



아스팔트 덧씌우기 하부의 Geogrid 부착방법에 따른 반사균열 지연특성 비교

Comparison of Geogrid Bonding Methods under Asphalt Overlay Layer for Reflection Cracking Retardation

도 영 수* 김 번 창** 고 태 영*** 김 광 우****
 Doh, Young Soo Kim, Bun Chang Ko, Tae Young Kim, Kwang Woo

Abstract

This study was carried out to select most efficient bonding methods of geogrid at the interface of old concrete pavement before placing asphalt overlay layer for reflection cracking retardation. Three bonding methods, a RSC-4 emulsified asphalt, a compound and an unsaturated polyester resin (UPR) were compared in this study. Three types of asphalt mixture (AC 60-80, RLDPE 8%, PG 76-22) and a dense-graded aggregate were used for overlay asphalt pavement. A reinforcing material which consists of a woven fabric underneath a glass fiber grid was used. An expedite test method which is for simulating mixed mode (mode I and II) fracture test was performed using a wheel tracker in laboratory. Cracking development by load repetition was measured as fatigue life (number of load cycle) and expansion of specimen body were measured for each test specimen. The results showed that UPR was the best and RSC-4 the next. But considering field applicability, RSC-4 was considered as an appropriate choice for bonding reinforcing material.

Keywords : *bonding, geogrid, asphalt overlay, reflection cracking, concrete pavement, mixed mode fracture.*

요 지

본 연구는 아스팔트 덧씌우기 포장에 나타나는 반사균열을 제어하기 위하여 노후된 시멘트 콘크리트 포장과 아스팔트 덧씌우기 포장 경계면에 보강재의 효과적인 부착 방법을 찾기 위하여 수행하였다. 이를 위한 부착재료는 RSC-4 유화아스팔트, 컴파운드, 불포화 폴리에스터 수지(UPR) 등 3종류를 사용하였다. 또한 아스팔트 혼합물은 3종류의 밀입도 혼합물(AC 60-80, RLDPE 8%, PG 76-22)을 사용하였다. 보강 재료로서 유리섬유 그리드 하부에 직포가 부착된 것을 사용하였다. 복합모드 파괴(mode II)의 모사를 위한 촉진시험은 휠트래킹 장비를 이용하여 수행하였다. 반사균열의 진전은 피로수명으로서 하중 사이클 수에 따라 측정하였고, 공시체의 변위는 각각 시험 공시체에 대하여 demec 게이지를 이용하여 측정하였다. 본 연구 결과, UPR 부착이 가장 효과적이었으며 다음은 RSC-4의 순이었다. 그러나 현장 적용성을 고려할 때, RSC-4 유제가 보강 재료의 부착을 위해 적절한 선택으로 판단된다.

핵심용어 : *부착처리, 지오그리드, 아스팔트 덧씌우기, 반사균열, 복합모드파괴*

* 정회원 · 강원대학교 석재복합신소재연구센터 책임연구원
 ** 정회원 · 진화기술공사 도로부 · 공학석사
 *** 정회원 · 강원대학교 대학원 지역기반공학과 석사과정
 **** 정회원 · 강원대학교 지역기반공학과 교수



1. 서론

국내 도로포장은 1960년대 이후 경제성장의 중추적 역할을 담당해 온 고속도로에서부터 발전하여 왔다. 초기 고속도로에 사용되던 아스팔트 포장은 1980년대 중반부터 대부분 포트랜드 시멘트 콘크리트(Portland cement concrete: PCC) 포장으로 채택되기 시작하여 현재 대부분 고속도로에 널리 사용되고 있다. 현재 국내의 시멘트 콘크리트 포장은 전체 도로포장의 16%, 고속도로의 경우 약 60%를 차지하고 있다. 고속국도는 2011년까지 약 2,400km가 추가로 건설토록 계획되어있어 이 비율은 더 높아질 것으로 예측된다(건설기술연구원 외, 2001).

도로 포장은 사용연수가 늘어남에 따라 결함이 발생되기 마련이고, 이로 인하여 도로의 공용성을 저하시켜 결과적으로 교통안전에 큰 영향을 미친다. 이에 타당하고 적절한 유지보수 및 관리가 필요하다. PCC 포장은 아스팔트 콘크리트 포장에 비하여 일반적으로 초기의 유지관리비가 적게 들지만, 노후 또는 파손이 되었을 경우에 적절한 유지보수가 어렵고 공사비가 많이 소요되는 단점을 가지고 있다.

도로포장의 파손형태는 여러 가지가 있지만 국내 포장의 주요 파손형태는 주변 환경 및 반복적인 교통하중에 의하여 소성변형, 피로균열, 온도균열, 반사균열 등이 많이 발생한다. 이들은 포장이 계수명을 다 발휘하기 전에 발생되어, 도로포장의 유지관리에 막대한 국가예산이 소비되고 있다. 이러한 여러 가지의 도로파손의 형태 중, 전 세계적으로 도로공학자들의 관심을 끌고 있는 중요한 문제 중 하나가 PCC 포장의 유지보수에 보편적으로 사용되는 아스팔트 콘크리트 덧씌우기 포장에 발생하는 반사균열(reflection cracking)이다.

반사균열의 발생과 진전의 주된 원인은 윤하층으로 인한 슬래브의 수직 이동과 온도변화에 따른 콘크리트의 수축·팽창에 의한 슬래브의 수평적 이동에 기인한다. 슬래브의 수축은 균열 상단의 아스팔트 층에 인장응력을 유발시키며, 윤하층에 의해 발생하는

휨(bending)과 함께 휨 파괴(bending fracture)모드 I 균열을 유발한다. 또한 기존 포장의 균열 바로 위를 가로지르는 윤하층은 아스팔트 층 바닥에 수직 방향으로 전단응력을 야기하여 파괴모드 II 균열을 유발한다(김광우 등, 1998, Kim 등, 1998, 2002, 도영수, 2000, Srivastava 등, 1992, Molenaar, 1984, Treybig 등, 1977).

노후한 PCC 포장을 아스팔트 덧씌우기 공법으로 보수했을 때, 반사균열의 발생을 저지하고 예방하기 위한 연구가 세계적으로 지속적으로 수행되고 있다. 그 동안 연구 및 적용된 방법들은 ①기존 콘크리트의 균열을 특정 재료로 실링(sealing)하고 덧씌우는 방법, ②기존 콘크리트 층을 완전파쇄하고 그 위에 덧씌우는 방법, ③중간층으로서 응력 흡수층을 설치하고 덧씌우는 방법, ④아스팔트 혼합물을 덧씌울 때 그리드(grid) 등의 보강재료를 사용하는 방법, ⑤보다 인장성능이 우수한 개질아스팔트 혼합물을 사용하는 방법, ⑥아스팔트 덧씌우기 층의 두께를 증가시키는 방법 등 다양하다. 상기 열거한 몇 가지의 방법 중 그리드 등의 보강재를 사용하는 경우 기존 시멘트 콘크리트면과 보강재의 용이한 부착을 위하여 시공 현장에서 아스팔트 유제 및 컴파운드 등을 사용한다. 실험실에서는 반사균열 지연 모사축진실험을 수행할 때 불포화 폴리에스터 수지(Unsaturated polyester resin:UPR)를 접합제로 사용하기도 한다.

PCC 포장 위에 아스팔트 덧씌우기를 할 때, 응력 흡수층으로 보강재료를 사용하면 반사균열 진전을 지연시키는데 효과는 여러 연구보고서에서 보고되어 있다(한국도로공사 연구보고서, 1997, 도영수, 2000). 그러나 PCC 포장과 아스팔트 덧씌우기 층 사이에 보강재료의 부착특성이 균열 진전에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구는 필요한 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 PCC 포장 위에 아스팔트 덧씌우기시 보강재를 사용하는 경우 PCC 포장과 아스팔트 덧씌우기 층의 접착을 각기 다른 3가지 부착방법으로 모사하여 반사균열 진전의 지연 여부를 분석하는데 있다.

2. 재료 및 시험방법

2.1 아스팔트 및 골재

본 연구에 사용된 아스팔트는 침입도 등급 AC 60-80과 수퍼페이브 바인더 등급의 한 종류로서 PG 76-22를 사용하였고, 골재는 강원도 횡성군의 화강암을 사용하였다. 최대치수 13mm의 굵은 골재와 그 생산과정에서 발생하는 부순 모래를 잔골재로 사용하였고, 석회석분을 채움재로 사용하였다.

2.2 개질재

아스팔트에 폴리머를 첨가함으로써 기대되는 가장 큰 효과는 아스팔트 혼합물의 인장강도의 향상이다. 아스팔트 포장의 인장강도는 운하중에 의한 하중영향에 견디어 내는 중요한 특성이므로 인장강도의 향상은 포장의 수명을 증진시키는 효과를 초래한다. 여러 가지 폴리머 중 저밀도폴리에틸렌(Low-density polyethylene: LDPE)은 수년간의 연구(김광우 등 1997, 1998)를 통해 아스팔트에 첨가시 균열 저항 성능이 우수하다고 판명되었다. 본 연구에서는 한국 자원재생공사에서 생산하는 재생 LDPE (Recycled LDPE: RLDPE) 펠렛을 분쇄 (체 No. 8 ~ No. 30)하여 건식혼합으로 바인더량의 8%를 일률적으로 사용하였다. 이 함량은 기존 연구(김광우 등 2004b)에서 가장 효과가 우수하게 나타난 것을 근거로 하였다.

2.3 보강재

본 연구에서는 국내산 보강재 1종을 선택하여 실험에 사용하였다. 이 보강재는 12mm 정사각형 그리드 밑에 부직포를 덧댄 것으로 아스팔트 덧씌우기 층의 하부에 작용하는 인장응력과 전단응력을 완화함으로써 반사균열의 진전을 지연시키는 효과가 가장 좋은 것으로 평가(김광우 등 2004a)되어 선정하

였다. 그림 1은 이 연구에 사용된 그리드를 보여주고 있으며 물리적 특성은 표 1에서 나타내고 있다.

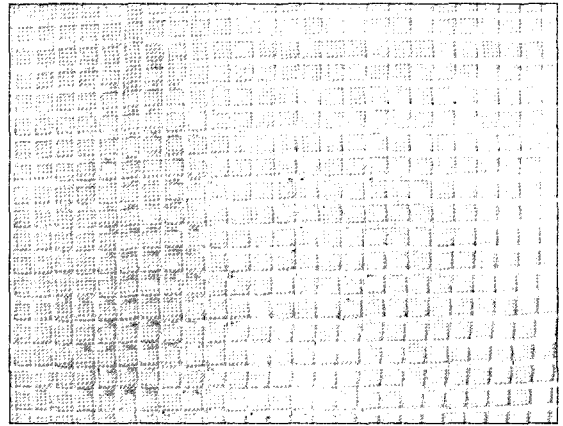


그림 1. Photograph showing reinforcing material, 5T/5T M grid on top of woven fabric

표 1. Physical properties of grid 5T/5T M

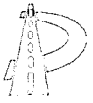
Product		Fabric Attached Grid
Fiber used		Glass roving + Spun bonded nonwoven (polypropylene)
Coating material		Asphalt
Mass/Unit area (g/m ²)		380
Aperture size (mm)		12.0×12.0
Rib density (unit/m)	MD*	71
	CD**	59
Tensile strength (t/m)	MD	5
	CD	5
Elongation at break (%)	MD	< 4
	CD	< 4

* mechanical direction

** cross direction

2.4 부착재

기존 시멘트 콘크리트 포장과 아스팔트 덧씌우기 포장을 부착하기 위한 재료로서 양이온계 유화아스팔트인 RSC-4, 침입도 20~40의 컴파운드, 불포화 폴리에스터 수지(Unsaturated polyester resin:



UPR)의 3종류를 사용하였다.

2.4.1 유화아스팔트

유화아스팔트는 유화제와 안정제를 함유하는 물 속에 아스팔트 미립자(1~3 μ m 정도)로 분산시킨 갈색의 액체로서 양이온계 유화아스팔트와 음이온계 유화아스팔트 및 비이온계 유화아스팔트를 총칭하여 유화아스팔트(Emulsified asphalt)라고 정의한다(KS M 2203). 본 연구에서는 표 2와 같이 분류되는 양이온계 유화아스팔트인 RSC-4를 사용하였다. 사용량은 KS 표준인 0.2~0.6 l/m²을 두 조각의 콘크리트 블록에 살포하여 수분이 건조할 때까지 양생하여 아스팔트 공시체와 부착하였다.

2.4.2 컴파운드

본 연구에 사용된 아스팔트 컴파운드는 침입도 20~40, 용해온도 230~260 $^{\circ}$ C의 방수 및 아스팔트 방수재료로서 내열성, 점성, 내구성이 좋은 국내산 제품을 사용하였다. PCC 포장과 아스팔트 덧씌우기 층

의 부착에 있어서 아스팔트 컴파운드의 살포량이 너무 적으면 보강재와 더불어 부착불량 상태가 나타날 수 있고, 반대로 과도한 사용량은 블리딩을 유발할 수 있다. 따라서 아스팔트 콘크리트를 부착하기 전 시멘트 콘크리트 블록의 표면 온도를 50~60 $^{\circ}$ C로 유지하여, 용해된 컴파운드 0.4kg/m²를 살포하여 아스팔트 콘크리트 공시체를 부착 후 24시간 양생하였다.

2.4.3 불포화 폴리에스터 수지

불포화 폴리에스터 수지(Unsaturated polyester resin:UPR)란 그 구성분자의 포화된 모노머(monomer)가 에스테르 결합으로 중합된 고분자 화합물을 말하며, 취급이 용이하며 경화제와 촉진제의 함량의 변화에 따라 상온에서 자유롭게 경화시간을 자유로이 조절할 수 있다. 또한 다른 열경화성 수지에 비교하여 양호한 기계적, 전기적 성질 및 내약품성을 지니고 있다. 본 연구에서 사용된 불포화 폴리에스터 수지는 코발트계 경화촉진제가 첨가되어 있는 올소타입(ortho type)으로서 적당량을 두 조각의

표 2. Physical properties of emulsified asphalt

종 류	기 호	용 도	비 고
양이온계 유화 아스팔트	RSC-1	보통(온난기) 침투용 및 표면 처리용 (겨울철용은 제외)	침 투 용
	RSC-2	한랭기(겨울철) 침투용 및 표면 처리용	
	RSC-3	프라이 코트용 및 시멘트 안정 처리층 양생용	
	RSC-4	택 코트용	
음이온계 유화 아스팔트	MSC-1	조립도 골재 혼합용	혼 합 용
	MSC-2	밀립입도 골재 혼합용	
	MSC-3	흙 덩어리(토양) 골재 혼합용	
비이온계 유화 아스팔트	RSA-1	보통(온난기) 침투용 및 표면 처리용 (겨울철용은 제외)	침 투 용
	RSA-2	한랭기(겨울철) 침투용 및 표면 처리용	
	RSA-3	프라이 코트용 및 시멘트 안정 처리층 양생용	
	RSA-4	택코트용	혼 합 용
	MSA-1	조립도 골재 혼합용	
	MSA-2	밀립도 골재 혼합용	
MSA-3	흙 덩어리(토양) 골재 혼합용		
비이온계 유화 아스팔트	MSN-1	시멘트·유화 아스팔트 안정 처리 혼합용	혼 합 용

콘크리트 블록에 살포하여 24시간 양생하였으며 특성치는 표 3과 같다.

표 3. Properties of UPR

Density (25℃)	Viscosity (25℃, MPa·s)	Acid value	Styrene content
1.13	300	20.0	40

2.5 배합설계

본 연구에서는 아스팔트 함량을 변화시켜 가면서 각 함량당 3개씩의 공시체를 제조하여 물성 실험과 마찰안정도 시험을 수행하였다. 이것을 아스팔트 함량에 따른 물성별 곡선으로 표시한 후에 밀입도 13mm(13F dense grade asphalt concrete)를 적용하여 그래프 상에서 공극률의 범위 3~5%, 안정도 750kgf 이상, 흐름 20~40, 포화도 75~85%를 만족하는 각각의 아스팔트 함량을 구하고 이로부터 최적 아스팔트 함량을 구하였다.

세 종류의 바인더 (AC 60-80, RLDPE 8% 개질, PG 76-22) 별로 배합설계를 수행하여 결정된 각각의 최적 아스팔트 함량은 반사균열 시험 공시체 제작의 아스팔트 함량으로 사용되었다.

2.6 혼합파괴 (mode I and II) 반사균열시험

혼합파괴는 진전하는 균열의 뒷면뿐만 아니라 바로 앞면내의 법선응력과 전단응력이 존재하므로 균열과 그 선단은 혼합된 응력을 받게 되므로 발생하는 파괴형태이다. 균열선단에서의 변형은 Mode I 과 Mode II 의 두 요소 모두를 갖기 때문에 Mode I 하중만으로는 실제 조건을 거의 나타낼 수 없다고 판단되어 혼합 파괴모드로 실험을 수행하였다. 즉, 차륜이 한번 지나갈 때 균열 바로위에서는 아스팔트 층에 휨 응력을 야기하고, 균열 전후에서는 반복적으로 갈라진 콘크리트 블록의 수직운동을 일으켜 아스팔트 층의 전단응력을 야기하는 혼합 파괴모드 시험을 수행하였다.

선정된 골재와 바인더 별 혼합물의 최적 아스팔트 함량에서 혼합물을 제조하여 가압식 롤러다짐기로 슬래브 공시체를 제작하였다. 슬래브의 크기는 300×300×50mm이며 이때 미리 보강재를 슬래브 몰드 바닥에 펼쳐놓고 그 위에 혼합물을 부어 현장에서와 같이 보강재가 고온의 아스팔트 혼합물에 압착되어 붙도록 하였다. 제작된 슬래브의 물성을 측정하여 공극률이 4±0.5%이면 절단기로 길이 방향으로 3등분하여 300×80×50mm의 크기로 보 공시체를 만들었다.

PCC 포장의 균열(또는 줄눈) 선단 위에 아스팔트 덧씌우기 포장상태를 모사하기 위하여 아스팔트 보 공시체를 두께 30mm, 폭 80mm, 길이 145mm인 두 개의 콘크리트 블록 위에 덧씌우기 형태로 부착하여 가운데 10mm Gap(줄눈 및 균열)를 만들었다. 두 조각의 콘크리트 블록 상면에 각각의 부착제를 도포하고 보강재가 붙어있는 아스팔트 보 공시체를 부착하여 반사균열용 시험체(test body)를 제조하였다(그림 2). 이 시험체는 2일간 상온(25℃)에서 양생시킨 후 시험 5시간 전에 25℃의 항온실에 넣었다가 25℃로 유지되는 챔버에서 실험에 사용되었다.

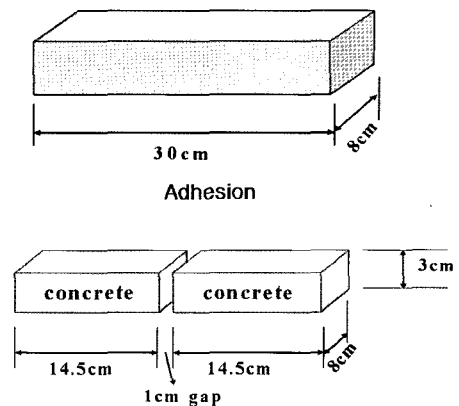


그림2. Schematic illustration of preparation of test body

시멘트콘크리트 하부의 탄성지지를 모사하기 위하여 10mm 두께의 고무패드를 콘크리트 바닥에 깔았다. 실험장치는 직경 200mm의 강제 바퀴가 200mm 거리를 왕복하는 반복주행(wheel tracking) 시험기

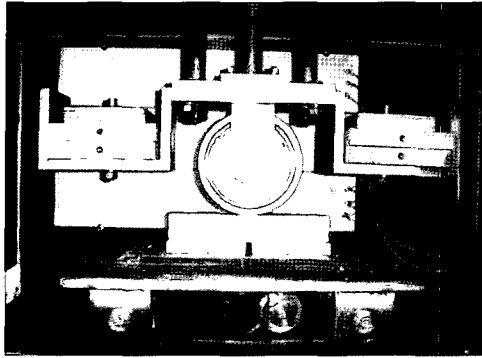


그림 3. Test setup for expedited mixed fracture mode reflection cracking

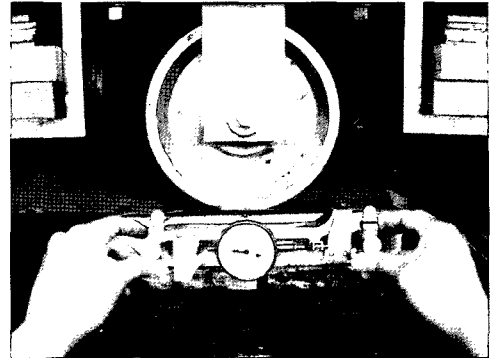


그림 4. Measuring expansion of asphalt body using a demec gauge at every 500 cycles

를 이용하였으며 운하중은 1Hz의 속도로 100kgf를 재하하였다. 이 혼합 파괴 모드의 시험장비에 시험체를 설치한 모습은 그림 3과 같다. 이 시험에서 아스팔트 보 공시체의 수평변위는 Demec gauge를 이용하여 하중 반복의 500cycle마다 측정하였다(그림 4). 또한 수직균열 길이의 관찰을 용이하게 하기 위하

여 보 공시체의 한쪽 면을 흰색 페인트로 칠하여 하중 반복에 따른 균열 성장을 500cycle마다 육안으로 측정하였다. 실험은 수직균열이 공시체의 전체 높이의 높이에 도달할 때까지 수행하였다. 이 혼합 파괴 모드에 이용된 각각의 혼합물과 보강재의 조합에 대한 명칭은 표 4와 같다.

표 4. Mixture designation and its material combination

Designation	Mixture and reinforced combination with attached type
ACNR	AC 60-80 mix without reinforcing material (RM) and RSC-4 adhesion
ACGR	AC 60-80 mix with RM and RSC-4 adhesion
RLNR	RLDPE 8% mix without RM and RSC-4 adhesion
RLGR	RLDPE 8% mix with RM and RSC-4 adhesion
PGNR	PG 76-22 mix without RM and RSC-4 adhesion
PGGR	PG 76-22 mix with RM and RSC-4 adhesion
ACNC	AC 60-80 mix without RM and Compound
ACGC	AC 60-80 mix with RM and Compound
RLNC	RLDPE 8% mix without RM and Compound
RLGC	RLDPE 8% mix with RM and Compound
PGNC	PG 76-22 mix without RM and Compound
PGGC	PG 76-22 mix with RM and Compound
ACNU	AC 60-80 mix without RM and UPR
ACGU	AC 60-80 mix with RM and UPR
RLNU	RLDPE 8% mix without RM and UPR
RLGU	RLDPE 8% mix with RM and UPR
PGNU	PG 76-22 mix without RM and UPR
PGGU	PG 76-22 mix with RM and UPR



3. 결과 및 고찰

3.1 혼합물의 역학적 특성

표 5는 각 혼합물의 물성 및 강도 특성치를 나타내고 있다. 최적아스팔트 함량은 AC 60-80와 PG 76-22가 각각 5.3%와 5.4%로 비슷하게 나타났으며, RLDPE 개질아스팔트 혼합물에서는 최적아스팔트 함량이 5.8%로 상대적으로 높게 나타났다.

혼합물의 인장강도는 PG 76-22 혼합물, RLDPE 개질아스팔트 혼합물, AC 60-80 혼합물이 각각 11.9kgf/cm², 9.5kgf/cm², 8.6kgf/cm²의 순서로 나타났다. 혼합물별 변형강도는 PG76-22, RLDPE 개질아스팔트, AC 60-80에서 각각 3.988MPa, 3.561MPa, 2.612MPa의 순서로 나타났다.

3.2 혼합과피 모드에 의한 반사균열 저항특성

혼합모드 반사균열 시험은 표 4에서 설명한 혼합물별로 두 개의 공시체를 만들어 수행하였다. 실험 과정에서 수평변위와 수직균열 진전을 누적 하중 주기에 따라 측정하였다. 동적안정도는 공시체가 윤택중에 의한 팽창으로 인해 수평으로 1mm 변형을 일으키는데 얼마나 많은 하중재하수가 요구되는가를 나타내는 수치이며 수직균열 진전비는 각 공시체의 선형 회귀곡선의 기울기로서 나타났다. 표 6~8 에서

는 부착방법별에 따른 혼합모드 반사균열 시험으로 얻어진 반사균열 저항 특성을 나타내고 있으며, 그림 5~10은 각각 부착재료에 따른 혼합물의 피로수명 및 수평변위와 수직균열의 진전을 나타내고 있다.

유제 부착에서는 ACNR에 비교하여 ACGR, RLNR, RLGR, PGNR, PGGR이 각각 1.4, 3.0, 4.4, 3.6, 6.7배의 반사균열 피로수명 향상 효과를 나타냈으며, 컴파운드 부착에서는 ACNC에 비교하여 ACGC, RLNC, RLGC, PGNC, PGGC가 각각 1.4, 2.8, 6.2, 4.1, 6.2배로 RLGC를 제외하고는 유제와 비슷한 효과를 나타냈다. UPR 부착에서는 ACNU에 비교하여 ACGU, RLNU, RLGU, PGNU, PGGU가 각각 1.6, 2.8, 3.7, 3.0, 5.4배의 반사균열 피로수명을 나타내 비율상으로는 상기 두가지 보다는 다소 처지는 것으로 나타났다. 하지만 이는 ACNC의 피로수명이 11,000으로 상기 두가지 보다 1.5배 이상 높기 때문이며, 실제 피로 수명은 전체적으로 UPR이 가장 높았다. 이와 같이 UPR의 사용이 반사균열에 효과적인 것은 접착특성이 좋은 점도 있지만 UPR 자체가 아스팔트와 결합하여 아스팔트 층 하단에 막을 형성하여 균열발생을 저지하는 효과가 있기 때문인 것으로 보여 진다(Kim et al 1996). 하지만 UPR은 부착특성과 효과는 좋으나 가격이 비싸고 현장에서의 적용성이 아직 확보되지 않은 단점이 있다.

동적안정도(DS)는 표 6~8에서 나타낸 바와 같이

표 5. Marshall properties of each mixture at OAC

Mixture	Spec.	AP-5	RLDPE	PG 76-22
OAC(%)	-	5.3	5.8	5.4
Air void(%)	3~5	4.16	4.49	3.65
VMA(%)	above 14	16.74	17.83	16.22
VFA(%)	75~85	77.45	75.59	77.53
Flow(0.01cm)	20~40	35	37	40
Marshall stability (kgf)	above 750	958	1,044	1,699
ITS (kgf/cm ²)	-	8.6	9.5	11.9
Stiffnes index (kgf/mm)	-	599	623	500
Deformation strength (MPa)		2.612	3.561	3.988

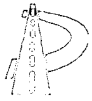


표 6. Reflection cracking properties of overlaid mixture with RM bonded using RS(C)-4

Mixture	NO.	Fatigue life (cycle)	Final horizontal expansion (mm)	Horizontal DS (cycle/mm)	Vertical crack growth rate (mm/cycle)
ACNR	1	7,750	3.41	0.5×10^4	6.4×10^{-3}
	2	7,000	3.10	0.5×10^4	7.5×10^{-3}
	mean	7,375	3.26	0.5×10^4	7.0×10^{-3}
ACGR	1	10,500	4.00	0.5×10^4	4.9×10^{-3}
	2	9,500	4.63	0.4×10^4	5.5×10^{-3}
	mean	10,000	4.32	0.5×10^4	5.2×10^{-3}
RLNR	1	23,250	0.89	4.5×10^4	1.7×10^{-3}
	2	21,250	0.49	7.1×10^4	2.0×10^{-3}
	mean	22,250	0.69	5.8×10^4	1.9×10^{-3}
RLGR	1	33,250	0.95	6.5×10^4	1.7×10^{-3}
	2	31,250	0.72	5.5×10^4	1.6×10^{-3}
	mean	32,250	0.84	3.5×10^4	1.7×10^{-3}
PGNR	1	28,000	2.61	2.6×10^4	1.7×10^{-3}
	2	25,000	2.24	4.6×10^4	1.8×10^{-3}
	mean	26,500	2.43	3.6×10^4	1.8×10^{-3}
PGR	1	55,500	2.16	9.5×10^4	0.8×10^{-3}
	2	43,250	1.84	13.1×10^4	1.0×10^{-3}
	mean	49,375	2.00	11.3×10^4	0.9×10^{-3}

표 7. Reflection cracking properties of overlaid mixture with RM bonded using compound

Mixture	NO.	Fatigue life (cycle)	Final horizontal expansion (mm)	Horizontal DS (cycle/mm)	Vertical crack growth rate (mm/cycle)
ACNC	1	9,000	3.21	0.4×10^4	5.5×10^{-3}
	2	4,250	3.65	0.2×10^4	11.6×10^{-3}
	mean	6,625	3.43	0.3×10^4	8.6×10^{-3}
ACGC	1	7,250	4.45	0.1×10^4	7.3×10^{-3}
	2	11,250	3.56	0.5×10^4	3.9×10^{-3}
	mean	9,250	4.01	0.3×10^4	5.6×10^{-3}
RLNC	1	15,750	1.12	1.8×10^4	2.8×10^{-3}
	2	21,750	1.33	2.7×10^4	2.7×10^{-3}
	mean	18,750	1.23	2.3×10^4	2.8×10^{-3}
RLGC	1	39,000	0.61	15.3×10^4	0.8×10^{-3}
	2	42,750	0.88	6.0×10^4	0.9×10^{-3}
	mean	40,875	0.75	10.7×10^4	0.9×10^{-3}
PGNC	1	26,000	1.95	3.3×10^4	2.0×10^{-3}
	2	28,000	2.10	3.4×10^4	1.8×10^{-3}
	mean	27,000	2.03	3.4×10^4	1.9×10^{-3}
PGGC	1	43,000	2.23	10.8×10^4	1.1×10^{-3}
	2	39,750	2.16	3.7×10^4	1.3×10^{-3}
	mean	41,375	2.20	7.3×10^4	1.2×10^{-3}



표 8. Reflection cracking properties of overlaid mixture with RM bonded using UPR

Mixture	NO.	Fatigue life (cycle)	Final horizontal displacement (mm)	Horizontal DS (cycle/mm)	Vertical crack growth rate (mm/cycle)
ACNU	1	9,000	3.22	0.4×10^4	1.6×10^{-3}
	2	13,750	3.45	0.8×10^4	3.2×10^{-3}
	mean	11,375	3.34	0.6×10^4	2.4×10^{-3}
ACGU	1	21,000	3.23	1.4×10^4	2.3×10^{-3}
	2	15,250	3.10	1.1×10^4	3.3×10^{-3}
	mean	18,125	3.17	1.3×10^4	2.8×10^{-3}
RLNU	1	34,250	0.60	22.8×10^4	1.3×10^{-3}
	2	30,000	0.80	12.5×10^4	1.8×10^{-3}
	mean	32,125	0.70	17.7×10^4	1.6×10^{-3}
RLGU	1	44,250	3.68	2.6×10^4	1.2×10^{-3}
	2	40,250	2.79	4.3×10^4	1.1×10^{-3}
	mean	42,250	3.24	3.5×10^4	1.2×10^{-3}
PGNU	1	32,250	2.34	2.5×10^4	1.5×10^{-3}
	2	35,500	2.11	4.9×10^4	1.3×10^{-3}
	mean	33,875	2.23	7.4×10^4	1.4×10^{-3}
PGGU	1	63,000	2.55	14.0×10^4	1.0×10^{-3}
	2	60,000	2.31	17.1×10^4	0.9×10^{-3}
	mean	61,500	2.43	15.6×10^4	1.0×10^{-3}

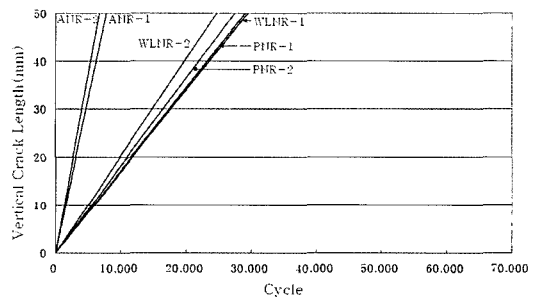
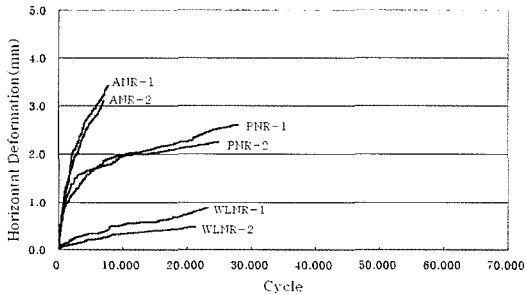


그림 5. Horizontal deformation, Vertical crack length and cycle by RS(C)-4 (without RM)

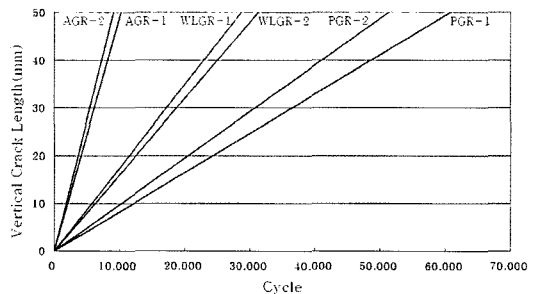
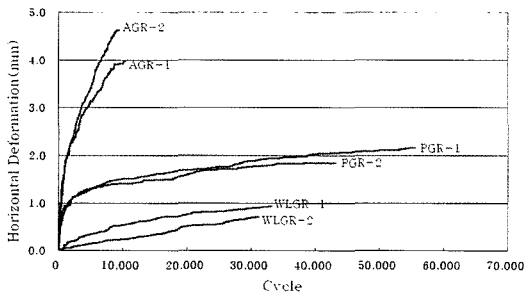


그림 6. Horizontal deformation, Vertical crack length and cycle by RS(C)-4 (with RM)

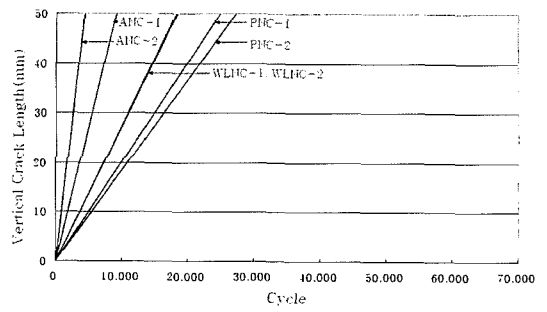
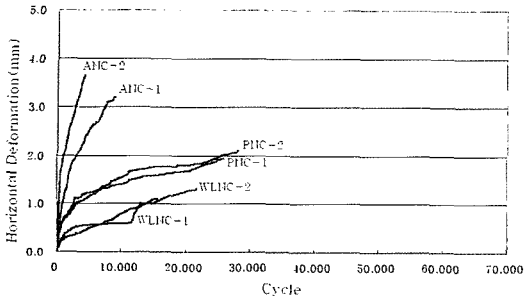


그림 7. Horizontal deformation, Vertical crack length and cycle by compound(without RM)

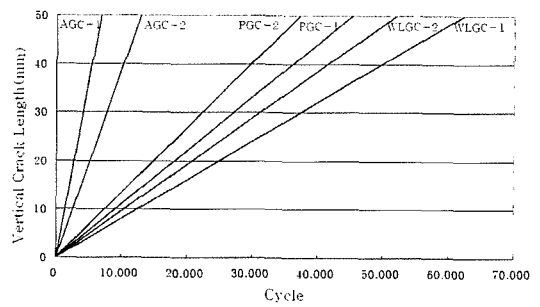
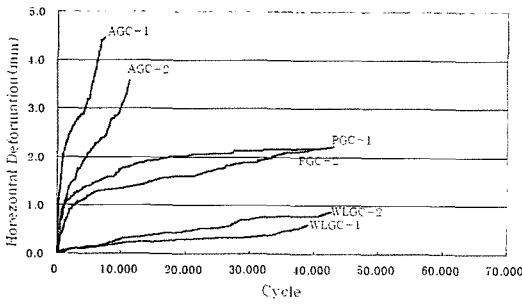


그림 8. Horizontal deformation, Vertical crack length and cycle by compound(with RM)

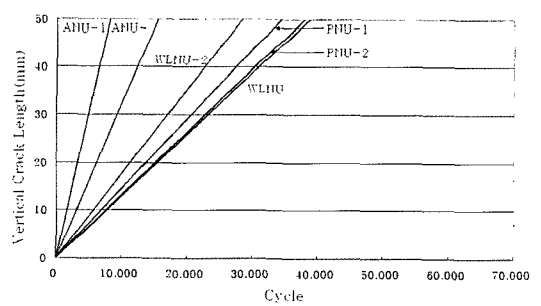
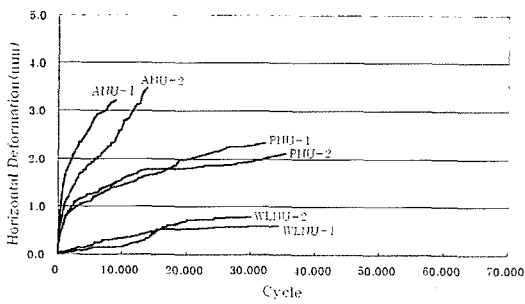


그림 9. Horizontal deformation, Vertical crack length and cycle by UPR(without RM)

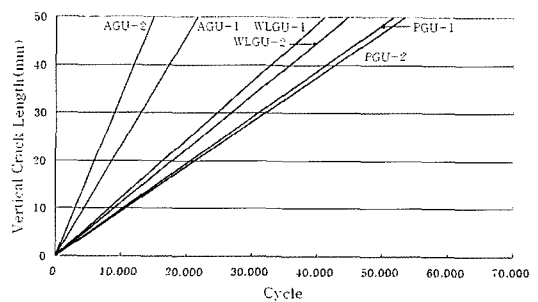
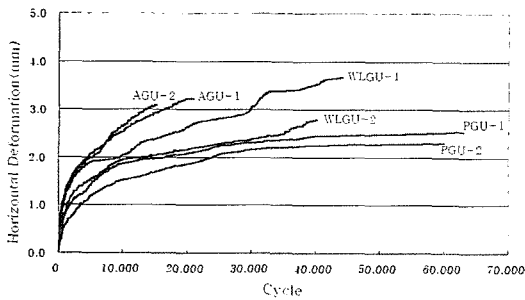


그림 10. Horizontal deformation, Vertical crack length and cycle by UPR(with RM)



UPR 부착에서 가장 큰 것으로 나타났다. 유제와 컴파운드 부착제의 DS 비교에서는 유제가 미세하게 높게 나타났다. 피로수명이나 동적안정도는 균열의 수직 진전과 관련된 측정치이나, 혼합물이 반복하중에 의해 수평으로 팽창(Horizontal expansion)하는데 저항하는 성질도 매우 중요하다. 혼합물이 팽창 저항성이 크면 그만큼 전단 변형에 강하며, 이에 대한 저항성은 타 혼합물에 비해 재생 저밀도 폴리에틸렌(RLDPE) 개질아스팔트 혼합물이 월등히 우수하게 나타났다.

수직균열의 육안관찰에서 부착재료에 따라서 차이를 나타냈는데, 유제와 컴파운드 부착에서는 굵고 선명한 여러 개의 균열이 나타났으며, UPR 부착에서는 여러 개의 미세균열과 함께 상대적으로는 적은 양의 균열을 보였다.

4. 결론

본 연구로 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. 부착특성별 피로수명에서는 UPR 부착에서 가장 높은 값이 나타났고, 유제와 컴파운드 만을 비교 시는 유제 부착이 더 좋게 나타났다. UPR 부착이 전체적으로는 가장 좋게 나타났으나 그에 비해 RSC-4 유제도 상당한 수준을 보여 가격이나 현장 실용성을 고려한다면 유제를 잘 사용하여도 효과적인 접착성능을 얻을 것으로 판단된다.
2. 보강재의 유·무에 따른 효과를 바인더 별로 비교할 경우 AC 60-80에서는 보강재 사용이 사용하지 않을 때보다 약 1.5배의 반사균열 피로수명이 향상되었고, RLDPE의 경우는 약 1.6배, PG 76-22의 경우는 1.7배의 향상되는 것으로 나타났다.
3. 보강재를 사용치 않고 바인더 별 차이만을 볼 경우 AC 60-80, RLDPE 개질아스팔트, PG 76-22 혼합물간의 피로수명이 1.0:3.0:3.8로서

RLDPE와 PG 76-22 개질 아스팔트 혼합물이 반사균열 제어에 효과적인 것으로 나타났다.

4. 피로수명만을 고려할 때 아스팔트 덧씌우기 시 하부 콘크리트 층과의 부착을 위해서는 UPR사용이 가장 효과적이었다. 그러나 수평 변위를 보면 유제의 사용이 UPR보다 더 효과를 내나 컴파운드 사용이 가장 적게 나타났고, 바인더별로는 RLDPE가 가장 효과적이었다.
5. 본 연구는 실내 실험을 근거로 한 것으로서 UPR의 성능은 좋으나 아직 현장 적용성이 확립되지 않은 상태이므로 아스팔트 유제를 규정대로 잘 사용하면 현장에서도 비교적 훌륭한 보강재의 접착 효과를 얻을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 건설기술연구원 외, “한국형 포장설계법 개발 및 포장 성능 개선방안 수립을 위한 기본계획,” 2001. 4.
2. 김광우, 안경애, 도영수, 조희원, 정규동, 이상범, (1997) “내변형 폴리머 개질 아스팔트 혼합물 개발,” 강원대학교 석재복합 신소재제품 연구센터 연구보고서, 제2집.
3. 김광우, 이석근, 도영수, 임성빈, 이상범 (1998) “개질·보강재에 의한 아스팔트 혼합물의 반균열 제어 효과,” 아스팔트 포장공학의 첨단기술 심포지엄 논문집, 강원대학교 석재복합 신소재 제품 연구센터, pp. 229-256.
4. 김광우, 김번창, 도영수 (2004a) “TRIGRID® AO를 사용한 아스팔트 포장의 반사균열 억제 모사실험,” 강원대학교 석재복합신소재센터.
5. 김광우, 이기호, 조문진, 권오선 (2004b) “개질아스팔트 혼합물의 고온저항특성 연구,” 석재연 논문집 제9권, 강원대학교석재복합신소재센터.
6. 도영수, (2000) “보강 덧씌우기 아스팔트 콘크리트의 반사균열 피로 수명 추정 연구,” 강원대학교 대학원, 박사학위 논문
7. “포장균열 및 노면 반사균열 억제방안 연구,” (1997)



한국도로공사 연구보고서.

8. Kim, K. W., Doh, Y. S., Lim, S. B., Li, X. F. and Rhee, S. K. (1998), "Reinforcement of asphalt pavement to improve resistance against reflection cracking," *Proceedings, 5th International Conference on the Bearing Capacity of Roads and Airfields*, Trondheim, Norway, pp. 1533-1541.
9. Kim, K. W., Lee, S. J., Doh, Y. S., Rhee, S. K. and Park, T. S.(2002), "Estimation of relative performance of overlaid asphalt concretes against reflective cracking due to shear and bending fracture mode," *Proceedings, 6th International Conference on the Bearing Capacity of Roads and Airfields*, Lisbon, Portugal.
10. Kim, K. W., Park, Y. C. and Yeon, K. S. (1996), "Tensile Reinforcement of Asphalt Concrete Using Polymer Coating," *Construction and Building Materials, Vol. 10, No. 2*.
11. Molenaar A. A. A. and Nods M. (1996), "Design method for plain and geogrid reinforced overlay on cracked pavements", *Proceedings of the Third international RILEM Conference on Reflective Cracking in Pavements*, pp. 311~320. 1996.
12. Srivastava, A., Hopman, P. C. and Molenaar, A. A., (1992) "SBS polymer modified asphalt binder and its implications on overlay design," ASTM STP1108, Ed. by Wardlaw and Shuler, Philadelphia, PA 19103.

〈접수 : 2005. 2. 22〉