

제설제 종류에 따른 제설성능 평가

Deicing Performance with Deicer Types

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 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. 그러나 도로구조물 및 환경에 미치는 영향을 고려하여 이러한 영향을 줄이기 위해 여러 가지 염화물, 저염화물, 비염화물계 제설제가 개발 및 사용이 확대되고 있다.

따라서 본 연구에서는 사용한 제설제는 기존의 염화물계 제설제인 염화칼슘(CaCl₂) 및 염화나트륨(NaCl)과 비염화물계 제설제, 초산화합물 함유 염화물 제설제, 그리고 이들 제설제를 일정비율로 혼합한 것으로 하였다. 제설성능 시험은 pH, -5℃ 및 -12℃에서의 얼음 용융성, 얼음 침투깊이, 열특성을 통하여 비교·검토하였다.

2. 실 험

2.1 사용재료 및 시험변수

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	
수소이온 농도	●	●	●	●					●	10% 용액
열특성	●		●	●	●	●	●			고상 3kg/m ²
얼음용융성	-5℃		●	●	●	●	●	●		고상 4.17g
	-12℃		●	●	●					
얼음침투깊이	●	●	●	●						고상 30mg

제설제 종류 :

① NS 40 ② NS 100(비염화물계) ③ NaCl ④ CaCl₂ ⑤ NaCl 70% + CaCl₂ 30%

⑥ NS 40 70% + CaCl₂ 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 실험 방법

(1) 수소이온농도 (pH)

pH는 토양과 물 속에 살고 있는 생명체 영향을 미칠 수 있으므로 환경기준의 중요한 요소이다. 실험에서는 여러 가지 제설제의 10% 수용액에 대한 pH를 조사하였다.

(2) 열 특성

30×30×10cm 콘크리트 슬래브 시편의 표면에 열전대(Thermal couple)를 설치하고, 시편은 28일 양생 후 표면에 얼음을 만든 다음 표 1과 같은 제설제 종류로 각각 3kg/m²을 살포한 다음 30분까지 콘크리트 표면에서의 온도변화를 측정하였다.

(3) 얼음 용융 시험

얼음 용융 시험은 SHRP H-205.1, "Test Method for Ice Melting of Solid Deicing Chemicals"에 의거하여 실시하였다. 시험에 사용할 용빙제를 4.17±0.005g을 정량하여 시료병에 넣은 후, 시험 온도와 평형이 되도록 시험 1~2시간 전에 항온실에 놓아둔다. 일정 시간이 경과할 때마다 얼음이 녹은 양을 측정한다. 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℃, -12℃를 선정하여 시행하였다.

(4) 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, 45, 60분이 경과할 때마다 측정하였으며, 시험 온도는 -6℃에서 시행하였다.

3. 시험 결과 및 고찰

3.1 수소이온농도 (pH)

이번 실험에 사용된 제설제에 대하여 10% 수용액에서의 pH 측정 결과를 그림 1에 나타내었다. 염화칼슘은 일반 도로제설용으로 사용하는 2수화물을 이용하였다. 2수화물 염화칼슘 제설제에서 pH가 다소 높은 것으로 조사되었으며, 그 외의 제설제들은 약알카리성을 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 식물에 미치는 효과를 일으키는 요인이 된다. 대체로 강한 산성이나 강한 알카리성은 모두 좋지 않다. 강한 산성에서는 모든 주된 영양소, 즉, 질소, 인, 칼륨, 황, 칼슘, 마그네슘, 그리고 미량원소 몰리브덴 등을 식물이 흡수할 수 없거나 아주 소량만 가능하게 된다.

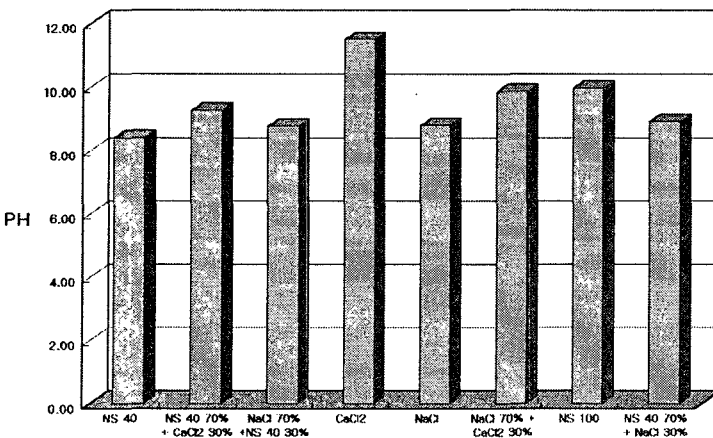


그림 1. 제설제 종류에 따른 수소이온농도



3.2 열 특성

염화물 제설제가 얇은 얼음 층에 살포되게 되면 콘크리트 표면의 온도가 급격하게 저하되어 열 충격(Thermal shock)을 일으킨다. 염화나트륨의 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 1과 같고, 플레이크(Flake) 상태로 3kg/m²을 살포한 경우 콘크리트 표면에서의 온도변화를 측정하였다.

그림 2는 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.

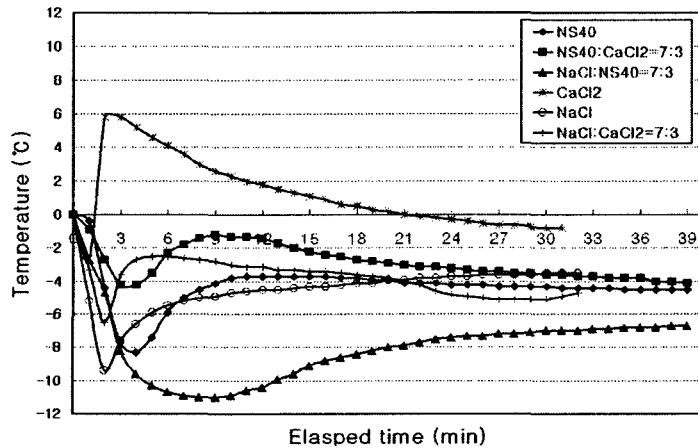


그림 2. 제설제 종류별 열특성

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 만을 살포할 때 보다는 어느점(Freezing point)이 상승한다는 것을 의미하는 것이다.

3.3 얼음 용융 성능 조사

그림 3은 -5℃에서 실시한 얼음 용융 성능 시험 결과로서, 시간의 경과에 따른 누적 얼음 용융량을 나타낸 것이다.

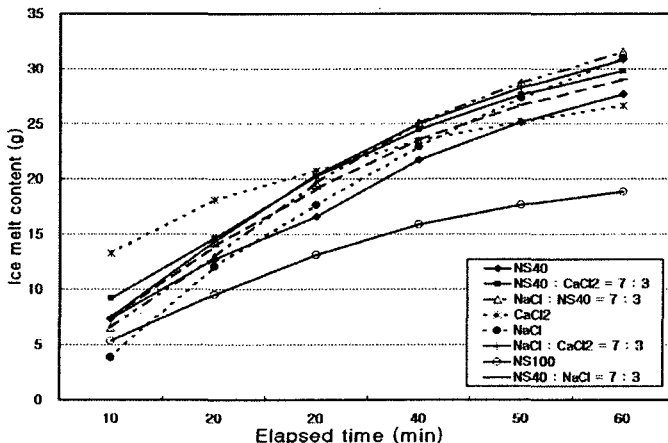


그림 3. -5℃에서의 얼음 용융성

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 알 수 있다. NS40은 염화칼슘과 거의 동일한 용빙 성능을 나타내었으며, NS40과 염화칼슘을 혼합한 제설제가 초기에서부터 전체적으로 우수한 용빙 효과를 나타내었다. 또한 염화나트륨과 염화칼슘을 혼합한 제설제에서도 양



호한 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 4는 -12°C에서의 염화칼슘, 염화나트륨, NS40 제설제에 대한 얼음 용융 시험 결과를 나타낸 것이다.

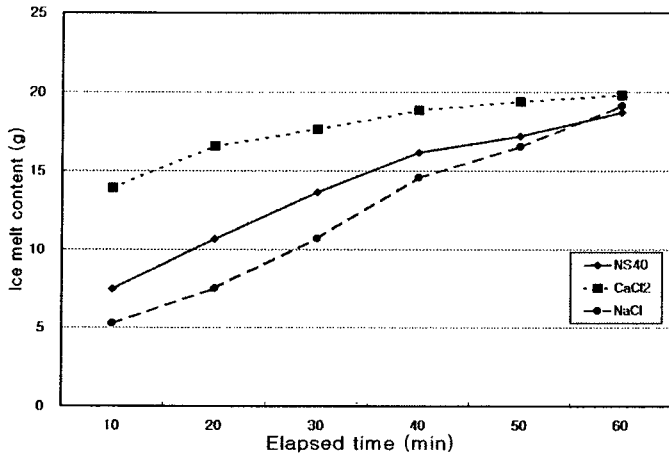


그림 4. -12°C에서의 얼음 용융성

전반적으로 제설제 종류에 상관없이 -5°C의 용빙량 시험결과에 비해 효과가 떨어지는 것으로 나타났다. 특히 어는점 온도가 높은 염화나트륨이 용빙효과가 미흡한 것으로 나타났다. 따라서 강설후 기온강하 시 제설작업에서는 염화나트륨을 단독적으로 사용하기 보다는 염화칼슘이나 NS40을 혼합하여 사용하는 것이 효과를 극대화시키는 방안이라고 판단된다.

한편, 제설제로 눈이나 얼음을 녹일 때, 대기의 온도보다는 도로 표면의 온도가 더 중요하다. 그림 5는 포장체에 5mm 깊이의 구멍을 뚫고 온도 센서를 묻은 후, 대기 온도와 콘크리트 및 아스

팔트 포장체의 온도 변화에 대한 시험 결과를 나타낸 것으로, 대기 온도가 -16°C로 내려가는 경우에도 포장체의 온도는 -7~-8°C 정도로 대기 온도와 실제 포장체의 온도는 상당한 차이가 있음을 알 수 있다.

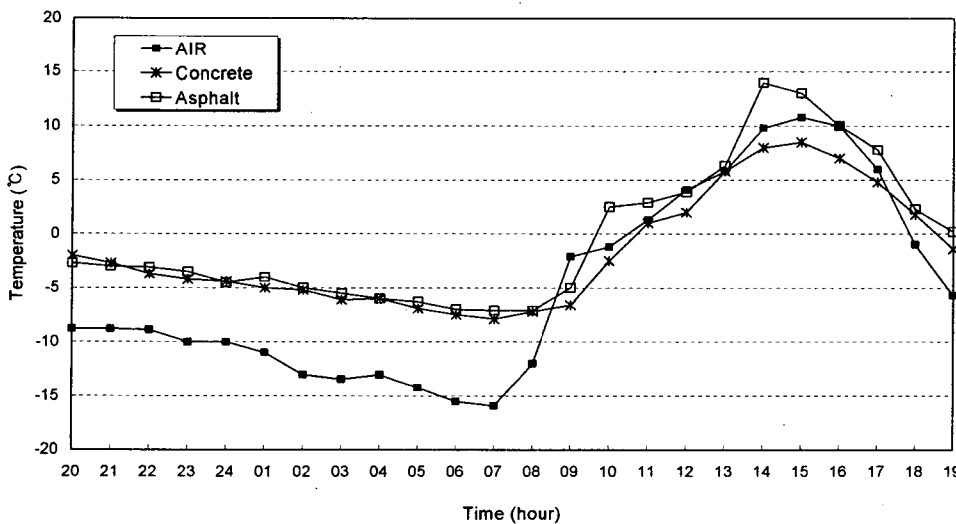


그림 5. 대기 온도에 따른 포장체 온도 변화

-5°C를 시험 온도로 설정하였고, -12°C는 저온에서의 제설성능을 검토하기 위하여 수행하였다.

얼음 용융 시험은 각 화합물의 어는점 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 적절한 입도와 모양에 대하여 신중하게 고려할 필요가 있다.

일반적으로 강설시의 대기 온도는 0~-5°C로 알려져 있으며, 대부분의 경우 그림 5의 최저 온도인 -16°C 이상이므로, 본 실험에서는 강설시 기온을 참고하여



3.4 얼음 침투 성능 조사

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.

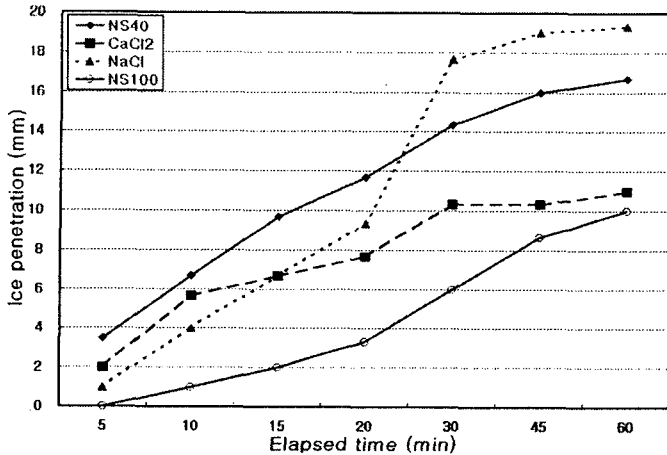


그림 6. 제설제 종류에 따른 얼음침투깊이

에는 초기 침투깊이 성능이 우수한 NS40과 어느정도 시간이 경과한 후에 침투성능을 나타내는 염화나트륨을 혼합하여 사용하는 방법이 최적의 방법이라 판단된다.

-6℃에서 시행한 얼음침투깊이 측정 시험 결과를 그림 6에 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 경우

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 혼합한 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) 제설제 종류에 따라 시험한 이상의 시험결과, 하나의 제설제를 사용하기 보다는 두가지 제설제를 적정 비율로 혼합하여 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다. 혼합 사용시에는 제설성능 만을 고려해 볼 때 NS40+염화칼슘이 가장 효과적인 것으로 판단된다.



참 고 문 헌

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. 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. 9.