



제설제 종류에 따른 용빙성능 및 콘크리트에 미치는 영향 평가에 관한 연구

Evaluation of the Deicing Performance and Concrete Structure Effect with Various Deicing Chemicals

이 병 덕* 윤 병 성** 이 주 광*** 정 영 환****
 Lee, Byung-Duck Yun, Byung-Sung Lee, Joo Kwang Chung, Young Hwan

Abstract

In this study, calcium chloride(CaCl₂), sodium chloride (NaCl), organic acids-containing deicer(NS 40, NS 100), mixed deicer(NaCl 70% + CaCl₂ 30%, NS 40 70% + CaCl₂ 30%, NaCl 70% + NS 40 30%, NS 40 70% + NaCl 30%) is investigated based on the laboratory test for deicing performance, freeze-thaw resistance of concrete, and corrosion rate of metal. Test items for deicing performance were ice melting and ice penetration, freezing point depressions and eutectic points, pH, thermal properties for selected deicing chemicals as well as their compatibility with concrete and metal were experimentally investigated.

As a test results, in case of the use chloride-containing deicer in area that concrete structures has subjected to freeze-thaw reaction in winter season, it showed that mixed deicing chemicals with optimum ratio has desirable method than use one deicing chemicals when is consider to deicing performance and effects, corrosion of steel materials, and freeze-thaw resistance of concrete. When use various deicing chemicals mixed, NS40(70%)+Calcium chloride(30%) showed the best effective method.

Keywords : *deicing chemicals, calcium chloride, sodium chloride, organic acids-containing deicer(NS 40), endothermic reaction, exothermic reactive, ice melting, ice penetration, freezing point, scaling, freeze-thaw, relative dynamic modulus of elasticity*

요 지

본 연구에서는 기존의 염화물계 제설제인 염화칼슘(CaCl₂) 및 염화나트륨(NaCl)과 비염화물계 제설제(NS 100), 초산화합물 함유 염화물 제설제(NS 40), 그리고 이들 제설제를 중량대비 일정비율로 혼합(NaCl 70%+CaCl₂ 30%, NS 40 70%+CaCl₂ 30%, NaCl 70%+NS 40 30%, NS 40 70%+NaCl 30%)하였을 때 제설성능과 특성, 콘크리트의 동결융해저항성 및 강재의 부식에 미치는 영향을 실내시험을 통하여 비교·검토하였다.

이상의 시험결과를 바탕으로 동절기 구조물이 동해를 받을 수 있는 지역에서 염화물계 제설제를 사용할 경우 제설성능 및 효과, 강재의 부식성, 콘크리트의 동결융해저항성 및 스킨링저항성에 미치는 영향을 고려해 볼 때 하나의 제설제를 사용하기 보다는 두가지 제설제를 적정 비율로 혼합하여 사용하는 것이 바람직한 방법임을 알 수 있었다. 혼합 사용 시에는 제설성능, 강재 및 콘크리트에 미치는 영향을 고려해 볼 때 NS40(70%)+염화칼슘(30%)이 가장 효과적인 것으로 나타났다.

핵심용어 : 제설제, 염화칼슘, 염화나트륨, 초산화합물계 제설제, 흡열반응, 발열반응, 얼음용융성, 얼음침투깊이, 어는점, 스킨링, 동결융해, 상대동탄성계수

* 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원 · 공학박사
 ** 한국도로공사 도로교통기술원 연구원 · 공학석사
 *** 한국도로공사 도로교통기술원 연구원 · 공학석사
 **** 제마코퍼레이션 대표 · 경영학석사



1. 서론

동절기 도로위의 눈이나 얼음의 효과적인 처리는 국가의 경제 및 공공안전을 위하여 필수적이다. 이를 위해 현재 널리 사용되고 있는 방법인 제설제의 살포는 앞으로도 눈이나 얼음의 효과적인 처리에 주도적인 역할을 할 것이다. 현재 국내에서 주로 사용되고 있는 제설제는 염화칼슘(Calcium chloride, CaCl₂)과 염화나트륨(Sodium chloride, NaCl)이고, 미국이나 일본의 경우는 소금인 염화나트륨으로 모두 염소이온을 포함하고 있다.

이러한 제설 및 동결방지 대책을 위해 이들 염화물을 살포하게 되면 콘크리트가 계속적으로 반복되는 동결융해의 피해를 입어 통상적인 동해열화와는 달리 콘크리트 표면이 기형으로 박리되는 스킨링(Scaling)이 발생한다는 것이 특징이라고 알려져 있다(일본콘크리트공학협회, 1999), (Pigeon, M. and Pleau, R, 1995). 또한 염화물의 영향은 강재의 부식과 알칼리 골재반응 등에 의한 콘크리트 구조물의 열화손상을 유도하기도 한다. 특히, 제설제 살포지역은 겨울철 기상조건이 대단히 나쁜데다 동결융해작용에 의한 열화뿐만 아니라 적설지역에서는 제설차 기기 등에 의한 손상, 타이어 체인사용에 따른 손상도 더해져 콘크리트 열화를 제설제 때문이라고 단정하기에는 아직까지 불확실한 점도 많다(한국도로공사, 1999).

우리나라의 제설제 사용량은 구미 선진국과 비교하여 아직까지는 적은 편이므로 현시점에서는 콘크리트 구조물이 열화된 사례는 적을 것이라고 생각되지만 이러한 상태로 매년 제설제 사용이 반복되다 보면 콘크리트 부재 속에 천천히 축적되다가 어떤 한도를 넘어선 시점부터 열화가 가속화 될 것이다. 그러

므로 도로구조물 및 환경에 미치는 영향을 고려하여 이러한 영향을 줄이기 위해 최근 국·내외에서는 여러 가지 저부식성, 저염화물, 비염화물계 제설제의 개발 및 사용이 확대되고 있는 추세이다.

따라서 본 연구에서는 기존의 염화물계 제설제인 염화칼슘(CaCl₂) 및 염화나트륨(NaCl)과 비염화물계 제설제(NS 100), 초산화합물 함유 염화물 제설제(NS 40), 그리고 이들 제설제를 일정비율로 혼합하였을 때 제설성능과 특성, 콘크리트의 동결융해저항성 및 강재의 부식에 미치는 영향을 실내시험을 통하여 비교·검토하고자 한다.

2. 실험

2.1 사용재료 및 시험변수

스킨링 및 동결융해 시험에 사용한 콘크리트는 H사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 28일 설계기준 압축강도가 32MPa이고, 배합비는 표 1과 같다. 표면박리저항성(스킨링) 시험은 28일 수중양생 후에, 동결융해시험은 14일 수중양생 후 실시하였다. 시험 내용 및 변수는 표 2와 같다.

2.2 실험 방법

(1) 수소이온농도 (pH)

pH는 토질이나 수질에 영향을 주기 때문에 결과적으로 토양과 물 속에 살고 있는 생명체 영향을 미칠 수 있으므로 환경기준의 중요한 요소이다. 또한, pH가 낮은 산성 물질은 콘크리트를 손상시킬 수 있으므로 제설제 용액은 중성 또는 약알칼리성이어야

표 1. 스킨링 및 동결융해 시험용 콘크리트 배합비

Gmax (mm)	Air (%)	Slump (cm)	W/C (%)	S/A (%)	단위량 (kg/m ³)				
					W	C	S	G	AE감수제
25	4.5	13.5	45	43	173	378	733	999	C×0.28%

표 2. 시험 항목 및 변수

종 류	제 설 제 종 류									비 고
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	
pH	●	●	●	●					●	중량비 10% 용액
열특성	●		●	●	●	●	●	●		고상 3kg/m ²
어는점내림 및 공용점	●		●	●	●					문헌고찰
얼음용융성	-5℃	●	●	●	●	●	●	●		고상
	-12℃	●	●	●	●					
얼음침투깊이	●	●	●	●						
철근부식성	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
동결융해저항성	상대동탄성계수	●	●	●	●	●	●	●	●	중량비 3% 용액
	중량손실	●	●	●	●	●	●	●	●	
스켈링저항성	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
제설제 종류 : ① NS 40 ② NS 100(비염화물계) ③ NaCl ④ CaCl ₂ (2수화물) ⑤ NaCl 70% + CaCl ₂ 30% ⑥ NS 40 70% + CaCl ₂ 30% ⑦ NaCl 70% + NS 40 30% ⑧ NS 40 70% + NaCl 30% ⑨ 물										

한다. 본 실험에서는 여러 가지 제설제의 10% 수용액에 대한 pH를 조사하였다.

(2) 열 특성

콘크리트 슬래브 시편은 크기가 30×30×10cm로 그림 4와 같은 스켈링시험에 사용한 것과 같고, 시편의 표면에 열전대(Thermal couple)를 설치하였다. 28일 양생 후 시편에 폭 및 두께가 1×1cm인 고무재질 다이크를 설치한 후 표면에 얼음을 만든 다음, 표 1과 같은 고상 제설제를 3kg/m²을 살포한 다음 30분까지 콘크리트 표면에서의 온도변화를 측정하였다.

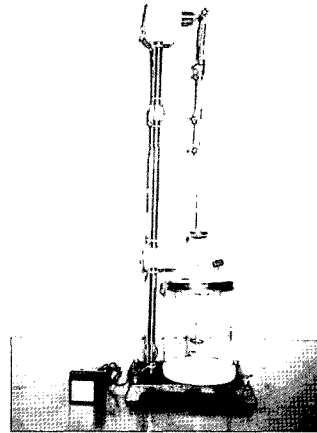


그림 1. 어는점 및 공용점 측정 장치

(3) 어는점 내림 특성 조사

각 제설제의 어는점 내림 특성을 조사하기 위해 ASTM D 1177-88, "Standard Test Method for Freezing Point of Aqueous Engine Coolants"를 기초로 하여 본 실험의 목적에 적합하도록 일부 수정하여 사용하였다. 실험 장치는 그림 1과 같이 단열냉각조(2L)와 시험관(200mL), 교반 장치 등으로 구성되어 있으며, 자동 온도 집록기를 이용하여 시간에 따른 온도 변화를 측정하였다.

(4) 얼음 용융 시험

용빙제를 도로에 살포하였을 때, 도로 표면의 눈 또는 얼음을 녹일 수 있는 능력을 비교·조사하기 위하여 SHRP H-205.1, "Test Method for Ice Melting of Solid Deicing Chemicals"에 의거하여 얼음 용융 시험(ice melting test)을 실시하였고, 시험장치는 그림 2와 같다.

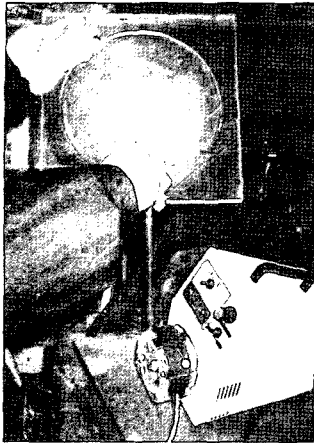


그림 2. 얼음 용융 시험

시험에 사용할 용빙제를 $4.17 \pm 0.005\text{g}$ 을 정량하여 시료병에 넣은 후, 시험 온도와 평형이 되도록 시험 1~2시간 전에 항온실에 놓아둔다. 일정 시간이 경과할 때마다 얼음이 녹은 양을 측정한 후, 용융액을 다시 얼음 표면에 부어 시간 경과에 따른 각 용빙제의 누적된 용융량을 측정한다. 시험에 사용한 시간 간격은 10, 20, 30, 45, 60분이며, 시험 온도는 -5°C , -12°C 를 선정하여 시행하였다.

(5) 얼음 침투 깊이 측정 시험

얼음 침투 깊이 측정 시험은 용빙제 입자를 적당한 염료로 처리된 얼음 표면에 올려 놓아 60분에 걸쳐 일정한 온도에서의 침투 깊이를 측정하는 방법으로, SHRP H-205.3, "Test Method for Ice Penetration of Solid Deicing Chemicals"에 의거하여 수행하였다. 각 침투 깊이는 5, 10, 15, 20, 30,

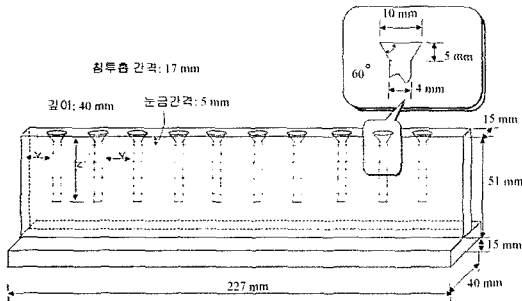


그림 3. 얼음 침투 시험기 구성도

45, 60분이 경과할 때마다 측정하였으며, 시험 온도는 -6°C 에서 시행하였다. 시험장치는 그림 3과 같다.

(6) 부식 측정 시험

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

(7) 동결융해 시험

동결융해 시험은 수돗물과 3% 농도로 제설제 종류별로 실시하였다. 시험방법은 KS F 2456 A법으로 상대 동탄성계수와 중량 손실량을 매 30사이클마다 300사이클 종료까지 측정하였다. 동결융해 사이클은 2시간 동안 4°C 에서 -18°C 로 떨어뜨리고, 다음에 1시간 동안 -18°C 에서 4°C 상승시키는 것을 1 사이클로 하였다.

(8) 스킨링저항성

스킨링시험은 $30 \times 30 \times 10\text{cm}$ 크기의 콘크리트 시편에 폭 및 두께가 $1 \times 1\text{cm}$ 인 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°C 에서 0°C 로 떨어뜨리고, 0°C 에서 -10°C 로 5시간 떨어뜨리고, 4시간 동안 -10°C 에서 동결, 8시간 동안 -10°C 에서 16°C 로 상승시킨 것을 1 사이클로 하였다(그림 4).

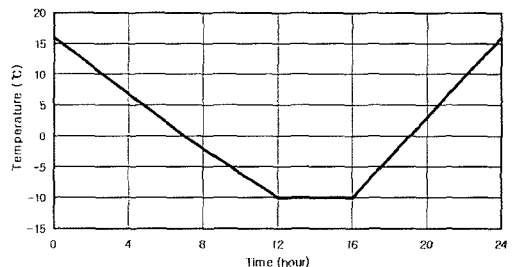


그림 4. 스킨링 시험용 시편의 동결융해 사이클

3. 시험 결과 및 고찰

3.1 수소이온농도 (pH)

이번 실험에 사용된 제설제에 대하여 10% 수용액에서의 pH 측정 결과를 그림 5에 나타내었다. 염화칼슘은 일반 도로제설용으로 사용하는 2수화물을 이용하였다. 2수화물 염화칼슘 제설제에서 pH가 11.5로 다소 높은 것으로 조사되었으며, 그 외의 제설제들은 pH가 약알카리성(7.9~9.9)을 나타내었다. 국내의 하천 수질 환경의 기준은 pH 5.8~8.6으로서 제설제 사용에 따라 수질의 pH에 미치는 영향은 매우 미흡할 것으로 예상된다.

그러나, 토양의 pH에 따라서 식물에 필요한 영양소의 공급이 크게 좌우되므로 제설제 용액의 pH는 제설제를 사용하는 도로주변 식물에 영향을 미치는 요인이 된다. 대체로 강한 산성이나 강한 알카리성은 모두 좋지 않다. 강한 산성에서는 모든 주된 영양소, 즉, 질소, 인, 칼륨, 황, 칼슘, 마그네슘, 그리고 미량 원소 몰리브덴 등을 식물이 흡수할 수 없거나 아주 소량만 가능하게 된다.

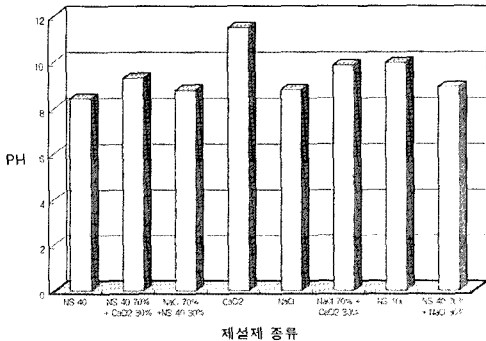


그림 5. 제설제 종류에 따른 수소이온농도

3.2 열 특성

염화물 제설제가 얇은 얼음 층에 살포되게 되면 콘크리트 표면의 온도가 급격하게 저하되어 열 충격(Thermal shock)을 일으킨다(이병덕, 2004). 염화

나트륨의 수용시 흡열반응(Endothermic reaction)이 일어나 콘크리트로부터 열을 흡열하므로 콘크리트 표면의 온도가 급속하게 저하된다. 따라서 콘크리트 표층의 급격한 온도저하에 의해 발생한 응력이 콘크리트의 인장강도를 상회하게 되면 미세 균열이 생길 가능성이 있다.

시험시의 온도는 0℃이고, 사용한 제설제는 표 2와 같고, 플레이크(Flake) 상태로 3kg/m²을 살포한 경우 콘크리트 표면에서의 온도변화를 측정하였다.

그림 6은 제설제 종류에 따라 열특성 시험결과를 나타낸 것인데, CaCl₂는살포 직후부터 발열반응에 의해 온도상승을 보이더니 콘크리트 표면 온도가 +6℃까지 상승하였다.

NaCl 분말을 살포했을 때는 살포 후 수용시의 흡열반응에 따라 온도저하를 나타내었으며, 콘크리트 표면의 온도는 약 -10℃까지 저하되었다. NS40 제설제 또한 살포후 5분에서 -8℃까지 온도가 떨어졌다.

염화나트륨과 NS40을 혼합한 제설제에서 온도저하가 가장 크게 발생하였다. 이는 염화나트륨과 NS40 제설제 모두 흡열반응성 물질에 의한 것으로 판단된다.

염화칼슘을 제외한 모든 제설제가 흡열성 물질로 나타났는데, NS40과 염화칼슘을 혼합한 제설제가 온도저하가 가장 작게 발생하였다. 이는 염화칼슘의 발열반응이 NS40의 흡열반응을 일정부분 상쇄하였기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 흡열성 물질 만

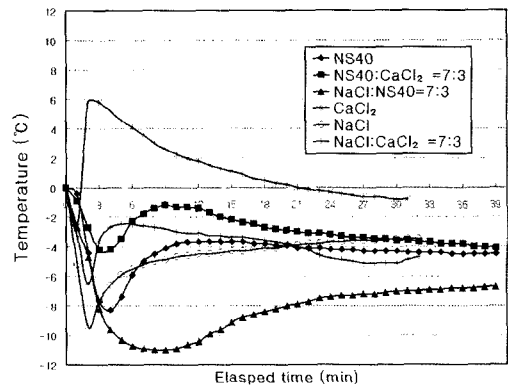
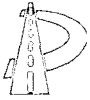


그림 6. 제설제 종류에 따른 열특성



을 살포할 때 보다는 어는점(Freezing point)이 상승한다는 것을 의미하는 것이다.

3.3 어는점 내림

각 제설제에 대한 어는점 내림 특성 시험 결과, 소금의 어는점은 10%, 20% 수용액에 대하여 각각 -7.3℃, -19.4℃에서 나타났다(표 3). 공용점은 10%, 20% 수용액에 대하여 각각 -24.8℃, -23.4℃에서 나타났다. 30% 수용액은 소금의 용해도 문제로 인하여 실험에서 제외하였다. 이 결과는 문헌상으로 알려진 공용점인 -21.1℃(23.3%)와 거의 일치함을 보였다.

염화칼슘(2수화물)은 문헌상으로 알려진 바로는 29.8% 농도, -51.1℃에서 공용점이 나타난다고 되어 있다(한국도로공사, 1999). 실험에서는 공용점이 나타나지 않았으며, 어는점은 10%, 20%, 30% 수용액에 대하여 각각 -4.7℃, -11.9℃, -26.6℃에서 나타났다. 실험 측정값이 문헌상의 공용점과 다소 큰 차이를 보이는 이유는 이 물질이 2수화물이기 때문인데,

현재 제설제로 상용화된 염화칼슘은 2수화물이다.

NS 40의 경우에는 문헌상 효과적인 사용온도가 -25℃로 나타나, 실제로 어는점 및 공용점은 이보다 더 떨어질 것으로 추정된다. 염화나트륨과 염화칼슘의 혼합비가 7:3인 경우에 대하여 어는점은 -16.5℃로 염화나트륨의 첨가량이 많을수록 어는점이 낮아지는 특성을 보일 것으로 판단된다.

3.4 얼음 용융 성능

그림 7은 -5℃에서 실시한 얼음 용융 성능 시험 결과로서, 시간의 경과에 따른 누적 얼음 용융량을 나타낸 것이다.

염화나트륨의 경우 30분 이전에는 사용한 물질 중 비교적 낮은 용빙량을 나타내었으나, 30분 이후부터 염화칼슘(2수화물)보다 우수한 용빙 효과를 보였으며, 초기에 우수한 용빙 성능을 발휘했던 염화칼슘(2수화물)은 30분 이후부터 그 증가폭이 급격히 감소하였다. 염화칼슘(2수화물)의 발열 효과에 의한 초기 용빙 성능은 우수하나, 지속성은 떨어지는 것을

표 3. 어는점 내림 특성

제설제 종류	어는 점 (℃)			공용 점 (℃)	
	10%	20%	30%	시험 결과	문헌보고
염화나트륨	-7.3	-19.4	N/A	-24.8(10%), -23.4(20%)	-21.1(23.3%)
염화칼슘(2수화물)	-4.7	-11.9	-26.6	나타나지 않음	-51.1(29.8%)
NS 40	-	-	-	-	-25 이하
염화나트륨:염화칼슘(7:3)	-	-16.5	-	-25.9(20%)	-

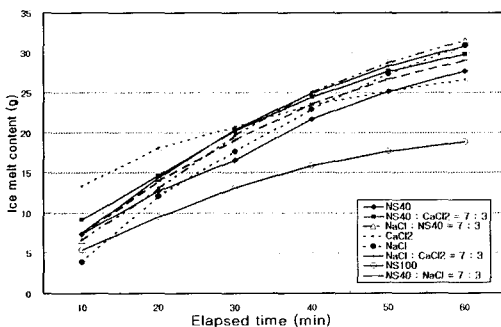


그림 7. -5℃에서의 얼음 용융성

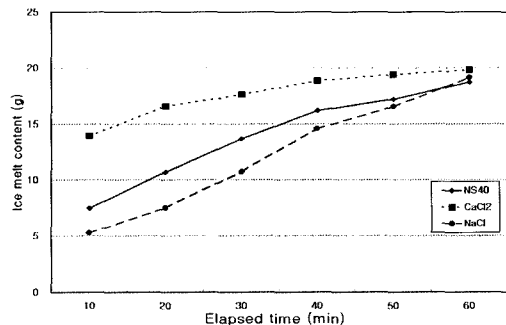


그림 8. -12℃에서의 얼음 용융성

알 수 있다. NS40은 염화칼슘과 거의 동일한 용빙 성능을 나타내었으며, 혼합(NS40+염화칼슘) 제설제가 초기에서부터 전체적으로 우수한 용빙 효과를 나타내었다. 또한 혼합(염화나트륨+염화칼슘) 제설제에서도 양호한 용빙효과가 나타나는 것으로 확인되었다. 따라서 염화칼슘의 속효성과 NS40의 지속성을 조합하면 우수한 제설효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 비염화물계 제설제 NS100은 매우 낮은 용빙량을 나타내어 실제 얼음 용융 효과 자체는 미흡한 것으로 조사되었다.

그림 8은 -12℃에서의 염화칼슘, 염화나트륨, NS40 제설제에 대한 얼음 용융 시험 결과를 나타낸 것이다. 전반적으로 제설제 종류에 상관없이 -5℃의 용빙량 시험결과에 비해 효과가 떨어지는 것으로 나타났다. 특히 어느점 온도가 높은 염화나트륨이 용빙효과가 미흡한 것으로 나타났다. 따라서 강설후 기온강하시 제설작업에서는 염화나트륨을 단독으로 사용하기 보다는 염화칼슘이나 NS40을 혼합하여 사용하는 것이 효과를 극대화시키는 방안이라고 판단된다.

얼음 용융 시험은 각 화합물의 어느점 내림 특성 뿐만 아니라 입자의 모양과 크기, 밀도, 굳기, 용해도 등에 따라 영향을 받을 수 있다. 매우 미세한 입자의 경우 표면에 고르게 작용하여 굵은 입자보다 얼음 용융량이 증가되는 경향을 나타내지만, 입자가 미세할 경우 살포시 유실될 가능성이 크며, 작업성도 나쁘기 때문에 실제 제설제로 사용을 하기 위해서는 적정한 입도와 모양에 대하여 신중하게 고려할 필요가 있다.

3.5 얼음 침투 성능

얼음 용융 시험은 용융 방향과는 상관없이 얼음의 용융량을 측정하는 것인 반면, 얼음침투깊이 측정 시험은 제설제가 수직 방향으로 얼음을 녹이는 정도를 측정하기 위한 방법이다. 얼음-노면 계면을 분리하는 것이 제설제의 중요한 기능이므로, 얼음침투는 제설제의 중요한 특성 중의 하나이다. -6℃에서 시행한 얼

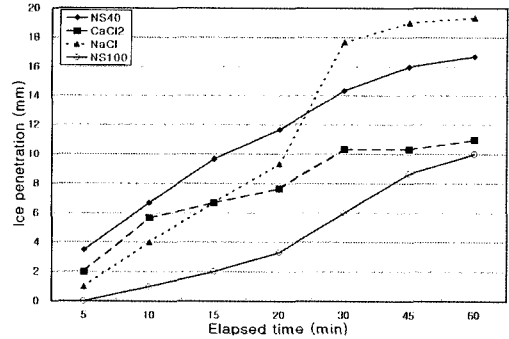


그림 9. 제설제 종류에 따른 얼음침투깊이

음침투깊이 측정 시험 결과를 그림 9에 나타내었다.

실험 시작 후 20분이 경과할 때까지는 NS40 제설제가 가장 깊이 침투하였으며, 20분 경과 후부터 염화나트륨이 지속적으로 침투 깊이가 증가하여 30분 이후에는 가장 좋은 얼음 침투 능력을 나타내었다. 반면에 비염화물계 제설제로 알려진 NS100 제설제의 경우 침투 깊이가 초기에서부터 시험 종료까지 가장 낮은 침투 깊이를 나타내었다.

얼음-노면 계면을 분리시키는 얼음침투 깊이에 있어서 염화나트륨과 염화칼슘 또는 NS40과 염화칼슘을 혼합하는 것이 효과적이라 판단된다. 특히 노면에 압설이나 얼음층이 형성되어 있을 경우에는 초기 침투깊이 성능이 우수한 NS40과 어느정도 시간이 경과한 후에 침투성을 나타내는 염화나트륨을 혼합하여 사용하는 방법이 최적의 방법이라 판단된다.

3.6 강제의 부식성

중량비 3% 농도의 각각의 제설제 용액 750mL에 공기 펌프로 공기를 주입하고, 철 시편을 1, 3, 5주 동안 침지하여 무게 감량을 측정한 결과를 그림 10에 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%+CaCl2



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 변화했다. 이는 철시편의 녹 방지막인 부동태 피막이 파괴되어 산화철(Fe_2O_3)과 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_3COO^- (25°C 물에서 확산계수는 $1.08 \times 10^5 \text{cm}^2 \text{s}^{-1}$)의 확산계수가 염소이온인 Cl^- (25°C 물에서 확산계수는 $2.03 \times 10^5 \text{cm}^2 \text{s}^{-1}$) 보다 작아 콘크리트 내부로의 침투가 느려지므로, 염소이온이 포함되지 않은 유기산염 및 염소이온이 포함된 유기산염의 경우 부식의 위험성은 훨씬 적을 것으로 판단된다.

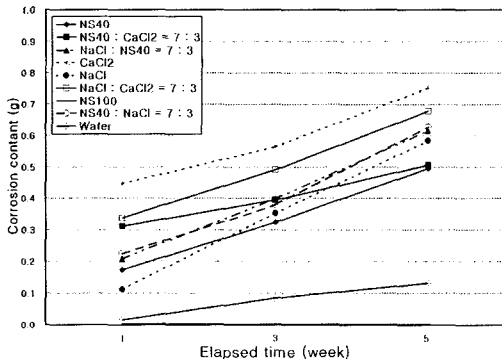


그림 10. 강재의 부식성

3.7 동결융해저항성

본 시험의 목적은 콘크리트 시편을 제설제에 따라 동결융해후 콘크리트의 내부 상태를 공명진동 주파수로 간접적으로 조사하는 것이다. 수도물과 3% 수용액 제설제 종류에 따라 동결융해 사이클에 노출될 때 콘크리트 시편의 상대 동탄성계수 변화를 그림

11에 나타냈다. 상대 동탄성계수는 동결융해 시험 전에 측정된 것과 동결융해 시험후 규정 사이클에서 측정된 동탄성계수와와의 비율이다.

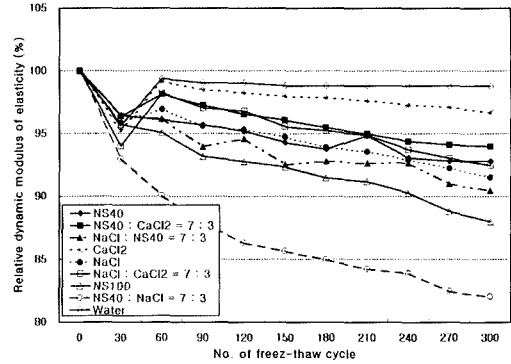


그림 11. 제설제 종류에 따른 상대동탄성계수

일반적으로 300 사이클 종료 후 건전한 시험체는 상대동탄성계수가 85% 이상을 유지하고 그 때의 길이변화율도 $200 \mu\text{m}$ 이하이어서 내동해성이 우수한 것으로 평가된다. 시험결과 혼합(NS40+NaCl) 제설제를 사용한 시험체에서 상대동탄성계수가 가장 크게 저하하는 것으로 나타났으며, 비염화물 제설제인 NS100 또한 동탄성계수의 저하가 크게 나타났다. 반면에 수도물에서의 동탄성계수는 60 사이클 후 시험 종료시까지 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 과정에서 수화물의 변화로 인한 것으로 추정되나, 정확한 원인은 내부구조의 공극구조와 수화물질의 변화를 분석하는 회절분석법 등에 의해 밝혀질 수 있을 것으로 판단된다.

수도물과 제설제의 종류에 따른 상대동탄성계수의 상대적인 평가에서는 수도물>염화칼슘>혼합(NS40+염화칼슘)>NS40, 혼합(염화나트륨+염화칼슘)>염화나트륨>혼합(염화나트륨+NS40=7:3)>NS100>혼합(NS40+염화나트=7:3) 순서로 동결융해에 따른 악영향을 적게 받는 것으로 나타났다.

콘크리트 공시체가 동결융해작용 혹은 기타 화학

작용으로 인하여 그 강도가 증가, 또는 감소하였을 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.

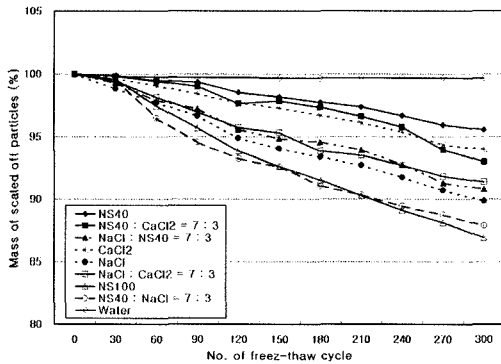


그림 12. 제설제 종류에 따른 중량손실

그림 12는 상대동탄성계수 측정시 콘크리트의 중량손실량을 나타낸 것이다. 동해에 의한 주요 열화현상은 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.

3.8 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 $1\text{kg}/\text{m}^2$ 을 초과하지 않는다면 적절한 스켈링저항성을 가진 것으로 간주한다.

그림 13에서 알 수 있듯이 염화칼슘 제설제 용액으로 시험한 시편에서 사이클이 증가함에 따라 표면 입자 손실량도 직선적으로 증가하였다. 그러나 손실된 입자가 동결융해 50 사이클 후 $1\text{kg}/\text{m}^2$ 을 초과하지 않는 조건에는 만족하는 것으로 나타났다.

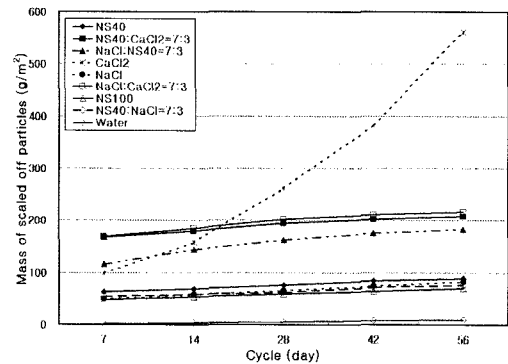


그림 13. 제설제 종류에 따른 스켈링시험 결과

염화칼슘 제설제를 제외한 그 밖의 제설제 용액으로 시험한 시편에서는 최초 7사이클에서 입자 손실이 발생한 후 56사이클 시험 종료 후까지 거의 발생하지 않았다. 이것은 일반적으로 동결융해 사이클에 따라 입자손실이 증가하는 것과는 다른 현상이다. 그러나 최초 몇 사이클 동안 상대적으로 입자손실이 크게 발생하다가 그 후 다소 느리게 진행한다는 연구결과와 일치하였다. 이러한 원인은 콘크리트 표면층이 과도한 건조나 과도한 블리딩 또는 불량한 표면마무



리로 인한 밀실하지 못한 영성한 구조로 유해물질의 투과성이 커지기 때문인 것으로 판단된다. 전반적으로 콘크리트 표면으로부터 떨어져 나간 입자의 깊이는 대략 0.5mm 이하인 것으로 관찰되었다.

2.2절의 스�কে링시험 방법에 언급하였듯이 이 시험의 동결융해 사이클 및 온도는 실제 동절기 대기조건과 거의 유사하다. 그러므로 이 방법에 의한 콘크리트의 동결융해저항성 평가는 KS F 2456 방법 보다 더 유효한 평가방법이라 할 수 있을 것이다.

4. 결론

- (1) -5℃에서 제설제 용빙효과 시험에서 NS40은 염화칼슘과 거의 동일한 용빙 성능을 나타내었으며, 혼합(NS40+염화칼슘) 제설제가 초기에서부터 전체적으로 우수한 용빙 효과를 나타내었다. 또한 염화나트륨과 염화칼슘을 혼한한 제설제에서도 양호한 용빙효과가 나타나는 것으로 확인되었다. 따라서 염화칼슘의 속효성과 NS40의 지속성을 조합하면 우수한 제설효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. -12℃에서는 제설제 종류에 상관없이 -5℃의 용빙량 시험결과에 비해 효과가 떨어지는 것으로 나타났으며, 특히 어는점 온도가 높은 염화나트륨이 용빙효과가 미흡한 것으로 나타났다. 따라서 강설후 기온강하시 제설작업에서는 염화나트륨을 단독적으로 사용하기 보다는 염화칼슘이나 NS40을 혼합하여 사용하는 것이 효과를 극대화시키는 방안이라고 판단된다.
- (2) 얼음-노면 계면을 분리시키는 얼음침투성에 있어서, 지속성과 즉효성을 조합한 염화나트륨과 염화칼슘 또는 NS40과 염화칼슘을 혼합하는 것이 효과적이라 판단된다.
- (3) 강재의 부식량은 염화칼슘에서 가장 크게 발생하였으며, NS100 제설제에서는 물에서 보다 부식량이 적었으며, 또한 강재 부식이 거의 발생하

지 않는 것으로 나타났다.

- (4) 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.
- (5) 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.
- (6) 동절기 대기조건을 모사한 스�কে링시험은 염화칼슘 제설제 용액으로 시험한 시편에서 사이클이 증가함에 따라 표면 입자 손실량도 직선적으로 증가하였으나, 손실된 입자가 동결융해 50 사이클 후 1kg/m²을 초과하지 않는 조건에는 만족하는 것으로 나타났다. 염화칼슘 제설제를 제외한 제설제 용액으로 시험한 시편에서는 최초 7 사이클에서 입자 손실이 발생한 후 56사이클 시험 종료 후까지 거의 발생하지 않았다.
- (7) 제설제 종류에 따라 시험한 이상의 시험결과를 바탕으로 동절기 구조물이 동해를 받을 수 있는 지역에서 염화물계 제설제를 사용할 경우 제설 성능 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 제설성능, 강재 및 콘크리트에 미치는 영향을 고려해 볼 때 NS40+염화칼슘이 가장 효과적인 것으로 판단된다.
- (8) 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.

참고문헌

1. 이병덕, 윤병성, "염화물을 함유한 제설제가 콘크리트의 열특성과 미끄럼저항성에 미치는 영향에 관한 연구", 한국콘크리트학회 가을학술발표회논문집, Vol. 16, No. 2, pp. 509~512, 2004. 11.
2. 한국도로공사, "비염화물계 용빙제의 개발", 한국도로공사 도로연구소, 도로연 99-47-40, 1999.
3. 日本コンクリート工學協會, "融雪劑によるコンクリート構造物の劣化研究委員會報告書・論文集", 日本コンクリート工學協會, 1999. 11.

4. ASTM C 672-84: *Standard Test Method for Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing Chemicals*, ASTM Standard, pp. 332~334, 1984.
5. HITEC, "Summary of Evaluation Findings for the Testing of ICE BAN[®]", Technical Evaluation Report, Highway Innovative Technology Evaluation Center, a Service Center of the Civil Engineering Research Foundation, pp. 9~22, 1999.
6. Pigeon, M. and Pleau, R., "Durability of Concrete in Cold Climates", E&FNSPON, pp. 11~57, 1995.

〈집수 : 2005. 8. 22〉