

조강형시멘트를 사용한 저온경화형 모르타르의 압축강도 및 유동특성에 미치는 방동제, 내한촉진제 및 감수제의 영향

Compressive Strength and Fluidity of Low Temperature Curable Mortar Using High Early Strength Cement According to Types of Anti-freezer, Accelerator for Freeze Protection and Water Reducing Agent

박정훈¹ 기경국¹ 이한승² 김형철^{2,3} 최현국³ 민태범^{3*}

Park, Jung-Hoon¹ Ki, Kyoung-Kuk¹ Lee, Han-Seung² Kim, Hyeong-Cheol^{2,3} Choi, Hyun-Kuk³ Min, Tae-Beom^{3*}
Technical Research Center, Chemicon Co., Ltd, Useong-Myeon, Gongju, 116-36, Korea¹
Department of Architectural Engineering, Han Yang University, Sangnok-Gu, Ansan, 426-791, Korea²
R & D Center, Sungshin Cement, Bugang-Myeon, Sejong Special Self-Governing City, Republic of Korea³

Abstract

In order to examine the possibility of practical use of concrete at low-temperature environment using high early strength cement with cold resistance admixture, an experimental study on workability, freezing temperature and compressive strength of the mortar with different types of anti-freezer, water reducing agent and accelerator for freeze protection at low-temperature were evaluated. Compressive strength was increased in use of anti-freezer, especially SN anti-freezer was higher than CN anti-freezer. 0min flow was increased, the 20min flow was decreased. And 20min flow was improved in use of FR, RT water reducing agent. CF, LS accelerator for freeze protection, regardless of the type of water reducing agent, compressive strength was increased.

Keywords : high early strength cement, anti-freezer, low temperature curable mortar, accelerator for freeze protection, water reducing agent

1. 서 론

동절기에 콘크리트를 시공할 경우 초기동해에 의한 강도 발현이 지연되는 문제가 있으며, 이를 방지하기 위해서는 콘크리트가 동결하기 이전에 시멘트의 수화반응이 일정수준 이상 진행되는 것이 중요하다. 초기동해를 방지하기 위해서는 3일내에 콘크리트의 압축강도가 5MPa 이상 발현되는 것이 주요한 것으로 조사되었으며, 국내 동절기 건설현장에

서는 콘크리트의 온도가 일정수준 이하로 저감되는 것을 방지하기 위하여 열선, 온풍기 및 단열설비를 사용한 보온양생 기법을 적용하고 있다. 그러나 이는 과도한 에너지 사용량 및 열원의 불균일한 공급 등으로 인해 품질저하, 공기지연 및 공사비 증대 등 여러 사회적인 비용을 증가시킨다[1]. 한편, 보온양생을 최소화 하며 콘크리트 자체의 동결온도를 저감시키고 초기에 시멘트 수화반응을 촉진시키기 위한 혼화제로서 수단으로 강재의 부식을 초래하지 않는 무염화형 방동제 및 내한성혼화제가 일본에서 개발되었고, 그 후 알칼리골재반응에 대한 대책으로서 무염화 무알칼리형으로 성분이 변경되어 시판되고 있다. 그러나 국내에서는 아직까지 이러한 혼화제에 대한 성분 및 품질에 관한 규격이 없으며, 공법이 확립되지 않은 실정이다[2].

Received : May 23, 2016

Revision received : June 18, 2016

Accepted : September 8, 2016

* Corresponding author : Min, Tae-Beom

[Tel: 82-44-275-7387, E-mail: cementmin@naver.com]

©2016 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

최근에는 시멘트 초기 수화반응을 촉진시켜 발열반응을 유도하고 자체적인 보온효과를 극대화하기 위한 연구로서 고분말도 시멘트를 비롯한 조강형시멘트 및 내한촉진제를 사용한 한중콘크리트 기술에 대한 연구가 활발하다. 조강형시멘트를 사용할 경우 기존 일반시멘트 대비 전체적인 시공기간의 단축과 추가적인 가열양생공법을 저감시킬 수 있으며 공사가 불가능했었던 저온에서도 공사를 진행할 수 있는 장점이 있다. 그러나 조강형시멘트, 방동제 및 내한촉진제를 함께 사용할 경우 응결시간이 급격히 단축되고 시멘트의 초기 급결반응으로 인한 슬럼프로스현상이 발생될 수 있으며 사용에 주의가 필요하다[3].

따라서, 본 연구에서는 조강형 시멘트, 방동제 및 내한촉진제를 사용한 저온환경하 콘크리트의 실무 활용 가능성을 검토할 목적으로 콘크리트 단계에 앞서 모르타르 조건에서 작업성 및 유지성능, 동결온도, 압축강도 특성을 검토하여 한중콘크리트에 사용하는 방안을 연구하기 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 저온환경하 콘크리트 연구 동향

2.1 내한성혼화제를 이용한 저온환경하 콘크리트 기술

내한성혼화제는 한중기에 콘크리트 및 모르타르를 타설하는데 있어서 동결온도저하와 시멘트의 수화반응을 촉진하고 초기동해를 방지하기 위한 목적으로 개발되었으며 방동제와 내한촉진제로 구분된다.

방동제는 콘크리트, 모르타르 및 혼합수의 동결온도를 저감시키는 효과가 있으며 혼합수의 중량대비 약 10~30% 치환되어 사용된다. 방동제의 주성분은 염화칼슘, 염화나트륨, 질산칼슘, 질산나트륨, 아질산칼슘, 아질산나트륨, 요소, 에틸렌글리콜 등의 어는점이 낮은 물질로 구성된다.

내한촉진제는 저온에서 시멘트의 수화반응이 지연되는 것을 방지하여 경화반응을 촉진하는 효과가 있으며 시멘트의 중량대비 약 0.1~5% 첨가하여 사용된다. 내한촉진제의 주성분은 염화물, 티오시안산염, 질산염, 황산염, 알루미늄산염, 알칼리수산화물과 같은 무기물과 칼슘염, 트리에탄올아민 등의 유기물이 사용되며 초미분 형태의 칼슘알루미늄에이트, 탄산마그네슘 및 시멘트입자들과 pH조절제가 복합적으로 다양하게 사용되고 있다.

러시아와 같은 극한지역에서는 동결온도저하와 촉진성능이 우수한 염화칼슘과 같은 염화물로 구성된 내한성혼화제

를 다량으로 사용하고 있다. 그러나 이는 콘크리트의 장기강도 저하와 철근의 부식 및 알칼리골재반응을 유발할 수 있으며, 대부분의 국가에서는 염화물의 재료사용을 금지하고 있다. 일본에서는 무염화·무알칼리의 질산염계 화합물로 구성된 방동제를 비롯하여 다양한 내한촉진제가 시공현장별 환경요건 및 배합사항에 따라 사용되고 있다. 국내의 경우에는 방동제와 내한촉진제가 혼합된 형태로 제조 및 사용되고 있으며 일부 제품에서는 나트륨과 같은 알칼리성분이 다량 함유되어 알칼리골재반응에 의한 콘크리트의 내구성 악화가 우려되는 실정이다[4].

2.2 조강형시멘트를 이용한 저온환경하 콘크리트 기술

한중콘크리트에서는 일반적으로 보통포틀랜드시멘트를 사용하고 있으며, 양생온도가 낮아 강도발현이 늦어지거나 조기 시공을 필요로 할 경우 경화가 빠르고 수화열이 높은 조강형시멘트가 사용되고 있다. 조강형시멘트는 조강포틀랜드시멘트를 비롯하여 보통포틀랜드시멘트의 분말도를 개선하거나 알루미늄시멘트 및 혼화재료를 혼합한 특수한 혼합시멘트가 연구되고 있으며, 양생관리에 소요되는 기간의 단축이 가능한 것으로 조사되었다.

조강포틀랜드시멘트와 알루미늄시멘트는 보통포틀랜드시멘트 대비 C_3S , C_3A 의 함유량이 높게 제조되며 수화반응속도가 빠르고 수화열이 높으며 단위시멘트량이 10% 적게 사용한 배합에서도 약 1.6배의 강도발현 속도가 나타나며 초기 강도발현이 우수한 것으로 조사되었다[5].

고분말도 조강형시멘트는 보통포틀랜드시멘트와 성분의 차이가 없으면서 보통포틀랜드시멘트 대비 저온환경하에서 별도의 보온 및 가열양생 없이 모든 재령에서 압축강도가 증진된 것으로 나타났으며, 수화반응 속도가 빠르고 수화열 또한 높은 것으로 조사되었다. 또한 단열온도 상승 실험에서 초기 수화발열 상승온도 및 최고 상승온도가 높았으며 동결기 한중콘크리트 사용에 적합한 것으로 조사되었다[6].

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험계획

본 연구는 조강형시멘트와 방동제를 사용하여 보온 및 가열양생 없이 $-5^{\circ}C$ 양생조건하 3일 이내 5MPa 이상의 압축강도를 발현하고, 내한촉진제 및 감수제를 사용하여 유동성 및 압축강도 증진특성 분석을 목적으로 한다.

Table 1. Design of experiment

Factors		Levels	
	W/C(%)	1	45
	Mixed ratio(C:S)	1	1:3
	Target flow(mm)	1	120±20
Anti-freezer	Anti-freezer type	2	• Sodium nitrite (SN) • Calcium nitrate (CN)
	Anti-freezer replacing ratio (W×%)	1	• 15
Mixture Accelerator for freeze protection	Accelerator for freeze protection type	3	• Calcium formate (CF) • Lithium sulfate (LS) • Sodium carbonate (SC)
	Accelerator for freeze protection ratio (C×%)	3	• 0, 0.1, 0.2
Water reducing agent	Water reducing agent type	3	• Superplasticizer type (SP) • Fluidity retention type (FR) • Fluidity retention and Retarding type (RT)
	Water reducing agent replacing ratio (C×%)	1	• 0.6
Curing condition	Flow test	1	• 5±2℃, 20±5% ²⁾
	Freezing temperature test ¹⁾	1	• -40℃, 0% ²⁾
	Compressive strength test ¹⁾	1	• -5℃, 0% ²⁾
Experiment	Fresh mortar	2	• Flow (0min, 20min) • Freezing temperature
	Hardened mortar	2	• Immediately de-moulded compressive strength (3, 7, 28 days) • 3 hours after de-moulded compressive strength ³⁾ (3, 7, 28 days)

- 1) Sealed curing for preventing of moisture evaporation
- 2) Temperature (°C), humidity (%)
- 3) 3hours at 20℃ after de-moulded specimen

먼저 본 실험에 앞서 혼합수에 대한 방동제의 치환율을 0, 10, 15, 20, 25, 50, 75, 100%로 변화시켜 방동제 자체의 동결특성을 조사하였으며, 이를 조강형시멘트와 감수제를 사용하여 플로우 및 압축강도를 분석하였다. 방동제는 국내 시판되는 질산화합물 방동제를 사용하였고, 감수제는 일반 PC계 감수제를 사용하였다. 그 결과, 방동제를 10% 치환할 경우 플로우가 10% 증가하였고 방동제의 치환율이 25% 까지 증가할 경우 플로우는 15%까지 증가하는 것으로

나타났다. 방동제를 15%이상 치환할 경우 슬럼프로스가 발생되어 10분 플로우가 감소하였으며 각각의 모르타르 공기량은 약 6±1%로 나타났다. 이를 통해 W/C를 45%, 혼합수에 대한 방동제의 치환율을 15%, 감수제의 사용량을 시멘트 대비 0.6%로 설정하였고, 이에 대한 실험계획을 Table 1에 나타내었다.

실험사항으로 굳지 않은 모르타르의 작업성 유지특성을 검토하기 위하여 온도조건 5℃에서의 0분, 20분 플로우를 측정하였고, 동결온도 저감특성을 검토하기 위하여 온도조건 -40℃에서의 온도거동을 측정하였다. 경화 모르타르에서는 압축강도 발현특성을 검토하기 위하여 -5℃의 양생온도에서 3, 7, 28일 압축강도를 측정하였다.

3.2 사용재료

3.2.1 시멘트 및 골재

본 실험에 사용한 시멘트는 1종 보통 포틀랜드 시멘트의 입도를 조정하여 국내 S사에서 국내 상용중인 조강형 시멘트 (고분말도 시멘트)를 사용하였으며, 화학성분은 1종 보통 포틀랜드 시멘트와 동일하다. 또한 잔골재는 ISO 표준사를 사용하였다. 시멘트 및 골재의 물리 화학적 성질을 Table 2, 3, 4에 나타내었다.

Table 2. Chemical and physical properties of cement

Chemical composition (%)							Physical properties	
Ig-Loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Density (g/cm ³)	Blaine (cm ² /g)
1.37	21.16	4.77	3.39	62.06	2.65	3.26	3.12	4,220

Table 3. Particle size distribution ratio of cement

Median (μm)	Distribution ratio (%)			
	< 1μm	1~10μm	10~44μm	> 44μm
8.14	11.9	49.2	37.6	1.3

Table 4. Physical properties of aggregate

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

3.2.2 방동제

방동제는 염화물 성분이 포함되지 않은 제품을 사용하는 것을 계획하였고, 국내 상용중인 제품들 중 주재료의 성분종류에 따라 아질산나트륨 (Sodium nitrite, SN) 화합물과 질산칼슘 (Calcium nitrate, CN) 화합물의 2종류를 사용하였으며 물리적 특성을 Table 5에 나타내었다. 또한, 방동제의 농도에 따른 동결온도 특성을 Figure 1에 나타내었다.

Table 5. Physical properties of anti-freezer

Division	Main composition	Density (g/cm ³)	Shape	Color
Anti-freezer [SN]	Sodium nitrite	1.23	Liquid	Light yellow
Anti-freezer [CN]	Calcium nitrate	1.21	Liquid	Light yellow

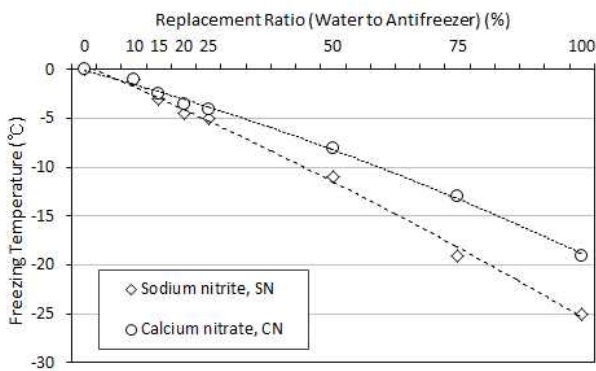


Figure 1. Freezing temperature of anti-freezer

3.2.3 내한촉진제

내한촉진제는 국내외 상용중인 제품들 중 주재료의 성분종류에 따라 포름산칼슘 (Calcium formate, CF) 화합물, 황산리튬 (Lithium sulfate, LS) 화합물, 탄산나트륨 (Sodium carbonate, SC) 화합물의 3종류를 사용하였으며 물리적 특성을 Table 6에 나타내었다. 내한촉진제는 재료성분 및 사용온도에 따라 물에 대한 용해특성이 상이하며, 특히 저온에서 사용할 경우 용해도 및 용해속도가 다를 수 있으며, 본 연구에서는 수용액 형태로 사용하였다.

3.2.4 감수제

감수제는 국내 L사에서 상용중인 고성능 폴리카르본산계 감수제 (Superplasticizer, SP) 를 사용하였다. 또한 고성능 폴리카르본산계 감수제를 기본으로 하여 유지제를 30%

치환 및 병용하여 유지성능을 개선시킨 유지형 감수제 (Fluidity retention agent, FR)를 사용하였다. 이는 앞서 사전연구를 통해 방동제를 사용할 경우 초기유동성이 상승하는 것을 확인하였으며, 이를 고려하여 30% 치환하는 것을 설정하였다. 또한 지연제를 5% 치환 병용하여 응결지연성능을 향상시킨 지연형 감수제 (Retarding agent, RT)를 사용하였으며 주요 함량성분은 고성능 감수제와 동일하다.

Table 6. Physical properties of accelerator for freeze protection

Division	Main composition	Solubility in water (g/100mL, 20°C)	Density (g/cm ³)	Shape	Color
Accelerator [CF]	Calcium formate	16.5	2.15	Powder	White
Accelerator [LS]	Lithium sulfate	32.5	2.12	Powder	White
Accelerator [SC]	Sodium carbonate	24.5	2.40	Powder	White

Table 7. Physical properties of water reducing agent

Division	Type	Main composition	Density (g/cm ³)	Shape	Color
Water reducing agent [SP]	Superplasticizer	Carboxylic acid copolymer	1.07	Liquid	Dark brown
Water reducing agent [FR]	Fluidity retention	Carboxylic acid copolymer	1.07	Liquid	Dark brown
Water reducing agent [RT]	Fluidity retention and Retarding	Carboxylic acid copolymer	1.06	Liquid	Dark brown

3.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 모르타르의 혼합은 KS L 5109에 의거하여 수경성 시멘트 페이스트 및 모르타르의 기계적 혼합방법의 배합절차에 따라 전동식 혼합믹서를 사용하였다.

3.3.1 플로우 평가

플로우는 KS L 5111에 의거하여 시멘트 시험용 플로테이블의 시험방법에 따라 전동식 플로테이블을 사용하였으며, 실험실 온도를 5°C로 설정하여 실험을 실시하였다. 또한 시멘트, 골재, 혼합수, 혼화재료 등 모든 실험재료는 5°C의 실험실에 1일 보관한 후 실험을 수행하였다.

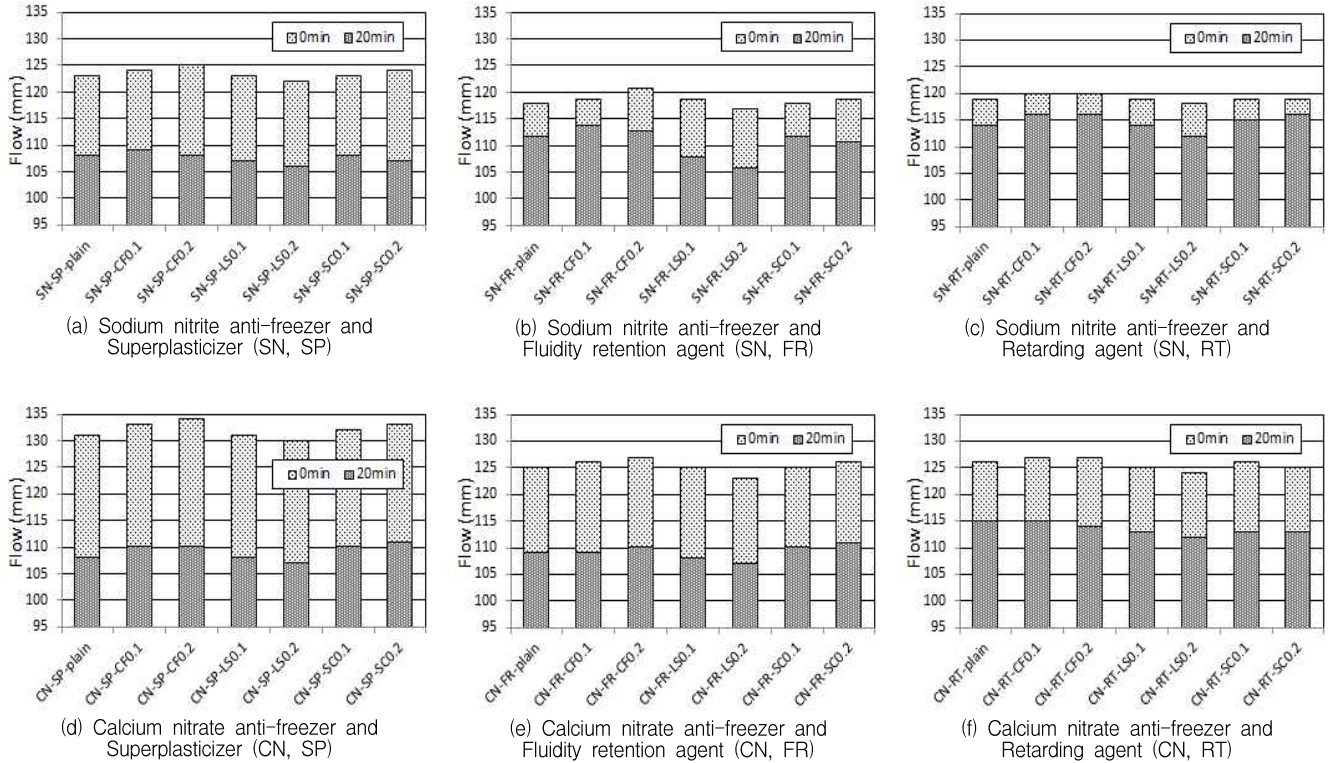


Figure 2. Mortar flow depending on time with anti-freezer, water reducing agent and accelerator for freeze protection

3.3.2 동결온도 평가

모르타르의 동결온도 측정은 $\varnothing 10 \times 20 \text{cm}$ 의 용기에 모르타르를 채운 후 열전대를 매립하여 밀봉한 상태로 -40°C 의 항온항습기에 넣어 급속냉동하며 데이터로거로 10초 간격으로 온도저동특성을 측정하였으며, 모르타르의 온도가 저감하는 과정에서 온도저동이 일정온도를 유지하였다가 다시 감소하기 직전의 온도를 판단하여 동결온도를 측정하였다.

3.3.3 압축강도 평가

경화된 모르타르의 압축강도는 KS L ISO 679에 의거하여 시멘트의 강도 시험 방법에 따라 $40 \times 40 \times 160 \text{mm}$ 몰드를 이용하였으며, -5°C 의 항온항습기에 넣어 양생하였다. 또한 영하의 온도에서 실험체를 양생할 경우 습도조절이 불가능하며, 이로 인한 불규칙적인 수분증발 및 동결피해가 발생하는 것을 방지하기 위해 몰드의 상부를 밀봉하여 양생을 실시하였다. 또한, 모르타르 내부 수분의 동결여부에 따라 압축강도측정에 영향을 줄 수 있으며 이를 고려한 압축강도특성을 검토하기 위하여 시편을 몰드 탈형 후 3시간 상온에서 양생하여 압축강도를 측정하였다.

4. 실험결과 분석 및 고찰

4.1 플로우

Figure 2는 방동제와 감수제 종류별 내한축진제 사용에 따른 플로우 실험결과를 나타낸 것이다. 전반적으로 방동제는 질산칼슘계(CN) 제품을 사용하는 것이 아질산나트륨계(SN) 제품보다 초기 플로우가 증가하는 것으로 나타났다. 이는 고성능감수제(SP)를 사용할 경우 플로우가 증가하는 효과가 상승하였으며, 유지형감수제(FR)와 지연형감수제(RT)를 사용할 경우는 플로우의 증가정도가 크지 않았다. 또한 내한축진제는 포름산칼슘계(CF) 제품을 사용하는 경우 초기 플로우가 증가하였고, 황산리튬계(LS) 제품을 사용할 경우는 초기 플로우가 감소하였다. 탄산나트륨계(SC) 제품을 사용할 경우 플로우 변화가 크지 않았다.

한편, 조강형시멘트, 방동제 및 내한축진제를 사용하는데 있어서 시간경과에 따른 작업성을 유지하는 것이 주요하며 시간경과에 따른 0분, 20분의 플로우 실험결과를 비교 및 분석하였다. 초기 플로우와 달리 20분 플로우는 CN 방동제와 SN 방동제의 차이가 적은 것으로 나타났으며, 그 중 SP

감수제를 사용할 경우 내한축진제의 종류와 상관없이 110mm 이하로 나타났다. FR 감수제를 사용할 경우 전반적으로 20분 플로우가 증가하였으나, LS 내한축진제를 사용한 경우 유지성능의 향상이 크지 않은 것으로 나타났다.

RT 감수제를 사용한 경우 내한축진제의 종류에 상관없이 전체적으로 20분 플로우가 증가하였으며, 작업성 유지성능을 개선하는데 가장 효과가 큰 것으로 나타났다. 내한축진제는 사용량이 증가할 경우 초기 플로우는 주성분 종류별 차이가 있었으나, 20분 플로우는 공통적으로 플로우 수치가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 내한축진제의 재료 종류별로 굳지 않은 모르타르 내에서 수분에 이온상태로 해리 및 분산되는 속도가 다르지만, 일정수준 분산된 이후 시멘트의 수화반응을 촉진시킴에 따라 모르타르내의 공극률이 감소되므로 플로우가 저하되는 것으로 판단된다. 즉, 방동제를 사용함에 있어서 초기 유동성이 크게 증진되므로 감수제를 적절한 수준으로 저감하여 사용하는 것이 필요하며, 급결현상이 발생하는 것을 방지하기 위해서는 유지형감수제를 사용하는 것이 유효할 것으로 판단된다[7,8,9].

4.2 동결온도

Figure 3은 SN, CN 방동제를 사용한 혼합수와 모르타르의 감수제, 내한축진제의 종류에 따른 동결온도특성을 나타낸 것이다. 전반적으로 SN 방동제를 사용할 경우 CN 방동제 대비 혼합수와 모르타르의 동결온도가 1~2°C 저감되었으며, 혼합수의 동결온도와 모르타르의 동결온도는 유사한 경향을 나타내었다. 특히, 모르타르의 동결온도가 혼합수의 동결온도보다 약 1.8°C 정도 더 낮은 것으로 나타났다. 이는 방동제의 원래 자체 동결온도특성과 유사한 것으로 타나났으며 동결온도가 낮은 재료를 사용하는 것이 모르타르가 동결하는 것을 방지하는데 유효한 것으로 판단된다. 이를 통해 혼합수 및 방동제의 동결온도를 측정함으로써 모르타르 단계의 동결온도를 예측하는 것이 가능할 것으로 판단된다 [10]. 한편, 감수제와 내한축진제의 종류별 사용에 따른 동결특성은 다소 상이하게 나타났다. SN 방동제를 사용한 모르타르는 감수제 및 내한축진제의 사용에 따라 동결온도가 상승하였으며, CN 방동제를 사용한 모르타르는 내한축진제의 사용에 따라 동결온도가 저감되었다. 또한, 감수제와 내한축진제는 종류별 사용에 따른 동결온도의 변화 정도에 미치는 영향이 크지 않은 것으로 나타났다.

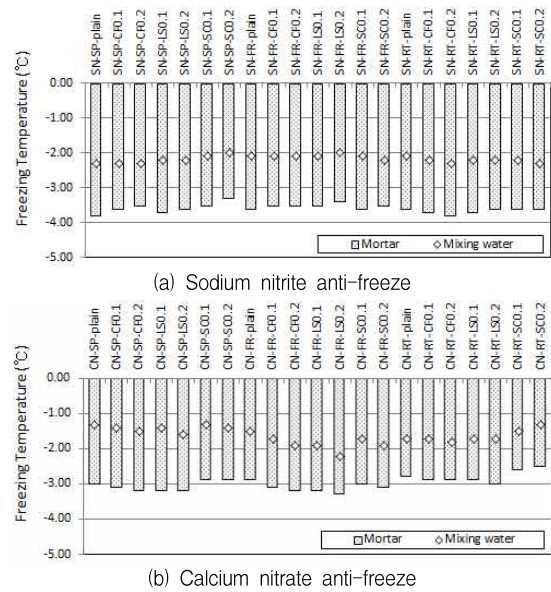


Figure 3. Freezing temperature of mortar and mixing water

4.3 압축강도

Figure 4는 모르타르 재령에 따른 방동제, 감수제 및 내한축진제 종류별 압축강도를 나타낸 것이다. 전반적으로 SN 방동제를 사용할 경우 CN 방동제 대비 3일, 7일 압축강도 발현정도가 1~2MPa 정도 더 높은 것으로 나타났으며, 28일 압축강도는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. FR, RT 감수제를 사용할 경우 SP 감수제 대비 강도발현정도가 상승하였으며 특히 내한축진제의 혼입량이 증가할수록 강도발현 증진효과가 높은 것으로 나타났다. 내한축진제의 경우 종류 및 사용량에 따라 강도발현 증진정도의 차이가 있었으며 CF, LS 내한축진제는 감수제의 종류와 상관없이 전반적으로 강도발현이 증진되었으나, SC 내한축진제는 RT 감수제에서 강도발현 증진정도가 미비한 것으로 나타났다. 따라서 조기강도발현 측면에서는 나트륨계 방동제를 사용하는 것이 유효하며, 내한축진제를 사용할 경우 유지형감수제 또는 지연형감수제를 사용하여 초기수화를 일부 지연시키는 것이 강도발현 측면에서 유리한 것으로 판단된다.

한편, 몰드에서 탈형하여 즉시 압축강도를 측정된 데이터와 3시간 상온에서 추가 양생한 후 측정된 데이터를 비교하였으며, 3일강도 측면에서는 3시간 양생할 경우 압축강도가 0.5MPa 정도 저감하였으며, 7일, 28일의 경우 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한, 내한축진제의 혼입량이 증가할 경우 몰드탈형이후 측정된 데이터와 3시간 추가양생 후 측정된 데이터의 차이가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 3일

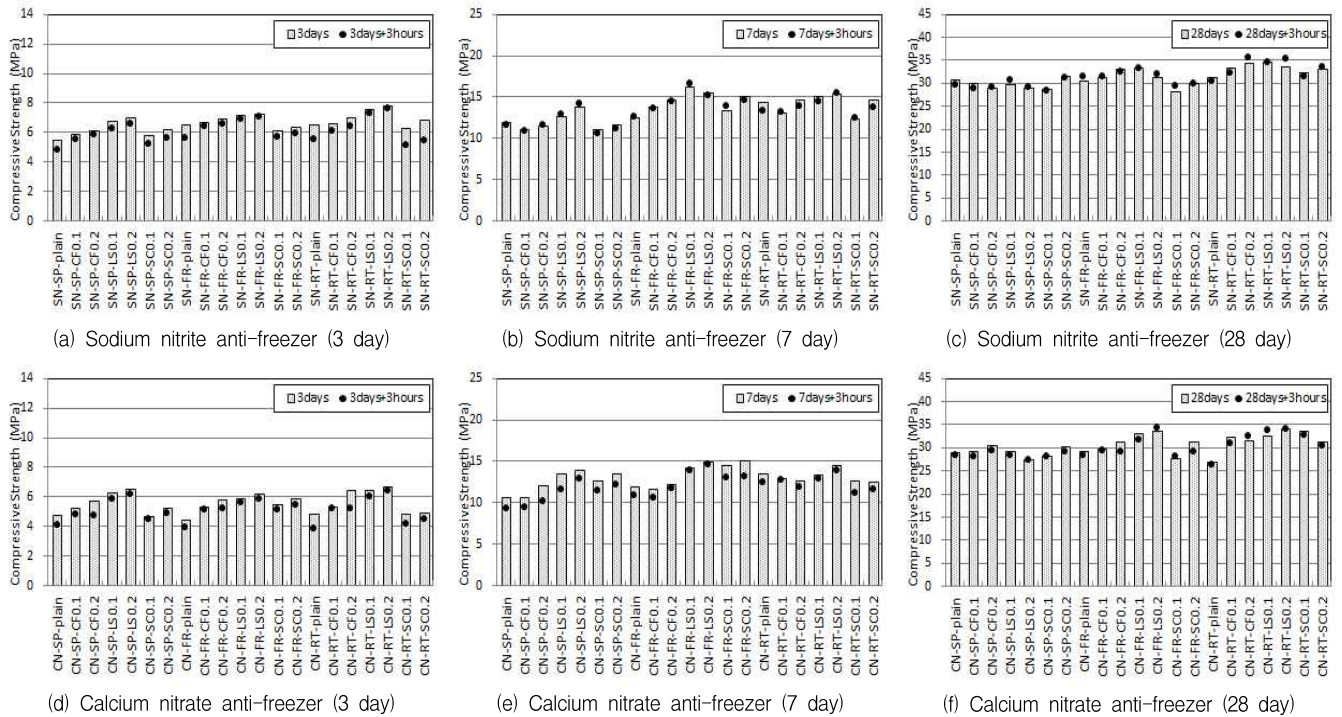


Figure 4. Compressive strength with variation of anti-freezer, water reducing agent and accelerator for freeze protection at ages

수준의 모르타르에서는 수분이 일정수준 동결된 상태로 존재하며 상온에서 해동되는 과정에서 동결되었던 수분이 해동되어 내부에 공극이 발생되어 강도가 낮게 측정된 것으로 예상되며, 내한축진제를 사용할 경우 시멘트 수화반응이 촉진되어 초기 강도발현을 증진시키며 동결되는 수분의 양이 저감되고 이로 인해 압축강도의 차이가 감소하는 것으로 판단된다.

5. 결론

조강형시멘트를 대상으로 방동제, 감수제 및 내한축진제의 종류별 사용에 따른 저온경화형 모르타르의 작업성 및 유지성능, 동결온도, 압축강도 특성을 검토하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 조강형시멘트와 방동제, 감수제, 내한축진제를 사용함에 있어서 방동제의 사용이 증가할수록 0분 플로우가 증가하였고 20분 플로우는 감소하는 것으로 나타났으며, CN 방동제 대비 SN 방동제의 플로우 증가 및 저감 특성이 큰 것으로 나타났다.

- 2) SP 감수제 대비 FR, RT 감수제를 사용할 경우 0분 플로우는 다소 저감되었으나 20분 플로우가 증가하였다. 또한, 내한축진제를 사용할 경우 20분 플로우의 증가정도가 다소 저감되는 것으로 나타났다.
- 3) 내한축진제를 사용할 경우 0분 플로우는 재료별로 차이가 있었으나, 20분 플로우는 공통적으로 저감되는 것으로 나타났다.
- 4) 혼합수와 모르타르의 동결온도는 CN 방동제 대비 SN 방동제가 더 낮게 나타났다. 또한 SN 방동제는 감수제와 내한축진제가 혼합될수록 동결온도가 상승하였고, CN 방동제는 감수제와 내한축진제가 혼합될수록 동결온도가 저감되는 것으로 나타났다.
- 5) 모르타르의 압축강도는 3, 7일에서 CN 방동제 대비 SN 방동제가 1~2MPa 더 높게 나타났으며, 28일은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. FR, RT 감수제를 사용할 경우 SP 감수제 대비 강도발현이 증진되었다.
- 6) 본 실험의 결과, 알칼리골재반응성 우려가 없을 경우 SN 방동제와 RT 감수제, LS 내한축진제를 사용하는 것이 경제적이고 효율적이며, 알칼리골재반응성 우려가 있을 경우 상기 조합에서 SN 방동제 대신 CN 방동제를 사용하는 것이 요구된다.

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 조강형시멘트를 대상으로 내한성 혼화제를 사용한 저온환경하 콘크리트의 실무 활용 가능성을 검토할 목적으로 보온 및 가열양생 없이 저온 환경하 모르타르 조건에서 방동제, 감수제 및 내한촉진제의 종류별 사용에 따른 작업성 및 유지성능, 동결온도, 압축강도를 평가하였다. 실험결과 조강형시멘트와 방동제를 사용할 경우 CN 방동제 대비 SN 방동제가 초기 압축강도발현이 증진되었다. 또한, 0분 플로우가 증가하고 20분 플로우가 감소하였는데, FR, RT 감수제를 사용하여 플로우 지속성능이 다소 개선됨을 확인하였다. CF, LS 내한촉진제는 감수제의 종류와 상관없이 전반적으로 강도발현이 증진되었으나, SC 내한촉진제는 RT 감수제에서 강도발현이 미비한 것으로 나타났다.

키워드 : 조강형시멘트, 방동제, 저온경화형 모르타르, 내한촉진제, 감수제

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 (14CTAP-C078650-01).

References

- 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.
- Lee SS, Won C, Park SJ, Kim DS. A Study on the Strength Properties of Mortar Under Various Types and Contents of Accelerators for Freezing Resistance. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2002 May;2(2):151-6.
- Park JH, Ki KK. An Experimental Study On Fundamental Properties of Low Temperature Curable Mortar Using High Early Strength Cement According to Types of Anti Freezer and Accelerator for Freeze Protection. *Journal of the Architectural Institute of Korea*. 2016 Apr;36(1):395-6.
- Kim YJ, Lee SS, Won C, Park SJ. Strength Properties of Mortar Mixed with Accelerator for Freeze Protection in Constant and Variable Temperature Condition. *Journal of Korea Concrete Institute*. 2002 Dec;14(6):942-8.
- Lim CY, Um TS, Ryu JS, Lee JR, Lee SK, Lee DH. A Study on the Cold Weather Concrete using High Early Strength Concrete. *Journal of Korea Concrete Institute*. 2003 Nov;15(2):261-4.
- Mun YB, Kim HC, Choi HK, Kim JY, Lee HS, Kim MK. An Experimental Study on Hydration and Strength Development of High Blain Cement at Low Temperature. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2015 Aug;15(4):367-73.
- Mohamed H. Effect of calcium formate as an accelerator on the physicochemical and mechanical properties of pozzolanic cement pastes. *Cement and Concrete Research*. 2004 Jun;34(6):1051-6.
- Yuhai D, Changqing Z, Xiaosheng W. Influence of lithium sulfate addition on the properties of Portland cement paste. *Construction and Building Materials*. 2014 Jan;50:457-62.
- Reddy VV, Rao HS, Jayaveera KN. Influence of strong alkaline substances (sodium carbonate and sodium bicarbonate) in mixing water on strength and setting properties of concrete. *Indian Journal of Engineering & Materials Sciences*. 2006 Apr;13(2):123-8.
- Kim YJ, Baek TR, Lee SS, Won C, Kim DS. Application of Cold Weather Concreting with Accelerator for Freeze protection to Full Scale Structures. *Journal of Korea Concrete Institute*. 2003 Apr;15(2):254-62.