

알파반수석고를 활용한 비소성결합재 기반 바닥 모르타르의 경화특성 및 건조수축 평가

Evaluation of Hardening Properties and Dry Shrinkage of Non-Sintered Binder Based Floor Mortar Utilizing Alpha-Hemihydrate Gypsum

이 계 혁¹

김 규 용^{2*}

이 보 경²

김 래 환²

신 경 수³

Lee, Kye-Hyok¹ Kim, Gyu-Yong^{2*} Lee, Bo-Kyeong² Kim, Rae-Hwan² Shin, Kyoung-Su³
RDM Industrial Development Co., Ltd., Jung-Gu, Daejeon, 301-050, Korea¹
Dept. of Architectural Engineering, Chungnam National University, Yuseong-Gu, Daejeon, 305-764, Korea²
Corporate research institute, Yusung-tech Co., Ltd., Okcheon-eup, Okcheon, 373-802, Korea³

Abstract

Floor mortar experiences dry shrinkage by temperature and humidity difference of internal matrix with material type. Also, since floor mortar is influenced by environmental conditions during placing and curing period, cracks are likely to be occurred. In this study, it was evaluated the hardening and dry shrinkage properties of non-sintered binder based floor mortar utilizing alpha-hemihydrate gypsum which has expansibility in order to prevent crack of the floor mortar. It was applied to the construction site, and examined the effects of external environmental conditions on shrinkage deformation and cracking. Different types of slag accelerated initial and final setting in comparison with cement mortar and its compressive strength was satisfied standard compressive strength for floor mortar. Also shrinkage deformation behavior after the initial expansion exhibited a similar tendency with the cement mortar. From the field application result, no crack was found from slag mortar, and it is determined that the slag mortar has better dimensional stability than cement mortar caused by external environment conditions.

Keywords : floor mortar, alpha-hemihydrate gypsum, setting time, compressive strength, dry shrinkage

1. 서 론

공동주택의 바닥구조는 여러 가지 재료와 공법에 따라 다양한 종류 및 형식으로 시공되고 있다. Figure 1은 일반적으로 시공되는 공동주택의 바닥구조 및 바닥 모르타르에서 발생하는 균열을 나타낸 것이다. 공동주택의 바닥구조는 하중을 지탱하는 슬래브 층, 축열성 및 차음성을 부여하기

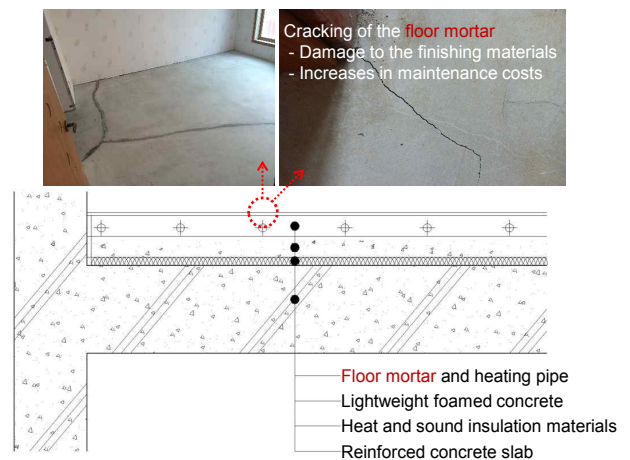


Figure 1. Floor structure of apartment building and cracking of the floor mortar

Received : February 26, 2015

Revision received : March 23, 2015

Accepted : May 11, 2015

* Corresponding author : Kim, Gyu-Yong

[Tel: 82-42-821-5623, E-mail : gyuyongkim@cnu.ac.kr]

©2015 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

위한 기포 콘크리트 층, 난방 배관을 고정·보호하고 상부로 열기를 방출하는 바닥 모르타르 층으로 구성되어 있다. 특히, 바닥 모르타르는 사용하중을 기포 콘크리트 층과 슬래브 층에 전달하는 역할을 하지만 균열이 쉽게 발생하여 균열보수 비용증가, 바닥마감재의 변색과 파손 등의 문제점이 발생하게 된다[1,2].

한편, 바닥 모르타르에서 발생하는 균열을 저감시키기 위해 와이어메쉬(Wire-mesh), 메탈라스(Metal lath), 섬유보강재 등을 혼합하여 인장강도를 증진시키는 물리적인 방법의 연구가 많이 진행되고 있다. 그러나 와이어메쉬와 메탈라스는 단열층 위의 난방 배관과 함께 설치하여 인장응력에 의해 모르타르의 균열을 방지할 수 있으나, 시공성의 문제로 인해 균열방지 효과가 미흡하다. 섬유보강재는 인장강도의 향상을 목적으로 사용되나, 섬유의 종류, 혼입률, 형상비에 따라 바닥 모르타르의 유동성에 영향을 미친다[3].

또한, 생석회(CaO), CSA(Calcium sulfo aluminate), 석고 등을 시멘트와 혼합하여 적절한 팽창을 유도하고 건조수축을 보상하는 화학적인 방법의 연구가 진행되고 있다. 특히 석고 중에 알파반수석고($CaSO_4 \cdot 1/2H_2O$)는 석고자체의 팽창 효과에 의해 균열에 대한 저항성이 매우 높으며, 빠른 경화성능으로 인해 공기단축 효과가 있는 것으로 보고되고 있다[4].

알파반수석고는 화력발전소의 부산물인 배연탈황석고 등을 활용하여 상압수용액법, 가압증기법, 가압수용액법, 마이크로웨이브법 등의 방법으로 제조되며, 필요한 양의 물을 혼입할 경우 시멘트와 같이 응결 및 경화한다. 알파반수석고는 빠른 경화성능이 있지만 단독으로 사용할 경우 압축강도가 저하되는 현상이 발생한다. 그러나 알파반수석고를 일부 치환하여 사용할 경우 강도 저하현상이 개선된다. 또한, 알파반수석고는 수화에 의해 이수석고로 전환되는데 이때 석출되는 이수석고 결정간의 재결정화로 인해 석출 결정간 이완되는 현상이 발생하여 팽창 변형을 유발하는 특징이 있다.

따라서 본 연구에서는 바닥 모르타르 시공 시 발생하는 균열을 억제하기 위해 알파반수석고를 활용한 비소성결합재 기반 바닥 모르타르를 제조하여 경화특성 및 건조수축을 평가하였으며, 건설현장에 적용하여 외기환경에 노출된 조건에서 수축변형 거동 및 균열 발생여부를 검토하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 사용재료

Table 1. Chemical compositions and physical properties of the alpha-hemihydrate gypsum

Chemical compositions (%)							Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)
MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	LOI		
0.32	0.88	2.57	55.79	39.99	0.41	0.04	2.72	1,400

Table 2. Main materials of floor mortar

Specimens	Main materials
Slag type mortar	ground granulated blast furnace slag, alpha-hemihydrate gypsum,
Clay type mortar	Hwangtoh, alpha-hemihydrate gypsum

본 연구에서 바닥 모르타르에 발생하는 균열을 저감시키기 위해 활용한 알파반수석고는 배연탈황석고에 물을 혼입하여 슬러리 형태로 제조한 후 반응기 내부에 열과 압력을 가하여 일정온도에서 짧은 시간동안 교반하고, 탈수와 건조 과정을 연속으로 거친 후 분쇄하여 입자크기를 균일하게 하는 방법인 가압수용액법으로 제조되었으며 물리·화학적 성질을 Table 1에 나타냈다. 알파반수석고를 활용한 비소성결합재 기반 바닥 모르타르는 슬래그계 및 점토계 모르타르로 구성하였으며, 주요 결합재는 Table 2에 나타냈다.

골재의 경우 레미콘 공장에서 생산되는 습식 시멘트계 모르타르와 달리 본 연구에서 검토한 슬래그계 및 점토계 모르타르 제조시에는 작업성 및 경화체의 압축강도를 확보하기 위해 직경 0.1~0.35mm의 규사를 활용하였다.

2.2 실험계획

일반적으로 바닥 모르타르는 시멘트와 골재를 활용하여 레미콘 공장에서 생산되는 습식 모르타르 형태로 사용되었지만, 최근에는 실용성 및 편리성 그리고 품질관리 용이성 등이 현장 레미콘 배합에 비해 우수한 건조 모르타르 형태로 활용되고 있다[5]. 건조 모르타르는 공장에서 생산한 건조 상태의 모르타르로서 포틀랜드 시멘트, 고로슬래그 시멘트 또는 메이슨리 시멘트 등에 선별한 모래를 무기질 혼합재 등과 함께 혼합하여 제조함으로써 공장에서 단지 물만 섞어 작업할 수 있도록 한 것이다. 바닥 모르타르에 관한 품질 기준은 KS L 5220 「건조 시멘트 모르타르」 외에는 특별히

Table 3. Experimental plan and mortar composition

Specimens	ID	W/M ¹⁾ (%)	B:S ²⁾	Binder ³⁾ (wt.%)					Evaluation contents
				C	BFS	CLY	αGpm	A	
Cement type mortar	Cmt	13.1	1 : 2.4	100	-	-	-	-	▪ Setting time
Slag type mortar	Bfs-αGpm	18.0	1 : 1.7	-	60~70	-	25~35	0~5	▪ Comp. strength
Clay type mortar	Cly-αGpm	22.0	1 : 1.2	-	-	30~40	60~70	-	▪ Dry shrinkage

1) W/M: water-mortar ratio, 2) B: binder, S: sand

3) C: ordinary portland cement, BFS: ground granulated blast-furnace slag, CLY: hwangtoh, αGpm: alpha-hemihydrate gypsum, A: activator

규정된 것이 없으며, 각 회사 및 현장별로 품질관리가 이루어지고 있는 실정이다. 또한, 바닥 모르타르의 플로우에 관한 기준은 KS에 명시되어 있지 않으며, 건설산업에서는 통상적으로 180±20mm 범위의 플로우를 만족시키는 배합수량을 산정하여 시공하는 추세이다.

Table 3은 본 연구의 실험계획 및 모르타르 배합을 나타낸 것이다. 시멘트계 모르타르의 경우 레미콘 공장에서 생산되는 습식 모르타르 형태로, 슬래그계 및 점토계 모르타르는 건조 모르타르 형태로 제조하였다.

슬래그계 및 점토계 모르타르의 결합재 비율은 예비실험을 통해 일반적으로 레미콘 공장에서 생산되는 습식 모르타르 형태로 활용되고 있는 시멘트계 모르타르와 유사한 압축강도를 발현하도록 구성하였으며, 별도의 응결지연제 사용 없이 모르타르를 제조하였다.

또한, 작업성 확보를 위해 시멘트계 모르타르보다 배합수량을 증가시켜 180±20mm 범위의 플로우를 만족시키는 배합수량을 산정하여 별도의 유동화제 사용 없이 바닥 모르타르를 제조하였다. 슬래그계 및 점토계 모르타르의 경우 직경 0.1~0.35mm의 건조된 형태의 규사를 활용하여 모르타르를 제조하였기 때문에 시멘트계 모르타르에 비해 물-모르타르 비(W/M)가 증가되었다.

2.3 실험방법

응결시간 측정은 KS F 2436 「관입 저항침에 의한 콘크리트의 응결 시간 시험방법」에 준하여 측정하였으며 회귀분석을 통해 관입저항이 3.5MPa, 28.0MPa가 될 때의 시간을 각각 초결시간과 종결시간으로 결정하였다.

압축강도 평가용 공시체는 KS L 5105 「수경성 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법」에 준하여 40×40×160mm의 공시체를 각 재령별로 3개씩 제작하였으며, 압축강도 측정은 KS L ISO 679 「시멘트의 강도 시험 방법」에 준하여 실시하였다.

건조수축균열은 KS F 2595 「콘크리트의 건조수축균열 시험방법」에 준하여 자유건조수축과 구속건조수축균열 시험을 수행하였다. 자유건조수축 시험체는 KS F 2424 「모르타르 및 콘크리트의 길이변화시험방법」에 명시된 바와 같이 100×100×400mm 크기의 시험체를 제작하였으며, 시험체 내부에 변형률 게이지를 매립하였다. 구속건조수축 시험은 구속판 변형률 측정을 위하여 구속판의 중앙부에 변형률 게이지를 부착하였다. 균열폭 측정은 디지털 영상 균열 측정장치(FAST FCV-30)를 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 응결시간

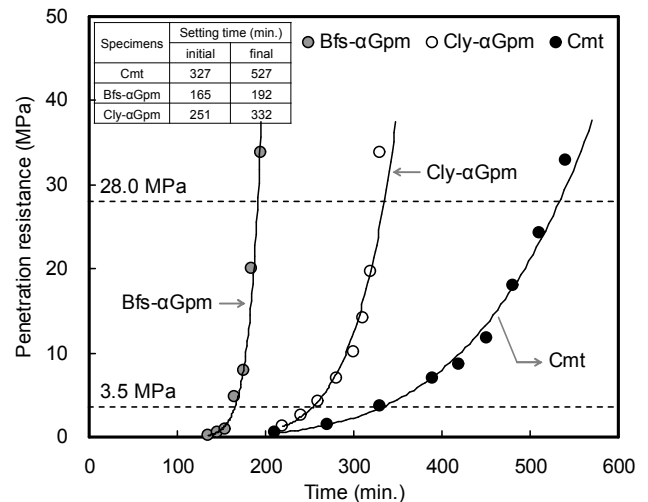


Figure 2. Penetration resistance measurements of floor mortar with binder type

Figure 2는 관입 저항침에 의한 응결시간 측정결과를 나타낸 것이며, 응결시간은 회귀분석을 통해 도출하였다. 일반적으로 바닥 모르타르에 사용되는 시멘트계 모르타르에 비

해 슬래그계 모르타르의 경우 초결시간은 약 160분, 종결시간은 약 330분 단축되었으며, 점토계 모르타르의 경우 초결시간은 약 70분, 종결시간은 약 190분 단축된 것을 확인하였다. 또한, 알파반수석고의 활용으로 인해 초결에서 종결까지 진행되는 시간이 단축되었으며 특히 슬래그계 모르타르는 초결에서 종결까지 진행되는 시간이 약 27분으로 급격하게 정화되는 특징을 나타냈다.

3.2 압축강도

Figure 3은 바닥 모르타르의 압축강도 측정결과를 나타낸 것이다. 슬래그계 및 점토계 모르타르의 경우 시멘트계 모르타르에 비해 경화가 빠르게 진행되는 응결 특성을 보임에도 불구하고 재령 1일의 압축강도는 시멘트계 모르타르 대비 슬래그계 모르타르의 경우 약 44%, 점토계 모르타르의 경우 약 49% 수준으로 측정되었다.

또한, 슬래그계 모르타르의 경우 재령 7일과 재령 28일의 압축강도는 각각 16.8, 25.9MPa로 측정되어 바닥용 건조 모르타르 기준인 14.0, 21.0MPa에 비해 약 20, 24% 상승하였다. 그러나 점토계 모르타르의 경우 재령 7일과 재령 28일의 압축강도가 각각 10.6, 14.9MPa로 측정되어 바닥용 건조 모르타르 기준인 14.0, 21.0MPa에 비해 약 24, 29% 저하되는 경향을 나타내어 바닥용 건조 모르타르 기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 점토계 모르타르의 경우 목표플로우를 만족시키기 위한 배합수량 산정 시 물-모르타르 비 (W/M)가 증가되어 KS L 5220 「건조 시멘트 모르타르」의 기준 압축강도에 미치지 못한 것으로 판단된다.

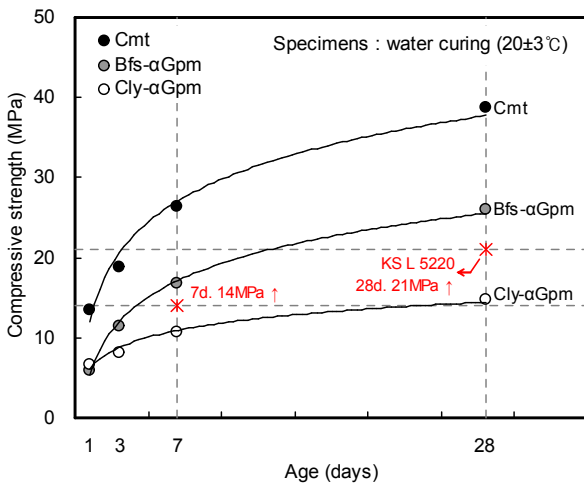


Figure 3. Strength development properties of mortar utilizing alpha-hemihydrate gypsum

3.3 건조수축 및 건조수축균열

Figure 4는 재령에 따른 자유건조수축 변형률 측정결과를 나타낸 것이다. 슬래그계 및 점토계 모르타르에서 타설 초기에 팽창 변형이 발생하였으며, 슬래그계 모르타르의 경우 시멘트계 모르타르의 수축변형 거동과 유사한 경향을 나타내었지만 타설 초기 팽창량에 기인하여 수축변형률 값이 저감되는 결과를 보였다. 점토계 모르타르는 슬래그계 모르타르에 비해 타설 초기 팽창 변형률이 작았으며 재령이 지날수록 수축변형률이 다른 시험체에 비해 낮은 경향을 나타내었다.

알파반수석고를 활용한 슬래그계 및 점토계 모르타르에서 발생하는 팽창 변형은 알파반수석고의 수화반응이 시작됨과 동시에 이수석고의 결정이 생성되고 이것이 잉여수를 포함한 물이 존재하는 곳에서 자유롭게 성장하여 결정고체가 서로 미는 결과, 페이스트 내 물이 차지하고 있던 용적 이상으로 응결체가 공간을 차지하기 때문인 것으로 보고되고 있으며 본 연구에서도 이와 같은 메커니즘으로 인해 석고계 및 점토계 모르타르에서 재령초기에 팽창변형이 발생한 것으로 판단된다[4].

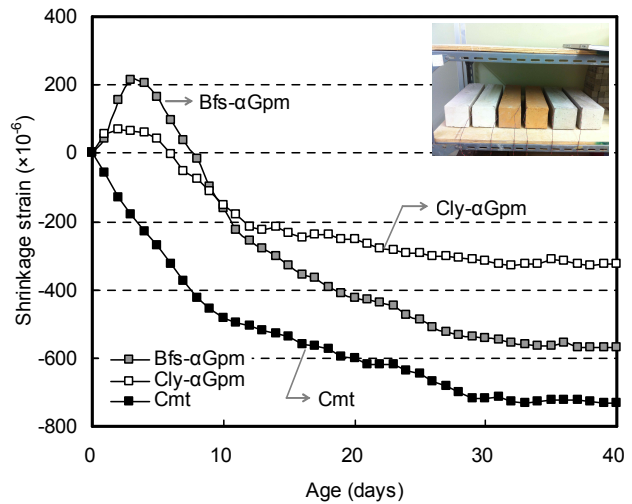


Figure 4. Free drying shrinkage measurements of floor mortar with binder type

Figure 5는 구속건조수축균열 시험에 의한 강제 구속판의 변형률 측정결과를 나타낸 것이다. 시멘트계 모르타르의 경우 측정 초기부터 급격한 수축변형을 나타내는 반면 슬래그계 모르타르와 점토계 모르타르는 초기에 팽창이 발생하는 것을 확인하였다.

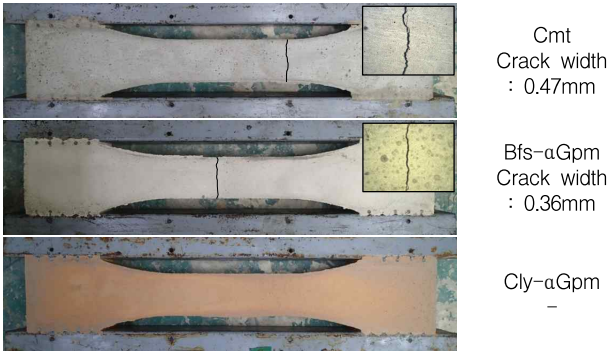
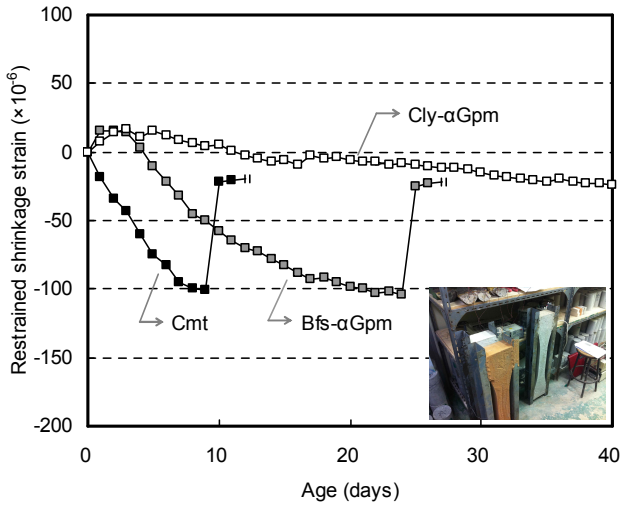


Figure 5. Restraint drying shrinkage and crack measurements of floor mortar with binder type

슬래그계 모르타르는 초기 팽창 이후에 시간이 경과함에 따라 수축변형이 발생하였으며 시멘트계 모르타르에 비해 수축변형이 지연되는 경향을 나타냈다. 한편, 점토계 모르타르의 경우 초기 팽창 이후에 점차 수축 변형이 발생하지만 수축량이 다른 시험체에 비해 작은 범위로 측정되었다. 또한, 시멘트계 모르타르는 측정 시작일로부터 9일 경과 시점에서 균열이 발생하였으며, 그 크기는 0.47mm로 측정되었다. 그러나 슬래그계 모르타르는 25일 경과 시점에서 균열이 발생하였으며, 그 크기는 0.36mm로 측정되어 시멘트계 모르타르에 비해 균열 발생일이 지연되었으며 균열폭은 약 23% 저감되었다. 점토계 모르타르에서는 균열이 발생하지 않았으며 강재 구속판의 변형률도 다른 시험체에 비해 크지 않았다. 구속건조수축균열 시험에서 균열이 발생한 시점의 자유건조수축 변형률은 시멘트계 모르타르의 경우 약 455×10^{-6} , 슬래그계 모르타르의 경우 약 486×10^{-6} 으로 유사한 값을 나타냈다.

4. 바닥 모르타르 현장 적용

4.1 현장 적용 개요

알파반수석고를 활용한 비소성결합재 기반 바닥 모르타르의 응결시간, 압축강도, 건조수축의 실험 결과를 바탕으로 시멘트계 모르타르, 슬래그계 모르타르를 실제 공동주택 현장에 시공하여, 외기환경의 영향을 받는 조건에서 바닥 모르타르의 수축 변형 특성을 검토하였다. 점토계 모르타르는 응결시간이 단축되고 수축변형이 크지 않았으나, KS L 5220 「건조 시멘트 모르타르」의 압축강도 기준을 만족시키지 못해 현장 적용에서 제외시켰다.



Figure 6. Application site and section of floor mortar

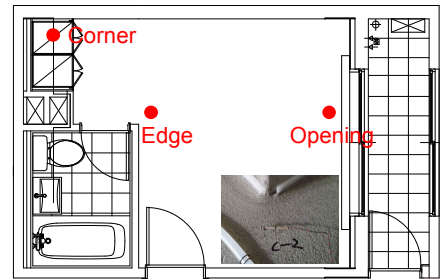


Figure 7. Installation section of strain gauges

바닥 모르타르는 Figure 6에 나타난 바와 같이 공동주택을 대상으로 적용하였으며, 시멘트계 모르타르, 슬래그계 모르타르는 동일한 형태의 2개 세대에 적용했다. Figure 7은 변형률 게이지 설치 구간을 나타낸 것으로, 변형률 게이지는 외기환경 조건에 의한 영향이 가장 작을 것으로 예상되는 가장자리 구간(corner), 응력 집중에 의해 균열이 발생할 가능성이 높을 것으로 예상되는 모서리 돌출부 구간(edge), 외기환경 조건에 의한 영향이 가장 클 것으로 예상되는 개구부 구간(opening)으로 구분하여 위치 조건에 따른 수축변형률의 차이를 검토하였다.

4.2 현장 적용 결과

시멘트계 모르타르의 경우 타설 후 3시간 간격으로 2회에 걸쳐 미장 마감을 실시하였으나, 슬래그계 모르타르의 경우 빠른 응결시간으로 인해 타설 후 3시간 경과 시점에서 1회의 미장 마감만을 실시하였다. 또한, 시멘트계 모르타르는 바닥 모르타르 타설 후 3일 경과 시점부터 후속공정이 진행되었으나, 슬래그계 모르타르의 경우 타설 1일 경과 시점부터 후속공정을 진행할 수 있었다.

시멘트계 모르타르, 슬래그계 모르타르가 시공된 바닥 모르타르를 Figure 8에 나타내었으며, Figure 9에 시멘트계 모르타르, 슬래그계 모르타르의 수축변형 측정 결과를 나타냈다. 시멘트계 모르타르는 타설 직후부터 수축이 발생하였으며, 재령이 지남에 따라 수축변형이 증가하는 경향을 보였다. 또한, 타설 8일 경과 시점에서 응력 집중에 의해 균열이 발생할 가능성이 높을 것으로 예상되는 모서리 돌출부 구간(edge)에서 폭 0.18mm, 길이 462mm의 균열이 발생하였으며, 개구부에서 멀어질수록 수축에 의한 변형이 감소하는 것으로 나타났다. 타설 40일 경과 후에 측정된 최대변형률의 경우 외기환경 조건에 의한 영향이 가장 클 것으로 예상되는 개구부 구간(opening)에서 약 390×10^{-6} 정도의 수축량을 갖는 것으로 나타났다.

한편, 슬래그계 모르타르는 타설 직후에 팽창이 발생하였으며, 타설 이후 균열이 발생하지 않는 것으로 확인되었다. 또한, 개구부 위치 조건에 관계없이 변형률은 큰 차이가 없었으며, 타설 40일 경과 후에 측정된 최대변형률은 약 220×10^{-6} 정도의 수축량을 갖는 것으로 측정되었다.

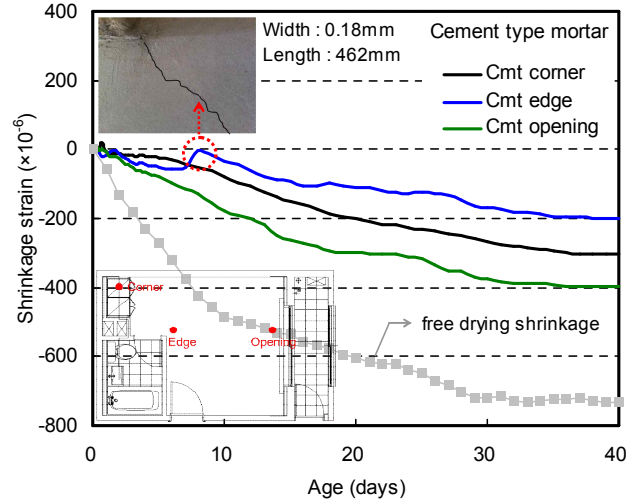
바닥 모르타르는 구조 특성상 노출면적이 크기 때문에 대기온도, 습도, 바람 등 외기환경 조건이 수축변형에 미치는 영향이 크다[1,2]. 이러한 이유로, 시멘트계 모르타르에서는 외기환경 조건에 의해 개구부 위치에 따라 수축변형률이 차이를 보였으나, 슬래그계 모르타르는 초기 팽창 발생 및 급격한 응결에 의해 시멘트계 모르타르에 비해 외기환경 조건이 수축변형에 미치는 영향이 크지 않은 것으로 판단된다.

한편, 자유건조수축 측정결과에 따른 변형률에 비해 현장 적용한 바닥 모르타르의 변형률은 시멘트계 모르타르, 슬래그계 모르타르에서 약 400×10^{-6} 정도 감소하였으며 이러한 원인은 바닥 모르타르가 기포 콘크리트에 구속됨에 따라 생기는 변형률의 차이인 것으로 판단된다.

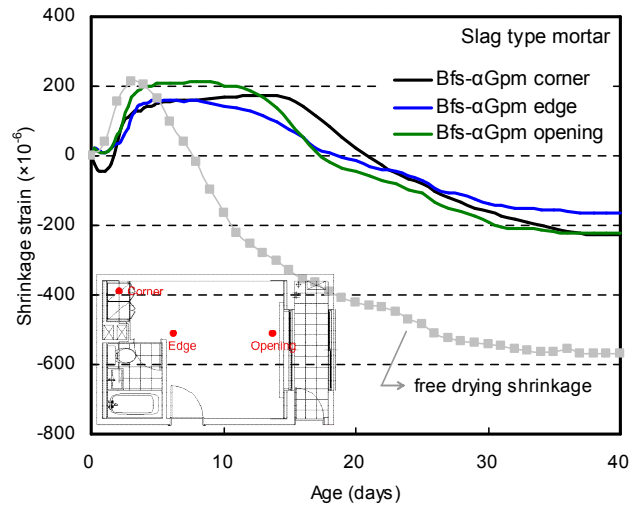


(a) Cement type mortar (b) Slag type mortar

Figure 8. Construction of floor mortar



(a) Cement type mortar



(b) Slag type mortar

Figure 9. Strain measurement of the floor mortar

5. 결 론

- 1) 슬래그계 모르타르는 시멘트 모르타르에 비해 초결시

간은 50%, 종결시간은 23% 단축되며, 초결에서 종결에 이르는 시간이 약 30분 정도로 급격히 경화되기 때문에 현장 적용 시 타설 후 미장 마감 횡수를 줄일 수 있었으며, 바닥 모르타르 타설 후 후속공정 진행시 기도 시멘트계 모르타르에 비해 빨라지는 것을 확인하여 공기단축 효과를 기대할 수 있었다.

- 2) 슬래그계 및 점토계 모르타르에서 알파반수석고의 수화반응 시 발생하는 이수석고 결정의 이완 현상에 의해 타설 초기에 팽창 변형이 발생했다. 팽창 변형 이후의 수축변형 거동은 슬래그계 모르타르의 경우 시멘트계 모르타르와 유사하지만 초기 팽창 변형에 기인하여 수축량이 감소하며, 현장 적용 시 개구부 위치 조건에 따른 변형률의 차이가 크지 않아 시멘트계 모르타르보다 치수안정성이 큰 것을 확인하였다.
- 3) 점토계 모르타르의 경우 슬래그계 모르타르에 비해 결합재 비율이 높아 목표플로우를 만족시키기 위한 배합수량 약 1.2 배 증가하여 KS L 5220의 압축강도 기준의 약 71~76%의 수준의 압축강도를 나타내었다. 따라서 점토계 모르타르를 현장에 적용하기 위해서는 압축강도 개선이 필요할 것으로 생각된다.

요 약

본 연구에서는 바닥 모르타르에 발생하는 균열을 방지하기 위해, 팽창성이 있는 재료인 알파반수석고를 활용한 비소성결합재 기반 바닥 모르타르의 경화특성 및 건조수축 특성을 평가하고, 건설현장에 적용하여 외기환경에 노출된 조건에서 바닥 모르타르의 수축변형 거동 및 균열 발생여부를 검토하였다. 그 결과, 슬래그계 바닥 모르타르의 경우 시멘트계 모르타르에 비해 초결 및 종결시간이 급격히 단축되었고 압축강도는 관련기준을 만족하는 것으로 확인되었으며, 초기에 팽창 변형 이후의 수축변형 거동은 시멘트계 모르타르와 유사한 경향을 나타내었다. 슬래그계 바닥 모르타르의 현장 적용 결과 균열이 발생하지 않았으며, 외기환경 조건에 의한 변형률의 차이가 크지 않아 시멘트계 바닥 모르타르에 비해 치수안정성이 큰 것으로 판단된다.

키워드 : 바닥 모르타르, 알파반수석고, 응결시간, 압축강도, 건조수축

Acknowledgement

This research was financially supported by the Ministry of Education, Science Technology (MEST) and National Research Foundation of Korea (NRF) through the Human Resource Training Project for Regional Innovation (2012H1B8A2025606).

References

1. Han CG, Jeong SC, Park EB, Yin JF. Properties of cement mortar for housing space floor varied with the fiber kinds and contents, *Journal of the Architecture Institute of Korea*, 2002 Aug;18(8):59-66
2. Lee JR, Lee WJ, Jung SC. An experimental study on the quality properties of the expansive for dry-shrinkage compensation of the on-dol floor mortar, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 2001 Aug;13(4):314-20
3. Kim KD, Jeong SC, Song MS. An experimental study on the development and on its applications of non-shrinkage admixture for crack-prevention of cement mortars in apartment housing floors, *Journal of the Architecture Institute of Korea*, 1996 Sep;12(8):231-41
4. Seo SS, Lee KH, Jung EH, Roh HS, Kim JH. A study on the mechanical properties of α -hemihydrated gypsum based mortar, *Proceedings of the Architecture Institute of Korea; Conference data; Conference place, Publication place: Publisher; 2009, p.379-82*
5. Jaung JD, Choi EK, Kim JK, Lee CS, Lee SS. An experimental study for crack prevention of floor mortar, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 1996 Jun;8(3):167-75