

무기질 자극제를 사용한 탄소배출 저감형 저발열형 혼합시멘트의 수화특성에 관한 연구

Hydration Properties of Low Carbon type Low Heat Blended Cement

최 성 우¹ 류 득 현¹ 김 훈 상¹ 김 규 용^{2*}

Choi, Sung-Woo¹ Ryu, Deuk-Hyun¹ Kim, Hun-Sang¹ Kim, Gyu-Yong^{2*}

R&D Cente, Eugene Corporation Co., Ltd., DaeJa-Dong Goyang-City, GyeongGi-Do 412-480, Korea¹

Department of Architectural Engineering, ChungNam National University, Yoseong-Gu Taejon 305-764 Korea²

Abstract

Of construction materials, cement and steel are the representative material that carbon dioxide. to reduce carbon emissions in the use of these materials The purpose of this study is low heat type blended cement, which is manufactured using a amount of cement than ordinary low heat blended cement. Low heat blended cement, mixing ratio of 10%, was investigated hydration properties and adiabatic temperature of concrete. The study in order to activate the reaction mineral admixture, a separate source of CaO and SO₃ areneeded. gypsum and lime, it expected amount of cement, low-carbon low-heat blended cement could reduce the hydration heat concrete than currentlyused low heat blended cement.

Keywords : low carbon, low heat blended cement, mineral admixture, quick-lime, gypsum, hydration reaction

1. 서 론

1.1 연구의 목적

현재 전 세계는 기술발달의 가속 및 경제규모의 거대화, 지구온난화 방지를 위한 전 세계적 협력체계 구축 등 글로벌화가 심화되고 있으며, 이는 건설분야에서도 글로벌화, 녹색건설 증대 및 기술혁신 등이 요구되고 있다.

우리나라의 CO₂ 배출량은 2007년 기준 4억8천870만 톤으로 전 세계에서 발생량으로 9위를 차지하고 있으며, 우리나라에서 산업별 우리나라의 CO₂가스 배출량 중 건설교통 분야 비중은 약 42 % 로서 탄산가스 배출량이 많은 산업에 속한다. 특히 건설자재 중 콘크리트 산업의 경우 탄산가스

배출 규모가 건설업종에서 약 17 %를 차지하고 있고, 특히 시멘트는 제조과정에서 1 ton 당 약 800 kg의 CO₂ 가스를 배출하고 있으며, 건설자재 배출량의 95 % 이상을 차지하고 있다. 따라서 콘크리트 산업에 있어서 탄산가스 배출량의 저감을 위해서는 시멘트의 사용량 저감이 가장 효과적이다[1,2].

콘크리트의 시멘트 사용량을 감소시키기 위한 방법으로서 혼화재의 사용이 가장 일반화 되어 있으나, 혼화재의 사용 시에는 초기 강도 저하라는 품질 특성을 고려할 경우 일반적인 콘크리트 성능 확보 측면에서 플라이애시는 약 15 % 내외, 고로슬래그 미분말을 20~30 % 내외 사용하고 있으며, 저발열 콘크리트 및 고강도 콘크리트의 경우에는 최대 50 % 정도까지 사용되고 있으나, 향후 탄소배출량 규제 측면을 고려할 경우 클링커를 사용하지 않거나, 시멘트 사용량을 최소화 시켜야 될 것으로 생각한다[3].

따라서 본 연구에서는 혼화재 사용량을 증대시키고 콘크리트의 친환경성 증대를 목적으로, 저발열 혼합시멘트 제조를 목적으로 하여, 기존의 저발열 혼합시멘트에 사용되는

Received : September 3, 2012

Revision received : April 26, 2013

Accepted : May 10, 2013

* Corresponding author : Kim, Gyu-Yong

[Tel: 82-42-821-7731, E-mail: gyuyongkim@cnu.ac.kr]

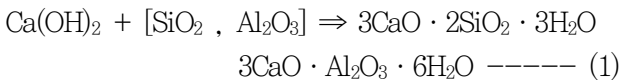
©2013 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

보통포틀랜드시멘트의 사용을 감소시키고 혼화재의 사용량을 증대시킨 경우, 혼화재의 반응 촉진을 위한 무기질 자극제 사용에 따른 결합재의 수화 특성 및 콘크리트 성능 평가를 실시하여, 향후 콘크리트 산업에서의 탄산가스 배출량 저감을 위한 기술적 토대를 제공하고자 하였다.

1.2 혼화재의 활성 반응 기구

콘크리트용 혼화재로 많이 사용되고 있는 플라이애시 및 고로슬래그는 반응 특성이 다소 차이가 있다[4,5].

플라이애시는 포졸란 재료로서 SiO₂, Al₂O₃ 같은 가용성분이 시멘트 수화 생성물인 Ca(OH)₂와 서서히 반응하여 불용성 칼슘실리케이트 수화물(C-S-H gel) 이나 칼슘알루미네이트 수화물(C-A-H gel)을 형성하여 그 조직을 더욱 치밀하게 만드는 것으로서 주 화학반응은 다음과 같다.



고로슬래그는 플라이애시와 달리 잠재수경성의 특성을 갖고 있으나, 시멘트에 비해 반응성이 매우 낮지만 알칼리 자극제로서 소량의 소석회와 황산염 등이 존재하면, 현저한 수화 반응성을 나타낸다. 이들은 Ettringite의 생성량과 생성속도에 영향을 미쳐서 고로슬래그의 수화반응에 영향을 미친다.

따라서 플라이애시 및 고로슬래그의 반응성을 증진시키기 위해서는 SO₃ 또는 CaO를 적정량 공급하여 혼화재의 포졸란 반응과 잠재수경성 반응이 활발히 진행될 수 있는 환경을 조성하는 것이 중요하다.

2. 실험 계획

2.1 실험 계획 및 시험 방법

시멘트 사용을 감소시키고 혼화재의 반응 활성을 촉진하기 위해 활성 자극제를 사용한 경우에 있어서 결합재의 수화특성 및 콘크리트의 품질 특성을 평가하기 위한 실험 계획을 Table 1에, 시험 방법을 Table 2에 나타내었다.

혼화재의 활성을 촉진시키기 위한 역할을 하는 SO₃ 및 CaO 공급원으로서 자극제는 생석회, 천연무수석고, CSA를 사용하였으며, 기존 연구 동향에서는 생석회를 사용하는 경우 시멘트를 소량 사용한 저탄소형 혼합 시멘트의 수화

촉진에 효과적인 것으로 보고되고 있어서 본 연구에서는 생석회를 주 재료로 하여 석고 및 CSA 혼합비율에 따른 무기질 자극제의 수화 특성을 검토하였다[6,7,8].

Table 1. Experimental plan

Factor	Binder	- Standard mix proportion of binder ⇒ OPC : BFS : FA = 4 : 4 : 2 - Comparison mix proportion of cement ① OPC 10%, FA 20% ② BFS : Max 70% Min 60% ③ Activator : Max 10%, Min 0%
	Activator	- Quick-lime, Gypsum, CSA

Table 2. Test method

Series	Mortar	- Mix proportion for binder - Kinds of activator and mix proportion - Test item 1) Mortar strength : KS L ISO 679 2) Valuation of hydration ① Chemical composition analysis ② Heat Evolution rate for Binder ③ Heat analysis ④ XRD
		- Fresh : Slump, Air, Elapsed time (60 min) - Harden : Compressive Strength (3, 7, 28, 56 days) - Adiabatic test

Table 3. Mix proportion of control concrete

	W/C	S/a	Unit weight (kg/m ³)							
			W	OPC	BFS	FA	MA ¹⁾	S	G	AD
ST	46.4	48.0	155	134	134	66	-	847	925	0.7%

1) MA : Mineral active admixture

1시리즈에서는 결합재 배합비 및 반응 활성 무기질 자극제사용에 따른 모르타르 실험을 진행하였다. 시멘트는 10%, 플라이애시는 20%로 사용량을 고정하고, 고로슬래그 미분말 및 활성 무기질 자극제의 배합비를 조절하여 모르타르 강도 발현 특성을 검토하였다. 최적 배합비의 무기질 자극제에 대한 고로슬래그 미분말과의 사용 비율을 변동시킨 경우에서도 강도 발현성을 검토하였다. 모르타르 강도 시험 방법은 KS L ISO 679 시멘트의 강도 시험 방법에 준하여 진행하였다.

2시리즈에서는 1시리즈에서 검토된 모르타르 강도 특성을 토대로, 적정 결합재 배합비를 선정하여 저발열 콘크리트의 기초물성 및 수화발열특성을 검토하였다. 저발열 콘크리트의 기초물성으로서는, 굳지않은 성상과 재령별 압축강

도를 측정하였으며, 단열온도상승시험을 진행하여 수화발열량을 측정하였다. 기준 콘크리트 배합은 Table 3에 나타내었다.

2.2 사용 재료

본 연구에 사용된 재료에 대한 기초물성 결과를 Table 4에 나타내었다.

시멘트는 1종, 고로슬래그 미분말은 3종, 플라이애시는 2종 제품을 사용하였으며, 혼화재를 활성화시키기 위한 무기질 자극제의 원료로서 생석회, 천연무수석고, CSA 분말 등을 사용하였다.

콘크리트 실험의 경우 잔골재는 세척사를 사용하였으며, 굵은골재는 최대치수 25 mm 부순굵은골재를 사용하였다. 폴리카르본산계 고성능AE감수제를 사용하였다.

Table 4. Properties of material

Kinds	Ini.	Properties
Ordinary Portland Cement	OPC	blaine 3 545 cm ² /g, density 3.14 g/cm ³
Blast Furnace Slag	BFS	blaine 4 435 cm ² /g, density 2.91 g/cm ³
Fly Ash	FA	blaine 4 396 cm ² /g, density 2.29 g/cm ³
Quick-Lime	QL	blaine 3 674 cm ² /g, density 2.82 g/cm ³
Gypsum	Gs	blaine 2 973 cm ² /g, density 3.28 g/cm ³
Calcium Sulfate Aluminate	CSA	blaine 3 945 cm ² /g, density 2.76 g/cm ³
Sea sand		density 2.60 g/cm ³ , FM 2.81, absorption 0.76 %
Crushed stone		G _{max} 25 mm, density 2.61 g/cm ³ , FM 6.60, absorption 0.68 %
Chemical Admixture		Poly-Carboxylate

Table 5. Chemical composition analysis

	OPC	BFS	FA	QL	Gs	CSA
SiO ₂	20.78	32.81	69.1	2.82	0.82	10.05
Al ₂ O ₃	5.53	14.85	20.14	0.18	0.25	33.31
Fe ₂ O ₃	3.15	0.35	4.11	0.72	0.33	2.05
CaO	61.66	41.23	2.43	85.35	40.85	42.12
MgO	3.22	5.28	0.00	0.99	0.00	0.00
SO ₃	2.43	4.25	0.36	0.19	54.91	9.93
Ig. Loss	2.19	0.98	3.52	9.17	2.65	1.65

2.3 결합재 원재료 분석

2.3.1 DTA 열분석

결합재 각각의 원재료에 대한 화학 분석 결과를 Table 5에, 열분석 결과 Figure 1에 열량 변화율, Figure 2에 질량

변화율을 나타내었다.

화학성분 분석 결과, 무기질 자극제로 사용될 생석회, 석고, CSA는 모두 CaO 함량이 많은 것으로 나타나고 있으며, 석고의 경우에는 SO₃ 함량이, CSA의 경우에는 Al₂O₃의 함량이 상대적으로 많이 함유되어 있는 것으로 나타났다.

결합재 원재료의 열분석 결과, 시멘트 및 고로슬래그 미분말의 경우 탈탄산 반응이 700 °C 부근에서 진행되는 것으로 나타났으며, 특히 고로슬래그 미분말의 경우 900 °C 부근에서 결정화에 따른 발열피크가 발생하고 있다.

무기질 자극제 원료로서의 생석회, 석고, CSA 열분석 결과, 생석회는 450 °C 부근에서 Ca(OH)₂에 의한 흡열피크 및 750 °C 부근에서 탈탄산에 의한 흡열피크가 발생하고 있다.

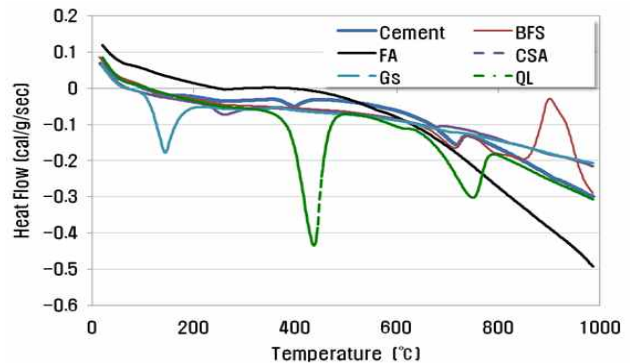


Figure 1. Variation of heat flow

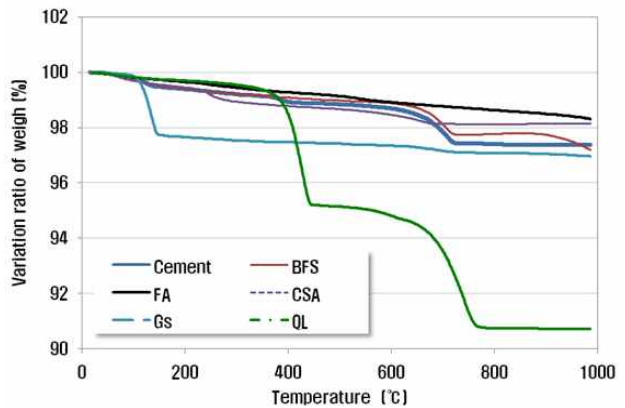


Figure 2. Variation ratio of weigh

석고의 경우에는 본 연구에 사용된 석고는 천연무수석고로서, 150°C 부근에서 소량 이수석고의 탈수에 의한 흡열피크가 발생하고 있다.

가열온도에 따른 질량변화율은 대부분의 재료가 유사한

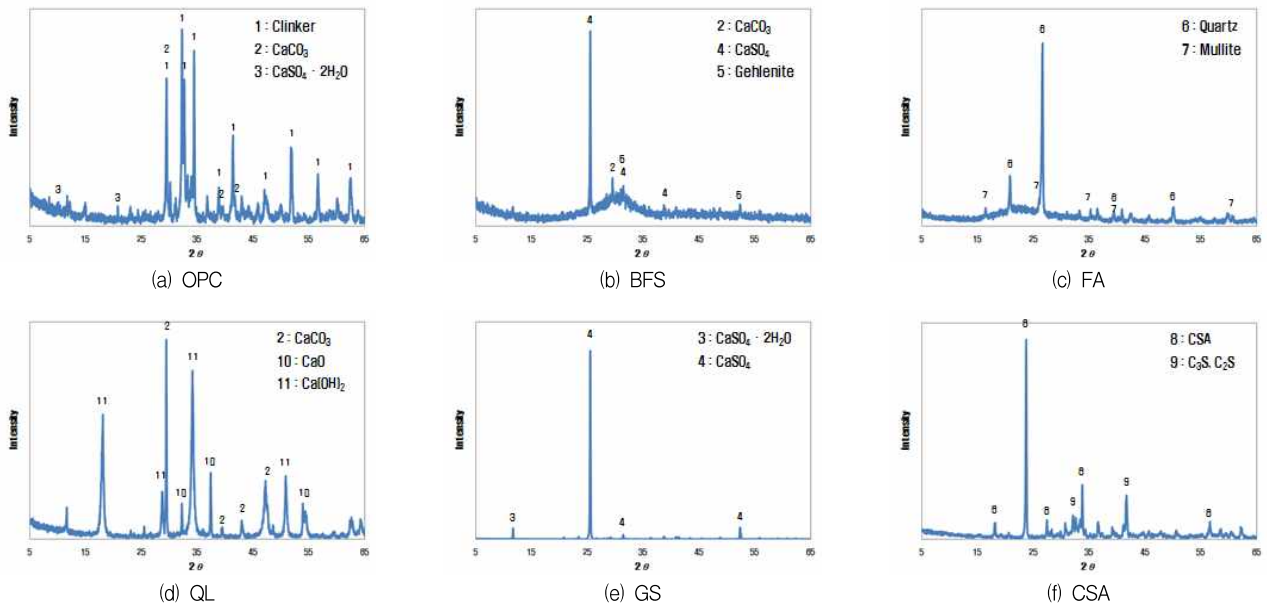


Figure 3. XRD of material

질량 감소를 나타내고 있으나, 석고의 경우에는 탈수 과정에서 질량감소가 다소 많이 나타나고 있으며, 생석회의 경우에는 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 분해 및 탈탄산 과정에 의해 질량이 크게 감소하는 것으로 나타났다.

2.3.2 XRD 분석

원재료의 XRD 분석 결과를 Figure 3에 나타내었다.

OPC의 경우 C_3S , C_2S , C_3A 및 C_4AF 등의 시멘트 클링커 광물상이 주로 나타나고 있으며, 이외 석고 및 석회석(CaCO_3)에 의한 회절 피크가 나타나고 있다. 고로슬래그 미분말은 시멘트에 비해 두드러진 회절 피크는 나타나지 않고 있으나, 반응성 촉진을 위해 첨가된 석고(CaSO_4)에 의한 회절 피크가 두드러지게 나타나고 있으며, 그 외 석회석 및 고로슬래그의 전형적인 결정상인 Gehlenite에 의한 회절 피크가 나타나고 있다. 이는 고로슬래그 미분말은 전반적으로 비정질 물질로서 특정 결정구조를 갖지 않아 특정 회절 피크가 발생하지 않으며, 반응성 촉진을 위해 첨가된 석고와 석회석에 의한 회절 피크가 나타나는 것으로 판단된다. 플라이애시의 경우 전형적인 결정상인 Quartz와 Mullite에 의한 회절피크가 강하게 나타나고 있다.

무기질 자극제로 사용된 원료들에 대해서는, 생석회의 경우 결정성이 높은 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 와 CaCO_3 및 CaO 의 회절 피크가 나타나고 있고, 천연무수석고의 주성분인 CaSO_4 에 의한

회절 피크가 주로 나타나고 있으며, CSA의 경우 주결정상인 CSA이외에 소성 과정 중 일부 생성된 것으로 판단되는 C_3S 및 C_2S 에 의한 회절 피크가 나타나고 있다.

3. 시험 결과

3.1 모르타르 강도 발현 특성 검토

3.1.1 자극제 배합비 검토

무기질 자극제의 사용 방법에 따른 모르타르 강도 발현 특성 결과를 Table 6에 나타내었다[9].

생석회의 사용을 주로하고 천연무수석고 및 CSA 배합비를 변동시킨 무기질 자극제의 혼합비에 따른 모르타르의 강도 발현특성을 검토한 결과, 생석회, 천연무수석고, CSA 각각을 단독 사용한 경우에 있어서는 강도 발현이 다소 저하하는 것으로 나타났으며, CSA는 초기강도 발현이, 석고는 전반적으로 강도 발현에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

무기질 자극제를 혼합 사용한 경우에 있어서는 생석회와 석고를 동일 배합비로 사용하거나, 생석회와 석고, CSA 배합비가 5:4:1의 경우와 천연무수석고 및 생석회만을 5:5 사용한 경우가 상대적으로 강도 발현이 가장 양호한 것으로 나타났다. CSA를 사용할 경우는 사용하지 않는 경우에 비해 초기 강도는 증가하는 경향을 나타내고 있으나, 장

Table 6. Mix proportion and mortar strength

OPC	FA	BFS	QL	Gy.	CSA	Strength (MPa)		
						3	7	28
Portland Cement Type II						7.5	15.0	32.5
40	20	40	0	0	0	16.3	27.6	45.9
			70	0	0	10.2	15.5	24.4
			10	0	0	10.7	22.6	34.3
			0	10	0	9.9	19.8	28.9
			0	0	10	17.6	22.5	25.3
10	20	60	6	4	0	12.8	25.1	37.1
			3	1	0	13.3	24.6	35.9
			5	5	0	12.4	24.1	38.5
			4	1	0	13.3	26.4	37.1
			6	0	0	11.8	23.2	35.5
			4	5	1	13.1	22.8	33.7

기적으로는 강도 발현이 다소 저하하는 경향을 나타내고 있다.

3.2 수화 특성 분석

무기질 자극제 배합은 무수석고와 생석회 혼합 비율이 유사한 경우와 CSA 소량 첨가한 경우가 모르타르 강도 발현 특성이 상대적으로 양호하게 나타나고 있으며, Table 7에 나타난 배합비에 대해 수화 특성 및 콘크리트 수화열 특성을 평가하였다.

Table 7. Mix proportion and mortar strength

	OPC	FA	BFS	MA	MA (%)		
					QL	Gs	CSA
LHBC ¹⁾	40	20	40	0	0	0	0
Non-MA ²⁾	10	20	70	0	0	0	0
MA 1	10	20	60	10	5	4	1
MA 2	10	20	60	10	5	5	0

1) LHBC : Low heat blended cement
2) MA : Mineral activator

3.2.1 미소수화열 분석

결합재 배합비에 따른 시간별 미소수화발열량을 Figure 4에, 경과 시간에 따른 누적수화발열량을 Figure 5에 나타내었다.

대부분의 배합에서 C3A상에 의한 급격한 수화 진행으로 인해 1차 발열피크가 나타나고 있으며, 이후 수화과정을 통해 2차 및 3차 발열 피크가 나타나고 있다.

LHBC(Low heat blended cement)의 경우 비교 배합

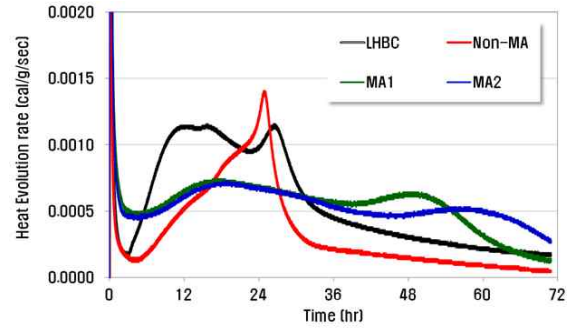


Figure 4. Heat evolution according to binder conditions

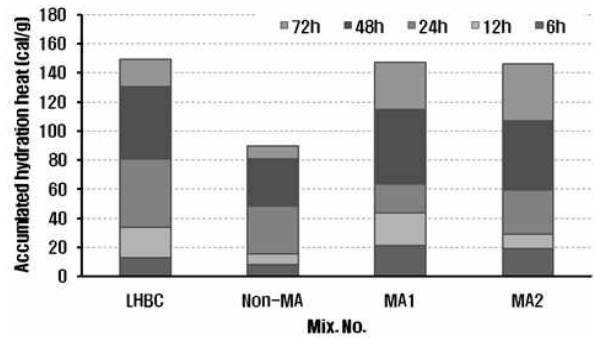


Figure 5. Accumulated hydration heat

중 시멘트 사용량이 가장 많기 때문에 2차 및 3차 발열피크가 크게 나타나고 있으나, 저탄소 배출형 배합의 경우에는 시멘트량이 매우 적어 C₃S에 의한 2차 발열피크가 상대적으로 낮고 완만하게 나타나고 있다.

저탄소 배출형 배합의 경우 Non-MA(Non mineral activator)와 비교 배합인 LHBC의 경우 무수석고를 첨가하지 않아 수화 반응 개시 후 30시간 이내에 Ettringite에서 Monosulfate로의 전이에 따른 3차 발열 피크가 발생되고 있으나, 석고에 의한 SO₃ 공급에 의해 MA1 및 MA2는 Monosulfate의 전이가 지연되어 3차 발열피크도 지연되는 것으로 나타났다.

결합재 배합비에 따른 누적수화발열량을 살펴보면, 무기질 자극제를 사용하지 않은 Non-MA의 경우 경과시간에 따른 누적수화발열량이 가장 낮은 값을 나타내고 있으나, 무기질 자극제를 사용한 MA1 및 MA2는 LHBC와 유사한 수준의 누적수화발열량을 나타내고 있다. 특히 수화진행 초기 12시간에서는 CSA를 사용한 MA1이 가장 많은 누적수화발열량을 나타내고 있으며, MA2도 LHBC보다 누적수화발열량이 높은 것으로 나타나고 있어서, 무기질 자극

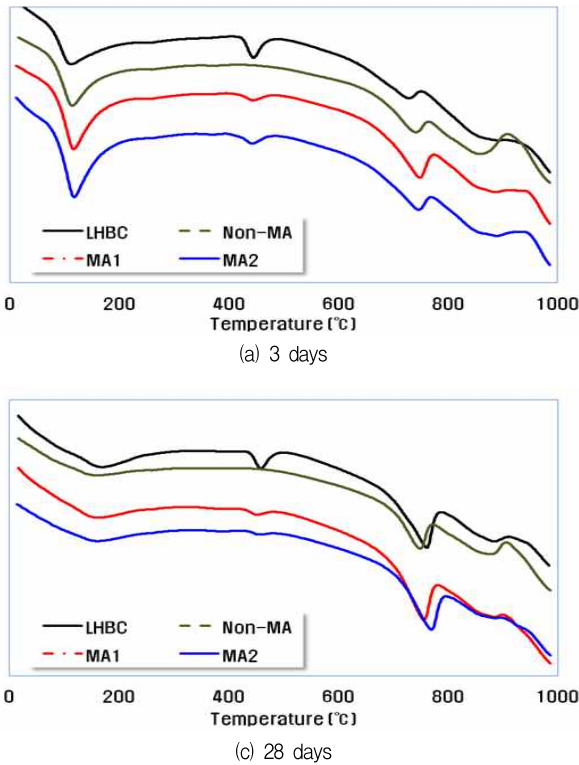


Figure 6. Heat analysis

제에 의한 수화 촉진 효과가 있는 것으로 나타났다.

3.2.2 DTA 열분석

열분석에 의한 각 배합에 따른 재령별 수화상 분석 결과를 Figure 6에 나타내었다.

열분석 결과 흡열피크의 차이는 있으나 모든 배합이 100~200 °C 부근에서 자유수, Ettringite, CSH(Calcium Sulfate Hydrate)상 등에 의한 흡열피크가 모든 배합에서 발생하고 있으며, 450 °C 부근에서는 Ca(OH)₂의 분해에 의한 흡열피크가 발생하고 있고, 또한 700~750 °C 부근에서는 CaCO₃의 흡열피크가 나타나고 있다.

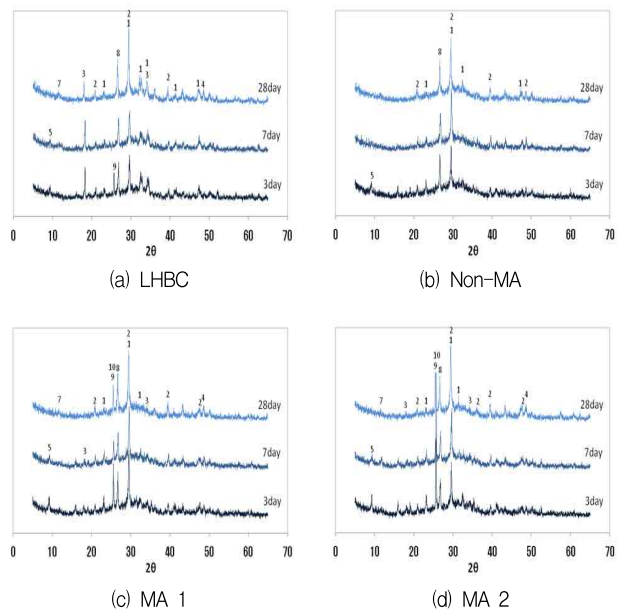
재령별 열분석 결과, 재령 3일에서 LHBC의 경우 비교 배합 중 상대적으로 높은 OPC 사용량에 의해 CSH상 및 Ettringite에 의한 흡열피크가 100~200 °C 범위에서 나타나고 있으며, 450 °C 부근에서 Ca(OH)₂의 흡열피크가 가장 크게 나타나고 있지만, 저탄소 배출형 결합재 배합에서는 100~120 °C의 좁은 범위에서 High Sulfoaluminate 또는 Calcium Sulfate Hydrate로 추정되는 흡열피크와 450 °C 부근에서 Ca(OH)₂의 흡열피크가 나타나고 있다. 특히 무기 질 자극제가 사용되지 않은 Non-MA의 경우에는 Ca(OH)₂

의 흡열피크가 매우 작게 나타나고 있다.

재령 28일에서의 열분석 결과, 고로슬래그 미분말 및 플라이애시의 수화 반응에 따른 Ca(OH)₂의 소모에 의해 모든 결합재 조건에서 Ca(OH)₂의 흡열피크 발생이 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 특히 Non-MA의 경우에는 흡열피크가 거의 나타나지 않고 있지만, MA1 및 MA2의 경우에는 생석회의 사용에 기인하여 Non-MA보다는 Ca(OH)₂의 생성량이 증가하여 혼화재의 수화 진행에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

3.2.3 XRD 분석

각 결합재 배합비에 따른 XRD 분석 결과를 Figure 7에 나타내었다.



1.Clinker 2.CaCO₃ 3.Ca(OH)₂ 4.CSH 5.Ettringite 6.Monosulphate 7.C₃A·CaCO₃·12H₂O 8.Quartz 9.Calcium Sulfate Hydrate 10.Mullite

Figure 7. XRD of binder conditions

본 연구에 사용된 결합재에는 모두 플라이애시가 혼입되어 있어서, 모든 배합에서 공통적으로 플라이애시의 주상인 Quartz의 피크가 재령 56일까지 나타나고 있다.

LHBC의 경우, Ca(OH)₂의 피크가 모든 재령에서 나타나고 있으나, 재령이 경과함에 따라 피크 강도는 다소 감소하는 경향을 나타내고 있다. 또한 초기 수화생성물인 Ettringite 및 Calcium sulfate hydrate가 초기 재령 3일에서는 관찰

되었지만 장기재령에서는 나타나지 않고 있다.

저탄소 배출형 배합의 경우, Non-MA에서는 초기재령에서 Ettringite의 피크 외에 다른 수화생성물의 피크는 대부분의 재령에서 나타나지 않고 있으며, 특히 고로슬래그 미분말 또는 플라이애시의 수화에 영향을 미치는 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 피크가 거의 나타나지 않고 있어서, 매우 낮은 시멘트의 사용만으로는 소요의 콘크리트 성능 확보가 곤란한 것으로 나타났다. 무기질 자극제를 사용한 경우 MA1 및 MA2 모두 무수석고의 사용에 의한 Calcium sulfate hydrate 및 Ettringite의 피크가 장기재령까지 나타나고 있으며, 특히 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 피크도 장기재령에서 확인되었다.

3.3 콘크리트 특성 분석

3.3.1 굳지않은 콘크리트 특성

결합재 배합 조건에 따른 목표 슬럼프 확보 단위수량의 변화를 Figure 8에, 경과시간에 따른 슬럼프 및 공기량 저하를 Figure 9에 나타내었다.

예비 실험을 통해 기준 배합의 측정 슬럼프를 기준으로

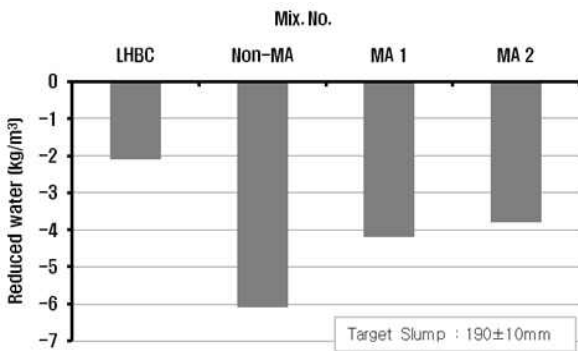


Figure 8. Variation of unit water

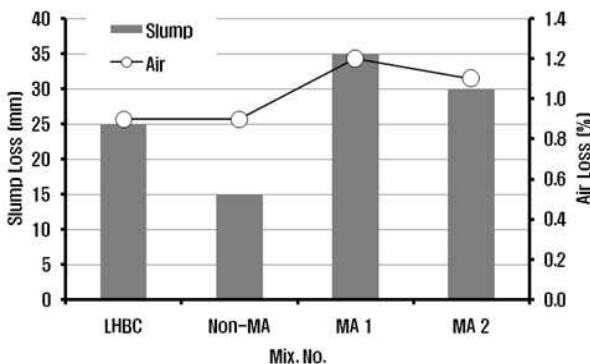


Figure 9. Variation of fresh concrete with the passage of time

목표 슬럼프 (190 ± 10) mm를 설정하였으며, 이를 만족시키는 단위수량의 변동은 모든 배합에서 설계 수량보다는 단위수량이 감소하는 경향을 나타내고 있으며, LHBC보다 저탄소 배출형 혼합시멘트를 사용하는 경우가 단위수량 감소량이 더 크게 나타나고 있다. 이는 LHBC보다 결합재 배합 조건에서 혼화재의 사용량이 많기 때문인 것으로 판단된다. 무기질 자극제의 사용 유무에 따른 단위수량의 변화는 자극제로서 CSA를 사용한 경우가 CSA를 사용하지 않는 경우 및 Non-MA보다 감수량이 다소 증가하지만 큰 차이는 아닌 것으로 판단된다.

경과시간에 따른 슬럼프 및 공기량의 성능 저하 폭을 살펴보면, 무기질 자극제를 사용하지 않는 Non-MA가 가장 경시변화가 적은 것으로 나타났으며, 무기질 자극제를 사용한 경우에는 다소 슬럼프로스가 증가하는 경향을 나타내고 있다. 특히 CSA를 사용한 경우 상대적으로 슬럼프로스가 더 증가하는 것으로 나타났다.

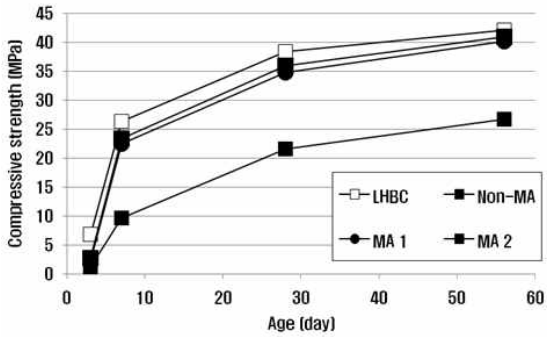
3.3.2 콘크리트의 압축강도 발현 특성

재령별 압축강도 발현 특성을 Figure 10에 나타내었다.

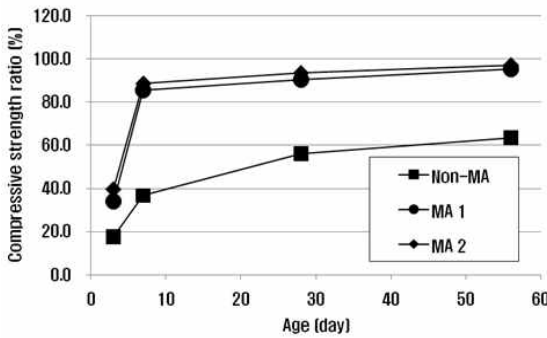
압축강도 발현 특성은 모든 재령에서 LHBC가 가장 강도 발현이 높은 것으로 나고 있으며, 무기질 자극제를 사용하지 않은 Non-MA가 가장 강도 발현이 낮아서, 혼화재의 반응성 확보를 위한 최소 시멘트량을 확보하거나 별도의 자극제를 사용하지 않을 경우에는 콘크리트의 강도발현성 확보가 불가능한 것으로 나타났다.

무기질 자극제를 사용한 경우 초기재령에서는 LHBC에 비해 강도 발현이 저하 하지만 재령 3일에서 80 % 이상을 발현하며, 재령 56일에서는 거의 유사한 강도발현을 나타내고 있다. 또한 무기질 자극제 배합비에 따른 강도 발현의 특성은 초기 재령 1일에서는 CSA를 사용한 MA2가 MA1에 비해 다소 높은 강도 발현을 나타내고 있으나, 재령 3일 이후에는 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

따라서 저발열 콘크리트에서 일반적으로 장기재령의 압축 강도 관리 재령이 요구되는 경우에는 혼화재의 활성 자극제의 사용에 의해 시멘트량을 대폭 감소시켜도 소요의 콘크리트 성능 확보가 가능한 것으로 판단된다.



(a) Compressive strength



(b) Compressive strength ratio for LHBC

Figure 10. Properties of compressive strength

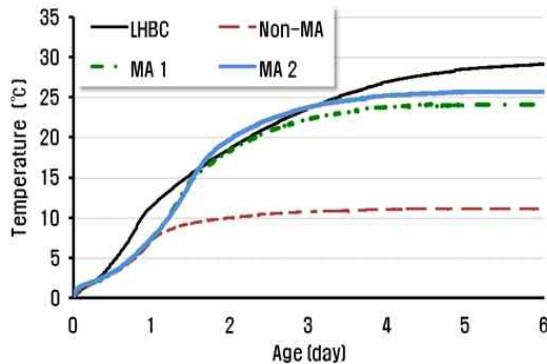


Figure 11. Adiabatic test result

3.3.3 콘크리트의 단열온도상승 시험콘크리트의 압축 강도 발현 특성

결합재 배합 조건에 따른 단열온도상승량을 Figure 11에 나타내었다.

시멘트량이 가장 많은 LHBC가 재령 1일까지의 초기 수화진행 속도가 빨라 급격한 상승속도를 나타내고 있으며, 재령이 경과함에 있어서도 온도 상승량이 가장 높게 나타나고 있다.

탄소 발생 저감형 배합에 있어서 무기질 자극제를 사용

하지 않은 Non-MA 배합은 가장 낮은 온도 상승량을 나타내고 있으며, 재령 2일 이후의 온도 상승이 거의 없는 것으로 나타났고, LHBC에 비해서 최대 약 20 °C 정도 낮은 수준을 나타내고 있다. 무기질 자극제를 사용한 배합에 있어서도 LHBC에 비해 약 5 °C 내외 온도 상승을 억제시킬 수 있는 것으로 나타났으며, 재령 2일까지는 무기질 자극제 배합비에 따른 온도 상승량의 차이는 거의 없지만, 재령 2일 이후에는 MA2가 MA1에 비해 온도가 약 2 °C 상승하는 것으로 나타났는데, 이는 석고량의 차이에 기인하는 것으로 판단된다.

4. 결 론

건설 산업에서 탄소 발생 저감을 위해 저발열 콘크리트에 사용되는 저발열형 혼합시멘트에 비해 시멘트 사용량을 대폭 감소시키고, 무기질 자극제를 사용한 경우의 저탄소 배출형 혼합시멘트의 수화 특성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 고로슬래그 및 플라이애시의 수화 활성을 촉진하기 위한 천연무수석고 및 생석회를 첨가하였을 경우 강도발현에 효과가 있는 것으로 나타났다.
- 2) 천연무수석고의 경우, 포졸란 물질의 반응성을 촉진시켜 초기강도 발현에 영향을 미치는 것으로 나타났다.
- 3) 생석회를 첨가하였을 경우, CaO 공급원 역할을 하여 장기강도 발현에 효과가 있는 것으로 나타났다.
- 4) XRD 분석 결과, 무기질 자극제를 사용하지 않는 경우에는 장기 재령에서의 수화생성물이 적게 나타나고 있으나, 석고를 사용한 경우, Ettringite가 생성되었다.
- 5) 시멘트 사용량을 대폭 감소시킨 경우 혼화재에 의한 유동성 증진 효과가 나타나고 있으며, 무기질 자극제를 사용한 경우에는 경과시간에 따라 유지성능이 다소 저하하는 것으로 나타났다.
- 6) 무기질 자극제를 사용함에 따라 장기재령에서는 저발열 혼합시멘트와 거의 유사한 수준으로 나타났다.
- 7) 단열온도상승시험 결과, 저발열형 시멘트를 사용하는 경우 온도 상승량도 감소하는 것으로 나타났으며, 무기질 자극제를 사용하는 경우에는, 혼화재의 수화 활성화로 인해 온도 상승량의 감소폭은 다소 줄어드는 것으로 나타났다.

8) 콘크리트 시험 결과, 무기질 자극제 사용에 따라 기존의 저발열 혼합시멘트에 비해 시멘트의 배합비율을 낮출 수 있는 것으로 나타났다.

요 약

건설재료 중 시멘트 및 철강은 대표적으로 탄산가스를 발생시키는 재료산업이다. 건설 산업에서의 탄소 배출량 감소를 위해서는 이러한 재료의 사용을 감소시키는 것이 가장 효과적이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 시멘트의 사용량을 감소시킨 저발열형 혼합시멘트의 개발을 목적으로 하고 있다. 시멘트 혼합 비율을 10 %로 낮춘 저탄소 배출형 저발열 혼합시멘트의 수화 특성 및 콘크리트의 온도상승 특성을 검토하였다. 시험 결과, 혼화재의 반응 활성화를 위해서는 CaO 및 SO₃의 공급원 필요하며, 석고 및 생석회를 적정 배합비율 적용할 경우 초기에는 강도 발현이 다소 지연되지만 장기재령에서는 기존의 저발열 혼합시멘트와 유사한 성능을 확보 가능한 것으로 나타났다. 특히 저탄소 저발열 혼합시멘트의 경우 콘크리트의 수화열도 기존 저발열 혼합시멘트에 비해 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다.

키워드 : 저탄소 저발열 혼합시멘트, 혼화재, 수화반응

Acknowledgement

This research was supported by a grant(Code 11-Technology Innovation-F04) from Construction Technology Innovation Program(CTIP) funded by Ministry of Land, Transportation and Maritime Affairs(MLTM) of Korean government.

References

1. Cho JW, CO₂ Reduction Cement Technologies, Magazine of the Korea Concrete Institute, 2011 Nov;23(6):32-5.
2. Han HS, Jin YM, The Future of Concrete Admixture Industry for Low Carbon, Magazine of the Korea Concrete Institute, 2009 Jul;21(4):41-4.
3. Lee HS, CO₂ Reduction Technology for Concrete, Magazine of Korea Concrete Institute, 2011 Nov;23(6):28-31.

4. Arai Y, The Chemical material of Cement, 2nd rev. ed, Jang BK, Jung CJ, Lee JH, Lim YM, translators, Gwangju: Cheonnam National University; 1998. 311 p.
5. Song TH, Lee SH, The study on Design and Utilization of CSA Mineral Admixture for Concrete, Gyeonggi-do(Korea): Korea institute of construction technology; 2005. 211 p. Report No.: KICT 2005-042.
6. Soh YS, Piao YM, Mun GJ, Hyoung WG, Properties of cement mortar using blast furnace slag with types of accelerator, Journal of the Architectural Institute of Korea, 2002 May;18(5):65-72
7. Moon KJ, Lee CW, So WY, Soh TS, Hydration Reaction of Non-Sintering Cement Using Inorganic Industrial Waste as Activator, Journal of the Korea Concrete Institute, 2006 Apr;18(2):267-74.
8. Kanai R, Wachi M, Tsuji D, Inoue K, Mitsui K, Yonezawa T, Basic Properties of Concrete Containing High Amount of Blast Furnace Slag - (Part2) Influence of SO₃ Amount and Water Cement Ratio on Fresh Property and Compressive Strength, Proceedings of the Architectural Institute of Japan; 2011 August 23-25; Kanto, Tokyo(Japan): Architectural Institute of Japan; 2011, p. 207-8
9. Korea Standards Association, KS L 5201 Portland Cement, Korea Standards Association; 2011.