

국도 노상토의 동상 특성

Frost Heave of Subgrade in The National Road

진정훈* · 이경하** · 윤무희*** · 남영국****

Jin, Jung Hoon · Lee, Kyung Ha · Yoon Moo Hee · Nam, Young Gug

1. 서 론

국내의 도로에서 동상방지층 사용에 대한 많은 불필요성들이 논의 되고 있지만, 이에 대한 타당성과 검증은 이루어지지 않고 지금도 사용하고 있다. 본 연구는 동상방지층의 국내도로의 적용성에 대하여 국도의 현장계측과 실내시험 등을 통하여 합당한 기준을 제시하기 위한 연구이다.

도로포장의 동상방지층에 대한 연구는 2001년에 건설교통부 부산지방국토관리청의 관할 현장 2곳을 시작으로 2005년 9월 현재 6개의 현장에 대하여 계측기를 설치하고 현장계측을 하고 있으며, 동상실내시험과 옥외 토조시험을 통하여 3개의 지하수위대 영역에서 시험을 진행하였다. 계측기가 매설된 현장은 두 번 또는 네 번의 겨울을 지나면서 현장의 자료를 수집하였다.

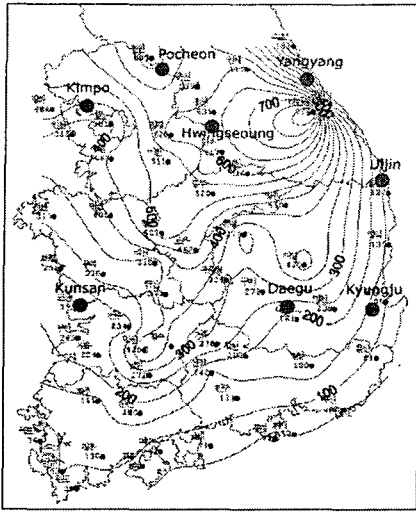
국내의 동상을 대비한 도로의 포장두께 설계법은 설계시에 동결심도산정하여 그 두께만큼 동상방지층을 설치하고 있다. 본 연구는 포장도로의 노상토가 동상의 관입을 받아서 동상을 일으키는 것인가와 도로포장의 하부구조의 노상토 함수비가 변화하면서 동결의 영향을 주고 있는지를 현장에서 검증하는 것이다. 또한, 현장의 성토부, 절토부, 절성경계부에서는 노상토의 함수비 변화가 어떻게 이루어지고 있으며, 겨울철에 포장의 하부온도가 어떻게 변화하고 있는지가 동상방지층의 사용에 대한 평가를 할 수 있다.

본 연구결과 추운지역인 포천과 횡성에서 노상토의 온도가 영하로 저하되지 않았으며, 노상토의 함수비 변동은 최적함수비대에서 $\pm 2\%$ 범위 이내에 있었다. 옥외시험결과 지하수위의 영향에 따른 동상의 용기는 그렇게 크게 작용하지 못했다.

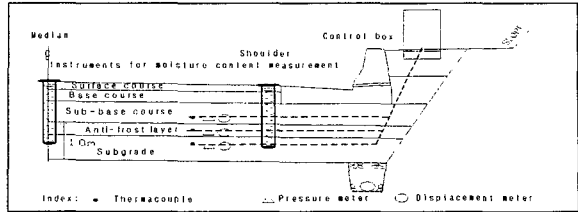
2. 동상시험 및 계측

동상의 피해는 일반적으로 겨울철에 도로가 부풀어 오르는 현상에 의한 파손과 겨울에 얼어있던 도로가 녹으면서 하부의 지지력 약화로 파손된다. 이러한 도로의 파손현상을 방지하기 위하여 국내의 도로설계에서는 동결깊이 만큼 동상방지층을 설치하여 동해(凍害)에 의한 파손으로부터 도로를 보호하고 있다. 국내에서 사용하고 있는 도로의 포장두께 설계법과 시공은 도로의 현장을 중심으로 동결심도에 대한 검증이 진행되지 않고, 미공병단에서 제안하고 있는 동결심도법과 한국건설기술연구소(구 국립건설시험소)식에 의해서 설계 및 시공이 실시되고 있다. 이에 대한 타당성을 검증하기 위하여 국도의 8개소 현장에 대하여 도로포장의 하부층인 보조기층, 동상방지층, 노상에 대하여 그림 1의 a와 같은 현장에 대하여 그림 1의 b와 같이 단면에 계측기를 설치하여서, 계절별 함수비 계측과 포장온도를 계측하였다. 또한 현장시료에 대한 실내시험을 실시하였으며, 현장도로의 동상을 발생시키는 많은 요소 중에서 물, 노상토의 입경, 온도를 중심으로 그림 1의 c로 실내시험을 실시하였다.

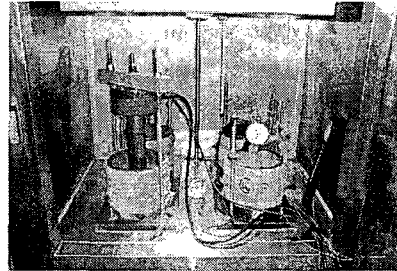
* 정회원 · 인천대학교 ITS연구센터 선임연구원 · 공학박사 · 032-770-8915(E-mail : jinrino@kornet.net)
** 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원 · 공학박사 031-371-3362(E-mail : khlee@freeway.co.kr)
*** 정회원 · 동아건설 인천갑천현장소장 · 인천대학교 박사과정수료 · 032-761-9715(E-mail : willyoon@hanmail.net)
**** 정회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 명예교수 · 공학박사 · 032-770-8915(E-mail : yknam@incheon.ac.kr)



a. 계측기 설치현장



b. 계측기 설치단면(절토부)



c. 실내동결시험

그림 1. 현장과 단면도 및 실내동결시험장치

현장시험 이외에 실내시험은 현장에 채취한 시료를 중심으로 현장의 조건을 반영하여 다음과 같은 방식에 의해서 실내시험이 실시되었다. 실내동상시험을 진행할 때 수분의 조건과 토질의 조건, 온도의 조건을 중심으로 동상에 발생하는 동상의 팽창압력과 팽창량을 그림 1의 c와 같이 측정하였다. 또한, 온도강하시에 발생하는 함수비의 변동과 시료내부의 온도를 측정하였다. 동상실내시험기는 -20°C 까지 온도강하가 가능하며, 물의 공급을 조절할 수 있게 되어있다.

토질의 입경은 입경 $0.005\sim 0.002\text{mm}$ 가 되면 동상성이 가장 강하게 된다(下野文弘, 1977). 따라서 본 연구에서는 입경이 #200체(0.075mm) 통과량 기준으로 실험을 진행하였다. 물의 조건은 수분이 공급되는 조건과 공급되지 않은 조건으로 나누어서 시험을 진행하였으며, 또한 실험용 시료의 함수비를 다르게 하여 동상의 팽창압력과 팽창량을 측정하였다. 온도의 조건은 $-5, -10, -15, -20^{\circ}\text{C}$ 의 조건에서 시험을 실시하였다. 온도의 강하에 따라서 동상에 미치는 영향을 보기 위하여 진행하였다.

현장시험과 동상실내시험 이외에 옥외에 토조를 그림 2와 같이 설치하여 지하수위를 3개로 조절하였으며, 단면은 그림 3과 같이 세 종류의 단면으로 시험을 진행하여 두 번의 겨울을 지냈다. 옥외토조시험도 동상의 팽창압력과 팽창량을 측정하였으며, 각각의 심도별로 온도센서를 설치하여 온도를 측정하였으며, 또한 심도별로 아이버튼을 설치하여 계측하였다. 본 연구를 하는 진행하는 동안 현장과 옥외 토조가 겨울철 추위가 지속적으로 진행되어야지 되지만, 추위의 강도와 지속시간이 많지는 않았다.

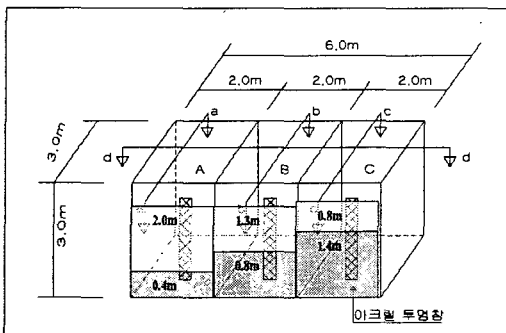


그림 2. 옥외토조의 지하수위 조건

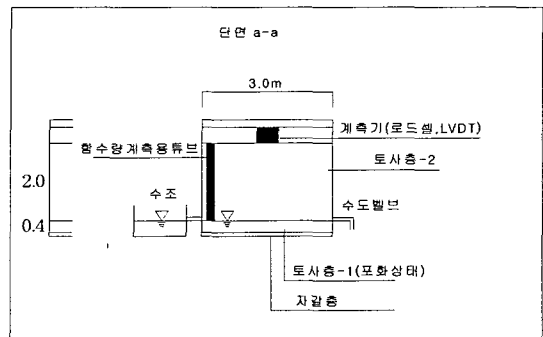


그림 3. 옥외토조



3. 시험 결과 및 분석

동상실내시험결과 각각의 시료의 함수비가 다른 상태에서 실험을 진행한 결과 동상의 팽창압력과 팽창량은 그림 4와 같이 나타났으며, 밀입분(#200체 통과량 기준)함량에 따른 측정 자료는 그림 5와 같이 나타났다. 동상의 팽창량과 팽창압은 밀접한 관계를 가지고 있는 것으로 나타났다.

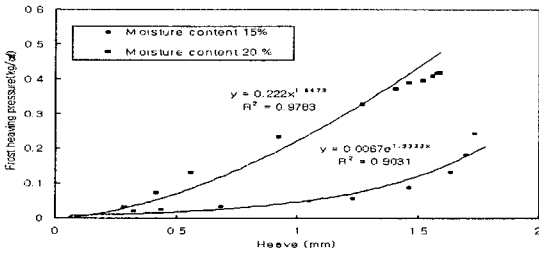


그림 4. 함수비 변동에 따른 동상압과 동상팽창량의 상관성 분석

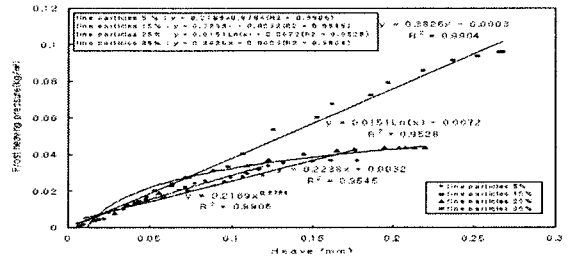


그림 5. 밀입분 함량에 따른 동상압과 동상팽창량의 상관성 분석

현장에서 계측한 계절별 함수비의 변동은 그림 6과 같이 나타났으며, 포장하부의 온도변화는 그림 7과 같이 나타났다. 현장도로의 노상함수비 변동은 크지 않았으며, 보조기층의 온도도 영하로 저하되지 않았다.

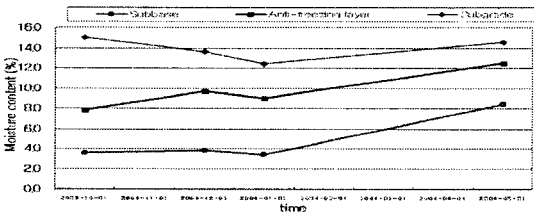


그림 6. 현장계측 계절별 함수비 변동

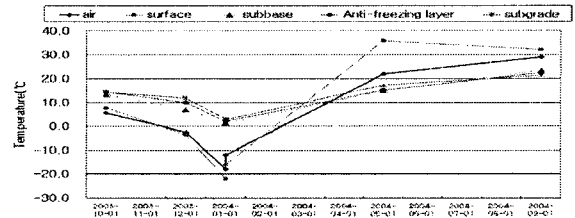


그림 7. 현장계측 포장의 온도변화

옥외 토조시험 결과는 그림 8과 같은 결과를 얻었다. 세 개의 지하수위대에 의한 시험결과 온도는 표면으로부터 60cm까지만 영하의 온도로 저하되었으며, 동상의 팽창량과 팽창압도 작았다. 또한 표면으로부터 60cm에 위치한 시료의 함수비가 동결의 영향을 받아서 약간 저하되었다.

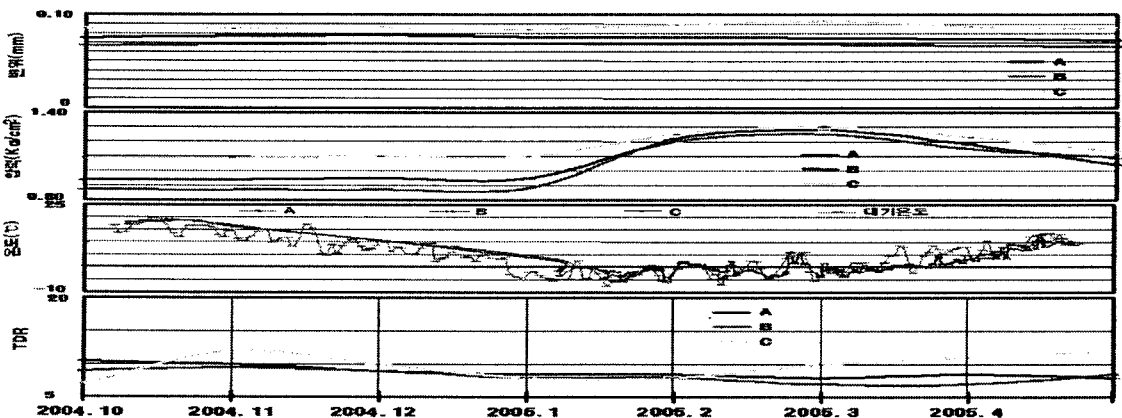


그림 8. 옥외 토조시험 결과



4. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 국내에서 사용하고 있는 동상방지층의 사용에 대한 합리적인 방안을 도출하기 위하여 연구를 진행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 현장도로의 노상함수비에 대한 계절적 변화는 적었으며, 동상실험내시험에서도 노상토가 포화되지 않으면 동상민감성이 떨어졌다. 성토, 절토, 절성경계부 현장의 노상함수비 변화가 안전 측에 있었으며, 지하수의 영향을 고려할 경우에 성토부는 동상방지층 설치의 필요 없는 것으로 사료된다.
2. 노상토의 #200체 통과량은 동상에 많은 영향을 주지만, 국내의 노상토 시방기준에 합당할 경우에는 동상의 영향을 받지 않았다. 따라서 노상토의 기준이 강화되고 현장에서 품질관리가 잘 된다면 동상방지층의 사용이 필요 없을 것으로 사료된다.
3. 국내의 도로포장의 하부온도는 포장층의 열적단열효과에 의해서 영하로 저하되지 않았으며, 연구결과 국내의 동결심도 적용시 사용하는 동결관입허용설계법이 과설계가 되고 있음을 확인할 수 있었다.
4. 지하수의 영향이 해외의 문헌에 의하면 표면에서 2m에 위치할 경우에 동상에 영향을 미친다고 되어있었지만, 본 연구결과 많은 영향을 주지는 못했다. 따라서 노상 최중면 기준으로 2m이내에 지하수위대가 있는 경우에는 동상방지층이 필요하지만, 그 이상 아래에 위치하는 경우에는 동상방지층이 필요 없는 것으로 사료된다.

본 연구결과 성토부는 동상방지층이 필요 없으며, 절토부 및 절성경계부는 신규도로포장현장에 계측기를 매설한 관계로 많은 시간동안 추이를 지켜볼 필요가 있는 것으로 사료된다. 국내의 양질의 노상토가 부족해지는 현상을 고려하여 재활용 순환골재등의 이용에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2004년도 산·학 공동연구개발사업(건설교통기술혁신사업)으로 건설교통부 한국건설교통기술평가원의 연구비 지원과 참여기업으로 용마엔지니어링의 연구비와 인력지원, 위탁연구기관인 한국도로공사 교통기술원의 연구협력으로 얻은 결과이며, 본 연구를 위하여 도움을 주신 것에 감사드립니다

참고문헌

1. Yoder, E. J. Witzczak, M. W.(1975), "Principles of Pavement Design Second Edition", pp. 177~194
2. 青山清道, Yang, R.N., 中村勉(1977) "土の凍結と永久凍土に關する諸問題", 土質工學會研究會, 土と基礎, 25-7(233), pp. 1~4
3. 木下誠一,(1977), "土の低溫特性", 土質工學會研究會, 土と基礎, 25-7 (233), pp. 5~10.
4. 下野文弘(1977), "地盤の凍結と凍上", 土質工學會研究會, 土と基礎, 25-7 (233), pp. 11~15.
5. 高志 勤, 益田 稔, 山本英夫(1977), "土の凍結膨脹率に及ぼす凍結速度・有效應力の影響に關する研究", 雪永, Vol. 36, No. 2, pp. 1~20.
6. 日本土質工學會(1994), "土の凍結-その理論と實際-", 土質工學會編, 第一改訂版.
7. 日本道路協會(1984), "道路土工 排水工指針", pp. 158~174, pp. 221~250 .
8. 久保 宏(1981), "道路舗裝の凍上とその對策" 土の基礎, 29-2(277), pp. 9~14.