

실내시험을 통한 현장노상토의 동상성 연구

Frost Heave of Subgrade in The Laboratory Tests

진정훈* · 양봉집** · 조규태*** · 남영국****

Jin, Jung Hoon · Yang, Bong Jip · Cho, Gyu Tae · Nam, Young Kug

1. 서 론

국내의 도로포장두께 설계시에 동상(凍上)에 대한 고려를 하고 있다. 국내의 동결지수는 4~874℃·일 까지 분포하고 있다. 도로포장설계 및 시공할 때 동상으로부터 포장구조물을 보호하기 위하여 국내의 도로포장의 두께를 설계할 때 동결심도까지 동상방지층을 설치하여 도로포장을 동결융해(凍結融解)작용에 의한 파괴로부터 보호하고 있다.

동결심도(凍結深度)에 대한 연구는 국내의 경우 1970년에 시작하여 1980년대에 건설시험소에서 국내의 실측자료를 토대로 동결지수도를 작성하였으며, 많은 동결심도를 구하는 식을 발표하였다. 2003년 12월에 한국도로공사와 한국건설기술연구원에서 개정한 동결지수도로 동상방지층 두께 산출에 대하여 새로이 발표하였다. 국내에서 그 동안 적용하던 동결지수가 °F·days에서 °C·days로 변경되었으며, 설계자가 편리하게끔 꾸워도와 고도에 따라서 설계지역에 반영하게끔 개선이 되었다.

많은 문제점들이 개선되었지만, 도로포장두께를 설계할 국내에서 제안된 건설시험소식을 사용하기 보다는 미공병단교범(TM 5-818-2)에서 제안한 식을 사용하고 있다. 또한 국내에서는 '72 AASHTO 기초로 지역계수를 사용하고 있으며, 동결심도식을 사용하고 있다.

국내에서 개발한 도로포장두께설계법이 없는 관계로 외국의 시방서 혼용으로 인하여 도로포장두께 설계시에 동상방지층이 도로건설 현장에서 동결심도 및 필요성에 대한 검증도 없이 현재까지 사용하고 있다. 잘못되었다는 문제점들을 인식하고 있지만, 장기적이고 전국적인 지역에 걸쳐서 연구가 이루어지지 못하고 있다. 이러한 동결심도와 동결지수의 영향을 받고 있는 국내 노상토의 정리 또한 되어있지 못하고 있어서 본 연구는 실내시험을 통하여 현장노상토의 동결민감도에 대한 실험적인 연구를 진행하였다.

2. 동상실내시험 조건

일반적으로 도로의 포장구조물에서 동상을 일으키는 요소는 크게 세 가지로 나눌 수가 있다. 그림 1과 같이 토질조건과 0℃이하 온도의 지속시간과 물의 공급이다. 그림 1의 세가지 요소들이 동시에 교집합이 될 경우에 동상이 발생하게 된다. 도로의 포장에서는 동상에 의한 문제발생보다 동결과 융해의 반복으로 인하여 노상토가 포화되면서 지지력이 약화될 때 포장의 파손이 발생할 때 문제가 된다. 동상을 일으키는 노상토의 동상 민감성이 매우 중요한 요소로 작용될 수 있기 때문에 본 연구에서는 이에 대한 비중을 두고 실험적인 연구를 진행하였다.

본 연구를 위하여 일반적으로 외국에서 많이 사용하고 있는 실내의 동상시험법을 응용하여 현장에서 채취한 노상토 재료에 대하여 함수비 변동과 밀입분의 함량에 대하여 중점을 두고서 실내시험을 진행하였다.

* 정희원 · 인천대학교 ITS연구센터 선임연구원 · 공학박사 · 032-770-8915(E-mail : jinrino@kornet.net)
** 정희원 · 다산컨설턴트 부회장 · 공학석사 · 02-2222-4030(E-mail : rahngoon@chollian.net)
*** 정희원 · 인천대학교 ITS연구센터 책임연구원 · 공학박사 · 032-770-8915(E-mail : ichogt@yahoo.co.kr)
**** 정희원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 명예교수 · 공학박사 · 032-770-8915(E-mail : yknam@incheon.ac.kr)

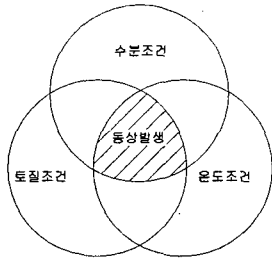


그림 1 동상의 조건

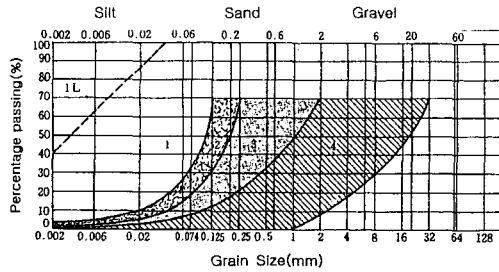


그림 2 노상토의 입경에 따른 분류
(일본토질공학회, 1994)

일반적으로 노상토의 토질조건은 그림 2와 같이 입경에 따라서 1~4 군으로 나눌 수 있으며, No. 200체 (0.075mm)의 통과량이 중요하다. 입경이 0.075mm인 통과량이 20%이상인 2군의 흙은 동상에 민감하다. 일반적으로 노상토의 입경이 0.1mm이상의 사질토에서는 동상이 거의 일어나지 않는다. 0.05~0.1mm입경을 가진 흙으로부터 동상이 일어나기 시작하여, 입경 0.005~0.002mm가 되면 동상성이 가장 강하게 된다(下野文弘, 1977). 그 이하의 입경에서는 토립자의 간극이 좁아 투수성이 나빠지고 동결 면으로 수분보합(水分保合)이 어려워지므로 동상성이 약하다. 동상을 일으키기 위해서는 노상토의 입경이 0.005~0.002mm의 범위에 많은 양을 차지하고 있어야 한다.

온도조건으로는 0℃이하의 대기온도가 얼마만큼 지속되는 것이 동상에 미치는 영향이 크다. 국내의 동결지수가 큰 곳으로는 대관령, 철원, 홍천, 인제, 양평 등이 있으며, 동결지수가 600℃·일 이상이다. 지구의 온난화 현상 등으로 인하여 세계적인 기후학적인 추세는 해마다 평균기온이 상승되고 있다. 동상을 일으키기 위한 가장 좋은 조건은 0℃이하의 온도가 오랫동안 지속되는 것이다.

수분조건은 도로의 동상을 일으키는데 중요한 역할을 하며, 물의 공급이 지속적으로 계속되어야지 동상압과 동상량이 커지고, 봄철에 융해되면서 노상토가 포화하게 되어 지지력을 상실하게 된다. 도로포장하부에 위치하는 지하수대의 높이에 따라서 동상의 영향을 크게 받을 수도 있고 적게 받을 수도 있다. 국내의 쌓기부의 경우 일반적으로 6m이상이다. 즉 지하수위대가 6m이하에 위치하고 있는 것이다. 외국의 문헌자료에 따르면 지하수위대가 포장표면의 1.8m 하단에 위치하는 경우 모세관상승의 영향을 받게 되는 것이 일반적인 이론이다.

위의 조건들을 반영하기 위하여 실내시험에서는 노상토의 입경중에서 #200체 통과량에 중점을 두고 실내시험을 진행하였다. 또한 0℃이하 온도의 지속시간으로 본 실내시험에서는 -5℃의 온도가 24시간 이상 지속될 수 있는 인위적인 환경을 조성하였다. 수분의 조건을 고려하기 위하여 폐쇄식 실내동상시험과 개방식 실내동상시험을 진행하였다.

3. 실내시험

실내시험은 온도의 조건은 -5℃에서 시험을 진행하였다. 함수비에 함량은 10%, 15, 20%로 인위적으로 조절하였다. 시험에 사용한 시료의 경우 최적함수비는 9%로 국내에서 많이 볼수 있는 화경풍화토계열의 노상토이다. 실험결과는 그림 3, 4과 같이 나타났다.

#200체 통과량을 기준으로 밀입분 함량변화를 5, 15, 25, 35%로 인위적으로 함량을 조정하여 실험을 실시하였다. 실험결과는 그림 5, 6과 같은 결과를 얻었다.

함수비 변화에 따른 동상압과 동상 팽창량과의 비교시 그림 7과 같은 상관관계식을 얻을 수 있었다. 밀입분 함량에 따른 동상압과 동상팽창과의 상관관계는 그림 8과 같은 결과를 얻었다.

수분의 공급조건에 따른 실험을 개방식과 폐쇄식 실험을 실시한 결과 그림 9, 10과 같은 결과를 얻었다. 실험에 사용된 시료는 2개 종류의 시료 사용하였다.

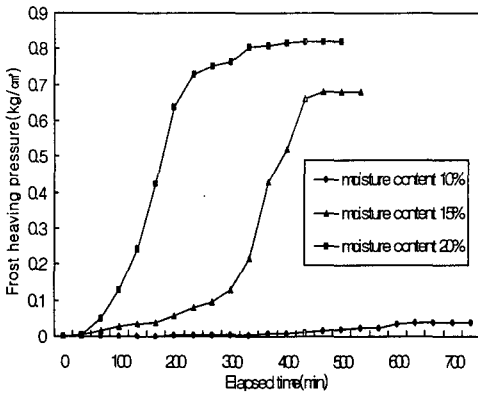


그림 3 함수비 변동에 따른 동상압

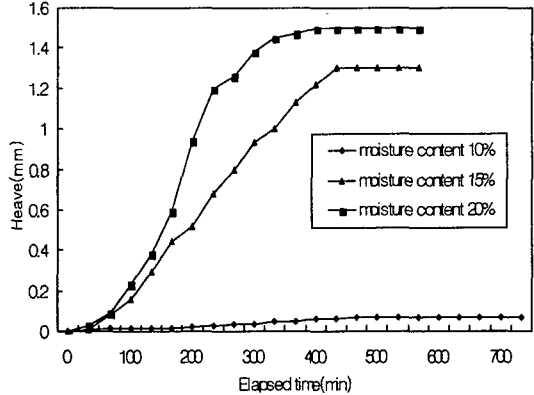


그림 4 함수비 변동에 따른 동상팽창량

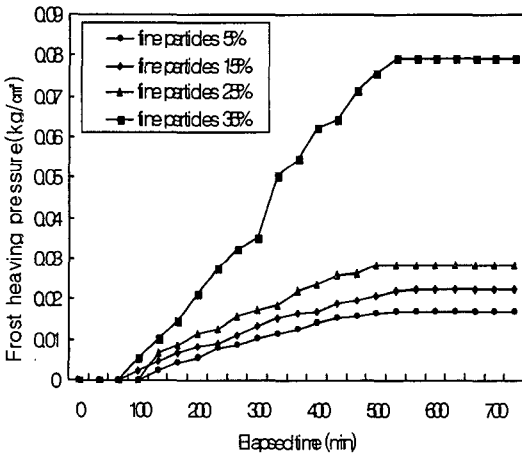


그림 5 밀입분 함량에 따른 동상압

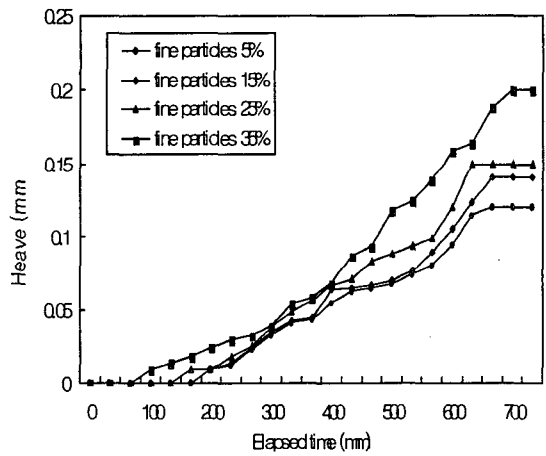


그림 6 밀입분 함량에 따른 동상팽창량

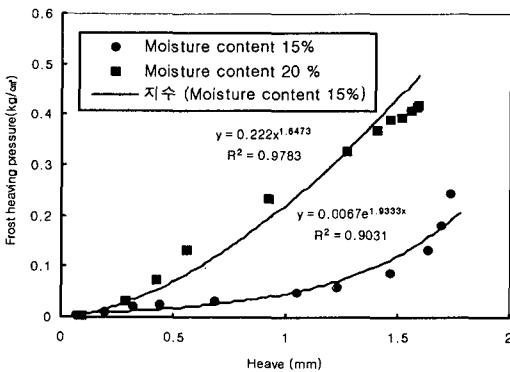


그림 7 함수비 변동에 따른 동상압과 동상팽창량의 상관분석

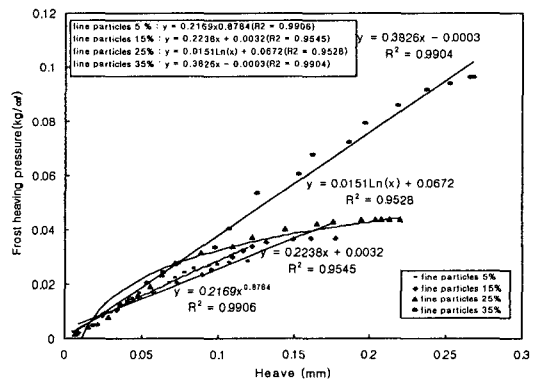


그림 8 밀입분 함량에 따른 동상압과 동상팽창량의 상관분석

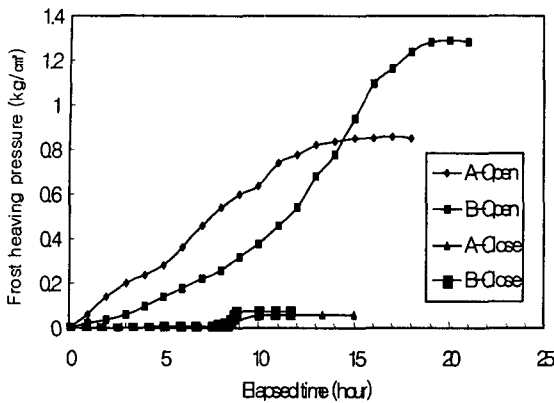


그림 9 수분공급조건에 따른 동상압

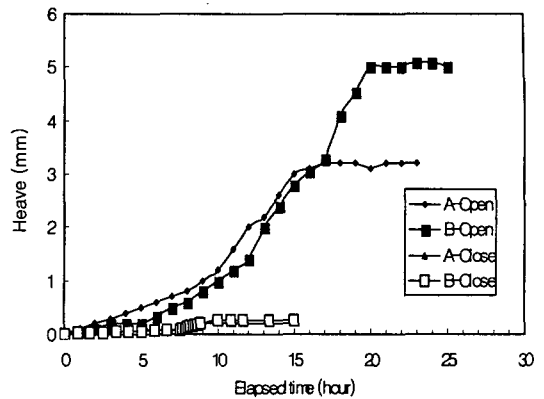


그림 10 수분공급조건에 따른 동상팽창량

4. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 국내에서 사용하고 있는 일반적인 노상토에 대하여 동상의 민감성을 얻고자 실내시험을 실시하여서 결론은 다음과 같다.

1. 함수비 조건에 대한 실험 결과 함수비의 함량이 높을수록 동상의 민감성이 예민해져서 동상현상이 크게 나타난다는 것을 알 수 있었다.
2. #200체 통과량을 기준으로 실내시험을 한 결과 동상의 민감성에 #200체 통과량의 비율이 매우 중요하다는 것을 알 수 있었다.
3. 수분의 공급조건에 따른 실험 결과 수분의 공급에 따라서 동일 시료에서도 동상의 민감성에 많은 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다.

본 연구는 일반적인 노상토 시료에 대하여 제한적인 조건들에 의해서 동상의 민감성에 대한 실내시험으로 양질의 노상토가 부족해지는 현장의 조건을 고려한 더욱더 많은 실내시험과 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Bigl S. R. and Berg R. L.(1996), "Modeling of Mn/Road Test Sections with The CRREL Mechanistic Pavement Design Procedure", CRREL, Special Report 96-21.
2. Yoder, E. J. Wiczak, M. W.(1975), "Principles of Pavement Design Second Edition", pp. 177~194
3. 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
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 日本道路協會(1984), "道路土工 排水工指針", pp. 158~174, pp. 221~250 .
9. 久保 宏(1981), "道路鋪裝の凍上とその對策" 土の基礎, 29-2(277), pp. 9~14.