

바인더 개질 및 그리드 바닥 보강 혼합물의 반사균열 저항성

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

도영수* · 권오선** · 정재현*** · 이종섭**** · 김광우*****

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

1. 서론

국내의 경우 포틀랜드 시멘트 콘크리트 (Portland cement concrete: PCC) 포장은 1980년대 중반부터 채택되어 최근에는 고속도로의 2/3정도가 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 유지관리 조치가 필요하다 반사균열은 PCC 포장 위에 덧씌워진 아스팔트 포장의 주요 손상 메커니즘 중의 하나이다. 반사균열은 특히 두 가지 요인으로 발생한다. 즉, 하나는 환경적 요인으로 인한 PCC 슬래브의 수평이동, 다른 하나는 차량 율하중의 반복재하에 의한 수평 수직 이동이다. 환경적 요인으로 인한 PCC 슬래브의 수축·팽창은 율하중에 의해 발생하는 휨 (Bending) 인장과 함께 PCC 슬래브의 균열 상단에 있는 아스팔트 덧씌우기 층에 휨 파괴(Mode I failure)를 유발한다 또한 이동하는 율하중은 PCC 슬래브의 균열이나 줄눈을 가로질러 통과하면서 순간적으로 아스팔트 덧씌우기 층에 휨 파괴 (Mode I failure) 및 전단파괴 (Mode II failure)를 야기한다. 포장층이 응력을 받을 때 균열 바로 위의 아스팔트 덧씌우기층 바닥의 한 점은 균열의 선단이 된다. 이점에서는 높은 응력집중이 야기되고 결국 아스팔트 덧씌우기 층의 균열은 이 곳에서부터 발생하여 위로 진전한다. 따라서 이 두 가지 파괴 모드는 모두 균열 위의 아스팔트 층에 치명적인 역할을 하여 반사균열을 생성·진전시킨다 하려 한다

본 연구의 목적은 개질 바인더와 그리드 바닥 보강한 혼합물에 대하여 휨 모드(Mode I failure) 반사균열 저항성을 비교 분석 하는 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 개질제는 Low-density polyethylene(LDPE) 사용하였으며 아스팔

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

** 정희원 · 한국도로공사 교통기술연구원 포장연구그룹 · 공학석사 · 031-371-3437(E-mail : kos2461@hanmail.net)

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

**** 정희원 · 강원대학교 지역기반공학과 석사과정 · 공학사 · 033-250-7284 (E-mail : jura_79_@hanmail.net)

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

트 함량의 6%를 첨가하여 개질 아스팔트를 제작하였다.

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

이들 상기 골재와 바인더를 사용하여 마샬 배합설계를 통해 기준을 건설교통부 13mm 밀입도 혼합물로 양면 75회 다짐하여 최적 아스팔트함량(Optimum asphalt content: OAC)을 결정하였고 이 OAC로 슬래브 혼합물을 제조하여 각 시험에 사용하였다

2.12 보강그리드

일반적으로 외국에서는 반사균열 억제를 위하여 아스팔트 혼합물의 하부에 그리드 및 매트 등을 보강하여 많이 사용한다. 본 연구의 보강 그리드로는 국내 S사의 5T/5T-Fabric(5TF), 5T/10T-Fabric(10TF), 5T/10T(10T), 10T/10T- Fabric(10TF*) 4종과 그리고 · 외산 2종으로 Canada B사의 (B10T), Japan sheet(JS)를 사용하였으며 보강재의 부착제로는 양이온계 유화아스팔트인 RS(C)-4를 사용하였다, 그리드의 형태와 물리적 특성, 혼합물의 물리적 특성은 Figure 1~2 과 Table 1~3과 같다.

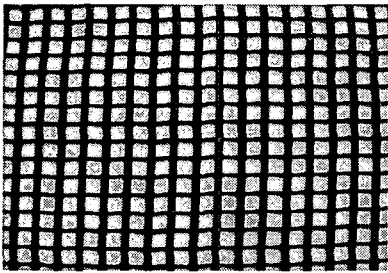


Figure 1. 5T/10T Glass roving(10T)

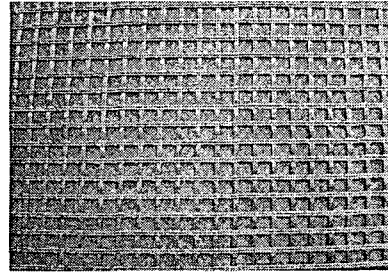


Figure 2. 10T/10T Glass roving and spun bonded(10TF*)

Table 1. Physical properties of domestic products

Product	Fabric Attached Grid			Glass Grid
	(5T/5T)	(5T/10T)	(10T/10T)	(5T/10T)
Fiber used	Glass roving + Spun bonded nonwoven (polypropyle)			Glass roving
Coating material	Asphalt			
Mass/Unit area (g/m ²)	300	350	250	300
Aperture size (mm)	14.0 × 16.0		14.0 × 12.50	14.0 × 16.0
Rib density (unit/m)	MD	71	78	71
	CD	59	78	59
Tensile strength (t/m)	MD	5	10	5
	CD	5	10	10
Elongation at break (%)	MD	<5	<4	<5
	CD	<5	<4	<5



Table 2. Physical properties of foreign product (B10T)

Property	Value
Tensile Force (kgf/m)	20 × 10
Mesh size (mm)	12.5 × 12.5
Unit weight (g/m ²)	560
Melting point (°C)	1,000
Modulus of elasticity (kgf/cm ²)	700,000

Table 3. Physical properties of foreign product Japan sheet (JS)

Property		Value
Tensile strength (t/m)	MD	7.38
	CD	8.03
Elongation at break (%)	MD	2.9
	CD	3.3

2.2 시험 공시체 제작

반사균열 휨 모드 시험을 위해 사용된 공시체의 최적아스팔트 함량은 마샬배합설계를 통하여 최적 아스팔트 함량을 결정된 함량을 사용하였다. 반사균열 휨 모드 시험에 사용된 바닥 보강 슬래브는 그리드를 미리 슬래브 몰드 바닥에 깔고 가열 아스팔트 혼합물을 몰드에 부은 후 롤러 가압다짐기를 이용하여 공시체와 일체화되도록 하여 다짐하였다. 슬래브 공시체의 공극률은 4.0±0.5%로 하여 시험을 수행하였다. 304×304×50mm 의 크기로, 제작된 슬래브 공시체는 24시간 양생 후 반사균열 시험에 필요한 크기로 절단되어 실험을 위한 시험체로 사용되었다.

또한 실제 현장의 아스팔트 콘크리트 포장 층이 아래의 기존 PCC 포장 층에 접착된 상태를 모사하기 위하여 PCC 블록 위에 아스팔트 유제(RSC-4)를 사용하여 시험 공시체의 하부와 부착하였다. 이 때 PCC 포장의 줄눈(또는 균열)을 모사하기 위하여 PCC 블록의 중앙부에 10mm 간격(Gap)을 두고 아스팔트 콘크리트 공시체와 부착하였다. 이 10mm 간격은 실제 현장 포장의 노후된 PCC 포장의 비교적 큰 간격의 줄눈(또는 균열)과 유사한 크기로 반사균열 촉진 시험의 효율을 높이기 위해 설정된 값이다 Table 4 는 본 실험에 사용된 공시체 명칭이다.

Table 4. Description of test body

Designation	Description
DAP	Dense-graded normal asphalt mixture
DAP5TF	5TF-reinforced DAP mixture
DAP10TF	10TF-reinforced DAP mixture
DAP10T	10T-reinforced DAP mixture
DAP10TF*	10TF*-reinforced DAP mixture
DAPB10T	Canadian Bayex 10T-reinforced DAP mixture
DAPJS	Japanese Sheet-reinforced DAP mixture
DL	Dense-graded LDPE-modified asphalt mixture
DL5TF	5TF-reinforced DL mixture
DL10TF	10TF-reinforced DL mixture
DL10T	10T-reinforced DL mixture
DL10TF*	10TF*-reinforced DL mixture
DLB10T	Canadian Bayex 10T-reinforced DL mixture
DLJS	Japanene Sheet-reinforced DL mixture

3. 반사균열 휨 모드 (mode I) 시험 방법

PCC 포장의 균열 선단 위에 아스팔트 콘크리트 덧씌우기 포장 상태를 모사하기 위하여 아스팔트 보 공시체를 두께 100mm, 폭 100mm, 길이 340mm의 불연속 시멘트 콘크리트 블록 위에 아스팔트 유제를 사용해 덧씌우기 형태로 부착하였으며, 시멘트 콘크리트는 상면으로부터 1/3 깊이까지 10mm 폭의 균열을 두었다. PCC 층 하부는 포장의 탄성지지를 모사하기 위하여 10mm 두께의 고무패드를 바닥에 깔았으며, 시험장비는 유압식 재료시험기(Instron 8516)을 이용하여 Haversquare 반복하중을 10Hz로 하여 아스팔트 보 공시체에

재하하였다. 이때 아스팔트 보 공시체의 상면에 편심재하가 되지 않도록 구슬이 있는 직경 80mm 원형 하중판을 사용하였고, 타이어나 포장 표면의 접촉을 모사하기 위하여 얇은 고무 패드(1mm)를 하중 판과 공시체 사이에 삽입하여 급속이 직접 아스팔트 혼합물 표면에 닿는 것을 방지하였다. 하중은 100psi의 타이어나 압력을 모사하기 위하여 352kgf의 반복 하중을 그리고 반복하중의 재하 동안에 하중 판이 공시체로부터 이탈되는 것을 방지하기 위하여 20kgf의 최소하중을 적용하였다. 시험온도는 25℃에서 수행하였다.

아스팔트 보 공시체의 수평변위는 보의 한 면에 설치된 Extensometer를 이용하여 하중의 반복횟수에 따라 측정하였다. 또한 반사균열 진전의 육안 관찰을 용이하게 하기 위하여 보의 한쪽 면에 백색 수성 페인트를 칠하였으며, 수직균열이 아스팔트 보 공시체의 전체 높이에 도달할 때까지 시험을 수행하였다. 시험 과정에서 수평변위와 수직균열 진전은 누적하중 주기수에 따라 측정하였다. 각각의 혼합물에 대하여 두개의 공시체로 시험을 수행하였다. Figure 3과 4는 반사균열 휨 파괴 모드 시험을 위해 사용된 장비와 시험 공시체를 거치한 사진을 보여준다

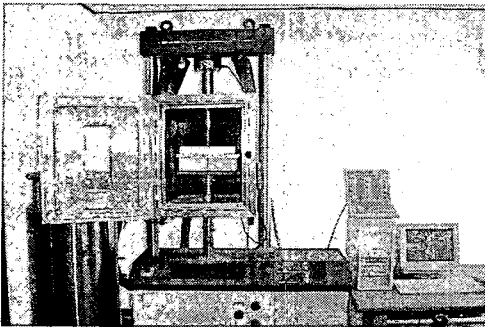


Figure 3. Instron 8516

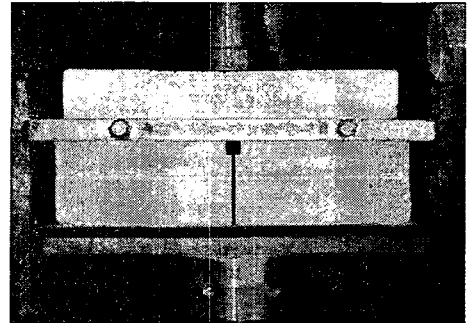


Figure 4. Flexural failure test setup(mode I test)

4. 결과 및 고찰

4.1 혼합물의 물성

Table 5의 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 5. Marshall properties of each mixture at OAC

Mixture	Spec	AP-5	LDPE-modified
OAC (%)	-	5.2	5.3
Air void (%)	3~5	4.12	3.77
VMA (%)	above 14	16.22	16.11
VFA (%)	75~85	76.69	76.93
Flow (0.01cm)	20~40	32	35
Marshall stability (kgf)	above 750	1286	1469
ITS (kgf/cm ²)	-	13.1	15.1
Stiffness index (kgf/mm)	-	677	761

Table 6의 모든 수치들은 시험된 두 개 공시체에 대한 평균값이다. 일반아스팔트 혼합물의 피로수명은 단지 58,500 cycle인 것으로 나타났다. 그러나 일반 혼합물의 그리드 바닥에 그리드의 보강은 상당한 수명 증진을 가져오는 것으로 나타났다. 보강 그리드 중에서도 특히 10T, B10T가 각각 6.1배와 8.1배의 수명 증진을 가져왔다. 최종 수평 변위도 그리드 보강으로 인하여 적게 나타났다. 게다가 일반 혼합물의 수직균열진전비가 0.9×10^{-3} mm를 나타낸 반면에 10T의 보강은 1 cycle에 대하여 1.5×10^{-3} mm로 더디게 진전하여 반사균열진전의



지연에 상당히 기여하는 것으로 나타났다.

Table 6. Result of mode I test

Mixture	Fatigue life (cycle)	Final horizontal displacement(mm)	Vertical crack growth rate (mm/cycle)
DAP	58,500	1.10	0.9×10^{-3}
DAP5TF	110,000	1.09	0.40×10^{-3}
DAP10TF	307,000	0.95	0.20×10^{-3}
DAP10T	362,000	0.81	0.15×10^{-3}
DAP10TF*	134,500	0.97	0.40×10^{-3}
DAPB10T	475,000	0.57	0.10×10^{-3}
DAJS	252,000	0.91	0.35×10^{-3}

Mixture	Fatigue life (cycle)	Final horizontal displacement(mm)	Vertical crack growth rate (mm/cycle)
DL	553,500	0.38	0.09×10^{-3}
DL5TF	612,500	0.70	0.08×10^{-3}
DL10TF	580,000	1.07	0.09×10^{-3}
DL10T	690,000	0.82	0.08×10^{-3}
DL10TF*	607,500	0.79	0.08×10^{-3}
DLB10T	1,000,000	0.89	0.05×10^{-3}
DLJS	452,500	2.37	0.12×10^{-3}

LDPE로 개질한 혼합물은 그리드의 보강이 없이도 상당한 수명증진을 가져오는 것으로 나타났다. 즉, 일반 혼합물에 그리드 보강 혼합물 보다도 큰 수명 증진을 가져오는 것이 나타났다 또한 LDPE 개질 혼합물에 그리드 보강은 더욱 큰 수명 증진을 나타냈다. 모든 개질 혼합물이 일반 혼합물 DAP에 비하여 9~ 20 배의 수명증진을 가져와 LDPE 개질에 그리드 보강은 반사균열 제어에 상당한 효과가 있는 것으로 나타났다. 수직균열 진전비도 0.8×10^{-3} mm로 나타나 반사균열 지연에 상당한 효과가 있는 것으로 나타났다. 또한 수평 변위도 일반 혼합물의 수평변위 1.10mm에 비하여 작게 나타나 수평변위 확장의 예방에도 큰 효과가 있는 것으로 판단된다. figure 5~ 6은 각각 일반 혼합물에 그리드 보강 혼합물과 LDPE 개질 혼합물에 그리드 보강 혼합물의 수평변위 및 수직균열 진전을 보여준다

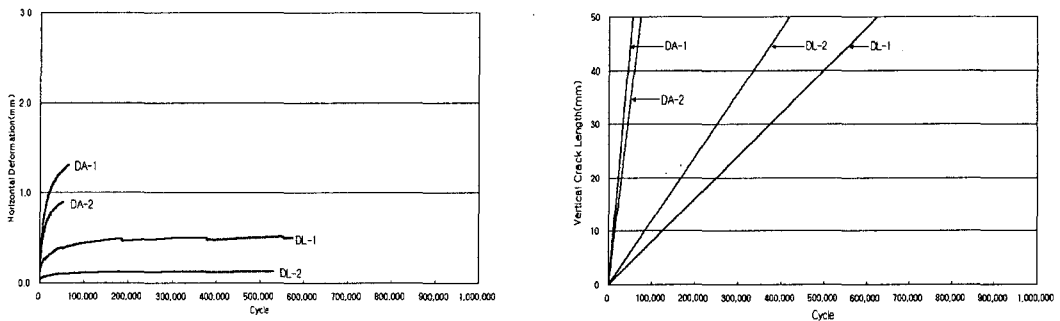


Figure 5. Horizontal deformation Vertical crack propagation and cycle by mode I (DA, DL)

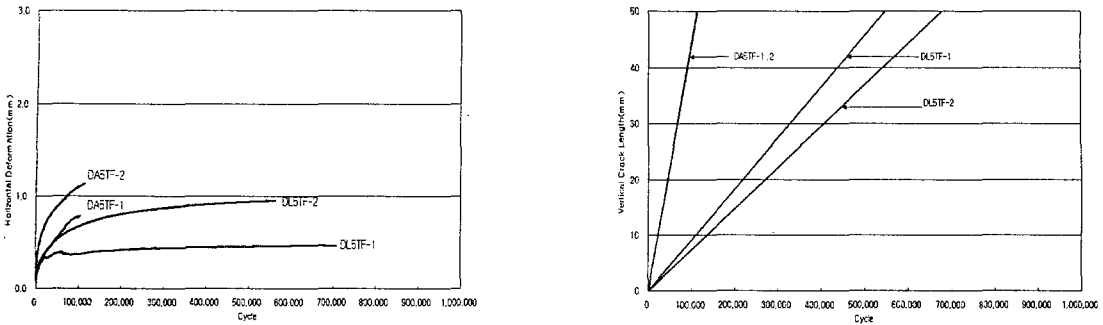


Figure 6. Horizontal deformation Vertical crack propagation and cycle by mode I (5TF)

5. 결론

반사균열 억제를 위하여 개질제를 첨가한 혼합물로 덧씌울 때 그리드 (grid)의 바닥 보강과 과 보강 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 가져 왔다.
2. 그리드의 바닥 보강은 혼합물의 하부에 운하중에 의한 휨 인장 응력을 억제하여 반사균열 생성 및 진전을 지연 시키는 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.

참고문헌

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