

## 도로 제설제 권장 살포량 산정식의 적정성 평가

### Evaluation of Reasonableness of the Recommended Spraying Amount Equation for De-icing Chemicals

김진국 Kim, Jin Guk

양충헌 Yang, Choong Heon

정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 전임연구원 (E-mail : jingukkim@kict.re.kr)

정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구소 연구위원 · 교신저자 · 과학기술연합대학교대학원  
교통물류 및 ITS공학과 전공책임교수 (E-mail : chyang@kict.re.kr)

#### ABSTRACT

**PURPOSES :** This study evaluates the reasonableness of the recommended amount of deicing chemicals based on historical data for snow removal. The result can be used to aid decision-making for the reservation of cost-effective de-icing chemicals.

**METHODS :** First, the recommended amount of de-icing chemical to use and historical usage data were evaluated to identify specific usage characteristics for each region. Road maintenance length and snow-removal working days were analyzed over the past five winter seasons. Next, differences in the recommended amount of chemical to use and actual use were compared using the Kolmogorov-Smirnov test. Last, the two types of data were analyzed using a chi-square test to verify if the two distributions of variation pattern are statistically significant. We found that there are significant differences between the data from each region during the past five winter seasons.

**RESULTS :** The results showed that the equation for calculating the amount of de-icing chemical to use appears to be revised.

**CONCLUSIONS :** The results imply that the equation for calculating the amount of de-icing chemical to apply as a national standard is very important when the public agency makes decisions related to snow-removal.

#### Keywords

*De-icing chemicals, Pre-wetted salt spraying, Recommended amount of used equation, Road maintenance length, Snow removal working days*

Corresponding Author : Yang, Choong Heon, Researcher Fellow  
Highway & Transportation Research Institute, Korea Institute of Civil  
Engineering and Building Technology, 283 Goyangdae-ro, Ilsanseo-gu,  
Goyang-si, Gyeonggi-do, 10223, Korea  
Tel : +82.31.910.0184 Fax : +82.31.910.0746  
E-mail : chyang@kict.re.kr

International Journal of Highway Engineering

<http://www.ksre.or.kr/>

ISSN 1738-7159 (print)

ISSN 2287-3678 (Online)

Received Mar. 08, 2017 Revised May. 22, 2017 Accepted Jul. 25, 2017

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

2001년 초에 발생한 폭설은 하루 동안 대관령에 98.2cm, 서울에 15.6cm로 지난 20년 동안 가장 많은 양의 적설량을 보였다. 이로 인한 총 인명피해는 4명(사망1명, 실종3명)이었고, 2,538명(583세대)의 이재민이

발생하였다. 재산피해는 주택(전파 및 반파) 23동, 학교 시설 31개소, 군사시설 24개소, 상수도 1개소, 빌딩 하우스 3,455ha, 축사, 잠사 13,480개소, 수산증양식 354개소에 이르렀으며, 피해액은 약 6천억 원에 달했다(국가기록원, 2007).

당시 모든 도로관리기관에서는 폭설피해 최소화를 위

해 가용할 수 있는 모든 제설장비와 인력을 제설작업에 투입했다. 그러나 단시간에 쏟아진 기습폭설은 교통마비와 고립으로 이어졌다. 이처럼 기습폭설이 발생하게 되면 한정된 장비와 인력만으로는 제설작업의 골든타임 확보가 어렵기 때문에 신속한 작업이 불가능하다. 이 당시의 제설작업 문제점을 요약하면 다음과 같다(국토교통부, 2013).

- ① 체계적인 제설대응체계 부재
- ② 제설장비와 인력의 부족 및 세부적인 제설작업 방법 미정립
- ③ 지역별 제설제 살포량에 대한 적정성 및 효과적인 살포방식 검토 등의 미검토

그 후 정부는 동절기 기습폭설에 대한 종합적이고 체계적인 도로제설대책수립의 필요성을 인지하고, 제설제와 제설장비 등에 관한 조사를 통해 지난 2002년 도로제설업무수행요령을 제정하였다. 주요 내용으로는 동절기 제설대책 조직과 도로제설수준, 제설작업 계획 및 준비, 강설 시 담당자 행동 요령 등이 명확히 기술되어 있다. 그러나 도로제설관련 이력자료 관리 미흡으로 인해 구체적인 제설자재, 제설장비, 제설작업 현황 등을 파악하는 데는 한계가 있었다.

따라서 보완이 필요한 사항들을 구체적으로 정리하여 다양한 내용들을 2012년 새롭게 개정하였다. 예를 들어 기존에는 수용액 제조 시 물에 혼합되는 염화칼슘의 양만을 제시하여 현장 적용에 어려움이 있었는데, 이를 제설제의 특성 및 사용방식(용설제, 수용액, 습염식)과 더불어 살포량을 추정할 수 있는 산정식도 함께 제시하여 현장에서 적용성을 높이도록 보완하였다. 그러나 2012년 이후 현재까지 제설관리체계 및 제설작업방법 등에 대해서만 집중적으로 개정이 되었기 때문에 이에 대한 검토가 이루어지지 못했다. 도로제설업무수행요령에서는 고형 용설제 살포량 산정식과 습염식 살포량 산정식 두 가지를 제시하고 있다. 본 연구에서는 현재 많은 도로관리기관에서 도입하여 사용하고 있는 습염식 살포방식에 따른 살포량 산정식에 대해 평가하고자 한다.

제설제 권장 살포량 추정은 제설제의 적정 비축량 및 구입예산 확보 등 제설업무 담당자들에게는 매우 중요하다. 실제로 제설제 살포량은 거의 대부분 지역별 기후 특성이나 도로관리기관의 제설경험에 의해 결정된다. 그동안 도로연장의 증가, 고규격화, 제설장비의 선진화 등 많은 부분에서 제설작업에 영향을 미칠 수 있는 환경의 변화가 있었다. 따라서 현재 요령에서 제시하고 있는 제설제 살포량 산정식에 의해 도출된 제설제 권장 살포

량의 적정 여부를 검토하고 실제 제설제 사용량과 얼마만큼 차이가 발생하는지 분석한다. 이를 통해 향후 개선점을 파악하여 제시하도록 한다.

## 1.2. 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 도로제설업무수행요령에 제시된 제설제 살포량 산정식으로부터 도출된 권장 살포량과 최근 수년간 지역별 실제 제설제 사용량에 대한 비교를 수행하였다. 이를 위해 '11~'12년 동절기 시즌부터 '15~'16년 동절기 시즌의 지역별 실제 제설제 사용량 현황자료를 수집하여 기본적인 분석에 사용하였다. 제설제 살포량 산정식의 경우 제설살포차량 주행속도, 분당 제설제 살포량, 차로폭 등을 고려하여 도출된 것으로써 1차로/km 당 제설제 살포량을 의미한다. 이는 1회 살포량 기준이므로 지역별 도로관리연장 및 지역별 기상특성을 파악할 수 있는 제설작업일수를 추가적으로 고려하였다. 이러한 분석결과를 기반으로 제설제 살포량 산정식에 의한 권장 살포량을 도출하였다.

마지막으로 제설제 살포량 산정식의 적정성 여부를 평가하기 위해서는 제설제 권장 살포량과 실제 사용량의 비교결과에 대한 검증이 필요하다. 따라서 제설제 권장 살포량과 실제 사용량의 비교 검증 및 평가를 위해 본 연구에서는 두 가지 비모수 검정 기법을 사용하였다. 우선 지역별 권장 살포량과 실제 사용량 두 표본 집단의 차이에 대한 분포특성을 분석하기 위해서 K-S(Kolmogorov Smirnov) 검정이 적합하다고 판단하였다. 또한, 제설제 분포특성을 기반으로 산정식에 의한 결과가 통계적으로 적정한지를 평가할 필요가 있다. 따라서 관측자료(실제

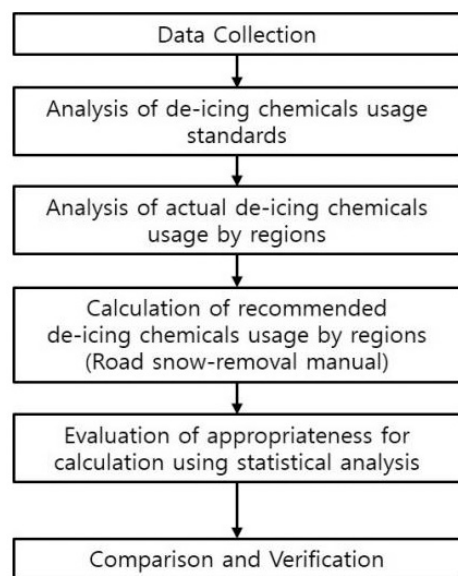


Fig. 1 Methodology

사용량)와 기대값(권장 살포량)의 동일성을 검정하기 위해 카이제곱( $\chi^2$ ) 검정을 선택하였다. 본 연구의 세부 흐름도는 Fig. 1과 같다.

## 2. 문헌고찰

윤대식은(2010)은 카이제곱 검정과 t-검정을 통해 경산시 대중교통체계 개편 전과 후의 통행패턴을 분석하였다. 카이제곱 검정을 시행한 결과 계산된 값이 26.76으로 나타나 유의수준 5%에서 대중교통체계 개편에 따른 통행패턴의 차이가 없다는 귀무가설(null hypothesis)을 기각하는 것으로 나타났다. 따라서 개편 전과 개편 후의 통행패턴이 통계적으로 차이가 있다는 결론을 도출하였다.

정철우(2006)는 부산 시내 4개 경찰서 관할 지역에서 발생한 교차로 교통사고 피해비용 발생을 결정짓는 영향요인을 유형화하기 위해 회귀분석과 카이제곱 검정, 주성분 분석을 수행하였다. 이 중 카이제곱 검정을 통해 남성의 경우 여성보다 위험성 높은 교통사고를 훨씬 더 많이 일으키고 있으므로 여성에 비해 보험료를 높여 경제적인 부담을 가중시키는 것이 교통사고를 예방하는데 기여할 수 있다는 결론을 도출하였다.

신강원(2016)은 순위상관계수 및 카이제곱 적합도 검정을 통해, 통행중점 추정 모형 적용에 따른 존간 통행 및 존내 통행분포의 변화를 비교하였다. 분석 결과 통행중점 추정 모형 적용에 따라 각 중존별 통행량의 순위는 변화하지 않으나 통행량 분포는 유의한 변화를 보이는 것으로 나타났다.

하오근(2008)은 기존에 검증되지 않은 교통사고 자료의 분포특성을 검증하기 위해 K-S 검정을 이용하여 사고 자료의 분포특성을 검증하였다. 이를 통해 77개 교차로의 사고자료와 현장조사로 부터 수집된 영향요인을 토대로 포아송 회귀모형을 이용하여 사고심각도 모형을 개발하여 교차로 교통사고 심각도에 영향을 미치는 영향요인을 도출하였다.

박창수(2012)는 레이저 차량검지기를 이용하여 차량들의 정확한 차두시간을 수집하여, 교외 간선도로의 차두시간에 관한 이론적 모델을 제시하였다. 최대 우도 추정법(Maximum Likelihood Estimate: MLE)을 이용하여 제시된 모형들의 추정변수들을 도출하고 적합성을 검증하기 위해 K-S 검정을 수행하였다.

Tim J(2005)는 카이제곱 검정을 이용하여 교통량이 적은 도로의 교량용 방호울타리의 설치를 위한 ADT

(Average Daily Traffic)를 결정하였다. 분석결과 ADT 400대 이상일 때 효과비용이 가장 좋은 것으로 나타났다.

Ankit(2016)은 BLT(Bus Lost Time)의 관측값(Observed value)과 기댓값(Expected value)을 가지고 K-S 검정과 카이제곱 검정을 통해 BLT에 의한 BRT 정류장의 전후 용량을 평가하였다.

Joshua(2016)는 K-S 검정을 통해 5년 동안 캐나다 퀘벡시에서 수집한 4천명의 운전자 스마트폰 GPS 데이터를 가지고 사고 빈도와 심각성 분석을 위한 교통혼잡과 교통흐름 간의 상관관계를 분석하였다. 분석결과 교통사고 빈도가 증가할수록 교통사고의 심각도도 같이 증가한다는 결론을 도출하였다.

관련문헌 검토 결과, 본 연구의 목적과 유사한 연구는 없으나, 도로교통 분야에서 변수들의 유의분포 특성에 대한 검증 및 평가를 위해 K-S 검정과 카이제곱 검정을 이용한 연구는 국내·외에 다수 존재함을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 두 가지 통계모형을 활용하여 도로제설업무수행요령에서 제시하고 있는 제설제 살포량 산정식의 적정성을 평가하였다.

## 3. 제설제 살포현황 분석

### 3.1 제설제의 종류

일반적으로 제설제는 화학적으로 눈을 녹이는 용설제 또는 동결방지제를 의미한다. 제설제의 종류로는 염화물계 제설제, 비·저염화물계 제설제, 염화마그네슘아세테이트(CMA), 유기산염(CMO) 등이 있다. 현재 주로 사용되고 있는 염화물계 제설제는 염화칼슘( $\text{CaCl}_2$ ), 소금( $\text{NaCl}$ ), 습염식 제설제(염화칼슘수용액+소금)로 구분할 수 있으며, 각각의 특성은 Table 1과 같다. 염화칼슘은 소금보다 흡습성이 강하여 초기 용설 효과가 뛰어나기 때문에 신속한 제설작업이 요구되어질 때 주로 사용한다. 소금은 염화칼슘에 비해 초기 반응속도가 느리지만 용설 및 용빙 성능이 뛰어나기 때문에 염화칼슘 대체 용설제로 많이 사용된다. 습염식 제설제는 염화칼슘용액에 소금을 섞은 것으로써 염화칼슘과 소금보다 용설 효과가 뛰어나며 지속성이 긴 장점을 가지고 있다. 또한, 부식성이 위의 두 제설제보다 약하기 때문에 도로 주변의 식물 괴사나 구조물 부식을 최소화할 수 있어 최근 전국적으로 확대되고 있는 추세이다.

또한, 염화칼슘에 비해 신속한 초기 용설효과는 다소 떨어지지만 전반적으로 기존 제설제와 비슷한 수준의

효과를 가지고 있는 비·저염화물 제설제인 친환경 제설제가 있다. 하지만, 기존 제설제보다 20~30%가량 콘크리트 구조물의 부식성이 적지만 가격이 염화칼슘에 비해 2.4배 정도 비싸기 때문에 사용률이 저조한 실정이다(조달청, 2017).

Table 1. Characteristics of De-icing Chemicals

Division	CaCl <sub>2</sub>	NaCl	Pre-wetted salt
Melting effect	Within 5 min	Within 20 min	Immediately
Freezing point	-54.8°C	-21.1°C	-54°C
Weakness	Corrosion	Corrosion	Minimizing corrosion
Continuity	Short	Long	Long

Source: Road snow-removal manual, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2016

### 3.2. 제설제 살포방식

제설제 살포방식에는 고체 살포, 수용액 살포, 습염식 살포 세 가지 방식이 있다. 고체 살포방식은 강설 전에 미리 고형 제설제를 살포하여 도로에 눈이 쌓이거나 결빙을 방지하기 위해 사용된다. 일반적으로 강설량이 적고 기온이 높을 경우 도로에 쌓인 눈을 녹이기 위하여 고체 용설제를 단독으로 살포하기도 한다. 강설 전에 용설제를 살포하면 용설제와 내리는 눈의 화학 반응으로 노면 결빙을 방지할 수 있다. 살포 형태는 염화칼슘 또는 소금을 단독으로 살포하거나, 소금과 염화칼슘을 섞어서 살포한다. 제설제 수용액은 고체 살포에 비해 도로에 살포할 경우 비산이 심하지 않으며, 비교적 노면에 균일하게 살포되는 장점이 있다. 그러나 수용액 제조 시 많은 시간이 소요되며, 노면이 젖음으로 인해 타이어의 마찰력을 약화시킨다. 또한, 기온 편차가 심한 경우에는 재결빙의 우려가 있으며, 기온이 -5°C 미만인 경우 용빙 효과가 미비하다.

따라서 이러한 고체 살포와 수용액 살포의 문제점 보완을 위해 한국도로공사 및 국토교통부에서는 습염식 살포방식을 주로 사용하며, 지자체로도 점점 확대되고 있는 추세이다. 습염식 살포방식은 소금에 염화칼슘수용액을 추가하여 적셔진 형태로 살포하는 방식이다. 비산되기 쉬운 고체 제설제의 단점과 지속성이 떨어지는 염화칼슘 수용액의 단점을 보완한 살포 방식이다. 살포 초기에는 염화칼슘 수용액이 눈과 반응하여 눈을 녹이고, 시간이 지나면서 소금이 지속적으로 노면 결빙을 방지한다. 습염식 제설제는 물과 염화칼슘을 7:3 비율로 교반기에 섞은 후 소금과 염화칼슘용액을 7:3으로 혼합하여

제조한다. 제설제 살포방식에 따른 장단점은 Table 2와 같다.

Table 2. Spraying Method of De-icing Chemicals

Division	Solid	Liquid	Pre-wetted salt
Continuity	Good	Bad	Good
Melting speed	Bad	Good	Not good
Spraying distribution	Bad	Good	Good
Scattering	Bad	Good	Good
Storage method	Needed moisture proof	Needed solid protection facilities	Needed solid protection facilities
Storage area	Indoor	Storage tank	Indoor

Source: Road snow-removal manual, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2016

### 3.3. 국외 제설제 살포기준

제설제 살포량은 기상조건이나 도로의 기하구조 혹은 제설 살포차량의 주행속도에 따라 달라진다. 미국의 경우 적정 제설제 살포량은 각 주별 도로제설정책 및 도로제설 우선순위 등에 따라 차이가 있을 수 있으나, 일반적으로 FHWA에서는 AASHTO에서 제시한 기준을 근거로 Table 3과 같이 표준 제설제 살포량을 권장하고 있다.

Table 3. Manual of Pre-wetted Salt Spraying Method by IOWA DOT

Salt application rate guidelines							
Pre-wetted salt @ 12" side lane (assume 2-hr route)							
Surface temperature	Fahrenheit	32-30	29-27	26-24	23-21	20-18	17-15
lbs of salt to be applied per lane mile	Heavy frost, Mist, Light snow	50	75	95	120	140	170
	Drizzle, Medium snow 1/2" per hour	75	100	120	145	165	200
	Light rain, Heavy snow 1" per hour	100	140	182	250	300	350
Pre-wetted salt @ 12" wide lane (assume 3-hr route)							
Surface temperature	Fahrenheit	32-30	29-27	26-24	23-21	20-18	17-15
lbs of salt to be applied per lane mile	Heavy frost, Mist, Light snow	75	115	145	180	210	255
	Drizzle, Medium snow 1/2" per hour	115	150	180	220	250	300
	Light rain, Heavy snow 1" per hour	150	210	275	375	450	525

Source: UPDATE OF THE AASHTO GUIDE FOR SNOW AND ICE CONTROL, AASHTO, 2008. Dec

핀란드의 경우 염화나트륨과 염화칼슘을 주요 제설제로 사용하고 있다. 제설제는 습염식이나 액상으로 살포하며 도로 노면상태 및 기온에 따라 Table 4와 같이 제설제 사용량을 규정하고 있다(손명수, 2015).

Table 4. Manual of Pre-wetted Salt Spraying Method by Finland

Road surface and temperature (°C)	Pre-wetted salt (g/m <sup>2</sup> )				
	0	-2	-4	-6	-8
A little wetting and partly freezing	5	5	5	5	5
All surface wetting and freezing	5	10	10	10	10
Raised the spraying and freezing	10	15	15	15	20

스위스의 경우 소금을 주요 제설제로 사용하며 대부분의 도로관리청에서 소금과 소금물을 혼합하여 살포하는 습염식 살포방식을 사용하고 있으며, 살포 기준은 Table 5와 같다.

Table 5. Manual of Pre-wetted Salt Spraying Method by Swiss

Spraying method	Spraying amount (g/m <sup>2</sup> )	
	Temperature (0°C ~ -8°C)	Temperature (-8°C ~ -20°C)
Dry salt	7 ~ 15	10 ~ 20
Pre-wetted salt	7 ~ 15	10 ~ 20
Fixed auto salt spraying	5 ~ 10	5 ~ 10
Friction chemicals	≤ 200	≤ 200
Mixing ratio (NaCl : CaCl <sub>2</sub> )	100 : 0	2 : 1

강설량이 많은 일본 홋카이도 지역의 경우, -8°C 이상일 때 소금을 사용하고 있으며, 용설 시에는 30g/m<sup>2</sup>, 예비살포 시에는 15g/m<sup>2</sup>을 사용하고 있다. 또한, -8°C 이하일 때는 제설제인 소금과 더불어 잔골재(모래)를 사용하고 있으며, 150~350g/m<sup>2</sup>의 제설제를 살포하고 있다(국토교통부, 2013).

### 3.4. 국내 제설제 살포기준

국내 제설제 살포기준은 Table 6과 같이 강설 전, 강설 시, 결빙 시로 구분하여 강설량과 기온에 따라 살포량을 제시하고 있다. 습염식 살포에 의한 살포량은 43g/m<sup>2</sup>으로 제시하고 있으며, 이는 제설제 150kg/km/차로에 해당하는 양이다. 또한, Table 6의 살포기준은 고속도로 살포기준으로 시도, 지방도에서는 교통량을

고려하여 살포밀도를 한 단계 높게 설정하도록 권고하고 있다.

Table 6. Manual of Pre-wetted Salt Spraying Method

Division	Heavy snowfall	Temperature	Spraying density (g/m <sup>2</sup> )		
			NaCl	Salt water	Total
Preliminary spraying		0~-5°C	10	4.3	14.3
		≤ -5°C	15	6.4	21.4
Heavy snowfall	≤ 1cm	0~-5°C	10	4.3	14.3
		-5~-10°C	15	6.4	21.4
		≤ -10°C	20	8.6	28.6
	1~3cm	0~-5°C	15	6.4	21.4
		-5~-10°C	20	8.6	28.6
		≤ -10°C	25	10.7	35.7
	3~5cm	0~-5°C	20	8.6	28.6
		-5~-10°C	25	10.7	35.7
		≤ -10°C	30	12.9	42.9
Frozen		0~-5°C	25	10.7	35.7
		≤ -5°C	30	12.9	42.9

Source: Road snow-removal manual, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2016

## 4. 제설제 사용량 분석

### 4.1. 국내 도로관리 연장

최근 5년간 지역별 일반국도 연장을 파악하기 위해 도로업무편람의 국토관리사무소별 일반국도 관리연장을 분석하였다. 2016년 기준으로 2차로 도로연장의 길이는 Fig. 2와 같이 영남권, 호남권, 강원권, 충청권, 수도권 순으로 나타났다. 4차로 도로의 경우 영남권, 호남권, 충청권, 수도권 순으로 나타났다. 수도권의

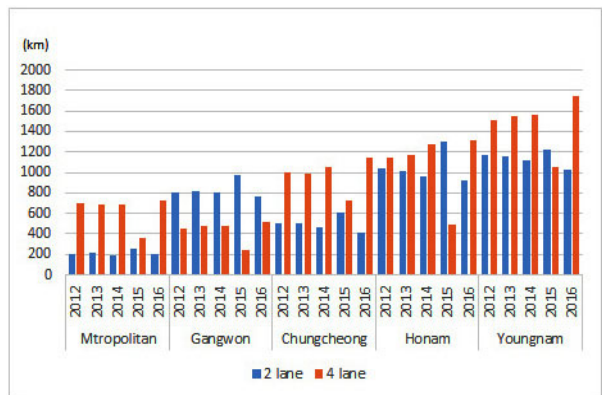


Fig. 2 National Road Maintain Length by Region (from 2012 to 2016 winter season)

Source: National road works manual, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2012-2016

경우 2차로 도로에 비해 4차로 도로가 더 많은 반면 강원권의 경우에는 4차로 도로보다 2차로 도로가 더 많은 것으로 분석되었다. 또한, 전국적으로 2차로 도로와 4차로 도로에 대한 연장을 비교했을 때 4차로 도로가 지속적으로 증가 추세를 보여 도로신설 및 확장이 증가하는 것으로 판단된다. Fig. 2와 같이 일부 연도에 도로연장이 일시적으로 감소하는 것을 볼 수 있는데 이는 국토교통부에서 관리하는 일부 구간의 일반국도 관리연장이 위임국도 혹은 지자체로 위임되었기 때문인 것으로 판단된다.

#### 4.2. 국내 제설제 사용량 현황

Fig. 3과 같이 최근 5년간 지역별 평균 제설제 사용량을 살펴보면, 강원권, 충청권, 호남권, 수도권, 영남권 순으로 많이 사용한 것으로 분석되었다. 이 결과는 지역별 평균 제설제(염화칼슘 및 소금) 사용량이 지역별 기후특성과 도로관리 연장에 따라 차이가 발생할 수 있다는 것을 보여준다. 또한, 염화칼슘의 경우 호남권, 충청권, 강원권, 수도권, 영남권 순으로 사용량이 많은 반면, 소금의 경우 강원권, 충청권, 호남권, 수도권, 영남권 순으로 사용량이 많은 것으로 분석되었다.

호남권의 경우 최근 이상기후로 인한 잦은 강설과 긴 도로관리 연장으로 염화칼슘 및 소금 사용량이 증가하고 있는 것으로 분석되었다. 강원권과 충청권의 경우 염화칼슘보다는 소금 사용량이 더 많은 것으로 분석되었다. 그 이유는 잦은 폭설이 발생하는 지역적 특성 때문에 타 지역보다 많은 제설제를 사용하게 되는데 소금이 염화칼슘에 비해 3~4배 정도 가격이 저렴하기 때문이다.

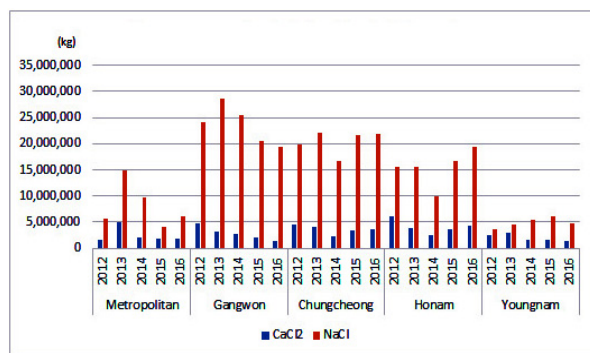


Fig. 3 Average Usage for De-icing Chemicals by Region (from 2012 to 2016 winter season)

### 5. 지역별 제설제 권장 사용량 추정

본 연구에서는 지역별 제설제의 권장 살포량을 추정

하기 위해 먼저 도로제설업무수행요령에서 제시하고 있는 습염식 살포방식과 제설제 별 제조기준에 대해 검토하였다. 습염식 살포방식의 경우 물과 염화칼슘을 7:3 비율로 교반기에 섞어 염화칼슘수용액을 제조한 후 소금과 염화칼슘수용액을 7:3으로 혼합하여 살포기로 살포한다. 이 때 1회에 살포되는 염화물의 양은 43g/m<sup>2</sup>(염화칼슘 수용액 12.9g(약 10ml), 고체 소금 30.1g)이다.

차로폭 3.5m의 1차로 도로를 1km 살포시 약 150kg/km/차로(염화칼슘 수용액 45kg(약 35L), 고체 소금 105kg)의 제설제를 살포한다. 따라서 1회 살포량, 차로폭, 차로수를 고려하여 소금의 살포량을 계산해 보면, 1km/차로 당 105kg이 살포되는 것을 추정할 수 있다. 또한, 염화칼슘 살포량은 수용액 기준으로 되어 있기 때문에 위의 계산식과 도로제설업무수행요령의 염화칼슘 수용액 제조 기준의 비율을 고려하여 1km/차로 당 18kg이 살포되는 것으로 추정할 수 있다.

도로제설업무수행요령에서는 위에서 언급한 바와 같이, 1회 살포량, 차로폭, 차로수 등을 고려하여 살포량을 추정하고 있는데, 실제 살포량은 예비살포와 현장 상황에 따른 추가 살포 등으로 인해 제설제 살포량은 추정 살포량보다 훨씬 증가할 수 있다. 일반적으로 예비 살포는 눈, 진눈깨비가 흩날리기 시작할 때, 대기온도 2℃ 이하로 온도하강이 예상되고 비가 내리기 시작할 때, 어는 비(영하에서 0℃로 온도 상승하는 새벽시간)로 결빙이 예상될 때 살포한다. 이와 같이 현실적으로 예비 살포량과 추가 살포량에 대한 자료 취득은 불가능하기 때문에 도로제설업무수행요령에 따라 지역별 도로관리기관의 일반국도 도로관리 연장 및 지역별 제설작업일수를 추가적으로 고려하였다. 또한, “도로업무편람(국토교통부)”에서는 지역별 일반국도 도로관리연장을 제시하고 있다. 원칙적으로는 편도 차로수×2를 해야 하나, 도로업무편람의 일반국도 관리연장은 왕복 2차로, 왕복 4차로 이상으로만 구분되어 있어 왕복 6차로 이상의 도로를 구분하기에는 어려움이 있다. 따라서 왕복 6차로 도로 이상은 도로업무편람에 제시되어 있는 왕복 4차로 이상 도로에 포함하여 산정하였다.

또한, 도로제설업무수행요령에서는 도로 제설제 살포 방법에 대해 다음과 같이 설명하고 있다(Fig. 4). 2차로 도로 제설제 살포 시 도로를 3등분하고, 중간 1/3부분에만 제설제를 살포하여 왕복차량으로 인해 제설제가 도로 전면에 골고루 비산될 수 있도록 한다. 따라서, 2차로(×1) 도로와 4차로(×2) 도로에 대해 도로관리연장을 재산정 하였다.

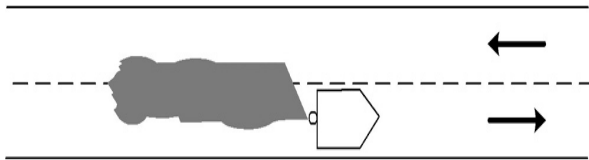


Fig. 4 De-icing Spraying Method on a Two Road

최근 5년간 지역별 평균 제설작업일수는 Table 7과 같다. 평균 제설작업일수는 강원권, 수도권, 충청권 및 호남권, 영남권 순으로 높게 나타났다. 이 결과는 지역별 제설작업일수가 지역별 기후 특성과 도로관리연장에 따라 차이가 있음을 암시한다.

Table 7. Average Snow Removal Working Days by Region

Region	2012	2013	2014	2015	2016	Average
Metropolitan	50	47	21	21	26	33
Kanwon	48	47	51	39	54	48
Chung cheong	15	32	21	22	25	23
Honam	23	20	19	24	27	23
Youngnam	14	19	20	21	20	19

Table 8. Results of Calculated De-icing Chemicals Usage by Each Region

Region	Winter season	Road maintain length (km)	Snow removal working days (day)	Actual usage (kg)		Recommended usage (kg)	
				CaCl <sub>2</sub>	NaCl	CaCl <sub>2</sub>	NaCl
Metropolitan	2011-2012	1,589	50	1,603,000	5,656,000	1,429,830	8,340,675
	2012-2013	1,592	47	4,986,000	14,868,000	1,347,086	7,858,001
	2013-2014	1,567	21	1,972,000	9,791,000	592,402	3,455,676
	2014-2015	981	21	1,774,000	4,022,000	370,931	2,163,767
	2015-2016	1,661	26	1,778,000	6,178,000	777,161	4,533,438
Kanwon	2011-2012	1,722	48	4,684,000	24,052,400	1,488,154	8,680,896
	2012-2013	1,769	47	3,200,000	28,723,000	1,496,405	8,729,028
	2013-2014	1,754	51	2,843,000	25,516,000	1,610,539	9,394,812
	2014-2015	1,468	39	2,011,000	20,416,000	1,030,466	6,011,051
	2015-2016	1,796	54	1,454,000	19,422,000	1,745,906	10,184,454
Chung cheong	2011-2012	2,501	15	4,612,000	19,948,000	675,216	3,938,760
	2012-2013	2,495	32	3,997,000	21,999,000	1,436,832	8,381,520
	2013-2014	2,567	21	2,258,000	16,737,000	970,288	5,660,015
	2014-2015	2,056	22	3,305,000	21,695,000	814,295	4,750,053
	2015-2016	2,704	25	3,531,400	21,935,000	1,216,980	7,099,050
Honam	2011-2012	3,333	23	6,028,000	15,641,000	1,379,738	8,048,471
	2012-2013	3,359	20	3,943,000	15,480,000	1,209,168	7,053,480
	2013-2014	3,503	19	2,494,000	9,930,000	1,198,026	6,988,485
	2014-2015	2,300	24	3,736,000	16,694,000	993,643	5,796,252
	2015-2016	3,548	27	4,420,000	19,356,000	1,724,474	10,059,431
Youngnam	2011-2012	4,199	14	2,496,000	3,526,000	1,058,123	6,172,383
	2012-2013	4,250	19	2,892,000	4,469,000	1,453,466	8,478,551
	2013-2014	4,246	20	1,684,000	5,462,000	1,528,380	8,915,550
	2014-2015	3,325	21	1,657,000	6,027,000	1,256,812	7,331,405
	2015-2016	4,521	20	1,351,000	4,708,000	1,627,452	9,493,470

따라서, 본 연구에서는 도로제설업무수행요령에서 제시하고 있는 kg/km/차로 당 제설제별 살포량과 지역별 도로관리연장, 지역별 평균 제설작업일수를 고려하여 Eq. (1)과 같이 제설제 권장 살포량을 정량화하였다.

$U$ 는 kg/km/차로 당 제설제별 살포량이며,  $L$ 은 지역별 도로관리연장,  $W$ 는 지역별 제설작업일수를 나타낸다.

$$\text{Recommended usage} = U \times L \times W \quad (1)$$

여기서,

$U$  : De-icing chemicals usage by kg/km/lane

$L$  : The length of national highway maintain by regions

$W$  : Snow-removal working days by regions

Eq. (1)로부터 산정된 지역별 제설제 권장 살포량과 실제 제설제 사용량의 비교분석 결과는 Table 8과 같다. 총 염화칼슘 사용량의 경우 권장 살포량이 실제 사용량보다 약 2.5배, 총 소금 사용량의 경우 권장 살포량

이 실제 사용량보다 약 2배 정도 적은 것으로 나타나 차이가 매우 큰 것으로 분석되었다. 지역별로 보면, 충청권(염화칼슘 3.5배, 소금 0.6배)과 호남권(염화칼슘 3.2배, 소금 0.5배)이 가장 많은 차이를 보였으며, 영남권(염화칼슘 0.8배, 소금 0.1배)은 가장 적은 차이를 보였다. 또한, 전통적으로 강설량이 많은 강원권(염화칼슘 1.9배, 소금 0.3배)은 충청권, 호남권보다 적은 차이를 보이는 것으로 분석되었다.

## 6. 제설제 사용량의 적정성 평가

본 연구에서는 지역별 제설제 권장 살포량 산정식(Eq. (1))의 적정성 평가를 위해 비모수 검정인 K-S 검정과 카이제곱 검정을 사용하였다. 일반적으로 비모수 검정은 모수 검정의 가정을 충족시키기 어렵고 수집된 자료의 수가 적어 자료의 분포형태를 가정할 수 없을 때 사용한다. 따라서, K-S 검정을 통해 두 집단의 유의분포 특성을 먼저 확인한 후 카이제곱 검정을 통해 산정식의 적정성을 평가하였다.

### 6.1. K-S(Kolmogorov-smirnov) 검정

본 연구에서는 Eq. (1)에 의한 지역별 제설제 권장 살포량(Expected value)과 실제 사용량(Observed value)의 분포특성을 확인하기 위해 K-S 검정을 수행하였다. K-S 검정은 특정한 분포함수의 누적 분포함수와 주어진 데이터의 경험 분포함수와의 비교를 통해 데이터가 대상 분포함수로부터 추출된 것인지에 대한 가설을 검정하는 방법이다(노유정, 2014).

따라서, 산정식에 의한 이론값(Expected value)과 실제 관측값(Observed value)과의 차이를 비교하기 위해 Fig. 5, Fig. 6과 같이 제설제 별로 독립 두 표본 K-S 검증을 통해 두 값의 분포특성을 분석해 보았다.

Fig. 5의 X축은 지역별 누적연도(0~5:수도권, 6~10:강원권, 11~15:충청권, 16~20:호남권, 21~25:영남권)를 나타내며, Y축은 누적확률(cumulative probability)을 나타낸다. 염화칼슘의 권장 살포량과 실제 사용량의 분포를 비교한 결과, 수도권, 강원권, 충청권에서는 비슷한 분포를 보였다. 이는 타 지역에 비해 비교적 강설횟수가 많기 때문에 도로관리기관의 제설경험적 판단이 실제 제설제 사용량 분포에 영향을 미친 것으로 판단된다. 반면, 호남권, 영남권에서는 분포 차이가 많이 나는 것으로 나타났는데, 이는 이 지역의 강설빈도가 지속적으로 증가하는데 비해 도로관리기관의 제

설경험은 부족하기 때문에 강설 전 예비살포 등으로 산정식에 의한 권장 살포량보다 훨씬 더 많은 염화칼슘을 사용했다는 결론을 도출할 수 있다.

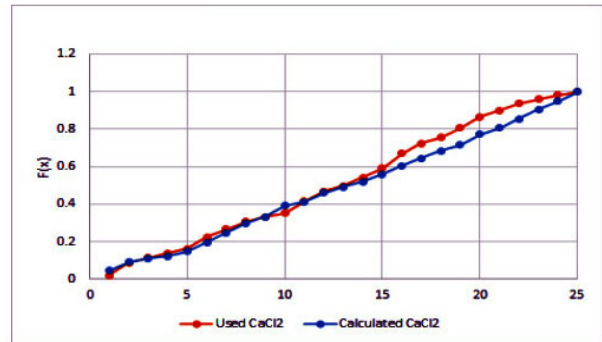


Fig. 5 CaCl<sub>2</sub> Cumulative Distribution Curve for 5 Regions

소금의 경우 수도권과 강원권에서는 두 값의 분포 차이가 크지 않았다. 이는 염화칼슘 사용 분포와 마찬가지로 타 지역에 비해 비교적 강설횟수가 많기 때문에 도로관리기관의 제설경험적 판단이 실제 제설제 사용량 분포에 영향을 미친 것으로 판단된다. 반면, 충청권, 호남권, 영남권에서는 분포 차이가 많이 났으며, 그 중에서도 호남권과 영남권의 분포 차이가 많이 나는 것으로 분석되었다. 이는 강설빈도 증가와 제설경험 부족, 강설 전 예비살포 등의 이유도 있겠지만, 소금이 염화칼슘에 비해 가격이 저렴하기 때문에 권장 살포량보다 많은 양의 제설제가 사용된 것으로 추정된다.

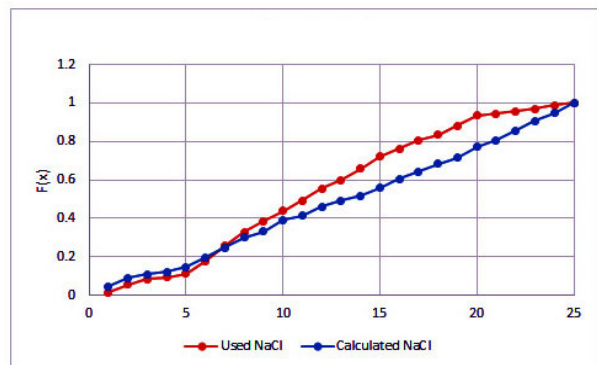


Fig. 6 NaCl Cumulative Distribution Curve for 5 Regions

### 6.2. 카이제곱( $\chi^2$ ) 검정

앞서 도출된 분포특성을 기반으로 카이제곱 검정을 통해 제설제 살포량 산정식에 의한 권장 살포량과 실제 사용량이 통계적으로 유의한지를 검증하였다. 검정을 위한 가설은 다음과 같이 설정하였으며, 검정에 사용되는 통계량 식은 Eq. (2)와 같다. Eq. (2)에서  $O_i$ 는 실제 사용량이며,  $E_i$ 는 권장 살포량을 나타낸다.



귀무가설( $H_0$ ): 제설제 권장 살포량과 실제 사용량은 차이가 없다.  
 대립가설( $H_1$ ): 제설제 권장 살포량과 실제 사용량은 차이가 있다.

$$\chi^2_{cal} = \sum_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2)$$

여기서,

$O_i$  = 실제 사용량

$E_i$  = 이론식에 의한 권장 살포량

(모든  $E_i$ 는 반드시  $\geq 5$ 이어야 한다.)

먼저 염화칼슘에 대한 카이제곱 분석결과, Table 9와 같이 수도권 863,849, 강원권 888,050, 충청권 9,767,170, 호남권 10,250,417, 영남권 2,277,442으로 분석되어 유의수준 5%에서 지역별 권장 살포량과 실제 사용량은 차이가 없다는 귀무가설(null hypothesis)을 기각하는 것으로 나타났다. 따라서, 두 표본집단은 통계적으로 동일하지 않은 것으로 평가되었다.

또한 소금에 대한 카이제곱 분석결과, Table 10과 같이 수도권 12,988,769, 강원권 50,176,101, 충청권 53,727,910, 호남권 22,109,247, 영남권 12,289,958로 분석되어 유의수준 5%에서 지역별 권장 살포량과 실제 사용량은 차이가 없다는 귀무가설(null hypothesis)을 기각하는 것으로 나타났다. 따라서, 두 표본집단은 통계적으로 동일하지 않은 것으로 평가되었다.

분석결과, 계산된  $\chi^2$ 에 비해  $\chi^2_{calculated}$  값이 매우 높은 것으로 나타났는데, 이는 앞서 언급했던 강설량에 따른 지역별 도로관리기관의 제설경험과 이로 인한 제설제 예비살포, 도로연장의 증가 등이 반영되었기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 위의 요인들을 고려한 적정 결과가 도출되기 위해서는 도로제설업무수행요령에서 제시하고 있는 제설제 살포량 산정식에 대한 재검토가 필요하다.

Table 9. Result of Chi-square Test for CaCl<sub>2</sub>

Region	( $\alpha = 0.05, DOF = 3$ )	$\chi^2_{calculated}$
Metropolitan	9.49	863,849
Gangwon	9.49	888,050
Chungcheong	9.49	9,767,170
Honam	9.49	10,250,417
Youngnam	9.49	2,277,442

Table 10. Result of Chi-square Test for NaCl

Region	( $\alpha = 0.05, DOF = 3$ )	$\chi^2_{calculated}$
Metropolitan	9.49	12,988,769
Gangwon	9.49	50,176,101
Chungcheong	9.49	53,727,910
Honam	9.49	22,109,247
Youngnam	9.49	12,289,958

## 7. 결론

본 연구에서는 도로제설업무수행요령의 제설제 살포량 산정식에 의해 도출된 지역별 제설제 권장 살포량과 실제 사용량에 대한 통계검증을 통해 산정식의 적정성 여부를 평가하였다. 일반적으로 제설제의 실제 사용량은 지역별 도로관리기관의 제설경험에 의존하는 경향이 크다. 일반적으로 강설량이 많은 지역은 제설작업과 병행하여 제설제를 효율적으로 사용하는 경우가 많고, 반대로 강설량이 적은 지역은 경험부족으로 강설 전에 많은 양의 제설제를 예비살포로 사용하는 경우가 발생한다. 이로 인해 제설제의 실제 사용량이 권장 살포량을 초과하여 많은 차이가 발생하게 된다. 또한, 도로연장의 증가, 신속한 제설작업 민원, 도로노면 결빙 방지를 위한 제설제 예비살포 등에 의해 사용량의 변동 폭이 커질 수 있다. 따라서, 국가기준에서 제설제의 권장 살포량을 제시하여 주는 것은 도로제설업무담당자와 현장 실무자들에게는 매우 중요한 요인으로 작용할 수 있다. 이를 통해 제설제의 적정 비축량과 이를 구입하기 위한 설해 대책비용을 추정하는데 매우 중요한 근거로 작용하기 때문이다. 이 때문에 도로제설업무 국가기준인 도로제설업무수행요령에서는 시대흐름의 변화에 따른 요인들을 잘 파악하여 주기적으로 제설제 권장 살포량에 대한 검토를 할 필요가 있다고 판단된다.

제설제 살포량 산정식의 적정성 평가를 위해 최근 5년간 지역별 실제 제설제 사용량을 분석하고, 추가적으로 지역별 일반국도 도로연장과 제설작업일수를 고려하여 산정식에 의한 제설제 권장 살포량의 적정성을 평가하였다. 또한, 제설제 별로 권장 살포량과 실제 사용량에 대한 유의분포 확인 후, 동일성 검정을 통해 평가를 수행하였다. 동일성 검정 결과, 제설제 권장 살포량과 실제 사용량은 큰 차이를 보여 통계적으로 유의하지 않은 것으로 평가되었다. 따라서, 도로제설업무수행요령에서 제시하고 있는 제설제 살포량 산정식을 지역별 도로관리기관의 제설경험, 제설제 예비살포, 도로연장의

변화 등을 고려하여 현실에 맞게 재검토해 볼 필요가 있다는 결론을 도출하였다.

최근 제설제 과다 사용에 대한 이슈가 대두되고 있는 반면, 현재까지 이와 관련된 연구는 전무한 실정이다. 과도한 제설제의 살포는 도로의 노후화 및 차량의 부식, 환경피해 등 많은 피해를 야기시킬 수 있으며, 이를 제거하기 위한 청소비용도 증가하게 된다. 향후 지역별 도로 제설제의 권장 살포량 추정과 관련된 세부적인 연구를 통해 지역별로 제설제가 과도하게 사용되고 있는 것은 아닌지 점검해 볼 필요도 있을 것으로 판단된다.

## REFERENCES

- Gates, T. J., Noyce, D. A., Stine, P. H. (2006), The Safety and Cost-Effectiveness of Approach Guardrail for Bridges on Low Volume Roads, Transportation Research Board Annual Meeting 2006.
- Ha O. K., Hu E., Won J. M. (2008), A Development of Models for Analyzing Traffic Accident Injury Severity for Signalized Intersections, Journal of Korean Society of Safety, Vol.23, No.2, pp.65-71.
- Han H. J. (2016), A Study on Deicers and Environment Certificated Deicers Verification, Hanyang University.
- Jeong C. W. (2006), A study on degree of impact factors of traffic accident damage cost at the intersections(Focused on Driver's Human Factors), Police Journal, Vol.6, No.3, pp.125-149.
- Joshua, S., Luis, M. M., Saunier, N. (2017), The Impact of Congestion and Traffic Flow On Crash Frequency and Severity: An Application of Smartphone-Collected GPS Travel Data, Transportation Research Board 96th Annual Meeting.
- Kathuria, A., Parida, M., Sekhar, C. R., Pathak M. (2016), Examining Bus Lost Time Dynamics for a Bus Rapid Transit Station, Journal of Public Transportation, Vol.19, No.2, pp.168-182.
- Kim J. G., Yang C. H. (2016), Estimates on appropriate storage for deicing materials for the 2018 Pyeongchang Winter Olympic Games, International Journal of Highway Engineering Vol.18 No.6, pp.51-59 .
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT). (2013). A Study on the Advanced Road Snow-removal Management System.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport(MOLIT). (2016). Road Snow-removal Manual.
- National Archives of Korea, <http://www.archives.go.kr>.
- Park C. S., Jang J. H. (2012), Case Study of Time Headway Distribution on Suburban Arterial, The Korea Spatial Planning Review, Vol.73, pp.261-270.
- Shin K. W. (2016), Inferring the Transit Trip Destination Zone of Smart Card User Using Trip Chain Structure, Journal of Korean Society of Transportation, Vol.34, No.5, pp.437-448.
- Shon M. S., Ryu J. H. (2015), Concrete infrastructure subject to deicing salts-Finnish practice, Korea Concrete Institute Conference.
- Yoon D. S., Park H. C. (2010), A Study on Change of Travel Patterns According to Public Transportation Reform (A Case Study of Gyeongsan City), Journal of Korean Society of Transportation, Vol.28, No.1, pp.51-61.