%) .....	32
그림 4.6	최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 40%) .....	33
그림 4.7	최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 30%) .....	35
그림 4.8	최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 35%) .....	35
그림 4.9	최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 40%) .....	36
그림 4.10	최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 30%) .....	38
그림 4.11	최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 35%) .....	38
그림 4.12	최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 40%) .....	39
그림 4.13	최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 30%) .....	35
그림 4.14	최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 35%) .....	41
그림 4.15	최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 40%) .....	41
그림 4.16	최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 30%) .....	42
그림 4.17	최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 35%) .....	42

그림 4.18	최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 40%)	43
그림 4.19	최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 30%)	45
그림 4.20	최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 35%)	45
그림 4.21	최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 40%)	46
그림 4.22	최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 30%)	48
그림 4.23	최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 35%)	48
그림 4.24	최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 40%)	49
그림 4.25	지역별 재현기간에 따른 한계투수계수[ $z_w=1.00\text{m}$ ]	54
그림 4.26	지역별 재현기간에 따른 한계투수계수[ $z_w=0.75\text{m}$ ]	55
그림 4.27	지역별 재현기간에 따른 한계투수계수[ $z_w=0.4\text{m}$ ]	56
그림 4.28	지역별 재현기간에 따른 한계투수계수[ $z_w=1.00\text{m}$ ]	58
그림 4.28	지역별 재현기간에 따른 한계투수계수[ $z_w=0.75\text{m}$ ]	59
그림 4.28	지역별 재현기간에 따른 한계투수계수[ $z_w=0.4\text{m}$ ]	60
그림 4.28	지역별 재현기간에 따른 한계투수계수[ $z_w=1.00\text{m}$ ]	62
그림 4.28	지역별 재현기간에 따른 한계투수계수[ $z_w=0.75\text{m}$ ]	63
그림 4.28	지역별 재현기간에 따른 한계투수계수[ $z_w=0.4\text{m}$ ]	64

## 기 호 해 설

- $r_u$  : 간극수압계수  
 $u$  : 간극수압  
 $r_t$  : 토체의 습윤단위중량  
 $h$  : 지표에서 사면내 임의의 위치까지의 깊이  
 $i$  : 사면경사  
 $\Theta$  : 유선의 경사각  
 $h_p$  : 압력수두  
 $H$  : 습윤대의 두께  
 $k$  : 토층의 투수계수  
 $n$  : 간극율  
 $t$  : 강우지속시간  
 $S_o$  : 강우전의 포화도  
 $S_f$  : 강우후의 포화도  
 $I$  : 강우강도  
 $I_{lim}$  : 초기강우강도  
 $k_{lim}$  : 초기한계투수계수  
 $m_w$  : 저류곡선의 기울기  
 $\phi$  : 간극수와 흙 입자의 접촉각  
 $W$  : 단위 폭을 가진 절편의 무게  
 $(\sigma_n - u_d)$ : 전단면에서의 순수직응력

- $\phi'$  : 유효응력 개념의 전단 저항각  
 $\alpha$  : 사면 경사  
 $C_e$  : 불포화지반의 유효점착력  
 $C'$  : 유효응력개념의 점착력  
 $U_a$  : 간극공기압  
 $U_w$  : 간극수압  
 $\phi^b$  : 전단강도 증가를고려하기위한 상수  
 $v$  : 총단위중량  
 $z_w$  : 전단면까지의 연직깊이  
 $f$  : 침투능  
 $k$  : 침윤전선 윗부분에서의 투수계수  
 $z_w$  : 침윤전선의 깊이  
 $\phi_f$  : 침윤전선에서의 모관흡수력  
 $\Delta\theta_i$  : 함수량 결손(moist deficit)  
 $i_{\min}$  : 최소강우강도  
 $T_{\min}$  : 최소강우지속시간  
 $T_w$  : 강우지속시간(hr)  
 $K_w$  : 포화 투수계수(cm/hr)  
 $\mu$  : 체적함수비  
 $S$  : 모관흡수력(cm)  
 $Z_w$  : 포화깊이(cm)

# *ABSTRACT*

## *Saturation Analysis of Granite Weathering Soil by Local Rainfall Characteristic*

Ryu, Jun-Kyu

Advisor : Prof. Shim, Tae-Sup, Ph.D.

Department of Civil Engineering,

Graduate School of Chosun University

A nature disaster frequently has occurred all over the world damage from rainfall. And this is increasing more and more according to direct or indirect reasons why industry development or population growth and so on. This will make a study for slope failure according to a rainfall among nature disaster factor to bring much damage like this. The surface of slope has many cases to exist as partial saturated condition previous. So the coefficient of permeability is a small condition when it is rainfall.

Amount of water to be able to percolate is small condition. But degree of saturation of ground increased by continuance of rainfall. Therefore coefficient of permeability grows big and amount of water to percolate grows big, too. Because of this, the shearing strength of ground becomes fallen. That is becoming main cause of slope failure. This study manufactured model slope in soil, when it is rainfall.

By moisture content of volume, rainfall intensity and return period is changed to some degree. Therefore, this research is aimed at presenting the pore water pressure ratio which is quantitative value according to rainfall intensity, coefficient of permeability and slopes gradient and enabling it to be used in

designing actual slopes.

According to local rainfall of numerical value , to seek for limitation of permeability.

# 제1장 서 론

## 1.1 연구목적

최근 국내에서는 신속한 물류이송과 체계적인 도로망 구축을 위해 기존도로 확장 및 도로신설하고 있으며 또한, 여름철 집중호우로 인한 수해방지를 위해 제방 및 댐 등의 국토개발 건설사업이 빈번하게 이루어지고 있다. 이 모든 건설사업의 규모가 대형화되어 절토 및 성토사면도 거대해짐에 따라 여러 가지 원인으로 사면 파괴가 발생하여 피해사례도 많이 증가하고 있다. 따라서 성토 및 절토사면에 대한 안정검토가 중요한 화두로 대두되고 있다.

사면붕괴는 붕괴자체로 끝나는 것이 아니라 인명피해가 발생하는 것은 물론이고, 2차적으로 교통을 두절시켜 수송관련 산업의 피해뿐만 아니라 가옥 및 각종시설 등의 재산피해가 발생되어 사회적으로 큰 경제적 손실을 초래하므로 복합재해로 부르기도 한다.

일반적으로 강우로 인한 사면파괴는 지하수위의 상승으로 인하여 사면지반내의 간극수압이 증가해야 파괴가 발생하는 것으로 알려져 있으나 비교적 가파른 자연 사면에 대해서는 강우의 침투로 침윤전선이 임계깊이에 도달하여 얇은 사면 파괴가 발생하게 된다. 이는 사면의 안정성을 유지하고 있던 지표면에서의 음(-)의 간극수압이 소멸되어 강도가 감소함에 따라 얇은 사면파괴가 발생하는 것으로 알려져 있다.

우리나라의 연평균 강우량이 약 1,200mm~1,400mm정도로, 강우가 매년 지역마다 일정하게 분포하는 것이 아니며, 특히 강우량이 계절적으로 편기되어 있어서 대부분 6~9월에 그 중에서도 7,8월에 집중되며 도로사면의 붕괴 또한 이시기에 대부분이 발생하고 있으므로 강우는 사면붕괴의 발생원인과 큰 관련이 있음을 알 수 있다. 강우특성을 적용하여 사면의 안정해석을 실시한 후 도로사면을 시공할 수 있다면 강우에 의해 발생할 수 있는 도로사면붕괴를 방지할 수 있을 것이다.

본 연구는 지역별 강우의 분포특성에 따라 한계강우 강도와 지속시간을 얻고, 이를 바탕으로 한계투수계수를 산정하여 그 특성을 분석한다. 또한, 지역별 한계투수계수를 산정하여 강우 특성을 파악한다. 우리나라의 국지성호우에 따른 피해가 많은 배경을 바탕으로 지역별 집중호우로 인한 피해를 최소화 하고, 강우침투에 따른 문제를 해결하기 위해 사면안정성해석에 기반이 되는 연구를 통해 국내 지역별 강우특성에 따른 한계강우강도와 한계투수계수를 구하고, 강우침투에 따른 문제를 해결하기 위한 연구에 밑거름이 되고자 한다.

## 1.2 연구동향

강우시 사면파괴는 강우가 지반내로 침투하면서 사면의 함수비와 포화깊이의 증가로 인해 지반의 전단강도가 저하됨에 따라 주로 발생한다. 강우시 우수의 사면내 침투를 고려한 사면안정 해석과 관련된 연구사례를 살펴보면 먼저 Pradel & Raad(1993)와 Mein & Larson(1971, 1973)이 재현기간에 따른 강우강도와 지속시간을 고려하여 한계평형해석에 있어 일차원 침투모델인 Green-Amp(1911) 모델을 바탕으로 얇은 사면파괴 가능성을 평가하였다. 그리고 기존에는 대부분 포화지반을 배경으로 강우에 의한 사면파괴에 대한 해석이 이루어졌으나, 최근 들어서는 실제 현장 사면환경을 바탕으로 한 불포화지반 상태를 고려한 많은 연구들이 수행되고 있다.

불포화토와 관련된 사면안정해석 연구는 절토사면의 경우 대부분 잔적토로서 이에 대한 지반 특성치는 Lumb(1975)에 의해 연구된 바 있으며, Matyas 등은 부분포화토의 체적변화를 연구하였다. Anderson(1987) 등은 수리학적 모델에 불포화 흐름을 적용한 연구를 수행하였으며, 잔적토층에서의 사면설계는 Brand에 의해 제시된 바 있다. Alonso Fourie 등은 사면안정의 강우침투에 관한 연구를 수행하였다.

Fredlund(1978)는 대기압과 간극수압에 관련된 suction 문제가 불포화토의 안정에 절대적이라고 제안했다. Walsh 등은 흙의 suction 문제와 관련하여 현장의 포화



도 측정에 관련한 연구를 수행하였다. 잔적토의 경우 풍화도의 평가가 중요한 요소로 작용하며 장기간의 강우나 집중호우 시 얇은파괴가 발생한다.

강우강도와 관련된 사면안정 연구는 Leach 등은 강우강도에 따른 다층토의 모델을 유한차분으로 해석하는 연구를 수행하였고, Pradel(1993) 등은 강우강도, 지속시간 그리고 재현기간을 고려한 균질사면의 침투거동으로 인한 표면파괴에 대한 연구를 수행하였다. Ng 등은 투수와 관련된 불포화 토의 사면안정에 관한 수치해석을 수행하였다.

우리나라의 강우를 고려한 해석관련 연구동향은 다음과 같다. 김영목(1989)은 강우시 무한사면의 침투거동에 관해서 연구를 수행하였고, 이달원(1955)은 강우를 고려한 성토사면의 안정해석을 강우강도와 사면의 경사 등을 고려한 실험적 방법과 유한요소해석을 이용한 연구를 수행하였다. 홍원표(1966) 등은 강우시 사면안정해석법에 관한 연구를 수행하였고 한도 그의 논문에서 무한사면의 안정해석에 대해서 언급하고 있다. 또한, 정상섭(2002) 등은 강우로 인한 불포화 풍화토의 침투깊이에 대해 국내 지역을 대상으로 실험적인 연구를 수행하였다. 기타, 이광모(2005) 등은 강우강도에 따른 무한사면의 간극수압 변화의 특성에 대해 연구를 수행하였고, 김선학(2006) 등 집중강우에 따른 화강풍화토 사면의 전단강도 특성에 대해 연구하였으며, 조성은(2000) 등은 강우특성을 고려한 사면의 표면파괴에 대한 안정성 평가에 대해 연구를 하였다.

또한, 우리나라의 사면붕괴는 집중호우 및 해빙기에 반복적으로 사면이 파괴되어 인명과 재산 피해를 포함한 사회적 손실이 많이 발생하므로 사면위험평가방법, 경사면 축대 유지관리 체계, 사면붕괴방지대책 등 체계적인 기준마련과 제도정비에 대한 포괄적인 연구가 계속 진행되고 있다.

### 1.3 연구방법 및 범위

본 연구의 대상 지반인 화강풍화토는 우리나라에 분포하는 표토의 대부분을 차지하며, 대부분 지하수위 상부에 위치하여 부분 포화상태로 분포하므로 강우시 화강풍화토의 침투거동은 불포화토의 거동특성을 나타낸다. 따라서 화강풍화토의 물리적 역학적 특성 및 불포화 특성에 대한 기존 연구자료를 바탕으로하여 지역별 회귀계수값을 가지고 포화깊이 1.00m, 0.75m, 0.4m, 0.2m에 대한 한계강우강도와 지속시간을 구하였다.

전국을 대상으로 국내 8곳을 선정하고, Pradel & Radd(1993)가 제안한 방법으로 강우강도와 포화깊이를 적용·분석하여 국내의 강우분포특성이 절토사면의 안정에 어떤 영향을 미치는지 알아보았다. 대상 지역은 서울, 대전, 부산, 속초 지역과 광주, 여수, 전주, 목포지역을 선정하고 강우빈도 2년, 10년, 25년, 50년에 대해 체적함수비(30%, 35%, 40%)의 변화와 모관흡수력(80cm)에 따른 각 지역의 한계강우강도와 지속시간을 산정한 결과를 가지고 한계투수계수를 산정하여 그 결과를 비교 분석하였다.

## 2. 강우의 침투특성 고찰

### 2.1 강우시 간극수압 분포

강우시 사면내의 간극수압은 그림과 같이 강우초기에는 지표부근이 충분히 포화되지 않아 부(-)의 간극수압을 보이다가 강우가 지속되면서 습윤대가 점차 확산되어 지표부근에서는 양(+)의 간극수압을 나타내고 지하수의부근은 모세관 효과에 의해 부(-)의 간극수압을 나타낸다. 또한 강우가 지속됨에 따라 습윤대가 점차 깊어지면서 지하수위 상승이 발생한다.

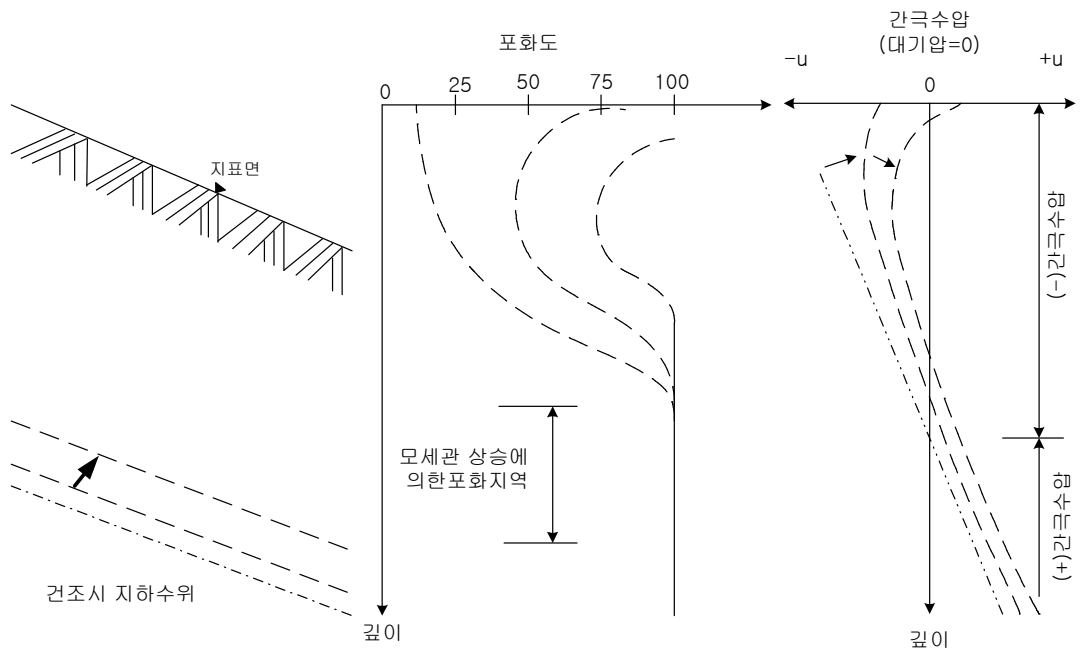


그림 2.1 강우시 사면내의 간극수압

사면안정해석시 강우로 인한 간극수압의 영향은 간극수압계수를 이용하여 간편하게 고려할 수 있으며, 간극수압계수( $r$ )는 식2.1와 같이 나타낼수 있다. 각 절편에 대

한 간극수압계수는 절편마다 다르므로 이 값을 결정하기 위해서는 활동면을 여러 절편으로 나누어 각 절편마다 일일이 계산하지 않으면 안 된다.

$$r_u = \frac{u}{r_t \cdot h} \quad (2.1)$$

여기서,  $r_u$ : 간극수압계수

$u$ : 간극수압

$r_t$ : 토체의 습윤단위중량

$h$ : 지표에서 사면내 임의의 위치까지의 깊이

이러한 방법은 상당히 많은 계산을 필요로 하므로 평균간극수압계수를 적용하면 계산이 훨씬 간편해진다. 대부분의 전산프로그램은 평균간극수압계수는 식 (2.2)와 같이 면적비로 평균값을 추정할 수 있다. 그림 2.2는 이를 그림으로 나타낸 것이다.

$$r_u = \frac{\text{Area}(FGDEF)}{\text{Area}(ABCDEFA)} \times \frac{r_w}{r_t} \quad (2.2)$$

Lambe(1950) 등에 의하면 간극수압계수의 크기는 유선이 직선일 경우 식 (2.3)과 같이 계산할 수 있다.

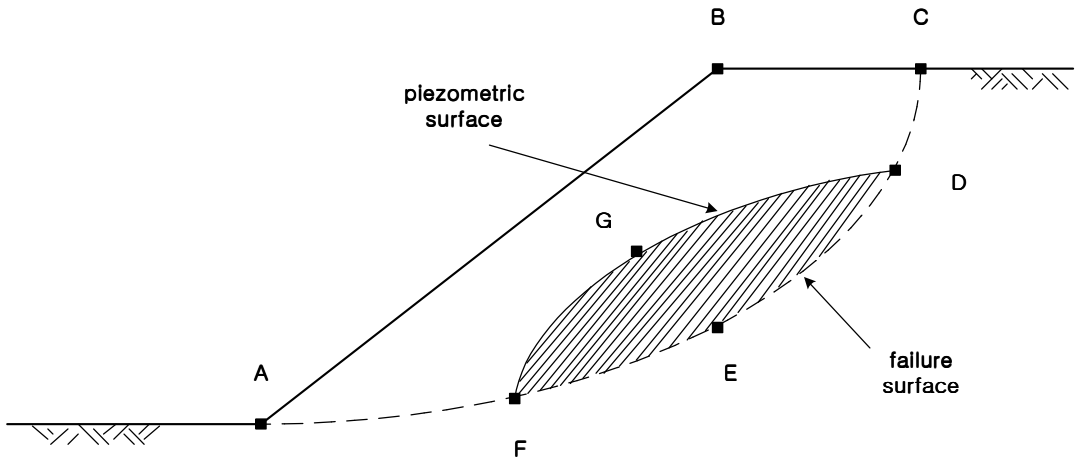


그림 2.2 간극수압계수

$$r_u = \frac{u}{r_t \cdot h} = \frac{h_p \cdot r_w}{h \cdot r_t} = \frac{r_w \cos i \cdot \cos \Theta}{r_t \cdot \cos(i - \Theta)} \quad (2.3)$$

여기서,  $i$ : 사면경사

$\Theta$ : 유선의 경사각

$h_p$ : 압력수두

일반적으로 간극수압계수는 0~0.5의 범위의 값을 가지며 평균적으로 0.25를 사용한다.

## 2.2 습윤대의 형성

강우가 지속됨에 따라 사면내 토층은 깊이에 따라 포화도의 분포양상이 그림 2.3과 같은 경향을 나타낸다. 강우로 인해 지표부근은 완전히 포화되어 포화도가 1.0에 접근하나 깊이가 깊어짐에 따라 중력의 영향으로 점차 감소하다가 일정깊이 이상에서는 일정한 포화도를 나타내며 습윤대를 형성한다.

강우가 지속되거나 중단될 경우에도 습윤대의 두께는 중력의 영향으로 점차 증가하다가 지하수위를 만나거나 투수계수가 낮은 지층에 도달하면 양의 간극수압을 나타내면서 지하수위를 상승 시킨다. Lumb(1975)는 이와 같은 습윤대의 두께를 결정할 수 있는 간편식을 식 (2.4)와 같이 제시하였다. 그림 2.3은 강우시 습윤대의 형성과정을 보여주고 있다.

$$H = \frac{k \cdot t}{n \cdot (S_f - S_o)} \quad (2.4)$$

여기서 ,  $H$ : 습윤대의 두께

$k$ : 토층의 투수계수

$n$ : 간극율

$t$ : 강우지속 시간

$S_o$ : 강우전의 포화도

$S_f$ : 강우후의 포화도

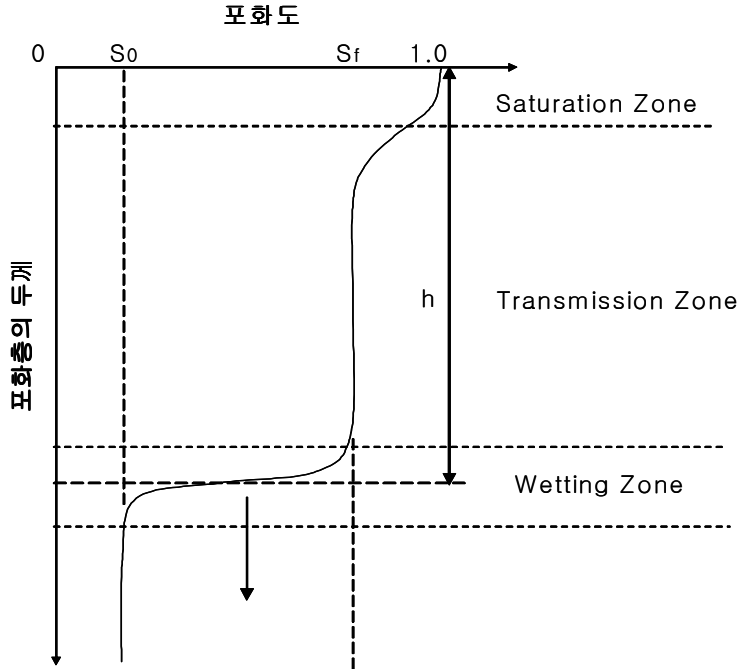


그림 2.3 습윤대의 형성(Lumb, 1975)

일반적으로 강우로 인한 사면파괴는 지하수위의 상승으로 인하여 사면지반내의 간극수압이 증가해야 파괴가 발생하는 것으로 알려져 있으나 비교적 가파른 자연 사면에 대해서는 강우의 침투로 침윤전선이 임계깊이에 도달하여 얇은 사면 파괴가 발생하게 된다. 이는 사면의 안정성을 유지하고 있던 지표면에서의 음(-)의 간극수압이 소멸되어 강도가 감소함에 따라 얇은 사면파괴가 발생하는 것으로 알려져 있다.

사면의 초기상태에는 포화대가 존재하지 않는다고 가정하면, 불투수층 위의 토층에 강우가 진행됨에 따라 침윤전선이 발생할 것이며 강우가 지속됨에 따라 비포화대를 통하여 사면의 불투수층까지 침투할 수 있다. 이 때 실제 사면파괴는 대부분 지표로부터 지하수위 내외의 얇은 부분에서 발생하며 지표면과 나란하게 발생하는 것이 보통이다.

지표로 통해 침투할 수 있는 물의 양은 흙의 함수특성, 흙의 불균질성, 포화도 등에 연관되어 있으며, 균질한 흙을 통한 일차원 연직 침투에 대해 많은 해석적, 경험적인 식들이 제안되었다.

사면의 길이,깊이의 비가 큰 사면에서 발생하는 평면파괴의 경우, 안정성은 다음과 같이 모관흡수력의 영향을 고려한 반무한 사면 해석을 통해 검토할 수 있다. 경사가  $\alpha$ 인 반무한사면에서 가상의 파괴면이 사면경사와 평행하다고 가정하면 깊이  $z_w$ 에서의 안전율( $F_s$ )은 다음과 같이 한계평형해석을 통해 계산할 수 있다.

$$F_s = \frac{C_e + (\sigma_n - u_d) \tan \phi'}{W \sin \alpha \cos \alpha} \quad (2.5)$$

여기서,  $W$  : 단위 폭을 가진 절편의 무게  $(\sigma_n - u_d)$  : 전단면에서의 순수직응력  
 $\phi'$  : 유효응력 개념의 전단 저항각  $\alpha$  : 사면 경사

$C_e$  는 불포화 지반의 유효점착력으로 Fredlund(1978) 등에 의해 제안된 전단강도 식을 사용하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_e = C' + (u_a - u_w) \tan \phi^b \quad (2.6)$$

여기서,  $C_e$  : 불포화지반의 유효점착력  $C'$  : 유효응력개념의 점착력  
 $u_a$  : 간극공기압  $u_w$  : 간극수압  
 $\phi^b$  : 전단강도 증가를고려하기위한 상수

$\phi^b$  는 모관흡수력의 증가에 의한 전단강도 증가를 고려하기 위한 상수로, 일반적으로 이 값은 모관흡수력이 증가함에 따라 감소하나 작은 범위의 모관흡수력 변화에 대해서는 상수로 가정할 수 있다. 그리고 작은 값의 모관흡수력의 경우  $\phi^b$  와  $\phi'$



의 차이가 크지 않으므로  $\phi \approx \phi'$  로 가정하면 식 은 다음과 같다.

$$F_s = \frac{C' + (v z_w - u_w) \cos^2 a \tan \phi'}{v z_w \sin a \cos a} \quad (2.7)$$

여기서,  $v$  : 총단위중량  $z_w$ : 전단면까지의 연직깊이

침투능을 통해 강우지속시간에 따른 포화대의 깊이를 산정할 수 있으며, Green과 Ampt(1911)는 일차원 연직흐름, 침윤전선 윗부분에서의 함수량 결손(moistdeficit) 과 투수계수가 일정하다고 가정하고, 해석적인 방법으로 침투능을 구하기 위해 1차원 연직흐름에 기초를 둔 간략 해를 제안하였다.

Green-Ampt(1911) 모델은 침윤전선 위는 완전히 포화되어 있고 그 아래는 초기 상태의 포화도를 유지한다는 가정 아래 침투능을 다음과 같이 나타낸다.

$$f = k \frac{(z_w + \phi_f)}{z_w} = \frac{d z_w \Delta \theta_i}{dt} \quad (2.8)$$

여기서,  $f$  : 침투능  $k$  : 침윤전선 윗부분에서의 투수계수  
 $z_w$  : 침윤전선의 깊이  $\phi_f$ : 침윤전선에서의 모관흡수력  
 $\Delta \theta_i$ : 함수량 결손(moist deficit)

침투능은 시간  $t$ 가 증가할수록 감소하여  $k$ 값에 점차로 수렴하게 된다. 이때 누적 침투능( $F$ )은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$F = z_w \Delta \theta_i = k t + \Delta \theta_i \phi_f \ln \left[ 1 + \frac{F}{\Delta \theta_i \phi_f} \right] \quad (2.9)$$

또한, 시간 t에서의 침투능은 누적침투량으로부터 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$f = K \left[ \frac{\phi_f \Delta \theta_i}{F} + 1 \right] \quad (2.10)$$

따라서, 위식으로부터 깊이  $z_w$  까지 지반을 포화시키기 위해 필요한 시간 ( $T_w$ ) 는 다음과 같음을 알 수 있다.

$$T_w = \frac{\Delta \theta_i}{K} \left[ z_w - \phi_f \ln \left( \frac{\phi_f + z_w}{\phi_f} \right) \right] \quad (2.11)$$

Darcy(1856)의 법칙에 기초한 Green-Ampt(1911) 모델은 간단하면서도 연직침투 과정의 기본적인 특성을 잘 나타내며 모델 변수들은 측정 가능한 흙의 물리적 특성들로 구성된다.

Pradel과 Raad(1993)는 사면의 안정성 검토를 위해 강우강도, 강우지속시간, 강우 재현기간을 고려할 수 있는 방법을 제안하였으며 안전율이 1이 되는 임계깊이  $z_w$  까지 포화를 얻기 위하여 다음과 같은 두가지 조건을 만족하는 것을 기본으로 한다.

강우강도는 지반의 침투능을 초과해야 하며 깊이  $z_w$  까지 포화되도록 충분히 오래 지속되어야 한다. 침윤선이 깊이  $z_w$  까지 진행하여 포화를 d보장하기 위해서는 강우 강도의 지속시간이  $T \geq T_w$  이고, 강우강도가  $i \geq f$  이어야 한다.

$$T_{\min} = T_w \quad (2.12)$$

$$i_{\min} = f = \frac{\Delta \theta_i}{T_{\min}} \left[ z_w - \phi_f \ln \left( \frac{\phi_f + z_w}{\phi_f} \right) \right] \left( \frac{z_w + \phi_f}{z_w} \right) \quad (2.13)$$

여기서,  $i_{\min}$ : 최소 강우강도  $T_{\min}$ : 최소 강우지속시간

## 2.3 포화깊이의 결정

### 2.3.1 포화시간에 따른 깊이

Pradel(1993) 등은 사면의 지반 조건들과 사면내로 흐르는 물의 흐름, 강우강도 그리고 흙의 함수비가 투수계수에 미치는 영향정도를 고려하는 간편식을 제안하였다. 강우에 의해 지반이 포화될 최소의 첫 번째 조건은 강우강도가 지반 침투율을 넘어야 하고, 둘째는 강우 지속시간이 그림 2.4와 같은 무한사면에서 포화깊이  $z_w$  까지 포화될 수 있도록 충분히 길어야 한다.

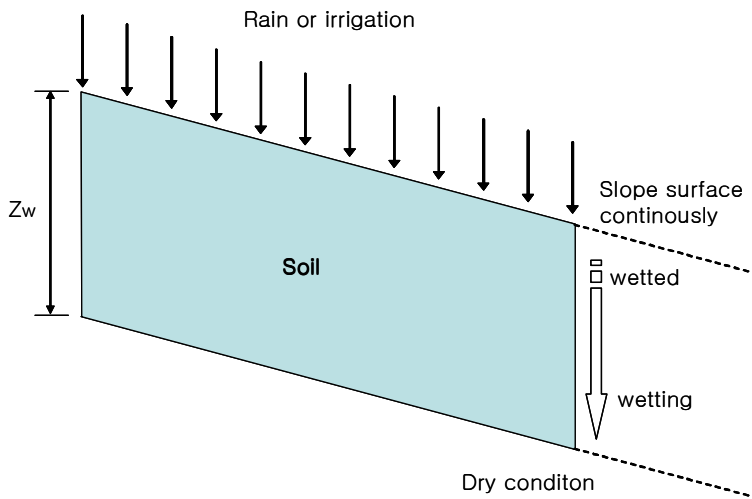


그림 2.4 강우에 의해 젖은 지반의 횡단면

그림 2.4와 같은 무한사면을 고려할 때, 사면은 불포화 지반이고 사면 표면은 강우나 용수로 인해 골고루 젖어 있다는 가정이다. 불포화 지반이 젖는 비율은 사면의 표면 안정성에 대해 중요한 영향을 준다. 습도의 유지와 이동에 대한 복잡한 구성 때문에, 수많은 학자들은 불포화 흐름을 지배하는 방정식(Wallance, 1977)과 흙 속

으로 물기가 스며드는 비율에 대한 특성(Lambe, 1950)등에 대해 연구를 해왔다. 결국, 수많은 모델과 모델링 기술은 많이 내리는 비와 수개월 동안 누적된 침투 상태를 사면에 적용하여 모형실험에 적용했다.

Darcy(1856)의 법칙을 기초로 침투에 대한 간단한 모델은 Green & Ampt(1911)에 의해 가정되었다. 이 모델은 불포화 흐름(Wallace, 1975)을 기초로 하여 좀 더 명확하게 접근하여 현장과 비교했을 때 매우 타당성을 지니고 있다. Green & Ampt (1911)모델, 그의 이용, 그리고 실용성에 대한 많은 책들이 있으며, 이 모델에 대한 놀라운 조사의 연구들이 Brakensiek(1977)에 수록되어 있다. 이 모델은 다음과 같은 가정사항을 기본으로 하였다.

- (1) 흙의 표면은 연속성을 갖으며 젖는다.
- (2) 그림 2.4과 같이 젖어 있는 면이 분명하다.
- (3) 젖은 지역의 투수계수,  $K_s$  는 시간에 따라 변화하지 않는다.
- (4) 젖어 있는 면 위로 일정한 부 압력(matric suction)이 발생한다.

이 모델에 따르면, 포화깊이  $Z_w$ 까지 포화되는 시간이 다음 식(2.14)과 같다.

$$T_w = \frac{\mu}{K_w} \left[ Z_w - S \cdot \ln \left( \frac{S + Z_w}{S} \right) \right] \quad (2.14)$$

여기서,  $T_w$  : 강우지속시간(hr)       $K_w$  : 포화 투수계수(cm/hr)

$\mu$  : 체적함수비

$S$  : 젖은 경계면의 모관흡수력(cm)       $Z_w$  : 포화깊이(cm)

$\mu$ 는 체적함수비로써 강우 전~후 사이의 변화량이며 단위로는 물의 부피를 전체 토체의 부피로 나눈 값이다. Green & Ampt(1911)의 모델 식에서 나타나는  $S$ 는 wetting front suction 으로써 지표면으로부터 강우가 침투하는 동안 깊이별로 변하는 suction값을 나타낸다. 즉, 지반이 포화되기 직전에 나타나는 최소 suction값이며, 사면의 자연함수비인 초기값에 따라 크게 영향을 받는 정수이다.

위의 식(2.14)을 토대로 남부 캘리포니아의 건조한 날씨 ( $\mu = 10 \sim 30\%$ )에 대한

자연사면 안정해석을 모래질 흙의 모관흡수력(80cm)과 점토질 흙(140cm)에 관한 연구(Moore, 1939)도 진행 되었었다(Pradel & Raad, 1993).

사면에서 침투과정은 강우강도, 강우 지속시간과 지반내의 투수계수 관계의 상호 작용이 중요하다. Green & Ampt(1911) 모델에서, 침투비율( $v_i$ )은 강우가 사면 표면에 스며드는 관계를 다음 식 (2.15)와 같이 나타내었다.

$$V_i = K_w \frac{Z_w + S}{Z_w} \quad (2.15)$$

## 2.2 강우 분포 특성에 따른 분석

강우의 분포특성이란 강우강도, 강우량의 시간적 변동특성과 강우시간에 따른 강우량의 배분형태를 의미한다.

강우의 시간적 분포특성을 해석하기 위해 확률강우강도식을 이용하는데 기본적인 강우강도와 지속시간의 관계식은 Talbot형, Sherman형 그리고 Japanese형이 있으며 이를 식으로 나타내면 각각 다음과 같다.

$$I = \frac{a}{t + b} \quad (2.16)$$

$$I = \frac{c}{t^n} \quad (2.17)$$

$$I = \frac{d}{\sqrt{t + e}} \quad (2.18)$$

여기서,  $I$  : 강우강도                       $t$  : 지속시간  
 $a, b, c, d$  : 상수

우리나라의 확률강도식은 1960년대 중반으로부터 연구 개발되었으며, 주로 중앙기상대의 지정우량 자료들이 이용되어 왔다.

표 2 . 1 지 역 별 확 률 강 우 강 도 식 회 귀 계 수 값 일 람 표

지 역 \ 계 수	a	b	c	d
속초	482.5	175.9	4.286	-2.281
춘천	332.7	63.1	0.485	-0.501
강릉	291.1	121.0	3.193	0.461
서울	396.4	174.2	1.681	-0.167
인천	300.4	143.7	2.303	0.789
원주	408.5	141.1	0.321	-0.603
수원	710.9	141.1	4.371	-0.763
서산	441.5	85.1	1.286	-0.821
청주	344.4	91.1	1.582	0.044
대전	397.1	84.2	1.396	0.124
추풍령	229.7	59.4	-0.122	0.013
포항	248.1	67.9	0.500	-0.145
군산	305.6	85.6	1.469	0.378
대구	203.9	117.6	1.070	0.511
전주	226.6	116.0	0.863	0.828
울산	332.7	125.0	2.266	0.517
광주	363.0	60.1	0.428	-0.150
부산	318.5	143.9	2.146	0.655
충무	395.8	120.5	2.448	-0.198
목포	328.0	43.2	0.531	-0.134
여수	346.6	118.2	1.865	0.138
완도	298.4	243.6	9.402	2.890

허준행 등은 관측기록이 20년 이상이고 관측정도가 양호한 기상청 산하 전국 22개 지점의 지속기간별 연 최대치 강우자료(지속기간 5분, 30분, 1시간, 2시간, 3시간, 6시간, 12시간, 24시간)를 대상으로 빈도해석을 실시하였다. 그의 매개변수 추정방법

은 GEV 확률분포형을 모델로 재현기간별 확률강우량을 산정함으로써 지역적 해석을 실시하였으며, 선형화 기법을 통해 회귀분석을 하여 다음 식 (2.19)와 같은 확률강우강도식을 유도하였다.

$$I(t, T) = \frac{a + b \ln \frac{T}{t^{0.2}}}{c + d \ln \frac{\sqrt{T}}{t} + \sqrt{t}} \quad (2.19)$$

여기서, a , b , c , d는 상수로서 표 2.1에 나타내었다. T의 단위는 ‘년’이고 t의 단위는 ‘분’ 이다.

## 2.2.4 강우강도와 지속시간

사면에 파괴가 이루어지려면, 지반에 균질하게 스며들어 침투수에 의해 생기는 Skempton & Deloy(1957)가 제안한 파괴구조의 형태가 일어나기 전에, 흙은 포화되어야 한다. 포화되기 위한 첫 번째 조건은 강우강도(I)가 침투비율(vi)보다 커야 한다. 두 번째 조건은  $T_w$ 보다 강우시간이 더 길어야 한다. 이러한 조건들은  $T \geq T_w$  와  $I \geq V_i$  를 요구한다. 일정깊이( $Z_w$ )까지 포화되기 위해 다음과 같은 식 (2.20)과 식(2.21)을 요구한다.

$$T_{\min} = T_w \quad (2.20)$$

$$I_{\min} = V_i \quad (2.21)$$

식 (2.14), 식 (2.15), 식 (2.20) 그리고 식 (2.21)을 연립하면 다음 식과 같다.

$$I_{\min} = \frac{u}{T_{\min}} \left[ Z_w - S \ln \left( \frac{S + Z_w}{S} \right) \right] \left( \frac{Z_w + S}{Z_w} \right) \quad (2.22)$$

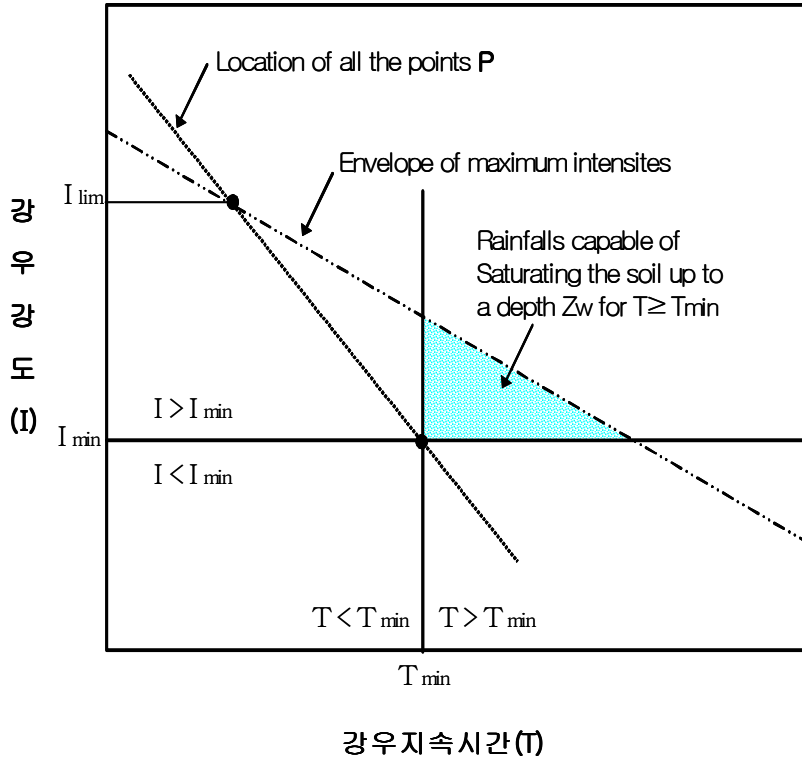


그림 2.5 일정 깊이까지의 포화조건에 대한 강우강도와 지속시간

앞에서 말한 방정식은 유출과 증발산을 고려하지 않았으므로,  $I_{\min}$  보다 큰 강우강도가 포화시키는데 요구될 것이다.

포화에 대한 조건들은 그림 2.5의 그래프로 설명될 수 있다.  $(T_{\min}, I_{\min})$ 의 좌표를 P점이라고 가정하면 그림 2.5에서 포화되기 위한 조건들은 최대강도 포락선 위에 위치할 것이다. 그 위치는 비가 오지 않더라도  $Z_w$  깊이까지 포화 될 수 있을 것이다. 식 (2.22)의 조건의 점과 최대강도 포락선은 그림 에서와 같이 만나는 점에서 초기 강도 ( $I_{\lim}$ )와 초기한계투수계수 ( $k_{\lim}$ )를 정할 수 있다. 식 (2.15)와 식 (2.22)을 연립하면 다음과 같이 초기 투수계수를 얻을 수 있다.



$$k_{\text{lim}} = I_{\text{lim}} \left( \frac{Z_w}{Z_w + S} \right) = \frac{\mu}{T_{\text{min}}} \left[ Z_w - S \cdot \ln \left( \frac{S + Z_w}{S} \right) \right] \quad (2.23)$$

여기에서,  $k_{\text{lim}} = Z_w$  깊이까지 포화할 수 있는 최대 투수계수이며, 앞에서 언급한 방정식들은 유출과 증발산에 대해 고려하지 않았으므로  $k_{\text{lim}}$ 보다 큰 투수계수를 갖는 흙에서는 강우시 포화되지 않을 것이다.

식(2.23)은  $Z_w$  깊이까지 포화되기 위한 최소조건을 나타낸다. 그림 2.5에서와 같이 최대강우강도의 선과 포화하기 위한 최소 조건의 선이 만나는 위치는 사면 토체에서  $Z_w$  깊이까지 포화시킬 수 있는 최소 강우시간을 정한다. 예를 들어, 체적함수비 변화량 ( $\mu$ ) 값을 알고, 포화깊이 ( $Z_w$ ) 값을 가정한다면 어떤 흙에서 빈도기간을 고려해 강우가 지반을 일정깊이 ( $Z_w$ )까지 포화하기 위해 얼마만큼의 지속시간 ( $T$ )을 유지해야 되는지 알 수 있다. 이 지속시간 동안에 해당하는 강우강도 ( $I_{\text{lim}}$ )와 초기 투수계수 ( $k_{\text{lim}}$ )를 예측할 수 있다.

### 3. 화강풍화토의 특성

#### 3.1 응력이력

풍화토는 생성조건이 퇴적토와 다르기 때문에 흙이 경험하는 응력이력과 응력조건도 크게 다르다. 퇴적토는 흙이 퇴적되어 쌓이면서 형성되기 때문에 횡방향 변위가 구속된 1차원 압축조건에서 퇴적과 함께 연직응력이 계속 증가하고, 이에 따라 횡방향 응력은  $K_0$  상태에서 증가해 되며, 침식 또는 지반굴착 등의 연직하중의 감소로 과압밀될 경우에는 연직응력보다 횡방향 응력의 감소율이 작게 되어  $K_0$  값이 증가하면서 그림의 OA'C와 같은 응력경로를 따르게 된다.

그러나, 풍화토의 경우에는 일반적으로 암반의 응력상태가 풍화가 발생하는 지표면 근처에서 횡방향 응력이 연직응력보다 크다는 점을 감안할 때 풍화 초기에는 연직응력보다 횡방향 응력이 큰 상태  $K_0 > 1$ 로 존재하다가 풍화가 심화되면서 연직응력보다 횡방향 응력이 더욱 감소하여  $K_0$  값이 감소하게 되며, 그림에서와 같이 ABC의 응력경로를 따르게 된다.

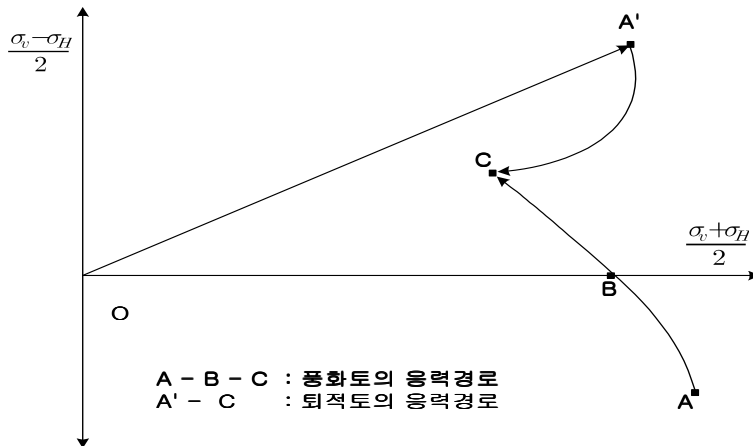


그림 3.1 퇴적토 풍화토의 응력경로

### 3.2 풍화에 따른 특성변화

암석의 풍화에 의해 생성되는 풍화토는 모암의 조암광물과 결정구조 및 입자의 배열에 따라 그 역학적인 특성이 크게 영향을 받는다. 풍화토는 모암의 구조적인 특성이 남아있기 때문에 모암의 조암광물과 입자배열 특성이 풍화토의 역학적인 특성을 좌우하게 된다. 또한, 대부분의 풍화토는 풍화진행 단계에 있기 때문에 그 특성이 계속적으로 변화한다. 그림은 풍화진행에 따른 풍화토의 역학적 특성의 일반적인 변화를 나타낸 것이다.

풍화의 초기 단계에서는 신선한 암에서 나타나는 높은 단위중량과 낮은간극비를 가지지만, 점차 풍화가 진행됨에 따라 암석의 파쇄와 변질로 인하여 세립률과 간극비가 증가하게 된다. 강도정수는 초기에 높은 내부마찰각을 가지지만 풍화가 진행됨에 따라 점차 감소하고 세립률의 증가로 인하여 점착력과 압축성도 증가하게 된다. 투수계수는 풍화 초기에 암석이 파쇄 되면서 증가하다가 풍화가 심화되면서 세립률이 증가하기 때문에 감소되는 경향을 보인다.

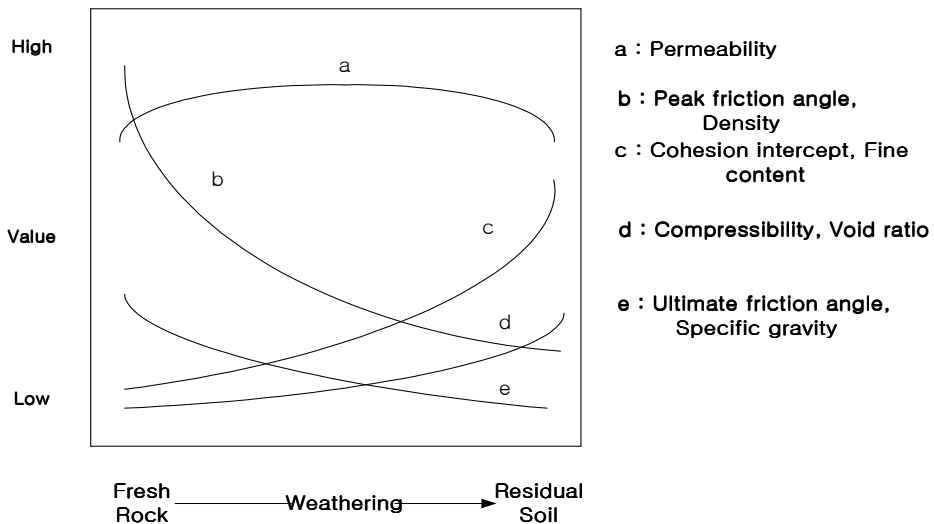


그림 3.2 풍화에 따른 풍화토의 특성변화

### 3.3 풍화토의 공학적 특성

#### 3.3.1 물리적 특성

풍화토의 특성은 풍화 이전 모암의 광물학적 특성과 풍화과정에 크게 지배되며, 풍화토에 대한 통일분류상의 구분도 여러 가지로 나누어 질 수 있다.

기반암이 화성암, 변성암류의 화강암인 화강편마암 및 화강암질 편마암의 풍화과정에서 생성된 풍화토는 화강토 또는 화강풍화토로 불리며 지반 조사과정에서 나타난 통일분류법상의 분류가 대부분 SM인 실트질 모래로 분류 된다. 퇴적암류의 이암,사암 및 석회암을 기반으로 하는 풍화토의 경우는 통일분류법 상의 구분이 실트질 모래(SM) 이외에도 무기질 실트(ML), 저소성의 무기질 점토(CL)로 분류되는 풍화토도 자주 접할수 있다.

풍화토의 공학적 특성을 파악하기 위하여 기존의 연구결과와 관련 문헌조사를 실시하였으며, 기반암에 따라 분류하여 분석된 결과를 정리하면 다음과 같다.

#### 3.3.2 화성암과 변성암류의 풍화토

우리나라의 지질은 절반이상이 화강암질 암석으로 구성되어 있으며, 이러한 화강암류가 풍화되어 잔류토 또는 퇴적토의 형태로 한반도에 널리 분포하고 있다.

또한, 한국토지공사에서 발표한 자료에 의하면, 공사 사업지구 전 면적의 56.1%에 화강풍화토가 분포하는 것으로 보고 된 바가 있는 것을 보면 우리나라의 풍화토는 대부분이 화강풍화토라고 하여도 과언이 아니다.

화강풍화토는 그 모암의 종류에 따라 풍화생성물이 당연히 다르고 모든 암석은 그 풍화과정을 물리적, 화학적, 생물학적 풍화과정으로 구분하는데 마그마에서 암석으로 생성된 과정 중 응결, 수축과정에서 발생한 균열에 침투된 물의 동결, 심한 온도 차이에 의한 암석 내부에 발생하는 온도차이, 암석에 포함된 결정체의 이방적 열팽창, 건습의 반복 등 붕괴촉진 현상이 일어나면 균열은 더욱 진전되고 이들 경

계면에서부터 화학적 풍화로 이어진다. 화강암이나, 섬록화강암 등 거정질 암석은 암반 중에 발생한 무수한 균열로 분리되어 더욱 세립질로 분해 되어 가면서 오랜 지질학적 시간에 걸쳐 암괴→사질토→실트→점토 까지 연속적으로 풍화되어 가면서 심층풍화대로 존재하는 이른바 화강풍화토가 생성된다

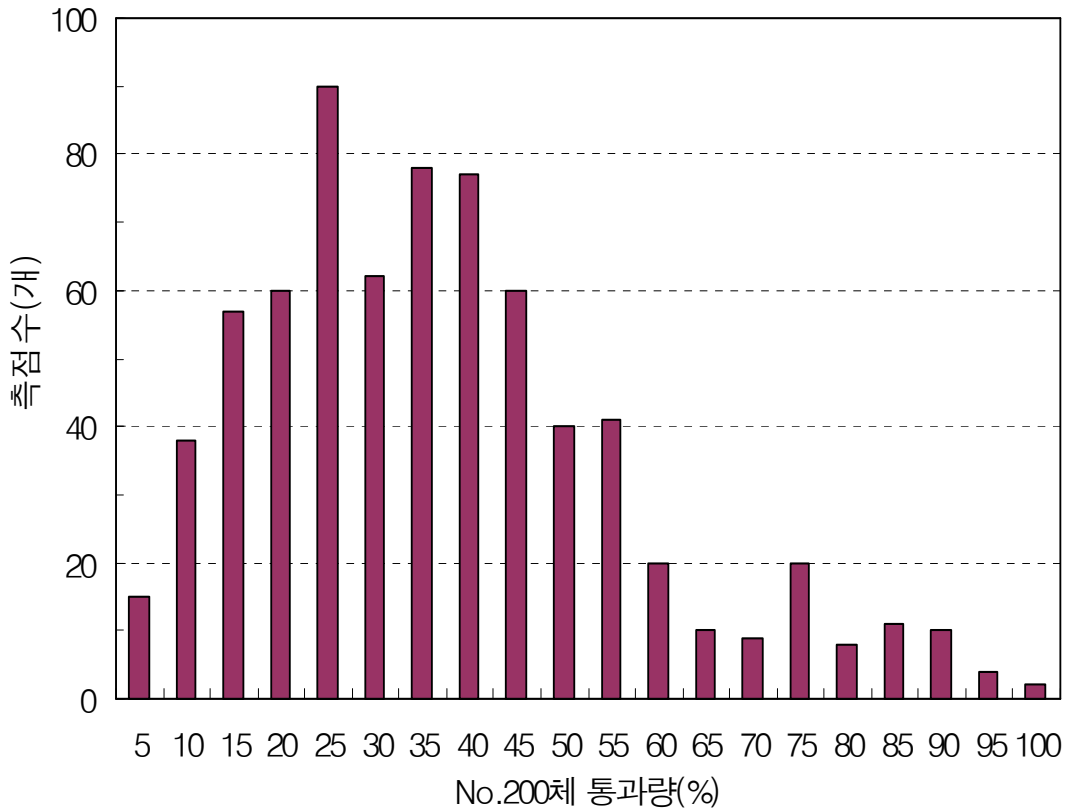


그림 3.3 우리나라 화강풍화토의 #200체 통과량

이러한 화강풍화토에 대한 기존의 연구결과를 정리하면, 김 이 전국을 대상으로 892개의 화강풍화토의 실내시험결과를 수집하여 분석한 결과 대부분의 화강풍화토는 그림 과 같이 #200체 통과량이 0~60%를 나타내는 것으로 조사되었으며, 박 은 전국 16개소에서 채취한 화강풍화토를 대상으로 물리적 특성을 시험하고 화학적 성분분석을 통해 화강풍화토의 풍화도 평가법을 제시하였다.

표 3.1. 전국 16개 지역 화강풍화토의 물리적 특성

구분	USCS	Gs	D10 (mm)	D30 (mm)	D50 (mm)	D60 (mm)	#200체 통과량
1	SW	2.68	1.1	0.48	0.8	1.1	4
2	SP	2.64	1.2	0.38	0.84	1.2	2
3	SW	2.74	1	0.41	0.77	1	4
4	SW	2.68	1.4	0.46	0.96	1.4	4
5	SW	2.67	1.6	0.5	1.13	1.6	4
6	SM	2.69	0.39	0.14	0.27	0.39	12
7	SW	2.66	0.7	0.14	0.42	0.7	-
8	SW	2.71	1	0.28	0.8	1	-
	SW	2.72	1.8	0.7	1.5	1.8	6
9	SW	2.64	0.65	0.17	0.4	0.65	8
10	SM	2.69	0.5	0.1	0.7	0.5	16
11	SW	2.68	0.62	0.19	0.72	0.62	8
12	SW	2.69	0.78	0.25	0.57	0.78	4
13	SW	2.69	0.83	0.24	0.55	0.83	5
14	SP	2.68	0.88	0.22	0.6	0.88	3
15	SW	2.66	0.78	0.31	0.65	0.78	10
16	SM	2.66	0.8	0.37	0.7	0.8	14

### 3.3.3 퇴적암류의 풍화토

퇴적암류인 석회암, 이암 및 사암을 모암으로 하는 풍화토는 전국적으로 넓게 분포하는 화강풍화토와 비교하여 분포범위가 협소하기 때문에 아직까지는 그 연구가 미미한 실정이다.

국내에 분포하는 석회암 지대는 약 20% 정도로 강원도와 전라남도 일대에 분포하고 있으며, 맥상으로 분포하는 석회암의 특성으로 인해 비탈면의 절취나 도로 및 철도 공사시 출현하는 석회풍화토의 토질공학적 특성이 규명되지 않아 상당한 문제점을 보이고 있는 실정이다.

김중렬(2002)등은 전남지역의 장성과 화순에서 석회암 풍화토에 대한 불교란 시료를 채취한 후 물리적 특성과 역학적 특성에 대한 시험을 수행하여 석회암 풍화토의 특성을 규명한 바 있다.

표 3.2 전남지역 석회암 풍화토의 물리적 특성

구분	Gs	LL(%)	PL(%)	PI	#200체 통과율(%)	USCS
장성	2.79	39.8	19.7	20.1	55.6	ML
화순	2.78	36.5	24.2	11.3	61.3	ML

경상남도 지역 철도시설공사를 위해 진주시 일원에서 실시한 지반조사 결과를 보면 이 지역의 일부는 기반암이 중생대 신동층군 퇴적암이며, 퇴적암은 이암과 사암이 분포하고 있는 것으로 나타났다. 이 지역의 풍화토는 통일분류법상으로 실트질 모래(SM), 무기질 실트(ML) 및 실트질 점토(CL)로 분류되었으며. 이 중 실트와 점토로 분류된 풍화토의 물리적 특성을 표 3.3로 나타냈다.

표 3.3 경상남도 지역의 이암 및 사암 풍화토의 물리적 특성

구분	USCS	Gs	LL(%)	PI	#200체 통과량
1	CL	2.68	32.5	10.2	67.5
2	ML	2.67	28.2	4.4	58
3	ML	2.66	26.3	3.8	68
4	ML	2.66	25.8	3.6	55
5	CL	2.67	30.9	11.8	99.64
6	ML	2.66	25.1	3.4	54.8
7	CL	2.69	35.2	14	67.3
8	CL	2.66	28.1	10	68.9
9	ML	2.66	25.3	3.4	56.7
10	ML	2.67	26.5	3.7	55.8
11	ML	2.68	27.2	4.7	58.8



그림 3.3 퇴적암 풍화토의 #200체 통과율



### 3.4 압축성, 다짐특성 및 투수특성

화강풍화토는 흙의 구조가 특이하여 다른 일반적인 흙과는 다른 압축특성을 가진다. 화강풍화토의 압축성은 풍화도 즉, 간극비의 크기에 크게 의존하게 된다. 풍화가 진행된 것은 초기간극비가 크고 정규압밀영역에서의 곡선경사 즉, 압축지수가 크다. 퇴적토인 점토에 대한 선행압밀하중 개념은 화강풍화토에는 맞지않고 압밀항복하중이라는 용어를 사용하는데  $1.0 \text{ kg/cm}^2$  정도이며 큰 차이는 없다.

화강풍화토의 투수계수는 사질토와 유사한 범위에 있으나 침하의 지속성은 점성토와 유사한 거동을 보인다. 재하 직후에 큰 침하가 발생하고, 시간에 따라 침하가 계속되지만 이것은 점성토에서 시간에 따른 간극수압의 소산에 의해 발생하는 압밀은 아니며 흙입자의 크립(creep)변형에 의존하는 것이다.

조립자가 많은 화강풍화토는 다짐에너지를 증가시키면 밀도의 증가와 함께 최적함수비(OMC)도 증가하게 된다. 이러한 원인은 다짐 과정에서 흙입자가 파쇄되어 조립토로의 변화를 의미한다. 다짐에너지와 함수비가 입자의 파쇄정도에 미치는 영향이 작다는 보고도 있으나, 아직까지 화강풍화토의 다짐특성에 대한 명확한 이론정립은 미비한 단계이다.

화강풍화토의 투수계수는 투수기간이 지남에 따라 감소하는 특성이 있다. 이러한 현상을 충전이론에서는 물이 입자사이를 통과할 때 흙시료 내부가 풍화하여 불안정한 입자는 세립화하여 입자 사이의 간극을 채워 투수계수가 감소한다.

화강풍화토의 경우 동수경사가 증가하면 투수계수가 작아지고, 큰 동수경사에서 물의 흐름 이후에 동수경사를 감소시켜도 투수계수는 완전히 회복되지 않는다. 또한 동수경사의 반복적인 증감에 의하여 투수계수가 어느 값에 수렴하는 경향을 나타낸다.

## 제4장 한계강우강도와 한계투수계수에 대한 결과 및 분석

### 4.1 강우강도와 지속시간

지반이 강우에 의해 포화될 첫 번째 조건은 강우강도가 지반의 침투율을 넘어야 한다는 것이고 두 번째 조건은 강우지속 시간이 포화깊이  $z_w$ 까지 포화될 수 있도록 충분히 길어야 한다는 것이다. Pradel(1933)등은 Darcy(1856)의 법칙을 이용한 Green(1911)등의 침투모델을 이용하여 포화에 필요한 최소의 강우강도식을 제안하였다.

포화깊이  $z_w$ 는 해석결과를 적용하여 1.0m , 0.75m , 0.40m , 0.20m를 각각 이용하였고, 체적함수비와 모관흡수력은 국내 화강풍화토의 특성을 고려하여 각각 30%와 80cm , 35%와 80cm, 40%와 80cm를 적용하였다.

Pradel & Radd(1993)이 제안한 방법으로 해석하기 위해 본 논문에 적용된 강원도 태백지역과 비슷한 강우특성이라 판단되는 서울을 비롯하여 대전, 부산, 광주, 여수 그리고 전주를 선정하고 허준행 등이 제안한 강우강도식을 적용하였다. 식에 사용된 상수 a,b,c,d 값은 표 2.1에 제안된 값을 적용하여였고 강우빈도는 50년, 25년, 10년, 2년에 대해 해석하였다.

다음 그림 4.1~4.21은 각각 서울, 대전, 부산, 목포, 광주, 여수, 전주지역의 강우강도와 강우지속시간에 대한 해석 결과를 보여주고 있다.

체적함수비와 모관흡수력을 각각 30%와 80cm 35%와 80cm, 40%와 80cm를 대입하여 강우강도식에 대입하여 한계강우강도와 강우빈도를 구하였다. 체적함수비에 대한 비교를 하기 위해 30%, 35% , 40%를 각각 대입하여 한계강우강도와 강우빈도를 구하였다.

#### 4.1.1 지역별 한계강우강도와 지속시간(서울)

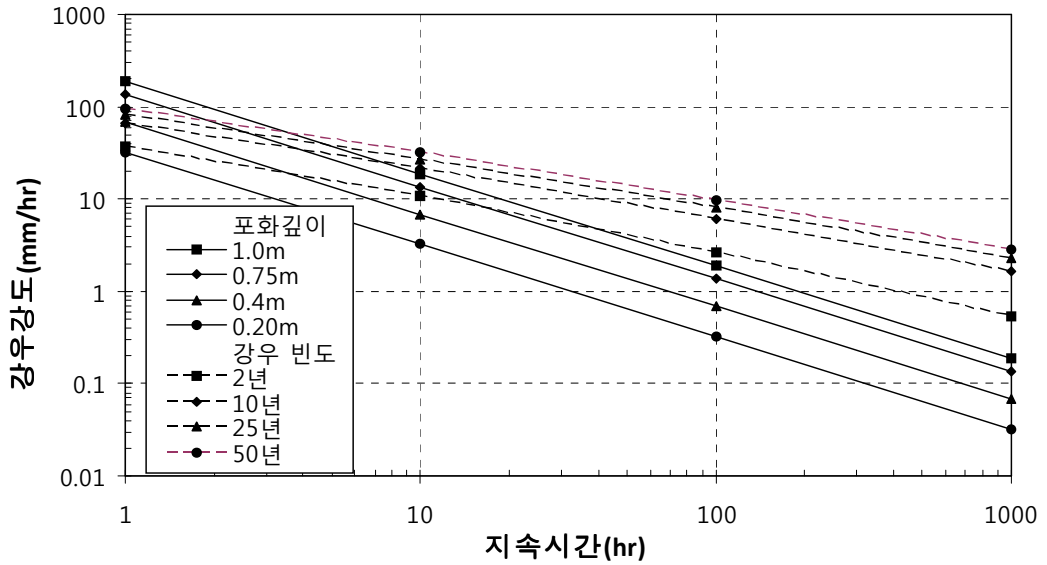


그림 4.1 최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 = 30%)

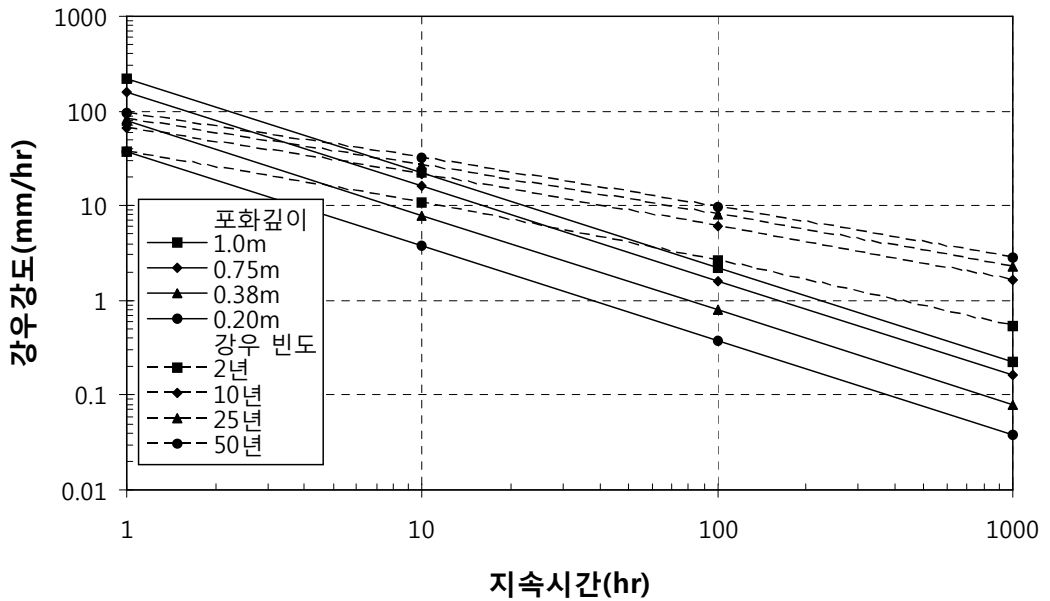


그림 4.2 최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 = 35%)

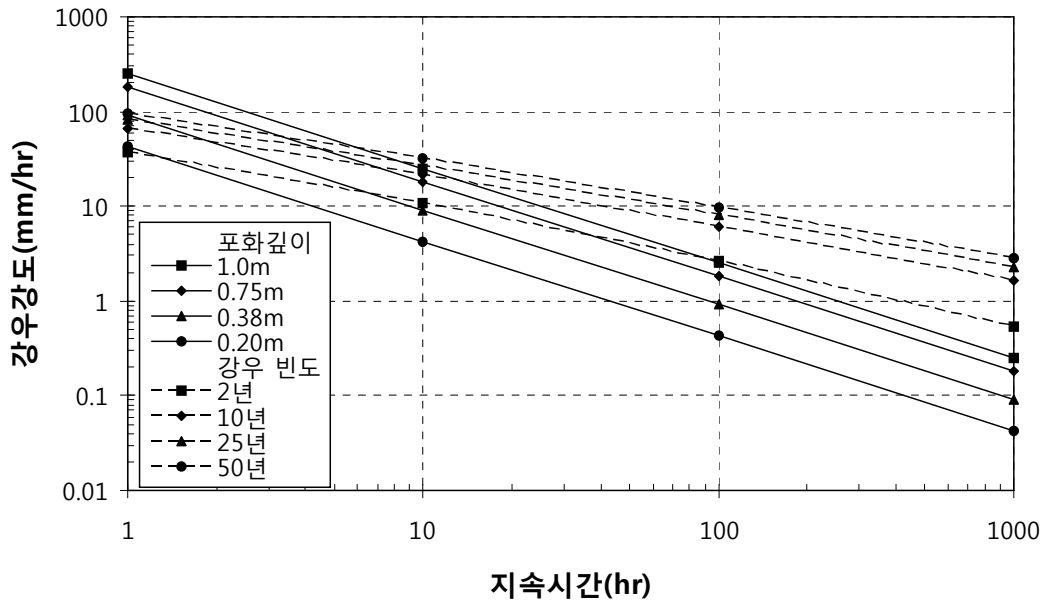


그림 4.3 최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 = 40%)

표 4.1 서울지역의 한계강우강도와 지속시간

구분		50년		25년		10년		2년	
체적 함수비	zw (m)	T (hr)	I (mm/ hr)	T (hr)	I (mm/ hr)	T (hr)	I (mm/ hr)	T (hr)	I (mm/ hr)
$\mu=30\%$	1	3.8	51.19	4.9	38.91	7.7	24.32	41	4.67
	0.75	2	69.5	2.8	51.13	4.3	32.69	18	7.68
	0.4	-	-	-	-	1.2	60.68	3.6	19.16
	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
$\mu=35\%$	1	5	44.79	6.6	33.56	12	19.32	61	3.64
	0.75	2.8	59.28	3.6	45.27	5.8	28.11	28	5.89
	0.38	-	-	1	82.76	1.6	52.99	5.1	15.83
	0.2	-	-	-	-	-	-	1	37.25
$\mu=40\%$	1	6.5	39.4	8.7	29.2	14.7	17.4	89.5	2.86
	0.75	3.5	53.3	4.7	39.7	7.5	24.7	38.9	4.8
	0.4	-	-	1.1	79.45	1.7	51.59	6.0	14.23
	0.2	-	-	-	-	-	-	1.4	31.46

서울지역의 경우 화강풍화토 1m를 포화시키는데, 강우재현기간 2년 최대강우특성을 고려할 때 한계강우강도와 강우지속시간은 2.86mm/hr와 89.5hr로 나타났으며, 강우재현기간 10년 최대강우특성을 고려할 때 17.4mm/hr와 14.7hr, 강우재현기간 25년 최대강우특성을 고려할 때 29.2mm/hr와 8.7hr, 강우재현기간 50년 최대강우특성을 고려할 때 39.4mm/hr와 6.5hr로 나타났다. 화강풍화토 0.75m를 포화시키는데, 강우재현기간 2년 최대강우특성을 고려할 때 한계강우강도와 강우지속시간은 4.8mm/hr와 38.9hr로 나타났으며, 강우재현기간 10년 최대강우특성을 고려할 때 24.7mm/hr와 7.5hr, 강우재현기간 25년 최대강우특성을 고려할 때 39.7mm/hr와 4.7hr, 강우재현기간 50년 최대강우특성을 고려할 때 53.3mm/hr와 3.5hr로 나타났다. 이처럼 강우재현기간이 늘어날수록, 포화깊이가 낮을수록 한계강우도가 커지는 것을 알 수 있다. 그러나 포화깊이 0.40m와 0.20m의 일부 강우재현기간에서 해석상으로 한계강우강도를 얻을 수 없었다.

#### 4.1.2 지역별 한계강우강도와 지속시간(대전)

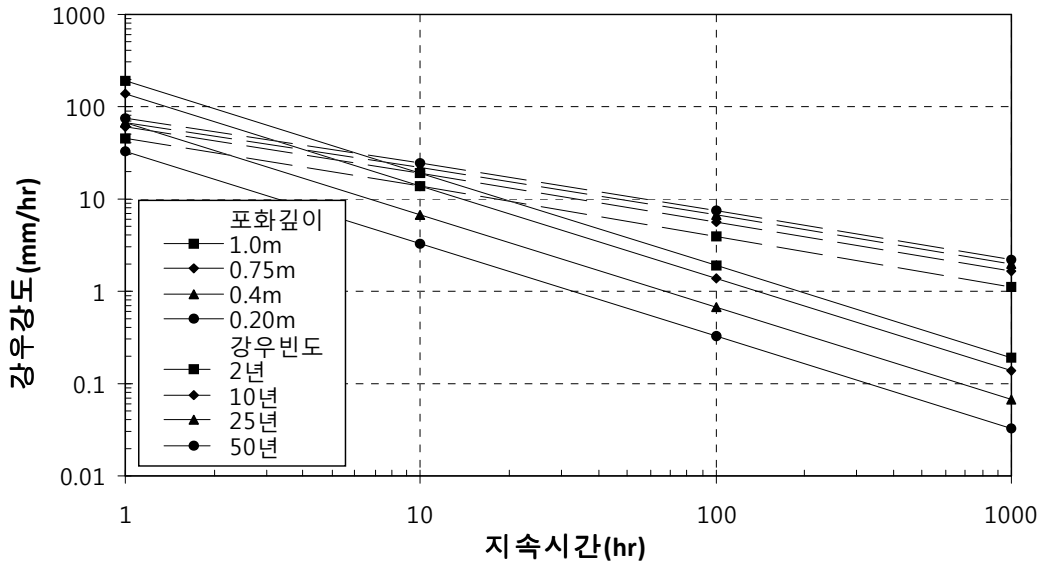


그림 4.4 최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 = 30%)

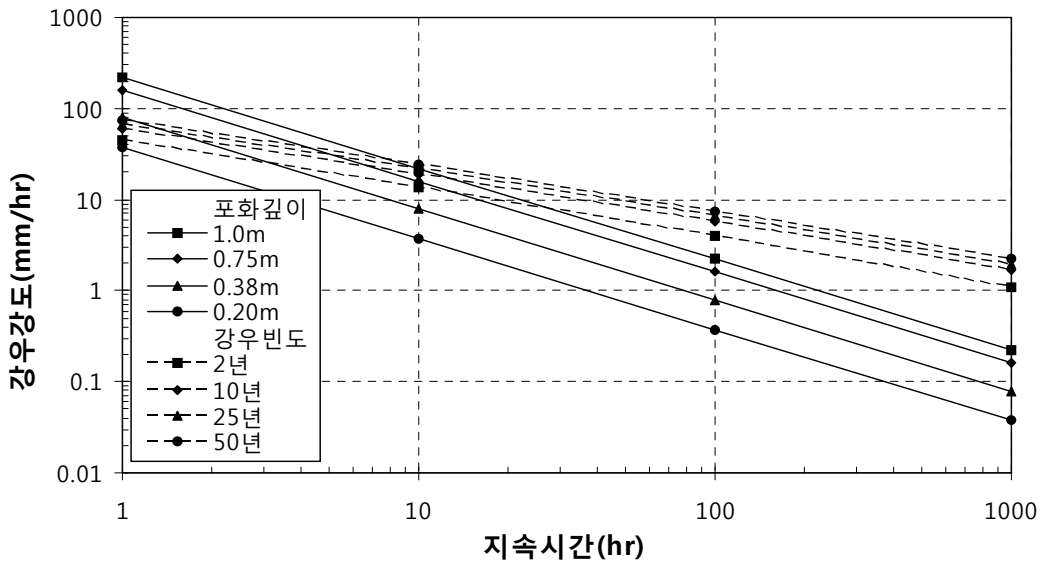


그림 4.5 최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 = 35%)

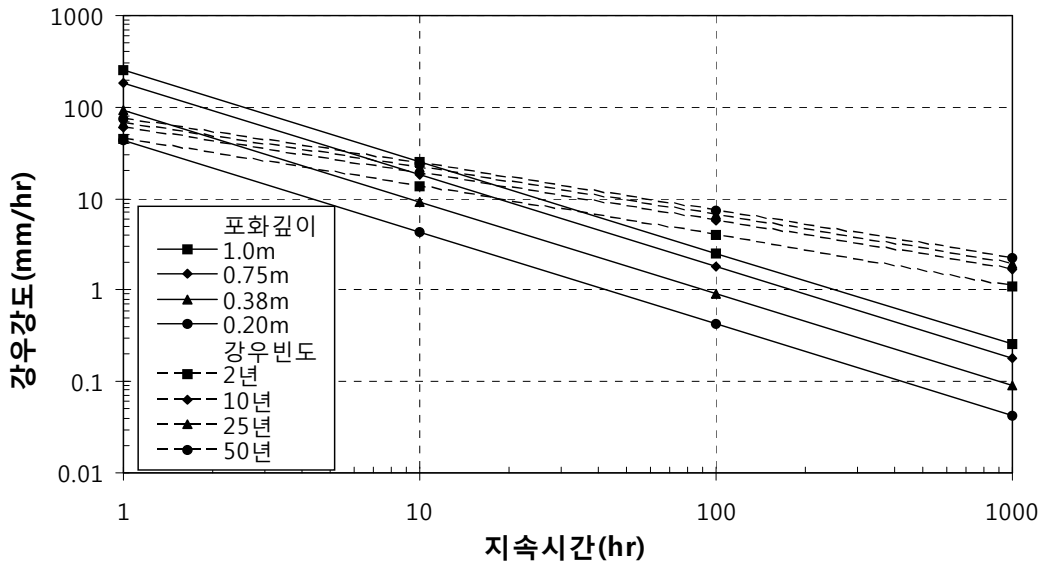


그림 4.6 최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 = 40%)

표 4.2 대전지역의 한계강우강도와 지속시간

구분		50년		25년		10년		2년	
체적 함수비	zw (m)	T (hr)	I (mm/ hr)	T (hr)	I (mm/ hr)	T (hr)	I (mm/ hr)	T (hr)	I (mm/ hr)
$\mu=30\%$	1	5.5	32.95	6.2	28.21	10	19.15	20	9.55
	0.75	3.3	42.34	4	35.09	5.2	26.73	10	13.83
	0.4	-	-	1	67.83	1.4	50.85	2.3	29.62
	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
$\mu=35\%$	1	8.4	26.66	11	21.1	14	16.09	29	7.81
	0.75	4.3	37.21	5.5	29.96	5.2	26.73	7.2	16.45
	0.4	1.2	68.22	1.5	56.28	1.8	45.12	3.2	25.06
	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
$\mu=40\%$	1	10.7	23.6	13.2	19.2	18.0	14.1	37.1	6.8
	0.75	5.7	32.4	6.9	26.7	9.2	20.0	18.3	10.0
	0.4	1.3	65.33	1.6	54.93	2.1	41.65	3.8	22.73
	0.2	-	-	-	-	-	-	1	44.01

대전지역의 경우 화강풍화토 1m를 포화시키는데, 강우재현기간 2년 최대강우특성을 고려할 때 한계강우강도와 강우지속시간은 6.8mm/hr와 37.1hr로 나타났으며, 강우재현기간 10년 최대강우특성을 고려할 때 14.1mm/hr와 18.0hr, 강우재현기간 25년 최대강우특성을 고려할 때 19.2mm/hr와 13.2hr, 강우재현기간 50년 최대강우특성을 고려할 때 23.6mm/hr와 10.7hr로 나타났다. 화강풍화토 0.75m를 포화시키는데, 강우재현기간 2년 최대강우특성을 고려할 때 한계강우강도와 강우지속시간은 10.0mm/hr와 18.3hr로 나타났으며, 강우재현기간 10년 최대강우특성을 고려할 때 20.0mm/hr와 9.2hr, 강우재현기간 25년 최대강우특성을 고려할 때 26.7mm/hr와 6.9hr, 강우재현기간 50년 최대강우특성을 고려할 때 32.4mm/hr와 5.7hr로 나타났다. 이처럼 강우재현기간이 늘어날수록, 포화깊이가 낮을수록 한계강우도가 커지는 것을 알 수 있다. 그러나 포화깊이 0.20m의 일부 강우재현기간에서 해석상으로 한계강우강도를 얻을 수 없었다.



4.1.3 지역별 한계강우강도와 지속시간(부산)

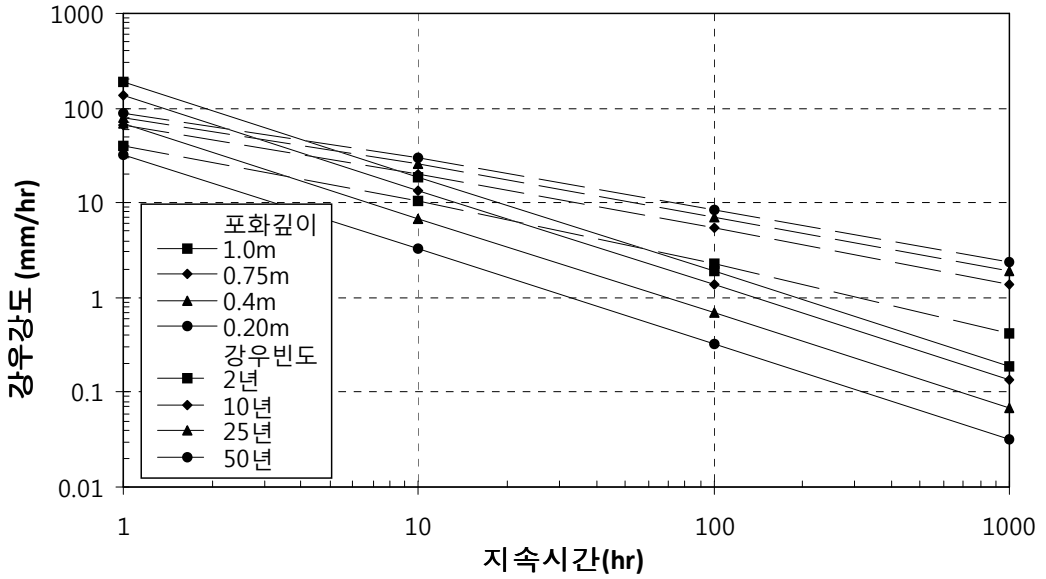


그림 4.7 최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 = 30%)

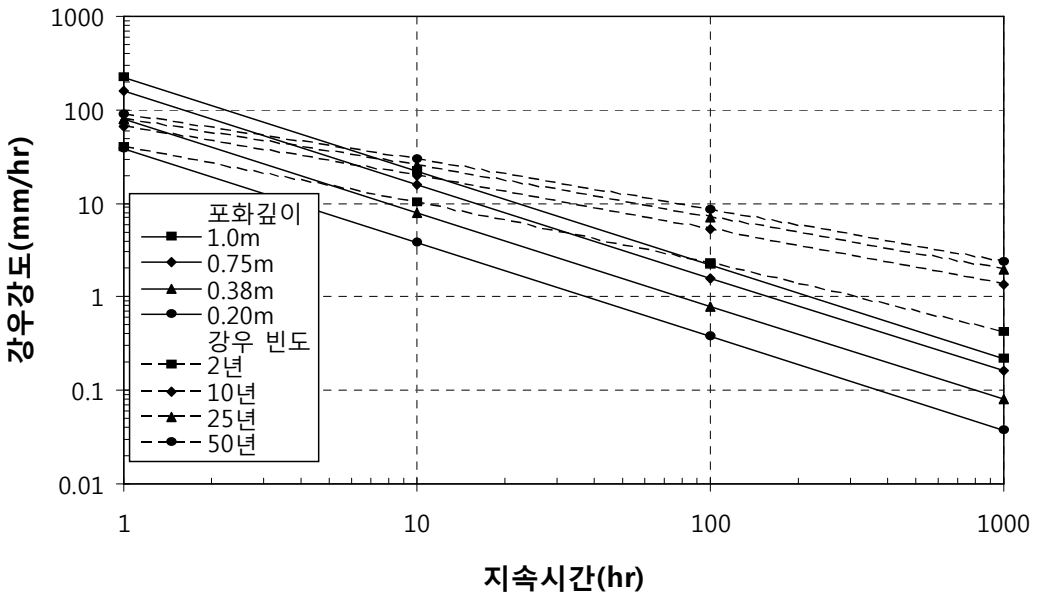


그림 4.8 최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 = 35%)

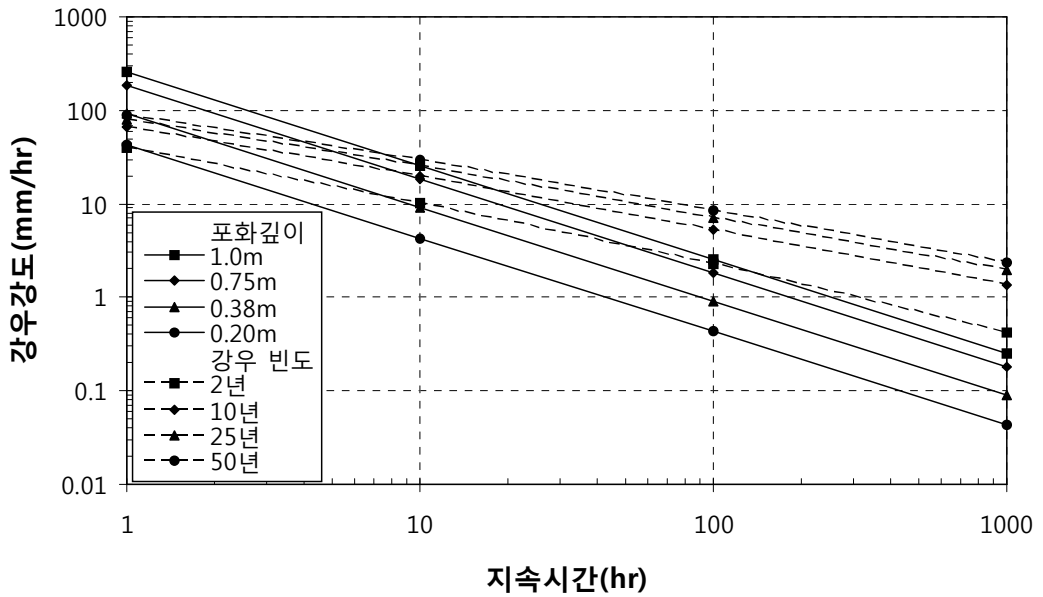


그림 4.9 최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 = 40%)

표 4.3 부산지역의 한계강우강도와 지속시간

구분		50년		25년		10년		2년	
체적 함수비	zw (m)	T (hr)	I (mm/ hr)	T (hr)	I (mm/ hr)	T (hr)	I (mm/ hr)	T (hr)	I (mm/ hr)
	$\mu=30\%$	1	4.2	46.07	5.6	34.67	8.9	21.42	60
0.75		2.3	61.91	2.9	48.66	4.5	31.2	22	6.22
0.4		-	-	-	-	1.1	63.92	3.7	19.13
0.2		-	-	-	-	-	-	-	-
$\mu=35\%$	1	5.8	39.07	7.6	29.47	14	16.6	100	2.26
	0.75	3.1	53.59	4	41.32	6.3	25.96	38	4.34
	0.4	-	-	1	80.33	1.5	55.12	5	15.92
	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
$\mu=40\%$	1	7.4	34.4	10	25.4	17.4	14.7	152.2	1.7
	0.75	5.7	47.2	5.2	35.7	8.3	22.3	53.9	3.4
	0.4	-	-	1.14	75.17	1.68	51.2	6.34	13.61
	0.2	-	-	-	-	-	-	1.11	37.28

부산지역의 경우 화강풍화토 1m를 포화시키는데, 강우재현기간 2년 최대강우특성을 고려할 때 한계강우강도와 강우지속시간은 1.7mm/hr와 152.2hr로 나타났으며, 강우재현기간 10년 최대강우특성을 고려할 때 14.7mm/hr와 17.4hr, 강우재현기간 25년 최대강우특성을 고려할 때 25.4mm/hr와 10.0hr, 강우재현기간 50년 최대강우특성을 고려할 때 34.4mm/hr와 7.4hr로 나타났다. 화강풍화토 0.75m를 포화시키는데, 강우재현기간 2년 최대강우특성을 고려할 때 한계강우강도와 강우지속시간은 3.4mm/hr와 53.9hr로 나타났으며, 강우재현기간 10년 최대강우특성을 고려할 때 22.3mm/hr와 8.3hr, 강우재현기간 25년 최대강우특성을 고려할 때 35.7mm/hr와 5.2hr, 강우재현기간 50년 최대강우특성을 고려할 때 47.2mm/hr와 5.7hr로 나타났다. 이처럼 강우재현기간이 늘어날수록, 포화깊이가 낮을수록 한계강우도가 커지는 것을 알 수 있다. 그러나 포화깊이 0.40m와 0.20m의 일부 강우재현기간에서 해석상으로 한계강우강도를 얻을 수 없었다.

4.1.4 지역별 한계강우강도와 지속시간(목포)

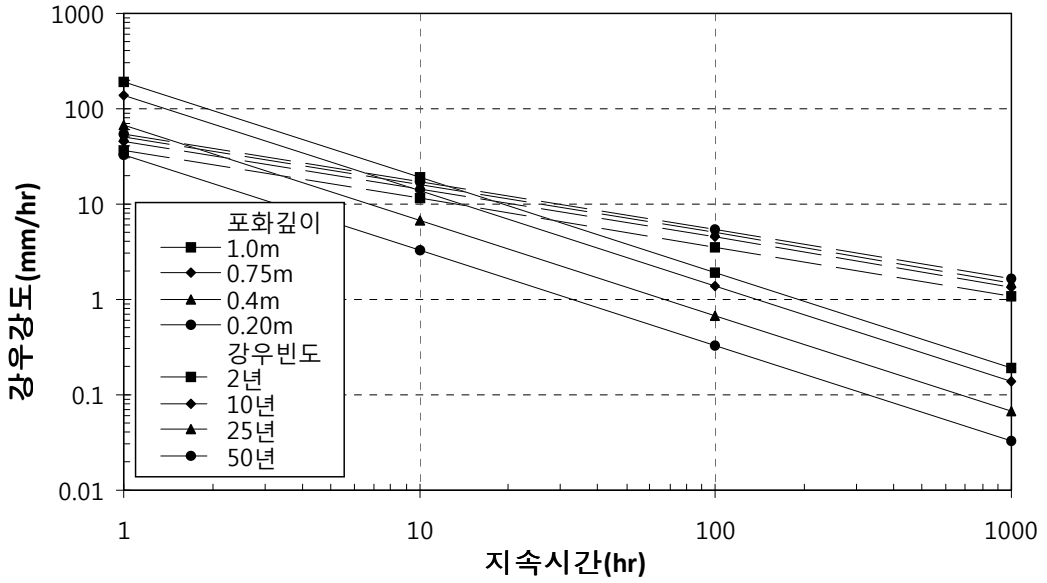


그림 4.10 최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 30%)

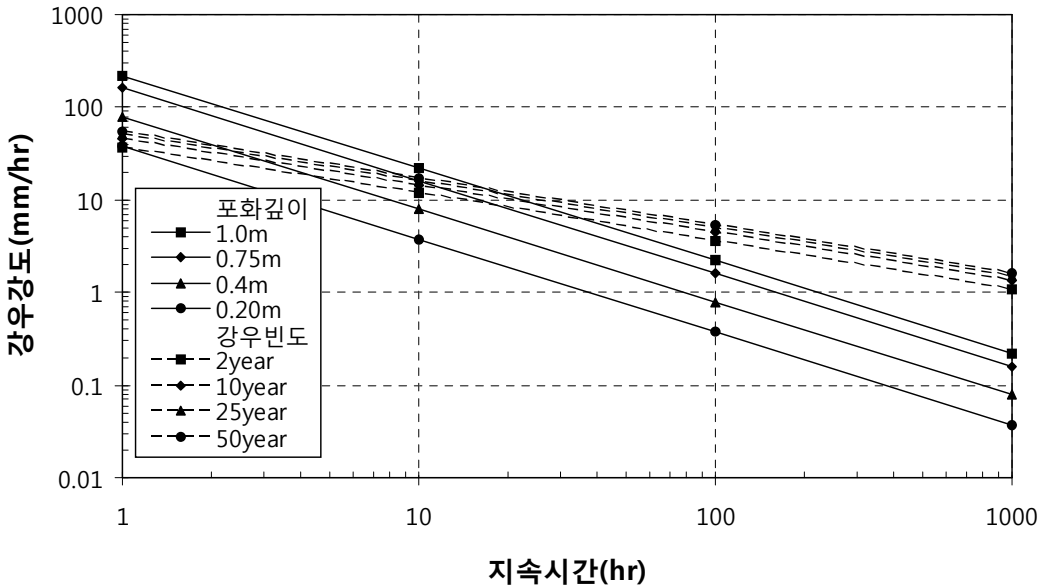


그림 4.11 최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 35%)

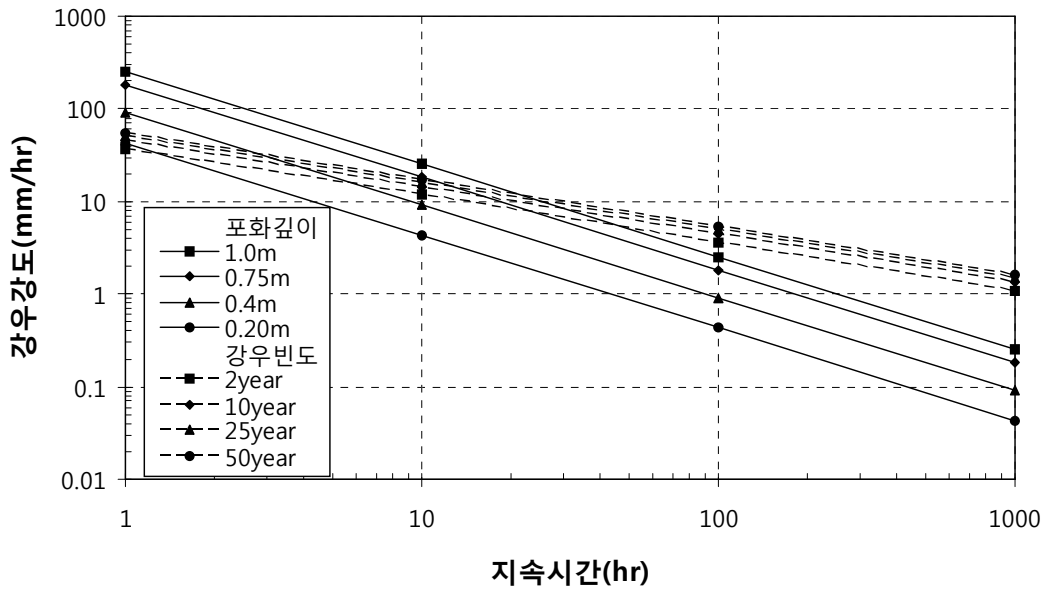


그림 4.12 최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비=40%)

표 4.4 목포지역의 한계강우강도와 지속시간

구분		50년		25년		10년		2년	
체적 함수비	zw (m)	T (hr)	I (mm/ hr)	T (hr)	I (mm/ hr)	T (hr)	I (mm/ hr)	T (hr)	I (mm/ hr)
μ=30 %	1	13	15.11	15	13.07	18	10.74	28	6.92
	0.75	6.4	21.57	7.2	18.92	8.9	15.34	15	9.53
	0.4	1.6	42.85	1.8	37.64	2.3	30.11	3.5	19.87
	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
μ=35 %	1	17	13.19	19	11.6	23	9.48	39	5.83
	0.75	8.5	18.71	10	16.04	13	12.67	19	8.44
	0.4	2.1	37.49	2.6	31.41	3.1	25.98	4.8	16.97
	0.2	-	-	-	-	-	-	1.2	33.64
μ=40 %	1	20.3	12.06	26.2	9.85	32.5	7.95	51	5.1
	0.75	12	15.73	7.5	13.79	18	10.74	26	7.19
	0.4	2.4	35.1	2.9	29.76	3.5	24.46	5.2	16.3
	0.2	-	-	-	-	-	-	0.45	53.81

목포지역의 경우 화강풍화토 1m를 포화시키는데, 강우재현기간 2년 최대강우특성을 고려할 때 한계강우강도와 강우지속시간은 5.1mm/hr와 51.0hr로 나타났으며, 강우재현기간 10년 최대강우특성을 고려할 때 7.95mm/hr와 32.5hr, 강우재현기간 25년 최대강우특성을 고려할 때 9.85mm/hr와 26.2hr, 강우재현기간 50년 최대강우특성을 고려할 때 12.06mm/hr와 20.3hr로 나타났다. 화강풍화토 0.75m를 포화시키는데, 강우재현기간 2년 최대강우특성을 고려할 때 한계강우강도와 강우지속시간은 7.19mm/hr와 26.0hr로 나타났으며, 강우재현기간 10년 최대강우특성을 고려할 때 10.74mm/hr와 18.0hr, 강우재현기간 25년 최대강우특성을 고려할 때 13.79mm/hr와 7.5hr, 강우재현기간 50년 최대강우특성을 고려할 때 15.73mm/hr와 12.0hr로 나타났다. 이처럼 강우재현기간이 늘어날수록, 포화깊이가 낮을수록 한계강우도가 커지는 것을 알 수 있다. 그러나 포화깊이 0.20m의 일부 강우재현기간에서 해석상으로 한계강우강도를 얻을 수 없었다.

#### 4.1.5 지역별 한계강우강도와 지속시간(광주)

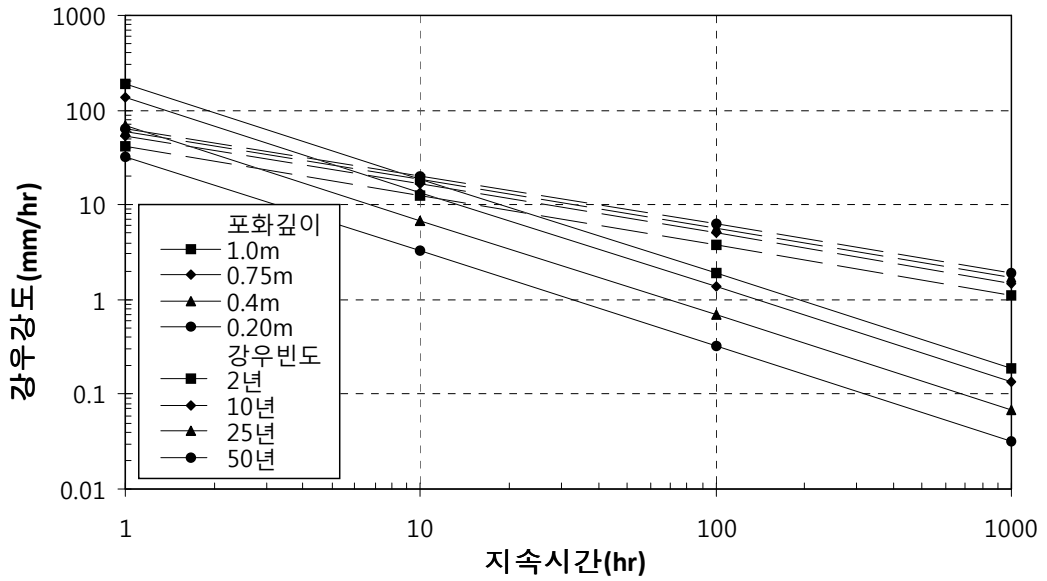


그림 4.13 최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 = 30%)

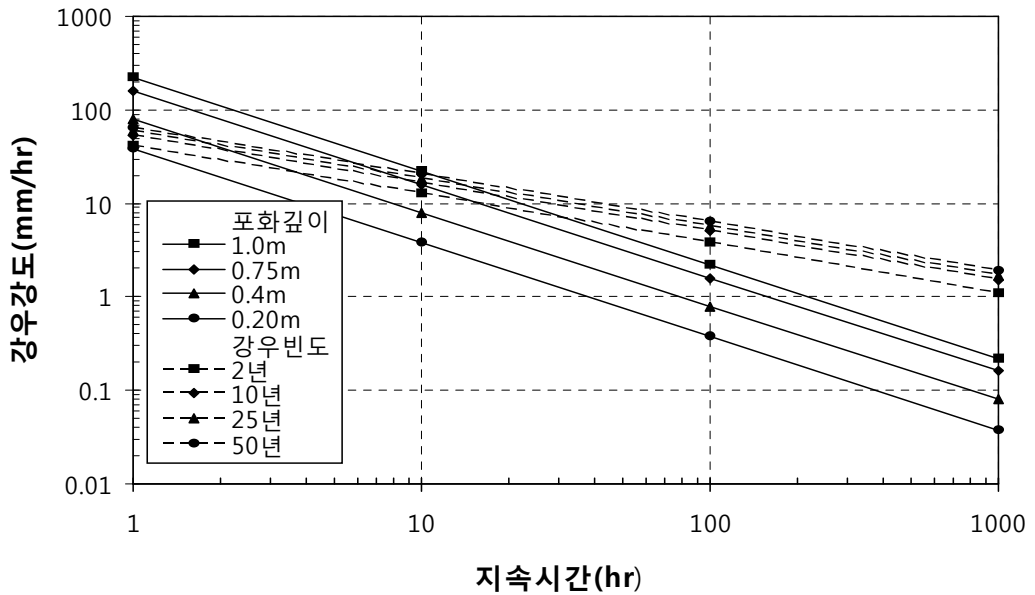


그림 4.14 최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 = 35%)

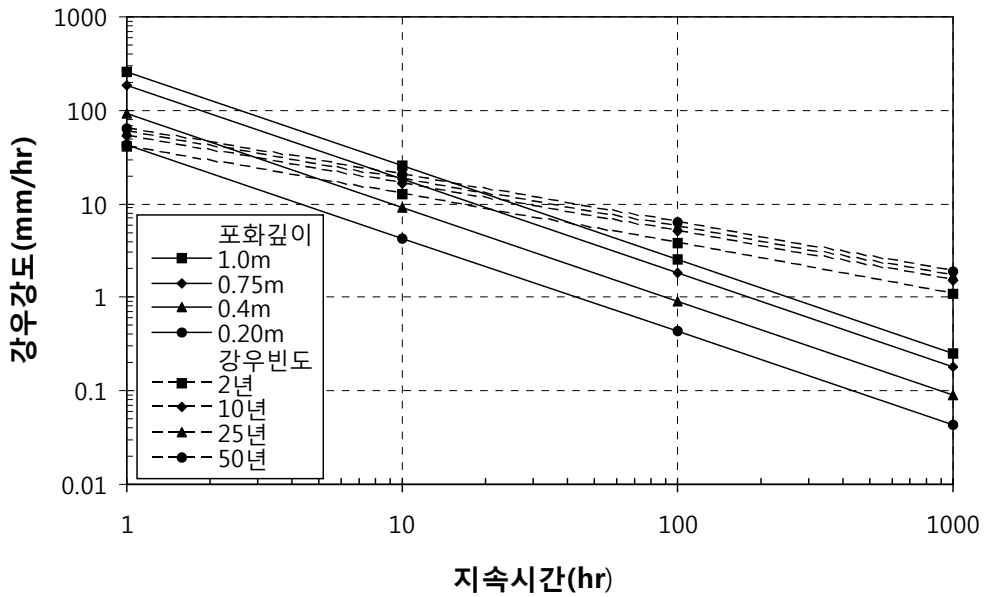


그림 4.15 최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 = 40%)

표 4.5 광주지역의 한계강우강도와 지속시간

구분		50년		25년		10년		2년	
체적 함수비	zw (m)	T (hr)	I (mm/ hr)	T (hr)	I (mm/ hr)	T (hr)	I (mm/ hr)	T (hr)	I (mm/ hr)
μ=30 %	1	8.9	21.61	11	17.82	14	13.9	23	8.23
	0.75	4.6	30.16	5.3	25.8	6.8	20.09	12	11.55
	0.4	1.2	59.03	1.4	50.24	1.7	40.35	2.9	23.89
	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
μ=35 %	1	13	17.83	15	15.21	18	12.22	32	6.92
	0.75	6.1	26.16	7.2	22.1	10	16.51	16	9.94
	0.4	1.6	51.17	1.8	44.34	2.4	33.97	3.9	20.56
	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
μ=40 %	1	16.5	15.79	19	13.48	25	10.32	45	5.79
	0.75	8.2	22.53	10	18.7	14.3	13.75	22.1	8.4
	0.4	1.7	49.65	2.1	41.06	2.9	30.9	4.8	18.5
	0.2	-	-	-	-	-	-	1.15	37.97



광주지역의 경우 화강풍화토 1m를 포화시키는데, 강우재현기간 2년 최대강우특성을 고려할 때 한계강우강도와 강우지속시간은 5.79mm/hr와 45.0hr로 나타났으며, 강우재현기간 10년 최대강우특성을 고려할 때 10.32mm/hr와 25.0hr, 강우재현기간 25년 최대강우특성을 고려할 때 13.48mm/hr와 19.0hr, 강우재현기간 50년 최대강우특성을 고려할 때 15.79mm/hr와 16.5hr로 나타났다. 화강풍화토 0.75m를 포화시키는데, 강우재현기간 2년 최대강우특성을 고려할 때 한계강우강도와 강우지속시간은 8.4mm/hr와 22.1hr로 나타났으며, 강우재현기간 10년 최대강우특성을 고려할 때 13.75mm/hr와 14.3hr, 강우재현기간 25년 최대강우특성을 고려할 때 18.7mm/hr와 10.0hr, 강우재현기간 50년 최대강우특성을 고려할 때 22.53mm/hr와 8.2hr로 나타났다. 이처럼 강우재현기간이 늘어날수록, 포화깊이가 낮을수록 한계강우도가 커지는 것을 알 수 있다. 그러나 포화깊이 0.20m의 일부 강우재현기간에서 해석상으로 한계강우강도를 얻을 수 없었다.

4.1.6 지역별 한계강우강도와 지속시간(여수)

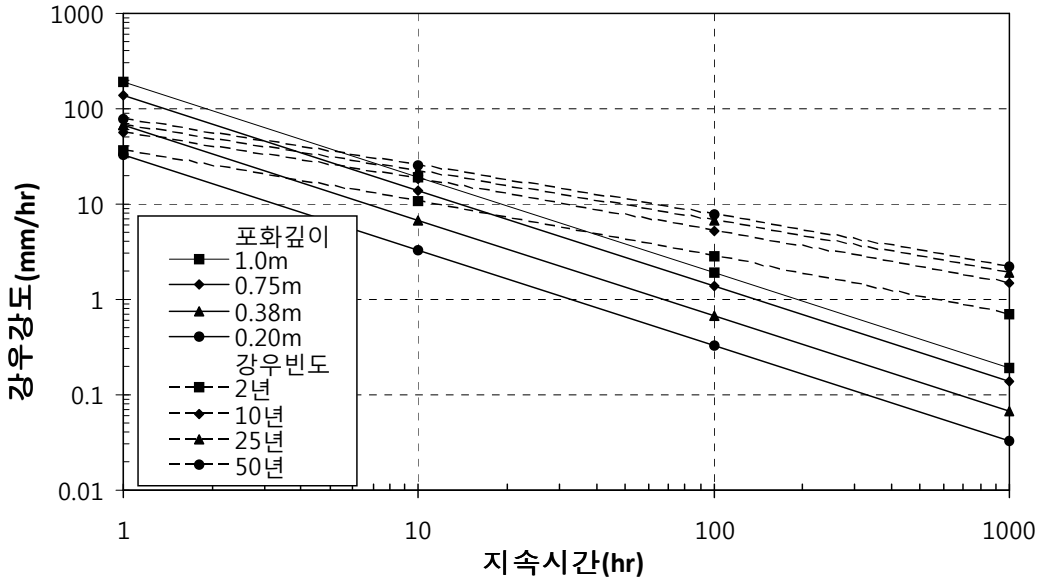


그림 4.16 최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 = 30%)

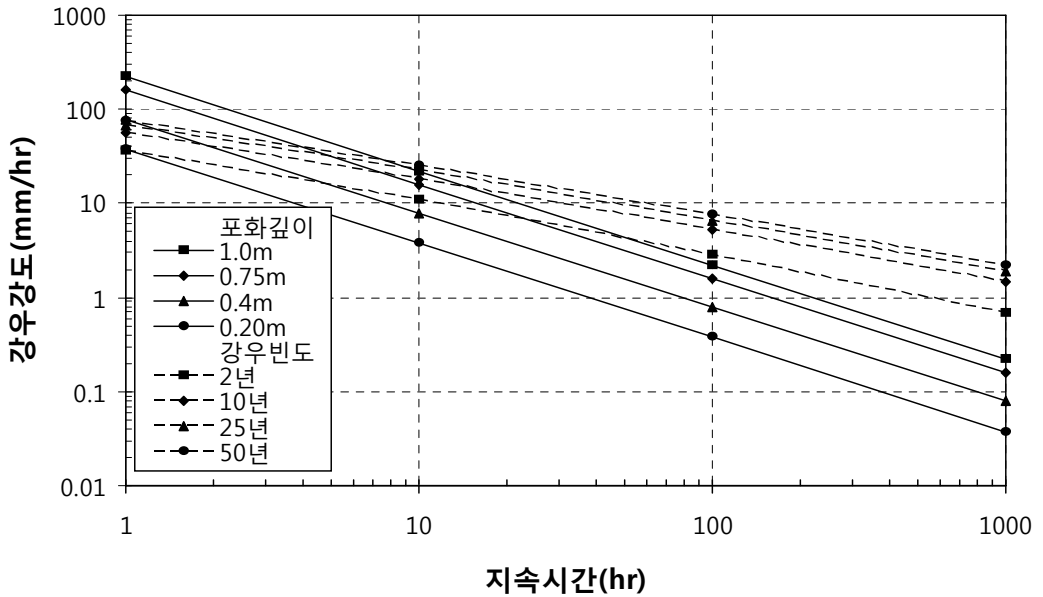


그림 4.17 최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 = 35%)

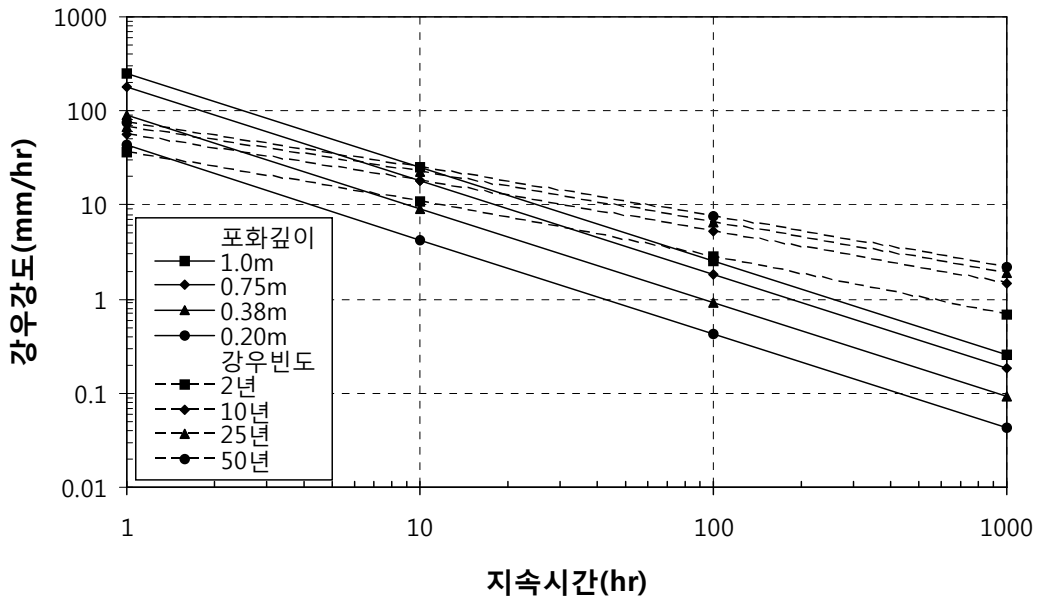


그림 4.18 최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 = 40%)

표 4.6 여수지역의 한계강우강도와 지속시간

구분		50년		25년		10년		2년	
체적 함수비	zw (m)	T (hr)	I (mm/ hr)	T (hr)	I (mm/ hr)	T (hr)	I (mm/ hr)	T (hr)	I (mm/ hr)
$\mu=30\%$	1	5.5	34.36	7	26.87	12	16.57	38	5.06
	0.75	3	46.26	3.8	36.42	5.7	24.39	17	8.05
	0.4	-	-	1	68.01	1.5	47.05	3.7	18.72
	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
$\mu=35\%$	1	7.5	29.53	10	22.41	16	14.24	55	4.07
	0.75	4.1	39.79	5.1	31.49	7.6	21.04	27	6.17
	0.4	1.2	70.58	1.4	58.48	2.1	40.09	5.2	15.59
	0.2	-	-	-	-	-	-	1.2	33.38
$\mu=40\%$	1	10	25.55	14.5	18.5	21	12.32	79	3.28
	0.75	5.3	35.09	7.2	26.49	10	18.24	35.8	5.24
	0.4	1.38	66.32	1.65	54.24	2.35	37.97	6.3	14.04
	0.2	-	-	-	-	-	-	1.5	29.89

여수지역의 경우 화강풍화토 1m를 포화시키는데, 강우재현기간 2년 최대강우특성을 고려할 때 한계강우강도와 강우지속시간은 3.28mm/hr와 79.0hr로 나타났으며, 강우재현기간 10년 최대강우특성을 고려할 때 12.32mm/hr와 21.0hr, 강우재현기간 25년 최대강우특성을 고려할 때 18.5mm/hr와 14.5hr, 강우재현기간 50년 최대강우특성을 고려할 때 25.55mm/hr와 10.0hr로 나타났다. 화강풍화토 0.75m를 포화시키는데, 강우재현기간 2년 최대강우특성을 고려할 때 한계강우강도와 강우지속시간은 5.24mm/hr와 35.8hr로 나타났으며, 강우재현기간 10년 최대강우특성을 고려할 때 18.24mm/hr와 10.0hr, 강우재현기간 25년 최대강우특성을 고려할 때 26.49mm/hr와 7.2hr, 강우재현기간 50년 최대강우특성을 고려할 때 35.09mm/hr와 5.3hr로 나타났다. 이처럼 강우재현기간이 늘어날수록, 포화깊이가 낮을수록 한계강우도가 커지는 것을 알 수 있다. 그러나 포화깊이 0.20m의 일부 강우재현기간에서 해석상으로 한계강우강도를 얻을 수 없었다.

4.1.7 지역별 한계강우강도와 지속시간(속초)

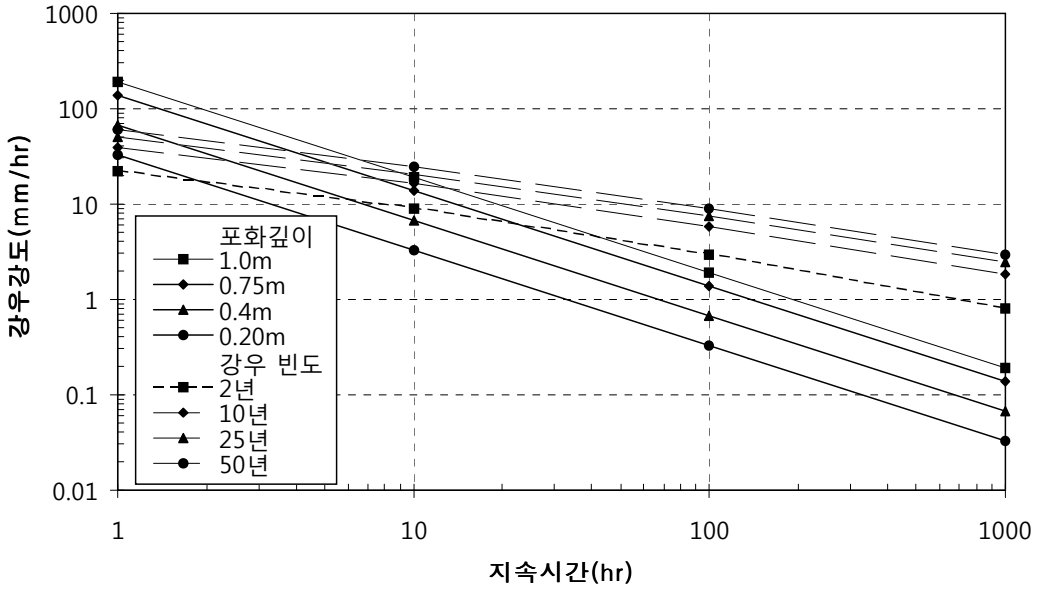


그림 4.19 최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 = 30%)

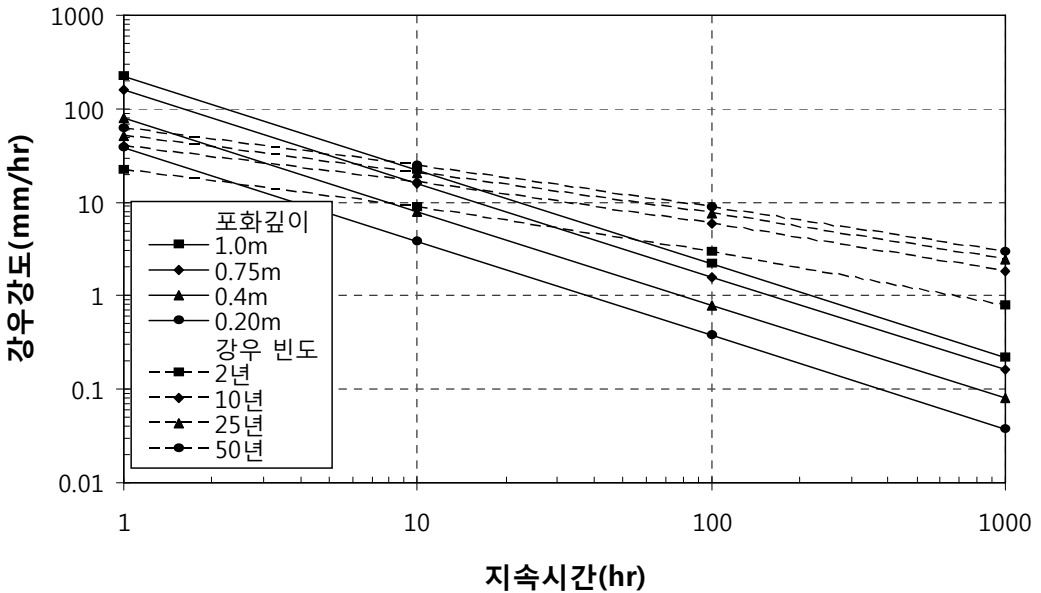


그림 4.20 최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 = 35%)

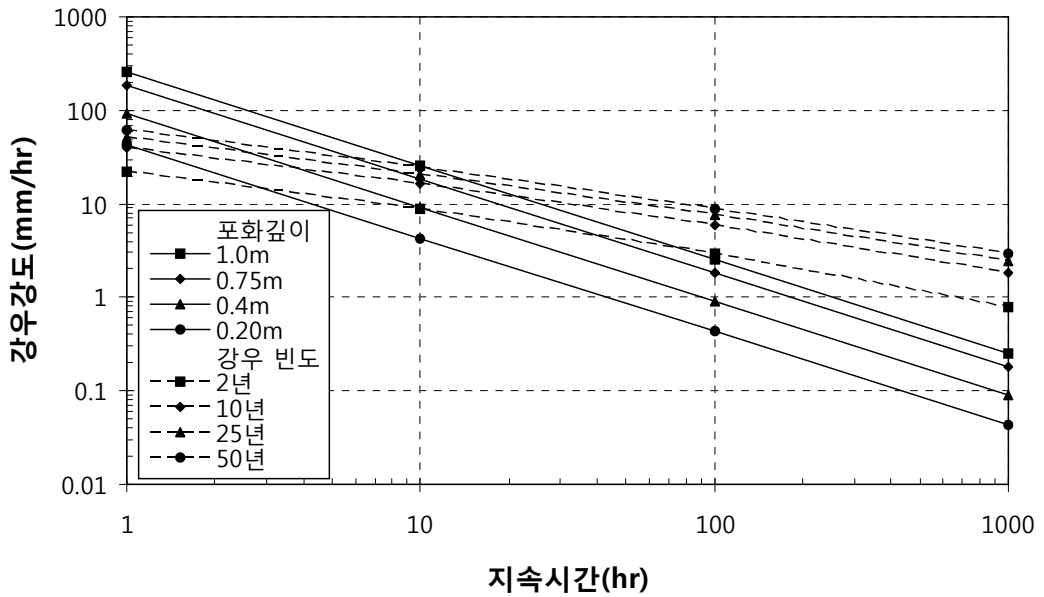


그림 4.21 최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 = 40%)

표 4.7 속초지역의 한계강우강도와 지속시간

구분		50년		25년		10년		2년	
체적 함수비	zw (m)	T (hr)	I (mm/ hr)	T (hr)	I (mm/ hr)	T (hr)	I (mm/ hr)	T (hr)	I (mm/ hr)
$\mu=30\%$	1	6.8	28.43	8.5	22.16	14	14.14	42	4.6
	0.75	4	35.15	5.1	27.19	7.8	17.99	24	6.01
	0.4	1.4	53.14	1.7	41.67	2.6	27.66	6.3	10.85
	0.2	-	-	-	-	-	-	1.8	17.9
$\mu=35\%$	1	8.2	26.35	12	19.25	17	13.03	54	4.06
	0.75	5	32.17	6.5	24.69	10	16.26	30	5.41
	0.4	1.6	50.42	2.1	38.41	3.1	25.85	8.5	9.56
	0.2	-	-	-	-	1	39.66	2.4	16.01
$\mu=40\%$	1	11	23.37	14.5	17.8	21.2	11.86	71.5	3.52
	0.75	6.25	29.41	8.03	22.68	13.02	14.58	41.18	4.64
	0.4	1.75	48.67	2.35	36.78	3.5	24.67	9.87	8.96
	0.2	-	-	-	-	1.24	36.58	2.1	16.86

속초지역의 경우 화강풍화토 1m를 포화시키는데, 강우재현기간 2년 최대강우특성을 고려할 때 한계강우강도와 강우지속시간은 3.52mm/hr와 71.5hr로 나타났으며, 강우재현기간 10년 최대강우특성을 고려할 때 11.86mm/hr와 21.2hr, 강우재현기간 25년 최대강우특성을 고려할 때 17.8mm/hr와 14.5hr, 강우재현기간 50년 최대강우특성을 고려할 때 23.37mm/hr와 11.0hr로 나타났다. 화강풍화토 0.75m를 포화시키는데, 강우재현기간 2년 최대강우특성을 고려할 때 한계강우강도와 강우지속시간은 4.64mm/hr와 41.18hr로 나타났으며, 강우재현기간 10년 최대강우특성을 고려할 때 14.58mm/hr와 13.02hr, 강우재현기간 25년 최대강우특성을 고려할 때 22.68mm/hr와 8.03hr, 강우재현기간 50년 최대강우특성을 고려할 때 29.41mm/hr와 6.25hr로 나타났다. 이처럼 강우재현기간이 늘어날수록, 포화깊이가 낮을수록 한계강우도가 커지는 것을 알 수 있다. 그러나 포화깊이 0.20m의 일부 강우재현기간에서 해석상으로 한계강우강도를 얻을 수 없었다.

#### 4.1.8 지역별 한계강우강도와 지속시간(전주)

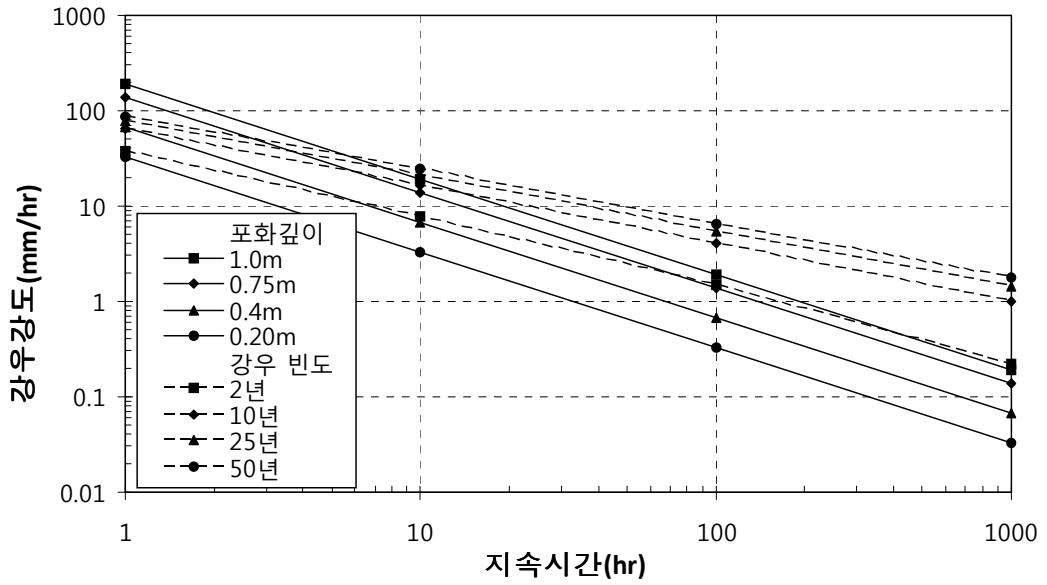


그림 4.22 최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 = 30%)

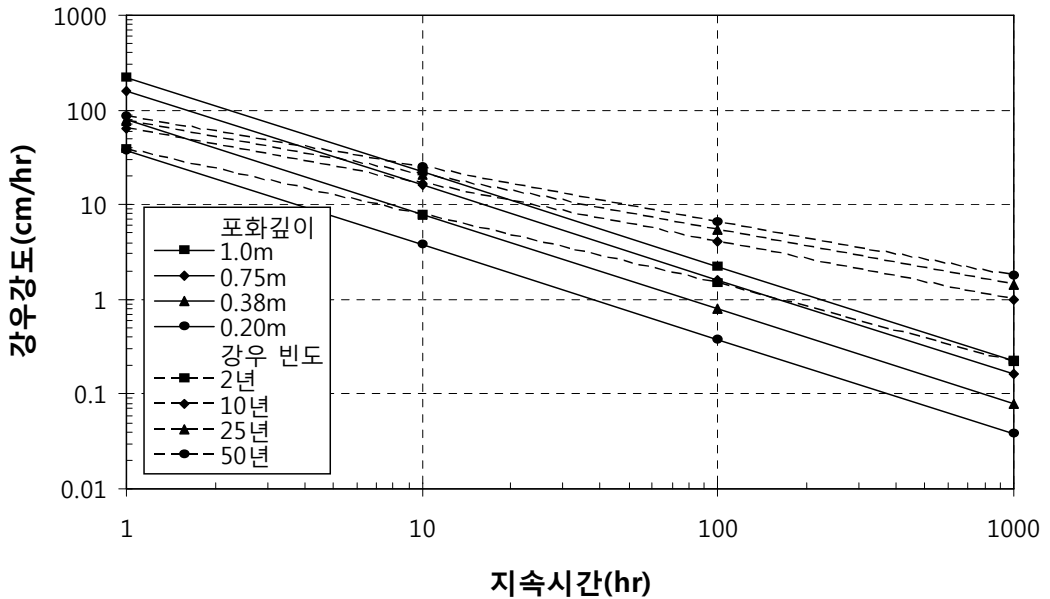


그림 4.23 최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 = 35%)



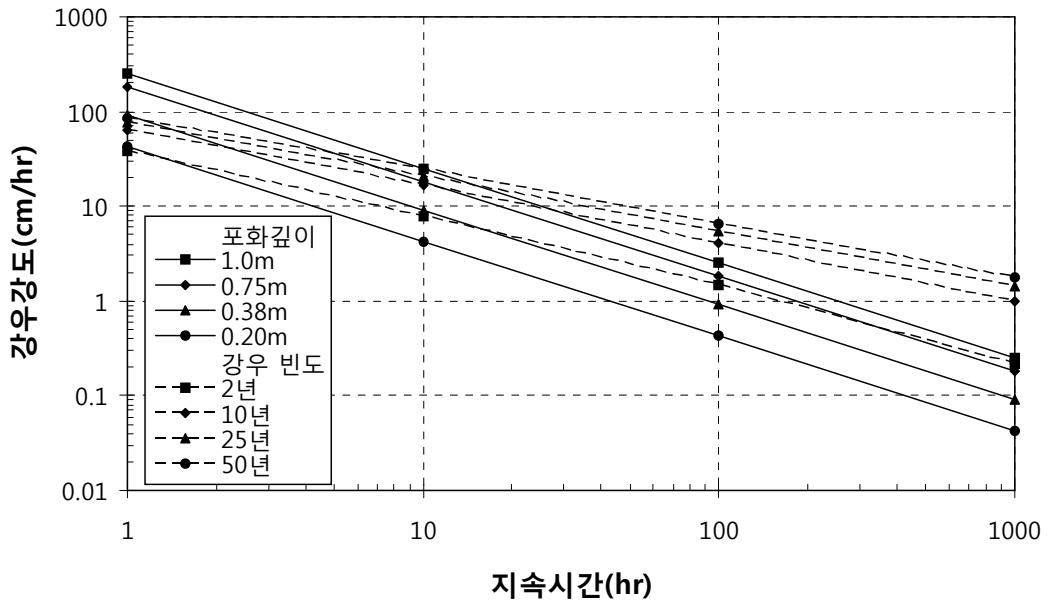


그림 4.24 최소강우강도와 최대강우강도(체적함수비 = 40%)

표 4.8 전주지역의 한계강우강도와 지속시간

구분		50년		25년		10년		2년	
체적 함수비	zw (m)	T (hr)	I (mm/ hr)	T (hr)	I (mm/ hr)	T (hr)	I (mm/ hr)	T (hr)	I (mm/ hr)
$\mu=30\%$	1	5.7	33.76	7.9	24.23	15	12.83	430	0.47
	0.75	2.8	50.13	3.8	37.03	6.3	21.78	78	1.77
	0.4	-	-	-	-	1.2	58.35	6.3	10.8
	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-
$\mu=35\%$	1	8.2	27.47	13	18.1	22	10.16	1000	0.22
	0.75	3.9	41.76	5.2	30.9	9.1	17.4	170	0.98
	0.4	0	0	1.2	70.14	1.7	47.78	10	7.79
	0.2	0	0	0	0	0	0	1	38.51
$\mu=40\%$	1	30	13.09	42.5	9.05	89.9	4.32	-	-
	0.75	15.2	19.32	22.3	13.19	31	8.24	-	-
	0.4	2.75	50.62	3.27	40.36	5.92	22.62	61.5	2.11
	0.2	-	-	-	-	1.24	57.28	5.57	11.78

전주지역의 경우 화강풍화토 1m를 포화시키는데, 강우재현기간 2년 최대강우특성을 고려할 때 한계강우강도와 강우지속시간은 구할수없었고, 강우재현기간 10년 최대강우특성을 고려할 때 4.32mm/hr와 89.9hr, 강우재현기간 25년 최대강우특성을 고려할 때 18.5mm/hr와 14.5hr, 강우재현기간 50년 최대강우특성을 고려할 때 13.09mm/hr와 30hr로 나타났다. 화강풍화토 0.75m를 포화시키는데, 강우재현기간 2년 최대강우특성을 고려할 때 한계강우강도와 강우지속시간은 구할수없었고, 강우재현기간 10년 최대강우특성을 고려할 때 8.24mm/hr와 31.0hr, 강우재현기간 25년 최대강우특성을 고려할 때 13.19mm/hr와 22.3hr, 강우재현기간 50년 최대강우특성을 고려할 때 19.32mm/hr와 15.2hr로 나타났다. 이처럼 강우재현기간이 늘어날수록, 포화깊이가 낮을수록 한계강우도가 커지는 것을 알 수 있다. 그러나 포화깊이 0.20m의 일부 강우재현기간에서 해석상으로 한계강우강도를 얻을 수 없었다

## 4.2 침투깊이에 따른 한계투수계수

Pradel 등(1993)은 그림 2.5에서와 같이 최대강우강도와 최소강도가 교차하는 점 P를 한계강우강도로 정의하고 이에 상응하는 투수계수를 한계투수계수로 정의했다. 표 4.1~표 4.8의 한계강우강도와 강우지속시간의 결과를 식(2.23)에 적용하여 한계투수계수를 산정하였다. 산정결과 한계투수계수의 범위를 표 4.9~표 4.17에 나타내었으며 또한, 포화깊이에 따라 지역별 한계투수계수의 변화관계를 그림 4.25~그림 4.33에 나타내었다.

대표적으로 각 지역의 강우특성을 고려한 포화깊이( $z_w$ ) 1.0m일 때 한계투수계수의 변화관계를 나타낸 표 3.7과 그림 3.7을 살펴보면, 강우재현기간이 2년인 경우 한계투수계수의 크기는 대전지역이 최대로 나타났으며 다음으로 광주, 목포, 여수, 서울, 부산지역 순으로 나타나고 있다. 이 외의 강우재현기간에서의 평균한계투수계수는 서울지역이 최대로 나타났으며 다음으로 부산, 대전, 여수, 광주, 목포지역 순으로 나타났다. 또한, 포화깊이( $z_w$ ) 0.75m와 0.40m에서도 유사한 경향을 보였으나 0.20m에서는 강우재현기간 2년 외의 경우는 한계강우강도와 강우지속시간을 산정할 수 없어 한계투수계수를 얻지 못하였다.

#### 4.2.1 체적함수비(30%)의 변화에 따른 한계투수계수

체적함수비 30%와 모관흡수력 80cm에 따른 한계투수계수의 변화를 표 4.9~4.11로 나타냈으며, 이를 그림 4.25~4.28로 나타낸 것이다.

표 4.9 지역별 한계투수계수 [ $\mu = 30\%$ ,  $z_w = 1.00m$ ]

지역	서울	대전	부산	목포	광주	여수	속초	전주
강우빈도								
50년	7.90E-04	5.08E-04	7.11E-04	2.33E-04	3.33E-04	5.30E-04	4.39E-04	5.52E-04
25년	6.00E-04	4.35E-04	5.35E-04	2.02E-04	2.75E-04	4.15E-04	3.42E-04	3.96E-04
10년	3.75E-04	2.96E-04	3.31E-04	1.66E-04	2.15E-04	2.56E-04	2.18E-04	2.10E-04
2년	7.21E-05	1.47E-04	4.94E-05	1.07E-04	1.27E-04	7.81E-05	7.10E-05	7.68E-05

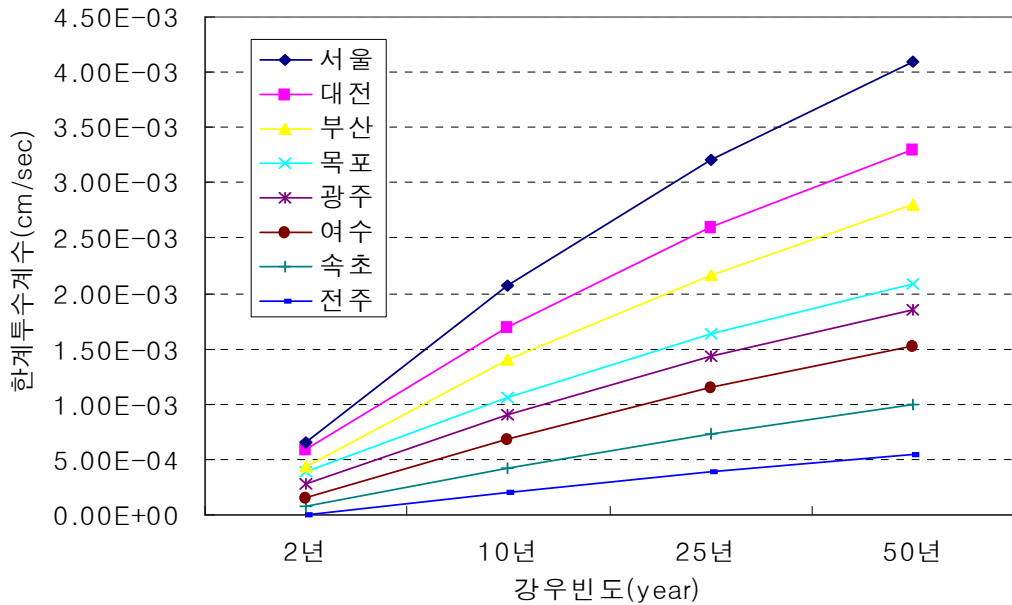


그림 4.25 지역별 재현기간에 따른 한계투수계수 [ $\mu = 30\%$ ,  $z_w = 1.00m$ ]

표 4.10 지역별 한계투수계수 [ $\mu = 30\%$ ,  $z_w = 0.75m$ ]

지역	서울	대전	부산	목포	광주	여수	속초	전주
강우빈도								
50년	9.34 E-04	5.69 E-04	8.32 E-04	2.90 E-04	4.05E -04	6.22 E-04	4.72E -04	7.20E -04
25년	6.87 E-04	4.72 E-04	6.54 E-04	2.54 E-04	3.47E -04	4.90 E-04	3.65E -04	5.32E -04
10년	4.39 E-04	3.59 E-04	4.19 E-04	2.06 E-04	2.70E -04	3.28 E-04	2.42E -04	3.13E -04
2년	1.03 E-04	1.86 E-04	8.36 E-05	1.28 E-04	1.55E -04	1.08 E-04	8.08E -05	2.54E -05

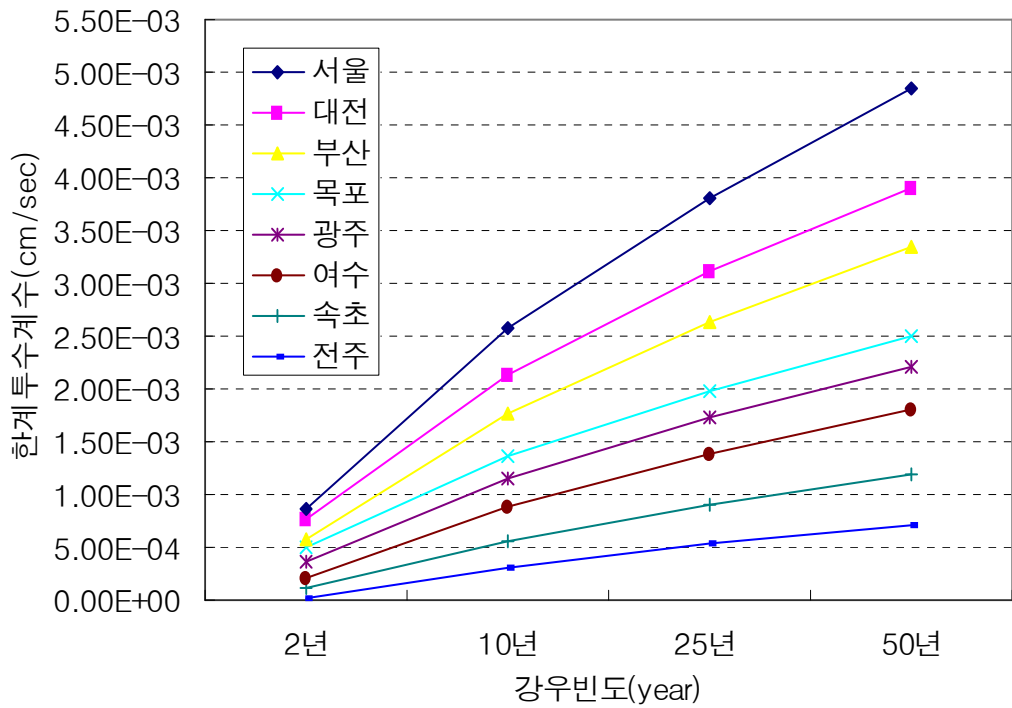


그림 4.26 지역별 재현기간에 따른 한계투수계수 [ $\mu = 30\%$ ,  $z_w = 0.75m$ ]

표 4.11 지역별 한계투수계수 [ $\mu = 30\%$ ,  $z_w = 0.4m$ ]

지역	서울	대전	부산	목포	광주	여수	속초	전주
강우빈도								
50년	-	-	-	3.97E-04	5.47E-04	-	4.92E-04	-
25년	-	6.28E-04	-	3.49E-04	4.65E-04	6.30E-04	3.86E-04	-
10년	5.62E-04	4.71E-04	5.92E-04	2.79E-04	3.74E-04	4.36E-04	2.56E-04	5.89E-04
2년	1.77E-04	2.74E-04	1.77E-04	1.84E-04	2.21E-04	1.73E-04	1.00E-04	1.09E-04

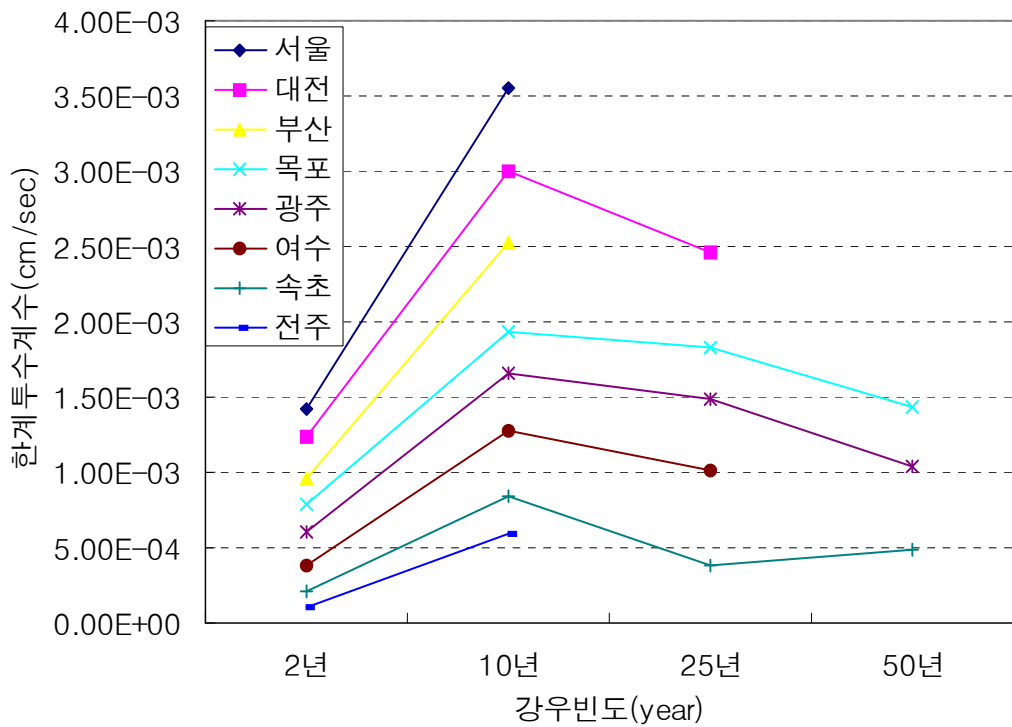


그림 4.27 지역별 재현기간에 따른 한계투수계수 [ $\mu = 30\%$ ,  $z_w = 0.4m$ ]

본 연구 대상지역에서 강우재현기간이 50년일 때 포화깊이( $z_w$ )의 변화 1.00m, 0.75m, 0.40m에 대해 한계투수계수의 최대치가 각각  $7.90E-04\text{cm/sec}$ ,  $9.34E-04\text{cm/sec}$ ,  $5.47E-04\text{cm/sec}$ 로 나타나고 있다. 강우재현기간이 25년일 때 포화깊이( $z_w$ )의 변화 1.00m, 0.75m, 0.40m에 대해 한계투수계수의 최대치가 각각  $6.00E-04\text{cm/sec}$ ,  $6.87E-04\text{cm/sec}$ ,  $6.30E-04\text{cm/sec}$ 로 나타나고 있다. 강우재현기간이 10년일 때 포화깊이( $z_w$ )의 변화 1.00m, 0.75m, 0.40m에 대해 한계투수계수의 최대치가 각각  $3.75E-04\text{cm/sec}$ ,  $4.39E-04\text{cm/sec}$ ,  $5.92E-04\text{cm/sec}$ 로 나타나고 있다. 강우재현기간이 2년일 때 포화깊이( $z_w$ )의 변화 1.00m, 0.75m, 0.40m에 대해 한계투수계수의 최대치가 각각  $7.21E-05\text{cm/sec}$ ,  $1.86E-04\text{cm/sec}$ ,  $2.74E-04\text{cm/sec}$ 로 나타났다. 포화깊이 0.2m에서는 한계투수계수값을 거의 구할수 없었다.

### 4.2.2 체적함수비(35%)의 변화에 따른 한계투수계수

체적함수비 35%와 모관흡수력 80cm에 따른 한계투수계수의 변화를 표 4.12~4.13로 나타냈으며, 이를 그림 4.28~4.30로 나타낸 것이다.

표 4.12 지역별 한계투수계수 [ $\mu = 35\%$ ,  $z_w = 1.00m$ ]

지역 강우빈도	서울	대전	부산	목포	광주	여수	속초	전주
50년	6.91E-04	4.11E-04	6.03E-04	2.04E-04	2.75E-04	4.56E-04	4.07E-04	4.24E-04
25년	5.18E-04	3.26E-04	4.55E-04	1.79E-04	2.35E-04	3.46E-04	2.97E-04	2.79E-04
10년	2.98E-04	2.48E-04	2.56E-04	1.46E-04	1.89E-04	2.20E-04	2.01E-04	1.57E-04
2년	5.62E-05	1.21E-04	3.49E-05	9.00E-05	1.07E-04	6.28E-05	6.27E-05	3.40E-05

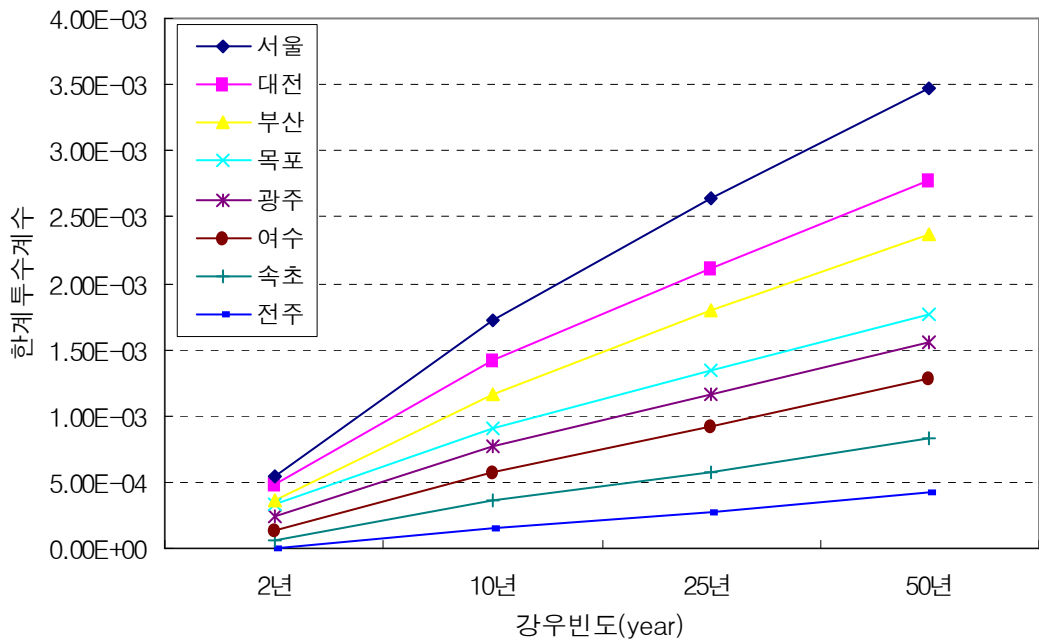


그림 4.28 지역별 재현기간에 따른 한계투수계수 [ $\mu = 35\%$ ,  $z_w = 1.00m$ ]



표 4.13 지역별 한계투수계수 [ $\mu = 35\%$ ,  $z_w = 0.75m$ ]

지역 강우빈도	서울	대전	부산	목포	광주	여수	속초	전주
50년	7.97E-04	5.00E-04	7.20E-04	2.51E-04	3.52E-04	5.35E-04	4.32E-04	5.61E-04
25년	6.08E-04	4.03E-04	5.55E-04	2.16E-04	2.97E-04	4.23E-04	3.32E-04	4.15E-04
10년	3.78E-04	3.59E-04	3.49E-04	1.70E-04	2.22E-04	2.83E-04	2.19E-04	2.34E-04
2년	7.92E-05	2.21E-04	5.83E-05	1.13E-04	1.34E-04	8.29E-05	7.27E-05	1.32E-04

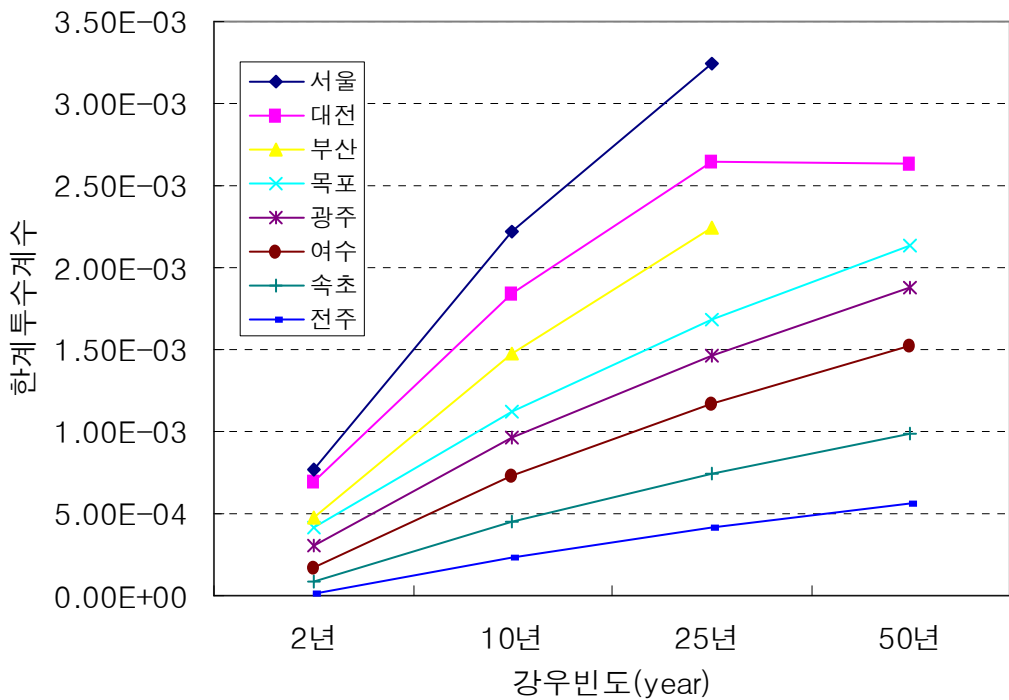


그림 4.29 지역별 재현기간에 따른 한계투수계수 [ $\mu = 35\%$ ,  $z_w = 0.75m$ ]

표 4.14 지역별 한계투수계수 [ $\mu = 35\%$ ,  $z_w = 0.4m$ ]

지역 강우빈도	서울	대전	부산	목포	광주	여수	속초	전주
50년	0.00E +00	6.32E -04	0.00E +00	3.47E -04	4.74E -04	6.54E -04	4.67E -04	0.00E +00
25년	7.66E -04	5.21E -04	7.44E -04	2.91E -04	4.11E -04	5.41E -04	3.56E -04	6.49E -04
10년	4.91E -04	4.18E -04	5.10E -04	2.41E -04	3.15E -04	3.71E -04	2.39E -04	4.42E -04
2년	1.47E -04	2.32E -04	1.47E -04	1.57E -04	1.90E -04	1.44E -04	8.85E -05	7.21E -05

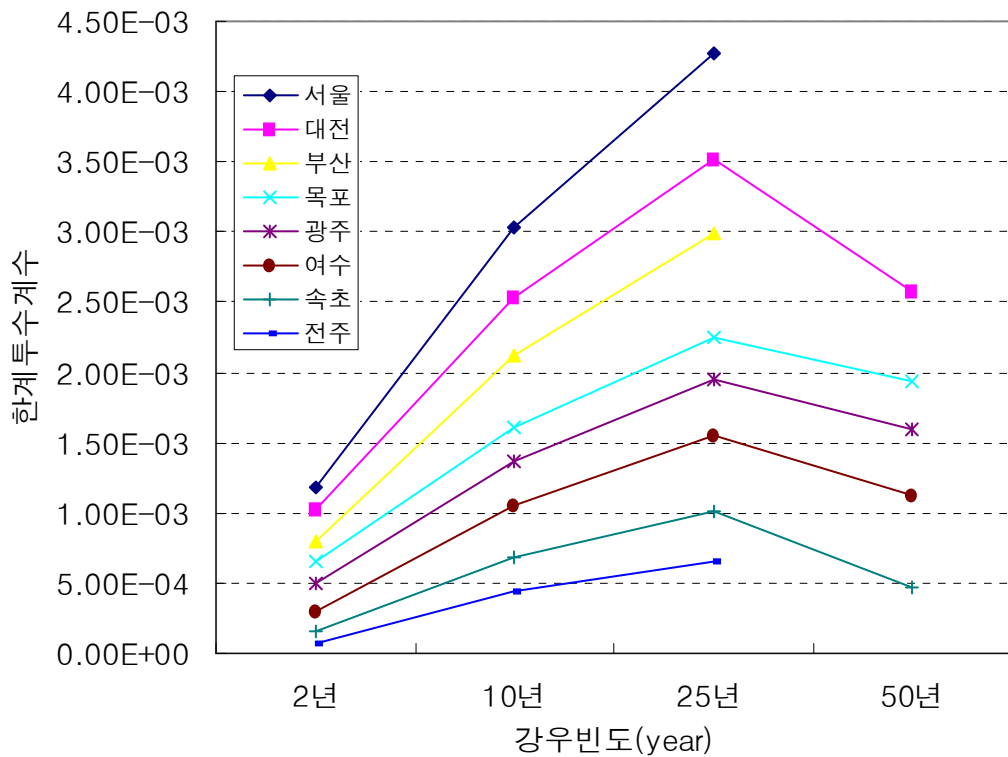


그림 4.30 지역별 재현기간에 따른 한계투수계수 [ $\mu = 35\%$ ,  $z_w = 0.4m$ ]

본 연구 대상지역에서 강우재현기간이 50년일 때 포화깊이( $z_w$ )의 변화 1.00m, 0.75m, 0.40m에 대해 한계투수계수의 최대치가 각각  $6.91E-04\text{cm/sec}$ ,  $7.97E-04\text{cm/sec}$ ,  $6.54E-04\text{cm/sec}$ 로 나타나고 있다. 강우재현기간이 25년일 때 포화깊이( $z_w$ )의 변화 1.00m, 0.75m, 0.40m에 대해 한계투수계수의 최대치가 각각  $5.18E-04\text{cm/sec}$ ,  $6.08E-04\text{cm/sec}$ ,  $7.66E-04\text{cm/sec}$ 로 나타나고 있다. 강우재현기간이 10년일 때 포화깊이( $z_w$ )의 변화 1.00m, 0.75m, 0.40m에 대해 한계투수계수의 최대치가 각각  $2.98E-04\text{cm/sec}$ ,  $3.78E-04\text{cm/sec}$ ,  $4.91E-04\text{cm/sec}$ 로 나타나고 있다. 강우재현기간이 2년일 때 포화깊이( $z_w$ )의 변화 1.00m, 0.75m, 0.40m에 대해 한계투수계수의 최대치가 각각  $1.21E-04\text{cm/sec}$ ,  $2.21E-04\text{cm/sec}$ ,  $2.32E-04\text{cm/sec}$ 로 나타났다. 포화깊이 0.2m에서는 한계투수계수값을 거의 구할수 없었다.

### 4.2.3 체적함수비(40%)의 변화에 따른 한계투수계수

체적함수비 40%와 모관흡수력 80cm에 따른 한계투수계수의 변화를 표 4.15~4.17로 나타냈으며, 이를 그림 4.23~4.28로 나타낸 것이다.

표 4.15 지역별 한계투수계수 [ $\mu = 40\%$ ,  $z_w = 1.00m$ ]

지역 강우빈도	서울	대전	부산	목포	광주	여수	속초	전주
50년	6.08E-04	3.64E-04	5.31E-04	1.86E-04	2.44E-04	3.94E-04	3.61E-04	2.02E-04
25년	4.51E-04	2.97E-04	3.92E-04	1.52E-04	2.08E-04	2.85E-04	2.75E-04	1.40E-04
10년	2.68E-04	2.18E-04	2.27E-04	1.23E-04	1.59E-04	1.90E-04	1.83E-04	6.67E-05
2년	4.40E-05	1.05E-04	2.61E-05	7.82E-05	8.94E-05	5.06E-05	5.43E-05	—

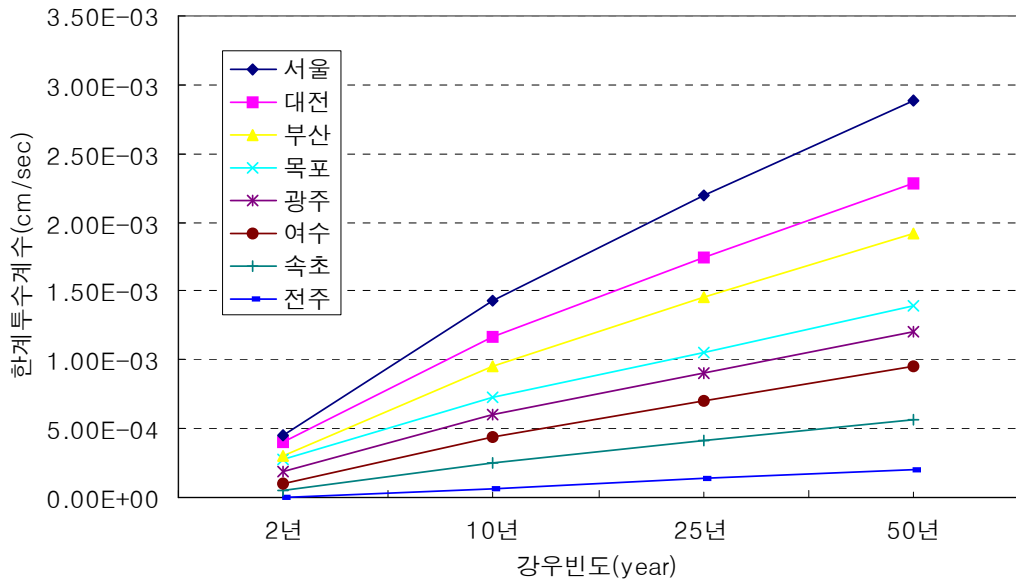


그림 4.31 지역별 재현기간에 따른 한계투수계수 [ $\mu = 40\%$ ,  $z_w = 1.00m$ ]

표 4.16 지역별 한계투수계수 [ $\mu = 40\%$ ,  $z_w = 0.75m$ ]

지역 강우빈도	서울	대전	부산	목포	광주	여수	속초	전주
50년	-	6.05E-04	-	3.14E-04	4.60E-04	6.10E-04	4.46E-04	4.64E-04
25년	7.34E-04	5.09E-04	7.13E-04	2.66E-04	3.80E-04	4.95E-04	3.38E-04	3.72E-04
10년	4.77E-04	3.86E-04	4.80E-04	2.19E-04	2.86E-04	3.48E-04	2.28E-04	2.10E-04
2년	1.34E-04	2.13E-04	1.28E-04	1.46E-04	1.71E-04	1.30E-04	8.29E-05	1.95E-05

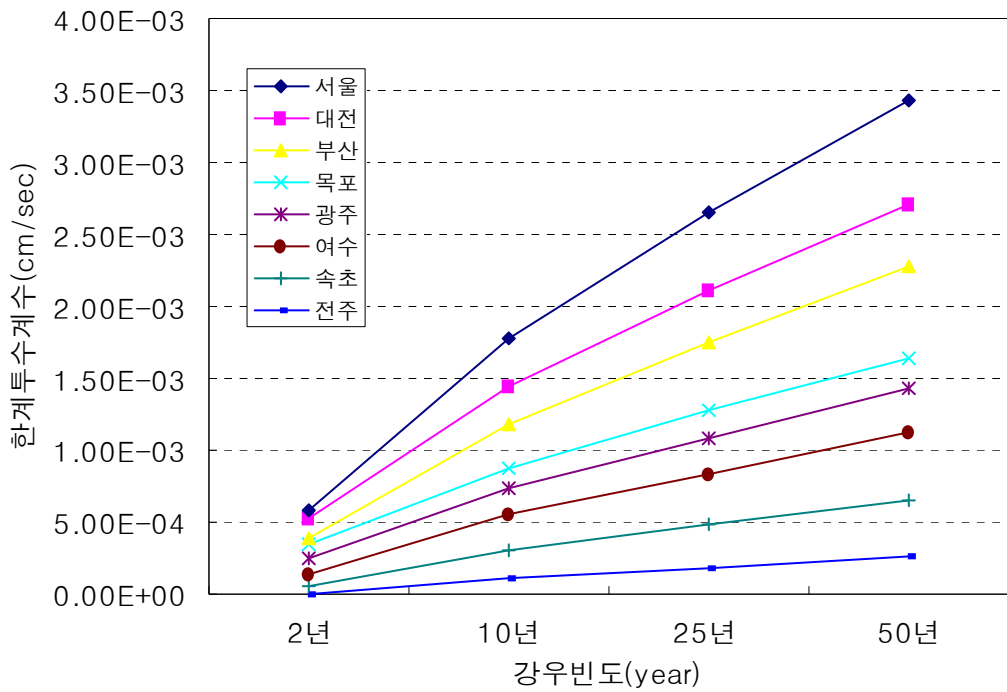


그림 4.32 지역별 재현기간에 따른 한계투수계수 [ $\mu = 40\%$ ,  $z_w = 0.75m$ ]

표 4.17 지역별 한계투수계수 [ $\mu = 40\%$ ,  $z_w = 0.4m$ ]

지역 강우빈도	서울	대전	부산	목포	광주	여수	속초	전주
50년	-	6.05E-04	-	3.14E-04	4.60E-04	6.10E-04	4.46E-04	4.64E-04
25년	7.34E-04	5.09E-04	7.13E-04	2.66E-04	3.80E-04	4.95E-04	3.38E-04	3.72E-04
10년	4.77E-04	3.86E-04	4.80E-04	2.19E-04	2.86E-04	3.48E-04	2.28E-04	2.10E-04
2년	1.34E-04	2.13E-04	1.28E-04	1.46E-04	1.71E-04	1.30E-04	8.29E-05	1.95E-05

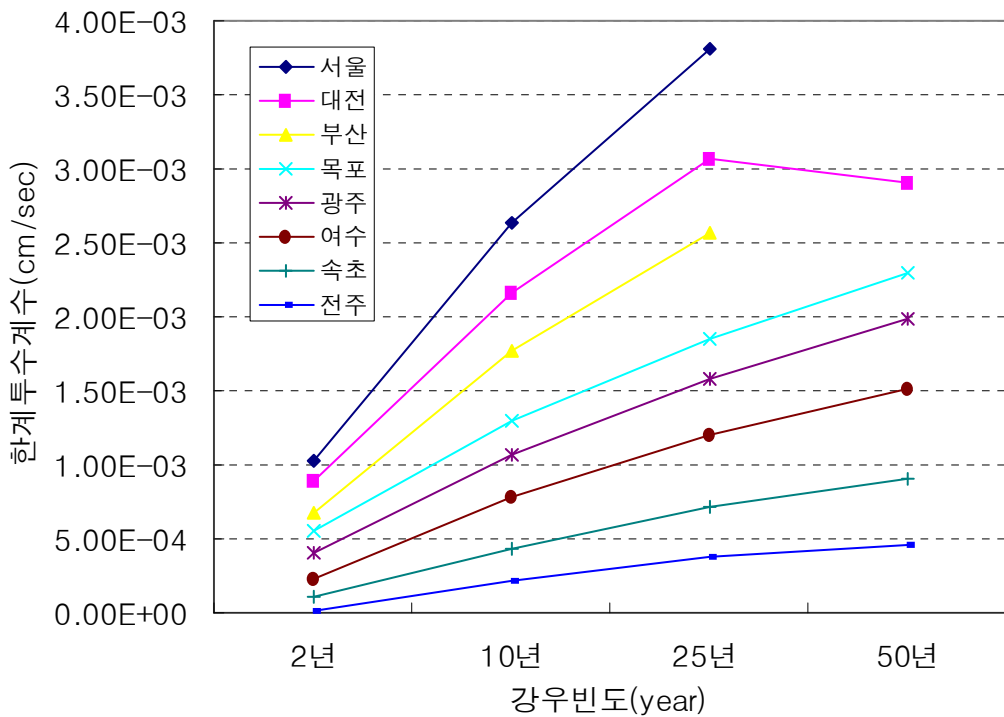


그림 4.33 지역별 재현기간에 따른 한계투수계수 [ $\mu = 40\%$ ,  $z_w = 0.4m$ ]

체적함수비 40%일때의 한계투수계수를 종합적으로 살펴보면 그림 4.25~그림 4.33에서 각 지역의 강우특성을 파악할 수 있으며, 한계투수계수는 8곳의 대상지역 중에서 서울지역이 최대로 나타났으며 다음으로 부산, 대전, 여수, 전주, 광주, 속초, 목포지역 순으로 나타났다.

본 연구 대상지역에서 강우재현기간이 50년일 때 포화깊이( $z_w$ )의 변화 1.00m, 0.75m, 0.40m에 대해 한계투수계수의 최대치가 각각  $6.08E-04\text{cm/sec}$ ,  $7.16E-04\text{cm/sec}$ ,  $6.10E-04\text{cm/sec}$ 로 나타나고 있다. 강우재현기간이 25년일 때 포화깊이( $z_w$ )의 변화 1.00m, 0.75m, 0.40m에 대해 한계투수계수의 최대치가 각각  $4.51E-04\text{cm/sec}$ ,  $5.34E-04\text{cm/sec}$ ,  $7.34E-04\text{cm/sec}$ 로 나타나고 있다. 강우재현기간이 10년일 때 포화깊이( $z_w$ )의 변화 1.00m, 0.75m, 0.40m에 대해 한계투수계수의 최대치가 각각  $2.68E-04\text{cm/sec}$ ,  $3.31E-04\text{cm/sec}$ ,  $4.80E-04\text{cm/sec}$ 로 나타나고 있다. 강우재현기간이 2년일 때 포화깊이( $z_w$ )의 변화 1.00m, 0.75m, 0.40m에 대해 한계투수계수의 최대치가 각각  $1.05E-04\text{cm/sec}$ ,  $1.35E-04\text{cm/sec}$ ,  $2.13E-04\text{cm/sec}$ 로 나타났다. 포화깊이 0.2m에서는 한계투수계수값을 거의 구할수 없었다.

## 제5장 결론

국내 주요지역 8곳을 선정하고 Pradel(1993) 등이 제안한 방법으로 강우강도와 포화깊이를 적용. 분석하여 국내의 강우특성이 절토사면의 안정에 어떤 영향을 미치는지 알아보았다.

우리나라 지표의 대부분을 차지하는 화강풍화토를 대상으로 하였으며 기존의 연구와 관련 문헌분석을 통해 화강풍화토의 공학적 특성을 바탕으로 해서, 전국에서 주요 8곳을 선정하였다. 대상 지역의 강우빈도를 50년, 25년, 10년, 2년에 대해 체적함수비의변화에 따른 각 지역의 한계투수계수를 산정하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 한계강우강도식에서 얻은 값을 비교해보았을때, 강우재현기간이 늘어날수록 포화깊이가 낮을수록 한계강우강도가 커지는 것을 알 수 있었다.

2. 체적함수비에 따른 한계강우강도를 비교한 결과 체적함수비가 30%, 35%, 40%로 증가함에 따라 한계강우강도는 작아지고, 지속시간은 길어지는 경향을 보였다.

3. 우리나라의 강우특성을 고려한 한계투수계수값은 Pradel(1993)등이 적용한 대상 지역보다 크게 산정되었으며 이는 국내 절토사면의 일반적인 토질 특성을 고려할 때 강우에 의한 침투수가 포화깊이에 영향을 미칠 수 있는 것으로 나타났다.

4. 체적함수비에 따른 한계투수계수를 비교한 결과 체적함수비가 30%, 35%, 40%로 증가함에 따라 한계투수계수는 작아졌으며, 대체적으로 강우빈도가 2년,10년,25년,50년 증가할수록 한계투수계수도 증가하는 것으로 나타났다.

한계투수계수는 8곳의 대상지역 중에서 서울지역이 최대로 나타났으며 다음으로 부산, 대전, 여수, 전주, 광주, 속초, 목포지역 순으로 나타났다.



## 참 고 문 헌

1. 김규문(1988), “분할편 경계내력을 고려한 사면안정해석”, 박사학위논문,충남대학교.
2. 이달원(1995) “강우를 고려한 성토사면의 안정해석”, 충남대학교 박사학위논문.
3. 이승래, 조성은(2000) “강우침투에 따른 불포화 토사사면의 안정해석”, 한국지반공학회 논문집, 제1호, pp. 51-64.
4. 이원환, 박상덕, 최성열(1993), “한국 대표확률강우강도식의 유도”, 대한 토목학회 논문집, 제13권, 제1호, pp. 115-120
5. 김영목(1989), “강우시 무한사면의 침투거동”, 동국대학교 대학원 박사학위논문.
6. 김재홍 · 박성완 · 정상섭 · 유지형(2002), “강우시 습윤에 의한 불포화 풍화토 사면안정해석 연구”, 한국지반공학회논문집, 제18권, 제2호, pp. 123~136.
7. 류지협(1997), “불포화 화강풍화토의 투수 및 강도 특성”, 동국대학교 대학원 박사학위 논문.
8. 류지협(2003), “모관흡수력을 고려한 사면의 안정성 평가”, 대한토목학회논문집, 제23권, 제4C호, pp. 195~201.
9. 박성완 · 신길호(2005), “강우침투시 함수특성이력을 고려한 불포화 풍화사면 안정해석”, 대한토목학회 2005년도 정기 학술대회 논문집, pp. 3970~3973.
10. 박성완 · 김병수(2006), “강우에 의한 불포화 풍화사면 침투깊이 평가”, 대한토목학회 2006년도 정기 학술대회 논문집, pp. 219~222.
11. 심태섭 · 김선학 · 기완서 · 주승완(2004), “강우에 따른 화강암질 풍화토 사면의 전단강도 특성에 관한 연구”, 대한지질공학회지, 제14권, 제4호, pp. 349~360.
12. 심태섭 · 김선학 · 최순범 · 박노환(2006), “집중강우에 따른 화강풍화토 사면의 전단강도 특성” 대한토목학회 2006년도 정기 학술대회 논문집, pp. 1152~1155.
13. 송영석 · 채병곤 · 서용석(2007), “강우에 의한 산사태 확산범위 산정기법 제안”, 대한토목학회논문집, 제27권, 제5C호, pp. 343~352.

14. 이광모 · 심태섭 · 김선학 · 최용준(2005), “강우강도에 따른 무한사면의 간극수압 변화의 특성”, 대한토목학회 2005년도 정기학술대회 논문집, pp. 42~45.
15. 이상경(2006), “불포화 무한사면의 침투거동에 관한 연구”, 홍익대학교 대학원, 박사학위논문.
16. 이성진 · 이해지 · 이승래(2005), “화강풍화토에 대한 함수특성곡선 - 추정방법에 대한 연구”, 한국지반공학회논문집, 제21권, 제1호. pp.15~27.
17. 이인모 · 조우성 · 김영욱 · 성상규(2003), “풍화토 사면에서 강우로 인한 간극수압 변화에 대한 실험연구”, 한국지반공학회논문집, 제19권, 제1호, pp. 41~49.
18. 조성은 · 이승래(2000), “강우침투에 따른 불포화 토사사면의 안정해석”, 한국지반공학회논문집, 제16권, 제1호, pp. 51~64.
19. 조성은 · 이승래(2000), “강우특성을 고려한 사면의 표면파괴에 대한 안정성 평가”, 한국지반공학회논문집, 제16권, 제5호, pp. 107~116.
20. 조성은 · 이승래(2001), “불포화 토사사면의 얽은파괴 해석에 대한 비교 연구”, 한국지반공학회논문집, 제17권, 제4호, pp. 135~143.
21. 홍원표 · 최승호 · 한중근 · 황인철(1996), “강우시 사면안정해석법에 관한 연구”, 토목학회 학술발표회 논문집, pp. 195~198.
22. 홍원표 · 김상규 · 김마리아 · 김윤원 · 한중근(1990), “강우로 기인되는 우리나라 사면활동의 예측”, 대한토질공학회지, 제6권, 제2호, pp. 55~63.
23. Allan Freeze R.(1971), "Influence of the Unsaturated Flow Domain on Seepage Through Earth Dams", Water Resources Research, Vol. 7, No.4, pp. 929~941.
24. Allan Freeze R.(1980), "A Stochastic-Conceptual of Rainfall-Runoff Processes on a Hillslope", Water Resour. Res., Vol. 16, No. 2, pp. 391~407.
25. Anderson, M. G, Richards, K. S.(1987), "Slope Stability, Jhon Wiley &sons, Inc.
26. Brooks, R. H., and Corey,A.T.(1964), "Hydraulic Properties of Porous Media", Hydrol. Papers, Colorado State University, Fort Collis, Colorado.
27. Childs, E. C., and Collis-Gorge, N.(1950), 'The Permeability of Porous

- Materials' , Proc. Royal Soc. Ser.A, Vol.201, pp. 392~405.
28. Fourie, A. B., Rowe, D. and Blight, G. E.(1999), "The effect of infiltration on the stability of the slopes of a dry ash dump", *Geotechnique*, Vol. 49, No.1, pp.1~13.
  29. Fredlund, D. G. and Morgenstern N. R.(1976), "Constitutive Relations for Volume Change in Unsaturated Soils", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol.13, pp. 261~275.
  30. Fredlund, D. G. and Morgenstern N. R.(1977), "Stress State Variables for Unsaturated Soils", *ASCE*, Vol.109, No.GT5, pp. 447~466.
  31. Fredlund, D. G., and Rahardjo, H.(1993), "Soil Mechanics for Unsaturated Soils", John Wiley and Sone, Inc.
  32. Fredlund, D. G., and Anqing Xing.(1994), "Equations for the soil-water characteristic curve", *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 31, pp. 521~532.
  33. Kramer S. L. and Bolton Seed H.(1988), "Initiation of Soil Liquefaction under Static Loading Conditions", *ASCE*, Vol.114, No.GT4, pp.412~430.
  34. Kunze, R. J. et al.,(1968), "Factors Important in the Calculation of Hydraulic Co-nductivity",*Sjoil Sci. Soc. Am. Proc.*, Vol.32,pp. 760~764.
  35. Lumb P.(1975), "Slope Failures in Hong Kong", *Quartly Journal of Engeering Geology*, Vol.8, pp.31~65.

## 감사의 글

논문을 완성하기까지 많은 분들의 가르침과 도움을 바탕으로 결실을 맺게 되었습니다.

대학원 생활동안 많은 가르침과 세심한 관심을 주신 지도교수 심태섭 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 그리고 바쁘신 와중에도 심사하여 주시고 보완 해주신 안중필 교수님과 박길현 교수님께 감사의 마음을 전합니다.

지난 2년동안의 석사과정 잘 마칠 수 있게 가르침을 주시고, 논문심사과정에서 많은 관심을 가져 주신 오재화 교수님, 김운중 교수님, 김성홍 교수님, 박정웅 교수님, 김대연 교수님께도 깊은 감사의 마음을 전합니다.

항상 바쁘신 가운데 지도해주시고 이끌어주신 김선학 선배님께 감사드리며, 양승현 선배님과 김영균 선배님께도 감사의 말씀을 드립니다.

또한 대학원 생활동안 저에게 힘이 되어주고 격려해준 친구 진호에게 고맙다는 말을 전하고 싶습니다.

그리고 오늘날의 제가 있기까지 항상 힘이되어준 우리 가족들과 친구들에게 감사의 마음을 전하며, 오랫동안 옆에서 한결같은 마음으로 지켜봐주고 옆에서 도움을 준 세영이에게 감사를 포함합니다.

마지막으로 헌신적인 사랑으로 부족한 저를 뒷바라지 해주시고 항상 힘이되어주신 아버지, 어머니께 이 작은 결실에 감사의 마음을 전합니다.

2008년 12월

유 준 규

## 저작물 이용 허락서

학 과	토목공학과	학 번	20077064	과 정	석사
성 명	한글: 유 준 규    한문 : 柳 俊 圭    영문 : Ryu Jun Kyu				
주 소	광주광역시 서구 금호동 호반3차 306동 1204호				
연락처	E-MAIL : ryujunkyu@hanmail.net				
논문제목	한글 : 지역별 강우특성에 따른 화강풍화토의 침투해석 영어 : Saturation Analysis of Granite Weathering Soil by Local Rainfall Characteristic				

본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다.

- 다 음 -

1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함
2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집·형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함.
3. 배포·전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함.
4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함.
5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함.
6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음
7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송·출력을 허락함.

동의여부 : 동의( ○ )    반대(    )

2009년    2월

저작자:    유 준 규    (서명 또는 인)

**조선대학교 총장 귀하**