

동상방지층에 대한 실효성 검증 (1단계)

Verification for Effect of Antifreezing Layer (STEP 1)

진정훈* · 조규태** · 최한길*** · 남영국****

Jin, Jung Hoon · Cho, Gyu Tae · Choi, Han kil · Nam, young Kug

1. 서론

우리나라의 기후대는 온대성지역으로 사계절이 뚜렷하고, 겨울철에는 지면이 동결하는 계절에 위치하고 있다. 이러한 지역성은 도로에 영향을 주어서 겨울철에는 동결작용을, 봄철에는 융해작용을 일으켜서 포장파괴의 한 인자로서 작용하고 있다. 이러한 파괴를 방지하기 위해서 도로포장구조 설계시 노상토가 보조기층에 침입하거나 노상층이 동결하는 것을 방지하기 위하여 차단층 또는 동상방지층을 노상의 일부로서 그 기능을 강화하기 위하여 별도의 층을 설치하도록 설계되고 있다. 우리나라에서는 포장구조 설계시 '72 AASHTO 설계법과 TA 설계법을 함께 혼용하여 노상의 일부로서 동상방지층(SB-1)을 적용하고 있는 것이 현실이다. '72 AASHTO 설계법에서는 지역계수를 포장두께에 적용하고 있으며 또한, 각 지역의 동결지수에 의해서 동결깊이를 구하고, 포장두께 설계시 반영하고 있다. 따라서 본 연구는 노상토의 동결 및 융해 영향을 관찰하기 위하여 계절별로 노상의 함수량 변화와 노상 및 포장체의 온도를 측정하고, 공용중에 발생하는 포장체 내부의 응력변화와 하중의 분포를 측정하고자 한다.

우선적으로 현장 선정을 위해서 경상남·북도의 국도를 관장하는 부산지방국토관리청 산하의 도로 시공 현장 120여개소를 조사하여 금년 내에 표층까지 마무리되는 2개소를 선택하여, 성토부에 계측기를 매설하였다. 시공 중인 도로 성토부의 노상, 동상방지층, 보조기층 등에서 동상을 일으키는 주요 변수로 작용하는 함수비의 변화와 대기 및 포장 온도, 공용중 축하중의 통과시 하중계측 및 응력변위를 측정할 수 있는 계측기를 설치하였다. 겨울철에 집중적으로 함수비변화와 포장 및 대기 온도를 측정하여 현장에서의 동상을 계측하고자한다.

2. 동상(凍上)의 메커니즘

2.1 동상의 정의

일반적으로 흙은 물을 함유하고 있는 물질로 0°C이하의 온도에 장기간 노출시, 얼은 부분의 토립자

* 정 회 원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 박사과정 · 032-770-8915 (E-mail:jinrino@kornet.net)
** 정 회 원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 박사과정수료 · 032-770-8915 (E-mail:cgt@yahoo.co.kr)
*** 정 회 원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 박사과정 · 3400-5709 (E-mail:oneway1950@hanmail.net)
**** 특별회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 교수 · 032-770-8461 (E-mail:yknam@incheon.ac.kr)



사이의 평균간극은 얼기 전에 비하여 확장되며, 확장된 토립자 사이의 간극에 물이 동결된 얼음상태로 남아 있게 되는데, 이러한 현상을 동상이라고 하며, 동상의 기본 구조는 그림 1과 같다.

2.2 동상을 일으키는 조건

동상을 일으키기 위해서는 토질, 기온(추위), 수분, 그리고 상재하중의 4가지 조건이 적절하게 조합되면 발생하게 된다.

2.2.1 토질조건

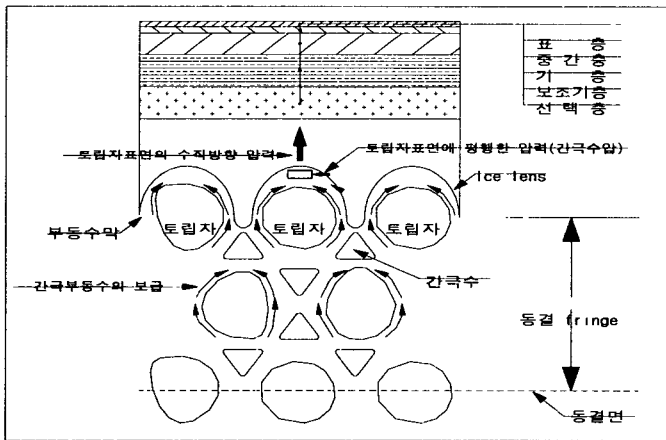


그림 1. 동상의 메커니즘(Mechanism)

일반적인 흙은 입도분포시험 결과로 토립자의 크기에 의해서 동상의 가능성을 경험적으로 판정하고 있다. 입경이 0.1mm이상의 사질토에서는 동상이 거의 일어나지 않으며, 0.05~0.1mm 입경은 동상이 일어나기 시작하여, 입경 0.005~0.002mm가 되면 동상성이 가장 강하게 된다. 그 이하의 입경에서는 토립자의 간극이 좁아 투수성이 나빠지고 동결면으로 수분공급이 원활하지 않으므로 동상의 발생 가능성이 줄어든다.

2.2.2 기온(추위)조건

기온이 0℃이하로 급속하게 떨어지거나 너무 낮으면, 렌즈(lens)모양의 얼음층이 생기지 않고, 콘크리트 모양의 동결상태로 되어 거의 동상이 일어나지 않는다(표 1). 이것은 동결의 급속한 진행으로 인하여 동결면으로 수분의 보급이 충분하지 않기 때문에 발생한다. 동결작용은 대기온도와 밀접한 관계를 가지며, 흙의 동결현상은 저하된 온도의 지속시간에 의해서 좌우되며, 수분의 공급과도 밀접한 관계를 가진다.

표 1. 동결 유형

동결유형	콘크리트 모양	마세한 서리모양+ 콘크리트 모양	마세한 서리모양	서리모양의 동결	서리기둥 모양
설명	빙정(ice lens)이 전혀 확인되지 않음	일부에 빙정이 가능하게 박혀있다.	빙정이 매우 가늘고 촘촘함	1~2mm두께 정도의 빙정 존재	순수한 서리기둥 모양으로 발달

2.2.3 수분조건

급속한 기온의 저하로 수분이 얼어서 외부로부터 물을 흡수하지 못하는 것이 폐쇄형 동결(Closed



System)이라고 하며, 동결되지 않은 흙내부에 포함되어 있던 수분만이 동결면을 향하여 이동함으로써 동결이 이루어지는 경우로 체적팽창은 최대 9% 정도가 일어난다. 흙의 일부분이 동결할 때 아직 동결되지 않은 부분으로부터 물을 빨아들이는 개방형 동결(Open System)은 동결의 진행과 물의 공급이 원활하면 체적 팽창이 2배 정도 된다. 동결되지 않은 부분의 흙을 따라서 동결면까지 이동하는 물은 토립자의 모세관을 통하여 이동하게 되는데, 이동하는 거리는 흙 속에 있는 물의 모세관 상승고와 거의 같다. 동결되지 않은 흙의 모세관 상승고보다도 지하수위가 낮으면 지하수는 보급원이 되지 못한다. 또한, 흙 속의 수분으로서 토립자 표면에 흡착하는 부동수의 양이 큰 역할을 한다. 토립자 표면에 흡착한 물(부동수)은 0°C에서도 얼지 않지만, 동결면으로 흐르는 물(자유수)은 동결면에서 얼음이 된다. 부동수 층의 두께는 매우 얇은 구조로 되어있으며, 부동수분은 온도의 저하에 따라서 감소하는 경향이 있으며, 일반적으로 흙의 입경이 클수록 부동수분량도 감소한다. 도로포장의 표층의 균열로 인한 수분의 표면침투는 동상의 가능성을 나타내지만, 동상이 시작되고 포장단면 아래 얼음층이 존재할 때는 수분의 공급은 얼음층에 의해 차단될 수 있으나 적절한 표면배수는 동상의 피해를 줄일 수 있는 조건이기도 하다.

2.2.4 상재 하중

일반적으로 지표면에 상재하중이 작용하면 동결면으로부터 수분 이동속도를 완화시켜 동상을 감소시키는데 흙의 간극이 좁아져 투수계수가 작아지고 동상을 일으키는데 필요한 수분의 공급하는 모세관 현상을 감소시키기 때문이다. 고지(高志:일본학자)는 동상을(동상량과 동결토의 동결면의 두께와의 비)과 하중, 동결진행속도와의 관계를 실험으로부터 얻은 결과는 외압이나 하중이 작용하면 동결면으로 향하는 수분의 이동속도 감소하고, 하중이 어느 값을 초과하면, 동결진행속도가 음수가 되며, 동결면으로부터 배수되는데 이러한 한계값을 차단압(shutt-off pressure)이라고 정의하고, 자연의 동결에서 한계값은 실트(silt)질이 1~2kg/cm², 점토질은 3~5kg/cm² 정도이다.

2.3 동상이 도로에 미치는 영향

콘크리트 포장은 줄눈부나 콘크리트 포장 슬래브의 균열부로 침투된 수분으로 인하여 겨울철에 줄눈부의 파손 또는 균열폭을 증가시킨다. 겨울철에 동상력에 의한 체적의 팽창으로 인한 포장의 파손은 콘크리트 포장이나 아스팔트포장에서는 그렇게 많지 않다. 그러나 봄철 해빙기에는 아스팔트포장과 콘크리트포장의 균열로 인하여 수분이 노상까지 전달된 경우 겨울동안 얼었던 수분이 노상 함수비를 증가시켜서 지지력을 약화시켜서 교통하중에 의한 포장체의 파괴가 커다란 비중을 차지하고 있다.

3. 동상 계측장비

3.1 함수비 측정장비

독일의 IMKO사의 TRIME-FM을 사용했다. 그림2의 장비는 센서에 내장되어 있는 발전기에서 전자



파를 rod에 방사해 로드 선단에서 반사되어 돌아오는 전자파의 왕복전파 시간을 측정하여, rod 주변의 유전율에 따라 변화하는 토양보다 한결 높은 유전율을 갖고 있는 물의 양에 의존함으로써 수분을 측정하는 장비이다. 현장함수비를 바로 측정할 수 있으며, probe(플라스틱 튜브)를 사용하여, 노상 및 동상방지층, 보조기층의 함수비를 깊이 별로 측정할 수 있다. 그림 2는 장비에 대한 사진이며, 그림 3은 장비를 매설하기 위한 방법 및 설치방법이다. 핸드오거에 의한 방식으로 도로포장 내부의 노상 및 동상방지층, 보조기층을 교란시키지 않고 장비를 매설할 수 있다.

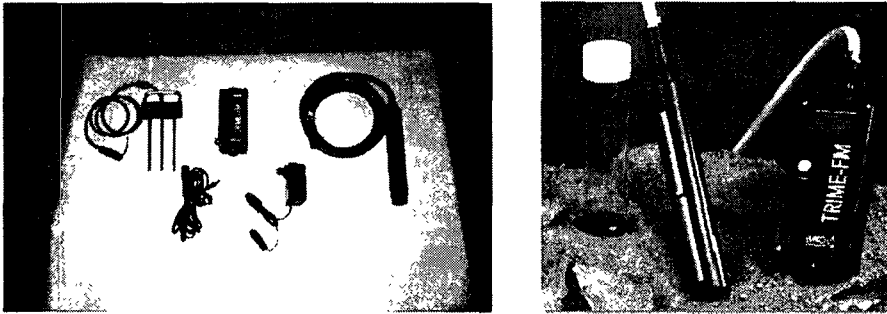


그림 2. 독일의 IMKO사의 TRIME-FM

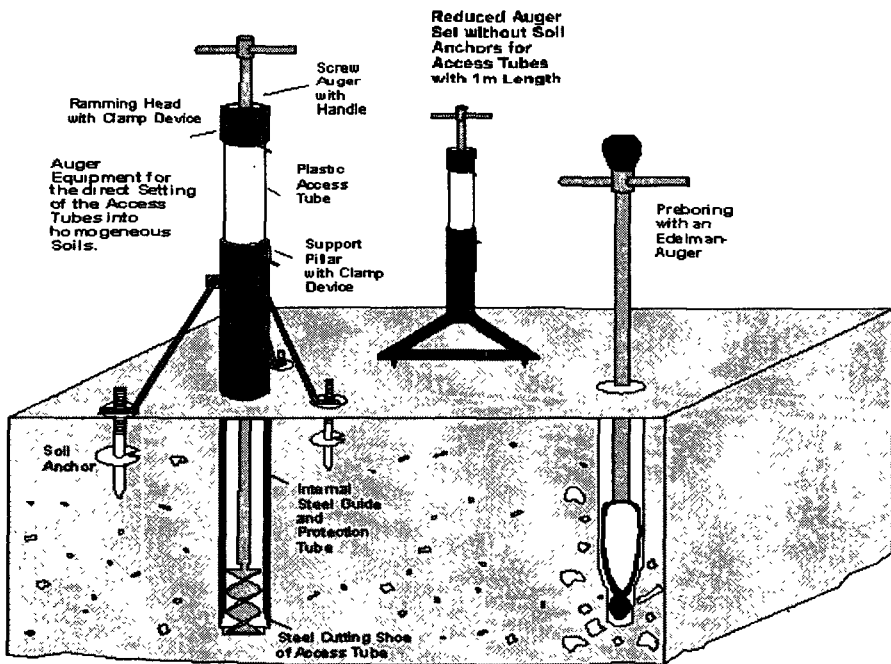


그림 3. 장비 매설도



3.2 온도 측정장비

포장내부의 온도를 측정하기 위해서 Thermocouple 센서를 포장내부에 매설 할 수 있는 전선방식을 선택했으며, 장비는 그림 4와 같이 매설하고 그림 5의 장비를 사용해서 계측한다.

3.3 응력변화 측정장비

도로의 공용중에 차량의 통과하중에 의해서 노상과 동상방지층의 응력 변화를 측정하기 위해서 스트레인 게이지를 그림 7과 같이 제작해서 그림 4와 같이 매설하고 그림 6의 데이터로그를 사용하여 측정한다.

3.4 하중 측정장비

전기저항식 토압계를 사용해서 공용중에 포장내부에 미치는 하중을 측정하기 위해서 그림 4와 같이 매설하여서 그림 6의 데이터로그를 사용하여 계측한다.

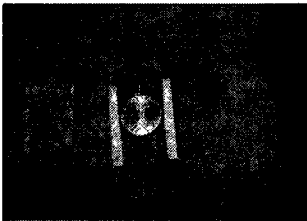


그림 4. 계측장비



그림 5. 온도계측기

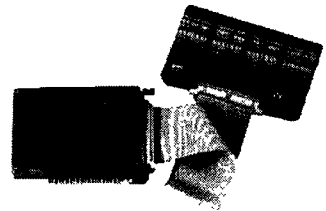


그림 6. UPC-CARD 601 데이터로그

3.5 응력변위계 및 토압계의 데이터 로그

UPC-CARD 601을 사용하여 동적인 데이터를 측정할 수 있는 장비를 선택하였다. 그림 8은 데이터 로그 장비로 PC 또는 노트북에 장착하는 PCI방식 또는 PCMCIA방식이 있다. 데이터로그를 사용하여 공용중에 교통하중에 의해서 발생하는 변위 및 하중을 응력변위계와 토압계를 통하여 동적으로 측정할 수 있다.

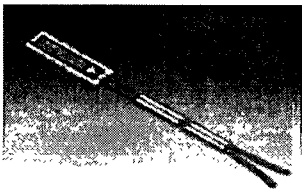


그림 7. 스트레인 게이지, 변위측정장치

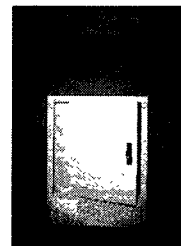
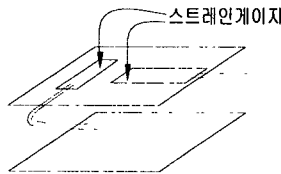


그림 8. 콘트롤박스



4. 현장 설치 및 계측

계측장비는 부산지방국도관리청 산하의 시공현장 2개소에 계측기를 매설하였다. 한 현장은 시멘트 콘크리트 포장으로 그림 9와 같은 방법으로 계측장비를 매설했으며, 다른 현장은 아스팔트 콘크리트 포장으로 그림 10과 같이 계측장비 매설하였다. 함수비 측정용 TDR 매설은 그림 11과 같은 방법으로 probe를 관입시켰으며, 온도센서, 응력변위계, 토압계는 그림 12와 같은 방법으로 설치하였다.

현장의 계측은 함수비측정을 위한 TDR장비에 의한 계측과 UPC-CARD 601을 이용한 컴퓨터 계측, 온도데이터로그에 의한 온도센서 계측이 있다. 장비계측용 전선은 파이프를 통해서 그림 9, 10과 같이 성토부 사면으로 유도시킨 후 콘트롤 박스(그림8)를 사용하여 케이블을 정리하고, 콘트롤 박스 하단부에는 콘크리트 기초를 설치하여 박스를 영구 고정시키고, 이중의 시건장치를 하여서 파손으로부터 보호할 수 있고, 계속적으로 계측할 수 있도록 했다.

함수비 변화와 온도계측은 2001년 9월부터 2주 간격으로 측정하고, 동절기에는 장기간 현장에서 상주하면서 지속적인 계측을 하려고 한다.

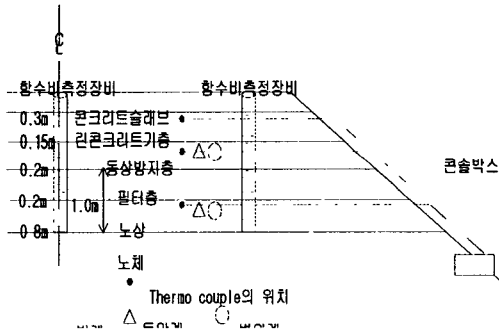


그림 9. 시멘트 콘크리트 포장

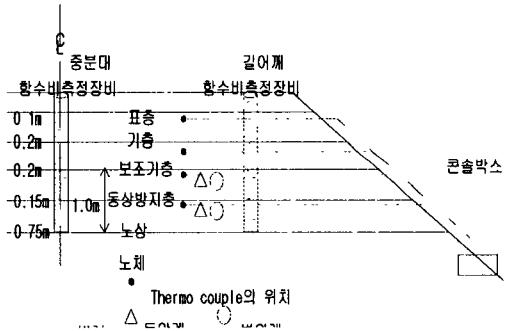


그림 10. 아스팔트 콘크리트 포장

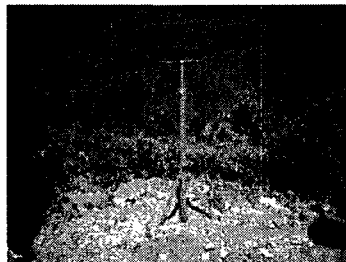


그림 11. TDR 장비 매설과정



그림 12. 계측기장비 매설과정

5. 결론 및 향후과제

본 연구는 현장의 준공과 동시에 장비의 매설 완료 후 2주 간격으로 계속적인 계측을 통해서 함수비의 변화 및 포장체의 온도를 계측하고, 겨울철에는 장기간 현장에 상주하면서 계측하고, 해빙기에는 융해작용에 의한 함수비의 거동을 집중적으로 계측할 예정이다. 도로 개통 후 공용중에는 차량통과하중에 의한 응력의 변화와 포장체에 전달되는 하중을 계측하고자한다. 국내에서 설계되고 있는 동상방지층에 대해서 동상의 결정적인 원인으로 작용하는 수분의 변화를 측정함으로써 동상방지층의 실효성에 대한 검증을 현장계측을 통해서 확인하고자 한다.

계측기 매설현장이 대전 이남인 경상남·북도 지역에 편중되어 있어서 앞으로 대전 이북지역 등 많은 지역에 대하여 장비를 매설하고 지속적인 계측을 통해서 계절별로 변화하는 함수비 증감을 계속적으로 측정하는 현장시험이 필요할 것으로 사료된다. 동상을 일으키는 한 요소인 수분의 계절적인 변화를 추적한다면 동상방지층에 대한 현장 실효성 검증을 좀더 구체적으로 증명할 수 있으며, 동상방지층이 불필요한 지역을 선별하거나 두께를 줄인다면, 국가의 예산을 절약할 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. 한국도로공사, 계측센서 조사 및 계측시스템 기본설계 보고서, 1999.11
5. 한국건설기술연구원, 동결토의 특성과 동토지역에서의 말뚝기초연구, 1993.12
6. 한국건설기술연구원, 동결심도 및 포장체 온도분포조사, 1999.12.
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.