

# 친환경적인 배수시스템 도입을 통한 동상방지층 개선



진정훈 | 정회원·(주)도화종합기술공사 기술개발연구원 수석연구원  
 남영국 | 정회원·(주)한맥기술 기술연구원 원장, 인천대학교 명예교수

## 1. 서론

국내의 도로는 2004년말 기준으로 10만km 연장의 도로를 보유하게 되었으며, 그중에 포장도로는 약 7만km정도가 된다. 그러나 도로관련 기술중에서 주요한 구성요소인 설계기술은 다른 분야에 비하여 외국의 설계기준을 답습하고 있다. 그나마 이러한 문제점들을 해결하기 위하여 국내에서 처음으로 도로 기술 중의 하나인 포장분야에서 우리나라의 건설 환경에 맞게 한국형포장설계법에 대한 연구를 진행하고 있다.

국내의 도로건설이 본격적으로 시작한 것은 1960년대로, 열악한 기술을 기초로 시작하였지만 오늘날 국내 여객 및 물류의 90% 이상을 담당하고 있는 경제의 대동맥으로 거듭났다. 과거에는 무작정 해외의 기술을 받아들였다면, 지금은 해외의 기술에 대한 검증과 평가, 그리고 국내현장조건에 대한 연구가 시작되어야 할 시점에 와있다.

도로의 건설초기에는 도로설계와 관련한 기술을 해외에서 받아들였기에 국내의 현장적용상에 많은 문제점들을 노출시켰으며, 이제는 이러한 기술을 적용하기에 앞서서 현장검증을 요구하고 있는 추세로 바뀌어가고 있다. 또한 선진기술의 개발을 통한 도

로기술의 발전을 이루어야만 세계의 시장에서 진출할 수 있는 기로에 서있다. 점차적으로 확대되어가고 있는 자유무역협정(FTA:Free Trade Agreement)에 의한 시장개방은 막을 수 없는 대세로 우리에게 다가오고 있다. 즉, 첨단도로기술개발만이 생존할 수 있는 환경으로 바뀌어가고 있으며, 이러한 세계적인 흐름에 낙후되지 않기 위해서는 사회간접시설에 대한 연구가 국가의 주도로 이루어져야 하며, 특히 도로분야에 대한 과감하고 꾸준한 R&D(Research and Development)가 필요한 시점에 와있다. 이러한 추세에서 최근에 R&D연구로 진행된 연구가 동상방지층의 사용에 대한 연구이다. 동상과 연관된 연구로는 많은 분야가 있지만, 국내 도로분야에서 사용하고 있는 동상방지층은 도로의 동상피해를 방지할 목적으로 사용하고 있다. 이러한 설계기술은 해외에서 무작정 받아들여서 사용하고 있는 대표적인 기술중의 하나이다.

한반도는 급세기에 들어서 지구 온난화의 영향으로 겨울이 짧아지고 있지만, 최근에 개정된 동결지수도(2003.11)는 과거에 비하여 동결깊이가 깊게 산출되고 있다. 또한 도로의 설계 및 시공에서는 동상방지층이 지하수의 침투나 노상의 포화 요인이 없는 성토부에서도 절토부 및 절성경계부와 동일한 두

개로 사용하고 있는 것이 국내의 현실이다. 외국에서는 이러한 도로의 동상에 대하여 많은 연구가 진행되었고, 여러 가지 이론과 제안식이 발표되었다. 또한, 도로의 동상으로 인한 파손을 방지하기 위한 설계 및 시공법이 나와 있다.

국내에서는 해외에서 개발된 동상관련 설계기술을 국내의 도로현장에 검증할 하지 않고 받아들였으며 지속적으로 사용하고 있다. 따라서 많은 기술자들이 국내의 현장조건과 상이한 기술들에 대한 문제점을 인식하고 있지만, 심층적이고 오랜 기간의 연구가 필요하기 때문에 반론을 제기하지 못하고 외국에서 개발된 설계기술을 국내에 접목하여 사용하고 있다.

해외에서 도입된 도로관련 기술들에 의해서 국내 도로가 설계되고 시공현장에 적용되고 있지만, 국내에서 검증절차 없이 사용되고 있다. 따라서 동상방지층의 설치기준에 대하여 현장의 검증을 통하여 얻은 결과를 중심으로 국내의 동상방지층 사용에 대한 심층적인 연구를 시도하였다. 도로의 동상방지층에 대한 선행연구는 2년동안 2개의 성토부 현장에서 진행되었고, 정부의 연구비를 보조받은 R&D연구는 2002년부터 2005년까지 동상방지층 사용에 대한 현장검증을 위하여 성토, 절토, 절성경계부 등 6개 현장을 추가하여 계측을 실시하였다.

정부가 지원한 R&D연구에서는 도로노상토의 동결 및 융해 특성평가와 합리적인 동상방지층의 사용을 위하여 지하수위의 영향, 동상에 민감한 노상토의 처리 등을 고려하였다. 지역별로 설치한 현장의 계측기를 통하여 대기 및 포장온도 변화를 계측하고, 포장체 내부의 함수비 변화를 계절별로 측정하여 동상방지층에 대한 현장실효성을 검증하는 것이다. 또한 지하수의 영향에 대한 평가를 위하여 실내 모형실험과 옥외 토조 시험을 실시하여 현장에서 발생하는 변수들에 대한 특성을 규명하고자 실시하였다. 연구결과 도로의 지하배수가 동상에 중요한 영향으로 작용한다는 결과를 도출하였다.

국내에서는 도로의 배수와 관련한 규정도 해외의 기준을 가져와서 사용하고 있으며, 수리수문자료는

그나마 국내최신자료로 수정하였다. 도로의 배수와 관련한 사항은 도로의 구조·시설기준에 관한 규칙(건설교통부, 1999), 도로설계기준(2001.6), 도로설계편람(2000.12)에서 기술되어 있으며, 최근에 연구된 도로배수시설 설계 및 유지관리 지침연구(건교부 2003.12)가 있지만, 개괄적인 내용으로 되어 있으며 상세하게 되어 있지 않다. 일반적으로 도로의 배수에서 다루는 분야는 수리수문, 표면배수, 횡단배수, 비탈면 배수가 중요하게 취급되고 있으며, 지하배수에 대한 인식은 미미하다. 다만 도로의 절토현장에서 지하수에 의한 문제가 발생할 경우에 공사를 위하여 지하배수가 심각하게 고려되고 있는 실정이다.

국내에서 도로를 설계할 때 지하배수는 일반적으로 표준형식으로 결정된 암거를 형식에 맞추어서 설계하고 있으며, 현장의 지하수의 용출량에 따른 고려를 하지 않고 사용되고 있다. 따라서 지하수가 노상으로 침투가 될 경우에는 도로의 동상을 유발할 수 있다. 이러한 문제들로 인하여 국내에서는 절토부와 절성경계부에서 맹암거와 동상방지층을 동시에 사용할 수밖에 없는 구조로 되어 있다. 이러한 문제점들에 대한 연구의 필요성이 부각되고 있지만 국내에서는 중요하게 다루고 있지 않고 있다.

우리나라의 급격한 산업화와 국토개발로 인하여 사회기반시설의 건설을 위하여 많은 천연하천의 골재 채취와 대규모의 석산을 개발하였다. 이러한 골재수요의 급격한 수요로 천연골재자원이 고갈되어 가고 있다. 또한 국민의 의식수준 향상으로 환경에 대한 인식이 나날이 높아져가고 있으며, 천연골재의 채취 및 석산개발 등의 환경파손에 대하여 환경단체의 반대에 부딪히고 있다. 국민의식의 성숙으로 친환경 도로를 설계하고, 건설하는 기술자들에게는 과거와는 상이한 많은 국민의 요구조건들을 고려하여야 한다. 이러한 사회적 분위기에서 도로건설에 필요한 재료들에 대해서는 친환경적인 자원의 활용 측면에서 순환골재의 이용과 천연재료로의 절감도 고려해야할 요소로 자리잡아가고 있다.

## 2. 본론

여름철 동일규모의 태풍이 일본을 지나갈 경우에는 피해가 적지만, 국내를 지나갈 때에는 많은 피해가 발생하고 있다. 강우가 지표면으로 침투를 하지 못하고, 표면수의 대부분이 하수시설로 급속하게 물리기 때문에 많은 피해가 발생하고 있다. 이러한 문제점을 발생시키고 있는 구조물중의 하나가 도로시설이다. 도로표면에 내리는 우수가 도로의 특성상 빠른 시간동안 표면배수시스템을 통하여 급속하게 하수시설로 흘러내리게 된다.

기존에 도로가 없었던 곳에 도로가 신설되면서 도로시설이 차지하는 표면적만큼 우수를 잠시동안 저장하는 자연의 시스템이 사라지고, 도로시설은 물을 빠른 속도로 흘러보내게 되어 있는 구조로 되어 있기 때문에 도로가 신설된 주변의 배수시설들의 용량은 짧은 시간동안 급속하게 우수를 처리하여야 하기 때문에 커질 수밖에 없다. 그러나 기존의 도로의 배수시설은 한반도의 국지성 호우나 대규모의 태풍으로 인하여 발생하는 호우의 영향을 고려하지 않았고, 예전의 홍수빈도 수준으로 설계 및 시공되고 있어서 가끔씩 집중호우에 의해서 용량을 초과하는 경우가 발생하고 있다.

이러한 문제점들을 고려하여 이제는 도로의 배수와 관련한 시스템적인 개선과 설계등급의 조절에 대한 검토가 필요한 시점에 있다. 또한 도로의 건설과 함께 도로주변에 일정규모의 저수용량시설에 대한 검토가 필요하다.

현재의 도로배수시스템에서 도로 주변의 우수처리가 원만하게 처리되지 못할 경우에 우수가 도로의 포장체로 침투가 시작되게 되는데, 이러한 우수를 처리해주는 시설이 도로의 지하배수 시스템이며, 또한 우수에 의한 지하수위의 증가에 따른 지하수유출수를 처리하는 시설이 지하배수이다.

도로의 포장체에 침투한 우수를 빠른 시간동안 유출시켜야만 도로포장체가 손상되지 않기 때문에 지하배수가 매우중요하다. 또한 우수가 도로 포장체에

남겨있을 경우에 겨울철에 동상이 발생하게 된다. 따라서 도로의 지하배수시스템을 어떻게 설계하느냐에 따라서 도로의 동결융해작용에 많은 영향을 미칠 수도 있다.

국내의 도로설계시에 지하배수시스템을 개선하기 위해서는 노상토의 동결융해현상에 대한 규명과 도로의 지하배수시스템의 개선이 필요하다. 동상방지층에 대한 연구를 통하여 지하배수시스템의 중요성을 증명하게 되었다. 도로의 동상방지층을 연구할 때 가장 중심이 되었던 사항중의 하나가 도로의 내부로 침투하는 우수의 변동은 노상함수비를 포화시키는 중요한 요소로 작용한다. 따라서 지하배수는 노상함수비를 변동시킬 수 있는 주요인자로 도로의 동상에 관여하게 된다.

도로의 동상방지층에 대한 연구는 노상토 동결 및 융해작용을 관찰하기 위하여 그림 1과 같이 현장에 계측기를 매설하였다. 공용중인 도로현장에 노상토의 함수량을 계절별로 측정할 수 있는 함수량계측기(TDR : Time Domain Reflectometry)를 사용하여 플라스틱 튜브(tube)를 매설하고, 독일 IMKO사의 Trime-FM TDR 센서를 사용하여 함수비를 측정하였다. 표 1의 지하수의 영향에 따른 물의 공급 등에 의한 함수비의 변동을 계측하기 위하여 튜브를 중앙분리대와 길어깨부에 설치하였다.

온도센서(thermo couple)를 포장내부에 설치하여 계측하였다. 표 1과 같이 온도의 영향을 측정하기 위하여 그림 1과 같이 설치하여서 그림 2와 같이 겨울철의 온도의 변동을 찾아내고 포장내부의 온도가 영하까지 얼마 깊이만큼 관입되고 동상의 영향을

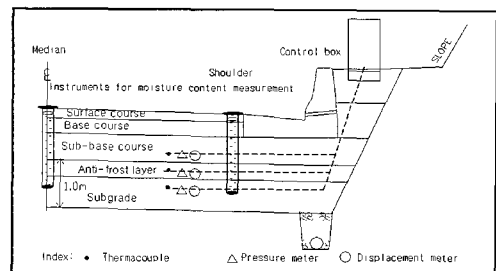


그림 1. 현장 계측기 설치 단면

받는지를 측정하였다.

현장계측의 표 1과 같이 동상의 영향을 주는 요소를 계측하는 것에 대하여 중점을 두었으며, 포장온도, 지하수위(물) 등이 현장도로에서 계절별 변화를 측정하였다. 또한 흙의 성질에 의해서 동상의 영향이 다양하기 때문에 현장의 시료를 채취하여 물성시험을 실시하였다. 도로현장의 경우 많은 지배요소에 의한 영향을 받기 때문에 지하수의 영향을 평가하기 위하여 인위적으로 지하수대를 설정하여 그림 3과 같이 대규모의 토조를 옥외에 제작하여 표 1과 같은 요소의 특성을 계측하기 위하여 함수비 계측용 튜브, 온도센서, LVDT(linear variable differential transformers), 로드셀(load cell)을 설치하여 계측하였다. 지하수대는 3개로 나누어져 있으며, 1년 동안 포화과정을 거쳐서 실험을 실시하였다.

동결 및 융해기에 흙의 팽창량과 팽창압을 측정하였으며, 아이버튼(i-button)을 사용하여 온도가 자

표 1. 동결에 영향을 미치는 요소 및 인자

구분	요소
지표면 온도	온도, 바람세기, 일조량, 기후, 농작물, 지표형상, 눈
흙의 성질	흙의 종류, 밀도, 함수비, 열전도계수, 열용량, 잠열
지하수위	지형, 지질상태, 지하수 높이, 홍수, 물공급

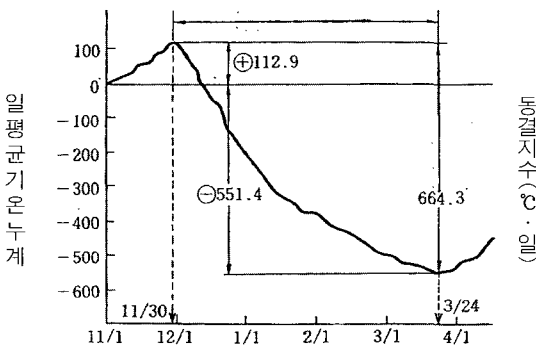


그림 2. 동결시수

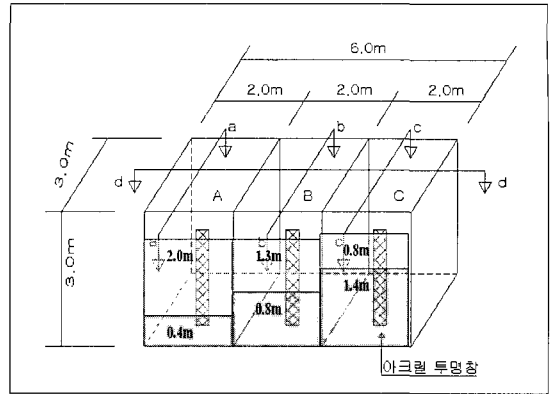


그림 3. 옥외토조시험 개략도

동적으로 계측될 수 있게 하였고, 온도의 보정을 위하여 온도센서를 추가적으로 매설하였다. 각 단면당 함수비 측정의 정밀도를 높이기 위하여 2개의 튜브를 매설하여 실험을 실시하였다.

실내 동상시험은 현장에서 채취한 시료에 대한 물성시험과 토립자 입경별, 함수비별, 수분공급조건별, 밀입분 함량별, 다짐도별로 나누어서 실내 동상시험을 영하의 여러 온도대에서 실시하였다. 실내 동상시험기는 그림 4와 같이 동일시료에 대하여 동시에 동상의 팽창압, 팽창량, 함수비변동, 부분별 온도를 측정하였다. 실내시험과 현장계측 및 옥외시험에서 얻은 자료를 분석하여 도로의 동상방지층에 대한 실효성에 대하여 공학적인 검증을 위하여 연구가 진행되었다.

도로의 현장계측은 2개는 2001년 9월부터 계측을 실시하였으며, 6개의 현장은 2003년 12월 말부터 계측을 실시하였다. 계측기의 설치는 도로건설

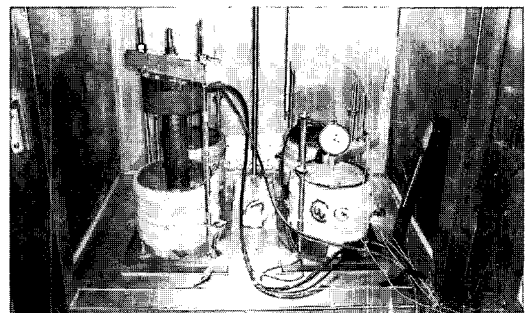


그림 4. 실내동상시험기

현장의 시공계획에 맞추어서 계측기를 매설하고, 각 층별로 시료를 채취하였고, 옥외 토조 시험기는 2002년 11월부터 가동하여 1년 동안 지하수위대까지 물을 공급하여 포화시켰으며, 2003년 10월부터 2004년 5월까지 중점적으로 계측을 실시하였다. 준공된 현장에 대하여 주기적으로 계측을 실시하였고, 현장에서 채취한 시료들에 대하여 물성시험과 실내 동상시험을 진행하였다.

### 3. 연구결과

#### 3.1 문헌 및 방문조사 연구

동상발생의 기본적인 요소인 온도는  $0^{\circ}\text{C}$  이하로 오랫동안 지속되는 환경이 조성될 때 발생하며, 도로노상이 포화될 때 동상이 크게 나타난다. 따라서 노상에 포함된 물이 최적함수비일 경우에는 동상이 작지만, 지속적으로 노상에 물이 공급된 상태에서는 동상이 증가한다. 그러나 최적함수비대에서는 해빙기에 노상의 연약화 현상이 작지만 포화된 노상에서는 지지력이 현저하게 떨어지게 된다. 이와 같이 노상의 함수비가 매우 중요하기 때문에 미국에서는 노상의 함수비를 측정하는 방법을 선호하고 있지만, 일본은 동결심도에 비중을 두고 있다. 해외의 문헌 조사를 참고하여 포장의 온도와 함수비 변화를 측정하는 방식을 선택하였으며, 동결깊이만 알 수 있는 방법보다 실제의 포장온도를 측정하는 방법을 사용하였고, 함수비 계측에서는 오차가 큰 3극식 프로브(probe)방식의 전기저항 측정방식을 실내시험에서 실험한 결과 문제점이 많아서 함수비 계측용 튜브를 매설하는 방식을 선택하였다.

미국에서의 동상과 관련한 연구를 추적하기 위하여 미국 4개주(노스캐롤라이나(North Carolina) 북부에 위치한 오하이오(Ohio)주 미네소타(Minnesota)주 위스콘신(Wisconsin)주)의 주립대학교와 도로국(DOT: Department of Transportation)들을 방문하

여 조사를 실시하여 자료를 수집하였으며, 이들 주에서는 도로 포장 설계시에 동상방지층을 사용하지 않고 있었다. 일부 주에서는 동상방지층이 아닌 보조기층의 투수성을 향상시키는 연구를 진행하여 FDB(Free Drainage Base)층에 대한 설계 적용을 검토하고 있었다. 영구동토와 계절별 동토가 상존하고 있는 미지의 땅인 알래스카(Alaska)주에서도 동상방지층을 사용하지 않고 있었다. 국내의 포장단면과 상이한 점은 교통, 토질, 환경조건에 따라서 단면 두께가 각각 다르게 설계되고 있었으며, 국내의 아스팔트 포장두께 같이 확일적으로 30cm를 유지하지 않고 있었다. 미국에서는 '86 AASHTO의 도로포장 구조설계에서 도로의 포장을 설계할 때 배수계수(강성포장은  $C_a$ , 연성포장은  $m_1$ )를 현장시험을 통하여 측정하여 사용하고 있다. 하지만 국내에서는 이에 대한 기초실험조사가 이루어지지 않고 있다. 일반적으로 배수계수를 확일적으로 사용하고 있는 것이 국내의 실태이다.

일본은 홋카이도(北海道)에서만 동상방지층을 사용하고 있었으며, 그 밖의 지역에서는 동상방지층을 사용하지 않고 있었다. 특히 일본의 경우에는 도로의 지하배수시스템이 비교적 국내보다 잘 되어 있으며, 우수와 관련한 방제시스템이 매우 잘 되어 있었고, 섬의 특성을 살려서 우수의 지반침투 및 지하저류시설 등이 매우 발달해 있다. 그리고 도로의 재료에 따라서 동상방지층의 두께를 다양하게 사용하고 있다. 또한 일본에서는 함수비보다는 동결심도측정에 비중을 두고 연구를 진행하고 있었다.

유럽의 경우 카탈로그(catalog) 설계법이 주류를 이루고 있으며 노상토로 사용될 흙에 대하여 동상민감성에 대한 분류를 하고 있었다. 북유럽은 일본과 비슷하게 재료에 따라서 동상방지층의 두께가 달라진다.

도로의 동상을 일으키는 요소들의 변화를 계측하기 위해서는 계측기의 설치가 중요하다. 동상의 발생을 확인하기 위한 방법으로 동결심도계(그림 5)를 사용하는 방법과 함수비와 온도를 측정하는 방법(그

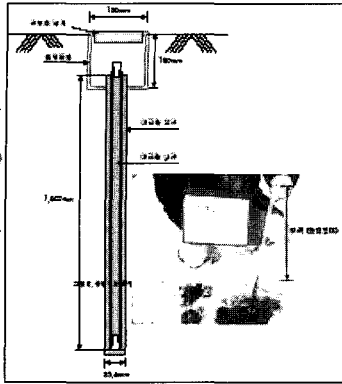


그림 5. 실내동상시험기

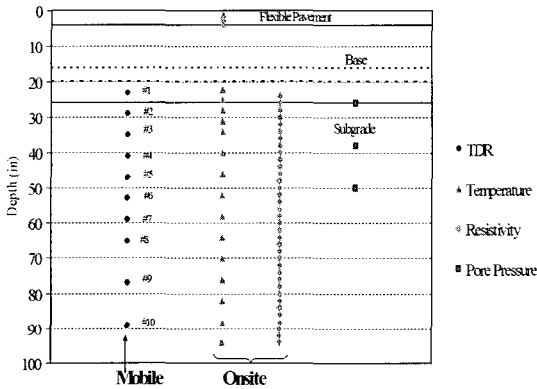


그림 6. 실내동상시험기

림 6)이 일반적이다. 그림 5의 방법은 일본에서 주로 사용하고 있으며, 포장의 온도전달이 단절된다는 단점이 있지만 국내에서 많이 사용하고 있다. 그림 6은 포장의 각 지점에서 온도와 함수비, 포화도를 측정하는 방식으로 미국에서 사용하고 있지만 계측 시에 발생하는 노이즈 값에 의한 측정값의 오류가 일부 발생하는 것으로 보고되고 있으며, 국내의 시험도로에서도 일부 채용하여 사용하고 있다.

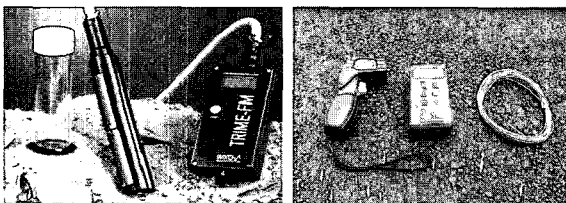


그림 7. 함수비 및 온도 계측기 및 센서

동상의 연구에서 사용된 계측기는 위의 정보를 분석 후에 국내의 실정에 맞는 그림 7과 같은 장비를 사용하여 현장계측을 실시하였다.

### 3.2 실내 및 현장 시험결과

현장시료에 대한 실내시험 결과 노상토의 대부분은 동상에 취약하지 않은 물성을 가지고 있었다. 표 2는 현장의 포장두께 및 기본물성자료이다.

표 2. 현장시료의 실내물성시험결과

구 분	대구	경주	울진	포천	횡성	
표층(cm)	Asp.19 mm(10)	시멘트 (30)	Asp.19 mm(10)	Asp.19 mm(10)	Asp.19 mm(10)	
기층(cm)	Asp.40 mm(20)	린콘크리트 (15)	Asp.40 mm(20)	Asp.40 mm(20)	Asp.40 mm(20)	
보조기층 (cm)	SB-2 (20)	-	SB-2 (35)	SB-2 (30)	SB-2 (20)	
동상방지층 (cm)	SB-2 (15)	SB-1 (30)	-	SB-1 (35)	SB-1 (50)	
포장전체두께 (cm)	65	65	65	95	100	
아티 버그 한계	LL(%)	31.9	30.1	32.34	-	-
	PI	N.P	7.7	3.77	N.P	N.P
다짐 시험	$\gamma_d$ max (t/m <sup>3</sup> )	1.90	1.85	2.09	2.03	2.01
	OMC (%)	10.7	14.6	8.7	9.1	9.8
비 고	저성토	고성토	대절토	일반 절토	절성 경계	

실내 동상시험을 다음과 같은 조건하에서 진행하여 결과를 얻었다. 실내 동상시험 조건시 밀입분 함량, 함수비 조건, 다짐도 조건, 물의 공급조건 등에 따라서 동상의 팽창압과 팽창량을 영하의 여러 온도대에서 측정하였다. 그림 8은 함수비에 따른 동상의 특성이며, 그림 9는 밀입분 함량에 따른 동상특성이

다. 실내동상시험결과 #200체 통과량이 많고, 최적함수비대 이상으로 포화되고, 다짐이 불량하고, 물이 지속적으로 공급될 때 동상의 팽창압과 팽창량이 커졌다. 동상의 지배적인 요소가 노상토의 특성도 있지만, 대부분의 큰 비중은 물의 조건에 의해서 결정되는 것을 알 수 있었다. 노상토에 지속적인 물의 공급조건이 성립할 경우에 동상은 지속적으로 발생하는 것을 실내동상시험을 통하여 국내현장조건을 모사하여 검증하였다.

실내동상시험은 국내의 도로현장에서 일어날 수 있는 경우의 수를 반영하여 실험을 실시하였다. 또한 현장은 주기적으로 함수비와 포장온도를 계속하였으며, 포장의 온도 및 함수비 변동에 대하여 중점적으로 연구가 진행되었다.

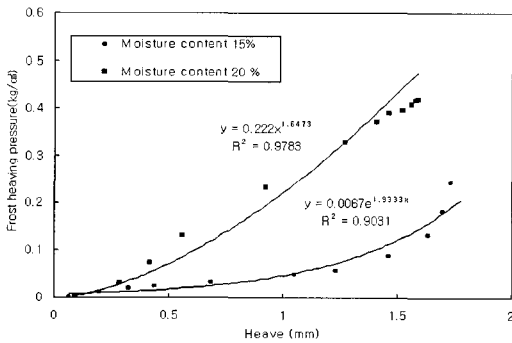


그림 8. 함수비증가에 따른 동상량과 동상압의 관계

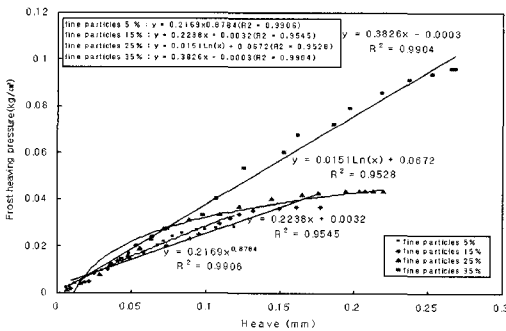


그림 9. 밀입분함량에 따른 동상량과 동상압의 관계

대표적인 현장의 함수비 변동은 그림 10과 같이 계절별 함수비 변동이 최적함수비대에서 ±2% 사이에 있었으며, 그림 11과 같이 겨울동안에도 노상의

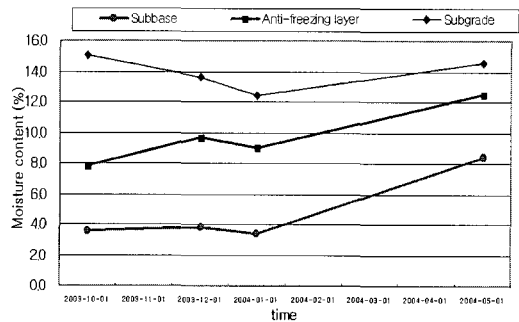


그림 10. 현장계측 계절별 함수비

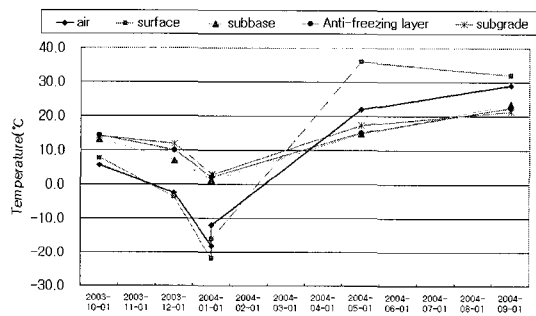


그림 11. 현장계측 계절별 포장의 내부온도

온도가 영하이하의 온도로 저하되지 않고 있었다.

각각의 현장계측결과 계절별 함수비의 변동은 대부분이 최적함수비대에서 ±2% 범위였으며, 노상의 온도가 겨울동안 0°C 이하로 저하되지 않았다. 옥외시험을 2004년 10월부터 2005년 5월까지 집중적으로 실시하였다. 시험결과는 그림 12와 같이 계측결과를 보이고 있다. 지속적인 지하수의 공급조건을 가지고 있었지만, 저온의 온도가 충분히 지하수위대까지 전달되지 못하였다. 따라서 동상에 의한 팽창과 팽창압력이 실제적으로 크지 못하였으며, 함수비의 변동도 크지 않았다. 지하수의 최저깊이가 80cm에 위치하고 있지만, 0°C 이하의 온도의 관입은 표면으로부터 60cm까지밖에 미치지 못했다. 모세관현상을 지속적으로 발생시킬 만큼의 저온이 유지되지 못하였는데 이는 국내의 대륙성 기후의 대표적인 삼한사온현상의 영향에 기인한 것으로 추정된다.

본 연구결과 도로 현장에 대한 검증을 통하여 동상방지층 설치 기준을 마련하였다. 그동안 무분별하게 동일 두께로 설계되었던 성토부, 절토부, 절성경계부등 포장 단면을 현장조건에 맞게끔 설계 및 시공할 수 있게 하였으며, 특히 성토부의 경우에는 지하수의 영향이 없는 경우에 동상방지층을 사용하지 않아도 된다고 제시하였다. 도로의 동상을 일으키는 근본적인 원인 제공은 노상에 대한 물의 침투로 이를 방지하는 것이 가장 근본적인 방법이다.

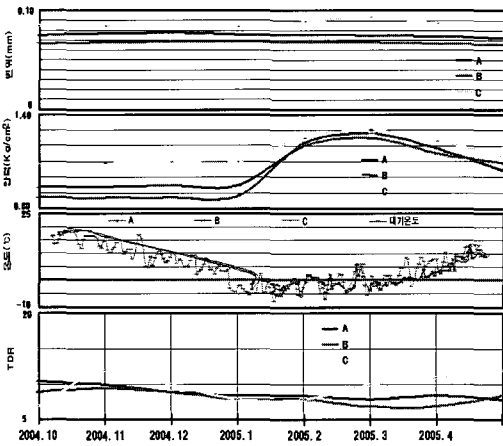


그림 12. 지하수의 지배를 받는 옥외동상시험

본 연구결과 현장시험의 기간은 짧았지만 지하배수시스템을 보강한 절토부의 현장에서도 함수비의 변동이 매우 적게 나왔다. 다만 우려가 되는 것은 연구기간이 너무나도 짧은 관계로 명확하게 동상방지층의 사용유무에 대한 판정을 내리지 못했다. 따라서 짧은 기간이지만 연구결과를 토대로 형식에 지배를 받지 않고, 현장기술자의 판단에 따라서 현장 지

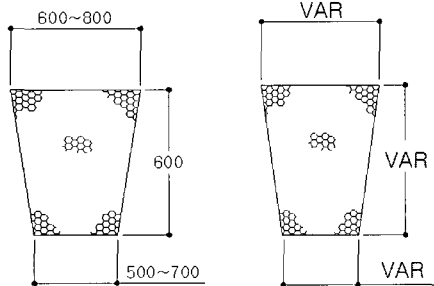


그림 13. 맹암거의 제시 단면

하수의 용량에 맞는 지하배수시스템에 대한 맹암거 등의 규격을 제안하였다.

#### 4. 결론 및 연구방향

실내시험 및 현장시험 등의 결과에 의해서 도출된 동상연구결과 동상의 지배적인 인자로 여러 가지가 있지만 도로의 파손에 직접적으로 관여하는 요소가 물의 조건이다. 국내 대부분의 도로현장에서 문제가 되는 것이 물의 처리에 대한 문제이다. 특히 지하수의 발생 등으로 인하여 도로공사의 공기 연장에 대한 직접적인 원인으로 작용하고 있다. 도로현장 중 특히 문제가 되는 곳은 절토부와 편질편성지역에서의 지하수 용출이다. 대부분의 설계 및 시공은 지하배수를 할 때 맹암거의 표준단면을 사용하고 있다. 표준단면의 용량을 초과하는 용출수가 발생할 경우에는 부적합하다. 현장의 조건을 고려하지 못하고 문제점이 발생할 수밖에 없는 구조로 되어있는 것이 표준단면이 가지고 있는 단점이다.

동상연구 중 몇 개의 현장에서 현장의 절토부에서 많은 용출수의 발생으로 인하여 도로의 노상 및 동상방지층을 시공할 수 없는 경우가 발생하는 것을 여러 번 목격하였다. 시방서에 따라서 표준단면을 사용하였지만 단면부족으로 인하여 용수를 배수하지 못하고 있었다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 맹암거의 단면은 기존보다 2~3배 이상 확대 적용하여 공사를 진행하였다. 1년 이상의 기간동안 지하수의 침투에 의한 노상토의 함수비 변동은 없었다. 합리적인 지하배수시스템을 구축한 사례이다. 이러한 지하배수는 실질적으로 도로포장으로 침투하게 되는 물을 방지하는 구조로 동상에 관여하게 되는 노상의 포화를 방지하게 해준다.

국내의 경우 도로의 지하배수에 대한 부분에 비중을 두고서 연구한 경우가 거의 없다. 도로의 건설에서 배수공에 대한 비중은 공사비를 대비할 경우에도 작다. 또한 배수에 대해서는 설계시 현장경험이 풍



부한 기술자들이 심도있게 검토하지 않는 분야이다. 그러나 시공중에는 배수에 대한 비중이 크며, 의외로 많은 공사비가 추가적으로 발생할 소지가 많으며, 또한 시공기간에 많은 영향을 미치고 있다. 그러나 이에 대한 연구는 많은 부분이 부족하며, 국내의 연구중점분야에서 벗어나 있는 분야이기도 하다. 현재 도로배수구조물의 홍수빈도는 그렇게 기간이 크지 않으며 소외되어 왔다. 도로배수에 대한 연구의 부족은 도로포장 두께의 과다산출과 홍수로 인한 도로의 유실까지 연결되고 있는 것이 근래의 실정이다. 특히, 도로의 지하배수부분은 거의 연구가 되어 오지 못하고 있으며, 5개의 표준단면을 제시하여 모든 도로의 지침처럼 사용되고 있는 것이 현실이다. 체계적인 도로의 지하배수의 연구부족은 공사비의 증가와 공기의 연장을 초래하고 있으며, 준공 후 도로의 운영중에 겨울철 도로의 동상까지 연결되어서 포장과손까지 일어나게 하고 있다.

친환경적인 도로의 건설이라는 캐치프라이드를 내세우고 있지만, 새로운 도로의 건설은 지표면이 흡수하게 되는 우수의 저장율을 낮추어서 침투 유출시간이 빨라지게 하고 이로 인하여 집중 호우시에 도로주변의 배수구조물들은 범람하게 되고 있다. 이러한 문제점들을 인식하고 있지만 아직까지는 뚜렷한 연구가 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

기상학자들에 의하면 한반도가 기상변화에 의해서 집중호우의 빈도가 자주 발생하고 있다는 연구결과를 발표하고 있다. 이에 따라서 수해방재대책에 대한 많은 준비를 하고 있으며, 방재에 대한 연구가 학문의 한축으로 바뀌어가고 있다. 이러한 범주 안에 크게 본다면 수자원의 이용이 작은 도로의 배수시스템으로 출발할 수도 있다는 가정을 세울 수도 있다. 친환경적으로 우수를 자원으로 활용할 수 있는 도로의 배수시스템 전반에 대한 개선이 필요하다.

동상의 연구결과 얻을 수 있는 이익으로 성토부의 동상방지층을 제거할 경우에 얻을 수 있는 효과는 다음과 같다. 도로건설에 대한 2003년과 2004년을 대비할 경우 1,707km의 신설도로가 건설된 것을

기초로 왕복 4차로로 환산하면 약1,000km이며 약 500km의 성토부가 발생하며, 이중에서 250km구간에 한정하여 동상방지층 최소 두께를 15cm로 가정하여 제외할 경우 최소한 순공사비만 연간 225억원 이상의 절감 효과를 얻을 수 있다. 이러한 절감효과를 배수시스템정비에 따라서 절토부까지 적용할 경우에는 더 많은 경제적인 효과를 얻을 수 있을 것이다.

통일이후에 건설될 대규모 북방지역의 도로건설사업에서 도로의 기술 확보로 저비용과 고효율의 효과적인 설계기술을 활용함으로써 건설비를 절감할 수 있을 것이다. 또한 환경적인 측면에서는 석산의 개발 및 골재 채취로 인한 환경훼손을 최소화하여 친환경적인 도로설계를 통하여 자연환경을 보호할 수 있을 것이다.

이러한 연구들은 도로설계 및 시공기술의 기초적인 연구로 장기적인 연구기관과 투자가 이루어진다면 좋은 결과를 얻을 것이다.

#### 참고문헌

1. 건설교통부(2003), "동상방지층 두께 산출(예)- 개정 동결지수선도 이용 -", 한국건설기술연구원, 한국도로공사, pp. 1~16.
2. 건설교통부(2000), "도로설계편람" II 권, 포장편, pp. 702-1~55.
3. 권기철(2002), "노상도의 종류에 따른 동결·융해 특성", 한국도로포장공학회지, 제 4권 제 1호, pp. 33~39.
4. 김상호, 김수삼(1999), "도로포장에서 동결심도 실측치와 포장 재료의 열적정수를 고려한 심도비교 (포장구성재료의 열적정수를 중심으로)", 대한토목학회 논문집 제III권-1호, pp. 37~48.
5. 남영국, 조규태, 진정훈(2002), "도로포장의 동상방지층 실효성 검증을 위한 현장계측 및 실내시험 연구", 대한토목학회 논문집 제22권 제5D호
6. America Society for Testing and Material(1996), "Standard Test Methods for Frost Heave and

Thaw Weakening Susceptibility of Soils”, Annual Book of ASTM Standard Designation : D 5919-96, pp. 823~834.

7. Aldrich, H. P.(1959), “Forst Penetration Below Highway and Airfield Pavements”, Highway Research Board Bulletin 135, pp. 124~149.

8. Andersland, O. B. and Ladanyi, B.(1994), “An Introduction to Frozen Ground Engineering”, Chapman & Hall, pp. 8~61.

9. 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.

10. 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.

11. 日本道路協會(1984), “道路土工 排水工指針”, pp. 158~174, pp. 221~250 .

12. 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.

13. 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.

### 학회지 원고접수 안내

학회지 편집위원회에서는 다음과 같은 내용으로 여러분을 초대하고자 합니다. 언제든지 참여하시어 알찬 학회지를 만듭시다. 여러분의 원고를 기다리겠습니다. (연락처 : 학회사무국 또는 편집위원)

컬 럼	내용 및 형식	비 고
권두언/축사/제언/격려사	시사성 있는 내용으로 A4 2쪽이내 분량으로 작성	편집위원회 주관
특집	회원들에게 도로포장내용과 최신동향소개 : 특집편집위원회 주관하여 연재	게재원고료 지급 심의 후 게재
기술기사	도로 및 도로포장과 관련된 기술보고서로서 A4 10쪽 이내 분량으로 작성 : 사례연구, 공사지, 성공 및 실패사례, 지역별 도로특성, 국내 산학연 합동 연구, 국내외 관련연구소 소개 등	심의 후 게재
기술위원회 세미나 주요내용	기술위원회 세미나 내용을 자세히 요약하여 그 내용을 회원들에게 알리는 컬럼	기술위원회 제공
해외기술동향	도로 및 도로포장관련 해외의 최신 연구내용 및 결과로 A4 4쪽 이내	
국내외 학술회의	도로 및 도로포장과 관련된 학술 및 기술강좌, 세미나 등의 내용 소개	E-mail 이용 가능
문화산책(교양)	교양과 관련된 내용으로 A4 4쪽 이내 : 수필, 취미생활(등산, 낚시 등), 독후감 및 의견제시 등 자유내용	게재원고료 지급 심의후 게재
국내외 신간도서 소개	최근 발간된 도로 및 도로포장 도서 내용소개 및 총평과 국내 회귀 입수 서적 소개	E-mail 이용 가능
학교 및 업체연구소 소개	도로 및 도로포장관련 학교 연구실 및 업체 연구소의 A4 2쪽 내외 소개	게재분량 엄수
학회소식	정기총회 및 학술발표회 소식, 이사회 회의록, 기술위원회 활동소식 등	학회 사무국 제공
Q/A	도로 및 도로포장 관련 문제에 대한 질문과 답변	E-mail 이용 가능
회원동정	주소변경, 직장변경, 경조사, 회원가입, 박사 및 석사학위 취득자 등	E-mail 이용 가능

※ 집필자는 필히 본인 및 공동집필자 사진을 첨부하십시오.

E-mail : kospe@hanmail.net