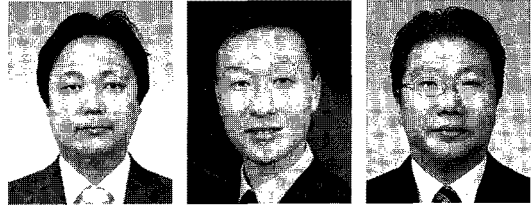


# 동절기 도로관리를 위한 도로기상정보체계 개요



양 충 현 | 정회원 · 한국건설기술연구원 선임연구원  
 윤 덕 근 | 정회원 · 한국건설기술연구원 선임연구원  
 성 정 곤 | 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구실장

## 1. 서론

도로기상정보체계 (Road Weather Information System)는 노면 상태와 관련된 기상관측과 그에 따른 장래 노면 상태 예측 그리고 도로관리자에 대한 노면정보 전송기술 모두를 포함한다. 구체적인 관점에서 도로기상정보체계는 도로변 계측장비를 통해 현재의 노면상태와 그 지점의 기상정보를 수집하여 도로관리자에게 전송하면, 그 자료와 기상청에서 제공하는 정보를 바탕으로 제설작업 투입 여부와 제설

제 사용량, 그리고 운전자 정보제공에 대한 의사결정에 필요한 모든 절차를 포함한다. 그림 1은 도로기상정보체계의 개요를 나타낸다.

도로기상정보체계의 성공적인 수행을 위해서는 기상과 노면정보가 필요한데, 이는 다양한 계측장비를 통해 수집할 수 있다.

- 기상자료
  - : 대기온도, 강수량 및 강수 형태, 시정거리, 대기압, 대기 습도, 풍속, 풍향 등
- 도로노면자료
  - : 도로노면온도, 도로노면상태(젖음, 건조, 결빙), 도로상에 살포된 제설제의 양, 노면의 결빙점 등

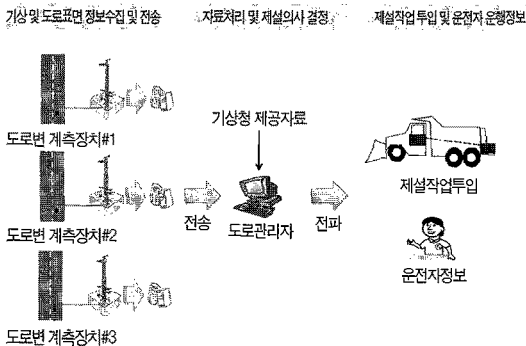


그림 1. 도로기상정보체계의 개요

현장에서 수집된 기상 및 노면상태에 관한 정보들은 현재 상태에 근거한 것으로써, 이를 통한 노면온도 예측 및 결빙점 예측을 통해 장래 2~3시간 후 도로가 결빙될 것인지 아닌지에 대한 정보를 추정할 수 있다.

## 2. 도로노면온도 분석

도로노면온도 분석은 thermal mapping 또는 thermal analysis 라고 한다. 도로노면온도는 다음과 같은 두 가지 방법으로 측정할 수 있다.

- 1) 휴대용 도로노면온도 측정기를 직접 소지하고 현장에 나가 서로 다른 기상 조건을 가지는 도로 구간을 따라 실제 도로표면온도를 측정하는 방법
- 2) 도로노면온도를 측정할 수 있는 장비를 차량에 장착한 후, 도로를 따라 주행하면서 구간별 노면온도를 측정하는 방법

현재 한국건설기술연구원에서는 도로표면온도를 측정할 수 있는 차량(RoSSAV)을 보유하고 있다. 아래 그림 2는 2009년에 수행한 영동고속도로 도로표면온도분포 분석사례를 나타내고 있다.

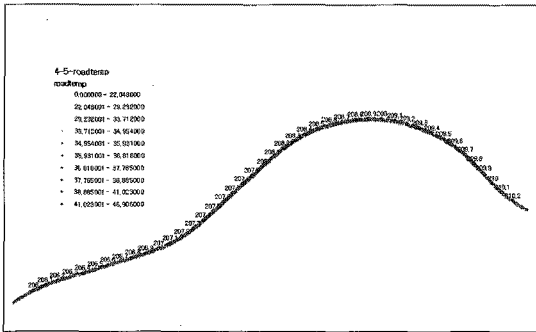


그림 2. 영동고속도로 구간 노면온도분포 분석 사례

노면온도측정은 주로 하루 중 가장 노면온도가 낮은 새벽 시간대에 수행하는 것이 일반적이다. 해가 없는 경우, 즉 일사량이 없는 경우, 노면온도의 변화는 대기온도와는 달리 크지 않다. 또한 다양한 기상 조건 하(예를 들어, 맑은 날씨, 구름 낀 날씨, 표면이 젖었을 때 등)에서 수집되는데, 이는 기상조건에 따라 도로표면온도변화 추이가 다르기 때문이다.

노면온도측정 분석은 도로표면의 정확한 온도 측정보다는 도로구간 별 상대적인 온도 차이 분석을 주

목적으로 하고, 이를 통해 얻는 노면온도분포 결과는 다양한 용도로 사용될 수 있다. 도로에 따른 노면 온도 정보는 도로기상정보체계 구축을 위해 필요한 기상 및 노면상태 정보수집 장치의 설치가 필요한 구간과 구간 내 최적 위치 선정에 매우 중요하게 사용된다. 즉, 제설과 결빙에 취약한 도로 구간 정보를 수집할 수 있고, 최적의 설치 개수 선정에도 사용될 수 있어, 결과적으로 도로기상정보체계 구축에 필요한 비용을 효과적으로 절감할 수 있다. 이 밖에도, 기상 및 노면상태 정보수집 장치가 설치된 지점 사이 구간에 대한 노면온도 profile 구축에 사용되고, 노면온도에측도형을 update 할 때 중요한 자료로 사용될 수 있다.

## 3. 도로기상정보체계 구축에 따른 편익

도로기상정보체계 구축과 시행은 다양한 편익을 제공해준다. 다음은 주요 편익을 총 6가지로 구분하였다.

### 3.1 결빙방지 효과

노면 결빙방지는 도로기상정보체계 구축 없이도 가능하지만, 일반적으로 도로관리자들은 눈이 내리기 시작하면 제설작업을 시작하고 작업에 대한 경험이나 육안 판단에 의해 제설제를 살포한다. 이러한 방법으로는 제설제의 남용과 이로 인한 환경피해 그리고 언제, 어디에 제설제를 살포해야 되는가의 해답을 찾기가 어렵다. 따라서 첨단장비를 이용한 도로 및 기상정보를 바탕으로 한 노면 결빙방지 대책이 동절기 도로와 제설제 관리에 효율적이고 효과적인 대안이 될 수 있다. 노면 결빙 방지에 대한 전략 수립은 사용할 제설제 종류, 사용량, 살포시기에 대한 의사결정이 매우 중요하다. 도로기상정보체계는 관리자들이 올바른 의사결정을 하도록 하기 위한 다양한 정보를 제공한다.

### 3.2 일상 도로 관리 횡수 감소

기상 및 노면상태 정보수집 장치에서 수집된 정확한 기상관측치들은 동절기 도로에 대한 일상적 관리 및 모니터링과 관련된 업무량을 줄일 수 있다. 도로 기상정보체계를 통해 제공되는 각종 정보를 통해 낮은 양의 눈이 내리거나 노면 결빙조건여부 확인에 대한 불필요한 업무를 감소할 수 있으므로 결과적으로 도로 관리 업무의 생산성을 높일 수 있다.

### 3.3 자원 배분의 효율성

도로구간이나 지점에 대한 기상정보와 노면상태 정보수집과 이를 통한 nowcasting(2~3 시간 후 도로상태 예측)은 적절한 시간과 도로구간에 제설작업을 위한 인력과 장비의 투입량을 조절하도록 하여 비용-효과적인 자원 배분을 달성할 수 있다. 특히, 넓은 도로구간에 이러한 점들이 반영된다면, 제설 업무 효율성이 크게 향상될 수 있다. 이것은 이미 미국 워싱턴 주(Washington State)에서 확인된 바 있다. 도로기상정보체계의 구축을 통해 동절기 도로관리 중 주말 업무량을 감소시켰을 뿐만 아니라 야간업무에 투입될 인력의 상당 부분을 주간업무로 전환할 수 있었으며, 단지 소수의 인력만이 주말이나 야간에 업무하도록 배치할 수 있었다.

### 3.4 운전자 정보 제공

현재의 도로기상정보체계의 정의는 운전자에 대한 도로 정보 전달까지를 포함하는 경향이 있다. 운전자에 대한 정보 전달은 주로 인터넷 웹사이트, 자동전화 시스템, 동적 운전자 안내표지판 등을 통해 가능하다. 이러한 정보 제공의 필요성은 정보를 받은 운전자들이 그들의 통행 경로와 통행 시간 즉, 어디로, 언제, 어떻게 통행하는가에 대해서 정보가 없는 경우와 비교해서 더 나은 결정을 한다는 가정이 뒷받침되어야 한다.

### 3.5 동절기외 도로기상정보체계 활용

도로기상정보체계의 구축은 주로 동절기 도로관리와 직접적인 관련이 있지만, 이는 또한 늦봄, 여름, 그리고 초가을 동안 도로관리자에게 효과적인 도로관리업무 계획을 수립하는데 도움을 준다. 예를 들어 노면온도정보 수집을 통해 노면 표지 재설치 작업에 가장 적합한 때를 결정한다거나 도로 재포장 시 이를 가장 신속하고, 알맞게 수행하기에 적합한 시점에 대한 정보를 제공해준다.

### 3.6 효율적인 기상 자료 사용

도로변에서 수집한 기상정보와 기상청에서 가지고 있는 정보를 혼합한 자료는 기상예측에 대한 질적인 향상에 도움을 준다. 더욱 중요한 것은 기상청에서 운영하고 있는 기상예측모형의 성능을 향상시킴으로써 결과적으로 공공부문과 민간부문의 기상정보제공 서비스 향상에 도움을 준다. 이것은 이론적으로도 더 많은 기상 관측 자료는 더 나은 기상예측 모형개발과 이를 통한 좀 더 정확한 기상 예측 값을 제공한다는 메카니즘과 일치한다.

## 4. 국외 활용 사례

미국은 이미 수십 년 전부터 도로기상정보체계를 구축하여 운영 중에 있다. 수 많은 주 예를 들어 Kansas, Missouri, Oregon, Maryland, Minnesota, Montana, Michigan, Wisconsin, New Jersey 등과 같이 지형적으로 북동부 쪽에 위치하여 동절기 도로관리가 필수적인 지역에서 도로기상정보체계는 매우 중요한 역할을 담당하고 있다. 미국연방도로청(FHWA)에서도 도로기상정보체계의 개요에 대한 정보를 제공하고 있다.

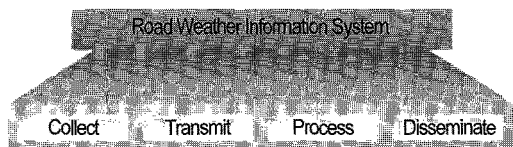


그림 3. 미국 FHWA에서 제시하고 있는 RWIS의 기능

자료 : FHWA

미국의 도로기상정보체계는 환경측정센서스테이션(Environmental Sensor Station)에 설치되어 있는 통신시스템과 송출된 자료를 수집·처리하는 중앙시스템으로 구분된다.

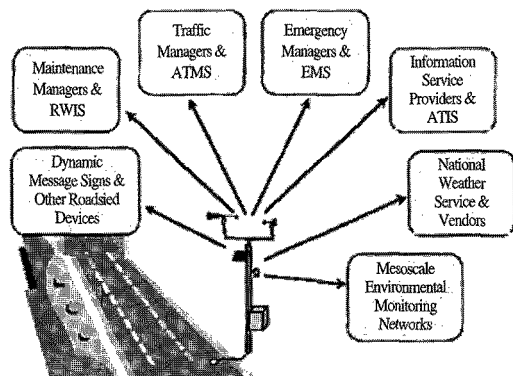


그림 4. 도로변 환경측정센서스테이션

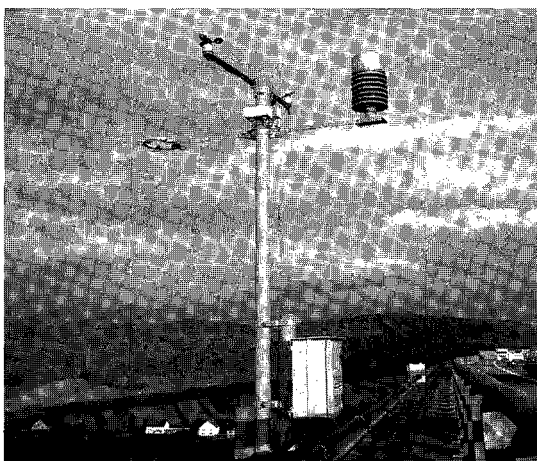
자료 : FHWA

환경측정센서스테이션에서는 대기, 노면, 그리고 노면 수분 상태를 측정하고 이를 중앙시스템으로 전달하면 중앙시스템에서는 도로기상정보를 표시하거나 전파하고 제설작업투입에 대한 의사결정을 지원한다. 이 밖에도 미국 기상청과 각 주의 도로국(DOT) 합동으로 수행한 도로 기상 관리 프로그램은 도로관리와 운영에 대한 기상과 관련된 감지(sensing), 예측(prediction), 이용(use)을 향상시키기 위한 연구 과업을 발주하여 수행하도록 하고 있다. 연구 과업의 주요 목적은 도로를 관리하는 다양한 주체들이 보다 효과적인 제설작업 투입과 운전자 정보전달 등과 같은 의사결정을 하도록 지원하고 도로 안전을 향상시키기 위한 모델링 시스템과 관측된 기상자료의 사용을 평가하기 위한 것이다. 특히 도로변 환경 센서로부터 수집한 자료가 도로 조건과 기상 예측에 가장 잘

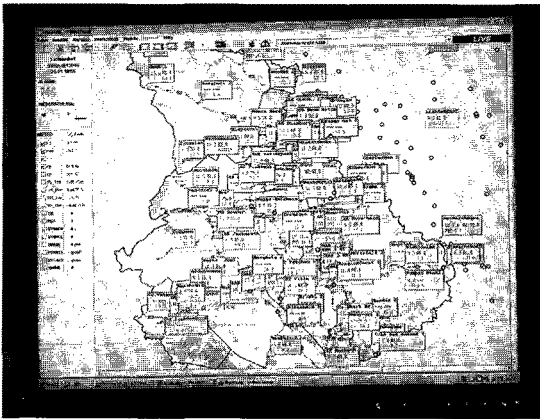
사용될 수 있는가를 평가하는 것이다.

참고로 Kansas의 경우, 도로기상정보체계 도입 이후 도로 안전향상은 물론이고, 효율적인 제설제 사용량을 통해 폭설 당 약 \$1,600 가량의 절감액을 보이고 있다. Massachusetts Highway Department의 보고서에 따르면, 한 동절기 당 \$53,000의 제설제 사용 비용 절감 효과를 거두고 있다.

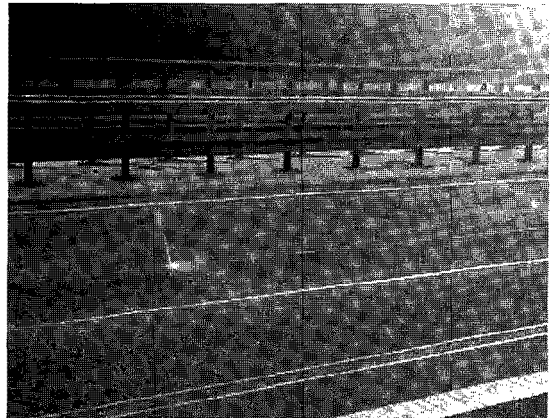
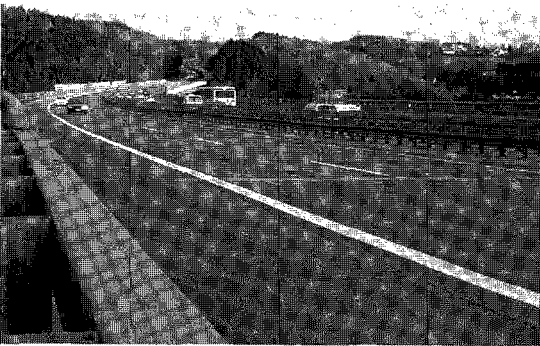
유럽에서도 스위스, 독일, 영국, 오스트리아 등 많은 나라에서 도로기상정보체계를 도입하여 운영 중에 있다. 이를 통해 제설제 사용 비용, 교통사고 건수, 제설인력투입비용 등을 획기적으로 절감하고 있다. 특히, 유럽은 1980년대부터 노면온도예측모형 개발을 시작하여, 현재는 노면결빙점을 예측하는 상태까지 발전하고 있다. 다음은 독일 지역에서 운영되고 있는 도로기상정보체계 개요를 나타낸다.



(a) 현장에 설치된 기상 및 노면 상태 측정 장치



(b) 도로관리자 및 도로기상정보체계를 통한 노면상태 모니터링



(c) 분사장치를 통한 제설 작업

그림 5. 독일의 도로기상정보체계 운영 사례

## 5. 국내 활용 사례

국내에서는 고속도로 일부 구간과 민간자본고속도로 총 29개소의 도로기상정보체계 구축을 위한 계측장비가 도로변, 교량 위 등 다양한 지점에 설치되어 운영되고 있다.

이러한 계측장비로부터 현재의 대기 및 노면 온도 정보, 대기 습도와 같은 기본적인 기상 및 노면 조건에 대한 정보를 수집하는 단계에 머물러 있고, 이러한 지점에 대해서도 여전히 관리 인력이 현장에 실제 투입되어 노면 결빙상태를 육안으로 파악하고 대처

하고 있는 실정이다. 다시 말해서, 효율적인 자원 배분이 이루어지지 않고 있다. 또 하나의 문제점은 외국에서 생산된 여러 가지 계측장비와 센서, 그리고 예측 모형의 사용으로 인해 제대로 된 운영능력과 관리 능력을 갖추지 못하고 있어 결과적으로 제설이나 노면 결빙에 따른 제설 투입 여부에 대한 의사결정을 하기 어려운 실정이다. 효과적인 도로기상정보체계 구축을 위해서는 시스템 안에 들어가는 여러 가지 소프트웨어에 대한 국산화 작업과 실제 현장에서 근무하는 도로관리자에 대한 시스템 운영 능력 향상을 위한 교육을 강화하는 것이 필요하다.

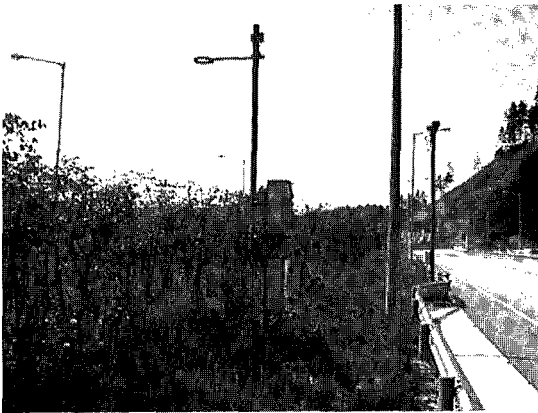
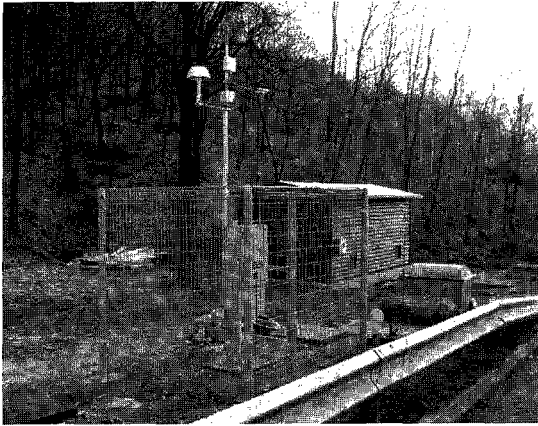


그림 6. 경부선과 영동선에 설치된 기상관측 장비

## 6. 결 언

최근의 기상이변에 따른 것으로 추정되는 높은 강설량, 향후 지속적인 강설량 증가 가능성, 기습적이고 국지적인 폭설, 어는 비 등과 같은 동절기 자연재해 발생 빈도가 증가하고 있으나, 이에 대비한 체계적인 제설 역량 부족과 포괄적인 제설 관리 및 대응 시스템이 미비한 것이 현실이다. 최근 폭설의 영향으

로 제설 대책에 대한 중요성이 새삼 강조되고 있다. 도로기상정보체계 구축은 이에 대한 해답으로써, 기상정보와 노면온도 정보를 바탕으로 도로기상정보체계를 통한 제설제 예비살포 개념을 신속히 도입하여 동절기 결빙구간에서의 미끄럼 교통사고를 획기적으로 감소시키면서 안정된 교통흐름을 보장할 필요가 있다.

이는 현 정부의 국정과제 중 하나인 『교통사고 예방 및 안전관리 대책』에도 부합하는 것으로써, 안전 위험 예방 측면에서 필요할 것으로 판단된다.

### 참고 문헌

1. FHWA 홈페이지  
<http://ops.fhwa.dot.gov/weather/faq.htmq>
2. Road Weather Information Systems: Enabling Proactive Maintenance Practices in Washington State, 2002. U.S. DOT
3. 고속도로 기상정보체계 구축 연구, 2009, 최종보고서. 한국건설기술연구원
4. Collaborative Research on Road Weather Observations and Predictions by Universities, State Departments of Transportation, and National Weather Service Forecast Offices, 2004. FHWA
5. Where the Weather Meets the Road, A Research Agenda for Improving Road Weather Services, 2004, National Research Council based on the committee's report.
6. A Numerical Forecasting System for the Prediction of Slippery Roads, Bent H. Sass, Journal of Meteorology, Vol 36, pp 801~817, 1997