

## 산업부산물을 활용한 친환경제설제의 특성평가

허형석<sup>1</sup>, 이병재<sup>2\*</sup>

# Evaluation of the Properties of an Environment-Friendly De-icing Agent Based on Industrial By-Products

Hyung-Seok Heo<sup>1</sup>, Byung-Jae Lee<sup>2\*</sup>

**Abstract:** A huge amount of de-icing agent is sprayed during winter to promote traffic safety in cold regions, and the quantity of de-icing agent sprayed has increased each year. The main ingredients in commonly used de-icing agents are chlorides, such as calcium chloride(CaCl<sub>2</sub>) and sodium chloride(NaCl). While calcium chloride is mostly used in Korea and sodium chloride is usually used in the U.S. and Japan, all de-icing agents include chloride ions. The chlorides included in sprayed calcium chloride-based de-icing agents have severe adverse effects, including the corrosion of reinforcing steels through salt damage by infiltrating into road structures, reduced structural performance of pavement or damage to bridge structures, and surface scaling, in combination with freezing damage in winter, as well as water pollution. In addition, the deterioration of paved concrete road surface that occurs after the use of calcium chloride-based de-icing agent accelerates the development of visual problems with traffic structures. Therefore, the present study was performed to prepare an environment-friendly liquid de-icing agent through a reaction between waste organic acids and calcium-based by-products, which are industrial by-products, and to analyze the properties of the de-icing agent in order to evaluate its applicability to road facilities.

**Keywords:** Ultra rapid hardening cement, Grout, Phase change material, Hydration heat control

## 1. 서 론

우리나라의 경우, 적설 한랭지역의 동절기 교통안전을 위하여 제설제 살포가 다량으로 이루어지고 있는데, 그 살포량도 매년 증가하고 있는 실정이다. 일반적으로 사용되는 제설제는 염화칼슘(CaCl<sub>2</sub>), 염화나트륨(NaCl)과 같은 염화물계가 주성분으로, 국내에서는 대부분 염화칼슘을 주로 사용하고 있고, 미국이나 일본의 경우는 소금인 염화나트륨으로 모두 염소이온을 포함하고 있다(Nili and Zaheri 2011). 염화칼슘 제설제가 포함하고 있는 염화물 때문에 제설제 살포시 염화물은 도로 구조물로 침투하여 염해에 의한 철근부식을 유발하여 실제 포장이나 손상된 교량 구조물 내에서의 구조적 성능저하를 야기하고, 동절기 동해와 함께 복합적으로 작용하여 표면 스케일링을 발생시키며, 특히 살포제에 의한 수질 오염과 같은 심각한 부작용을 초래하고 있다. 또한 콘크리트 도로포장 표면이 염화칼슘 제설제 사용

후 나타나는 열화현상으로 인하여 기존의 염화칼슘 제설제의 경우 시각적으로 교통 외관상 문제를 가속화시키고 있다(Shi et al., 2012; Koefod, 2008; Marchand et al., 1999).

현재까지의 비염화물계 제설제의 개발현황을 검토하였을 때 종래 염화물계 제설제의 부작용인 토목 및 건축 구조물 열화와 생태계 파괴 등의 문제점을 부분적 완화 및 해결하는데 큰 성과를 달성하였으나, 경제적 관점에서 제조비용의 상승으로 그 적용의 한계가 있다.

현재 폐기물의 발생량이 증가하고 있으며, 특히 제품 생산 공정 및 음식물쓰레기 처리과정 등에서 부산 되는 유기성 폐기물의 발생량이 급증하고 있는 실정이며, 정유산업과 철강 산업 등에서 부산 되는 칼슘계 부산물의 재활용 문제도 야기되고 있으나 처리 방법에 대해서는 매립 및 해양투기 등의 단순처리만 이루어지고 있어 그 자원재활용 관점에서 재자원화에 대한 요구가 증가되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 산업부산물인 폐유기산과 칼슘계부산물물을 반응시켜 친환경 액상 제설제를 제조하고 그 특성을 분석하여 도로시설물에 적용가능성을 검토하였다.

<sup>1</sup>정회원, (주)제이엔티아이엔씨 기술연구소, 수석연구원

<sup>2</sup>정회원, (주)제이엔티아이엔씨 기술연구소, 책임연구원, 교신저자

\*Corresponding author: lbjae80@hanmail.net

Senior Researcher, R&D Center, JNTINC CO. LTD

•본 논문에 대한 토의를 2017년 12월 1일까지 학회로 보내주시면 2018년 1월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

## 2. 사용재료 및 시험방법

### 2.1 사용재료

본 연구에서는 산업부산물과 유기산을 반응시키기 전에 앞서, 시약급(아세트산-탄산칼슘)의 시료를 사용하여 중화반응으로 적정 배합비율을 도출하고 도출된 배합비율을 토대로 부산물의 최적배합을 도출한 뒤, 제설제 성능을 비교하기 위하여 염화나트륨과 같이 비교 분석 실험하였다.

#### 2.1.1 페아세트산

국내 디스플레이 산업으로 인해 LCD보급후 시장을 형성하여 제품을 생산하고 있다. 이러한 LCD제조공정에서 LCD 식각액액으로 배출되는 혼산폐액은 막대한 양이 증가되고 있다. 이 폐액에는 웨이퍼를 구성하는 금속성분과 인산, 질산 및 초산 등의 무기산의 산도가 높아서 환경적으로 매우 유해한 물질로 적절한 처리방법 및 재활용기술이 요구된다. 본 연구에서 사용된 페아세트산은 부산된 혼산 폐액으로부터 진공 증발법을 활용하여 질산 및 초산을 분리하는 기술을 도입하여 폐초산을 제설제의 원료로 사용하고자 한다. 페아세트산의 무기원소 정량분석 결과는 Fig.1에 나타내었다.

#### 2.1.2 탈황슬래그

철강슬래그(고로 및 제강슬래그)는 재활용관련 연구가 활발히 진행되어 재활용에 대한 수요가 증가되고 있지만 아직 제철 공정에서 부산물중 탈황슬래그, 괴제슬래그, TCC슬래그 등이 매립폐기되고 있는 부산물이 상당수 존재한다. 철강 산업부산물 중 재활용되지 못하고 폐기되는 슬래그 중 Ca성분을 50% 이상 함유하고 있으며 연간 부산량이 10만톤 이상 되는 탈황슬래그의 친환경 제설제로의 활용가능성을 검토하고 실험 재료로 사용하였다. 실험에 사용된 탈황슬래그의 화학적 특성은 Table 1에 나타내었다.

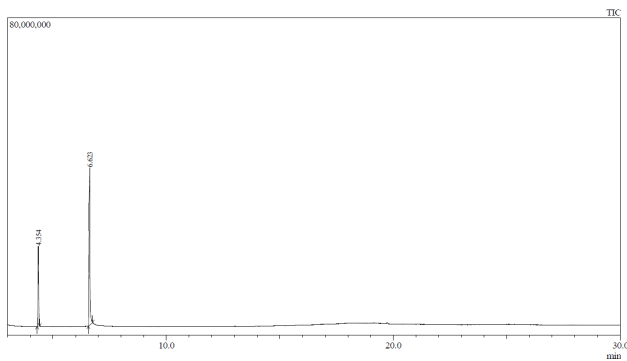


Fig. 1 Result of quantitative analysis of inorganic elements in waste acetic acid

#### 2.1.3 탄산칼슘 부산물

철강산업부산물 중 재활용되지 못하고 폐기되는 석회석더스트는 H사 기준으로 연간 8만톤 이상 부산되며 Ca성분을 50% 이상 함유하고 있으며, 제강공정 중 부산되는 석회석더스트에 칼슘이온 용출첨가제와 비이온성 침강제 등을 투입하여 교반공정, 침강공정, 탄산화공정을 거치면 탄산칼슘 부산물이 발생되며 칼슘부산물로 폐유기산과 혼합하여 액상 제설제를 제조하였다. 실험에 사용된 탄산칼슘부산물의 화학적 특성은 Table 2에 제시하였다.

#### 2.1.4 정유플라이애시

원유 정제 공정중 황분을 제거하는 공정인 탈황공정에서는 탈황 촉매가 충전된 고온 고압의 반응기에서 수소를 첨가하여 정제 제품중의 황분을 제거하는 공정으로서 플라이애시 형태의 부산물을 발생시키고 있으며, 폐유기산과 혼합하여 실험을 실시하였다. 정유플라이애시의 화학적 특성은 Table 3과 같다.

#### 2.1.5 소성슬러지

현재 국내에서는 탈수케이크 상태의 하수슬러지를 건조 혹은 소각한 후 매립하거나 소각재를 건축자재(경량골재, 벽돌 등)로 재활용하는 방법, 그리고 고화제(알칼리제)에 의한 고화처리방법, 퇴비화 하여 녹농지에 이용하는 방법 등이 제안되고, 이들을 중심으로 많은 연구들이 진행되고 있다. 본 연구에서는 서울 지역에서 발생된 슬러지를 채취하여 친환경 제설제의 칼슘부산물로 실험을 실시하였다. 본 연구에 사용된 소성슬러지의 화학적 특성은 Table 4와 같다.

#### 2.1.6 폐글리세린

글리세린의 용도는 식용, 의료용, 윤활제 등 산업 전반에 다양한 형태로 사용되어지며, 동해방지 및 응빙의 효과가 보고되고 있어 제설제로의 활용도가 높은 것으로 판단된다. 하지만 정제된 고순도의 글리세린의 경우 제조원가가 높기 때문에 본 연구에서는 부산물인 폐글리세린의 정제과정을 거치지 않은 80%의 크루드 글리세린을 친환경 제설제의 원료로 혼합하여 실험을 진행하였다(Table 5).

Table 1 Chemical properties of desulfurized slag

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	lg-loss
component ratio(%)	7.5	4.9	14.0	54.4	3.7	4.7	13.7

Table 2 Chemical properties of calcium carbonate by-product

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	lg-loss
component ratio(%)	2.1	1.1	2.6	51.7	2.3	1.0	41.8

**Table 3** XRF analysis result of oil refining by-product

Analyte	mg	P	S	Ca	V	Mn	Fe	Zr	Al	Si	K	Ni	Sr	Content
Compound formula	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	CaO	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	NiO	SrO	65 ppm
Concentration(%)	0.428	0.052	18.6	78.0	78.0	0.139	0.577	0.026	0.188	1.76	0.000	0.039	0.066	ND

**Table 4** XRF analysis result of calcined sludge

Analyte	Mg	P	S	Ca	Fe	Zr	Al	Si	K	Mn	Sr
Compound formula	MgO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	MnO <sub>2</sub>	SrO
Concentration(%)	0.847	0.057	0.107	90.2	3.34	0.020	1.26	3.97	0.001	0.169	0.041

**Table 5** Composition of waste glycerine

Item	Waste glycerin	Crude glycerin
Glycerin content(%)	66.2~85.9	80~81.5
pH	2.0~11.7	-
K(%)	1.1~1.5	-
Na(%)	0.5~1.25	-
Cl(%)	0~2.16	-
S(%)	0~1.4	-
Ash(%)	1.8~4.34	5.5~9.0
Mpisture(%)	0.63~21.01	8~14
MOMG(%)	5.33~30.92	0.5~1.5

## 2.2 실험

### 2.2.1 제조방법

친환경 제설제 배합도출을 위해 다음과 같은 과정으로 제조하였다. 먼저, 일정 조성의 탄산칼슘을 적당량의 증류수로 혼합하여 혼합물에 조성량의 약100~300% 정도의 유기산(아세트산 등)을 혼합하여 반응시키고, 마그네틱바를 이용하여 일정시간 동안 혼합한 뒤 거름종이를 통해 미반응물을 거름종이로 걸러내고 걸러진 혼합물에 대한 특성 평가를 실시하였다.

### 2.2.2 배합설계

아세트산:탄산칼슘 1:1, 2:1 배합에서는 반응물질에 대해서 혼합이 이루어지지 않아 배합조건에서 제외하였다. 또한 염화나

**Table 6** Mixing conditions

No.	Mixing condition		Unit(g)		
	Item	Mixing ratio	Acetic acid	Calcium carbonate	Water
I-1	Acetic acid, Calcium carbonate	3:1	480.0	132.0	528.0
I-2	Acetic acid, Calcium carbonate+ Crude glycerin10%	3:1	480.0	132.0	528.0

No.	Mixing condition		Unit(g)		
	Item	Mixing ratio	Waste acetic acid	Calcium carbonate	Water
II-1	Waste acetic acid, Calcium carbonate	1:1	200.0	166.7	666.7
II-2	Waste acetic acid, Calcium carbonate	2:1	340	141.7	566.7
II-3	Waste acetic acid, Calcium carbonate	3:1	480.0	132.0	528.0
II-4	Waste acetic acid, Calcium carbonate+Crude glycerin10%	1:1	200.0	166.7	666.7
II-5	Waste acetic acid, Calcium carbonate+Crude glycerin10%	2:1	340	141.7	566.7
II-6	Waste acetic acid, Calcium carbonate+Crude glycerin10%	3:1	480.0	132.0	528.0

No.	Mixing condition		Unit(g)		
	Item	Mixing ratio	Waste acetic acid	Calcium by-products	Water
III-1	Waste acetic acid, Desulfurize slag	3:1	430.0	118.3	473.0
III-2	Waste acetic acid, Calcium carbonate by-products	3:1	430.0	118.3	473.0
III-3	Waste acetic acid, Oil refining by-products	3:1	430.0	118.3	473.0
III-4	Waste acetic acid, Calcined sludge	3:1	430.0	118.3	473.0

트럼과 비교하기 위해서는 고형분 10%, 20%를 맞추어 물과 함께 혼합하여 실험을 진행하였다. 배합조건별 배합표는 Table 6에 나타내었다.

### 2.2.3 빙점 측정

각 제설제의 어는점(빙점) 측정은 그림 빙점측정기를 사용하여 ASTM D1493을 준용하여 측정하였다(Fig. 2). 측정 과정은 시료 용액을 넣은 튜브에 교반기를 부착 하고, 드라이아이스로 채워진 냉각조에 튜브를 담근 후 지속적으로 교반 시킨 후 시료 용액의 온도 강하를 지속적으로 측정하였다. 빙점에 이른 용액이 응축열을 발산한 직후의 True soildification point(Tc)를 측정하여 응고점으로 하였으며, 배합조건에 따라 반복 실험하여 빙점강하 효과를 측정하였다.

### 2.2.4 얼음용융시험

실내에서 수행된 시험으로 용설재가 도로 표면의 눈이나 얼음을 녹일 수 있는 능력을 평가하기 위해 얼음에 일정량의 용설재를 살포한 뒤 얼음을 녹이는 용빙량을 측정하는 실험으로서, 눈 또는 얼음을 녹일 수 있는 능력을 비교 분석하기 위하여 얼음용융 시험을 실시하였고, 시험장치는 Fig. 3과 같다.



Fig. 2 Photograph of freezing point measurement



Fig. 3 Photograph of melting test

시험에 사용할 제설제 용액 3.8±0.01 g을 정량하여 시료병에 넣은 후 시험 온도와 평행이 되도록 시험 1~2시간 전에 항온실에 보관한 다음 실시하였다. 일정 시간이 경과할 때마다 얼음이 녹은 양을 측정 후 용융액을 다시 얼음 표면에 부어 시간 경과에 따른 배합조건별 제설제의 용융량을 측정한다. 시험에 사용한 시간 간격은 10, 20, 30, 45, 60분이며, 시험 온도는 -7°C에서 수행하였다(Nixon and Williams 2001).

### 2.2.5 부식성능평가

부식성능평가 실험은 EL610의 인증 시험 규격 중 EM502-1의 「제설제의 성능 평가-강재 부식 영향 시험 방법」에 따라 실시하였다. 시험편은 도금이나 도장처리가 되지 않은 강재로 두께 1 mm × 폭 70 mm × 길이 150 mm로 제작하여, 부식은 10분 동안 완전히 담그고 50분 동안 시험 용액 밖으로 꺼내는 동작을 반복하고 3주에 걸쳐 각 주차별로 식에 따라 철 시험편의 질량감량을 측정하였다.

$$M = \frac{W_1 - W_2}{A} \quad (1)$$

여기서,  $W_1$ : 시험편의 질량감량( $mg/cm^2$ )

$W_1$ : 시험편의 초기 질량( $mg$ )

$W_2$ : 부식생성물 제거 후 시험편의 질량( $mg$ )

$A$ : 시험편의 표면적( $cm^2$ )

### 2.2.6 동결융해 시험

제조된 용액을 가지고 EL 610의 인증 시험 규격 중 EM502-2의 「제설제의 성능 평가-콘크리트 동결 융해 시험 방법」에 따라 동결 융해 실험을 실시하였다. 시험편은 가로 50 mm×50 mm

Table 7 Evaluation of concrete freeze-thaw performance

Type	Mixing ratio(%)
Water : Deionized water	9.11
Cement : Ordinary portland cement(KS L 5201)	17.79
Sand : Standard sand(KS L ISO 679)	31.13
Gravel : Dried crushed limestone(d=5~10 mm)	41.97



Fig. 4 Photograph of freeze-thaw test

×50 mm의 정육면체 콘크리트로 제작하고 콘크리트의 제작방법은 KS F 2403을 따르되, 다짐이 끝난 후 온도(23±2°C), 상대습도는 50±5%의 조건에서 20~24시간 양생한 후 동일온도의 상대습도 100%의 조건에서 13일간 양생시킨 후 온도(23±2°C), 상대습도는 50±5%의 조건에서 11일간 다시 양생시켰다. 이후 시험편의 무게를 측정하고 탈이온수에 충분히 잠기도록 하여 24시간동안 양생하고 시험용 용기를 온도 (-18±2)°C의 항온챔버에서 17시간 유지한 후 온도(23±2)°C에서 시험실에서 7시간 유지한다(Fig. 4). 이를 동결융해 1사이클로 하여 총 10사이클을 반복하였다. 배합은 Table 7의 설계 배합표를 이용하였다.

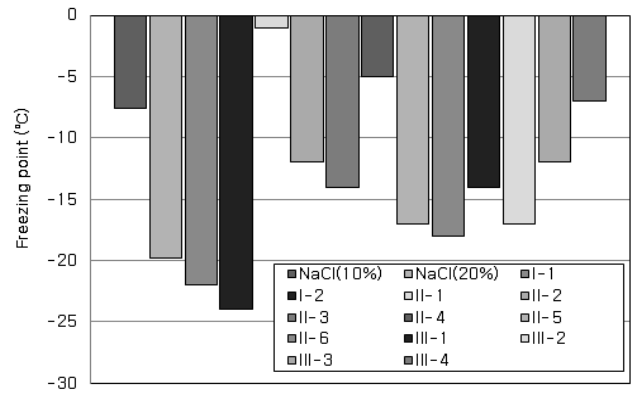


Fig. 5 Effect of the de-icing agent on freezing point

### 3. 실험결과

#### 3.1 혼합물의 특성 결과

각 제조된 친환경 제설제의 물리적 특성 평가를 하였으며, Table 8은 각 배합의 실험 특성 평가 결과이다.

#### 3.2 친환경 제설제 실험결과

##### 3.2.1 빙점 측정

각 배합조건에 따른 어는점(빙점) 측정결과는 Fig. 5와 같다. 염화나트륨의 어는점은 고형분10%, 20% 기준으로 각각 -7.6°C, -19.8°C에서 나타났으며, 시약급으로 제시된 배합조건에서 아세트산과 탄산칼슘 3:1로 혼합한 배합조건에서 가장 낮은 -22°C의 빙점을 나타내었다.

아세트산을 산업부산물로 대체하였을 경우, 빙점은 약 5°C~7°C정도 높아지는 경향을 나타내었고, 칼슘 부산물역시 대체

하였을 경우에는 -7°C~-14°C정도의 빙점을 나타내어 성능개선을 통해 충분히 친환경 제설제로의 제조가 가능할 것으로 판단된다.

##### 3.2.2 얼음용융시험

산업부산물을 사용하여 친환경 제설제를 제조한 뒤 얼음용융(용빙)시험은 Fig. 6에 나타내었다. 시험은 -7°C에서 실시하였으며, 시간의 경과에 따른 누적 얼음 용융량을 측정하는 것이다.

시험결과, NaCl 20% 수용액의 용빙성능이 월등히 우수하였고, 유기산 혼합물 조건인 아세트산-탄산칼슘 배합조건인 I-2번 시료가 우수한 용빙량을 나타내었고, II-6번(페아세트산:탄산칼슘, 3:1+페글리세린10%) 배합에서는 20분 이후부터 급격하게 용빙량 증가하면서 두 번째로 우수한 성능을 보였다. 산업부산물을 이용한 II-1번(페아세트산:탄산칼슘=1:1) 배합은 다소 용빙성능이 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

Table 8 Basic properties of environment-friendly de-icing agent

No.	Mixing condition		Solid content (%)	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Viscosity (cps)
	Item	Mixing ratio			
I-1	Acetic acid, Calcium carbonate	3:1	12.88	1.110	10.8
I-2	Acetic acid, Calcium carbonate+ Crude glycerin10%	3:1	13.54	1.165	13.6
II-1	Waste acetic acid, Calcium carbonate	1:1	8.640	1.050	6
II-2	Waste acetic acid, Calcium carbonate	2:1	13.55	1.076	6.6
II-3	Waste acetic acid, Calcium carbonate	3:1	16.68	1.094	8.1
II-4	Waste acetic acid, Calcium carbonate+Crude glycerin10%	1:1	10.21	1.087	6.3
II-5	Waste acetic acid, Calcium carbonate+Crude glycerin10%	2:1	14.12	1.098	6.9
II-6	Waste acetic acid, Calcium carbonate+Crude glycerin10%	3:1	17.51	1.180	10.2
III-1	Waste acetic acid, Desulfurize slag	3:1	15.40	1.090	7.5
III-2	Waste acetic acid, Calcium carbonate by-products	3:1	8.170	1.056	5.7
III-3	Waste acetic acid, Oil refining by-products	3:1	15.35	1.090	7.5
III-4	Waste acetic acid, Calcined sludge	3:1	15.44	1.090	7.5

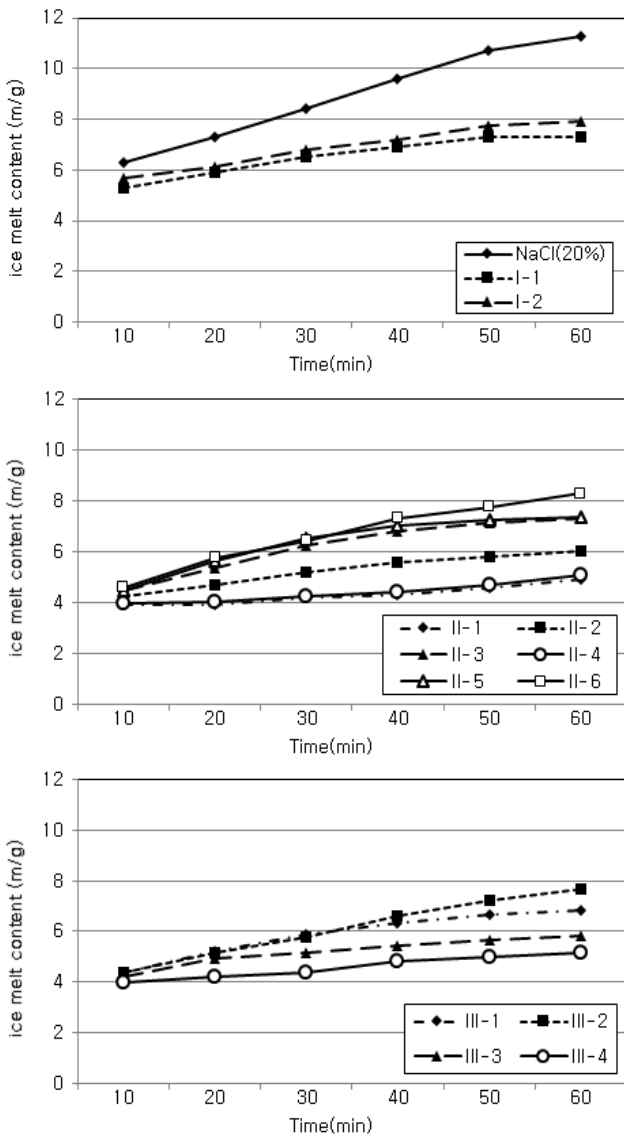


Fig. 6 Result of ice thaw melting experiment at  $-7^{\circ}\text{C}$

산업부산물을 사용한 경우에는 용빙량이 낮은 특성을 나타내어 향후 산업부산물 활용시 용빙성능 향상을 위한 성능개선 연구가 추가로 필요할 것으로 판단된다.

### 3.2.3 부식성능시험결과

Table 9는 빙점과 용융량에서 우수한 제설용액으로 강재에 대한 부식성능을 질량감량 실험결과를 나타낸 것이며 Fig. 7은 각 성분계열에 따른 질량감량을 그래프로 나타낸 것이다. 염화물계인 염화나트륨에서 부분적 흑청과 부분적 적청이 발생하여 전체적으로 부식이 일어난 것을 확인할 수 있었으며, 유기산 혼합물과 폐글리세린 혼합에서도 부분적 적청이 발생하였다. 산업부산물로 대체한 유기산 혼합물과 글리세린을 첨가한 배합에서는 부식성능의 개선이 유효한 것으로 나타났다.

Table 9 Result of corrosion performance test

	7days	14days	21days
NaCl			
I-2			
II-8			
III-10			

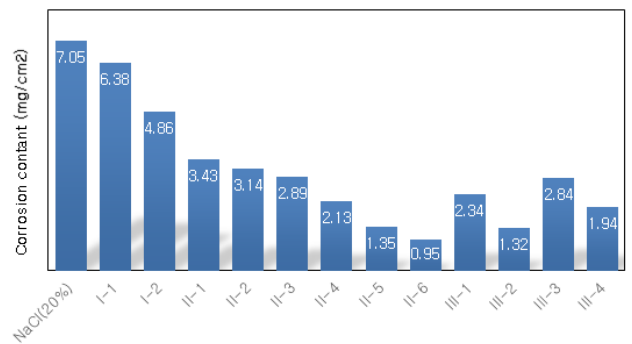


Fig. 7 Rate of mass reduction by corrosion depending on the mixing conditions

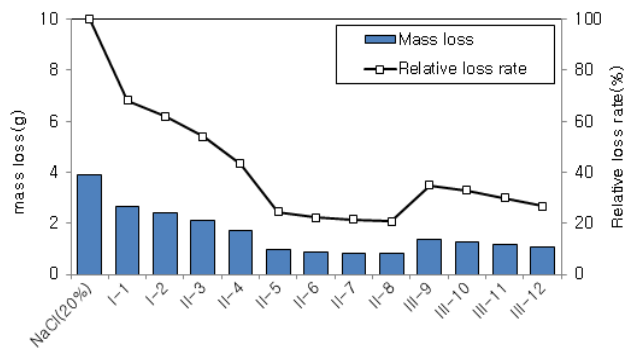


Fig. 8 Result of freeze-thaw performance test

### 3.2.4 동결융해 시험결과

콘크리트 시편을 제조된 제설제에 따라 동결융해 실험을 한 결과는 Fig. 8에 나타내었다. 산업부산물을 활용한 제설제의 질량 손실은 NaCl보다 적은 것으로 나타났으며 글리세린과 혼합한 수용액에서는 중량손실량이 가장 낮은 것으로 나타났다. 기존 염화물계 NaCl의 경우 친환경 제설제보다 중량손실이 1.5~2배 정도의 손실량을 보였고 결과적으로 구조물의 내구성을 저하시킬 수 있으므로 겨울철 제설제 살포시 적당량을 사용해야 하며 특히 도로 배수시설이 용이하지 않은 지역에서는 심각한 피해가 우려된다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 기존 제설제 물질로 쓰이고 있는 염화나트륨과 유기산 및 칼슘계 산업부산물을 활용하여 기초 물성 및 성능평가 실험을 하여 친환경 제설제가 기존 제설제 물질에 비해 어느 정도의 효과가 있는지 비교분석하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 산업부산물을 활용한 친환경제설제의 최적 배합조건 도출을 위해 시약급시료와 부산물시료로 구분하고 혼합비율별로 달리하여 배합설계를 수행하고 어는점 측정결과, 염화나트륨과 아세트산:탄산칼슘(3:1) 배합에서 가장 우수한 효과를 보였고, 유기산 혼합물 II 배합에서는 페아세트산:탄산칼슘(3:1)과 페글리세린 10% 추가 한 혼합물에서 염화나트륨과 비슷한 경향을 나타내었다. 산업부산물을 활용한 경우 페아세트산과 탄칼부산물 혼합에서 염화나트륨과 비슷한 경향의 효과를 보여 우리나라와 같은 겨울철 기후조건에서는 사용할 수 있을 것으로 판단되지만 추가연구를 통해 성능을 더 향상시켜야 할 것이다.
- 2) -7°C에서 염화나트륨과 제조된 제설제 종류별 용빙 측정 실험결과 염화나트륨의 용빙효과가 우수하였으며 유기산 혼합(아세트산:탄산칼슘, 3:1+페글리세린10%)에서도 양호한 용빙효과가 나타났다. 산업부산물로만 이루어진 유기산혼합물(페아세트산:탄칼부산물)에서도 꾸준한 지속성을 유지하면서 용빙효과를 발휘하였으며, 혼합물 II-8과 III-10을 적절히 혼합하면 우수한 제설효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 얼음 용융 시험은 각 화합물의 어는점 내림 특성뿐만 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 나빠기 때문에 실제 제설제로 사용을 하기 위해서는 적절한 입도와 모양에 대하여 신중하게 고려할 필요가 있다고 판단된다.

- 3) 강재의 부식성능 실험은 염화나트륨에서 가장 크게 발생하였으며, 유기산 혼합물 I-1에서 부식이 거의 발생하였다. 글리세린을 추가적으로 혼합한 I-2와 유기산 혼합물 II에서도 글리세린을 추가 한 배합에서 부식이 감소하는 것을 확인할 수 있었으며 산업부산물로 대체한 유기산 혼합물과 글리세린을 적절히 첨가하여 혼합한 배합에서 부식성능의 개선이 유효한 것으로 판단된다.
- 4) 콘크리트 동결융해 실험에서 염화나트륨의 경우 손실률이 가장 크게 나타났으며 산업부산물로 제조된 제설제의 경우 평균적으로 중량손실률이 낮아 동결융해에 따른 악영향을 적게 받을 것으로 판단된다.
- 5) 기존 제설제 물질로 사용되고 있는 주요성분인 염화나트륨과 산업부산물을 활용하여 제조 하여 만들어진 제설제 종류에 따라 비교 실험한 결과 빙점, 용빙측정에서는 염화나트륨이 우수하게 나타났지만 유기산 혼합물도 비슷한 성능을 보였으며 부식성능, 동결융해 실험결과 산업부산물과 페글리세린을 혼합한 용액들이 우수하게 나타났지만 좀 더 많은 실험이 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 연구는 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비 지원(14CTAP-C077929-01)에 의해 수행되었습니다.

## References

- Koefod, S. (2008), Eutectic depressants: relationship of eutectic, freezing point, and ice melting capacity in liquid de-icers, SNOW08-008. Seventh International Symposium on Snow Removal and Ice Control Technology Fourth National Conference on Surface Transportation Weather. Transportation Research Circular E-C126: Surface Transportation Weather: Snow and Ice Control Technology, June, 73-84.
- Marchand, J., Pigeon, M., Bager, D. H., and Talbot, C. (1999), Influence of chloride solution concentration on deicer salt scaling deterioration of concrete, ACI Mater. J. 96(4), 429-435.
- Nili, M. and Zaheri, M. (2011), Deicer salt-scaling resistance of non-air-entrained roller-compacted concrete pavements, Construction and Building Materials, 25(4), 1671-1676.
- Nixon, W. A. and Williams, A. D. (2001), A guide for selecting anti-icing chemicals, Ver. 1.0. IIHR Technical Report No. 420.
- Shi, et al. (2012), Exploring the interactions of chloride de-icer solutions with nano modified and micro modified asphalt mixtures using artificial neural networks, Journal of Materials in Civil Engineering, 24(7), 805-815.

Received : 09/01/2017

Revised : 09/07/2017

Accepted : 09/07/2017

---

**요 지** : 한랭지역의 동절기 교통안전을 위하여 제설제 살포가 다량으로 이루어지고 있는데, 그 살포량도 매년 증가하고 있는 실정이다. 일반적으로 사용되는 제설제는 염화칼슘( $\text{CaCl}_2$ ), 염화나트륨( $\text{NaCl}$ )과 같은 염화물계가 주성분으로, 국내에서는 대부분 염화칼슘을 주로 사용하고 있고, 미국이나 일본의 경우는 소금인 염화나트륨으로 모두 염소이온을 포함하고 있다. 염화칼슘 제설제가 포함하고 있는 염화물 때문에 제설제 살포시 염화물은 도로 구조물로 침투하여 염해에 의한 철근부식을 유발하여 실제 포장이나 손상된 교량 구조물 내에서의 구조적 성능저하를 야기하고, 동절기 동해와 함께 복합적으로 작용하여 표면 스케일링을 발생시키며, 특히 살포제에 의한 수질 오염과 같은 심각한 부작용을 초래하고 있다. 또한 콘크리트 도로포장 표면이 염화칼슘 제설제 사용 후 나타나는 열화현상으로 인하여 기존의 염화칼슘 제설제의 경우 시각적으로 교통 외관상 문제를 가속화시키고 있다. 따라서, 본 연구에서는 산업부산물인 폐유기산과 칼슘계부산물을 반응시켜 친환경 액상 제설제를 제조하고 그 특성을 분석하여 도로시설물에 적용가능성을 검토하였다.

**핵심용어** : 친환경제설제,  $\text{NaCl}$ , 폐아세트산, 칼슘부산물

---