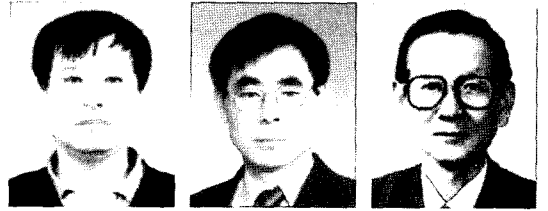


# 도로 포장의 동상방지층 설계에 대한 문제점 및 개선방안



진 정 훈 | 정회원 · 인천대학교 첨단도로교통연구센터  
 조 규 태 | 정회원 · 편집위원 · 인천대학교 첨단도로교통연구센터 책임연구원  
 남 영 국 | 참여회원 · 인천대학교 토목환경시스템공학과 명예교수

## 1. 서 론

우리나라는 지정학적인 조건과 기후 특색으로 인하여 계절적으로 동토(凍土)가 발생하는 지역에 속해있다. 이러한 조건들로 인하여 발생하는 동해(凍害)로부터 도로포장구조물을 보호하기 위하여 도로의 설계 및 건설을 할 때 동상(凍上)에 대한 고려를 하고 있다. 동상에 대하여 포장구조물을 보호하기 위하여 국내의 도로포장의 두께를 설계할 때 동결심도(凍結融解)작용에 의한 파괴로부터 보호하고 있다.

국내의 동결심도(凍結深度)에 대한 연구는 1970년에 시작하여 1980년대에 건설시험소에서 국내의 실측자료를 토대로 동결지수도를 작성하였으며, 동결심도를 구하는 식을 발표하였다. 2003년에 한국도로공사와 한국건설기술연구원에서 개정한 동결지수도로 동상방지층 두께 산출에 대하여 새로이 발표하였는데, 기존의 동결지수를 °F·days에서 °C·days로 변경되었으며, 위도와 고도에 따라서 설계지역에 반영하게끔 개선이 되었다. 그러나 국내의 도로포장

두께를 설계할 때 동결지수도는 국내에서 조사된 것을 사용하지만, 국내에서 제안된 건설시험소 식을 사용하기 보다는 미공병단교범(TM 5-818-2)에서 제안한 식을 사용하고 있다. 국내에서는 '72 AASHTO와 '86 AASHTO를 번역하여 지방서로 사용하면서 지역계수와 배수계수를 적용하여 포장두께 설계시에 동상으로부터 보호하기 위하여 사용하고 있으며, 일본의 지방서를 같이 사용하여 동상방지층(선택층)을 사용하고 있다.

이러한 국내 도로포장두께설계법의 혼용으로 인하여 도로포장두께 설계시에 동상방지층이 도로건설 현장에서 동결심도 및 필요성에 대한 검증도 없이 현재까지 사용하고 있다. 즉, 잘못되었다는 문제점들을 인식하고 있지만, 장기적이고 전국적인 지역에 걸쳐서 연구가 이루어지지 못하고 있다.

## 2. 국내 동결심도 산정법

### 2.1 국내의 동결지수 및 동결심도 연구

국내의 최초 동결지수도는 1967년에 국립건설연구소에서 13개의 측후소 자료를 1년간 수집하여 만들었다. 그 이후에 1971년에 안상진과 백영식(1977)에 의해서 1967년부터 1970년까지의 수원농업진흥청 기상관측자료를 기초로 동결심도와 동결지수의 상관식을 발표하였다. 1974년에는 도로조사단과 외국의 기술자들의 도움을 받아서 30년간의 기상관측자료를 토대로 동결지수도를 만들고, 1979년부터 1980년까지의 육안관찰 및 지중에 온도를 측정하여 동결심도식을 제안하였다. 1980년부터 1989년까지 10년간의 기상자료를 기초로 동결지수도를 만들고 건설시험소 식을 제안하였다. 1991년부터 현재까지 한국건설기술연구원에서 도로포장을 보령하여 일본에서 사용하고 있는 동결심도계(methylen blue)를 설치하고 매년 측정하여 동결심도 관계식을 발표하였다.

국내의 도로포장 두께 설계시에 동결지수도는 최근까지 1989년에 작성된 것을 사용하였으며, 현장의 동결지수도를 구하고 동결심도는 데라다(寺田)식과 미공병단교범(TM 5-818- 2)에 의해서 구한 완전방지법의 동결심도산정과 노상동결허용설계법에 의해서 구한 동결심도와 건설시험소 식을 비교하여 가장 작은 심도를 구한 것을 적용하였다. 최근에 건설교통부(2003)에서 한국건설기술원과 한국도로공사에서 연구한 동상방지층 두께산출(예)를 2003년 11월부터 적용하고 있다. 과거와 달라진 것은 기존에 동결지수가  $^{\circ}\text{F} \cdot \text{days}$ 에서  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{days}$ 로 변경되었으며, 위도와 고도에 따라서 설계지역에 반영하게끔 개선이 되었다. 국내의 동결지수도 및 동결심도의 변화는 표 1과 같이 변천을 거듭하였다.

## 2.2 국내도로포장두께 설계의 동결심도 산정법

국내의 도로포장두께를 설계할 때 동결심도를 산정할 때 과거에는 일본의 데라다식을 사용해 왔었다. 가장 간편하고 동결지수만 알면 동결심도를 구할 수 있기 때문이다. 1980년대 도로조사단에 의한 동결지

수와 동결지수도가 갖추어진 이후에는 데라다식, 국립건설시험소 식, 미공병단교범에 의한 동결심도 산정을 한 후에 가장 얇은 깊이의 동결심도를 사용하였다. 국내에서 연구되고 제안되었던 안상진과 백영식의 제안식, 홍원표와 김명환식, 인천대 식 I과 II, 건설기술연구원 제안식 등은 도로의 설계에서 반영되지 못하였다. 이러한 과정 중에서 2003년 건설교통부 주관으로 한국도로공사와 건설연구원의 연구를 통하여 개정된 동결지수선도가 나왔지만, 동결심도를 계산하는 방법은 변환된 것이 없이 미공병단교범에 있는 도표에 의한 동결심도를 산정하고 있다.

국내도로의 시방서에 의한 동결심도 산정은 ①~⑤까지의 과정으로 되어있다.

- ① 설계할 현장의 위도, 경도, 계획고
- ② 가장 가까운 측후소의 동결지수 및 측후소 지반고
- ③ 동결지수에 의한 수정동결지수 산정
- ④ 완전방지법에 의한 동결심도 산정(도표이용)
- ⑤ 노상관입허용법에 의한 동결심도 산정(도표이용)
- ⑥ 동결심도와 도로포장구조층까지 두께비교시 동결심도가 깊을 경우 동상방지층 설치

## 3. 해외의 동상방지층 사용 현황

### 3.1 미국의 동상방지층의 연구

미국에서는 동상방지층에 대한 연구의 필요성에 대하여 인식을 하고 있지만, 이에 대한 사용에 대해서는 이루어지지 않고 있다. 미국에서 우리와 위도가 비슷하거나 또는 높은 곳에 위치한 미네소타(Minnesota), 위스콘신(Wisconsin), 인디애나(Indiana), 오하이오(Ohio) 주 등에서는 동상방지층을 사용하지 않고 있다. 대규모의 시험도로를 운영하고 있는 미네소타주도 도로의 동결융해에 대한 연구를 많이 진행하고 있지만, 동상방지층을 사용하지 않고 있으며, 봄철에 도로노상토의 융해작용에 의한 도로의 연약화에 대한 대책으로 차량의 통제를 통하

여 도로를 관리하고 있다. 오하이오 주에서는 시험도로의 노상도에 대한 포화에 대한 연구를 진행하고 있으며, 도로포장 하부의 배수의 중요성에 대하여 인식과 도로하부의 배수층(free drain base)에 대한 검토를 진행하고 있다.

미국의 경우 동상방지층의 사용에 따른 도로의 건설비용의 증가보다는 도로의 건설비용의 저감과 많은 도로의 건설에 주안점을 두고 있다.

표 1. 국내의 동결지수도 및 동결심도의 변화

연도	연구자	동결지수	동결심도	동결심도산정식	비고
1967	국립건설연구소	13개 측후소의 1년 자료로 동결지수 산정	-	-	설계에 사용
1971	안상진, 백영식	1967~1970년(3년간) 수원측후소의 자료로 동결지수산정	회귀분석에 의한 동결심도 상관식 제시	- 모래 : $Z=0.14F+3.96 (F \geq 28.3)$ - 모래질 흙 : $Z=0.14F+5.79 (F \geq 41.36)$ - 점토 : $Z=0.15F+1.24 (F \geq 8.27)$ - 점토질 흙 : $Z=0.11F+4.36 (F \geq 39.64)$ - 일반 흙 : $Z=0.12F+0.71 (F \geq 5.85)$	설계에 미사용
1974	건설부 도로조사단 (외국기술자)	동결지수선도 발표	-	-	설계에 사용
1980	건설부	1949~1978년(30년)까지의 기상자료를 기준으로 가장 추운 3년동안의 평균동결지수산정. (30년동안의 자료부족시에 10년간의 자료사용)	1979.2~1980.3까지 육안관찰 및 지중온도계 활용	$Z = -6+5.2\sqrt{F}$	2003년까지 설계에 사용됨
1988	홍원표, 김명환	-	-	$Z=50 \cdot \log_{10}(\frac{F}{10\gamma_a \cdot \omega})$	설계에 미사용
1989	건설부 국립건설시험소	1980~1989년(10년)중에 가장 추운 1년으로 동결지수산정	육안관찰 및 지중온도계 활용	$Z = CF^{0.33}$ (C : 10~14)	설계에 미사용
1997	인천대 식 I, II	기존의 동결지수이용	미공병대교범과 건설부 국립건설시험소식, 데라다식과 비교하여 동결심도 제안식 발표	$I: Z=C(\frac{F}{\omega})^{0.3} (C: 6\sim 10)$ $I: Z=C(\frac{F}{\gamma_a})^{0.5} (D: 6\sim 6.5)$	설계에 미사용
1999	건설기술연구원	현장계측에 의한 동결지수도 작성	도로포장에 동결심도계를 설치하여 심도 측정	$Z = C\sqrt{F}$ (C : 5.3~6.1)	설계에 미사용
2003	건설교통부 (건설기술연구원, 한국도로공사)	최근 30년간의 자료로 추위가 심한 3년의 평균치 사용(30년 동안의 자료부족시에 10년간의 자료사용) 동결지수도 발표, 위도 및 고도에 의한 현장 보정	미공병대교범에 의한 동결심도 산정(도표이용)하며, 노상동결관입허용법사용.	-	2003년부터 설계에 적용됨

### 3.2 유럽의 동상방지층의 연구

유럽의 경우 극지방과 가깝게 위치한 핀란드, 스웨덴, 노르웨이 등에서는 도로의 동상이 가장 큰 문제로 작용하고 있다. 북유럽국가들은 이에 대한 연구를 많이 진행하였으며, 동상에 대한 설계도 많이 발전하였다. 이들 국가에서는 영구동토의 문제가 발생하기 때문에 우리나라와는 다르게 여름동안의 영구동토의 융해에 대한 영향에 대하여 많은 연구가 이루어졌다.

독일, 프랑스, 스위스 등에서는 도로포장두께 설계시에 동상에 대한 고려를 하고 있다. 유럽의 대부분의 국가들은 카다로그 설계법을 사용하고 있다. 동상 설계서에 노상토에 대하여 일반적으로 4개 등급으로 나누어서 동상민감도를 판별하고 있으며, 동상에 민감한 토질을 갖는 경우에는 노상토를 치환하거나 동상이 발생하지 않는 양질의 재료를 동결심도까지 사용하고 있다.

### 3.3 일본의 동상방지층의 연구

일본은 북해도를 제외한 지역에서 동상에 대한 고려를 하지 않고 있으며, 동상방지층을 사용하지 않는다. 일본의 북해도(北海島)에서는 동상에 대한 도로 포장의 융기현상과 융해에 의한 도로포장의 피해가 많이 알려져 있다(久保 宏 1981).

도로의 설계를 위한 동상에 대한 조사를 진행할 때 토질조건, 대기 온도 조건, 흙속의 함수에 영향을 줄 수 있는 지하수위대, 동결심도 측정 자료, 실내동상 시험을 통해 얻은 동상압과 동상량을 고려한다. 국내와는 다르게 많은 사항에 대한 정밀조사를 진행한다. 동결 심도의 추정은 토질조건, 지하수위대, 일사량, 적설량 등을 고려하여 Stefan과 Neumann의 열전도 이론에 근거한 측정식을 바탕으로 수정 Berggren 식을 수정한 데라다식을 사용하고 있다(日本土質工學會, 1994). 동상대책공법도 많이 발달했으며, 일본 내의 동상과 관련하여 북해도 연구소에서 많은 연구를 진행하고 있다.

북해도의 도로 동결대책은 동결 깊이만큼 비동상성 재료(주로 하상골재  $\phi 80\text{mm}$ )를 사용하여 치환하고 있다. 이러한 층을 동상억제층이라고 하며 노상에 포함된다. 치환두께가 20cm 이상인 경우 최초의 노상 CBR값과 동상 억제층의 CBR값을 합성한 CBR값을 구하여 설계 노상 CBR로 노상지지력을 계산하고 있다. 그러나, 포장두께를 계산하는 설계에는 포함하지 않는다. 동상 심도를 계산할 때 표층위에 설치된 마모층(약 2cm) 두께는 포함하지 않으며, 동상 억제층의 치환깊이는 설계기간 n년에 한번 발생할 이론적인 동결깊이의 70% 또는 경험적인 깊이로 하고 있으며, 동상을 차단할 수 있는 보온재료를 사용하는 경우에는 별도의 검토를 한다. 노상토의 설계 CBR은 노상토가 붕철에 융결되어서 지지력이 가장 저하될 때 구하고 있다. 북해도는 108개의 도로현장에 대하여 해빙기의 현장 CBR을 측정하고 종합하여 노상토의 종류에 따라서 도로 설계에 이용할 수 있게 CBR을 통일시켰다.

보조기층과 동상방지층의 시공성과 경제성을 고려하여 2개의 층 두께를 구분하여 최소 두께 15cm로 시공하고, 5cm 단위로 보조기층 또는 동상방지층을 증가시키거나 감소시켜서 시공두께를 조절할 수 있게 하였다. 도로의 동상피해를 방지하기 위한 대책으로 북해도의 경우 경험에 의한 실측값으로 지도상에 치환두께를 표시하고 있으며, 자료가 없는 경우 주변 현장의 자료를 사용하거나 이론최대동결깊이의 70%를 기준으로 토질조건 등을 고려하여 설계 동결심도를 결정한다. 동결지수를 측정할 경우 n년 확률 동결지수의 추정법을 사용하고 있으며, n년 확률 동결지수(X)는 다음 식과 같이 추정한다.

$$\log_{10} X = \sigma_u \cdot \xi + \log_{10} X_0$$

단, X : n년 확률 동결지수

(n년에 1회 일어난다고 추정한 동결지수  $^{\circ}\text{C}/\text{일}$ )

$X_0$  : 동결지수 대수의 평균값

$$\left( \sum_{i=1}^k \log_{10} X_i / k_{10} \right) = \log_{10} X_0 \text{이 되는 } X_0 \text{의 값}$$

$\sigma_u$  :  $\log_{10} X_i$ 의 표준편차

$\xi$  : 확률년수(n)에 대응하는 통계값(표2)  
 $X_i$  : 각 해의 동결지수(℃/일)  
 $K$  : 데이터 수(개)

확률년수 n년에 대응하는 통계값을 찾아서 n년 확률동결 지수를 추정하며, 데라다식을 이용하여 동결 깊이를 계산한다. 많은 실험자료의 측정으로 인하여 정밀한 동결심도를 계산할 경우에는 수정 Berggren 식을 이용하여 계산하고 있다.

표 2. 확률년수와 대응하는 통계값

확률년수 (n)	대응하는 통계값 ( $\xi$ )	확률년수 (n)	대응하는 통계값 ( $\xi$ )
1	-	15	1.50
2	0.00	20	1.64
3	0.43	30	1.83
4	0.67	40	1.96
5	0.84	50	2.05
6	0.97	60	2.13
7	1.07	70	2.19
8	1.15	80	2.24
9	1.23	90	2.29
10	1.28	100	2.33

## 4. 국내 동상방지층 설계에 대한 문제점 고찰

### 4.1 국내의 동상방지층 사용의 문제점

국내의 동상방지층의 설계는 동결심도가 결정되고 동결심도가 부족할 경우에는 동상방지층을 설치하고 있다. 동상방지층의 설치에 있어서 국내의 도로포장 설계법을 살펴보면 다음과 같은 문제점들이 내포되어 있다.

#### 4.1.1 국내의 포장 설계법

'72 AASHTO의 설계법을 사용할 때 지역계수라는 안전율이 있다. 이러한 계수는 도로포장의 두께를 증가시키는 원인으로 동결융해에 의한 도로의 파손

을 방지할 목적을 가지고 일반적인 토목구조물들과 마찬가지로 안전율에 대한 개념을 가지고 있는 것이다. 그러나, 국내의 도로포장두께 설계시에 지역계수를 사용하여 포장의 두께를 산정하고 있다.

국내의 도로포장분야에서 동상에 대한 대부분이 일본의 문헌을 토대로 발전되어 왔다. 최근에 와서 일본 이외의 선진국들로부터 많은 연구자료 및 시험법들을 들여왔지만, 아직도 일본에 의존적이다. 일본의 경우 동상방지층은 초기 설계CBR을 합성한 지지력을 계산하여 사용하고 있다. 국내의 경우 동상방지층에 대한 포장구조지지력을 계산하기 시작한 것이 1997년에 시작되었지만, 아직도 활성화되지 못하고 일본의 시방서에 의한 계산법에 의존하여 사용하고 있다. 또한, 현장에서 동상방지층을 노상에 포함시키는 경우도 있고, 포함시키지 않는 경우도 있는 등 혼란스럽게 사용되고 있다.

'86 AASHTO에서는 배수계수라는 변수가 도입되어서 사용되고 있으며, 회복탄성계수에 의한 계절별 노상토의 지지력의 평균값을 포장의 두께 설계시에 적용하고 있다. 배수계수의 의미는 노상의 동상피해와 직접적인 연관이 있다. 도로포장은 물이 스며들면 포장의 파손이 빠르게 진행되는 구조물로서 배수가 중요하다. 물이 스며들었다 하더라도 빠른 시간 안에 물을 배수시켜야 한다. 배수계수는 이러한 의미 외에 포장의 동결융해의 영향을 받지 않기 위하여 포장의 두께를 두껍게 하는 안전율의 개념이 들어 있다.

위의 설계법들은 국내의 도로포장 두께를 설계할 때 설계법 자체에 이미 도로의 포장두께에 대한 안전율이 들어있지만, 미공병단교범의 동결심도를 산정하여 포장구조설계두께와 비교하여 동결심도보다 두께가 작을 경우에는 동상방지층을 사용하고 있다.

#### 4.1.2 도로포장의 동상

일반적으로 도로의 포장구조물에서 동상을 일으키는 요소는 크게 세 가지로 나눌 수가 있다. 그림 1과 같이 토질조건과 0℃이하 온도의 지속시간과 물의 공급이다. 이러한 세가지 요소들이 동시에 교집합이

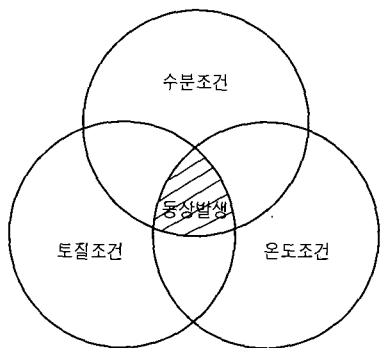


그림 1. 동상의 조건(남영국 등, 2001)

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.

노상토의 토질조건은 그림 2와 같이 입경에 따라서 1~4군으로 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 사질 토에서는 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 나빠

지고 동결면으로 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. 이러한 영향으로 국내의 국도현장에 대하여 2001년 가을부터 2004년 봄까지 포장의 하부온도를 측정한 결과 보조기층까지 0℃이하로 저하되지 않고 있는 경향을 나타내고 있다. 동상을 일으키기 위한 가장 좋은 조건은 0℃이하의 온도가 오랫동안 지속되는 것이다.

수분조건은 도로의 동상을 일으키는데 중요한 역할을 하며, 물의 공급이 지속적으로 계속되어야 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 되

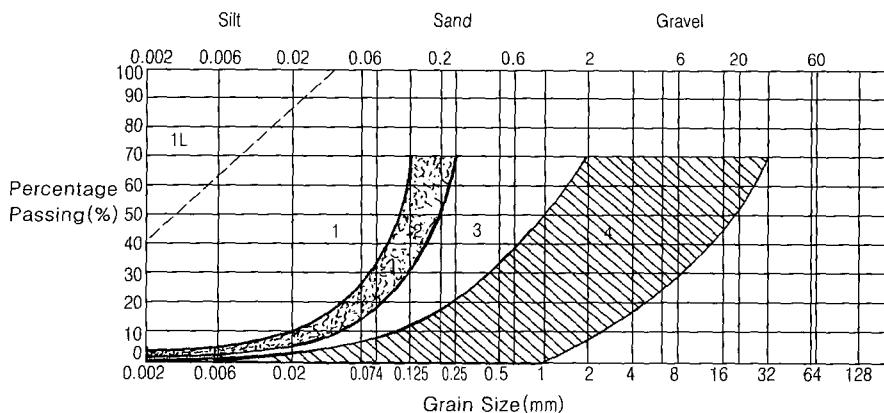


그림 2. 노상토의 입경에 따른 분류 (일본토질공학회, 1994)

는 것이 일반적인 이론이다. 그림 3은 포장의 표면으로부터 지하수위대가 1.8m에 위치하고 있을 때 동상의 영향을 받는 포장구조에 대한 것이다.

## 4.2 국내의 동상방지층의 개선방향

### 4.2.1 국내 도로포장의 설계 개선의 필요성

국내의 도로포장 두께를 설계할 때 동상에 대한 고려를 하고 있다. 그림 1과 같이 도로포장에서 동상이 발생할 경우에는 3개의 요소가 공유를 할 때 발생한다.

도로 현장에서는 쌓기부의 경우 동상의 요소 중에서 지하수위대에 의한 물의 공급이 차단된다. 그러나 국내에서는 쌓기부, 깎기부, 절성경계부 등에서 모두 동일두께의 동상방지층을 설계 및 시공하고 있다. 포장두께를 설계할 때 포장하부구조 지지력에 의하여 포장두께가 결정된다. 포장 하부에 암반이 위치하는 깎기부 또는 터널입구의 경우에도 국내에서는 포장의 두께만큼 암반을 절취하고 포장을 시공하고 있다. 암반의 경우 배수가 잘되는 포장재료를 사용한다면,

지하수에 의한 물의 공급을 차단할 수 있고 지지력이 좋아서 상부구조의 두께를 줄일 수 있을 것이다.

세계적인 기후의 변화는 지구 온난화 현상이다. 해수온도의 상승으로 인하여 삼면이 바다인 우리나라의 경우 따스한 겨울을 맞이하고 있다. 도로의 동상을 일으키는 요소인 0℃이하 온도의 지속기간이 짧아지고 있는 것이 기후학적인 현상이다. 빠른 주기에 의한 동결지수도의 수정이 이루어지는 것이 중요하다. 2003년에 동결지수도에 수정이 이루어졌지만, 지구 온난화 현상에 대한 고려를 하지 못했다.

국내 노상토의 조건은 동상에 민감하지 않는 흙이 대부분이다. 고속도로의 경우 80%정도가 최적함수비 10%대이고, No. 200체 통과량이 20%미만의 흙이 대부분이다. 이러한 조건들을 고려한다면 동상방지층 재료와 노상토 재료를 비교할 때 별로 차이가 없다.

유럽의 경우에 국내와 같이 고성토 구간이 별로 없으며, 대부분의 도로 종단선형이 지반을 따라가고 있다. 대부분의 유럽 국가들은 노상토에 대하여 동상의

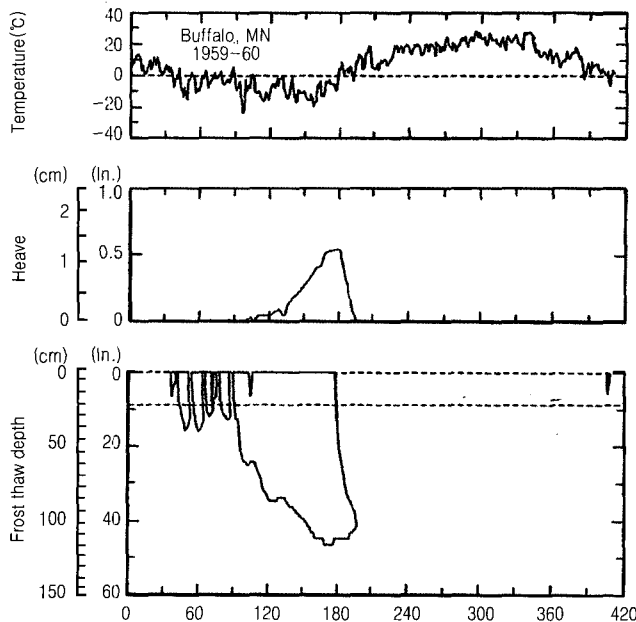


그림 3. 지하수위대가 1.8m일때 도로포장의 동상량과 동결융해 깊이(Bigl and Berg, 1996)

민감도에 따라서 토질을 분리하고, 동상민감도가 클 경우 치환하거나 양질의 재료를 사용하여 동결심도 만큼 포장두께를 보완하고 있다. 미국의 경우 도로의 종단선형이 유럽과 비슷하게 지반을 따라가고 있다. 국내의 기후보다도 춥고, 호수가 많고, 토질조건도 좋지 않지만, 국내의 포장두께 보다도 얇게 설계되고 있으며, 동상방지층을 사용하지 않고 있다.

국내의 도로포장두께 설계시에 위의 사항들에 대한 고려가 충분이 이루어지고 못하고 있으며, 이에 대한 연구도 외국에 비하면 매우 빈약하다. 이러한 연구부족으로 인하여 동상방지층이 과대하게 설계되고 있다.

#### 4.2.2 국내 도로포장의 설계 개선 방향

연구 부족 등으로 인하여 발생하는 동상방지층의 과대 설계 문제를 해결하기 위해서는 우선적으로 국내에서 동상방지층 연구에 대한 많은 투자가 이루어져야 할 것이다. 국내에서 많은 연구자들이 연구는 해왔지만, 장기적인 연구는 진행되지 못하였다. 국내의 동상방지층 사용에 대한 개선을 위해서는 장기적으로 전국의 많은 도로현장에 대하여 계측들을 매설하여 오랜 기간동안 계측이 필요하다. 특히 도로포장에 대하여 상부에서 하부까지의 계절별 포장온도의 변화와 현장 도로에 대한 함수비의 변동에 대한 계측이 이루어져야 할 것이다.

국내의 전지역에 대하여 노상토를 채취하고 이에 대한 동상민감도에 따른 분류가 이루어져야 할 것이다. 또한, 천연재료의 고갈로 인한 건설폐기물 등을 재활용하기 위한 재료물성과 동상민감성에 대한 연구도 같이 되어야 할 것이다.

도로포장을 동상으로 보호하기 위해서는 도로포장 하부구조에 대한 배수를 검토하고 이에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다. 일반적으로 도로포장설계시에 사용하고 있는 표준 맹암거가 아닌 현장의 특성을 고려한 설계가 이루어져야 할 것이다.

## 5. 결론

국내 도로포장의 동상에 대한 연구는 선진국들에 비하여 많이 부족한 상태이다. 또한 장기적인 연구에 투자가 이루어지지 않고 있으며, 이에 대한 연구 성과도 빠른 기간내에 발표되고 있지 못하다. 국내에서 도로포장에 대한 동상방지층에 대한 문제점 연구 및 개선안을 위해서는 장기적인 연구기관과 투자가 이루어진다면 좋은 결과를 얻을 것이다. 또한 남북간의 도로의 연결 및 아시안 하이웨이 프로젝트에서도 동상의 영향을 많이 받는 곳에서 도로를 건설할 때 기술적인 우위를 점할 수 있을 것이다. 국내의 도로포장의 과대설계를 막기 위해서는 가장 시급한 과제중의 하나로 다루어야 할 것이다.

1. 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.
2. 日本道路協會(1984), “道路土工 排水工指針”, pp. 158~174, pp. 221~250 .
3. 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.
4. 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.