

염화물을 함유한 제설제가 콘크리트의 열 특성과 미끄럼저항성에 미치는 영향

Effect of Chloride-containing Deicer on the Thermal Characteristics and Skid Resistance of Concrete

이 병 덕* 윤 병 성**
Lee, Byung Duck Yun, Byung Sung

1. 서 론

제설제 살포지역은 겨울철의 기온이 영하로 떨어지기 쉽고, 이러한 환경하의 콘크리트에 염화물 제설제의 살포는 콘크리트에 열 충격(Thermal shock)과 온도구배의 차이에 의한 내부 응력 발생, 층간 동결에 의한 응력차 발생으로 조기열화를 촉진시키는 원인으로 작용하고 있다(일본 콘크리트학회, 1999). 또한 이러한 고체 염화물 제설제 살포는 시간이 경과함에 따라 차로에서 도로 가장자리로 흩어지고, 하안색의 염화물 제설제 분말이 차로에 잔재하게 된다. 차로에 잔재한 염화물 제설제의 분말은 쉽게 없어지지 않고 일정기간 동안 낮에는 하안색의 가루로 있다가, 새벽에는 습기를 빨아들여 젖는 현상이 반복된다. 이로 인해 젖은 노면이 얼은 것 처럼 보이고, 노면이 물과는 달리 노면에서의 차량의 미끄럼저항성(Skid resistance)을 저하시켜 교통사고를 일으킨다는 지적이 있다.

따라서 제설작업 후 제설제 염화물에 의한 노면에서의 미끄럼저항성을 실내시험 장비인 BPT(British Pendulum Tester)로 마찰력을 BPN(British Pendulum Number)으로 판단하기 위하여 수행하였다. 그리고 염화물 제설제의 종류에 따라서 실제 노면에 살포되었을 때의 콘크리트에 미치는 열 특성 시험을 실시하였다.

2. 실 험

2.1 사용재료 및 시험변수

열 특성 시험은 3종류의 제설제(염화칼슘, 염화나트륨, 혼합(염화칼슘 30%+염화나트륨 70%))로 고상(Flake phase)으로 실시하였다. 미끄럼저항성은 BPT에 의해 3종류 제설제(열 특성 시험과 동일), 생산지(국산, 중국산 염화칼슘), 액상 농도(0.5, 0.8, 1.0, 4.0, 10%), 노면조건(건조, 습윤)에 따라 노면 마찰력 상태를 조사하기 위하여 콘크리트와 아스팔트 시편을 대상으로 수행하였다.

2.2 실험방법

열 특성 시험은 30×30×10cm 콘크리트 슬래브 시편에 깊이별로 콘크리트 표면, 1cm, 2cm, 4cm에 열전대(Thermal couple)를 설치하였다. 시편은 28일 양생 후 표면에 얼음을 만든 다음 3종류의 고체 염화물 제설제를 각각 3kg/m²을 살포한 후 콘크리트 표면, 1cm, 2cm, 4cm에서의 온도변화를 30분간 측정하였다.

미끄럼저항성 측정에 사용한 장비는 건설교통부에서 1997. 8월 제정한 “도로안전시설 설치 및 관리 지침

* 정희원 · 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원 · 공학박사 · 031-371-3352(E-mail : Lbdbhy@freeway.co.kr)
** 정희원 · 한국도로공사 도로교통기술원 연구원 · 공학석사 · 031-371-3356(E-mail : sung4292@hanmail.net)

의 BPT를 이용한 노면 마찰 특성 측정 방법”에 의거한 것으로 그림 1과 같고, BPT 시험에 사용한 시편은 30×30×10cm 콘크리트 슬래브 시편과 아스팔트 콘크리트 시편으로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 제설제 염화물 종류에 따른 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.

그림 1은 염화칼슘, 2는 염화나트륨, 3은 혼합 살포시의 콘크리트 단면 온도변화를 나타낸 것이다. CaCl₂ 분말을 살포했을 때는 살포 직후부터 발열반응(Exothermic reaction)에 의해 온도상승을 보이더니 콘크리트 표면 온도가 +15℃까지 상승하였다. 그러나 깊이 1cm에서는 2℃ 정도 상승하였으며, 2, 4cm에서는 영향을 미치지 않았다.

NaCl 분말을 살포했을 때는 살포 후 수용시의 흡열반응에 따라 온도저하를 나타내었으며, 콘크리트 표면의 온도는 약 -10℃까지 저하되었다.

혼합 살포시에는 콘크리트 표면 온도 저하가 -6.5℃로 나타났다. NaCl 보다 온도 저하가 크지 않은 것은 CaCl₂의 발열반응이 NaCl의 흡열반응을 상쇄한 것으로 판단된다. 따라서 NaCl 만을 살포할 때 보다는 어는 점(Freezing point)이 상승한다는 것을 의미하는 것이다.

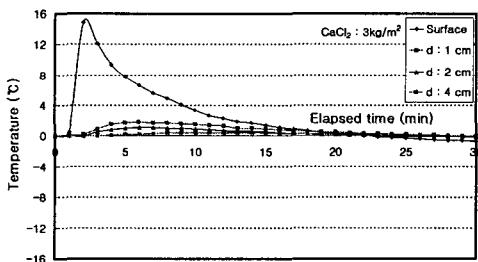


그림 1. 콘크리트 단면의 온도변화(CaCl₂)

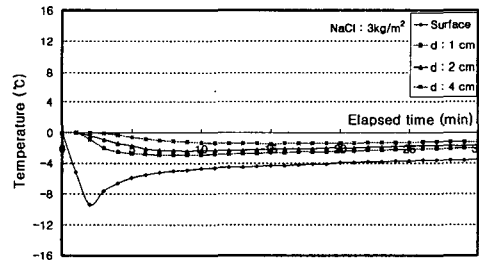


그림 2. 콘크리트 단면의 온도변화(NaCl)

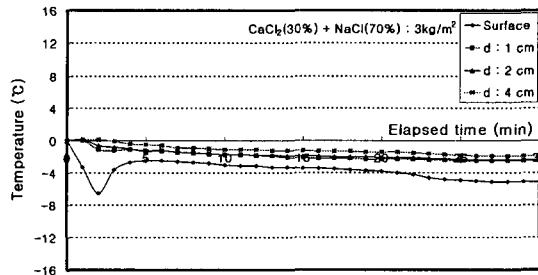


그림 3. 콘크리트 단면의 온도변화(혼합)

전반적으로 염화물 제설제의 종류에 상관 없이 NaCl 및 CaCl₂ 혼합 모두 살포 직후부터 용해가 시작되더니 액상으로 변화하였다. 이것은 본 실험에서 30×30cm 콘크리트 시험체에 물을 0.8cm 가량 채우고 표면만 얼음을 생성하였을 경우, 제설제를 3kg/m²을 살포하였기 때문에 질량농도는 포화농도 이상으로 되어 빙점강



하가 크게 높아져 동결하지 않았기 때문이라고 사료된다.

3.2 미끄럼저항성

3.2.1 제설제 종류 및 염화물 농도에 따른 BPT 시험 결과

일반적으로 국내·외 도로관리 기관에서의 제설제 살포 표준 사용량은 20~50g/m²이다. 그러므로 5cm 이하의 적설량일 경우 노면에서의 제설제의 액상 농도는 1% 미만이다.

표 1에서의 결과를 살펴보면, 염화칼슘 제설제의 염화물 농도에 따라 BPN 값에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 염화칼슘과 염화나트륨을 혼합한 것에서는 염화물 농도가 4% 이상에서는 BPN 값이 약간 감소하는 것으로 나타났다. 실내에서 제작한 시편으로 노면 마찰력을 측정된 결과 BPN 값은 혼합 살포시 10% 이상의 고농도의 염화물이 될 때에는 미끄럼저항성에 다소 영향이 있을 것으로 판단된다. 또한 국산과 중국산 염화칼슘 제설제 간의 BPN 값에는 차이가 없는 것으로 나타났고, 수돗물과 비교하여도 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 이는 액상조건에서 실험한 값이므로 실제 현장에서는 다른 결과가 도출될 수도 있다. 왜냐하면 일반적으로 제설용 국산 염화칼슘에 비해 중국산 염화칼슘이 순도가 떨어지고 불순물이 다소 많이 함유되어 있는 것으로 알려져 있으므로 인하여 노면에 불순물이 다량 존재할 때에는 미끄럼저항성을 떨어뜨릴 수 있을 것으로 추정된다.

도로표면 극표층에서의 염화물 농도는 그 아래 깊이(약 1cm) 보다 낮는데, 이는 차량에 의해 튀겨 없어지거나 눈에 의해 희석되기 때문이다. 따라서 제설제 살포 후 젖은 노면이 비가 내린 후 젖은 노면에 비해 미끄럼저항성은 차이가 거의 없는 것으로 판단된다. 그러나 제설제 살포량이 노면에서의 적설량 보다 상대적으로 많을 경우(과포화 상태) 또는 기온 급강하시 제설용 염화물의 용해도가 낮아져 노면에 고체상으로 다량 존재할 경우에는 미끄럼저항성을 저하시키는 원인이 될 수 있다고 판단된다.

이론상으로는 제설제 살포에 따른 노면에서의 미끄럼저항성을 저하시키는 간접적인 요인으로는 제설제가 콘크리트의 포화도를 증대시킨다는 것인데, 이것은 염용액이 물보다 낮은 증기압을 가진다는 사실로부터 기인한다. 따라서 주변 수증기는 염용액에 응집되고 이에 따라 응설제 살포는 콘크리트 표층을 임계포화도 상태로 유지시켜 노면을 장기간 젖어 있게 하고, 그러므로 기온 강하시 얼음 형성을 용이하게 하여 미끄럼저항성을 저하시킬 수 있을 것으로 판단된다.

표 1. 제설제 종류 및 염화물 농도에 따른 BPT 시험 결과

농도 (%)	염화칼슘		수돗물	혼합 (염화칼슘 30%+염화나트륨 70%)
	국산	중국산		
0.5	71	70	73	73
0.8	71	71		73
1.0	71	71		73
4.0	72	70		69
10	72	69		67

주 - 시험시의 온도는 15℃, 포장은 AP 콘크리트 포장이다.

- 시험 용액은 고체염을 물에 녹여 제조한 것으로 액상에서의 중량비이다.

3.2.2 포장층 종류 및 노면상태에 따른 BPT 시험 결과

표 2의 아스팔트 포장에서의 결과를 살펴보면, 중국산 염화칼슘 제설제와 국산 염화칼슘 제설제 간의 BPN 값에는 차이가 없는 것으로 나타났고, 염화칼슘과 염화나트륨(Sodium chloride, NaCl), 수돗물 간의 BPN 값이 거의 같은 것으로 나타났다. 그러나 혼합시에서의 BPN 값은 다른 염화물과 수돗물에 비해 다소 낮은 것으로 나타났다. 노면상태에 따라서는 건조상태에 비해 습윤상태의 BPN 값이 약 11% 감소, 결빙상태에서는 건조상태의 BPN 값의 28% 정도로 나타났다.



시멘트 콘크리트 포장에서의 결과는 아스팔트 콘크리트 포장에서와 유사하게 중국산 염화칼슘 제설제와 국산 염화칼슘 제설제 간의 BPN 값에는 차이가 없는 것으로 나타났고, 염화칼슘과 염화나트륨, 수돗물 간의 BPN 값이 거의 같은 것으로 나타났다. 노면상태에 따라서는 건조상태에 비해 습윤상태의 BPN 값이 약 12% 감소, 결빙상태에서는 건조상태의 BPN 값의 24% 정도로 나타났다. 포장의 종류에 따라서는 시멘트 콘크리트 포장에서 실제 현장에서의 노면은 타이닝을 실시하므로 실내 시편에서의 타이닝을 하지 않은 경우와 차이가 있을 것으로 판단된다.

표 2. 포장층 종류 및 노면상태에 따른 BPT 시험 결과

포장 종류	염화칼슘		염화나트륨	혼합	수돗물	노면상태		
	국산	중국산				결빙	습윤	건조
AP 콘크리트	74	74	70	67	75	24	78	86
시멘트 콘크리트	71	73	70	74	75	24	86	98

주 - 습윤 : 노면에 고인 물은 없으나 젖어 있을 때의 측정된 노면 마찰값
- 결빙 : 2mm 정도 두께의 얼음이 있을 때의 측정된 노면 마찰값

4. 결론

1. 열 특성은 염화나트륨이 흡열반응성 물질, 염화칼슘이 발열반응성 물질임을 알 수 있었고, 염화칼슘과 염화나트륨을 혼합할 때에는 그 사용 비율에 따라 발열반응 또는 흡열반응으로 바뀔 수 있다는 것을 알 수 있었다.
2. 노면에서의 마찰력은 혼합방법(염화물 농도 10%)을 제외하고 BPN 값이 수돗물과 비교하여 제설제의 종류(염화칼슘, 염화나트륨, 혼합) 및 농도(0.5, 0.8, 1.0, 4.0, 10%), 국산과 중국산간의 차이가 거의 없는 것으로 나타나 제설제 살포에 따른 노면에서의 미끄럼저항성에 직접적인 영향은 거의 미치지 않는 것으로 나타났다. 따라서 제설제 살포 직후 젖은 노면이 비가 내린 후 젖은 노면에 비해 미끄럼저항성은 차이가 거의 없다는 것을 알 수 있었다.
3. 그러나 제설제 살포량이 노면에서의 적설량 보다 상대적으로 많을 경우(과포화 상태) 또는 기온 급강하 시 고체 염화물 제설제의 용해도가 낮아져 노면에 고체상으로 다량 존재할 경우에는 미끄럼저항성을 저하시키는 원인이 될 수 있다고 판단되고, 또한 고체 염화물 제설제가 녹은 후 불순물이 노면에 다량 존재할 경우에도 미끄럼저항성을 감소시킬 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 건설교통부, “도로안전시설 설치 및 관리 지침”, 건설교통부, pp. 17~22, pp. 56~64, 1997. 8.
2. 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.