

동상방지층의 거동특성에 대한 현장계측

남영국¹⁾ · 박찬범²⁾ · 조규태³⁾ · 진정훈⁴⁾

1. 서론

우리나라의 도로포장은 기후적 특성으로 동절기에는 일정한 깊이까지 동결작용을 받고 해빙기에는 융해작용을 받는다. 동결융해작용의 반복적 진행으로 도로포장 파손의 원인으로 작용하고 있다. 도로포장구조 설계시 환경영향에 대한 도로포장을 보호하기 위하여 동상방지층에 대한 실효성 검증없이 노상의 일부로서 설치하고 있다. 성토부는 지하수위의 영향 및 배수에 대한 피해가 적지만, 절토부 및 절성경계부와 동일한 두께의 동상방지층(건교부 설계기준 : 최대입경 100mm이하, 도로공사설계요령 : 최대입경 75~80mm이하)을 설계 및 시공하는 문제점이 있다.

본 연구는 도로포장구조 설계시 노상의 일부로 적용하고있는 동상방지층과 노상의 동결융해작용에 의한 영향을 현장계측 및 실내실험을 통하여 실효성을 검증하는데 목적이 있다. 동결을 일으키는 함수비, 온도, 토질에 대한 영향을 현장계측 및 실내실험을 통하여 순성토부에서 발생하는 동상의 메커니즘을 규명하고자 한다. 도로시공현장에 대한 실제적인 계측을 위하여 포장단면에 층별로 계측기를 매설하고 계절별로 함수량 변화와

포장체의 온도를 측정하고, 공용중에 발생하는 포장체 내부의 응력변화와 하중의 분포를 측정하고자 한다.

동상방지층의 실효성 검증을 위하여 부산지방 국토관리청산하에 시공중인 2개 도로성토부 현장을 선정하여, 각각의 현장에 2개소씩 계측기를 매설하였다. 현장의 계측과 실내시험을 실시하여 동상의 양과 동상력을 측정하고, 현장조건과 동일화시킨 모사시험을 통해서 동상의 영향 등에 대해서 관찰하고자 한다.

2. 동결의 이론

2.1 동상의 정의

일반적으로 높은 수분을 함유하고 있으며, 0°C 이하의 온도에 장기간 노출되면 토립자 사이의 물이 동결되면서 팽창하는 현상을 동상이라고 한다. 반면에 융해현상은 동절기에 얼었던 흙속의 수분이 봄철에 녹아서 흙을 포화시켜 물을 상부로 배출시키면서 지지력을 약화시키는 현상이다. 동결과 융해현상이 반복적으로 진행될 경우에는 도로포장의 파손이 발생하게 된다. 그림 1은 ①포

1) 정회원 · 우리학회 회장, 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수 (yknam@incheon.ac.kr)
 2) 정회원 · 건설교통부 감사담당관(parkcb23@moct.go.kr)
 3) 정회원 · 인천대학교 ITS연구소 연구원(ichogt@yahoo.co.kr)
 4) 정회원 · 인천대학교 대학원 박사과정 (jinrino@korenet.net)

화상태(침투수,모관수) ⇨ ②0℃이하(결빙) ⇨ ③ 동결(체적팽창, 동토압증가) ⇨ ④동결유해반복작용 ⇨ ⑤포장파손으로 진행되는 과정을 설명한 것이다.

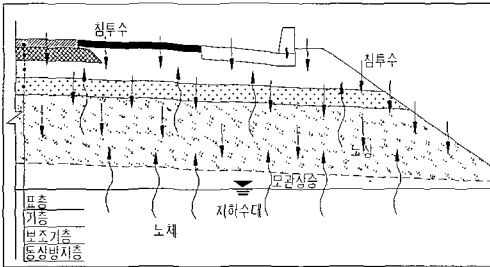


그림 1. 동상의 메커니즘

2.2 동상을 일으키는 조건

동상을 일으키기 위해서는 토질조건, 낮은 기온(추위), 그리고 충분한 수분공급 조건이 적절하게 조합되면 발생하게 된다.

1) 토질조건

- 흙의 입경 : 0.005~0.002mm에서 동상성이 가장 큼

2) 온도조건

- 기온이 0℃이하의 온도가 장기간 지속
- 급격한 온도 저하시 팽창성이 적음(모관수 공급이 일어나기 전에 동결됨)
- 완속한 온도 저하시 팽창성이 큼(모관수의 공급이 원활)

3) 수분조건

- 수분공급이 원활하지 않은 상태(폐쇄식)의 포화된 흙의 경우 동결시 체적팽창률 9%정도
- 수분공급이 원활하면(개방식) 포화된 흙의 경우 50%이상, 최대 200%까지 팽창

4) 동결깊이

- 각 지역별 측후소 및 농관분실에서 설정한 동결지수 및 동결기간에 의해서 동결심도결정.

- 포장단면은 동결심도에 따라서 동상방지층의 사용여부 결정.

5) 상재하중

- 지표면의 상재하중이 작용시 동결면으로부터 수분 이동속도를 완화시켜 동상을 감소
- 흙의 간극이 좁아져 투수계수가 작아짐, 수분의 공급하는 모세관 현상을 감소
- 차단압(shut-off pressure)은 자연동결시 한계값 : 실트(silt)질 1~2kg/cm², 점토질 3~5kg/cm²

2.3 동상의 관계식

1) 수정 Berggren 식

$$Z = \lambda \left(\frac{172,800 \cdot K \cdot F}{L} \right)^{1/2}$$

Z=동결깊이, λ=보정계수, K=열전도율 (cal/cm·s·℃), L=흙의 융해잠열, F=동결지수 (℃·days)

2) Stefan 수정식

$$Z = \frac{2K(\Delta T)t}{\sqrt{\theta_L}}$$

Z=동결깊이, K=열전도계수, ΔT=지중과 지표온도차(℃), θ_L=동결잠열, t=지속시간

3) 데라다(寺田)식

$$Z = C\sqrt{F}$$

Z=동결깊이, C=흙의 열적정수, F=동결지수 (℃ days)

4) 국립건설시험소의 동결깊이 산정 제안식

$$Z = 14F^{0.33}$$

Z=동결깊이(cm), F=동결지수(℃·일)

5) 홍원표, 김명환 제안식

$$Z = 50 \log_{10} \left(\frac{F}{10\gamma_d \omega} \right)$$

Z = 동결깊이(cm), F = 동결지수(°C·일),
 γ_d = 건조단위중량(g/cm³), ω = 함수비(%)

6) 동결깊이 제안식에 대한 수정 및 비교

현재 국내에서 적용하고 있는 식들과 인천대학교식 I, II와 비교한 결과 다음 표 1과 같다. 동결지수 400이하에서는 국립건설시험소식과 인천대학교식 I, II가 안전측에 들며, 400~600에서는 모든 식의 사용이 가능하며, 600이상에서는 건설시험소식의 사용이 가장 바람직하다. 1997년에 개발한 인천대학교식 I, II는 동결지수가 400이하에서 사용이 타당한 것으로 밝혀내었다.

표 1. 제안식의 동결지수 분포별 수정값
 (자료출처:도로동결심도에 관한 예측, 1997.9)

동결지수 분포	지역	국립건설 시험소식 Z=14F ^{0.33}	테라다식 Z=CF ^{0.5}	인천대학교 식 I Z=10(F/W) ^{0.3}	인천대학교 식 II Z=6.5(F/V _d) ^{0.5}
250이하	부산, 목포, 광주, 전주	10F ^{0.33}	5F ^{0.5}	6(F/W) ^{0.3}	6(F/V _d) ^{0.5}
250~400	대전, 서산, 인천, 서울	11F ^{0.33}	5F ^{0.5}	8(F/W) ^{0.3}	6(F/V _d) ^{0.5}
400~600	청주, 영주, 수원, 춘천	14F ^{0.33}	5.5F ^{0.5}	9(F/W) ^{0.3}	6.5(F/V _d) ^{0.5}
600이상	인제, 원주, 횡계	14F ^{0.33}	5.5F ^{0.5}	10(F/W) ^{0.3}	6.5(F/V _d) ^{0.5}

3. 단계별 연구계획

본 연구는 표 2와 같이 5단계로 계획을 세워서 진행하고 있다.

표 2. 동상방지층 검증에 관한 단계별 계획

단계	기간	내용	비고
1 단계	2001.2 ~ 2001.8	- 매설위치선정 (2개현장 총4개소) - 계측기 선정 및 매설	- 부산지방국토관리청내 도로건설현장
2 단계	2001.9 ~ 2002.4	- 현장계측을 통한 자료구축 - 실내시험 - 현장조건외 모델링시험	- 동절기 현장상주 계측 - 현장시료에 대한시험 - 현장 모사 시험
3 단계	2002.4 ~ 2002.5	- 실측자료 검토 및 검증 - 데이터 분석	- 데이터로그 사용
4 단계	2002.5 ~ 2002.6	- 연구보고서 작성	
5 단계	2002.6 ~ 2004.4	- 지속적인 추적조사	

4. 계기매설 및 중간 계측자료

1) 계기 매설현장

부산지방국토관리청 산하의 대구현장에 2개소와 경주현장의 2개소를 매설하였다. 현장자료는 표3과 같다. 현장에 대한 계측기 매설은 그림 2, 3과 같이 매설하였다.

표 3. 현장 자료

현장	포장종류	지반고 (m)	계측고 (m)	성토고 (m)	측후소지반도 (m)	동결지수	동결기인 (일)	포장두께 (cm)	측정된 최대 동결깊이 (cm)	고속도로포장두께 (cm)
강동~포항 (국도 20호선)	시멘트 콘크리트	100.8	121.0	20.2	39.0	213	60	65.0	54(98년)	63.0
왜관~대구 (국도 5호선)	아스팔트 콘크리트	50.5	53.5	3.0	57.8	342	56	65.0	57(97년)	70.0

2) 매설계기 종류

현장에 매설된 계기는 함수비측정계(TDR : Time Domain Ratio), 온도계측을 위한 써머커플(Thermocouple) 센서, 토압계, 변위계를 사용하였

으며, 매설위치는 그림 2, 3과 같다.

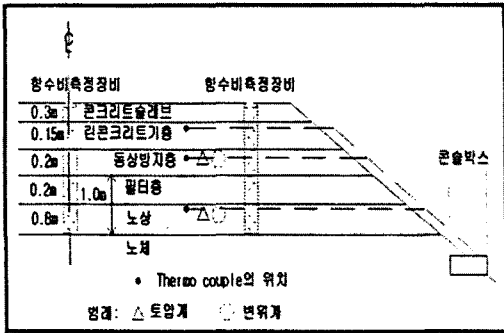


그림 2. 시멘트 콘크리트 포장

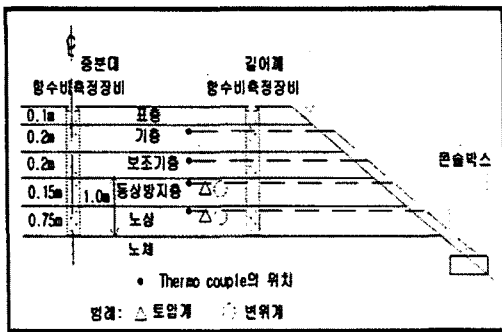


그림 3. 아스팔트 콘크리트 포장

3) 온도 및 함수비 계측자료

온도 및 함수비를 계측한 자료는 그림4~8과 같다.

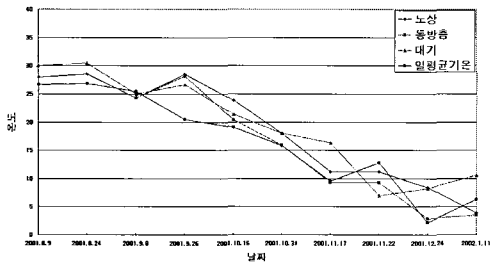


그림 4. 경주 온도계측

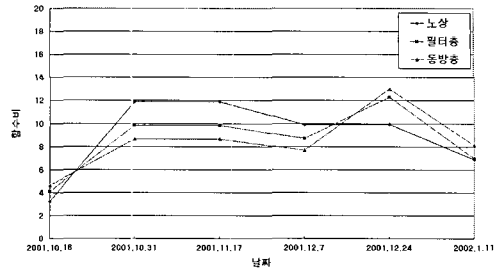


그림 5. 경주 중분대 함수비

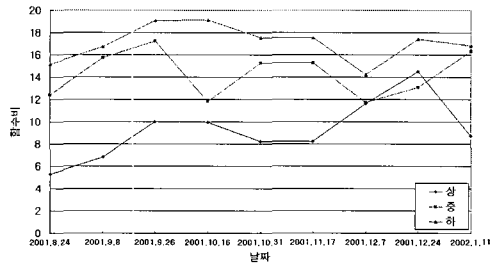


그림 6. 경주 길어깨함수비

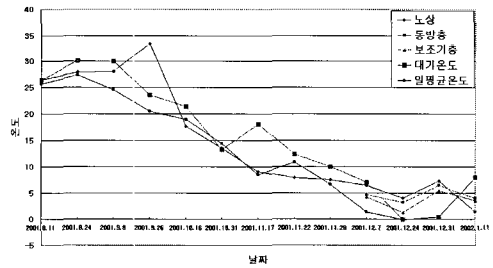


그림 7. 대구 온도계측

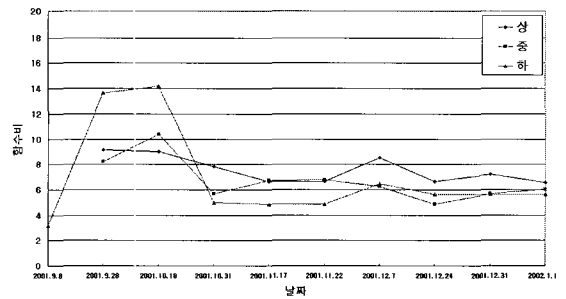


그림 8. 대구 길어깨함수비계측

5. 결론 및 향후과제

본 연구는 남부지방 2개 현장에 대한 계측기 매설후 함수비의 변화 및 포장체의 온도를 계측하고 있다. 계측결과 함수비의 변화는 경우에 따라서 중분대보다 길어깨부가 많이 변동하고 있음을 볼 수 있었다. 도로 개통 후에도 공용중인 차량통과하중에 의한 하중의 분포 변화와 포장체에 전달되는 하중을 계측하고자 한다. 국내에서 설계 및 시공되고 있는 동상방지층에 대해서 동상의 결정적인 원인으로 작용하는 수분의 변화를 측정함으로써 실효성에 대한 검증을 현장계측과 실내 모사시험을 통해서 확인하고자 한다.

현재 계측기 매설현장은 2개소(대구, 경주)와 중부내륙시험도로(성토부 1개소, 절토부 1개소)에서 측정을 하고 있다. 자료의 축적을 위해서는 중부 및 북부 지역의 현장확보와 장기적인 연구 및 계측을 통하여 동상을 일으키는 한 요소인 수분의 계절적인 변화를 추적하여 동상방지층에 대한 현장 실효성 검증을 함으로써 국가의 예산을 절감할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 김상호, 도로포장에서의 동결심도 실측치와 포장재료의 열적정수를 고려한 심도비교, 1997.8
2. 과학기술처, 동토지역 기초구조물의 최적설계·시공기법개발연구, 1992.7
3. 한국도로공사, 노상토의 계절별 함수량 변화 측정에 관한 연구, 1993.12
4. 한국건설기술연구원, 동결심도 및 포장체 온도분포조사, 1999.12.
5. 홍원표, 김명환, 우리나라의 동결심도에 관한 연구, 대한토목학회 제8권 제2호 1988.6
6. 남영국, 김성환, 도로의 동결심도에 관한 예측, 대한교통학회지 제15권 3호, 1997.9
7. John Watson, Highway construction & maintenance 1994
8. Department of The Army and The Force, Pavement Design for Seasonal Forst Conditions, Air force, AFM 88-6, 1988
9. Transportation Research Board, Roadway Design in Sensonal Forst Areas, 1974

학회지 투고안내

한국도로포장공학회에서는 여러 회원의 원고를 모집하고 있습니다. 도로 및 공항포장과 관련된 사항(설계, 시공, 현장체험, 신기술 등) 및 수필, 시, 여행체험기 등 회원 여러분이 보고, 듣고, 느끼신 귀중한 체험을 학회지에 투고하여 주시기 바랍니다.

투고요령 : 원문 및 디스켓 1부 송부

접 수 처 : 한국도로포장공학회 편집위원회

서울 특별시 강남구 역삼동 635-4

한국과학기술회관 801호

전화: 558-7147~8, 팩스 : 558-7149

1 3 5 7 0 3