

# 공항 airside용 제설제의 기본물질에 대한 포장 영향성 평가 연구

## Pavement Impact Evaluation of Basic Materials of Airport Airside Deicers

김 영 응	Kim, Young Ung	수원대학교 토목공학과 박사과정 (E-mail : yukim@airport.kr)
유 광 호	You, Kwang Ho	수원대학교 토목공학과 교수 (E-mail : khyou@suwon.ac.kr)
조 창 렬	Jo, Chang Yeol	극동중앙연구소 수석전문 (E-mail : cycho@kukdongrnd.com)
조 남 현	Cho, Nam-Hyun	정회원 · 인천국제공항공사 공항연구소 선임연구원 · 교신저자 (E-mail : t99ending@airport.kr)

### ABSTRACT

**OBJECTIVES :** This is a basic research for the domestic production of airport-airside deicers. This research selected basic materials for deicers appropriate for the pavement of domestic airports by evaluating the deicing performances of basic materials used in international-standard airport deicers and their impacts on pavements.

**METHODS :** Laboratory investigation was conducted to evaluate the asphalt surface tensile strength, concrete scaling impact, ASR impact, and deicing performances of sodium formate (NaFm), potassium formate (KFm), sodium acetate (NaAc), and potassium acetate (KAc), which are the basic de-icing materials commonly used at international airports, approved by the FAA. In addition, the analyses were also performed on the airside deicer urea, which is currently used in domestic airports.

**RESULTS :** Laboratory investigation confirmed that sodium formate, potassium formate, sodium acetate, and potassium acetate had superior surface tensile strength, concrete scaling impact, and deicing performance compared to airside urea, but they also had greater impacts on concrete ASR. Among these materials, sodium formate had the best asphalt surface tensile strength, concrete scaling impact, and deicing performance, while also having the greatest impact on ASR; hence, mitigation plans for ASR were needed, if it were to be used as airport-airside deicer.

**CONCLUSIONS :** It is necessary to consider additional additives to prevent ASR of concrete pavements when developing airport-airside deicers using sodium formate, potassium formate, sodium acetate, and potassium acetate.

### Keywords

Deicer, Anti-icer, Airside, ASR (alkali silica reaction), Scaling, Surface Tensile Strength, Deicing Performance

Corresponding Author : Cho, Nam-Hyun, Senior Research  
Incheon Airport, Airport Research Institute, 424-47, Gonghang-gil,  
Jung-gu, Incheon, 22382, Korea  
Tel : +82.32.741.4494 Fax : +82.32.741.2098  
E-mail : t99ending@airport.kr

International Journal of Highway Engineering  
http://www.ksre.or.kr/  
ISSN 1738-7159 (print)  
ISSN 2287-3678 (Online)  
Received Jun. 07, 2016 Revised Nov. 21, 2016 Accepted Nov. 21, 2016

## 1. 서론

### 1.1. 연구배경 및 목적

겨울철 항공기의 안전한 운영을 위해 공항 활주로 및 유도로 등 항공기 이동지역(airside)의 결빙방지, 제빙과 제설은 필수적이다. 이를 위해 국내외 많은 공항에서는 제설장비를 이용한 즉각적인 물리적 제설은 물론, 결빙방지 및 제설효과가 지속적인 제설제(결빙방지제·제빙제)

를 이용한 화학적 제설을 실시하고 있다. 이때 사용되는 제설제는 항공기 부품의 부식성 또는 유해한 영향을 미칠 수 있는 칼슘이나 염화나트륨의 사용을 엄격히 제한하고 있다(ICAO, 2002). 따라서 부식성이 적은 요소(urea), 에틸렌글리콜(EG: ethylene glycol), 프로필렌글리콜(PG: propylene glycol) 그리고 PG와 요소의 혼합물 등이 주로 사용되어 왔다. 하지만 이들은 상대적으로 높은

결빙점과 환경 유해성 등의 문제점들이 제기되어 왔다. 1990년 대 초 알칼리-금속-염(alkali-metal-salt)계인 개미산나트륨(NaFm), 개미산칼륨(KFm), 초산나트륨(NaAc), 초산칼륨(KAc)을 기본물질로 하는 제설제가 개발되어 미국 및 유럽 등지에서 주로 사용되어 왔다(ACRP, 2008). 국내의 경우 현재 화학적 제설에 주로 요소를 사용하고 있어 이를 대체하기 위한 제설제 개발 연구가 진행 중에 있다. 하지만 최근 몇 십 년 사이 알칼리-금속-염계 제설제를 사용한 유럽의 공항포장에서 다양한 결함이 발생하고 있다는 보고가 늘고 있다. 특히 Fig. 1과 같은 콘크리트 포장에 ASR(alkali silica reaction)의 증가와 아스팔트 포장의 바인더 액상화(emulsification) 등 내구성 문제가 대두되고 있다.

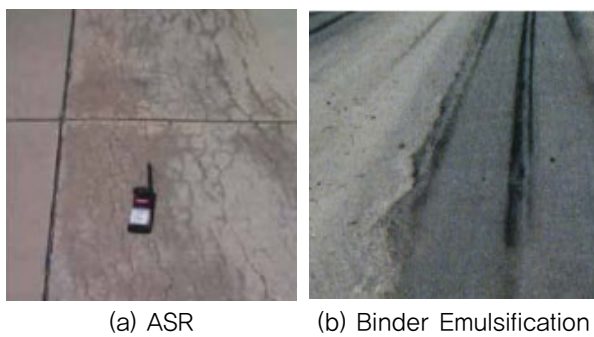


Fig. 1 Example of Airside De-icer Damaging Airport Pavement

따라서 본 연구에서는 공항 airside용 제설제의 국산화 개발을 위한 기초연구로 세계 각 공항에서 주로 사용되고 있는 제설제 기본물질이며, FAA(Federal Aviation Administration) 승인물질인 개미산나트륨, 개미산칼륨, 초산나트륨, 초산칼륨에 대한 아스팔트 표면인장강도, 콘크리트의 스케일링(scaling)과 ASR 영향성 및 용빙성능 시험을 통해 국내 공항 포장에 적합한 제설제의 기본물질 선정에 활용하고자 하였다.

## 1.2. 연구방법

현재 국내 공항 제설제인 airside용 요소와 본 연구에서 선정한 기본물질인 개미산나트륨, 개미산칼륨, 초산나트륨, 초산칼륨에 대한 포장 영향성과 용빙성능 평가 실험을 진행하였다. 포장에 대한 영향성 시험은 공항 airside 제설제의 승인규격인 SAE(Society for Automobile Engineers) AMS(Aerospace Material Specifications)에 근거하여 아스팔트 포장에 대한 표면인장강도 시험, 콘크리트 포장에 대한 스케일링 영향성 시험을 진행하였으며, 승인규격에는 포함되어 있지

않으나 현재 유럽공항에서 문제가 되고 있는 콘크리트 포장의 ASR 영향성 시험을 추가로 진행하였다. 또한, 재료별 성능비교를 위한 용빙성능 시험을 국내 환경부 표준에 의거하여 실시하였다. 이를 통해 각 성분별 포장 영향성과 용빙성능을 비교 검토하였다.

## 2. 공항 airside용 제설제

### 2.1. 승인 규격

공항 제설 시 고상 및 액상 화학물질 즉, 제설제를 이용하여 눈과 얼음을 제거할 수 있으나, 많은 화학물질은 금속에 대한 부식성이 높거나 항공기 제작에 사용된 재료 및 포장 시설물에 해로운 영향을 미칠 수 있으므로 철저한 분석을 거친 후 사용하도록 하고 있다(ICAO, 2002).

FAA(2012)에서는 공항 airside에서 사용할 수 있는 화학물질을 규정하고 있으며, 승인된 물질은 요소, 개미산나트륨, 개미산칼륨, 초산나트륨, 초산칼륨 등이 있다. 또한 제설제 성상별로 각각의 승인규격을 명시하고 있다. 액상 제설제는 승인규격 SAE AMS 1435C(2012)를 만족하여야 하며, 고상 제설제 및 요소는 승인 규격 SAE AMS 1431D(2012)을 만족하도록 규정하고 있다. 이러한 규격들은 공급자가 공항 운영자에게 해당 규격에 따른 화학제의 실험실 인증 내용과 제품 취급을 위한 MSDS(material safety data sheet)를 제공하도록 요구한다. 일반적으로 이 정보는 제품의 생분해성, 생물학적 산소 요구량(BOD5), 화학적 산소 요구량(COD), pH, 유독 또는 위해 성분의 존재 및 적용 후 잔류하는 비활성 성분 등의 비율 등을 포함한다(ACRP, 2008). 또한 항공기 구성요소에 대한 영향성과 포장 시설물에 대한 영향성 인증 시험 결과를 제시하도록 하고 있다.

### 2.2. 포장영향성 평가 기준

SAE AMS에 따른 제설제의 포장에 대한 영향성 평가는 제설제의 성상과 관계없이 포장 재료별로 동일한 시험 방법을 적용하고 있다. 단, 성상에 따라 기본물질의 함유 비율이 다르기 때문에 제설제 시액 농도를 각각 규정하고 있어, 본 연구에서는 기본물질이 고상임을 감안해 고상제 설제 시험규정인 SAE AMS 1431D의 농도기준을 적용하였다. 승인규격에서는 콘크리트 포장의 스케일링에 대한 영향성과 아스팔트 포장의 표면인장강도에 대한 시험 기준은 규정하고 있지만, 현재 문제가 되고 있는 콘크리트 포장의 ASR에 대한 영향성 평가 기준을 별도로 제시하

지 않고 있다. 따라서 ASR 영향성에 대한 평가는 ASTM C1260(2009) 등 별도의 시험법을 통해 이루어지고 있다. FAA의 경우 침지용액인 수산화나트륨(NaOH) 수용액을 제설제 수용액으로 대체하여 적용하는 수정된 ASTM C 1260 시험을 통해 재령 28일 동안 0.10%를 초과하는 팽창이 있을 경우 완화하도록 권고하고 있다 (“Engineering Brief No. 70 . . .”, 2005). 따라서 본 연구에서는 승인규격인 SAE AMS에 근거하여 아스팔트 포장 표면인장강도 시험, 콘크리트 포장 스케일링 시험과 승인규격에는 포함되어 있지 않으나 현재 문제가 되고 있는 콘크리트 포장의 ASR 영향성 시험을 진행하였다.

### 2.3. 용빙성능 평가 기준

기본물질별 용빙성능을 평가하기 위해 환경부 시험방법 표준 EM502-3 “제설제의 성능 평가 - 용빙성능 시험 방법(2014)”에 따라 시험을 진행하였다. 이 표준은 비교 기준이 되는 제설제 대비 특정 제설제의 용빙성능을 시험실에서 표준화된 절차와 방법에 따라 상대 평가하는 방법이다. 규정된 시험용기에 얼음을 생성한 후 표면에 제설제를 살포하여 온도 및 시간에 따라 발생하는 용빙량을 측정하여 용빙성능을 평가한다. 본 연구에서는 공항 airside 요소를 기준물질로 하여 선정된 4가지 기본물질에 대한 용빙성능을 상대평가 하였다.

## 3. 공항 포장에 대한 제설제 영향성

### 3.1. 콘크리트 포장에 대한 영향성

최근 십년간 알칼리-금속-염계 제설제를 사용한 공항 콘크리트 포장의 조기 파손이 증가하는 경향을 보였다(Roosevelt 2004; Pinet and Griff 2005). 특히 10년 이상 사용되어 온 유럽 공항의 콘크리트 포장에서 표면균열이 가벼운 것에서부터 심각한 것에 이르기까지 다양하게 나타났다(Pan et al. 2006).

Clemson University에서 수행된 연구에 따르면, 초산 및 개미산계 제설제들은 ASR에 민감한 골재가 사용된 콘크리트의 팽창을 증가시킬 수 있으며, 기존에 ASR에 민감도를 보이지 않았던 콘크리트에 ASR를 발생시킬 수 있음을 확인하였다(Rangaraju et al. 2005; Rangaraju and Desai 2006). 수정된 ASTM C1260 시험 결과, 초산칼륨과 초산나트륨 제설제 용액이 반응성 골재가 포함된 모르타르 바에 ASR를 촉진시키는 상당한 잠재성을 보였다. 또한 이들은 수산화나트륨(1N)과 비교해 14일간의 시험 기간 동안 콘크리트 내부 팽

창의 가속과 더 큰 팽창의 원인임을 확인하였으며, 온도 상승과 농도 증가는 ASR에 대한 제설제의 파손 영향을 가속시킨다는 것을 확인하였다(Rangaraju et al. 2006). 이러한 실내 시험을 통해 알칼리-금속-염계 제설제가 공극수의 pH를 높임으로써 콘크리트 포장 표면에 ASR의 발생 및 가속 원인이 될 수 있음을 밝혔다. 모르타르 바 시험 내에서 증가된 팽창과 관련된 화학적 반응의 본질은 아직까지 명확하게 밝혀지지 않았지만, 제설제가 주요 수산화 성분(Ca(OH)<sub>2</sub>)과 반응하여 콘크리트 공극수에 더 높은 pH를 야기한다고 제안되었다(Rangaraju and Olek 2007).

ASR과 더불어, 스케일링과 스포링(spalling)과 같은 물리적 파손은 콘크리트 결합의 일반적인 형태로 이들은 제설제 없이도 발생할 수 있으나, 수분의 삼투압을 유발할 수 있는 상당히 높은 농도의 알칼리-금속-염 기반 제설제를 사용할 경우 염화물과 유사하게 스케일링을 발생시킬 수 있다(Pan et al. 2006). 더욱이, 포장에 제설제의 적용은 대기상태에서의 동결-융해 주기를 늘려 동결률을 증가시킴에 따라 스케일링에 대한 위험요소가 된다(Mussato et al. 2005).

### 3.2. 아스팔트 포장에 대한 영향성

콘크리트 포장에 대한 제설제의 영향성과 더불어 아스팔트 포장에 대한 그들의 영향에 대한 우려도 늘어나고 있다. 2001년에 초산 및 개미산 계열 제설제를 사용한 북유럽 공항에 심각한 아스팔트 내구성 문제가 발견되었다(Pan et al. 2006). 이는 아스팔트 포장의 파손을 수반하는 아스팔트 바인더의 연성화(softening) 및 액상화 그리고 골재 유실을 수반하여 발생하는 스트리핑(striping) 등의 형태로 나타났다(Nilsson, 2003). 특히 연하고, 끈적끈적하며 탈색된 바인더가 표면에 생겼으며, 주로 항공기와 지상조업 장비에 심각한 얼룩을 남겼다.

Pan et al. (2008)의 연구 결과, 아스팔트 액상화는 반응성과 비반응성 골재를 사용한 아스팔트 혼합물 모두에서 발생함을 확인하였고, 초산나트륨 수용액과 같은 pH를 갖는 수산화나트륨 수용액에서는 발생하지 않았다. 또한 초산 음이온(CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>)과 아스팔트 간의 접촉에 근거한 아스팔트 액상화에 대한 구체적인 메커니즘을 제시하였다. 아스팔트 바인더에 대해 다양한 농도와 온도조건에서의 초산나트륨 수용액 시험을 진행하여 그에 따른 부유물을 푸리에 변환 적외분광법(FTIR, fourier transform infrared spectroscopy)를 이용

해 확인하였다. 상당한 양의 새로운 화학물질은 규정되지 않았으나 초산 음이온과 아스팔트의 알칸(alkane, 메탄열 탄화수소) 성분의 분자간 결합체로 추론하고 있다. 아스팔트의 액상화는 아스팔트-골재간의 부착력을 감소시켜 포장의 결합력 파괴를 야기해 다양한 파손의 원인이 될 수 있다.

#### 4. 포장영향성 및 용빙성능 평가 시험

Airside용 요소와 4가지 기본물질의 포장 영향성과 용빙성능 평가를 관련 기준에 따라 시험을 진행하였다. 관련된 시험 기준은 Table 1과 같으며, 시험내용은 다음과 같다.

- (1) 아스팔트 포장 영향성시험  
표면인장강도(바인더 액상화 현상)
- (2) 콘크리트 포장 영향성시험  
ASR, 스케일링
- (3) 용빙성능 평가

Table 1. Test Standards for Basic Materials of De-icer

Classification	Test specification
Surface tensile strength	LFV Method2-98 (Effect of de-icing fluid on the surface tensile strength of asphalt concrete for airfields - adhesion test)
ASR	ASTM C 1260 (Standard test method for potential alkali reactivity of aggregate (mortar-bar method))
Scaling	ASTM C 672 Standard test method for scaling resistance of concrete surface exposed to deicing chemicals
Melting performance	EM 502-3:2014 Performance assesment on deicing chemicals - test method of ice melting

시험을 위한 기준 재료와 대상 기본물질의 수용액 농도 및 성상은 Table 2와 같다. 포장영향성 평가 시험은 제설제 수용액을 사용하며, 용빙성능시험은 고상 또는 액상형태 모두를 사용할 수 있다. 이 중 아스팔트 표면 인장강도 시험과 콘크리트 스케일링 저항성의 경우 SAE AMS에서 규정한 농도를 적용하였으며, 콘크리트 ASR의 경우 별도의 기준이 없어 스케일링 시험과 동일한 농도의 제설제 수용액을 사용하였다. 용빙성능 시험

의 경우 기본물질의 상태 그대로인 고상형태로 적용하였다.

Table 2. Aqueous Solution Characteristics for Each Test

Classification	Standard material	Test material	Remarks
Surface tensile strength	Tap water	Basic material Aqueous solution 50% w/w (Tap water)	Urea, NaFm, KFm, NaAc, KAc
ASR	1N NaOH Aqueous solution	Basic material Aqueous solution 25% w/w (Tap water)	
Scaling	Tap water	Basic material Aqueous solution 25% w/w (Tap water)	
Melting performance	Urea (Solid)	Basic materials (Solid)	NaFm, KFm, NaAc, KAc

#### 4.1. 시험 방법

##### 4.1.1. 아스팔트 포장 표면인장강도 시험

본 시험은 제설제의 잔류가 아스팔트 포장 표면인장강도에 미치는 영향을 규정하는 시험 방법이다. 사용되는 아스팔트의 입도기준은 Fig. 2와 같으며, 국내 A-공항 활주로 아스팔트 포장 재료를 이용하였다. 시험은 승인규격에 규정된 LFVMethod2-98(Ekblad and Edwards, 2001)에 의거하여 Fig. 3과 같이 진행하였다.

시편은 Mashall 방법에 따라 Fig. 3(a)와 같이 직경  $100 \pm 5\text{mm}$ , 높이  $60 \pm 10\text{mm}$ , 바인더 함량 5.7%, 공극율  $7 \pm 1\%$ 에 해당하는 공시체  $18(6 \times 3) + 3$ (여유분)개를 제작하였다. 각 시편은 Fig. 3(b)와 같이 중심부에서 약 5mm 깊이, 50mm 직경으로 saw cutting한 다음, Fig. 3(c)와 같이 인장강도용 지그를 부착하였다. 이후 Fig. 3(d), (e)와 같이 제설제 수용액에 침지하여  $40 \pm 2^\circ\text{C}$ 로 유지되는 밀폐공간에 70일간 보관하였다. 이때 시편의 표면 위로 20~30mm 이상 침지되도록 하였다. 시험은 Fig. 3(f)의 인장강도시험 장비를 이용하여 시편을 고정시킨 후 시편 표면의 수직 방향으로 200N/s의 인장력을 가하여 파괴 시 최대 인장력을 기록하고, Eq. (1)에 의거하여 최대 인장강도 값을 산출하였다.

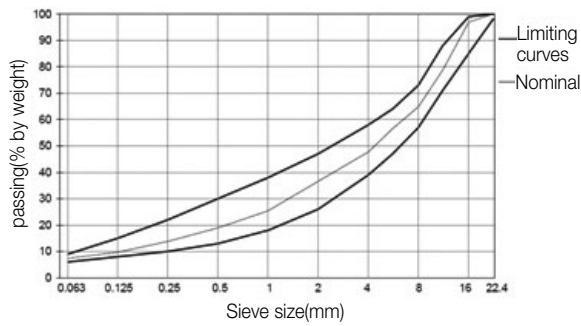


Fig. 2 Specimen Size Standards for Asphalt Surface Tensile Strength Evaluation



Fig. 3 Test for Surface Tensile Strength of Asphalt

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{\max}}{A} \quad (1)$$

여기서,  $\sigma_{\max}$  : 파괴 표면 인장 강도, Mpa(N/mm<sup>2</sup>)

$F_{\max}$  : 기록된 최대 인장력, N

$A$  : 시험 면적, mm<sup>2</sup>

#### 4.1.2. 콘크리트 ASR 영향성 시험

제설제 기본물질 중 콘크리트 ASR에 대한 영향성이 가장 적은 재료를 찾기 위해, ASTM C1260에 의거하여 시험을 진행하였다. 본 시험은 모르타르 양생 후 기본물질

질별 수용액에 침전시켜 그에 따른 길이 변화를 통해 ASR 영향 정도를 평가하게 된다. 시편의 골재입도는 Table 3과 같으며, 시멘트는 ASTM C150(2004)에 규정하는 재료를 사용하였다. 이때 사용된 골재는 국내 A-공항 활주로 콘크리트 포장 재료를 이용하였다.

Table 3. Grading Requirements for Mortar Bar Test

Sieve size		Mass %
Passing	Retained on	
4.75 mm(No. 4)	2.36 mm(No. 8)	10
2.36 mm(No. 8)	1.18 mm(No. 16)	25
1.18 mm(No. 16)	600 μm(No. 30)	25
600 μm(No. 30)	600 μm(No. 50)	25
600 μm(No. 50)	150 μm(No. 100)	15

모르타르 시편은 ASTM C490(2004)에 따라 Fig. 4 (a), (b)와 같이 25mm×25mm×285mm 크기로, 18(6×3)개를 제작하였다. 모르타르를 탈형하여 초기 길이를 측정한 후, Fig. 4(c)와 같이 Table 2에 명시한 수용액에 침전시켜 80℃가 유지되는 챔버에 재령 28일까지 반응을 유도시켜 길이변화량을 측정하였다. 이 때 재령 3일, 6일, 10일, 12일, 14일, 16일, 20일, 24일 및 28일에 각각 길이변화량을 측정하여 Eq. (2)를 이용하여 길이변화율을 산출하였다.

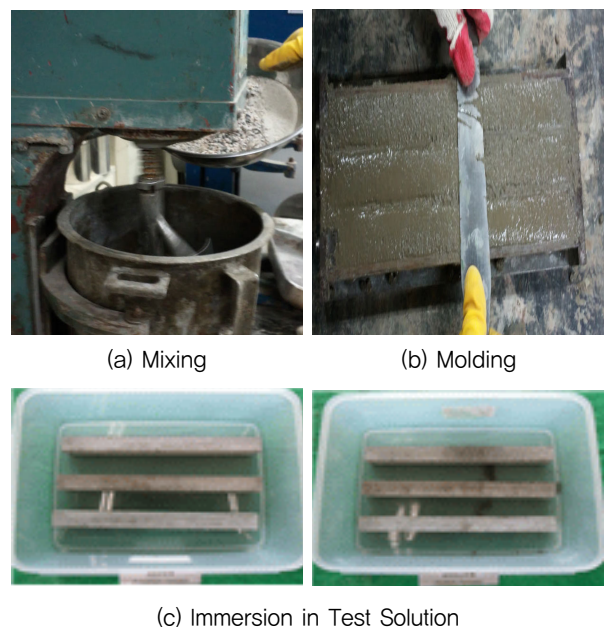


Fig. 4 Test for Concrete ASR (Mortar-Bar)

$$Length\ Variation\ Ratio(\%) = \frac{X_i - X_1}{L_0} \times 100 \quad (2)$$

여기서,  $L_0$  : 기준길이, 285mm

$X_1$  : 기준으로 한 시점에서의 측정치, mm

$X_i$  : 계획재령 시점  $i$ 에서의 측정치, mm

#### 4.1.3. 콘크리트 스케일링 영향성 시험

콘크리트 스케일링에 대한 영향성이 가장 적은 기본물질을 찾기 위해, 승인규격에 규정된 ASTM C672(2012)에 의거해 시험을 진행하였다. 본 시험법은 제설제가 적용된 상태에서 동결-융해 주기에 노출된 평평한 콘크리트 표면의 스케일링 저항성 평가를 다루며, 육안 평가를 통해 각 등급별 표면 저항성을 확인하게 된다. 본 실험은 스케일링 저항성에 대한 혼합물 배합비, 표면 처리, 양생 또는 다른 변수들의 영향성을 평가하는데 이용할 수 있음에 따라 본 연구에서는 Table 4의 콘크리트 혼합물(국내 A-공항)에 대한 제설제 기본물질의 스케일링 영향성을 평가하였다.

Table 4. Concrete Mix Design for Scaling Test

Gmax (mm)	Slump (mm)	Air content (%)	W/C (%)		
40	20	5.3	37.3		
Weight per unit volume of concrete(kg/cm <sup>3</sup> )					
W	C	S	G	AD (C×%)	AE (C×%)
137	368	652	1190	0.60	0.008

본 시험을 위해 Fig. 5(a)와 같이 최소 표면 면적 0.045m<sup>2</sup>과 최소 두께 75mm의 콘크리트 시편 12(6×2)개를 제작하였다. 각 시편은 몰딩 1일 후 탈형하여 14일간 항습실에 양생시켰고, 이후 14일간 공기중(23±2℃)에 보관된 후 시험에 사용되었다. 각 시편은 Fig. 5(b)와 같이 대상 동결 표면을 제외한 나머지 표면은 다이 크를 부착하여 시험대상면에 각 수용액을 약 6mm 두께로 덮히게 하였다. 이때 동결조건에 16~18시간, 대기조건에 6~8시간을 1주기로 하여, 5주기가 끝날 때 표면을 완전히 씻어낸 다음 육안 검사를 한 후, 시액을 교체하고 계속 진행하였다. 시험은 기준의 권고치인 총 50주기가 진행되었다. 육안 조사와 함께 정량적 평가를 위해 박리량을 조사하였으며 총박리량은 Eq. (3)에 의하여 계산하였다.



(a) Specimen preparation (b) Adhesion of Dike



(c) Specimen Storage

Fig. 5 Test for Scaling Resistance of Concrete

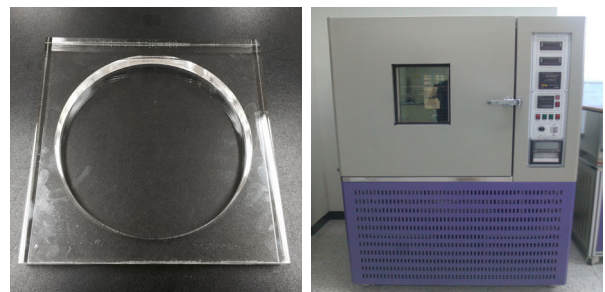
$$Material\ Loss(kg/m^2) = M_n / A \quad (3)$$

여기서,  $M_n$  :  $n$ 사이클 후 박리된 전체의 무게, kg

$A$  : 시험체 표면적, 0.045m<sup>2</sup>

#### 4.1.4. 융빙성능 시험

Airside용 요소 대비 선정된 4가지 기본물질에 대한 융빙성능 평가를 위해, EM502-3(2014)에 따라 시험을 진행하였다. 본 시험법은 Fig. 6(a)의 직경 23.0cm, 깊이 2.0cm 시험용기에 5mm 두께의 얼음을 생성하여 시험온도(-3℃, -7℃, -12℃)별 시간(30분, 60분)에 따른 융빙액의 부피를 측정하게 된다. 시험온도는 Fig. 6(b)의 저온항수조를 이용하여 유지하였다. 시험은 제설제당 각 온도별 3회 이상 실시하였으며, 융빙액의 부피 측정 시 주사기를 이용하여 0.5mL 이하까지 측정하였다.



(a) Deicing Performance Test Tray (b) Low-temperature Thermostat

Fig. 6 De-icer Deicing Performance Test Equipment

시험 온도별로 측정된 각 용빙량 값이 시험 온도별 전체 용빙량 평균값에서  $\pm 10\%$  이상 벗어나지 않은 유효한 값을 평균하여 측정 결과 값으로 사용하였다. 상대적 용빙성능은 4가지 기본물질과 기준 물질인 airside용 요소의 용빙량의 평균을 이용해 Eq. (4)에 따라 산출하였다.

$$P = \frac{V_{ad}}{V_{as}} \times 100\% \quad (4)$$

여기서,  $P$  : 용빙 성능, %

$V_{ad}$  : 제설제(기본물질)에 의한 용빙량 평균, mL

$V_{as}$  : 기준물질(요소)에 의한 용빙량 평균, mL

## 4.2. 포장 영향성 평가 결과

### 4.2.1. 아스팔트 포장 표면 인장 강도

제설제 기본물질(50% w/w) 및 수돗물에 따른 아스팔트 포장 표면 인장강도 시험 결과는 Fig. 7과 같으며, 결과에 활용된 인장력 값은 Fig. 8(a) 형태로 파괴 시의 값을 사용하였다. 기본물질 중 개미산나트륨 수용액에 침지된 시편이 0.88Mpa로 가장 높았으며, 그 외 기본물질 시편은 0.6~0.8Mpa 범위를 보였다. 반면 요소 수용액 시편은 0.55Mpa로 가장 낮은 인장강도를 보였다. SAE AMS 1431D에서는 판정 기준을 대상 제설제 수용액에 침지된 시편의 표면인장강도가 기준 시편 대비 50% 이상으로 규정하고 있어, 기준시편(수돗물)의 강도인 0.92Mpa의 50%인 0.46Mpa 이상을 모두 만족하였다. 따라서 아스팔트 포장면에 4가지 기본물질을 사용함에 있어 큰 영향은 없을 것으로 판단된다. 하지만 이 중 개미산나트륨에 의한 영향이 가장 적고, 요소에 의한 영향성이 가장 클 것으로 예상된다.

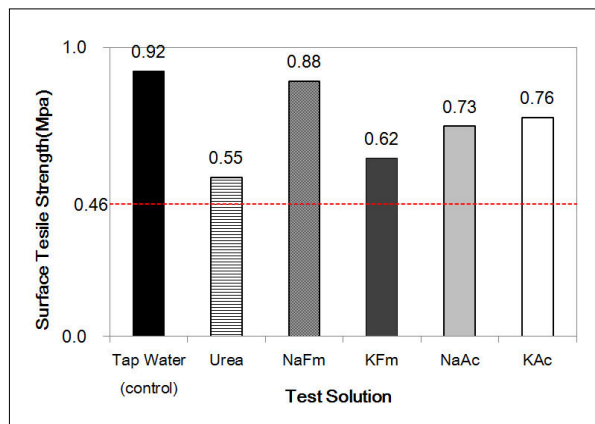


Fig. 7 Surface Tensile Strength Test Results

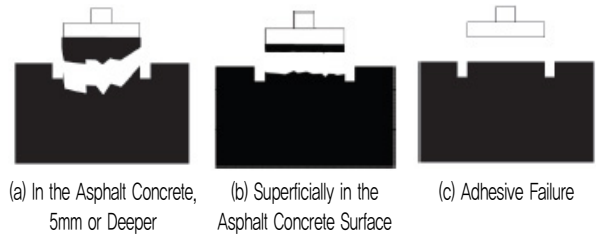


Fig. 8 General Modes of Failure

### 4.2.2. 콘크리트 포장의 ASR 영향성 평가

제설제 기본물질(25% w/w) 수용액 및 수산화나트륨(1N)에 따른 콘크리트 포장 ASR 영향성 시험 결과는 Fig. 9와 같다. 이는 각 수용액에 침수 누적일수에 따른 길이변화율을 나타낸 것으로, 재령 28일 측정결과 요소를 제외한 개미산나트륨, 초산나트륨, 개미산칼륨, 초산칼륨, 수산화나트륨 순으로 0.1% 이상의 길이변화율을 보여 잠재적으로 유해한 것으로 나타났다. 이 중 나트륨 계열(개미산나트륨, 초산나트륨)에 침지된 시편에 길이 변화율이 0.385와 0.272로 가장 큰 길이 변화를 보였고, 칼륨 계열(개미산칼륨, 초산칼륨)의 시편은 0.201 및 0.192의 길이변화율을 보였다. 수산화나트륨 시편의 경우 0.111의 길이변화율을 보였다. 반면 요소의 경우 길이변화율이 0.037로 비교적 양호한 결과를 나타내었다. 이에 선정된 4가지 기본물질을 사용함에 있어 ASR에 의한 콘크리트 포장 파손이 발생할 수 있으므로 사용시 주의와 완화책이 필요할 것으로 판단된다.

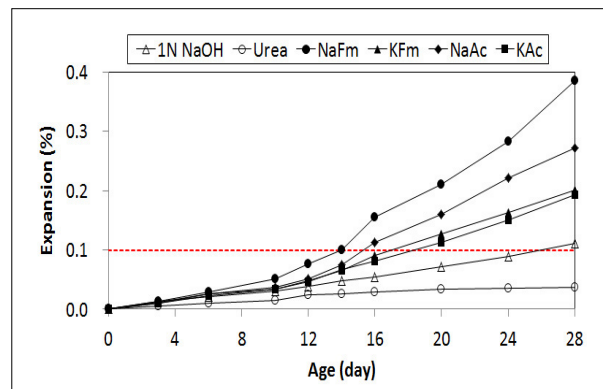


Fig. 9 Concrete ASR Test Results

이러한 제설제에 의한 콘크리트 포장의 ASR을 완화하기 위해 기존 연구에서는 리튬 혼합물을 이용해 성공적 결과를 얻었다. 하지만, 공용중인 콘크리트 포장에 대해서는 수용액의 상당한 침투가 있지 않는 이상, 대부분의 효과가 표면에서만 나타났다(Folliard et al. 2003). 질산리튬의 적정량 결정과 유독성 및 환경 영향성에 필요한 추가 연구가 필요하지만 질산리튬이 적용

된 신설 콘크리트 포장의 ASR 완화 가능성이 더 높을 것으로 예상하고 있다(Rangaraju, 2007). 또한 실런트(sealant) 등을 제설제에 첨가하여 콘크리트로의 물, 제설제 그리고 기타 잠재적으로 유해한 오염물질의 침투를 줄이는 방안을 고려할 수 있다. 따라서 본 연구에서 고려한 기본물질을 이용한 제설제 개발 시 콘크리트 포장의 ASR 방지를 위한 추가적인 첨가제에 대한 고려가 필요한 것으로 판단된다.

#### 4.2.3. 콘크리트의 scaling 영향성 평가

제설제 기본물질(25% w/w)에 따른 콘크리트 표면 스케일링 영향성 시험 결과는 Table 5와 같으며, 이 때 표면 상태 평가 기준은 Table 6과 같다. 또한 정량적 평가를 위한 50cycle동안 발생된 누적 박리량은 Fig. 10과 같다. 시험 결과 모든 재료에 대한 스케일링저항성 등급은 1등급(대단히 경미한 박리)으로 나타났으며, 50주기까지 평균 누적박리량은 요소, 수돗물, 개미산칼륨, 초산칼륨, 초산나트륨, 개미산나트륨 순으로 나타났다. 특히, 요소 수용액이 적용된 시편에서 다른 수용액이 적용된 시편과 비교하여 평균 누적박리량이 크게 나타남에 따라 스케일링에 대한 영향성이 가장 큰 것으로 나타났다.

Table 5. Test Results of Scaling Resistance

Material	Rating	50-Cycle cumulative delamination (kg/m <sup>2</sup> )
Tap water	1	0.0101
Urea	1	0.1254
NaFm	1	0.0053
KFm	1	0.0085
NaAc	1	0.0065
KAc	1	0.0073

Table 6. Rating Condition of Surface According to ASTM C672

Rating	Condition of surface
0	no scaling
1	very slight scaling (3 mm [1/8 in.] depth, max, no coarse aggregate visible)
2	light to moderate scaling
3	moderate scaling (some coarse aggregate visible)
4	moderate to severe scaling
5	severe scaling (coarse aggregate visible over entire surface)

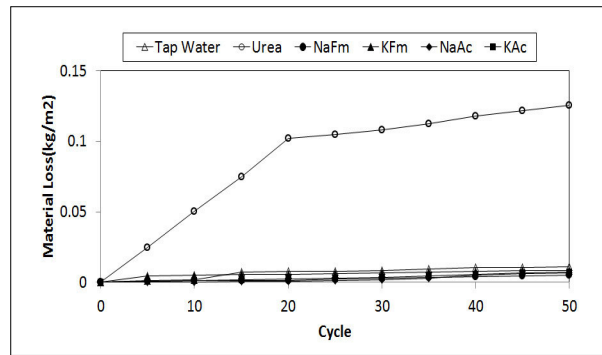


Fig. 10 Periodic Cumulative Delamination while Freezing and Deicing

#### 4.3. 용빙성능 평가 결과

Airside용 요소 대비 4가지 기본물질에 대한 시험온도 (-3°C, -7°C, -12°C)별 시간(30분, 60분)에 따른 용빙성능평가 결과는 Fig. 11, Fig. 12, Fig. 13과 같다. 모든 온도조건에서 요소대비 용빙성능이 가장 뛰어난 기본물질은 개미산나트륨으로 확인되었다. -3°C에서는 250% 이상의 용빙성능을 보였으며, -7°C 조건에서는 300% 이상의 용빙성능을 보였다. -12°C 조건에서 요소의 경우 얼음을 거의 녹이지 못해 기본물질에서 1000%가 넘는 용빙성능이 확인되었다. 이를 통해 요소가 -10°C 이하에서는 주변의 열을 빼앗아 오히려 주변을 동결시켜 제설능력을 상실한다는 사실을 실험으로 확인하였다.

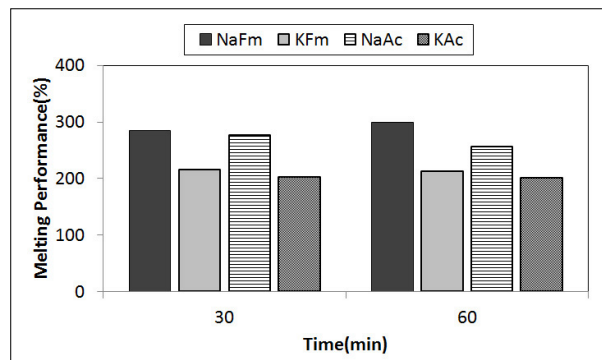


Fig. 11 Deicing Performance at -3°C

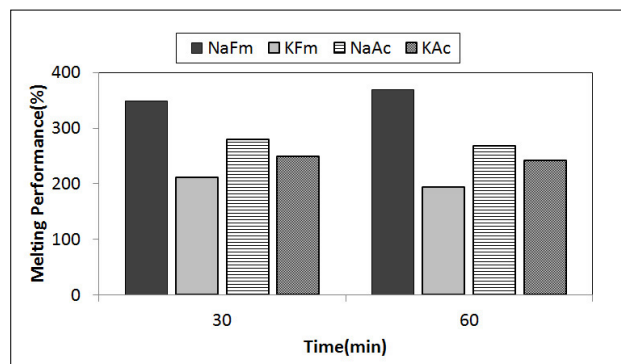


Fig. 12 Deicing Performance at -7°C



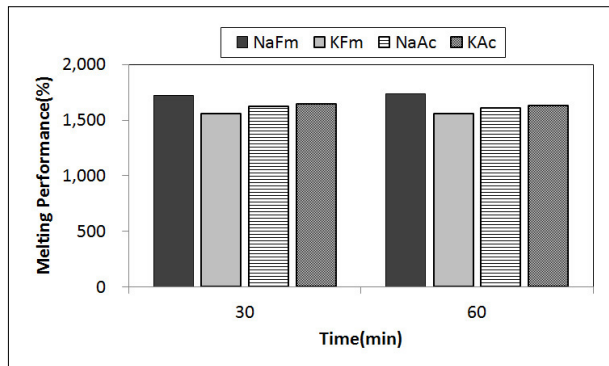


Fig. 13 Deicing Performance at -12°C

## 5. 요약 및 결론

본 연구에서는 국내 공항 포장에 적합한 제설제 기본 물질의 평가를 위해 제설제의 기본물질인 초산칼륨, 초산나트륨, 개미산칼륨, 개미산나트륨에 대한 포장 영향 성과 용빙성능 평가 실내시험을 진행하여 연구범위 내에서 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 아스팔트 표면인장강도 시험 결과, 모두 SAE AMS의 규정에서 제시하고 있는 범위를 만족함에 따라 개미산나트륨, 개미산칼륨, 초산나트륨, 초산칼륨을 제설제의 기본물질로 사용함에 있어 큰 영향은 없을 것으로 판단된다.
2. 콘크리트 포장 ASR 영향성에 있어 요소를 제외한 개미산나트륨, 초산나트륨, 개미산칼륨, 초산칼륨 순으로 0.1% 이상의 길이변화율을 보여 잠재적으로 유해한 것으로 나타났다.
3. 콘크리트 스케일링 영향성 시험 결과, 모든 재료에 대한 스케일링저항성 등급은 1등급(대단히 경미한 박리)으로 나타났으며, 50주기까지 평균 누적박리량은 요소, 수돗물, 개미산칼륨, 초산칼륨, 초산나트륨, 개미산나트륨 순으로 나타났다.
4. 용빙성능평가를 진행한 결과, 모든 온도조건에서 요소대비 200% 이상의 효과를 보였으며, 이 중 개미산나트륨이 가장 우수한 것으로 나타났다.
5. 국내 공항에서 주로 사용되는 airside용 요소 대비 개미산나트륨, 개미산칼륨, 초산나트륨, 초산칼륨이 용빙성능, 아스팔트 표면인장강도, 콘크리트 스케일링 영향성에 대해 우수한 것으로 나타났으나, 콘크리트 ASR에 대한 영향성이 큰 것으로 나타났다. 4가지 기본물질을 사용함에 있어 ASR에 의한 콘크리트 포장 파손이 발행할 수 있으므로 사용 시 주의와 완화책이 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 논문은 중소기업청과 인천국제공항공사의 민·관 공동 투자 기술개발사업인 “공항 Airside용 친환경 고상제설제 국산화 개발”의 연구지원으로 수행되었으며 이에 관계자분들께 감사드립니다.

## REFERENCES

- ACRP, 2008. “Impact of Airport Pavement Deicing Products on Aircraft and Airfield Infrastructure(synthesis 6),” Synthesis of Airport Practice, Transportation Research Board Washington, D.C.
- ASTM C1260, 2009. Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method). American Society for Testing and Materials.
- ASTM C150, 2004. Standard Specification for Portland Cement, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- ASTM C490, 2004. Standard Practice for Use of Apparatus for the Determination of Length Change of Hardened Cement Paste, Mortar, and Concrete, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- ASTM C672, 2012. Standard Test Method for Scaling Resistance of Concrete Surface Exposed to Deicing Chemicals, American Society for Testing and Materials.
- Ekblad, J. and Y. Edwards, 2001. Precision of LFV Method 2-98: Effect of De-Icing Fluid on the Surface Tensile Strength of Asphalt Concrete for Airfields-Adhesion Test, Research Report TRITA-VT AR 05:01, Stockholm, Sweden: AVD För Vägteknik, 26pp.
- “Engineering Brief No. 70, 2005, Accelerated Alkali-Silica Reactivity in Portland Cement Concrete Pavements Exposed to Runway Deicing Chemicals,” Federal Aviation Administration, Washington, D.C.
- FAA, 2012, Advisory Circular 150/5200-30C. Airport Winter Safety and Operations, Federal Aviation Administration. U.S. Department of Transportation. Washington
- Folliard, K.J., M.D.A. Thomas, and K.E. Kurtis, 2003, “Guidelines for the Use of Lithium to Mitigate or Prevent ASR,” FHWA Report FHWA-RD-03-047, 86 pp.
- ICAO Doc9137-AN/898, 2002, Airport Services Manual Part 2, Pavement Surface Condition, Fourth Edition.
- Ministry of Environment, EM502-3, 2014, Performance Assessment on Deicing Chemicals - Test Method of Ice Melting.
- Mussato, B.T., O.K. Gepreags, and G. Farnden, 2005, “Relative Effects of Sodium Chloride and Magnesium Chloride on Reinforced Concrete-The State of Art,” CD-ROM, Proceedings of the 84th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Nilsson, F., 2003, “Durability Problems on Nordic Airfields-The Influence of Deicing Agents on Asphalt Concrete,” Proceedings

- of the XXIIInd PIARC World Road Congress, Durban, South Africa.
- Pan, T., L. Fay, and X. Shi, 2006, Deicer Impacts on Pavement Materials: A Critical Review, Prepared for the Colorado Department of Transportation, Denver.
- Pan, T., X. He, and X. Shi, 2008, "Laboratory Investigation of Acetate-Based Deicing/Anti-icing Agents Deteriorating Airfield Asphalt Concrete," Paper # 08-13, Submitted to the 83rd Annual Meeting of the Association of Asphalt Paving Technologists (AAPT), Philadelphia, Pa.
- Pinet, M., T. Comfort, and M. Griff, 2005, "Anti-Icing of Structures Using Fixed Automated Spraying Technology (FAST)," Ministry of Transport, Ontario, Canada.
- Rangaraju, P.R. and J. Desai, 2006, "Effectiveness of Selected SCMs in Mitigating ASR in Presence of Potassium Acetate Deicer Solution," Presented at the 85<sup>th</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Rangaraju, P.R., K.R. Sompura, J. Olek, S. Diamond, and J. Lovell, 2005, "Potential for Development of Alkali-Silica Reaction in Presence of Airfield Deicing Chemicals," Proceedings of the 8th International Conference on Concrete Pavements, Colorado Springs, Colo.
- Rangaraju, P.R., K.R. Sompura, and J. Olek, 2006, Investigation into Potential of Alkali-Acetate Based Deicers in Causing Alkali-Silica Reaction in Concrete, Presented at the 85<sup>th</sup> Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Rangaraju, P.R. and J. Olek, 2007, Potential for Acceleration of ASR in the Presence of Pavement Deicing Chemicals, IPFR-01-G-002-03-9, Innovative Pavement Research Foundation Airport Concrete Pavement Technology Program, Skokie, Ill.
- Rangaraju, P.R., 2007, Mitigation of ASR in Presence of Pavement Deicing Chemicals, IPRF-01-G-002-04-8, Innovative Pavement Research Foundation Airport Concrete Pavement Technology Program, Skokie, Ill.
- Roosevelt, D.S., 2004, "A Bridge-Deck Anti-Icing System in Virginia: Lessons Learned from Pilot Study," Final Report, VTRC 04-R26, Virginia Transportation Research Council, Charlottesville, 30 pp.
- SAE AMS 1431D, 2012, Compound, Solid Runway and Taxiway Deicing/Anti-Icing.
- SAE AMS 1435C, 2012, Fluid, Generic, Deicing/Anti-Icing Runways and Taxiways.