

## 펄라이트로 조성된 토양층의 하중

이성기 · 류남형 · 허근영

진주산업대학교 조경학과

### Load of Soil Layers Established with Perlite

Lee, Sung-Ki · Ryu, Nam-Hyong · Huh, Keun-Young

Dept. of Landscape Architecture, Jinju National University

#### ABSTRACT

This study was carried out to investigate the load of soil layers affected by soil depth in artificial soil alone or in blends with Loam with various ratio.

The artificial soils were perlite large grain, perlite small grain, and perlite small grains blended with Loam (sand 46%, silt 40%, clay 14%) at a ratio of 8:2, 6:4, 5:5 (v/v). The soil layers were divided into a planting layer and a well-drained layer, then the weight of each layer in the air-dried state and in the field capacity were determined. The data were subjected to correlation analysis, regression analysis, and paired samples t-test. The summarized results are as follows;

1) In the air-dried state, the regression equations of the well-drained layer weight(kg/m<sup>2</sup>) in perlite large grain, planting layer weight in perlite small grain, planting layer weight in perlite small grain blended with loam(8:2, v/v), perlite small grain blended with loam(6:4, v/v), and perlite small grain blended with loam(5:5, v/v) were;  $1.65824 * X + 0.026$ ,  $1.52292 * X - 0.052$ ,  $3.21468 * X + 0.515$ ,  $6.17549 * X + 0.083$ , and  $6.02100 * X + 33.133$ , respectively, where X is soil depth measured in Centimeters.

2) In the field capacity, the regression equations of the well-drained layer weight(kg/m<sup>2</sup>) in perlite large grain, planting layer weight in perlite small grain, planting layer weight in perlite small grain blended with loam(8:2, v/v), perlite small grain blended with loam(6:4, v/v), and perlite small grain blended with loam(5:5, v/v) were  $5.055 * X - 2.006$ ,  $7.073 * X + 100.008$ ,  $8.092 * X + 116.676$ ,  $10.766 * X + 100.112$ , and  $10.974 * X + 124.423$ , respectively, where X is the soil depth measured in Centimeters.

3) All of the equations mentioned above were statistically reliable and therefore easily applicable in practical business affairs.

*Key Words : Air-dried, Field Capacity, Soil Layer, Planting Layer, Weight, Well-drained Layer*

## I. 서론

가속적인 경제성장과 산업화로 인하여 도시로의 인구집중이 심화되고 있으며, 그 결과로 도시인구는 과밀화 되고 건물은 고층화 및 입체화 되고 있다. 또한 무분별한 개발과 이용으로 인한 생태계의 파괴와 각종 오염물질의 배출은 도시 열섬화나 도시 홍수 등의 여러 가지 환경적 문제를 야기시키고 있다(김도경과 황지환, 2001; 한국건설기술연구원, 1997; 한국건설기술연구원, 2000). 생태적으로 불균형한 도시에 효율적이고 쾌적한 녹지공간을 조성하기 위하여 인공지반을 조성하고 이를 통해 도심에서의 녹지공간 부족을 극복하기 위한 많은 시도가 있어왔다(대한주택공사 주택연구소, 1995; 심경구 등, 1999). 이미 많은 건축물의 옥상과 지하주차장 상부가 녹화되었고, 지속적으로 인공지반의 녹화가 이루어지고 있다. 또한, 건축물들이 대형화하며 고층화되고 그 형태도 다양해지면서 녹지공간을 조성하기 위한 인공지반은 점차 확대되고 있다(현대건설 기술연구소, 1997).

인공지반의 녹화는 건축 및 토목구조물 등의 불투수층 구조물 위에 토양층을 포함한 식재기반을 조성하고 식재하는 것을 의미한다(한국조경학회, 1999; 허근영과 심경구, 2000). 따라서 인공지반의 녹화는 특수한 녹화 기술이 요구되어진다. 이미 인공지반 녹화기술과 관련한 많은 연구들이 환경부, 한국건설기술연구원, 한국주택공사, 서울특별시, 옥상녹화연구회, 그리고 관련업체 등에 의해서 다각적으로 진행되어 왔으며, 일부 분야에서는 상당한 진보가 이루어졌다. 그러나 최근까지 기술 개발은 식재기반 조성을 위한 자재 개발 및 그 자재를 활용한 공법에 관한 내용이 대부분이며, 반면에 현장에서 그 기술의 적용을 위한 연구는 이론적 고찰을 통하여 얻어진 기술들을 제안하는 수준으로 실무에서 인공지반 녹화에 관련한 설계·시공시 많은 애로점을 느끼고 있는 것이 사실이다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 인공지반 녹화 기술의 적용시 요구되는 기술 자료를 실험적인 검증을 통하여 마련하고, 이것을 실무에서 적용하기 용이하도록 자료화하는 것이 필요하다고 판단되었다.

인공지반 녹화 기술의 핵심은 식물의 생육을 건전하

게 유지할 뿐만 아니라 동시에 건물에 미치는 하중을 최소화할 수 있는 식재지반, 즉 식물의 뿌리가 생육할 수 있는 토양층을 조성하는 것이다(대한주택공사 주택연구소, 1995; 이은엽과 문석기, 2000; 최희선 등, 2001; 한국조경학회, 1999; 허근영과 심경구, 2001). 일반적으로 인공지반에서 토양층의 하중을 최소화하기 위해서 토심을 낮추고자 하지만, 반대로 식물의 생육을 위해서는 충분한 토심이 요구되는데(대한주택공사 주택연구소, 1995; 현대건설 기술연구소, 1997), 이 상반(相反)된 두 가지 조건을 만족시키기 위해서는 먼저 여러 가지 토양 재료 및 토심으로 조성된 토양층들의 중량을 파악하는 것이 필요하다고 볼 수 있다. 이것은 인공지반의 녹화를 전제로 하는 건물의 설계과정에서 충분한 구조적 검토를 가능하게 할 뿐만 아니라 앞서 언급된 두 가지 조건을 만족하는 토양층의 조성을 가능하게 할 것이다.

본 연구는 인공지반에서 토양층이 건물에 미치는 하중을 구명하고 인공지반 녹화에서 요구되는 기술자료를 구축하고자 수행하였다. 연구목적을 달성하기 위해 가장 많이 사용되고 있는 펠라이트를 단용 또는 양토와 혼합하여 현장조건과 동일하게 토심별로 토양층을 조성하고, 풍진상태 및 포장용수량 상태에서 토양층들의 중량을 분석하여 실무에서 간편하게 적용할 수 있는 구체적인 기술자료를 추론하고자 하였다. 그리고 이것이 인공지반 녹화에서 단용 또는 양토와 혼합된 토양층들이 건물에 미치는 하중을 예측하고 최소화함과 동시에 보다 효과적인 토양층의 조성을 위한 유용한 자료로 활용될 것을 기대하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 토양시료 및 토양층 조성

본 연구를 위해서 펠라이트 소립, 펠라이트 대립, 그리고 여러 가지 비율로 혼합된 펠라이트 소립과 양토 혼합물을 토양시료로 선정하였다. 펠라이트 소립과 펠라이트 대립은 인공지반 녹화시 일반적으로 사용되고 있는 제품이며, 펠라이트 소립과 혼합하기 위해서 사용

된 양토는 2mm 체(sieve)로 체가름한 것으로 모래(Sand) 함량이 46%, 미사(Silt) 함량이 40%, 그리고 점토(Clay) 함량이 14%이며, 토양 중의 유기물 함량이 1% 미만이고, 이 토양시료들의 용적밀도, 포장용수량, 그리고 포화투수계수는 표 1과 같았다(농업과학기술원, 2000; Brady and Weil, 1996).

표 1. 공시토양의 물리적 특성

구분	용적밀도	포장용수량	포화투수계수
펄라이트 대립 <sup>a</sup>	0.23	46.1	0.132
펄라이트 소립 <sup>a</sup>	0.25	51.6	0.013
펄라이트 소립 <sup>b</sup>	0.15	-	0.031
펄라이트 소립 <sup>c</sup>	0.23	62.69	0.016
양토 <sup>d</sup>	1.45	31.1	0.011

<sup>a</sup>: 0.25kg/cm<sup>2</sup> 압력으로 충전 후에 측정함(허근영과 심경구, 2000)

<sup>b</sup>: 조성 후 1년이 경과된 현장에서 코어(core) 채취 후에 측정함(안원용과 김동엽, 2001)

<sup>c</sup>: 조성 후 7년이 경과된 현장에서 코어(core) 채취 후에 측정함(안원용과 김동엽, 2001)

<sup>d</sup>: 현장에서 코어(core) 채취 후에 측정함(농업과학기술원, 2000)

토양층은 식재층(육성층)과 배수층으로 구분하여 조성하였다. 식재층은 펄라이트 소립 100%로 조성하거나, 펄라이트 소립과 양토를 부피비 8:2, 6:4, 5:5로 혼합하여 조성하였으며, 펄라이트 소립과 양토의 혼합비는 인공지반 녹화에서 많이 사용되고 있는 혼합비에 준하여

표 2. 토양층의 구성방법

전체토심(cm)	배수층 토심(cm)	식재층 토심(cm)
20	0	20
	5	15
	10	10
30	0	30
	5	25
	10	20
40	0	40
	5	35
	10	30
60	0	60
	5	55
	10	50
	20	40
90	0	90
	10	80
	20	70
	30	60

결정하였다. 그리고 배수층은 펄라이트 대립 100%로 조성하였다. 토양층의 전체 토심과 토양층을 구성하는 식재층과 배수층의 토심은 표 2에서와 같이 전체적으로 17처리x3반복으로 하였다.

토양층 조성에서 토양시료의 채움은 다음과 같았다. 먼저, 직경 20cm의 아크릴관을 토심별로 절단하였으며 최하단부에 배수구를 뚫고 밑판을 부착하는 방법으로 시험관을 제작하였다. 제작된 아크릴 시험관 저면에 토양층으로부터 내려온 물의 원활한 배수를 위해서 직경 1cm의 유리구슬을 5cm 높이로 채우고, 천공된 원형의 지름 20cm의 PVC 판을 올려놓은 후, 세립토 여과용 부직포를 깔았다. 마지막으로, 실험에 참여한 작업자들과 함께 현장에서 시공하는 방법에 준하여 아크릴 시험관에 토양시료를 여러 가지 다짐방법으로 채워 넣으며, 투명한 아크릴 시험관을 통하여 토양 입자의 유동, 펄라이트와 양토의 분리 등을 조사하고, 다짐 정도, 작업 속도 등을 평가하여 표 3과 같은 방법으로 다짐하였다.

표 3. 배수층 및 식재층의 다짐 방법

구분		다짐 방법	
배수층	펄라이트 대립	별도의 다짐 작업 없이 일정 높이로 포설하여 배수층을 조성하고, 그 위에 식재용(육성용) 토양을 포설. 비산 분진을 방지하기 위해 살수를 실시함.	
	펄라이트 소립	다짐시 물다짐함. 물다짐은 펄라이트 소립이 10cm 높이로 포설될 때마다 실시.	
식재층	펄라이트 소립:양토(부피비)	8 : 2	펄라이트 소립의 다짐과 같은 방법으로 다짐.
		6 : 4	펄라이트 소립의 다짐과 같은 방법으로 다짐. 그러나, 물다짐 하지 않고 기건상태에서 다짐하고, 다짐 후에 살수를 실시함이 효과적임.
		5 : 5	펄라이트 소립의 다짐과 같은 방법으로 다짐. 그러나, 물다짐 하지 않고 기건상태에서 다짐하고, 다짐 후에 살수를 실시함이 효과적임.

## 2. 토심별로 조성된 토양층의 중량

일반적으로 자연상태에서 채취된 토양 코어(core)를 분석하여 풍건상태 및 포장용수량 상태에서 해당 토양시료의 용적밀도(g/cm<sup>3</sup>)를 산출하고 단위중량(kg/m<sup>3</sup>)

으로 환산하여 식 1과 같은 산출식을 작성하고, 이 식으로 구조가 파괴되지 않은 그 토양층의 토심에 대한 1m<sup>2</sup> 당 중량을 산출하고 있다(농업과학기술원, 2000; Brady and Weil, 1996).

$$W_x = W_x' \times X \quad (\text{식 1})$$

여기서,  $W_x$  : 일정 토심(X)에서의 1m<sup>2</sup> 당 중량(kg/m<sup>2</sup>)  
 $W_o$  : 해당 토양시료의 단위중량(kg/m<sup>3</sup>)  
 $X$  : 토심(cm)

그러나 본 연구에서의 토양층은 인위적으로 조성된 인공지반내 토양층이라는 전제조건을 가지고 있으므로 현장에서 시공하는 방법에 준하여 토양시료 및 토심별로 토양층을 조성하여 그 중량을 측정하였고, 이 측정값들을 활용하여 토양시료 및 토심별로 조성된 토양층의 중량 산출식을 도출하였으며, 그 방법은 다음과 같았다.

측정값은 풍건상태 및 포장용수량 상태에서 토양시료 및 토심별로 배수층의 중량과 식재층의 중량을 구분하여 측정한 후에 배수층과 식재층이 함께 조성된 상태에서 전체 토양층의 중량을 측정하는 방법으로 얻어졌다. 풍건상태에서 토심별로 조성된 토양층의 중량을 측정하기 위해서 아크릴 시험관 내에 토양층 조성과정에서 사용된 풍건상태에서의 토양시료 중량을 측정하였다. 포장용수량 상태에서 토심별로 조성된 토양층의 중량을 측정하기 위해서 토심별로 토양층이 조성된 각각의 아크릴 시험관에 충분한 관수를 실시하고 24시간 자연 배수시킨 후, 아크릴 시험관에 채워진 상태에서 토양시료의 중량을 측정하였다. 그리고 펄라이트 소립과 양토를 부피비 5:5로 혼합한 것으로 채워진 일부 아크릴 시험관에서 배수불량이 심하게 발생하여 관련한 시험관에서 얻어진 풍건상태 및 포장용수량 상태에서의 중량 측정값들과 함께 통계분석에서 결측값으로 처리하였다.

이 측정값들을 식 1과 동일한 개념의 식 2에 대입하여 풍건상태 및 포장용수량 상태에서 각 토양시료의 용적밀도 또는 단위중량을 산출하고 식 1과 같은 산출식을 도출하고자 하였다. 그러나 식 2를 통하여 단위중량을 산출하는 과정에서 이 식이 본 연구의 목적을 달성

하기에 부적합하다고 판단되었고, 그 대안으로서 회귀분석을 통하여 산출식을 도출하고자 하였다. 일차적으로 토심과 중량에 대하여 상관분석을 실시하여 토심과 중량간의 상관관계를 검증하였고, 중량을 종속변수로 하고 고도로 유의성( $P < 0.01$ ) 있는 상관관계를 지니고 있다고 검증된 토심을 독립변수로 하여 회귀식을 도출하였으며, 실험을 통하여 얻어진 토양시료 및 토심별로 조성된 토양층의 중량 측정값과 회귀식을 통하여 얻어진 산출값의 동일성 여부를 검증하기 위해서 대응표본 t-검정을 실시하였고, 최종적으로 검증된 회귀식들을 활용하여 풍건상태 및 포장용수량 상태에서 토양시료 및 토심별로 조성된 토양층의 중량을 수월하게 예측할 수 있는 기술자료를 제안하였다(정충영과 최이규, 1998; 조재성 등, 1995).

$$W_x = W_x' \times X/X' \quad (\text{식 2})$$

여기서,  $W_x$  : 토심(X)에서의 토양층 중량(kg/m<sup>2</sup>)  
 $W_x'$  : X'에서의 측정된 토양층 중량(kg/m<sup>2</sup>)  
 $X$  : 토심(cm)  
 $X'$  :  $W_x'$ 의 해당 토심(cm)

### III. 결과 및 고찰

식 2를 통하여 풍건상태 및 포장용수량 상태에서 토양시료 및 토심별로 조성된 토양층의 중량 산출식을 도출하기 전, 그 적합성을 평가한 결과에서 식 2는 본 연구의 목적을 달성하기에 부적합하다고 판단되었다. 이와 같은 이유는 포장용수량 상태에서 토심별로 조성된 토양층의 중량 측정값들을 식 2에 대입하여 단위중량(kg/m<sup>3</sup>)을 산출한 결과, 표 4에서 볼 수 있는 것처럼 일관성 있게 상대적으로 낮은 토심으로 조성된 토양층의 중량 측정값을 대입하면 산출된 단위중량이 높게 나타났고, 높은 토심으로 조성된 토양층의 측정값을 대입하면 산출된 단위중량이 낮게 나타났다. 결국, 포장용수량 상태에서의 단위중량 산출값들은 매우 심한 차이를 나타냈다. 이러한 차이는 토양층 내부에서 미세입자의 이동으로 인한 수분분포의 불균일과, 그 원인 중의 하나인 세립토 여과용 부직포를 포함하여 인접한 상부층에 수분이 많이 분포하기 때문에 발생하는 것으로 판단

표 4. 포장용수량 상태에서의 토심별로 조성된 토양층들에 대한 중량 측정값과 단위중량 산출값

토심 (cm)	펠라이트 소립		펠라이트 소립 : 양토(부피비)					
			8 : 2		6 : 4		5 : 5	
	중량측정값 (kg/m <sup>2</sup> )	단위중량 산출값 (kg/m <sup>3</sup> )	중량 측정값 (kg/m <sup>2</sup> )	단위중량 산출값 (kg/m <sup>3</sup> )	중량 측정값 (kg/m <sup>2</sup> )	단위중량 산출값 (kg/m <sup>3</sup> )	중량 측정값 (kg/m <sup>2</sup> )	단위중량 산출값 (kg/m <sup>3</sup> )
20	240	1200	264	1320	330	1650	323	1615
30	325	1083	368	1227	419	1397	468	1560
40	379	948	443	1108	541	1353	575	1438
60	508	847	615	1025	704	1173	842	1403
90	745	828	836	929	1091	1212	1107	1230

되었다. 그러나 대부분의 인공지반에서 토양 여과층을 조성하고 있으므로, 이것을 토양층에서 별도로 분리하여 실험에 고려하기보다는, 실무적으로 볼 때, 이것을 포함하여 반복적으로 나타나는 현상을 일반화시키는 것이 실질적이라고 판단하였다. 따라서 다음과 같이 각 토양시료에 대하여 어떤 한가지 토심이 아니라 여러 가지 토심으로 토양층을 조성하여 회귀분석을 하고 중량 산출식을 도출하였다.

1. 풍건상태에서 토심별로 조성된 토양층의 중량

회귀분석 결과를 전체적으로 살펴보면 다음과 같았다. 토심은 풍건상태에서 토심별로 조성된 토양층의 중량을 예측할 수 있는 고도의 유의성을 보이는 변수( $P < 0.01$ )이며, 도출된 모든 모델의 회귀계수( $R^2$ )는 0.95 이상 분석되었다. 그리고, 회귀식의 절편(Constant)이 0(zero)에 가까운 것으로 기대하였는데, 식 7을 제외한 나머지 식의 절편이 1kg 미만으로 나타났다(표 5 참조).

표 5. 풍건상태에서 토심별로 조성된 토양층의 중량 산출식 (단위: kg/m<sup>3</sup>)

구분	산출식
배수층	펠라이트 대립 1.65824 * X* + 0.026 (식 3)
	펠라이트 소립 1.52292 * X - 0.052 (식 4)
식재층	펠라이트 소립 : 8 : 2 3.21468 * X + 0.515 (식 5)
	양토(부피비) : 6 : 4 6.17549 * X + 0.083 (식 6)
	5 : 5 6.02100 * X + 33.133 (식 7)

\*: 토심(cm)

각각의 토양시료에 대하여 풍건상태에서 토심별로 조성된 토양층의 중량을 살펴보면 다음과 같았다. 먼저,

펠라이트 대립으로 48개의 아크릴 시험관에 토심별로 배수층을 조성하고 풍건상태에서의 중량을 측정하여 회귀분석한 결과, 다음과 같은 식 3을 얻었으며( $R^2 = 0.970$ ,  $F = 1507.321$ ,  $P < 0.01$ ), 펠라이트 소립으로 17개의 아크릴 시험관에 토심별로 식재층을 조성하고 풍건상태에서의 중량을 측정하여 회귀분석한 결과, 다음과 같은 식 4를 얻었다( $R^2 = 0.993$ ,  $F = 2069.719$ ,  $P < 0.01$ ). 펠라이트 소립과 양토를 부피비 8:2와 6:4로 혼합한 것으로 각각 17개의 아크릴 시험관에 토심별로 식재층을 조성하고 풍건상태에서의 중량을 측정하여 회귀분석한 결과, 다음과 같은 식 5( $R^2 = 0.978$ ,  $F = 663.433$ ,  $P < 0.01$ )와 식 6( $R^2 = 0.963$ ,  $F = 391.156$ ,  $P < 0.01$ )을 얻었다. 그리고 펠라이트 소립과 양토를 부피비 5:5로 혼합한 것으로 각각 13개(결측값 4개)의 아크릴 시험관에 토심별로 식재층을 조성하고 풍건상태에서의 중량을 측정하여 회귀분석한 결과, 다음과 같은 식 7( $R^2 = 0.995$ ,  $F = 2022.919$ ,  $P < 0.01$ )을 얻었다.

다짐의 수준을 평가하기 위해서 이 식들을 통하여 각 토양시료에 대한 풍건상태에서의 용적밀도와 단위중량을 산출한 결과는 표 6과 같았다. 따라서, 실험을 통하여 얻어진 산출한 값을 선행연구와 비교해 볼 때, 산출값은 조성 초기 용적밀도와 유사하다고 판단되었다. 그 이유는 허근영과 심경구(2000)가 토양시료를 0.25kg/cm<sup>2</sup>의 압력으로 충전하였을 때, 펠라이트 소립의 용적밀도는 0.25g/cm<sup>3</sup>이고 펠라이트 소립과 노지토양을 부피비 5:5로 혼합한 것의 용적밀도는 1.01g/cm<sup>3</sup>라고 하였으며, 안원용과 김동엽(2001)이 인공토양으로 조성된 토양층을 대상으로 2000년 8월에 인공토양의 토건중량으로 용적밀도를 측정하였을 때, 펠라이트 소립의 용적밀도가 0.15~0.28g/cm<sup>3</sup>의 범위를 보였고 1999년도에 조성된 지역의 용적밀도가 0.15g/cm<sup>3</sup>로 가장 낮은 값을 보였으

며 1993년 조성된 지역은 0.23g/cm<sup>3</sup>로 비교적 높은 값을 보였다고 언급하였기 때문이다.

표 6. 풍건상태에서 토양시료의 용적밀도와 단위중량

구분		용적밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	단위중량 (kg/m <sup>3</sup> )
배수층	필라이트 대립	0.166	166
	필라이트 소립	0.152	152
식재층	필라이트 소립 : 양토(부피비)	8 : 2	322
		6 : 4	618
		5 : 5	635

그리고 풍건상태에서 토심별로 조성된 토양층(배수층 + 식재층)의 중량 측정값과 표 5의 회귀식들을 통하여 얻어진 중량 산출값의 차이 유무를 확인하고자 상관 분석을 실시한 후에 대응표본 t-검정을 실시한 결과, 표 7에서 볼 수 있는 것처럼 모든 토양층에서 측정값과 산출값의 통계적 유의성이 나타났지 않았다. 따라서 이 회귀식들은 풍건상태에서 토양시료 및 토심별로 조성된 토양층의 중량을 산출하기 위해 적용될 수 있다고 판단되었다. 결과적으로 이 회귀식들을 활용하여 광범위하게 풍건상태에서 토심별로 조성된 토양층의 중량을 예

표 7. 풍건상태에서 토심별로 조성된 토양층의 중량 측정값과 산출값(단위: kg/m<sup>2</sup>)

전체 토심	배수 토심	식재 토심	필라이트 소립		필라이트 소립 : 노지토양(부피비)					
			측정값	산출값	8 : 2		6 : 4		5 : 5	
					측정값	산출값	측정값	산출값	측정값	산출값
20	0	20	34	30	77	65	136	126	142	154
20	5	15	30	31	107	57	109	101	126	131
20	10	10	34	32	54	49	83	79	103	110
30	0	30	43	46	105	97	178	185	227	214
30	5	25	45	46	101	89	182	162	195	192
30	10	20	48	47	97	82	147	143	171	171
40	0	40	58	61	136	129	244	247	281	274
40	5	35	57	61	134	121	230	224	-	252
40	10	30	59	63	130	114	196	202	248	231
60	0	60	88	91	212	193	322	371	-	394
60	5	55	83	92	197	185	370	348	-	372
60	10	50	94	93	180	178	350	326	345	351
60	20	40	97	94	198	162	285	280	-	307
90	0	90	138	137	314	290	556	556	584	575
90	10	80	139	139	285	275	553	511	509	532
90	20	70	137	140	281	259	493	465	503	488
90	30	60	146	141	258	243	345	421	446	444
상관분석			** <sup>a</sup>	**	**	**	**	**	**	**
대응표본 t-검정			NS <sup>b</sup>	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS

<sup>a</sup>: significant at 1% using 2-tailed test

<sup>b</sup>: not significant at 5% using 2-tailed test

측할 수 있다고 보았다.

그리고 이것을 실무에서 적용하기 간편하게 기술 자료화한다면 표 8과 같은 방법을 모델로 제안할 수 있으며, 이를 통하여 실무에서 보다 간편하게 풍건상태에서 토심별로 조성된 토양층이 건물에 미치는 하중을 예측할 수 있을 것으로 판단되었다. 예를 들면, 배수층을 필라이트 대립으로 조성할 경우, 토심이 10cm이면 1m<sup>2</sup> 당 17kg이고, 식재층을 필라이트 소립으로 조성할 경우, 토심이 50cm이면 1m<sup>2</sup> 당 76kg이며, 이 토심 60cm 토양층(배수층 + 식재층)의 기건시 총중량은 1m<sup>2</sup> 당 93kg이 될 것이다.

표 8. 풍건상태에서 토심별로 조성된 토양층의 중량 산출표(단위: kg/m<sup>2</sup>)

토심 (cm)	식재층(육성층)				배수층 필라이트 대립
	필라이트 소립	필라이트 소립 : 노지토양(부피비)			
		8 : 2	6 : 4	5 : 5	
5	8	17	31	63	8
10	15	32	62	93	17
15	23	49	93	123	25
20	30	65	126	154	33
25	38	81	154	184	41
30	46	97	185	214	50
35	53	113	216	244	58
40	61	129	247	274	66
45	68	145	278	304	75
50	76	161	309	334	83
55	84	177	340	364	91
60	91	193	371	394	100
65	99	209	401	424	108
70	107	226	432	455	116
75	114	242	463	485	124
80	122	258	494	515	133
85	129	274	525	545	141
90	137	290	556	575	149
95	145	306	587	605	158
100	152	322	618	635	166

## 2. 포장용수량 상태에서 토심별로 조성된 토양층의 중량

회귀분석 결과를 전체적으로 살펴보면 다음과 같다. 토심은 포장용수량 상태에서의 토심별로 조성된 토양층의 중량을 예측할 수 있는 고도의 유의성을 보이는 변수(P < 0.01)이며, 도출된 모든 모델의 회귀계수(R<sup>2</sup>)는 식 8을 제외하고 0.99 이상으로 99% 이상의 설명력을 가지고 있다고 볼 수 있다. 그리고, 회귀식의 절편

(Constant)이 영에 가까울 것으로 기대하였는데, 식 8를 제외한 나머지 식의 절편이 대략 100~125kg 정도로 나타났다. 이것은 앞서 언급한 것과 같은 원인들로 발생한 절편값으로 추정되었다(표 9 참조). 그러나 이 원인을 보다 정확하게 설명하기 위한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단되었다.

각각의 토양시료에서 포장용수량 상태에서 토심별로 조성된 토양층의 중량을 살펴보면 다음과 같았다. 먼저, 펄라이트 대립으로 48개의 아크릴 시험관에 토심별로 배수층을 조성하고 포장용수량 상태에서의 중량을 산출

하여 회귀분석한 결과, 다음과 같은 식 8을 얻었다( $R^2 = 0.941$ ,  $F = 353.678$ ,  $P < 0.01$ ). 단, 펄라이트 대립으로 조성된 배수층 위에 펄라이트 소립으로 식재층 조성할 경우에는 식 8에서 약 9정도를 감한 값을 사용하도록 하는 것이 필요하였다. 펄라이트 소립으로 5개의 아크릴 시험관에 토심별로 식재층을 조성하고 포장용수량 상태에서의 중량을 측정하여 회귀분석한 결과, 다음과 같은 식 9를 얻었다( $R^2 = 0.997$ ,  $F = 887.099$ ,  $P < 0.01$ ). 펄라이트 소립과 양토를 부피비 8:2와 6:4로 혼합한 것으로 각각 5개의 아크릴 시험관에 토심별로 식재층을 조성하고 포장용수량 상태에서의 중량을 측정하여 회귀분석한 결과, 다음과 같은 식 10( $R^2 = 0.997$ ,  $F = 1180.234$ ,  $P < 0.01$ )과 식 11( $R^2 = 0.993$ ,  $F = 413.557$ ,  $P < 0.01$ )을 얻었다. 그리고 펄라이트 소립과 양토를 부피비 5:5로 혼합한 것으로 각각 4개(결측값 1개)의 아크릴 시험관에 토심별 식재층을 조성하고 포장용수량 상태에서의 중량을 측정하여 회귀분석한 결과, 다음과 같은 식 12( $R^2 = 0.998$ ,  $F = 875.734$ ,  $P < 0.01$ )를 얻었다.

표 9. 포장용수량 상태에서 토심별로 조성된 토양층의 중량 산출식(단위: kg/m<sup>2</sup>)

구 분		산 출 식	
배수층	펄라이트 대립	$5.055 * X^* - 2.006$	(식 8)
	펄라이트 소립	$7.073 * X + 100.008$	(식 9)
식재층	펄라이트 소립 : 양토(부피비)	8 : 2	$8.092 * X + 116.676$ (식 10)
		6 : 4	$10.766 * X + 100.112$ (식 11)
		5 : 5	$10.974 * X + 124.423$ (식 12)

\*: 토심(cm)

표 10. 포장용수량 상태에서 토심별로 조성된 토양층의 중량 측정값과 산출값(단위: kg/m<sup>2</sup>)

전체 토심	배수 토심	식재 토심	펄라이트 소립		펄라이트 소립 : 양토(부피비)					
			측정값	산출값	8 : 2		6 : 4		5 : 5	
					측정값	산출값	측정값	산출값	측정값	산출값
20	0	20	240	241	264	279	330	315	323	344
20	5	15	220	220	269	261	288	285	333	312
20	10	10	202	211	226	247	250	257	269	283
30	0	30	325	303	368	359	419	423	468	454
30	5	25	299	291	350	342	427	392	414	422
30	10	20	285	281	336	328	371	364	400	393
40	0	40	379	374	443	440	541	531	575	563
40	5	35	358	362	435	423	514	500	-	532
40	10	30	358	352	419	408	465	472	522	503
60	0	60	508	515	615	602	704	746	-	783
60	5	55	511	513	591	585	763	715	-	751
60	10	50	479	494	556	570	729	687	705	722
60	20	40	467	473	576	539	650	631	-	662
90	0	90	745	728	836	845	1091	1069	1107	1112
90	10	80	691	706	811	813	1097	1010	1014	1051
90	20	70	667	685	788	782	1014	953	1036	992
90	30	60	670	665	744	752	818	896	906	933
상관분석			** <sup>a</sup>		**		**		**	
대용표본 t-검정			NS <sup>b</sup>		NS		NS		NS	

<sup>a</sup>: significant at 1% using 2-tailed test

<sup>b</sup>: not significant at 5% using 2-tailed test

그리고 포장용수량 상태에서 토심별로 조성된 토양층(배수층 + 식재층)의 중량 측정값과 표 9의 회귀식들을 통하여 얻어진 중량 산출값의 차이 유무를 확인하고자 상관분석을 실시한 후에 대응표본 t-검정을 실시한 결과, 표 10에서 볼 수 있는 것처럼 모든 토양층에서 측정값과 산출값의 통계적 유의성이 나타났지 않았다. 따라서 이 회귀식들은 포장용수량 상태에서 토양시료 및 토심별로 조성된 토양층의 중량을 산출하기 위해 적용될 수 있다고 판단되었다. 결과적으로 이 회귀식들을 활용하여 광범위하게 포장용수량 상태에서 토심별로 조성된 토양층의 중량을 예측할 수 있다고 보았다.

그리고 이것을 실무에서 적용하기 간편하게 기술 자료화한다면 표 11과 같은 방법을 모델로 제안할 수 있으며, 이를 통하여 실무에서 보다 간편하게 포장용수량 상태에서 토심별로 조성된 토양층이 건물에 미치는 하중을 예측할 수 있을 것으로 판단되었다. 예를 들면, 식재층을 펠라이트 소립으로 조성할 경우, 배수층의 토심이 10cm이면 1m<sup>2</sup> 당 40(49-9)kg이고, 식재층의 토심이 50cm이면 1m<sup>2</sup> 당 454kg이며, 이 토심 60cm 토양층(배

수층 + 식재층)의 포장용수량 상태에서의 총중량은 1m<sup>2</sup> 당 494kg이 될 것이다. 그리고 식재층을 펠라이트 소립과 노지토양을 부피비 8:2로 혼합한 것으로 조성할 경우, 배수층의 토심이 10cm이면 1m<sup>2</sup> 당 49kg이고, 식재층의 토심이 50cm이면 1m<sup>2</sup> 당 521kg이며, 이 토심 60cm 토양층(배수층 + 식재층)의 포장용수량 상태에서의 총중량은 1m<sup>2</sup> 당 570kg이 될 것이다.

### 3. 토양층 조성에서 토양시료 및 토심 조절을 통한 건물에 미치는 하중의 조절

위의 결과를 살펴볼 때, 건물에 미치는 하중을 최소화하기 위해서 단순히 토양층의 토심 및 토양시료를 조절하는 것뿐만 아니라, 동일한 토심의 토양층 내에서도 식재층과 배수층의 토심 조절과 토양시료의 선정에 따라서 건물에 미치는 하중을 최소화함과 동시에 보다 효과적인 토양층 구성이 가능할 것으로 예측되었다(표 7, 9 참조). 건물에 미치는 하중을 최소화하기 위해서는 풍건상태에서의 토양층 중량보다 포장용수량 상태에서의 중량이 더 중요하게 고려되어야 한다. 식재층으로 사용되는 토양시료의 용적밀도가 지나치게 낮은 경우, 외력에 의해서 토양구조가 쉽게 변하고, 토양입자의 유동이 심하며, 뿌리의 안정적인 생육을 보장하기 어렵다. 따라서 식재층으로 사용되는 토양시료의 용적밀도가 지나치게 낮은 것은 결코 이상적이라고 볼 수 없다. 앞서 언급된 것을 종합해 볼 때, 펠라이트 소립만으로 식재층을 조성하는 것과 비교하여 펠라이트 소립과 양토를 적정 비율로 혼합한 것으로 식재층을 조성하고 상대적으로 배수층의 토심을 증가시킨다면, 건물에 미치는 하중을 증가시키지 않으면서 토양층 상부의 안정화를 얻을 수 있을 것이다. 관련한 연구를 수행하며 이와 유사한 조성방법으로 토양층을 구성하고 식물을 나근(裸根) 상태로 식재하여 식물의 생육과 토양의 변화를 살펴본 것을 볼 때, 시간이 경과하며 식재층에 뿌리의 상당 부분이 분포하고 배수층에 굵은 뿌리가 성글게 분포하는 것을 볼 수 있었으며, 이 때 지상부의 생육은 건전한 것으로 판단되었다. 또한 식재층의 pH는 조성 초기와 실험 후에 적절한 수준을 유지하고 있었으며, 배수층의 pH는 조성 초기에는 알칼리성이 높게 나타났지만, 실험이 진행되면서 산성화되기 시작하여 수개월 후에 적정한 수

표 11. 포장용수량 상태에서의 토심별 토양층의 중량 산출표(단위: kg/m<sup>2</sup>)

토심 (cm)	식재층(육성층)				배수층 펠라이트 대립
	펠라이트 소립	펠라이트 소립 : 노지토양(부피비) 8 : 2	6 : 4	5 : 5	
5	135	157	154	179	23
10	171	198	208	234	49
15	206	238	262	289	74
20	241	279	315	344	99
25	277	319	369	399	124
30	312	359	423	454	150
35	348	400	477	509	175
40	383	440	531	563	200
45	418	481	585	618	225
50	454	521	638	673	251
55	489	562	692	728	276
60	524	602	746	783	301
65	560	643	800	838	327
70	595	683	854	893	352
75	630	724	908	947	377
80	666	764	961	1002	402
85	701	804	1015	1057	428
90	737	845	1069	1112	453
95	772	885	1123	1167	478
100	807	926	1177	1222	503



준에 이르렀다(허근영과 심경구, 2000). 그러나 이와 같은 방법으로 조성된 토양층에서 보수력이 문제가 될 수 있으며, 향후 식물의 건전한 생육을 위한 토양층 조성 방법이 구명되어야 할 것이다.

## IV. 결론

인공지반 녹화 기술의 적용시 요구되는 기술 자료 구축의 일환으로서, 본 연구는 단용 또는 양토와 혼합된 펠라이트를 사용하여 토심별로 조성된 토양층의 중량 특성을 분석하여 실무에서 간편하게 적용할 수 있는 기술 자료를 구축하고자 하였으며, 그 결과는 다음과 같았다.

1. 풍건상태에서 펠라이트 대립으로 조성한 배수층의 중량( $\text{kg}/\text{m}^2$ ), 펠라이트 소립으로 조성한 식재층의 중량, 양토를 부피비 8:2, 6:4, 그리고 5:5로 혼합한 펠라이트 소립으로 조성한 식재층의 중량에 대한 회귀식은 각각  $1.65824 * X + 0.026[X: \text{토심}(\text{cm})]$ ,  $1.52292 * X - 0.052$ ,  $3.21468 * X + 0.515$ ,  $6.17549 * X + 0.083$ , 그리고  $6.02100 * X + 33.133$ 이었다.

2. 포장용수량 상태에서 펠라이트 대립으로 조성한 배수층의 중량( $\text{kg}/\text{m}^2$ ), 펠라이트 소립으로 조성한 식재층의 중량, 양토를 부피비 8:2, 6:4, 그리고 5:5로 혼합한 펠라이트 소립으로 조성한 식재층의 중량에 대한 회귀식은 각각  $5.055 * X - 2.006[X: \text{토심}(\text{cm})]$ ,  $7.073 * X + 100.008$ ,  $8.092 * X + 116.676$ ,  $10.766 * X + 100.112$ , 그리고  $10.974 * X + 124.423$ 이었다.

3. 상기한 모든 회귀식들은 통계적으로 신뢰할 수 있는 수준이었으며, 이 식들을 활용하여 실무에서 쉽게 이용할 수 있는 기술 자료를 추론하여 제안하였다. 이것을 통하여 건물에 미치는 하중을 최소화함과 동시에

보다 효과적인 토양층의 조성이 가능할 것으로 예측되었다. 또한 펠라이트를 단독으로 사용하면 비용이 많이 소요되고, 노지토양을 혼합하여 사용하면 하중이 늘어나게 되는데, 늘어난 하중에 대비하여 구조를 보강하기 위해 소요되는 비용과 토양층 조성에서 절감되는 비용 간의 절감효과를 검토할 수 있을 것이다.

## 인용문헌

1. 김도경, 황지환(2001) 인공지반에서 금잔디의 증발산량 예측에 관한 연구. 한국조경학회지 29(1): 161-167.
2. 농업과학기술원(2000) 토양 및 식물체 분석법 - 물리·화학·미생물 -. 수원: 농촌진흥청.
3. 대한주택공사 주택연구소(1995) 아파트 단지내 인공지반 조경녹화방안 연구. 대한주택공사.
4. 심경구, 허근영, 강호철(1999) 소성 점토다공체 및 코코넛 피트를 이용한 인공지반용 혼합배지의 개발. 한국조경학회지 27(3): 109-113.
5. 안원용, 김동엽(2001) 옥상녹화 후 인공토양의 이화학적 특성 변화. 한국조경학회지 28(6): 77-83.
6. 이은엽, 문석기(2000) 옥상녹화공법의 배수층 구조별 식물생육효과. 환경복원녹화 3(4): 1-21.
7. 정충영, 최이규(1998) SPSSWIN을 이용한 통계분석. 서울: 무역경영사.
8. 조재성, 이호용, 정병관, 채제천, 홍성찬(1995) 실험통계학. 서울: 선진문화사.
9. 최희선, 이상수, 이용범(2001) 옥상정원에 이용 가능한 혼합 인공토양의 종류 및 토심에 따른 비비추의 생육반응. 한국조경학회지 29(3): 46-54.
10. 한국건설기술연구원(1997) 생태도시 조성 기반기술 개발사업. 국립환경연구원.
11. 한국건설기술연구원(2000) 건물옥상녹화 학술용역. 서울특별시.
12. 한국조경학회(1999) 조경설계기준. 서울: 조경.
13. 허근영, 심경구(2000) 인공지반의 녹화를 위해서 단용 또는 노지토양과 혼합하여 이용되는 인공토양의 특성. 한국조경학회지 28(2): 28-38.
14. 허근영, 심경구(2001) 인공지반의 녹화용 신소재 인공토양 개발. 한국원예학회지 42(3): 355-364.
15. 현대건설 기술연구소(1997) 인공지반 조경 녹화기술에 관한 연구. 현대건설주식회사.
16. Brady, N. C. and R. R. Weil(1996) The nature and properties of soils, 11th ed., New Jersey: Prentice-Hall, Inc.

원고접수: 2001년 12월 26일

최종수정본 접수: 2002년 2월 5일

3인익명 심사필