

# 폐타이어 칩을 활용한 철도노반 동상저감에 대한 실험적 고찰

## Experimental Study about Reduction of Frost-heaving in Railway roadbed which using wasted tire chips

이승열†                      김영철\*                      김남홍\*\*                      김명수\*\*\*  
Syung-Youl Lee              Young-Chul Kim              Nam-Hong Kim              Myoung-Soo Kim

---

### ABSTRACT

Cold area in Korea, railway roadbed and gravel ballast was occurred frost-heaving. So during winter, track was rising and during thaw, track was sinking. In order to prevent the damage of frost-heaving, we have applied a few countermeasures which are circumfusion of calcium chloride and replacement of gravel ballast method. This countermeasures effect is feeble, not continuous and not eco-friendly. This study suggested that we use wasted tire-chips in frost-heaving area and considered appropriate new method to maintenance. This method was named "A Method of Wasted Tire-Chips Post". To prove effect of this method, we have tested in laboratory and field. The result of frost-heaving-ratio field test was decreased frost-heaving-ratio about 50% using "A Method of Wasted Tire-Chips Post".

---

### 1. 서론

동절기에 일부 한랭지역에서는 기온의 하강으로 인해 노반 및 도상자갈의 동결발생으로 궤도가 부분적으로 융기되고 있으며 해빙기에 융해되어 침하되는 현상이 반복되고 있다. 이러한 궤도의 융기와 침하하는 열차의 안전운행을 저해할 뿐만 아니라 궤도 유지보수 부담도 가중시키고 있는 실정이다. 동결 발생의 주요원인으로는 배수불량을 가장 핵심적인 원인으로 볼 수 있으며, 분니 발생으로 인한 토질의 세립화가 배수불량과 병존하는 원인으로 볼 수 있다.

동결융해에 대한 대책으로 현재 국내에서는 매년 동절기 이전에 도상자갈을 치환하거나 침목과 침목 사이 일정한 깊이에 염화칼슘을 살포하여 동결융해에 대한 피해를 예방하고 있으며, 원천적인 해결방안인 배수시설의 개선에도 노력을 기울이고 있다. 대체로 배수불량의 경우 배수시설 개선으로 동결융해의 문제를 해소 할 수 있는 개소가 있는 반면, 주변구조물이나 기타 시설물에 의해 원천적으로 배수개선의 여지가 없는 곳도 있다. 본 연구에서는 배수구조의 개선이 원천적으로 어려운 개소에 대해 폐타이어 칩을 활용하여 동상량 저감에 대한 실험적 연구를 수행하였다.

### 2. 동상발생개소 현황 및 현행 대책방안

#### 2.1 동상발생현황

국내에서 철도노반에 동상이 발생하는 개소는 강원, 충북북부, 경북북부, 경기동부 지역으로 나타났다. 2009년도 현재 동상이 발생하는 전체개소는 129개소이며 총연장은 약 4Km에 이른다. 동상의 발생원인을 현업 담당자가 자체 분석했을 경우 배수불량이 1순위로 나타났으며, 대부분의 동상발생개소에서 하절기에 분니가 발생하고 있는 것으로 나타났다.

---

† 책임저자 : 정회원, 한국철도공사 연구원, 기술연구팀, 대리  
E-mail : musiclee@korail.com  
TEL : (042)615-4707 FAX : (02)361-8542  
\* 비회원, 한국철도공사 충북본부 시설팀, 대리  
\*\* 비회원, 한국철도공사 연구원 기술연구팀, 대리  
\*\*\* 정회원, 한국철도공사 연구원 기술연구팀, 팀장

동결지수라 함은 널리 알려져 있는 것과 같이 일평균기온의 일별 누계값의 최대치와 최소치의 차이를 말한다. 동결지수의 산정은 일반적으로 최근 30년간 동결지수를 산정하고 가장 큰 3개년도의 평균값을 산정하거나, 최근 10년간 동결지수 중 최대값을 사용하고 있다. 본 연구에서는 1998년 12월부터 2010년 3월까지의 동결지수를 산출하여 이중 최대값을 산출하여 동결지수로 사용하였으며, Terada(寺田) 간편식을 이용하여 동결심도를 산출하였다. 산출된 동결지수와 동결심도는 그림 1, 그림2와 같으며, 동상 발생개소와 동결심도 MAP의 지리적 위치가 거의 일치한다고 볼 수 있다.

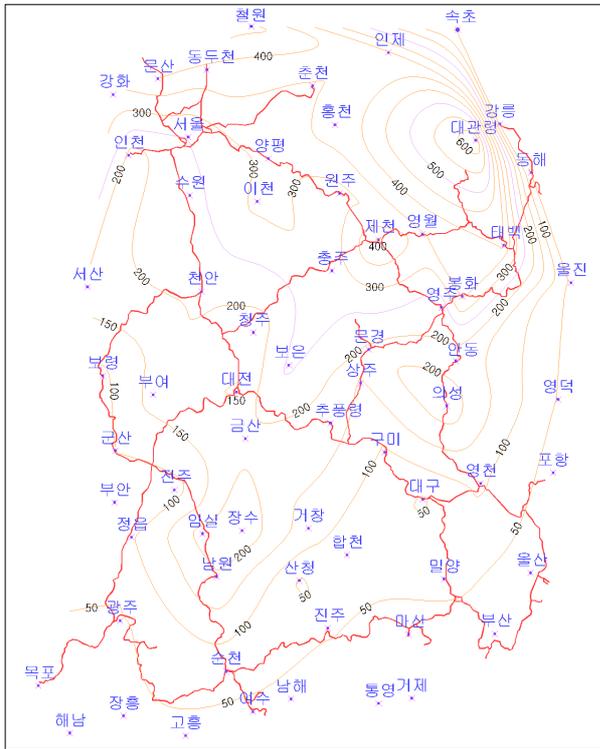


그림 1. 동결지수 MAP(단위 : °C · day)

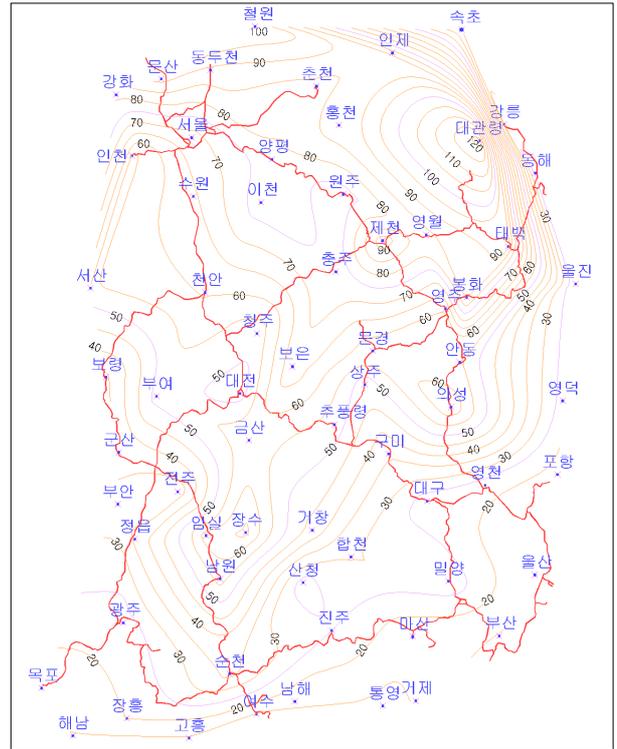


그림 2. 동결심도 MAP(단위 : cm)

## 2.2 현행 대책방안 및 영향

동상발생의 원인은 크게 3가지로 분류할 수 있다. 토질, 수분, 기온으로 이런 3가지 원인 모두가 동시에 작용해야 동상이 발생한다. 현재 국내에서 이러한 발생 원인을 제거하기 위해서 시행하는 예방안은 도상자갈치기(갱환), 배수로 정비, 염화칼슘살포 등으로 볼 수 있다.



그림 3. 동상예방을 위한 염화칼슘 살포작업

사후 대책안으로 동상발생개소 연결구간에 레일패드 삽입장수를 늘려 그 높이차를 유연하게 연결하고

있는 실정이다.

사전예방안인 도상자갈치기는 분니 제거(토질상태변화)가 주목적이지만 상습적으로 분니가 발생하는 개소에서는 1년 이내에 분니가 재발하는 문제가 있다고 보고되고 있다.[1] 염화칼슘 살포는 침목과 침목사이를 소정의 깊이까지 굴착한 후 염화칼슘을 살포하고 다시 도상자갈로 덮는 방법으로 시행하고 있다. 하지만 우천시 염화칼슘이 용해되어 동상방지효과는 저하되고 지하수 오염을 유발할 수 있다는 단점이 있다. 또한, 염화칼슘은 강재를 부식시키고[2] 콘크리트의 박리를 유발시켜 수명을 단축시키는 것으로 알려져 있다.[3]

### 3. 페타이어 칩을 활용한 동상 저감방안

#### 3.1 페타이어 칩의 공학적 속성

한국건설기술연구원[1996]의 연구결과에 따르면 페타이어 칩은 다짐이 잘 안되는 재료로 알려져 있다. D다짐 시험에 의한 페타이어의 최대 건조밀도는 0.66~0.85g/cm<sup>3</sup>의 범위로 입경에 따라 미세하나 증가 추세를 나타내며, 파쇄형태가 다른 소형타이어는 입경이 균등한 대형 타이어보다 최대 건조밀도가 작은 것으로 평가하였으며, 페타이어 칩 입경 0.2cm~3cm 범위에서 4.92×10<sup>-2</sup> ~ 1.13cm/sec의 범위로 모래나 자갈과 같이 투수성이 탁월한 것으로 평가되었다.

지지력 평가에서는 페타이어 칩 포설두께와 복토 두께를 상호 비교한 결과 철도시방서의 하부노반 성토재료 기준을 만족하는 최소 복토두께는 페타이어 20cm 포설층에서 최소 복토두께 50cm 이상, 페타이어 50cm 포설층에서는 80cm 이상인 것으로 판명되었다.

환경적인 문제를 검토하기 위해 페타이어 칩의 용출 시험 결과[5]를 살펴보면 다음 표 1과 같이 수질 기준을 만족하고 있는 것으로 나타났으며, 김영진[6]의 연구에 의하면 페타이어 칩의 중량비 2% 범위 내에서 화강풍화토와 혼합하였을 경우 혼합율이 높을수록 동상량이 적게 발생하는 것으로 확인하였다.

표 1. 페타이어 파우더 용출실험 결과

항목	<i>Cd</i>	<i>Pb</i>	<i>Cr<sup>6+</sup></i>	<i>Cu</i>
분석치(mg/l)	0.0016	0.0339	0.003	N.D
수질기준(mg/l)	0.01	0.1	0.01	1.0

#### 3.2 페타이어 칩의 활용배경

일반적으로 동상발생을 저감시키는 방법은 배수시설개선, 노반토질개선의 방법이 있다. 현재 운행중인 노선에서 노반의 토질을 개선하는 것은 상당히 난점이 있으며 일부노선 절토구간에서는 배수시설을 개선의 여지가 없는 곳도 있다. 즉, 절토구간 터널 출입구 부분이 토사가 아닌 암반층으로 구성되어 있어 유지보수 차원의 배수시설 개선이 거의 불가능한 개소가 있다. 이러한 개소에서 동상이 발생하는 경우 예방방안은 염화칼슘 살포, 분니제거가 대부분이며, 이러한 동상예방작업을 매년 실시해야 하는 단점이 있다. 따라서 유지보수자의 입장에서 보다 효율적인 동상 예방안을 고려하게 되었으며, 페타이어 칩을 활용한 두 가지 방안을 고려하게 되었다.

첫 번째는 그림 4와 같이 동상발생개소의 노반을 치환하는 방법으로 치환 재료를 페타이어 칩과 노반 재료를 혼합하는 경우다. 노반재료와 페타이어 칩과의 혼합율은 중량비 최대 20%까지 고려하였다. 추가적인 보강방법으로는 노반과 도상자갈과의 혼입을 막기 위해 그리드(grid)와 토목섬유로 분리층을 형성하는 안을 제시하였다.

두 번째는 그림 5와 같이 침목과 침목사이에 일정간격으로 동결심도까지 홀(hole)을 천공하고 천공부위에 페타이어 칩을 채우는 방법이다.

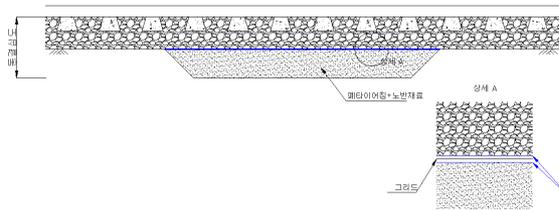


그림 4. 페타이어 칩을 혼합한 동상예방공법

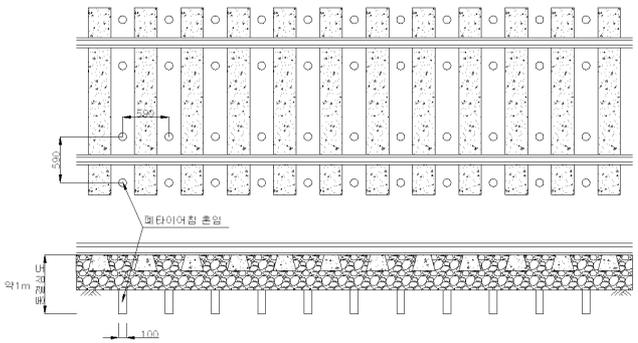


그림 5. 페타이어 칩 말뚝을 이용한 동상예방공법

#### 4. 실내시험시행

##### 4.1 지지력비 시험

지지력비 시험은 KSF 2320에 따르도록 되어 있으나 철도 특성상 그림 6과 같이 시험방법을 일부 변경하여 시행하였다.

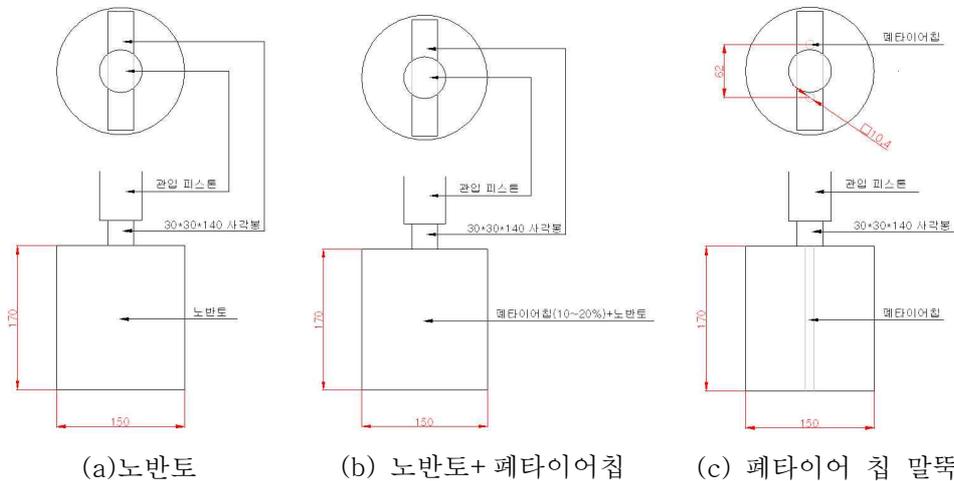


그림 6. 동상예방 공법별 지지력비 시험 방법

KSF 2320에 따르면 지지력비 시험은 관입피스톤 만으로 시험하게 되어 있으나 본 연구에서 철도 특성을 고려하여 관입피스톤 하부에 침목 형상의 시각봉 강재를 추가로 배치하여 실험을 시행하였다. CBR 시험을 위한 공시체 제작의 다짐은 25회 및 55회 다짐방법을 모두 사용하였으며 결과는 55회 다짐방법을 분석하였으며 그 결과는 다음 표 3과 같다.

표 3. 지지력비 시험결과

	원지반	페타이어칩 10%혼합	페타이어칩 20%혼합	페타이어칩 말뚝
CBR(%)	72.42	18.83	16.55	45.94

##### 4.2 동상량 측정시험

동상량 측정은 85×85mm의 틀에 시료 높이 240~300mm로 다짐을 시행하고 4~-20℃의 온도 조건을 25회 반복하여 시행하였다. 시험 시료 제작은 그림 7과 같이 하였으며, 시험조건은 표 4와 같다.

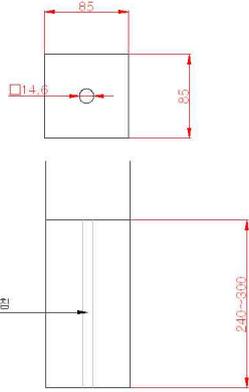


그림 7. 페타이어 칩 말뚝공법의 동상량측정 시료

표 4. 동상량 측정 시험조건

시험 조건	함수비	단위중량	최고온도	최저온도	반복횟수
	7.00%	2.1t/m <sup>3</sup>	4℃	(-)20℃	25회

표 5. 동상량 측정 결과

Sample	초기높이 (mm)	최종높이 (mm)	변형률
원지반	-	246	0.017
페타이어관입(Φ=10mm)	C	260	0.012
페타이어 10% 혼합	A	300	0.014
페타이어 20% 혼합	B	300	0.014

동상량 측정결과의 변형률을 분석하면 원지반의 변형(동상발생)이 가장 크게 나타났으며 페타이어 칩을 10%~20%혼합했을 경우보다 페타이어 칩 말뚝을 시공했을 경우가 가장 효과가 좋은 것으로 나타났다. 하지만 시료 높이를 측정할 때 1mm의 오차만으로도 변형률의 순서가 바뀌는 현상이 있으므로 공시체의 크기를 더욱 크게 제작해야 할 것이다.

### 5. 현장시험시행(동상량 비교)

현장 시험은 총 3개소 중 1개소에만 페타이어 칩 말뚝공법을 시행하고 나머지 개소는 비교대상으로 두었다. 표 6에서 처럼 3개소 현장 모두 배수개선의 여지가 없는 것으로 나타났다. 사용된 페타이어 칩의 크기는 최대 3mm정도 였으며, 2009년 11월 함백선에 페타이어 칩 말뚝공법으로 시험부설을 시행하였다.

표 6. 동상량 측정개소

선별	측점	배수 가능여부	주변 구조물	분니 발생	비 고
태백선(단)	15K350	불가능	터널	O	A
함백선(단)	5K350	불가능	터널	O	B
함백선(단)	5K330	불가능	터널	O	C(부설)

당초 시험부설계획은 전 구간을 페타이어 칩 말뚝으로 시공하고자 하였으나 천공시 노반 내부의 호박돌 등으로 인해 타격 파이프가 훼손되었다. 따라서 그림 8과 같이 일부구간은 페타이어 칩 말뚝공법으로 침목상부에서 90cm까지 천공 후 페타이어 칩을 매설하는 방법으로 시행하였고 나머지 구간은 소정의 깊이(침목하부 35cm)까지 굴착 후 1~3cm두께로 페타이어 칩을 포설하였다.

타이어 칩 말뚝공법으로 침목상부에서 90cm까지 천공 후 페타이어 칩을 매설하는 방법으로 시행하였고 나머지 구간은 소정의 깊이(침목하부 35cm)까지 굴착 후 1~3cm두께로 페타이어 칩을 포설하였다.

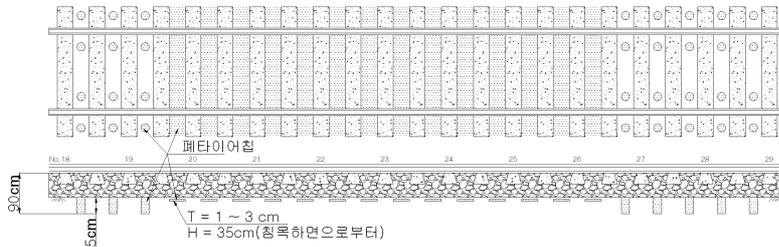


그림 8. 시험부설도



그림 9. B/H를 활용한 노반 천공

동상량 측정은 절대변위를 측정할 수 있게 수준 측량을 시행하였으며, 측정은 2009년 2월과 3월, 2009년 11월과 2010년 2월에 시행하였다. 2008년~2009년 체천지역의 동결지수가 274.0℃·day였으나 2009년~2010년의 동결지수는 407.1℃·day로 관측되었다. 측정일 당시의 동결지수를 살펴보면 2010년 2월 17일의 경우 395.0℃·day를 기록하였다. 전년도와 비교했을 경우 아주 큰 차이를 보이고 있었으며, 동상발생량도 상당히 크게 나타났었다.

(1) 태백선 15K350부근 동상량 비교

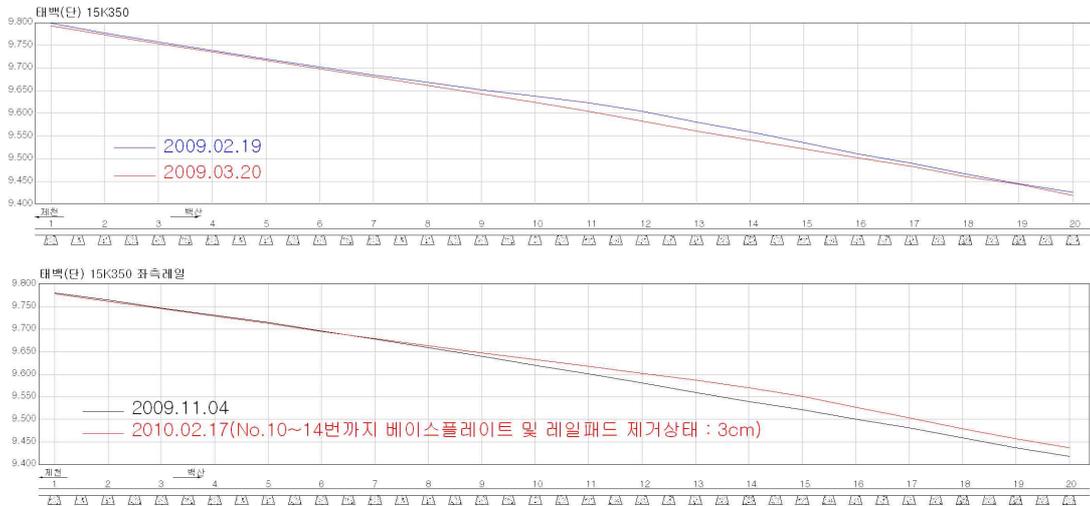


그림 10. 태백선 15K350 동상량 비교

(2) 함백선 5K350, 5K330부근 동상량 비교

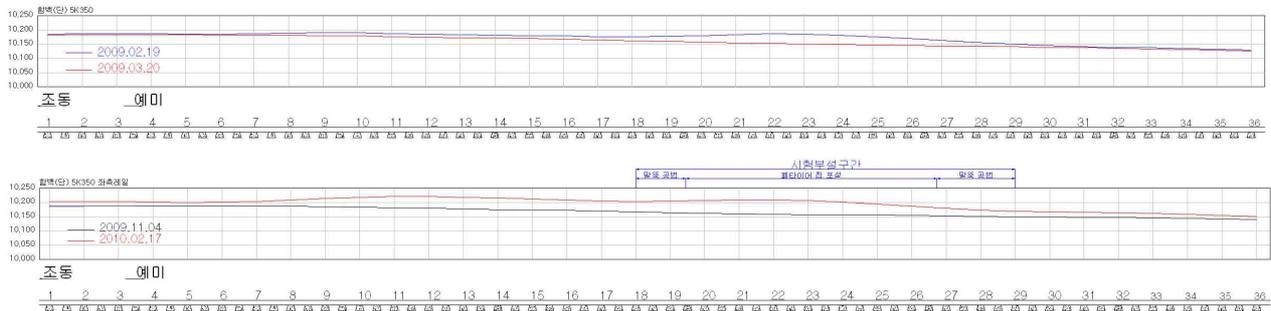


그림 11. 함백선 동상량 비교

(3) 동상량 비교 · 분석

2009년부터 2010년 2월까지 측정된 동상량 비교내용은 다음 표 7과 같다.

표 7. 동상량 측정 결과 및 분석결과

측 정	A	B	C	측정시 동결지수 (°C · day)	최대동결지수 (°C · day)	
동상량(mm)	2009/02/19	21	11	36	262.7	274.0
	2010/02/17	61(+40)	34(+23)	50(+14)	395.0	407.1
변동율	2.90	3.09	1.39	1.50	1.49	

A : 태백선 15K350 No.12(2010/02/17 측정시 베이스플레이트+레일패드 제거량 포함)

B : 함백선 5K350 No.12

C : 함백선 5K330 No.23(시험부설개소)

2009년 2월의 동결지수와 2010년 2월의 동결지수가 대략 1.5배 정도 차이가 나고 있으며 동상발생을 완전히 차단할 수는 없었지만 시험부설개소에서는 1.4배 정도의 동상량 증대가 있었으며, 나머지 개소에서는 동상량이 대략 3배 정도 증대되었다. 극히 정량적이지는 않지만 페타이어 칩 말뚝의 동상저감 효과가 어느 정도 입증된다고 볼 수 있다.

## 6. 결 론

철도 시설분야에서는 동절기 동상으로 인한 노반 및 도상의 융기로 이를 해소하기 위한 유지보수 투입비율이 높은 실정이다. 국내에서 노반 및 도상의 동결로 인한 피해를 입는 지역은 일부지역으로 국한되어 있지만 향후 남북철도 연결 및 대륙철도 진출시 이러한 문제를 사전에 해결할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 페타이어 칩을 활용한 동상저감에 대한 실험적 연구를 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 실내시험을 통해 페타이어 칩을 활용한 경우 지지력과 동상량에 대해 분석하였다. 지지력비는 페타이어 칩 말뚝공법>페타이어 칩 10% 혼합토>페타이어 칩 20% 혼합토의 순으로 나타났으며, 동상저감량은 페타이어 칩 말뚝공법>페타이어 칩 혼합토(10~20%)의 순으로 나타났다.

2. 페타이어 칩 말뚝공법을 시험부설한 현장과 그렇지 않은 현장을 비교했을 때 페타이어 칩 말뚝공법이 약 50% 정도의 동상저감효과를 나타낸 것으로 확인 되었다.

3. 1998년 12월부터 2010년 3월까지 전국동결지수를 분석하여 작성한 동결지수 MAP과 동결심도 MAP을 활용하여 향후 페타이어 칩 말뚝공법을 시공하고자 할 때 그 심도를 결정할 수 있을 것이다.

4. 향후 과제로는 페타이어 칩 말뚝의 천공간격 및 배치 방향에 대한 심도 깊은 연구가 필요 할 것이며 유지보수 차원의 동상예방안에 대한 지속적인 연구가 필요할 것이다.

### 참고문헌

1. 이진욱, 최찬용, 이성혁, “연약노반상에서 토목섬유 적용에 따른 보강 효과 분석” 한국철도학회 논문집 제9권 제1호, pp.69-75, 2006.
2. 전재철, “구조용 강재의 부식피로 강도에 미치는 산성안개 및 염화칼슘의 영향”, 강원대학교 석사학위 논문, 2001.
3. 이경배, 이승우, “제설제가 콘크리트 포장파손에 미치는 영향”, 대한토목학회 논문집 제27권 제1D호, pp.73-80, 2007.
4. 한국건설기술연구원, “페타이어를 재활용한 건설재료 및 신공법 기술 개발에 관한 연구”, 1996.
5. 김학삼, “페타이어 파우더 혼합토의 동상특성”, 영남이공대학교 논문집 Vo:30, pp.79-87, 2001.
6. 김영진, 강병희, “페타이어를 이용한 지반동상방지”, 한국지반공학회지 Vol.14 No.1, pp.49-58, 1998.