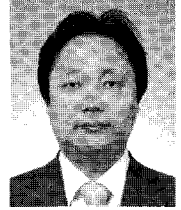


노면온도와 대기기상 및 지형조건과의 관계 분석



양 충 현 | 정회원 · 한국건설기술연구원 수석연구원

1. 서론

본 연구에서는 대기 기상이 도로에 미치는 영향에 대한 분석을 통해 동절기 도로관리 시 반드시 고려해야 할 부분에 대한 고찰을 수행하였다. 차량 부착형 도로노면온도측정시스템(Thermal Mapping)은 선진외국에서 도로구간의 노면온도를 측정하기 위해 많이 사용하고 있는 방법이다. 특히, 유럽에서는 동절기 도로관리 대상 및 구역을 표시하는데 도로노면 온도지도(Thermal Map)를 사용하고 있다. 그림 1은 오스트리아 비엔나 시에서 Thermal Mapping을

통해 작성한 도로노면온도지도를 나타낸다. (한국건설기술연구원, 2009)

미국대기연구소(NCAR)에서는 일반 차량에 부착하여 실시간으로 도로노면 상태에 대한 정밀한 자료 수집이 가능한 차량 데이터 전송기(VDT)에 관한 연구를 진행하고 있다. VDT 개발의 목적은 차량에서 측정된 대기 기상 및 도로노면 상태자료를 수집할 뿐만 아니라 수집된 자료의 질(quality)을 평가하고, 그 후에 자료를 서버를 통하여 도로노면 기상 자료가 필요한 사용자에게 정보를 전달하는 것이다. VDT는 차량에서 측정된 기상 및 도로노면상태자료에 기준

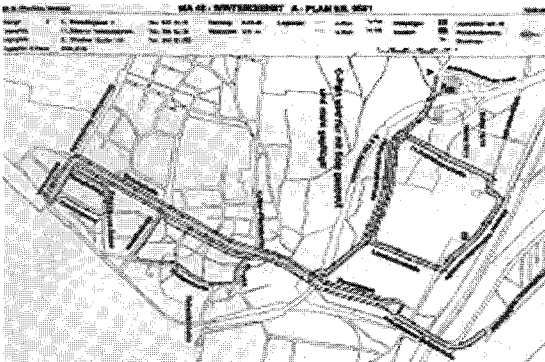


그림 1. 오스트리아의 제설작업 지도

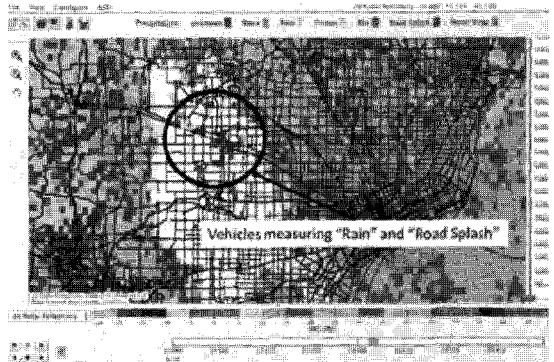


그림 2. VDT 영상의 예

의 전통적인 기상 데이터 소스를 통합하여 사용자에게 도로와 기상의 위험도 정보를 제공한다. 현재 VDT 시제품이 개발되었고 정확성을 높이는 연구가 진행 중이다.

도로노면 상태를 “젖음” “얼음” “살얼음” “미끄러움” “마름” “미확인” 등으로 구분할 수 있다(ITS, 2009). 일반적으로 미시기상학분야에서 대기기상과 지표면 온도 사이의 관계를 규명하기 위한 노력이 많이 진행되어왔다. 박순용(1994)은 지표면의 물리적 조건(토양과 식생 존재여부)이 대기경계층 성장에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다. 또한, 최근 대기기상과 지표면사이의 열 균형 식을 통한 지표면온도 변화 추이를 분석하는 연구도 진행되었다(송창근, 2002). 도로노면온도 조사(Thermal Mapping)는 수년 전부터 외국에서 도로 결빙 취약구간 선정과 도로기상정보시스템 운영을 위한 도로변 기상관측 장비 최적 위치 선정에 이용하고 있다.

Knollhoff(1998) 연구에 의하면 도로노면의 온도 변화 추이는 동절기 도로를 관리하는데 가장 중요한 요소로 정의하였고, 이를 위해 도로노면온도 조사 시스템의 필요성을 강조하였다. Shao(1996)의 연구에서는 이동식 도로노면온도를 조사한 결과가 매우 신뢰할 수 있는 수준임을 증명하였다. 국내에서도 김영철(2003)에 의하여 도로노면온도 조사 시스템이 소개된 바 있다.

2. 연구의 범위 및 방법

대기기상(대기온도 및 대기 습도)과 도로노면온도와의 상관관계를 분석하기 위해, 도로노면측정시스템을 차량에 부착하여 주행하면서 필요한 자료를 수집하였다. 본 연구 수행을 위한 연구지점으로는 충청북도 청원-상주 간 고속도로이고 조사지점은 2010년 3월 22일 22시~23시였다. 그림 3과 같이 편도 약 82.5km 구간에 대한 도로노면온도와 대기 온·습도를 측정하여 수집하였다. 도로노면온도측정시스템

을 부착한 차량의 평균주행속도는 80km/h이며, 조사지점은 10m 간격으로 하였다. 따라서, 총 8,260개 지점에 대한 도로노면온도와 대기 온·습도 자료가 수집되었다.

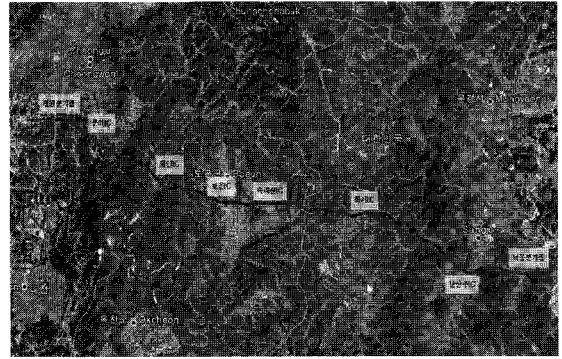


그림 3. 청원-상주간 고속도로

본 연구에서 사용된 차량에 부착된 도로노면온도 조사 시스템은 크게 1) 데이터수집하드웨어와 2) 수집되고 있는 데이터 모니터링과 데이터 통합을 위한 소프트웨어로 구성된다. 도로노면온도 조사 시스템의 하드웨어는 대기 온·습도 측정 센서, 도로노면온도 측정센서, 데이터 통합 컨트롤러로, GPS 수신기, DMI(Distance Measuring Instrument)로 구성되어 있다. 이 중에서 대기 온·습도 측정 센서, 도로노면온도 측정센서는 도로노면온도와 기상특성에 대한 자료의 수집을 목적으로 한다. 그리고 GPS 수신기와 DMI 장비는 도로노면온도를 조사한 지점의 정확한

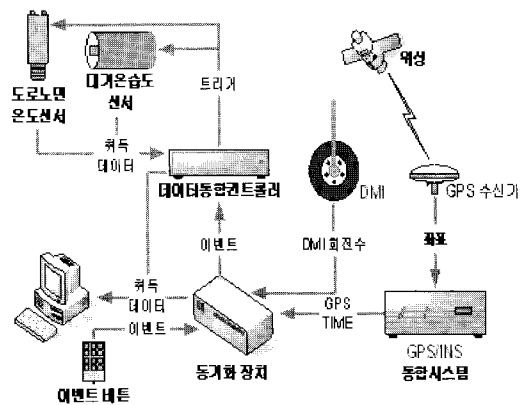


그림 4. 차량에 부착된 도로노면온도측정 시스템 흐름도

위치정보 취득과 조사차량의 주행 누적거리를 정확하게 계산하여 동일한 간격으로 자료를 측정하기 위한 장비이다. 본 연구에서 사용된 차량에 부착된 도로노면온도측정 시스템의 흐름도는 그림 4와 같다.

도로노면온도 조사 시스템 안에 설치되어 있는 소프트웨어를 통해 차량 주행 시 연속적으로 필요한 데이터를 수집할 수 있다. 또한 데이터 모니터링 기능을 이용하여 측정 중인 데이터를 실시간으로 확인할 수가 있으므로 지형특성에 따른 도로노면온도의 변화를 조사 중에도 확인할 수 있다. 본 연구에서 사용된 도로노면온도 측정 프로그램은 그림 5와 같다.

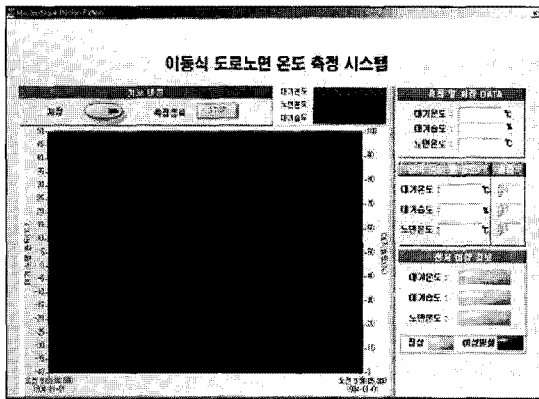


그림 5. 도로노면온도 측정 프로그램

본 연구에서 사용한 시스템 동기화장치는 도로노면 온도측정 시스템의 다중센서들로부터의 신호를 동기화하는 역할을 한다. 동기화장치는 DMI로 부터 입력되는 차량 바퀴의 회전수를 누적하여 10m마다 이벤트 신호를 발생시킨다. 이 이벤트 신호는 데이터 통합 컨트롤러와 자료저장용 컴퓨터에 전달된다. 데이터 통합 컨트롤러로 전달된 신호는 도로노면 온도 측정센서와 대기 온·습도 측정센서를 작동시켜 온도 및 습도를 취득하고 디스크에 저장하도록 하였다. 이때 자료 저장용 컴퓨터로 입력된 이벤트 신호는 GPS 시간과 함께 저장된다. 이렇게 취득된 자료는 GPS 시간을 매개로 GPS 좌표와 연계되어 온도 및 습도가 취득된 지점의 위치 및 시간을 정확하게 알 수 있다. 그리고 수동 이벤트 버튼을 동기화 장치와

연결하여 지형정보에 대한 이벤트를 수동으로 발생 시켜도 이벤트 발생 지점의 위치 및 시간을 알 수 있도록 하였다.

2.1 도로노면 온도 측정 시스템 검정

도로노면 온도측정 시스템을 통해 수집된 온도자료의 정확도를 측정하기 위해 한국건설기술연구원에서는 그림 6과 같이 도로노면 부착형 센서를 통한 도로노면온도(참값)와 도로노면 온도측정 시스템 장비를 통한 도로노면온도 간의 차이를 분석해 보았다.

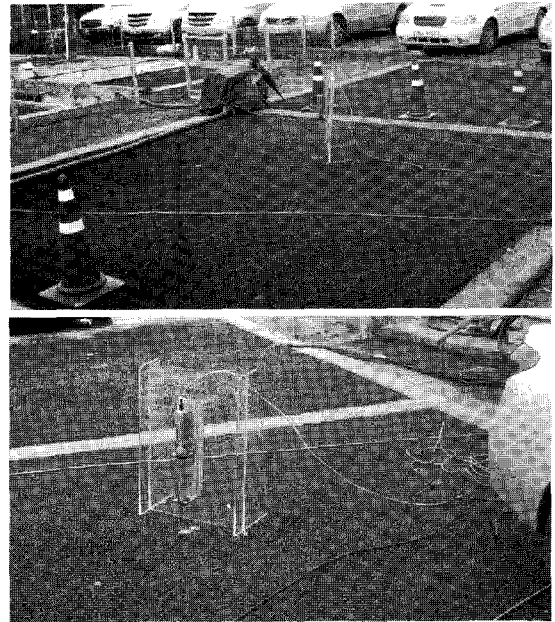


그림 6. 도로노면온도 검증 현장 사진

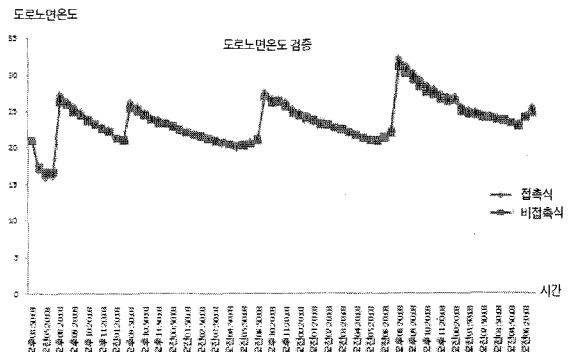


그림 7. 도로노면온도 검증 결과

총 조사시간은 2010년 5월 31일부터 6월 7일 까지였고, 시간은 20:00~다음 날 07:00시까지로 하였다. 그림 7에서 보는 바와 같이 도로노면 부착형 센서를 통한 도로노면온도(참값)와 도로노면 온도측정 시스템 장비를 통한 도로노면온도 간의 차이는 거의 없는 것으로 판단되었다.

또한, 본 연구에서는 Kolmogorov-smirnov 검정을 통해 두 온도 사이의 유사성을 분석하였다.

- H_0 : 두 온도는 동일하다.
- H_1 : 두 온도는 동일하지 않다.

검정결과, 유의수준 ($\alpha=0.05$) 일 때, p-value 값이 0.814로 귀무가설을 채택하는 것으로 나타났다.

2.2 수집 자료 분석

현장에서 수집된 자료의 분석은 자료간의 상관관계 분석과 지형에 따른 도로노면온도 특성분석으로 구성된다. Pearson 상관관계 분석을 통한 통계 결과를 표 1과 같이 정리하였다.

표 1. Pearson 상관관계 분석

상관관계분석	도로노면온도	대기온도	대기습도
도로노면온도	1	0.267	0.287
대기온도	-	1	0.166
대기습도	-	-	1

청원-상주 간 고속도에 대해 이동식 노면온도측정 시스템을 통해 취득한 도로노면온도, 대기온도, 대기 습도의 상관관계는 각각 0.3 미만으로 나타났다. 통계측면에서, 도로노면온도와 대기온도는 상관이 있기는 하나 그 정도가 약한 것으로 나타났고, 대기 습도와 대기온도는 거의 상관이 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 근거로 노면온도는 단순히 대기온도와 대기습도에 영향을 받는 것이 아니라, 그 밖에 다른 기상조건, 예를 들어, 대기압, 일사량, 풍향, 풍속 등에도 영향을 받는다고 판단할 수 있다. 본 연구에서는 대기온·습도를 제외한 기타 기상조건 취득의

한계로 인해 분석에서 배제되었지만, 추가로 지형 분석을 수행하였다.

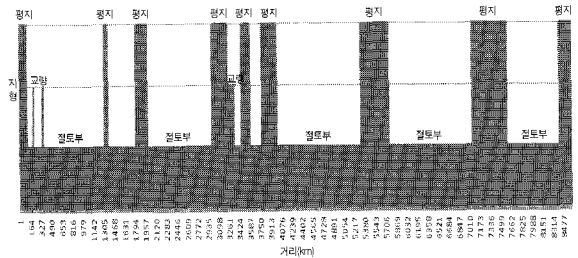


그림 8. 청원-상주간 고속도로 지형분석

그림 8에서의 같이 대부분 남북 방향으로 편도 총 82.5km 구간에 둘러싸인 산지이며 평지 24.0%, 산악지역 74.5%, 교량과 터널지역이 1.5%로 나타났다. 전체 도로 구간에 대한 도로노면온도조사 분석 후, 평균도로노면온도가 상대적으로 낮은 구간이 발생한 이유를 현장조사를 통해 표 2와 같이 추정하였다.

표 2. 평균도로노면온도보다 낮은 구간과 이유

청원 JC 부터의 거리(km)	현장 사진	원인 추정
0.78		남쪽과 북쪽의 산으로 둘러싸인 응달지역
3.27		교량 통과 지점
5.88		제일 고도가 높은 곳이며 동, 서방향으로 산으로 인하여 그림자가 지는 부분
6.21		인터체인지의 교량형태 부분

3. 결론

선진외국에서는 기후변화에 따른 도로 교통 분야의 대응 방안에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 도로 기상관측 및 분석 분야는 동절기 도로관리에 핵심적인 부분으로 인식되고 있다. 그러나 현재 국내에서는 이러한 부분에 대한 연구 실적이 상당히 미흡한 실정이다. 도로는 외적인 변수에 매우 취약한 구조이다. 즉, 계절에 따른 기상 변화에 영향을 크게 받는다. 동절기 기후변화에 대처하기 위해서는 대기 기상과 도로조건 사이의 관계를 규명하는 기초연구가 필요하다. 본 연구에서 분석해본 결과와 같이, 도로노면온도는 다양한 기상조건 즉, 대기온도, 대기 습도, 태양열 에너지 (일사량) 등과 매우 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다. 본 연구의 결과는 동절기 도로 관리를 위해 도로관리자가 필수적으로 알아야 할 사항으로, 1) 도로결빙에 취약한 구간을 선정, 2) 도로변 기상정보 수집을 위한 기상장비 설치 위치 선정에 매우 유용할 것으로 판단된다. 더 나아가 Thermal Mapping을 통한 도로노면온도조사 결과는 좀 더 과학적이고 효과적인 제설작업 수행을 위한 기초자료로써 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 기상청(2010), 2010년 신적설량 데이터 및 전체 관측지점 일람표
2. 도로교통공단(2010), ROTA Webzine

3. 한국건설기술연구원(2009), 고속도로기상정보체계구축 연구 보고서
4. National Center for Atmospheric Research (2009), Tomorrow's Forecas : Informed Drivers, ITS NA Edition
5. 박순용(1994), The Effects of Surface Physical Conditions on the Growth of the Atmospheric Boundary Layer, Journal of Korean Meteorological Society, Vol. 30, No.1, pp 119-134
6. 송창근, 이보람(2001), Prognosis of the Road Surface Condition in Korea using Surface Energy Balance Theory, 한국기상학회, 제1권, 2호, pp 420-422
7. 한국건설기술연구원(2006), 도로안전성 조사 분석 차량 개발 연구 4차년도 보고서
8. 신성훈, 성정곤(2006), 도로노면 온도측정 시스템 개발과 지형에 따른 도로노면 온도 특성, 대한교통학회 제54회 학술발표회
9. 김영철, 온현성, 이정구, 김병호, 추은식(2003), Thermal mapping을 이용한 도로 지형 특성과 도로노면 온도의 관계성에 관한 연구, 2003 대한토목학회 정기학술대회
10. David S. Knollhoff, Eugene S. Takle, William A. Gallus, Jr., and Dennis Burkheimer(1998), Use of Pavement Temperature Measurements for Winter Maintenance Decisions, Transportation Conference Proceedings, pp.33~36.
11. Shao, J., P. J. Lister, P. J., Hart, G. D. and Pearson, H. B. (1996), Thermal mapping: reliability and repeatability, Journal of Meteorological Applied. Vol.3, pp.325-330.

회원의 신상변동사항(이사, 전근, 승진 등)이 있으면 학회 사무국으로 연락주시기 바랍니다.
현재 반송되는 우편물이 너무 많습니다.

- 전 화 : (02)3272-1992 • 전 송 : (02)3272-1994
- E-mail : ksre1999@hanmail.net