

# 바인더 개질 및 그리드 바닥 보강 혼합물의 반사균열 저항성

## The Evaluation of Binder-Modified and Grid reinforced asphalt concrete against Flexural Reflection Cracking

이종섭\* · 정재현\*\* · 도영수\*\*\* · 김광우\*\*\*\*

Lee, Jong Sup · Jung, Jae Hun · Doh, Young Soo · Kim, Kwang Woo

### 1. 서론

국내의 경우 포틀랜드 시멘트 콘크리트 (Portland cement concrete: PCC) 포장은 1980년대 중반부터 채택되어 최근에는 고속도로의 2/3이상의 시멘트 콘크리트 포장으로 되어있다. PCC 포장은 일반적으로 아스팔트 포장보다 초기에 일상적 유지관리비가 적게 드나 노후 또는 파손시 적절한 유지보수가 어렵고 공사비가 커지는 단점을 가지고 있다. 포장이 여러 해 동안 사용되면 포장 표면에는 결함이 나타나게 된다. 이 결함들은 표층의 노화와 관련되어 나타나거나 또는 환경적인 영향, 구조적인 지지력 부족 등의 결과로서 나타날 수 있다. 이 결함들이 어느 정도이상 심각해지면 도로 이용자들의 안전한 주행을 위해 유지보수 조치가 필요하다. 아스팔트 덧씌우기는 PCC 포장의 유지보수에서 보편적으로 사용되는 방법이다. 그러나 아스팔트 덧씌우기의 MODE II 반사균열은 PCC 포장 위에 덧씌워진 아스팔트 포장의 주요 손상 메커니즘 중의 하나이다. 반사균열의 요인으로 중의 하나는 환경적 요인으로 인한 PCC 슬래브의 수평이동, 다른 하나는 차량 윤하중의 반복재하에 의한 수평·수직 이동이다. 환경적 요인으로 인한 PCC 슬래브의 수축·팽창은 윤하중에 의해 발생하는 휨 (Bending) 인장과 함께 PCC 슬래브의 균열 상단에 있는 아스팔트 덧씌우기 층에 휨 파괴(Mode I failure)를 유발한다. 이동하는 윤하중은 PCC 슬래브의 균열이나 줄눈을 가로질러 통과하면서 순간적으로 아스팔트 덧씌우기 층에 휨 파괴(Mode I failure) 및 전단파괴 (Mode II failure)를 야기한다. 이 두 가지 파괴모드는 PCC 포장균열 위의 아스팔트 층에 반사균열을 생성·진전시킨다.

본 연구의 목적은 개질 바인더와 그리드 바닥 보강한 혼합물에 대하여 전단 모드(Mode II failure) 반사균열 저항성을 비교 분석하는 것이다.

### 2. 재료 및 방법

#### 2.1 사용재료

##### 2.1.1 아스팔트 혼합물

본 연구에 사용된 아스팔트는 국내에서 가장 널리 이용되는 일반 아스팔트인 AP-5(침입도 60~80)를 기본 바인더로 사용하였다. 그리고 바인더 개질재 LDPE (Low density polyethylene)를 6% 첨가한 개질 아스팔트와 SBS(Styrene-butadiene-styrene)로 개질하여 상용화된 PG76-22 바인더를 사용하였다.

골재는 전국적으로 가장 많이 분포되어 있고, 현재 국내에서 흔히 사용되고 있는 화강암 최대치수 13mm와 잔골재를 사용하였고, 채움재(Mineral filler)는 석회석분을 사용하였다.

이 골재와 바인더들을 사용하여 마샬 배합설계를 통해 기준을 건설교통부 13mm 밀입도 혼합물로 양면

\* 정희원 · 강원대학교 지역기반공학과 석사과정 · 공학사 · 033-250-7284 (E-mail : @hanmail.net)

\*\* 정희원 · 강원대학교 지역기반공학과 석사과정 · 공학사 · 033-250-7284 (E-mail : humsang@hanmail.net)

\*\*\* 정희원 · 강원대학교 석재복합신소재연구센터 책임연구원 · 공학박사 · 033-250-7284(E-mail : youngsdoh@hanmail.net)

\*\*\*\* 정희원 · 강원대학교 지역기반공학과 교수 공학박사 · 033-250-6467(E-mail : asphalttech @hanmail.net)



75회 다짐하여 최적 아스팔트함량(Optimum asphalt content: OAC)을 결정하였고 이 OAC로 슬래브 혼합물을 제조하여 각 시험에 사용하였다.

### 2.1.2 그리드

일반적으로 외국에서는 반사균열 억제를 위하여 아스팔트 혼합물의 하부에 그리드, 매트, SMAI 등의 보강을 많이 사용한다. 등을 보강하여 많이 사용한다. 본 연구의 보강 그리드로는 국내 S사의 5T/10T(10T), 10T/10T- Fabric(10TF\*) 2종을 사용하였고, 사용된 그리드의 물리적 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. Physical properties of domestic products

Product	Fabric Attached Grid (10TF*)		Glass Grid (10T*)
	(10T/10T)		(5T/10T)
Fiber used	Glass roving + Spun bonded nonwoven (polypropyle)		Glass roving
Coating material	Asphalt		
Mass/Unit area (g/m <sup>2</sup> )	250		300
Aperture size (mm)	14.0 × 12.50		14.0 × 16.0
Rib density (unit/m)	MD	78	71
	CD	78	59
Tensile strength (t/m)	MD	10	5
	CD	10	10
Elongation at break (%)	MD	<4	<5
	CD	<4	<5

### 2.2 시험 공시체 제작

반사균열 휨·전단 모드 시험에 사용된 공시체의 최적아스팔트 함량은 마샬배합설계를 통하여 결정된 함량을 사용하였다. 반사균열 휨·전단 시험에 사용된 그리드 보강 슬래브는 그리드를 미리 슬래브 몰드 바닥에 깔고 가열 아스팔트 혼합물을 몰드에 부은 후 롤러 가압다짐기로 다짐하여 공시체와 일체화되도록 하였다. 이때 공극률은 4.0±0.5%로 하여 시험을 수행하였다. 304×304×50mm 로 제작된 슬래브 공시체는 24시간 양생 후 반사균열 시험에 필요한 크기로 절단하여 실험에 사용되었다. Table 2 는 본 실험에 사용된 공시체 명칭이다.

Table 2. Description of various asphalt mixture

Designation	Description
DA	Dense-graded normal asphalt mixture
DA10T*	10T*-reinforced DA mixture
DA10TF*	10TF*-reinforced DA mixture
DL	Dense-graded LDPE-modified asphalt mixture
DL10T*	10T*-reinforced DL mixture
DL10TF*	10TF*-reinforced DL mixture
DP	Dense-graded PG76-22-modified asphalt mixture
DP10T*	10T*-reinforced PG76-22 mixture
DP10TF*	10TF*-reinforced PG76-22 mixture

### 3. 반사균열 휨·전단 모드 (mode II) 시험 방법

휨·전단 반사균열 모사실험에서 PCC 포장의 줄눈(균열) 선단 위에 아스팔트 덧씌우기 상태의 모사를 위하여 아스팔트 보 공시체를 두께 30mm, 폭 80mm, 길이 148mm인 두개의 콘크리트 블록 위에 덧씌우기 형태로 부착하였다. 이 때 PCC 포장의 줄눈(또는 균열)을 모사하기 위하여 두블럭 사이에 10mm 간격(Gap)을 두고 아스팔트 슬래브 공시체에 부착하였다. 또한 실제 현장의 아스팔트 덧씌우기 층 하부와 기존 PCC 포장층의 접착된 상태를 모사하기 위하여 PCC 블록을 아스팔트 유제(RSC-4)로 접착하였다. 이 10mm 간격은 실



제 현장 포장의 노후된 PCC 포장의 비교적 큰 간격의 줄눈(또는 균열)과 유사한 크기로서 반사균열 촉진 시험의 효율을 높이기 위해 설정된 값이다. 시험공시체는 2일간 상온(25℃)에서 양생시킨 후 5시간 전에 25℃의 항온실에 보관한 후 25℃로 유지되는 챔버 내에서 실험을 수행하였다. PCC 하부에 위치한 보조기층의 탄성지지를 모사하기 위해 두께 10mm의 고무 패트를 콘크리트 바닥에 깔았다. 실험장치는 직경 20mm의 강재 바퀴가 200mm의 거리를 왕복하는 반복주행시험기를 이용하였고 운하중은 1Hz 속도로 100kgf을 재하 하였다. 진단 모드를 위해 시험체가 설치된 모습은 그림 1과 같고 아스팔트·공시체의 수평변위는 Demec gauge를 이용하여 측정하였다(그림 2). 또한 수직균열 진전 관찰을 용이하게 하기 위하여 보 공시체의 한 쪽 면에 백색 수성페인트로 칠하여 하중 반복에 따른 균열진전을 매 500cycle마다 측정하였다. 시험은 수직균열이 공시체의 전체 높이에 도달할 때까지 수행하였다.

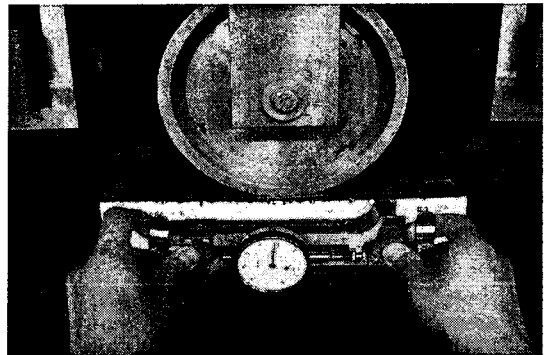
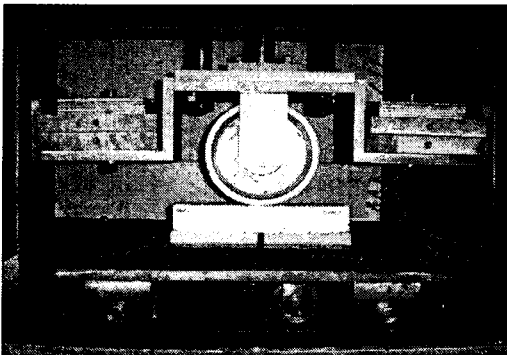


Figure 1. 콘크리트 상면에 부착된 아스팔트 혼합물 공시체 (Mode II)

Figure 2. 진단모드 시험에서 Demec gauge로 수평변위 측정

#### 4. 결과 및 고찰

##### 4.1 혼합물의 물성

Table 3의 일반 AP-5 아스팔트와 LDPE 개질 아스팔트에 대한 마샬 배합설계를 통한 최적 아스팔트 함량 및 그 함량으로 제작된 혼합물의 마샬 특성 및 역학적 특성을 나타낸다.

Table 3. Marshall properties of each mixture at OAC

Mixture	Spec	AP-5	LDPE-modified	PG76-22
OAC (%)	-	5.3	5.3	5.3
Air void (%)	3~5	4.12	3.72	3.63
VMA (%)	above 14	16.22	16.11	16.08
VFA (%)	75~85	76.69	76.93	77.43
Flow (0.01cm)	20~40	32	35	40
Marshall stability (kgf)	above 750	1286	1469	1,829
ITS (kgf/cm <sup>2</sup> )	-	13.1	15.1	15.3
Stiffness index (kgf/mm)	-	677	924	664

##### 4.2 휨 · 진단반사균열

휨 · 진단 반사균열 시험결과는 Table 4와 같다. Table 4의 모든 수치들은 시험된 두 개 공시체에 대한 평균값이다. 일반아스팔트 혼합물 DA의 피로수명은 단지 1,500 cycle인 것으로 나타난 반면에 그 바닥에 그리드를 보강 한 것은 상당한 수명 증진의 효과를 내는 것으로 나타났다. 특히 그리드 중에서도 10T\*는 4.5배의 수명 증을 가져왔진다. 최종 수평변위도 그리드 보강으로 인하여 적게 나타났다. 게다가 일반 혼합물의



수직균열진전비가  $0.33 \times 10^{-03}$  mm/cycle를 나타낸 반면에 10T\*의 보강은 1 cycle에 대하여  $7.4 \times 10^{-03}$  mm로 더디게 진전하여 반사균열진전의 지연에 상당히 기여하는 것으로 나타났다.

LDPE로 개질한 혼합물은 그리드 보강이 없이도 상당한 수명증진을 가져오는 것으로 나타났다. 그러나 LDPE 개질 혼합물에 그리드 보강은 더욱 큰 수명 증진을 나타냈다. 또한 DL10T\*, DL10TF\*는 일반 혼합물 DA에 비하여 각각 37.5배, 57.3배의 수명증진을 가져와 LDPE 개질에 그리드 보강은 반사균열 제어에 상당한 효과가 있는 것으로 나타났다.

수직균열 진전비도 일반 혼합물 DA에 비해 DL10T\*, DL10TF\* 는 각각  $0.89 \times 10^{-3}$  mm/cycle,  $0.59 \times 10^{-3}$  mm/cycle로 나타나 반사균열 지연에 상당한 효과가 있는 것으로 나타났다. 또한 일반 혼합물의 수평변위 2.63mm에 비하여 2.59mm와 2.18mm로 나타나 수평변위 확장의 예방에도 상당한 효과가 있는 것으로 판단된다.

SBS로 개질되어 상용화된 PG76-22 바인더를 사용한 혼합물에서도 일반 혼합물에 비해 수명증진 효과를 가져왔고 거기에 그리드 보강의 효과도 있는 것으로 나타났다. 그러나 SBS로 개질되어 상용화된 PG76-22 바인더를 사용한 혼합물의 반사균열 저항성은 LDPE 혼합물에 비해 효과가 적은 것으로 나타났다.

Table4. Result of mode II test

Mixture	Fatigue life (cycle)	Final horizontal displacement(mm)	Vertical crack growth rate (mm/cycle)
DA	1,500	2.63	$0.33 \times 10^{-3}$
DA10T*	6,750	2.82	$7.40 \times 10^{-3}$
DA10TF*	39,250	2.26	$1.40 \times 10^{-3}$
DL	29,500	4.16	$1.70 \times 10^{-3}$
DL10T*	56,250	2.59	$0.89 \times 10^{-3}$
DL10TF*	86,000	2.18	$0.59 \times 10^{-3}$
DP	16,250	3.23	$3.20 \times 10^{-3}$
DP10T*	35,500	3.13	$1.40 \times 10^{-3}$
DP10TF*	46,750	2.88	$1.10 \times 10^{-3}$

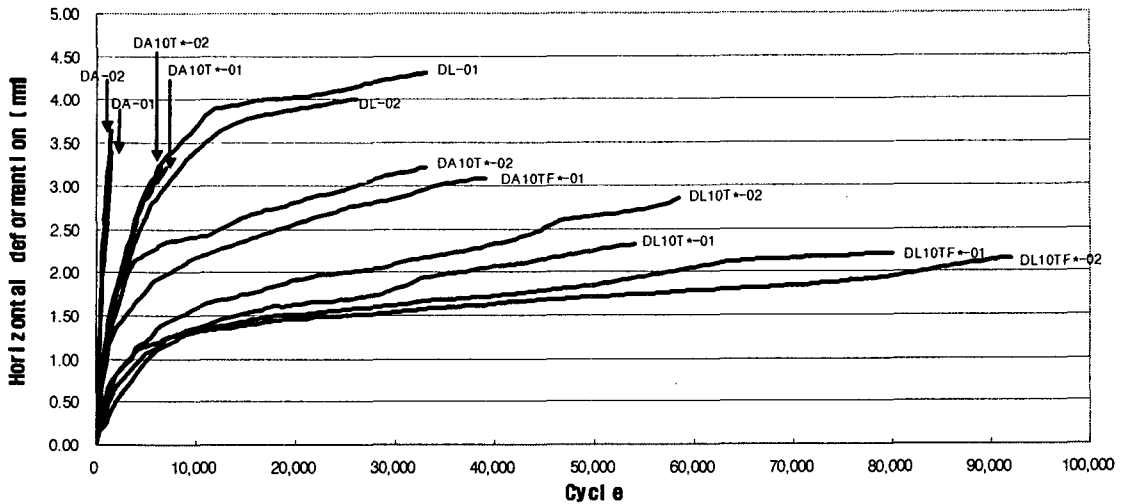


Figure 5. Horizontal deformation Vertical crack propagation and cycle by mode II (DA, DL)

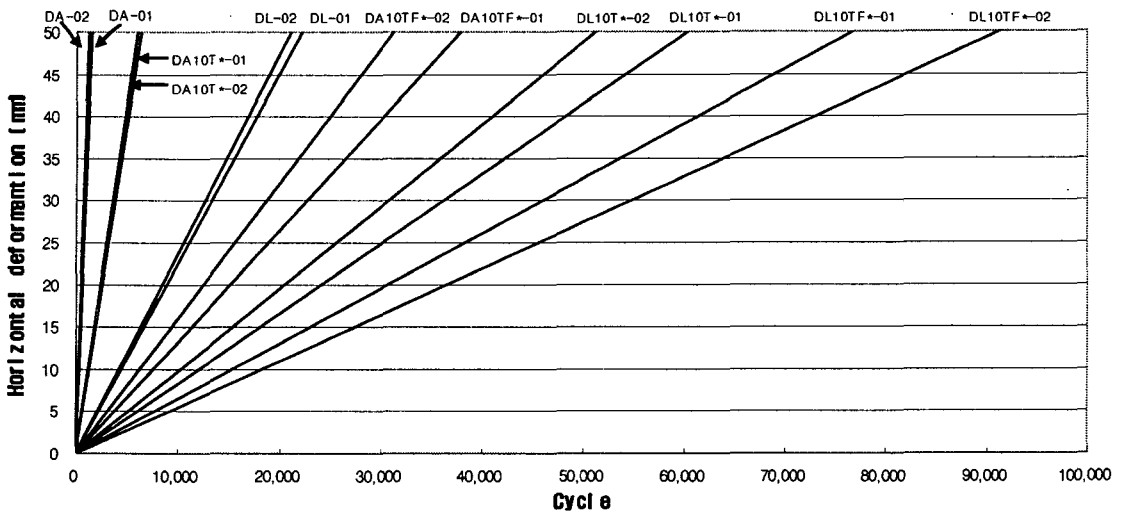


Figure 6. Horizontal deformation Vertical crack propagation and cycle by mode II (DA, DL)

### 5. 결론

반사균열 억제를 위하여 개질제를 첨가한 혼합물로 덧씌울 때 그리드 (grid)의 바닥 보강과 보다 인장 성능이 우수한 개질아스팔트를 사용하여 휨 파괴 반사균열의 저항성을 비교 분석하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. LDPE 개질 아스팔트의 사용은 마찰 특성 및 역학적 특성인 인장강도의 향상을 가져왔다.
2. 그리드의 바닥 보강은 혼합물의 하부에 운하중에 의한 휨 인장 응력을 억제하여 반사균열 생성 및



진전을 지연시키는 것을 확인 하였다.

3. 혼합물의 LDPE 개질만으로도 반사균열 억제와 포장 수명 증진이 가능하다는 것을 확인 하였다.
4. LDPE 개질 및 그리드 보강의 조합은 상당한 반사균열 지연 효과가 있는 것으로 나타났다.
5. 본 연구결과 혼합모드 반사균열 저항성에 대한 우수한 혼합물은 DL10TF\*로 나타났다.

#### 참고문헌

1. 김광우, 안경애, 도영수, 조희원, 정규동, 이상범, “내변형 폴리머 개질 아스팔트 혼합물 개발,” 강원대학교 석재복합 신소재제품 연구센터 연구보고서, 제2집.1997
2. 김광우, 이석근, 도영수, 임성빈, 이상범, “개질 · 보강재에 의한 아스팔트 혼합물의 반사균열 제어 효과,” 아스팔트 포장공학의 첨단기술 심포지엄 논문집, 강원대학교 석재복합신소재제품연구센터, pp 229-256. 1998
3. 김광우, 이성훈, 도영수, 이순제, “아스팔트 콘크리트의 역학적 특성과 결합재 성능과의 관계구명,” 석재연 논문집, 제 5 집, 강원대학교 석재복합 신소재제품 연구센터, pp.63-74. 2000
4. 김광우, 이석근, 도영수, 임성빈, 이상범, “개질 · 보강재에 의한 아스팔트 혼합물의 반사균열 제어효과,” 아스팔트 포장공학의 첨단기술 심포지엄 논문집, 강원대학교 석재복합 신소재 제품 연구센터, pp. 229-256. 1998
5. 도영수, “보강 덧씌우기 아스팔트 콘크리트의 반사균열 피로 수명 추정 연구,” 강원대학교 대학원, 박사학위 논문, 2000