

자전거도로용 롤러 전압 콘크리트 포장의 코팅에 따른 환경저항성 평가

Evaluation of the Environmental Resistance on Coating on Roller Compacted Concrete Pavement for Bike Road

이승우* · 이창호** · 박철우*** · 김성길**** · 강재규*****

Lee, Seung Woo · Lee, Chang Ho · Park, Cheol Woo · Kim, Seong Kil · Kang, Jae Gyu

1. 서론

최근 화석자원의 고갈과 대기오염의 피해를 저감하기 위해 자전거의 이용을 적극적으로 장려하고 있으며 이를 위해 “전국일주 자전거 도로망 구축” 및 각지자체의 자전거도로 확포장계획 등 자전거도로의 건설이 활발히 이루어지고 있다. 하지만 현재 자전거도로건설을 위해 사용 중인 도로포장 형식은 이용하중에 비해 높은 구조적 성능과 시공비용을 지닌 도로포장 형식이 사용되고 있으며 효율적인 자전거도로의 건설을 위해 경제적이고 우수한 내구성을 지닌 친환경 자전거도로 포장형식의 개발이 필요하다.



그림 1. 전국 일주 자전거 도로망 구축사업

그림 2. 롤러 전압 콘크리트 포장 시공 전경

롤러 전압 콘크리트 포장 공법은 시멘트에 의한 경화반응 골재 간의 맞물림 효과에 의해 강도발현 및 내구성이 우수하며 적은 수량 및 시멘트량의 사용으로 건조 수축량이 적다. 시공 방법은 그림 2와 같이 아스팔트 피니셔와 진동 롤러에 의한 기계화 시공방법으로 거푸집의 사용과 별도의 표면처리가 필요치 않으며 시공

* 정회원 · 강원원주대학교 토목공학과 부교수 · 공학박사(E-mail:swl@gwnu.ac.kr)

** 정회원 · 강원원주대학교 토목공학과 석사과정(E-mail:shaepari@nate.com)

*** 정회원 · 강원대학교 건설공학부 토목공과 조교수 · 공학박사(E-mail:tigerpark@kangwon.ac.kr)

**** 비회원 · (주) 비엔비코리아 전무(E-mail:skkim@hanmail.net)

***** 정회원 · (주) 삼우아이엠씨 공신팀 이사(E-mail:kjq8317@samwoeimc.com)

속도와 시공비용을 절감할 수 있다(이승우, 2010). 반면 평탄성은 일반 콘크리트 포장에 비해 다소 떨어지는 경향이 있으나 15km/hr의 속도로 통행하는 자전거도로에 적용하기에는 문제가 없다. 이와 같은 특성으로 국내에서 롤러 전압 콘크리트 포장을 자전거도로에 적용하기 위한 연구가 이루어지고 있다(이승우, 2010). 국내에서 수행된 자전거도로를 위한 롤러 전압 콘크리트 포장의 연구에 따르면 일반 콘크리트 포장 보다 0.3~0.5배정도 저감된 시멘트량을 사용하여 “자전거도로 시설 및 관리 지침”(국토해양부, 2009)에 명시된 28MPa의 기준 강도를 확보할 수는 있으나 제설제에 의한 피해에 현저히 취약한 것으로 나타났다(이승우, 2010).

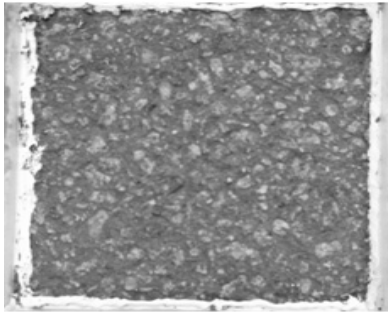


그림 3. 롤러 전압 콘크리트 포장의 스케일링 시험 결과 (이승우, 2010)

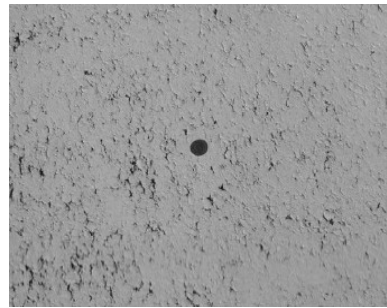


그림 4. 롤러 전압 콘크리트 포장의 표면 (Honda Plant in Lincoln, Alabama)

제설제에 의한 콘크리트 피해의 원인으로 동결융해와 함께 염의 결정의 성장, 층간 동결에 의한 응력차 발생, 제설제 용해에 의한 열충격, 침투압의 증가 및 평창압에 의한 발생 등 다양한 학설이 제기되고 있으나 복합적인 열화로 인해 명확한 해명이 이루어지지 않은 상태이나 제설제에 의한 열화는 수축에 의한 미세균일과 표면 다량의 페이스트가 있을 때 제설제 염화물의 침투가 쉬워져 열화를 촉진 시키는 것으로 알려져 있다(정해문 외, 2003). 따라서 그림 4와 같이 치밀하지 못한 표면이 형성되고 내부 공기량의 확보가 적은 롤러 전압 콘크리트 포장의 경우 다량의 제설제 염의 침투로 인해 심각한 표면열화가 발생하게 된다(이승우, 2010). 본 연구에서는 롤러 전압 콘크리트 포장의 제설제에 의한 표면 열화를 방지하고 동결융해에 대한 저항성을 향상시키기 위해 표면의 코팅을 수행하였으며 제설제 및 동결융해에 대한 저항성 시험을 통해 개선 효과를 검토하였다. 또한 시험 초기와 종료 후의 미끄럼저항성을 측정하여 환경하중에 따른 코팅제의 파손을 검토하여 코팅제 사용의 효율성을 평가하고자 수행하였다.

2. 시험 계획

2.1 시험 개요

콘크리트에서 제설제에 대한 저항성은 내부 공기량과 표면 수밀성에 영향을 받기 쉬우며 우수한 저항성을 위해서 충분한 공기량의 확보와 치밀한 노면조직의 형성이 필요하다. 하지만 롤러 전압 콘크리트 포장은 특유의 시공 및 재료적 특성으로 인해 충분한 공기량 확보 및 노면조직의 형성이 어렵다(Gauthier 외, 2005). 도로 표면의 코팅처리는 시인성과 심미성을 향상시켜 이용자의 쾌적성을 증진시키며 상대적으로 간단한 시공과 유지보수의 용이성, 저렴한 시공비용을 지니고 있어 도심지 자전거도로에서 주로 이용되고 있다. 또한 노면 표면으로 침투되는 수분을 배제시키는 역할을 함으로써 염화물 및 동결융해에 대한 피해를 저감할 수 있다. 이러한 기능은 치밀하지 못한 표면을 지닌 롤러 전압 콘크리트 포장의 제설제에 대한 저항성을 향상시킬 수 있을 것이다. 본 연구에서는 동결융해 및 제설제에 취약한 롤러 전압 콘크리트 포장을 활용하기 위해 표면코팅에 따른 환경저항성 개선효과를 검토하고자 코팅에 의한 동결융해 저항성의 상승효과와 선행된 연구에서 문제점으로 지적되고 있는 제설제 피해에 대한 개선효과를 검증하였으며 코팅제의 반복적인 환경하중으로 인한 성능저하를 검토하기 위해 각 시험의 시험 전후의 미끄럼저항성을 측정하여 자전거도로용 롤러 전압 콘크리트 포장의 적용 가능성을 평가한다.

2.2 시험 재료

2.2.1 배합비

표 1은 본 시험에 사용된 배합비로써 “자전거도로용 롤러 전압 콘크리트 포장 개발에 대한 연구”의 최적 배합을 사용하였다(이승우, 2010).

표 1. 시험 배합비()

G_MAX (mm)	W/C (%)	S/a (%)	C (kg/m ³)	W (kg/m ³)	AGGREGATE		F/A (kg/m ³)
					G (kg/m ³)	S (kg/m ³)	
25	48	48	200	120	1119	994	50

2.2.2 코팅 재료

본 연구에 사용된 코팅제는 B사의 수성계 미끄럼방지 코팅제로써 하도재인 프라이머와 상도재인 칼라 코팅제로 표 2와 같이 구성되어 있다.

표 2. 코팅제의 구성

구 분		주 원료	특 징
하도재 (프라이머)		수용성 아크릴 변성 에폭시 수지 및 가교형 아크릴 에멀전수지	부착성능 증진 시공성 향상
상도재 (칼라 코팅제)	결합제 (29~40중량부)	반응형 아크릴 에멀전수지 및 에폭시 에멀전 수지	내마모성 증진 부착력 향상
	충진제 (50~70중량부)	규산염 및 시멘트 0.2~1.0mm 골재	경화속도 최적화 미끄럼 저항성 개선
	착색제 (1~5중량부)	산화물, 유화물, 유산염, 탄산염, 수산화물, 크 롬산염의 무기안료 및 프탈로시아닌계 및 퀴나크리논계의 유기안료	촉진 내후성 향상

시험에 사용된 수성계 미끄럼방지 코팅제는 기존 수성 코팅제의 문제인 건조시간, 내수성, 내용제성, 부착성, 내마모성, 내후성, 미끄럼저항성 문제를 하도재인 프라이머를 수용성 아크릴 변성 에폭시 수지 및 가교형 아크릴 에멀전수지로 상도재인 칼라 코팅제와 바닥면과의 부착력을 향상시키며 높은 내수성으로 바닥면의 함수율에 따른 코팅제의 부풀음 현상을 방지하고 수용성 결합제와 0.2~1.0mm 골재가 포함된 충진제를 통해 내마모성과 미끄럼저항성을 개선하였다. 또한 산화물, 유화물, 유산염, 탄산염, 수산화물, 크롬산염의 무기안료 및 프탈로시아닌계 및 퀴나크리논계의 유기안료의 효율적인 혼합 및 사용을 통해 내후성을 향상시킨 친환경성 코팅재료이다((주) 비엔비코리아, 2009). 표 3은 내마모성 시험, 미끄럼저항성 시험, 접착성 시험, 건조시간 측정을 통해 도막에 대한 물성 평가를 수행한 결과이다.

표 3. 도막 물성 평가 결과((주) 비엔비코리아, 2009)

구 분	기 준	시험 방법	시험 결과
건조시간(Hrs)	2시간이내	KS M 5000-2511	1.25~2 시간
접착강도(Kgf/cm ²)	12Kgf/cm ² 이상	KSF 2761	16.7~21.3Kgf/cm ²
내마모성(mg loss)	100mg 이하	ASTM D-4060	18~83mg
미끄럼저항성(BPN)	67BPN 이상	KSF 2375	69~80BPN
촉진내후성 QUV(500hrs), ΔE	색차 3 이하	ASTM G-53	1.4~1.9

2.3 시험 시편

제설제에 의한 피해는 표면을 통해 수분 및 염화물이 침투함으로써 발생되며 롤러 전압 콘크리트 포장 공법은 다짐에 의해 표면이 형성되는 공법으로 실험실에서 진동대 및 램머에 의해 제작된 시편의 표면은 현장

의 노면상태를 조사하기 어렵다. 본 연구에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위해“자전거도로용 롤러 전압 콘크리트 포장 개발에 대한 연구”의 소형롤러 다짐 시험 결과를 토대로 700kg의 중량과 진동수 3300VPM, 전압폭 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. 제작된 시편은 코팅 후 하루동안 건조시켰다.

3. 코팅에 의한 환경저항성 개선 효과 검토

3.2 동결융해 저항성 시험

동결융해시험은 KS F 2456 “급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험 방법(B법)”에 따라 기중 동결 후 수중융해방법으로 동결시간 3시간 10분, 융해시간 2시간 20분으로 진행하였다. 시험 공시체는 소형롤러에 의해 제작된 시편을 10× 10× 40cm의 각주형으로 절삭하여 제작하였다. 30사이클마다 동탄성계수와 시편의 무게를 240사이클까지 측정하였다.

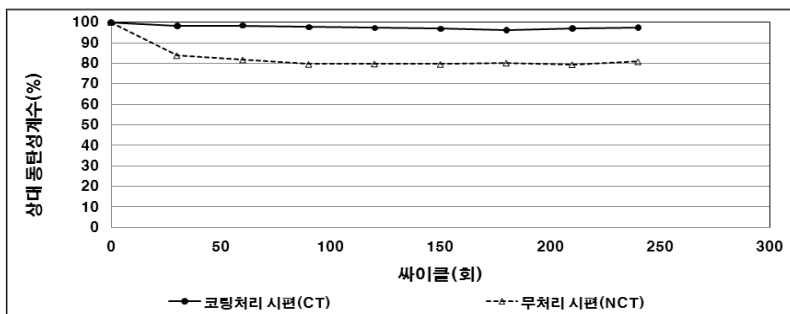


그림 5. 상대 동탄성계수 측정 결과(240사이클)

그림 5는 동결융해 시험에 대한 상대동탄성계수의 측정 결과이다. 시험결과 코팅처리 시편(CT)의 경우 120사이클에서 96.8%였으며 240사이클까지 유지하였다. 무처리 시편(NCT)의 경우 120사이클에서 79.8%로 있었으며 240사이클에서 80%를 유지하였다. 이와 같은 동탄성계수의 저하 크기 및 형태의 차이는 표면 코팅에 의해 내부로 침투되는 수분을 차단했기 때문인 것으로 판단된다. 본 시험의 결과, 코팅이 동결융해에 의한 저항성을 향상시키는 것을 확인하였다.

3.3 제설제 저항성 시험

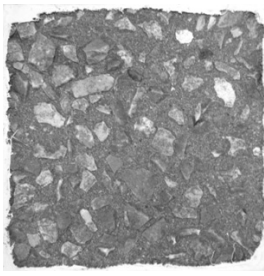
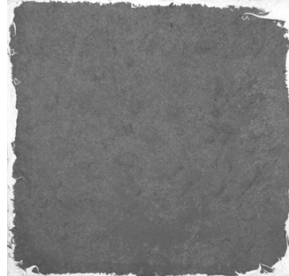
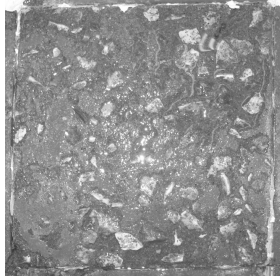
제설제에 대한 저항성 시험은 ASTM 672 “Standard Test Method for Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing Chemicals”에 명시된 방법으로 수행하였다. 소형롤러를 통해 제작된 시편을 30× 30× 10cm의 공시체로 절삭·제작하여 코팅처리 시편(CT)과 무처리 시편(NCT)을 제작하여 시험을 수행하였다. 용액은 염화칼슘을 증류수 100ml당 4g의 비율로 만들어 사용하였으며, 1사이클은 7시간 동결과 17시간의 융해로 실시하였다. 제설제에 대한 저항성은 5사이클마다 총 25사이클까지 표 3의 기준에 따른 육안판찰평가와 시편의 무게감소량을 측정하였다.

표 4. 육안관찰에 따른 등급(ASTM C 672)

구 분	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 4는 표면박리 시험의 결과이다. 무처리 시편(NCT)의 경우 1싸이클에서부터 지속적으로 모르타르 손실이 발생하였으며 25싸이클에서 육안 관찰의 결과 5등급으로 골재의 탈리를 확인하였다. 반면 코팅처리 시편(CT)의 경우 표면의 파손은 없으나 곳곳에서 부풀음 현상이 발생하였다. 이는 파손된 표면의 모르타르가 프라이머의 점착력에 의해 유실이 방지되어 발생한 것으로 코팅처리 시편(CT)의 상부 코팅제를 솔을 이용하여 제거하였을 때 부풀음 현상이 발생한 곳에서 다량의 모르타르 손실이 발생하여 4등급의 표면 파손 형태인 것을 확인하였다.

표 5. 25싸이클 후 표면 상태

구 분	무처리 시편(NCT)	코팅처리 시편(CT)	코팅제 제거 후
육안 관찰			
무게 감소량 (g)	450	226	441

무게 손실량은 무처리 시편(NCT)은 25싸이클에서 450g, 코팅처리 시편(CT)은 25싸이클까지 226g의 무게 손실량이 발생하였으나 표면 코팅제의 제거 후의 측정된 무게 손실량은 441g으로 무처리 시편과 유사한 것을 확인하였으며 이는 코팅제의 파손으로 콘크리트 표면에 염화물이 침투했기 때문인 것으로 사료된다. 본 시험결과, 코팅에 의한 제설제 저항성은 다소의 증진은 보였으나 표면으로의 염화물 침투로 인해 심각한 파손이 발생하였다. 따라서 본 연구의 목표인 코팅에 의한 자전거도로용 롤러 전압 콘크리트 포장의 제설제 저항성을 향상하기 위해서는 완벽히 염화물의 침투를 차단할 수 있는 처리방법 및 코팅제의 선정이 필요할 것으로 사료된다.

4. 미끄럼저항성 검토

미끄럼저항은 ASTM E 303 “Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Test”에 규정된 BPT장비를 이용하여 동결융해 시험과 제설제 시험 시편의 초기와 종료 후의 BPN을 측정하였다.

표 4는 시험 전후의 미끄럼 저항성을 측정한 결과이다. 시험 초기의 모든 시편의 평균 미끄럼저항 값은 81~84BPN으로 “자전거도로 시설 기준 및 관리 지침”에 명시된 30BPN을 크게 상회하는 값으로 상당히 우수한 것으로 나타났다. 시험 종료 후의 동결융해 시험 시편의 경우 코팅처리 시편(CT)은 81에서 63으로 상당히 저하하였으며 무처리 시편(NCT)은 83에서 80으로 저하하였다. 이와 같이 코팅처리 시편(CT)의 미끄럼저항성 감소가 큰 원인은 코팅제에 포함된 미끄럼저항성 향상 기능을 하는 미립한 골재가 코팅제와 함께 손실되었기 때문이다.

표면박리 시험의 경우 표면의 심각한 파손으로 인해 측정이 불가능하였다. 하지만 제설제 저항성 시험에서 무처리 시편(NCT)보다 코팅처리 시편(CT)의 표면열화의 진행이 지연되는 것을 확인하였으며 이에 의해 코팅제의 미끄럼저항성에 대한 성능수명을 연장시켰을 것으로 사료된다.



표 6. 미끄럼저항성 측정 결과

구 분	초기 BPN	종료 후 BPN
표면박리 시험 코팅처리 시편	82	측정 불가
표면박리 시험 무처리 시편	84	측정 불가
동결융해 시험 코팅처리 시편	81	63
동결융해 시험 무처리 시편	83	80

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

5. 결 론

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

- (1) 동결융해 저항성 시험에서 코팅처리 시편(CT)의 상대 동탄성계수는 무처리(NCT)보다 상대적으로 작았으며 이는 코팅제의 단열효과와 프라이머에 의해 수분 침투가 차단 동결융해에 대한 피해를 저감하는 것으로 나타났다.
- (2) 제설제에 대한 저항성 시험에서 무처리 시편과 코팅처리 시편은 25싸이클에서 각각 450g과 441g으로 심각한 표면 파손이 야기되었다. 이와 같은 코팅처리 시편의 심각한 파손은 동결융해와 제설제의 복합적인 열화로 인해 코팅제가 손실되면서 콘크리트 표면으로 침투되는 염화물 용액을 완벽히 차단하지 못하였기 때문인 것으로 사료된다.
- (3) 모든 시험의 시편이 시험전에 81~84BPN의 범위로 우수한 미끄럼저항성을 보였으나 반복적인 제설제 및 동결융해에 의해 심각한 표면 파손 및 코팅제의 손실이 발생하여 미끄럼저항성이 크게 저하하는 것을 확인하였다. 하지만 코팅에 의해 제설제에 대한 피해가 지연됨으로써 미끄럼저항성의 성능 수명을 다소 연장시킬 수 있을 것으로 사료된다.
- (4) 주로 자전거도로는 공원 및 도심지, 도심지 외곽, 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

1. 이승우(2010), “친환경 자전거도로 포장 기술”, 강릉원주대학교, 기술개발과제 결과보고서
2. 정해문, 이병덕, 박성기(2003), “제설제에 의해 발생한 콘크리트 표면 열화에 대한 방지대책에 관한 연구”, 대한토목학회, 정기학술대회 논문집 pp.1129~1134
3. 국토해양부(2009), 자전거도로 시설기준 및 관리지침
4. KS F 2456, “급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험 방법”
5. (주) 비엔비코리아, “미끄럼방지 바닥용 수성 칼라 코팅제 조성물”, KR1020090063928A(2009)
6. American Concrete Institute(1995), “State-of-the-Art Report on Roller-Compacted Concrete Pavements”, Report 325R-95
7. ASTM C 672-03, “Standard Test Method for Scaling Resistance of Concrete Surfaces Exposed to Deicing Chemicals”
8. ASTM E 303 “Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Test”