도로 포장체의 지열 융설 시스템 적용을 위한 기초연구

Basic Study on Geothermal System Application Possibility of the Road Pavement

이석진* · 김봉찬** · 이준호*** · 이승하****

Lee, Seok Jin · Kim, Bong Chan · Lee, Jun Ho · Lee, Seung Ha

1. 서 론

최근 지구온난화로 인해 기후가 급격히 변화하면서 겨울철에 기록적인 눈이 내리고 있다. 특히 이렇게 집중적으로 내리는 눈은 도로에 쌓일 경우 교통사고 발생의 주요 원인으로 지적되고 있다. 도로에서 발생하는 사고 중 도로결빙에 의한 미끄러짐 사고비율이 높으며, 특히 상습 결빙 지역인 교량과 터널 입출부에서 발생빈도가 높게 나타난다. 이러한 도로결빙이나 적설에 의한 미끄럼 방지를 위해 최근에는 다양한 융설 방법이 개발되고 있다. 본 고는 지열 융설의 기초 연구로써 일반 도로포장 재료인 콘크리트, 아스팔트 두 종류의 재료에 대하여 융설 파이프 매설에 따른 포장 안정성 수치 해석을 수행 하였으며, 도로 포장현장에서 융설파이프 매설 방법에 대한 시험을 수행하였다. 이에 따라, 융설 파이프 매설후 도로포장의 수명평가 및 파이프의 안전성 평가를 할 수 있는 기반을 마련하였다. 이 연구를 통해 지열융설 시스템의 적용성 검증을 할 수 있을 것으로 판단된다.

2. 포장 안정성 평가를 위한 수치해석

2.1 포장체 수명평가 및 구조 안전성 검토

융설파이프 매설에 따른 포장체의 수명평가 및 파이프의 구조안전성 검토를 위한 해석 case는 표 1과 같으며, 포장체 종류 및 융설 파이프 매설심도에 따라 전체 6 case의 해석을 수행하였다. 사용된 융설 파이프의 재료는 동(銅)관이며, 직경은 6.35mm이다.

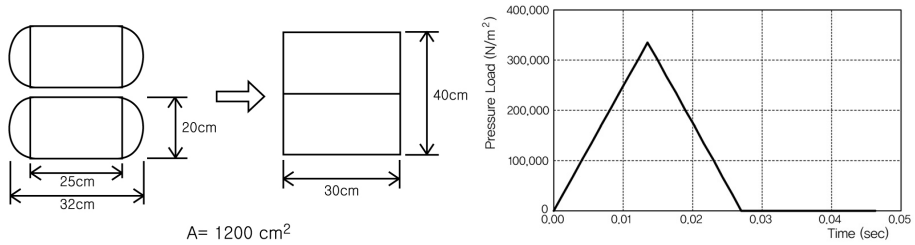
표 1. 포장체 변형 해석을 위한 6 case 해석

포장체	Pipe depth
Asphalt,	5, 6, 7cm
Concrete pavement	5, 6, 7cm

포장구조체의 해석시 하중은 AASHTO 설계법을 기준으로 등가 표준단축하중인 8.2tonf 단축하중을 사용하였다. 실제 차량의 주행시 포장체 표면의 거칠음이나 차량의 현가장치등에 의해서 포장체와 차량의 접지면적과 접지압은 변하게 되나 해석의 효율성을 위해서 일정한 접지면적과 접지압을 갖는 등가 직사각형 타이어 모델이 이동하는 것으로 가정하여 해석하였다.

* 정회원·롯데건설(주) 기술연구원 터널 및 지반환경 팀장·공학석사·02-3483-7841(E-mail:stjiny@lottenc.com)
** 롯데건설(주) 기술연구원 책임연구원·공학박사(E-mail:roseat@lottenc.com)
*** 롯데건설(주) 기술연구원 선임연구원·공학석사(E-mail:andrew77@lottenc.com)
**** 한국유지관리(주) SOC 사업부 과장·공학사(E-mail:pooh7401@kmctech.co.kr)

수치해석시 실제 8.2tonf 단축 차량의 타이어모양을 구현하기 위해서는 다음 그림 1과 같이 실제 타이어의 접지면적과 동일한 접지압을 받는 등가의 모델로 전환하여야 한다.

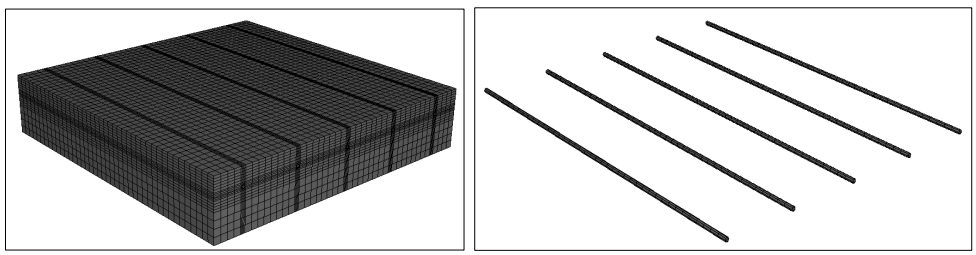


(a) 등가 타이어 모델 (b) 등가 타이어 모델 접지압

그림 1. 포장 안정성 수치 해석을 위한 타이어 등가 모델 및 접지압 크기

포장체에 대한 공용성 수명평가시에는 설계 교통량에 따른 표준 단축하중에 대한 등가환산교통량과 설계차로 교통하중이 필요하다. 이를 위해 호남고속도로 설계당시의 교통량을 근거로 하여 2차선 도로에 대한 수명평가를 수행하였으며, AASHTO 기준에 의거하여 중방향 비율 및 차로분배율 등을 적용하였다. 중방향 비율이란, 양방향도로에서 방향별로 이동하는 차량의 비율로써, 일반적으로 각 방향별 이동차량은 동일한 비율로 0.5로 본다. 차로분배율은 한 방향별 차선당 이용하는 차로 비율로서, 편도 1차선 도로에서는 1.00 편도 2차선 도로에서는 0.5를 본다. 본 해석은 편도 1차로이므로 1.00을 적용하였다. 이를 근거로 해석시 2039년까지의 설계차로 교통하중을 적용하였다.

포장체 수명평가 및 융설파이프의 구조 안전성 평가를 위한 3D 수치해석 모델은 그림 2와 같으며, 차량이동하중 해석을 위한 해석 프로그램은 ABAQUS V6.5.1을 사용하였다.



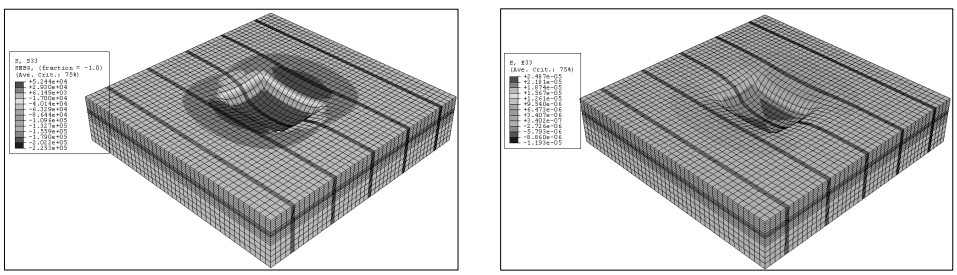
(a) 전체 모델 (b) 파이프 모델

그림 2. 변형 파악을 위한 수치 해석 모델

2.2 수치해석 결과

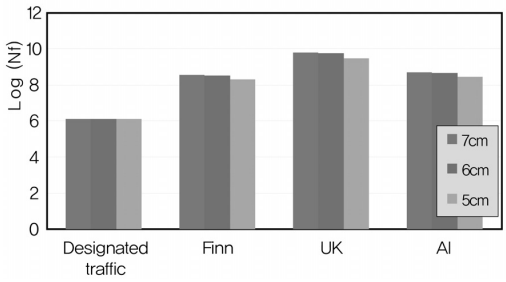
가) 융설파이프 매설에 따른 포장체 수명평가

설계 교통량 하에서의 융설파이프 매설에 따른 포장체의 수치해석 결과는 다음과 같다.

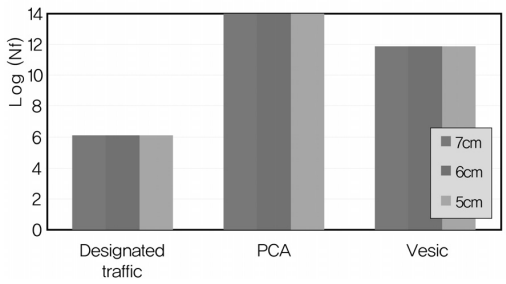


(a) Stress result contour (Analysis case 1) (b) Strain result contour (Analysis case 1)

그림 3. 포장 변형에 대한 수치해석 결과



(a) 아스팔트 포장 평가 결과



(b) 콘크리트 포장 평가 결과

그림 4. 포장 수명 분석 결과

아스팔트 포장체의 수명평가 결과, 매설심도 5, 6, 7cm 모두 30년간의 설계교통량 1.311×106회를 초과하여 파괴가 발생하는 것으로 나타났다(표 2). 콘크리트 포장체의 경우도 모든 case에서 설계교통량하에서는 파괴가 일어나지 않는 것으로 검토되었다(표 3).

표 3을 살펴보면 PCA 파괴기준식에서는 수명평가가 불가함을 알 수 있다. 이는 5cm 이하의 콘크리트 포장에 대한 파괴기준식이 개발되어 있지 않기 때문이다. 그림 4에 포장체 종류별 수명평가 결과를 도식화하였다.

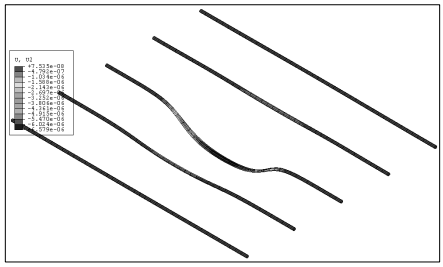
표 2. 아스팔트 포장 변형평가 결과

Depth	N_f			Designated traffic	result
	FINN	UK	AI		
7cm	3.536×10^{8}	6.153×10^{9}	4.869×10^{8}	1.311×10^{6}	O.K
6cm	3.284×10^{8}	5.585×10^{9}	4.523×10^{8}		O.K
5cm	2.095×10^{8}	3.095×10^{9}	2.885×10^{8}		O.K

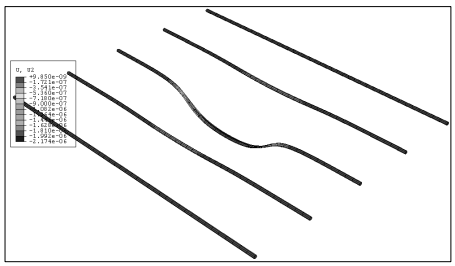
표 3. 콘크리트 포장 변형평가 결과

Depth	N_f		Designated traffic	result
	PCA	VESIC		
7cm	infinite	7.927×10^{11}	1.311×10^{6}	O.K
6cm	infinite	7.485×10^{11}		O.K
5cm	infinite	7.468×10^{11}		O.K

나) 융설파이프의 구조안전성 평가



(a) Analysis case 1



(b) Analysis case 6

그림 5. 융설 파이프 최대 변위

설계 교통량 하에서의 융설파이프의 구조안전성 평가결과는 표 4와 같다. 결과에서 나타난 것처럼 포장내 융설파이프 최대 변위량은 0.007mm로, 도로 포장에서 지열 융설을 위한 융설파이프 성능에는 문제없는 것으로 파악된다.

표 4. 융설파이프 변형 해석 결과

Subject	Depth	Analysis case	Maximum deformation	Subject	Depth	Analysis case	Maximum deformation
Asphalt pavement	5cm	CASE 1	0.007mm	Concrete pavement	5cm	CASE 4	0.002mm
	6cm	CASE 2	0.007mm		6cm	CASE 5	0.002mm
	7cm	CASE 3	0.007mm		7cm	CASE 6	0.002mm

3. 융설파이프 매설 방법 연구

지열 융설파이프 현장 도로 포장체 매설을 위해서 다양한 고찰과 여러 방법을 시도하였다. 아스팔트 포장은 일반적으로 기층, 중간층, 표층 3 단계로 포장이 이루어진다. 융설파이프는 3 단계중 중간층과 표층 사이에 포설 되며, 5~7cm 깊이에 매설된다.

3.1 포장체 융설파이프 매설을 위한 EPS 적용성 평가

가) 융설파이프의 안정적인 매설 방법 연구

중간층 포장 이후에 동 재질의 융설파이프를 중간층 위에 매설하고, 아스콘 포장을 위해 융설파이프 위로 덤프트럭과 피니셔가 이동하면 동관이 심하게 변형되어 파손된다(그림 6). 아스콘 포설시 장비에 의해 발생하는 동관변형을 방지하기 위해 EPS(Expandable Polystyrene)를 1cm 두께로 동관위에 깔고 장비를 이동시켰을 경우 그림 6과 같이 상대적으로 변형이 매우 적게 나타났다.

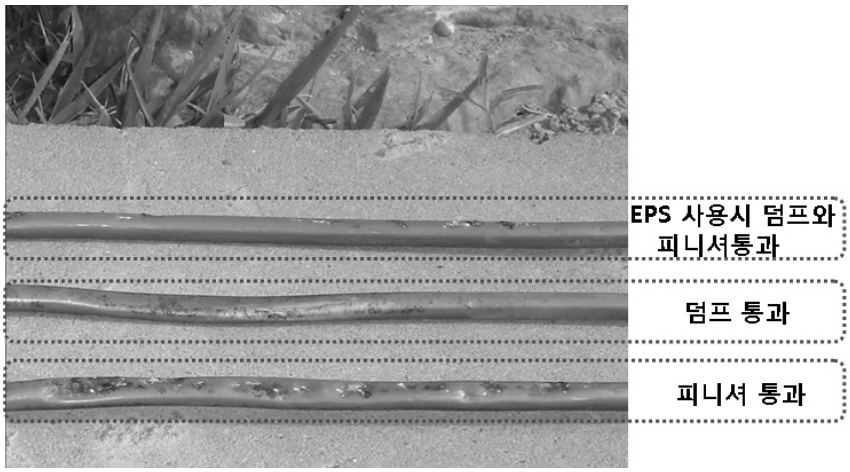
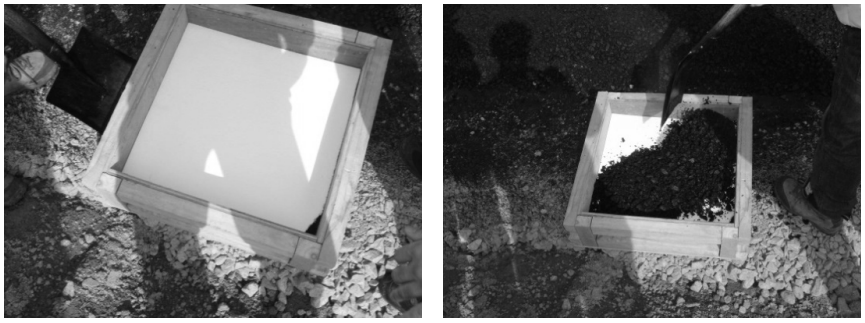


그림 6. 아스팔트 포장 장비 통과에 따른 융설 파이프 변형상태 파악

나) EPS의 아스콘 포장 층분리 영향 확인

EPS의 매설을 통해 포장시 융설파이프 안정성을 확인하였다. 그러나 EPS가 융설파이프는 보호 하였지만 포장층내에서 층분리를 시킨다면 포장수명에 악영향을 미칠 수 있으므로 이에 대한 확인이 필요하였다. EPS는 재질 특성상 70~80℃에서 용융되는 것으로 파악되었고, 아스콘 포장온도가 일반적으로 150℃ 상회하므로 EPS가 포장시에 모두 용융 될 것으로 예상되었다. 하지만 실제 시험을 통해 층분리에 대한 영향을 파악하기 위해 EPS를 아스콘 포장층 안에 매설하고 10일 후 확인하였다. 그림 7의 (b)과 같이 포장 최외각 부분에는 일부 EPS가 존재 하였지만 포장층 내부 확인결과 아스콘 포장열에 의해 모두 용융된 것으로 파악되었다.

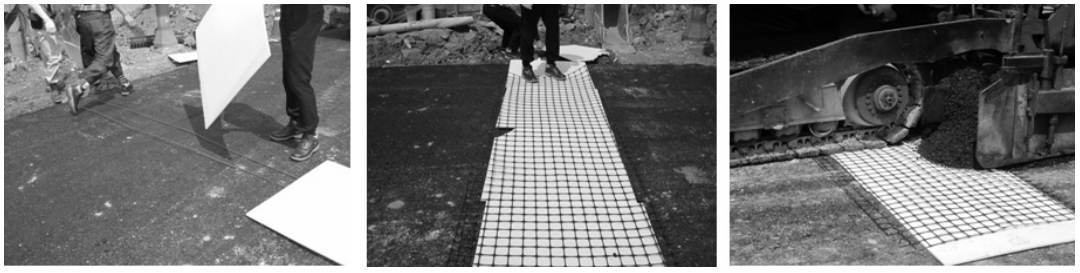


(a) EPS 매설

(b) EPS 매설 10일후 확인

그림 7. EPS의 아스콘 매설을 통한 층분리 영향 확인시험

3.2 융설파이프 현장 매설



(a) 융설파이프와 EPS 매설 (b) EPS와 지오그리드 포설 (c) 피니셔의 아스콘 포설

그림 8. EPS를 활용한 지열 융설 파이프 현장 매설

아스콘 포장층에 매설된 융설 파이프의 안정성과 포장 안정성 평가를 위해 현장 시험을 수행 하였다. 융설 파이프 보호를 위해 EPS를 적용 하였고, EPS 보호와 포장안정성 확보를 위해 지오그리드를 병행하여 포설 하였다. 현장 시험결과 매설시 문제점을 발생하지 않았으며 현재 반사 균열등에 의한 포장 파괴 문제점을 모니터링 중이다. 포장안정성 평가문제는 장기 모니터링을 통해 확인할 예정이며, 융설파이프 안정성 평가는 동절기 온수 순환에 의한 융설 평가와 함께 확인할 예정이다.

4. 결 론

도로의 결빙방지와 차량 운행 안정성 향상을 위한 지열 융설 시스템 기초 연구를 위해 당 연구를 수행하였다. 포장 재료로 가장 많이 사용되는 아스팔트와 콘크리트 포장체의 지열융설 파이프 매설시 포장체에 대

한 수명평가를 수행하였다. 또한, 융설파이프의 구조안전성 검토를 통해 포장내 융설파이프의 변형도를 검토하였다. 또한 지열융설 적용에 따른 포장 및 융설 파이프 안정성 파악을 위해 아스콘 포장 현장에서 적용 시험을 수행하였다.

본 연구에서 도출된 결론은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 지열융설파이프 매설후의 포장체의 공용성 수명평가를 수행한 결과, 설계교통량하에서 아스팔트 및 콘크리트 포장 모두 피로파괴의 파괴기준식 이내로 확인되어, 융설 파이프 매설에 따른 포장체의 수명에는 영향이 없는 것으로 나타났다.
- 차량이동시 지반내 융설파이프에 대한 안전성 평가결과, 최대변형 0.007mm로, 융설파이프 외경 6.35mm에 비해 미미한 것으로 나타나, 융설파이프의 변형에 따른 유체순환의 소통에는 문제가 없는 것으로 나타났다.
- 융설 파이프의 아스콘 포장 매설을 위해 EPS(Expandable Polystyrene)를 적용하였다. EPS 적용을 통해 동파이프 보호를 확인하였고, 아스콘 포장의 층분리에 대한 영향이 없음을 확인하였다.

향후 연구에서는 운행중인 포장도로에 매설된 융설 파이프와 포장체 안정성 모니터링을 수행하고, 온수공급에 의한 융설 가능성 파악이 필요하다. 또한 지열융설 시스템의 실제 적용성에 Pilot Test 연구가 수행=될 예정이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신 연구개발사업의 연구비지원(과제번호 07-기술혁신-A01)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

1. 서영국, 서운종, 엄주용, 김봉찬, “지열을 이용한 콘크리트 포장 융설 시스템 개발을 위한 기초연구”, 2009 대한토목학회 정기학술대회, 도로, pp.465~468.
2. 유원상, 포장체의 동상영향평가, 2003, 인천대학교 석사학위 논문
3. 한정상 外, “지열펌프 냉난방 시스템”, 2005, 한림원
4. (주)지케이에너지, “집단에너지용 장심도 지중열교환 시스템 개발 연구계획서”, 2009, 지식경제부 기술혁신사업 계획서