

# 시판 방동제의 저온 양생된 모르타르 특성

## Characteristics of Mortar at Low Temperature with De-icing Agency

유 성 원\*      서 정 인\*  
Sung-Won Yoo    Jeong-In Suh

---

### ABSTRACT

Concrete placed under cold weather has some defects such as the decrease of initial strength by hydration delay, strength unrecovery at unhardened concrete freezing, and structural failure and crack by expansion pressure.

So, in this study, we tried to evaluate the JIS mortar which was made under cold weather using de-icing agency. In mortar test, the de-icing agency increased compressive strength under standard curing, and the de-icing agency made by  $\text{NaNO}_2$  gave the highest strength. However, as pre-curing time under  $21^\circ\text{C}$  was short, the de-icing agency made by  $\text{NaNO}_2$  and  $\text{Ca}[\text{NO}_3]_2$  had the highest strength.

---

### 1. 서론

한중 콘크리트는 초기 강도 발현이 늦어지게 되며, 미경화 콘크리트 동결 시에는 초기 수화물 조직 파괴에 의해 시간이 경과하여도 강도회복이 어렵다는 단점들을 가지고 있다. 이러한 한중 콘크리트의 제조는 시멘트가 저온에서도 수화가 가능하도록 개질하는 방법, 시공방법 보완 및 개선함으로써 보온 양생, 단열 거푸집 사용 및 화학혼화제를 첨가하여 콘크리트내 수분의 동결점을 저하시키고 저온에서도 수화를 촉진할 수 있도록 하는 방법 등 3가지로 분류할 수 있다. 본 연구에서는 이러한 3가지 방법 중 가장 손쉬운 방동제를 첨가하는 방법에 대해서 고찰하고자 하였다. 이러한 이유로 국내외에서 시판 중인 방동제들에 대해서 전치 양생 시간에 따른 모르타르 실험을 통한 강도 발현 특성을 평가하였다.

### 2. 동결 현상의 이론적 고찰

#### 2.1 동결 최저온도, 속도 및 지속시간

동결온도에 의한 콘크리트 내의 결빙수량은 온도가 낮을수록 미세 공극의 물이 점차로 얼게 되므로 결빙수량이 많게 되며, 따라서 동결 최저온도가 낮아질수록 동결융해 저항성이 나빠지게 되는 것으로 알려져 있다.

---

\* 정회원, 우석대학교 토목공학과 조교수

동결 속도에 대한 영향은 동결속도가 빠르면 동해가 크다. 그러나 기존 연구결과에 의하면, 온도 강하속도가 11.1℃/hr 일 때 기포 간격계수 0.025cm정도이면 충분히 동결융해 저항성을 갖기 때문에 동결속도가 비교적 느린 한국 기후 조건에서는 AE제가 첨가되면 문제가 되지 않는다고 생각된다.

일반적으로 동결지속 시간이 7시간 이내에서는 동결 지속시간이 긴 동결융해일수록 피해가 크다. 그러나 일반적으로 동결지속 시간이 16시간 이상의 장시간에서는 피해의 차이가 없는 것으로 알려져 있다. 한편, 습윤 정도의 영향은 전체 공극량에 대한 습윤 공극량의 백분율로 표시되는 습윤계수로 나타나는데 그 값이 70%이하이면, 동결융해에 대한 피해가 없다고 보고하고 있다.

## 2.2 제빙제 및 해수에 의한 영향

눈을 녹이기 위해 눈 위에 뿌리는 CaCl<sub>2</sub>나 해수 [NaCl]은 물의 어는점을 낮춘다. 그러나 CaCl<sub>2</sub>[NaCl]가 녹은 물이 콘크리트 내부에 침투함으로써 인해 동결융해에 의한 표면박리 손실 중량일 담수의 경우보다 크며, 염의 농도가 3-6%일 때 가장 크다.

염의 농도 증가에 따라 어는점 내림 현상이 일어나 상대적으로 콘크리트 내부의 결빙량이 적어지기 때문에 자연조건에서의 동결융해에 의한 표면박리 손실은 3-6%의 염의 농도에서 최대가 된다. 또한 더 부과될 수 있는 메카니즘으로는 염의 녹은 물이 먼저 크기가 큰 모세관 공극으로 침투하여 모세관 공극의 농도가 높아지며 농도가 낮은 겔수가 모세관 공극으로 확산하여 삼투압이 발생하고 이것이 얼음 팽창에 의한 팽창압에 부과되어 피해가 더 커지는데, 이러한 현상은 담수나 높은 농도의 염보다 낮은 농도의 염이 콘크리트 내부로 흡수되는 속도가 빠른 관계로 3-6%의 염의 농도에서 가장 피해가 커지게 된다.

## 2.3 초기 동해방지를 위한 연행공기의 영향

적산온도의 개념으로 시험하여 정리한 것이 그림 1이다. 여기서 적산온도  $M(, D \cdot D)$ 은 다음과 같이 표시된다.(Metha, 1992)

$$M = \sum_{z=0}^Z [\theta z + 10] (, D \cdot D) \quad (1)$$

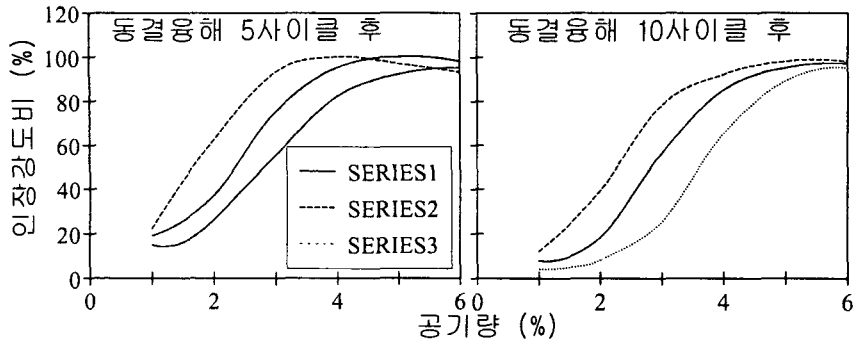
여기서,  $z$  : 재령 [일]

$Z$  : 필요한 강도를 얻기 위한 기간[일]

$\theta z$  : 재령  $z$ 일에서 콘크리트 일 평균 양생온도 [℃]

즉,  $\theta z$  는 가열 보온양생 또는 단열 보온양생을 하는 기간에서는 콘크리트의 예상 일 평균 양생온도로 하며, 보온양생을 하지 않는 경우는 예상 일평균 기온으로 한다.

그림 1의 결과에서 보면 콘크리트에 공기를 연행시킴으로써 초기 동해에 의한 콘크리트 강도 저하를 막을 수 있어서 겨울철 콘크리트 시공에 공기연행은 절대적이다.



SERIES1 : 보통콘크리트, 초기온도=-18° C  
 SERIES2 : 보통콘크리트, 초기온도=-10° C  
 SERIES3 : 경량콘크리트, 초기온도=-18° C

그림 1 공기량과 인장강도비 사이의 관계(Metha, 1992)

### 3. 실험방법

#### 3.1 사용재료

사용시멘트는 I종 보통 시멘트를 사용했으며, 외국에서 시판 중인 방동제 5종류(Manol, Manol-SS, Nonfree, Yamaso, Lignal-S)를 입수하여 JIS 규격에 의한 모르타르 시험을 실시하여 그 특성을 평가하였다. 이들 시판 방동제는  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{NaNO}_2$ ,  $\text{CaCl}_2$  성분으로 동결점의 저하와 수화촉진 성질이 있어 방동 효과가 큰 것으로 알려진 것들을 선정하였다. 사용된 모르타르 배합은 JIS 규격과 같으며, 방동제는 시멘트 중량의 6%를 첨가하였다.

시판 방동제의 화학성분은 철근 부식의 부작용 때문에 과거에 사용되어 왔던  $\text{CaCl}_2$  성분은 없고  $\text{NaNO}_2$ ,  $\text{NaNO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$  등의 철근부식, 알칼리 골재반응 등의 부작용이 없는 유기화학 혼화제가 주 성분이었다. 그러나 러시아 특허 상에는  $\text{CaCl}_2$  을 이용하여 겨울철 콘크리트 시공을 하고 있으며 기온이 낮은 상태에서는 철근 부식 등의 부작용이 적기 때문이 아닌가 판단된다.

#### 3.2 양생조건

28일간 양생은 -5°C에서 노출양생을 하였다. 몰드 제작 후 전치양생은 0, 7, 24시간 별로 방치한 다음 -5°C에서 28일 노출 양생을 하였다. 전치 양생온도는 실험실 온도인 21°C에서 하였다.

### 4. 실험결과

외국에서 사용되고 있는 시판 방동제 상품의 JIS 모르타르 시험을 실시한 결과를 표 1, 그림 2 ~ 4에 나타내었다. 시판되는 방동제들 중 가장 양호한 특성을 나타내는 제품은 M1로 나타났으며, 이의 화학 성분은  $\text{NaNO}_2$ 이었다.

#### 4.1 표준양생시의 압축강도

28일간 21℃에서 양생된 모르타르의 압축강도 시험 결과는 표1에서 알 수 있듯이 M1(NaNO<sub>2</sub>)제품이 가장 우수한 것으로 나타났다. 또한 모든 방동제의 경우, 방동제를 사용하지 않은 경우보다는 더 높은 압축강도 값을 나타내고 있다. 이는 방동제의 사용이 압축강도의 증진에 도움이 되는 것을 의미한다고 할 수 있다.

표 1 시판 방동제의 JIS 모르타르 시험 결과 (단위 : kg/cm<sup>2</sup>)

| 방동제   | 28일간 21℃ JIS 모르타르 시험 |     |     | 화학성분                              |             |     |     |     |     |
|-------|----------------------|-----|-----|-----------------------------------|-------------|-----|-----|-----|-----|
|       | 3일                   | 7일  | 28일 |                                   |             |     |     |     |     |
| Plain | 174                  | 238 | 312 | -                                 |             |     |     |     |     |
| M1    | 251                  | 341 | 389 | NaNO <sub>2</sub>                 |             |     |     |     |     |
| M2    | 227                  | 298 | 361 | NaNO <sub>3</sub>                 |             |     |     |     |     |
| N     | 202                  | 265 | 334 | Ca[NO <sub>3</sub> ] <sub>2</sub> |             |     |     |     |     |
| Y     | 208                  | 296 | 344 | Ca[NO <sub>3</sub> ] <sub>2</sub> |             |     |     |     |     |
| L     | 199                  | 273 | 319 | 리그닌CaCl <sub>2</sub>              |             |     |     |     |     |
|       | 전치 0시간후 양생           |     |     | 전치 7시간후 양생                        | 전치 24시간후 양생 |     |     |     |     |
|       | 3일                   | 7일  | 28일 | 3일                                | 7일          | 28일 | 3일  | 7일  | 28일 |
| Plain | 35                   | 78  | 129 | 52                                | 94          | 154 | 133 | 176 | 232 |
| M1    | 48                   | 101 | 176 | 71                                | 123         | 203 | 179 | 219 | 296 |
| M2    | 51                   | 85  | 186 | 65                                | 119         | 185 | 154 | 203 | 260 |
| N     | 27                   | 72  | 144 | 44                                | 80          | 152 | 100 | 131 | 219 |
| Y     | 43                   | 103 | 191 | 83                                | 105         | 195 | 149 | 204 | 274 |
| L     | 47                   | 84  | 144 | 51                                | 77          | 125 | 140 | 183 | 225 |

#### 4.2 전치시간에 따른 압축강도

21℃에서 0, 7, 24시간 전치양생된 후 -5℃에서 28일 노출 양생된 모르타르의 압축강도의 전치시간 별 3일 및 28일 압축강도는 그림 2 ~ 4에 나타내었다.

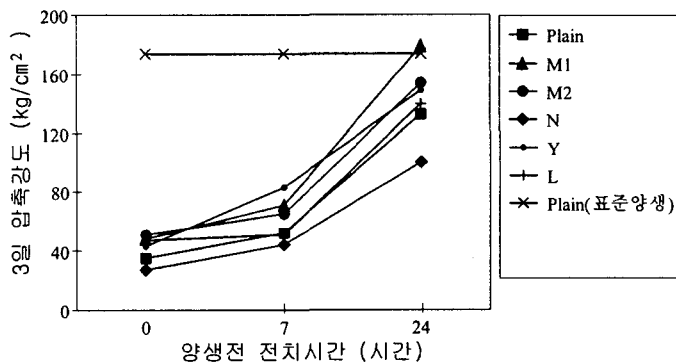


그림 2 전치시간과 방동제별 3일 압축강도사이의 관계

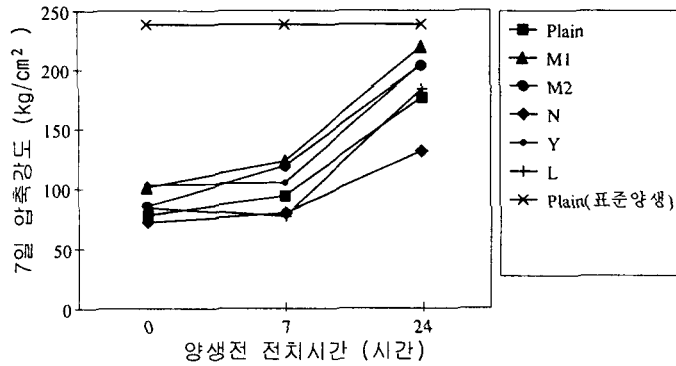


그림 3 전치시간과 방동제별 7일 압축강도사이의 관계

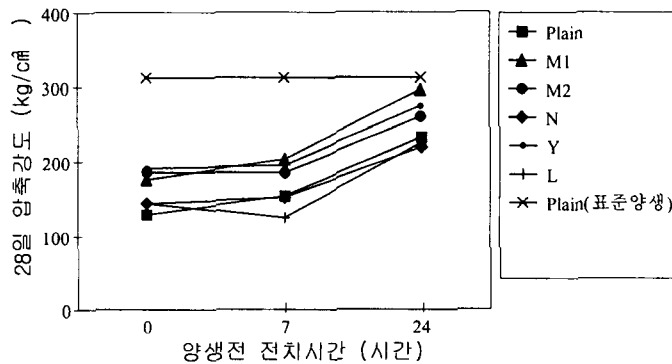


그림 4 전치시간과 방동제별 28일 압축강도사이의 관계

표 1 및 그림 2 ~ 4의 결과는 시편이 작은 JIS 모르타르 시험에 의한 내한성 시험이기 때문에 방동제에 의한 강도 발현 효과가 크지 못하고 전치양생에 대한 효과가 크게 나타난다. 그러나 전치 7시간 후 양생을 기준으로 볼 때 방동제를 사용하면 약 30kgf/cm<sup>2</sup> 정도의 강도 상승을 확인할 수 있었다. 콘크리트 부재 크기에 따라 내한성의 효과가 달라지기 때문에 실제 구조물에서 부재 크기에 따른 실험 및 거꾸집 보온 양생 등의 효과를 확인할 필요가 있을 것으로 판단된다.

전치시간이 1일 이상의 경우에는 M1(NaNO<sub>2</sub>)의 강도가 매우 우수하며, 특히 초기강도에서는 표준양생된 보통의 경우보다도 더 우수함을 알 수 있었다. 또한, 전치시간이 없는 경우에는 방동제의 종류에 관계없이 초기재령에서는 매우 낮은 강도를 나타내며, 28일 재령에서는 표준양생된 보통의 경우의 약 50 ~ 65 % 수준인 것으로 나타났다. 또한 전체적으로 7시간 정도의 전치시간은 전치시간이 없는 경우와 비교할 때, 강도 증진 효과는 크지 않은 것으로 나타나고 있다.

이러한 결과를 종합해보면 NaNO<sub>2</sub> 성분의 방동제를 사용하면 전치 보온 양생없이 표준양생된 보통의 경우의 약 65%의 강도를 발현할 수 있고, 전치 보온 양생을 수행하는 경우는 1일 혹은 그 이상을 유지하여야 원하는 소기의 강도를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 시판중인 방동제를 사용하여, 동절기에 시공 가능한 콘크리트를 제조하기 위하여 JIS 모르타르 실험적 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 강도발현이 가장 좋은 방동제는  $\text{NaNO}_2$  성분이었다.
- (2) 방동제를 첨가하여 전치 보온양생이 없다면, 표준양생된 Plain 모르타르의 약 65% 수준의 강도가 발현되는 것으로 나타났다.
- (3) 전치 보온 양생은 방동제 사용 여부에 타설 후 1일 정도의 보온 양생을 수행하여야 소요 강도에 근접할 수 있을 것으로 사료된다.
- (4) 전치 보온 양생시간이 짧은 경우에는  $\text{NaNO}_2$  방동제가 가장 우수하고, 전치 보온 양생시간이 다소 길고 초기 재령에서의 강도가 필요한 경우에는  $\text{Ca}[\text{NO}_3]_2$  성분의 방동제가 유리한 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 유성원, 서정인(2001), “방동제를 이용한 한중 콘크리트 개발”, 콘크리트학회, 봄학술발표회 논문집, pp. 953-958.
2. 현석훈(1992), “내한성 콘크리트 개발 연구”, 쌍용연구보고서.
3. P. Kumar Metha(1992), Concrete, 2<sup>nd</sup> Ed.
4. ACI(1992), Manual of Concrete Practice.
5. 社團法人 日本工業標準協會(1998), JIS Specification.