



도로 용설제 성능 평가와 적정 사용량 산정

Performance and Adequate Usage of Deicing Materials

윤 덕 근* 정 준 화**
Yun, Duk Geun Jeong, Jun Hwa

Abstract

Deicing work is usually considered as a main part of winter road management activity. The deicing includes the physical method which removes snow with tools and the chemical method which melts snow with deicing materials. When removing snow using deicing materials, using excessive deicing materials will cause the environment and budget problems. When deicing materials are used less than the required amount, snow will remain on the road surface. In this research, the performance of deicing materials has been evaluated and the amount of deicing materials has been determined by the laboratory and the field experiments. Also the adequate usages of deicing materials has been proposed.

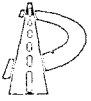
Keywords : *deicing material, winter road management, calcium chloride, sodium chloride*

요 지

동절기 도로 유지관리는 일반적으로 제설활동을 의미하며 제설활동에는 도구를 사용하여 물리적으로 눈을 제거하는 방법과 용설제를 사용하여 화학적으로 눈을 제거하는 방법이 포함된다. 용설제를 사용하여 화학적으로 눈을 제거할 때, 용설제를 과도하게 사용하면 환경문제와 예산낭비가 생길 수 있고, 용설제를 적게 사용하면 그 성능을 충분히 낼 수 없으므로 얼마나 사용해야 하는지는 중요한 문제이다. 본 연구에서는 실내 및 현장 실험을 통해 제설제의 성능을 평가하고 이를 바탕으로 도로 제설작업시 적정 용설제 살포량을 제안하였다.

핵심용어 : 용설제, 동절기 도로관리, 염화칼슘, 소금

* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 연구원
** 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 수석연구원



1. 서론

동절기 도로관리는 크게 눈이 도로에 쌓이지 못하도록 하는 방설(anti-icing)과 강설 후 도로에 쌓인 눈을 제거하는 제설(de-icing)로 구분할 수 있다. 한국에서 일반적인 동절기 도로관리는 제설을 의미하고 있다. 도로에 쌓인 눈을 제거하는 제설은 물리적으로 제거하는 방법과 화학적 작용을 통한 제설로 구분할 수 있다. 물리적 제설은 제설 삽날 등과 같은 도구를 이용하여 도로의 눈을 걷어내는 반면 화학적 방법은 제설제를 이용하여 눈을 녹이거나 마찰력을 증가시키는 방법이다. 제설제에는 모래 등 노면 마찰력을 증진시키는 마찰제와, 염화칼슘 등 화학적 작용을 통해 눈을 녹이는 용설제가 있다. 본 연구는 용설제에 초점을 두고 있다.

일반적으로 용설제는 제설제 살포기나 인력을 통해 도로에 살포되어 사용되나 그 적정량에 대한 기준이 마련되어 있지 않아 대부분 현장 경험을 토대로 그 양이 결정되고 있다. 그러나 살포량이 요구량보다 적을 경우 노면의 눈을 완전히 녹이지 못하게 되고, 살포량이 요구량보다 많을 경우 많은 비용이 낭비될 뿐만 아니라, 주변 구조물이나 식물 등에 유입되어 환경 및 구조적 악영향을 미치고, 노면에 잔량이 남아 대기중의 습기를 흡수하여 2차 사고를 유발할 수 있다. 본 연구에서는 국내에서 사용중인 도로 용설제의 성능을 비교하고, 실제 현장에서 용설제를 살포하여 그 성능을 비교 평가하여 강설시 적정 살포량을 결정하는 근거를 제공하였다.

2. 용설제 성능평가 : 실험실 조건

본 연구에서는 용설제의 성능평가를 위해 실내 실험을 수행하였다. 평가를 수행한 용설제는 일반적으로 제설작업에 사용되는 염화칼슘(2수화물)과 구조물 부식을 방지하기 위한 염화칼슘(방청제 혼합형), 소금, 산화칼슘계, 복합유기산염 등을 평가 비교하였다.

2.1 대상 용설제 종류 및 특성

도로나 공항에서 눈이나 얼음을 녹이는 용설제는 일반적으로 눈 위에 살포되었을 때, 눈과 반응하여 화학작용을 일으키며 발열 또는 흡열반응으로 눈을 녹인다. 표 1은 국내에 알려진 용설제의 종류를 정리한 것이다.

용설제는 크게 염화물계 용설제와 비염화물계 용설제로 구분되며, 염화물계 용설제는 염화칼슘(CaCl₂), 소금(NaCl), 염화마그네슘(MgCl₂) 등이 있으며, 비염화물계 용설제로는 요소(CO(NH₂)₂), CMA(Calcium Magnesium Acetate), 초산칼륨(Potassium Acetate), 초산나트륨(Sodium Acetate), 산화칼슘계 등이 있다. 현재 국내에서는 염화칼슘이 가장 보편적으로 사용되는 용설제이다.

용설제의 용설 또는 용빙 성능시험에는 어는점 내림 실험, 얼음 용빙량 실험, 얼음 침투깊이 측정에 관

표 1. 국내에 알려진 용설제의 종류

구분	형태	용도	액상 농도	비고	
염화물계	염화칼슘	고체/액체	도로 제설용	20~45%	우리나라의 주 제설제이며, 북미 추운 지방에서 소금과 혼용
	소금	고체	도로 제설용	-	미국, 캐나다, 유럽 및 일본의 도로용 주 제설제
	염화마그네슘	고체/액체	도로 제설용	25~35%	북미 추운 지방에서 소금과 혼용
	염화칼슘 + 방청제	고체	도로 제설용	-	국내 개발
초산염계	CMA	고체/액체	도로 제설용	25%	미국과 캐나다에서 일부 사용
	초산칼륨	액체	공항도로 제설용	50%	-
	산화칼슘계	고체	도로 제설용	-	국내 개발(모래 혼합)
알콜 / 글리콜계	EG (Ethylene Glycol)	액체	항공기 및 공항도로 제설용	>70%	-
	PG (Propylene Glycol)	액체	항공기 및 공항 도로 제설용	알려지지 않음	-
기타	복합유기산염	고체	도로 제설용	-	국내 개발



한 실험을 수행하였다.

2.2 어는점 내림 시험

각 용설제의 어는점 내림 특성은 ASTM D1177-88, "Standard Test Method for Freezing Point of Aqueous Engine Coolants"의 시험방법을 일부 수정하여 사용하였다.

실험 방법은 실험에 사용할 제설제를 정량하여 제설제가 완전 용해될 때까지 교반한 후 제조된 용액을 시험관에 넣고, 자동온도기록장치에 연결된 열전대를 이용하여 시간에 따른 온도 변화를 측정하였다.

실험결과 소금 수용액의 어는점은 10%, 20% 수용액에 대하여 각각 -7.3℃, -19.4℃로 나타났다. 또 소금 수용액의 공용점은 10%, 20% 수용액에 대하여 각각 -24.8℃, -23.4℃로 나타나 문헌상으로 알려진 공용점인 -21.1℃(23.3%)와 거의 일치하게 나타났다.

염화칼슘(2수화물)은 실험상에서는 공용점이 나타나지 않았으며, 어는점은 10%, 20%, 30% 수용액에 대하여 각각 -4.7℃, -11.9℃, -26.6℃로 나타났다. 실험 측정값이 문헌상의 공용점(약 -54℃)과 다소 큰 차이를 보이는 이유는 시험에 사용된 염화칼슘이 현재 제설제로 상용화된 2수화물이기 때문인 것으로 나타났다. 실험 결과는 표 2에 요약하였다.

표 2. 어는점 내림 특성 조사 결과

시 약 명	어는점 (℃)			공용점 (℃)	
	10%	20%	30%	시험 결과	문헌보고
소금	-7.3	-19.4	N/A	-24.8(10%), -23.4(20%)	-21.1(23.3%)
염화칼슘(2수화물)	-4.7	-11.9	-26.6	N/A	-51.1(29.8%)
염화칼슘(방청제 혼합형)	-5.4	-12.7	-23.5	N/A	
산화칼슘계	-1.4	-2.9	-3.6	N/A	
복합유기산염	-7.6	-16.5	-30.5	-34.5(20%)	

일반적으로 염화칼슘은 눈에 살포시 소금보다 빨리 반응하여 눈을 빨리 녹이나 단가가 다소 비싼 단

점이 있고, 소금은 가격이 저렴하고 쉽게 구할 수 있으며, 염화칼슘보다 넓은 면적에 반응하는 장점이 있으나 염화칼슘보다 눈에 반응하는 속도가 다소 늦은 단점이 있다. 이러한 점을 고려하여 본 연구에서는 염화칼슘과 소금을 조합했을 때 그 성능을 함께 평가하기 위해 실험을 수행하였다. 어는점 내림 시험 결과는 표 3과 같이 나타났다.

표 3. 염화칼슘과 소금의 혼합물에 대한 어는점 내림 특성 조사 결과

혼 합 비 (염화칼슘(2수화물) : 소금)	20% 수용액	
	어는점(℃)	공용점(℃)
3 : 7	-16.5	-25.9(20%)
5 : 5	-15.7	N/A
7 : 3	-14.7	N/A

2.3 얼음 용융 시험

용설제가 도로 표면의 눈이나 얼음을 어느 정도 녹일 수 있는가의 능력을 비교·조사하기 위하여 SHRP H-205.1 "Test Method for Ice Melting of Solid Deicing Chemicals"의 실험법에 따라 얼음 용융 시험을 수행하였다.

얼음 용융 시험의 시험 절차는 플라스틱 시험판에 일정한 두께의 얼음을 얼리고, 밀폐된 항온기에 설치하여 시험 온도와 평형을 이루도록 한 후 시험에 사용할 용설제를 얼음 표면 위에 고르게 살포하고, 일정 시간마다 녹은 부분을 취하여 무게를 측정 한 후, 다시 원래 시험판에 부어 누적되는 용융량을 측정하였다. 이 때 용빙량 채취시간은 10분, 20분, 30분, 45분, 60분으로 하였으며, 시험 온도는 -6℃로 하였다.

그림 1은 -6℃에서 실시한 얼음 용융 성능 시험 결과로서, 경과시간에 따른 누적 얼음 용융량을 나타낸 것이다. 그림 1의 그래프를 보면 소금의 경우 30분 이전에는 사용한 물질 중 비교적 낮은 용빙량을 나타내었으나, 30분 이후부터 염화칼슘(2수화물)보다 우

수한 용빙 효과를 보였다. 반면에 초기에 우수한 용빙 성능을 발휘했던 염화칼슘(2수화물)은 30분 이후부터는 더 이상 용빙 성능 변화가 없는바 염화칼슘(2수화물)은 발열 효과에 의한 초기 용빙 성능은 우수하나 지속성은 떨어지는 것을 알 수 있다.

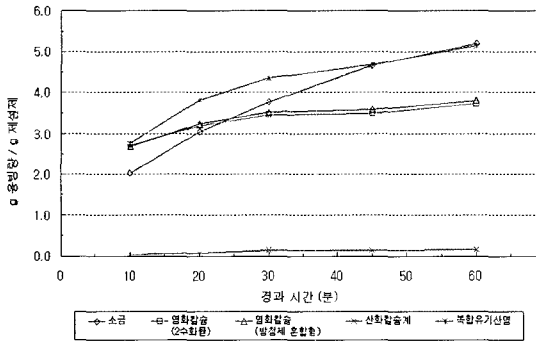


그림 1. -6°C에서 얼음 용융 시험 결과

그림 2에는 염화칼슘(2수화물)과 소금을 혼합한 경우의 얼음 용융 시험 결과를 나타내었다. 시간이 지날수록 염화칼슘에 소금을 혼합한 것이 용빙량이 많지 않으며, 소금 혼합비가 높을수록 용빙량이 증가되는 경향을 보인다. 단, 이번 시험에서 사용한 염화칼슘과 소금은 모두 입경이 고르고, 순도가 높은 것을 사용하였으므로, 실제 현장에서 혼합하여 사용하는 경우에는 염화칼슘 및 소금의 입경과 순도에 따라 제설 효과가 달라질 가능성이 있다.

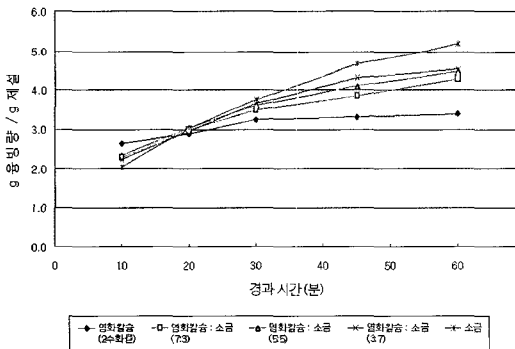


그림 2. -6°C에서 염화칼슘과 소금의 혼합물에 대한 얼음 용융 시험 결과

2.4 얼음 침투깊이 측정 시험

얼음 용융 시험은 용융 방향과는 상관없이 얼음의 용융량을 측정하는 것인 반면, 얼음 침투깊이 측정 시험은 용설제가 수직 방향으로 얼음을 녹이는 정도를 측정하기 위한 방법으로, 얼음-노면 계면을 분리하는 것이 용설제의 중요한 기능이므로, 얼음 침투는 용설제의 중요한 특성 중 하나이다. 즉, 충분히 얇은 얼음층(또는 압설)의 경우, 용설제가 얼음/포장 계면에 도달하게 되면, 계면에서 부분적으로 용융되어 얼음과 포장의 결합을 끊게 되어, 얼음 침투시험은 용설제 화합물 작용 특성에 대한 정보를 제공한다. 얼음 침투깊이 측정 시험은 SHRP H-205.3 "Test Method for Ice Penetration of Solid Deicing Chemicals"에 따라 용설제 입자를 적당한 염료로 처리된 얼음 표면에 올려놓아 60분동안 일정한 온도에서 침투깊이를 측정하였다.

그림 3은 -6°C에서 실시한 얼음 침투깊이 측정 시험 결과로서, 경과 시간에 따른 얼음침투 깊이를 나타낸 것이다. 시험 시작 후 20분이 경과할 때까지는 염화칼슘(2수화물)과 방청제가 혼합된 형태의 대체 용설제가 가장 깊이 침투하였으며, 소금과 복합유기산염은 초기에는 침투 특성이 염화칼슘 계열보다 약간 떨어졌다. 그러나 30분 이후에는 소금과 복합유기산염이 지속적으로 침투 깊이가 증가하여 염화칼슘(2수화물)과 방청제가 혼합된 형태의 대체 용설제와 대등하거나 더 나은 얼음 침투 능력을 나타내었다.

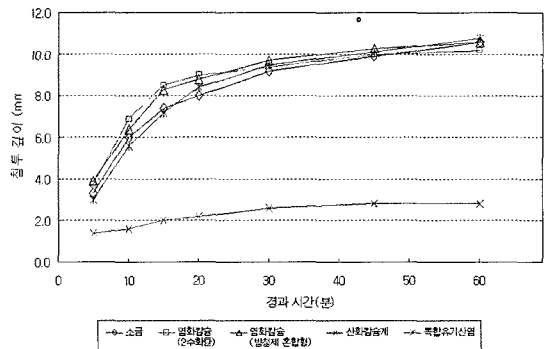


그림 3. -6°C에서 얼음 침투깊이 측정 시험 결과

다. 또, 산화칼슘계 대체 용설제의 경우 침투 깊이가 3.0mm 이하로 다른 용설제에 비해 침투 깊이의 증가가 거의 없는 것으로 나타났다.

3. 용설제 성능평가 : 현장 조건

실내 실험을 통해 도출된 용설제 성능을 현장에 적용하여 실내실험의 결과를 검증하고, 나아가 적정 용설제 살포량을 결정하기 위하여 현장에서 용설제 성능평가를 수행하였다. 용설 성능 현장 평가는 강설직 후 1) 미통행 도로구간에서 미압설 용설 실험과 2) 통행 도로구간에서 압설 용설 실험을 수행하였다

현장 실험의 주 내용은 용설제 현장 성능평가 → 실험 살포량 → 적정 살포량을 구하는 절차로서 이루어졌으며, 실험 살포량, 적정 살포량 용어는 다음과 같이 정의한다.

- 실험 살포량 : 압설되지 않은 일정 면적의 눈에 살포하였을 때, 85% 이상의 눈을 녹일 수 있는 최저 살포량
- 적정 살포량 : 실제 차량의 통행을 고려하여 압설된 눈과 용설제 살포 후 차량의 통행을 고려한 살포량으로 실험 살포량에 대한 비율로 표시

용설 성능 현장 평가의 절차는 1차적으로 현장에서 각종 용설제를 살포하여 각 용설제의 용설 성능을 평가한 후 상위 4위까지의 용설 성능을 보이는 용설제

를 정한 후 이들 상위 4개의 용설제를 비압설된 눈에 살포하여 85%의 눈을 용설시키는 최소 용설제 양을 판단하여 실험 살포량을 결정하는 순서로 하였다.

이 실험 살포량은 차량 압설 등 외부 요인이 발생하지 않은 상태에서 순수하게 용설제만으로 자연 상태의 눈을 녹이는 양이다. 실제 도로에서는 차량 통행으로 인한 압설 효과가 부가되므로 실험 살포량보다 적게 살포해도 동일한 용설효과를 얻을 수 있다. 따라서, 도로에서 용설제 살포 후 차량 통행 효과까지 고려한 살포량을 적정 살포량으로 보았다.

3.1 용설제 현장 성능 실험

1) 실험과정

용설 성능 평가를 위해 제작된 투명 아크릴판에 1cm 간격으로 50cm×50cm의 눈금을 표시한 후 스크류 나사로 받침대를 만들어, 투명 아크릴판을 지지하도록 하여 용설제 살포 후 시간 경과에 따른 눈의 녹은 면적을 계산하였다.

시간 경과에 따른 용설량은 용설제 살포후 각 5분 ~10분마다 파악하였으며, 현장 여건상 눈금 칸이 표시된 아크릴판을 바탕으로 육안 관측에 의존하였다.

이 때 실험에 사용된 용설제는 염화칼슘(국산·중국산), 소금 및 내부는 소금에 걸은 염화마그네슘으로 감싼 혼합용설제(수입품) 또, 국내에서 개발한 산화칼슘계 용설제, 요소 등 총 6가지 종류의 용설제를 사용하였다.

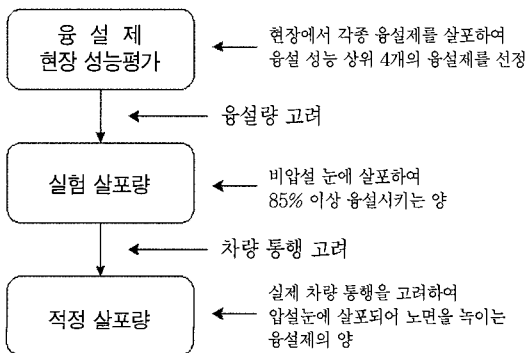


그림 4. 현장실험 절차

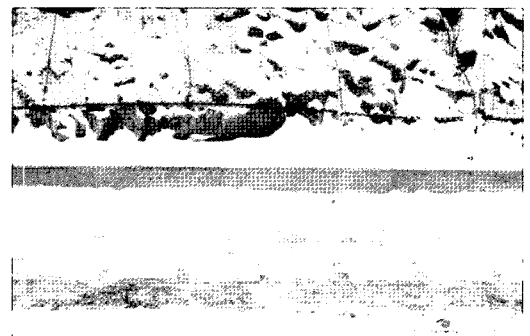


그림 5. 용설 성능 시험 전경



2) 실험 결과

눈에 염화칼슘(국산·중국산), 소금, 혼합 용설제, 요소, 산화칼슘계 용설제를 살포하였을 때, 용설 성능은 실내 실험실에서 수행된 용빙량 실험과 마찬가지로 초반에는 염화칼슘의 용설량이 많으나 후반으로 갈수록 소금의 용설량이 많게 나타났다. 또, 국산 염화칼슘과 중국산 염화칼슘의 경우 실험실의 어는 점 내림 및 용빙량 실험에서는 약간의 차이(약 5~6%)가 났으나, 실제 현장 실험에서는 그 차이가 실험실보다 크게(10% 이상) 나타났다.

적설량 3cm(용설제 140g)와 5cm(용설제 233g)에서의 실험 결과는 그림 6, 그림 7과 같이 나타났다. 전체적인 결과는 실내 용빙량 실험과 마찬가지로

초반에는 염화칼슘(국산, 중국산)의 용설 성능이 좋았고, 시간이 지날수록 소금의 용설 성능이 증가하였다. 요소와 산화칼슘계 용설제는 다른 용설제에 비해 용설 성능이 아주 떨어짐을 보였다.

- 초반 : 국산 염화칼슘>중국산 염화칼슘>혼합 용설제>소금 >> 요소>산화칼슘계
 - 후반 : 소금>국산 염화칼슘>중국산 염화칼슘>혼합 용설제 >> 요소>산화칼슘계
- (단, 시간적 개념인 초반, 후반은 적설량과 기온에 따라 상이하므로 대체적인 추세로서 초반, 후반으로 표시하였음.)

그림 8은 적설량 5cm, 온도 -3℃조건에서 233g

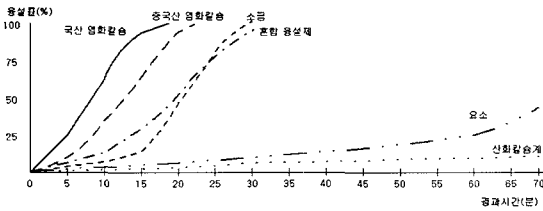


그림 6. 용설제별 시간 경과에 따른 용설률 (적설량 3cm, 용설제 140g, 온도 -5℃)

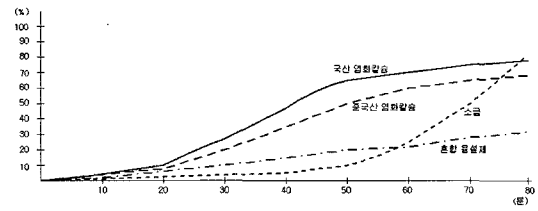
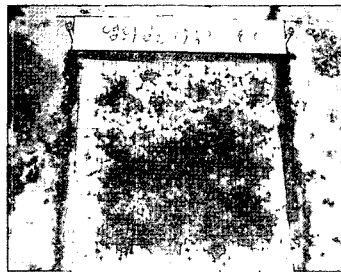


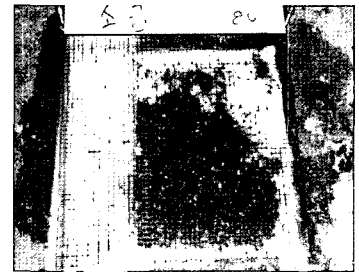
그림 7. 제설제별 시간 경과에 따른 용설률 (적설량 5cm, 용설제 233g, 온도 -3℃)



(a) 국산 염화칼슘



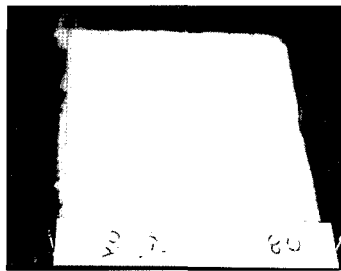
(b) 중국산 염화칼슘



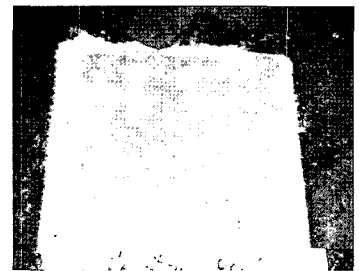
(c) 소금



(d) 혼합 용설제



(e) 요소



(f) 산화칼슘계 용설제

그림 8. 적설량 5cm, 온도 -3℃에서 용설제 233g의 성능 실험(80분 경과)



용설제 살포, 80분 경과 후 용설 상태에 관한 실험 현황 사진이다.

3.2 차량 미통행시 실험 살포량의 결정

1) 개략적인 살포량의 범위 결정

차량 미통행시 실험 살포량을 결정하기 위하여 우선, 현재 현장에서 적용중인 일반적인 살포량을 고려하여 실험 살포량에 접근하기로 하였다. 개략적인 살포량의 범위를 결정한 과정은 다음과 같다.

- 도로관리청별로 차이는 있지만 일반국도에서 평균적으로 실제 도로에 살포되는 제설제(용설제+마찰제)의 양은 0.2~0.4kg/m²의 범위로 0.4kg/m²를 기준으로 함.(이 때, 적설량의 기준은 3cm임)
- 초기 예비실험(적설량 3cm, 온도 -5℃, 면적 50cm×100cm)에서 용설제 300g을 살포하여 실험한 결과 눈이 녹은 후에도 염화칼슘의 잔량이 남아있어 이보다 적은 양을 살포함.
- 실험 면적을 50cm×50cm로 줄이고 눈의 체적을 계산하여 개략적인 적설량에 따른 살포량의 범위를 산정함.

살포량의 범위는 표 4와 같으며 적설량의 체적에 따라 같은 행에 존재하는 살포량은 동일한 것으로 간주한다.

표 4. 적설량에 따른 실험 살포량 환산표

적설량(cm)	2	3	4	5	6	7	단위체적당 살포량(g/m ³)
살포량(g)	53	80	107	133	160	187	110
	67	100	133	167	200	233	130
	80	120	160	200	240	280	160
	93	140	187	233	280	327	190
	107	160	213	267	320	373	210

※ 단, 굵은선 안은 기준 살포량

2) 실험 살포량의 실험 과정

실험 살포량을 결정하기 위하여 용설제별로 표 4에 제시된 기준 살포량의 범위에서 살포량을 조절하여 살포하였다. 실험 살포량 산정을 위한 실험 과정은 다음과 같다.

- 예비실험 살포량(3cm일 때 150g)을 전후로 1가지의 용설제를 살포함.
- 시간별로 용설량을 검토하여 85% 이상을 녹인 살포량중 최소값을 찾음.

3) 실험 살포량 산정 결과

적설량 3~5cm일 때, 표 4의 범위에서 살포량을 조절하여 살포하였을 때, 도출된 실험 살포량은 용설제별로 차이가 있으나, 대체적으로 적설량 3cm일 때 140g 정도로 나타났다.

이때, 염화칼슘과 소금의 경우 50cm×50cm의 체적에 실험 살포량은 적설량 3cm일 때 140g 즉, 단위체적당 살포량 160g/m³으로 나타났고, 혼합 용설제의 경우 적설량 3cm일 때 160g 단위체적당 210g/m³으로 나타났다. (그림 9~그림 10)

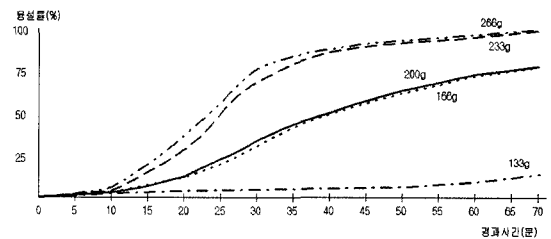


그림 9. 염화칼슘 살포량에 따른 용설률 (적설량 5cm, 온도 -2℃)

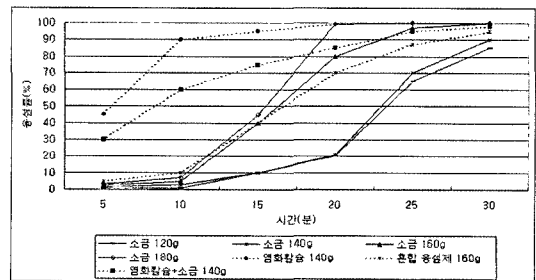


그림 10. 소금 살포량에 따른 용설률(적설량 3cm, 온도 -3℃)

실험 살포량 실험에서 적설량이 3cm를 초과한 경우 실험 면적의 85% 이상 눈을 녹이는 데 용설 시간이 2배 이상이 소요되거나, 85% 이상의 눈을 녹이지는 못하는 결과를 얻어냈다. 따라서, 적설량이 3cm를 초과하는 경우에는 용설제만 의지하여 제설작업을 수행하는 것은 효과적이지 못한 것으로 판단되었다. 즉, 평지 조건에서는 제설제(용설제, 마찰제)만 살포하여 제설작업을 수행하는 것은 3cm까지로 제한을 두고, 적설량이 3cm 이상일 때에는 밀어내기 작업 수행 후 제설제 살포로 제설작업을 수행하는 것이 효과적인 것으로 본 연구에서는 제안한다. 실제로 3cm 미만 강설시에는 밀어내기 제설작업이 사실상 어렵다는 점에서 이러한 제안은 의미가 있다.

따라서 본 연구에서는 3cm까지를 제설제 살포로 제설작업을 수행함을 가정하였다. 또 제설 성능을 평가하기 위해서는 체적당 살포량 g/m^3 을 사용했으나, 도로에서 실제 제설작업을 수행시 체적의 개념보다는 도로의 폭과 길이를 고려한 면적의 개념을 사용하므로 실제 현장에서 적용될 적정 살포량에서는 최대 제설제 사용 가능 강설량 3cm에서의 면적당 살포량인 g/m^2 을 단위로 고려하였다.

결과적으로 적설량 3cm일 때 소금과 염화칼슘의 실험 살포량은 50cm×50cm의 면적에서 140g, 1m×1m의 면적에서 560g/m²으로 각각 도출하였다.

4.3 차량 통행시 적정 살포량의 결정

실험 살포량은 압설되지 않은 자연설에 용설제를 살포하여 85% 이상을 녹일 수 있는 최소 살포량이다. 그러나 실제 도로에서는 자연설이 아니라 눈이 온 뒤 어느 정도 압설이 되거나 차량의 주행으로 인해 슬러시화 되는 경우가 대부분이어서 차량 바퀴와 노면 마찰에 의한 압설 효과로 실험 살포량보다 더 적은 양을 살포해도 동일한 효과를 얻을 수 있다.

따라서, 실제 차량이 통행하는 도로를 고려하여 (실험)차량 통행에 의해 그 효과를 볼 수 있는 수준의 제설제 살포량을 적정 살포량이라 할 때 그 양은

실험 살포량보다 양이 적게 나타난다.

적정 살포량 실험은 실험 살포량에서 가장 성능이 좋게 나온 염화칼슘과 소금, 그리고 (염화칼슘+소금) 1:1 혼합물에 대해서 수행하였다.

1) 실험 방법

적정 살포량을 결정하기 위한 현장 살포 면적은 2.5m×10m로 설정하였고, 각 살포 영역 중간에 전이 구간 2.5m×4m를 설정하여 한 용설제가 다른 용설제에 영향을 주지 않도록 하였다(그림 11 참조). 실험은 주로 강설후 제설작업을 하지 않은 도로(2002년 1월 전라북도 장수의 군도, 지방도)에서 수행되었다. 적정 살포량을 산출하기 위한 실험과정은 다음과 같다.

- 제설작업이 수행되지 않은 도로에 살포 면적 폭 2.5m×길이 10m, 전이 면적 폭 2.5m×길이 4m의 구역을 분할하여 설정하였다.

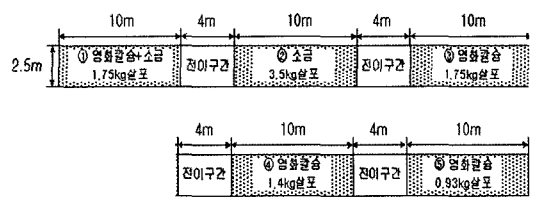


그림 11. 현장 적정 살포량 실험 개념도 (적설량 3.5cm, 기온 2℃)

- 살포량 범위를 결정하기 위해서 적설량 3cm에서 살포 면적 1m×1m에 대한 실험 살포량을 560g으로 고려할 때, 압설 실험 살포 면적 2.5m×10m(25m²)일 때 실험 살포량은 14,000g으로 계산된다. 본 연구에서는 적정 살포량은 실험 살포량(14,000g)에 대한 비율을 다르게 하여 살포 적정량을 도출하였다.

표 5. 실험 살포량(560g/m²)에 따른 비율

실험 살포량에 대한 살포 비율	1/1	1/2	1/4	1/5	1/6	1/8	1/10	1/15
살포량(g)	14,000	7,000	3,500	2,800	2,333	1,750	1,400	933

○ 해당 면적에 각 용설제를 살포한 후 시험차량으로 왕복 주행을 하며, 주행 횟수에 따라 노면 용설 상태를 확인하였다.

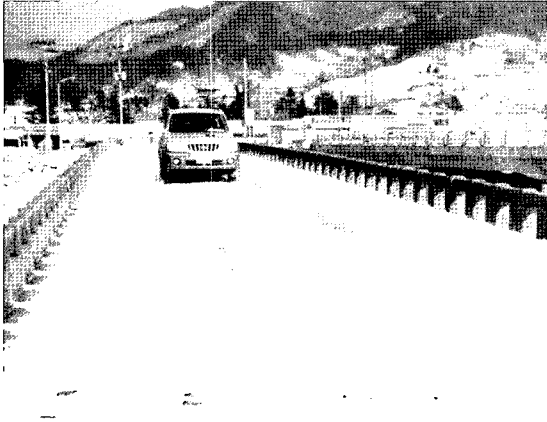


그림 12. 실험장 전경 및 시험 차량 주행 모습

2) 실험 결과

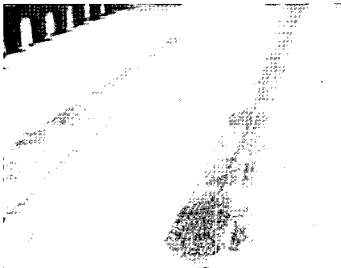
염화칼슘 0.933kg, 1.4kg, 1.75kg(각, 실험 살포량의 1/15, 1/10, 1/8 수준), 소금 1.75kg(실험 살포량의 1/8수준), 소금+염화칼슘 1.75kg(실험 살

포량의 1/8 수준) 등 총 5가지 경우에 대해 실험을 수행하였는바, 43분간 40회 주행을 하였다. 이는 1시간 교통량 기준으로 약 56대/시 1일 교통량 기준으로 약 500~600대/일 수준이다.

차량 10회 주행후(전역 살포후 12분 경과) 실험 살포량(14kg)의 1/10 수준인 1.75kg의 염화칼슘을 살포한 영역에서는 노면의 검은 부분이 나타났으며, 소금 1.75kg과 소금+염화칼슘 1.75kg를 살포한 노면에서는 차륜 궤적을 중심으로 서행 운행이 가능할 정도의 노면이 드러나 가장 활발한 결과를 보여주었다.

30회 주행 후(전역 살포 후 42분 경과) 염화칼슘을 가장 적게 살포한 0.933kg(실험 살포량의 1/15 수준)의 영역에서 반응이 가장 늦었으나, 이 영역도 부분적인 용설 효과가 나타났다. 그밖의 다른 영역에서는 차륜 궤적을 중심으로 용설이 활발하였으며, 특히 소금을 살포한 영역에서는 차륜 부분뿐만 아니라 전체적으로 활발한 용설이 일어났다.

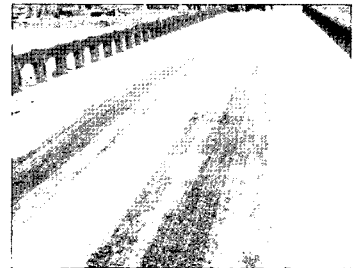
차량 40회 주행 후(전역 살포후 51분 경과) 염화칼슘 0.933kg(실험 살포량의 1/15 수준)이 살포된



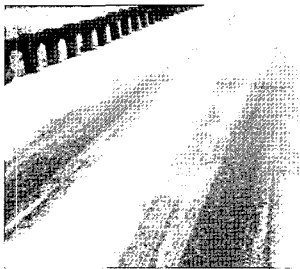
(염화칼슘 0.933kg 살포)



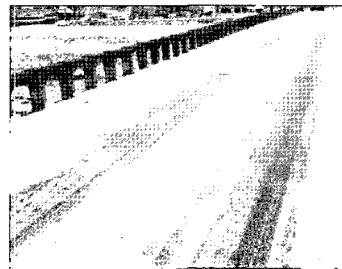
(염화칼슘 1.4kg 살포)



(염화칼슘 1.75kg 살포)



(소금 1.75kg 살포)



(소금+염화칼슘 1.75kg 살포)

그림 14. 차량 40회 주행 후(51분 경과) 노면 상태 변화



영역에서는 차량 통행이 가능한 수준으로 노면이 녹았다.

그 외 다른 영역에서는 차량 통행이 가능할 정도로 노면이 드러났으며(bare pavement), 특히 소금과 소금+염화칼슘 살포 영역에서는 같은 양의 염화칼슘 단독 살포 구간보다 융설 효과가 약간 나은 것으로 나타났다.

이 실험에서는 실제 교통량을 고려하지 않고, 단순히 시험차량의 왕복 주행으로만 의존하였다. 시험 차량에 의한 차량 주행방법은 ADT 약 500~600대, 차량속도 20km/h~30km/h 수준으로 실제 도로의 교통량과 주행속도와는 차이가 있을 수 있다.

결과적으로, 염화칼슘 0.93kg 살포 구간에서 차량 40회 주행 시 통행이 가능할 정도의 수준으로 되어, 본 연구에서는 이 구간에 살포된 염화물량을 적정 살포량으로 정하였다. 즉, 실제 도로에서는 2.5m×10m의 영역에 실험 살포량의 1/15 수준인 0.93kg을 적정 살포량으로 간주한 것이다.

따라서, 1m²당 살포하는 살포량은 933g/25m²=37.3g/m² 이고, 1차로를 3.5m로 가정하였을 때, 1km 구간에 살포하는 살포량은 약 130kg의 융설제(염화칼슘, 소금 기준)가 필요하게 된다. 이는 25kg들이 염화칼슘의 5포대가 약간 넘는 수치로, 2차로 기준으로 1km 살포할 때는 융설제 260kg이 필요하다(1톤으로 2차로 도로 4km 살포, 100톤으로 400km 살포).

5. 결론

본 연구에서는 국내에서 사용중인 융설제에 대해 실험실과 현장 조건에서 융설 성능을 비교 실험한 후 이를 근거로 적정 살포량을 산정하였다.

실험실 조건과 현장 조건에서 수행한 융설제 성능 비교에서는 염화칼슘은 초기에 반응속도가 빠르나, 시간이 지날수록 소금이 눈을 많이 녹이는 현상을 나타냈다. 이는 국내의 대부분의 융설제가 염화칼슘에

의존하는 현실에 비해 소금 또한 융설제로서의 역할을 충분히 담당할 수 있음을 뜻한다. 또 염화칼슘과 소금의 상호 단점을 보완할 수 있는 소금과 염화칼슘을 혼합하여 살포하는 것도 만족스러운 것으로 나타났다.

다음으로 융설제를 어느 정도 살포하는 것이 적절한 한지를 알아보기 위해 도로 현장에서 주요 융설제를 살포하여 주행실험을 하였다. 실험 결과 산정된 적정 융설제 살포량은 '130kg/km-차로'로 도출되었는데, 이는 1톤의 융설제(소금, 염화칼슘 또는 소금+염화칼슘 1:1 혼합물)로 2차로 도로 4km에 살포할 수 있는 양이다.

또 융설제 성능평가를 통하여 적설량 3cm 이상의 경우에는 융설 성능이 현저히 떨어지므로 적설량 3cm까지 제설제를 통한 제설을 수행하고, 3cm 이상인 경우에는 물리적 제설로 눈을 제거한 뒤 제설제를 살포하는 것이 효과적이라는 결론을 도출하였다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원(2002), 도로 제설 매뉴얼 제정을 위한 연구, 건설교통부.
2. 환경부(2002), "환경정책기본법 시행령".
3. "Standard Test Method for Freezing Point of Aqueous Engine Coolants", *Annual Book of ASTM Standards*, D1177-88, 1988.
4. Cecil C. Chappelow, A. Dean McElroy, Robert R. Blackburn, et al., *Handbook of Test Methods for Evaluating Chemical Deicers*, SHRP H-332, Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington, D.C., 1992.
5. SHRP H-205.1, "Test Method for Ice Melting of Solid Deicing Chemicals".
6. SHRP H-205.3, "Test Method for Ice Penetration of Solid Deicing Chemicals".

〈접수:2005. 10. 13〉