

# 제설제가 콘크리트 및 강재에 미치는 영향

## Effect of Deicer on the Concrete and Steel

이 병 덕\* · 윤 병 성\*\* · 이 주 광\*\* · 정 영 환\*\*\*

Lee, Byung Duck · Yun, Byung Sung · Lee, Joo Kwang · Chung, Young Hwan

### 1. 서 론

동절기 도로위의 눈이나 얼음의 효과적인 처리는 국가의 경제 및 공공안전을 위하여 필수적이다. 이를 위해 현재 국내에서 널리 사용되고 있는 제설제는 염화칼슘(Calcium chloride, CaCl<sub>2</sub>), 염화나트륨(Sodium chloride, NaCl)과 같은 염화물계가 주성분으로, 염해에 의한 철근부식으로 구조적 성능저하를 일으키기도 하지만, 동절기 동해와 함께 복합적으로 작용하여 표면 스킨링 발생 등 콘크리트 표면이 열화되는 형태로 나타나 외관상 문제가 되고, 열화를 더욱 가속시키기도 한다<sup>(1)</sup>. 그러므로 도로구조물 및 환경에 미치는 영향을 고려하여 이러한 영향을 줄이기 위해 여러 가지 저부식성, 저염화물, 비염화물계 제설제가 개발 및 사용이 확대되고 있다.

따라서 본 연구에서는 기존의 염화물계 제설제인 염화칼슘(CaCl<sub>2</sub>) 및 염화나트륨(NaCl)과 비염화물계 제설제, 초산화합물 함유 염화물 제설제, 그리고 이들 제설제를 일정비율로 혼합하였을 때의 콘크리트의 동결융해저항성 및 스킨링저항성, 강재의 부식에 미치는 영향을 실내시험을 통하여 비교·검토하였다.

### 2. 실 험

#### 2.1 사용재료 및 시험변수

스킨링 및 동결융해 시험에 사용한 콘크리트는 AE감수제를 사용하여 공기량이 5%, 28일 설계기준 압축강도가 32MPa이고, 표면박리저항성(스킨링) 시험은 28일 수중양생 후에, 동결융해시험은 14일 수중양생 후 실시하였다. 시험 내용 및 변수는 표 1과 같다.

표 1. 시험 내용 및 변수

| 종 류     |         | 제설제 종류 |   |   |   |   |   |   |   |   | 비 고   |
|---------|---------|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|-------|
|         |         | ①      | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ | ⑨ |       |
| 철근부식성   |         | ●      | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | 3% 용액 |
| 동결융해저항성 | 상대동탄성계수 | ●      | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | 3% 용액 |
|         | 중량손실    | ●      | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |       |
| 스킨링저항성  |         | ●      | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | 3% 용액 |

제설제 종류 :

① NS 40 ② NS 100(비염화물계) ③ NaCl ④ CaCl<sub>2</sub> ⑤ NaCl 70% + CaCl<sub>2</sub> 30%

⑥ NS 40 70% + CaCl<sub>2</sub> 30% ⑦ NaCl 70% + NS 40 30% ⑧ NS 40 70% + NaCl 30% ⑨ 물

\* 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원 · 공학박사 · 031-371-3352(E-mail:Lbdbhy@freeway.co.kr)  
 \*\* 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 연구원 · 공학석사 · 031-371-3355(E-mail:sung4292@hanmail.net)  
 \*\*\* 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 연구원 · 공학석사 · 031-371-3354(E-mail:jugoang@empal.com)

비회원 · 제마코퍼레이션 대표이사 · 경영학석사 · 02-514-1155(E-mail:chy5911@hanmail.net)



### 2.2 실험방법

강재의 부식시험은 제설제 용액이 금속의 부식에 미치는 영향을 조사하기 위하여 철 시편을 중량비 3% 농도인 제설제 용액에 침지시키고, 1, 3, 5주에서 30×50×3mm 철 시편의 무게 감량을 측정하였다.

동결융해 시험은 수도물(Tap water)과 3% 농도로 제설제 종류별로 실시하였다. 시험방법은 KS F 2456 A 법으로 상대 동탄성계수와 중량 손실량을 매 30사이클 마다 300사이클 종료까지 측정하였다. 동결융해 사이클은 2시간 동안 4℃에서 -18℃로 떨어뜨리고, 다음에 1시간 동안 -18℃에서 4℃ 상승시키는 것을 1사이클로 하였다.

스켈링시험은 30×30×10cm 크기의 콘크리트 시편에 폭 및 두께가 1×1cm인 고무재질 다이크를 설치한 후 표 1과 같은 제설제 종류로 ASTM C 672에 의거하여 실시하였고, 7, 14, 28, 42, 56사이클에서의 표면 박리(Mass of scaled off particles) 저항성을 중량 손실량으로 측정하였다. 동결융해 사이클은 7시간 동안 16℃에서 0℃로 떨어뜨리고, 0℃에서 -10℃로 5시간 떨어뜨리고, 4시간 동안 -10℃에서 동결, 8시간 동안 -10℃에서 16℃로 상승시킨 것을 1 사이클로 하였다.

## 3. 시험 결과 및 고찰

### 3.1 강재의 부식성

3 wt%의 제설제 용액 750mL에 공기 펌프로 공기를 주입하고, 철 시편을 1, 3, 5주 동안 침지하여 무게 감량을 측정한 결과를 그림 1에 나타내었다. 전체적으로 염화칼슘에서의 무게 감량이 크게 나타났으며, 3주 및 5주까지의 부식량 또한 염화칼슘 제설제에서 크게 발생하였다. 최종적으로 부식량의 발생은 염화칼슘>혼합(염화나트륨+염화칼슘)>혼합(NS40 70%+NaCl 30%), 혼합(NS40 30%+NaCl 70%)>NaCl>혼합(NS40 70%+CaCl<sub>2</sub> 30%)> NS40의 순서로 크게 나타났다.

반면에 비염화물계 제설제인 NS100은 증류수에서 보다 부식량이 적게 나타났고 부식이 거의 발생하지 않았으며, 부식시험 과정에서 시험용액의 색깔 변화가 거의 없었다. 그러나 NS100을 제외한 모든 시험용액에서는 녹 발생에 의해 용액 색깔이 붉게 변하였다. 이는 철시편의 녹 방지막인 부동태 피막이 파괴되어 산화철

(Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>)와 옥시수산화제이철(FeOOH)이 생성되었기 때문인 것으로 판단된다.

금속을 직접 제설제 용액에 침지한 이번 실험의 경우보다 실제 구조물에서와 같이 콘크리트에 매입된 철근의 경우는 유기산염인 NS40과 NS100 제설제의 경우 음이온인 CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>(25℃ 물에서 확산계수는 10<sup>5</sup>×1.08cm<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>)의 확산계수가 염소이온인 Cl<sup>-</sup>(25℃ 물에서 확산계수는 10<sup>5</sup>×2.03cm<sup>2</sup>s<sup>-1</sup>)보다 작아 콘크리트 내부로의 침투가 느려지므로, 염소이온이 포함되지 않은 유기산염 및 염소이온이 포함된 유기산염의 경우 부식의 위험성은 훨씬 적을 것으로 판단된다.

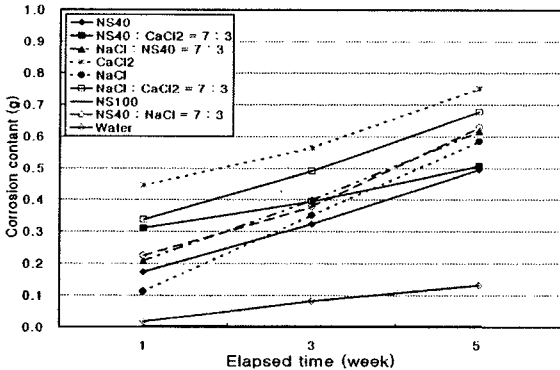


그림 1. 제설제 종류에 따른 강재의 부식성

### 3.2 동결융해저항성

물 및 3% 수용액 제설제 종류에 따라 동결융해 사이클에 노출될 때 콘크리트 시편의 상대 동탄성계수 변화를 그림 2에 나타냈다. 상대 동탄성계수는 동결융해 시험 전에 측정된 것과 동결융해 시험후 규정 사이클에서 측정된 동탄성계수와의 비율이다.

일반적으로 300 사이클 종료 후 건전한 시험체는 상대동탄성계수가 80% 이상을 유지하고 그 때의 길이변화율도 200µm 이하이어서 내동해성이 우수한 것으로 평가된다. 시험결과 혼합(NS40+NaCl) 제설제를 사용한 시험체에서 상대동탄성계수가 가장 크게 저하하는 것으로 나타났으며, 비염화물 제설제인 NS100 또한 동탄

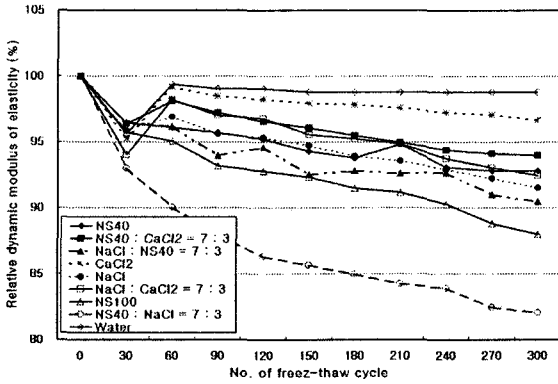


그림 2. 제설제 종류에 따른 상대동탄성계수

습) > 염화나트륨 > 혼합(염화나트륨+NS40=7:3) > NS100 > 혼합(NS40+염화나트륨=7:3) 순서로 동결융해에 따른 악영향을 적게 받는 것으로 나타났다.

콘크리트 공시체가 동결융해작용 혹은 기타 화학작용으로 인하여 그 강도가 증가, 또는 감소 하였을 때 강도가 어떻게 변화하는가 하는 과정을 측정해야 되는 경우가 있다. 따라서 동결융해시험에 의한 동탄성계수의 평가는 사용하는 골재, 배합 및 양생조건에 따라 달라질 수 있지만 동일공시체에 있어서는 탄성계수의 변동이 콘크리트 강도의 변동에 관계되는 좋은 지표로 사용할 수 있을 것이다.

그리고 동결융해시험에 의하여 얻어지는 결과를 이용하여 실구조물의 열화예측을 하는 것이 구조물이 사용되는 환경이 다양하고 제약이 있는 조건에서 정량적으로 곤란하지만 동해를 받는 가능성의 유무의 평가는 가능하다고 판단된다.

그림 3은 상대동탄성계수 측정시 콘크리트의 중량손실량을 나타낸 것이다. 동해에 의한 주요 열화현상은

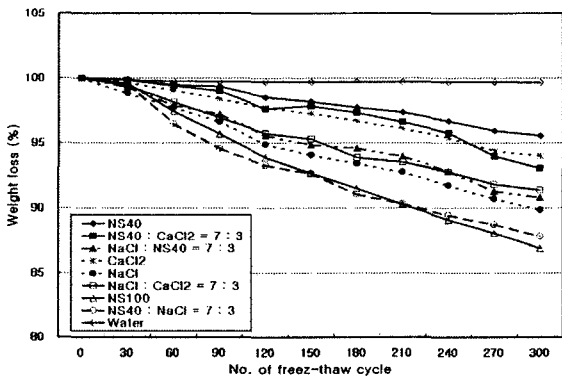


그림 3. 제설제 종류에 따른 중량손실

성계수의 저하가 크게 나타났다. 반면에 수돗물에서의 동탄성계수는 60 사이클 후 시험 종료시 까지 거의 변화가 없었다. 특이한 사항은 혼합계열(NS40+NaCl)과 NS100을 제외한 모든 시편에서 30 사이클에서 동탄성계수가 급격히 떨어졌다가 60 사이클에서는 다시 상승하였다. 이러한 원인은 콘크리트 수화반응 과정 중에 수화물의 변화로 인한 것으로 추정되나, 정확한 원인은 내부구조의 공극구조와 수화물질의 변화를 분석하는 회절분석법 등에 의해 밝혀질 수 있을 것으로 판단된다.

수돗물과 제설제의 종류에 따른 상대동탄성계수의 상대적인 평가에서는 수돗물 > 염화칼슘 > 혼합(NS40+염화칼슘) > NS40 > 혼합(염화나트륨+염화칼

슘) > 염화나트륨 > 혼합(염화나트륨+NS40=7:3) > NS100 > 혼합(NS40+염화나트륨=7:3) 순서로 동결융해에 따른 악영향을 적게 받는 것으로 나타났다.

콘크리트의 단면 감소이며 그 정도에 따라서 강재 부식이 발생하는 경우도 있다.

수돗물에서의 콘크리트 입자의 손실은 300 사이클 시험 종료 후에도 거의 발생하지 않았으며, 시편의 표면 형상도 깨끗한 상태를 유지하고 있었다. 입자 손실에 의한 중량감소율에서도 상대동탄성계수 평가에서와 유사한 경향을 나타내었는데, 수돗물 > NS40 > 염화칼슘 > 혼합(NS40+염화칼슘) > 혼합(염화나트륨+염화칼슘) > 염화나트륨 > 혼합(NS40+염화나트륨=7:3) > NS100 순서로 입자 손실 중량이 작게 나타나 동결융해에 따른 악영향을 적게 받는 것으로 나타났다.

수돗물에서의 콘크리트 입자의 손실은 300 사이클 시험 종료 후에도 거의 발생하지 않았으며, 시편의 표면 형상도 깨끗한 상태를 유지하고 있었다. 입자 손실에 의한 중량감소율에서도 상대동탄성계수 평가에서와 유사한 경향을 나타내었는데, 수돗물 > NS40 > 염화칼슘 > 혼합(NS40+염화칼슘) > 혼합(염화나트륨+염화칼슘) > 염화나트륨 > 혼합(NS40+염화나트륨=7:3) > NS100 순서로 입자 손실 중량이 작게 나타나 동결융해에 따른 악영향을 적게 받는 것으로 나타났다.

### 3.3 스켈링저항성

본 시험의 목적은 제설방법에 따른 염화물 종류 및 동결융해 사이클에 따라 콘크리트 표면 박리저항성에 미치는 영향을 파악하기 위해서이다. 시험 용액의 종류는 표 1과 같은 제설제 종류에 따라 3% 농도의 용액을 사용하였고, 1일 1사이클로 7, 14, 28, 42, 56일에서의 콘크리트 표면 입자손실량을 측정하였다. 일반적으로 콘크리트는 손실된 입자가 동결융해 50 사이클 후 1kg/m<sup>2</sup>을 초과하지 않는다면 적절한 스켈링저항성을 가진 것으로 간주한다.

그림 4에서 알 수 있듯이 염화칼슘 제설제 용액으로 시험한 시편에서 사이클이 증가함에 따라 표면 입자 손실량도 직선적으로 증가하였다. 그러나 손실된 입자가 동결융해 50 사이클 후 1kg/m<sup>2</sup>을 초과하지 않는 조건에는 만족하는 것으로 나타났다.

염화칼슘 제설제를 제외한 그 밖의 제설제 용액으로 시험한 시편에서는 최초 7사이클에서 입자 손실이 발생

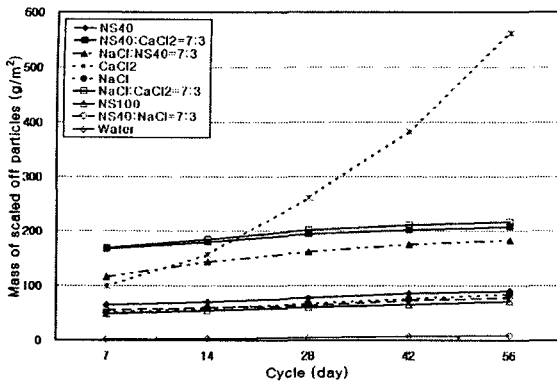


그림 4. 제설제 종류별 스�কে링시험 결과

의한 콘크리트의 동결융해저항성 평가는 KS F 2456 방법 보다 유효한 평가방법이라 할 수 있을 것이다.

#### 4. 결론

- (1) 강재의 부식량은 염화칼슘에서 가장 크게 발생하였으며, NS100 제설제에서는 물에서 보다 부식량이 적었으며, 또한 강재 부식이 거의 발생하지 않는 것으로 나타났다.
- (2) 상대동탄성계수의 상대적인 평가에서는 수돗물 > 염화칼슘 > 혼합(NS40+염화칼슘) > NS40과 혼합(염화나트륨+염화칼슘) > 염화나트륨 > 혼합(염화나트륨+NS40=7:3) > NS100 > 혼합(NS40+염화나트=7:3) 순서로 동결융해에 따른 악영향을 적게 받는 것으로 나타났다.
- (3) 입자 손실에 의한 중량감소율에서도 상대동탄성계수 평가에서와 유사한 경향을 나타내었는데, 수돗물 > NS40 > 염화칼슘 > 혼합(NS40+염화칼슘) > 혼합(염화나트륨+염화칼슘) > 염화나트륨 > 혼합(NS40+염화나트=7:3) > NS100 순서로 입자 손실 중량이 작게 나타나 동결융해에 따른 악영향을 적게 받는 것으로 나타났다.
- (4) 동결기 대기조건을 모사한 스�কে링시험은 염화칼슘 용액으로 시험한 시편에서 사이클이 증가함에 따라 표면 입자 손실량도 직선적으로 증가하였으나, 손실된 입자가 동결융해 50 사이클 후  $1\text{kg}/\text{m}^2$ 을 초과하지 않는 조건에는 만족하는 것으로 나타났다. 염화칼슘 제설제를 제외한 제설제 용액으로 시험한 시편에서는 최초 7사이클에서 입자 손실이 발생한 후 56사이클 시험 종료 후까지 거의 발생하지 않았다.
- (5) 제설제 종류에 따라 시험한 이상의 시험결과를 바탕으로 동결기 구조물이 동해를 받을 수 있는 지역에서 염화물계 제설제를 사용할 경우 제설성능 및 효과, 강재의 부식성, 콘크리트의 동결융해저항성 및 스�কে링저항성에 미치는 영향을 고려해 볼 때 하나의 제설제를 사용하기 보다는 두가지 제설제를 적정 비율로 혼합하여 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다. 혼합 사용시에는 세설성능, 강재 및 콘크리트에 미치는 영향을 고려해 볼 때 NS40+염화칼슘이 가장 효과적인 것으로 판단된다. 그러나 동결융해 후 염화물계 제설제의 염소이온 침투로 인한 화학분석에 의한 수화물 변화, 그리고 내부 공극구조의 분석 등 상세한 조사를 할 필요가 있고, 환경영향 또한 검토 되어야 할 것으로 판단된다. 아울러 실제 현장에서의 장기적인 추적조사와 경제성 분석도 이루어져야 할 것으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

1. ASTM C 672-84: Standard Test Method for Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing Chemicals, ASTM Standard, pp. 332~334, 1984.
2. HITEC, "Summary of Evaluation Findings for the Testing of ICE BAN<sup>®</sup>", Technical Evaluation Report, Highway Innovative Technology Evaluation Center, a Service Center of the Civil Engineering Research Foundation, pp. 9~22, 1999. 9.