



아스팔트 덧씌우기의 반사균열 지연을 위한 지오그리드의 적용성 연구

Performance of Geogrids for Retarding Reflection Crack of Asphalt Overlay Pavement

김 광 우* 도 영 수** 김 번 창*** 이 문 섭****
Kim, Kwang Woo Doh, Young Soo Kim, Bun Chang Lee, Moon Sup

Abstract

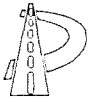
This study was conducted to evaluate effect of geogrid and fabric, which are used underneath the overlaid asphalt pavement for retarding reflection cracking by simulated laboratory test. In this study, an interlayer at the interface between old concrete pavement surface and overlaid asphalt mixture, and polymer-modifier were used as an effort of retarding reflection crack initiation and for strengthening mixture. Five products were used in preparation of asphalt concrete beam specimen which was tack coated on top of jointed concrete block. Simulated Mode I and II fracture test were conducted under wheel loading and results were compared among those products. From the test results, several material and reinforcement combinations were observed to have a significant retardation effect against reflection cracking. The most effectively strengthened pavement against reflection cracking was found to be the LDPE-modifier asphalt mixture with a grid reinforcement at the bottom.

Keywords : geogrid, fabric, interlayer, polymer-modifier, overlaid asphalt pavement, reflection crack, Simulated Mode I and II fracture test, LDPE-modifier asphalt

요 지

본 연구는 노후된 시멘트 콘크리트 포장 위에 덧씌운 아스팔트 혼합물의 반사균열 지연을 위하여 바인더 2가지 일 반과 개질, 바닥 보강재로 그리드 3종류와 Fabric 2종류의 효과를 평가하기 위하여 수행하였다. 보강재는 공시체 제조시 미리 슬래브 몰드 바닥에 깔고 가열 아스팔트 혼합물을 몰드에 부은 후 다짐을 하여 아스팔트 슬래브 공시체와 일체화시켜 콘크리트 블록 위에 덧씌우기 형태로 텍코팅하여 부착하였다. 본 연구를 위하여 휨파괴(mode I) 및 전단파괴(mode II) 반사균열 시험을 수행하였다. 시험결과, 일부의 그리드의 보강이 휨파괴 및 전단파괴에 의한 반사균

* 정회원 · 강원대학교 지역기반공학과 교수 · 공학박사
 ** 정회원 · 강원대학교 석재복합신소재연구센터 전임연구원 · 공학박사
 *** 정회원 · 삼호개발주식회사
 **** 정회원 · 한국건설기술연구원 토목연구부 도시시설연구그룹 · 연구원



열의 지연에 효과가 있는 것으로 나타났다. 특히 LDPE 개질아스팔트와 함께 사용하면 반사균열 지연에 큰 효과가 있음을 알 수 있었다.

핵심용어 : 반사균열, 보강재, 휨파괴 및 전단파괴 반사균열시험, LDPE 개질아스팔트

1. 서론

최근 공용수명 20년에 가까운 시멘트 콘크리트 포장에 늘어나면서 줄눈부 파손 및 스폴링, 각종 균열, 표면 스케일링, 줄눈부 단차 등 많은 문제점이 나타나기 시작했다. 또한 급속한 교통량의 증가와 차량의 중량화로 도로포장의 노면파손이 더욱 심각해지면서 도로의 유지관리비용이 증가하고 있고 이에 대한 대책이 절실히 요구되고 있다. 이와 같이 시멘트 콘크리트 포장에서 발생하는 다양한 형태의 소규모 파손이 그대로 방치되면 더 큰 파손을 가져와 교통사고를 야기하는 원인이 될 수 있기 때문에 노후된 기존 포장에 대한 보수·보강의 필요가 급증하는 추세이다(도로현황조사, 1997).

노후화되면서 균열이 발생한 시멘트 콘크리트 포장의 유지보수를 위한 방법 중의 하나로 일반적으로 아스팔트 덧씌우기(asphalt overlay) 공법이 사용되어 왔다. 그러나 아스팔트 혼합물로 덧씌우기를 했을 경우 하부 시멘트 콘크리트 포장의 줄눈이나 균열 때문에 덧씌워진 포장 표면에 반사균열이 빠르게 진전되는 문제점이 있다. 일반적으로 반사균열은 덧씌워진 아스팔트 포장면의 하부층인 시멘트 콘크리트 층이 온도변화에 따라 팽창·수축하므로 발생하는 것과 기존포장의 하부구조가 불완전한 경우에 차량 통과시 발생하는 휨·전단응력으로 발생하는 것으로 알려져 있다(Donnelly et al., 1976, Molenaar 1984, Caltabiano 1990, Caltabiano et al., 1990, Sousa et al., 1996). 콘크리트 포장 위에 접합되어있는 아스팔트 포장체가 콘크리트슬래브와 같이 온도변화에 거동을 하면서 팽창시 균열부 상단의 아스팔트 포장 부분에 주응력이 발생하여 파손된다. 따라서 반사균

열은 주로 겨울을 지나고 난 후 나타나며 이때 교통하중의 지속적 재하는 그 파손 속도를 가속시킨다.

이러한 반사균열이 발생하면 정도의 차이는 있으나 그 사이로 표면수가 침투하여 포장의 구조적 성능을 떨어뜨리고 연속성을 파괴하여 단면 전체의 공용성을 크게 저하시켜 덧씌우기 이전 포장에서와 마찬가지로 줄눈 및 균열부의 처리 문제를 일으킨다. 따라서 이와 같은 반사균열의 감소·지연은 포장의 공용성을 향상시킬 수 있고 또한 보수·보강 등 유지관리에 소요되는 비용과 노력을 줄일 수 있게 된다.

덧씌운 아스팔트 포장과 하부 시멘트 콘크리트 포장을 하나의 계로 놓고 역학적으로 보면 하부 시멘트 콘크리트 포장의 균열은 덧씌운 아스팔트 포장에서 하나의 초기균열(initial crack or notch)과 같으며, 이 포장체가 응력을 받을 때 시멘트 콘크리트 포장의 균열 위에 덧씌운 아스팔트 층 바닥은 이 초기균열의 선단(crack tip)이 된다(그림 1). 이 점에서 높은 응력집중이 야기되고, 결국 덧씌운 아스팔트 층의 균열은 이곳에서 발생하기 시작하여 위로 진전하게 된다. 따라서 이 균열선단 부분의 보강은 균열 발생을 억제할 수 있으며 이는 반사균열의 발생을 지연한다는 것을 의미할 수 있다. 이를 위해 각종 재료들이 아스팔

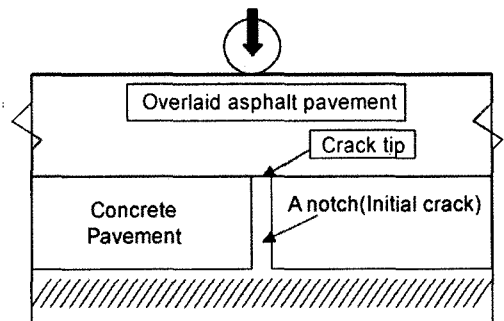


그림 1. 덧씌우기 포장에서의 균열선단(초기균열)



트 층의 보강재로 사용되며 그 종류도 다양하다.

따라서 본 연구의 목적은 국내외산 포장섬유(Fabric) 및 그리드(grid)를 아스팔트 덧씌우기 바닥층 보강재로 사용하여 윤하중에 의한 휨파괴(mode I)와 전단파괴(mode II) 시험을 통한 반사 균열 저항성을 비교하여 국산보강재의 활용가능성을 평가하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 아스팔트

본 연구에서는 국내 정유회사에서 생산되는 제품으로 국내에서 도로포장용으로 많이 사용되고 있는 AP-3(침입도 등급: 80~100)와 AP-5(침입도 등급: 60~80) 두 종류의 아스팔트를 사용하였다. AP-5는 기본혼합물(A00)의 제조에 사용하였고, AP-3는 개질혼합물 및 개질보강 공시체에 사용되었다. 각각의 품질시험결과는 표 1과 같다.

2.2 골재

아스팔트 혼합물 내에서 골재가 차지하는 용적비는 약 85%로서 포장의 강도나 내구성 등은 골재의 품질에 따라 크게 좌우된다. 따라서 골재의 품질이나 입도는 아스팔트 콘크리트 혼합물의 강도에 중요한 영향을 미치고, 생산지별로 각 조건이 각기 다르기 때문에 사용전에 시방서의 규정에 적합한지를 검토하여야 한다. 본 연구에서는 전국적으로 분포가 많은 편마암(Gneiss) 쇄석으로 19mm 밑입도 규정에 적합한 입도로 조정하였으며 사용된 골재의 입도분포

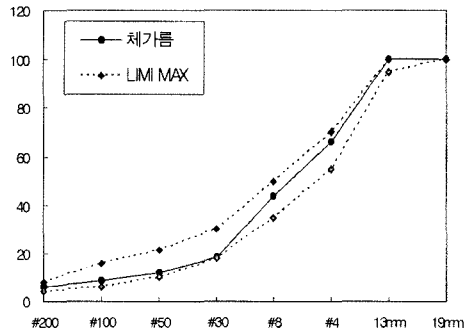


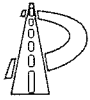
그림 2. 사용된 골재의 입도분포

표 1. 아스팔트의 물리적 특성

Classification	AP-3		AP-5	
	Spec.	Measured value	Spec.	Measured value
Penetration 25℃(0.1mm)	85~100	94	60~70	67
Viscosity 60℃(poise)	800~1,200	962	1,600~2,400	2,075
Ductility 25℃(cm)	>100	150	>100	138
Flash point(℃)	>230	317	>230	334
Retained penetration after thin-film oven test (%)	>47	89.8	>52	65
Ductility after Thin-film oven test (cm)	>75	150	>50	105
Specific gravity		1.022		1.024

표 2. 굵은 골재의 물리적 특성

Classification	Apparent Specific gravity(%)	Abrasion(%)	Absorption(%)
Spec. limit	above 2.5	below 35%	below 3.0%
Gneiss	2.72	18.10	0.70



곡선은 그림 2와 같다. 표 2는 사용된 골재의 물리적 특성을 나타낸다.

2.3 개질재 및 개질아스팔트 제조

아스팔트 바인더에 폴리머 개질재를 첨가함으로써 기대되는 효과는 혼합물의 인장강도의 향상, 혼합물의 마모저항성 및 피로저항성의 향상, 박리나 수분민감성의 감소, 아스팔트와 골재와의 부착성의 향상으로서, 이는 포장의 기대수명을 증가시킨다고 할 수 있다.

본 연구에서 사용된 폴리머는 국내에서 생산된 여러 종류의 폴리머 가운데 아스팔트 개질재로서 그 성능 및 효과가 비교적 우수하고 좋은 것으로 판명되고 외국에서도 많이 사용되고 있는 LDPE(Low-density polyethylene)를 사용하였다. LDPE는 #50체를 거의 다 통과하고 외형이 흰 가루분말 형태이다.

본 연구에서는 LDPE를 아스팔트 중량의 6% 비

율로 혼합하여 개질아스팔트를 제조하였다. 이 비율은 문헌조사와 기존의 연구결과(김광우 등 1997a, b)를 통하여 가장 많이 사용되는 비율로서 개질효과가 우수하게 나타난 비율을 취한 것이다. 개질아스팔트의 제조는 아스팔트를 용기에 담아 먼저 오븐(oven) 속에 넣어 180~190℃로 충분히 가열한 후 꺼내어 일정량의 폴리머를 아스팔트에 서서히 넣고 같은 온도를 유지하면서 믹서로 혼합하였다. 이때 믹서는 고성능 전단을 일으키는 Homogenizer로 혼합 속도는 약 6000rpm으로 유지하도록 조절하였으며 한번에 1 l 정도씩을 제조하였다. 혼합시에는 여타 첨가제를 넣지 않았으며, 아스팔트 내의 폴리머가 골고루 분포될 수 있도록 충분한 시간동안 혼합시켰다.

2.4 보강재

아스팔트 덧씌우기 층에 발생하는 반사균열을 지연하기 위하여 국외에서는 많은 연구(Vicelja 1963,

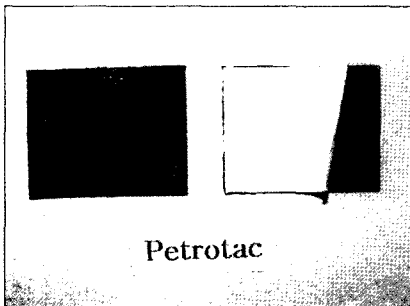


그림 3. Petrotac (T)

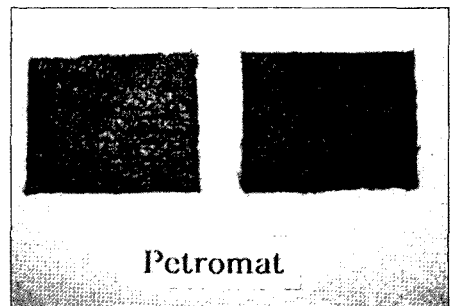


그림 4. Petromat (M)

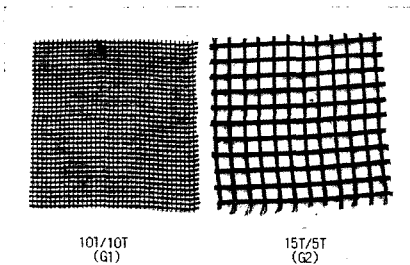


그림 5. G1 and G2

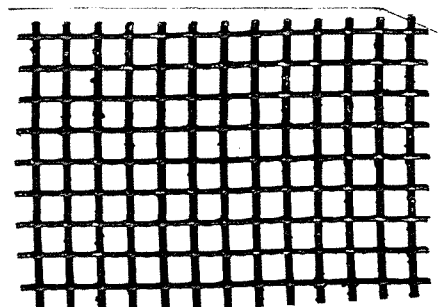


그림 6. Glass Grid (G3)



Bushey 1976, Gilchrist 1989, Jeng 등 1993, Doligez 등 1996, O'Faraell 1996)가 수행되어 왔고 국내에서도 연구가 일부 수행되어 왔다(이석근 등 1997, 김광우 등 1998, 도영수 2000). 본 연구의 주목적인 반사균열제어를 위한 보강재의 효과를 분석하기 위하여 사용된 보강재는 Fabric 두 종류 Petrotac (T)와 Petromat (M), grid 세 종류(국산

Grid I (G1)과 Grid II (G2), 캐나다산 Grid (G3))를 사용하였다. 사용된 보강재의 사진과 물리적 특성은 그림 3~6과 표 3~5와 같다.

보강재는 공시체 제조시 미리 슬래브 몰드 바닥에 미리 깔고 가열 아스팔트 혼합물을 몰드에 부은 후 다짐을 하여 아스팔트 혼합물 공시체와 일체화되게 하였다.

표 3. T의 물리적 특성

Properties	Method	Unit	Measured value
Strip tensile strength	ASTM D 882	kgf/cm	8.93
Puncture resistance	ASTM E 154	kgf	90
Permeability	ASTM E 96 (method B)	perms	below 0.1
Pliability	ASTM D 146	-	no visible crack

표 4. M의 물리적 특성

Properties	Method	Unit	Measured value
Grab strip tensile strength	ASTM D 4632	kgf	40.8
Grab rupture expansion	ASTM D 4632	%	50
Mullen rupture	ASTM D 3786	kgf/cm ²	12.6
UV resistance	ASTM D 3786	%	70
Asphalt content(Vol.)	TX DOT 3099	l / m ²	0.90
Asphalt content(wt.)	TX DOT 3099	kgf/m ²	0.91

표 5. Grids(G1, G2, G3)의 물리적 특성

Product		G1	G2	G3
Fiber used		Polyester	Polyester	Glass fiber
Coating material		PVC	PVC	Elastomeric polymer
Width(m)		20.1	20.2	3.0
Aperture size(mm)		6×6(8×9)	20.5×20.5(28.5×27)	12.5×12.5
Rib density(unit/m)	warp	126	36	-
	weft	111	38	-
Tensile strength(t/m)	warp	10.6	20.2	10.2
	weft	9.4	5.7	10.2
Elongation at break(%)	warp	16-18	11.6	-
	weft	16-18	10.9	-



2.5 배합설계

본 연구에서는 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 마살 배합설계방법을 사용하였으며, 다짐은 상·하면을 각각 50회씩 다짐하였다. 최적 아스팔트함량 (Optimum asphalt content: OAC)을 결정하기 위한 마살 특성치의 적용은 한국도로교통협회(1997)의『아스팔트포장 설계·시공요령』에 제시된 기준치를 사용하였다.

2.6 반사균열시험

노후된 시멘트 콘크리트 포장 위에 아스팔트 덧씌우기를 했을 경우에 하단의 균열 또는 줄눈을 따라 균열이 위로 진전하는 반사균열은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 하나는 수직하중에 의해 포장하단에서 야기되는 휨응력과 온도수축으로 발생하는 인장응력에 의해 야기되는 휨 균열(Mode I)이며, 다른 하나는 윤하중의 이동으로 야기되는 전단응력에 의한 전단균열(Mode II)이다.

반사균열시험용 슬래브 공시체는 현장상태를 모사하기 위하여 롤러 다짐기를 이용하여 300×300×

표 6. 일반 혼합물과 보강 혼합물의 명칭

Designation	Mixture and reinforcement combination
A00	Normal asphalt mixture
AL0	LDPE(L) modified asphalt mixture
A0T	T reinforced A00 mixture
A0M	M reinforced A00 mixture
ALT	T reinforced and AL0 mixture
ALM	M reinforced and AL0 mixture
A0G1	G1 reinforced A00 mixture
A0G2	G2 reinforced A00 mixture
A0G3	G3 reinforced A00 mixture
ALG1	G1 reinforced AL0 mixture
ALG2	G2 reinforced AL0 mixture
ALG3	G3 reinforced AL0 mixture

50mm의 슬래브 공시체를 제작하였다. 제작된 슬래브는 물성을 측정하여 공극률이 4±0.5%이면 휨균열 파괴(mode I) 시험 및 전단균열 파괴(mode II) 시험을 할 수 있도록 절단기를 이용하여 길이방향으로 각각 300×100×50mm와 300×80×50mm 크기의 보 공시체로 만들었다. 표 6은 각 혼합물 이름과 사용된 재료에 대한 설명이다.

2.7 휨파괴(Mode I) 반사균열 모사실험

콘크리트 포장의 균열(줄눈) 선단 위에 아스팔트 덧씌우기 포장상태를 모사하기 위하여 아스팔트 보 공시체를 두께 50mm, 폭 100mm, 길이 300mm의 콘크리트 블록 위에 덧씌우기 형태로 부착하였다. 콘크리트에는 상면으로부터 1/3 깊이까지 10mm 폭의 초기균열을 주었으며, 콘크리트 하부에는 포장하부의 탄성지지를 모사하기 위하여 10mm 두께의 고무패드를 콘크리트 바닥에 설치하였다.

하중은 주기적인 Haversquare 하중을 유압식 재료시험기(Instron 8516)를 이용하여 10Hz 속도로 아스팔트 보 공시체에 재하하였다. 이때 보 공시체의 상면에 편심이 발생되지 않도록 구슬이 있는 직경 100mm 원형하중판을 사용하였다. 최대하중은 7kgf/cm²(100psi)의 타이어 압력을 야기하기 위하여 550kgf를 적용하였다. 동적하중을 재하하는 동안에 하중판이 공시체로부터 이탈되는 것을 방지하기 위하여 20kgf의 최소하중을 적용하였다. 또한 타이어와 포장면의 접촉을 모사하기 위하여 얇은 고무 패드를 하중판과 공시체 사이에 삽입하였으며, 이 시험은 온도를 조절할 수 있는 챔버 내에서 25℃를 유지하며 수행하였다.

휨파괴(mode I) 시험에서 아스팔트 보 공시체의 수평변위측정은 보의 한면에 설치된 Extensometer를 이용하여 하중의 반복횟수에 따라 측정하였다. 반사균열 진전의 육안관찰을 용이하게 하기 위하여 보의 한쪽 면에 백색 수성 페인트를 칠하였다. 수직균열이 아스팔트 보 공시체의 전체 높이에 도달할 때까지

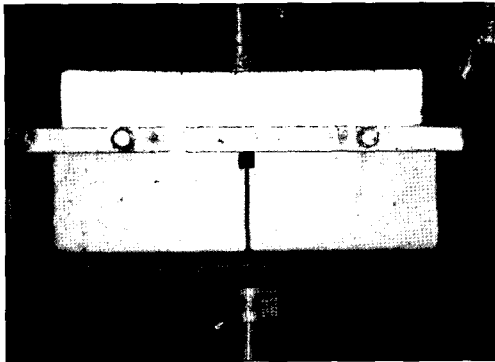


그림 7. 휨파괴(Mode I) 시험

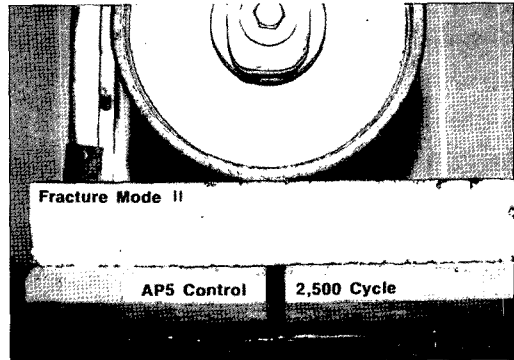


그림 8. 전단파괴(Mode II) 시험

지 시험을 수행하였으며 시험과정에서 수평변위와 수직균열 진전은 누적하중 주기수로서 측정하였다. 각각의 혼합물에 대하여 3개의 공시체로 시험을 수행하였으며, 그림 7은 휨파괴 모드의 시험장비에 보 공시체를 설치한 광경을 나타낸다.

2.8 전단파괴(Mode II) 반사균열 모사실험

시멘트 콘크리트 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 부착하였다. 두 조각의 콘크리트 블록 중앙에 10mm의 간격을 두고 그 상면을 텍코팅하여 아스팔트 보 공시체를 그림 8과 같이 부착하였다. 이 공시체는 2일간 상온(25℃)에서 양생시킨 후 시험 5시간 전에 25℃의 항온실에 넣었다가 25℃로 유지되는 챔버 내에서 실험하였다.

콘크리트 하부의 탄성지지를 모사하기 위하여 10mm 두께의 고무패드를 콘크리트 바닥에 깔았다. 실험장치는 직경 200mm의 강재 바퀴가 200mm의 거리를 왕복하는 반복주행(Wheel tracking) 시험기를 이용하였으며 운하중은 0.5Hz의 속도로 100kgf를 재하하였다. Mode II 시험장비에 시험체를 설치한 모습은 그림 8과 같다. 이 시험에서 아스팔트 보 공시체의 수평변위는 Demec gauge를 이용하여 매

500cycle 마다 측정하였다.

또한 수직균열 길이의 관찰을 용이하게 하기 위하여 보 공시체의 한쪽 면을 백색 페인트로 칠하여 하중반복에 따른 균열진전을 500cycle 마다 육안으로 측정하였다. 실험은 수직균열이 공시체의 전체 높이에 도달할 때까지 수행하였다.

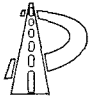
3. 결과 및 고찰

3.1. 배합설계

편마암(Gneiss) 골재를 이용하여 일반아스팔트 혼합물과 폴리머 개질아스팔트 혼합물의 배합설계를 수행하여 각 혼합물의 최적 아스팔트함량(OAC)을 결정하였다. 각 배합설계의 아스팔트 함량은 거의 포화도와 공극률에 지배를 받는 것으로 나타나 국내 규정의 포화도 하한선과 공극률의 상한선 사이에서 대부분 OAC의 범위가 형성되었다. 위의 배합설계 결과로부터 결정된 각 혼합물들의 최적아스팔트함량(OAC)은 표 7과 같다.

표 7. 각 혼합물의 OAC

Mixture	A00	AL0
OAC (%)	5.1	5.2



3.2 휨파괴(Mode I) 반사균열

휨파괴(Mode I) 시험은 배합설계에서 결정된 최적 아스팔트함량으로 표 6에 설명한 혼합물별로 공시체를 제조하여 수행하였다. 실험과정에서 수평변위와 수직균열진전을 누적하중주기에 따라 측정하였다.

표 8은 휨 파괴 반사균열 실험으로 얻어진 각 혼합물의 반사균열 저항특성을 나타내고 그림 9는 혼합물의 휨파괴 반사균열의 피로수명을 3차원으로 보여주고 있다. 표 8에서 수직균열진전비는 반복하중주기에 따른 수직균열진전을 선형회귀곡선의 기울기로서 나타낸 것이다.

표 8의 값은 3개의 공시체의 평균값이다. 일반아스팔트 혼합물(A00)의 수명은 21,800cycle에 비해 혼합물 바닥에 T와 M을 보강하였을 때 피로수명이 각각 1.72배와 1.95배가 증가되었다. 이것은 보강재 T와 M이 반사균열의 진전을 어느 정도 지연하는 효과가 있다고 할 수 있다.

일반아스팔트 혼합물(A00)과 개질아스팔트 혼합물(AL0)을 비교하여 보면 AL0이 2.58배의 수명의 증가를 보여 개질아스팔트의 사용만으로도 휨파괴의

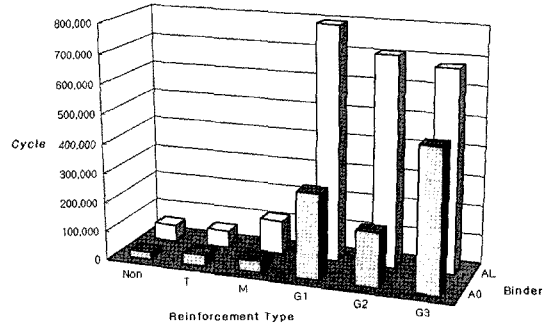


그림 9. 휨파괴(Mode I)에 의한 혼합물들의 피로수명

반사균열을 지연시키는 효과가 있는 것으로 나타났다. 개질아스팔트 혼합물(AL0)이 일반아스팔트 혼합물(A00)에 T와 M으로만 보강했을 때보다 반사균열 지연효과가 더 큰 것으로 나타났다. 또한 AL0에 T와 M으로 보강하였을 때에는 A00에 비해 각각 2.67배, 5.34배의 수명연장을 보였다. 이로서 Fabric 보강재 별로는 T보다 M이 반사균열을 지연하는데 효과적임을 알 수 있었고, 이들을 개질아스팔트 혼합물과 함께 사용할 경우 반사균열 제어에 더 큰 효과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

일반아스팔트 혼합물(A00) 바닥에 G1, G2, G3

표 8. 휨파괴(Mode I)에 의한 반사균열 저항특성

Mixture	Fatigue life (cycle)	Final horizontal displacement (mm)	Vertical crack growth rate (mm/cycle)	Relative life based on fatigue life of A00
A00	21,800	0.41	60×10^{-4}	1.00
A0T	37,500	0.72	50×10^{-4}	1.72
A0M	42,500	0.48	45×10^{-4}	1.95
AL0	56,300	0.94	40×10^{-4}	2.58
ALT	58,300	0.84	40×10^{-4}	2.67
ALM	116,300	0.52	27×10^{-4}	5.34
A0G1	290,000	1.46	12×10^{-4}	13.30
A0G2	183,333	2.23	20×10^{-4}	8.41
A0G3	480,000	0.41	0.71×10^{-4}	22.02
ALG1	795,000	1.74	0.47×10^{-4}	36.47
ALG2	710,000	3.38	0.55×10^{-4}	32.57
ALG3	675,000	0.16	0.67×10^{-4}	30.96



를 보강하였을 때 A00에 비해 피로수명이 각각 13.30, 8.41, 22.02배가 증가되었으며, 개질 아스팔트 혼합물(AL0)에 G1, G2, G3를 보강하였을 때는 약 36.5, 32.6, 31 배의 반사균열 저지에 따른 상당한 수명증가의 효과가 나타났다. 이것은 개질아스팔트와 함께 그리드를 사용할 경우 반사균열의 진전을 상당히 제어하는 역할을 하는 것임을 알 수 있다.

그리드의 비교에서는 G1이 G2보다 피로수명이 큰 것으로 나타나 G1이 G2보다 반사균열의 진전을 지연하는 효과가 더 크다고 판단된다. G3는 일반아스팔트 혼합물에 보강한 경우는 G1 및 G2보다 효과가 컸으나 개질아스팔트 혼합물에 보강할 경우에는 그렇지 못한 것으로 나타났다.

휨파괴 모드에 의한 수직균열진전비는 일반아스팔트 혼합물(A00)이 $6 \times 10^{-3} \text{mm/cycle}$ 로 가장 크게 나타났고, Fabric과 그리드로 보강 혼합물에서는 그리드로 보강한 혼합물의 수직균열이 Fabric보다 더디게 진전하는 것으로 나타났다. 이것은 그리드가 Fabric보다 반사균열의 제어효과가 더 우수하다는 것을 의미한다고 하겠다. 개질아스팔트 혼합물에 그리드로 보강한 혼합물의 수직균열진전비를 살펴보면

그리드별 차이는 있지만 반사균열이 아주 느리게 진전하는 것으로 나타났다. 이것은 피로수명 비교에서 언급했듯이, 개질아스팔트와 함께 그리드를 사용할 경우 반사균열의 진전을 상당히 제어하는 역할을 하는 것임을 의미한다.

한편 혼합물의 수평변위를 보면 Fabric 중에는 M이 그리고 그리드 중에서는 G3가 가장 적게 나타났다.

전반적으로 혼합물의 바닥에 그리드의 보강이 Fabric인 T나 M을 보강하는 것 보다 반사균열의 진전을 억제시키는데 더 효과적인 것으로 나타났다. 또한 이들 보강재는 개질재와 함께 사용하는 것이 효과를 극대화 시키는 것으로 나타났다.

3.5 전단파괴(Mode II) 반사균열

전단파괴(Mode I) 시험은 배합설계에서 결정된 최적 아스팔트함량으로 표 6에 설명한 혼합물별로 공시체를 제조하여 수행하였다. 실험과정에서 수평변위와 수직균열진전을 누적하중주기에 따라 측정하였다.

표 9는 전단파괴 반사균열 실험으로 얻어진 각 혼

표 9. 전단파괴(Mode II)에 의한 반사균열 저항특성

Mixture	Fatigue life (cycle)	Final horizontal displacement (mm)	Vertical crack growth rate (mm/cycle)	Relative life based on fatigue life of A00
A00	1,400	2.40	60×10^{-4}	1.00
A0T	800	5.00	80×10^{-4}	0.57
A0M	6,800	0.80	21×10^{-4}	4.86
AL0	8,500	1.30	20×10^{-4}	6.07
ALT	3,100	2.80	32×10^{-4}	2.21
ALM	10,300	1.20	13×10^{-4}	7.36
A0G1	7,000	0.56	22×10^{-4}	5.00
A0G2	4,000	1.05	30×10^{-4}	2.86
A0G3	8,500	1.06	20×10^{-4}	6.07
ALG1	44,667	0.90	7.9×10^{-4}	31.91
ALG2	10,000	0.70	15×10^{-4}	7.91
ALG3	30,000	0.43	10.2×10^{-4}	21.43

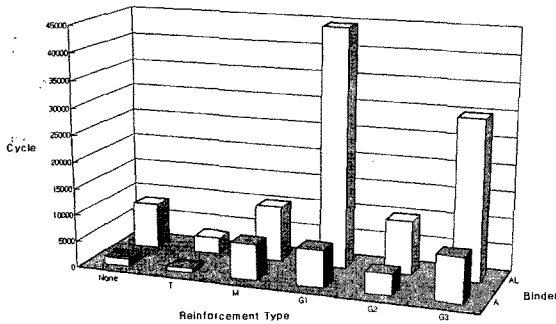
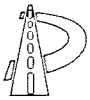


그림 10. 전단파괴(Mode II)에 의한 혼합물들의 피로수명

합물의 반사균열 저항특성을 나타내고 그림 10은 혼합물의 전단파괴 반사균열의 피로수명을 3차원으로 보여주고 있다. 표 9에서 수직균열진전비는 반복하중주기에 따른 수직균열진전을 선형회귀곡선의 기울기로서 나타낸 것이다.

표 9는 3개의 공시체의 평균값을 나타낸 것이다. 일반아스팔트 혼합물(A00) 바닥에 T를 보강했을 때 피로수명은 오히려 0.57배로 감소하였고, 개질아스팔트 혼합물(AL0)에 T를 보강하였을 때도 A00에 비해 2.21배 증가하였으나 개질아스팔트 혼합물(AL0)에 비해서는 오히려 0.36배로 감소하였다. 이것은 Fabric인 T의 보강이 전단파괴의 반사균열 지연에 별 효과가 없는 것으로 판단된다. 그러나 일반아스팔트 혼합물(A00)에 M을 보강하였을 때는 피로수명이 4.86배가 증가했으며, 개질아스팔트 혼합물(AL0)에 M을 보강했을 때는 A00에 비해서는 7.36배의 수명연장을 나타냈다.

A00와 개질재를 사용한 AL0을 비교하여 보면 6.07배로 개질아스팔트의 사용만으로 전단파괴의 반사균열진전을 억제하는 효과가 있는 것으로 나타났다. A00에 T와 M만의 보강했을 때 개질아스팔트 혼합물보다 효과가 적은 것으로 나타났다.

일반아스팔트 혼합물(A00)에 그리드 G2의 보강은 피로수명이 불과 2.86배 증가하였으나, G1으로 보강하였을 때는 5배가 증가되었다. 개질아스팔트 혼합물(AL0)의 바닥에 G1을 보강한 경우는 31.91배로 상당히 큰 증가를 나타냈으나 G2를 보강했을

경우 7.91배로 개질아스팔트 혼합물(AL0)과 큰 차이가 나질 않았다. 따라서 전단파괴모드에서 G2의 보강으로 반사균열진전의 억제효과를 크게 기대할 수 없는 것으로 판단된다. 한편 G3는 일반아스팔트 혼합물의 바닥 보강에서 세 그리드 중 가장 효과가 컸으나 개질아스팔트 혼합물의 바닥 보강의 경우는 G1보다는 큰 효과를 나타내지 않았다. 이것은 휨 파괴 반사균열시험의 결과와 유사하게 나타났다.

전단파괴에 의한 수직균열진전비는 개질아스팔트 혼합물(AL0)에 그리드 G1의 보강이 7.9×10^{-4} mm/cycle로 가장 적게 나타났다. 이것은 개질아스팔트와 함께 G1의 보강은 전단파괴에 의한 반사균열진전을 억제하는 효과가 있다는 것을 의미한다.

Fabric과 그리드의 비교에서는 그리드가 Fabric보다 수직균열이 더디게 진전하는 것으로 나타났다. 이것은 Fabric 계(T와 M)가 전단파괴 반사균열진전의 억제에 큰 효과를 기대할 수 없을 것으로 판단된다.

전단파괴(mode II) 반사균열에서의 수평변위는 Fabric 중에는 M이, 그리드 중에서는 G1과 G3가 교차하여 가장 적게 나타나 수평변형을 억제하는 효과가 이들이 가장 큰 것으로 나타났다. 따라서 그리드 G1, G3는 전단파괴에 의한 반사균열의 진전을 억제하는 역할을 하지만 G2의 경우는 반사균열의 억제효과가 그다지 크지 않는 것으로 판단되었다.

4. 결론

본 연구는 노후된 시멘트 콘크리트 포장에 아스팔트 덧씌우기를 했을 경우 상부층에 나타나는 반사균열에 대하여 휨 파괴(Mode I) 모드와 전단파괴(Mode II) 모드 반사균열시험을 통하여 일반아스팔트와 개질아스팔트 그리고 보강재(Fabric 계와 그리드)의 효과를 비교하여 앞으로의 보강재 활용가능성을 검토하고자 수행하였다. 수행한 실험 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.



1. 반사균열 진전의 억제효과는 일반아스팔트 혼합물보다 개질아스팔트 혼합물이 효과적이고 보강재로는 Fabric 계열보다 그리드 계열이 더 효과적인 것으로 나타났으며 그중 G1과 G3가 가장 효과적인 것으로 나타났다. 본 연구에서는 Fabric 계열은 반사균열억제에 별 효과가 없는 것으로 나타났다.
2. 휨 파괴(Mode I)시험에서 LDPE 개질아스팔트 혼합물에 G1의 보강은 일반아스팔트 혼합물에 비해 무려 36배의 반사균열진전의 억제효과를 나타냈으며, 전단파괴(Mode II)시험에서는 약 32배의 억제효과를 나타냈다.
3. 혼합물의 수직균열진전비와 수평변형제어에 있어서도 G1, G3 두 가지 혼합물이 가장 효과적이었는데 비하여 G2는 그다지 큰 기대를 할 수 없는 것으로 나타났다. 이는 그리드의 mesh 크기와 재료의 강성 등이 중요한 변수로 작용했으리라 판단된다.
4. 덧씌운 아스팔트 층에 발생하는 반사균열의 억제는 일반아스팔트 혼합물로만 하는 것보다 그리드의 사용에 따라 포장수명의 증가를 가져오는 것으로 판단된다. 특히 개질아스팔트 혼합물과 함께 사용되면 반사균열의 억제효과가 크게 향상됨을 알 수 있었다.
5. 이제까지의 결과는 실내실험을 근거한 것이다. 따라서 국산의 경우도 현장시공성의 확보를 위한 현장 취급성, 기존표면과의 부착성 등이 확보를 위한 보다 체계적으로 포장용 그리드가 개발된다면 아스팔트 덧씌우기에서 발생하는 반사균열진전을 어느 정도 억제시킬 수 있는 실용성이 있는 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 지정 강원대학교 석재복합 신소재제품연구센터의 지원에 의하여 이루어진 연구입니다.

참고문헌

1. 건설교통부 (1997), 도로현황조사, p. 105.
2. 김광우, 안경애, 도영수, 조희원, 정규동, 이상범, (1997a), "내변형 폴리머 개질 아스팔트 혼합물의 개발," 강원대학교 석재복합 신소재제품 연구센터 연구보고서, 제2집.
3. 김광우, 이석근, 도영수, 임성빈, 이상범, (1998), "개질·보강제에 의한 아스팔트 혼합물의 반사균열 제어효과," 아스팔트 포장공학의 첨단기술 심포지엄 논문집, 석재복합 신소재제품 연구센터, pp. 229-256.
4. 김광우, 조희원, 이상범, 이지용, 안경애, (1997b), "폴리머(LDPE, SBS) 개질 아스팔트 혼합물의 특성 연구," 아스팔트 포장공학의 첨단기술 심포지엄 논문집, 석재복합 신소재제품 연구센터, p. 252.
5. 도영수, (2000), "보강 덧씌우기 아스팔트 콘크리트의 반사균열 피로수명 추정 연구," 강원대학교 대학원 토목공학과, 박사학위논문.
6. 이석근, 김광우, 이광명, (1997), "포장균열 및 노면 반사균열 억제방안 연구," 한국도로공사 연구보고서.
7. 한국도로교통협회, (1997), 『아스팔트포장 설계·시공요령』
8. Bushey, R. W., (1976), "Experimental overlays to minimize reflection cracking," *FHWA-CA-TI-3167-76-28*, September.
9. Caltabiano, M. A., (1990), "Reflection cracking in asphalt overlays," M.S. Thesis, University of Nottingham, Department of Civil Engineering.
10. Caltabiano, M. A., and Brunton, J. M., (1991), "Reflection cracking in asphalt overlays," *AAPT, Vol 60*, pp. 310332.
11. Doligez, D. and Coppens, M. H. M., (1996), "Fatigue improvement of asphalt reinforced by glass fibre grid," *Reflective Cracking in Pavements, Proc. of the Third International RILEM Conference*, pp. 387392.



12. Donnelly, D. E., McCabe, P. J. and Swanson, H. N., (1976), "Reflection cracking in bituminous overlays," *FHWA-CO-RD-76-6*, December.
13. Gilchrist, A. J. T., (1989), "Control of reflection cracking in pavements by the installation of polymer geogrids," *Proc. of the Conference on Reflective Cracking in Pavements*, Liege, Belgium, pp. 350357.
14. Jeng, 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.
15. Molenaar, A. A. A., (1984), "Fatigue and reflection cracking due to traffic loads," *AAPT vol 53*, pp. 440-474.
16. O'Faraell, D. J., (1996), "The treatment of reflective cracking with modified asphalt and reinforcement," *Proceedings of the Third International RILEM Conference on Reflective Cracking in Pavements*, pp. 522529.
17. Sousa, J. B., Shatnawi, S. and Cox, J., (1996), "An approach for investigation reflective fatigue cracking in asphalt aggregate overlays," *Proceedings of the Third international RILEM Conference on Reflective Cracking in Pavements*.
18. Vicelja, J. L., (1963), "Methods to Eliminate Reflection Cracking in Asphalt Concrete Resurfacing over Portland Cement Concrete Pavements," *Proc. AAPT, Vol. 32*

〈접수 : 2004. 5. 31〉