

## 자철석 혼입 모르터의 기초물성 연구

### Preliminary Tests of Mortars Containing Magnetite as Fine Aggregate

윤 상 천<sup>1)</sup>      양 성 철<sup>2)\*</sup>  
Yoon, Sang Chun      Yang, Sung Chul

#### Abstract

In this project a preliminary experimental research work was done to apply mortars containing magnetite as fine aggregates unto floor finishing materials in order to make indoor environment eco-friendly and to have noiseproof control between floors. Crushed magnetites were substituted as sands in the mix design with a range of 0, 20, 40, 60, 100%. First far-infrared radiation tests to determine emissivity and emission power were done in accordance with the KICM test standard and an outstanding result was obtained. Density and compressive strength test results also showed that as the substitution increases, test values increase in a linear trend. However dry shrinkage test results revealed that as the substitution increases, shrinkage strain also increases. To clearly seek a solution about this problem, more experimental works should be done on oncoming experimental program.

Keywords : Eco-friend material, Floor finishing material, Emissivity, Emission power, Shrinkage

#### 1. 서 론

삶의 질을 높이고 건강하게 오래 살고 싶은 욕구가 높아지며 웰빙 바람이 불고 있다. 새로 입주한 건축물에서 발생하는 유해물질로 인하여 새집 증후군이라는 반갑지 않은 현실에서 건축물에도 웰빙 재료의 사용이 환영을 받고 있다. 아울러 아파트의 대량공급과 더불어 생활수준 및 주민의식이 높아짐에 따라 쾌적하고 조용한 주거환경을 요구하는 입주자들의 주장이 제기되고 있다. 동시에 실내소음으로 인한 상하층 세대 간 분쟁 및 입주자들의 위축된 생활을 개선하여 층간소음을 줄이기 위한 노력이 진행되고 있다.

건축물에 사용되는 친환경 자재로서 다양한 용도와 그에 맞는 방법이 있지만, 본 연구에서는 바닥 마감재에 초점을 맞추었다. 최근 관심을 받고 있는 친환경 바닥마감재에는 황토와 맥반석 등이 있으며, 황토의 경우 모르터 배합량의 25~71%, 맥반석은 17%까지 사용되는 것으로 파악된다(Lee, 2004). 황토 등이 친환경 자재로서 건축물에 사용되는 이유

는 이로부터 원적외선이 방출되는 것으로 알려져 있기 때문이다. 원적외선은 복사에너지를 전달하여 물체의 내부를 따뜻하게 해주는 특성이 있어 생체물질을 활성화하는 것이 가능한 것으로 알려져 있다(Kim and Kim, 2010; Kim et al., 2010). 기존의 맥반석, 게르마늄, 옥, 숯, 황토 등에서 방출되는 원적외선은 인체에 잘 흡수되는 최적인 5~20mm의 파장영역을 갖고 있다. 이들 물질은 항균성, 항곰팡이성, 냄새 제거, 음이온 방출 등의 특성을 보이며, 특히 인체의 혈액순환을 촉진시켜 혈류량을 증진시켜 주는 것으로 보고되고 있다(Negisi and Kikuji, 1988).

황토는 국내 매장량이 풍부하고 비소성 천연 황토 모르터로 사용하는 방안이 강구되었으며, 천연 황토를 활성화(850℃로 가열 후 급랭)시킨 황성 황토 콘크리트에 대한 연구가 진행되고 있다(Kang et al., 2008; Lee, 2010).

본 연구에서는 방사열이나 방사에너지가 황토나 맥반석만큼 우수하며, 참숯에 버금가는 원적외선의 방출이 기대되는 자철석 잔골재 활용방안을 강구하고자 한다. 자철석은 자철광산에

1) 정희원, 가천대학교 건축공학과 교수  
2) 정희원, 홍익대학교 건축공학부 교수, 교신저자

\* Corresponding author : scyang@hongik.ac.kr  
• 본 논문에 대한 토의를 2013년 6월 30일까지 학회로 보내주시면 2013년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

서 정광 (원광을 분쇄하여 제철공장에 보내지는 제련원료 또는 광석)의 생산과정에서 발생하는 부산물로 국내의 매장량은 391만톤 (2003년 기준) 정도로 알려져 있으며, 우선 본 연구에서는 자철석 잔골재를 이용하여 실내 바닥마감재에 적용하기 위한 일환으로 이에 대한 기초물성연구를 수행하였다.

향후 자철석 혼입 모르터를 사용한 바닥마감재의 적용 시, 거주자의 인체에 유익하고 쾌적한 주거환경의 제공 및 바닥구성층의 면밀도 증진에 의한 층간소음 저감에도 기여할 것으로 기대된다.

## 2. 실험

### 2.1 사용재료 및 실험계획

본 실험에서는 자철석 잔골재를 모래 대용으로 치환하는 방법을 검토하였으며, 자철석 잔골재의 제조과정은 다음과 같다.

자철 광산에서는 원광 (발파에 의한 400~800mm 크기)을 크러셔를 통해 압괴 (50~60mm 크기)로 만들고, 자성기를 통해 철 (Fe) 성분이 많은 자착 (정광, 제련원료)과 그렇지 않은 비자착으로 구분된다. 이 중에서 자철석 잔골재는 자착 생산과정에서 비자착 (전체의 15% 정도의 양)에 해당하는 부산물을 크러셔를 통해 5mm 이하의 골재로 만들어지게 된다. 이와 같이 비자착 부산물을 가공한 자철석 잔골재는 포천 전곡지역에서 생산된 것을 사용했으며, 자철석 잔골재 및 표준사의 물리적 성질은 Table 1과 같다. 또한 자철석 잔골재 및 표준사 (비중 2.66, 단위용적질량 1603, 실적률 60.3)의 입도분포 곡선은 Fig. 1과 같다. 실험에 사용한 시멘트는 H사의 포틀랜드 시멘트로서 비중은 3.15이다.

측정항목으로는 자철석 잔골재의 원적외선 특성으로서 방사율과 방사에너지를 평가하였다. 또한 자철석의 적정 치환율을 도출하기 위하여, 자철석의 치환율을 0, 20, 40, 60, 100%로 하는 모르터 시험체에 대한 역학적특성을 평가하였다. 물-시멘트비 약 0.45를 기준으로 하였으며, 이에 따른 모르터의 배합표는 Table 2와 같다.

모르터의 플로우를 측정하였으며, 시험체를 제작하여 단위용적질량, 압축강도, 무게비 변화, 건조수축에 의한 길이변화

Table 1 Physical properties of magnetite

specific gravity				water absorption (%)			
1	2	3	Avg.	1	2	3	Avg.
3.94	3.91	3.92	3.92	2.33	2.48	2.48	2.43

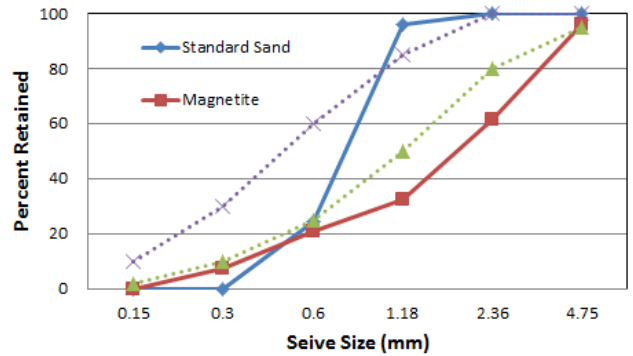


Fig. 1 Grading curve for magnetite

Table 2 Mix proportions containing magnetite (g)

Type	MG-0	MG-20	MG-40	MG-60	MG-100
cement	1020	1020	1051	1122	1020
water	460	460	474	506	460
standard sand	2500	2000	1545	1100	0
magnetite	0	500	1030	1650	2500

등을 평가하였다.

### 2.2 시험체 제작

압축강도 측정용 모르터 시험체는 50×50×50mm 입방형 공시체가 사용되었으며, 밀봉양생 후 재령 7일 및 28일에서의 압축강도를 측정하였다. 강도용 시험체는 요인별로 3개를 제작하여 실험하였다.

건조수축에 의한 길이변화는 40×40×160mm의 크기의 모르터 시험체를 변수별로 3개 제작하였다. 이 중 2개는 건조수축에 의한 길이변화 측정에 사용하였고 나머지 1개의 시험체는 큐빅 시험체로 절단하여 무게비 변화를 측정하는데 사용하였다.

### 2.3 실험방법

#### 2.3.1 원적외선 방사 에너지

KICM-FIR-1005 시험법에 의해 건재재시험연구원 (KICM)에 의뢰하여 원적외선 방출성능을 평가하였다. 측정 시 온도는 40°C, 파장범위는 5~20mm이었다. 원적외선 방출성능은 원적외선 방사율과 원적외선 방사에너지로 측정되었으며 이는 모두 흑체를 기준으로 계산된다. 방사율이 1인 흑체의 방사에너지는 식 (1)에 의해 각 파장영역에서 계산된다.

$$E = \frac{C_2 \lambda^{-5}}{\exp(C_2/\lambda T) - 1} \quad (1)$$

위에서  $E$  ( $W/m^2 \cdot mm$ )는 파장  $\lambda$  ( $mm$ )에서 흑체의 방사에너지를 나타내며  $T$  ( $K$ )는 절대온도,  $C_1$ ,  $C_2$ 는 각각  $3.74 \times 10^8$ ,  $1.43 \times 10^4$ 을 나타낸다.

### 2.3.2 건조수축에 의한 길이변화

한국산업규격 (KS F2424)중에서 다이얼 게이지를 이용하는 방법을 사용하였다. 다이얼 게이지는 1/1000mm 정밀도의 디지털 타입을 사용하였다. 먼저 공시체를  $20 \pm 1^\circ C$ 의 수중에서 양생하여 재령 7일이 되었을 때  $20^\circ C$ , 60%RH 항온항습의 실내 챔버에 설치하되 공시체의 상단에 다이얼 게이지를 설치한 후 길이 변화 값을 측정한다. Fig. 2는 다이얼 게이지를 설치한 시험체의 모습이다.

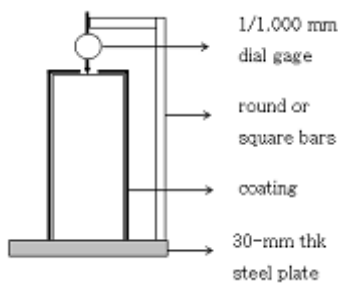


Fig. 2 Test set-up for drying shrinkage

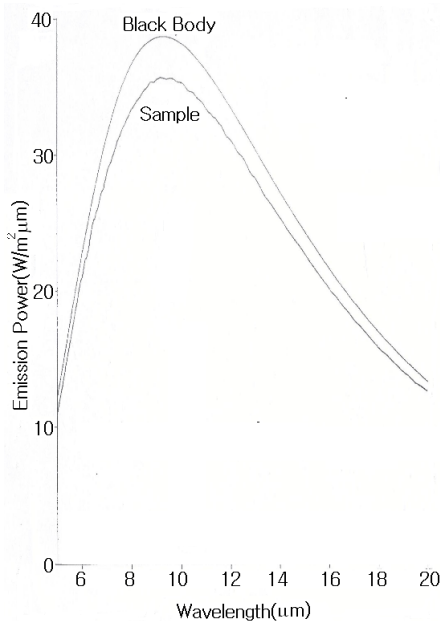


Fig. 3 Far-infrared radiation emission power of magnetite

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 원적외선 방사 성능

Figs. 3과 4는 각각 5~20mm의 파장 영역에서의 자철석의 방사에너지와 방사율의 결과를 나타낸 것이다. Fig. 3은  $40^\circ C$ 를 기준으로 흑체와 자철석의 방사강도를 FT-IR을 사용하여 측정한 결과이다. Fig. 3에서 5~20mm의 파장 영역에서의 모든 방사에너지의 합은  $37.3 W/m^2$ 이다. KICM 기준에서는  $36.2 W/m^2$  이상을 요구하고 있다. Lee에 의하면 황토바닥재나 맥반석을 방바닥 미장재로 사용하는 경우 방사에너지는  $35.8 \sim 36.2 W/m^2$  범위인 것으로 보고되었다. 따라서 자철석의 방사에너지는 상기 값을 상회하는 것으로 나타났다.

Fig. 4는 5~20mm의 파장 영역에서의 흑체 대비 자철석의 모든 방사에너지 합 비율이 방사율로서 0.924로 나타났다. Lee에 의하면 황토바닥재나 맥반석을 방바닥 미장재로 사용하는 경우 방사율은 0.89~0.91의 수준으로 보고하고 있다. 본 실험결과에 의하면 자철석의 방사율도 비교 자재에 비해 우수한 것으로 나타났다.

### 3.2 플로우

Table 3은 자철석 잔골재의 치환율 변화에 따른 플로우의 변화를 나타낸 것이다. 일반적으로 자철석 잔골재의 치환율

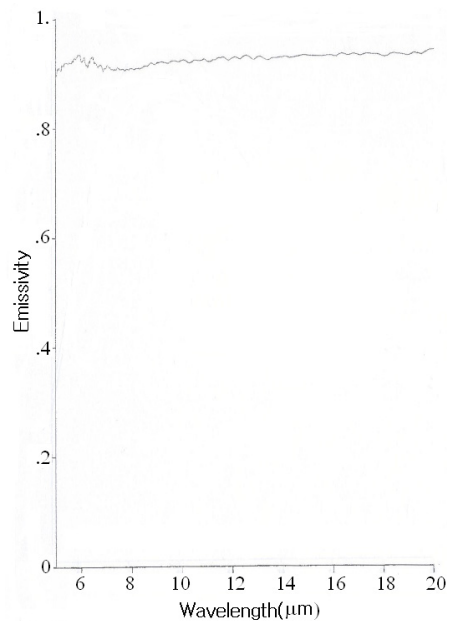


Fig. 4 Far-infrared radiation emissivity of magnetite

Table 3 Test result of flow value (cm)

MG-0	MG-20	MG-40	MG-60	MG-100
210	210	210	205	190

이 증가할수록 테이블 플로우 값이 감소하였으며, 100% 치환인 경우에 약 10.5% 감소하는 것으로 나타났다.

### 3.3 단위용적질량

약 40mm의 큐빅 시험체에 대하여 재령 7일 및 28일에서 단위용적질량을 측정하였다. Table 4의 측정결과는 3개의 시험체에 대한 단위용적질량의 평균을 나타낸 것이다. Table 4의 결과를 이용하여 Fig. 5와 같이 자철석 잔골재 치환율의 변화에 따른 모르타의 단위용적질량 변화를 나타냈다. 그림에 의하면 자철석 잔골재의 치환율이 증가할수록 단위용적질량이 뚜렷이 증가함을 보여준다. 재령 7일에서는 치환율이 20, 40, 60, 100%로 변함에 따라 기준 시험체에 비해 4.1, 7.9, 12.7, 21.4%의 증가되었다. 재령 7일에서는 재령 28에서 치환율에 따른 단위용적질량의 차이가 보다 선형적인 관계가 있음을 보여준다. 재령7일에서 재령 28일로 변함에 따라 단위용적질량의 차이가 발생된 이유는 건조수축의 영향인 것으로 해석된다.

Table 4 Test results of weight of unit volume

Specimen	weight of unit volume (kg/m <sup>3</sup> )							
	7 days				28 days			
	1	2	3	Avg.	1	2	3	Avg.
M-0	2,235	2,228	2,204	2,222	2,159	2,176	2,145	2,160
M-20	2,314	2,316	2,308	2,313	2,271	2,270	2,281	2,274
M-40	2,380	2,419	2,394	2,398	2,304	2,328	2,368	2,333
M-60	2,506	2,511	2,496	2,504	2,462	2,458	2,446	2,455
M-100	2,712	2,689	2,691	2,697	2,568	2,608	2,609	2,595

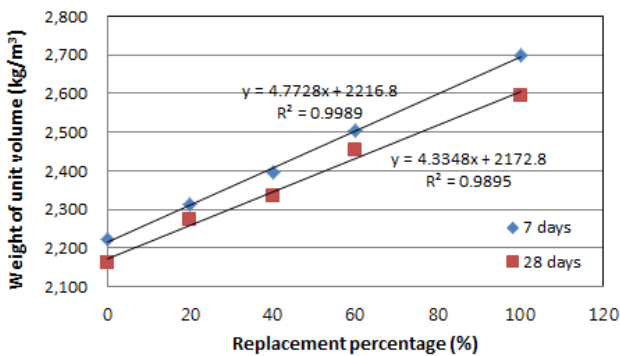


Fig. 5 Weight of unit volume results

Table 5 Test results of compressive strength

Specimen	compressive strength (MPa)							
	7 days				28 days			
	1	2	3	Avg.	1	2	3	Avg.
MG-0	38.42	38.58	36.63	37.9	47.93	48.96	48.30	48.4
MG-20	42.76	43.10	40.71	42.2	54.34	53.39	56.92	54.9
MG-40	40.80	42.28	41.79	41.6	53.57	56.05	55.84	55.2
MG-60	42.37	42.33	42.19	42.3	57.07	57.92	58.98	58.0
MG-100	44.51	44.63	44.10	44.4	53.43	58.75	59.07	57.1

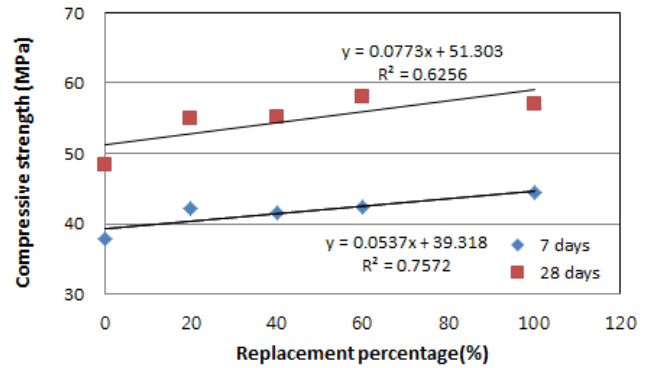


Fig. 6 Compressive strength results

### 3.4 압축강도

Table 5에는 재령별 시험체의 압축강도를 나타냈으며, Fig. 6에 자철석 잔골재의 치환율에 따른 압축강도 변화를 도식화하였다. 재령 7일 대비 재령 28일의 압축강도는 치환율에 따라 차이는 있지만, 평균적으로 약 31% 증가되었다. 그리고 치환율이 증가함에 따라 강도가 일정하게 증가하는 경향을 보이며 치환율이 100%인 시험체 (MG-100)는 기준 시험체 (MG-0)에 비해 압축강도가 재령에 따라 약 17~18% 증가하는 것으로 나타났다.

### 3.5 무게비 변화

Fig. 7에는 자철석 잔골재의 치환율 0, 20, 40, 60%일 경우 시험체의 재령별 무게비의 변화 경향을 나타냈다.

무게비의 변화는 대부분 시험체 내부의 수분 증발에 의한 영향인 것으로 판단된다. Fig. 7에 의하면 재령이 경과함에 따라 무게비의 변화가 제품근의 성장곡선의 형태로 증가함을 보여준다.

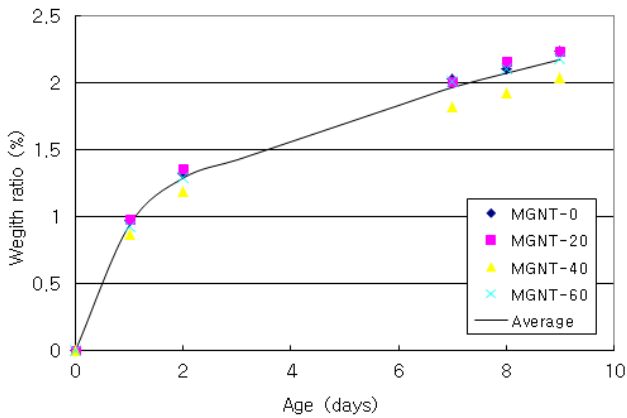


Fig. 7 Weight ratio results

### 3.6 건조수축에 의한 길이변화

건조수축에 의한 길이변화 예측식인 ACI식이나, CEB-FIP 식에 의하면, 건조수축에 영향을 미치는 인자로서 콘크리트 배합, 초기 양생조건, 대기온도 및 상대습도, 부재형상 및 크기 등이 포함되어 있다 (Yang et al., 2007; ACI, 1997). 콘크리트 배합으로는 시멘트 종류, 물-시멘트비, 공기량, 잔골재율, 시멘트량 등이 건조수축에 영향을 미친다. 따라서 본

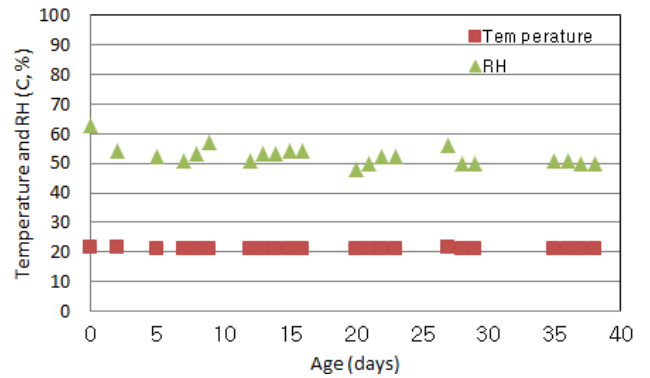
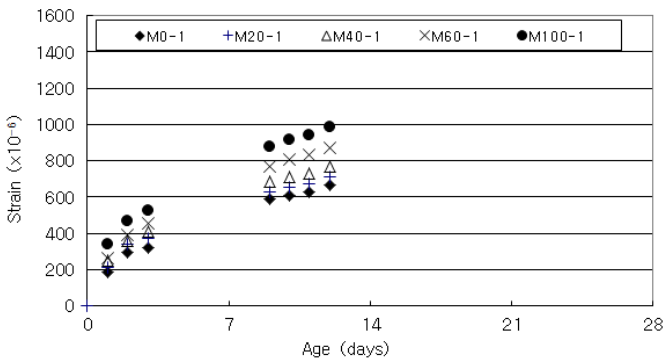


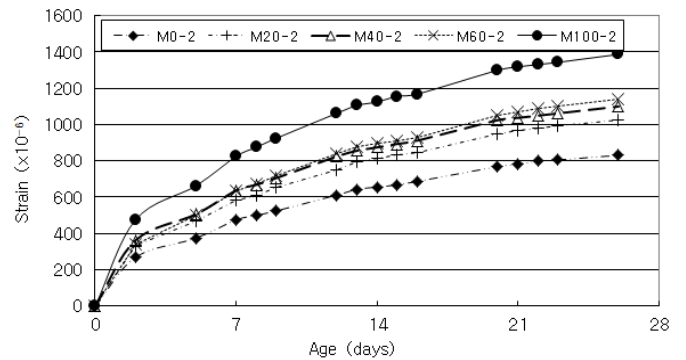
Fig. 8 Curing temperature and relative humidity

연구에서 사용되는 배합의 주요 조건은 자철석 잔골재의 치환율이므로 다른 물성보다는 자철석 잔골재의 비중과 흡수율이 건조수축에 영향을 미칠 수 있으므로 골재의 기본 물성을 평가하였으며 비중은 3.92, 흡수율은 2.43%로 나타났다 (Table 1).

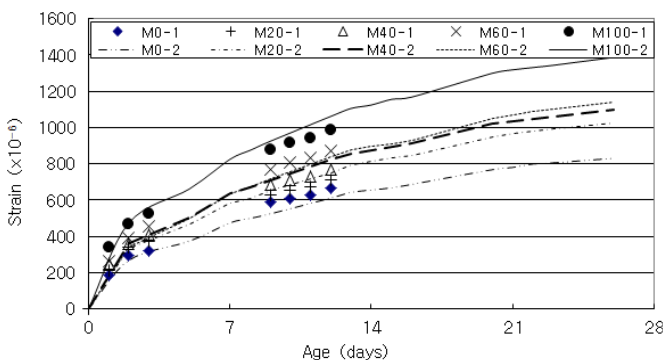
Fig. 8은 건조수축에 의한 길이변화 시험용 챔버 내의 채령경과에 따른 온도 및 습도의 변화를 측정된 그래프이다. 온도는 20.9~21.5°C의 범위를 가지며 평균 21.2°C이었다. 상대습도는 48~63%의 범위를 가지며 평균 52.5%를 나타냈다.



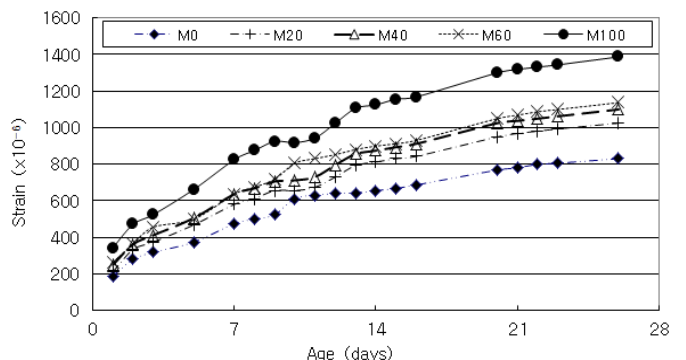
(a) Specimen series 1



(b) Specimen series 2



(c) Specimen series 1, 2



(d) Average value of specimen series 1, 2

Fig. 9 Drying shrinkage results

Fig. 9에는 자철석 잔골재의 치환율 0, 20, 40, 60, 100%에서 재령에 따른 건조수축에 의한 길이 변화율을 나타냈다. Figs. 9(a)와 (b)는 각각 첫 번째 시험체와 두 번째 시험체에 대한 결과이며, Fig. 9(c)에 비교하였다. 전체적으로 첫 번째 시험체와 두 번째 시험체의 길이변화 결과 값이 유사함을 알 수 있다. Fig. 9(d)에는 첫 번째 시험체와 두 번째 시험체의 평균을 나타냈다. 결과적으로 자철석 잔골재의 치환율이 0에서 100% 증가함에 따라 재령 28일에서의 건조수축에 의한 길이 변화율이 기준 시험체인 MG-0 대비 각각 23, 32, 37, 67%의 증가하는 것으로 나타났다. 이는 자철석 잔골재의 비중과 흡수율이 표준사 (또는 일반 잔골재)에 비하여 크기 때문인 것으로 추측된다. 따라서 자철석 잔골재를 사용할 경우 건조수축에 의한 길이변화 또는 균열 발생 가능성을 감소시키기 위한 방안이 강구되어야 할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

- (1) 40°C, 5~20mm의 파장 영역에서의 자철석 잔골재의 방사에너지는 37.3W/m<sup>2</sup>로서 KICM의 기준인 36.2W/m<sup>2</sup>를 상회하는 것으로 나타났다. 또한 자철석의 방사율은 0.924로서 KICM의 기준인 0.90의 수준에 비해 매우 우수한 것으로 나타났다.
- (2) 자철석 잔골재의 치환율을 20, 40, 60, 100%로 한 경우, 기준 시험체 (0% 치환율)에 비하여 단위용적질량이 4.1, 7.9, 12.7, 21.4% 증가되는 것으로 나타났다.
- (3) 치환율이 증가함에 따라 강도가 일정하게 증가하는 경향을 보이며 치환율이 100%인 시험체는 기준 시험체 (0% 치환율)에 비해 압축강도가 약 18% 증가하는 것으로 나타났다.
- (4) 자철석 잔골재의 치환율이 증가함에 따라 재령 28일에서의 건조수축 변화율이 기준 시험체 (0% 치환율) 대비 각각 23, 32, 37, 67%의 증가되는 것으로 나타났다. 이는 자철석 잔골재의 비중과 흡수율이 일반 잔골재에 비하여 크기 때문인 것으로 추측되며, 향후 이를 해결하기 위한 방안이 강구되어야 할 것으로 판단된다.

본 논문은 국토해양부와 한국건설교통기술연구원의 국토해양기술 연구개발사업인 “저탄소 녹색공향 포장 시공 및 유지관리 기법개발”의 연구지원으로 중앙대학교 녹색공향포장 연구단 산하에서 수행되었으며, 아울러 2012년도 홍익대학교 학술연구진흥비의 지원을 받아 수행되었기에 이에 관계자분들께 감사드립니다.

#### References

1. ACI 209R-92, “Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures”, 1997, pp.1-47.
2. Kang, S., Lee, S., Hwang, H. and Cho, M., “Hydration Heat and Shrinkage of Concrete Using Hwangtoh Binder”, Journal of the Korea Concrete Institute, vol. 20, No. 5, 2008, pp.549-555. (in Korean)
3. Kim, H. and Kim, S., “Far-Infrared Emission Characteristics of Germanium Included Fabrics for Emotional Garment”, Journal of Korean Society for Emotion & Sensibility, vol. 13, No. 4, 2010, pp.687-692. (in Korean)
4. Kim, S., Lee, N., Kim, H. and Kim, J., “Mechanical Properties and Flexural Behavior of Recycled PET Fiber Reinforced Eco-Friendly Hwang-toh Concrete”, Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, vol. 14, No. 3, 2010, pp.152-159. (in Korean)
5. Lee, S., “A Study on the Fluidity Properties and Strength Properties of Non-sintered Hwangtoh mixed with PVA Fiber”, Journal of the Korean Institute of Building Construction, vol. 10, No. 3, 2010, pp.49-56. (in Korean)
6. Lee, Y., “With a Viewpoint of Healthy Materials and Eco-Friendly Design”, an Article from Housing and Urban Research Institute Green Building Certification Center, Korea Land and Housing Corporation. [http://huri.jugong.co.kr/ecohouse/04\\_02\\_02.html](http://huri.jugong.co.kr/ecohouse/04_02_02.html), 2004. (in Korean)
7. Negisi, N. and Kikuji, M., Body Effect of Infrared Ray, Ceramics, vol. 23, No. 4, 1988, pp.335-342. (in Japanese)
8. Yang, S., Ahn, N., Choi, D. and Kang, S., “Drying Shrinkage of Concretes according to Different Volume-Surface Ratios and Aggregates Types”, Journal of the Korean Society of Road Engineers, vol. 6, No. 4, 2007, pp.109-121. (in Korean)

Received : 12/06/2012

Revised : 01/11/2013

Accepted : 01/14/2013

---

## 요 지

본 연구에서는 원적외선의 방출을 증진시켜 쾌적한 실내 환경을 조성시키며 아울러 비중이 높은 재료를 사용하여 층간소음을 저감시키기 위한 방안으로서 건축용 친환경 바닥 마감재에 자철석 잔골재를 사용하는 모르타의 기초물성 연구를 수행하였다. 실험에 사용된 모르타의 배합은 자철석 잔골재를 자연사로 0, 20, 40, 60, 100% 치환하였다. 먼저 원적외선 방출성능으로서 방사율과 방사에너지를 측정하여 KICM의 기준을 훨씬 상회하는 결과를 얻었다. 단위용적질량 압축강도 실험결과 치환율이 증가함에 따라 선형적으로 증가하는 결과를 얻었다. 그러나 건조수축 시험결과 자철석 잔골재의 치환율이 증가함에 따라 건조수축 변화율이 기준 시험체 대비 급격하게 증가하는 것으로 나타나 향후 이를 해결하기 위한 방안이 강구되어야 함을 알 수 있었다.

**핵심 용어** : 친환경재료, 바닥마감재, 방사율, 방사에너지, 건조수축

---