

서울시 버스차로의 반강성포장 적용에 관한 연구

A Study for Semi-rigid Pavement of Bus Lane in Seoul

송철영* · 김주원**

Song, Chul Young · Kim, Ju Won

1. 서 론

2004년부터 서울시내 중요 간선도로에 버스전용차로를 칼라 아스팔트로 재포장하여 교통의 소통을 원활히 하는 데 일단은 성공하였다. 그러나 이 가운데 버스정류장 및 교차로 구간은 빈번한 버스의 정차와 서행, 발진으로 다른 구간에 비하여 혹심한 하중과 수평력이 작용하여 포장에 소성변형을 비롯한 변형이 발생하여 도로의 이용자나 관리자에게 불편을 주고 있다. 이를 방지하고 포장의 내구성을 향상시킬 목적으로 2005년 상반기에 설치한 경인로(구로구 시계~여의도동) 버스전용차로의 버스정류장 및 교차로 구간의 포장에 반강성포장(半剛性鋪裝, Semi-rigid pavement)을 적용하게 되었다. 여기에는 국내 최초로 보수성(保水性, water-absorptive)을 가지는 고흡수성 폴리머를 혼합한 채움재(보수성 시멘트 페이스트)를 사용하여 보수성을 가지는 반강성포장을 시공하게 되었다. 이포장은 포장체에 보수성을 가지게 함으로서 여름철 혹서기에 포장체의 온도를 내리고, 포장체로부터 방사되는 적외방사(赤外放射)를 저감시켜 버스정류장 및 교차로를 이용하는 사람이 느끼는 체감온도를 낮출 수 있도록 한 것이다. 본 연구에서는 경인로의 버스정류장에 활용된 이 포장의 특성과 시공결과를 보고한다.

2. 공사개요

구로구 시계~여의도동간 경인로의 연장 약 7km에 중앙버스차로를 건설하는 공사이다. 이 가운데 버스정류장과 교차로 37개소에 보수성을 가지는 반강성포장을 시공하였다. 폭 3.5m, 연장 54m의 버스정류장 18개소를 포함하여 전체 반강성포장의 연장은 1,700m(면적 60a)이다. 기존 아스팔트포장을 두께 5cm 절삭한 후, 모체로 되는 개립도 아스팔트 콘크리트를 포설하고 보수성 시멘트 페이스트를 침투시켜 완성하는 공법으로 시공하였으며, 주간의 버스 통행이 거의 종료되는 야간을 이용하거나, 교통량이 비교적 적은 휴일을 이용하여 집중적으로 시공하였다.

기존의 시내 포장도로를 절삭 후 단시일에 재시공하여 교통개방이 가능하고, 버스정류장 및 교차로구간에 집중되는 교통하중으로 발생하는 소성변형을 방지할 수 있는 적합한 공법으로 반강성포장을 채택하게 되었으며, 이번에 적용한 반강성포장은 반강성 기능에 보수성 기능을 추가한 보수성을 가지는 반강성포장 공법으로서, 강우나 살수에 의하여 포장체에 다량의 수분이 보수되고, 이 수분의 증발시 기화잠열(氣化潛熱)에 의하여 포장체의 온도가 내려가고, 여름철 아스팔트포장으로부터 방사되는 적외방사(赤外放射)를 저감시킬 수 있는 친환경적인 기능성 포장공법이다.

포장체에 보수성을 가지게 하는 공법으로는 개립도 포장체에 입상 구조토 세라믹을 침투시키는 방법이나, 미세 규사를 채우는 방법, 세라믹 투수성 인터록킹 블록(보도용) 등도 시도되고 있으나, 본 공사에는 버스가 계속적으로 통행하는 버스차로라는 특성을 고려하여 반강성포장을 채택하고, 침투용 시멘트 페이스트에 고흡수성 폴리머를 혼합하여 수분을 흡수하는 기능과 반강성포장으로서 요구되는 강도를 확보할 수 있는 재료와 시공법을 찾아내어 실제 시공에 활용하게 된 것이다.

* 정회원 · 후암산업(주) 본부장 · 031-716-8037~8 (E-mail : woodocy@hanmail.net)

** 참여회원 · 성원건설기술사사무소 소장 · 02-564-5645 (E-mail : kim_jwon@hanmail.net)



3. 모체 아스팔트 콘크리트의 특성

3.1 모체 아스팔트 콘크리트의 배합

반강성포장용 아스팔트 혼합물에 이용하는 재료는 일반적인 아스팔트 혼합물용 재료를 사용하고, 배합설계도 마살방법에 준한다. 이 공사에 사용한 굵은 골재는 천연산의 붉은색 칼라골재를 사용하고 채움재 대용으로 적색 안료를 혼합하였다. 모체 아스팔트 콘크리트의 골재입도는 한국도로교통협회 발행 '아스팔트포장 설계·시공요령(1997)'에 나와있는 골재입도 I형, II형 중 II형(골재 최대치수 20mm)을 사용하고, 시공두께는 5cm로 하였다. 혼합물의 배합에 사용한 아스팔트는 개질아스팔트(SK의 슈퍼팔트)를 사용하여 마살안정도는 월등히 높게 나왔다(표 1).

표 1. 모체 아스팔트 혼합물의 배합

		기 준	시험결과
입 도	체 크 기	통과중량백분율(%)	
	26.5mm	100	100
	19	95~100	100
	13.2	35~70	68.9
	4.75	7~30	19.5
	2.36	5~20	15.1
	0.6	4~15	9.0
	0.3	3~12	7.5
	0.08	1~6	4.9
아스팔트량(%)		3.0~4.5	3.5
마 살 시 험	밀도(g/cm ³)	1.90 이상	1.917
	안정도(kgf)	300 이상	913
	흐름치(1/100cm)	20~40	22
	공극률(%)	20~28	23
	다짐횟수(회)	50	50

3.2 모체 아스팔트 콘크리트의 시공

모체로 되는 아스팔트 혼합물은 부천시 소재 유진아스콘(주)에서 공급되었다. 포설에는 일반적인 혼합물의 포설과 같은 방법으로 아스팔트 피니셔를 이용하여 포설하고, 다짐에는 머캐덤 롤러와 탄뎀롤러만 이용하고 타이어 롤러는 투입하지 않았다. 이것은 모체로 되는 아스팔트 포장체의 공극이 막히거나 감소되는 것을 방지하기 위한 것이다. 시공시기가 여름철이어서 포설에서의 온도관리는 별로 문제될 것은 없었으나, 개립도 혼합물이므로 쉽게 식기 때문에 포설과 다짐에서 온도관리가 중요함은 말할 것도 없는 일이다.

4. 침투용 시멘트 페이스트의 특성

4.1 침투용 시멘트 페이스트의 배합

시내 일반차도를 중앙버스차로로 개량하는 공사이므로 주간에는 차량을 통행시키거나, 공사를 위한 차단이라 할지라도 그 시간은 최소로 하여야 하는 공사의 특성에서 반강성포장의 시공에 사용하는 시멘트 페이스트는 초속경형으로 하여, 시공후 수 시간 양생으로 교통을 개방할 수 있도록 계획하였다. 본 현장에서는 시공후 3시간 양생으로 교통을 개방할 수 있는 것을 목표로 하여 교통개방을 위한 시멘트 페이스트의 3시간 압축강도 기준을 50kgf/cm² 이상으로 하였고, 충분한 침투성 확보를 위하여 시멘트 페이스트의 가사시간(可使時間)을 40~60분 동안 플로우값을 유지할 수 있도록 하였다. 또한 현장에서의 신속한 혼합을 위하여 공장에서 시멘트와 그 밖의 혼합용 재료를 프리믹스하여 포대에 넣은 상태로 현장에 운반하여 믹서에 투입하고, 소요되는 물만 계량하여 넣고 혼합하도록 하였다. 프리믹스한 재료와 물의 배합은 표 2와 같으며, 침투용 시멘트 페이스트의 시험성과는 표 3과 같다.



표 2. 시멘트 페이스트의 배합

(중량 %)

재료	시멘트	증량재(1)	증량재(2)	보수재(1)	보수재(2)	첨가제(1)	첨가제(2)	첨가제(3)	물	합계
비율	29.2	11.2	3.9	2.4	0.1	0.8	5.6	2.8	44	100

표 3. 시멘트 페이스트의 시험성과

종 류	항 목	품질기준	시험결과	
초속경(보수)형	플로우 (초)	10~14	11.3	
	가사시간 (분)	(30~60)	45	
	압축강도 (kgf/cm ²)	3시간	(50 이상)	75
		7일	100~300	221
	휨강도(7일, kgf/cm ²)	20 이상	34	
	최대흡수율 (%)	(30~60)	31.8	

주) 가사시간과 최대흡수율의 품질기준은 시공사의 목표기준임.
시험결과는 3회 시험의 평균치임.

4.2 침투용 시멘트 페이스트의 시공

모체 아스팔트 콘크리트를 포설한 후, 표면의 온도가 40℃정도로 내려가는 것을 기다려 시멘트 페이스트를 혼합하여 포장면에 살포하고, 침투시키는 작업을 하였다. 침투작업에는 침투작업의 균질성 과 시공성 확보를 위하여 특수 제작한 충전장비로 시공하였으며, 이 충전장비는 시멘트 페이스트의 균일한 살포를 위한 여러개의 스프레이 노즐과, 살포된 시멘트 페이스트를 침투시키는 고주파 진동장치 및 표면의 잉여 시멘트 페이스트를 제거하여 표면을 마무리하는 회전식 스크레이퍼가 장착되어 있어, 기계화 시공에 의한 시공품질의 안정화 및 시공 정밀도의 향상을 꾀하였다. 일부 모서리 부분과 최종 표면마무리는 시멘트 페이스트의 용결시작 직전에 고무레이키로 균일하게 혼합물의 굵은 골재가 보일 정도까지 긁어 마무리하였다. 침투성은 상당히 양호하여 포장의 밑면까지 침투되는 것을 나중에 코어 채취로 확인되었다. 모체 아스팔트 혼합물 시공 및 시멘트 페이스트의 침투작업 공정은 그림 1과 같다.

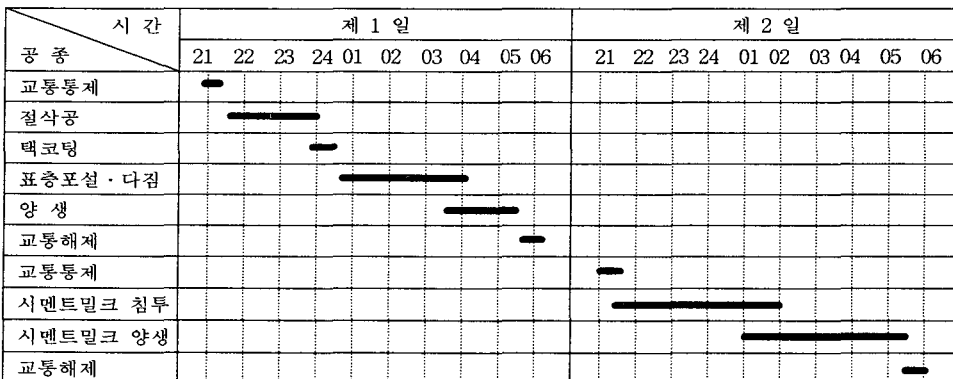


그림 1. 시 공 시 간 공 정

5. 반강성포장체의 특성

5.1 시멘트 페이스트 충전율

시멘트 페이스트의 충전율은 모체 아스팔트 콘크리트의 공극률과 온도 및 시멘트 페이스트의 플 로우값 에 영향을 받는다. 급반 시공에서 시멘트 페이스트 충전율은 90% 이상으로 양호한 결과를 얻었으며, 충전율



은 모체 아스팔트 콘크리트의 공극률로부터 구한 시공면적당 공극량과 시멘트 페이스트의 사용량(총진량)으로부터 계산에 의하여 구하고, 포설 후 채취한 코어를 가지고 육안관찰로 확인하였다.

5.2 반강성포장체의 강도

우리나라에는 반강성포장에 대한 실적이 적고, 품질기준도 제정되어 있지 않은 것이 현실이다. 여기에서는 표 4와 같은 시험성적을 얻었으며, 휨강도의 기준은 일본도로공단의 시공요령(안)의 기준이다. 시료는 현장에서 30cm×30cm로 채취하여 공시체 크기 5×5×16cm로 절단한 것을 스펠 10cm, 중앙재하식으로 시험한 것이다.

표 4. 반강성포장체의 시험성과

항 목	품질기준	시 험 결 과			
		1회	2회	3회	평균
휨강도(7일, kgf/cm ²)	25 이상	31.0	33.6	28.8	31.1

5.3 반강성포장의 미끄럼 저항성

일반적으로 반강성포장은 기존의 아스팔트포장에 비하여 미끄럼 저항성이 나쁜 것으로 알려져 있으나, 금번 시공에서는 포장표면의 잉여 시멘트 페이스트의 최종 제거시기를 페이스트의 응결 직전에 시행한 결과 아스팔트포장과 대등한 미끄럼 저항성을 확보할 수 있었다(표5).

표 5. 반강성포장의 미끄럼 저항시험 성과 (단위 : BPN)

구분	1회	2회	3회	평균
반강성포장	63	69	66	66
아스팔트포장	71	64	69	68

5.4 반강성포장체의 소성변형에 대한 저항성

이론적으로 불때 소성변형량은 교통조건, 포장체의 온도가 동일하다면 포장체의 동적안정도(DS)에 반비례한다. 금번 시공한 반강성포장의 동적안정도 측정 결과는 15,000회/mm 이상으로서, 기존의 밀립도 아스팔트포장의 1,000회/mm 및 개질 아스팔트포장의 6,000회/mm와 비교할 때 가혹한 교통조건하에서도 소성변형에 대한 저항성은 충분히 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

원래, 휠트래킹시험(wheel tracking test)에 의한 동적안정도는 반강성포장의 개발단계에서 실시하여 본 것으로 반강성포장의 기준에는 규정이 없다.

5.5 반강성포장체의 동결융해에 대한 저항성

금번에 시공한 반강성포장은 보수성을 가지는 반강성포장으로서 동결기 보수성에 의한 동해에 대한 저항성을 알아보기 위하여, 현장조건과 동일한 공시체를 만들어 15시간동안 영하 18℃의 동결과 24시간 60℃의 융해처리를 거치는 동결융해 저항성시험(TSR 간접인장강도비)을 실시한 결과, 기준치 70% 이상을 만족하는 결과를 얻었으며, 또한 보수성을 가지지 않는 일반 반강성포장체의 시험결과 역시 동등한 수준의 결과를 나타내었다.

5.6 반강성포장의 주행소음

반강성포장의 표면거칠기(粗度)는 아스팔트포장보다 크고, 시멘트 콘크리트포장과 비슷한 정도이어서 차량주행시 소음에 대하여 의문을 갖거나 우려하는 경우가 있다. 금번 시공한 버스차로 정류장에 시공한 반강성포장과 그 옆에 있는 일반 아스팔트포장 구간에서 차량주행에 따른 소음을 측정한 결과를 표 6에 나타낸다. 아스팔트포장에 비하여 약간 크게 나타났으나, 그 차이는 미미한 정도이다.



표 6. 차량의 주행소음 측정결과 (단위 : dB)

구분	1회	2회	3회	평균
반강성포장 구간	75	79	77	77
아스팔트포장 구간	78	73	77	76

5.7 보수성에 관한 특성

포장에 보수성을 보유하게 하는 것은 여름철 혹서기에 도로의 이용자에게 더위를 줄여 주어 환경적으로 우수성과 기능적으로 안전성을 제고시키고자 하는 것이다. 반강성포장체에 보수성을 보유시키는 방법에는 몇 가지가 연구되고 있으나, 본 연구에서는 충전용 시멘트 페이스트에 미세 공극을 확보하여 이 공극이 물을 보유할 수 있는 기능을 살리는 방법을 채택하였다. 일반적인 충전용 시멘트 페이스트는 약 10%정도의 최대흡수능력을 가지고 있으나, 본 시공의 보수성을 가지는 반강성포장에 사용한 시멘트 페이스트는 표 7과 같이 30% 이상의 최대흡수율을 나타내었다.

표 7. 시멘트 페이스트의 최대흡수율 시험성과

측정번호	1	2	3	4	5	6	평균
최대흡수율(%)	32.1	32.1	32.1	31.8	31.3	31.9	31.8

실제 도로에서의 보수성에 의한 포장체 온도의 저감상황을 실사하기 위하여 금번 시공한 경인로 버스차로 구구역 버스승강장에서 2005. 8. 21.부터 3일간에 걸쳐 포장표면에서 2cm 깊이로 온도센서를 물고(그림2), 강우량 10mm정도의 물을 살수하고 포장체의 온도를 측정하여 표 8과 같은 성과를 얻었다. 기상청의 기상자료에 의하면 이 3일간의 일최고기온은 29.2℃, 최저기온은 19.1℃(8월 23일)로 구름이 약간 끼어 포장체의 온도가 별로 상승하지 않았다. 포장체 온도측정은 비교하기 위하여 일반 밀입도 아스팔트포장과 칼라(적색)아스팔트포장과 함께 반강성포장(보수성)구간을 동시에 측정하였다. 측정결과 반강성포장(보수성)은 일반 밀입도 아스팔트포장과 최대 20.6℃, 칼라 아스팔트포장과 최대 20.4℃의 온도저감효과가 있는 것으로 나타났다. 이를 그림으로 나타낸 것이 그림 3이다.

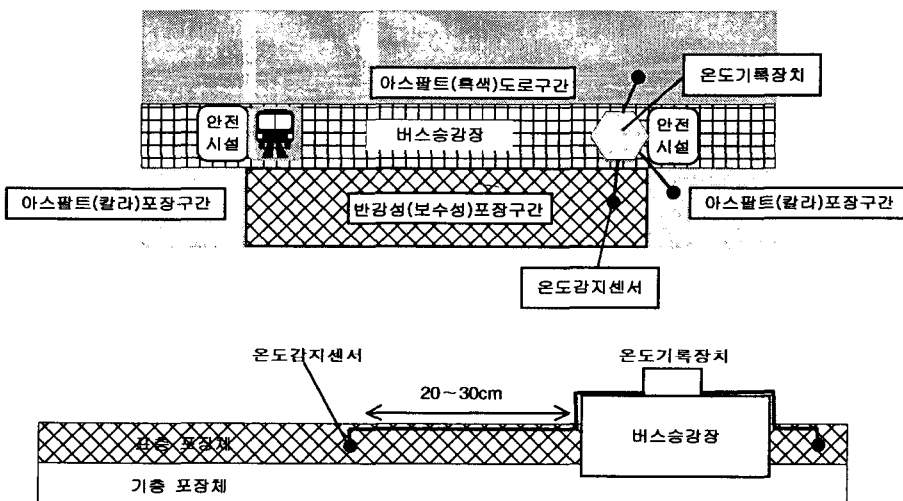


그림 2. 포장온도 측정 위치도



표 8. 포장체 온도 측정 결과 (2005. 8. 23. 단위: °C)

	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00
일반 밀입도 As.포장	45.9	50.0	49.6	49.3	49.8
칼라포장(적색)	46.9	48.7	47.9	50.1	49.3
반강성포장(보수성)	26.5	29.4	31.5	33.1	33.7

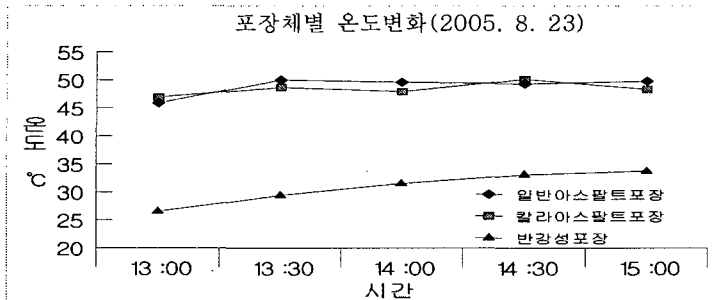


그림 3. 포장체 온도 측정 결과

6. 결론

고흡수성 폴리머와 흡수성 광물질 미분말 등 보수재료(保水材料)를 혼합하여 만든 보수성 시멘트 페이스트를 개립도 아스팔트포장의 공극에 충전하여 완성하는 보수성을 가지는 반강성포장을 서울시 버스차로에 시공하여 공용 중이다. 본 포장의 연구개발에서 다음과 같은 성과를 얻었다.

(1) 본 시공결과에 따르면, 보수성(保水性)재료를 사용한 보수성을 가지는 반강성포장은 여름철 혹서기(7월~8월)동안 아스팔트포장에 비하여 포장체의 최고온도를 약 20°C 이상 낮게 유지할 수 있으며, 이러한 결과는 여름철 포장주위의 체감온도를 낮추어 보행환경을 개선할 수 있을 뿐 아니라, 이러한 포장면적을 증가시키면 도시내 열섬현상의 억제에도 효과를 기대할 수 있을 것으로 본다.

(2) 본 시공결과에 따르면, 시공후 3시간 양생으로 교통을 개방할 수 있는 시멘트 페이스트의 압축강도 50kgf/cm² 이상을 확보할 수 있어 시공성 및 현장적용성이 검증되었고, 가혹한 교통조건하에서도 소성변형에 대한 저항성 또한 확보됨이 검증됨으로서, 포장의 내구성 향상에 따른 장수명화 실현과 포장의 경제성 확보가 가능할 것으로 본다.

금번의 시공은 서울시 버스전용차로의 정류장 및 교차로 구간에 적용하여 현재 양호한 포장상태를 유지하고 있으며, 향후 교통의 지·정체가 많은 도로의 교차로와 고속도로의 진출입차로 및 요금소 등 포장의 내구성과 시공성 및 보행환경성 확보가 필요한 장소에 확대 적용할 경우, 도로 이용자의 쾌적감과 더불어 도로 유지보수비용의 절감과 도시내 열환경의 개선에도 이바지할 수 있을 것으로 기대된다. 이러한 환경친화적인 도로포장공법의 개발 및 보급에 유관단체와 국가차원에서 지원하고 더욱 발전시켜 도로교통개선에 기여할 수 있기를 바란다.

- 참고문헌 1) 건설교통부 : 아스팔트포장설계·시공요령, 1997, 한국도로교통협회, pp.219~223
 2) 일본도로공단 : 반강성포장시공기준(안), 1990
 3) 김주원, 송철영 : 반강성포장의 현장시공, 한국도로학회지 “제 6권 3호, 2004. 9.”
 4) 일본도로협회 : 포장시험법편람, 1988, pp.908~920
 5) 福田 萬大 외 4인 : 여름철 給·撒水한 保水性鋪裝의 熱環境緩和特性에 관한 實驗的研究, 日本土木學會論文集, No.613/V-42, 1999. 2.
 6) 徳本 行信 외 3인 : 都市의 高溫化 解消를 위한 保水性鋪裝의 開發, 아스팔트, Vol.42 No.203, 2000.
 7) 福田 萬大 외 2인 : 保水性鋪裝에 의한 都市의 熱環境緩和效果의 檢討, 鋪裝, 2001. 5.
 8) 竹田 敏憲 외 2인 : 都市熱環境改善을 위한 道路·鋪裝의 새로운 시스템, 鋪裝, 2004. 5.