

액상 비염화물계 제설제의 강제 부식성 및 콘크리트 동결융해 내구성 평가

Evaluation of steel corrosion and Concrete Freeze-Thaw durability on the Liquid non-chloride deicer

이 병 덕* 김 현 중**

Lee Beung Duk, Kim, Hyun Joong,

ABSTRACT

Domestic area of most be happened chloride deicer damage. Because daily mean temperature is below 0°C from the area of domestic most. Use of deicing chemicals has been and will continue to be a major part of highway snow and ice control methods. Chloride-containing chemicals such as calcium chloride or rock salt are main deicers for the road.

Extensive use of chloride deicers is, however, not only the source of substantial cost penalties due to their corrosive action and ability to deterioration roadway surface materials but also the source of environmental damages. Particularly, it has been recognized that chlorides present in deicing agents can significantly increase concrete surface scaling. In severe cases, scaling can result in dislodgement of coarse aggregate.

This research estimates that pH and test of specific pollutants, dynamic modulus of elasticity for freeze-thaw test of concrete were higher than those NaCl, CaCl₂, and NaCl+CaCl₂(7:3, w/w), also weight losses for scaling test of concrete were much lower than those of NaCl, CaCl₂, and NaCl+CaCl₂(7:3, w/w).

요 약

우리나라에 제설제 피해가 발생하는 곳은 일평균기온이 0°C 이하로 되는 경우이므로 국내에서는 거의 모든 지역이 해당될 수 있다. 따라서, 다소 정도의 차이는 있으나 전국적으로 대부분의 강제 및 콘크리트 구조물이 동결융해 및 염해의 피해를 받고 있다고 볼 수 있다.

현재 주로 사용되고 있는 제설제는 염화물계인 염화칼슘과 소금이나, 이러한 염화물계 제설제를 많이 사용하게 됨에 따라 콘크리트 구조물의 조기 손상 및 환경피해로 인한 유지관리 비용이 크게 증가하고 있다. 따라서, 염화물계 제설제가 대량 살포되고 동결융해에 의한 동해를 받는 적설한랭지에서의 콘크리트 구조물 및 환경에 미치는 심각한 악영향에 대한 대책 방안을 강구하여야 하는 실정이다.

위와같은 취지로서 본 연구에서는 염화물계 제설제의 대체제로 친환경적인 비염화물계 제설제의 적용방안을 검토하기 위하여 강제의 부식 및 콘크리트의 동결융해에 미치는 영향을 평가하고자 비염화물계 제설제와 일반 제설제와의 pH 및 유해물질 함유량을 비교하였고 강제부식성 시험 및 동결융해 저항성 시험을 실시하여 그 성능을 평가하였다.

* 정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원 · 공학박사

** 정회원, 한국도로공사 도로교통기술원 연구원 · 공학석사

1. 서 론

기존의 염화물계 제설제로 사용되고 있는 염화나트륨(NaCl)과 염화칼슘(CaCl₂)(7:3)의 혼입비율과 S사에서 제작된 친환경 제설제(JF-1004)의 pH 및 유해물질 함유량을 비교하였고 콘크리트 및 강재에 미치는 영향을 동결융해 저항성 시험과 강재부식성 시험을 통하여 비교·검토하였다.

2. 실험개요

2.1 배합 및 변수

동결융해시험용 콘크리트는 비중 3.15인 1종보통시멘트, 잔골재 비중 2.60, 굵은골재 비중은 2.63이고, 고성능 AE감수제를 사용하였다. 동결융해 시험에 사용한 콘크리트는 28일 설계기준 압축강도가 35MPa이고 동결융해 시험에 사용한 콘크리트는 표 1과 같은 28일 설계기준 압축강도가 32MPa 이고, 동결융해시험은 14일 수중양생 후 실시하였다. 시험 내용 및 변수는 표 2와 같다.

표 1 콘크리트 배합비

설계기준강도 (σ_{28})	Gmax (mm)	Air (%)	Slump (cm)	W/C (%)	S/A (%)	단위량 (kg/m ³)				
						W	C	S	G	AE감수제
32 MPa	25	4.0	15.0	40.0	40	154	385	680	1035	C×0.6

표 2 시험변수

시험 항목	제설제 종류			비고
	①	③	④	
pH 및 유해물질 함유량	√	√		농도 10% 용액
강재부식성 (1, 3, 5주)	√	√	√	농도 4% 용액
콘크리트 동결융해저항성	상대동탄성계수	√	√	농도 4% 용액
	중량손실량	√	√	

제설제 종류 : ① JF-1004 ② 염화나트륨 ③ 염화나트륨 + 염화칼슘 (7:3)

2.2 시험방법

1,000mL 용량의 비이커에 증류수 500mL를 채우고 각각의 고상 제설제 50g을 투입한 후 고상 제설제가 완전히 녹을 때까지 교반한 후 10% 수용액으로 pH 메타를 사용하여 pH를 측정하였고, 염소이온(Cl⁻) 및 유해물질 함유량은 농도 10% 수용액으로 환경부 “수질오염공정시험법”에 의거하여 실시하였다.

제설제 용액이 급속의 부식에 미치는 영향을 조사하기 위하여 철 시편을 제설제 용액에 침지시키고, 일정한 주기로 철 시편의 무게 감량을 측정하였다. 시험방법은 SHRP H-332의 SHRP H-205.7에 의거하여 실시하였다.

동결융해 시험은 수돗물과 4% 농도로 제설제 종류별로 실시하였다. 시편의 크기는 100×75×400mm 이고, 시험방법은 KS F 2456 A법으로 상대 동탄성계수와 중량 손실량을 매 30사이클 마다 300사이클 종료까지 측정하였다.

3. 시험 결과 및 고찰

3.1 pH 및 유해물질 함유량

10% 수용액에서의 pH 및 유해물질, 염소이온(Cl⁻) 측정 결과를 표 3에 나타내었다. 염화칼슘은 일반 도로제설용으로 사용하는 2수화물 염화칼슘 과 NaCl은 중성에 가까운 것으로 나타났고, 에탄올, 초산칼륨, 프로필렌글리콜 등이 첨가된 JF-1004 액상 제설제에서는 성분 중 CH₃COOK와 K₂CO₃의 가수분해에 의해서 액성이 pH가 다소 높은 10.9인 염기성인 것으로 나타났다. 국내의 하천 수질 환경의 기준은 pH 5.8~8.6으로서, 본 시험에서는 10% 수용액을 사용하였기 때문에 실제도로 고상으로 제설제를 살포하였을 때 노면의 눈 및 얼음과 녹아 희석되기 때문에 수질의 pH에

미치는 영향은 매우 미흡할 것으로 판단된다. 염소이온(Cl^-) 측정 결과에서는 염화칼슘에서 51.0%로 510g/kg, 염화나트륨에서 68.2%로 682g/kg으로 염화칼슘에 비해 염화나트륨이 높은 것으로 나타났다. 반면에, 비염화물인 JF-1004에서는 0.001%로 0.01g/kg으로 염소이온이 거의 없는 것으로 나타났고, 유해물질 또한 표 3의 4개 항목 외에 20개 항목 모두에서 환경부 먹는물 수질 기준에 만족하였다.

표 3 Cl^- 및 10% 농도에서의 유해물질 함유량

구 분	pH (10%)	Cl^- (%)	시 안	보 룬	디클로로에틸렌	암모니아성질소	비고	
			(mg/L)					기준값
			0.01	0.30	0.03	0.5		
NaCl	7.1	68.2	-	-	-	-		
CaCl_2	7.0	51.0						
JF-1004	10.9	0.01	-	0.13	0.03	0.16		

3.2 강제부식성

전체적으로 염화나트륨 및 염화나트륨과 혼합한 제설제에서 무게 손실량이 크게 나타났다. 시험종료 시점인 5주까지의 부식량의 발생은 혼합($\text{NaCl}+\text{CaCl}_2$) > NaCl > JF-1004 > 수도물의 순서로 크게 나타났다. 강제부식성 시험후의 용액의 육안관찰 결과에서도 모든 시험용액에서는 녹 발생에 의해 용액 색깔이 붉게 변하였다. 이는 철시편의 녹 방지막인 부동태 피막이 파괴되어 산화철(Fe_3O_4)와 옥시수산화제이철(FeOOH)이 생성되었기 때문이다. 염화물이 콘크리트에 침투하면 상부 철근과 하부 철근 사이에 전위차가 발생하고, 그에 따라 부식전지(Micro cell)가 형성하게 되는데 바로 이것이 부식을 활발하게 한다. 이러한 경우 콘크리트가 전해질의 역할을 하게 되고 또한 결속선 등의 강재가 전도체 역할을 하게 되어 부식을 촉진시킨다.

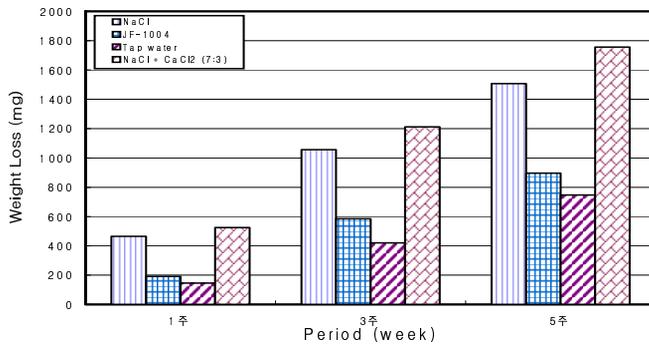


그림 1 제설제 종류에 따른 강제 부식성

3.3 비염화물계 제설제의 중량손실량 및 동탄성계수

수도물 및 4% 수용액 제설제 종류에 따라 동결융해 사이클에 노출될 때 콘크리트 시편의 상대 동탄성계수 변화를 그림 2에 나타냈다. 일반적으로 제설·빙제가 사용되고 동결융해를 받는 환경에서의 300 사이클 종료 후 견전한 시험체는 상대동탄성계수가 80% 이상을 유지하고 그 때의 길이변화율도 $200\mu\text{m}$ 이하이어서 내동해성이 우수한 것으로 평가된다. 시험결과 수도물, 비염화물 제설제 JF-1004 시험체에서는 동결융해 300 사이클 후에 상대동탄성계수가 80% 이상으로 콘크리트의 내구성에 영향이 크지 않은 것으로 나타났다. 그러나 일반적인 환경조건하에서도 콘크리트의 내구성을 확보하기 위한 내구성 지수 60% 이상의 규정에 만족하지 못하는 제설제 종류로는 NaCl, 혼합($\text{NaCl}+\text{CaCl}_2$)인 것으로 나타났다.

이상으로부터 동결융해 작용과 더불어 염화물계 제설제를 다량 살포하는 조건에서는 한층 강화된 물리·화학적 작용에 의해 콘크리트 열화가 가속될 수 있을 것으로 생각된다. 상대동탄성계수 측정시

의 콘크리트 중량손실량은 동해에 의한 주요 열화현상은 콘크리트의 박리에 의한 단면 감소이며 그 정도에 따라서 강제 부식이 발생하는 경우도 있다. 콘크리트 표면박리에 의한 중량손실량은 상대동탄성계수와 같이 수돗물에서 가장 작게 발생하였고, 시편의 표면 형상도 깨끗한 상태를 유지하고 있다. NaCl 시편의 표면박리에 의한 중량손실이 가장 크게 나타났으며, NaCl+CaCl₂ 시편에서도 유사한 것으로 나타났다.

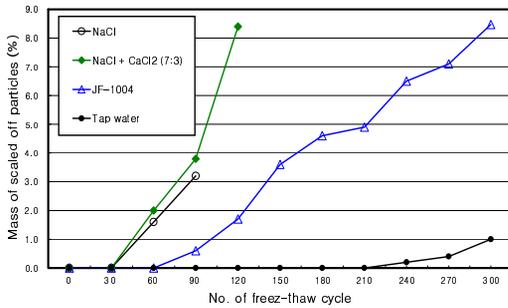


그림 2 제설제 종류에 따른 중량손실

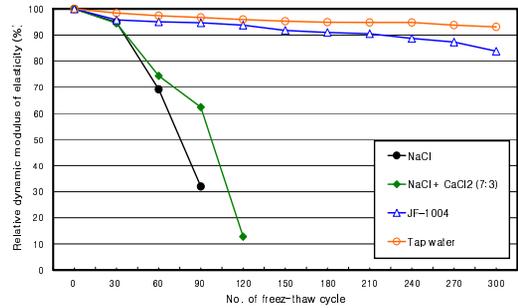


그림 3 제설제 종류에 따른 상대동탄성계수

4. 결론

- 1) 염소이온(Cl⁻) 측정 결과에서는 CaCl₂에서 51.0% (510g/kg), NaCl에서 68.2% (682g/kg)으로 CaCl₂에 비해 NaCl이 높은 것으로 나타났다. 반면에, 비염화물인 JF-1004에서는 0.001%로 0.01g/kg으로 염소이온이 거의 없는 것으로 나타났고, 유해물질 또한 24개 항목 모두에서 환경부 먹는물 수질 기준에 만족하였다.
- 2) NaCl, 혼합(NaCl+CaCl₂) 제설제에서 무게 손실량이 크게 나타났다. 시험종료 시점인 5주까지의 부식량의 발생은 혼합(NaCl+CaCl₂) > NaCl > 혼합(NaCl+JF-1004) > JF-1004 > 수도물의 순서로 크게 나타났다. 따라서 비염화물계인 JF-1004는 염소 이온을 다량 함유하고 있는 NaCl 및 CaCl₂ 제설제에 비해 강제 부식성 저감 효과가 클 것으로 판단된다.
- 3) 동결융해 시험 결과 수돗물과 JF-1004 및 혼합(NaCl+JF-1004)을 사용한 시험체를 제외하고는 상대동탄성계수의 저하가 크게 나타났으며, 120 사이클 이전에 상대 동탄성계수가 60% 이하로 떨어져 시험을 수행할 수 없었다. 수돗물과 JF-1004 콘크리트에서는 300 사이클 후의 상대 동탄성계수가 80% 이상으로 우수하여 동결융해를 지속적으로 받는 환경에서도 콘크리트의 영향이 크지 않을 것으로 판단된다. 또한 혼합(NaCl+JF-1004) 사용시에도 300 사이클 후의 상대 동탄성계수가 79.5%로 비교적 콘크리트의 내구성에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다. 입자 손실에 의한 중량감소율에서도 상대동탄성계수 평가에서와 유사한 경향을 나타내었다.

참고문헌

1. 이병덕, 윤병성, 이주광, “제설제 종류에 따른 용빙성능 및 콘크리트에 미치는 영향 평가에 관한 연구”, 한국도로학회 학회지, 제7권 4호, 2005. 12, pp. 113~123.
2. 이병덕, “염화마그네슘계 제설제가 강제부식성 및 콘크리트의 동결융해 저항성에 미치는 영향”, 한국콘크리트학회, 2007년 봄학술발표회 논문, pp. 681~684, 2007. 5.
3. ASTM C 666-84, “Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing”, ASTM Standard, 1984.
4. ASTM C 672-84: Standard Test Method for Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing Chemicals, ASTM Standard, pp. 332~334, 1984.