

지열을 이용한 용설 및 결빙방지 도로의 성능 평가 및 고속도로 현장 적용

Field validation of geothermal snow melting system and its application to highway

서영국* · 엄주용** · 이광호*** · 김종훈****

Seo, Youngguk · Eum, Joo-Yong · Lee, Kwang-Ho · Kim, Jong H.

1. 서론

본 연구는 지열 기반의 도로 용설 및 결빙 방지시스템을 개발하여 겨울철 눈길 미끄럼 사고가 빈번한 고속도로 현장에 적용하는 것을 목표로 하고 있다. 이를 위하여 시스템의 설계변수 결정을 위한 실내실험을 실시하고 최적의 용설 효과를 유도하기 도로단면을 제안하였다. 제안된 용설 도로의 성능은 도로교통연구원의 구내도로에 시험 시공을 통하여 검증하였다. 고속도로 환경 하에서의 시스템 및 도로포장의 내구성을 평가하기 위하여 현재 여주-양평 구간의 북여주 영업소를 선정, 설치공사를 하고 있으며 완공 후 그 효과를 관찰할 예정이다. 본 논문에서는 시험시공을 통한 용설 효과 검증 결과와 북여주 시공 과정을 중심으로 진행된 내용을 기술하고자 한다.

2. 시험시공

실내실험을 통해 결정된 시스템 설계변수를 바탕으로 지열 기반의 도로 용설 및 결빙 방지시스템을 제안하고, 겨울철 도로의 용설 효과를 관측하기 위한 시험 시설을 도로교통연구원(연구원)에 건설하였다. 기존의 아스팔트 포장을 철삭 덧씌우기 보수하는 과정에 본 시스템을 적용하였다. 시공은 노후 포장단면의 철삭, 지열 포장을 위한 배관, 강섬유 콘크리트 포장, 지중교환기 설치를 위한 굴착, 그리고 표면 마모층 포설 순서로 하였다. 강섬유 콘크리트 포장에 적용하는 강섬유는 일반적으로 길이가 25~60mm, 직경이 0.3~0.8mm로, 재질은 탄소강 또는 스테인레스강으로 제조된다. 최근 몇 년 동안 섬유부착 특성과 콘크리트 내에서의 섬유의 분산을 양호하게 하기 위한 강섬유 형상의 최적화에 관한 연구가 활발히 이루어져 왔다. 또한, 강섬유의 강선 표면을 시멘트 페이스트와 기계·화학적으로 부착력을 향상시키기 위한 노력이 계속되고 있다. 본 연구에서 강섬유 콘크리트를 용설 도로에 적용한 이유는 일차적으로 지열용 파이프로 인하여 콘크리트 단면에 반사균열이 발생하는 것을 막기 위함이며, 강섬유에 의한 열전도 개선효과도 어느 정도는 있을 것이라 보고 있기 때문이다. 강섬유는 시멘트 콘크리트 1m³당 6.5%로 약 65kg/m³가 사용되었다. 표 1과 같이 강섬유 콘크리트의 28일 압축강도를 실내 제작한 3개의 시험체에 대하여 측정하였다.

표 1. 강섬유 콘크리트의 28일 압축강도

시험체	f_c' (kg/cm ²)	평균 f_c' (kg/cm ²)
1	417.95	409.6
2	406.28	
3	404.57	

* 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원 · 031-371-3368(E-mail:seoyg89@ex.co.kr)

** 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 저탄소도로팀장

*** 정회원 · 한국도로공사 연구개발실장

**** 비회원 · 한국도로공사 수도권건설사업단장

그림 1은 1차로 40m 구간을 절삭한 후 주 배관 설치를 위한 흙파기와 마무리를 수행하고 있는 전경을 보여주고 있다. 용설용 배관인 구리관은 일정한 간격(250mm)으로 노면으로부터 50mm 깊이에 설치하고 종방향 주 배관에 용접하였다. 용설용 배관은 포장 시공시 불필요한 이동을 방지하기 위하여 못으로 고정하였다.



그림 1. (좌로부터) 아스팔트 포장 절삭 및 용설 시스템 설치를 위한 관로 정비, 용설용 배관 설치 후 전경 및 주 배관 연결부위의 용접 세부

덧씌우기 포장은 하부 60mm 두께의 강섬유 콘크리트와 상부 5mm 두께의 표면 마모층인 이온 콘크리트로 구성하였다. 시공 시 횡방향 시공줄눈은 주지 않았으며, 이로 인하여 노면에는 횡방향 수축균열이 일정한 간격으로 2개소에서 발생하였다.

3. 용설효과검증

시험시공 후 6-7차례 눈이 내렸으며 그때마다 시험시공의 효과를 관찰하였다. 동일한 조건에서 용설 속도를 비교하기 위하여 일정한 간격으로 배관의 일부를 잠그고 운영하였다. 순환수의 온도는 지중열교환기에서 획득한 지열과 열펌프로 약 30°C로 증온하여 배관으로 보냈으며, 노면의 온도는 5°C 이상 유지되도록 하였다. 그림 2는 약설에서의 용설 전경으로 순환수의 이동에 의해 영상을 유지하고 있는 노면이 순간적으로 눈을 녹이는 현상을 관측할 수 있었다.



그림 2. 지열 기반의 용설 도로의 전경과 약설시 제설 효과

강설의 경우(28.3mm/hr)에는 약 30분에서 1시간 사이에 눈이 제거되기 시작하였다. 그림 3은 지난 2010년 1월 4일 100년 만의 기록적인 폭설 하에서 시간별 용설 과정을 보여주고 있다. 약 1시간이 경과 후, 안전한 차량통행이 가능한 수준으로 제설이 가능함을 알 수 있었다. 본 시험단면에서는 일체의 차량통행이 없었기 때문에 실제 도로에서의 용설 효과는 이보다 훨씬 클 것으로 판단된다.



그림 3. (좌로부터) 60분, 2시간, 2시간 반 경과 후 전경

4. 북여주 시공

개발된 시스템을 겨울철 미끄럼 사고 다발지역 중에 하나인 고속도로 영업소 진입도로에 적용하였다. 현재 건설 중인 여주-양평 노선의 북여주 영업소가 대상지이며, 1차로 200m 구간의 용설과 결빙방지 목적 외에도 영업소 건물의 냉난방 보조수단으로 활용할 계획이다. 포장 구조와 매설 파이프의 배관은 시험시공 조건과 동일하나 인력시공으로 인한 평탄성 저하 문제를 개선하기 위하여 노면절삭 처리를 병행하고 있다. 강섬유는 플랜트에서 미리 혼합하여 레미콘차량으로 운반하였으나 일부 강섬유가 뭉치거나 지나치게 묽은 재료가 조달되는 사례가 있었다. 이러한 재료는 시공 중에 기포나 균열과 같은 문제로 이어졌으며, 굴삭기를 동원하여 문제가 발생한 단면을 제거한 후 새로운 재료로 재시공하였다. 그림 4는 지난 7월 26일에서 7월 30일까지의 주요 시공 현황이다. 북여주 영업소는 9월중에 개통을 앞두고 있으므로 이에 대비하여 지열 시스템의 시험운영을 실시할 예정이다.



그림 4. (좌로부터) 배관설치, 강섬유 포장 시공, 포장 전경, 줄눈절삭

5. 결 론

본 연구를 통해서 도출한 결과는 다음과 같다.

시험시공에 대한 용설 효과검증에서는 약설의 경우(2.6mm/hr)에는 눈이 노면에 닿자마자 완전하게 제거되었으며 강설의 경우(28.3mm/hr) 30분에서 1시간 사이에 눈이 제거되기 시작하였다. 시험 중에는 차량통행을 제한하였기 때문에 실제 도로에서의 용설 효과는 훨씬 클 것으로 기대할 수 있다.

본 연구에서 제안된 지열을 이용한 도로 용설의 초기 설치비용은 천공비용으로 인하여 전열선 방식과 비슷하게 소요되는 것으로 예상되었다. 그러나, 기본요금과 운전요금을 합한 연간운영비용은 지열이 다른 열원 용설 시스템에 비하여 최대 20%정도 수준인 것으로 분석되었다.

국내 최초로 개발된 지열을 이용한 도로 용설은 고속도로 환경에서 겨울철 사고다발구간인 터널 진출입부나 교면 혹은 박스통로 상부 도로를 적용 대상으로 하고 있다. 따라서 포장의 내구성이 무엇보다도 중요하며, 추가연구를 통해 내구성 검토가 요구된다. 아울러, 용설 도로 설치시 최소한의 교통차단을 위해서 건설시간을 수 시간 내로 단축할 수 있는 재료와 공법의 개발 또한 시급한 과제로 남아있다.



참고 문헌

1. 한국도로공사, 2009. 지열에너지를 이용한 도로 융설 시스템 개발에 관한 연구, 한국도로공사 도로교통연구원 연구보고서.
2. 서영국, 서운중, 엄주용, 김봉찬, 2009. 지열을 이용한 콘크리트 포장 융설 시스템 개발을 위한 기초 연구, 대한토목학회 정기학술대회 논문집
3. 조윤희, 2007. 2층 포설 콘크리트 포장 공법 개발을 위한 구조해석 및 실험 연구, 중앙대학교 도로 및 교통연구실.
4. 대한주택공사 주택연구소, 1996. 융설 시설의 설계와 시공기준에 관한 연구, 연구보고서 96-12