

도로 결빙 방지 및 예측 기술 소개

Introduction of prevention and prediction techniques of road surface freezing



김 종 우
(주)유디코/대표
jwkim@judico.co.kr



김 현 기
한국철도기술연구원/
철도구조연구실/선임연구원
khkim@ktrire.kr

1. 기술배경

최근 고속도로, 산업도로, 각종 교량 및 터널 등의 육상 교통을 확보하기 위하여 많은 사회간접자본이 투입되고 있다. 이처럼 현대사회에서 도로는 점점 더 넓고 달리기 좋게 만들어지지만 이에 대한 안전 대책은 상대적으로 미흡한 실정이다. 특히 서울지방경찰청 통계에서도 겨울철 폭설과 결빙으로 인한 미끄럼 사고는 겨울철 사고의 50%를 차지할 정도로 매년 끊임없이 일어나고 있음에도 불구하고 겨울철 폭설과 결빙으로 인한 안전대책은 매우 미흡한 것이 현실이다. 특히 도로 결빙으로 인한 사고는 경미한 사고로 그치지 않고 대형 추돌사고 내지는 교통흐름을

방해하므로 물적, 인적피해 뿐 만 아니라 막대한 경제적 피해까지 발생시킬 수 있다.

따라서, 선진국의 경우 이미 1980년대 후반부터 겨울철 안전한 도로 구현을 위한 연구가 활발히 진행되어 현재는 실용화된 제품들이 적극 활용되고 있다.

미국의 미시시피 주에서는 액체 분사 방식의 결빙방지 장치를 미시시피 교량에 설치하여 분석한 결과 결빙방지 장치를 설치 후 사고가 약 70%정도 감소됐다고 보고된 바 있으며, 캐나다의 경우도 온타리오 교량에 액체 분사 결빙 방지 장치를 설치한 이후 겨울철 사고횟수가 설치 전 14건이던 것이 설치 후에는 “0”건으로 나타났다고 보고된 바 있다.

이상의 결과에서 알 수 있듯이 겨울철 눈과 결빙으로 인한 사고는 적절한 결빙 방지 장치를 통해 상당수 감소시킬 수 있는 것으로 분석되고 있다. 특히 산악지형이 많은 우리나라 도로 현실을 볼 때 겨울철 안전한 도로 구현을 위한 도로 결빙 방지 및 예측 기술을 개발하여 확보하는 것은 매우 중요하다고 판단된다. 이에 본 기사에서는 해외의 도로 결빙 방지 기술을 조사하고 이를 바탕으로 현재 국내외에서 개발 중인 도로 결빙 방지 및 예측 기술을 소개함으로써 국내 현실에 적합한 도로 결빙 방지 시스템을 검토해보고자 한다.

2. 도로 결빙 방지 및 예측 기술

2.1 도로 결빙 감지 기술

국내에도 도로의 결빙을 감지하기 위한 다양한 센서들이 도입되어 일부 운영 중에 있으나 아직까지는 큰 실효성을 거두고 있지 못하는 실정이다. 특히 그러나 현재 국내 도입된 시스템은 대부분 수입 제품이기 때문에 가격이 고가이고 그 실효성도 아직까진 의문인 것이 사실이다. 일반적으로 도로의 결빙은 대기상태 및 노면상태를 종합적으로 관찰하여 판단하게 되는데, 국내에서는 대기상태를 관측하는 장비로 무인 자동기상관측 시스템(AWS)이 보급되어 현재 기상청/농진청 및 기상 유관 기관과 민간 기관에서 설치한 AWS는 약 1,000곳에 이르며, 관측 자료는 기후학적 분석이 가능할 정도로 방대한 양이 구축되어 있다.

그러나, 현재까지도 노면상태를 관측할 수 있는 장치는 부족한 상태이며, 2000년 건설교통부 주관으로 이뤄진 “지능형 도로기상정보시스템” 연구를 통해서 도로 기상을 측정하기 위한 시제품이 출시되었지만 노면의 상태 정보를 수집하는 것에 머무를 뿐 겨울철 폭설이나 결빙에 대한 대책을 제공하지는 못하는 실정이다.

한편, 미국의 경우 1980년대 중반 미네소타, 위스콘신,

펜실베이니아, 뉴저지 등에서 도로의 결빙여부를 판단 및 예측하기 위하여, 도로 노면의 온도를 측정하는 실험을 지속적으로 수행하여 왔으며, 독일, 핀란드, 스위스, 러시아, 프랑스, 미국, 일본 등 26개국에서 현재 도로 노면 온도 및 상태를 감시하기 위한 노면 상태 관측 시스템을 설치 운영 중에 있다. 각 국가에서는 각자의 도로 여건에 적합한 자체 시스템을 민간 기업이 개발하여 공급하고 있는데, 실시간 모니터링이 가능한 노면 상태 관측 시스템에서 측정되는 정보들은 도로 관리자들에게 실시간으로 전송되어 감시 자료로 활용되며, 데이터베이스로도 구축되어 노면 상태를 평가하기 위한 연구 자료로 사용되고 있다.

스위스에서 노면 상태 관측 시스템을 설치하기에 앞서 최적의 설치위치를 알아내기 위한 이동식 관측 장비를 개발함으로써 노면 상태 관측 시스템의 최적의 설치위치를 과학적 근거에 의하여 선정하고 있다. 또한, 스위스의 노면 상태 관측 시스템은 노면의 상태를 파악할 뿐만 아니라 GPS 기술과 연계하여 노면의 상태를 운전자와 도로 관리자들에게 전송함으로써 보다 안전하고 효율적인 도로 관리를 하고 있다.

일본에서도 노면 상태 관측시스템 뿐만 아니라 이동식 관측 시스템을 개발하여 도로가 위치한 지형적 특성과 노면 상태와의 상관관계에 대해서도 연구를 수행하고 있다. 또한, 노면의 상태변화에 따른 관측결과의 변화를 보다 효과적으로 분석하기 위하여 이동식 관측 시스템에 카메라를 추가적으로 도입한 사례도 주목할 만하다. 전술한 내용을 포함하여 전 세계적으로 노면의 상태를 파악하기 위하여 사용되는 센서는 크게 도로에 매설하는 접촉식, 간접적으로 측정하는 비접촉식으로 구분할 수 있으며, 대표적인 노면 상태 측정 센서의 특징을 정리하면 다음 표 1과 같다.

2.2 도로 결빙 방지 및 융설 기술

연교차가 침하고 특히 겨울이 유난이 길어 1년의 절반 정도의 기간 동안 눈이 내리는 일본의 아오모리 및 삿포로

(표-1) 대표적인 노면 상태 측정 센서의 특징

구분	사진	특징
접촉식		○센서명 : Active pavement sensor, type BOSO II ○제조사 : Boschung mecatrinoc (독일) ○측정치 : 노면 온도, 상태, 결빙점, 염분율 ○특징 : • 노면상태표시 : 건조, 습윤, 강우, 살얼음, 결빙 • 기계적 압력과 화학약품에 뛰어난 내구성 • 노면온도 이하 2°C이내의 결빙점 능동적 감지 • 노면 위의 염분율 감지
		○센서명 : Passive pavement sensor, type BOSO ○제조사 : Boschung mecatrinoc (독일) ○측정치 : 노면 온도, 상태, 염분율 ○특징 : • 노면상태표시 : 건조, 습윤, 강우, 살얼음, 결빙 • 기계적 압력과 화학약품에 뛰어난 내구성 • 노면 위의 염분율 감지
		○센서명 : IRS21 Road Surface Sensor ○제조사 : Campbell Scientific (미국) ○측정치 : 노면 온도, 상태, 염분율, 결빙온도, 수막높이, 지중온도 ○특징 : • 노면 상태 모니터링을 내장한 수동적 센서 • 수막 측정을 위한 Radar Procedure 탑재 • 태양열 구동으로 적은 전력소모
		○센서명 : SIT-6E Pavement Sensor ○제조사 : ETI (미국) ○측정치 : 노면 결빙, 적설 ○특징 : • 센서 매설지점에 적설을 녹여 소산되는 시간과 양을 계산
비접촉식		○센서명 : Road-Eye sensor ○제조사 : Miracle Ind.Co.,Ltd (스웨덴) ○측정치 : 노면 온도, 노면 상태, 노면 위 염분율 ○특징 : • 노면상태표시 : 건조, 결빙, 강설, 강우, 습윤 • 한번에 다양한 데이터 양산 rksmkd • 표면파장의 산란 및 반사파 특성을 이용하여 측정 • 유지보수 용이
		○센서명 : Remote Road Surface Sensor, DSC111 ○제조사 : VAISALA (핀란드) ○측정치 : 노면 온도, 노면 상태 ○특징 : • 노면상태측정 : 건조, 습윤, 적설, 결빙, 서리, 살얼음 • 효과적인 시정성으로 교통량이 많아도 높은 계속 정확도 • Eye-safe 레이저 기술 • 낮은 유지비용 • 방수처리 및 높은 내구성

와 같은 일부 지역에서는 그림 1과 같이 다양한 제설장비 및 결빙 방지 기술들이 오래전부터 개발되어 융설(融雪)에 활용되고 있다. 현재 도로 결빙을 방지하고 폭설시 노면에 쌓인 눈을 융설할 수 있는 기술로 적용되고 있는 대표적인 기술로는 분사형 시스템을 이용한 융설방식과 전열선 혹은 전열 판을 이용한 융설방식으로 꼽을 수 있다.

먼저 분사 시스템을 이용한 기술은 노면 온도, 상태 및 기상조건을 센서로 관측하여 노면이 결빙되기 전에 노면에 설치된 분사시스템을 이용하여 제설액을 사전에 분사하여 결빙을 방지하고 융설하는 기술이다. 설치 방법으로는 도로 차선분리선, 갓길 및 방호벽을 통한 노즐 및 공급 관로가 매립, 설치되며, 노면 상태 관측 센서는 도로 커팅



〈그림 1〉 일본의 다양한 제설 및 용설 장비

후 매립하여 설치된다. 또한, 제설액 보관을 위한 펌프하우스도 설치되어야 한다. 전열선 및 전열판을 이용한 기술은 구리-니켈 합금선 등과 같은 전열선 혹은 전열판이 지열 혹은 전기적 저항으로 인해 발열하는 현상을 이용하여 노면을 용설하는 기술로서, 포장체 내 5~7cm 깊이로 전열선을 매설하여 시공되며, 운영 시 가동을 위한 초기 예열과정이 필요하다는 특징이 있다. 대표적인 도로 결빙 방지 및 용설 기술을 비교하여 정리하면 표 2와 같다.

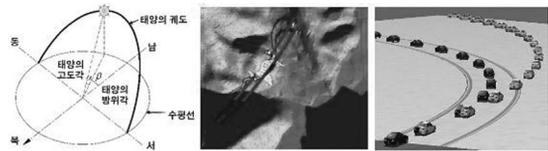
〈표-2〉 대표적인 도로 결빙 방지 및 용설 기술

	용설액 분사방식	전열선 방식
적용 사진		
원리	• 도로 하부나 측면에 노즐을 설치하여 용설액 분사	• 표층 아래에 전열선을 설치하여 지열 혹은 전기저항을 통해 용설
장점	• 유지관리에 저렴 • 보수가 용이함	• 단연장일 경우 경제적 • 주변 환경 영향 없음
단점	• 제설액으로 인한 환경오염 • 용설 설비 수입 의존	• 중차량 주행 시 전열선 단선 가능 • 유지보수가 어려움 • 적용 연장이 길 경우 설치 및 전력비용 높음 • 교면 포장 설치 시 방수재 노화 가능성 존재
설치비용	고	중
운영비용	저	중

2.3 결빙 위험 구간 예측 기술

지금까지 살펴본 도로 결빙 방지 및 용설 기술은 폭설이 예상되는 상황 뿐 아니라 이미 눈이 내리고 있는 상황에서도 즉시 대응이 가능하므로, 폭설 초기에 효율적인 처리로 노면 결빙으로 인해 발생 가능한 교통사고와 교통지, 정체를 감소시킬 수 있는 장점을 가지고 있어 미국이나 독일 등 선진국에서는 널리 활용되고 있다. 결빙 방지 시스템은 설치비가 고가이고, 설치되는 장비의 종류에 따

라 운영·유지관리에 비용이 소요되기 때문에 모든 구간에 설치하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 어떤 지역에 결빙 방지 시스템을 적용하여야 하는지에 대한 평가 기술은 매우 중요하다고 할 수 있다. 일반적으로 노면이 결빙되는 조건은 각 구간의 일사량, 적설량, 지역별 기온 분포 등에 따라 큰 편차를 나타내며, 객관적인 기준에 근거에서 사고 가능성이 높은 상습 결빙 지역에 설치하는 것이 바람직하다. 최근 국내에서는 결빙 확률을 정량화하여 위험 구간을 파악할 수 있는 프로그램들이 일부 개발되어 터키 및 대안 설계에 활용되고 있다. 그러나 프로그램 개발 업체들 마다 분석 방식이 상이하고 절대적인 기준은 없는 실정이다. 기본적으로 프로그램 산출 방식은 그림 2와 같이 노선 각 구간별 3차원 모델에 대한 음영/일사 시뮬레이션 실시하고 일사량에 대한 분석 결과를 일조시간 및 에너지 단위로 정량하는 방법을 적용하고 있다.



〈그림 2〉 3D 시뮬레이션에 의한 결빙 위험 구간 예측 기술

3. 결론

도로의 결빙은 겨울철 차량사고의 큰 원인으로 작용하며, 특히 주행속도가 계속 빨라지고 있는 현대사회의 도로에서의 노면결빙은 대형 사고를 유발할 수 있기 때문에 노면결빙을 방지하는 것은 매우 중요하다. 노면결빙을 방지하기 위한 시스템이 효과적으로 활용되기 위해서는 노면의 상태를 정확하게 파악하고 이를 통해 노면결빙 징후를 사전에 예측할 수 있는 기법을 개발하는 것이 필수적이다. 그러나 아직까지 국내의 도로 결빙 방지 시스템은 대부분 해외 시스템을 차용하는 단계로 수입하여 들여온 제품 자체를 설치하여 손쉽게 사용하는데 초점이 맞춰졌기 때문에 국내 특성에 맞는 독자적인 기술을 충분히 확보하지 못한 상태로 평가받고 있다. 특히, 현재 국내에서 사용되고

있는 고가의 결빙 방지 시스템의 경우 운영 및 노면 상태 평가방법이 복잡하여 오작동, 오판의 문제가 빈번히 발생되고 있다고 보고되고 있다.

따라서, 국내 지형 및 기후 조건에 적합한 경제적이며 정확하게 도로 결빙 예측을 할 수 있는 센서 및 융설 시스템을 개발하는 것이 시급하다. 이를 위하여 노면의 온도 및 습도를 기반으로 노면의 상태를 판정하고, CCTV 등과 같은 영상장비를 사용하여 기존의 도로 결빙 방지 설비보다 능동적으로 기상상황에 대응할 수 있는 시스템을 개발하는 것을 검토하여 보다 광범위한 결빙 위험지역에 적용할 수 있는 기술을 개발하는 연구가 요구된다.

또한, 결빙이 예측되어 도로 관리자가 제설제를 분사 혹은 절연선을 가동 시켜 융설을 실시하였다고 하더라도 제설액 및 절연선의 효과가 떨어진 이후 발생할 수 있는 2차 결빙에 대한 위험성도 고려해야 하며, 이러한 2차 결빙은 초기 결빙보다 더욱 치명적이라고 알려져 있다. 따라서 도로의 결빙을 융설하는 시스템과 더불어 노면의 상태를 실시간으로 관측하여 노면 결빙을 예측하여 사전에 융설 시스템을 운영할 수 있는 노면결빙 예측 기술의 개발이 어느 때보다도 시급한 과제라 할 수 있을 것이다.

