



친환경 제설제인 CMO의 성능평가 분석

Deicing Performance of Environment-friendly Deicing Agents

이 승 우* 우 창 완** 김 종 오*** 박 희 문****
 Lee, Seung Woo Woo, Chang Wan Kim, Jong Oh Park, Hee Mun

Abstract

Efficient snow-removing work is one of important processes of winter road management. Calcium chloride has been used as a typical deicing agent in Korea. It presents superior performance as snow deicing agents, however it has been known to give serious environmental problem and to deteriorate durability of concrete structure in road by corrosion. The environment-friendly road deicing agents made from the waste material which is liquid phase organic matter that is Ca Mg and reactant of organic acid (nitric acid and propionic acid) have been introduced by number of researchers. They indicated the calcium magnesium salt of organic acids have advantage over the calcium chloride in terms of lower production unit cost by resources recycling and can solve environmental problem and durability deterioration of structures. In this study, the deicing performance of calcium magnesium salt of organic acids(CMO) is investigated based on the series of experiments including the test for heat of dissolution, freezing point, ice melting test and ice penetration test.

Keywords: road deicing salts, Calcium chloride, Sodium chloride, CMO, deicing performance

요 지

겨울철 원활한 제설작업은 겨울철 도로운영 및 관리에 중요한 공정이다. 현재 우리나라에서는 염화칼슘을 제설제로 가장 많이 쓰고 있고, 성능은 우수하지만 환경문제와 부식으로 인한 도로주변의 콘크리트 구조물의 내구성을 저하시키는 원인이 되고 있어 심각한 문제가 되고 있다. 한편 유기성 폐기물을 이용하여 환경친화 제설제인 Ca, Mg와 유기산(초산, 프로피온산)의 반응물인 유기산염(CMO, Calcium magnesium salt of organic acids)으로 구성된 제설제의 경우 자원 재활용으로 인한 생산 단가를 낮출 수 있고 환경문제와 구조물의 내구성저하를 해결할 수 있다는 연구들이 수행된 바 있다. 본 연구에서는 실험실에서 화학조성에 의해 샘플로 제조된 환경친화 제설제인 유기산염(CMO의 일종)과 미국에서 개발한 CMA, 기존 제설제에 대해 제설에 필요한 기초물성에 대한 실험과 성능 실험을 통해 융빙성능을 비교 분석 하였고 콘크리트 표면의 중량 손실량 실험을 통하여 구조물의 내구성에 미치는 영향을 검토하였다. 결과 분석을 통해 CMO의 융빙성능은 기존 제설제인 염화칼슘에 비해 60~90% 정도의 효과를 보였다. 중량손실효과는 미미하여 구조물의 내구성에 영향을 거의 미치지 않음을 알 수 있었다.

핵심용어: 제설제, 염화칼슘, CMO, 융빙성능, 부식

* 정회원 · 강릉대학교 토목공학과 조교수
 ** 정회원 · 강릉대학교 토목공학과 석사과정
 *** 정회원 · 강릉대학교 토목공학과 조교수
 **** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 선임연구원



1. 서론

겨울철 폭설 및 결빙은 교통두절 및 교통 지·정체로 인하여 도로이용자들에게 많은 불편을 주며 시간 손실과 물류지연 등에 따른 간접적인 손실을 준다. 따라서 효과적인 제설은 국가 경제 발전 및 공공안전을 위해 대단히 중요하다.

현재 전 세계적으로 널리 사용하고 있는 제설제는 염화칼슘(CaCl_2)과 소금(NaCl) 등이 있으며 우리나라의 경우 적설량이 적을 경우(3cm 이하) 염화칼슘과 모래를 혼합하여 살포하고, 적설량이 많을 경우(3cm 이상) 제설기(Snow Remover)로 눈을 밀어내고 염화칼슘과 모래를 혼합하여 살포하고 있다. 그러나 이러한 제설 방법은 눈이나 얼음이 녹으면서 포장노면과 자동차 사이에서 미끄럼저항 역할을 한 모래가 먼지를 유발하고 배수로 및 집수정을 막아 봄철 모래수거 잡업에 많은 인력과 비용이 소모된다.

이에 따라 한국도로공사에서는 2000년부터 선진국에서 사용하고 있는 습염살포(Pre-wetted Salt Spreading)식 제설방법을 도입하여 2004년까지 고속도로 전국간에 확대 적용하고 있다(조서연, 2003).

그러나 이러한 염화물계 제설제는 가격이 싸고 성능이 우수하지만 부식성이 강해 도로구조물이나 자동차에 손상을 입히고 콘크리트에 조기 열화를 촉진시키는 주요 원인으로 작용하고 있다(일본 콘크리트 학회, 1999). 또한 이러한 염들은 도로 주변의 수중 생태계와 식물들에 피해를 입히는 등 여러 가지 환경 문제를 일으키고 있다(최철호, 1993).

염화칼슘의 경우 눈을 다 녹인 상태에서도 공기중의 수분을 흡수하기 때문에 범벅인 상태로 남아 도로 표면을 습윤하게 만들어 재동결의 위험이 있어 미끄럼저항 감소의 요인이 된다. 이러한 이물질이 노면에 존재하면 미끄럼저항 값이 낮아져 교통사고의 원인이 될 수 있다.

국내의 경우 염화물 제설제의 살포로 인한 피해조사는 정확히 이루어지고 있지 않은 상태이다. 하지만 영동고속도로 상의 3개 교량에 의한 조사결과 용빙

제의 직접적인 영향을 받은 연석과 난관부위의 열화가 심하게 나타났고 철근부식으로 인한 콘크리트 덮개의 탈락이 보고되고 있다(이창근 외, 1996).

본 연구의 목적은 실내 실험을 통해 국내·외에서 제설제로 가장 많이 쓰이고 있는 염화칼슘·2수화물($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), 염화나트륨(NaCl), 염화칼슘과 염화나트륨의 혼합염(3:7), 염화마그네슘·6수화물($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)과 환경친화 제설제인 CMA(미국)와 화학조성에 의해 샘플로 제조한 CMO에 대해 용빙 특성과 구조물의 내구성에 미치는 영향에 대해 파악 하고자 한다.

2. 제설제의 개발 현황

미국에서는 1970년 이후 제설제가 매년 1,000만 톤이 도로에 사용되고 있다. 그러나 부식피해와 환경오염이 심각해지자 미국의 연방 도로국에서 1980년에 대체 제설제로서 CMA(calcium magnesium acetate)를 개발하였다. 이후 실내 및 실외에서 제설 성능실험, 환경 영향, 생산비용에 대한 연구가 계속되고 있고 현재 제품화가 이루어진 상태이나 비싼 원료로 인하여 아직까지 대량 생산은 이루어지지 못하고 있다. 순수한 CMA는 소금에 비해 20배 이상 비싸며 이 가격의 80% 이상이 초산, Ca, Mg 등의 원료값에 기인한다(McCrum, 1989).

국내의 경우 제설제 피해로 인한 사회적 관심은 높지만 아직까지 대체 제설제에 대한 연구는 많지 않다. 2001년 환경부 통계자료에 따르면 하수 슬러지와 음식물 쓰레기의 액상 유기성 폐기물의 발생량은 610만톤에 달하나 현재 대부분 매립 처분되고 있고 2005년부터는 매립지로의 직접매립이 금지되어 있다. 이를 재활용할 경우 폐기물 발생량의 약 50%를 유기산으로 생산할 수 있다. 불순물함유량 등의 문제가 발생할 수 있으나 분리막과 전기투석 방법으로 해결할 수 있다. 따라서 원료비가 전혀 들지 않는 폐기물인 액상 슬러지를 이용하여 초산과 프로피온산을



생산하고 Ca, Mg와 반응시켜 친환경적 제설제인 CMO를 생산하면 자원재활용의 측면은 물론 기존제설제로 인한 환경문제를 해결 할 수 있고 도로구조물의 내구수명을 연장시켜 구조물의 보수 보강비를 절 약할 수 있다.

3. 재료 및 실험

3.1 용빙재료

환경친화제설제의 제조방법은 수산화 칼슘, 수산화 마그네슘을 적당량의 증류수로 혼합한 후 혼합량의 약 120%정도의 유기산을 섞어 반응이 완료된 염을 건조 시킨 후 다시 분말로 만들어 실험에 사용하였다. CMO의 용빙특성을 비교 분석 하기위해 표1에서 보는바와 같이 화학조성에 의한 물비를 산출하여 실험에 사용하였다. 나머지 실험에 사용된 용빙재료는 염화칼슘(2수화물), 소금, 염화칼슘과 소금의 혼합염(3:7), 염화마그네슘(6수화물), CMA로 시중에서 구입하였으며 표 2에 나타내었다.

표 1. 화학조성에 의한 CMO제조

혼합염	Ca(OH) ₂ (g)	Mg(OH) ₂ (g)	H ₂ O (g)	초산 (g)	프로피온산 (g)	최종무게 (g)
CMO(1:1)	74.1	58.3	80	120	120	320
CMO(1:2)	74.1	58.3	80	80	160	320
CMO(2:1)	74.1	58.3	80	160	80	320

표 2. 실험에 사용한 용빙재료

화 합 물	화 학 식	제 조 회 사
염화칼슘(2수화물)	CaCl ₂ · 2H ₂ O	(주)동양화학
염화나트륨	NaCl	중국-수입판매
염화칼슘3:염화나트륨7	-	자체제조
염화마그네슘(6수화물)	MgCl ₂ · 6H ₂ O	일본-수입판매
CMA	CaMg ₂ (CH ₃ CO ₂) ₆	미국(X-73)-수입판매
CMO	-	자체제조

3.2 열량계법을 이용한 용해열 측정

용해열에는 적분 용해열(integral heat of solution)과 미분 용해열(different heat of solution)이 있다. 용빙제의 성능에 영향을 미치는 용해열은 적분 용해열로서 용질 1몰이 용매에 녹아 특정한 농도의 용액이 될 때 흡수 또는 방출되는 열을 말한다. 용빙제가 물과 반응할 때 흡열 또는 발열 반응을 하는 것은 물질의 고유한 성질로서 얼음과 용빙제 사이의 인력의 세기와 관계가 있으며 일반적으로 용해열이 높을수록 용빙 효과가 우수하다.

열량계법을 이용한 용해열 측정은 그림 1과 같이 열의 이동을 차단할 수 있는 단열 플라스크(dewar flask)와 온도계, 교반장치로 이루어져 있다. 넣어준 용빙제의 양, 흡수한 열량, 온도강하를 알면 열량계 전체계의 열용량을 계산할 수 있다. 즉 요오드화 칼륨의 열용량(-21.71kJ/mol)을 이용하여 전체계의 열용량을 구한 후 여러 가지 용빙제의 열용량을 같다고 가정하면 식 1과 같이 전체계의 열용량(C)을 구할 수 있다(Crockford, 1976).

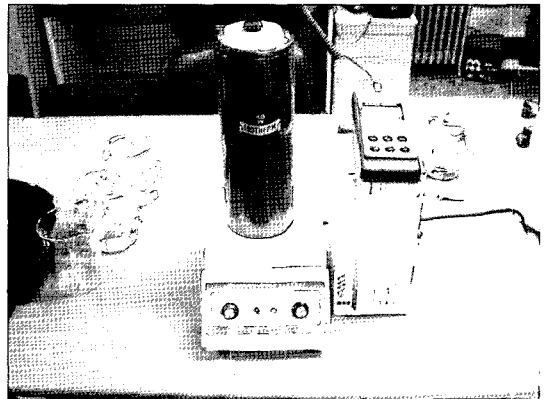


그림 1. 용해열 측정 장치

$$C = \frac{W_1 \times Q_1}{M_1 \times \Delta T_1} \quad (1)$$

여기서,

W₁ = 요오드화 칼륨의 무게(g)

Q₁ = 몰당 용해열(KJ/mol)



M_1 = 요오드화 칼륨의 분자량(g/mol)

ΔT_1 = 측정된 온도변화량(°C)

식 (1)에서 구한 C 를 가지고, 식 (2)를 이용하면 구하고자 하는 용빙제의 용해열(Q_2)를 구할 수 있다.

$$Q_2 = \frac{\Delta T_2 \times C \times M_2}{W_2} \quad (2)$$

여기서,

ΔT_2 : 측정된 온도변화량(°C)

C : 전체계의 열용량(KJ/°C)

M_2 : 구하고자 하는 염의 분자량(g/mol)

W_2 : 구하고자 하는 염의 무게(g)

3.3 어는점 및 공융점 실험

용빙제가 액체에 녹아 섞이게 되면 액체의 어는점을 떨어뜨리게 되어 눈을 녹이게 되는데 용액이 묽은 경우는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta T = K_f \cdot m \quad (3)$$

여기서,

ΔT = 어는점 강하

K_f = 상수(K/mol · kg⁻¹)

m = 고체속에 포함된 몰량농도(mol · kg)

식 (3)에 의하면 용빙제의 양이 많을수록 어는점 강하는 더 많이 일어난다. 그러나 어는점 강하는 한계가 있고, 한계 온도는 각 물질의 고유한 성질인 공융점(eutectic point)에 의해 결정된다. 공융점이 실제 제설제 살포시 대기온도 보다 낮아야 용빙 작용이 유리하고 재결빙 현상을 막을 수 있다.

그림 2는 3개의 다른 농도에 대한 어는점 특성 곡선을 보여주고 있다. 용빙제의 농도가 다를 경우 액체에서 고체가 석출되는 온도인 어는점은 다르지만, 용빙제 전체가 고체 상태로 되는 온도는 모두 같은 T_e 이다. 이러한 현상을 공융점이라 하며 액체 상태

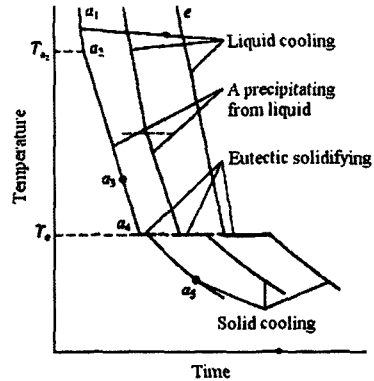


그림 2. 어는점 특성 곡선(Atkins, 1990)

로 존재하는 최저 온도이다. 겨울철 제설 작업시 용빙제를 살포할 경우 공융점 보다 낮도록 농도를 조절해야만 한다. 용빙제가 눈이나 기타 이물질에 섞이게 되면 농도가 감소할 수 있기 때문이다. 그래야만 재결빙이 일어나지 않아 교통사고를 예방할 수 있다. 표 3은 다양한 노면조건에 따른 상해사고 비율과 노면 상태에 따른 미끄럼저항 값을 보여주고 있다. 겨울철 인명사고 발생 비율은 결빙된 노면과 서리내린 노면이 겨울철 건조노면과 젖은노면에 비해 약 4배 가량 높은 것을 알 수 있는데 이는 미끄럼저항값이 0.05~0.2로 겨울철 건조노면과 젖은노면에 비해 현저하게 줄어들기 때문이다.

제설제의 어는점 및 공융점을 측정하기 위한 실험은 ASTM D1177-88의 방법을 이용하였다. 실험 장치는 그림 3과 같이 단열 냉각조(Cool bath, 2l)와

표 3. 노면조건에 따른 인명 상해 교통사고 발생 비율과 미끄럼저항값 (Technical Research Center of Finland 1996 건설기술 원구원², 1997)

노면상태	1,000,000km · 대 당 상해사고비율 ¹	미끄럼저항값 ²
결빙된 노면	0.53	0.05~0.10
서리내린 노면	0.53	0.10~0.20
다져진 눈	0.31	0.20~0.25
다져지지 않은눈	0.3	0.25~0.30
겨울철 건조노면	0.12	0.80~1.00
겨울철 젖은노면	0.16	0.50~0.80



시험관 (200ml), 교반장치, 시간에 따른 온도변화 측정이 가능한 온도계 등으로 구성되어 있다.

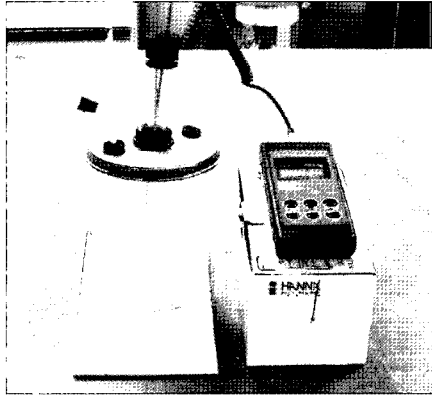


그림 3. 어느점 및 공용점 실험장치

3.4 얼음 용융실험

얼음 용융실험은 제설제를 도로에 살포하였을 때, 눈을 녹일 수 있는 능력을 비교, 조사 하기위한 방법으로 미국 SHRP H-205.1 에서 제시한 방법에 따라서 장비를 제작하였다. 증류수 130g을 시험접시에 동결시킨 후 얼음판 위에 제설제 4.17g을 골고루 살포한 후 10분단위로 녹은 얼음의 양을 주사기로 흡입하여 시간 경과에 따른 제설제에 의한 누적된 용융량을 측정하였다. 실험은 온도조절이 가능한 초저온 냉동고에서 실시하였으며, 온도는 -7°C , -12°C 를 선정하였다. 그림 4는 주사기로 실제 용융양을 측정하는 장면이다.



그림 4. 얼음 용융실험 장면

3.5 얼음 침투 깊이 측정 실험

얼음 침투실험은 제설제가 얼음속으로 수직으로 침투하여 녹일 수 있는 정도를 mm 단위로 측정된 것으로 용빙제가 얼음과 포장 계면에 도달하여 용융이 되면 얼음과 포장의 결합을 끊게되는 작용을 한다. 따라서 용빙제의 중요한 특성중 하나이다. 실험 방법 및 장비제작은 SHRP H-205.3을 이용하였으며 주사기로 흡속에 증류수를 주입하여 동결 시킨 후 염색약을 표면에 뿌리고 다시 동결시키고 제설제 적당량을 얼음 흡위에 살포한 후 얼음 용융 실험과 마찬가지로 10분 간격으로 얼음 침투율을 측정 하였다. 그림 5는 실제 실험에 사용한 얼음 침투 시험기이다.

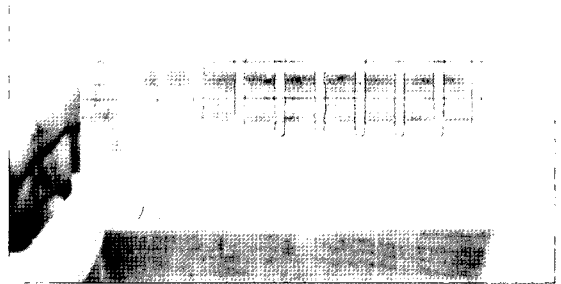


그림 5. 얼음 침투 시험기

3.6 콘크리트 표면에 미치는 영향 실험

콘크리트 표면에 미치는 영향 실험은 공시체(2개씩)를 사각 철그릇 판에 넣은 후 제설제 3%용액을 1/4인치 담근 후 28일 동안 동결융해(1사이클 = -12°C 에서 17 시간 동결 후 23°C 에서 7시간 융해)시킨 후제설제별로 2개의 공시체를 평균을 내어 무게감량을 측정하였다. 실험규격은 SHRP H-205.8, ASTM 109-90을 이용하였다. 그림 6은 실험에 사용한 공시체이며 직경 4cm, 높이 4.3cm(체적 54cm^3)의 Round 몰드와 $5 \times 5 \times 5\text{cm}$ 인 Cubic 몰드를 사용하였다. 배합은 표 4의 설계 배합표를 이용하



표 4. 설계 배합표

Gmax (mm)	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	단위중량 (kg/m ³)					비고
					W	C	S	G	혼화제	
25	1.5	5	45	41	175	389	689	1,069	-	

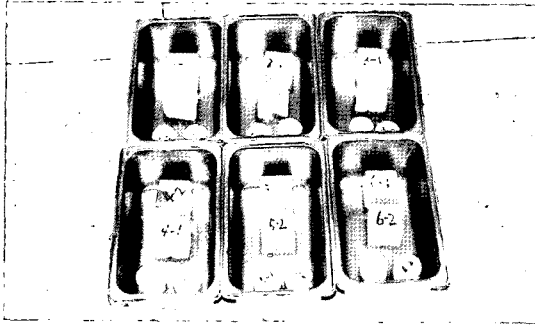


그림 6. 실험용 공시체 제작

였다. 시멘트는 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였고 슬럼프는 2회 평균값이다. 28일 강도는 KS F2405에 의하여 실시하였으며 5×5×5cm 3개의 공시체의 평균값으로 395.5kg/cm²이었다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 용해열 및 어는점 측정결과

기존 제설제인 염화칼슘, 염화나트륨, 염화칼슘과

염화나트륨의 혼합염(3:7), 염화마그네슘과 환경 친화 제설제인 CMA(미국)와 유기산과 Ca, Mg의 혼합염인 CMO의 용해열 측정결과를 제설제별로 2회의 평균값이며 표 5에 나타내었다.

실험에 사용한 희석물은 용빙재료 1mole과 반응하여 완전 가수분해 될 때 필요한 물의 mole 수의 200배가 되도록 정하였다. 물 2mole과 반응할 경우에는 400배로 희석하였다. 실험결과 염화칼슘과 CMA의 용해열이 0.315kJ/g, 0.444kJ/g로 가장 많은 열이 발생 하는 발열 반응을 보였다. 겨울철 용빙제 살포시 염화칼슘과 CMA와 같이 용해열이 높을 경우 많은 열을 방출하여 초기 용빙 효과가 우수하지만 콘크리트포장 표면의 온도가 급격히 올라가 열 충격을 줄 수 있고 겨울철 층간동결로 인한 우려 발생으로 열화를 촉진 시킬 수 있다. 염화나트륨의 경우 다른 염들과는 달리 용해열이 -0.074로 열을 흡수하는 흡열 반응을 나타내었다. 이는 염화칼슘에 비해 초기 용빙효과는 떨어지지만 지속성을 가지고 있어 용빙 효과가 오래 지속된다. 최근에는 소금을 염화칼슘용액(30%농도)에 적셔서 습염살포

표 5. 용해열 측정 결과

화 합 물	화 학 식	희 석 료	용 해 열	
			kJ/mol	kJ/g
염화칼슘(2수화물)	CaCl ₂ ·2H ₂ O	400배	46.35	0.315
염화나트륨	NaCl	200배	-4.34	-0.074
염화칼슘3:염화나트륨7	-	200배(염화칼슘400배)	11.27	0.055
염화마그네슘(6수화물)	MgCl ₂ ·6H ₂ O	400배	13.02	0.064
CMA	CaMg ₂ (CH ₃ CO ₂) ₆	400배	196.83	0.444
CMO(1:1)	-	400배	48.384	0.17
CMO(1:2)	-	400배	51.408	0.181
CMO(2:1)	-	400배	46.872	0.165



표 6. 어는점 및 공용점 측정결과 (Perry의 1973 ')

화합물	어는점(℃)		공용점(℃)		
	10%	20%	10%	20%	문헌보고
염화칼슘(2수화물)	-4.6	-13.9	-	-	-51.1(29.8%)
염화나트륨	-6.9	-17.5	-23.1	-24.4	-21.1(23.3%)
염화칼슘3:염화나트륨7	-6.9	-17.7	-27.7	-27.9	-
염화마그네슘(6수화물)	-3.5	-8.5	-45	-38.6	-33(21.65%)
CMA	-6	-18.9	-	-	-27.8(32.5%)
CMO(1:1)	-3.5	-11.5	-	-	-
CMO(1:2)	-3.2	-9.3	-	-	-
CMO(2:1)	-3.8	-9.4	-	-	-

(Pre-wetted salt spreading)식 제설 방법으로 염화칼슘의 속효성과 염화나트륨의 지속성을 살린 방법이 널리 사용되고 있다. 실험결과는 0.055로 발열 반응을 나타내었다. CMO의 경우는 0.165~0.181로 유기산염의 비율에 관계없이 비슷한 열을 방출하는 발열반응을 보였다. 실험결과에서 나타났듯이 용해열이 높지 않아 콘크리트 포장에서 열화현상을 방지할 수 있을 것으로 판단된다.

어는점 및 공용점 측정은 제설제 별로 10%, 20% 수용액을 2분 단위로 90분간 측정하였고 표 6에 나타내었다. 공용점값은 대부분 측정되지 않아 20% 수용액에 대해 제설제별로 어는점을 비교하였다. 측정결과 CMA 20% 수용액이 -18.9℃로 가장 우수한 효과를 보였으며 기존 제설제의 경우 20% 수용액에서 염화칼슘은 -13.9℃, 염화나트륨의 경우 -17.5℃, 염화칼슘과 염화나트륨의 혼합염은 -17.7℃로 모두 우수한 효과를 보였다. CMO의 경우 유기산염의 비율에 따라서 거의 차이가 보이지 않았으며 어는점은 -9.3~-11.5℃로 염화칼슘과 비교해보면 약 70%정도의 효과를 보여 우리나라의 겨울철 기후조건에서는 사용하기에 적절할 것이라 판단된다.

4.2 성능 실험 결과

얼음 용융실험은 용빙제 살포시 실제 도로에서 용

빙특성을 비교분석 하기 위한 것으로 온도는 -7℃, -12℃로 정하였다. 실험은 각 제설제별로 얼음에 살포한 후 얼음의 녹는양을 누적하여 측정하였으며 실험결과는 그림 7과 8에 나타내었다. 그림 7에서 얼음 용융실험 결과를 보면 용해열이 높은 CMA(마

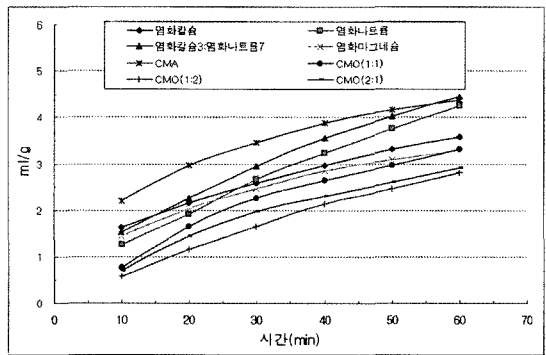


그림 7. -7℃에서의 용빙량 실험 결과

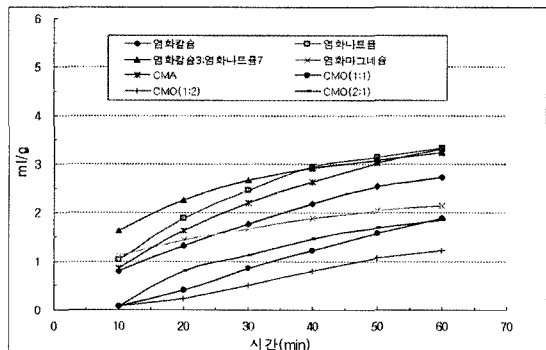


그림 8. -12℃에서의 용빙량 실험 결과



국)와 염화칼슘(2수화물)의 경우 10분이 경과 하였을 경우 초기 용빙효과가 가장 뛰어났으며 염화나트륨, 염화칼슘과 염화나트륨의 혼합염(3:7), 염화마그네슘의 경우도 우수한 용빙 효과를 보였다. 60분이 경과하였을 때는 염화칼슘과 염화나트륨의 3:7 혼합염이 가장 우수한 용빙효과를 보였다. 이것은 염화칼슘의 속효성과 염화나트륨의 지속성에 의한 효과로 볼 수 있다. 기존 제설제와 CMO간의 용빙특성을 비교해 보면 CMO(1:1) 경우 약간 우수한 용빙효과를 보였으며, 60분 경과 후 염화칼슘에 비해 약 80~90%정도의 효과를 보였다.

그림 8의 용빙량 실험 결과를 보면 기존제설제의 경우 -12℃에서의 용빙량 효과는 전체적으로 좋았으나 CMO는 10분이 지나도 거의 용빙효과가 없었으며 60분이 지난 후 염화칼슘에 비해 용빙효과는 약 40~60%정도에 불과해 -10℃ 이하에서는 용빙효과가 떨어짐을 알 수 있다. 따라서 겨울철 기온이 많이 떨어지는 경기, 강원 북부나 일부 산간지방을 제외한 지역에서는 사용가능할 것으로 판단된다.

얼음침투실험은 얼음용융실험과는 달리 용빙제가 수직방향으로 얼음을 녹이는 정도를 측정하기 위한 것이며 얼음-포장을 분리하는 것으로 용빙제의 중요한 특성이라 할 수 있다. 실험결과는 그림 9에 나타내었다. 온도는 -7℃에서 실험하였고 2회 반복 후 평균값이다. 침투울 면에서는 기존 제설제가 대부분 우수한 침투 효과를 보였으며 CMO의 경우는 CMO(1:1)과 CMO(2:1)이 CMO(1:2)보다 침투효

과가 우수하였다. 초기 침투효과는 미미하지만 60분이 지난후 약 60%의 효과를 보였다. 침투울은 용빙제의 밀도차에 의해 영향을 많이 받으므로 침투울이 좋다고 해서 반드시 용빙효과가 좋은 것은 아니다.

4.3 콘크리트 표면 중량손실량 측정 결과

콘크리트의 표면 중량손실 실험은 제설제 종류별로 공시체 2개를 평균을 내어 무게감량을 측정하였다. Cubic 몰드와 Round 몰드의 실험 결과는 그림 10과 그림 11에 나타내었다. 기존제설제의 경우 환경친화 제설제보다 약 1.5~2배 정도의 중량손실량을 보였고 염화나트륨이 중량손실량이 가장 많이 나타났다. 결과적으로 구조물의 내구성을 저하 시킬 수 있으므로 겨울철 제설제 살포시 적당량을 사용해야 하며 특히 도로 배수시설이 용이하지 않은 지역에서는 심각한 피해가 우려된다. 환경친화제설제인

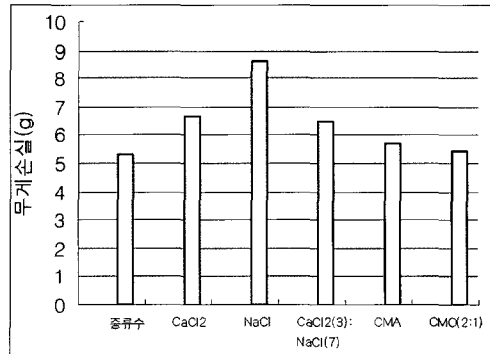


그림 10. 콘크리트 표면 중량손실량

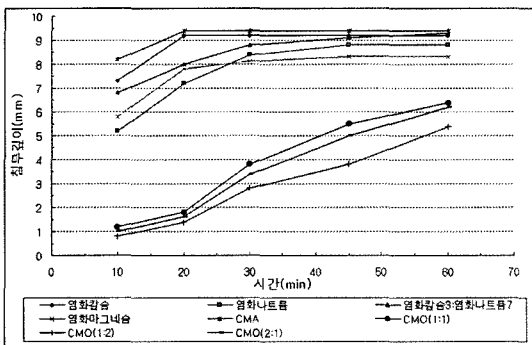


그림 9. -7℃에서의 얼음 침투 실험 결과

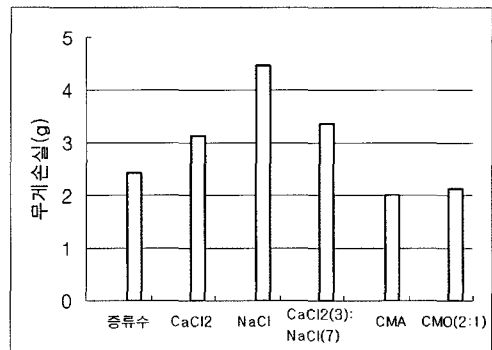


그림 11. 콘크리트 표면 중량손실량



CMO(2:1)와 CMA는 중량손실량이 미미하였고 증류수의 중량손실량과 비슷한 효과를 보여 콘크리트에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구를 통하여 기존 제설제(염화칼슘, 염화나트륨, 염화칼슘과 염화나트륨의 3:7 혼합염 염화마그네슘)와 환경 친화 제설제인 CMA(미국)와 본 연구진에서 개발한 Ca, Mg와 유기산(초산, 프로피온산)의 반응물인 CMO에 대해 기초 물성 실험 및 성능평가 실험을 하여 친환경 제설제인 CMO가 대체제설제로서 기존제설제에 비해 어느 정도의 효과가 있는지 비교 분석 하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 제설제 종류별 용해열 측정 결과 CMA와 염화칼슘이 가장 많은 열을 방출하는 발열 반응을 보여 초기 응빙효과는 우수 할 것으로 판단되지만 겨울철 많은 양을 사용할 경우 콘크리트의 급격한 온도변화와 층간 동결로 인하여 열화를 촉진 시킬 수 있을 것이라 판단되고 CMO의 경우 유기산염의 비율에 상관없이 0.165~0.181로 비슷한 열을 방출하는 발열반응을 보였고 용해열이 높지 않아 콘크리트의 조기 열화를 방지 할 수 있을 것으로 판단된다.
- 2) 어느점 측정결과 기존제설제의 경우 모두 우수한 효과를 보였고 CMO의 경우 유기산염의 비율에 관계없이 비슷한 효과를 보였으며 염화칼슘에 비해 약 70%의 효과를 보여 우리나라와 같은 겨울철 기후조건에서는 사용할 수 있을 것으로 판단되지만 추가연구를 통해 성능을 더 향상시켜야 할 것이다.
- 3) 얼음침투실험은 -7℃에서 60분 후 기존 제설제에 비해 60% 정도의 효과를 보였다. 얼음융융실험은 -12℃보다 -7℃에서 더 우수한 응빙효과를 보였고 염화칼슘에 비해 약 60~90%정도의 효과를 보였다.

- 4) 콘크리트 표면 중량손실량 측정결과 기존 제설제의 경우 CMO보다 1.5~2배 높아 구조물의 내구성 저하의 원인이 될 수 있을 것으로 판단된다. 환경친화 제설제인 CMA와 CMO는 중량손실량이 미미해 구조물에 거의 영향을 미치지 않음을 알수 있었다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 건설핵심기술 연구개발사업의 일환인 친환경성 액상 유기산 제설제 개발 및 실용화 기술 과제에 일부 성과물로 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. 건기원(1997), "노면의 미끄럼 -도로·활주로·상면," 도로교통 안전 기술보고서
2. 최철호(1993), "저급 생물체로부터 대체제설제 생산에 관한 연구," 산업기술개발논총, 제8호.관동대학교
3. 이승우, 김남철(2004), "콘크리트포장의 노면 잔류 이물질에 따른 미끄럼저항변화," 한국도로학회 논문집, 제7권 1호, PP.35~43
4. 이용은 외(1999), "비염화물계 응빙제의 개발," 한국도로공사 연구보고서, 99-4, 7-40
5. 이창근 외(1996), "콘크리트 교량의 철근 및 긴장재의 부식방지에 대한연구" 한국도로공사 연구보고서, 96-46-35
6. 조서연(2003), "습염살포 제설작업 소개" 대한토목학회지, 제51권 제5호, PP. 16~19
7. 日本コンクリート 工學協會(1999), "融雪劑によるソクリート構造物の劣化研究委員會報告書·論文集".
8. Horace D. Crockford (1976), "laboratory manual of physical chemistry", 2nd Edition
9. Leslie Titus-Glover and Shiraz D. Tayabji(1999), "assesment of LTPP Friction Data", FHWA-RD-99-037
10. Mccrum, R.L(1989), "Corrosion Evaluation of Calaium Magnesium Acetate (CMA), Salt(NaCl), and CMA/Salt Solutions,"



*National Association of Corrosion Engineers
Corrosion/89, Paper No. 127, LA*

11. P.W. Atkins(1990), *Physical Chemistry, 4th, Oxford University Press*, pp. 197
12. Robert H. Perry, Don W(1973), Green, "*perry's Chemical Engineers' Handbook*", 6th Edition, McGraw-Hill
13. Strategic Highway Research Program(1992), "*Handbook of Test Method for Evaluating*

Chmeical Deicers." SHRP-H-332, Nation Research Council, Washington, DC

14. Technical Research Center of Finland(1996), <http://www.vtt.fi>
15. Transportation Research Board(1991), "Highway Deicing," *Special report 235, National Research Council*, Washing, D.C.

〈접수 : 2005. 4. 27〉