

내한성 혼화제를 이용한 시멘트 모르타의 동결온도 및 응결특성

Freezing Temperature and Setting Properties of Cement Mortar Using Agent for Enduring Cold Climate

홍 상 희* 김 현 우** 김 정 진*** 이 백 수*** 한 천 구****
Hong, Sang Hee Kim, Hyun Woo Kim, Jeong Jin Li, Bai Shou Han, Cheon Goo

ABSTRACT

When fresh concrete is exposed to low temperature, the concrete may suffer from the frost damage at early ages and the strength development may be delayed. To solve such problems of cold weather concreting, admixtures called agent for enduring cold climate are developed to prevent the fresh concrete from being frozen at early ages. In this study, the experiments are carried out on several kinds of agent for enduring cold climate to present their performance. According to experimental results, most kinds of agent for enduring cold climate show the satisfactory properties of decreasing the freezing point and accelerating the cement hydration in low temperature environment, which is available for placing concrete in spite of cold weather.

1. 서 론

최근 건축구조물이 고층화 하는등 건설공기의 중요성이 강조됨에 따라 동절기에도 시공할 수 있는 한중콘크리트의 실용화에 의한 건설공사의 연속시공활동이 중요하게 부각되고 있다.

그런데, 콘크리트는 외기온에 민감한 영향을 받는 물질로서, 특히 한중환경에서 콘크리트를 타설하게 되면 콘크리트가 타설초기에 동결되어 초기동해를 입게되고, 경화 지연으로 강도발현이 느리게 되는 등 문제점이 발생하게 된다. 따라서 이에 대한 적절한 대책 중 하나로 내한성 혼화제(내한촉진제, 방동제, 소강제를 종합하여 지칭함)를 사용하는 방법이 검토되고 있는데, 내한성 혼화제란 동절기에 있어서 시멘트의 수화반응을 촉진하고, 또한 타설 된 콘크리트의 동결온도를 낮추어 초기동해를 방지하는 혼화제를 말한다.

그러므로 본 연구에서는 국내외에서 생산되는 많은 내한성 혼화제의 종류 중 대표적인 제품을 수집하여 기초적인 성격의 연구로 시멘트 모르타 상에서 내한성 혼화제의 혼입을 변화에 따른 굳지 않은 모르타 특성 및 동결온도, 응결특성을 분석하므로써 내한성 혼화제를 이용한 한중콘크리트의 시공효율화에 한 참고자료로 제시하고자 한다.

* 정회원, 청주대 대학원 건축공학과 박사과정

** 정회원, 청주대 대학원 건축공학과 석사과정

*** 정회원, 청주대 건축공학과 객원 연구원, 연변대학교 건축공정과 부교수

**** 정회원, 청주대 건축공학과 교수, 공학박사

2. 실험계획 및 방법

표 1 실험요인 및 수준

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같다. 즉, 배합사항으로 시멘트와 잔골재의 배합비는 1:3으로 하고, 내한성 혼화제 7종류(국내산 1종, 일본산, 스위스산은 내한촉진제이고, 국내산 1종은 조강제이며, 중국산 3종류는 방동제로 지칭되고 있음)에 대하여

0, 혼화제 회사에서 추천하는 적정혼입율의 1/2, 적정혼입율, 적정혼입율×2로 혼입율을 변화시켜 실험계획 하였다. 단, 모르타의 W/C는 내한성혼화제를 혼입하지 않은 배합에서 시멘트 모르타의 목표 플로우치가 150±10mm가 되도록 배합설계하여 W/C 48%를 결정한 다음 이를 전 배합에 동일하게 적용하는 것으로 하였다. 실험사항으로는 굳지않은 모르타에서 플로우치, 공기량 및 단위용적중량을 측정하며, 동결온도, 염화물량 및 응결시간을 측정하도록 실험계획 하였다.

2.2 사용재료

본 실험의 사용재료로 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트 (비중 3.15)를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 2와 같고, 잔골재는 강모래를 사용하였는데 그 물리적 성질은 표 3과 같다. 단, 강모래의 입도분포는 표준입도곡선 범위에 만족하는 것을 사용하였다. 혼화제료로서 내한성 혼화제는 국내의 제품으로 기본성분과 특성을 표 4와 같다.

표 2. 시멘트의 물리적 성질

비중	분말도 (cm ² /g)	안정도 (%)	응결 시간(분)		압축 강도(kg/cm ²)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3,432	0.07	222	391	246	314	409

표 3 잔골재의 물리적 성질

골재 종류	비중	조립율 (F.M)	흡수율 (%)	단위용적량 (kg/m ³)	입형관적율 (%)	No.200체 통과율 (%)
강모래	2.57	2.62	1.46	1598	61.0	2.06

표 4 내한성 혼화제의 특성

종류	기호	주성분	첨가량 (C×%)	비중	pH	빙점(°C)	외관	비고
내한 촉진제	K	질산염계	6	1.27±0.02	8±1	-25	연노랑액체	계면활성
	J	합질소화합물	4	1.32~1.36	9±0.5	-30	연노랑액체	-
	S	질산염계	15	1.17±0.02	7~7.5	-13	연노랑액체	-
방동제	C ₁	-	8	1.16	-	-15	암갈색분말	감수율10%이상
	C ₂	-	3	1.16	-	-15	암갈색분말	감수율10%이상
	C ₃	-	8	1.16	-	-15	임갈색분말	감수율10%이상
조강제	H	철산칼슘염	0.5	1.16±0.02	8±1	-10	암갈색액체	-

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 모르타의 혼합은 KS L 5109에 의한 수경성 시멘트 반죽 및 모르타의 기계적 혼합방법에 의하여 실시하였다.

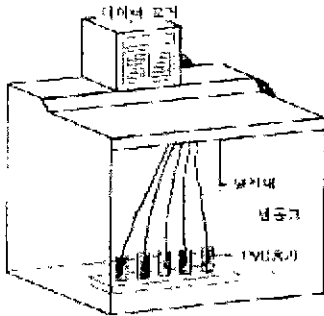


그림 1. 모르타의 동결온도측정



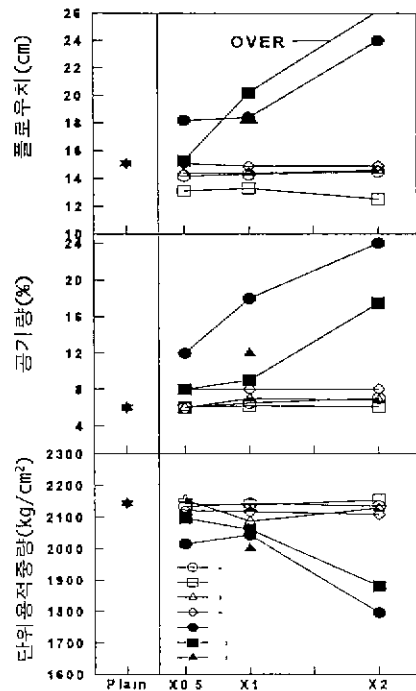
사진 1. 열화물측정

굳지않은 모르타의 플로우 시험은 KS L 5105, 공기량 및 단위용적중량 시험은 KS L 2409의 규정에 따라 실시하였다. 동결온도는 $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 의 몰드를 사용하여 용기의 중앙에 온도 측정용 열전대(T-type)를 설치한 후 냉동고에 넣어 냉동시키면서 2분간격으로 냉동고의 온도와 각 모르타의 온도를 Data logger(Therm 5500-3)에서 측정 기록하여 그래프 화합으로써 동결온도를 측정하였다. 또한 열화물 측정은 일빈 래미콘 공장에서 많이 사용하고 있는 굳지않은 콘크리트의 열분량측정기기(EM-250)를 이용하여 측정하였으며, 응결 시험은 KS F 2436의 관입저항침에 의한 시험방법으로 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 플로우, 공기량 및 단위용적중량

그림 2는 내한성 혼화제 종류별 혼입율 변화에 따른 플로우치, 공기량 및 단위용적중량 시험을 통한 그래프로 나타난 것이다. 먼저, 유동성은 대부분 제품에서 내한성 혼화제 혼입율이 증가할수록 큰 변화가 없는 것으로 나타나고 있는데 반해, 방동제 C₁~C₃제품에서는 혼입율이 증가할수록 유동성은 크게 증가되는 것으로 나타났다. 이는 방동제 제품에 AE제 혹은 감수제



내한성 혼화제 혼입율(%)

그림 2. 내한성 혼화제 혼입율 변화에 따른 플로우치, 공기량 및 단위용적중량

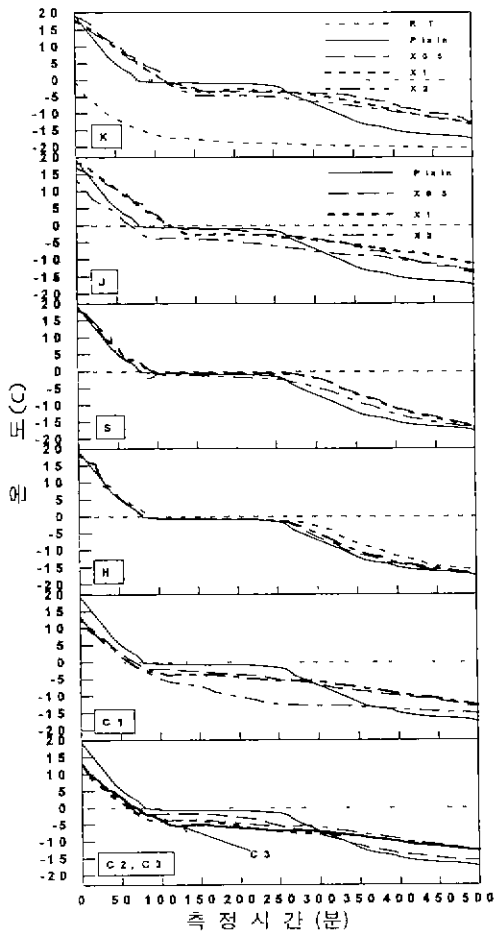


그림 3. 내한성 혼화제 혼입율 변화에 따른 냉각곡선

의 성분이 가미되어 유동성이 크게 증가하는 것으로 분석된다.

공기량은 내한성 혼화제 혼입율이 증가할수록 큰 변화는 없었으나, 역시 C₁~C₃ 제품에서는 큰 공기량 증가를 나타내었다. 단위용적중량은 공기량과 반대의 경향으로 변화가 없거나 큰 감소를 나타내었다.

3.2 동결온도 및 과냉각온도

그림 3은 내한성 혼화제 종류 및 혼입율별 시간경과에 따른 냉각곡선을 나타낸 그래프이다.

먼저 내한성 혼화제의 종류별 각기 다른 양상의 냉각곡선을 보이고 있는데, 대부분의 내한성 혼화제 제품에서 플레인과 비교하여 낮은 동결온도를 나타내고 있는 반면 S제품의 내한촉진제 및 H의 조강제에서는 플레인과 유사한 경향으로 나타났다.

그림 4는 그림 3을 다른 각도에서 동결온도 및 과냉각온도를 막대그래프로 비교한 것이다. 전반적인 경향으로는 내한성 혼화제 혼입율이 증가할수록 동결온도는 낮아지는 것으로 나타났다. 세부적으로 내한성 혼화제 종류별 과냉각온도는 내한촉진제 K 및 J제품에서 플레인 보다 평균 -2.7~-3.5°C 정도 낮아지는 것으로 나타났지만, 내한촉진제 S제품에서는 플레인과 거의 유사한 경향으로 나타나 내한촉진제 제품에 따라 품질에 큰 차이가 있음을 확인할 수 있었다. 특히, 방동제 C₁제품에서는 적정량의 2배를 혼입한 경우 과냉각온도는 -14.1°C로 제일 낮게 나타나 저온에서의 동결점 강하작용이 제일 큰 것으로 나타났다. 이는 내한성 혼화제에

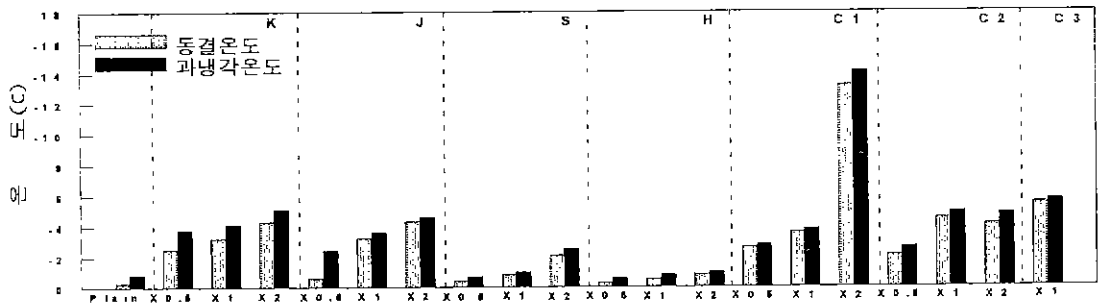


그림 4. 내한성 혼화제 혼입율 변화에 따른 동결온도 및 과냉각온도

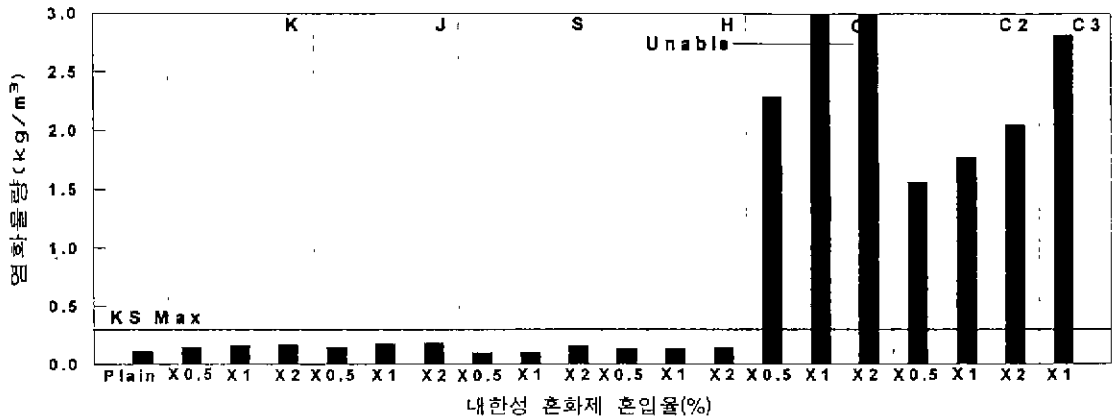


그림 5. 내한성 혼화제 혼입율 변화에 따른 염화물량

의한 모르터 및 콘크리트가 낮은 저온까지 동결되지 않아 한중콘크리트의 적용에 유리할것으로 사료된다.

3.3 염화물특성

그림 5는 내한성 혼화제 종류 및 혼입율 변화에 따른 염화물량을 나타낸 것이다. 전반적으로 내한성혼화제 혼입율이 증가할수록 염화물량은 증가하는 것으로 나타났는데, 플레인 및 내한축진제 K, J 및 S제품과 조강제 H의 경우에는 KS범위를 초과하지 않는 것으로 나타났다. 그러나 방동제 C₁~ C₃제품에서는 염화물량이 매우 큰 것으로 나타나 우리나라 규정상 철근 콘크리트 구조물 시공시에는 사용이 불가능한 것으로 나타났다.

3.4 응결특성

그림 6은 내한성 혼화제 종류별 혼입율 변화에 따른 시멘트 모르터의 초결 및 종결시간을 꺾은선 그래프로 나타낸 것이다.

먼저 20℃ 및 5℃에서는 내한성 혼화제의 혼입율이 증가할수록 내한성 혼화제 제품에 따라 촉진 및

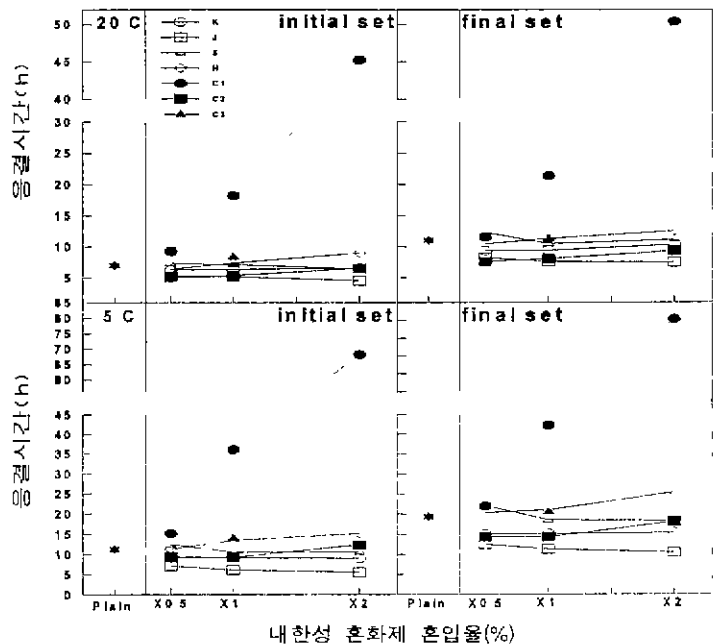


그림 6. 내한성 혼화제 혼입율 변화에 따른 응결특성

지연되는 것으로 나타났는데, 세부적으로 살펴보면 방동제 C₁, C₃제품에서는 응결이 다소 지연되는 것으로 나타났으며, 조강제 H는 큰 변화가 없었다. 또한, 내한축진제 K, J 및 S제품에서는 응결이 촉진되는 것으로 나타났다. 특히, 대부분의 내한축진제 제품에서 플레인에 비하여 빠른 응결이 나타났는데, 내한축진제 K, J 및 방동제 C₂ 제품에서는 플레인과 비교하면 초결의 경우 20℃에서는 평균 30~120분, 종결의 경우에는 평균 30~240분 정도 빠른 응결을 나타내고 있다. 특히, 5℃의 경우도 20℃의 경우와 유사하게 나타났으나 저온에서의 응결시간 차이는 더욱 큰 것으로 나타났다. 참고적으로 초기동해는 응결과정 또는 응결 후에 아직 충분한 강도가 발현되지 않은 단계에서 발생하는데, 콘크리트 중에 수분이 동결하는 것에 의해서 발생한다.¹⁾ 그러므로 초기동해를 방지하기 위해서는 저온환경하에서 큰폭으로 응결축진이 나타나는 것이 바람직한데, 특히 내한축진제 J제품에서는 5℃의 경우에 플레인에 비하여 8시간 정도 빠른 응결축진효과가 나타나 저온에서의 강도증진도 양호할 것으로 예상된다. 그러나 방동제 C₁의 제품의 경우는 적정량 이상을 혼입하였을시 큰 응결지연이 나타나 내한성 혼화제의 적정 사용량 준수가 매우 중요함을 시사하고 있다.

4. 결 론

내한성 혼화제를 이용한 시멘트 모르타에 있어 굳지 않은 모르타의 특성, 동결온도 및 응결특성을 실험한 결과에 대하여 요약하면 다음과 같다.

- 1) 굳지않은 모르타의 유동성 및 공기량은 내한성 혼화제 혼입율이 증가할수록 감소 및 큰 차이는 없는 것으로 나타났으나, 방동제 C₁~C₃제품에서는 증가하는 것으로 나타났다.
- 2) 동결온도 및 과냉각온도에서는 내한성 혼화제 혼입율이 증가할수록 동결온도는 플레인에 비하여 낮아지는 것으로 나타났으며, 내한축진제 S 및 조강제의 경우는 플레인과 비교하여 큰 차이가 없었다. 단, 방동제 C₁~C₃제품에서는 동결점 강하작용 효과가 매우 큰 것으로 나타났다.
- 3) 염화물량에서는 내한성 혼화제 혼입율이 증가할수록 증가하는 것으로 나타났는데, 특히 C₁~C₃제품에서는 많은 염화물이 검출되어 KS 규격의 허용범위를 크게 초과하였다.
- 4) 응결특성으로서 내한성 혼화제 혼입율이 증가할수록 대부분의 내한성 혼화제에서는 촉진경향을 나타내었다. 특히, 내한축진제 J제품에서는 저온인 -5℃의 경우에 플레인에 비하여 8시간 정도 응결축진이 크게 나타난 반면 C₁제품에서는 큰 응결지연을 나타내었다.

이상을 종합하여 볼 때 내한성 혼화제는 한중시공시 효과를 발휘하도록 개발되어진 것이기는 하지만, K 및 J사는 양호한 결과인 반면, 여타의 경우는 동결점 강하정도, 염화물량 및 응결시간등에 대하여 심도있게 검토한 후 활용여부를 결정하여야 할것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- (1) 日本建築學會；寒中コンクリート施工指針・同解説, 1998
- (2) 浜幸雄；耐寒促進劑による寒中コンクリート施工指針に關する研究北海道大學, 1998.
- (3) 浜幸雄, 鎌田英治；耐寒促進劑を用いたコンクリートの特性, 콘크리트工學, Vol 37, 1999.