

기후조건 변화에 따른 북한철도 동상기준에 관한 연구

A Study on the Frost-Heaving Criteria of North Korean Railway according to Climate Condition Change

김문수*, 박양후**, 조국환†

Mun-Su Kim*, Yang-Hoo Park**, Kook-Hwan Cho****†

Abstract As a part of Eurasian initiatives, Korean government is trying to reconnect railways through North Korea to Asian continent. If South Korea could build a network using railway, it could be a chance to robust economical environment and to motivate economical growth. In the railway reconnection project between North and South Korea, the most important part of the railway roadbed sector is the repair or improvement, and then construction of new line through North Korea. There are not much of big differences in geological condition but in weather condition during winter. The most significantly considerable condition is frost-heaving in the safety of railway operation. However, since South Korea has relatively mild climate condition comparing with North Korea, the design and construction specs under the severe weather condition in winter is not prepared. This study proposes a plan for revising the standard through the comparison and analysis of UIC and Chinese railway design standards with South Korea railway design standard for preventing frost-heaving.

Keywords : Frost-Heaving, North Korean Railway, Eurasian Initiative, Railway Design Standard

초 록 유라시아 이니셔티브의 일환으로 남북철도 연결사업을 실시하고 이를 통한 철도 물류망을 확보할 경우 대한민국은 또 다른 경쟁력을 확보하고 이를 바탕으로 한 성장의 한 기틀이 마련될 수 있을 것이다. 남북철도 연결사업에서 철도노반분야의 가장 중요한 부분은 북한철도의 개량 또는 건설이다. 북한의 경우 지질학적으로는 대한민국과 큰 차이를 보이고 있지 않으나 특히 동절기 기후는 큰 차이를 보이고 있다. 동절기 기후에서 가장 철도 운행 안전에 피해를 주는 것은 동상이다. 동상은 선로구조물의 용기를 유발하여 철도차량의 운행안정성에 큰 위험요소로 작용한다. 하지만 대한민국은 북한에 비하여 상대적으로 온화한 기후로 인하여 극한의 조건에 대한 연구가 부족하며, 철도설계기준에도 구체적인 방안이 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 동상에 대하여 국내 철도설계기준 및 UIC, 중국 철도설계기준과의 비교·분석을 통하여 기준 개정의 방안을 제시하였다.

주요어 : 동상, 북한철도, 유라시아 이니셔티브, 철도

1. 서 론

최근 동북아는 중국의 WTO가입으로 세계 3대 교역권의 하나가 되면서, 일본과 중국 사이에 위치한 한반도가 새로운 경제구역으로 떠오르는 유라시아권의 경제활동과 국제 물류의

* 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과, 한라건설

** 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과

† 교신저자: 서울과학기술대학교 철도전문대학원 철도건설공학과(khcho@seoultech.ac.kr)

국제 물류의 최적지로 그 역할이 부상하고 있다.

이에, Fig. 1과 같이 정부의 유라시아 이니셔티브의 일환으로 남북철도 연결사업을 실시하고 이를 통한 철도 물류망을 확보할 경우 대한민국은 또 다른 경쟁력을 확보하고 이를 바탕으로 한 성장의 한 기틀이 마련될 수 있을 것이다.

유라시아 이니셔티브에서 철도분야는 실크로드 익스프레스(SRX) 구축과 대륙 철도망 연계가 주요 목적이며, 궁극적으로는 한반도 종단철도(TKR)와 시베리아 횡단철도(TSR)가 서로 연결되어야 한다. 이를 위해서 먼저 남북 철도 연계 기술 개발이 선행되어야 한다. 남북 철도 연결사업에서 철도노반 분야의 가장 중요한 부분은 북한철도의 개량 또는 건설이다.

북한의 경우 지질학적으로는 대한민국과 큰 차이를 보이고 있지 않으나 동절기 기후에서는 대한민국은 최저기온이 강원도의 경우 영하 10~30℃로 관측되고 있으며 북한의 경우 영하 40℃ 이하로 관측되고 있어 큰 차이를 보이고 있다. 동절기 기후에서 가장 철도 운행 안전에 피해를 주는 것은 동상이다. 동상은 선로구조물의 용기를 유발하여 철도차량의 운행에 위험요소로 작용하고, 해빙기의 융해는 선로의 침하를 유발시켜 유지보수비의 증가를 수반한다. 또한 동결과 융해의 반복으로 인한 분니 발생은 노반의 강성을 저하시키고 배수를 원할 하지 않게 한다.

한편 국내의 철도 건설은 그 동안 경부선과 호남선을 중심으로 KTX 건설, 일반철도 건설 및 선로개량 등으로 이루어져 왔다. 하지만 평창동계올림픽으로 인한 원주~강릉 고속철도가 건설되고 향후 북한과의 철도 연결을 위해서는 비교적 기후영향에 대해 민감하지 않았던 극한의 조건에 대해서도 고려해야 한다.

동결에 관한 연구는 대관령 터널과 화악터널, 인제터널 등 강원 산간 지역의 도로터널을 대상으로 터널라이닝의 동결심도에 대한 계측 및 해석 등을 수행하여 주로 도로분야에 한정되어 진행되어 왔다. 그러나 철도분야에서의 연구는 노반에 대한 동결방지방안에 주로 연구가 진행되고 있으나, 대한민국은 북한에 비해 상대적으로 온화한 기후로 인하여 특히 영하 40℃ 이하의 극한조건에 대한 연구가 부족하며, 철도설계기준에도 구체적인 방안이 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 현재 통용되고 있는 동상에 대한 국내 철도설계기준을 북한과 기온 조건이 비슷한 극한지역의 설계기준을 가지고 있는 UIC, 중국 철도설계기준과의 비교·분석하였다. 또한 이를 통하여 기준 개정의 방안을 제시하고 미래에 남북 철도 연결 시 동상에 관한 제안한 개정방안을 적용하고자 한다.

였으며, 입경이 작아질수록 동상 가능성이 크게 되다가 0.05~0.002mm 사이의 흙에서 가장 동상 가능성이 커진다고 하였다. 실트나 점토와 같이 입도가 작은 세립토일수록 지하수를 흡수하는 모관인력이 커 다량의 수분공급이 이루어지기 때문이다. 그러나 그 이하의 입경에서는 흙입자의 간극이 좁아 투수성이 나빠지고 동결면으로 수분공급이 어려워 오히려 동상 가능성이 작아지게 된다.

또한 입도분포에 관하여 Casagrande(1932)는 0.02mm이하 입경의 세립분을 중량비로 3%이상 포함한 양입도의 흙도 동상이 발생할 수 있으며, 입경이 균일한 흙에서도 최소 10%를 포함하고 있으면 위험할 수 있다고 하였다.

미공병단(Army TM 5-818-2, 1985)에서는 여러 흙에 대한 실내동상실험을 실시하여 0.02mm 통과량과 소성지수(PI)를 이용하여 동상민감도 판정기준을 제시하고 분류하였다. 이 기준에 해당될 경우 동상에 민감하기 때문에 노반을 동결심도만큼 비동상성 재료로 치환하거나, 동상방지 층을 설치해야 한다고 하였다. Table 1은 세계 각국의 동상 발생이 어려운 흙의 성질에 대하여 나타내었다.

Table 1 동상 발생이 어려운 흙의 성질

구분	동상이 발생하기 어려운 조건	
일본토질공학회 (1994)	<p>입도조건</p> <ul style="list-style-type: none"> - 자갈, 모래 : #200(0.075mm)체의 통과율이 9%이하 - 쇄석 : #4(4.75mm)체의 통과율이 15%이하인 경우 - 플라이애쉬 : #200(0.075mm)체의 통과율과 열손실량이 20%이하인 경우 	<p>동상판정법</p> <p>GW, GP, SW, SP : 소성지수(PI) < 1</p> <p>모관상승고(m) < 1</p> <p>액성지수(LI) ≤ 0,</p> <p>세립비(R_f) < 2.5</p>
핀란드 도로국	<p>균등계수 > 15, 유효입경(D50) > 1mm</p> <p>균등계수 < 15, 0.2 < 유효입경(D50) < 1mm</p>	
미국	<p>0.02mm 통과율 20% 이하</p> <p>12 < CBR < 20</p> <p>1 < 용기비율(mm/day) < 4</p>	
국내(도로)	<p>0.08mm 체 통과량 25% 이하</p> <p>소성지수(%) 10 이하</p>	

국외에서는 동결융해의 기본적인 이론 발전에 대한 연구가 많이 추진되고 있으며, 주로 도로와 관로 시공 시 동결융해의 피해를 최소화 하는 연구가 많으며, 철도분야에서 동결융해의 대책 수립에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

Akagawa(1990)는 동결융해의 단계를 시간의 경과에 따라 3단계로 나누었다. 초기단계의 동결에서 ice cement와 ice banding 발생을, 두 번째 단계에서 ice lens 생성을, 세 번째 단계에서는 ice lens의 분리로 구분하였다. 동상량이 가장 크게 발생하는 두번째 단계에서 열의 흐름을 적절히 활용하면 동상량을 크게 줄일 수 있다고 분석하였다.

Kojima(2006)는 동상에 대한 대책으로 노반에 폴리스티렌계 단열재를 부설하였을 경우 동결심도에 대한 정도와 하중재하 시험을 통한 지지력 안정성을 평가하고, 동상대책으로 폴리스티렌계의 단열재가 철도노반의 재료로 활용이 가능함을 제시하였다.

국내에서는 주로 동결지수의 변화에 관련된 연구와 동결심도 추정에 관한 연구, 동결융해에 따른 노반 재료의 강도 및 팽창압 특성에 관한 연구가 주류를 이루고 있으며, 일부에서는 각종 재생자원을 활용한 동상방지에 관한 연구가 진행되었다.

신은철(2002)은 철도노반재료별 동상팽창압과 화강풍화토의 포화도에 따른 팽창압을 비교하고 동결융해 반복에 따른 액성한계와 일축압축강도, 투수계수의 변화에 대해 분석하였다. 김수삼(2001)은 동결융해의 반복에 의해 토질의 점착력이 감소되어 흙의 강도 특성이 저하되는 것으로 분석하였으며, 김학삼(2001)은 실트질 모래와 페타이어 파우더를 중량비 20%까지 혼합하여 실내 시험을 수행하고, 동상량과 동결심도에 대해 분석하여 페타이어 혼합토가 동상방지에 효과가 있음을 입증하였다.

3. 남한과 북한의 기후분석

최저기온이란 일정기간, 일정장소에서 기록한 최저기온 치이다. 일 최저기온, 월 최저기온, 연 최저기온, 관측기간의 최저기온 등으로 구분할 수 있다. 최저기온은 지역에 따라서 차이는 있지만 대체로 겨울철 일출직전에 기록된다. 국내의 과거 기상자료 분석결과 겨울철 이상 저온 현상을 경험하기도 하였다. 본 연구에서는 기상청의 자료를 바탕으로 기록 일 최저기온을 조사하였으며 과거 자료의 기록을 바탕으로 앞으로의 발생 가능성에 대하여 분석의 기준 범위를 설정하였다. 남한지역의 경우 강원 북부지역 중심으로 조사하였으며 북한지역의 경우 산간지역을 중심으로 조사하였다.

3.1 남한과 북한의 최저기온 분석

Fig. 2에 나타난 바와 같이 남한의 강원도지역 최저기온은 -10℃에서 -30℃사이의 최저기온을 나타내며 북한지역의 최저기온은 -30℃에서 -40℃사이의 최저기온을 나타내고 있으나 북한 타지역의 관측 최저기온은 -40℃이상 관측되었다.

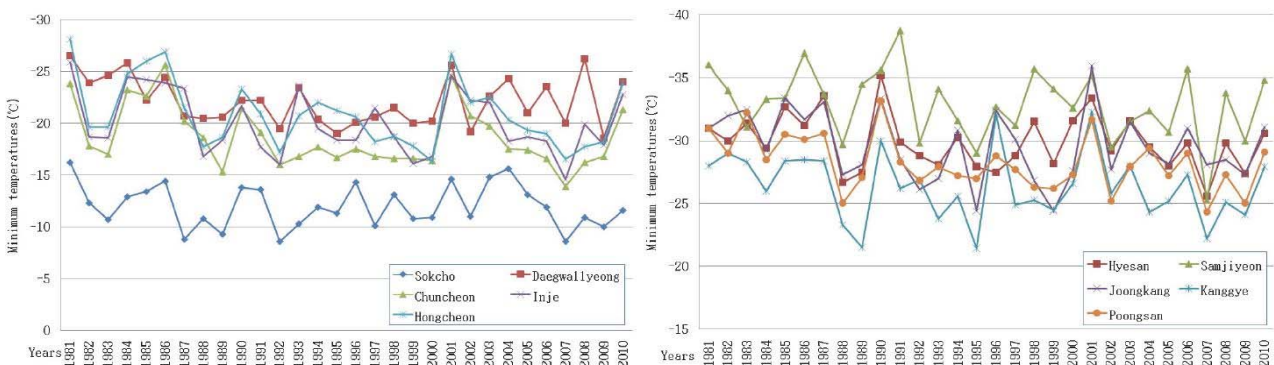


Fig. 2 남한과 북한의 최저기온 비교

4. 국내 및 UIC, 중국, 러시아 동상관련 철도설계기준 분석

4.1 국내 동상관련 철도설계기준 분석

철도의 경우 과거에는 자갈도상은 유지보수를 하기 때문에 특별한 동상방지를 위한 층을 고려하지 않았다. 이후 고속철도와 같이 열차 속도의 증가와 접속부와 같이 선로조건이 매우 중요한 경우에는 동상방지 층을 설계 시점부터 반영하여 생력화 개념의 노반이 되도록 설계하고 있다.

KR Code 흙구조물 동상대책에는 원지반 또는 동상이 발생할 수 있는 토질로 구성된 노반의 경우에는 동결깊이까지 동상이 발생하지 않는 재료로 치환해야 한다고 명시되어 있다. 그리고 Fig. 3과 같이 횡단구조물 상부에 위치한 노반의 경우 구조물 내부로 통과한 냉기류로 인한 동상의 우려가 있는 경우에는 동상방지 재료 사용 및 구조물에 배수기울기(양방향 2%)를 설치하는 등 동상대책을 마련해야 한다고 되어 있다.

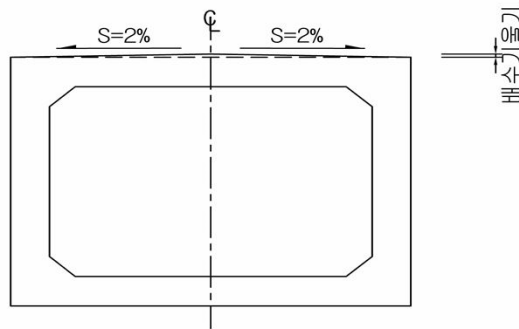


Fig. 3 횡단구조물 상부에 위치한노반의 동상방지 대책(KR Code)

또한 고속철도의 강화노반은 궤도를 직접 지지하는 층으로 노반의 지지력을 확보하고 배수가 원활히 되도록 설치해야 하며, 동상방지의 목적으로 지역별 동결심도를 고려하여 동상영향을 평가하여 적절한 두께가 되도록 설계해야 한다고 명시되어 있다. 국내 고속철도의 경우 Table 2와 같이 강화노반 두께는 궤도구조, 열차속도, 상부노반 또는 원지반의 특성 및 동결심도에 대해 안정하도록 결정해야 한다.

Table 2 열차속도에 따른 강화노반 두께(KR Code)

노반형상	자갈·콘크리트 궤도 (상부노반 상 $E_{V2} \geq 80\text{MN/m}^2$, $E_{V2}/E_{V1} < 2.3$)		
	$V \leq 200\text{km/h}$	$200\text{km/h} < V \leq 300\text{km/h}$	$300\text{km/h} < V \leq 400\text{km/h}$
쌓기/깎기/평지/암반구간 (보통암 및 경암)	200mm	300mm	400mm
쌓기 및 깎기 구간에서의 배수층	5.23 쌓기부 및 깎기부 배수시설을 따름		

동결깊이는 식(1)과 같이 추정할 수 있으나 필요한 경우에는 조사공을 설치하여 실측자료로 설계하거나 해당 지역의 최신 기상청 자료를 인용하여 적용한다고 명시하고 있다. 자갈궤도에서의 동결깊이는 상부노반 상면으로부터의 깊이이며 강화노반은 동결깊이에 포함한다. 그리고 콘크리트궤도에서의 동결깊이는 보조도상콘크리트층(Hydraulically Stabilized Base)의 양쪽측면에 토사 또는 자갈을 포설할 경우에는 그 상면으로부터의 깊이로 하고, 보조도상콘크리트층이 상부노반 상면 위에 있을 경우에는 상부노반 상면으로부터의 깊이로 한다. 하지만 기온변화가 심하고 지형적으로 동상에 노출될 우려가 있다고 판단될 경우에는 보조도상콘크리트층의 양쪽 측면에 토사 또는 자갈을 포설하는 경우라 하더라도 동결깊이를 상부노반 상면으로부터 할 수 있다. 성토구간에서 지하수위대가 쌓기 두께 내에 존재하지 않고, 쌓기용 재료가 양호할 경우 동상이 발생되지 않으므로 쌓기 높이가 2m 이상인 성토구간에서는 동상방지층을 생략할 수 있다.

$$Z = 10 \times C \cdot \sqrt{F} \quad (1)$$

여기서, Z : 동결깊이(mm)

C : 정수(3~5)

F : 동결지수(°C.days)

4.2 중국 동상관련 철도설계기준 분석

중국고속철도 설계기준에서 동상방지 방안으로 강화노반 구조는 지표수 침입으로 인한 노반연화 및 동결팽창현상 등 노반 손상을 방지할 수 있어야 한다고 규정하고 있다. 계절성 동토지역 흙구조물 설계는 최대 동결심도, 강수량, 지하수위 등을 감안하여 성토재를 선정하고 배수 및 동결팽창방지 방안을 강화해야 한다고 명시되어 있다.

또한 강화노반은 일정 입도분포 쇄석으로 다짐하고 콘크리트궤도 및 혹한, 한냉지역의 자갈궤도에서의 다짐 후의 투수계수는 $5 \times 10^{-5} m/s$ 이상이어야 한다. 또한 입도는 Table 3과 같이 규정에 만족해야 하며, 균등계수(Cu)는 15 이상, 0.02mm 이하 세립토가 3% 이상 함유하지 말아야 한다. 상부노반의 경우 혹한, 한냉지역의 동결심도가 강화노반 두께 초과시 동결심도 영향범위 내의 성토재의 세립토 함량은 5% 이하이고 다짐 후의 투수계수는 $5 \times 10^{-5} m/s$ 이상이어야 한다. 그리고 상부노반 성토시 화학개량토의 포화일축압축강도는 550kPa 이상이어야 한다.

Table 3 강화노반 입도분포쇄석 입도(중국고속철도 설계기준)

체크기 (mm)	0.1	0.5	1.7	7.1	22.4	31.5	45	적용
통과질량 백분율 (%)	0~5	7~32	13~46	41~75	67~91	82~100	100	콘크리트궤도 및 혹한, 한냉지역 자갈궤도

횡단 구조물 접속부 설계 시 혹은, 한냉지역에서는 구조물과 접촉되는 동결영향 범위내 성토재의 동결방지방안을 Fig. 4와 같이 충분히 고려해야 한다. Fig. 4 중 t 는 최대 동결 두께이며, $t_1 < 0.3m$ 일 경우 박스 상부는 전부 동상방지 충전재로 시공해야 한다.

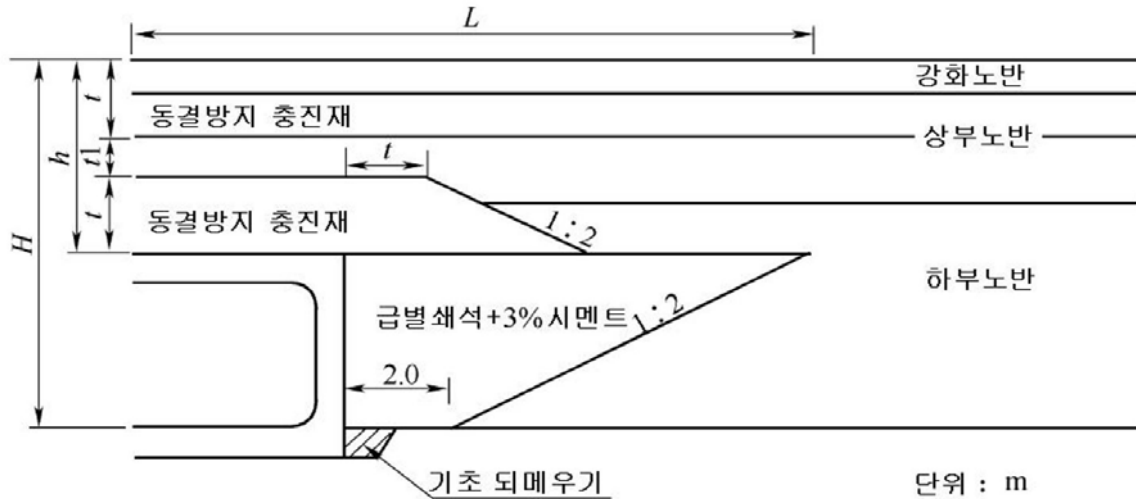


Fig. 4 혹은, 한냉지역 쌓기와 횡단구조물($h > 1m$) 접속부 설계도(중국고속철도 설계기준)

동해가 잘 발생하는 지역에서 투수암거와 투수형 배수터널을 이용하여 지하수를 낮출 경우 저하 후의 최고 지하수위와 모세관 상승높이는 최대 동결깊이 보다 0.25m 이상 낮게 하거나 필요한 동결방지사설을 설치해야 한다.

동결깊이가 깊고 지하수위가 높은 동토구역 등 어려운 특수 지질조건에서는 무도상궤도를 사용하지 말아야 한다고 규정하고 있다. 궤도구조에는 성능이 양호한 배수 시스템을 설치해야 하며, 추운 지역의 배수 설계는 동결방지 조치를 고려해야 한다고 규정되어있지만 구체적인 방안을 제시되어 있지 않다.

4.3 UIC 동상관련 철도설계기준 분석

UIC Code에서는 흙의 분류를 동상의 민감성에 따라 크게 세 가지로 분류하고 있으며, 동상에 영향을 받지 않는 흙은 동결융해에 의한 궤도안정에 영향을 미치지 않는다고 하였다. 또한 동상에 영향을 받거나 크게 영향을 받는 흙은 궤도 형상에 수용 할 수 없는 장애를 일으킨다고 규정하였다. Fig. 5에서는 흙의 종류에 따른 동상의 민감한 정도를 나타냈으며, 입자가 더 작은 점토보다 실트의 경우 동상에 매우 예민함을 알 수 있다. 우리나라와 중국 설계기준과는 다르게 동상에 민감한 흙의 종류를 Code에서 규정함을 알 수 있었다.

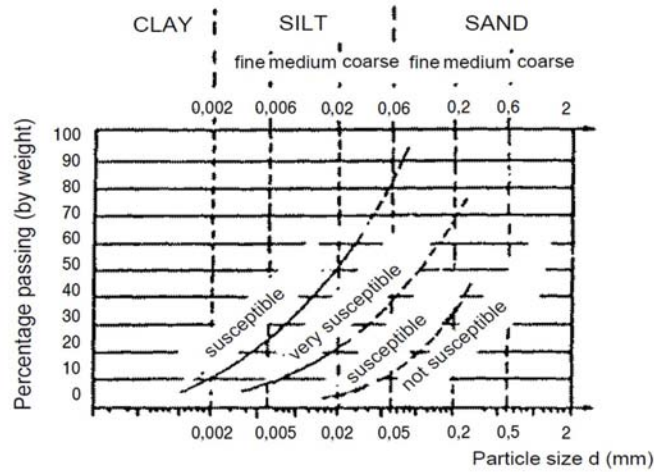


Fig. 5 토양 종류의 따른 동상 민감성(UIC Code)

Casagrande(1932)의 이론과 같이 동상에 민감한 흙의 규정을 Table 4와 같이 0.02mm이하 입경의 세립토의 통과 백분율을 균등계수와 함께 규정하고 있다. 또한 지하수의 모세관 상승이 0.7m 이상이 되면 동상에 민감하다고 규정하고 있으며 노반층에서 지하수의 상승은 0.3m 이하로 제한하였으며, 2mm체를 통과하는 흙에 대해서는 입자 분포 분석을 해야 한다고 규정하였다. 유기질 토양은 이에 해당하지 않는다.

Table 4 동상에 대하여 예민한 흙의 미세입자($d < 0.02\text{mm}$) 주요 비율(UIC Code)

고려되는 흙의 균등계수(C_u)	직경 $d < 0.02\text{mm}$ 의 입자의 백분율
5	10
15	3

동상방지 방안으로는 동상에 민감한 지반에 성토하는 경우에는 동상에 민감하지 않은 흙을 이용해야 하며, 절토하는 경우에는 물을 toe drains, counterfort drains, ditches, filter layer 등을 이용하여 배수시켜야 한다. 철도노반에서의 동상방지방안은 동상에 예민한 재료를 사용해서는 안되며 그 기준은 Fig. 5를 참고해야 한다. 동상에 예민한 재료를 사용하는 경우에는 동상에 예민하지 않은 흙을 사용하여 노반 전체두께를 증가시켜야 한다. 도상 및 노반의 두께는 하부노반의 지지력을 고려하며, 필요한 경우 도상방지층을 충분히 고려하여 설계해야 한다.

또한 시간·온도, 연평균 기온으로 표현되는 동상지수는 동상 침투 깊이를 결정하는 주요 매개 변수이다. 가혹한 기후 조건에서 동상방지층의 두께는 동결지수와 장기간의 평균 온도에 의해 결정된다. Fig. 6에서는 동결지수에 따른 동상방지층의 두께를 표현하였다. 그늘진 부분은 스칸디나비아와 중부 유럽에서의 경우이다. 설계에서는 매우 심각한 기온(1962년 겨울)에 맞게 고려되어야 한다. 동결지수가 매우 높을 경우 절연층을 사용하여 동결방지층의 두께를 감소시킬 수 있다.

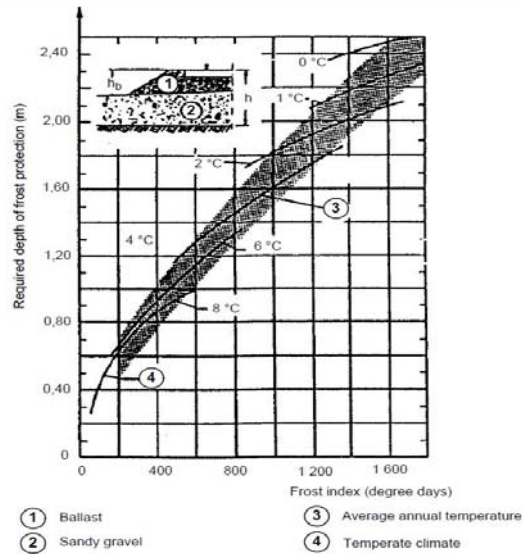


Fig. 6 동결심도에 따른 동상방지깊이(UIC Code)

5. 국내와 UIC, 중국, 러시아 동상관련 철도설계기준 비교를 통한 개정방안

5.1 국내 동상관련 철도설계기준 개정방안

국내의 철도 건설은 그동안 경부선과 호남선을 중심으로 KTX 건설, 일반철도 건설 및 선로개량 등으로 이루어져 왔다. 하지만 평창동계올림픽으로 인한 원주~강릉 고속철도가 건설되고 향후 북한과의 철도 연결을 위해서는 비교적 기후영향에 대해 민감하지 않았던 극한의 조건에 대해서도 고려되어야 한다. 하지만 국내 철도설계기준에는 Table 5와 같이 구체적인 방안이 제시되고 있지 않고 동상대책관련 기준이 미미한 실정이다.

이에 중국철도설계기준과 UIC 철도설계기준과의 비교를 통하여 북한철도 및 유라시아 철도 연계 시 본 개정방안이 필요할 것으로 판단된다. 본 연구에서의 개정방안은 총 5가지로 구분하여 제시하였다.

첫 번째로 동상에 취약한 흙의 분류가 국내 철도설계기준에서는 구체적으로 제시되지 않고 있어 UIC 철도설계기준을 참조하여 개정이 필요할 것으로 판단된다.

두 번째로 배수방안에서는 구체적인 배수처리공법을 제시하는 것이 필요하며 지하수위를 낮출 경우 모세관 상승높이를 규정하는 것이 필요하다.

세 번째로 극한지역에 철도건설시 투수계수 및 균등계수, 세립토함유량을 통한 흙구조물 재료의 기준이 명확히 제시되는 것이 필요하다.

네 번째로 극한 조건에서의 횡단구조물 접속부 설계방안이 필요할 것으로 판단된다.

다섯 번째로 동결심도에서 식과 표를 통하여 규정하는 것을 그림으로 알기 쉽게 표현하는 것이 필요할 것으로 판단된다. Table 5에서는 구체적인 개정방안을 나타내었다.

Table 5 국내 동상관련 철도설계기준 개정방안

구분	한국철도설계기준	중국철도설계기준	UIC 철도설계기준	한국철도설계기준 개정방안
동상에 취약한 흙분류	분류되어 있지 않음	분류되어 있지 않음	흙입자의 크기에 따라 자세히 분류됨	동상에 취약한 흙에 대한 분류가 필요함
배수방안	횡단구조물 상부에 위치한 동상에 취약한 노반의 경우 구조물에 배수기울기(양방향 2%)를 두어야 함	동해가 발생하는 지역에서 지하수위를 낮출경우 최대 동결깊이 보다 0.25m 낮게 하거나 동결방지시설을 설치해야 한다고 규정함	절토 시 배수처리공법을 구체적으로 제시함 노반층에서의 지하수의 상승 0.3m 이하로 제한함	절토 시 배수방안을 구체적으로 제시하는 것이 필요함
투수계수 및 균등계수 세립토 함유량	분류되어 있지 않음	강화노반의 경우 혹은 혹한지역에서는 다짐 시 투수계수는 $5 * 10^{-5} \text{m/s}$ 이상, 균등계수(C_u)는 15 이상, 세립토 함량 ($d < 0.02\text{mm}$) 은 3%이상 제한함	동상에 취약한 흙은 균등계수(C_u): 5 일때 세립토 함량 ($d < 0.02\text{mm}$) 10%, 균등계수(C_u): 15 일때 세립토 함량 ($d < 0.02\text{mm}$) 3%로 규정함	투수계수 및 균등계수 세립토 함유량에 대한 규정이 필요함
구조물 접속부 설계방안	없음	구체적인 접속부에서의 동결방지방안을 제시함	없음	접속부에서의 동결방지방안을 제시하는 것이 필요함
동결심도	식과 동결지수 표를 통하여 동결방지두께를 제시함	규정없음	동결지수와 동결방지두께를 그림으로 보기 쉽게 표현함	그림으로 알기쉽게 표현하는 것이 필요함

5. 결론

철도의 경우 과거에는 경부선과 호남선을 주축으로 하여 건설을 하여 극한의 기후조건에 민감하지 않았다. 이에 본 연구에서의 분석을 통하여 국내 동상관련 철도설계기준에는 동결에 관한 구체적인 방지방안이 제시되고 있지 않고 있다. 이에 기후조건이 최대 -40°C 이상 내려가는 북한과의 철도 연결시 기후조건이 비슷하여 동결관련 기준이 제시되어 있는 중국 철도설계기준과 UIC 철도설계기준과의 비교를 통하여 본 개정방안을 제시하였다. 본 연구에서의 개정방안은 총 5가지 구분하여 제안하였고 그 방안은 다음과 같다.

1. 동상에 취약한 흙의 분류가 국내 철도설계기준에서는 구체적으로 제시되지 않고 있다. UIC 철도설계기준을 참조하여 개정이 필요할 것으로 판단된다.
2. 배수방안에서는 구체적인 배수처리공법을 제시하는 것이 필요하며 지하수위를 낮출 경우 및 모세관 상승높이를 규정하는 것이 필요하다.

3. 투수계수 및 균등계수, 세립토함유량을 통한 흙구조물 재료의 기준이 명확히 제시되는 것이 필요하다.
4. 혹한 조건에서의 구조물 접속부 설계방안이 필요할 것으로 판단된다.
5. 동결심도에서 식과 표를 통하여 규정하는 것을 그림으로 알기 쉽게 대체하는 것이 필요할 것으로 판단된다.
6. 구체적인 세부 규정에 대한 개정방안은 추후 연구를 통하여 보완이 필요할 것으로 판단되며, 향후 본 연구 결과는 북한철도 연결 시 활용이 클 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통과학기술진흥원 연구비 지원(과제번호:14RTRP-C090968-01)에 의해 수행되었고, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Casagrande, A. (1932), Discussion of a new theory of frost heaving by A. C. Benkelman and F. R. Ohlmstead, Proceedings of the Highway Research Board, Vol. 11, pp. 168~172.
- [2] Beskow, G. (1935), Soil freezing and frost heaving with special application to road and railroads, with special supplement for the English translation of progress from 1935 to 1946. Translated by J. O. Osterberg, The Technical Institute, Northwestern University, Evanston, 111, U. S. A. , pp. 130~145.
- [3] U. S. Army Corps of Engineers (1935), TM 5-818-2 Pavement design for seasonal frost conditions, Departments of the Army and the Air Force, Washington D. C., Chapter 2, pp. 1~33.
- [4] Akagawa, S.(1990), "A method for controlling stationary frost heaving" Shimizu Technical Research Bulletin No.9, pp.1-8.
- [5] Kojima, K. Maruyama, O. Matsumaru, T. Aoki, H. Yamazaki, T. (2006), "Application of polystyrene layer to railway subgrade as countermeasure for frost heaving" International conference on geosynthetics Vol.8 No.3, pp.849-852.
- [6] 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.
- [7] 신은철, 박정준, 이창섭(2002), “철도노반재료의 동상팽창압 특성에 관한 연구” 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, pp. 84-91.
- [8] 김수삼, 박영목, 정승용, 김용수(2001), “동결·융해에 따른 풍화토의 강도특성 변화” 한국철도학회 추계학술대회 논문집, pp. 520-525.
- [9] 김학삼(2001), “페타이어 파우더 혼합토의 동상특성” 영남이공대학교 논문집 Vol.30, pp. 79-87.