

염화마그네슘 첨가율에 따른 산화마그네슘 경화체의 물리 및 역학적 특성

Physical and Mechanical Properties of Magnesium Oxide Matrix depending on Addition Ratio of Magnesium Chloride

김 헌 태

정 병 열

이 상 수*

송 하 영

Kim, Heon-Tae Jung, Byeong-Yeol Lee, Sang-Soo* Song, Ha-Young

Department of Architectural Engineering, Hanbat National University, Yuseong-Gu, Daejeon, 305-719, Korea

Abstract

Recently, for longevity of resident building, the main trend is that the change of the inside space organization of resident building from wall construction to rhamen construction, which resulted in increase in use of lightweight composite panel. Thus, in this study, authors analyzed the engineering property of oxide of magnesium depending on the magnesium chloride addition ratio. The results of this research is expected to contribute on providing a fundamental material for the surface materials of lightweight composite panel. As the result of the experiment, as fluidity increased, air content decreased and initial set and final set as the magnesium chloride addition ratio increase. In the aspect of flexural strength and compressive strength, the test specimen showed the highest strength at 40% of the magnesium chloride addition ratio. At 20% of the magnesium chloride addition ratio, the test specimen showed the lowest water absorption rate. As the magnesium chloride addition ratio increases, the expansibility tends to increase as well in the aspect of shrinkage strain. After observing microstructure, we can see hydration products in the form of needle. It appeared high flexural strength because the hydration products have mineral fibrous tissue shape, which also contribute to the cause of the expansibility.

Keywords : MgO, MgCl₂, shrinkage strain, micro structure

1. 서 론

1.1 연구의 배경

최근 주거건축물의 장수명화를 위해 건축물 내부공간 구조를 벽식구조에서 라멘구조 및 무량판구조로 변화되고 있는 추세이며, 주거 건축물의 경우 라멘구조로 시공하는 경우 견폐율, 용적율 등을 완화하고 있다[1,2]. 또한, 라멘구조로

할 경우 기존 벽식구조의 문제로 지적되고 있는 층간소음을 줄일 수 있으며, 건축물의 자중을 낮출 수 있고, 라멘구조의 경우 벽식구조보다 공기가 길지만 경량벽체를 사용할 경우 공기의 단축과 건축물의 경량화가 가능하다[3,4].

현대의 소비자들은 자신만의 개성과 생활패턴에 맞추어 자신이 원하는 내부공간을 가지고 싶어 하였으나, 기존 벽식 구조에서는 불가능 하였다. 그러나 라멘구조에서는 개인적인 내부공간을 손쉽게 변경할 수 있는 장점이 있어 향후 라멘구조의 시공은 더욱더 증가될 것이다. 내부공간의 다변성을 추구하는 소비자들로 인하여 경량패널의 사용이 증가하고 있으며 앞으로 더욱 증가될 것으로 예상되고 있다. 이런 경량패널의 종류로는 경량복합패널, 압출성형패널, 중공형패널, 석고패널, 샌드위치패널 등이 있다. 그러나 샌

Received : January 28, 2014

Revision received : April 24, 2014

Accepted : April 28, 2014

* Corresponding author : Lee, Sang-Soo

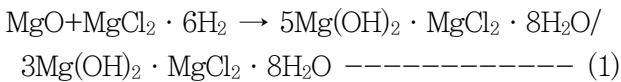
[Tel: 82-42-821-1118, E-mail: sslee111@hanbat.ac.kr]

©2014 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

드위치패널과 경량복합패널의 경우 매우 가벼우며, 시공의 편리성을 가지고 있으나, 주재료인 EPS(발포폴리스티렌)의 경우 화재에 취약하여 화재가 날 경우 유독가스를 발생시켜 많은 인명피해를 낳을 수 있는 원인이 되며, 높은 흡수율과 들뜸현상이 발생하고 있다. 다른 중공형패널, 압출성형패널의 경우 주재료가 시멘트이며, 오토클레이브양생을 하는 제품들도 있기 때문에 CO₂증가의 원인이 되고 있는 실정이다[1,5]. 이런 문제점을 보완하기 위한 연구가 지속되고 있으나, 주로 표면재가 아닌 심재를 연구하고 있다.

1.2 연구의 목적

본 연구에서는 경량벽체 시스템 중 경량복합패널의 표면재의 현 문제점인 흡수율 및 들뜸현상을 개선하기 위해 기존의 시멘트 기반의 보드가 아닌 염화마그네슘을 첨가하여 만든 산화마그네슘 경화체의 물리 및 역학적 특성을 분석하고 기존 벽체시스템의 문제점을 해결할 수 있는 무시멘트계 친환경 경량복합패널의 표면재로 활용하기 위한 기초자료로 사용하고자 한다. 산화마그네슘 경화체의 반응식은 아래 (1)과 같다.[6]



2. 실험계획 및 방법

2.1 사용재료

사용된 재료의 화학성분은 Table 1과 같다. 산화마그네슘은 순도 88.25%의 600~800℃에서 소성된 경소 산화마그네슘이며, 밀도는 3.42g/cm³, 입자의 크기는 200메쉬 크기 이하를 사용한 중국제품이다.

Table 1. Chemical component of the using materials

Using materials	Chemical component(%)					
	MgO	MgCl ₂	H ₂ O	CaO	SiO ₂	Fe ₂ O ₃
MgO	88.25	-	-	5.61	1.71	0.30
MgCl ₂	-	47.20	51.20	-	-	-

염화마그네슘은 독일제품이며, 화학성분은 MgCl₂ 47.20%, H₂O 51.20%로 이루어져 있고, 밀도는 1.59g/cm³이다. 플레이크(Flake) 형상을 사용하였으며, 색상은 무채색에서 흰색이다. 염화마그네슘의 분자식은

Cl₂H₁₂MgO₆이며, 시정식은 MgCl₂ 6H₂O의 형태로 이루어져 있고, 공업용제품을 사용하였다.

주로 목재의 방부제, 양모의 정제, 황산의 제조, 마그네슘 금속재료, 촉매, 소화제, 세라믹 등에 사용된다.

2.2 실험계획

본 연구는 페이스트 실험으로써, 염화마그네슘 첨가율은 산화마그네슘의 10, 20, 30, 40, 50, 60(wt.%) 등으로 총 6수준으로 실험하였다. W/B는 0.25이며, 실험요인 및 수준은 Table 2와 같고, 배합은 Table 3과 같다. 본 실험에서는 염화마그네슘을 배합수에 용해한 뒤 첨가하였으며, 용량 18L 모르타르용 강제식 믹서를 사용하여 비빔하였고, 20rpm으로 60초, 30rpm으로 60초, 40rpm으로 60초 총 180초간 비빔한 뒤 토출하여 시험체를 제작하였다. 양생조건으로는 온도 20±2℃, 습도 80±5%의 항온항습조건에서 양생하였으며, 실험항목으로는 유동성, 공기량, 응결시간, 휨강도, 압축강도, 길이변화, 흡수율, SEM(Scanning Electron Microscope) 등으로 총 8항목이다.

Table 2. Experimental factor and level

Experimental factor	Experimental level
Magnesium MgCl ₂ addition	· Light-burned magnesium, Magnesium chloride · 10, 20, 30, 40, 50, 60 (wt.%)
Curing conditions W/B	· Relative humidity (80±5)%, Temperature (20±2)℃ · 0.25
Test item	· Fluidity, Air content, Setting time, Compressive strength, Flexural strength, Shrinkage, Water absorption rate, SEM

Table 3. Paste mixing

W/B	MgCl ₂ addition (wt.%)	MgO (g)	MgCl ₂ (g)	W (g)
0.25	10	1,000	100	250
	20		200	
	30		300	
	40		400	
	50		500	
	60		600	

2.3 실험방법

시험체의 제작은 KS L ISO 679에 의거하여 휨강도 시험형틀(40mm×40mm×160mm)를 사용하여 시험체를 제작하였으며, 굳지않은 페이스트의 성상을 알아보기 위하여 KS L 5111에 의거하여 Table Flow 시험기를 통하여 유동

성을 측정하였다. 공기량은 KS F 2421에 의거하여 측정하였으며, 응결시간측정은 KS L 5103(길모아 칩)에 의거하여 초결과 종결을 측정하였다.

3, 7, 28일의 재령별 경화성상을 측정하기 위하여 힘강도 시험과 압축강도시험은 KS L ISO 679에 의거하여 측정하였으며, 흡수율시험은 KS F 2459에 의거하여 흡수율을 측정하였다. 길이변화는 40mm×40mm×160mm 몰드에 제작하여 비빔 24시간 후 Tokyo Sokki Kenkyujo의 콘크리트 게이지인 PL-60-11-3L 제품을 부착하여 길이변화를 측정하였으며, 온도 20±2℃, 상대습도 80±5%에 맞게 양생을 실시하였다. 미시구조를 관찰하기 위해 압축강도를 측정한 뒤 (남은) 시편을 채취하여 약 3~5mm 정도로 만든 다음 SEM을 분석하였다. SEM 측정 장비의 모델은 JEOL LTD에서 만든 JSM-6300 모델을 사용하여 10,000 배율로 하여 촬영을 실시하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 유동성 및 공기량

Figure 1은 유동성 및 공기량 시험결과를 나타낸 것으로 유동성 측정결과, 염화마그네슘의 첨가율이 증가함에 따라 유동성이 증가하는 것을 볼 수 있었다. 유동성이 가장 작은 것은 염화마그네슘 첨가율 10, 20(%)이며 가장 큰 유동성을 나타낸 것은 첨가율 60%이다. 이는 염화마그네슘의 형태 자체가 6개의 물 분자를 가지고 있어 이 6개의 물 분자가 물과 용융됨으로 인하여 물 분자의 양이 증가하여 유동성을 증가시킨 것으로 판단된다.

공기량 측정결과, 염화마그네슘의 첨가율이 증가할수록 공기량은 저하되었다. 이중 가장 많은 공기량을 가진 것은 염화마그네슘 첨가율 10%이며, 다음으로 20, 30, 40, 50, 60(%) 등의 순서로 나타났다. 염화마그네슘의 첨가율이 10, 20(%)의 경우 W/B가 매우 낮기 때문에 수분 부족으로 인하여 산화마그네슘의 간극을 메꾸지 못해 많은 공기량을 나타낸 것으로 판단된다. 반면 염화마그네슘 첨가율 30% 이상의 경우 5.4% 이하의 공기량을 나타내었다. 이는 염화마그네슘 자체의 육수화물로 인하여 물의 양이 증가됨으로 인해 물이 간극을 메꾸어 적은 양의 공기량이 측정된 것으로 사료된다.

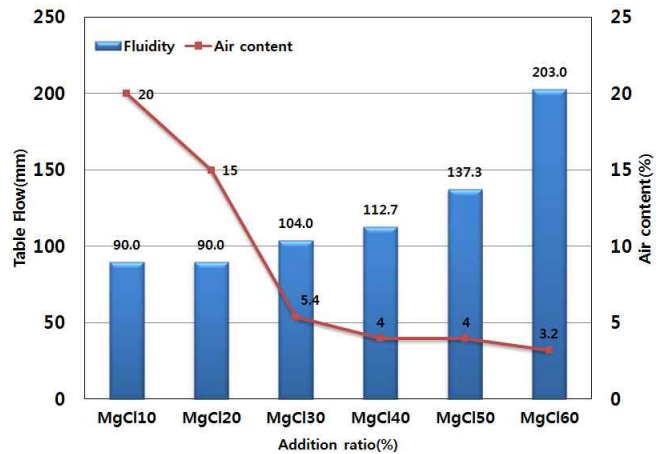


Figure 1. Fluidity and air content

3.2 응결시간

Figure 2는 응결시간의 시험결과를 나타낸 것으로 응결시간 측정결과, 염화마그네슘의 첨가율이 증가함에 따라 초결과 종결이 늦어지는 경향을 나타내었다. 이는 염화마그네슘 자체의 성분이 육수화물 형태이기 때문에 물의 양이 증가하여 초결과 종결이 늦어진 것으로 사료된다. 염화마그네슘 첨가율 10%의 경우 높은 공기량으로 인하여 시험체의 간극이 매우 넓고 많아 초결과 종결을 측정할 때 시험편이 깨지는 현상이 나타나 측정이 불가하였다. 그러나 경향상으로는 가장 빠른 초결과 종결을 나타냈을 것으로 판단된다. 산화마그네슘 경화체의 경우 염화마그네슘의 첨가량으로 초결과 종결을 조절할 수 있을 것으로 판단되며, 적은 W/B에서도 무시멘트계 결합재(Gepolymer composite)보다 비교적 작업성능이 우수할 것으로 판단된다[7].

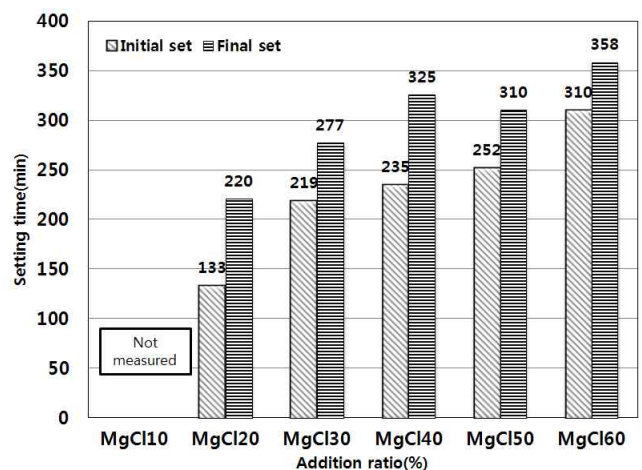


Figure 2. Setting time

3.3 휨강도

휨강도 시험결과, 가장 높은 휨강도를 나타낸 것은 염화마그네슘 첨가율 40%의 시험체이며, 다음으로 30 > 20 > 50 > 60 > 10(%) 등의 순서로 나타났다.

산화마그네슘경화체의 경우 일반적인 시멘트보다 매우 높은 휨강도를 나타냈다. 이는 수화생성물 자체가 비늘형상의 생성물로 생성되었으며, 이 수화생성물이 광물성 섬유조직을 이룸으로 인하여 높은 휨강도를 나타낸 것으로 판단된다. 염화마그네슘 첨가율 10%의 경우는 공기량이 매우 높았기 때문에 그로 인하여 강도가 저하된 것으로 판단되며, 20, 30, 40(%) 등에서는 매우 높은 휨강도를 나타냈다. 반면 염화마그네슘이 50%이상 첨가될 경우에는 강도의 저하를 나타냈다. 산화마그네슘 경화체는 전체적으로 재령 3일과 7일의 강도 상승률보다 재령 7일과 28일의 강도 상승률이 큰 것으로 나타났으며, 이는 기경성 반응을 하기 때문인 것으로 판단된다.

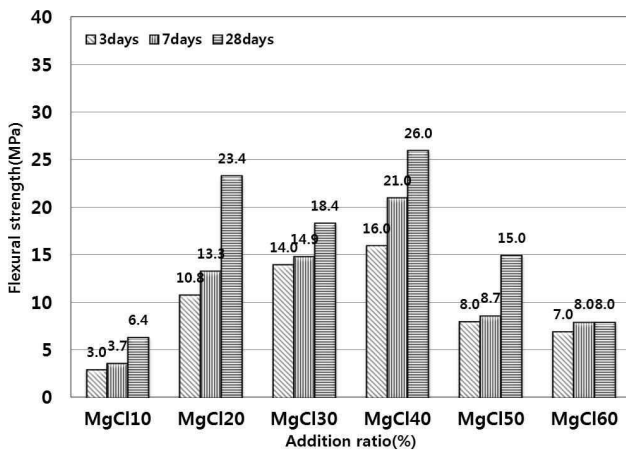


Figure 3. Flexural strength

3.4 압축강도

압축강도 시험결과, 염화마그네슘의 첨가율이 40%의 경우 재령 28일에서 61MPa로 가장 높은 압축강도를 나타냈으며, 다음으로 염화마그네슘 첨가율 30 > 20 > 50 > 10 > 60(%) 등의 순서로 나타났다. 첨가율 10%의 경우 많은 공기량으로 인하여 압축강도가 저하된 것으로 판단되며, 첨가율 20 > 30 > 40(%)까지는 강도가 상승하다가 50%이상 첨가할 경우에는 강도가 저하되는 경향을 나타냈다. 이는 염화마그네슘의 과다 첨가로 인하여 압축강도에 악영향을 미친 것으로 판단된다.

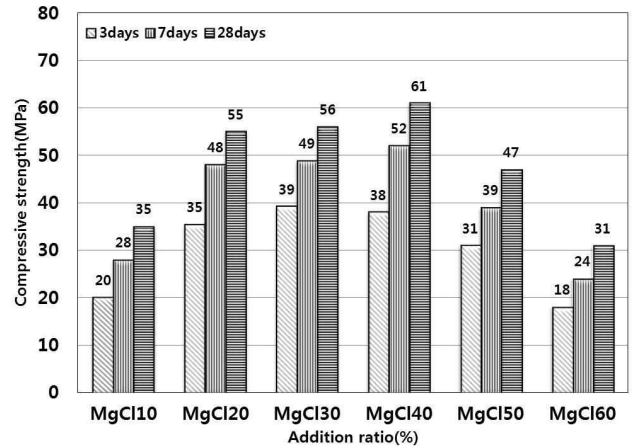


Figure 4. Compressive strength

3.5 흡수율

흡수율시험결과, 염화마그네슘 첨가율 10%를 제외하고 20%이상 첨가시에는 흡수율이 증가하는 경향을 나타냈다. 염화마그네슘 첨가율 10%의 경우 다른 시험체들보다 높은 흡수율을 나타낸 것은 공기량시험 결과 20%라는 매우 많은 공기량을 나타냄으로 인하여 산화마그네슘 경화체가 경화하면서 그 공극을 다 메꾸지 못하여 흡수율이 증가한 것으로 사료된다. 또한 염화마그네슘의 양이 증가할수록 흡수율이 증가되는 것은 경화체 내에 미 반응 염화마그네슘으로 인하여 흡수율이 증가된 것으로 판단된다. 염화마그네슘은 습기와 반응할 정도로 물과 쉽게 반응하기 때문에 염화마그네슘이 흡수율시험시 물속에 침수 시킬 때 그 경화체 내에 남아있는 염화마그네슘이 녹아 물에 용해되어 염화마그네슘이 차지하고 있는 공극에 물이 침투함으로 인하여 높은 흡수율을 나타낸 것으로 사료된다.

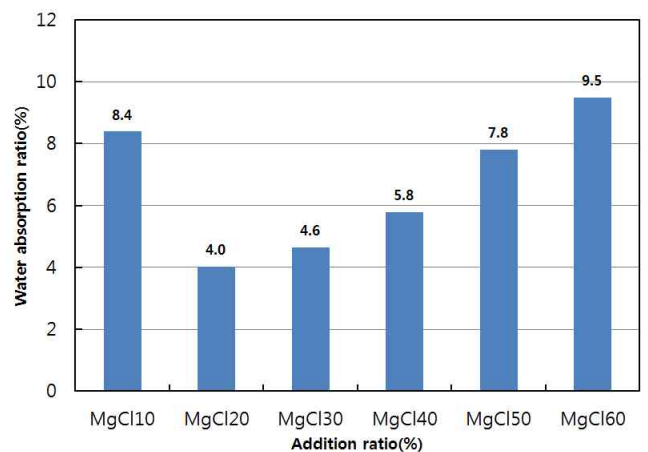


Figure 5. Water absorptance rate

3.6 길이변화

본 연구에서는 산화마그네슘 경화체에 염화마그네슘 첨가율이 미치는 길이변화특성을 측정할 결과, 모든 시험체에서 팽창하는 것을 볼 수 있었다. 가장 큰 팽창을 한 것은 염화마그네슘을 60%첨가한 시험체이며, 다음으로는 50 > 40 > 30 > 20 > 10(%) 의 순서로 나타났다. 염화마그네슘 첨가율 10, 20, 30, 40, 50(%) 등의 경우 재령 7일 까지 급격한 팽창을 나타내었으며, 재령 7일 이후로는 큰 팽창을 보이지 않았다. 반면 염화마그네슘 첨가율 60%의 경우 재령 13일 까지 급격한 팽창을 나타냈고, 그이후로는 큰 팽창을 보이지 않았다. 염화마그네슘 첨가율 60%의 경우 과다 팽창으로 인하여 휨강도와 압축강도에 악영향을 끼친 것으로 판단되며, 길이변화 데이터로 보아 염화마그네슘의 첨가량이 증가할수록 팽창성 물질의 양이 증가된 것으로 판단된다.

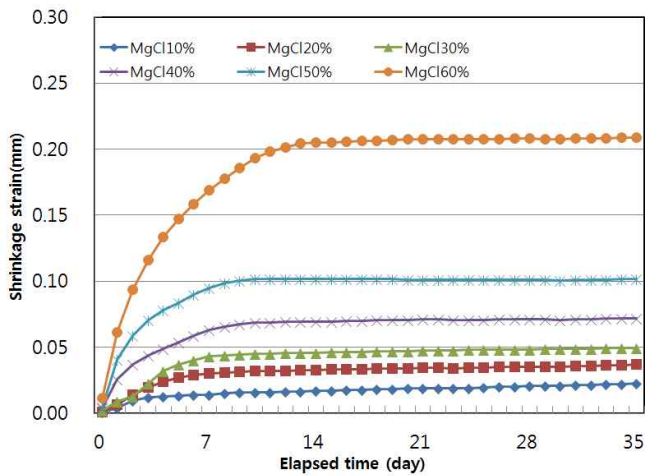


Figure 6. Shrinkage

3.7 SEM

산화마그네슘 경화체의 재령 3, 28일의 미시구조 사진은 Table 4와 같으며, 모든 재령에서 바늘형상을 가진 수화생성물을 볼 수 있었고, 에트린자이트와 비슷한 생김새를 가진 것을 볼 수 있다. 바늘형상의 수화생성물이 생성됨으로 인해 길이변화시험에서 수축이 아닌 팽창의 원인으로 판단된다. Table 4의 재령 3일, 염화마그네슘 첨가율 50, 60%의 미시구조사진은 공극부분을 촬영한 사진으로써 공극부분을 바늘형상의 수화생성물이 메꾸는 것을 볼 수 있다. 일반적인 공극은 기포로 인해 생성되기 때문에 표면이 비교적 매끄러운 반면 산화마그네슘 경화체의 경우 팽창성을 가진 바늘형상의 수화생성물이 생성되어 공극을 메꾸는 것을 볼 수 있었다.

Table 4. SEM (×10,000)

Age 3days	Age 28days
Magnesium Chloride addition 10%	
Magnesium Chloride addition 20%	
Magnesium Chloride addition 30%	
Magnesium Chloride addition 40%	
Magnesium Chloride addition 50%	
Magnesium Chloride addition 60%	

또한 미시구조를 통하여 높은 휨강도를 나타낸 것에 대한 원인으로 바늘형상의 수화생성물이 광물성 섬유조직을 가지고 있어 매우 높은 휨강도를 발현한 것으로 판단되며 이 형태를 제올라이트, 에트린자이트와 매우 흡사한 형태를 가진 것을 볼 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 염화마그네슘 첨가율에 따른 산화마그네

습 경화체의 물리 및 역학적 특성은 다음과 같다. 굳지 않은 페이스트의 공기량 측정결과, 염화마그네슘의 첨가율이 증가함에 따라 공기량이 감소하였으며, 유동성 측정결과에서는 염화마그네슘 첨가율이 증가함에 따라 유동성은 증가하였고, 응결시간 측정결과, 염화마그네슘의 첨가율이 증가함에 따라 초결과 종결이 느려지는 경향을 나타내었다. 굳은 페이스트의 휨강도와 압축강도에서는 염화마그네슘 첨가율 40%까지 강도가 상승하였으며, 50%이상 첨가시에는 강도가 저하되었다. 흡수율 측정결과, 염화마그네슘 첨가율 20%의 시험체가 가장 낮은 흡수율을 나타내었으며, 길이변화시험에서는 염화마그네슘의 첨가율이 증가함에 따라 팽창이 증가되는 경향을 나타내었다. 산화마그네슘 경화체의 미시구조 분석결과, 바늘형상의 수화생성물이 생성되는 것을 관찰할 수 있었다.

기존의 시멘트 보드의 경우 20%이상의 높은 흡수율을 가지고 있으며, 휨강도는 10~15MPa 정도이다. 따라서 본 연구의 산화마그네슘 경화체는 경량복합패널 표면재로서 활용가능성을 가지고 있다. 또한 시멘트보다 비교적 고가인 염화마그네슘의 첨가량을 최소화 하며, 흡수율이 가장 낮고 비교적 높은 휨강도와 압축강도를 나타낸 염화마그네슘 첨가율 20%가 적정 첨가율인 것으로 판단된다.

요 약

최근 주거건축물의 장수명화를 위해 건축물을 내부공간 구성을 벽식구조에서 라멘구조로 변화하면서 경량복합패널의 사용이 증가하는 추세이다. 따라서 본 연구에서는 염화마그네슘 첨가율에 따른 산화마그네슘 경화체의 공학적 특성을 연구하여 경량복합패널의 표면재로 사용하기 위한 기초적 자료로 사용하고자 한다. 실험결과, 염화마그네슘 첨가량이 증가함에 따라 유동성은 증가되었으며, 공기량은 감소하였고, 초결과 종결은 느려졌다. 휨강도와 압축강도에서는 염화마그네슘 첨가율 40%의 시험체가 가장 높은 강도를 발현하였으며, 흡수율의 경우 염화마그네슘 첨가율 20%의 시험체가 가장 낮은 흡수율을 나타내었다. 길이변화에서는 염화마그네슘 첨가율이 증가함에 따라 팽창양이 증가하는 경향을 나타내었으며, 미시구조를 관찰한 결과 바늘형상의 수화생성물을 볼 수 있었다. 이 수화생성물이 광물성 섬유조직 형태를 가지고 있어 높은 휨강도를 발현한 것으로 판단되

며, 또한 팽창의 원인으로 판단된다.

키워드 : 산화마그네슘, 염화마그네슘, 길이변화, 미시구조

Acknowledgement

This paper expresses thanks because of being performed in 2012 supported from ministry of knowledge economy venture type speciality introduction technology development business[:10043146]link.

References

1. Lee KP, Lee SS, Song HY. Cementless type eco-friendly lightweight composite panel using industrial by product. Journal of the Architectural Institute of Korea, 2011 Nov;27(11):111-8.
2. Jung BY, Lee SS, Song HY. Shrinkage strain property of the magnesium oxide matrix according to magnesium chloride addition ratio. Proceeding of the Korea Institute of Building Construction Conference; 2013 Nov 15; Incheon University, Korea Seoul (Korea): The Korea Institute of Building Construction; 2013. p. 91-4.
3. Kim JM, Choi HG, Park SG. An experimental study on the pore structure and thermal properties of lightweight concrete by foaming agent type. The Korea Institute of Building Construction, 2009 Aug;9(4):63-73.
4. Lee KP. Non-cement eco-friendly lightweight composite panel properties of utilizing the waste resources [master's thesis]. [Daejeon (Korea)]: Hanbat National University; 2012. 62 p.
5. Kim DY, Jee NY, Kim WJ, Seo CH. Problem analysis of sandwich panel building which analyze on fire occurrence present condition. Proceeding of the Architectural Institute of Korea Conference; 2004 Oct 19-20; Seoul (Korea): the Architectural Institute of Korea; 2004. p. 551-4
6. R, N. Yadav, Priyanka Gupta, M. P. S. Chandrawat, Navin Dagar and Rajdeep Yadav. Effect of temperature of gauging solution on setting characteristics and moisture ingress of magnesium oxychloride cement - an eco-friendly cement. Journal of Current Chemical & Pharmaceutical Sciences; 2012; 2(3):149-156
7. Park JP. An experimental study on the engineering properties of the low carbon inorganic composite panel using the industrial by-product [master's thesis]. [Daejeon (Korea)]: Hanbat National University; 2013. 69 p.