

동결예측에 의한 겨울철 도로관리의 고도화

한국과학기술정보연구원
전문연구위원 차성기
(chapc@reseat.re.kr)

1. 머리말

- 일본은 1992년 “스파이크 타이어(spike tire)의 분진발생을 방지하는 법률”을 시행하여, 스파이크 타이어의 사용을 금지하고 있다. 그 이후 노면의 미끄럼 사고 등으로 겨울철의 사고 증가와 동결방지제의 살포 량 증가로 도로관리 비용이 증가하는 등의 문제가 발생하고 있다.
- 겨울철 사고 가운데 중대한 사고는 엄동기보다 오히려 초겨울에 많이 발생하며, 이는 초겨울에 도로 노면의 변화가 심해서 운전자의 대응이 어렵기 때문이다. 사고는 보통 커브 길에서 많으나 교량이나 터널입구 등에도 많은데, 이는 다른 구간과의 온도 특성이 달라서 노면이 급변하는 것으로 보고 있다.
- 일본의 (독립행정법인)토목연구소 한지(寒地)토목연구소는 도로의 구조별로 온도특성을 고려하여 노면의 동결예측을 함으로, 적절한 겨울철 노면관리의 고도화를 연구하고 있어 소개한다.

2. 스파이크 타이어 규제의 영향과 노면동결의 예측

- 겨울철 자동차의 운행에서 가장 중요한 요소는 스노타이어와 바닥사이의 마찰계수로서 도로교통의 특성이나 안전성을 크게 좌우하게 되는데, 스파이크 타이어의 사용규제로 도로교통에 주는 영향이 컸다.
- 북해도에서 실시한 시민 의식조사에 의하면, 스파이크 타이어의 사용규제는 좋다는 평가가 많아서 규제를 받아들여야 한다는 종합평가가 있었다. 그러나 겨울철의 교통정체, 미끄럼 사고의 증가, 동결 방지제의

살포 량 및 도로관리 비용의 증가 등 상당한 대가를 지불하고 있다.

- 스파이크 타이어 규제법의 표결 당시, 대체 타이어의 연구개발, 2차 공해발생의 방지 등도 부대 결의되어, 겨울철의 적절한 도로관리를 위한 기술개발이 불가피하였다.
- 1989~2001년 동안 스파이크 타이어 규제 이후 북해도의 겨울철 교통사고를 보면, 미끄럼 사고의 86%는 동결된 노면에서 발생하였고, 초겨울인 12월에 많았다. 발생빈도는 교차로와 커브구간에서 많고, 미끄럼 사고율은 터널 및 교량에서 높았으며, 사고 사망률도 커브구간, 교량, 터널이 높았다.
- 북유럽에서는 기상 영향으로 노면이 급변하는 경우 노면의 동결예측을 함으로서, 동결 방지제의 살포 등 의사결정의 지표로 하는 등 동결노면의 대책을 실시하고 있다. 이에 따라 일본도 기상 및 도로의 구조별로 온도특성을 고려하여 동결노면을 예측하는 방법의 개발이 필요하였다.

3. 노면의 동결예측방법의 개념

- 동결의 예측방법의 개발은 3단계로 진행된다.
 - 제1단계: 도로의 구조나 일사의 상태가 다른 여러 지점에 기상관측과 노면의 온도를 측정하여, 기상의 기초데이터를 수집한다.
 - 제2단계: 노면에 입력 열과 방출 열에 대한 열수지 모델을 구축한다.
 - 제3단계: 열수지 모델에 기상예측 데이터를 입력하여 노면온도와 노면동결의 예측방법을 만든다.

4. 기상예측과 노면온도의 측정

- 기상관측과 노면온도 측정의 개요: Sapporo 시내의 자동차도로에서 도로구조가 다른 발한지구(發寒地區)와 상판구조가 다른 교량이 연속되는

곳 등 11개 지점에서 노면온도, 기온, 풍속의 3개 항목을 측정하였다.

- 측정결과, 동향차선(東向車線)은 북쪽으로 그늘이 많아서 노면온도는 영하로 낮았고 온도차가 6℃ 정도로 온도변화도 작은 것이 특징이며, 교차로는 노면온도가 높는데 이는 차량의 방사열을 많이 받기 때문이다.
 - 한편, 서향차선은 햇볕을 받고 있어서 노면온도가 높고 온도차가 10℃ 정도로 온도변화가 컸으며 교차로도 비교적 높았다. 따라서 노면온도는 동향차선에서는 차량의 방사열, 서향차선은 일사에 의해 크게 영향을 받고 있었다.
- 발한지구의 토공부(土工部)에서 노면온도와 기온의 단계별 출현시간을 보면, 동향차선은 그늘이어서 서향차선에 비하여 노면온도가 영하인 시간이 길어서 차이가 컸다. 주도로, 교차로의 도로구조면에서는 서향차선은 주도로, 교차로 모두 0~-2℃의 노면온도 단계가 많았고, 동향차선은 교차로는 -2~-4℃, 주도로는 -4℃ 이하가 많아서 노면온도의 차이가 컸다.
- 도로의 심도별로는, 심도 5~20mm의 노면온도 출현시간은 어느 지점에서나 대체로 비슷한 경향이었으나, 심도 30mm에서는 낮은 단계의 노면온도 출현이 많았다.

5. 열수지 모델의 구축

- 열수지 모델
 - 노면온도는 노면에 들어오는 열과 방출되는 열의 차이에서 결정되나, 주행하는 자동차에서 방사되는 열의 영향도 있다. 자동차의 영향은 차체에 의한 일사, 대기방사의 차폐, 차체의 적외방사(infrared radiation)가 있으며 이는 교통량에 따라 변화한다.
 - 따라서 노면에 공급되는 에너지는 Stefan Boltzmann 계수에 의한 노면의 적외방사, 현열전달열량(현열 Flux), 잠열전달열량(잠열 Flux), 지중전도 열량(지중 열 Flux)의 합이 된다.

- 열수지 모델에 의한 계산결과: 계산 치와 실측치를 비교한 결과, 오차를 보였고 이 오차(RMSE: Root Mean Square Error)는 약 2℃이었다.

6. 맺음말

- 스파이크 타이어의 사용규제 이후 겨울철 노면관리의 고도화를 위해서 노면동결을 예측할 수 있는 방법을 개발하고, 개념과 계산결과를 소개하였다.
- 현재, 열수지 모델의 기초모델을 만들어서 각 조사지점에서 노면온도의 현황을 재현하는 단계이다. 향후에는 도로의 구조별로 열수지 모델을 만들어서 현황의 재현성을 높이고 기상예측과 연동시켜서 노면동결의 예측방법으로 발전시킬 예정이다.
- 북유럽은 기상예측을 이용하여 노면의 동결 한 시간 전에 약제를 사전에 살포하며, 동결과 교통상황에 따라 마찰이 서서히 작아지는 안정된 기상상태 일 때는 마찰계수에 따라 의사결정을 하고 있다.
- 일본도 기복이 심한 지형이 많아서, 노면의 동결예측 방법에 의한 세밀한 노면판단이 중요하다.

출처 : 淺野基樹, 高橋尙人, “路面凍結豫測による冬期路面管理の高度化に關する研究”, 「自動車技術(日本)」, 61(5), 2007, pp.48~55

◁ 전문가 제언 ▷

- 2004년 4월과 2005년 12월에 폭설로 인하여 고속도로와 전국의 도로가 마비됨으로서 하루 이상 도로에서 발이 묶여 큰 불편을 겪은 사례가 있었으며, 눈이 많은 울릉도와 대관령 등은 상습적으로 폭설과 결빙으로 교통지체는 물론 교통사고까지 빈발하고 있다.
- 현재 건교부에서는 도로안전시설 설치 및 관리지침(2002년)이나 도로제설매뉴얼(2002년)을 제정하여 시행 중이나, 동절기의 기상변화에 대한 도로안전관리의 대책수립이 큰 관심사가 되고 있다.
- 스파이크타이어는 스노타이어에 스파이크를 박아서 빙판길에 제동력을 증가시킨 것으로, 도로의 노면을 손상시켜서 분진이 많이 발생하고 도로수명을 단축하므로 일본에서는 금지되고 있으나, 아직 우리는 금지하지는 시행하고 있지 않다.
- 통계에 의하면 일본의 아스팔트 도로포장의 수명은 평균 13년에 이르고 있으나 우리나라의 도로는 불과 5년으로, 도로의 유지관리가 얼마나 중요한지를 단적으로 보여준다.
- 겨울철의 도로에서 강설과 결빙이 가장 큰 문제이며, 이를 위한 방법으로는 노면의 가열방법과 염화물의 분사방법이 있다. 노면을 가열하는데는 히트 파이트, 전기 열, 열배관이용, 지하저수조 이용 등이 있으며, 염화물은 인력으로 살포하거나 기계식으로 자동 살포한다.
 - 그러나 염화물은 주위 토양과 수원오염의 원인이 될 가능성이 있고 고농도일 경우 생물에도 위해가 되므로 반론도 많은 실정이다. 다만 혹독한 날씨에 운전자들은 이의 사용을 용인하는 분위기도 있다.
- 노면관리는 체계적인 안전관리가 중요하지만, 이글에서 소개된 대로 노면의 동결을 사전에 예측해서 미리 대비하는 기술도 개발해서 각 지역의 기후에 맞도록 적용하는 것이 최선으로 보여 지므로, 현재 도로연구센터 등 관련기관에서 적극적인 접근이 필요하다고 본다.