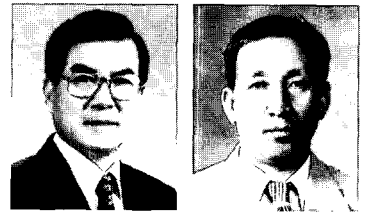


보수성포장의 개발과 현장시공



김 주 원 | 참여회원 · 성원건설기술사사무소 소장
 송 철 영 | 정회원 · 후암산업(주) 신기술사업본부장

1. 머리말

보수성(保水性)포장이라는 명칭은 우리에게는 약간 생소한 포장의 하나이다. 일본에서는 오래 동안 사용하여 오던 “아스팔트포장요강”과 “시멘트콘크리트포장요강”을 통합하여, 2001년 말에 “포장설계시공지침”과 “포장시공편람”을 사단법인 일본도로협회에서 발간하였다. 후자의 포장시공편람에 처음으로 기능별 포장의 하나로써 “보수성포장”이 간단하게 나와있다. 이 편람에 의하면, “보수성포장은, 포장체 내에 보수된 수분이 증발하고, 기화잠열(氣化潛熱)을 빼앗음으로 해서 노면온도의 상승을 억제하는 기능을 갖는 포장이다”라고 정의하고 있으며, “노면온도의 상승억제를 고려한 도시 내의 차도포장, 공원의 광장, 주차장, 보도 및 자전거도 등에 이용할 수 있다”라고 용도를 밝히고 있다.

위의 “지침”과 “편람”은 일본에서 관민(官民)에 근무하는 모든 도로기술자가 설계와 시공에서 참조하고, 준수하는 정부의 기준이다. 2001년 말에 이 편람에 정식으로 보수성포장이 등재되기까지 그에 앞서 수년전부터 논문이나 전문서적에 이에 관한 논의가 있어 보수성포장에 관한 기술이 실용적으로 인정

되었기 때문이다.

입수자료에서는 1998년 말의 일본토목학회 포장공학논문집을 비롯하여 포장에 관한 전문서에 보수성포장에 관한 논의가 최초로 발표되고 있어, 현장에 실용화는 2000년대에 들어와 이루어진 것으로 본다.

우리나라에서는 이 포장에 사용하는 재료를 독자적으로 개발하고 차도에 적용하여 좋은 성과를 얻고 있어, 이 보수성포장에 관한 해설과 함께 시공에 관하여 보고하는 것이다.

2. 개발의 배경과 효과

2.1 개발의 배경

최근 대도시에서 문제로 되고 있는 열섬(heat island)현상이 발생하는 원인의 하나는 포장체가 비축하고 있는 열에 있다고 한다. 열섬현상은 도심부에서 장소에 따라 기온이 상승하면서, 습기가 내려가 윤기가 소실되는 현상으로 인간의 야외활동에 대단히 어려운 상태를 주는 것은 주지하는 사실이다. 이 포장체의 비축열량을 줄이기 위하여 포장체 내에 수

분을 갖게 하여 그 증발에 의해 포장체의 온도를 내리는 동시에 포장체의 열 방사량(放射量)을 줄이는 방안의 하나로 보수성포장이 개발되게 된 것이다.

기상청에서 구한 기상자료에 의하면 금년도 서울의 일최고기온이 30℃를 넘는 날이 7월에 1일, 8월에 23일이었으며, 가장 기온이 높은 날은 8월 4일의 34.7℃로 되어 있다. 또한, 우리나라에서 도시별 금년 최고기온은 8월 10일, 진주·합천의 37.5℃로 기록되었다. 이처럼 기온이 높고 맑은 날이 계속되면 아스팔트포장면은 60℃ 가까이 올라간다.

녹지 등에서는 흙이나 나무에서의 증발산이나 공기의 순환 등에 의해 햇볕(日射, 日射)에 의한 열을 비축하고 있는 양이 적어지고, 지면에서 방사되는 열량이 완화되나, 포장과 같은 인공피복에서는 녹지보다 열순환이 활발하지 않고, 축적되는 열량도 많아 대기 중에 방사되는 열량도 많아진다. 대도시에서는 녹지가 적고, 포장면적이 늘어남에 따라 이렇게 덥혀진 포장체는 열을 방사하여 도로를 이용하거나 주변에 거주하는 사람에게 한층 심한 더위를 안겨준다. 이러한 열(熱)환경을 개선하고자 하는 아이디어가 보수성포장을 개발하게 된 것이다.

2.2 보수성포장의 종류

보수성포장에 이용할 수 있는 공법으로서는 다음과 같은 방식을 생각할 수 있다.

(1) 차도용

- 개립도 아스팔트포장에 시멘트와 광물질 분말의 혼합재를 주입(注入)
- 개립도 아스팔트포장에 시멘트와 흡수성 폴리머의 혼합재를 주입
- 개립도 아스팔트포장에 미세 모래를 충전(充填)

(2) 보도용

- 투수성 인터록킹 블록
- 하수오니 소각재를 도기(陶器) 가루와 혼합하여 소성한 블록

이번에 개발하여 실제 차도에 적용한 보수성포장은 대도시의 버스차로나 고속도로의 톨게이트 진출입부에 적용할 것을 고려하여 개립도 아스팔트포장에 시멘트와 흡수성 폴리머를 혼합하여 주입하는 반강성포장 방식(이하, 반강성식이라 함)을 적용하였다.

반강성(半剛性)포장은 모체(母體)로 되는 개립도 아스팔트 포장체의 공극에 첨가제를 섞어 넣은 시멘트 페이스트(cement paste, cement milk)를 채워 넣어 완성하는 포장이다. 이 포장은 시멘트 콘크리트 포장의 강성(剛性)과 아울러 아스팔트포장의 휨성(可撓性)을 가지며, 일본에서는 '반가요성포장'이라고 부르고 있으나, 우리나라에서는 건설부 제정 '도로포장설계·시공지침(1997)'에 특수포장의 일종으로 '반강성포장'으로 정의하고 있다.

또한 반강성포장에는 시멘트 페이스트의 침투깊이에 따라 반침투식과 전침투식이 있으나, 차도용으로서 전침투식을 사용한다.

반강성식 보수성포장의 단면을 그림 1에 나타낸다.

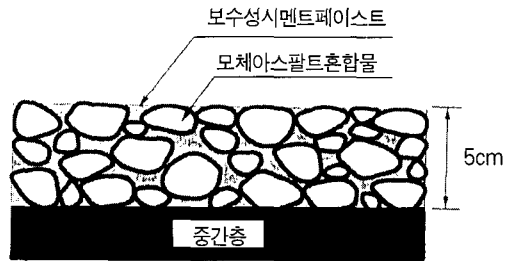


그림 1. 보수성포장의 단면

2.3 보수성포장의 효과

차도포장이 구비해야 할 강도를 감안하여 보수성의 한계가 정해진다. 1차적으로 차도포장으로서는 강도와 내구성이 필요하므로 그에 따라 현재 개발되어 있는 고흡수성 폴리머의 배합과 주입방식에 따라 보수성포장의 성패가 좌우된다.

일반적으로 일본에서는 보수성포장에 의한 노면온도의 저감을 일반적인 포장체의 온도에 비하여 15℃ 정도 낮게 되는 것으로 적용하고 있으나, 우리나라에

서 이번에 개발한 보수성포장은 실제 현장에서 측정한 결과는 금년 여름철에 최대 25℃ 저감되는 것으로 나타났다.

반강성식 보수성포장의 특성은 다음과 같은 것을 들 수 있다.

- 여름철 포장체의 온도 상승을 억제하여 주행 및 보행시 방사열에 의한 불쾌감을 해소한다.
- 아스팔트포장에 비하여 높은 내유동성(耐流動性)을 얻을 수 있다.
- 아스팔트포장의 낮은 내유(耐油) 성능을 개선할 수 있다.
- 내열성(耐熱性)을 증가시킬 수 있다.
- 표면의 색상이 밝기 때문에 명색(明色)포장이나 안료를 넣어 칼라포장이 가능하다.
- 콘크리트포장과 거의 같은 미끄럼 저항성을 가지나, 굵은골재의 선정 및 표면처리에 따라서는 아스팔트포장과 같은 정도의 저항성을 나타낸다.
- 콘크리트포장에 비하여 시공성이 양호하며, 아스팔트포장과 거의 비슷한 시간의 교통개방이 가능하다. (초속경의 경우, 시공 후 3시간에 교통개방 가능)
- 아스팔트포장에 비하여 시공성은 떨어지나, 기계화시공으로 시공성 향상이 가능하다.

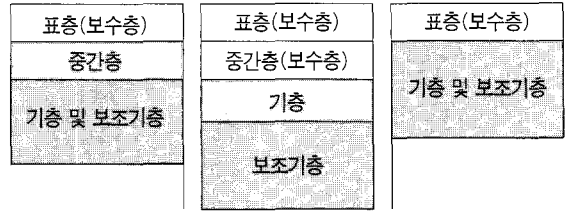
3. 설계

3.1 포장의 구성

보수성포장의 설계는, 기본적으로는 일반적인 포장과 같은 방법으로 시행하며, 다만 보수층의 보수성을 고려하고, 기상조건이나 급수조건 등에 따라 보수량의 검토와 함께 시행할 수 있다.

보수성포장의 기본적인 포장구성을 그림 2에 나타낸다.

차도에서의 포장두께의 설계는 설계CBR과 계획교통량을 고려하여 구해진 T_A 를 만족하도록 구하며,



(a) 차도의 표층만을 보수성포장으로 하는 경우 (b) 차도의 표층·중간층을 보수성포장으로 하는 경우 (c) 보도를 보수성포장으로 하는 경우

그림 2. 보수성포장의 포장구성 예

이 때 표층 및 중간층에 사용하는 보수성 아스팔트 혼합물의 등치환산계수는 일반 아스팔트 콘크리트와 같이 1.0으로 한다.

보도와 자전거도에서 포장두께의 설계는 일반 아스팔트포장의 두께설계에 준한다.

또한, 보수성포장의 표층 1층의 두께는 5cm 또는 7cm로 하는 경우가 많다.

3.2 반강성포장체

(1) 아스팔트

일반적으로 물이 채워져 있는 상태에서 외력이 계속하여 작용하면 아스팔트가 골재로부터 박리되고, 파손에 이르는 위험성이 있다. 이를 방지하기 위하여 항상 물의 작용을 받는 보수성포장에는 적용하는 장소에 따라 내구성을 확보할 수 있는 개질아스팔트를 사용할 필요가 있다.

(2) 모체로 되는 아스팔트 혼합물

모체로 되는 개립도형 아스팔트 혼합물의 품질은 표 1을 기준으로 한다.

(3) 보수성 시멘트 페이스트 주입재

보수성 시멘트 페이스트 주입재의 품질은 표 2를 기준으로 한다.

(4) 보수성 혼합물

보수성포장의 개발과정에서 표 1 및 표 2(최대흡수율 제외)의 기준은 '아스팔트포장 설계·시공지침

표 1. 모체 아스팔트 혼합물의 품질

시험항목	표준치	비 고
밀도(kg/cm ³)	1.90 이상	
안정도(kgf)	300 이상	
흐름값(1/100cm)	20~45	
공극률 (%)	20~30	
잔류안정도 (%)	85 이상	60℃, 48시간수침
다짐횟수 (회)	50	

표 2. 보수성 시멘트 페이스트 주입재의 품질

시험항목	표준값	비 고
플로우값(1,725ml) (초)	10~14	
압축강도(20℃, 7일양생) (kgf/cm ²)	100 이상	
휨강도(20℃, 7일양생) (kgf/cm ²)	20이상	경간 10cm, 2점지지 중앙 1점 재하
최대흡수율 (%)	30~60	외국 예 참조 설정

표 3. 반강성포장용 혼합물의 기준

	아스팔트 포장요강	수도 고속도로공단	일본 도로공단	
	보통/조강/초속경	보통 초속경	보통/조강/초속경	
시험조건	시험온도(℃)	20	20	20
	공시체 크기(cm)	폭두께길이 5×5×16	폭두께길이 4×3×16	폭두께길이 5×5×30
	경간 길이(cm)	10	10	20
	재하방식	중앙재하	중앙재하	중앙재하
	재하속도(mm/분)	1	1	10
기준	재령 (일)	-	7	7
	휨강도(kgf/cm ²)	-	13이상 18이상	25 이상
	파단변형률(×10 ³)	-	8이상 9이상	3 이상

(1997)의 반강성포장의 기준을 인용하였으나, 이 지침에 반강성포장용 혼합물에 대한 기준이 없어 일본의 여러 기관의 기준을 검토하여 그 가운데 수도고속도로공단의 기준을 적용하기로 하였다. 비교 검토한 기준은 표 3과 같다.

또한, 보수성포장의 보수량의 기준은 아직 설정된

것이 없으나, 개발단계에서 보수량은 보수층 두께 5cm로 하여 3.0kg/m² 이상으로 설정하였다.

4. 현장시공

4.1 보수성포장의 시공순서

보수성포장의 일반적인 시공순서는 그림 3과 같다.

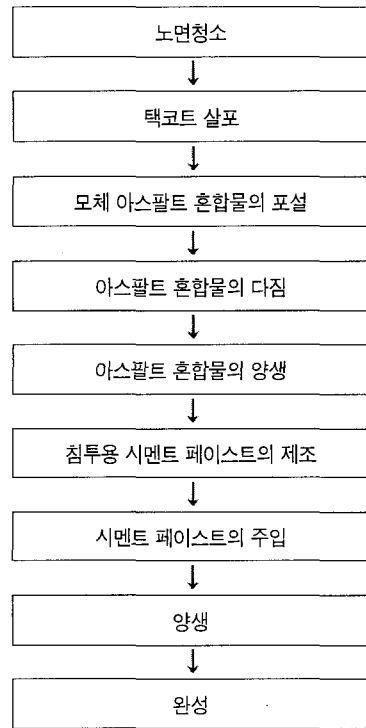


그림 3. 보수성포장의 시공순서

4.2 시공개요

서울시에서 시행하는 중앙버스전용차로공사에 이 포장을 시공하게 되었으며, 2005. 6월에 버스장류장 47.18a, 교차로 12.92a, 합계 60.1a에 두께 5cm로 시공하였다.

(1) 모체 아스팔트 혼합물

아스팔트 혼합물의 골재입도는 '아스팔트포장 설계·시공지침(건교부, 1997)'의 반강성포장용 혼합물의 II형을 적용하였으며, 아스팔트는 SBS를 사용하고, 공극률 22%를 목표로 배합설계를 실시하였으며, 골재의 입도시험 및 혼합물에 대한 마찰시험 결과는 표 4와 같다.

표 4. 골재의 입도 및 마찰시험 결과

시험항목		품질기준	시험결과
통과 질량 백분 율 (%)	26.5mm	100'	100
	19.0	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
	0.3	3~12	7.5
	0.08	1~6	4.9
아스팔트함량 (%)		3.0~4.5	3.4
마 찰 시 험	밀도 (g/cm ³)	1.90 이상	1.917
	안정도 (kgf)	300 이상	913
	호름값(1/100cm)	20~45	22
	공극률 (%)	20~30	23
	다집횟수 (회)	50	50

(2) 보수성 시멘트 페이스트 주입재

시공에 사용한 보수성 시멘트 페이스트(초속경형)의 배합은, 보수재(保水材)로써 폴리아크릴산계의 고흡수성 폴리머를 사용하여 경화된 페이스트의 최대흡수율 35%를 목표로 배합하고, 강도 증진재로는 실리카흄을 사용하였다.

보수성 시멘트 페이스트 주입재의 배합 및 시험결과는 표 5와 같다.

(3) 시멘트 페이스트의 프리믹스화와 주입장비의 개발

표 5에서와 같이 시멘트 페이스트는 여러 가지 재료를 배합하여 소요의 품질을 갖는 합성물을 만들어 개립도 아스팔트포장체에 주입하여 완성하는 포장이므로, 현장에서 이러한 재료를 정확한 비율로 계량하

표 5. 보수성 시멘트 페이스트의 배합 및 시험결과

배 합	재 료 명	배합비 (%)	
	시멘트	29.2	
증량재	15.1		
보수재 (1)	2.5		
첨가재 (1)	4.2		
안료 (적색)	5.0		
물	44		
시 험 결 과	항 목	기 준	시 험 값
	플로우값 (초)	10~14	11.3
	압축강도(7일, kgf/cm ²)	100~300	221
	휨강도 (7일, kgf/cm ²)	20 이상	34
	최대흡수율 (%)	30 이상	32

여 혼합하는 것이 번거로운 작업이 될 수 있다. 이러한 문제를 해소하기 위하여 공장에서 프리믹스(pre-mix)로 배합하고 혼합한 재료를 제조하여 현장에서 소요되는 물만 혼합하여 페이스트를 만들 수 있도록 조치하여 좋은 성과를 얻었다.

또한, 시멘트 페이스트를 혼합하고 개립도 아스팔트포장체에 주입하는 공정에 기계화를 도입하여 사진 2와 같은 주입장비(cement paste squeezer)를 개발하여 활용하였다.

이 주입장비는 아스팔트 파니셔 본체의 스크리드(screed) 부분을 제거하고, 여기에 시멘트 페이스트의 스포렛더, 고무판 프레임, 바이브레이터 및 스쿼이저를 부착하여 넓은 폭으로 균일한 주입을 가능하게 하였다. 작업 폭은 2~4m로 자유자재로 조절할 수 있다.

이러한 주입장비의 활용으로, ① 시공능력의 향상을 도모하고, ② 시공품질의 향상과 균일화를 이루었으며, ③ 작업자의 숙련도에 의존성을 줄이는 효과를 얻었다.

(4) 포장체의 성상

시공된 포장에서 코어를 채취하여 시멘트 페이스트의 침투상태를 육안으로 확인한 결과 모두 양호한 상태이었으며, 반강성식 보수성 포장체의 시험결과 는 표 6과 같다.



사진 1. 모체 아스팔트 혼합물의 포설

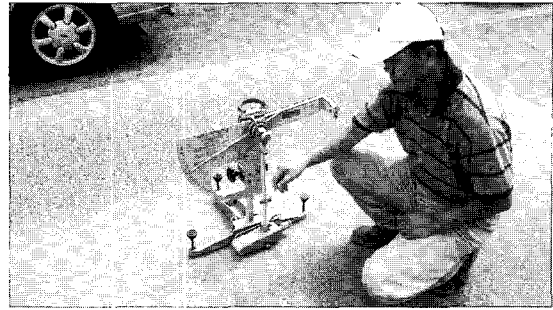


사진 3. 완성면의 미끄럼 측정시험



사진 2. 개발한 주입장비에 의한 시멘트 페이스트의 주입

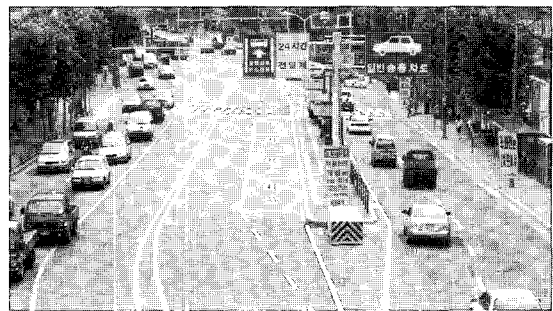


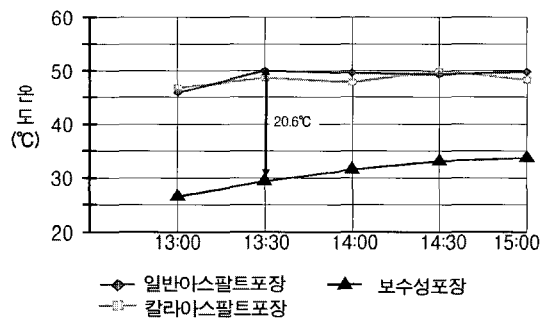
사진 4. 완성된 경인-마포로 버스전용차로

표 6. 반강성식 보수성 포장체의 성상

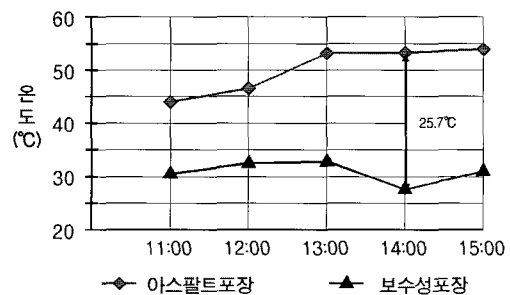
항 목	기 준	시험값
휨강도 (kg/cm ²)	25 이상	31
휨파단변형률	3×10 ⁻³ 이상	-
미끄럼 저항성(BPN)	(55 이상)	66
보수량 (kg/m ²)	3.0 이상	4.5

(5) 보수성포장의 온도저감효과

보수성포장의 온도저감효과의 검증은 경인-마포로 중 신도림역 버스정류장(구로구 신도림동 지내)에 온도센서를 포장면 이하 1.0cm에 매설하고, 포장체 온도가 가장 높은 시간대(11:00~15:00)에 30분 간격으로 포장체 온도를 측정하였다. 측정은 2005. 8월 23일과 2006. 8월 4일의 기록으로는 그림 4와 같은 결과를 얻었다. 이 그림에서 일반 아스팔트포장과 보수성 반강성포장과의 노면온도차이는 20.6℃ (2005. 8.), 25.7℃(2006. 8.)를 나타내어 일본에서 보수성포장의 온도저감효과를 약 15℃로 들고 있



포장체별 온도변화(2005. 8. 23)



포장체별 온도변화(2006. 8. 4)

그림 4. 보수성포장 온도측정 결과

는데 비하여, 이번 개발에서는 그 이상의 효과를 얻고 있다. 또한 1년이 경과한 시점에서도 보수성의 지속은 유지되고 있음을 확인할 수 있었다.

(6) 동결에 대한 우려

물을 흡수하여 포장체에 물을 가지고 있는 포장이라고 하면 가장 먼저 우려하는 것이 겨울철 동결에 의한 포장의 파손이다.

반강성식 보수성포장체에 대한 동결융해시험은 일반화된 방법이나 기준이 없다. 이번 개발에는 로트먼(Lottman)시험방법을 적용하였다. 시험은 마찰안정도 공시체크기로 다진 모체 아스팔트 혼합물에 시멘트 페이스트를 주입하여 만든 공시체를 1회 동결(-18℃, 15시간)과 용해(60℃, 24시간)처리하여, 간접인장강도(indirect tensile strength, ITS)를 측정하고, 처리하지 않은 기준 공시체의 ITS에 대한 처리한 공시체의 ITS의 비를 잔류인장강도(retained tensile strength, TSR)로 하여, 이 값이 70% 이상을 목표로 하였다.

시험결과는 표 7과 같다.

표 7. 보수성 포장체의 동결융해 시험결과(%)

항목	품질목표	무보수반강성	보수(보통)형	보수(초속경)형
시험값	(70이상)	74	87	87

또한, 2005년 여름철에 현장시공하고 공용하며, 겨울철을 넘긴 버스차로현장과 그 밖의 현장에서도 동결에 의한 이상 유무는 발견되지 않아 보수성포장체가 미세한 공극에 물을 보수할 경우, 그의 동결에 의한 파손은 없거나 무시할 정도임을 확인할 수 있었다.

5. 맺음말

시대의 변화에 따라 사회기반시설에 대한 우리의 요구는 환경친화성으로 변하고 고급화되는 추세이다. 보수성포장은 여름철 더위를 조금이나마 줄일 수 있는 열환경 개선을 목표로 하는 획기적인 포장기술

의 하나이다. 이 기술은 포장공학적인 기술에 새로운 무기(無機)재료 기술의 접합으로 이루어진 것이며, 거기에 시대적인 필요에 따라 완성된 것으로 생각할 수 있다.

더 나아가 이러한 새로운 기술의 발전과 그의 확대를 위해서는 정부기관의 새로운 기술에 대한 기준의 설정이 필요할 것이며, 새로운 기술의 활용에 대한 정부기관의 지원도 필요하다고 생각한다.

이 보수성포장기술은 “반강성과 보수성을 갖는 도로포장방법 및 도로포장재”로 특허(2005. 2)를 얻었으며, “보수성재료와 강도발현 증진재를 혼합한 시멘트 페이스트를 이용한 보수성 반강성 포장공법”으로 신기술로 지정(2006. 9) 받았다.

우리나라에서는 처음으로 보수성포장의 실용화에 들어간 것으로, 앞으로 기술개발을 통하여 현장의 요구에 맞는 발전된 기술향상에 매진할 것을 약속한다.

끝으로 이 기술의 개발에 도움을 주신 여러 관계자에게 깊은 감사와 경의를 표한다.

참고문헌

1. 건교부:도로포장 설계·시공지침, pp.219-223, 1997
2. 한국도로포장공학회:아스팔트포장공학 원론, pp.302-304, 1999. 3.
3. 김주원, 송철영:반강성포장의 현장시공, 도로, 제6권 3호, 2004. 9월호, pp.62-72, 한국도로학회
4. 日本道路協會:鋪裝施工便覽, 2001. 12월, pp.194-195
5. 鈴木 徹 외 1인:강좌·포장에 관한 시험법-반강성포장 혼합물의 휨시험-. 鋪裝, 제30권 2호, pp.36-41, 1995. 2월호, 建設圖書
6. 徳本行信 외 4인:鋪裝體의 溫度上昇을 抑制하는 保水性鋪裝材의 開發에 대하여, (일본)토목학회 포장공학 논문집 제3권, pp.191-200, 1998. 12.
7. 徳本行信 외 3인:都市의 高溫化의 解消를 꾀하는 保水性鋪裝材의 開發, ASPHALT, Vol.42 No.203 (2000)
8. (日本)保水性鋪裝技術研究會:保水性鋪裝技術資料, 2004. 2.