

흙다짐 적용을 위한 흙의 선정 및 입도조건에 관한 연구

A study on selection and size of Earth in application of Rammed Earth

황 혜 주*
Hwang, Hey Zoo

김 태 훈**
Kim, Tae Hun

양 준 혁***
Yang, Jun Hyuk

Abstract

Results from tests for what mixing rate of soil and sand is proper for the rammed earth and for how much additives are optimum are as under.

- 1) In the test to evaluate what mixing rate of soil and sand is desirable, peptizing property and surface sticking rate are found similar in its degree, but compression strength is found most stable when the ratio of soil and sand mixing shows 30:70 which indicates the best mixing rate of soil and sand.
- 2) In a test to add hydrated lime, compression strength, peptizing property, and surface sticking rate are found best when the mixing rate of soil and sand shows 23:7.
- 3) In a test to add sea weeds, the peptizing property goes down at 75% of sea weeds input a little bit more than at 100%, but compression strength shows best at 75% which is thought to be the best rate.
- 4) In a drop test, more soil powder mixed, the sticking strength gets better and more sands are contained, the sticking strength gets far worse to be scattered in powder type.
- 5) As concluding all results mentioned in the above item, the most desirable mixing rate of soil, sand, and hydrated lime is found to be 23:7:70 for the rammed earth where compression strength, peptizing property, and surface sticking rate are best

키워드 : 흙다짐, 친환경건축, 황토, 흙건축

Keywords : Rammed Earth, Pise, Green Building, hwangto, Earth Construction

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

오늘날 환경오염의 심각성이 크게 대두되면서 친환경이란 단어가 사회적 이슈가 되었다. 이에 건축에서도 기존의 콘크리트 건축물이 환경오염에 미치는 영향이 크고 인체에도 해로운 것이 인식되면서 친환경 건축재료의 개발에 관심이 높아지게 되었다.

이에 따라 우리주변에 풍부하게 매장되어있고 친환경 재료이면서 인체에도 유익한 원적외선을 방출하는 것으로 나타난 흙은 그 동안 건축재료의 대부분을 차지하고 있던 시멘트를 대신할 수 있는 건축재료로써 부각되고 있다. 흙의 대표적인 이용 방법으로는 바탕을 짜고 그 위에 흙을 발라서 마무리하는 흙미장, 거푸집을 짰 후 흙을 넣고 공이나 다짐기로 다지는 흙다짐, 흙을 자루에 넣어서 쌓는 흙자루, 흙을 블록으로 만들어서 쌓는 흙블록, 벧단벽을 쌓고 그 위에 흙을 발라서 마무리하는 벧단벽 공

법 등이 있다. 그러나 아직 흙 건축재료로써 사용할 경우 강도, 표면경도, 해교성 등 해결해야 할 문제점들이 남아 있는 실정이다.

이에 본 연구는 흙을 건축재료로의 이용 방법 중 흙다짐 공법의 사용을 촉진하기 위한 노력의 일환으로 흙다짐 적용 시 흙의 적절한 선택방법과 적정 흙다짐 배합을 찾고, 소석회, 해초풀을 첨가하여 압축강도, 표면물어남, 표면경도, 해교성, 중량변화실험을 통해 흙다짐시의 적정 배합을 찾으려 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

흙다짐의 적정 배합을 찾기 위한 본 연구는 1차적으로 압축강도, 표면경도, 표면 물어남, 단위중량, 해교성 실험을 통하여 흙다짐시의 흙분말과 모래, 자갈의 적정 배합을 찾고, 2차적으로 흙분말과 모래를 배합한 흙에 첨가제로 소석회, 해초풀을 첨가하여 흙다짐시의 적정한 첨가비율을 찾으려 한다.

* 주저자, 목포대학교 건축학과 부교수

** 교신저자, 목포대학교 건축학과 전임강사
(studiomob@gmail.com)

*** 목포대학교 건축학과 석사 졸업

2. 예비적 고찰

2.1 흙의 정의¹⁾

흙은 석영조면암, 안산암, 화강암 등이 열수작용 및 풍화작용에 의하여 분해되어 생성된 것이며 화학식이 $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ 로 표시되는 Kaolin족 점토류에 속하며 주로 실트(0.075-0.002mm) 크기의 입자들로 구성되어 있으며 흙입자의 크기는 주로 0.02-0.05mm(무게비의 50%)이며, 균질하고 층리가 발달되어 있지 않으며, 공극률(50-55%)이 크고, 흙 속에는 유익한 미생물이 있다. 이 미생물중에는 이끼, 곰팡이, 방선균, 세균 등의 미생물이 있는데 유기물을 분해하는 역할을 한다. 흙은 대륙의 반건조지대에 쌓인 풍성토로서 지구표면의 약 10%를 덮고 있으며 중국북부, 유럽 북·동부, 북아프리카, 북아메리카 중부등에 분포해 있다.

표 1. 흙의 입도별 분류

| 흙 입도 | 특 성 |
|-------|---|
| 큰 자갈 | 큰 자갈의 크기는 25-200mm의 범위로 형태는 모암의 풍화작용 때문에 거친 형태를 가지고 있으며, 풍화가 얼마 지나지 않은 자갈은 모서리가 날카로운 형태를 유지하고 있다. |
| 작은 자갈 | 작은 자갈은 크기는 2.5-25mm의 범위로 모암이나 큰 자갈이 풍화되어 생성된 작은 입자의 거친 재료로 구성되어 있으며 흙 속에서 수축과 모세관현상을 억제 시킨다. |
| 모래 | 모래의 크기는 0.074-2.5mm의 범위로 실리카나 석영입자로 구성되어 있고 점착력이 부족하다. 낮은 흡수력은 표면의 팽창과 수축을 억제시킨다. |
| 실트 | 실트의 크기는 0.002-0.074mm의 범위로 물리·화학적으로 사실상 모래의 조성과 동일하며 단지 차이점이라고 하면 크기가 다르다는 것이다. 실트는 내부 마찰력 증가로 흙의 안정성을 주며, 입자 사이의 수분막은 실트에 점착력을 부여한다. |
| 점토 | 점토는 0.002mm이하의 범위로 물리·화학적 성질이 다른 입자들과는 다르며 팽창과 수축에 매우 민감하다. 점토입자들 중 0.001mm이하의 아주 미세한 입자를 콜로이드라고 하며, 이것은 표면적이 크고 그 표면의 성질이 특이하여 흙의 성질에 있어 중요한 역할을 한다. |

2.2 흙의 반응 원리

2.2.1 입자이론

입자이론은 입자간 간극을 최소화함으로써, 입자간의 인력과 전기력을 최대화 하여 입자간 응집현상이 일어나게 하는 것이다. 입자간극을 최소화하기 위하여 흙입자간의 적절한 배합을 하는 최밀충진효과를 이용하며, 흙입자와 물 사이의 최적수소결합을 위하여, 불필요한 물입자를 제어하는 것이 중요하다. 그림 1은 입자크기가 2 μ m이하의 점토 입자들이 무작위 운동을 하는 동안 서로 가깝게 되면서 물의 수소결합에 의해 강하게 결합하고 이런 점토

는 2 μ m이상의 실트와 모래를 서로 결합하는 역할을 하고 있다.

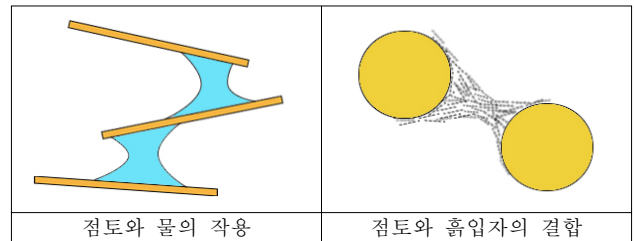


그림 1. 흙과 물과의 반응²⁾

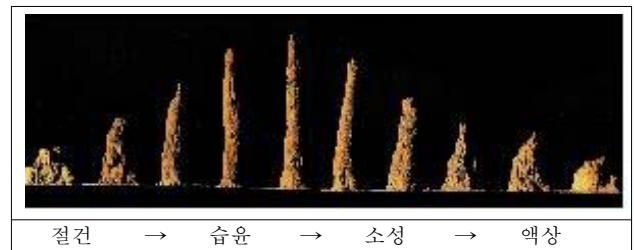


그림 2. 수분 함유량에 따른 흙의 변화³⁾

2.3 흙다짐 공법

흙다짐공법은 거푸집을 짠 후 그 안에 흙을 넣고 공이나 다짐기로 다져서 벽체를 만드는 것이며, 튼튼하고 아름다운 벽체를 구성할 수 있는 장점이 있다. 유럽, 남미, 아프리카, 중동 등 여러 지역에서 많이 사용해 온 공법이며, 우리나라에서도 많이 사용해 온 공법이다. 흙다짐을 위한 거푸집은 여러 가지 재료로 만들 수 있는데, 현장 여건에 맞게 다양한 방식으로 담틀을 짤 수 있다는 것이 장점이기도하다. 나무로 틀을 짤 수도 있으며, 철타로 짜거나, 기존 공사에서 사용되는 유로폼을 이용할 수도 있다.

$$\text{흙다짐} = \text{흙의 입자} + \text{물} + \text{공기} + \text{압력}$$

흙의 다짐 정도는 그 흙의 건조단위중량으로 알 수 있다. 다짐 때 흙에 물을 가해주면 그 물은 마치 윤활유처럼 흙입자들 간에 작용하게 되어 흙입자들은 서로 미끄러져서 조밀하게 다져진다. 다짐에너지가 같은 경우, 흙의 함수비가 증가함에 따라 다져진 흙의 건조단위중량이 증가하고 함수비 w=0인 상태에서 습윤단위중량(γ)은 건조단위중량(γ_d)은 같아진다. 즉, $\gamma = \gamma_d(w=0) = \gamma_1$ 으로 된다. 함수비를 점차 증가시키면 단위 부피당 흙입자의 무게가 점차로 증가하며 w=w1에서 $\gamma = \gamma_2$ 가 된다. 그러나 이 함수비에서 건조단위중량은 $\gamma_d(w=w1) = \gamma_d(w=0) + \Delta\gamma_d$ 이 된다. 일정비율 이상의 함수비가 초과되면 건조단위중량은 오히려 감소하게 된다. 이것은 흙입자들로 채워져 있던 공간을 물이 차지하기 때문이다.(그림 3) 일정한 함수비에서 가해진 다짐 에너지는 그림 4와 같이 다짐 방향과 함께 그 주변으로 에너지가 전달되고 그 에너지에 의해 입자들 간의 거리가 가깝게 되면서 흙의 구조에 변화가 생겨

1) 황혜주, 흙건축, 도서출판 CIR(2008. 3) p.82

2) 3) Hugo Houben, Grains de Batisseurs, ENSAG, 2005

흙다짐의 형태가 이루어진다. 그림 5는 우리나라에서 흙다짐공법을 이용하여 시공된 주택이다.

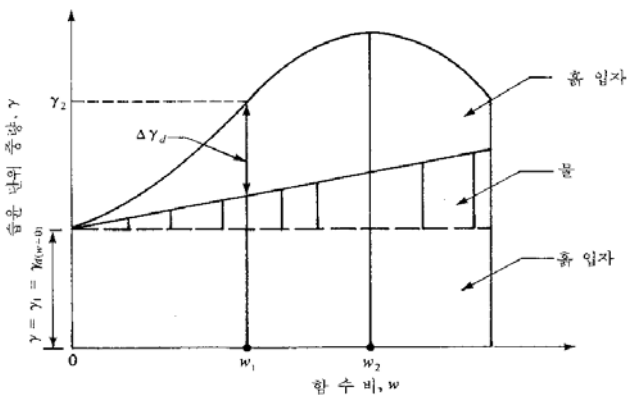


그림 3. 흙과 물의 함수량에 따른 단위중량 변화⁴⁾

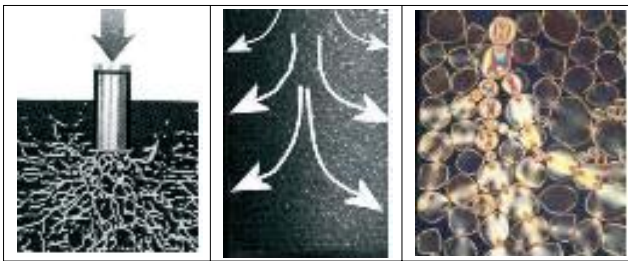


그림 4. 다짐 시 흙의 힘 방향⁵⁾



그림 5. 다짐공법을 적용한 흙집

2.4 낙하테스트⁶⁾

낙하 테스트는 건축 재료로 사용되는 흙의 최적 수분 함유량과 흙의 기본적인 성질을 알기 위한 시험으로서 다음과 같이 실행한다. 우선, 주먹안에 단단하게 압축시킨 한웅큼의 흙을 준비한다. 흙을 지름 4cm 크기의 볼 형태로 만들어 높이 1.5m 높이에서 단단하고 평평한 바닥 위로 그것을 떨어뜨린다. 이 볼이 바닥에 떨어진 후 약간 납작해지고 거의 균열이 발생하지 않았다면 이것은 점토가 많이 함유되어 있고 높은 점착력을 가지고 있다는 것이다. 보통 이런 흙은 건축 재료로 사용하기 위해서는 적정량의 모래를 첨가해 주어야 한다. 반대로 볼이 바

닥에 떨어진 후 부서져 흩어졌다면 이것은 점토가 매우 적게 함유되어 있는 것이고 건축 재료로 사용하기에 충분한 점착력을 가지고 있지 않다는 것이다. 또한 볼을 떨어뜨렸을 때 약간 부서질 경우 이 흙은 상대적으로 부족한 점착력을 가지고 있으나 다짐벽이나 벽돌 등의 건축재료로는 사용할 수 있다. 또한, 이 시험을 통해 흙의 최적 수분량을 얻을 수 있는 데 흙을 지름 4cm 크기의 볼 형태로 만들어 높이 1.5m 높이에서 단단하고 평평한 바닥 위로 그것을 떨어뜨렸을 때 흙 덩어리가 4~5 덩어리로 부서지면 수분의 양은 적당한 것이고 덩어리가 분해되지 않고 납작해지면 수분의 양이 너무 많은 것이다. 그리고 덩어리가 작은 조각으로 산산히 부서지면, 그 흙은 너무 건조한 상태로 수분이 더 필요한 것이다.

2.5 흙다짐 규정⁷⁾

흙건축에 대한 규정은 50년 넘게 오스트레일리아, 독일, 뉴질랜드, 스페인, 미국, 짐바브웨에서 국제적인 문서와 규정을 발간하였다. 흙다짐에 관한 규정은 New Mexico Adobe and Rammed-Earth Building Code에서 200~300psi의 압축 강도를 추천하고 있고, ACP-EEC에서는 1~2층 규모의 집에 사용하는 흙벽돌의 경우 양생 28일의 압축강도는 2.4MPa를 제시하고 있으며 흙다짐의 경우에도 준용되고 있다.

3. 실험

3.1 실험 개요

본 실험은 흙다짐 시 점토, 실트와 모래, 자갈비율의 적정배합 도출과 흙에 첨가제인 소석회, 해초풀의 적정 첨가량을 찾기 위해 토분과 모래의 배합비와 소석회, 해초풀의 첨가량에 따라 제작된 공시체를 흙다짐의 압축강도, 표면경도, 표면이 문어나는 현상, 해교성, 낙하실험을 실시하였다.

3.2 실험 재료

(1) 흙분말

국내에서 생산되는 점토와 실트 성분이 90% 이상인 절건 상태의 흙분말을 사용하였다.

표 2. 흙분말의 입도분포

(단위 : μm)

| 입자크기 | 150 | 75 | 31 | 2 | 0.07 |
|----------|-----|----|------|----|------|
| 누적잔류율(%) | 0 | 10 | 33.5 | 90 | 100 |

(2) 모래

목포지역에서 채취한 함수율 2%인 해사를 사용하였다.

4) 정인준, 토질공학원론, 구미서관(1993) p516

5) terre.grenoble.archi.fr

6) 황혜주, 흙건축, 도서출판 CIR(2008. 3) p.146~147

7) Vasilos Maniatis & Peter Walker, A review of Rammed Earth Construction, University of Bath(2003), p3

표 3. 모래의 입도분포 (단위 : mm)

| 입자크기 | 5 | 2.36 | 1.18 | 0.6 | 0.3 | 0.15 | 0.075 |
|-----------|---|------|------|------|------|------|-------|
| 누적간류율 (%) | 0 | 5.6 | 17.7 | 35.8 | 91.2 | 99.1 | 99.6 |

(3) 소석회

1급 KSL 9501 공업용 규격에 적합한 소석회를 사용하였다.

(4) 해초풀

진포라 불리는 말린 해초를 물에 2%를 첨가하고 15분 동안 끓인 후 체로 걸러내어 사용하였다.

3.3 실험 방법

(1) 흙다짐 공시체 제작

지름 100mm, 부피 1000cm³의 원형 몰드에 3회에 걸쳐 흙을 넣고 각 층마다 3MP-컴프레샤와 램머를 사용하여 10초간 다짐을 하고 기건 양생하였다.

(2) 압축강도 실험

KS L 5105에 의거하여, 토분과 모래를 실험인자에 의해 각기 다른 배합으로 배합하여 만든 공시체를 재령 당일, 1일, 3일, 7일, 28일 동안 기건 양생된 시편을 기계식 압축강도 측정기를 통해 압축강도를 측정하였다.

(3) 표면경도 실험

28일 기건 양생된 공시체의 표면을 연필을 이용한 경도측정기를 사용하였다.

(4) 표면 묻어남 실험

28일 기건 양생된 시편의 표면을 화장지로 3회 문지르고 묻어나는지 여부를 측정하였다.

(5) 해교성 실험

28일 기건 양생된 공시체를 물에 24시간 수중 침수하여 물에 풀리는지 실험하였다.

(6) 중량변화실험

흙다짐을 통해 지름 100mm, 부피 1000cm³의 원형 몰드로 다져진 공시체를 기건양생(18~20℃, 60%) 조건하에 재령별로 중량 변화를 측정하였다.

3.4 실험인자 및 수준

흙의 적정배합을 도출하기 위해서 흙분말(점토와 실트)과 모래첨가비율을 5수준으로 실험하고, 자갈첨가비율은 4수준으로 하였다. 첨가제로 소석회, 해초풀을 혼합하여 압축강도, 표면경도, 표면묻어남, 해교성, 중량변화의 실험을 하였다.

표 4. 실험인자 및 수준

| 실험인자 | 실험수준 | 비고 |
|------|-------------------------------------|--------------------|
| 모래 | 20:80, 25:75, 30:70, 35:65, 40:60 | 흙분말:모래 |
| 자갈 | 67.5:2.5, 65:5, 62.5:7.5, 60:10 | 모래:자갈 (흙분말:30) |
| 소석회 | 29:1, 27:3, 25:5, 23:7, 21:9, 19:11 | 흙분말:소석회 (모래첨가비:70) |
| 해초풀 | 100, 75, 50, 25 | 희석률(%) |

표 5. 흙다짐 배합 및 압축강도

| 재료 시편체 | 흙분말 | 모래 | 골재 | 소석회 | 해초풀 | 물비 (%) | 재령별 압축강도(MPa) | | | | | |
|-----------|-----|------|-----|-----|-----|--------|---------------|------|------|------|------|------|
| | | | | | | | 다짐직후 | 1일 | 3일 | 7일 | 28일 | |
| HS1 | 20 | 80 | - | - | - | 6 | 0.25 | 0.28 | 0.42 | 0.72 | 0.91 | |
| HS2 | 25 | 75 | - | - | | | 0.19 | 0.33 | 0.50 | 0.74 | 0.82 | |
| HS3 | 30 | 70 | - | - | | | 0.33 | 0.58 | 0.76 | 1.29 | 1.31 | |
| HS4 | 35 | 65 | - | - | | | 0.36 | 0.91 | 1.26 | 1.18 | 1.02 | |
| HS5 | 40 | 60 | - | - | | | 0.33 | 0.92 | 1.40 | 1.49 | 1.33 | |
| HG1 | 30 | 67.5 | 2.5 | - | | | 0.25 | 0.47 | 0.70 | 1.03 | 0.95 | |
| HG2 | | 65 | 5 | - | | | 0.32 | 0.58 | 0.67 | 1.02 | 1.17 | |
| HG3 | | 62.5 | 7.5 | - | | | 0.40 | 0.44 | 0.82 | 0.99 | 1.16 | |
| HG4 | | 60 | 10 | - | | | 0.34 | 0.51 | 0.85 | 0.96 | 1.20 | |
| HL1 | 29 | 70 | - | 1 | | | 0.51 | 0.69 | 0.98 | 0.88 | 0.89 | |
| HL2 | 27 | | | 3 | | | 0.44 | 1.85 | 2.87 | 4.13 | 4.48 | |
| HL3 | 25 | | | 5 | | | 0.53 | 1.50 | 3.05 | 3.70 | 3.84 | |
| HL4 | 23 | | | 7 | | | 0.45 | 1.37 | 3.25 | 5.47 | 6.52 | |
| HL5 | 21 | | | 9 | | | 0.39 | 1.24 | 2.62 | 4.75 | 5.91 | |
| HL6 | 19 | | | 11 | | | 0.43 | 1.21 | 2.55 | 4.03 | 5.16 | |
| HW1 | 30 | 70 | - | - | | | 100 | 10 | 0.10 | 0.20 | 0.26 | 0.31 |
| HW2 | | | | - | 75 | 6 | 0.22 | | 0.44 | 0.65 | 1.14 | 1.30 |
| HW3 | | | | - | 50 | | 0.20 | | 0.32 | 0.59 | 1.00 | 1.14 |
| HW4 | | | | - | 25 | | 0.27 | | 0.58 | 1.05 | 1.27 | 1.12 |

4. 실험 결과 및 분석

4.1 압축강도 실험

4.1.1 모래와 골재 첨가비에 따른 압축강도

초기 재령시 모래 첨가비율이 감소함에 따라 압축강도도 증가하는 경향을 보이고 있으나 증진폭이 점점 줄어드는 것을 알 수 있었다. 흙분말 중량 대비 모래첨가비율이 65%인 배합은 재령 7일 이후에, 60%인 배합은 재령 28일의 압축강도가 낮아지는 경향을 나타내었다. 모래첨가비율이 70%인 경우 재령별로 지속적으로 증진하는 것으로 보아 적정배합은 흙분말 30과 모래 70의 비율이 가장 좋은 것으로 보여진다. 흙분말비가 20과 25%인 경우 압축강도는 지속적으로 증진하나 1MPa를 넘지 않는 것으로 나타났다. 자갈을 첨가한 경우에는 모래를 첨가한 경우보다 강도발현이 저조하였다. 위 실험 결과 순수 흙으로 다짐을 적용할 경우, 실제 건축물에 적용하는 것은 힘들 것으로 여겨지고 강도를 개선시키기 위한 첨가제가 필요할 것으로 보여진다.

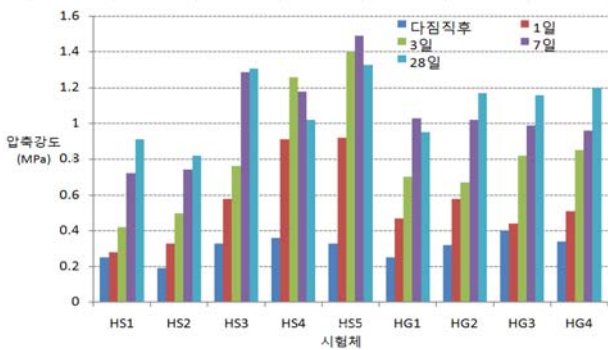


그림 6. 모래와 골재 첨가비에 따른 압축강도

4.1.2 소석회와 해초풀 첨가비에 따른 압축강도

선행 실험을 토대로 흙분말과 모래 첨가비율을 30:70으로 하여 흙을 소석회로 치환하여 실험한 결과 대체적으로 흙만 사용한 경우에 비해 높은 압축강도를 나타내었다. 특히 흙분말과 석회 비율이 23:7인 경우 가장 높은 6.5MPa를 나타내었다. 그러나 29:1로 소석회를 소량 첨가한 경우 기존에 흙분말과 모래만 사용한 경우보다 오히려 강도가 떨어지는 것을 알 수 있었다. 이 실험 결과에서 흙다짐에 적정 압축강도발현을 위해서는 소석회의 적정 범위는 7%내외라고 여겨지고 그 이상 첨가한 경우 오히려 강도가 낮아지는 것을 알 수 있었다. 이는 소석회의 치환비율이 늘어날수록 물과 반응한 발열량에 의해 수분이 부족하여 흙입자들이 제대로 다짐이 안된 결과가 원인이라 여겨진다. 그러나 물의 첨가량이 많아지면 흙입자간의 간격이 벌어지게 되어 결국 제대로 된 다짐이 되기 어렵기 때문에 각 흙에 첨가되는 재료의 배합비와 그에 따른 물비가 중요한 역할을 하는 것을 알 수 있었다. 위 실험 결과 소석회를 3%이상 첨가한 경우 ACP-EEC에서 제시한 2.4 MPa의 압축강도를 만족시키는 것으로 나타났다.

해초풀을 첨가한 경우, 첨가 비율에 따라 압축강도면에서는 흙과 모래, 자갈을 첨가한 배합과 큰 변화차이를 구별하기 어려웠다. 해초풀을 물에 75%로 희석했을때의 배합이 100%일 때보다 압축강도가 더 높은 것으로 나타났고 75%인 경우가 가장 높은 것으로 판단된다. 특히 해초풀이 첨가된 경우 양생기간동안에 흰곰팡이가 발생하였으며 이는 현실적으로 다짐벽에 적용할 경우 많은 문제점을 발생할 것으로 판단되었다.

표 6. 해교성, 표면경중량변화율, 묻어남 실험

| 구분 | 해교성 | 묻어남실험 | 표면경도 | 재령별 중량변화율(%) | | | | | |
|-----|-----|-------|------|--------------|------|------|------|------|------|
| | | | | 다짐직후 | 1일 | 3일 | 7일 | 28일 | 절건 |
| HS1 | 풀림 | 묻어남 | 2B | 100 | 98.4 | 97.4 | 96.1 | 93.3 | 91.5 |
| HS2 | 풀림 | 묻어남 | 2B | 100 | 98.5 | 97.5 | 96.4 | 93.3 | 91.1 |
| HS3 | 풀림 | 묻어남 | 2B | 100 | 98.6 | 97.8 | 96.8 | 94.1 | 91.2 |
| HS4 | 풀림 | 묻어남 | 3B | 100 | 98.4 | 97.5 | 96.7 | 93.9 | 91.3 |
| HS5 | 풀림 | 묻어남 | 1B | 100 | 98.4 | 97.8 | 96.5 | 93.8 | 90.1 |
| HG1 | 풀림 | 묻어남 | 6B | 100 | 98.9 | 97.8 | 96.5 | 93.8 | 91.8 |
| HG2 | 풀림 | 묻어남 | 5B | 100 | 98.4 | 89.5 | 95.6 | 95.0 | 93.1 |
| HG3 | 풀림 | 묻어남 | 5B | 100 | 98.5 | 97.1 | 96.3 | 95.1 | 93.5 |
| HG4 | 풀림 | 묻어남 | 5B | 100 | 98.8 | 97.5 | 96.1 | 95.3 | 93.1 |
| HL1 | 풀림 | 묻어남 | 5B | 100 | 98.9 | 97.0 | 96.2 | 95.1 | 92.1 |
| HL2 | 안풀림 | 묻어남 | 5H | 100 | 98.8 | 97.7 | 96.0 | 94.8 | 93.3 |
| HL3 | 안풀림 | 안묻어남 | 안극힘 | 100 | 98.9 | 98.3 | 97.9 | 97.5 | 93.7 |
| HL4 | 안풀림 | 안묻어남 | 안극힘 | 100 | 99.0 | 98.2 | 97.7 | 97.2 | 93.9 |
| HL5 | 안풀림 | 안묻어남 | 안극힘 | 100 | 99.0 | 98.3 | 97.7 | 96.6 | 93.6 |
| HL6 | 안풀림 | 안묻어남 | 안극힘 | 100 | 98.8 | 97.9 | 97.0 | 96.3 | 93.4 |
| HW1 | 풀림 | 묻어남 | 5B | 100 | 98.9 | 97.6 | 97.1 | 96.2 | 93.9 |
| HW2 | 풀림 | 묻어남 | 4B | 100 | 99.0 | 97.8 | 96.4 | 93.3 | 90.4 |
| HW3 | 풀림 | 묻어남 | B | 100 | 98.9 | 97.7 | 96.3 | 92.6 | 89.7 |
| HW4 | 풀림 | 묻어남 | 3B | 100 | 98.8 | 97.3 | 95.4 | 93.2 | 90.8 |

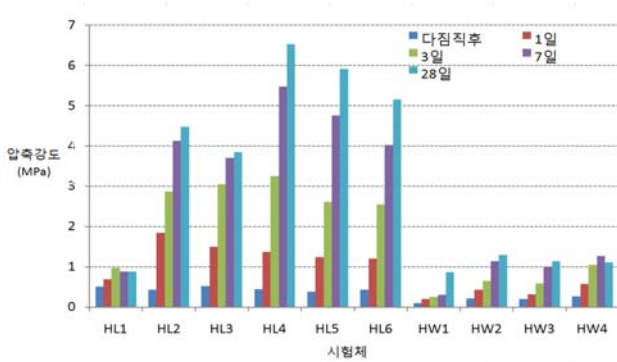


그림 7. 소석회와 해초풀 첨가비에 따른 압축강도

4.2 해교성, 표면문어남, 표면경도, 중량변화실험

4.2.1 해교성 실험

흙다짐이 물에 의해 풀리지는지 실험을 한 결과, 소석회를 혼합한 경우에는 포졸란 반응에 의해 물에 대한 저항성은 크지만 흙분말과 모래, 자갈만을 이용하여 다짐한 경우 흙의 단점인 물에 약한 특성이 그대로 나타나서 그림 8과 같이 물에 흙이 풀렸다. 이 실험을 통해 현장에서 100% 흙만으로 흙다짐을 적용할 시에는 처마의 길이를 길게 내어주고 기초부위를 일정높이 이상 높여주어야 할 것으로 여겨졌다.

4.2.2 표면문어남, 표면경도 실험

다짐 표면의 문어남에 관한 실험은 석회 3%를 초과한 5~11% 범위내에서 첨가하여야 표면이 문어나지 않아 실제 공사시에는 적용 가능할 것으로 여겨졌다. 표면경도 실험에서 흙분말과 모래만으로 다짐한 경우 1B~3B로 나타났으며 흙분말과 모래, 자갈을 첨가하여 다진 경우에는 5B~6B로 흙분말과 모래만 첨가하여 다진 경우보다 표면이 약하게 측정되었다. 소석회를 첨가하여 경도를 측정할 경우 1%와 3%에서는 표면이 문어났으나 5% 이상에서는 표면이 문어나지 않았다. 그리고 해초풀을 첨가한 경우 1B~5B의 경도를 나타내었다. 위 실험을 통해 실제 시공할 경우 5%이상의 소석회를 첨가한 배합의 경우가 가장 좋을 것으로 판단되었다.



그림 8. 표면경도 및 해교성 실험

4.2.3 중량변화실험

재령별 중량 변화 실험결과, 흙분말과 모래를 혼합하여 다짐한 경우 재령 28일에는 7%내외의 중량이 감소한 반면, 자갈을 포함시켜 혼합한 경우 5%내외의 중량이 감소한 것으로 나타났다. 소석회를 첨가한 경우 재령 28일의 중량변화는 3~5% 범위내에서 감소하였다. 해초풀을 첨가하여 혼합한 경우 100%에서는 3.8%가 감소하였으나

물을 희석하여 혼합한 경우 7~8%범위 내에서 감소하였다. 위 실험을 통해 소석회를 첨가한 경우 중량감소가 작은 것으로 나타났다.

4.3 낙하실험

낙하 실험결과 흙분말:모래 비율이 30:70인 경우 함수량이 7%일 때 흙덩어리가 3~5조각의 상태로 분산되어 흙다짐하기에 적절한 것으로 나타났고, 20:80인 경우 9% 함수량이 가장 적합한 것으로 나타났다. 흙분말의 함수량이 많을수록 점성이 높아져서 뭉치는 형태를 나타내었고 모래첨가 비율이 높을수록 가루형태로 분산되었다. 또한 모래 첨가비가 높고 함수량이 적을수록 가루형태로 분산되었다. 적정 함수량의 흙의 경우 3~5조각정도 분산되는 형태가 보였다. 특히 적정함수량 이상 혼입된 경우 1~2개의 덩어리형태로 분산되었다.

표 7. 낙하실험에 의한 결과분석표

| 흙분말 | 모래 | 물비 (%) | 특징 | 사진 |
|-----|----|--------|-------------------------------|----|
| 20 | 80 | 5 | 수분함유량이 적고 모래질이 많아 넓게 분산됨 | |
| | | 7 | 5%에 비해 가운데를 중심으로 뭉치는 현상 | |
| | | 9 | 몇 개의 덩어리로 분산됨 | |
| 30 | 70 | 5 | 수분함유량이 적고 모래질이 많이 분산됨 | |
| | | 7 | 몇 개의 덩어리로 분산됨 | |
| | | 9 | 전혀 퍼지지 않음 | |
| 40 | 60 | 5 | 수분은 부족하나 점토질이 많이 몇 개 조각으로 나뉘짐 | |
| | | 7 | 점토성분이 많아 가운데로 뭉쳐짐 | |
| | | 9 | 거의 퍼지지 않음 | |

5. 결론

흙다짐의 흙분말과 모래의 적정 배합 도출 및 첨가제의 적정 첨가량 도출 실험을 한 결과는 다음과 같다.

- 1) 흙분말과 모래의 적정 배합 실험에서 해교성과 표면문어남의 정도는 모두 비슷한 것으로 나타났으나 압축강도에서 흙분말과 모래의 비가 30:70일때 가장 안정적으로 나타나 흙분말과 모래의 적정 배합은 30:70이 가장 적당한 것으로 판단된다.
- 2) 소석회 첨가량 실험에서 흙분말과 소석회의 비가

23:7일때 압축강도, 해교성, 표면 묻어남 실험에서 가장 우수한 것으로 판단되었고 소석회를 5%이상 첨가한 경우 ACP-EEC에서 제시한 흙벽돌 규정인 2.4MPa를 만족시키는 것으로 나타났다.

- 3) 해초풀 첨가량 실험에서 해초풀이 물에 75%로 희석했을때 해교성은 100%일 때보다 압축강도가 더 높은 것으로 나타나 75%일때 가장 우수한 것으로 판단된다. 그러나 양생기간이 길어짐에 따라 곰팡이의 문제가 발생하여 이에 대한 세부적인 실험이 필요할 것으로 판단되었다.
- 4) 낙하 실험결과 흙분말의 함유량이 많을수록 점성이 높아졌고 모래질이 많을수록 가루형태로 분산되었다. 또한 함수량이 적을수록 가루형태로 분산되고 적정함수량인 경우 3~5조각정도 분산되는 형태가 보여졌다. 특히 적정함수량 이상 혼입된 경우 한 두 개의 덩어리형태로 분산되었다.
- 5) 위의 결과를 토대로 흙다짐시의 적정 배합은 압축강도와 해교성, 포면 묻어남에서 가장 우수한 결과를 나타낸 흙분말과 모래, 소석회의 비가 23:70:7 배합이 가장 적당한 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 문화재청 국립문화재연구소의 지원을 받아 문화재 보존기술개발연구(R&D) 사업의 일환으로 이루어 졌음

참고문헌

1. 정인준, 토질공학원론, 구미서관(1993) p516
2. 황혜주, 흙건축, 도서출판 CIR(2008. 3)
3. 황혜주, 황토미장재 성능개선을 위한 실험적 연구, 한국생태환경건축학회 논문집, v.5, n.3 (2005-9)
4. 권호진, 시료 계사용이 표준다짐시험 결과에 미치는 영향, 산업기술연구 제10기
5. terre.grenoble.archi.fr
6. compressed earth blocks - Selection of production equipment, centre for the development of industry, ACC-EEC
7. Hugo Houben, Grains de Bâtisseurs, ENSAG, 2005
8. Vasilos Maniatis & Peter Walker, A review of Rammed Earth Construction, University of Bath(2003), p3

투고(접수)일자: 2008년 11월 7일

심사일자: 2008년 11월 12일

게재 확정일자: 2009년 2월 18일