

인공지반의 설계하중 산정에 관한 연구[†]

윤성철* · 김태균**

*하동군 열린민원실 · ** 진주산업대학교 조경학과

A Study on the Design Load of Artificial Soil Ground

Youn, Seong-Cheol* · Kim, Tae-gyun**

*Dept. of Civil Service, Hadong-Gun

**Dept. of Landscape Architecture, Jinju National University

ABSTRACT

The objective of this study is to analyze the effect of artificial soil ground on a structure. When the artificial soil ground is planted, the technical factors to be considered will be the load for buildings and the growth of plants. There are no current studies of the effect of artificial soil ground on a structure and this study will analyze the load effects of artificial soil ground, which mixes both perlite and natural soil on structures.

The load affecting the structures due to artificial soil ground will be maximized when the artificial soil ground becomes saturated, and which would occur when the rainfall intensity exceeds the infiltration capacity of the artificial soil ground. In order to determine whether the artificial soil ground has reached saturation or not, a 10 years frequency and 10 minutes rainfall intensity which is used for in urban drain design, is utilized.

The hydraulic conductivity of artificial soil and mixed soil has been changed depending on the proportion of the mix, It has a range of fluctuation in the degree of hardening, in particular, but does not exceed the 10 minutes rainfall intensity over 10 years frequency in the most cases. Therefore, it would be efficient to apply the saturated unit weight of artificial soil ground as the design load of a structure.

Key Words: Hydraulic Conductivity, Sturated Unit Weight, Infiltration Capacity, Rainfall Intensity

국문초록

이 연구의 목적은 녹화를 위한 인공지반이 구조물에 미치는 영향을 분석하는 것이다. 인공지반 녹화 시 고려해야 할 기술적 사항은 건물에 미치는 하중과 식물의 생육에 관한 것이다. 인공지반이 구조물에 미치는 영향에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 본 연구에서는 펄라이트와 자연토양이 혼합된 인공지반이 구조물에 미치는 하중으로 인한 영향을 분석하였다.

인공지반이 구조물에 미치는 하중은 인공지반이 포화되었을 때 최대가 되며, 강우강도가 인공지반의 침투능을 증가할 때 인공지반이 포화된다. 인공지반의 포화 여부를 판정하기 위하여 강우 강도는 도시배수시설물 설계에 이용되는 10년 빈도 10분 강우 강도를 이용하였고, 침투능은 정수위투수계수 측정법을 이용하여 산정하였다.

인공토 및 혼합토는 그 비율에 따라 투수계수가 변하며, 특히 다짐 정도에 따라 변동이 큰 것으로 나타났으나, 대부분의

[†]: 본 논문은 진주산업대학교 기성희 연구비 지원사업으로 연구되었음.

Corresponding author: Tae-gyun Kim, Dept. of Landscape Architecture, Jinju National University, Jinju 463-777, Korea, Tel.: +82-55-751-3306, E-mail: tgkim@jinju.ac.kr

경우 재현기간 10년의 10분 강우강도를 초과하지는 않았다. 따라서 인공지반의 포화단위중량을 구조물 설계의 설계하중으로 적용하여야 함을 알 수 있다.

주제어: 투수계수, 포화단위중량, 침투능, 강우강도

I. 서론

산업화, 도시화로 도시는 급격히 팽창하였고, 그에 따른 각종 개발사업으로 인하여 녹지와 오픈스페이스가 감소하였으며, 도시의 생태계는 절멸상태에 이르르게 되었다. 1980년대 후반부터 이러한 도시에 생태계를 복원하고 녹지를 확보하기 위한 하천복원사업, 녹지축조성사업 등이 이루어지고 있으며, 기 개발된 도심지 내 녹지공간을 확보하기 위하여 건축물이나 구조물의 상부에 인공지반을 조성하여 녹지를 조성하고 있다.

인공지반의 녹화를 위하여 가장 먼저 고려해야 하는 기술적인 사항은 구조물에 미치는 인공지반 및 식재로 인한 하중과 식물의 생육에 관한 사항이다. 이중 인공지반으로 인한 하중이 구조물에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 식재 토심을 낮게 하는 것이 바람직하며, 인공지반의 하중을 줄이기 위한 방법으로 인공토를 개발하여 일반토양과 혼용하여 사용하기도 한다.

지금까지의 인공지반 녹화 시 인공지반의 하중에 대한 연구는 인공지반의 포장용수상태 또는 건조 시 단위중량과 토심을 이용하여 계산하였으나, 이는 인공지반의 설계시 설계하중으로 적용할 수 있는 최대하중을 고려한 것이라 볼 수 없다. 일반적으로 토압 또는 흙 무게가 최대인 경우는 강우로 인한 공극의 포화상태이며, 공극의 포화상태는 흙의 투수계수와 강우강도의 관계로부터 얻어진다.

본 연구에서는 인공지반의 설계하중을 결정하기 위하여 자연상태의 일반토양, 일반토양과 인공토의 혼합비율에 따른 인공지반의 구조물에 미치는 하중영향을 분석하였다. 이때 하중의 크기를 결정하는 요소로 강우강도와 투수계수를 비교하여 포화 여부를 판정한 후, 설계하중을 결정하였다.

II. 연구동향

인공지반 녹화에 대한 정의는 국내 여러 기관을 통하여 정의되었다. 대한주택공사 주택연구소(1995)에서는 “식재지반으로서 인공지반은 인공적으로 구축된 토목·건축구조물에 의해 형성된 지반으로 건축물의 옥상부분 뿐만 아니라 건축물에 부수적인 베란다, 테라스 혹은 자연지반과 분리된 상태의 토목·건축 구조물 상부의 옥외공간을 모두 포함한다. 인공지반 녹화는 식물 및 식재적인 측면을 위주로 할 때 자연으로부터 분리되어 있는 인공구조물에 인공적인 지형, 지질의 토양층을 새로

이 조성하고 식재를 중심으로 한 조경공간을 이용하는 것이다”라고 정의하였고, 현대건설기술연구소(1997)에서는 “인공지반이란 자연과는 공간적으로 분리된 상태에서, 인위적으로 자연적인 지반상태와 유사한 재료적, 형태적 여건을 조성하여 인간의 적극적인 이용을 도모하는 공간을 말한다. 이와 같은 인공지반의 발생유형은 인공적으로 구축된 토목·건축구조물의 상부 혹은 특수한 대규모 토지개발지에서 필요에 의해 형성된다”고 정의하였다.

한편, 한국조경학회(1999)는 인공지반 녹화와 관련하여, 식재지반이란 식물뿌리의 생육을 위한 토양을 포함하며, 구성은 관수시설·지하수위 저하를 위한 배수시설, 매립지 위의 각종 차단층과 지반보강용 자재, 인공지반 위의 방수층·방근층 및 식물뿌리의 건전한 생육을 위해 설치되는 모든 시설물을 포함한다. 식재지반이란 식물의 뿌리가 생육할 수 있는 토양층을 말하며, 인공지반이란 건축 및 토목구조물 등의 불투수층의 구조물 위에 조성되는 식재지반을 말하며, 방수·방근층, 배수층, 여과층, 식재지반층, 피복층으로 구성된다. 한편, 허근영과 심경구(2000)는 인공지반 및 인공지반 녹화에 대하여 “인공지반은 인위적으로 조성된 지반이며, 인공지반의 녹화는 인공구조물 위에 인위적으로 토양층을 조성하고 식재하는 것을 의미한다.”라고 정의하였다.

인공지반에 대한 국내 연구사례는 구조물에 작용하는 하중을 줄이기 위한 인공토의 개발과 인공토와 일반토양의 혼합에 따른 특성분석 및 녹화공법에 대한 것으로 구분할 수 있다. 인공토와 관련하여 심경구 등(1999)은 기존의 펠라이트를 대체하기 위하여 일반점토를 이용하여 소성 점토다공체를 제조하고 코코넛 피트를 혼합하여 인공지반에서의 이용 가능성을 토양 물리·화학적 특성과 식물 생육적 특성에 대하여 일반토양과 비교하였고, 인공지반용 토양으로 이용될 수 있는 가능성을 제시하였다. 허근영과 심경구(2001)는 다공질의 무기물질을 개발하고 모스 피트, 코이어를 대체할 국내산 난분해성 유기물질을 제안하였고, 개발된 다공질의 무기물질과 유기물질을 활용하여 펠라이트를 대체할 인공지반 녹화용 인공토양을 개발하였다. 이 연구에서는 모스 피트와 코이어를 대체할 난분해성 유기물질인 수피와 용적비 6:4로 혼합한 인공토양을 개발하였으며, 개발된 인공토양은 배수성, 통기성, 보수력, 비옥도가 기존의 인공토에 비하여 상대적으로 우수한 것으로 밝혀졌다.

인공토와 일반토양의 혼합에 따른 특성분석에 대하여 허근

영과 심경구(2000)는 인공지반 녹화 시 주로 이용되는 인공토양 중에서 무기질만으로 이루어진 펠라이트 소립, 펠라이트 대립, 다공질 유리 파쇄물 그리고 무기질과 유기질로 구성된 다공질 유리 파쇄물에 수피를 혼합만을 이용한 토양과 토지토양과 다공질 유리 파쇄물, 수피를 혼합한 인공토의 이화학적 특성과 식물 생육적 특성에 대하여 연구하였는데, 펠라이트 대립만으로 인공지반을 조성하는 것과 펠라이트 소립과 일반토양을 혼합하여 이용하는 것은 부적합하다고 판정하였다. 안원용과 김동엽(2001)은 옥상녹화후 인공토양의 특성변화에 대한 연구를 통하여 식물 관리를 위한 기초를 조성하였다.

인공녹화공법과 관련하여 이은엽과 문석기(2000)는 옥상녹화공법의 배수층 구조별 식물생육 효과를 분석하기 위하여 배수층을 자갈, 배수용 인공경량토, 플라스틱 배수관으로 조성하고, 식재층을 사질양토 100%, 버미큘라이트 100%, 사질양토 50%+버미큘라이트 30%+모래 20%, 사질양토 50%+훈탄 30%+모래 20%, 사질양토 50%+부숙토밥 30%+모래 20%로 조성하고 들잔디를 파종하여 약 90일간의 생육실험을 수행하였다. 최희선 등(2001)은 옥상조경 조성에 이용 가능한 유·무기질계 인공토양들을 혼합조성하고 그 물리·화학적 특성에 대하여 조사하였다.

III. 연구방법

1. 설계하중 결정방법

인공지반으로 인한 하중은 인공지반의 구성 즉, 배수층, 식재층의 구성과 어떤 종류의 인공토 또는 식재기반을 이용하는냐에 따라 달라진다. 건축 또는 토목의 구조물 설계에서 설계하중은 구조물에 미치는 하중의 조건이 최대일 때를 산정하며, 인공지반 녹화를 위한 설계하중은 현재 규정되어 있지 않다.

설계 시 최대하중은 인공지반의 무게와 더불어 강우 시 배수 여부에 따라 결정되어진다. 인공지반의 투수계수가 강우강도보다 큰 경우에는 내리는 강우강도보다 더 빠른 속도로 인공지반을 통하여 투수될 때의 경우에는 인공지반의 설계하중은 포화단위중량보다는 작을 것이고, 강우강도가 투수계수보다 큰 경우에는 강우의 일부가 인공지반을 통하여 침투되고, 나머지는 인공지반의 표면을 통하여 배수된다. 이 경우에는 설계하중은 포화단위중량이 될 것이다.

본 연구에서는 인공지반의 설계하중을 결정하기 위하여 다음과 같은 절차를 통하여 연구를 수행하였다.

- ① 인공토와 일반토양의 기건상태의 혼합비율별 토심별 하중 결정
- ② 혼합비율별 토심별 투수계수 측정

표 1. 인공지반의 설계하중결정 기준

기준	설계하중
투수계수>강우강도	포화단위중량 이하
투수계수≤강우강도	포화단위중량

③ 설계강우강도 결정

④ 투수계수와 설계강우강도 비교를 통한 표 1에 의한 설계하중 결정

2. 토양시료 및 토양층 조성

인공지반의 토양층 조성은 배수층과 식재층으로 구분하여 조성하였다. 배수층은 식물 생육에 직접적인 영향을 미치지 않으므로, 펠라이트 대립을 5cm 쌓아 조성하였으며, 식재층은 펠라이트 100%, 펠라이트 소립과 일반토양을 일정한 비율로 혼합하여 조성하였으며, 혼합비율은 표 2와 같고, 시험을 위한 시험관의 제작도는 그림 1과 같다.

표 2에서 알 수 있는 바와 같이, 인공지반의 하중특성을 파악하기 위하여 4개 토심별, 4가지 혼합비율별 총 16개의 실험구를 조성하였다.

토양층의 무게(하중)는 다짐을 통하여 기건상태에서 측정하여야 하며, 이때 다짐기구, 다짐정도에 따라 조성된 토양층의 무게는 상당히 큰 차이를 나타낸다. 본 연구에서는 시험관의 크기를 고려하여 인력에 의한 손다짐방법과 기구를 이용한 다

표 2. 토심별 물리적 특성분석을 위한 토심처리

토심의 구분			각 토심별 혼합비율
전체 토심	배수층	식재층	
25cm	5cm	20cm	펠라이트 소립(10): 일반토양(0) 펠라이트 소립(8): 일반토양(2) 펠라이트 소립(6): 일반토양(4) 펠라이트 소립(5): 일반토양(5)
35cm	5cm	30cm	
45cm	5cm	40cm	
65cm	5cm	60cm	

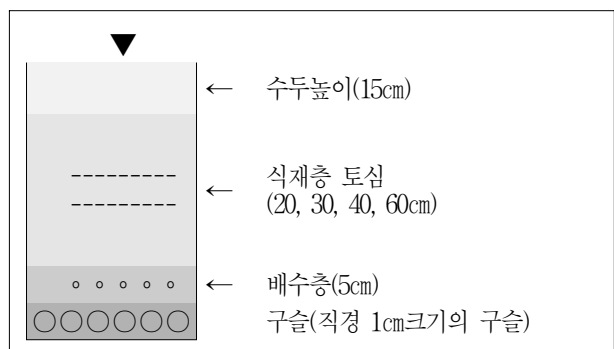


그림 1. 시험관 제작도



그림 2. 다짐기구

짐을 구분하여 실시하였으며, 인력 손다짐의 경우에는 일정한 다짐 정도를 유지하기 위하여 부피를 규제하는 방법(이하 ‘부피규제’)과 무게를 규제하는 방법(이하 ‘무게규제’)을 이용하였다.

부피규제방법은 시험구에 10cm 높이로 인공토 또는 혼합토를 채운 다음 인력으로 손다짐한 후 다시 10cm 높이로 흙을 채워 다짐하여 원하는 토심까지 토양층을 조성하는 방법이고, 무게규제의 경우는 일정한 무게를 인력다짐 후 높이를 측정하고 동일한 무게를 시험구에 넣고 동일한 높이로 다지는 방법으로 원하는 높이까지 다짐을 실시하였다. 기구 다짐의 경우는 사진 2와 같은 다짐기구를 제작하여 사용하였다.

전술한 바와 같이 인력다짐은 기계다짐에 비하여 상대적으로 다짐 정도를 일정하게 유지하기 어려운 문제가 있으므로 본 연구에서는 식재층 다짐을 손다짐(부피규제, 무게규제 포함), 기구다짐을 총 7회에 걸쳐 시행한 후 각각에 대하여 투수계수 측정 시험을 시행하였으며, 시험별 다짐방법은 다음과 같다.

표 3에서 인력다짐중 무게규제와 기구다짐을 1회에 한하여 시행한 것은 예를 들어 무게규제에서 500g으로 10cm의 높이로 첫 10cm를 다진 다음 다시 500g으로 10cm를 다지는 것에 상당한 어려움이 있어 일정한 높이를 유지하기 어려웠고, 이를

표 3. 인공지반의 다짐방법과 투수시험

차수	다짐형태	시료조성방법	목적
1	인력다짐	부피규제	투수계수 측정, 포화단위중량 측정
2	인력다짐	부피규제	투수계수 측정, 포화단위중량 측정
	인력다짐	무게규제	투수계수 측정, 포화단위중량 측정
	기구다짐	규제없음	투수계수 측정, 포화단위중량 측정
3	인력다짐	부피규제	투수계수 측정, 포화단위중량 측정
4	인력다짐	부피규제	포화단위중량 측정
5	인력다짐	부피규제	포화단위중량 측정

유지하기 위하여 무리한 압력을 가할 경우 펠라이트가 파쇄되는 경우가 발생하기 때문이며, 기구다짐의 경우도 펠라이트가 파쇄되기 때문이다. 펠라이트가 파쇄되면, 투수계수시험에서 공극을 막아 투수계수가 정상치보다 작게 나올 가능성이 있다.

3. 투수계수 측정

토양의 투수계수를 측정하는 방법에는 정수위투수계수 측정법과 변수위투수계수 측정법이 있으나, 본 연구에서는 정수위투수계수 측정법을 이용하였다. 정수위투수계수 측정법은 한국공업규격(KOREAN INDUSTRIAL STANDARDS)의 흙의 투수시험방법에 준하였고, 정수위투수계수는 투수계수가 비교적 큰 재료에 대하여 시행하는 방법이며, 변수위투수계수는 투수계수가 작은 재료에 대하여 시행하는 방법이다. 정수위투수계수 측정법에 의한 투수계수 산정식은 아래의 식과 같다.

$$k_T(\text{cm/sec}) = \frac{L}{h} \cdot \frac{Q}{A(t_2 - t_1)}$$

여기서, k_T : 온도 $T^\circ\text{C}$ 에서의 투수계수(cm/sec)

L : 시료의 높이

h : 수두(물 높이)

A : 시료의 단면적

t_2, t_1 : 시간

Q : ($t_2 - t_1$) 시간내에 투수한 수량 (식 1)

본 실험에서 투수계수의 측정은 정수두의 높이를 15cm로 일정하게 유지하여 12시간 간격으로 배수량을 측정하였다.

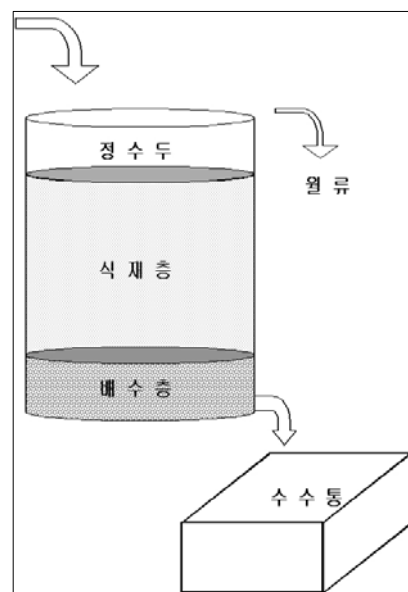


그림 3. 정수위투수계수 시험도

표 4. 지역별 설계강우강도

지역	설계강우량	설계강우강도	지역	설계강우량	설계강우강도
서울	25.0mmr	150.0mm/hr	대전	23.5mm	141.0mm/hr
강릉	16.2mm	97.2mm/hr	대구	19.8mm	118.8mm/hr
부산	22.4mm	134.4mm/hr	전주	21.7mm	130.2mm/hr
울산	18.3mm	109.8mm/hr	광주	20.3mm	121.8mm/hr

4. 설계강우강도의 결정

강우는 호우사상별로 다르며, 변화하는 모든 호우를 대상으로 설계기준을 결정하기 어렵다. 또한, 대단히 큰 호우사상, 예를 들면 PMP(probably maximum precipitation)과 같은 극한 사상이나 100년 또는 200년 빈도 호우사상을 대상으로 할 경우 대단히 큰 투수계수를 가지는 토양이라 할지라도 대부분의 경우 포화되기 마련이며, 이로 인하여 하중이 대단히 크게 증가하게 된다. 따라서 적정한 설계를 위한 설계강우강도의 결정은 인공지반으로 인한 하중의 크기를 결정하는 중요한 요소이며, 구조물의 설계와 관련된 민감한 사항이다.

하수도시설기준(한국수도협회, 2002)에 의하면 도시 내 각종 배수시설의 크기를 결정하기 위한 기준으로 재현기간(확률년수, 빈도) 5~10년, 강우 지속기간 5~10분을 기준으로 할 것을 권장하고 있다. 본 연구에서는 대부분의 인공지반 녹화가 도시지역을 중심으로 이루어지므로 재현기간 10년, 강우지속기간 10분을 하중결정을 위한 기준으로 설정하였으며, 이에 해당하는 각 지역별 설계강우량은 건설교통부(2000)에서 제시한 값을 이용하기로 하였다.

IV. 결과 및 고찰

1. 투수계수측정

1) 투수실험

실험은 전술한 바와 같이 총 7회의 실험 중 무게규제를 통하여 시료를 제작한 시험과 기구다짐을 시행한 시험의 경우는 전술한 바와 같이, 다짐압력으로 인한 펄라이트의 파쇄 및 그로 인한 공극폐쇄현상으로 정상적인 투수시험을 시행하지 못하였으므로 제외하였다. 1~3차 실험은 투수계수측정시험과 포화단위중량을 산정하였고, 4, 5차 시험은 투수실험을 시행하지 않고, 인력다짐에 의한 토양층의 불균일성에 따른 실험결과 신뢰도를 향상시키기 위하여 포화단위중량을 토양별, 혼합비율별, 토심별로 측정하였다.

투수시험 시 또 다른 문제점은 펄라이트와 같이 비중이 가벼운 인공토는 정수위투수계수 측정법을 시행할 경우, 부력에 의하여 수면위로 부상하는 현상이 발생하였으며, 이를 방지하기

위하여 시료 상부에 다공성 투수판을 설치하였다. 1, 2, 3차 실험에서 시행한 투수실험 결과가 표 5에 나타나 있다.

2) 투수계수 산정

표 5에 나타난 결과는 배수량의 무게를 측정된 것으로, 투수계수를 산정하기 위하여 무게를 부피단위로 환산하여야 한다. 물의 단위중량은 온도에 따라 변하나 변화의 폭이 대단히 작아 보통 $1g/cm^3$ 로 간주하며, 이를 이용하여 측정된 배수량을 부피단위로 환산한 후, 12시간 단위의 시간구간별 투수계수를 산정하면 표 5 및 그림 5~8과 같다.

표 5 및 그림 5~8을 살펴보면, 투수계수 측정값은 시험차수에 따라 변화하며, 일정한 값을 가질 때와 변동이 심한 경우 등 다양한 형태를 보임을 알 수 있다. 이러한 결과는 인공토의 다짐 정도를 일정하게 유지하기 어렵기 때문으로 판단된다.

본 연구의 투수계수 측정실험은 정수위투수계수 측정법을 사용하였으며, 전술한 바와 같이 인공토의 비중이 물보다 가벼워 쉽게 떠오르는 것을 알 수 있었고, 이를 방지하기 위하여 다공성 투수판을 설치하였다. 그러나 시험을 장기간에 걸쳐 시행한 결과, 인공토의 부상으로 공간이 비어 있는 공동현상이 자주 발견되었고, 이는 인공토의 물리적인 특성 이외에도 다짐의 정도에 따라 나타나는 현상으로 추정된다.

시료의 공동현상은 단순히 공간만이 비는 것이 아니라, 침투가 이루어지는 흐름선인을 짧게 만들어 정상적인 경우보다 더 많은 침투를 유발하게 된다.

2. 토심별 토양의 중량

전술한 바와 같이 설계하중은 인공지반이 구조물에 미치는 하중이 최대일 때를 기준으로 하므로 기건상태의 건조단위중량을 설계하중으로 결정하기 어렵다. 또, 표 2에서 설명한 바와 같이 설계하중결정 기준에서 설계강우강도가 인공지반의 투수



그림 4. 정수위투수계수 측정시험과 공동현상

표 5. 시험의 배수량 측정 결과

a: 1차 시험

실험구		월류수량(Q,cm ³) = 배수량(g)						투수계수(mm/hr)					
		경과시간(hr)						경과시간(hr)					
		12	24	36	48	60	72	12	24	36	48	60	72
인공토	20cm	12,370	24,040	37,110	48,780	61,250	75,420	40.4	39.3	40.4	39.9	40.0	41.1
	30cm	1,570	3,040	4,510	6,080	7,600	9,270	7.7	7.5	7.4	7.5	7.5	7.6
	40cm	1,670	3,390	5,160	7,080	9,380	11,550	10.9	11.1	11.2	11.6	12.3	12.6
	60cm	1,670	3,340	5,010	6,880	8,750	10,770	16.4	16.4	16.4	16.9	17.2	17.6
혼합토 (8:2)	20cm	520	990	1,460	1,980	2,450	2,970	1.7	1.6	1.6	1.6	1.6	1.6
	30cm	1,570	2,840	4,210	5,680	7,000	8,420	7.7	7.0	6.9	7.0	6.9	6.9
	40cm	720	1,340	1,910	2,530	3,380	3,950	4.7	4.4	4.2	4.1	4.4	4.3
	60cm	1,220	2,140	3,160	3,980	4,800	5,670	12.0	10.5	10.3	9.8	9.4	9.3
혼합토 (6:4)	20cm	420	740	1,060	1,330	1,550	1,770	1.4	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
	30cm	470	790	1,110	1,330	1,550	1,770	2.3	1.9	1.8	1.6	1.5	1.4
	40cm	570	940	1,310	1,630	2,230	2,550	3.7	3.1	2.9	2.7	2.9	2.8
	60cm	1,120	1,790	2,310	2,780	3,250	3,670	11.0	8.8	7.5	6.8	6.4	6.0
혼합토 (5:5)	20cm	720	1,140	1,510	1,880	2,200	2,570	2.4	1.9	1.6	1.5	1.4	1.4
	30cm	1,720	2,690	3,510	4,230	4,800	5,470	8.4	6.6	5.7	5.2	4.7	4.5
	40cm	2,020	3,340	4,510	5,530	6,730	7,850	13.2	10.9	9.8	9.0	8.8	8.6
	60cm	3,820	6,290	8,210	9,830	11,450	12,870	37.5	30.8	26.8	24.1	22.5	21.0

b: 2차 시험

실험구		월류수량(Q,cm ³) = 배수량(g)						투수계수(mm/hr)					
		경과시간(hr)						경과시간(hr)					
		12	24	36	48	60	72	12	24	36	48	60	72
인공토	20cm	41,430	79,680	123,840	163,230	221,400	282,390	135.4	130.2	134.9	133.4	144.7	153.8
	30cm	12,950	25,490	43,955	57,825	95,235	124,425	63.5	62.5	71.8	70.9	93.4	101.7
	40cm	3,280	6,670	10,255	14,020	18,540	22,620	21.4	21.8	22.3	22.9	24.2	24.6
	60cm	2,660	5,435	10,030	13,605	17,260	20,500	26.1	26.6	32.8	33.3	33.8	33.5
혼합토 (8:2)	20cm	6,445	11,925	18,530	24,375	32,105	39,585	21.1	19.5	20.2	19.9	21.0	21.6
	30cm	5,145	9,750	14,550	18,945	23,970	28,770	25.2	23.9	23.8	23.2	23.5	23.5
	40cm	2,145	3,975	6,055	7,905	9,700	11,540	14.0	13.0	13.2	12.9	12.7	12.6
	60cm	2,740	5,295	7,845	10,360	12,835	15,195	26.9	26.0	25.6	25.4	25.2	24.8
혼합토 (6:4)	20cm	1,800	3,415	5,085	6,675	8,310	9,870	5.9	5.6	5.5	5.5	5.4	5.4
	30cm	1,390	2,645	3,950	5,270	6,525	7,825	6.8	6.5	6.5	6.5	6.4	6.4
	40cm	1,420	2,645	3,900	5,200	6,390	7,550	9.3	8.6	8.5	8.5	8.4	8.2
	60cm	1,105	2,070	3,055	4,135	5,160	6,220	10.8	10.1	10.0	10.1	10.1	10.2
혼합토 (5:5)	20cm	950	1,755	2,530	3,355	4,125	4,865	3.1	2.9	2.8	2.7	2.7	2.6
	30cm	1,100	1,980	2,845	3,715	4,525	5,305	5.4	4.9	4.6	4.6	4.4	4.3
	40cm	935	1,630	2,275	2,920	3,515	4,055	6.1	5.3	5.0	4.8	4.6	4.4
	60cm	795	1,435	2,060	2,705	3,340	3,900	7.8	7.0	6.7	6.6	6.5	6.4

c: 3차 시험

실험구		월류수량(Q,cm ³) = 배수량(g)						투수계수(mm/hr)					
		경과시간(hr)						경과시간(hr)					
		12	24	36	48	60	72	12	24	36	48	60	72
인공토	20cm	19,095	36,780	94,530	134,520	188,250	229,500	62.4	60.1	103.0	109.9	123.0	125.0
	30cm	2,915	5,800	9,020	12,180	15,600	18,900	14.3	14.2	14.7	14.9	15.3	15.4
	40cm	7,770	14,260	21,360	28,150	35,510	42,425	50.8	46.6	46.5	46.0	46.4	46.2
	60cm	2,720	5,380	8,285	11,070	13,805	16,725	35.6	35.2	36.1	36.2	36.1	36.4
혼합토(8:2)	20cm	3,300	6,000	9,175	12,070	15,245	18,225	10.8	9.8	10.0	9.9	10.0	9.9
	30cm	660	1,290	1,935	2,600	3,245	3,945	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
	40cm	1,670	3,305	5,005	6,815	8,605	10,685	10.9	10.8	10.9	11.1	11.2	11.6
	60cm	865	1,755	2,675	3,625	4,540	5,540	11.3	11.5	11.7	11.8	11.9	12.1
혼합토(6:4)	20cm	4,960	8,925	14,950	19,780	26,780	32,440	16.2	14.6	16.3	16.2	17.5	17.7
	30cm	795	1,580	2,420	3,220	4,005	4,845	3.9	3.9	4.0	3.9	3.9	4.0
	40cm	1,165	2,245	3,310	4,360	5,385	6,365	7.6	7.3	7.2	7.1	7.0	6.9
	60cm	470	925	1,385	1,825	2,265	2,705	6.1	6.0	6.0	6.0	5.9	5.9
혼합토(5:5)	20cm	2,680	4,820	7,445	9,945	12,995	15,575	8.8	7.9	8.1	8.1	8.5	8.5
	30cm	1,475	2,720	3,945	5,110	6,260	7,440	7.2	6.7	6.4	6.3	6.1	6.1
	40cm	2,705	4,710	6,720	8,505	10,400	12,120	17.7	15.4	14.6	13.9	13.6	13.2
	60cm	800	1,420	2,045	2,605	3,160	3,680	10.5	9.3	8.9	8.5	8.3	8.0

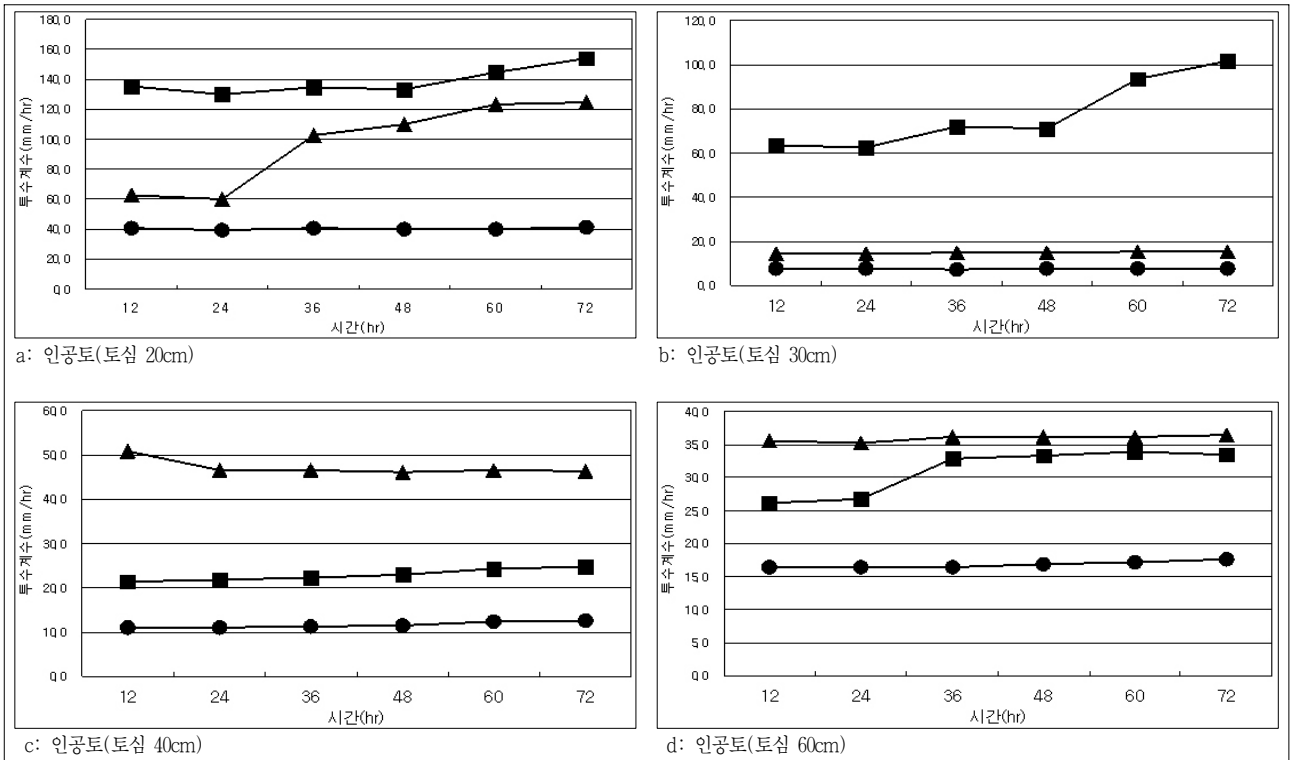


그림 5. 토심별 인공토 투수계수
 범례: ■ 1차, ▲ 2차, ● 3차

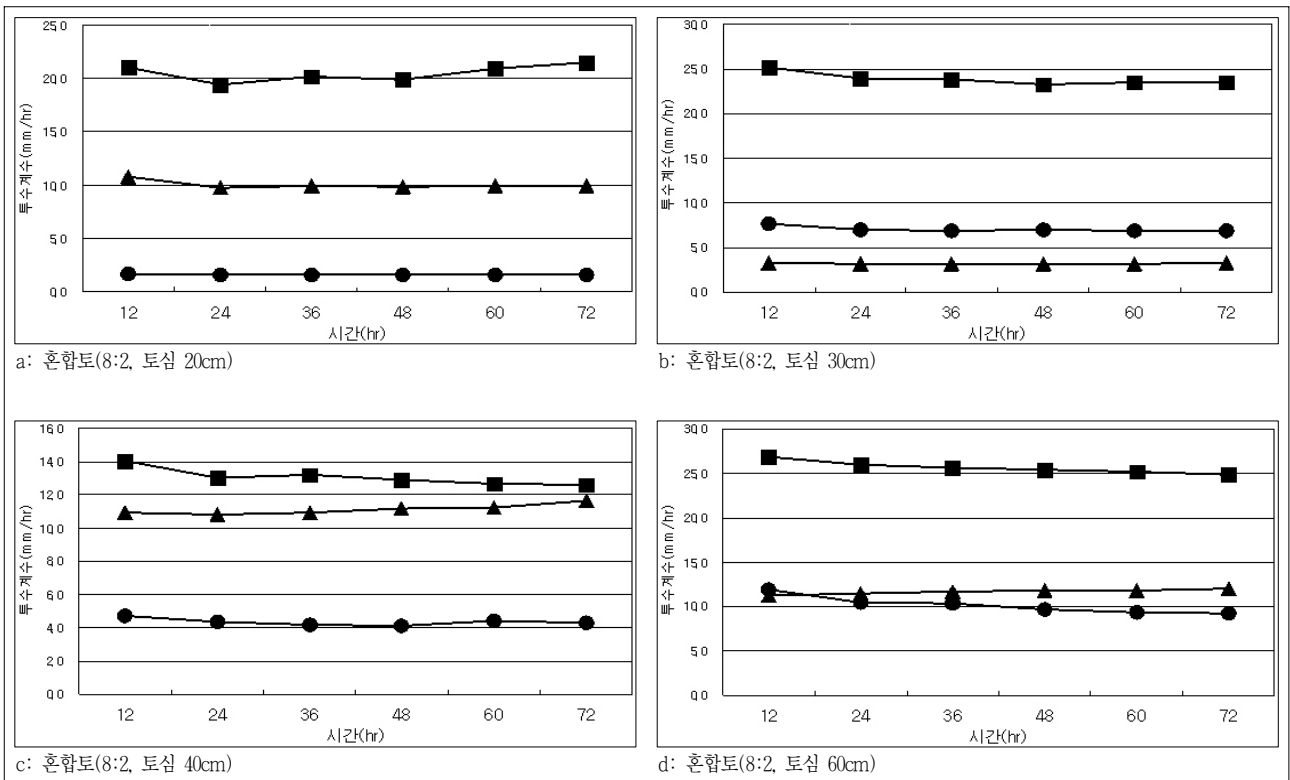


그림 6. 토심별 혼합토(8:2) 투수계수
 범례: ● 1차, ■ 2차, ▲ 3차

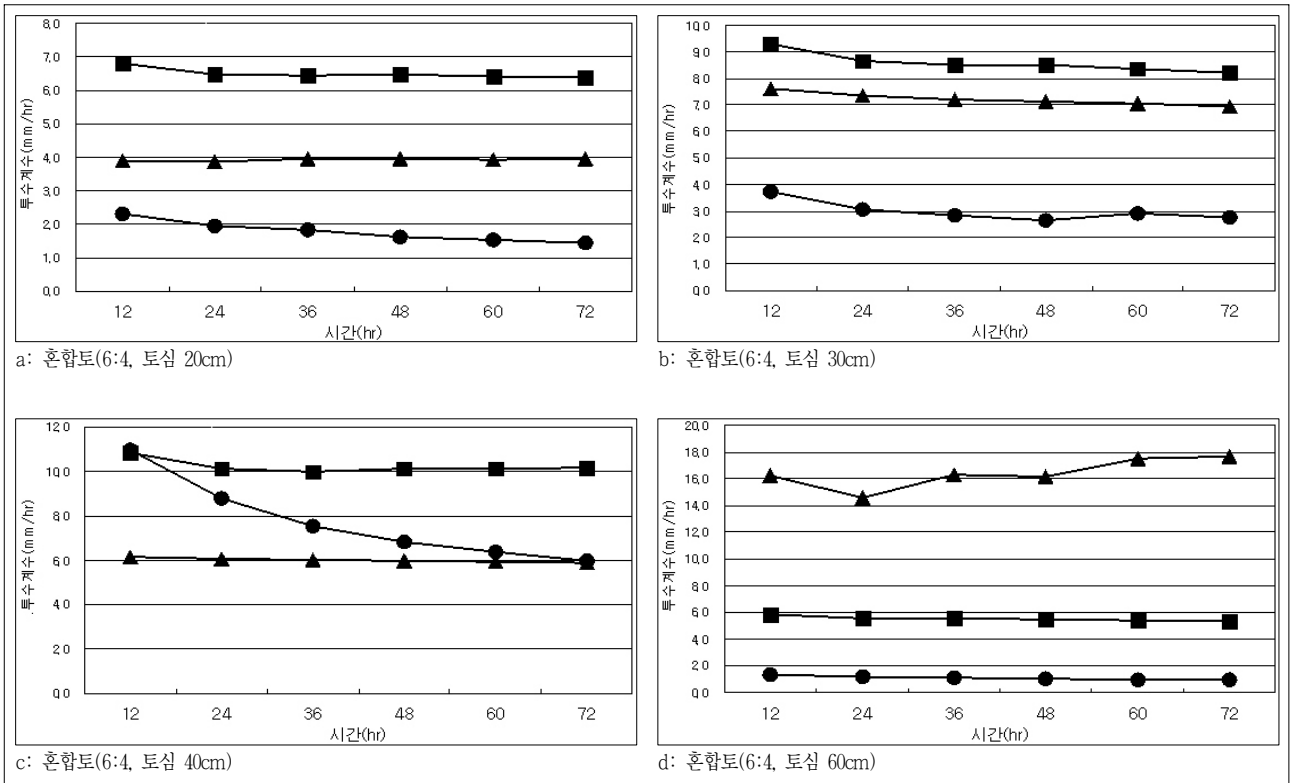


그림 7. 토심별 혼합토(6:4) 투수계수

범례: ● 1차, ■ 2차, ▲ 3차

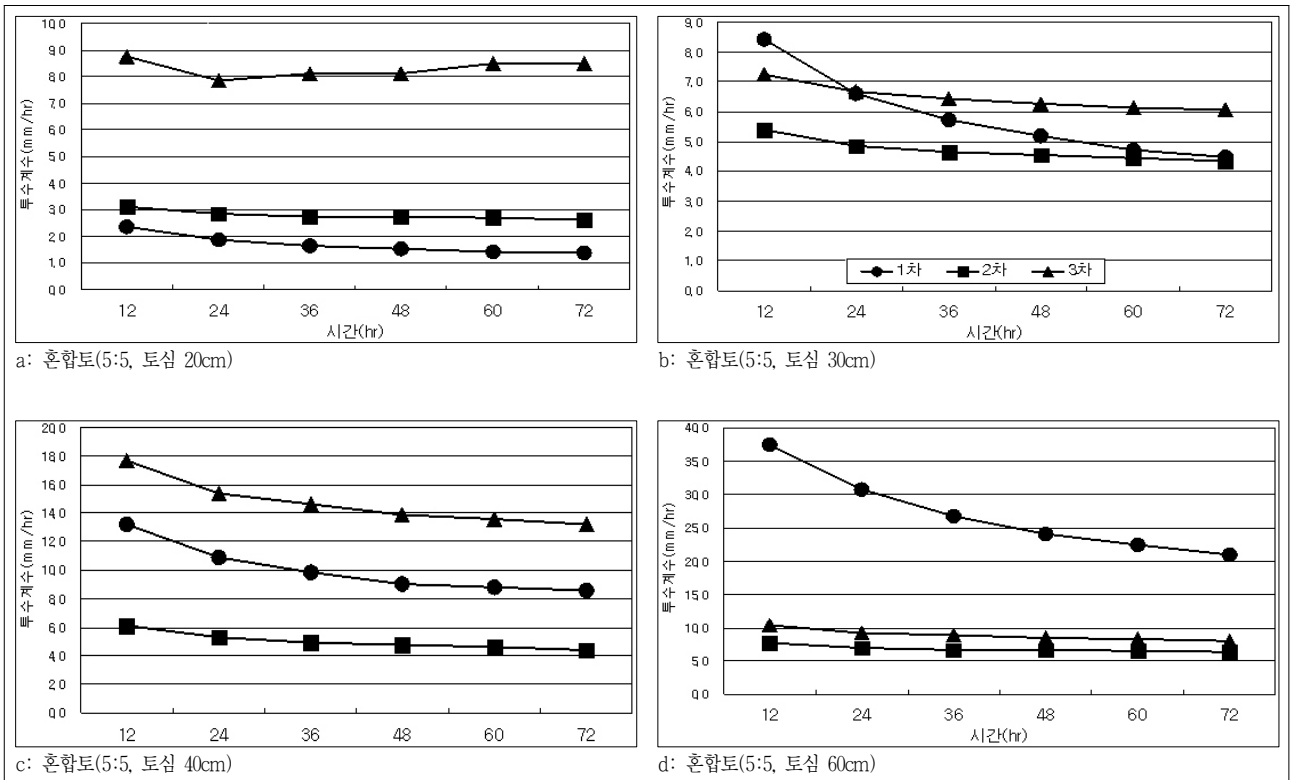


그림 8. 토심별 혼합토(5:5) 투수계수

범례: ● 1차, ■ 2차, ▲ 3차

표 6. 토양별 토심별 포화단위중량

토양	토심	포화상태의 중량(kg)				
		1차측정	2차측정	3차측정	4차측정	5차측정
인공토	20cm	6.25	6.18	5.82	5.62	6.02
	30cm	8.45	8.21	8.20	8.85	8.34
	40cm	10.65	10.75	10.84	10.16	10.98
	60cm	15.47	15.79	16.30	16.12	15.16
혼합토 (8:2)	20cm	7.45	7.40	6.78	6.84	6.54
	30cm	10.10	10.10	10.56	10.58	10.60
	40cm	13.10	13.37	13.44	15.10	13.70
	60cm	19.00	19.54	20.68	20.64	22.90
혼합토 (6:4)	20cm	8.35	8.13	8.60	8.80	8.20
	30cm	11.80	11.73	12.18	11.44	12.08
	40cm	15.60	15.88	14.80	15.26	14.88
	60cm	22.35	22.87	22.90	23.24	23.90
혼합토 (5:5)	20cm	9.20	8.68	9.04	9.26	8.56
	30cm	13.05	12.30	13.70	12.48	14.70
	40cm	16.80	16.76	16.80	16.66	16.36
	60cm	24.50	24.17	24.48	24.80	23.12

계수보다 큰 경우에는 포화단위중량을 설계하중으로 결정하여야 하며, 투수실험에서 언급한 바와 같이 1~5차 시험에서 포화단위중량을 산정하였으며, 그 결과가 표 6에 나타나 있다.

3. 설계하중결정기준 비교

1) 토양별 투수계수의 결정

2절에서 살펴본 바와 같이, 기구다짐을 통하여 일정한 다짐을 유지하기 어려운 시료에서 부피규제를 통한 손다짐만으로는 인공토의 부상으로 인한 공동현상을 막기는 어렵다. 본 연구에서는 3차에 걸친 투수계수 측정실험 결과를 종합하여, 인공토와 혼합토의 투수계수를 결정하였다.

대부분의 자연상태 흙을 이용한 투수계수 측정은 교란되지 않은 상태를 이용하므로, 여러 번의 정수위투수계수 측정에서도 비슷한 값을 보이나, 본 연구는 상당한 변화폭을 가지며, 이는 인력다짐의 한계로 판단된다. 따라서 정수위투수계수 측정 결과 중 투수계수가 가장 작은 값이 다짐 정도가 좋고, 잘 혼합된 경우로 볼 수 있고, 가장 큰 경우가 다짐 정도가 불량한 것으로 판단된다.

표 7의 결과는 다짐 정도가 일정한 경우와 불량한 경우가 모두 포함된 것으로, 인공지반 녹화 시 인공지반의 다짐 정도에 대한 명확한 규정이 없으므로, 최소치와 최대치 투수계수 모두

표 7. 토양별 최소 및 최대 투수계수 측정치

토양	토심	투수계수(mm/hr)							
		최소				최대			
		1차	2차	3차	최택치	1차	2차	3차	최택치
인공토	20cm	39.3	130.2	60.1	7.4	41.1	153.8	125.0	153.8
	30cm	7.4	62.5	14.2		7.6	101.7	15.4	
	40cm	10.9	21.4	46.0		12.6	24.6	50.8	
	60cm	16.4	26.1	35.2		17.6	33.8	36.4	
혼합토 (8:2)	20cm	1.6	19.5	9.8	1.6	1.7	21.6	10.8	26.9
	30cm	6.9	23.2	3.2		7.7	25.2	3.2	
	40cm	4.1	12.6	10.8		4.7	14.0	11.6	
	60cm	9.3	24.8	11.3		12.0	26.9	12.1	
혼합토 (6:4)	20cm	1.0	5.4	14.6	1.0	1.4	5.9	17.7	17.7
	30cm	1.4	6.4	3.9		2.3	6.8	4.0	
	40cm	2.7	8.2	6.9		3.7	9.3	7.6	
	60cm	6.0	10.1	5.9		11.0	10.8	6.1	
혼합토 (5:5)	20cm	1.4	2.6	7.9	1.4	2.4	3.1	8.8	37.5
	30cm	4.5	4.3	6.1		8.4	5.4	7.2	
	40cm	8.6	4.4	13.2		13.2	6.1	17.7	
	60cm	21.0	6.4	8.0		37.5	7.8	10.5	

를 비교 대상으로하여 설계하중을 결정하고자 한다.

2) 토양별 설계하중 결정조건 비교

표 1에서 밝힌 바와 같이, 구조물에 작용하는 설계하중은 인공지반의 무게뿐 아니라 강우시 강우강도와 투수계수에 의하여 결정되는 인공지반의 포화도 여부에 따라 달라진다. 만약 강우 강도의 세기가 투수계수보다 클 경우, 즉 인공지반을 통하여 침투한 후 구조물의 배수로를 통하여 빠져나가는 물보다 더 많은 물이 인공지반에 공급(설계강우강도)된다면, 인공지반은 항상 포화되어 있을 것이며, 이때 인공지반의 무게가 최대로 된다.

표 8을 살펴보면 펄라이트 100%인 인공토로 조성된 인공지반의 최대투수계수를 제외하고는 설계조건이 포화단위중량을 기준으로 하여야 함을 알 수 있으며, 인공토를 100% 사용하여 인공지반을 조성하는 예는 없으므로, 인공지반의 설계하중은 포화단위중량을 적용하는 것이 타당하다.

3) 토심별 혼합비율별 설계하중 결정

토심별 혼합비율별 설계하중은 전술한 바와 같이 1~5차 시험에서 측정한 토심별 혼합비율별 포화단위중량을 회귀분석을

표 8. 지역별, 토양별 설계강우강도에 대한 포화 여부

지역	설계 강우 강도 (mm/hr)	인공토	혼합토 (8:2)	혼합토 (6:4)	혼합토 (5:5)
		최소/최대 투수계수(mm/hr)			
		7.4/153.8	1.6/26.9	1.0/17.7	1.4/37.5
서울	150.0	포화/불포화	포화/포화	포화/포화	포화/포화
강릉	97.2	포화/불포화	포화/포화	포화/포화	포화/포화
대전	141.0	포화/불포화	포화/포화	포화/포화	포화/포화
대구	118.8	포화/불포화	포화/포화	포화/포화	포화/포화
부산	134.4	포화/불포화	포화/포화	포화/포화	포화/포화
울산	109.8	포화/불포화	포화/포화	포화/포화	포화/포화
전주	130.2	포화/불포화	포화/포화	포화/포화	포화/포화
광주	121.8	포화/불포화	포화/포화	포화/포화	포화/포화

표 9. 혼합비율별 포화단위중량 회귀분석 결과

혼합비	a	b
인공토와 일반토양의 비(10:0)	778.089	33.312
인공토와 일반토양의 비(8:2)	1,078.544	7.043
인공토와 일반토양의 비(6:4)	1,167.443	28.753
인공토와 일반토양의 비(5:5)	1,203.167	51.074

이용하여 산정하였으며, 표 9에 나타나 있다.

$$W = ah + b$$

여기서 W는 토심별 포화단위중량, h는 토심, a, b는 회귀상수이며, 상관계수는 0.97이상이었다.

또, 본 연구에서 시험한 혼합비 이외의 혼합비율에 대하여서도 설계하중을 구하기 위하여, 혼합비율과 토심을 독립변수로 하는 다중회귀분석(multiple regression)을 시행하였으며, 그 결과는 다음의 식과 같다.

$$W = 1,056.811 \times h + 346.192 \times P - 65.157$$

W : 토양의 무게(kg)
 h : 토양의 깊이(m)
 $P = \frac{\text{일반토양의 부피}(m^3)}{\text{총 시료부피}(m^3)}$ (식 2)

V. 결론

본 연구는 인공지반 조성시 요구되는 기술자료 구축의 일환으로서 먼저 토양시료를 부피규제 및 무게규제에 따른 인력다짐 및 기구다짐 등 여러 가지 다짐방법으로 채워 넣었으며, 식

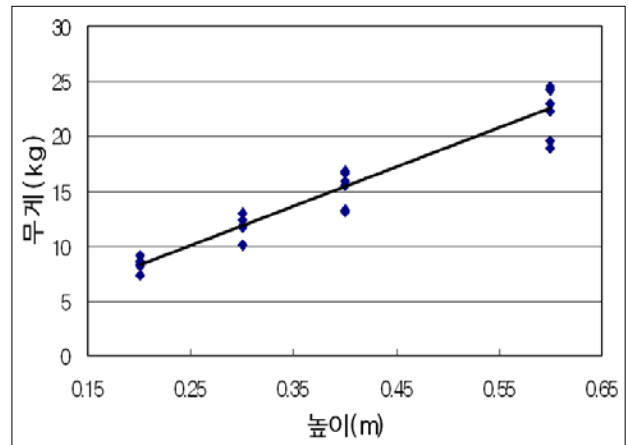


그림 9. 토심별 혼합토 비율별 높이별 다중회귀분석 결과

제기반 조성 시 토양이 건물에 미치는 하중을 구명하기 위해 강우강도와 투수계수를 비교 분석하였고, 그 결과를 통해 실무에서 간편하게 적용할 수 있는 설계하중 결정식을 제안하였다. 인공지반 조성 시 다짐방법은 부피규제에 따른 인력 손다짐을 주로 사용하므로, 본 연구에서는 균질한 인공지반 조성을 위하여 무게규제를 통한 인력 손다짐과 기구다짐을 통하여 인공지반을 조성하였으나, 무게규제의 경우는 현장에서 펠라이트와 일반토양의 비율에 따른 혼합토의 무게를 일일이 측정하기 어렵고 기구다짐의 경우 인공토양이 과포되는 현상이 발생하여 다짐방법으로는 적절치 않음을 알 수 있었다.

인공지반의 투수계수는 펠라이트인 인공토양과 일반토양의 혼합비율에 따라 변화하며, 일반토양의 양이 많을수록 감소하나, 이 또한 다짐 정도에 따라 항상 같은 결과를 보이지는 않았다. 일반토양의 양이 많을수록 감소한다.

인공지반의 설계하중은 토양이 포화되었을 때 최대이며, 인공지반의 포화 여부는 투수계수와 설계강우강도를 비교하여 알 수 있고, 본 연구의 결과 전국 8개 대도시 지역에서 설계강우강도가 최소/최대 투수계수를 비교하였으며, 인공토 100%에 대한 최대투수계수를 제외하고는 모든 혼합토의 설계하중은 포화 시를 기준으로 산정되어야함을 알 수 있었다.

인용문헌

1. 건설교통부(2000) 한국 확률강우량도.
2. 대한주택공사 주택연구소(1995) 아파트단지 내 인공지반 조경녹화 방안 연구. 대한주택공사.
3. 심경구, 허근영, 강호철(1999) 소성 점토다공체 및 코코넛 피트를 이용한 인공지반용 혼합배지의 개발. 한국조경학회지 27(3): 109-113.
4. 안원용, 김동엽(2001) 옥상녹화 후 인공토양의 이화학적 특성 변화. 한국조경학회지 28(6) : 77-83.
5. 이은영, 문석기(2000) 옥상녹화공법의 배수층 구조별 식물생육 효과. 환경복원논총 3(4) : 11-21.
6. 최희선, 이상수, 이용범(2001) 옥상전원에 이용 가능한 혼합 인공토양의 종류 및 토심에 따른 비비추의 생육반응. 한국조경학회지29(3) : 46-54.

7. 한국조경학회(1999) 조경설계기준. 서울: 조경.
8. 현대건설 기술연구소(1997) 인공지반 조경 녹화기술에 관한 연구. 현대 건설주식회사.
9. 한국수도협회(2002) 하수도 시설기준.
10. 허근영, 심경구(2000) 인공지반의 녹화를 위해서 단용 또는 노지토양과 혼합하여 이용되는 인공토양의 특성. 한국조경학회지 28(2): 28-38.
11. 허근영, 심경구(2001) 인공지반 녹화용 신소재 인공토양 개발. 한국원예학회지 42(3): 355-364.

원 고 접 수 일: 2009년 3월 26일
심 사 일: 2009년 4월 22일
계 재 확 정 일: 2009년 5월 12일
3 인 의 명 심 사 필