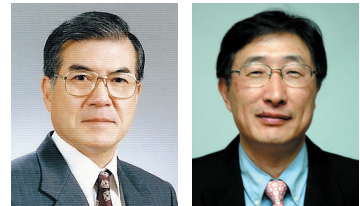


반강성포장의 장기 공용성에 관한 검토



김 주 원 | 참여회원 · 성원건설기술사사무소 소장
 김 광 우 | 참여회원 · 강원대학교 교수

1. 머리말

최근 기술개발과 재료분야의 발전에 의해 도로포장에도 아스팔트 콘크리트 포장과 시멘트 콘크리트 포장에 한정되지 않고 여러 가지 포장공법이 현장의 환경에 맞게 적용되고 있다. 그 가운데 한 가지가 아스팔트포장의 내유동성을 획기적으로 개선하여 내구성 및 수명을 향상시킨 반강성(半剛性) 포장이 있다. 이 포장은 모체인 개립도 아스팔트포장의 공극에 특수첨가제를 섞어 넣은 시멘트 밀크(cement milk, cement paste)를 침투시켜 아스팔트포장의 장점인 연성(flexibility)은 살리면서 그 단점인 고온 유동성을 시멘트 모르타르로 개선시킨 공법이다.

원래 이 공법은 1950년대에 프랑스에서 개발된 신공법인 살비아심(Salviacim)포장으로 알려진 것으로 1960년대에 일본에 도입되고 개량되어 최근까지 다양한 장소에 적용되고 있다. 우리나라에서는 최근에 고속도로의 요금소 부근, 터널 내 포장, 교차로 부근, 버스차로 등에 적용되며 점차 그 시공량이 늘어나고 있다.

공법 자체는 1991년에 발간된 “도로포장 설계·시

공지침”에 특수포장의 하나로 소개되어 있었으나, 최근 침투용 시멘트 밀크 및 시공기술의 개발 등을 통하여 국내에서도 약 10여건의 특허등록과 일부는 신기술로 지정된 공법도 있으며, 2000년대에 들어와 본격적인 현장시공에 들어가 현재 4~5년 정도의 공용 연한을 갖고 있다.

10여년 동안 수도권 버스전용차로 등에 시공되어 공용중인 반강성포장에서 지난 해 겨울 혹한과 폭설 후 포장의 일부에서 손상이 발생되어 그 원인과 대책 수립을 위한 현장조사에 참여할 기회가 있었다. 본고에서는 현장조사 결과를 토대로 이 포장의 장기 공용성 확보를 위한 몇 가지 개선대책에 대하여 고찰하고자 한다.

2. 관련자료 검토

2.1 소성변형 저항성

(1) 일본 포장전문서적 ‘포장기술의 질의응답(제6권, 건설도서, 1991)’에 실린 “반강성포장의 내유동

성”에 관한 내용이다.

① 소성변형량은 포장체의 동적안정도(Dynamic stability: DS)에 반비례한다. 일반적인 밀입도 아스팔트 콘크리트(13mm)는 평균 DS가 1,000회/mm 정도인 반면, 반강성포장의 DS는 거의 무한대(≒ 6,000회/mm 이상)라고 생각할 수 있어, 반강성포장은 일반 아스팔트포장의 6배 이상의 소성변형 저항성이 있음을 알 수 있다.

② 버스 발착빈도가 높은 버스터미널에서 아스팔트포장은 소성변형 때문에 매년 보수가 필요하나, 반강성포장은 시공후 7년간 소성변형 문제가 생기지 않았다는 사례가 있다.

(2) 송철영, 김주원의 “서울시 버스차로의 반강성포장 적용에 관한 연구⁴¹⁾”에서는 당시 시공한 반강성포장의 동적안정도가 15,000회/mm 이상으로써 일반 아스팔트포장의 1,000회/mm 및 개질아스팔트포장의 3,000회/mm와 비교할 때 월등한 소성변형 저항성을 가지는 것으로 평가되었다.

2.2 균열

(1) 일본의 ‘포장기술의 질의응답(제6권)’에 실린 “반강성포장의 균열”에 관한 내용이다.

① 횡방향 균열이 어느 정도 규칙적인 간격으로 발생되었다면 수축균열일 가능성이 높다. 최근에 시멘트 밀크의 휨강도 등의 기준이 높아짐에 따라 강도증진을 위해 시멘트 양을 늘리는 경우도 있어 수축균열 발생 가능성도 높아지고 있다. 또한, 외기 온도가 높은 경우(15℃정도 이상)는 수축균열 발생 가능성이 적지 않다.

② 그 밖에 차량의 반복하중을 집중적으로 받는 자동차 바퀴통과부에 발생하는 균열이 있다. 반강성포장의 파괴시의 변형률은 약 1%정도라고 알려져 있다. 따라서 5cm 두께의 반강성포장의 경우 한계 변형률은 0.5mm 정도라고 볼 수 있어 그 이상의 휨 변형이 생기는 주행위치에 균열 발생 가능성이 크다.

2.3 동결융해 저항성 및 염해

(1) 김주원, 송철영⁶⁾에 의하면 겨울철 동해(凍害)에 의한 포장의 손상을 우려한 동결융해 저항성시험(TSR, retained tensile strength) 결과분석을 통하여 겨울철 동해에 대한 우려가 없음을 검증하였다. 2005년 시공되어 겨울철을 넘긴 현장의 포장상태 분석결과 동해로 인한 포장의 손상은 없는 것으로 보고되었다.

(2) 김광우, 김주원의 보고서⁷⁾에서는 시공현장에서 채취한 코어 공시체의 동결융해 및 염해에 대한 모사시험 결과를 보고하였다. 용빙제로 염화칼슘(CaCl₂)과 소금(NaCl)을 반반씩 혼합한 용액에 코어 공시체를 넣고 -18℃~+4℃ 동결융해(4시간/cycle) 84사이클(336시간) 측정한 결과, 염해로 추정되는 시멘트페이스트의 미분의 미세손실을 제외한 골재의 탈리 등은 없어, 포장의 내구성에는 문제가 없는 것으로 보고되었다.

2.4 시공 조인트

(1) “반강성포장 시공요령(일본도로공단)”에 의하면 시공조인트는 종방향과 횡방향에 있으며, 이것이 구조상 약점이 되기 쉽다. 이것을 방지하면 빗물 등의 침투에 의해 동해 등 2차적인 파손을 유발하는 원인으로 된다. 그러므로 조인트부는 지수(止水) 기능을 갖는 구조를 채택할 필요가 있다. 일반적으로 기존포장과 반강성포장과의 접속부분이 대상으로 된다. 시공조인트에는 성형 줄눈재(부착성과 탄성이 높은 것)의 설치나, 주입 줄눈재를 주입하는 등의 구조가 있다.

(2) ‘포장기술의 질의응답(제6권)’에 실린 시공조인트에 대한 내용에 의하면 다차로를 한꺼번에 시공하는 것은 곤란하며 1차로씩 시공한 경우에 차로별로 종방향의 시공이음부가 생기게 된다. 일반적인 아스팔트포장에서도 표층부의 시공이음부가 갈라지는 것을 볼 수 있듯이 반강성포장의 경우도 동일하게 시

공이음부는 약점이 되며 시멘트 밀크의 수축과 동반하여 균열이 발생하는 수도 있다.

“아스팔트 포장 설계·시공 요령⁸⁾”의 반강성포장 적용기준을 요약하면 표 1~3과 같다.

2.5 지반 층의 지지력 및 반강성포장의 두께

(1) 일본의 일반국도 246호선 아스끼(厚木)시에서 1987년에 소성변형 대책으로 반강성포장을 시공하고, 12년간 추적 조사한 相子 榮吉 등⁹⁾에 의하면 포장표면에서 약 13cm 깊이의 중간층까지 소성변형이 미쳐있던 아스팔트포장에 반강성포장을 시공한 후 8년째까지는 노면성상이 양호하였으나, 통행차량 바뀌자국 부위에 균열이 진행되어 10년 후에 균열률이 10.2%, 12년 후에 29.4%로 나타났다.

(2) 또한 이 보고서에서는 처짐량과 균열발생률에 대한 내용도 소개하고 있다. 이에 의하면 반강성포장 두께 5cm와 10cm에 대한 처짐량과 균열발생률의 관계에서, 처짐량 0.4~0.6mm의 경우 반강성포장 두께 5cm에서 5년후 균열발생률이 43%인 반면, 포장두께 10cm로 시공한 장소는 6%로 균열발생률이 낮았다. 처짐량 0.2mm 이하의 장소에서는 포장두께 5cm에서 9%, 포장두께 10cm에서 0%로 나타나 처짐량이 적으면 균열 발생이 늦고, 반강성포장 두께 5cm보다 10cm가 균열발생률이 낮은 것으로 보고되었다. 이 결과에 의하면 포장의 장수명화를 위해서는 지반층의 지지력 확보와 적절한 포장두께의 검토가 필요한 것으로 사료된다.

(3) 일본에서 적용한 반강성포장의 두께는 지반층의 지지력과 교통조건에 따라 다소 차이는 있지만 지반의 지지력이 높은 장소(처짐량 0.2mm 이하)에서는 포장두께 5cm, 지지력이 낮은 장소(처짐량 0.3mm 이상)에서는 7~10cm를 적용하고 있는 것으로 나타났다.

3. 국내 반강성포장 적용현황

3.1 반강성포장의 적용기준

표 1. 반강성포장용 아스팔트 혼합물의 종류와 입도

종 류		I 형	II 형
		입 도	
통과 중량 백분율 (%)	26.5mm	-	100
	19mm	100	95~100
	13.2mm	95~100	35~70
	4.75mm	10~35	7~30
	2.36mm	5~22	5~20
	600 μ m(No.30)	4~15	
	300(No.5)	3~12	
	75(No.20)	1~6	
아스팔트량(%)		3.0~4.5	
시멘트페이스트의 최대침투 두께		5cm 전후	10cm 전후

표 2. 반강성포장용 아스팔트 혼합물의 마찰시험에 대한 표준 성상

밀도 (g/cm ³)	안정도 (kg)	흐름값 (1/100cm)	공극률 (%)	다짐횟수 (회)
1.90이상	300이상	20~40	20~28	50

주) 다짐온도(℃): 아스팔트의 동점도 300 \pm 30cSt(세이 볼트류물도 140 \pm 15)

표 3. 침투용 시멘트 페이스트의 품질기준

항 목	표준적 기준
플로우(초)	10~14
압축강도(7일양생) (kg/cm ²)	100~300
휨강도(7일양생) (kg/cm ²)	20 이상

3.2 반강성포장재 개발 및 시공 현황

(1) 반강성포장재 개발 현황

① 김주원, 송철영²⁾은 2004년 반강성 포장의 현장 시공 방법에 대한 상세한 공법 및 적용사례 등을 발표하였다. 또한 이들은 2005년 서울시 버스차로에 반강성포장의 적용에 관한 연구⁴⁾를 발표하였다. 그들은 2005년부터 서울시 버스전용차로 정차대 지역의 반강성포장에 보수성재료를 넣어 도심의 온도저

감 효과를 얻을 수 있음을 보고하였다⁶⁾.

② 박태순¹²⁾은 보수성(保水性) 그라우팅제를 사용해 제조된 반강성포장의 보수 성능 시험결과 살수한 보수성포장은 일반 아스팔트포장의 최고 온도와 약 11℃, 살수하지 않은 반강성포장과는 4℃의 차이가 발생하여 보수성으로 인한 포장체의 온도상승 억제 효과를 확인하였다.

③ 백성현¹¹⁾은 반강성 포장체의 포아송비는 영상의 온도에서는 0.4에 가까이 높고, -10℃에서는 콘크리트와 같이 0.15에 근접하는 것을 확인하였다. 또한 반강성 포장의 성능특성 중 아직 제대로 규명되지 않

은 저온파괴인성(low temperature fracture toughness) 연구에서 모체인 아스팔트 혼합물에 사용된 바인더의 종류는 중요하지만 공극률은 18~22% 범위에서 큰 차이가 없음을 보였다. 또한 충전재인 시멘트 페이스트의 종류에 따라서도 파괴인성에 차이가 나며 온도가 낮을수록 개질아스팔트가 효과적임을 보여주었다.

④ 그외 일부 연구기관 및 기업체에서도 많은 연구 개발이 진행되었으며, 최근에는 특히 친환경 장수명 포장에 대응하는 포장공법으로서 보수형 반강성포장재 및 시공기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

표 4. 현장추적조사 일람표

구 분		현 장	남해고속도로 (동마산영업소)	서울버스전용차로 (송파대로)	경기도 BRT (구리-남양주)
시공시기(공용기간)			2005. 9 (4년8개월)	2007. 11 (2년6개월)	2009. 12 (5개월)
시 공 개 요			기존 콘크리트포장 5~7cm 절삭후 반강성포장 5~7cm 시공	기존 As.포장 5cm 절삭후 반강성 포장 5cm 시공	기존 As.포장 10~15cm 절삭후 As.기층 5~10cm 치환 후 반강성포장 5cm 시공
포 장 재	아스팔트 혼합물	종 류	개질아스팔트Ⅱ형	개질아스팔트Ⅱ형	개질아스팔트Ⅱ형
		골재최대치수(mm)	19 (보통골재)	19 (보통골재)	19 (홍석골재)
		공극률(%)	22.2	23.3	22~23
		안정도(kg)	606	640	790~880
	시멘트 페이스트	밀도(g/cm ³)	1.990	2.09	1.946~1.998
		종 류	초속경형(회색)	초속경형(검정색)	초속경형(적색)
		압축강도(7일, kg/cm ²)	264	285	240~338
		휨강도(7일, kg/cm ²)	85	41	32.3
	반강성 혼합물	휨강도(7일, kg/cm ²)	30	36	34~45
		미끄럼저항성(BPN)	67	71	70
		동결융해저항성(%)	73	-	85
		시공환경 및 기상조건	주간공사 기온 10~25℃	야간공사 기온 -5~10℃	주간공사 기온 -10~5℃
포장상태 모니터링		- 시공조인트 일부 탈리 - 표면마모상태 양호 - 기반지지력 양호	- 초기 시멘트페이스트 양생 부족 - 시공조인트 탈리 - 지지력부족 부등침하	- 초기 시멘트페이스트 양생부족 - 기온급강하 표면 동해 - 시공조인트 탈리	
코아 공시체 시험	간접인장강도(kg/cm ²)	품질기준 : 10 이상		14~22	
	휨강도(kg/cm ²)	품질기준 : 25 이상		52~69	
	동결융해(질량손실 %)	품질기준 : 3 이하		0.3~0.7	
	충전율(%)	품질기준 : 90 이상		93~96	

(2) 반강성포장 시공현황

국내에서의 반강성포장 시공은 비교적 역사가 짧으며, 2000년 초반부터 연구개발이 시작되고, 그후 몇 년 동안 시험시공 단계를 거쳐 2005년부터 실용화가 시작되어 현재에 이르고 있으며, 개략적인 적용개소별 시공현황을 정리하면 다음과 같다.

- ① 고속도로 : 남해고속도로 동마산영업소 외 휴게소 주차장 3개소
- ② 국도 및 지방도 : 국도47호선 외 지정체구간 14개소
- ③ 산업단지내 도로 및 항만 도로 : 3개소 이상
- ④ 버스전용차로 : 수도권(서울,경기)버스전용차로의 14개소
- ⑤ 기타 보행자계도로 : 10개소 이상

3.3 반강성포장 시공현황 추적조사결과

시공환경이 각기 다른 3개의 대표적인 현장에 대한 추적조사 결과는 표 4와 같다.

4. 맺음말

4.1 포장의 손상요인 분석 결과

(1) 시공 조인트 처리 미흡

사용포장재의 종류, 두께, 시공의 환경, 시기에 관계 없이 조사대상 3개 현장 모두 시공조인트 부분에서 포장손상이 발견되었으며, 이것은 기존포장과 반강성포장과 접속부분에서 포장재의 계절에 따른 다른 수축팽창에 의한 벌어진 간극 사이로 빗물 또는 눈 녹은 물 등이 침투하여, 박리 또는 동해, 염해에 의한 2차적인 파손을 일으킨 것으로 분석된다(사진 1).

(2) 기층 아스팔트포장 지지력 및 표층 반강성포장 두께 부족

현장추적 조사결과, 시공된 반강성포장의 기층(중간층)으로 시멘트 콘크리트포장인 경우가 아스팔트포장인 경우보다 변형 및 균열발생 등이 상대적으로



사진 1. 시공조인트 부분 동해 손상

적게 나타났으며, 이는 포장의 지지력이 아스팔트포장에 비하여 콘크리트포장이 크기 때문인 것으로 분석된다. 또한 여름철 아스팔트포장의 소성변형 깊이가 중간층에까지 미쳐 기층(중간층)이 아스팔트포장인 경우 표층인 반강성포장의 변형량을 증가시켜 변형 및 균열 발생의 요인으로 작용한 것으로 분석된다. 반강성포장의 두께를 5cm로 시공한 현장(송파대로 버스전용차로)에 비하여 7cm인 현장(남해고속도로 동마산영업소)의 포장상태가 현저히 양호한 상태를 유지하고 있는 것으로 나타났다(사진 2).



사진 2. 지지력 부족에 의한 침하균열 손상

(3) 동결융해 및 제설재에 의한 염해

반강성포장재의 동결융해 저항성은 소기의 성능

을 만족하는 것으로 확인되었으며, 시공현장 추적조사 결과 보행자 도로에 시공된 반강성포장의 동해는 전혀 발생되지 않았으며, 일부 중(重)교통차로 시공현장의 동해에 의한 포장손상은 위의 (1) 및 (2)에서와 같이 시공조인트의 벌어짐 및 기층(중간층) 이하의 지지력 부족 및 부등침하에 의한 균열 발생에 따른 수분 및 제설제가 포장체에 침투하여 겨울철 동해를 일으켜 포장의 손상으로 이어진 것으로 분석된다.

(4) 시공환경 및 기상조건

시공환경 중 교통의 통제시간의 제약은 건설한 시공에 제약요인으로 작용할 수 있으며, 특히 포장시공에 기상조건은 포장의 품질확보에 크게 영향을 미친다. 금번 조사결과 일부 공사기간의 계절적 영향, 교통통제 및 소통의 어려움 때문에 기온이 낮은 동절기에 시공됨으로써, 포장재 중 특히 침투용 시멘트페이스트의 충분한 양생이 이루어지지 않아 포장의 조기손상 원인으로 작용한 것으로 분석되었다.

4.2 향후 검토과제 및 개선대책

검토과제 및 개선대책으로 다음과 같은 사항을 들 수 있다.

- (1) 시공조인트는 반드시 성형 줄눈재(부착성과 탄성이 높은 것)의 설치나, 주입 줄눈재를 주입하는 등의 공중의 시방화가 필요하다.
- (2) 반강성포장의 포장두께는 중교통차도인 경우, 기층(중간층)의 변형 및 침하에 따른 표층인 반강성포장의 변형량 및 균열 발생을 감소시키기 위하여, 반강성포장의 두께를 최소 7cm 이상으로 설계하는 것이 필요하다.
- (3) 제설재(염화칼슘 등)에 의한 염해를 줄일 수 있도록 침투용 시멘트 페이스트의 내약품성 및 내구성을 개선하는 것이 필요하다.

- (4) 기온이 낮은 동절기 시공을 지양하고, 기온에 따른 포장재의 충분한 양생이 이루어질 수 있도록 함으로써, 포장의 조기손상 방지와 포장의 내구성 및 장기 공용성을 확보할 수 있도록 하여야 할 일이다.

참고 문헌

- 1) 건설부 : 도로포장 설계·시공지침, 1991, pp.198~201
- 2) 김주원, 송철영, “반강성포장의 현장시공,” 한국도로학회지, 2004. 9, pp.62~72
- 3) 후암산업(주) : 보수성재료와 강도발현 증진재를 혼합한 시멘트 페이스트를 이용한 보수성 반강성포장 공법, 2006. 9. 신기술지정 제499호
- 4) 송철영, 김주원, “서울시 버스차로의 반강성포장 적용에 관한 연구,” 한국도로학회 2005 학술발표회 논문집, 2005. 11, pp.311~316
- 5) 송철영, 김주원, 정태규, “합성포장공법으로써 보수형 배수성포장의 시도,” 한국도로학회, 2008. 12, pp.51~53
- 6) 김주원, 송철영, “보수성포장의 개발과 현장시공, 도로학회지, 2006. 12.
- 7) 김광우, 김주원, “BRT 반강성포장 포장상태 점검 및 성능평가,” 한국도로학회 용역 보고서, 2010. 4.
- 8) 한국도로교통협회, “아스팔트포장 설계·시공요령,” 1997, pp.219~223
- 9) 相子 榮吉 등, “초속경형 반강성포장의 12년간에 걸친 추적조사와 그 후의 전개,” 포장, 2000. 6, pp.18~23
- 10) 達下 文一 외 : 포장기술의 질의응답(제6권), 1991. 11, pp.257~259
- 11) 백성현, 반강성 아스팔트 콘크리트의 파괴인성, 강원대학교 대학원 박사학위 논문, 2010. 2.
- 12) 박태순, “반강성포장의 성능 및 보수성 평가,” 한국도로학회논문집 제10권 제2호, 2008. 6.