

# 저온환경에서 알루미나시멘트를 사용한 모르타르의 단열양생에 따른 기초물성 평가

## Fundamental Properties of Alumina Cement Mortar by Insulation Curing Method under Low Temperature

박정훈<sup>1\*</sup>

기경국<sup>2</sup>

Park, Jung-Hoon<sup>1\*</sup> Ki, Kyoung-Kuk<sup>2</sup>

Technical Research Center, Chemicon Co., Ltd, Kwanghyeowon-myeon, Jinchun, 27809, Korea <sup>1</sup>  
R&D Center, Chemicon Co., Ltd, Yeongtong-gu, Suwon, 16690, Korea <sup>2</sup>

### Abstract

In order to examine the possibility of practical use of aluminate cement concrete at low-temperature environment with insulation method, an experimental studies on flowability, setting time, freezing temperature, size variation and compressive strength of the mortar at low-temperature were conducted. Compressive strength was increased in use of CSA, aluminate cement with gypsum. Workability and physical properties were improved by using aluminate cement and gypsum. In addition, freezing resistance and physical properties were improved by applying the insulation curing method. Especially, when alumina cement and gypsum were used together, the insulation curing method was more effective in improving the compressive strength.

Keywords : low temperature, aluminate cement, insulation curing method

### 1. 서론

최근 국내 건설산업의 포화로 인해 신규 건설시장으로 진출하기 위한 사업의 일환으로 고위도지역인 몽골, 러시아 등 극한지역에 대한 건설공사를 수행하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이러한 극한지역의 경우 일반적으로 콘크리트 공사가 불가능한 혹한기의 지속기간이 상당하여 연중 콘크리트 공사가 가능한 시기가 제약된다. 특히, 고층 및 대형건축물과 같은 장기간의 공사기간이 요구되는 건설 프로젝트의 경우 연중 공사기간이 부족할 경우 총 공사기간이 연단위로 증가할 수 있으며, 이에 따른 비용이 추가적으로

로 증가하여 시공에 어려움이 있는 실정이다. 이러한 극한지역에서 연중 콘크리트 공사가능시기를 1~2개월 확장할 경우 총 공사기간을 연단위로 저감할 수 있을 것으로 예상된다. 저온환경에서 콘크리트를 시공할 경우 초기동해에 의한 강도발현이 지연되는 문제가 발생된다. 재료, 시공 및 양생조건 등을 조절하여 초기동해를 방지할 수 있으며, 3일 이내 5MPa의 압축강도를 확보하는 것이 중요하다[1].

현재 국내의 한중콘크리트 공사는 일부 긴급공사를 제외하고는 대부분이 한중콘크리트에서 지정한 기준온도인 4℃ 이하에서 공사를 진행하지 않는 실정이며, 일부 긴급공사에서는 콘크리트가 저온환경에 노출되는 것을 방지하기 위하여 열선, 온풍기 및 단열설비를 사용한 가열보온양생을 수행하는 경우가 대부분이다. 보온양생의 경우 과도한 에너지 사용량 및 열원의 불균일한 공급 등으로 인해 품질저하, 공기지연 및 공사비 증대 등의 문제점이 발생되며 보온양생을 최소화 하며 콘크리트 자체의 빙결온도를 저감시키고 초기에 시멘트 수화반응을 촉진시키기 위한 기술개발의 연구가

Received : May 16, 2017

Revision received : June 30, 2017

Accepted : August 16, 2017

\* Corresponding author : Park, Jung-Hoon

[Tel: 82-41-858-1160, E-mail: jhpark@chemicon.co.kr]

©2017 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

활발하다[2, 3].

알루미나시멘트는 특수시멘트로서 속경성, 조강성, 발열성이 높은 특성을 나타내며 국외 연구의 경우 저온에서 초기 수화반응으로 인한 강도발현특성이 우수한 것으로 보고되고 있다[4]. 알루미나시멘트의 높은 초기발열특성은 일반적인 상온에서는 높은 수화열로 인해 급결 또는 균열이 발생되어 콘크리트 품질이 저하될 수 있으나, 한중콘크리트와 같은 저온환경에서는 초기발열특성으로 인한 온도상승효과가 자체적으로 가열양생의 효과를 발휘하게 되고, 추가적으로 단열양생공법을 적용하여 초기발열반응으로 인한 온도상승효과를 증진시킬 수 있으며 초기동해피해를 방지할 수 있을 것으로 예상된다. 그러나 국내에서는 한중콘크리트공사에서 알루미나시멘트를 적용한 실질적 시공사례 및 평가연구는 미비한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 알루미나시멘트를 사용한 저온환경하 콘크리트의 실무 활용 가능성을 검토할 목적으로 알루미나시멘트 및 알루미나 복합체를 활용한 모르타르의 배합 조건에 따른 기본물성 및 온도저동특성을 평가하였다. 또한 알루미나시멘트의 발열반응을 증진시킴에 따른 특성변화를 분석하기 위해 단열양생을 적용한 시험체와 비교하였다. 이를 통해 저온환경 알루미나시멘트의 적정배합을 제안하고 한중콘크리트에 사용하는 방안을 연구하기 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

## 2. 기존 문헌 고찰

### 2.1 알루미나시멘트 개요

알루미나시멘트는 보크사이트, 토혈암 등 알루미나질 원료와 석회석을 용융 또는 소결하여 제조되는 특수시멘트로서 보통포틀랜드시멘트 대비 물과 혼합되어 경화할때까지의 시간이 짧은 조강시멘트에 해당된다. 주성분은 CaO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 80%이상을 차지하며 원료의 종류 및 제조방법에 따라 CaO와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 결합방식이 C<sub>3</sub>A, C<sub>12</sub>A<sub>7</sub>, CA, CA<sub>2</sub>, C<sub>4</sub>AF 등의 화합물의 함량별 조합으로 구성된다. Table 1에 시멘트의 구성 화합물별 수화반응 속도를 나타내었다. 알루미나시멘트는 주요 화합물의 구성종류에 따라 C<sub>12</sub>A<sub>7</sub>와 CA를 각각 주요 화합물로 종류가 구분된다[3].

C<sub>3</sub>A, C<sub>3</sub>S, C<sub>12</sub>A<sub>7</sub>, CA, C<sub>2</sub>S, CA<sub>2</sub>의 순서로 수화반응 속도가 빠르며 이는 CaO의 비율이 높을수록 경화속도가 빠름을 의미한다[3].

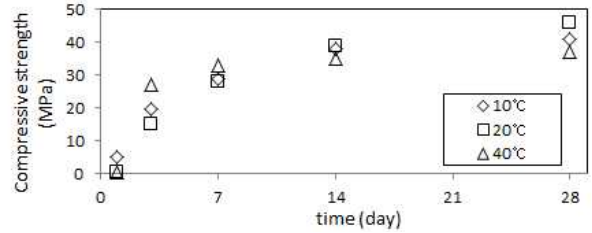


Figure 1. Development of compressive strength according to cement curing temperature

Table 1. Reactivity of anhydrous phases of cement

Cement	Portland cement			Calcium aluminate cement				
	CS	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> S	C	C <sub>3</sub> A	C <sub>12</sub> A <sub>7</sub>	CA	CA <sub>2</sub>
Reactivity	Inert	Slow	Rapid	Instant	Very rapid	Rapid	Rapid	Slow

C=CaO, A=Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, S=SiO<sub>2</sub>, F=Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Table 2. Hydration heat of cement phase simulated using least square method

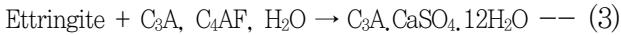
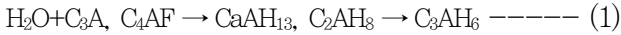
Cement	Hydration heat (KJ/kg)						
	3day	7day	28day	90day	1year	6.5year	13year
C <sub>3</sub> S	243	222	126	435	490	490	510
C <sub>2</sub> S	50	42	105	176	226	222	247
C <sub>3</sub> A	887	1556	1377	1301	1167	1372	1356
C <sub>4</sub> AF	289	494	494	410	377	464	427

알루미나시멘트는 수화반응 과정에서 발열반응이 단시간에 집중되어 높게 나타난다. Table 2는 최소자승법에 의해 산정된 시멘트 구조화학적성분의 수화열을 나타낸 것이다. 즉, 알루미나시멘트의 사용으로 인한 C<sub>3</sub>A의 높은 수화열은 시멘트 및 콘크리트의 정상적인 강도발현에 악영향을 미칠 수 있으며, 초기 급격한 수분증발 및 내외부 온도차에 의한 균열이 발생할 수 있어 사용에 주의가 요구된다. Figure 1는 알루미나시멘트의 초기재령 양생온도에 따른 강도발현특성을 나타낸 것이다. 알루미나시멘트 경화체의 양생온도가 높으면 응결이 조기에 발생되어 수화물 결정구조가 전이되어 수화생성물의 확산이 불충분하게 되고 강도가 저하되는 현상이 발생하는 것으로 조사되었다[3, 4].

### 2.2 알루미나시멘트의 강도발현 특성

알루미나시멘트는 자체의 속경성, 급결현상 및 높은 수화열발생 특성을 조절하기 위해 석고 및 지연제를 혼합하여 수화반응 속도를 조절하여 사용하는 것이 중요하다. C<sub>3</sub>A, C<sub>12</sub>A<sub>7</sub>은 알루미나시멘트의 주성분으로서 석고와 물과 반응

하여 침상형의 ettringite를 생성하게 되며 이는 C<sub>3</sub>A, C<sub>12</sub>A<sub>7</sub>의 급결을 방지한다. 또한 ettiringite는 물, 시멘트, 석고와 반응 후 수시간이 지난 뒤 석고의 고갈에 따라 ettringite의 석고가 미수화된 C<sub>3</sub>A, C<sub>12</sub>A<sub>7</sub>성분과 반응하여 mono sulfate 수화물로 전환되어 장기전이로 인한 안정성불량을 방지하는 것으로 알려져 있다.



석고를 사용하지 않은 알루미늄시멘트 단독사용의 반응은 식 (1)에 나타난 반응식에 해당되며, 석고를 사용하여 ettringite와 mono sulfate 수화물이 생성되는 반응식은 식 (2), (3)에 의한 것으로 보고되고 있다. 한편, 석고의 사용량이 적정수준을 초과할 경우 ettringite가 과생성되어 팽창현상으로 인해 수화물조직이 파괴될 수 있으며, 적절한 석고의 사용량을 선정하는 것이 중요하다[3,4].

현재 알루미늄시멘트는 주 성분인 CaO 및 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 결합 형태에 따라 수화반응속도를 조절하기 위한 석고 또는 SO<sub>3</sub> 화합물을 적정비율만큼 혼합하여 사용되는 것이 일반적이다. 또한, 알루미늄시멘트와 별도로 제조과정에서부터 SO<sub>3</sub> 성분이 포함되어 생산되는 CSA계 재료(Calcium sulfaluminate cement)가 있으며 이는 별도의 석고사용이 요구되지 않는 특징이 있다.

### 3. 실험계획 및 방법

본 연구에서는 저온환경에서 알루미늄시멘트의 사용방법에 따른 모르타르의 초기발열효과와 강도발현특성을 비롯한 온도거동 특성을 평가하고자 하였다. 또한 초기발열효과를 증진시킴에 따른 특성변화를 분석하기 위해 단열양생을 적용한 시험체와 비교하였으며, 이를 위해 다음과 같은 실험계획을 수립하였다.

#### 3.1 실험계획

일반적으로 사용되는 보통포틀랜드시멘트 모르타르와의 비교를 위해 물-결합재비 42%, 결합재와 잔골재의 비율 1:3으로 하는 Plain 배합을 선정하였다. 알루미늄시멘트 사

용배합은 OPC(Ordinary Portland Cement) 대비 CAC(Calcium Aluminate Cement)를 30%만큼 치환하여 사용하도록 설정하였다. OPC에 CAC를 혼입하여 사용할 경우 급결현상 및 강도저하가 발생될 수 있으며, SO<sub>3</sub>성분을 포함하는 석고를 혼입하여 위의 문제점을 방지할 수 있다. 이에 따라 CAC 제품종류에 따라 해당 원료업체에서 제시하는 적정 석고의 사용방법에 따라 CAC와 석고의 비율을 2:1, 3:1로 혼합 적용하고, 저온환경하 모르타르의 양생과정에서 발생하는 수화열에 따른 특성을 검토하기 위해 모르타르 제작 온도를 10±2℃로 유지하였으며, 시편의 양생온도는 -5℃로 설정하였다.

단열공법의 적용여부에 따른 특성을 검토하기 위해 열전도율이 낮은 스티로폼을 사용한 단열거푸집을 사용하였고, 모르타르 내 온도거동, 수축거동, 압축강도 등 기초물성을 측정하였다.

세부 실험배합은 본 연구에 앞서 CAC와 시멘트를 혼입하여 사용할 경우 초기급결 및 작업성이 급감하는 것으로 나타났다. 이와 같은 문제점을 개선하기 위해 유동화제와 지연제를 설정하였다[2]. 유동화제는 PC계 고성능AE감수제를 바인더 대비 0.5%로 설정하였고, 지연제는 무수구연산을 바인더 대비 0.25%로 설정하였다.

Table 3. Design of experiment

Factors		Levels
W/B (%)		· 42
Binder : Sand ratio		· 1 : 3
Plasticizer		· Binder × 0.5wt%
Retarder		· Binder × 0.25wt%
Mixture	Curing temperature	· Sealed curing - 5℃ <sup>1)</sup>
	Curing form system	· Non-additional form system · Insulating form system
	Plain	· OPC 100%
Binder	Aluminate cement replacement	· CSA
		· CAC(CA)
		· CAC(CA)+gypsum
		· CAC(C <sub>12</sub> A <sub>7</sub> ) · CAC(C <sub>12</sub> A <sub>7</sub> )+gypsum
Experiment	Fresh mortar	· Flow · Setting time · Mortar temperature
	Hardened mortar	· Compressive strength (3, 7, 14(-5℃)+14(20℃) days) · Dimensional variation

1) Sealed curing for preventing of moisture evaporation

Table 4. Mix design of mortar

Specimen	Binder (g)					Sand, Water, Plasticizer (g)	Citric acid (g)	Curing system
	OPC	CSA	CAC1 (CA)	CAC2 (C <sub>12</sub> A <sub>7</sub> )	gyp-sum			
Plain	450						-	
CSA	315	135						
C1/S0	315		135					Non-insulating system
C1/S1	315		101		34		1.125	
C1/S2	315		90		45			
C2/S0	315			135				
C2/S2	315			90	45	S : 1,350 W : 189 P : 2.25		
Plain-i	450						-	
CSA-i	315	135						Insulating system
C1/S0-i	315		135					
C1/S1-i	315		101		34		1.125	
C1/S2-i	315		90		45			
C2/S0-i	315			135				
C2/S2-i	315			90	45			

### 3.2 사용재료

#### 3.2.1 시멘트 및 골재

시멘트 및 CAC 복합재료는 국내 시판되는 제품들 중 보통 포틀랜드시멘트, CSA계 시멘트, 광물조성에 따라 CA, C<sub>12</sub>A<sub>7</sub>을 각각 주성분으로 구성된 CAC와 석고가 혼합된 복합재료를 사용하였으며, CAC 제조업체에서 제안하는 가이드배합을 참조하여 CAC와 석고의 적정혼합비를 2:1, 3:1로 설정하였다. 잔골재는 ISO 표준사를 사용하였다. 시멘트 및 골재의 물리 화학적 성질을 Table 5, 6에 나타내었다.

Table 5. Chemical and physical properties of binder

Material	Chemical compositions (wt%)						
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	
OPC	21.86	4.95	3.66	61.70	2.75	2.16	
CSA	1.25	14.34	0.50	52.17	1.22	28.36	
CAC(CA)	3.44	40.24	16.80	38.49	0.76	0.24	
CAC(CA)+Gypsum (3:1)	2.06	24.14	10.08	43.09	0.46	20.14	
CAC(CA)+Gypsum (2:1)	2.67	30.81	12.8	27.56	0.62	25.08	
CAC(C <sub>12</sub> A <sub>7</sub> )	3.12	31.24	14.21	49.61	0.65	0.20	
CAC(C <sub>12</sub> A <sub>7</sub> )+Gypsum (2:1)	2.15	15.91	0.63	53.36	0.24	26.25	

Table 6. Physical properties of aggregate

Division	Maximum size of aggregate (mm)	Fineness modulus	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Absorption (%)	Unit volume of weight (kg/m <sup>3</sup> )
Standard ISO sand	2.0	2.60	2.61	1.0	1,600

#### 3.2.2 감수제 및 지연제

감수제는 국내 L사에서 상용중인 AE형 폴리카르본산계 감수제를 사용하였고, 지연제는 C사에서 판매하는 분말형태의 무수구연산을 선정하였다. 지연제는 저온환경에서 지연제가 혼합수에 용해되는데 시간이 소요되며, CAC 종류에 따라 지연제가 혼합수에 용해되는 속도가 달라질 수 있다. 따라서, 지연제의 용해속도가 본 실험결과에 미치는 영향을 동등하게 설정하기 위해 혼합수에 지연제를 완전히 용해시킨 후 모르타르 제조를 수행하였다. 감수제 및 지연제의 화학적 성질을 Table 7에 나타내었다.

Table 7. Physical properties of chemical admixture

Division	Main composition	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Shape	Color
AE water reducing agent	Carboxylic acid copolymer	1.07	Liquid	Dark brown
Retarder	Citric acid	1.79	Powder	White

### 3.3 실험방법

#### 3.3.1 혼합 및 양생방법

본 연구의 실험방법으로 모르타르의 혼합은 KS L 5109에 의거하여 수경성 시멘트 페이스트 및 모르타르의 기계적 혼합방법의 배합절차에 따라 전동식 혼합믹서를 사용하였으며, 실험실의 내부온도는 10±2℃로 설정하였다. 시멘트, 골재, 혼합수, 혼화재료 등 모든 실험재료는 5℃로 설정된 항온항습기에 3일간 보관하여 재료의 온도를 저온상태로 동일하게 설정하였다. 실험체의 양생방법은 단열공법의 적용 여부에 따라 저온일반양생 실험체와 저온단열양생 실험체의 두 가지로 구분하였으며, 각각의 실험체는 수분증발로 인한 건조수축 및 균열이 발생하는 것을 방지하기 위해 공기에 노출되지 않도록 실험체 상부에 아크릴필름을 설치하여 밀봉된 상태로 양생하였다. 단열공법 방법은 Figure 2와 같이 25mm 두께의 압축스티로폼 단열재와 3mm 두께의 금속판을 사용하여 밀면과 옆면이 단열재로 구성된 300×300×150mm의 내부공간을 갖춘 상부가 열린 직육면체형태의 단열박스를 제작하였으며, 단열박스의 내부 온도를 -5℃까지 냉각시킨 뒤 모르타르 시험체를 제작하여 단열박스에 투입한 뒤 상부를 단열재로 밀봉하여 -5℃로 설정된 항온항습기에서 양생하였다.

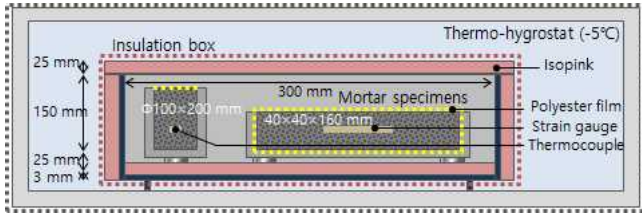


Figure 2. Insulating curing methods



Photo 1. Installation of thermocouple and strain gauge with insulating curing method

Table 8. Physical properties of insulation form

Division	Material	Thickness (mm)	Thermal conduction (Kcal/mh °C)	Specific gravity
Insulating form	Isopink	25	0.008	0.03

### 3.3.2 플로우 및 응결시간

플로우는 KS F 2476에 따라 전동식 플로테이블을 사용하여 플로우를 측정하였으며, 응결시간은 KS F 2436에 의하여 관입법을 사용하여 측정하였다. 실험실의 온도는  $10 \pm 2^\circ\text{C}$ , 습도는  $55 \pm 2\%$ 로 설정하여 실험을 실시하였다.

### 3.3.3 온도거동

모르타르의 온도거동 측정 실험 방법으로  $\varnothing 100 \times 200$  mm의 용기에 모르타르를 채운 후 시편의 중앙부에 열전대를 매립하고 밀봉한 상태로 data logger를 이용하여  $-5^\circ\text{C}$ 의 항온항습기 내부에서 단열양생공법의 적용여부에 따라 모르타르 내부의 온도거동을 측정하였다.  $10^\circ\text{C}$ 에서 제작된 굳지않은 모르타르는 냉각되는 과정에서 온도가 저하되며 동결되기 직전에 일시적으로 온도가 상승한 후 다시 감소한다. 이 때 온도가 상승된 후 다시 저하하기 직전의 시점을 모르타르가 동결한 것으로 판단하였으며, 이 시점을 동결온도로 측정하였다[5,6].

### 3.3.4 수축거동

모르타르의 수축거동은  $40 \times 40 \times 160$  mm 철제 몰드에 모르타르를 채운 후 시편의 중앙부에 매립형 strain gauge

(길이:60mm, 게이지율:  $2.11 \pm 1\%$ , gauge resistance:  $120 \pm 0.5 \Omega$ )를 설치하고 data logger를 이용하여  $-5^\circ\text{C}$ 의 항온항습기 내부에서 단열양생공법의 적용여부에 따라 모르타르의 길이변화에 따른 수축거동을 측정하였다. 총 수축량은 건조수축을 제외한 자기수축만을 측정하기 위해 건조수축이 발생하지 않도록 시편을 밀봉하였으며, 모르타르가 몰드에 부착되어 구속력과 마찰력이 발생하는 것을 방지하기 위해 몰드의 바닥과 양쪽 끝단부에 0.5mm 두께의 PE 필름을 설치하였으며 자기수축만 발생할 수 있게 설정한 후 수축거동을 측정하였다.

### 3.3.5 압축강도 평가

정화된 모르타르의 압축강도는 KS L ISO 679에 의거하여 시멘트의 강도 시험 방법에 따라  $40 \times 40 \times 160$  mm 철제 몰드를 사용하여 제작하였다. 모르타르 실험체는  $-5^\circ\text{C}$ 의 항온항습기 내부에서 단열양생공법의 적용여부에 따라 실험체를 양생하였고 재령기간 3, 7일과 14일 저온양생 이후 14일 상온양생에 대한 압축강도를 측정하였다. 저온에서 모르타르를 양생할 경우 시험체의 수분이 동결되어 얼음의 강도가 측정될 수 있으며, 이를 방지하기 위해 상온에서 6시간 동안 추가로 양생하여 동결된 수분을 해빙시킨 후 압축강도를 측정하였다.

## 4. 실험결과 및 분석

### 4.1 플로우 및 응결시간

Table 9는 플로우 및 응결시간 측정결과를 나타낸 것이다. 플로우는 OPC만 사용한 실험체가 가장 높게 나타났으며, CSA 및 CAC가 사용될 경우 저감되었고, 석고가 사용될수록 플로우가 증가하였다. 특히, 석고가 사용되지 않은 CAC단독으로 사용된 C1/S0, C2/S0는 시간이 경과함에 따라 유동성이 급격히 감소하였으며 수분증발로 인한 표면건조를 비롯하여 급결현상이 발생되었다. 특히, C2/S0는 C1/S0보다 플로우가 작게 나타났으며, 이는  $\text{C}_{12}\text{A}_7$  화학성분이 CA보다 반응성이 높으며 수화반응이 빠르게 진행된 것에 기인한 것으로 판단된다[3]. CSA 및 CAC와 석고가 함께 사용된 배합의 경우 석고함량이 증가될수록 플로우가 증가하였으며 CSA, C1/S2, C2/S2가 서로 유사한 것으로 나타났다.

모르타르의 응결시간은 석고를 사용하지 않은 C1/S0,

C2/S0가 1시간 이내로 종결이 나타났다. C2/S0가 C1/S0보다 응결시간이 빠르게 나타났으며, 앞서 플로우 측정실험에서 검토하였던  $C_{12}A_7$  화학성분이 CA보다 반응성이 높은 원인에 따른 결과로 추정된다. CSA 및 CAC와 석고가 함께 사용된 배합의 경우 응결시간이 1~2시간 정도 지연되었으며, 공통적으로  $C_{12}A_7$ 로 형성된 CAC를 사용한 배합이 가장 빠르게 나타났으며 CA, CSA의 순서로 측정되었다.

Table 9. Table flow and setting time test results

Specimen	Flow (mm)	Setting time (min)	
		Initial set	Final set
Plain	235	380	610
CSA	180	150	180
C1/S0	140	30	50
C1/S1	175	120	150
C1/S2	185	180	220
C2/S0	125	20	35
C2/S2	180	110	140

#### 4.2 온도거동

Figure 3은 굳지않은 모르타르의 저온환경에서 1일동안의 온도거동을 나타낸 것이며, 동결온도 및 동결시간을 분석하여 Table 10에 나타내었다. 저온환경의 굳지않은 모르타르는 냉각되는 과정에서 시멘트의 수화반응으로 인한 경화현상과 혼합수의 동결현상이 복합적으로 진행된다.

CSA, CAC 및 석고가 사용되지 않은 Plain의 동결시간은 320분으로 시험체 중 가장 늦는 것으로 나타났으며, 동결온도는  $-0.7^{\circ}C$ 로 나타났다. 이는 저온상태에서 시멘트의 수화반응이 지연되며 수화반응에 참여하지 않은 자유수의 양이 많으므로 동결하는데 오랜 시간이 소요된 것으로 예상된다.<sup>3)</sup> 단열양생을 적용할 경우 Plain의 동결시간은 190분으로 단축되었고 동결온도는  $-1.2^{\circ}C$ 로 저하하였다.

CSA를 사용한 시험체의 동결시간은 60분이며 동결온도는  $-1^{\circ}C$ 로 나타났다. Plain 대비 CSA의 수화반응이 빠르게 진행되어 모르타르 내부 자유수의 양이 감소하였고 이로 인해 동결시간이 빨라진 것으로 판단된다<sup>3)</sup>. 단열양생을 적용할 경우 CSA 시험체의 동결시간은 256분으로 증가하였고 동결온도는  $-1.1^{\circ}C$ 로 나타났으며, 동결된 이후 온도가 저하하는 속도가 다소 완만해지는 것으로 나타났다.

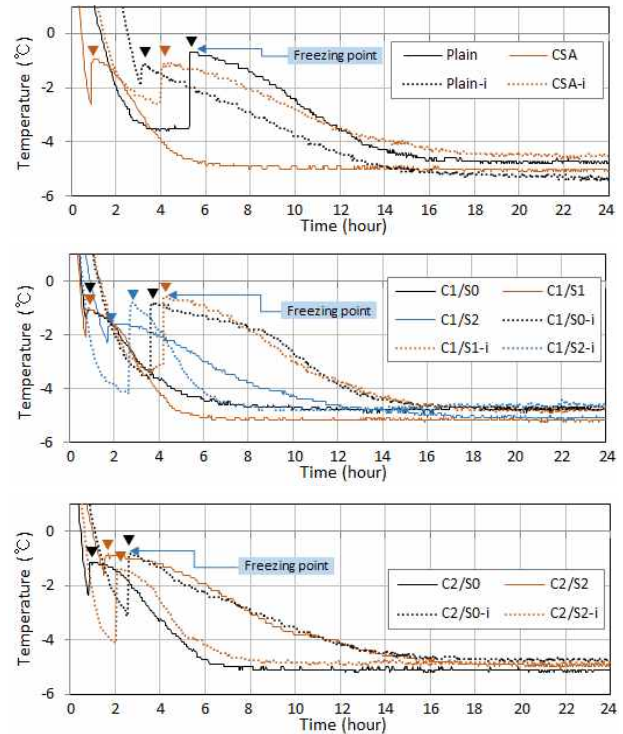


Figure 3. Temperature test results

Table 10. Freezing point result

	Specimen	Plain	CSA	C1/S0	C1/S1	C1/S2	C2/S0	C2/S2
Normal form	freezing time (min)	320	60	44	46	116	48	84
	freezing temp. ( $^{\circ}C$ )	-0.7	-1	-1	-1	-1.6	-1.1	-0.9
Insulation form	freezing time (min)	190	256	230	254	170	160	132
	freezing temp. ( $^{\circ}C$ )	-1.2	-1.1	-0.8	-0.6	-0.8	-0.8	-1.4

CAC를 단독으로 치환한 시험체의 동결시간은 44분, 48분으로 시험체 중 가장 빠른 것으로 나타났으며, 동결온도는  $-1^{\circ}C$ 로 나타났다. 이는 저온환경에서도 CAC의 수화반응이 빠르게 진행되어 모르타르 내부 자유수의 양이 감소하였고 동결시간이 빨라진 것으로 판단된다<sup>3)</sup>. 단열양생을 적용할 경우 CAC 시험체의 동결시간은 C1/S0은 230분, C2/S0은 160분으로 각각 약 3시간, 2시간 지연되었으며 동결온도는  $-0.8^{\circ}C$ 로 증가하였다.

CAC와 석고를 함께 치환한 시험체의 동결시간은 CAC를 단독으로 치환한 시험체 대비 동결시간이 증가하였고 동결온도는 C1/S2는  $-1.6^{\circ}C$ 로 감소하였으며 C1/S1, C2/S2는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 단열양생을 적용할 경우 각 시험체별 동결시간이 1시간에서 3시간까지 지연되었으

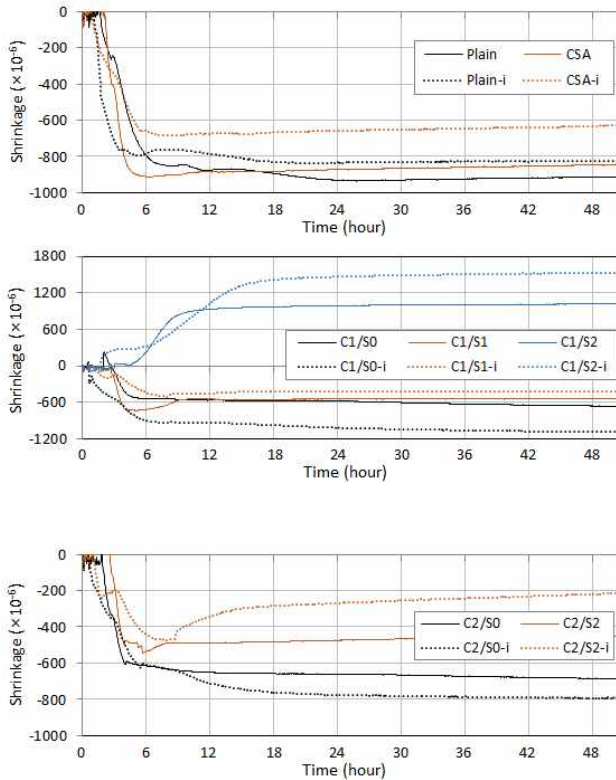


Figure 4. Autogenous shrinkage results

며 동결온도는 0.5°C 내외로 일부 변화가 있었으나 특별한 경향성을 나타내지 않는 것으로 나타났다.

### 4.3 수축거동

Figure 4는 모르타르의 저온환경에서 2일동안의 수축거동을 나타낸 것이다. CSA, CAC 및 석고가 사용되지 않은 Plain의 수축거동은 6시간동안 시험체가 급격히 수축하였고 6시간 이후부터 24시간까지는 완만하게 수축하였으며, 24시간 이후부터는 수축변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 단열양생을 적용할 경우 Plain은 수축하는 정도가 2시간정도 빨라졌으며 4시간동안 급격히 수축한 뒤, 4시간 이후부터 소폭 팽창하였고 12시간 이후부터 수축변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

CSA를 사용한 시험체는 5시간동안 급격히 수축한 이후 5시간 이후부터 48시간까지 완만하게 소폭 팽창하는 것으로 나타났다. 단열양생을 적용한 CSA는 6시간까지 수축한 후 6시간 이후부터 48시간까지 완만하게 소폭 팽창하였다. 이는 단열양생을 적용할 경우 모르타르 시험체가 동결하기 전까지 CSA의 팽창효과가 소폭 증진되었으며, 모르타르 시험체가 동결된 이후부터는 CSA의 팽창효과가 미비하게 지속

적으로 나타난 것으로 추측된다.

CAC를 단독으로 치환한 시험체는 C1/S0, C2/S0 모두 4시간동안 수축한 후 4시간 이후부터 48시간까지 지속적으로 완만하게 소폭 수축하였다. 단열양생을 적용할 경우 C1/S0, C2/S0 모두 총 수축량이 증가하였으며, 이는 단열양생을 적용할 경우 CAC의 수화반응이 더 진행되었으며 이로 인해 모르타르 자기수축이 더 발생된 것으로 판단된다.

CAC와 석고를 3:1의 비율로 시멘트에 치환한 C1/S1 시험체는 초기 4시간까지 수축한 뒤 6시간까지 다소 높은 팽창정도를 나타냈으며 그 후 지속적으로 완만하게 소폭 팽창하였다. CAC와 석고를 2:1의 비율로 시멘트에 치환한 C1/S2 시험체는 2시간 이후부터 8시간까지 다소 팽창정도가 크게 나타난 뒤 8시간 이후부터 지속적으로 완만하게 팽창하는 것으로 나타났으며, 전반적으로 총 수축량보다 팽창정도가 더 높게 측정되었다. C2/S2 시험체는 6시간까지 수축한 뒤 6시간 이후부터 지속적으로 완만하게 소폭 팽창하였다. 단열양생을 적용할 경우 C1/S1, C1/S2, C2/S2 모두 수축하는 정도가 감소하였으며 전체적으로 석고의 함량에 따른 팽창하는 정도가 증가하는 것으로 나타났다.

전반적으로 모르타르가 동결되기 전까지 CAC가 수축정도를 증가시키며 석고는 CAC와 함께 수화반응을 통해 팽창을 유발하여 수축보상을 발생시켰으며, 모르타르가 동결된 이후에도 지속적으로 완만하게 수축 및 팽창을 발현하는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 CA계열과 C<sub>12</sub>A<sub>7</sub>계열의 CAC를 석고와 함께 사용할 경우 체적팽창으로 인한 균열발생을 방지하기 위해서 석고의 혼입비율을 각각 3:1, 2:1로 설정하는 것이 유효한 것으로 나타났다. 즉 동일한 석고의 사용량에서도 함께 사용된 CAC의 종류에 따라 팽창성능이 크게 상이하며 이는 CAC와 석고의 수화반응과정에서 ettringite 및 mono sulfate 수화물이 형성되고 모르타르 내부 조직구조가 밀실하게 채워지며 조직구조가 형성되는 특성에 의한 것으로 추정된다[3].

### 4.4 압축강도

Figure 5, 6은 저온환경에서 단열양생공법의 적용에 따른 모르타르 시험체의 압축강도 측정결과를 나타낸 것이다. 모르타르가 초기에 동결피해를 방지하기 위해서는 3일 압축강도가 5MPa를 발현하는 것이 중요한 것으로 알려져 있으며, 이를 만족하는 시험체는 CSA, C1/S2, C2/S2인 것으로 나타났다. 해당 배합은 모두 SO<sub>3</sub> 및 석고성분이 포함된

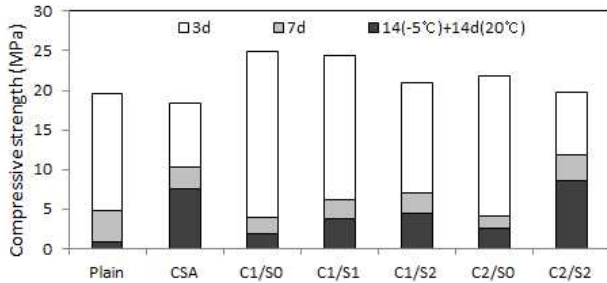


Figure 5. Compressive strength test results (normal form)

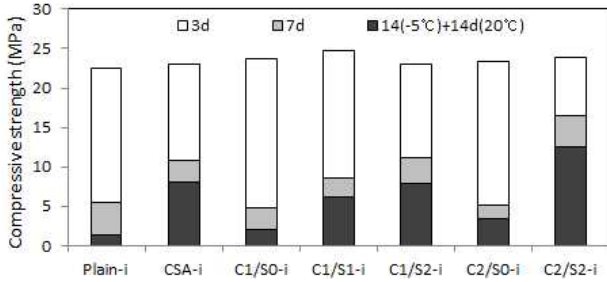


Figure 6. Compressive strength test result (insulation form)

배합으로서 석고가 사용됨에 따라 초기강도의 발현이 우수하게 나타났으며, 초기 동결로 인한 피해를 방지하는데 유리할 것으로 판단된다. CSA, C2/S2 시험체의 3일 압축강도는 약 7MPa로 가장 높게 나타났으며 14일 저온양생이후 14일 상온에서 양생한 압축강도는 다른 시험체 대비 상대적으로 낮게 측정되었다. 따라서 초기 압축강도 발현성능이 높을 경우 저온환경이 해제된 이후 중장기적인 측면에서의 압축강도 발현성능은 다소 불리한 것으로 판단된다.

단열양생을 적용할 경우 대부분의 시험체의 압축강도가 전 재령구간에서 증가하였다. 특히, CSA 및 CAC와 석고를 함께 사용한 시험체는 3일 압축강도가 5MPa 이상 발현되었으며, 앞서 단열양생을 적용하지 않은 시험체의 14일 저온양생이후 14일 상온에서 양생한 압축강도가 감소하였던 결과와 비교하여 단열양생을 적용할 경우 중장기적인 측면에서의 압축강도 발현성능의 저하가 감소하였다. C<sub>12</sub>A<sub>7</sub> 계열의 CAC와 석고를 사용한 C2/S2가 3일 압축강도가 12.5MPa로 가장 우수하였으며, CSA, CA계열의 CAC를 사용한 C1/S2가 각각 7.58MPa, 7.88MPa로 높게 측정되었다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 저온환경에서 시공이 가능하고 초기 강도 발현 특성이 우수한 저온환경하 콘크리트의 실무 활용 가능

성을 검토할 목적으로 알루미나시멘트 및 알루미나 복합체를 활용한 모르타르의 석고사용 및 단열양생공법의 적용에 따른 플로우, 응결시간, 온도저하, 수축거동 및 압축강도 특성을 검토하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) OPC에 CSA 및 알루미나시멘트를 사용한 모르타르는  $-5^{\circ}\text{C}$ 의 저온환경에서도 초기에 수화반응이 빠르게 진행되며, CSA 및 알루미나시멘트와 석고를 사용한 경우 3일에 5MPa 이상의 압축강도를 발현하였다. 단열양생공법을 적용하여 전 재령기간의 압축강도가 증진되었으며 C<sub>12</sub>A<sub>7</sub>계열의 CAC를 사용한 C2/S2가 강도 발현이 가장 우수하였다.
- 2) OPC에 알루미나시멘트를 단독으로 치환할 경우 플로우저하 및 급결현상이 나타났으며, 이는 석고를 첨가하여 응결시간을 지연하고 유동성을 증진시켜 작업성을 개선할 수 있었다.
- 3) 저온환경에서 OPC에 CSA, 알루미나시멘트를 사용할 경우 OPC를 단독으로 사용한 실험 대비 모르타르의 온도저하 속도가 증가하였으며, 석고의 사용량이 증가할수록 동결시간이 지연되었다. 이는 수화반응이 빠르게 진행되어 자유수가 감소한 것에 기인한 것으로 판단되며, 단열양생공법을 적용하여 모르타르의 온도저하 속도가 감소하였고 동결시간이 지연되었다.
- 4) 저온환경에서 OPC에 CSA, 알루미나시멘트 및 석고를 사용할 경우 초기 6시간동안 경화되는 과정에서 빠르게 수축한 이후 지속적으로 완만하게 팽창하여 수축보상이 진행되는 것으로 나타났다. 단열양생공법을 적용할 경우 전반적으로 수축현상이 감소하였다.

## 요 약

동절기에 콘크리트를 시공할 경우 초기동해와 강도발현이 지연되는 문제가 있으며, 이를 방지하기 위해서는 콘크리트가 동결하기 이전에 시멘트의 수화반응이 일정수준 이하 진행되는 것이 중요하다. 이에 본 연구는 저온에서도 수화열이 높게 발생하는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>성분이 함량이 높은 CSA, 알루미나시멘트를 OPC에 치환하여 물성평가를 수행하였다. 그 결과 CSA, 알루미나시멘트를 사용하여  $-5^{\circ}\text{C}$ 의 저온환경에서 초기에 수화반응이 빠르게 진행되며, 급결현상 및 유동성저하



---

현상이 발생되었고, 석고를 사용하여 응결시간을 지연하며 유동성을 확보하여 작업성을 개선하였다. 또한 단열양생공법을 적용하여 모르타르의 동결시간을 지연하였으며 수축보상효과를 증진시켰고 3일, 7일 강도가 증진되었다. 따라서 본 연구 결과 저온환경에서 CSA, 알루미나시멘트 및 석고를 사용하여 조기에 강도발현 증진효과가 우수하였으며, 석고 및 단열양생공법을 적용하여 작업성, 동결저항성, 조기강도 발현 성능이 개선되어 초기동해를 방지하는데 효과가 있을 것으로 판단된다.

**키워드** : 저온환경, 알루미나시멘트, 단열양생공법

## Acknowledgement

This study is part of the output of the research funding for Advanced-City Development project 2014 of the Ministry of Land, Transport, and Maritime Affairs (16CTAP-0078650-03).

## References

1. Han CG, Han MC. Determination of the protecting periods of frost damage at early age in cold weather concreting. *Journal of Korea Concrete Institute*, 2000 Jun;12(3):47-55.
2. Hong KN, Jung JY, Han SH. Material properties of grout using alumina cement and anhydrite. *Journal of the Korean Society of Safety*, 2011 Oct;26(5):59-64.
3. Min TB, Mun YB, Kim HC, Choi HK, Kim JY, Lee HS. A fundamental experiment on preventing frost damage at early age of mortar in low temperature using reduction slag. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*, 2016 Feb;16(1):1-7.
4. Onder Kirca. Temperature effect on calcium aluminate cement based composite binders[doctor's thesis]. [Ankara (Turkey)]: Middle East Technical University; 2006 July. 209 p.
5. Jung JY, Min KH, Lee DK, Choi HS. A study of characteristics change of low-shrinkage normal strength concrete according to mixing factors and curing temperature. *Journal of the Korea Academia Industrial cooperation Society*, 2016 July;17(7):342-7.
6. Cho HW, Kang ST, Shin HS, Lee JH. Fundamental properties of magnesia-prosphate composite considering mix conditions and curing temperature. *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 2012 Nov;16(6):163-70.