



PCM 혼입 경량기포콘크리트 패널 개발을 위한 기초적 연구

(An) experimental study on the development of lightweight concrete using the PCM

임명관* · 오돈투야**** · 김영호*** · 최동욱**

Lim, Myung Kwan* · Enkhbold, Odontuya**** · Kim, Young Ho*** · Choi, Dong Uk**

* Dept. of Architectural Engineering, Hankyong National University, Ansong 456-749, Korea (limmk79@hknu.ac.kr)

** Dept. of Architectural Engineering, Hankyong National University, Ansong 456-749, Korea (choidu@hknu.ac.kr)

*** Dept. of Chemical Engineering, Hankyong National University, Ansong 456-749, Korea (ynhkim@hknu.ac.kr)

**** Corresponding author, Dept. of Architectural Engineering, Hankyong National University, Ansong 456-749, Korea (odontuya@naver.com)

ABSTRACT

The present study was carried out to assess the basic material properties and thermal behavior of light-weight foamed concrete panel mixed with PCM (Phase Changing Material). To do so, this study fabricated light-weight foamed concrete (1.0kg/m³) in pre-foaming method and mixed it with PCM micro capsule of 1-dodecanol and melamine to examine its physical and thermal properties. The results confirmed strength reinforcement effect by proper replacement ratio of fly-ash, which is an industrial by-product, and PCM. In addition, it found out that PCM-mixed light-weight foamed concrete had time delay and temperature reduction effect within the range of PCM phase transition according to the rise of outdoor temperature. It was also observed that the insulation performance of PCM-mixed light-weight foamed concrete was more dependent upon thickness than PCM replacement ratio.

KEYWORD

기포 콘크리트,
상변위 물질,
마이크로캡슐

Foam Concrete,
Phase Changing Material,
Micro-Capsulation

ACCEPTANCE INFO

Received May 21, 2014

Final revision received July 29, 2014

Accepted August 1, 2014

© 2014 KIEAE Journal

1. 서론

에너지 절약은 인류의 생존과 직결하여 건축물에 가장 중요한 핵심기술로 인정되어 왔으며 냉난방 소재의 개발을 이루어왔다¹⁾²⁾. 최근에는 선진국가 등에서 보다 효율적이며 능동적인 에너지 저감 건축 설계로서 소재부분에 있어서 상변위 물질(Phase Transition Material)과 같은 잠열-축열재료를 이용한 기술들이 개발되고 있다³⁾⁴⁾. 이러한 축열재는 장시간 실내온도를 유지할 수 있도록 하여 에너지 사용 효율을 높일 수 있는 장점을 지니고 있다. 특히 장시간 보존하여야 하는 물류 등 시설에 있어서 이러한 축열식 에너지 보존 건축소재의 적용은 향후 매우 중요한 요소기술이라 할 수 있다⁵⁾.

한편 물류센터는 통상 자동화기기에 의해 운영되고 거주 인력이 많지 않으므로, 냉장창고 등의 특수한 경우를 제외하면 냉난방 부하가 일반 구조물에 비해 낮다⁶⁾. 이때 높은 열용량(heat capacity)을 갖는 재료로 외벽을 설계하면 열용량 효과로 인해 물류센터 내부가 외부보다 훨씬 작은 온도차를 유지하고 아울러 외부의 온도가 내부로 전달되는 시간을 지연시키는 페이스 지연을 유도하여 냉난방 부하를 감소시킬 수 있다⁷⁾. 여기에 추가하여 적극적으로 상변화 물질을 활용하면 이 효과를 극대화시킬 수 있다. 상변화 물질은 일정한 온도범위에서 잠열에 의한 축열을 하게 됨으로써 현열 축열량보다 현저하게

높은 열 혹은 낮은 열을 축열할 수 있으며, 상변화하는 동안에는 온도가 변화하지 않고 등온상태를 유지하는 특성이 있다. 즉 자연적인 외기 온도변화에 따라 건물 실내의 온도변화의 열부하를 감소시켜 물류시설의 온도변화를 감소시키고 따라서 에너지절감을 얻을 수 있다⁸⁾⁹⁾.

본 연구에서는 기존 수입에 의존하던 상변화 물질을 독자적으로 개발하였으며, 이를 최적화시켜 물류창고의 외피(외벽, 지붕 등)에 사용할 수 있도록 Phase Changing Material(이하 PCM)을 포함한 경량 기포콘크리트의 기계적 특성에 대한 기초적 연구를 실시한다.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1. 사용재료

1) PCM

이 연구에서는 심물질로서 파라핀 왁스와는 달리 녹는점이 균일하고, 축열량이 높은 1-도데카놀을 이용하였으며 벽체 물질로서 멜라민 수지가 되도록 고분자 시약을 이용하였다. 실험에 사용된 심물질은 녹는점이 22℃~26℃ 인 순도가 매우 높은 시약급 1-도데카놀을(SAMCHUN, 98%)을 추가 정제 없이 사용하였다. 벽체에 사용된 시약들은 멜라민(Aldrich, 99%) 및 포르말데하이드(Aldrich, 35~37%)를 이용하였으며 중합 촉지제로서 아세트산(Junsei, 99.5%)을 사용하였다. 또한 안정화제로서 투입된 계면활성제는 합성된 SSMA(syntesis

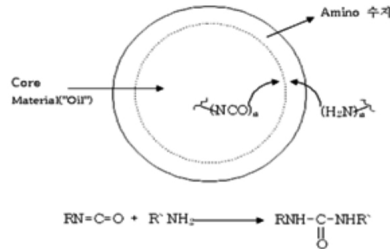


Fig. 1. Principle of the interfacial polymerization in micro-capsulation

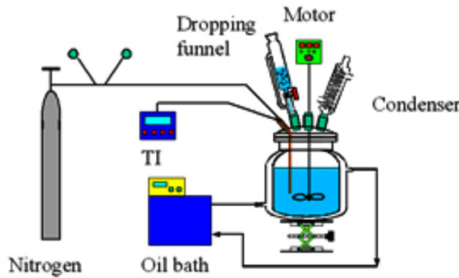


Fig. 2. Schematic diagram of the reaction apparatus for micro-capsulation

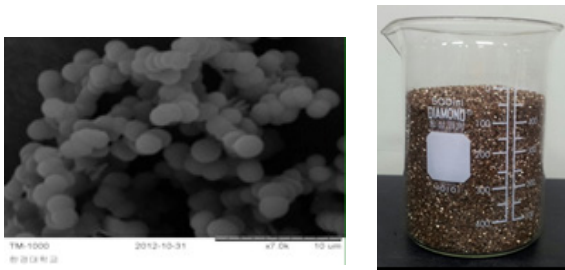


Fig. 3. SSEM picture of 1-Dodecanol with the melamin-aldehyde polymer & using vermiculite

of sulfonated styrene-maleic anhydride)를 사용하였으며 용매인 물은 실험실에서 제조된 증류수를 이용하였다. 1-도데카놀을 수용액에서 에멀전화 한 후 벽재물질인 멜라민 수지를 투입하여 왁스의 계면에서 계면중합이 일어나도록 하여 마이크로캡슐 반응을 행하였다. 또한 종류의 PCM의 경우 질석 내부에 1-도데카놀을 주입후 계면을 멜라민 수지로 코팅하였다. 상기 잠열·축열재의 크기는 1-3 μm이며, 계면중합은 Figure 2에 나타난 모식도와 같이 심물질인 1-도데카놀과 용매인 물간의 계면에서 고분자 반응이 일어나서 Figure 1과 같이 벽재가 형성되는 원리이다. Figure 3은 본 실험에 사용한 PCM 마이크로 캡슐의 사진과 질석을 이용한 PCM의 사진이다.

2) 기포제

이 연구에 사용한 기포제는 독립기포형 기포제로서 그 화학조성 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

Table 1. Physical properties of foaming agent

Color	Viscosity (CPS)	pH	sulphate (%)	freezing point(°C)	Specific gravity
Brown	20~50	7	0.01~0.1	-18	1.2~1.26

(Unit : %)

Water	Protein	NaCl	NH4Cl	CaCl	MgCl	FeSO ₄
36	32	10	1	6	5	10

3) 시멘트 및 결합재

Table 2. Chemical composition and physical properties of cement

Chemical composition	Chemical composition	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Lg-loss
	Content (%)	21.95	6.59	2.81	60.12	3.32	2.11	2.58
Physical Properties	specific surface area (cm ² /g)	Weight	Setting time		Compressive Strength (kg/cm ²)			
			Start	Ending	3days	7days	28days	
	3.112	3.14	4 hours	6 hours	198	272	389	

Table 3. Chemical composition and physical properties of fly-ash

Chemical composition	Chemical composition				Physical Properties		
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Weight	Fineness (cm ² /g)	Grain size
Content (%)	92.5	1.68	2.51	0.56	2.21	263000	1.36

2.2. 배합

기포콘크리트의 배합은 총 2개의 단계로 진행을 하였다. 1차 배합에서는 단위 시멘트량 및 물·결합재 비를 변화시켜 실시를 하였으며, 기포량은 단위용적에 대하여 시멘트 페이스트의 용적을 제외한 용적만큼 투입되도록 조정하였다.

2차 배합에서는 1차 배합에서 물성을 검토하여 도출되어진 1개의 배합을 기준으로 Fly-ash 치환율을 변화시켜 실험을 실시하였다. Fly-ash의 경우 일반 포틀랜드시멘트와 비교하여 비중이 낮아 기존 강도를 유지하면서 경량화가 가능하나 치환율이 증가하는 경우 강도증진과 동시에 증량이 커질 가능성이 있으므로 Fly-ash 치환율에 따른 변화를 확인하기 위해 단위결합재 용적을 고정시킨 상태에서 기포제 용적의 변화를 준 것과, 기포제 용적을 고정시킨 상태에서 단위 결합재 용적을 변화시킨 배합을 실시하였으며, 각 배합의 계산은 용적에서의 치환율과 질량에서의 치환율에 변화를 주어 배합을 실시하였다.

1) 1 단계

Table 4. Mix Proportion of Preliminary Test (Part 1)

C (kg/m ³)	W/C (%)	W (kg/m ³)	Weight(Kg/m ³)					PCM (C:%)
			1m ³		40ℓ			
			C.P	Foam	C (kg)	W (kg)	Foam (L)	
400	35	140	267.39	732.61	16	5.6	29.3	0 10 20 30
	40	160	287.39	712.61		6.4	28.5	
	45	180	307.39	692.61		7.2	27.7	
	50	200	327.39	672.61		8	26.9	
450	35	157.5	300.81	699.19	18	6.3	27.97	
	40	180	323.31	676.69		7.2	27.07	
	45	202.5	345.81	654.19		8.1	26.17	
	50	225	368.31	631.69		9	25.27	
500	35	175	334.24	665.76	20	7	26.63	
	40	200	359.24	640.76		8	25.63	
	45	225	384.24	615.76		9	24.63	
	50	250	409.24	590.76		10	23.63	
550	35	192.5	367.66	632.34	22	7.7	25.3	
	40	220	395.16	604.84		8.8	24.2	
	45	247.5	422.66	577.34		9.9	23.1	
	50	275	450.16	549.84		11	22	
600	35	210	401.08	598.92	24	8.4	23.96	
	40	240	431.08	568.92		9.6	22.76	
	45	270	461.08	538.92		10.8	21.56	
	50	300	491.08	508.92		12	20.36	

2) 2 단계

Table 5. Mix Proportion of Preliminary Test (Part 2)

Designation	C (kg)	Fly Ash (kg)			Binder (kg)	W (kg)	W/B	Foam Volume (%)	PCM (%)	
		% Replc.	by Volume	by Weight						
Control	500.0	-			500.0	250.0	0.500	59.1%		
Control W/B ratio										
test 1.	FV10B50	450.0	10.0	36.5	486.5	243.3	0.500	59.8%	10 20 30	
	FV20B50	400.0	20.0	73.0	473.0	236.5	0.500	60.5%		
	FV30B50	350.0	30.0	109.5	459.5	229.8	0.500	61.2%		
	FV50B50	250.0	50.0	182.5	432.5	216.3	0.500	62.5%		
test 2.	FW10B50	450.0	10.0		50.0	500.0	250.0	0.500		58.5%
	FW20B50	400.0	20.0		100.0	500.0	250.0	0.500		58.0%
	FW30B50	350.0	30.0		150.0	500.0	250.0	0.500		57.4%
	FW50B50	250.0	50.0		250.0	500.0	250.0	0.500		56.2%
Varied W/B ratio										
test 3.	FV10B514	450.0	10.0	36.5	486.5	250.0	0.514	59.1%	10 20 30	
	FV20B529	400.0	20.0	73.0	473.0	250.0	0.529	59.1%		
	FV30B544	350.0	30.0	109.5	459.5	250.0	0.544	59.1%		
	FV50B578	250.0	50.0	182.5	432.5	250.0	0.578	59.1%		
test 4.	FW10B490	450.0	10.0		50.0	500.0	244.8	0.490		59.1%
	FW20B478	400.0	20.0		100.0	500.0	238.8	0.478		59.1%
	FW30B466	350.0	30.0		150.0	500.0	233.0	0.466		59.1%
	FW50B443	250.0	50.0		250.0	500.0	221.3	0.443		59.1%

2.3. 실험 방법

이 연구는 경량기포콘크리트 패널개발을 위한 기초적인 연구로서 KS F 4736 압축성형 경량콘크리트 패널 기준에 부합하기 위해 각 배합에 따른 기포콘크리트의 기본적인 물성을 확인하였다. 각 실험 방법은 KS기준 및 ASTM기준에 의거하여 실험을 실시하였다.

1) 물리적 특성

- 겉보기 비중 실험 (KS F 2459)
 - 양생이 끝난공시체를 (10±5)°C 중에서 일정 질량이 될 때까지 건조한 후, 데시케이터 내에서 실온이 될 때까지 냉각하였을 때의 질량을 측정하였다.
- 플로우 테스트 (KS F 4039)
 - 350*350mm 유리판 위에 안지름 80mm인 아크릴 원통을 이용하여 1분 후에 시료가 퍼진 4방향에 대하여 등간격으로 측정하여 평균값을 사용하였다.

2) 기계적 특성

- 압축강도 실험 (ASTM C 39)
- 휨강도 실험 (ASTM C 293)
 - 휨강도 시험은 40*40*160mm의 시험체를 이용하여 지점사이의 거리를 100mm로 하며, 공시체를 성형하였을 때 측면의 중앙에 매초 (50±10)N의 하중 속도를 재하하여 실시하고, 최대 하중을 구하였다. 압축강도 시험은 휨강도 시험을 한 1조 3개의 공시체의 절편 6개에 대하여 공시체를 성형하였을 때의 양쪽면을 가압면으로 하여, 하중용 가압판을 사용하며, 공시체 중앙부에 매초 (800±50)N의 하중 속도로 재하하여 최대 하중을 구하였다.



(a) Apparent specific gravity (b) Flow test (c) Flexural rigidity



(d) Compressive strength (e) Heat insulation property

Fig 4. Test Methods

3) 열적 특성

- 열전대를 사용하여 시험체 외부 온도변화에 따라 내부온도의 변화를 측정하여 결과를 표시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 경량기포콘크리트의 물리적 특성 및 기계적 특성 (1 단계)

Figure 5에 나타난 것과 같이 기포콘크리트의 플로우는 단위 시멘트량 및 물 시멘트 비가 증가함에 따라 유도성이 증가되는 것으로 확인되었다. 대부분의 시험체에서 200~250mm 범위 안에서 플로우가 변화되는 양상을 보였으며, 단위 시멘트량 600kg/m³의 경우 다른 시험체와 비교하여 플로우 증가량이 비교적 적은 것으로 확인 되었다.

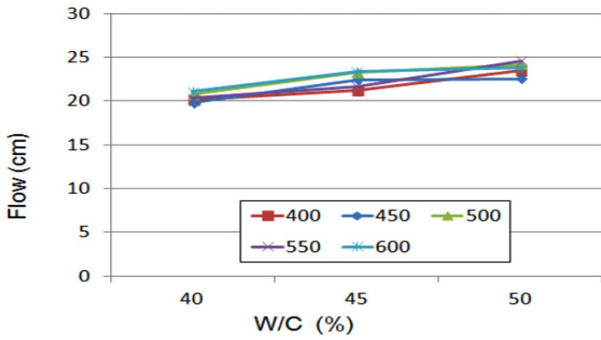


Fig 5. Flow Test Result

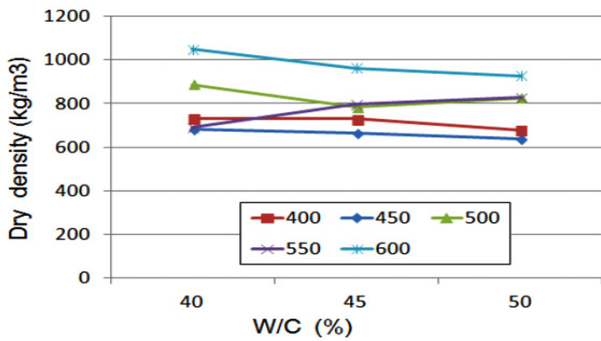


Fig 6. Dry Density Test Result

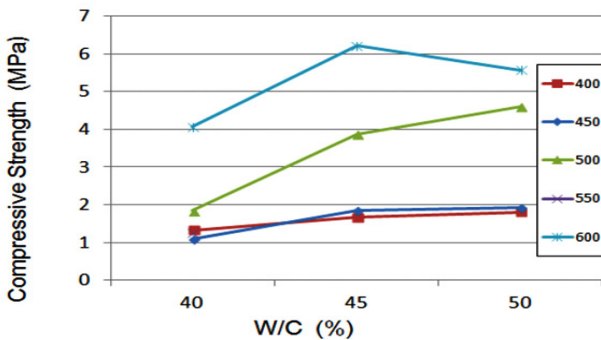


Fig 7. Compressive Strength Test Result

Figure 6과 같이 물 시멘트 비가 낮은 경우 겉보기 비중이 증가하는 결과를 나타냈으며, 단위 시멘트량이 증가할수록 물시멘트비에 따른 증가에 따른 겉보기비중의 폭은 감소되는 것으로 확인 되었다. 또한, Figure 7과 같이 단위 시멘트량 600kg/m³을 제외한 모든 시험체에서 단위 시멘트량이 증가하는 경우 큰 폭으로 압축강도가 증가하는 경향을 나타냈다.

이 실험의 결과로 KS F 4736에서 기준 하는 10MPa 기준을 만족시키며, 이 연구에서 목표로 하는 비중 1.0kg/m³을 만족시키기 위해선 W/C 50%에서 단위 시멘트량이 500kg/m³인 배합이 가장 근접한 값을 나타내는 것으로 확인 되었다.

3.2. Fly-ash를 치환한 경량기포콘크리트의 물리적 특성 및 기계적 특성 (2 단계)

선행되어진 1 단계의 실험결과에서 도출되어진 배합을 기준으로 KS F 4736에 부합하기 위해 전술한 바와 같이 Fly-ash를 혼입하여 배

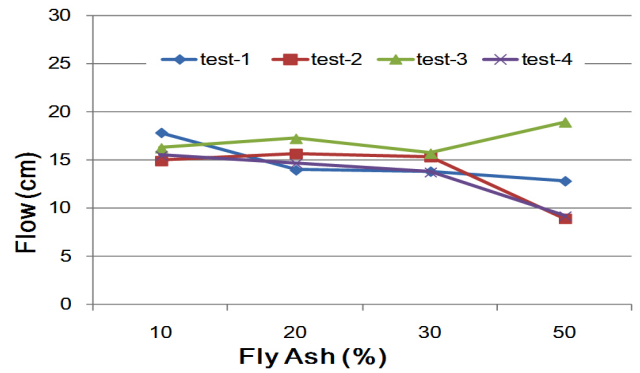


Fig 8. Flow Test Result

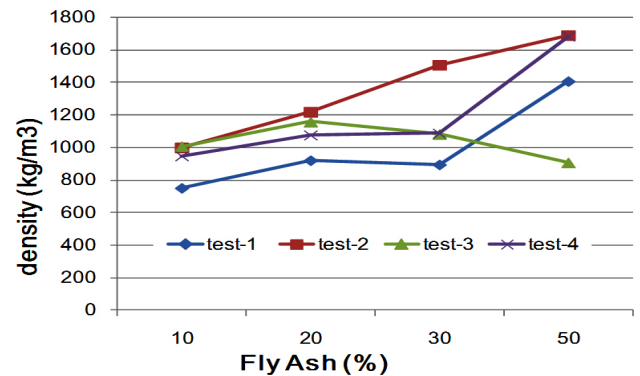


Fig 9. Dry Density Test Result

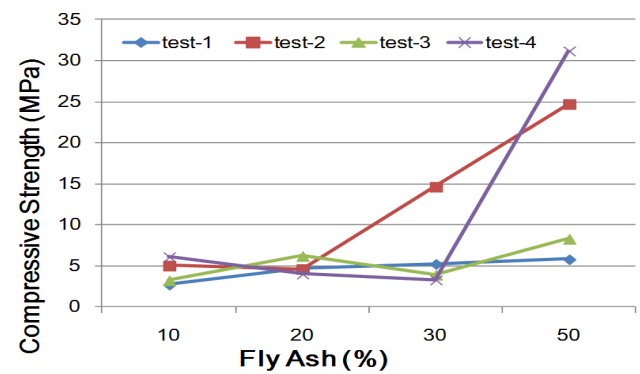


Fig 10. Compressive Strength Test Result

합을 실시하였다.

Figure 8과 같이 Fly-ash를 10~30% 치환한 경우 유동성에 있어서 큰 차이가 나타나지 않았다. 하지만 50%를 치환하는 경우 대부분의 배합에서 큰 폭으로 유동성이 감소되는 경향을 나타내었다. 또한, Figure 9에서 겉보기비중의 시험결과와 동일한 경향으로 유동성이 저하되는 것만큼 겉보기비중이 증가하는 경향을 나타냈으며, Figure 10에서의 결과와 같이 압축강도 또한 큰 폭으로 증가되는 것으로 확인 되었다.

이는 Fly-ash의 치환에 따라 Fly-ash 내부의 C-H가 C-S-H 수화물을 생성함에 따라 전체 수화물의 비중이 증가하였으며, 이에 따라 강도가 증진 되는 것으로 생각된다.

따라서 이 실험결과에 따라 경량기포콘크리트, 패널을 제작하기 위한 기초배합으로 Fly-ash의 치환율은 20% 가 적절한 것으로 판단

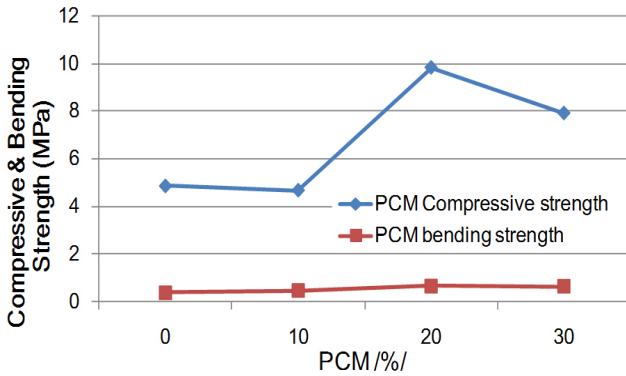
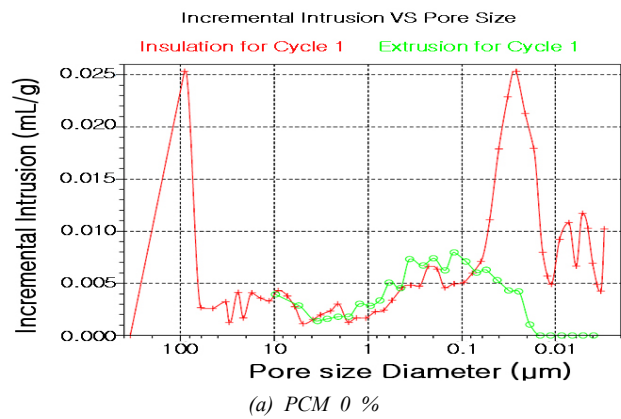
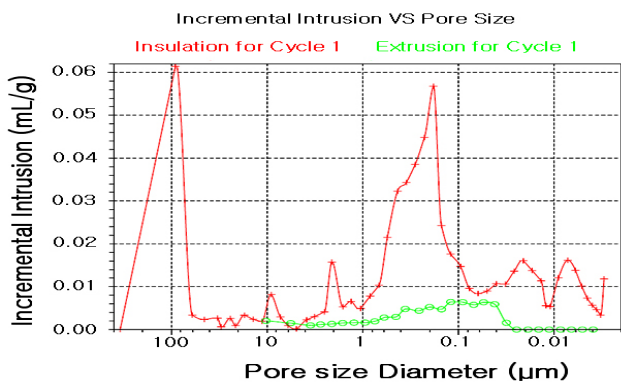


Fig 11. Compressive & bending strength test result



(a) PCM 0 %



(b) PCM 20 %

Fig 12. Porosimeter Test Result

되며, 30% 이상이 치환되는 경우 강도는 다소 증가하는 경향을 보이 나 비중이 크게 감소되는 것으로 확인되었다.

2 단계에서 도출되어진 배합을 기준으로 PCM을 단위시멘트 증량 대비 10%~30%로 치환을 하여 배합을 실시하였다.

Figure 11에 나타난 것과 같이 PCM 10%의 경우 치환하지 않은 기준 시험체와 유사한 강도를 나타냈으나, 20%의 경우 1.8배의 강도 증진 효과를 나타냈으며, 30%의 경우 20%로 치환배합과 비교하여 다소 강도가 저감되는 경향을 나타내었다.

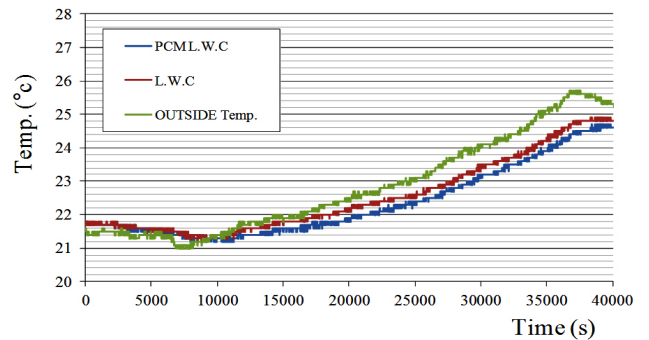
이는 Figure 12에 나타난 기공률 결과와 같이 PCM을 치환함에 따라 강도 저감에 영향을 미치는 공극이 감소되는 것을 확인 하였으며, 전체적인 공극률이 감소되는 결과를 나타냄에 따라 PCM 마이크로 캡슐이 큰 공극 내부로 침투되어 강도 증진 효과가 나타나는 것으로 판단되었다.

또한 이 실험에서 사용한 PCM의 경우 벽재를 생성하고 있는 멜라민 수지가 열중합 반응에 따라 표면이 성체와 유사한 바늘 형태의 형상을 나타내어 내부에 침투되어 정착되는 경우, 이 실험 배합에 포함되지 않은 잔골재와 유사한 영향을 주며 마찰계수의 증가로 강도가 증진 하는 것으로 생각된다.

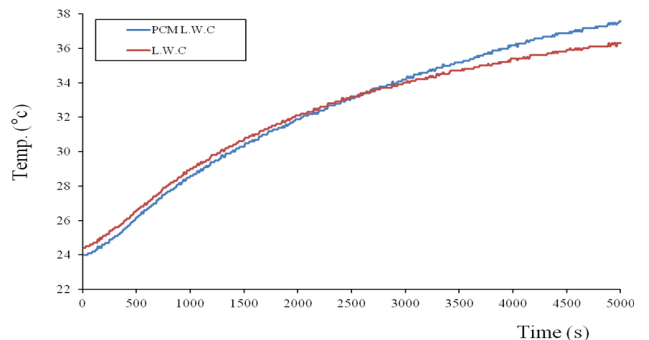
하지만, PCM의 잔골재 역할에 따라 다소 비중이 증가하는 경향 및 단열성을 좌우하는 전체 공극률의 감소는 추후 검토가 필요할 것으로 판단된다.

3.3. Fly-ash 및 PCM을 치환한 경량기포콘크리트의 열적 특성

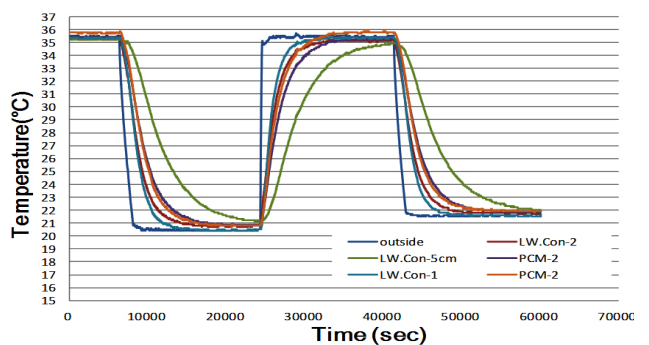
1 단계에서 사용한 PCM의 경우 질석을 이용하여 질석 내부에 파라인 왁스를 침투 시키고 멜리민 수지로 코팅하여 PCM을 제조하는 방식을 이용하였으며, 2 단계에서는 1-도데카놀을 심재로 사용하였으며, 이에 멜라민 수지를 벽재물질로 이용하여 마이크로 캡슐화 시



(a) Vermiculite & Melamine PCM



(b) (a) Vermiculite & Melamine PCM



(c) 1-Dodecanol & Melamine PCM

Fig 13. Heat Insulation Property Test Result

켜 PCM을 제작하였다.

Figure 13 (a), (b)는 질석을 사용한 PCM을 1단계에서 도출되어진 경량기포콘크리트 배합에 치환하여 열적 특성을 평가한 결과이며, Figure 13 (c)는 1-도데카놀을 심재로 사용한 PCM을 2단계에서 도출되어진 배합에 치환한 시험체와 1 단계에서 이용한 PCM을 사용한 시험체를 비교한 결과이다. 외기를 약 4시간 간격으로 20°C~35°C로 변화를 주었으며 이에 따라 변화되는 내부의 온도를 열전대를 이용하여 결과를 측정하였다. 1 단계에서는 Figure 13 (a), (b)와 같이 외기 온도변화에 비해 PCM이 혼입되지 않은 경량기포콘크리트의 경우 평균적으로 약 0.8°C 정도의 온도차를 나타내었으며, PCM이 10% 혼입되어진 시험체와 비교하는 경우, 외기온도에 비해 약 1°C 정도의 차이를 나타내는 것으로 확인되었다. 하지만 30°C의 온도를 넘어서는 경우 PCM이 치환되지 않은 경량콘크리트와 비교하여 온도 역전현상이 나타나어 30°C 이상에서는 경량콘크리트의 경우가 단열성이 높아지는 것으로 확인 되었다.

2 단계에서 이용한 PCM의 경우 온도 변화 폭은 1 단계에서 사용한 PCM과 대부분 유사한 경향을 나타내었으나, 시험체의 두께가 증가하는 경우, PCM치환율에 따른 온도저감 효과에 비해 두께증가에 따른 온도 저감현상이 큰 것으로 확인 되었다.

이 실험에 사용된 PCM의 상변위 온도점이 25~28°C인 것을 고려했을 때 상변위 이후에 내부의 심재가 액상화 되면서 열전도율이 높아져 온도 역전 현상이 나타나는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 경량기포 콘크리트에 독자적으로 개발되어진 PCM을 치환하여 그에 따른 기초적인 특성을 검토하였다.

경량기포콘크리트의 기포체적을 제외한 시멘트 페이스트의 경우 겉보기 비중 및 압축강도에 있어 단위 시멘트량에 따른 의존성이 큰 것으로 확인 되었다.

경량기포콘크리트에 Fly-ash를 치환하는 경우, 적정 치환율은 20%로 확인 되었으며, 30% 이상으로 치환되는 경우, 압축강도는 증가하나 겉보기 비중 또한 큰 폭으로 증가되는 것으로 확인 되었다. 이후 10~30% 이내의 범위에 대한 추가적인 연구로 최적 치환율을 확인할 필요가 있을 것으로 판단된다.

Fly-ash 및 PCM을 치환한 경량기포콘크리트의 경우, PCM이 치환됨에 따라 PCM의 잔골재 효과 및 마찰계수의 증가에 따라 강도 및 비중이 증가하는 것으로 확인 되었으며, 역학적 특성을 고려 시 본 연구의 치환율에서는 PCM 20% 치환율이 가장 적정한 것으로 확인 되었다. 이후 20%의 상-하 범위의 미세 치환에 따른 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

PCM이 치환된 경량기포콘크리트의 경우 PCM의 상변위 구간에서는 일반 경량기포콘크리트와 비교하여 단열성이 우수하나 용융점 이후에서는 온도 역전현상이 나타나며, PCM 치환율에 따른 단열성과

비교하여 두께에 따른 단열성 효과가 더욱 우수한 것으로 확인 되었다.

이후 KS F 4736의 경량콘크리트 패널의 기준에 부합하기 위해 배합조절 및 섬유 등을 이용하여 휨강도를 증진 시키며, 나아가 단열성능 등을 확인하기 위해 부재 제작 후 열전도율 및 열관류율 등을 통한 열적특성을 확인할 예정이다.

본 연구 결과는 에너지 저감형 경량콘크리트 패널을 개발하기 위한 기초적 연구 자료로서 활용성이 높을 것으로 판단된다.

Acknowledgement

This research was supported by a grant(Code 11-Technology Innovation-F04) from Construction Technology Research Program (CTRP) funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MLIT) of Korean government.

References

- [1] Ramamurthy, K., Kunhanandan Nambiar, E.K., Indu Siva Ranjani, G., A Classification of Studies on Properties of Foam Concrete, Cement & Concrete Composites, 38 (2013) 82-91.
- [2] Nambiar E.K.K, Ramamurthy K., Fresh State Characteristics of Foam Concrete, ASCE Mat. Civ. Eng., 20 (2008) 111-17.
- [3] Kearsley EP, Wainwright PJ., Ash content for optimum strength of foamed concrete, Cement and Concrete Research, 32 (2002) 241-6.
- [4] Nambiar E.K.K, Ramamurthy K., Air-Void Characterization of Foam Concrete, Cement and Concrete Research, 37 (2007), 221-30.
- [5] Visagie M, Kearsely E.P., Properties of Foamed Concrete as Influenced by Air-Void Parameters, Concrete/Beton, 101 (2002) 8-14.
- [6] Kearsley EP, Wainwright PJ., The effect of porosity on the strength of foamed concrete, Cement and Concrete Research, 32 (2002) 233-9.
- [7] Valore R.C., Cellular Concrete Part 2 Physical Properties, ACI Journal, 54 (1954) 817-36.
- [8] Im J.K., The Climatic Change Convention Counteract for Long Term Policies and Aggrement, Korea Energy Economics Institute, 2004. 289pp.
- [9] Sim K.S., An Experimental Study on the Insulation Property and the Mechanical Property of structural Lightweight Mortar using Micro Form Agent, MA Thesis, Hanyang University, 2009.