

자전거도로용 롤러 전압 콘크리트 포장의 코팅에 따른 성능 평가

Evaluation of the Performance on Coating on Roller Compacted Concrete Pavement for Bike Roads

이 창 호 Lee, Chang Ho
이 승 우 Lee, Seung Woo
김 성 길 Kim, Seong Kil

학생회원 · 강릉원주대학교 토목공학과 석사과정 (E-mail : shaepari@nate.com)
정 회 원 · 강릉원주대학교 토목공학과 부교수 · 공학박사 (E-mail : swl@gwnu.ac.kr)
정 회 원 · (주)비앤비코리아 전무 · 공학박사 (E-mail : skkim1206@hanmail.net)

ABSTRACT

Recently, usage bicycle is encouraged to reduce fuel consumption and air pollution. For this purpose, bike road constructions are actively performed. However, types of pavement used in bike roads have high construction cost and performance comparing the required capacity of bike roads. Thus, an economical pavement type for construction is necessary for the effective development. Roller compacted concrete pavement have good requirements, such as easy construction and low costs, high structural performance of hydration and internal communication aggregation on compaction for bicycle roads. However, the pool landscape surface and resistance to deicer damage cannot be applied to the construction of bicycle roads. Thus, for solving this problem used coating which may have effect of improving the landscape and environmental resistance. To examine this effect were evaluated performance of roller compacted concrete pavement on the coating.

KEYWORDS

bike roads, roller compacted concrete pavement, environmental friendly pavement, environmental resistance, coating

요지

최근 화석자원의 고갈과 대기오염의 피해를 저감하기 위해 자전거의 이용을 적극적으로 장려하고 있으며 이를 위해 자전거도로 건설이 활발히 이루어지고 있다. 하지만 현재 사용 중인 자전거도로 포장은 이용 하중에 비해 높은 성능과 시공비용을 지니고 있어 효율적인 건설을 위해 경제적인 도로포장형식이 필요하다. 롤러 전압 콘크리트 포장은 시멘트 경화 반응과 다짐으로 인한 골재 맞물림에 따른 높은 구조적 성능을 확보할 수 있다. 또한 시공이 간단하고 건설비가 적어서 자전거도로에 적용하기 위한 우수한 조건을 갖추고 있다. 그러나 롤러 전압 콘크리트 포장의 불량한 표면 미관과 제설제 피해에 대한 취약성은 자전거도로 건설에서 문제로 작용하고 있다. 따라서 이러한 단점을 극복하기 위해 표면 미관의 개선과 환경하중에 대한 피해를 저감 할 수 있을 것으로 예상되는 코팅공법을 이용하였으며 이에 대한 효과를 검증하기 위해 롤러 전압 콘크리트 포장의 코팅에 따른 성능을 검토하였다.

핵심용어

자전거도로, 롤러 전압 콘크리트 포장, 친환경 도로 포장, 환경저항성, 코팅공법

1. 서론

최근 화석자원의 고갈과 대기오염의 피해를 저감하기 위해 자전거의 이용을 적극적으로 장려하고 있으며 이를 위해 그림 1과 같이 '전국 일주 자전거 도로망 구축' 및 강원도 내

'산소길, 자전거길 3000리 조성사업' 등 전국적으로 자전거도로 건설이 이루어지고 있다. 하지만 현재 자전거도로 건설을 위해 사용 중인 도로포장 형식은 이용 하중에 비해 높은 구조적 성능 및 시공비용을 요구하고 있으므로 효율적인 자

전거도로 건설을 위해 경제적이고 우수한 내구성을 지닌 친환경 자전거도로 포장형식의 개발이 시급한 실정이다.



그림 1. 전국일주 자전거 도로망 구축사업

롤러 전압 콘크리트 포장 공법은 시멘트에 의한 경화 반응과 골재 간의 맞물림 효과에 의해 강도발현 및 내구성이 우수하고, 적은 수량 및 시멘트량의 사용으로 건조 수축량이 적어 줄눈간격을 일반콘크리트 포장 보다 길게 할 수 있으므로 상대적으로 우수한 주행성을 확보할 수 있다. 또한 시공 방법은 그림 2와 같이 아스팔트 피니셔와 진동 롤러에 의한 기계화 시공방법으로 시공속도가 빠르며 거푸집의 사용과 별도의 표면처리가 필요치 않으므로 시공비용을 절감할 수 있다(이승우, 2010). 반면 평탄성은 일반 콘크리트 포장에 비해 다소 불량하나 15km/hr의 속도로 통행하는 자전거도로에서는 문제가 되지 않아 자전거도로 포장 형식으로 사용하기에 적합



그림 2. 롤러 전압 콘크리트 포장 시공 전경

하다(이승우, 2010). 국내에서 수행된 '자전거도로를 위한 롤러 전압 콘크리트 포장의 연구'에 따르면 일반 콘크리트 포장 보다 0.3~0.5배정도 저감된 시멘트량을 사용하여 '자전거도로 이용시설 및 관리 지침'에 명시된 21MPa의 기준 압축강도를 확보할 수 있었으나 제설제에 의한 피해에 취약한 것으로 나타났으며 롤러 다짐에 의한 불량한 표면 형성으로 인해 도로 이용의 쾌적함을 저하시킬 것으로 예상되고 있다(이승우, 2010).

도로 표면의 코팅처리는 시인성과 심미성을 향상시켜 이용자의 쾌적성을 증진시키며 상대적으로 간단한 시공과 유지보수의 용이성, 저렴한 시공비용을 지니고 있어 도심지 자전거도로에서 주로 이용되고 있다. 또한 포장 표면으로 침투되는 수분을 배제시키는 역할을 함으로써 염화물 및 동결융해에 대한 피해를 저감할 수 있다. 이러한 기능은 치밀하지 못한 표면을 지닌 롤러 전압 콘크리트 포장의 미관과 제설제에 대한 저항성을 향상시킬 수 있다.



그림 3. 롤러 전압 콘크리트 포장의 스케일링 시험 결과(이승우, 2010)



그림 4. 자전거도로 포장 표면의 코팅처리를 통한 미관 개선

본 연구에서는 동결융해 및 제설제에 취약한 롤러 전압 콘크리트 포장의 환경하중 저항성과 미관의 개선을 위해 코팅 공법을 활용하고자 하며 이를 위해 코팅에 의한 동결융해 저항성의 상승효과와 선행되어진 연구에서 문제점으로 지적되

고 있는 제설제 피해에 대한 개선효과를 검토하였다. 또한 코팅에 따른 자전거도로용 롤러 전압 콘크리트 포장의 장기적인 사용을 위해 열화에 따른 미끄럼저항성을 측정하여 자전거도로용 롤러 전압 콘크리트 포장의 적용 가능성을 평가하고자 한다.

2. 국내 자전거도로용 롤러 전압 콘크리트 포장의 선행 연구

롤러 다짐 콘크리트 공법은 우수한 시공성, 구조적 성능, 저렴한 시공비용으로 국외에서는 다방면에 사용되고 있다. 하지만 국내에서는 농로포장 및 부체도로 건설에 시범적으로 적용되었으나 체계적인 연구의 부족으로 실용화는 이루지 못한 상태이다.

이승우 등의 연구에서 롤러 전압 콘크리트 포장의 특유의 특성을 고려하여 자전거 도로에 적용하기 위한 '자전거도로를 위한 롤러 전압 콘크리트 포장에 관한 연구'를 수행하였다. 연구의 내용은 '자전거도로 이용시설 및 관리지침' (국토해양부, 2009)에 제시된 압축강도 기준을 토대로 기초물성 시험을 수행하여 최적 배합 비를 도출하고 이에 대한 환경저항성을 검토하였다.

2.1. 자전거도로용 롤러 전압 콘크리트 포장의 최적 배합비

'자전거도로를 위한 롤러 전압 콘크리트 포장에 관한 연구'에서 기준강도를 만족시키는 최소 시멘트량 및 단위수량의 결정과 내구성 및 경제성, 친환경성을 확보하기 위한 플라이애시의 사용 효과를 검토하기 위해 배합 조건에 따른 강도를 검토하고 이를 토대로 소형롤러에 의한 다짐시험을 통해 자전거도로를 위한 최적 배합비를 도출하였다. 표 1은 도출된 최적 배합비로써 사용된 시멘트량은 일반 도로포장에 사용되는 량의 50~70%수준이며, 시멘트 1ton 생산 시 발생하는 CO₂배출량이 약 0.9ton인 것을 감안하면 상당량의 CO₂량을 저감할 수 있을 것으로 예상된다(이승우, 2010).

표 1. 자전거도로용 롤러 전압 콘크리트 포장 배합비(이승우, 2010)

골재 최대치수 (mm)	물/시멘트비 (%)	잔골재율 (%)	시멘트량 (kg/m ³)	물량 (kg/m ³)	골재		플라이애시 (kg/m ³)
					굵은 골재 (kg/m ³)	잔골재 (kg/m ³)	
25	48	44	200	120	1165	919	50

2.2. 다짐 기준 정립

롤러 전압 콘크리트 포장에서 다짐은 초기압축강도 발현과 수밀성 증대, 내구성 등에 영향을 끼치는 인자로서 우수한 물리적 성능을 발휘하기 위해서는 일정 수준이상의 다짐이 필

요하다(이승우, 2010). 따라서 이승우 등(2010)의 연구에서는 자전거도로의 적용을 위한 롤러 전압 콘크리트 포장의 다짐 기준을 선정하기 위해 KS F 2312 "흙의 다짐시험(A법)"에 의한 충격 다짐 시험 및 ASTM C 1176 'Standard Practice for Making Roller-Compacted Concrete in Cylinder Molds Using a Vibrating Table'에 의거하여 진동대 다짐시험을 실시하여 7일 강도를 이용한 28일 추정 압축강도와 다짐율에 대한 관계를 분석하였다. 그림 5는 다짐 특성 시험의 결과로써 다짐율이 97% 이상인 공시체에서 31.83MPa~33.05MPa의 압축강도를 확보하여 목표압축강도를 상회하는 것으로 나타났으며 압축강도 변동범위가 작아지는 것을 확인하였다(이승우, 2010).

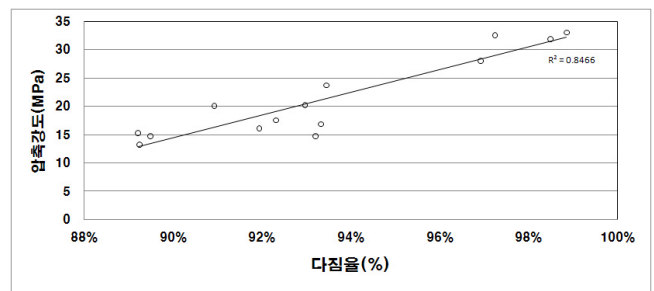


그림 5. 자전거도로용 롤러 전압 콘크리트 포장의 다짐 특성 시험 결과(이승우, 2010)

2.3. 환경저항성 평가

콘크리트의 동해에 대한 저항성은 내부 공기량에 영향을 받기 쉬우며 동결융해에 대한 피해를 예방하기 위해 4~7%의 공기량 확보를 권장하고 있다(국토해양부, 2009). 그림 6은 선행연구에서 제시된 동결융해 저항성에 대한 시험 결과이다(이승우, 2010). 시험결과, 롤러 전압 콘크리트 포장의 경우 적은 공기량을 지녔음에도 불구하고 동결융해에 대한 저항성이 우수한 것으로 나타났다. 이는 내포된 적은 수분과 높은 다짐에 의해 조밀한 구조를 형성하여 내부로의 수분 침투를 억제하고 다짐 시 충분히 분포된 작은 기포와 조밀한 간극계수의 형성이 이루어졌기 때문인 것으로 판단된다(이승우, 2010).

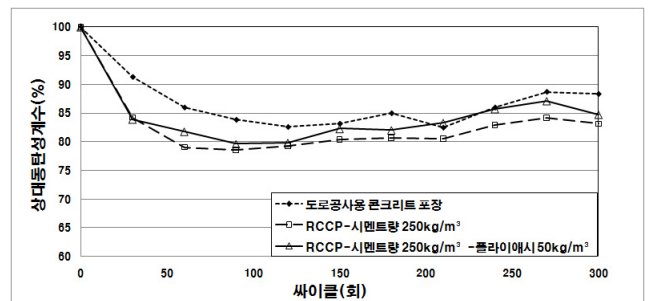


그림 6. 롤러 전압 콘크리트 포장의 동결융해 시험 결과 (이승우, 2010)

반면 표면박리 시험에서는 그림 3과 같이 많은 양의 표면 박리가 발생하였으며, 낮은 제설제 저항성으로 인한 표면 결함의 보안이 필요한 것으로 판단된다. 제설제에 의한 콘크리트 피해의 원인으로 동결융해와 함께 염 결정의 성장, 층간 동결에 의한 응력 차 발생, 제설제 용해에 의한 열 충격, 침투 압의 증가 및 팽창압에 의한 발생 등 다양한 학설이 제기되고 있으나 복합적인 열화로 인해 명확한 해명이 이루어지지 않은 상태이다. 하지만 일반적으로 제설제에 의한 열화는 표면의 미세균일과 표면에 다량의 페이스트가 있을 때 제설제 염화물의 침투가 쉬워져 열화를 촉진시키는 것으로 알려져 있다(정해문 외, 2003). 따라서 롤러 전압 콘크리트 포장은 특유의 시공 및 재료적 특성으로 인해 치밀한 노면조직의 형성이 어렵고 롤러 다짐으로 인해 0.5~4%정도의 내부 공기량 확보로 인해 제설제에 대한 저항성이 상당히 취약한 것으로 판단된다(이승우, 2010).

3. 코팅에 따른 롤러 전압 콘크리트 포장의 성능평가

3.1. 시험 계획

본 연구에서 롤러 전압 콘크리트 포장의 코팅에 따른 환경 저항성 개선효과를 검증하기 위하여 선행연구의 내용을 토대로 배합을 선정하였다. 또한 현재 자전거도로에 적용하기 위한 코팅제에 대한 명확한 성능 기준이 제시되어 있지 않아 도로공사 표준시방서(한국도로공사, 2009)를 참고하여 표 2와 같이 선정기준을 결정하여 적정 코팅제를 선정하고자 하였다. 이를 기준으로 코팅에 따른 환경 피해를 최소화하고 이용자의 안정성을 위한 적정 미끄럼저항성과 장기적인 사용을 위한 내구성을 확보할 수 있을 것으로 사료되는 국내 B사의 수성계 미끄럼방지 칼라 코팅제를 사용하였다.

표 2. 코팅제 선정 기준

항 목	시 험	기 준
흡수율	KS F 2476	1% 이하
마모율	EN 1436, EN 13197	1% 이하
미끄럼 저항	ASTM E 303	47BPN 이상
건조시간	KS M 5000	2시간 이내
접착강도	KS F 2476	1.5MPa

코팅에 따른 환경저항성 개선 효과를 검토하기 위해 시편 제작 후 코팅처리에 따른 시편을 구분하여 동결융해 저항성 및 표면박리 시험 후 결과를 비교·평가하였다. 또한 코팅에 따른 자전거도로용 롤러 전압 콘크리트 포장의 장기적인 사용을 위해 열화에 따른 미끄럼저항성을 측정하여 환경하중 피해에 따른 코팅제의 수명을 검토하고자 표면박리 시험의 시험 초기와 시험 종료 후의 미끄럼저항성과 동결융해 시험 시편의 시험초

기, 200 싸이클, 300 싸이클의 미끄럼저항성을 측정하였다.

3.1.1. 시험 재료

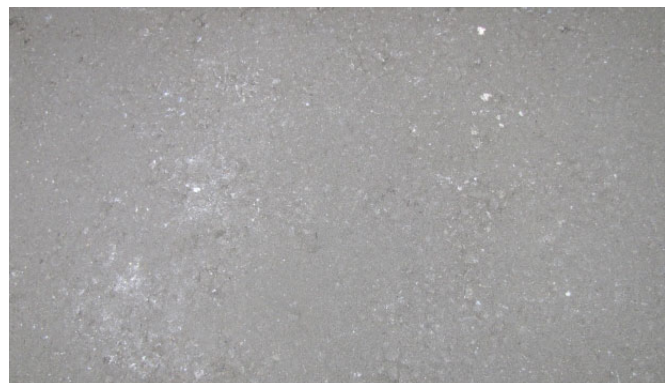
1) 배합비

선행연구에서 최적 배합비는 44%의 잔골재율로 배합비가 구성되어 있으며 소형롤러 다짐 시험의 결과, 그림 7(a)과 같이 치밀치 못한 표면의 형성이 이루어지는 것을 확인하였다. 이는 불량한 표면 형성으로 미관의 훼손과 제설제에 대한 저항성을 보다 저하시킬 수 있다.

따라서 표면의 상태를 개선하기 위해 최적 배합비의 잔골재율을 48%로 조정하여 소형롤러에 의한 다짐을 실시하였으며 시험결과, 그림 7(b)과 같은 양호한 표면 형성을 보였다. 본 연구에서는 표면의 상태를 고려하여 선행연구에서 제시된 배합비에서 잔골재율을 48%로 상향 조정한 최적 배합비를 표 3과 같이 제시하여 시험을 수행하였다.



(a) 잔골재율 44%의 표면(이승우, 2010)



(b) 잔골재율 48%의 표면

그림 7. 소형롤러 다짐 후 표면 상태

표 3. 시험 배합비

골재 최대치수 (mm)	물/시멘트비 (%)	잔골재율 (%)	시멘트량 (kg/m³)	물량 (kg/m³)	골재		플라이 애시 (kg/m³)
					굵은 골재 (kg/m³)	잔골재 (kg/m³)	
25	48	48	200	120	1119	994	50

2) 코팅 재료

본 연구에 사용된 수성계 미끄럼방지 칼라 코팅재는 표 4와 같이 하도재인 프라이머와 상도재인 칼라 코팅재로 구성되어 있다.

표 4. 코팅재의 구성

구분	주원료	특징	
하도재 (프라이머)	<ul style="list-style-type: none"> 수용성 아크릴 변성 에폭시 수지 가교형 아크릴 에멀전 수지 	<ul style="list-style-type: none"> 부착성 증진 시공성 향상 	
상도재 (칼라 코팅재)	결합제 (29~40중량부)	<ul style="list-style-type: none"> 반응형 아크릴 에멀전 수지 에폭시 에멀전 수지 	<ul style="list-style-type: none"> 내마모성 증진 부착력 향상
	충전제 (50~70중량부)	<ul style="list-style-type: none"> 규산염 및 시멘트 0.2~1.0mm 골재 	<ul style="list-style-type: none"> 경화속도 최적화 미끄럼 저항성 개선
	착색제 (1~5중량부)	<ul style="list-style-type: none"> 산화물, 유화물, 유산염, 탄산염, 수산화물 크롬산염의 무기안료, 프탈로시아닌계 및 퀴나크리돈계의 유기안료 	<ul style="list-style-type: none"> 촉진 내후성 향상

시험에 사용된 수성계 미끄럼방지 코팅재는 기존 수성 코팅재의 문제인 건조시간, 내수성, 내용제성, 부착성, 내마모성, 내후성 및 미끄럼저항성 등의 문제점을 개선하기 위해 하도재인 프라이머를 수용성 아크릴 변성 에폭시 수지 및 가교형 아크릴 에멀전 수지로 구성하여 상도재인 칼라 코팅재와 바닥면과의 부착력을 향상시킬 수 있다. 또한 높은 내수성으로 바닥면의 흡수율에 따른 코팅재의 부풀음 현상을 방지하고 수용성 결합제와 0.2~1.0mm 골재가 포함된 충전제를 통해 내마모성과 미끄럼저항성을 개선하였다. 또한 산화물, 유화물, 유산염, 탄산염, 수산화물, 크롬산염의 무기안료 및 프탈로시아닌계, 퀴나크리돈계의 유기안료의 효율적인 혼합 및 사용을 통해 내후성을 향상시켰다. 표 5는 내마모성 시험, 미끄럼저항성 시험, 접착성 시험 및 건조시간 측정을 통해 도막에 대한 물성 평가를 수행한 결과이다.

표 5. 도막 물성 평가 결과

구분	시험 방법	시험 결과
건조시간(Hrs)	KS M 5000-2511	1.25~2시간
접착강도(Kgf/cm ²)	KSF 2761	1.6~2.1MPa
내마모성(mg loss)	ASTM D-4060	18~83mg
미끄럼저항성(BPN)	KSF 2375	69~80BPN
촉진내후성 QUV(500hrs), ΔE	ASTM G-53	1.4~1.9

3.1.2. 시험 시편 제작

제설제에 의한 피해는 표면을 통해 수분 및 염화물이 침투함으로써 발생된다. 따라서 다짐에 의해 표면이 형성되는 롤러 전압 콘크리트 포장 공법은 시험실에서 진동대 및 램머에

의해 제작된 시편의 경우 현장의 노면상태를 모사하기 어렵다. 본 연구에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위해 선행연구에서 소형롤러 다짐 시험 결과를 토대로 700kg의 중량과 진동수 3300VPM, 전압 폭 640mm의 성능을 지닌 소형롤러로 총 10회의 다짐을 실시하여 시편을 제작하였다(이승우, 2010). 20일 동안의 습윤 양생 후 콘크리트 커팅 장비를 이용하여 동결융해 시험과 표면박리 시험을 위한 시편을 제작하였다. 코팅은 스틸브러쉬를 이용하여 표면정리 후 코팅하였으며 하루동안 건조시켰다.



(a) 소형롤러에 의한 다짐



(b) 콘크리트 커팅기에 의한 절삭



(c) 표면 코팅

그림 8. 시험 시편 제작 과정

3.2. 동결융해 저항성 시험

동결융해시험은 KS F 2456 “급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험 방법(B법)”에 따라 기중 동결 후 수중 융해 방법으로 동결시간 3시간 10분, 융해시간 2시간 20분으로 진행하였다. 시험 공시체는 소형롤러에 의해 제작된 시편을 10×10×40cm의 각주형으로 절삭하여 코팅처리 시편 3개와 무처리 시편 3개를 제작하였다. 30 사이클마다 동탄성 계수와 시편의 무게를 측정하였으며, 300 사이클 후 시험을 종료하였다.

그림 9는 동결융해 시험에 대한 동탄성 계수의 측정 결과이다. 시험결과 무처리 시편(NCT)의 경우 120사이클에서 79.8%였으며 300 사이클까지 80%를 유지하였다. 코팅처리 시편(CT)은 120 사이클에서 96.8%였으며 300 사이클까지 이를 유지하여 무처리 시편보다 약 15% 정도 높은 것으로 나타나 코팅처리에 의해 동결융해 저항성이 향상되는 것을 확인하였다. 콘크리트의 동결융해에 의한 피해는 내부에 함유된 수분과 외부에서 침투되는 수분이 가해져서 반복적인 동결에 의해 팽창압이 발생되면서 내부 조직에 미세한 균열이 발생하는 것이다(이병덕, 2008). 따라서 코팅에 의해 외부로부터 침투되는 수분의 차단을 통해 내부에서의 수분 동결에 따른 팽창압이 저감되었기 때문에 추가적인 동결융해에 대한 피해가 완화된 것으로 예상된다.

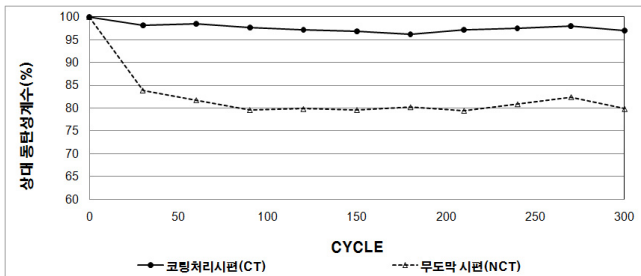


그림 9. 동탄성계수 측정 결과

3.3. 제설제 저항성 시험



표면박리 시험은 ASTM 672 ‘Standard Test Method for Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing Chemicals’에 명시된 방법으로 수행하였다. 소형롤러를 통해 제작된 시편을 30×30×10cm의 공시체로 절삭한 후 코팅처리 시편(CT)과 무처리 시편(NCT)을 각각 2개씩 제작하여 시험을 수행하였다. 시험에 사용된 용액은 염화칼슘을 증류수 100mL당 4g의 비율로 만들었으며, 1 사이클은 7시간 동결과 17시간의 융해로 실시하였다. 제설제에 대한 저항성은 5 사이클마다 총 25 사이클까지 표 5의 기준에 따른 육안관찰평가와 시편의 무게감소량을 측정하였다.

표 6. 육안관찰에 따른 등급(ASTM C 672)

구분	표면 상태
0	no scaling
1	very slight scaling(3mm depth max no coarse aggregate visible)
2	slight to moderate scaling
3	moderate scaling(some coarse aggregate visible)
4	moderate to severe scaling
5	severe scaling(coarse aggregate visible over entire surface)

표 7은 표면박리 시험의 결과로써 무게 손실량 측정 결과, 무처리 시편(NCT)은 25 사이클에서 450g, 코팅처리 시편(CT)은 25 사이클까지 226g의 무게 손실량이 발생하여 224g의 상당한 차이를 보였다. 이는 무처리 시편의 경우 다량의 모르타르가 손실되었으나 코팅처리 시편은 칼라 코팅재만이 손실되었을 뿐 프라이머가 표면으로 침투되는 염화물을 차단하여 칼라 코팅재만이 박리가 미미하게 발생하였다.

표 7. 25 사이클 후 롤러 전압 콘크리트 포장 시편의 표면 상태

구분	무처리 시편(NCT)	코팅처리 시편(CT)
무게 감소량 (g)	450	226
육안 관찰		

육안 관찰 결과의 경우, 무처리 시편(NCT)은 1 사이클에서부터 지속적으로 모르타르 손실이 발생하였으며 25 사이클에서 육안 관찰의 결과 5등급으로 골재의 탈리를 확인하였다. 반면 코팅처리 시편(CT)은 심각한 파손은 발생하지 않았으나 다소의 칼라 코팅재의 손실과 일부 위치에서 부풀음 현상이 확인되었으며 시험 종료 후 스틸 브러쉬로 코팅재를 제거하였을 때 부풀음 위치에서 표면 손상을 확인하였다. 이는 코팅처리 시 하도재인 프라이머의 불량한 처리와 코팅재의 반복적인 제설제의 피해로 인해 염화물이 표면으로 침투되어 발생한 것으로 사료된다.

코팅에 따른 표면박리 시험 결과, 코팅에 의한 제설제 저항성은 향상되는 것으로 나타났다. 그러나 장기적인 제설제의 피해를 저감하기 위해서는 주기적인 코팅재의 보수나 코팅재의 내수성을 향상시킬 수 있는 방안이 필요할 것으로 사료된다.

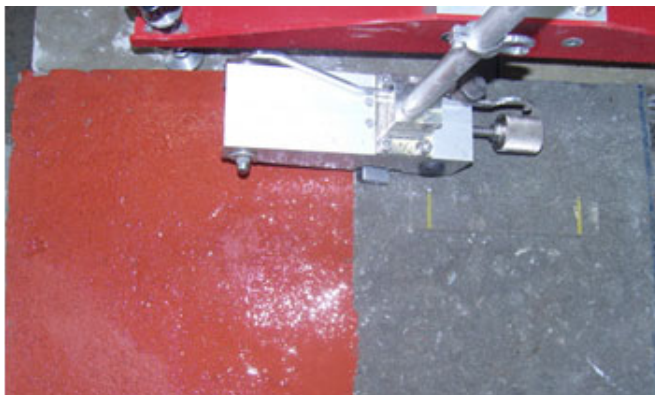
3.4. 미끄럼저항성 검토

자전거도로용 롤러 전압 콘크리트 포장에 적용하기 위한

코팅재는 미관 및 환경저항성의 개선뿐만 아니라 장기간의 사용을 위해 코팅재의 열화에 따른 적정 수명의 검토가 필요하다. 이를 위해 자전거도로에 적용하기 위한 코팅재의 주요 기능 중 하나인 미끄럼저항성을 열화 전후의 측정을 통해 환경피해에 따른 코팅재의 수명을 검토가 필요하다. 본 연구에서는 ASTM E 303 'Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Test'에 규정된 BPT장비를 이용하여 동결융해 시험과 제설제 시험에 사용된 각 2개 시편을 초기와 싸이클 경과 후의 BPN을 측정하였다.



(a) BPT 장비



(b) 표면 코팅 시편 및 무처리 시편

그림 10. 미끄럼저항성 측정

표 8은 시험 전후의 미끄럼 저항성을 측정한 결과이다. 시험 초기의 모든 시편의 평균 BPN은 81~84로 '자전거도로 시설 기준 및 관리 지침'에 명시된 30을 크게 상회하는 값으로 상당히 우수한 것으로 나타났다. 시험 경과 동안의 동결융해 시험 시편의 경우 코팅처리 시편(CT)은 초기 81, 200사이클에서 63, 300 사이클에서 57로 24의 저하를 보였으며 무처리 시편(NCT)은 초기 83, 200 사이클에서 80, 300 사이클에서 74로 9의 저하를 보였다. 이와 같이 코팅처리 시편(CT)의 미끄럼저항성 감소가 큰 원인은 코팅재에 포함된 미

끄럼저항성 향상 기능을 하는 세골재가 코팅재와 함께 손실되었기 때문인 것으로 판단된다.

표면박리 시편의 경우 시험 종료 후의 미끄럼저항성은 표면의 심각한 파손으로 인해 측정이 불가능하였다. 하지만 제설제 저항성 시험에서 무처리 시편(NCT)보다 코팅처리 시편(CT)의 표면열화의 진행이 지연되는 것을 확인하였으며, 코팅재의 미끄럼저항성에 대한 성능수명을 연장시켰을 것으로 사료된다.

표 8. 미끄럼저항성 측정 결과

구 분	평균 초기 BPN	평균 시험 경과 후 BPN		
표면박리 시험	코팅처리 시편	82	측정 불가(25 싸이클)	
	무처리 시편	84	측정 불가(25 싸이클)	
동결융해 시험	코팅처리 시편	81	63(200 싸이클)	57(300 싸이클)
	무처리 시편	83	80(200 싸이클)	74(300 싸이클)

본 시험의 결과, 모든 시편은 초기 미끄럼저항성을 향상시키지만 지속적인 동결융해 및 제설제의 표면 열화로 인해 측정이 불가능하거나 저하되었다. 하지만 코팅처리에 의해 미끄럼저항성의 성능수명을 연장시킬 수 있을 것으로 예상되며, 장기간의 미끄럼저항성 확보를 위해 주기적인 코팅재의 보수가 필요할 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구에서는 자전거도로용 롤러 전압 콘크리트 포장의 코팅에 대한 환경하중 저항성 개선효과를 검토하기 위해 동결융해 및 표면박리 시험을 수행하였다. 시험결과에 대한 결론을 다음과 같이 정리하였다.

1. 동결융해 저항성 시험에서 코팅처리 시편(CT)의 상대 동탄성 계수는 무처리(NCT)보다 상대적으로 작았으며 이는 하도제인 프라이머가 외부로 부터의 수분 침투를 차단하여 동결융해에 대한 피해를 저감하는 것으로 나타났다.
2. 표면박리 시험에서 무처리 시편(NCT)과 코팅처리 시편(CT)은 25 싸이클에서 각각 450g과 441g으로 심각한 표면 파손이 야기되었다. 이와 같은 코팅처리 시편의 심각한 파손은 동결융해와 제설제의 복합적인 열화로 인해 코팅재가 손실되면서 콘크리트 표면으로 침투되는 염화물 용액을 차단하지 못하였기 때문인 것으로 사료된다.
3. 모든 시험의 시편이 시험 전에 81~84 BPN의 범위로 우수한 미끄럼저항성을 보였으나 동결융해의 코팅처리 시편의 경우 24 BPN의 큰 폭으로 저하가 발생하였다. 이는 반복적인 동결융해 작용으로 인해 미끄럼저항성을 향상시키는 미립자가 포함된 코팅재가 손실되면서 발생된 것으

로 사료된다. 또한 제설제의 코팅처리 시편의 경우 염화물의 침투를 완벽히 차단하지 못함으로써 심각한 표면 파손이 발생되어 시험 후의 미끄럼저항성 측정이 불가능하였다. 하지만 코팅에 의해 제설제에 대한 피해가 지연됨으로써 미끄럼저항성의 성능 수명을 연장시킬 수 있을 것으로 사료된다.

4. 주로 자전거도로는 공원 및 도심지, 도심지 외각, 하천 제방 등에 건설되어지고 있어 자전거도로의 제설제에 의한 피해는 도심지 및 도로 인근의 일부 구간에 한정되어 발생할 것으로 예상된다. 따라서 제설제 피해 지역의 심각성을 구분하여 사용 코팅제의 성능을 결정함으로써 보다 효율적인 자전거도로를 건설할 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

국토해양부(2009), 도로공사 표준시방서.
 국토해양부(2009), "자전거도로 시설기준 및 관리지침".
 국토해양부(2010), "자전거도로 이용시설 및 관리지침".
 KS F 2456(2008), "급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험 방법".
 환경과학부 (2008), 환경부문 온실가스 배출량 inventory 작성 및 배출계수 개발 최종보고서.
 이병덕, 홍승호(2008), "콘크리트에서 공기량과 동결융해 내구성과의 관계", 대한토목학회 학술대회 논문집.
 이병덕, 홍승호(2008), "콘크리트에서 공기량과 동결융해 내구성과의 관계", 대한토목학회 학술대회 논문집.

이승우(2010), "친환경 자전거도로 포장 기술" 녹색기술 산학협력 중심사업단 기술개발과제 결과보고서, 강릉원주대학교.
 정원경, 김동호, 윤경구(2005), "평면간격계수에 의한 콘크리트 동결융해 내구성평가", 대한토목학회논문집 제25호 5A권.
 정해문, 이병덕, 박성기(2003), "제설제에 의해 발생한 콘크리트 표면 열화에 대한 방지대책에 관한 연구", 대한토목학회 정기학술대회 논문집.
 American Concrete Institute(1995), 'State-of-the-Art Report on Roller-Compacted Concrete Pavements', Report 325R-95.
 ASTM C 672(2003), 'Standard Test Method for Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing Chemicals'.
 ASTM E 303(1993) 'Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Test'.
 Norbert Delatte, Chris Storey(2004), 'Effect of Density and Mixture Proportions on Freeze Thaw Durability of Roller Compacted Concrete Pavement' TRB 2005 Annual Meeting CD-ROM.
 Pieere Gauthier, Jacques Marchand(2005) 'Design and Construction of Roller Compacted Concrete Pavements in Quebec', The Centre de recherche interuniversitaire sur le beton at Université Laval.
 Yeonsoo Stanley Kim(2006), 'Roller-Compacted Concrete Shoulder Construction on an Interstate Highway in Georgia' TRB 2007 Annual Meeting CD-ROM.

접 수 일 : 2010. 8. 16
 심 사 일 : 2010. 8. 19
 심사완료일 : 2010. 12. 31