

# 도로의 동상 설계 개선 방향

## Improvement of Design for Anti-frost layer in Korea

진정훈\* · 문병권\*\* · 조규태\*\*\* · 남영국\*\*\*\* · 박만희\*\*\*\*\*

Jin, Jung Hoon · Cho, Moon, Byung Kwon · Cho, Gyu Tae · Nam, Young Kug · Park, Man Hee

### 1. 서론

계절적 동토지역에 위치하고 있는 우리나라는 도로포장구조를 환경적인 인자들로부터 보호하고 도로파손을 막기 위하여 동상방지층을 사용하고 있다. 국내에서 도로에 동상방지층을 사용한 시기는 경부고속도로의 건설과 함께한 외국기술자들의 도움에 의해서 사용하기 시작하였다. 도로의 동결방지를 위하여 도로를 건설할 현장에 대한 동결심도를 구하여 도로포장의 구조지력두께보다 동결심도가 클 경우에 동상방지층을 설치하고 있는 것이 국내의 도로의 설계 및 시공이다. 최근 들어서 지구의 온난화 현상(Gerald R. North etc., 2006) 등으로 국내에서는 여름이 7일 늘어나고, 겨울이 7일이 줄어들고 있다고 보도되고 있다. 국내에서 사용하고 있는 동결심도는 동상방지층 두께 산출(건설교통부, 2003)을 기초로 설계 및 시공이 이루어지고 있다. 과거에 사용하던 시방서에 비하여 동결지수도가 개정이 되었고, 화씨(°F)가 섭씨(°C)로 바뀌었으며, 일부지역의 경우에는 동결일수와 동결지수가 커져서 동결심도가 깊어진 경우도 있다. 국내외의 문헌에 의하면 도로의 동상의 지배요소는 노상을 구성하고 있는 재료의 물성과 물의 침투, 그리고 현장의 대기온도에 의해서 영향을 받고 있으며, 또한 도로의 포장을 구성하고 있는 비동상성 재료 두께의 영향도 고려하여야 한다.

본 연구는 국내에서 사용하고 있는 도로의 동상방지층 설계에 대한 개선방향에 대한 연구로 국내에서 사용하고 있는 시방서의 개선을 위한 방향을 제시하기 위하여 국내외 문헌 및 연구결과를 중심으로 연구하여 결과를 도출하였다. 본 연구결과 국내의 동결심도가 과다설계 되고 있음을 현장의 계측자료를 통하여 알 수 있었으며, 동결심도산정에 대한 심층적인 연구가 필요한 것으로 사료된다.

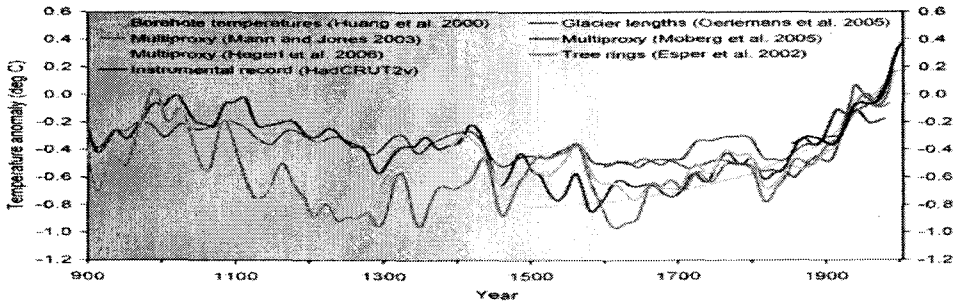


그림 1. 지구 대기의 평균온도변화

### 2. 국내의 현황

국내에서 사용하고 있는 도로의 동상설계의 기초는 도로포장의 계절적 동토지역에서의 설계(미공병단 TM 5-818-2, 1985)와 동토지역권의 토질별 동상깊이 결정(미공병단 TM-5-852-6, 1988)으로 하고 있다.

\* 정회원 · (주)도화종합기술공사 기술개발연구원 수석연구원 · 공학박사 · 02-3469-7462 (E-mail:jirino@dohwa.co.kr)  
 \*\* 정회원 · (주)도화종합기술공사 대표이사 · 02-2050-6012 · (E-mail:bkmoon@dohwa.co.kr)  
 \*\*\* 정회원 · 인천대학교 공학기술연구소 · 연구교수 · 공학박사 032-770-8915 · (E-mail:ichogt@yahoo.co.kr)  
 \*\*\*\* 정회원 · 인천대학교 명예교수 · 공학박사 · 032-770-8915 · (E-mail:yknam@incheon.ac.kr)  
 \*\*\*\*\* 비회원 · 인천대학교 대학원 박사과정수료 · 공학석사 · 032-453-7039 · (E-mail:mhbark@incheon.go.kr)



동결심도는 미공병단에서 제시한 그래프에 의한 동결심도 결정방법과 일본의 데라다 식과 이를 기초로 개발한 건설시험소식에 의한 동결심도산출에 의한 안전한 값을 사용하고 있다. 동결심도의 산정식들은 열전 이론을 기초로 하고 있으며, 이들 식들의 요소들은 물의 잠열, 함수비, 건조밀도, 물의 동결온도, 동결지속기간, 기상조건, 재료별 열전도율, 공기동결지수 등을 기초로 하고 있다. 또한 그 밖의 많은 변수들로 인하여 정확한 동결깊이 산정에는 한계가 있다.

유럽 및 미국의 일부 주에서는 동상 및 지지력을 고려하여 노상도에 대한 등급을 지정하여 분류법을 사용하고 있다. 또한 유럽에서는 도로의 노상도 등급별로 동상성에 대한 기준을 두어서 동상에 대하여 매우민감할 경우에는 노상을 치환하는 방법도 사용하고 있다. 그러나 미국의 경우 도로에서 동상방지층을 사용하지 않고 있다. 일본에서는 북해도지역에서만 동상방지층을 사용하고 있으며, 재료에 따라서 동결심도가 달라지고 동상방지층의 두께가 달라지는 것을 시방으로 채택하고 있다. 북유럽에서는 다양한 도로 재료의 사용에 따라서 동결깊이를 다양하게 하고 있으며, 도로의 중요도에 따라서 동상방지층의 두께가 달라진다.

국내에서는 노상에 대한 기준만 있을 뿐 이에 대한 등급별 분류는 하지 않고 있다. 또한 도로설계과업구간에 대하여 성토, 절토, 절성경계부에 대하여 동상방지층을 동일한 두께로 모두사용하고 있으며, 또한 절토 및 절성경계부에 대해서는 땀암거를 설치하여 도로하부구조에 지하수의 유입을 차단하고 있다. 계절별 동토를 연구하고 있는 동상분야의 선진국에서는 배수층(free drain base)에 대한 연구검토가 진행 중에 있으며, 일부선진국에서는 이를 사용하고 있다. 미국의 경우 위도 50°에 위치한 곳에서도 동상방지층을 사용하지 않고 있지만, 국내에서는 38°지역에서도 동상방지층을 사용하고 있다. 일본의 북해도지역은 위도 40°이상 지역으로 이곳에서만 동상방지층을 사용하고 있다. 따라서 국내 도로의 동상방지층이 과설계가 되고 있음을 알 수 있는 단편적인 예이므로 이에 대한 체계적인 연구의 시행과 시방서의 개정에 대한 고려가 필요하다.

### 3. 동상설계 개선 방향

#### 3.1 온도 및 동결심도

국내의 동결지수는 30년간의 자료를 기준으로 2003년도에 개정되었다. 그러나 최근의 지구대기환경분야의 연구논문들과 기상청의 통계에 의하면 지구온난화현상(Gerald R. North etc., 2006)이 가속되고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 최근 10년간의 자료를 기준으로 개정을 고려하여야 할 것이다.

동결심도와 관련하여 한국건설기술연구원에서는 전국 국도상에 85개 지점에 대하여 메틸블루 동결심도계를 매설하여 동결심도를 측정하였다(김영진등, 2005). 1991년부터 2004년까지의 자료를 기초로 그림 2, 3과 같이 동결심도와 동결지수의 상관관계 및 동결심도와 각각의 산정식에 의한 관계를 비교하였다. 이를 근거로 제시한 동결심도식은 식(1)과 같고, 보정계수는 표 1과 같다. 도로의 동결심도가 과다 설계되고 있음을 알 수 있다.

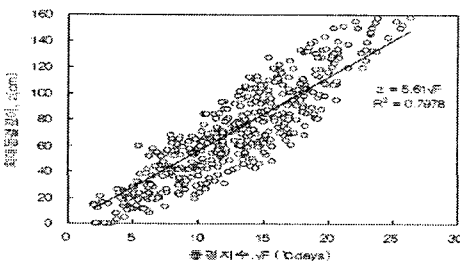


그림 2. 최대동결깊이와 동결지수의 상관관계

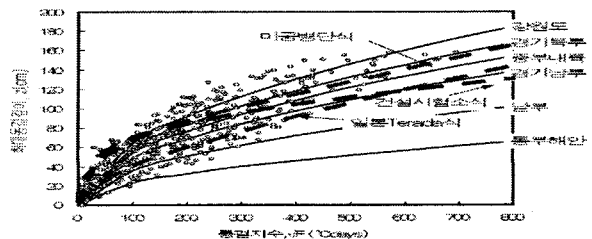


그림 3. 동결심도 산정식 비교

$$z = C\sqrt{F} \quad \text{식(1)}$$

여기서, Z는 동결깊이(m), F는 동결지수(°C·day), C는 5.61(국내전체평균값)이며, 동결지수를 100단위별로 나누어서 C값을 적용할 경우 표1과 같이 적용하면 조금 더 정확한 값을 얻을 수 있게 하였다.



표 1. 건설기술연구원제시 보정계수 C값

구분	동결지수F(°C · day)					
	0-100	100-200	200-300	300-400	400-500	500-
정수 C	4.95	5.39	5.49	5.68	5.96	6.15

한국형포장설계법의 일환으로 한국도로공사(정진훈외 2인, 2005)에서는 시험도로에 대한 포장온도 및 함수비를 실측하였으며, 도로의 동상이 국내의 포장도로에서는 미약하다는 것을 알 수 있다. 그림 4, 5는 콘크리트 포장과 아스팔트 포장의 하부온도의 실측값이며, 0°C이하의 온도가 포장의 노상까지 영향을 주지 못하였다. 시험도로의 동결심도는 80cm로 설계되어 있으며, 현장자료기준으로 20~30cm가 과다설계 되고 있다.

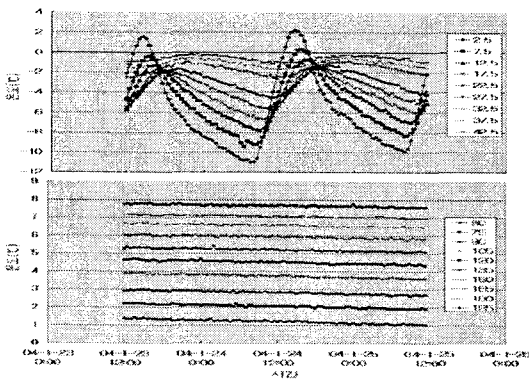


그림 4. 시험도로 콘크리트 포장 온도

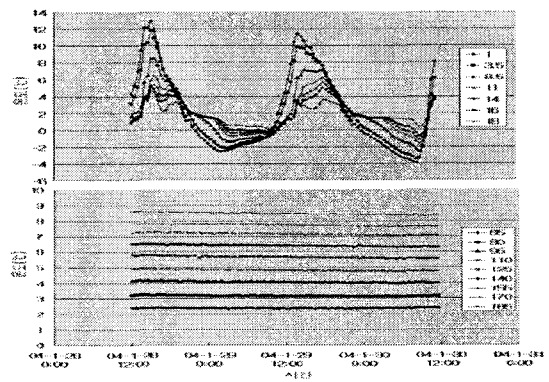


그림 5. 시험도로 아스팔트 포장 온도

아스팔트 포장에 대한 EICM모델에 의한 동결심도비교(김석남외 1인, 2004)연구에서 EICM모델에 의한 동결깊이 산출과 미공병단 매뉴얼, 일본의 테라다식을 변형한 건교부 도로포장설계시공지침(1991), 건설시험소식을 미국 시카고의 기상자료를 기초로 비교한 결과 ECIM모델보다 8cm가 과다 설계되고 있다.

도로의 국도에 대하여 그림 6과 같이 현장계측한 포장의 온도(동결심도 95cm로 설계)와 그림 7과 같이 국내의 포장두께 설계자료를 기초로 하여 제시한 인천대학교 모델(Jung Hoon Jin etc., 2005)은 그림 6과 같이 겨울철에 노상까지 0°C이하의 기온이 관입되지 않았으며, 기존의 동결심도가 과다설계되고 있다. 그림 7과 같이 제시한 모델식이 기존에 사용하고 있는 도로의 포장설계의 동결깊이보다 15~30cm정도 작게 산출되고 있다. 따라서 국내의 동결심도가 과다설계 됨을 알 수 있다.

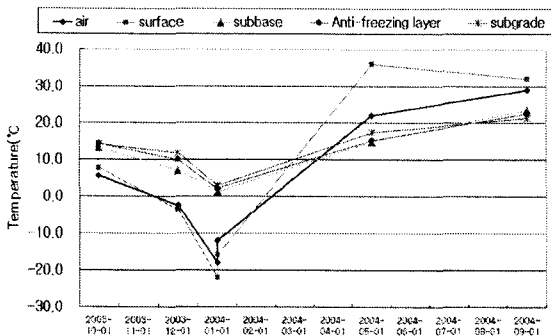


그림 6. 국도 포장 온도

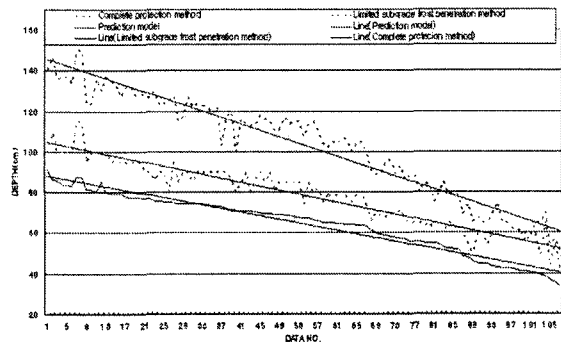


그림 7. 인천대 모델식과 국내동결심도와 비교

### 3.2 토질 및 물의 조건

국내의 노상토의 경우 비동상성 재료가 대부분을 차지하고 있으며(권기철, 2002), 지방서에서는 미립분(#200체 : 0.08mm)의 통과량을 25%미만으로 제한하고 있어서 동상민감도가 약하다. 그러나 동결심도가 과다하게 설계되고 있고, 또한 동상이 노상에 관입되어도 국내의 노상토의 특성상 동상을 유발시키지는 않는다. 단지 조건의 수분의 침투로 인하여 노상이 포화되지 않을 조건이다. 따라서 국내의 노상토는 비동상성재료로 구성되어있기 때문에 동상방지층 사용에 대한 제고가 필요하다. 도로하부구조에서 일어나는 함수비의 변동은 그림 8, 9와 같이 노상의 함수비변동(조규태 등, 2002)이 크지 않기 때문에 지하수의 유입 또는 포장상부로부터의 우수유입이 적음을 알 수 있다. 또한 보조기층이 공극이 배수 작용을 할 수 있으며, 노상 및 보조기층 재료 등의 다짐시 편경사를 4%를 유지하기 때문에 자연배수를 유도할 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 함수비의 증가요인이 없는 성토부에서는 노상이 포화되지 않기 때문에 동상방지층이 필요 없을 것을 사료된다.

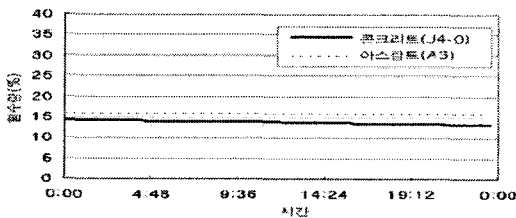


그림 8. 시험도로의 함수비변동

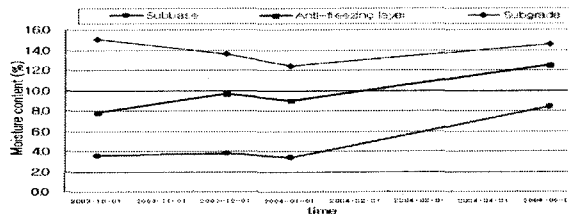


그림 9. 국도의 함수비 변동

## 4. 결론

지구의 온난화 현상으로 인하여 현장 계측한 자료와 같이 국내의 동결심도가 과다 설계되고 있음을 알 수 있으며, 이에 대한 심층적인 연구가 필요하다는 결론을 도출하였다. 국내노상재료가 비동상성재료이고 성토부의 경우에는 노상함수비의 변동을 줄 수 있는 요인 및 현장계측자료와 같이 동상방지층이 불필요 하다. 따라서 본 연구결과 국내 도로의 동상설계 방향에서 동결심도산정에 대한 제고와 노상재료의 엄격기준 관리, 포장하부의 수분유입 차단을 위한 도로지하배수구조개선 등이 필요할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

- 1) 건설교통부(2003), “동상방지층 두께 산출(예)-개정 동결지수선도 이용-”, 한국건설기술연구원, 한국도로공사, pp. 1~16.
- 2) 권기철(2002), 노상토의 종류에 따른 동결-융해 특성”, 한국도로포장공학회지, 제4권 제 1호, pp. 33~39.
- 3) 김영진, 홍승서(2005), “포장도로에서의 동결심도 조사 분석” 지반공학정기학술회의, pp475~482
- 4) 정진훈, 배성호, 권순민(2005), “시험도로자료를 이용한 포장의 동결특성 연구” 한국도로학회 논문집 제 7권 2호, pp87-95
- 5) 조규태, 진정훈, 남영국(2002), “도로포장의 동상방지층 실효성 검증을 위한 현장계측 및 실내시험 연구”, 대한토목학회 논문집 제22권 제5D호
- 6) Departments of The Army and The Air Force(1985), “Pavement Design for Seasonal Frost Conditions”, Army TM 5-818-2, Air Force AFM 88-6.
- 7) Departments of The Army and The Air Force(1988), “Arctic And Subarctic Construction Calculation Methods for Determination of Depths of Freeze And Thaw in Soils”, Army TM 5-852-6, Air Force AFR 88-19.
- 8) Jung-Hoon Jin, Young-Kug Nam(2005), “Effectiveness Verification of Anti-Frost Layer in Korea” ICPT 2005
- 9) Jung-Hoon Jin, Young-Kug Nam, Kwang-Ho Lee(2005), “Influence of Frost Heaving on Korean Pavement Structure” UKC 2005