



한국도로포장공학회지
第1卷 1號 1999年 10月
pp. 85 ~ 96

개질재 · 보강재를 이용한 덧씌우기 아스팔트 포장의 반사균열 지연 효과

Efficiency of Retarding Reflection Crack in Reinforced-and-Modified Asphalt Pavement Overlay

김광우* · 도영수** · 임성빈*** · 이석근**** · 엄주용*****

Kim, Kwang Woo · Doh, Young Soo · Lim, Sung Bin · Rhee, Suk Keun,
and Eum, Joo Yong

ABSTRACT

This study was performed to evaluate performance of polymer-modified asphalt mixtures and specially designed reinforcement techniques against reflection cracking of the asphalt pavement overlay. Selected polymers were used for asphalt modification and polyester fiber, a polypropylene film (vinyl) and a grid were used for mixture reinforcement. Using the asphalt mixture with optimum asphalt content, a slab was made and cut into two pieces of specimen. A layer of grid or vinyl was placed at the bottom of specimen to strengthen the pavement layer against crack. A repeated loading was applied to the asphalt mixture specimen which is placed on a cement concrete with a pseudo-crack. Crack propagation under repeated loading was monitored and effectiveness of the devised crack retarding techniques was evaluated. From the test results, a significant retardation of mode I crack progress was monitored from some of the modified and reinforced asphalt mixtures.

Keyword : reflection crack, modified asphalt, asphalt overlay, reinforced asphalt mixtures

요 지

본 연구는 아스팔트 콘크리트 덧씌우기에서 야기되는 반사균열에 대한 저항성을 향상시키기 위하여 개질재 및 보강재를 사용하여 제조한 혼합물의 성능을 평가하기 위하여 수행하였다. 아스팔트 개질재로는 LDPE와 SBS 및 카본블랙을 이용하였고, 보강재로는 합성섬유(PF), 비닐(PV), 그리드(GG)를 이용하였다. 배합설계를 통해 얻은 최적아스팔트 함량으로 아스팔트 혼합물 슬래브를 제조하였다. 아스팔트 혼합물을 몰드에 붓기 전에 몰드 바닥에 비닐이나 그리드를 미리 깔아 보강 층으로서 만들었다. 갭(균열)이 있는 시멘트 콘크리트 위에 부착된 아스팔트 혼합물 공시체에 유압식 동적하중기를 이용하여 반복하중을 재하였다. 반복하중에서 균열진전을 측정하여 각 처리 혼합물의 균열 지연효과를 평가하였다.

* 정회원, 강원대학교 농공학부 부교수

** 정회원, 강원대학교 대학원 박사과정

*** 정회원, (주) 회송지오택

**** 정회원, 경희대학교 토목공학과 부교수

***** 정회원, 한국도로공사 수석연구원



본 연구의 시험 결과로부터 특정 조합의 아스팔트 혼합물이 휨 파괴(Mode I)에 의한 반사균열 지연에 상당히 효과적인 것으로 나타났다.

핵심용어 : 반사균열, 개질아스팔트, 아스팔트 덧씌우기, 보강 아스팔트 혼합물.

1. 서 론

노화된 시멘트 콘크리트 도로 포장을 개보수하여 공용기간을 연장하는 방법의 하나로 아스팔트 덧씌우기 공법이 이용되고 있다. 그러나 시멘트 콘크리트 포장을 아스팔트 혼합물로 덧씌우기 한 경우, 기존 포장의 균열이나 줄눈에 의한 반사균열이 주요 손상 원인 중의 하나이며 공용성과 수명을 저해하는 가장 큰 요인이다.

반사균열의 발생과 진전의 주된 원인은 차량으로 인한 윤택중과 온도변화에 따른 콘크리트의 수축·팽창에 의한 슬래브의 수평적 이동이다. 슬래브의 수축은 균열 상단의 아스팔트 층에 인장응력을 유발하며 윤택중에 의해 발생하는 휨(Bending)과 함께 파괴 모드 I 균열을 유발한다. 또한 기존 포장의 균열 바로 위를 가로지르는 윤택중은 아스팔트 층 바닥에 수직방향으로 전단응력을 야기하여 파괴 모드 II 균열을 유발한다 (김 등, 1998, Kim 등, 1998, Srivastava 등, 1992, Molenaar, 1984, Treybig 등, 1977).

포장이 하중을 받을 때 기존 콘크리트 포장의 균열이나 줄눈 바로 위의 덧씌우기 아스팔트 콘크리트 층 바닥은 균열 선단이 된다. 이곳에는 응력집중이 야기되고 결국 균열은 이 곳에서부터 진전한다.

외국에서는 노화된 포장에 덧씌워진 아스팔트 층의 반사균열을 저지하고 지연하기 위한 노력으로 많은 연구가 수행되어 왔다(Srivastava 등 1992, Molenaar, 1984, Treybig 등, 1977, Radovsky 등, 1996, Sousa 등, 1996, Jenq 등, 1993). 국내의 경우 사용연한에 가까운 도로를 중심으로 아스팔트 덧씌우기 문제가 제기되고 있으며 이는 앞으로 점차 증가할 것으로 예상되

므로 노면 반사균열 억제에 대한 연구가 매우 시급한 실정이다.

하지만 국내에서는 아직 반사균열 저지를 위한 연구가 수행되어 있지 않아 서둘러 체계적인 연구를 시작해야 할 시점이다. 따라서 본 연구는 반사균열에 관한 연구중 기초적인 실내 시험의 한가지로써 윤택중에 의한 휨응력으로부터 야기되는 반사균열(파괴모드 I) 시험을 수행코자 하였다. 본 연구의 목적은 개질아스팔트 혼합물 및 보강된 혼합물의 반사균열 저항 특성을 비교 검토하여 보다 저항성이 우수한 재료의 조합을 선정하는 것이다. 아스팔트 혼합물은 개질재(LDPE, SBS, Carbon Black)와 합성섬유(Polyester fiber)를 이용하여 만들었으며 이 혼합물로 슬래브 공시체를 제작시 몰드 바닥에 비닐이나 Glass fiber grid를 깔아 보강층을 만들었다. 본 실내 시험 연구로부터 얻어지는 결과는 현장 시험시공용 재료의 선정에 활용될 예정이다.

2. 재료 및 방법

1) 재 료

본 연구에서 사용된 아스팔트는 국내 S사에서 생산되는 침입도 등급 85-100인 AP-3 아스팔트를 사용하였다. 아스팔트 개질용 폴리머는 외국에서도 많이 사용된 예가 있는 카본블랙(CB), LDPE(Low-density polyethylene), SBS(Styrene-butadiene-styrene) 이고 이것은 국내에서 생산되는 가루형태의 재료들이다. 그리고 보강 재료는 아스팔트 혼합물용 Polyester fiber(PF), Polypropylene film(vinyl: PV)과 Glass fiber grid(GG)를 이용하였다. LDPE와



CB는 각각 아스팔트 중량의 6%와 10%, SBS는 아스팔트 중량의 5%를 사용하였다. 또한 PF는 전체 혼합물 중량에 0.35%를 사용하였다.

비닐(PV)의 두께는 0.2mm이고 합성섬유(PF)의 길이는 6mm 이며 그리드(GG)의 특성은 Table 1과 같다. 개질아스팔트는 고성능 전단 믹서를 이용하여 미리 제조하였다. PF는 혼합 전 골재에 섞어 사용하였다. 그리드와 비닐은 미리 몰드 바닥에 깔고 가열 혼합물을 몰드에 넣은 후 다짐을 하여 공시체와 일체화되게 하였다. Table 2는 각 혼합물 이름과 사용된 재

료를 설명한다.

아스팔트 혼합물 보강재로 합성섬유나 그리드의 사용은 새로운 방법이 아니다. 하지만 비닐의 사용은 본 연구에서 고안된 새로운 방법인데 이는 과거의 연구 (Kim 등 1996)에서 폴리머 코팅으로 아스팔트 층 하단을 보강하였을 때 상당한 효과를 얻었던 점으로부터 힌트를 얻은 것이다. 즉 폴리머 코팅보다는 인장성질이 더 우수한 0.2mm 두께의 비닐을 아스팔트 혼합물의 바닥에 부착함으로써 보강 효과를 얻기 위한 것이다.

Table 1. Physical properties of glass grid

Tensile Force	Mesh size	Unit weight	Melting point	Modulus of elasticity
20kg/cm × 10kg/cm	12.5cm × 12.5cm	560g/m ²	1,000°C	700,000kg/cm ²

Table 2. Description of various asphalt mixture

Mixture	Description
AP	Normal asphalt mixture
APF	Polyester fiber(PF) reinforced AP mixture
APG	Glass fiber grid(GG) reinforced AP mixture
APV	Polypropylene vinyl(PV) reinforced AP mixture
LC	LDPE and CB modified asphalt mixture
LCG	GG reinforced LC mixture
LCV	PV reinforced LC mixture
LCF	PF reinforced LC mixture
LCFG	PF and GG reinforced LC mixture
LCFV	PF and PV reinforced LC mixture
S	SBS modified asphalt mixture
SG	GG reinforced S mixture
SV	PV reinforced S mixture
SF	PF reinforced S mixture
SFG	PF and GG reinforced S mixture
SFV	PF and PV reinforced S mixture



덧섞이기 아스팔트 혼합물에 최적인 골재를 선정하기 위하여 예비실험을 통하여 최대치수 19mm인 세 가지 골재를 조사하였다(화강암, 편마암-1, 편마암-2). 그 결과 편마암-1의 굵은골재와 잔골재가 밀입도 아스팔트 혼합물에 대해 최적인 골재로 선정되었다(포장 균열 및.... 1997). Table 3은 도로공사에서 주어진 규정(건설교통부제정.... 1996)과 본 연구에서 사용된 편마암 골재의 입도를 보여주고 Table 4는 골재의 물리적 특성을 보여준다.

2) 방법

각 혼합물별로 마찰배합설계를 수행하여 최적 아스팔트 함량을 결정하고 이 함량으로 간접인장강도용 마찰공시체 및 슬래브 공시체를 제조하였다. 각 혼합물의 마찰안정도, 공극률, 흐름치와 간접인장강도(Indirect tensile strength : ITS)는 표준 시험 방법에 의해 측정하였다. 1톤 소형 진동로울러 다짐기를 이용하여 340mm × 240mm × 53mm의 슬래브 공시체를 제작하여 이를 절단기를 이용하여 길이 방향으로 잘라 2개의 보 공시체로 만들었다.

콘크리트 포장에서 균열 선단 위에 아스팔트 포장 상태를 모사하기 위하여, 아스팔트 보 공시체를 두께 100mm, 폭 120mm, 길이 340mm의 불연속 콘크리트 블록 위에 덧섞이기 형태로 부착하였다. 콘크리트에는 상면으로부터 2/3 깊이 까지 10mm 틈 (균열)을 만들고 그 상면에 텍코팅으로 아스팔트 보 공시체를 부착하였다(Fig. 1).

현장에서의 콘크리트 바닥의 탄성지지를 모사하기 위하여 10mm 두께의 고무 패드를 콘크리트 바닥에 깔았다. 주기적인 Haversquare 하중을 유압식 재료시험기 (Instron 8516)를 이용하여 10Hz 속도로 직경 100mm 원형 하중 판을 통하여 아스팔트 보 공시체의 상면에 재하하였다. 타이어와 포장 표면의 접촉을 모사하기 위하여 얇은 고무 패드를 하중 판과 보 공시체 사이의 경계면에 삽입하였다. 최대 하중은 7kg/cm² (100psi)의 타이어 압력을 야기하기 위하여 550kg을 적용하였다. 동적하중을 재하하는 동안에 하중 판이 공시체로부터 이탈되는 것을 방지하기 위하여 20kg의 최소하중을 적용하였다. 이 시험은 온도 조절 챔버에서 20°C를 유지하며 수

Table 3. Specification limits of Korea Highway Corps for dense graded asphalt mixture and gradation of 19mm gneiss aggregate

Sieve size		25mm	19mm	13mm	# 4	# 8	# 30	# 50	# 100	# 200
Passing percent (%)	Spec.	100	95-100	75-90	45-65	35-50	18-30	10-21	6-16	4-8
	Gneiss	100	99.1	78.3	52.3	40.1	22.6	17.0	11.6	7.73

Table 4. Physical properties of gneiss aggregate

Classification	Specification	Gneiss
Specific gravity	> 2.5	2.72
Abration (%)	< 35	18.1
Absorption (%)	< 3.0	0.7



행하였다.

휨 (Mode I)에 의한 아스팔트 콘크리트 보의 수평변위는 보의 한 면에 설치된 Extensometer를 이용하여 하중의 반복횟수에 따라 측정하였다. 반사균열 진전의 육안 관찰을 용이하게 하기 위하여 보의 한쪽 면을 백색 수성 페인트로 칠하였다.

수직균열이 아스팔트 보 공시체의 전체 높이에 도달할 때까지 시험을 수행하였으며 시험 과정에서 수평변위와 수직균열 진전은 누적하중 주기수로서 측정하였다. 각각의 혼합물에 대하여 두 개의 공시체로 시험을 수행하였으며 Fig. 1은 휨 파괴 모드를 모사한 시험장치 및 공시체를

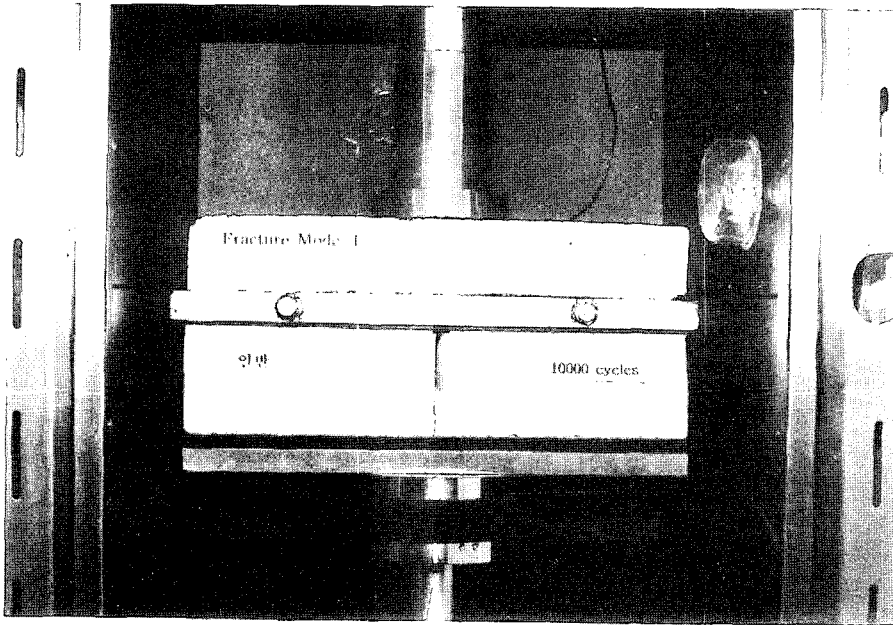


Fig. 1. Mode I reflection cracking test setup

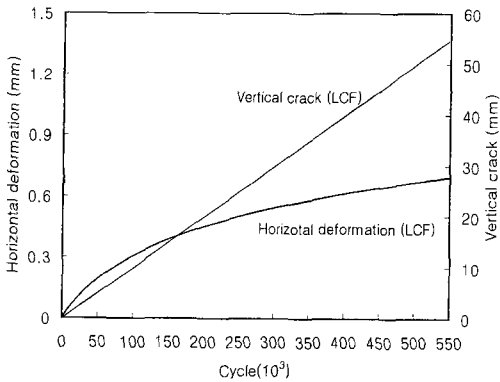


Fig. 2. Typical horizontal deformation and vertical crack propagation curve

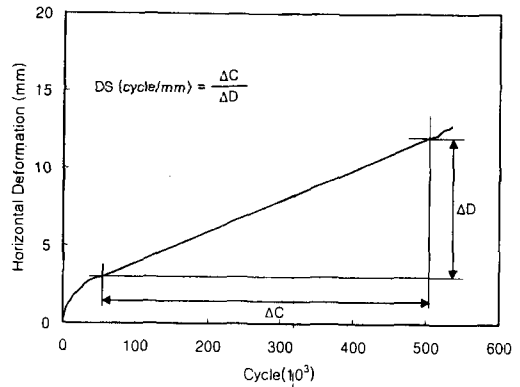


Fig. 3. Description of dynamic stability



보여주고 있다.

Fig. 2는 대표적인 수평변위와 수직균열 성장 곡선을 나타낸다. 수평변위와 하중재하수에 근거한 동적안정도(DS)는 Fig. 3에 설명한 것과 같이 기록된 데이터로부터 측정하였다. 이 값은 포장이 1mm 수평으로 변형하는데 얼마나 많은 하중재하수가 요구되는가를 설명한다.

3. 결과 및 고찰

1) 혼합물의 기본 특성

마살배합설계 결과로부터 최적아스팔트 함량(OAC)을 결정하였으며, Table 5는 각 혼합물의 최적아스팔트 함량에서의 특성을 나타낸다. 폴리머 개질재, 합성섬유 (Polyester fiber) 그리고 폴리머 개질재+합성섬유 등을 사용하여 보강한 혼합물의 마살특성 및 인장강도로부터 다음과 같은 점을 알 수 있었다.

첫째, 최적아스팔트 함량은 AP(무처리) 혼합물의 4.8%에 비해 LC 혼합물 경우가 4.5%로 낮아진 것을 제외하고 대개 AP 혼합물보다 다소 높은 것으로 나타났다. 둘째, 마살안정도는

LCF, LC, APF 혼합물이 각각 약 1,986kg, 1,781kg, 1,779kg 이상으로 높게 나타났다. 이는 LC에 의한 아스팔트 개질과 합성섬유 첨가가 혼합물의 결합력을 강화시키기 때문인 것으로 판단된다. S와 SF 혼합물의 경우에는 AP 혼합물보다 안정도의 향상이 없었다. 또한 수침후 잔류안정도비에서도 LC와 S 경우가 각각 95% 이상으로 나타나 개질아스팔트가 수침후에도 골재의 부착에 우수한 성능을 발휘하는 것으로 판단되었다. 셋째, 간접인장강도(ITS)는 LCF와 SF 혼합물의 경우 각각 11.6kg/cm² 및 10kg/cm²으로 나타나 여타 혼합물보다는 다소 높았으나 그 차이가 그리 크지 않았다.

2) 반사균열 저항성 평가

앞서 설명한 바와 같이, 휨 모드(Mode I) 균열진전 시험은 Table 2에 설명한 혼합물별로 각각 두 개씩의 공시체를 만들어 수행하였다.

Table 6은 각 시험 결과치들을 나타내며, 이 Table의 수치는 두 공시체에 대한 평균값을 나타낸다. 피로수명(Fatigue life)은 균열이 공시체 상단까지 도달한 하중 주기수를, 그리고 최종 수평변위는 최종 cycle에서의 변위를 나타낸다.

Table 5. Properties at optimum asphalt content of Polymer, PF and Polymer+PF mixtures

Mixture	OAC (%)	Air void (%)	VMA (%)	VFA (%)	Flow (0.1mm)	Marshall stability (kg)	ITS (kg/cm ²)	Retained stability (%)
Spec.*	-	3-5	above 14	75-85	20-40	above 750	-	-
AP	4.8	3.24	14.6	77.7	27	1618	8.45	76.9
APF	5.2	3.41	15.6	78.1	38	1779	8.9	77.3
LC	4.5	4.16	14.6	71.6	35	1781	8.9	95.8
LCF	5.0	3.69	15.3	75.9	35	1986	11.6	82.8
S	5.1	3.34	15.3	78.3	39	1407	9.7	99.8
SF	5.2	4.28	15.4	73.9	37	1618	10.0	91.8

* Specification limits for dense graded asphalt mixture by Korea Highway Corps and Asphalt Institute



수직균열 진전비는 각 공시체의 선형 회귀직선의 기울기로서 계산했다. AP 혼합물의 피로수명은 60,000cycle 인 것으로 나타난 반면에 APV와 APF는 AP에 비해 각각 2.75배와 8배가 연장된 것으로 나타났다. 이는 비닐과 그리드의 바닥 보강이 아스팔트 혼합물에 발생하는 응력집중을 완화시킴으로써 균열발생과 진전을 저지하는 역할을 하기 때문인 것으로 판단된다.

결합재별 혼합물의 피로수명을 비교하면, LC 및 S 혼합물이 AP 혼합물에 비하여 각각 8.25배와 7.25배의 수명 증가가 나타났다. 이는 개질아스팔트에 의한 혼합물의 결합력 강화에 따른 것으로 판단된다.

개질아스팔트와 일반아스팔트 혼합물의 바닥에 비닐을 보강한 혼합물의 수명 비교에서는 LCV와 SV가 APV보다 3배 이상 수명이 증가한

것으로 나타났고 AP에 비하여 9배 이상 큰 수명의 증가를 나타냈다. 개질아스팔트와 일반아스팔트 혼합물의 바닥에 그리드를 보강한 혼합물의 수명은 LCG, SG, APG 순으로 나타났으며, LCG와 SG는 AP에 비하여 11.2배와 10.4배의 수명 증가를 가져온 것으로 나타났다. 개질아스팔트에 합성섬유를 첨가한 LCF와 SF의 피로수명은 합성섬유를 첨가하지 않은 AP (무보강)에 비하여 상당히 큰 수명의 증가를 가져오는 것으로 나타났다.

개질아스팔트에 합성섬유를 첨가한 혼합물의 바닥에 비닐로 보강한 경우의 피로수명 비교에서는 LCFV와 SFV가 APV에 비하여 7.18배와 6.24배의 수명이 증가한 것으로 나타났으며, AP의 피로수명에 비하여 19.8배와 17배 수명의 증가를 가져오는 것으로 나타났다. 바닥 보강을

Table 6. Reflection crack propagation test results by flexible test.

Mixture	Fatigue life (cycle)	Final horizontal displacement(mm)	Horizontal DS (cycle/mm)	Vertical crack growth rate (mm/cycle)
AP	60.000	0.212	0.81×10^b	6.0×10^{-4}
APF	115.000	0.310	2.20×10^b	3.0×10^{-4}
APG	480.000	0.405	8.30×10^b	0.8×10^{-4}
APV	165.000	0.143	4.30×10^b	2.0×10^{-4}
LC	495.000	0.179	7.00×10^b	0.8×10^{-4}
LCG	675.000	0.155	10.41×10^b	0.7×10^{-4}
LCV	540.000	0.267	6.80×10^b	0.6×10^{-4}
LCF	980.000	0.357	13.20×10^b	0.4×10^{-4}
LCFG	1.500.000	0.268	24.40×10^b	0.1×10^{-4}
LCFV	1.185.000	0.254	16.40×10^b	0.4×10^{-4}
S	435.000	0.354	5.00×10^b	1.0×10^{-4}
SG	630.000	0.262	7.70×10^b	0.8×10^{-4}
SV	565.000	0.366	3.40×10^b	0.9×10^{-4}
SF	895.000	0.294	20.10×10^b	0.7×10^{-4}
SFG	1.395.000	0.316	17.10×10^b	0.4×10^{-4}
SFV	1.030.000	0.658	10.30×10^b	0.5×10^{-4}



비닐로 한 혼합물 중에서 반사균열 저지에 가장 효과적인 혼합물은 LCFV 혼합물인 것으로 나타났다. 폴리머 개질아스팔트에 합성섬유를 첨가한 혼합물의 바닥에 그리드로 보강한 경우의 피로수명 비교에서는 LCFG와 SFG가 APG에 비하여는 3배 가까이 증가한 것으로 나타났으나 AP의 피로수명에 비하여 25배와 23배로 큰 수명의 증가를 가져오는 것으로 나타났다.

위의 분석결과 개질아스팔트에 합성섬유를 첨가하여 제조한 혼합물의 바닥에 그리드와 비닐의 보강이 반사균열 저항성 향상에 상당한 효과가 있는 것으로 판단된다. 일반아스팔트 혼합물 바닥에 비닐과 그리드를 이용한 단순 보강은 바닥 보강을 하지 않은 LC 개질아스팔트 혼합물보다 반사균열저항에 덜 효과적인데 이는 개질아스팔트 혼합물에 의한 결합력 강화가 균열진전을 저감시키는데 더 효과적이기 때문인 것으로 판단된다. 전반적으로 혼합물의 바닥에 그리드의 보강은 비닐을 이용한 보강보다 반사균열을 지연시키는 데 더욱 효과적으로 나타났다. 전체적으로 보면, 그리드로 보강한 것은 LCFG가 가장 효과적이었고, 비닐로 보강한 것은 LCFV가 가장 효과적이었다. 즉 그리드나 비닐의 보강시 LDPE 개질아스팔트에 합성섬유를

첨가한 혼합물이 더욱 효과적임을 알 수 있었다.

Fig. 4와 5는 합성섬유를 첨가하지 않은 혼합물의 수평변위와 수직균열 진전 비교를 나타내고 Fig. 6과 7은 합성섬유를 첨가한 혼합물의 수평변위와 수직균열 진전 비교를 나타낸다. Fig. 4와 Fig. 6으로 부터, LC 혼합물들이 S 혼합물들보다 일반적으로 수평변위가 다소 작게 나타남을 알 수 있었다.

Table 6에 나타난 바와 같이, AP 혼합물의 동적안정도는 0.81×10^6 cycle/mm 인데 비하여 APG와 APV 혼합물은 각각 10.2배와 5.3배가 큰 것으로 나타나 혼합물의 바닥에 그리드나 비닐의 보강으로도 균열 진전에 의한 수평변위(균열의 확장)를 어느 정도 예방할 수 있는 것으로 판단되었다.

혼합물별 동적안정도는 LC, S, AP 순으로 큰 것으로 나타나, LC가 균열 진전에 의한 수평변위 확장을 저지하는 데 가장 효과적인 것으로 판단된다. 그리드 보강한 아스팔트별 혼합물의 동적안정도는 LCG가 가장 큰 것으로 나타났으며, AP에 비하여 12배가 큰 것으로 나타났다. 비닐로 보강한 아스팔트별 혼합물의 동적안정도는 그리드 보강한 것과 마찬가지로 LCV가 가장

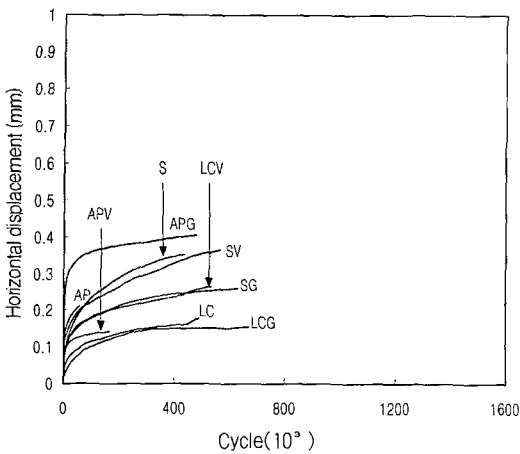


Fig. 4. Comparison of horizontal displacement of asphalt mixture without polyester fiber (Mode I)

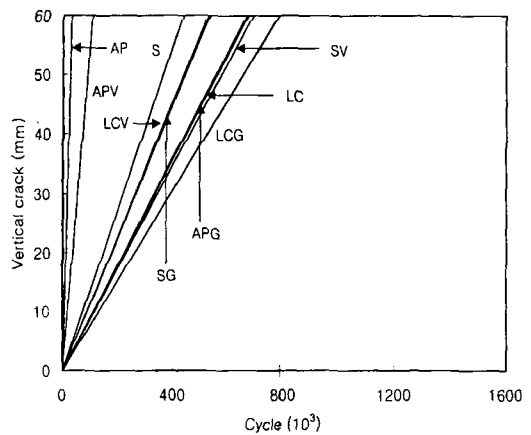


Fig. 5. Comparison of vertical crack growth of asphalt mixture without polyester fiber (Mode I)

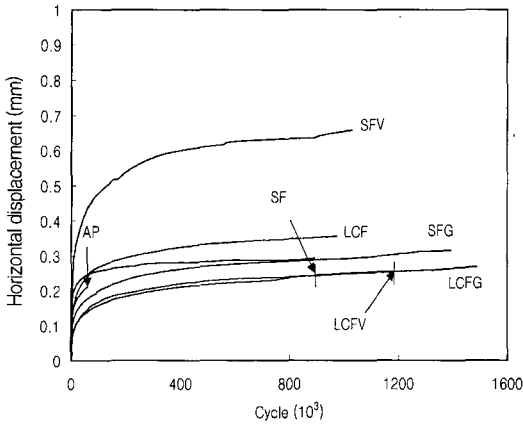


Fig. 6. Comparison of horizontal displacement of asphalt mixture with polyester fiber (Mode I)

크게 나타났다. APV의 동적안정도는 AP에 비해 큰 것으로 나타났지만 LC나 S에 비하여 낮은 것으로 나타났다. 이것은 일반아스팔트 혼합물의 바닥에 비닐의 단순 보강보다는 비닐 없이 개질아스팔트 혼합물의 사용이 더 효과적임을 보여준 것이다.

합성섬유의 첨가와 그리드와 비닐 보강에 따른 개질아스팔트 혼합물의 동적안정도는 그리드를 이용했을 경우는 LCFG가 24.4×10^6 cycle/mm로 가장 크며 일반아스팔트 혼합물 (AP)의 동적안정도에 비해 약 30배가 높게 나타났다. 비닐로 보강했을 경우는 LCFV가 16.4×10^6 cycle/mm로 나타났으며 일반아스팔트 혼합물의 동적안정도에 비해 약 13배가 더 크게 나타났다.

AP 혼합물의 수직균열 진전비는 6.0×10^{-4} mm/cycle로 가장 크게 나타났다. 이것은 하중 1cycle에 의해 수직균열이 6.0×10^{-4} mm가 진전한다는 것을 의미한다. 보강재를 사용하지 않은 혼합물 중에서는 LC 혼합물이 0.8×10^{-4} mm/cycle로 가장 작게 나타났다.

AP 혼합물의 바닥에 그리드의 보강이 비닐로 보강한 것보다 2.5배가 느리게 진전하는 것을 알 수 있었다. 개질아스팔트 혼합물의 바닥에

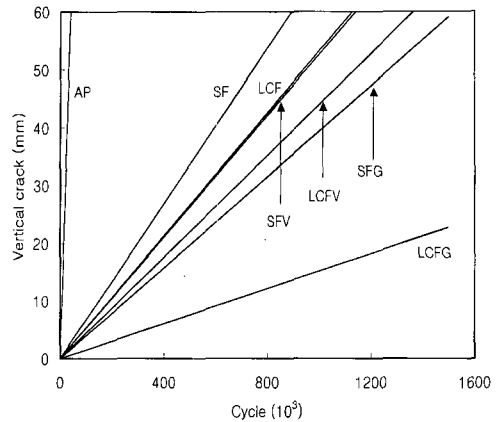


Fig. 7. Comparison of vertical crack growth of asphalt mixture with polyester fiber (Mode I)

그리드나 비닐 보강의 경우에, LC 혼합물의 바닥 보강이 S 혼합물의 바닥 보강보다 수직균열 진전비가 적은 것으로 나타나 LC 혼합물의 바닥 보강이 더 효과적임을 보여주었다. 합성섬유의 첨가에 따른 개질아스팔트 혼합물의 수직균열 진전비는 마찬가지로 LCF 혼합물이 더 효과적인 것으로 나타났다.

수직균열 진전비에 가장 효과적인 혼합물은 합성섬유의 첨가와 개질아스팔트 혼합물 바닥에 그리드를 단순 보강했을 경우인 LCFG이며 그 값은 0.1×10^{-4} mm/cycle로 일반아스팔트 혼합물과 비하여 아주 작으며, 이 값은 하중 1 cycle에 의해 수직균열이 0.1×10^{-4} mm이 성장한다는 것을 의미한다.

위의 반사균열 저항성에 대한 휨 모드 시험 자료를 분석한 결과를 종합하여 반사균열 저항성에 가장 효과적인 것이 LCFG이고, 다음으로 SFG, LCFV, SFV, LCF, SF 순으로 나타났다.

수직균열 진전의 육안 조사에서 하중의 반복 재하에 의하여 대부분의 아스팔트 혼합물의 공시체는 미세한 균열을 보였다. 바닥을 보강하지 않은 공시체의 수직균열은 공시체의 바닥에서부터 시작했지만, 보강 혼합물의 균열은 바닥 바로 위에서 발생하여 위·아래로 진전했다. AP



혼합물을 제외한 대부분의 혼합물은 하나의 주 균열(main crack)을 찾기가 어려웠고, 대신에 여러 개의 미세 균열이 하중재하의 수직 축 주위에서 발생하는 것으로 나타났다. 이는 폴리머 개질 및 보강에 따른 혼합물의 결합력 강화가 균열이 발생해도 확장을 저감시키는 효과를 가

져오기 때문인 것으로 보여진다. 특히, LCFG 공시체는 하중이 1,000,000 cycle까지도 균열이 거의 나타나지 않았다. 이것은 개질아스팔트와 합성섬유를 첨가한 혼합물의 바닥을 그리드나 비닐로 보강하므로써 갭부분(틈 10mm)이 균열 선단(crack tip)으로서 작용하는 것을 방지하기

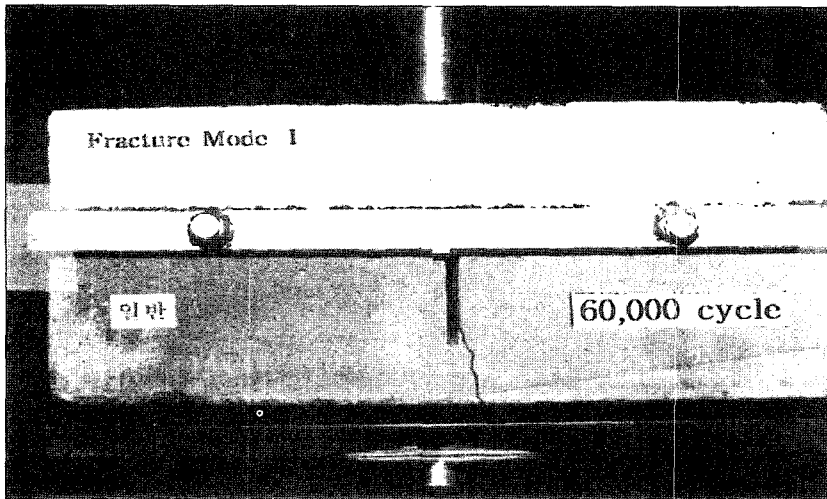


Fig. 8. A photograph showing reflection cracks after Mode I test (AP)

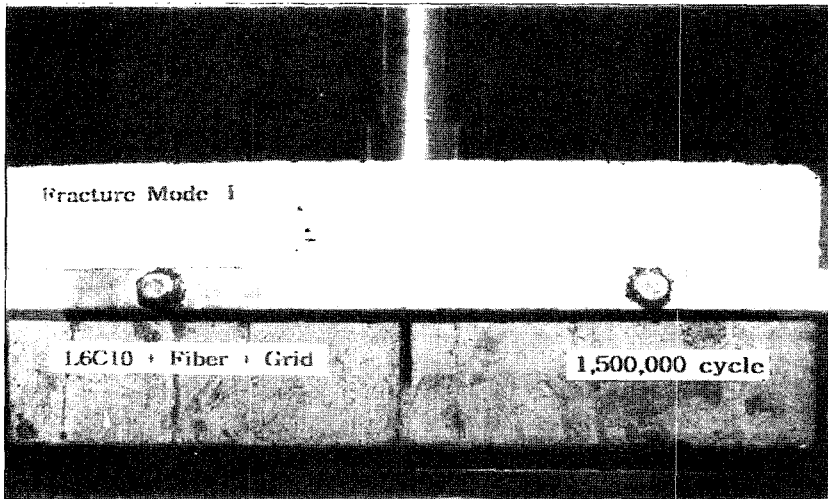


Fig. 9. A photograph showing reflection cracks after Mode I test (LCFG)



때문인 것으로 판단된다. Fig. 8과 9는 AP와 LCFG의 반사균열 시험에 의해 발생한 균열의 대표적인 모습을 보여준다.

한편 피로수명과 혼합물의 기본 특성과의 상관관계를 분석하기 위하여 그리드나 비닐로 보강하지 않은 공시체의 피로수명 시험 결과와 각 혼합물의 마찰안정도 및 간접인장강도(ITS) 값을 비교하였다. Fig. 10은 피로수명과 ITS, Fig. 11은 피로수명과 마찰안정도와의 상관관계를 보여준다. ITS는 $r^2 = 0.8341$ 로서 피로수명과 상당한 상관관계가 있음을 보여주는 반면 안정도는 $r^2 = 0.1207$ 로 피로수명과 거의 상관관계가 없음을 알 수 있었다. 따라서 ITS가 약 8kg/cm²부터 10kg/cm²까지 증가함에 따라 피로수명이 크게 향상되는 것을 알 수 있다.

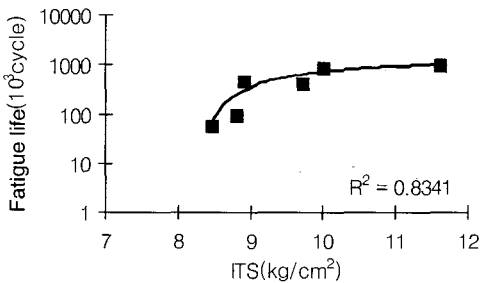


Fig. 10. Relationship of fatigue life with ITS

4. 결론

본 연구는 아스팔트를 폴리머(LDPE 6%+CB 10%, SBS 5%)로 개질하고 보강제로 합성섬유를 0.35%로 첨가하거나 비닐 및 그리드로 혼합물의 바닥을 보강하였을 경우 운하중으로 발생하는 휨응력에 의한 반사균열 저항성을 규명하기 위해 수행하였다. 이 시험을 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

1) 마찰안정도에서 LCF, LC, APF 혼합물이 각각 1.700kg 이상으로 높게 나타났다. 이는 LDPE와 카본블랙으로 아스팔트를 개질하고 합성섬유 첨가로 인하여 혼합물의

결합력이 강화되기 때문으로 판단된다. 또한 수침후 잔류안정도비도 LC와 S 경우가 각각 95% 이상으로 나타나, 개질아스팔트가 수침후에도 골재의 부착에 우수한 성능을 갖는 것으로 판단된다.

2) AP 혼합물에 비해 바닥에 그리드나 비닐로 단순 보강을 하는 것도 피로수명의 증가를 가져오나 그 보다는 개질아스팔트의 경우가 다소 더 높았고 합성섬유의 첨가와 그리드나 비닐의 보강은 피로수명을 획기적으로 향상시키는 역할을 하였다. 특히 SFG나 LCFG는 23배 및 25배의 수명 향상을 가져왔다.

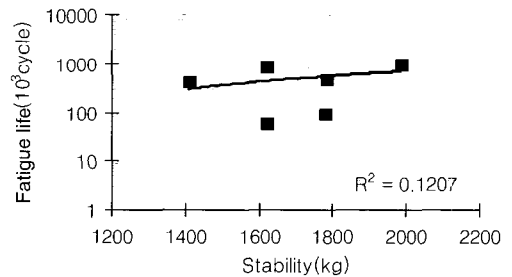


Fig. 11. Relationship of fatigue life with Marshall stability

3) 휨 파괴(Mode I) 시험 결과 피로수명, 동적안정도, 수직균열 진전비 등을 종합해볼 때 반사균열 저항성에 가장 효과적인 것은 LCFG, SFG, LCFV, SFV, LCF, SF, LCG 순으로 나타났다. 폴리머 개질제로는 LDPE+카본블랙이 SBS보다 효과적으로 나타났으며 바닥 보강으로는 그리드, 비닐 순으로 그리고 합성섬유의 첨가가 미첨가 보다는 크게 우수한 성능을 보였다.

4) 균열진전의 육안 관찰에서 AP 이외의 혼



합물은 하나의 주 균열(main crack)을 찾기 어려웠고 여러 개의 미세균열이 보의 중앙부근에서 발생하는 것으로 나타났다. AP 혼합물의 균열발생은 혼합물의 바닥에서 시작하여 위로 진전하였으나 그리드나 비닐로 보강한 혼합물은 보 단면의 중앙 혹은 그리드나 비닐의 다소 떨어진 위에서 발생하여 위, 아래로 진전하여 하부 콘크리트의 균열 (갭)이 반사균열 선단으로 작용하지 못하도록 저지하는 효과가 있는 것으로 나타났다.

5) 반사균열에 따른 피로수명은 혼합물의 간접인장강도와 상당한 상관관계가 있어 ($r^2 = 0.83$) 혼합물의 인장특성을 향상시키면 반사균열에 대한 저항성이 크게 향상되는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 건설교통부제정 "도로공사 표준시방서,"(1996) 한국도로교통협회.
2. Kim, K.W., Park, Y. C. and Yeon, K. S., (1996) "Tensile Reinforcement of Asphalt Concrete using Polymer Coating." Construction and Building Materials.
3. 김광우, 이석근, 도영수, 임성빈, 이상범, (1998) "개질·보강재에 의한 아스팔트 혼합물의 반사균열 제어효과," 아스팔트 포장공학의 첨단기술 심포지엄, 석재복합 신소재 제품 연구센터.
4. "포장균열 및 노면반사균열 억제방안 연구," (1997) 한국도로공사 연구보고서.
5. Harvey, J. T., McCullough, B. F., Smith, P., and Quintus, H. V., (1977) "Overlay design and reflection cracking analysis for rigid pavement," Report No. FHWA-RD -77-66, VOL. 1.
6. Jenq, Y. A., Liaw, C. J. and Liu, P., (1993) "Analysis of crack resistance of asphalt concrete overlay-a fracture mechanics approach" TRR 1388, pp 160-166.
7. Kim, K. W., Doh, Y. S., Lim, S. B. and Rhee, S. K., (1998) "Reinforcement of asphalt concrete to improve resistance against reflection cracking," Fifth International Conference on the Bearing Capacity of Roads and Airfields, Trondheim, Norway.
8. Molenaar, A. A. A., (1984) "Fatigue and reflection cracking due to traffic loads." AAPT vol 53, pp. 440-474.
9. Radovsky, B. S., Mozgovoy, V. V., Gamelyak, I. P., Sabo, H. and Shevchuk, V. R., (1996) "Forecasting the formation of reflective cracking in asphalt pavements reinforced with glass fiber mesh." Proceedings of the Third international RILEM Conference on Reflective Cracking in Pavements.
10. Sousa, J. B., Shatnawi, S. and Cox, J.,(1996) "An approach for investigation reflective fatigue cracking in asphalt-aggregate overlay." Proceedings of the Third international RILEM Conference on Reflective Cracking in Pavements.
11. Srivastava, A., Hopman, P. C. and Molenaar, A. A. A.,(1992) "SBS Polymer Modified Asphalt Binder and Its Implications on overlay Design," ASTM STP1108, Ed. by Wadlaw and Shuler, Philadelphia, PA 19103.