

인공지반에서 토양하중에 따른 건축구조물 골조원가의 비교연구

김도경* · 황지환**

*경희대학교 디자인 연구원 · **경희대학교 대학원 조경학과

A Comparative Study on the Costs of Structural Materials Based on Different Types of Soil Load on Artificial Ground

Kim, Do-Kyong* · Hwang, Jee-Hwan**

*Design Research Institute, Kyung Hee University

**Dept. of Landscape Architecture, Graduate School, Kyung Hee University

ABSTRACT

The purpose of this study is to determine the impact of the soil load for artificial ground on a building's structural expenses. Three types of soil — 100% soil, soil mixed with 50% perlite, and 100% artificial soil - were used for this study. A one story concrete steel building specific to each soil load was designed, and then, the cost of steel and concrete used for the design was estimated.

As the result of this study, the structural expenses in the case of 5:5 mixed soil can be reduced about 17% compare with 100% soil. Using artificial soil, the structural expenses can be cut about 32% compare to 100% soil and about 12% less when 5:5 mixed soil is used. However, considering total expense which includes the structural expense and soil expense, the expense of 5:5 mixed soil have an increase 25% compared with 100% soil. In the artificial soil, the total expense is 45% more expensive than 100% soil and 17% higher when 5:5 mixed soil is used because of the high unit price of artificial soil.

This study expected substantial savings in structural cost as the soil-load was lightened. But, savings were significantly reduced because the unit price of the artificial soil is much more expensive than the price of the natural one. Therefore, further research on methods of reducing the unit price of the artificial soil should be conducted in order to extend green space on to artificial ground.

Key Words : Artificial Ground, Soil Load, Structural Expenses

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

도시화의 물결은 인구집중과 증가로 자연지반에서의 녹지공간의 감소를 야기시키고 있으며, 부족해져만 가는 녹지확보의 대안으로 인공지반을 이용한 녹지형태가 제안되고 있지만 인공지반의 녹화는 하중의 부담과 구조비용 증가 등의 문제를 가지고 있다. 또한 기존건물의 옥상녹화를 조성하는데 하중문제를 해결하기 위해 인공토양을 적용하려 해도 토양과 인공토양의 가격차에서 오는 시공비의 부담도 인공지반 녹화에 걸림돌이 되고 있다.

한편 서울시의 경우 1980년 이후 건축허가를 받은 건물의 총 옥상 면적이 600만평이며 이중에서 조경을 용이하게 실행 할 수 있는 평슬라브지붕은 360만평에 달하며 이 넓이는 여의도 면적의 3배에 해당하는 막대한 면적으로 이는 녹화공간으로 조성할 만한 충분한 잠재력과 가치를 가지고 있다고 판단된다(이영무, 1998).

지금까지 발표되었던 여러 논문을 종합해 볼 때 인공지반에서 녹지를 조성할 때 인공토양 사용으로 인한 하중의 감소로 건축물의 골조원가에서 상당한 절감효과가 예상된다는 가정만 있을뿐, 어느정도의 절감효과가 있는지 구체적인 수치는 제시된 바 없다. 이에 본 연구에서는 인공지반녹화 조성시 사용될 수 있는 100%토양, 5:5배합토(토양:퍼라이트), 인공토양(파라소)등이 건축구조물의 골조원가에 어느정도의 영향을 미치는가를 연구의 목적으로 한다.

2. 연구사

지금까지 이루어진 인공지반에 관련된 연구는 크게 퍼라이트를 대체할 수 있는 물질과 그 물질에 대한 적합성에 관련된 연구와 인공지반 녹화에 관한 실태 분석을 통한 문제점과 개선방안 도출에 관련된 연구가 대부분이었다.

심경우(1999)와 허근영(2000)은 퍼라이트를 대체할 수 있는 물질 개발을 위한 연구와 토양 혼합을 통한 토

양의 특성연구를 하였고, 이재준(1996)과 김유일(1998)은 아파트 단지를 중심으로 인공지반에 조성된 녹지공간에 관한 실태를 조사 분석함으로써 인공지반 조성시의 계획측면의 문제점 파악과 개선 방안을 도출하였고, 김도경(2001)은 인공지반에서 5:5배합토(토양:퍼라이트)와 100%토양에서의 금잔디의 증발산량에 관한 연구 논문에서 같은 토심에서 5:5배합토의 경우, 100%토양과 같은 수준의 증발산량을 나타냈은 물론 5:5배합토가 100%토양보다 높은 보수성을 가지고 있다는 연구를 발표한 바 있다.

인공지반 녹화에 관련하여 인공토양을 적용함으로써 인공지반에 받게 될 하중이 감소하게 되고, 그에 따른 건축물 골조원가의 절감효과를 가져올 것이라는 기대를 가지고 있지만 현재까지 발표된 연구를 조사하면 토양하중과 건축구조물의 골조원가와의 상관관계에 대한 연구는 미비한 실정이다.

II. 연구의 범위 및 방법

1. 연구의 범위

조경이 가능한 옥상의 형태로는 평지붕과 경사지붕으로 나눌 수 있으며 두 공간 모두 조경계획의 대상공간으로 생각할 수 있다. 현재 일반적으로 옥상녹화가 이루어지고 있는 지붕형태는 평지붕 형태로 슬라브 위에 조성되고 있는 것이 일반적인 형태라고 할 수 있다.

본 연구에서는 인공지반 녹화에 소요되는 각종 수목과 시설물 그리고 투입되는 토양을 토양100%, 토양과 퍼라이트의 5:5배합토, 인공토양(파라소)의 세가지 형태로 구분하여 각각의 경우에 시설물과 식재하중, 토양하중을 계산한 후, 각 하중을 견딜 수 있는 건축구조물 모델을 설정하여 각각의 모델에 투입되는 철근과 콘크리트물량을 조사하여 골조원가에서 과연 얼마만큼의 비용 차이가 발생하는지를 비교 분석해 보고자 하였다.

또한 연구를 진행하는 과정에 있어서 유지보수비, 건물자중의 경량화에 따른 제반 비용상의 변동 사항은 없다는 점을 밝혀둔다.

2. 연구의 방법

1) 모델의 결정

인공지반 녹화에서 각 토양별 녹화조성비용과 건축구조물 골조원가를 비교하기 위하여 우선 적절한 모델을 결정해야할 필요가 있는데 직사각형의 평지붕 형태는 무엇보다 굴절부분이 없으므로 구조계산의 편의를 도모할 수 있다고 판단된다. 다음으로 이미 시공된 녹지공간을 선별하여 해당 녹지공간에 투입된 식재와 시설물의 무게와 규모가 데이터화 되어있는 자료를 이용함으로써 보다 신뢰있는 연구를 진행해 나갈 수 있도록 하고자 하였다.

직사각형구조로서 평슬라브위에 조성된 공간이며 조경소재 및 중량에 대한 자료가 다른 것에 비하여 구체적으로 언급되어 있기 때문에 적용성의 편리함이 가장 큰 이유라 할 수 있다. 이러한 기준에 따라 조사된 모델 중 서울시 공원녹지 관리사업소 옥상정원을 본 연구의 모델로 사용하였다. 단, 기존 서울시 공원녹지 관리사업소 옥상정원의 면적은 504㎡이지만 가로세로의 길이를 단순화 시켜 구조계산의 편의를 위하여 가로35m, 세로19m로 면적을 665㎡로 정하였고 철근콘크리트구조의 1층 건물로 하였다. 이번 연구에서는 665㎡의 공간에 서울시 공원녹지 관리사업소 옥상정원(504㎡)의 조경재료 및 하중표를 이용하였다.

본 연구는 토양에 따른 하중차이에서 오는 건축물의 골조원가차이를 도출시키는 것이 목적이기 때문에 식재와 다른 고정시설물을 그대로 이용하는데 있어서 문제가 없다고 판단된다. 따라서 조경면적은 287.5㎡를 그대로 적용하였다.

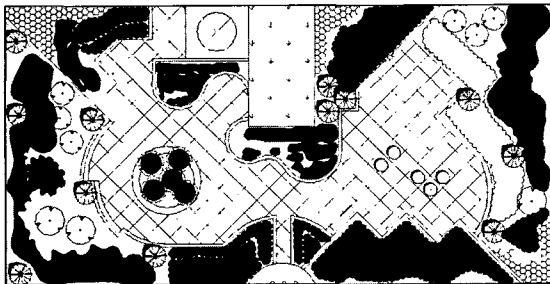


그림 1. 서울시 공원녹지 관리사업소 옥상정원 기본계획도

또한 실제 옥상녹화의 경우 녹화되는 구역의 토심에 변화가 있을 수 있으나 본 연구에서는 실제 시공시에 교목을 식재할 경우 사용하는 토심을 선택하여 일률적으로 적용하였다. 토심은 각 토양 모두 교목을 식재할 수 있는 토심으로 토양과 배합토의 경우는 90cm로, 인공토양의 경우는 60cm로 정하였다. 인공토양의 경우는 인공토양 제조회사인 (주)삼손의 파라스 공법을 이용하여 식재했을 경우의 토심을 적용하였다.

2) 조경소재 및 중량

본 연구에서 소요되는 기본적인 조경소재와 그에 따른 하중자료는 이미 시공된 서울시 공원관리 사업소 옥상녹화의 자료를 이용하였고, 넓이가 504㎡에서 665㎡로 넓어진 만큼 늘어난 방수쉬트와 몰탈의 무게만을 증가시켰으며, 앞에서 언급했던 바와 같이 교목식재를 위한 토심을 위하여 100%토양(이하 TYPE1이라 한다.)과 5:5배합토(이하 TYPE2라 한다.)의 경우는 90cm를, 인공토양(이하 TYPE3이라 한다.)의 경우는 60cm를 적용하였다. 또한 이번 적용된 총 하중에는 앞으로 10년 후의 식재하중을 예상하여 적용하였다.

일반적으로 수목의 수고는 2배가 되는데 10년이 걸리고 동기간에 중량은 8배로 증가한다(박용진, 1992). 그러므로 이를 근거로 향후 10년 정도의 하중증가를 예측하는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 이는 초기 시공단계에서는 문제가 되지 않지만, 수목의 성장조건이 원만하여 성장을 계속하게 되어 시간이 갈수록 문제가 발생할 수 있기 때문이다.

이번 연구에서 수목의 총 중량은 6,850kg으로서 정상적으로 성장할 경우 10년 후 무게는 8배로 증가함으로 그때의 식재하중은 $6,850\text{kg} \times 8 = 54,800\text{kg}$ 으로 증가하게 된다.

주어진 조건으로 옥상녹화에 투입되는 조경식재와 시설물 하중, 그리고 각 TYPE별 투입될 토양에 대한 투입물량과 그에 대한 하중은 표 1과 같다.

3) 구조설계기준

본 연구에서 구조설계는 연구의 정확도와 신뢰성을 위하여 전문가에게 의뢰하여 이루어졌다.

본 연구에 대한 구조설계에 대한 기준은 다음과 같다.

표 1. 각 항목별 하중

a: 시설물

| 시설물 명칭 | 규격 | 소요량 | 단위중량 (kg) | 전체중량 (kg) |
|-----------|--------------|--------|-----------|-----------|
| 방수쉬트 | - | 780㎡ | 0.1 | 78 |
| 몰탈 | - | 16㎡ | 2100 | 33,600 |
| 플랜트목재 | 0.15×0.6~0.2 | 6.7㎡ | 560 | 3,752 |
| 원형의자 | - | 0.593㎡ | 560 | 332 |
| 반원형의자 | - | 0.396㎡ | 560 | 221 |
| 평의자 | HW2-4-1 | 4조 | 7.7 | 30 |
| 수목지지대 | - | 42조 | 9.5 | 399 |
| 냉각장치 | - | 1개소 | 1,500 | 1,500 |
| 시설물 전체 중량 | | | | 39,912kg |

b: 식재

| 수목명 | 규격 | 수량 (주) | 단위중량 (kg) | 전체중량 (kg) |
|----------------|---------------|--------|-----------|-----------|
| 조형소나무 | H2.5×W1.2×R10 | 9 | 150 | 1,350 |
| 소나무 | H2.5×W1.5×R10 | 5 | 150 | 750 |
| 주목 | H2.5×W1.0 | 4 | 86 | 343 |
| 살구나무 | H3.0×R8 | 3 | 86 | 258 |
| 모과나무 | H3.0×R8 | 3 | 86 | 258 |
| 청단풍 | H2.0×R6 | 10 | 67 | 670 |
| 둥근주목 | H1.0×W1.0 | 6 | 30 | 180 |
| 눈주목 | H0.5×W0.5 | 20 | 3 | 60 |
| 눈주목 | H0.3×W0.3 | 300 | 2 | 600 |
| 수수꽃다리 | H2.5×W1.5 | 3 | 30 | 90 |
| 화살나무 | H1.0×W0.4 | 20 | 14 | 280 |
| 산철쭉 | H0.3×W0.3 | 500 | 1 | 500 |
| 자산홍 | H0.3×W0.3 | 450 | 1 | 450 |
| 영산홍 | H0.3×W0.3 | 450 | 1 | 450 |
| 조릿대 | H0.6×W0.3 | 300 | 1 | 300 |
| 수호초 | 3" | 270 | 0.4 | 108 |
| 바위치 | 3" | 217 | 0.4 | 86 |
| 사사조릿대 | 3" | 234 | 0.4 | 95 |
| 맥문동 | 3~5분얼 | 252 | 0.09 | 22 |
| 수목 전체 중량 | | | | 6,850kg |
| 10년 후 수목 전체 중량 | | | | 54,800kg |

c: 이용토양

| 토양 | 토심 | 면적 | 단위중량 (kg) | 전체중량 (kg) |
|----------------|------|---------|-----------|-----------|
| TYPE1 (토양100%) | H0.9 | 258.75㎡ | 1,800 | 465,750 |
| TYPE2 (배합토5:5) | H0.9 | 258.75㎡ | 1,080 | 279,450 |
| TYPE3 (인공토양) | H0.6 | 172.5㎡ | 600 | 103,500 |

(1) 적용기준

① 철근콘크리트

· 철근콘크리트 구조계산 기준 및 해설 (대한건축학회, 1994)

· 극한 강도설계법에 의한 철근콘크리트 구조계산 기준 및 해설 (대한건축학회, 1994)

· 콘크리트 구조설계 기준 및 해설 (건설교통부, 1999)

· ACI 318-95

(2) 참고기준

① 건축물 하중기준 및 해설 (대한건축학회, 2000)

② 건축물의 구조기준 등에 관한 규칙 (건설교통부, 1999)

③ 건축법 및 시행령

(3) 구조해석 프로그램

① MIDAS FAMILY PROGRAM-GENw Ver 4.3.2 (MIDAS Information Technology Co. Ltd, 2000)

② 기타 설계프로그램

(4) 구조재료의 강도

① 콘크리트 (KS F 4009)

· $f_{ck} = 240 \text{ kgf/cm}^2$ (28일 설계기준강도)

② 철근 (KS D 3504)

· $f_y = 4000 \text{ kgf/cm}^2$ (SD40)

III. 결과 및 고찰

녹화에 소요되는 각 TYPE별 토양하중과 식재 및 시설물의 하중을 계산한 뒤 건축구조물을 설계하였으며 소요된 토양과 건축구조물에 소요된 철근과 콘크리트의 양과 비용에 대하여 계산해 보았다. 구조물의 골조부분에서 기둥에 대한 물량과 비용은 산출하지 않았는데, 이는 슬라브와 보 같은 수평재와 달리 힘을 수직으로 받는 기둥의 경우는 하중에 따른 골조비용에 차이가 거의 나타나지 않기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 슬라브와 보의 철근과 콘크리트 양만을 산출하여 비교분석 하였다.

또한 본 연구에서는 구조물을 시공하는데 필요한 다른 비용, 예를 들어 노임과 잡비, 재료의 운반비등의 비용을 제외한 구조물을 구성하는 재료인 철근과 콘크리트의 비용만을 비교분석 하였다.

1. 조경면적에서의 토양비용

본 연구에서는 토양을 제외한 다른 항목들과 수량, 무게들은 같다는 조건아래에서 이루어지기 때문에 각 토양별 하중과 비용만을 비교해 보았다.

토심에 있어서 교목식재가 가능한 토심으로 현재 인공지반 녹화에 쓰이고 있는 토심기준을 사용하였는데 100%토양(TYPE1)과 5:5배합토(TYPE2)의 경우는 90cm를, 인공토양(TYPE3)의 경우 60cm의 토심을 적용하였다. 여기서 5:5배합토(TYPE2)의 경우 토심90cm를 적용한 이유는 2000년 6월20일 개정된 조경기준안에서 토심에 관한 규정을 살펴보면 토양과 인공토양만으로 구분되어 있을 뿐 배합토에 관한 토심규정은 제정되어 있지 않다(건설교통부, 2000). 따라서 배합토의 경우는 토양의 토심을 적용하였다.

1) 100% 토양의 경우

토심이 90cm/m²이므로 900L×115%(15%할증)=1,035L의 토양이 필요하며 양토의 경우 단가가 1L당 8.5원이므로 토양가격은 8,798원/m²이 된다. 따라서 위에 나타난 조경식재 및 시설물 도표에서 토양항목을 보면 100% 토양의 경우 소요량이 258.75m²로 되어 있으므로 258.75m² × 8,798원/m² = 2,276,483원의 토양비용이 소요된다.

2) 5:5배합토의 경우

배합토의 경우는 100%토양과 같은 토심을 적용하였다. 토심이 90cm/m²이므로 토양은 양토가 450L×115%(15%할증)=518L가 퍼라이트가 450L×115%(15%할증)=518L가 소요되게 된다. 여기에 양토의 단가는 1L당 8.5원이므로 토양의 가격은 4,403원/m²이 퍼라이트의 경우는 1L당 85원이므로 44,030원/m²의 비용이 소요된다. 결과적으로 5:5배합토의 경우는 258.75m² × (4,403+44,030)원/m² = 12,532,039원의 비용이 소요된다.

3) 인공토양의 경우

인공토양의 경우는 (주)삼손의 파라소 공법을 이용하였을 경우를 가정하여 계산하였다. 파라소 공법을 이용할 경우 교목식재가 60cm의 토심에서도 가능하다. 파라소공법은 파라소 탑소일, 파라소 육성용, 파라소 배수용

의 3가지 타입의 인공토양을 함께 이용하여 시공되어진다. 토양의 단가는 토심 60cm를 기준으로 할 때 탑소일이 6,000원, 육성용이 97,416원, 배수용이 11,880원의 비용이 소요된다. 따라서 같은 면적에 토심 60cm/m²로 녹지를 조성할 경우 필요한 부피는 172.5m³이며 토양비용은 172.5m³ × (6,000+97,416+11,880)원/m³ = 19,888,560원의 비용이 소요된다.

4) 토양 TYPE별 소요비용 비교

위의 계산에 따라 토양 TYPE별 소요비용을 비교하면 5:5배합토(TYPE2)는 100%토양(TYPE1)보다 10,255,556원(약450%)의 비용을 증가시켰고, 인공토양(TYPE3)은 5:5배합토(TYPE2)보다 7,356,521원(약58%)의 비용을, 100%토양(TYPE1)보다 1,7612,077원(약773%)의 비용을 증가시켰다.

2. 토양하중에 따른 구조부에서의 골조원가 비용

표 1의 데이터를 이용하여 구조해석 프로그램인 MIDAS FAMILY PROGRAM-GENw Ver 4.3.2 (MIDAS Information Technology Co. Ltd, 2000)을 통하여 구조적으로 안정된 단층규모의 모델을 그림 2와 같이 디자인하였다. 각 TYPE별 구조물의 골조비용은 각 TYPE별 슬라브와 보의 각각의 철근과 콘크리트량을 구하여 비용을 계산하였다.

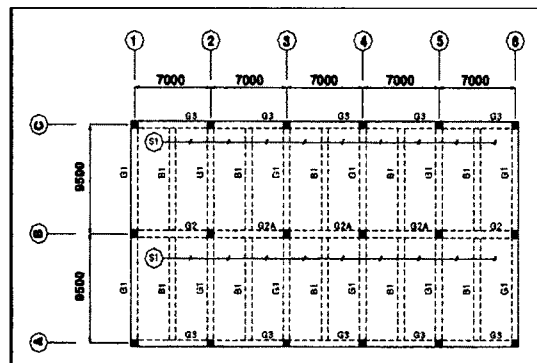


그림 2. 구조계획도

1) 슬라브의 철근과 콘크리트량

슬라브를 구성하는 공법에는 여러 가지가 있겠지만 본 연구의 모델에 적용된 슬라브 구조는 그림 3의 E-TYPE 공법으로 상하부의 철근이 직선으로 가며 중간에 벤트근(B)이 보와 보사이를 연결하는 구조로 설계되었다.

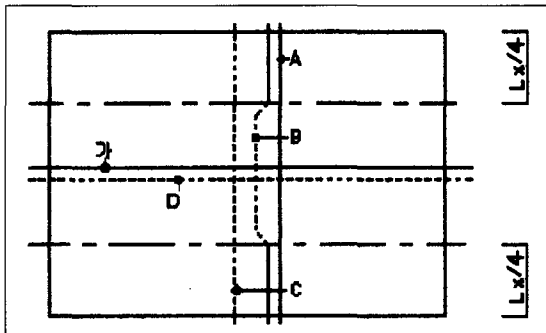


그림 3. E-TYPE 슬라브

범례 : ————— : Top Bar ; : Bottom Bar

또한 해석된 구조의 결과는 표 2와 같다. 슬라브의 두께는 토양 TYPE별로 모두 150mm이며 각 토양의 하중에 따라 안정된 구조를 유지하기 위하여 표에 언급되어 있는 바와 같이 HD10부터 HD16까지의 철근이 각기 다른 간격으로 배치되는 결과를 얻었다.

표 2. 토양별 슬라브의 철근기준과 간격

| NA ME | TY PE | THK (mm) | 단 변 | | | 장 변 | | | 비 고 |
|----------|----------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---|--------------|-------------------|
| | | | A | B | C | 가 | 나 | 다 | |
| S1 | E | 150 | HD16 @300 | HD16 @300 | HD16 @300 | HD13 @250 | | HD13 @250 | TYPE1 (100%토양) |
| S1 | E | 150 | HD16 @300 | HD13 @300 | HD13 @300 | HD10 @250 | | HD10 @250 | TYPE2 (배합토) |
| S1 | E | 150 | HD13 @300 | HD13 @300 | HD10 @300 | HD10 @300 | | HD10 @300 | TYPE3 (인공토양) |

위의 결과를 바탕으로 하여 각 TYPE별 철근과 콘크리트에 대한 물량을 2001년 10월 물가자료를 기준으로 산출하였다.

(1) 슬라브의 철근비용

이렇게 얻어진 결과를 그림 2의 구조계획도에 적용하여 슬라브에 투입된 총 철근값을 구하였으며 산출근거는 표 3에 나타내었다. 또한 그림 4와 같이 구조계획도

에 배치된 '외부'와 '내부'를 구분한 이유는 철근이 바깥쪽에 걸리는 부분인 기둥정착길이를 구분하여 좀더 정확한 결과를 도출해 보고자 하였으나, 실제 기둥정착길이에 따른 차이는 미비한 것으로 판단되어진다.

표 3. 슬라브의 철근산출근거

| 슬라브 방향 | 산출근거 | 비 고 |
|--------|--|---|
| 단변방향 | 상(A)·하부근(C)은 장변길이/간격× (40d+단변) | 40d는 보와 연결시키기 위한 이음길이 |
| | 벤트근(B)은 장변길이/간격× (35d+40d+단변길이) | 35d는 벤트근으로서 휘어지는 부분의 길이를 추가하기 위함. |
| 장변방향 | '가'와 '다'의 상·하부근은 A, C와 같은 공식을 이용 | - |

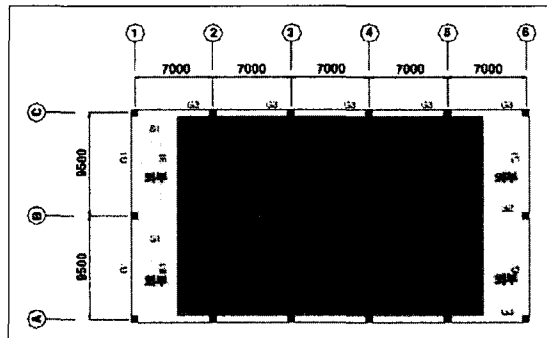


그림 4. 슬라브의 배치

따라서 이를 근거로 '외부'의 총 철근값은 TYPE1의 경우 244,210.02원×4개=976,840.08원이 되며 '내부'의 총 철근값은 244,181.84원×16개=3,906,909.44이 된다. 따라서 TYPE1의 철근소요비용은 4,883,749.59원이다. 이렇게 하여 계산된 각 TYPE별 철근 소요비용은 TYPE2의 경우 3,415,059원, TYPE3의 경우는 2,740,274원으로 나타났다.

(2) 슬라브의 콘크리트 비용

슬라브에 소요된 콘크리트비용을 알아보면 우선 콘크리트의 기준은 KS F 4009 fcy=240kgf/cm² (슬럼프 12cm기준)이며 슬라브를 떠받치는 각 기둥의 두께는 600mm를 적용하였다. 또한 각 TYPE별 슬라브의 두께는 150mm로 동일하게 적용되었다.

슬라브의 경우 콘크리트 중에 매설한 철근, 철골 및 소구경 관류(Ø250mm 이하의 파이프 공간) 및 0.005㎡ 이하의 개구부 체적은 콘크리트 체적에서 제외하지 않기 때문(강경인, 1998)에 각 TYPE별 슬라브의 콘크리트의 비용은 5,090,857원으로 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

2) 보의 철근과 콘크리트량

보를 구성하는 공법에 있어서 과거에는 Bend Bar가 많이 사용되었으나 현재는 거의 사용되지 않으며, L_x (기둥간 안목치수)/4지점의 위치에서 직선근의 형태로 여장길이를 정착하는 형태인 CUT TYPE의 배근방식이 많이 사용되어 지고 있다(강경인, 1998).

본 연구에서 보를 구성하는 공법으로 이 CUT TYPE 방식을 이용하였고 CUT TYPE 보에 관하여 자세히 알아보면 그림 5과 같다.

(1) 보와 스테럽의 철근비용

보의 철근과 스테럽의 비용은 표 4~6을 기준으로 하여 B1, G1, G2, G2A, G3의 철근과 스테럽을 구한 다음 그림 2의 구조계획에서 각각의 보의 갯수를 곱하여 산출하였다. 보의 철근을 구하는데 있어 보 철근을 고정시켜 주는 스테럽의 철근량도 함께 구하였다.

① 보의 철근비용

표 4~6의 자료를 바탕으로 철근량을 산출해 보았다. 각 보에 대한 상부근과 하부근에 대한 해설은 그림 5를 참조했으며 그에 따른 철근산출근거는 표 7에 나타내었다.

결과적으로 이번 모델링의 보 구조에 있어서 내단의 상부근이 조밀하고 외단의 상부근이 그렇지 못한 것으로 나타났는데 이것은 내단에서 중앙쪽으로 구조를 강화시키기 위함이라는 것을 알 수있다. 이를 바탕으로 계산된 각 토양별 보의 철근값을 보면 TYPE1에서는 6,888,460원 TYPE2에서는 6,098,797원 TYPE3에서는 5,692,692원의 결과를 얻을 수 있었다.

② 스테럽의 철근비용

다음으로 보 철근을 둘러싸고 있는 스테럽(Stirrup)을 그림 5의 스테럽에 관한 부분을 참조로 하여 산출하였다.

보의 철근구조단면 최상층의 경우 기둥간의 외주길이에 정착길이(40d), 이음길이(10.3d)를 가산한다.(그림 5a 참조)

스테럽의 철근량 산출은 보의 콘크리트 설계치수에 의한 주변길이 ($2b+2D$)로 하고 hook는 고려하지 않는다. 여기서 hook는 피복두께를 빼고 갈고리 길이를 더해 산정할 수 있으나, 일반적으로는 고려하지 않아도 무방하다(강경인, 1998).

내단과 외단의 스테럽은 (기둥간 안목치수/4)를 스테럽 간격으로 나누고 $2(b+D)$ 를 곱하여 산출량을 구하였으며, 중앙의 스테럽은 (기둥간 안목치수/2)를 스테럽간격으로 나누고 이를 $2(b+D)$ 로 곱하여 구하였다. 스테럽에 사용된 철근의 규격은 HD 13이며 강도는 SD40이다. 이를 바탕으로 산출된 스테럽의 비용은 TYPE1에서는 1,690,705원 TYPE2에서는 1,529,334원 TYPE3에서는 964,603원의 결과를 얻을 수 있었다.

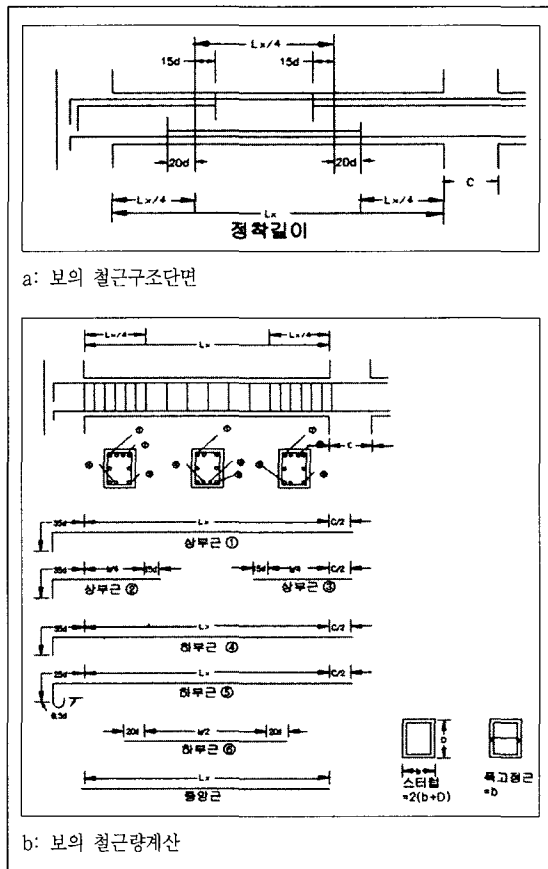


그림 5. 정착길이와 보의 철근량계산 출처 : 강경인(1998)

표 4. TYPE1 토양의 보 규격과 철근구조

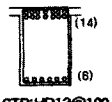
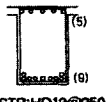
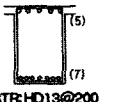
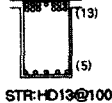
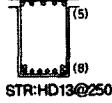
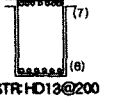
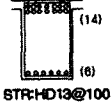
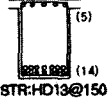
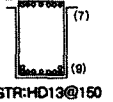
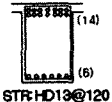
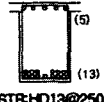
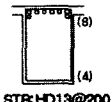
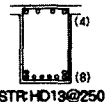
| 보 | 내단(OR 연속단) | 중요 | 외단 (OR 불연속단) |
|----------------|---|---|---|
| B1 600×850 |  (14) STR:HD13@100 |  (5) STR:HD13@250 |  (5) STR:HD13@200 |
| G1 600×850 |  (13) STR:HD13@100 |  (5) STR:HD13@250 |  (7) STR:HD13@200 |
| G2 600×850 |  (14) STR:HD13@100 |  (5) STR:HD13@150 |  (7) STR:HD13@150 |
| G2A 600×850 |  (14) STR:HD13@120 |  (5) STR:HD13@250 | |
| G3 500×850 |  (8) STR:HD13@200 |  (4) STR:HD13@250 | |

표 5. TYPE3 인공토양의 보 규격과 철근구조

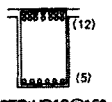
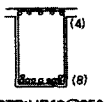
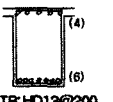
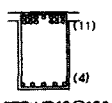
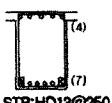
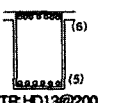
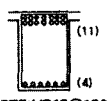
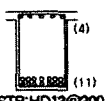
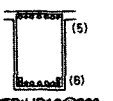
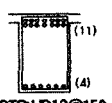
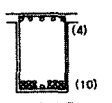
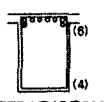
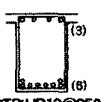
| 보 | 내단(OR 연속단) | 중요 | 외단 (OR 불연속단) |
|----------------|--|---|---|
| B1 500×700 |  (12) STR:HD13@150 |  (4) STR:HD13@250 |  (4) STR:HD13@200 |
| G1 500×700 |  (11) STR:HD13@150 |  (4) STR:HD13@250 |  (6) STR:HD13@200 |
| G2 500×700 |  (11) STR:HD13@120 |  (4) STR:HD13@200 |  (5) STR:HD13@200 |
| G2A 500×700 |  (11) STR:HD13@150 |  (4) STR:HD13@200 | |
| G3 500×700 |  (6) STR:HD13@200 |  (3) STR:HD13@250 | |

표 6. TYPE 2 배합토의 보 규격과 철근구조

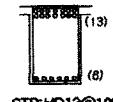
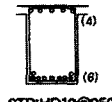
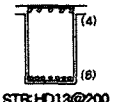
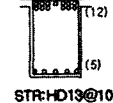
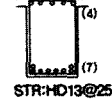
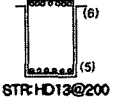
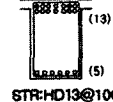
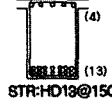
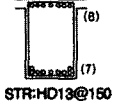
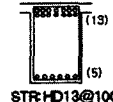
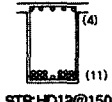
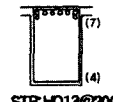
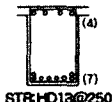
| 보 | 내단(OR 연속단) | 중요 | 외단 (OR 불연속단) |
|----------------|--|---|---|
| B1 600×750 |  (13) STR:HD13@100 |  (4) STR:HD13@250 |  (4) STR:HD13@200 |
| G1 500×750 |  (12) STR:HD13@100 |  (4) STR:HD13@250 |  (6) STR:HD13@200 |
| G2 600×750 |  (13) STR:HD13@100 |  (4) STR:HD13@150 |  (8) STR:HD13@150 |
| G2A 600×750 |  (13) STR:HD13@100 |  (4) STR:HD13@150 | |
| G3 500×750 |  (7) STR:HD13@200 |  (4) STR:HD13@250 | |

표 7. 보의 철근량 계산근거

| 보의 위치 | 계산근거 |
|-------|--|
| 상부근 ① | 기둥정착길이 + 기둥간 안목치수 + 기둥두께/2 = 35d + Lx + C/2 |
| 상부근 ② | 기둥정착길이 + (기둥간 안목치수/4) + 여장길이 = 35d + (Lx/4) + 15d |
| 상부근 ③ | 여장길이 + (기둥간 안목치수 /4) + 기둥두께/2 = 15d + (Lx/4) + C/2 |
| 하부근 ④ | 기둥정착길이 + 기둥간 안목치수 + 기둥두께/2 = 35d + Lx + C/2 |
| 하부근 ⑤ | 기둥 정착길이(갈고리 포함) + 기둥간 안목치수 + 기둥두께/2 = (25d + 10.3d) + Lx + C/2 |
| 하부근 ⑥ | 여장길이 + (기둥 안목치수/2) + 여장길이 = 20d + (Lx/2) + 20d |
| 중간근 | 기둥간 안목치수 (Lx) |

(2) 보의 콘크리트 비용

각 보의 규격은 구조해석을 통하여 정해졌으며 이 규격을 이용하여 콘크리트량을 구할 수 있었다. 우선 각 보의 장변에서 슬라브와 연결되는 부분의 슬라브두께 150mm를 감하여 계산함으로써 중복되어 계산되는 부분이 없도록 하였고 보의 길이는 기둥두께(600mm)를 고

려하여 계산하였으며 이용된 콘크리트의 규격은 강도 240kgf/cm²에 슬럼프치 12cm인 것을 이용하였으며, 결과는 TYPE1에서는 5,375,288원 TYPE2에서는 4,287,823원 TYPE3에서는 3,665,819원의 산출비용을 구할 수 있었다.

3. 토양과 건축구조물 골조원가 산출결과 비교 분석

지금까지의 결과를 비교분석하면 인공토양을 사용함으로써 하중이 감소되고, 하중이 감소된 만큼 건축구조물의 골조원가에서 5:5배합토(TYPE2)의 경우는 100%토양(TYPE1)보다 3,507,191원(약17%)의 비용절감효과를, 인공토양(TYPE3)은 5:5배합토(TYPE2)보다 2,267,623원(약12%)을 그리고 100%토양(TYPE1)보다는 5,774,814원(약32%)의 비용절감효과를 가져오는 결과를 얻을 수 있었다.

투입된 토양별 비용을 비교하면 5:5배합토(TYPE2)는 100%토양(TYPE1)보다 10,255,556원(약450%)의 비용부담을 증가시켰고, 인공토양(TYPE3)은 5:5배합토(TYPE2)보다 7,356,521원(약59%)의 비용을 그리고 100%토양(TYPE1)보다 17,612,077원(약774%)의 비용을 증가시켰다.

결론적으로 건축구조물의 골조원가와 토양비용을 합친 총 비용을 비교해보면 5:5배합토(TYPE2)는 100%토양(TYPE1)보다 6,448,365원(약25%)의 비용을 증가시켰고, 인공토양(TYPE3)은 100%토양(TYPE1)보다 11,837,263원(약45%)을 그리고 5:5배합토(TYPE2)보다 5,388,898원(약17%)의 비용을 증가시키는 결과를 얻을 수 있었다. 각 TYPE의 항목별로 산출된 총 비용(토양+골조원가)을 정리하면 표 8과 같다.

표 8. TYPE별 총 비용 (단위:원)

| | TYPE 1 (토양) | TYPE 2 (배합토) | TYPE3 (인공토) |
|----------|----------------|-----------------|----------------|
| 보 철근 | 6,888,460 | 6,098,797 | 5,692,692 |
| 스티럽 | 1,690,705 | 1,529,334 | 964,603 |
| 보 콘크리트 | 5,375,288 | 4,287,823 | 3,665,819 |
| 슬라브 콘크리트 | 5,090,857 | 5,090,857 | 5,090,857 |
| 슬라브 철근 | 4,883,750 | 3,415,058 | 2,740,274 |
| 토 양 | 2,276,483 | 12,532,039 | 19,888,560 |
| 총 액 | 26,205,542 | 32,653,907 | 38,042,805 |

IV. 결론

본 연구는 인공지반에서 녹지를 조성할 때 인공토양 사용으로 인한 하중의 감소로 건축물의 골조원가를 상당히 절감할 수 있다는 막연한 가정에, 어느 정도의 절감효과가 있는지 구체적 수치를 제시해 보고자 함이었다.

연구결과 토양하중이 가벼워짐으로써 건축구조물의 골조원가가 절감되는 효과를 가져왔지만 인공토양의 높은 단가로 인해 토양비용 증가분 만큼의 절감효과에는 미치지 못한다는 결론을 얻을 수 있었다. 무엇보다 인공토양의 높은 단가는 인공지반 녹화의 가장 큰 장애요소라 할 수 있겠다.

인공지반 녹화와 관련하여 본 연구에서는 다음과 같은 사항을 제안해 보고자 한다.

1. 신축건축물의 인공지반을 녹화 할 경우 아직까지는 인공토양의 비용이 골조원가를 상쇄할 수 없으므로 인공지반 녹화시 인공토양을 사용하는데 있어서 사전에 충분한 고려가 필요하다고 할 수 있다.

2. 일본의 경우 인공지반 녹화를 촉진시키기 위하여 녹화소재의 공급, 공사비의 일부지원, 또는 저리용자등의 비용지원책과 용적을 완화와 같은 인센티브제도를 이용하고 있다. 이처럼 배합토나 인공토양의 대안밖에 없는 기존건물에서는 옥상녹화를 위하여 일본의 경우와 같은 다양한 지원책이 강구되어야 하겠다.

3. 배합토의 경우 100%토양을 사용하는 것보다 하중의 감소와 보수성의 면에서 장점을 가지고 있다. 하지만 2000년 6월에 제정된 조경기준안에는 배합토와 관련된 토심규정이 제정되어 있지 않기 때문에 본 연구에서는 100%토양의 토심을 사용할 수 밖에 없었다. 따라서 배합토의 혼합비율별 식물적용성과 생육에 대한 실험을 통하여 배합토와 관련된 토심규정을 제정할 필요가 있다고 판단한다.

감사의 글

본 연구에 있어서 조언과 협조를 아끼지 않았던 (주)삼손의 신상태 주임과 (주)원우구조기술사사무소의 곽동삼 차장님, 경희대학교 건축학과 대학원의 임지훈 님에게 감사의 마음을 전합니다.

인용문헌

1. 강경인(1998) 건축적산학. 서울:골드 p.169-221.
2. 건설교통부(2000) 건설교통부 조경기준안. 건설교통부.
3. 김도경, 황지환(2001) 인공지반에서 금잔디의 증발산량 예측에 관한 연구. 한국조경학회지 29(1): 161-167.
4. 김유일, 강석희, 이진동(1999) 분당 시범단지 인공지반 옥외환경 평가. 대한국토도시계획학회지 34(4): 113-122.
5. 김유일, 윤홍범, 김인혜, 오정학(1998) 아파트단지 인공지반의 계획적 평가에 관한 연구. 한국조경학회지 26(3): 297-311.
7. 대한건설협회(2001) 월간거래가격10월호. 대한건설협회 pp.41-98
8. 박용진, 이기의 역(1992) 최신환경녹화. 강원대학교출판부 pp.62.
9. 서울특별시(2000) 건물옥상녹화 학술용역. 서울특별시보고서.
10. 심경구, 허근영, 강호철(1999) 소성 집토다공체 및 코코넛 퍼트를 이용한 인공지반용 혼합배지의 개발. 한국조경학회지 27(3): 109-113.
11. 심경구, 허근영(2000) 인공지반의 녹화를 위해서 단용 또는 노지토양과 혼합하여 이용되는 인공토양의 특성. 한국조경학회지 28(2): 28-38.
12. 심근정(1996) 건축공간의녹화. 서울:대우출판사 p.94.
13. 이영무(1998) 하중제한이 기존건물의 옥상조경계획에 미치는 영향. 한국조경학회지 26(2): 166-180.
14. 이재준, 박철수, 황경희(1996) 아파트단지내 녹화공간 확대를 위한 한국과 일본의 인공지반 사례조사 비교연구. 대한국토도시계획학회지 31(1): 149-163.
15. 船瀬俊介(2001) 屋上緑化—緑の建築が都市を救う. 築地書館 pp. 12-20.
16. 興水肇(1995) 建築空間の緑化手法. 彰國社 pp.82-83.
17. 興水肇(1996) 都市建築物の緑化手法—みどりある環境への技術指針. 彰國社 pp.39.
18. 建設省都市局公園緑地課都市緑地対策室(1999) 植栽基盤整備技術 マニュアル. 財団法人日本緑化センター pp.49-54.

원고접수: 2001년 10월 31일

최종수정본 접수: 2001년 11월 29일

2인인명 심사필