줄눈을 메운 덧씌우기 아스팔트 포장의 반사균열 제어효과

Joint Sealing Effect on Reflection Cracking of Overlaid Asphalt Pavement

김광우* · 최동춘** · 이순재*** · 김준은**** · 차순만*****
Kim, K. W. Choi, D. C. Lee, S. J. Kim, J. E. Cha, S. M.

1. 서 론

노후된 콘크리트 포장의 효과적인 대규모 보수·보강기법의 하나로 아스팔트 덧씌우기 공법이 보편화되어 있다. 그러나 아스팔트 덧씌우기 공법은 기존 콘크리트 포장의 줄눈 또는 균열이 아스팔트 덧씌우기 층을 통하여 표면으로 조기 전달되어 균열이 발생하게 된다. 이러한 균열을 반사균열 (Reflection crack)이라 하며 이는 정도의 차이는 있으나 표면수의 침투 경로가 되고 포장의 연속성을 파괴하여 강도의 손실과 단면 전체에 대한 공용성을 크게 저하시키는 요인으로 지적되고 있다.

이제까지 전세계적으로 사용되고 있는 반사균열 저지기법은 크게 몇가지로 구분될 수 있다. 첫째는 아스팔트 덧씌우기 층 밑을 토목섬유나 그리드 등으로 보강하는 방법, 둘째는 덧씌우기 층의 두께를 증가시키는 방법, 셋째는 하부 콘크리트를 일정간격으로 깨뜨려 균열을 만들어놓거나 완전히 잘게 부수고 그 위에 덧씌우는 방법 그리고 넷째로 기존 균열이나 조인트를 메우고(Sealing) 덧씌우는 방법 등이다. 하지만 그중 어느 것도 완전한 것이 없으며 마지막으로 언급한 줄눈 실링은 논란의 여지가 많다. 따라서 본 연구에서는 국내외에서 사용되고 있는 줄눈 실링재를 모드II 반사균열 시험을 위해 개발된 시험법을 적용하여 비교평가하기 위한 실험적 연구를 수행하였다.

2. 반사균열 모사실험

2.1. 재 료

본 연구에서는 AC 60-80 아스팔트(NAP)와 PG 76-22 개질아스팔트(PMA : polymer modified asphalt)를 사용하였다. AC 60-80 아스팔트는 국내에서 보편적으로 사용되고 있고, 개질아스팔트는 국내에서 적용이 증가하는 추세를 고려하여 바인더로 선정하였다. 골재는 굵은골재 최대치수 19mm의 화강암을 사용하였고, 혼합물의 입도는 건설교통부(1996) 19mm 밀입도 규격에 적합한 입도를 사용하였다. 줄눈 실링재는 접착용 실리콘(Dow corning), PMA(PG 76-22), 유화아스팔트(RSC-4), CY-sealant를 사용하였으며 이를 각각 B, C, D, E로 명명하였다.

2.2. 아스팔트 바인더 및 실런트의 특성시험

아스팔트 바인더의 특성시험은 침입도 시험(KS M 2252), 절대점도 시험(ASTM D 2170), 동점도 시험(ASTM D 2171)을 실시하였다. 각 실런트를 콘크리트 블록 사이에 채워 넣고 48시간 양생 후 직접인장하중으로 가해 실런트 별 인장강도를 25℃에서 측정하여 기초자료로 사용하였다.

2.3. 배합설계

아스팔트 함량을 변화시켜 가면서 각 함량당 3개씩의 공시체를 제조하여 물성 시험과 마샬안정도 시험을 수행하였다. 이것을 아스팔트 함량에 따른 물성별 곡선으로 표시한 후에 밀입도 19mm 규정을 적용하여 그래프 상에서 공극률의 범위 3~6%, 안정도 500kgf 이상, 흐름 20~40, 포화도 70~85%를 만족하는 아스팔트 함량의 범위를 구하고 이로부터 최적 아스팔트 함량을 구하였다.

*정회원 · 강원대학교 농업공학부 교수 · 공학박사 (033-250-6467, kwkim@kangwon.ac.kr)
**정회원 · 미국 시카고시 공무원 · 공학박사
***정회원 · 강원대학교 석재신소재센터 연구원 · 공학석사 (033-250-7284, genius93@korea.com)
****정회원 · 강원대학교 대학원 지역기반공학과 석사과정 (033-250-7284)
*****정회원 · SK(주) · 공학박사

2.4. 마샬안정도 시험과 간접인장강도 시험

마샬안정도 시험은 다짐 몰드채로 약 4시간 식힌 후 탈형한 공시체를 상온에서 20시간 보관 후 60℃의 수조에 30분 동안 수침시킨 후 꺼내어 표면의 물기를 마른 수건으로 제거하고 바로 재하 속도 50mm/min로 하중을 가하여 안정도와 흐름값을 측정하였다.

간접인장강도는 25℃에서 Lottman 재하해드를 이용하여 50mm/min의 속도로 하중을 재하하여 측정하였다.

2.5. 반사균열 실험

선정된 골재로 혼합물의 최적 아스팔트 함량을 이용하여 반사균열 시험용 공시체를 제작하였다. 공시체는 현장의 다짐 상태를 최대한 모사하기 위하여 롤러다짐기를 이용하여 슬래브 형태로 제작하였다. 슬래브의 크기는 가로 300mm×세로 300mm×높이 50mm가 되도록 하였다. 제작된 슬래브는 물성을 측정하여 공극률이 4±0.5% 이면 절단기를 이용하여 3등분하여 길이 300mm(L)×폭 80mm(D)×두께 50mm(T)인 보 공시체로 만들었다.

콘크리트 시멘트 포장의 균열 (또는 줄눈) 선단 위에 아스팔트 덧씌우기 포장상태를 모사하기 위하여 아스팔트 보 공시체를 두께 30mm, 폭 80mm, 길이가 145mm인 두 개의 콘크리트 블록 위에 덧씌우기 형태로 부착하였다. 두 조각의 콘크리트 블록 중앙에 10mm의 간격을 두고 그 상면을 택코팅하여 아스팔트 보 공시체를 부착하였다. 실링재를 채우기 전에 블록 중앙의 틈을 완전건조를 시킨 다음 콘크리트 면에 남아있는 부착에 방해가 될 물질은 깨끗이 청소하였다. 그리고 블록 중앙의 1cm의 간격에는 실링재를 채웠다. 이 공시체는 2일간 상온(25℃)에서 양생시킨 후 5시간 전에 25℃의 항온실에 넣었다가 25℃로 유지되는 실내에서 실험하였다.

콘크리트 하부의 탄성지지를 모사하기 위하여 10mm 두께의 고무패드를 콘크리트 바닥에 깔았다. 실험장치는 직경 200mm의 강재 바퀴가 200mm 거리를 왕복하는 반복주행(Wheel tracking) 시험기를 이용하였으며 윤하중은 1Hz의 속도로 100kgf를 재하하였다. 이 혼합 파괴 모드의 시험 장비에 시험체를 설치한 모습은 Fig. 1과 같다. 이 시험에서 아스팔트 보 공시체의 수평변위는 Demec guage를 이용하여 하중 반복의 매 500cycle 마다 측정하였다 (김광우 등 1999).

또한 수직균열 길이의 관찰을 용이하게 하기 위하여 보 공시체의 한쪽 면을 흰색 페인트로 칠하여 하중반복에 따른 균열 성장을 500cycle마다 육안으로 측정하였다. 실험은 수직균열이 공시체의 전체 높이에 도달할 때까지 수행하였다. 이 혼합 파괴 모드에 이용된 각각의 혼합물에 대한 명칭은 Table 1과 같다.

동적안정도(Dynamic stability : DS)는 공시체가 수직균열의 발생으로 인하여 수평으로 1mm 변형을 일으키는데 얼마나 많은 하중재하수가 요구되는가를 나타내는 수치이므로 각 실험조건별로 동적안정도를 구하였다. 수직균열 진전비는 각 공시체의 선형 회귀곡선의 기울기로서 나타냈다.

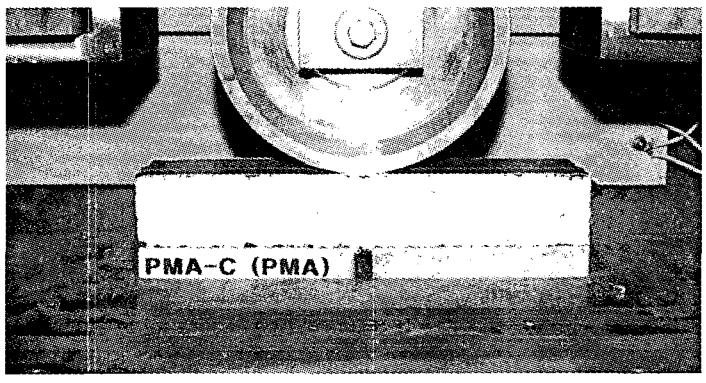

Fig. 1 Mixed failure test setup

Table 1. Mixture specimen designation

Designation	Description
NAP-O	Normal asphalt mixture without sealant in joint
NAP-B	Normal asphalt mixture with B sealant in joint
NAP-E	Normal asphalt mixture with E sealant in joint
PMA-O	PMA mixture without sealant in joint
PMA-B	PMA mixture with B sealant in joint
PMA-C	PMA mixture with C sealant in joint
PMA-D	PMA mixture with D sealant in joint
PMA-E	PMA mixture with E sealant in joint

O : No Sealant, B : Dow Corning Sealant, C : PMA(PG 76-22),
D : Emulsion (RSC-4), E : CY Sealant

3. 결과 및 고찰

3.1. 아스팔트의 특성

본 연구에 사용된 아스팔트의 침입도, 점도 시험결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Rheology properties of asphalt binders

Properties \ Binder	NAP	PMA
Penetration (0.1mm), 25℃	60	52
Absolute viscosity (poise), 60℃	2,464	11,807
Kinematic viscosity (cP), 135℃	425	1,680

실험결과 PMA 아스팔트가 일반 아스팔트(NAP)보다 점도가 높고 침입도가 낮게 나타났다. 특히 침입도 차이에 비해 절대점도에서 NAP에 비해 크게 차이가 나 60℃에서 유동성이 크게 낮음을 알 수 있었다.

3.2. 줄눈 실링재의 특성

줄눈 실링재 별 인장강도 시험결과는 Fig. 2와 같다. 4가지 실런트 중 D 실런트의 인장강도는 너무 낮아 그림에서 제외하였다. 실런트 B와 E의 인장강도는 0.2kgf/cm^2 이상으로 유사하게 나타났으나 파괴 전까지 변형은 E가 월등히 크게 나타났다. 따라서 E는 변형이 크게 나타날 때까지 파괴가 이루어지지 않아 인성이 큰 것으로 나타났다. C는 인장강도가 B, E에 비해 크게 낮았다.

3.3. 역학적 특성

배합설계 결과로부터 결정된 각 혼합물의 최적아스팔트 함량으로 공시체를 제조한 혼합물들의 물성 및 강도 특성치는 Table 3과 같다. 최적아스팔트 함량은 PMA와 NAP가 비슷하게 나타났다. 혼합물의 인장강도는 PMA 혼합물이 NAP보다 크게 나타났다. 이는 PMA 혼합물의 개질재가 인장력 향상효과를 나타내기 때문이다. 인장강도는 아스팔트 포장이 윤하중에 의한 하중의 영향을 견디어 내는 가장 중요한 특성이므로 이의 향상은 포장의 피로수명을 증진시킬 것이라 추정된다.

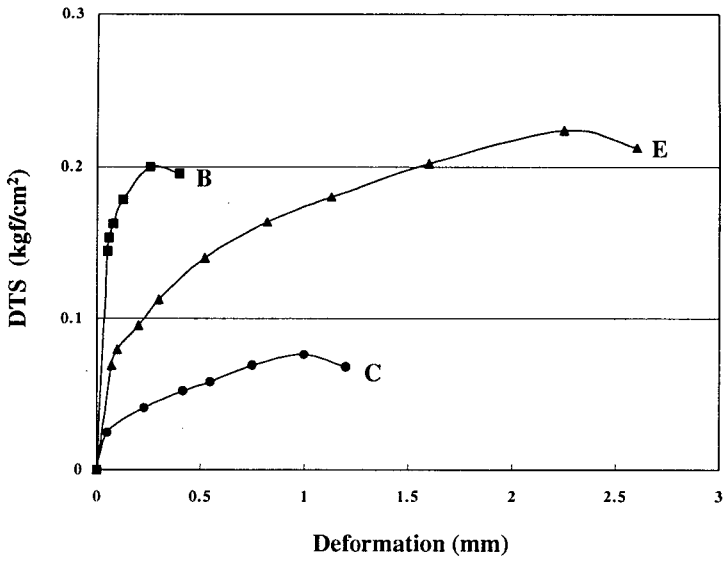

Fig. 6 Direct tensile strength (DTS) test results of various sealants

Table 3. Physical and strength properties of asphalt mixtures

Property \ Mixture	Specification	NAP	PMA
OAC (%)	5 ~ 7	5.1	5.2
Air void (%)	3 ~ 6	3.9	4.2
VMA (%)	-	15.7	16.3
VFA (%)	70 ~ 85	75.1	74.0
Flow (0.1mm)	20 ~ 40	35	37
Stability (kgf)	above 500	881	1,112
ITS (kgf/cm^2)	-	6.7	9.7
Stiffness index (kgf/mm)	-	341	475

3.3. 반사균열 저항특성

Table 4는 각각 혼합물의 반사균열 저항특성을 보여준다. 그리고 Fig. 3은 혼합물의 반사균열 피로수명비를 나타낸다.

Table 4의 값은 3개 공시체의 평균값들이다. Fig. 3에서 NAP의 수명은 1,250cycle로 이를 1로 나타냈다. NAP-B와 E는 4배, 7.2배의 증가를 나타내어 줄눈 실링재 B와 E가 반사균열 제어에 효과가 있음을 알 수 있다.

PMA-O는 NAP-O보다 약 22배 증가하였다. 이는 PMA 혼합물이 개질재의 사용으로 균열저항성이 증가하였기 때문에 조인트 실링재 없이도 피로수명이 크게 향상되는 것을 보여주는 증거이다. 또한 줄눈에 실링재를 채운 PMA 혼합물들의 반사균열 피로수명은 NAP에 비해 약 30~54배의 증가를 나타냈다.

그리고 줄눈 실링재를 채운 PMA 혼합물은 실링재를 채우지 않은 경우와 비교하여 실링재 B, C, D, E 각각 1.82배, 1.37배, 1.70배, 2.48배 증가하였다. 줄눈 실링재 C를 사용한 것은 상대적으로 증가폭이 적으나 B와 D, E를 첨가한 혼합물은 비교적 크게 나타났다.

Table 4. Reflection crack resistance properties of mixed failure

Mixture	Fatigue life, N_f (cycle)	Final horizontal displacement(mm)	Dynamic stability (cycle/mm)	Vertical crack growth rate (mm/cycle)
NAP-O	1,250	2.10	926	28.5×10^{-3}
NAP-B	5,000	2.31	3,296	10.3×10^{-3}
NAP-E	9,000	3.09	4,020	5.2×10^{-3}
PMA-O	27,000	1.53	19,167	1.70×10^{-3}
PMA-B	50,000	0.66	170,370	1.10×10^{-3}
PMA-C	37,000	2.28	26,829	1.50×10^{-3}
PMA-D	46,000	1.33	61,977	1.20×10^{-3}
PMA-E	67,000	1.81	106,522	0.70×10^{-3}

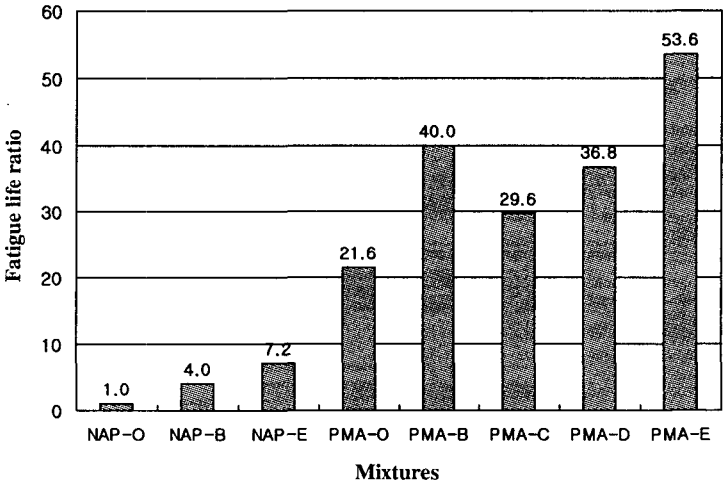

Fig. 3 Relative comparison of fatigue life of various mixture-sealant combinations

실링재 별 인장강도 시험결과와 혼합물 별 피로수명을 비교해보면 일반적으로 인장강도가 큰 실링재를 사용한 혼합물의 피로수명이 크게 나타났고 낮은 실링재를 사용한 혼합물이 작게 나타났다. 하지만 D(RSC-4 유제)를 채운 PMA-D 혼합물의 피로수명은 특이한 결과를 보였다. RSC-4는 인장강도 시험을 수행할 수 없을 정도로 강도는 아주 낮았지만 피로수명은 강성지수가 큰 PMA-C보다 크게 나타났는데 이는 RSC-4의 점도가 낮아 줄눈 내부를 거의 완벽하게 채워준 상태에서 수분증발 후 아스팔트가 접착력을 발휘하기 때문이라고 사료된다(최동춘, 2002).

동적안정도는 Table 4와 Fig. 4에 나타난 바와 같다. NAP-O의 동적안정도가 926cycle/mm인데 NAP-B와 NAP-E는 NAP-O에 비해 3~4배 증가하였다. 줄눈을 채우지 않은 PMA 혼합물(PMA-O)은 약 21배, 줄눈 실링재로 보강한 PMA 혼합물의 동적안정도는 일반 아스팔트혼합물의 29~184배가 큰 것으로 나타났다. 그 중 PMA-B가 가장 크게 나타났는데, 이는 Table 4에서 PMA-B의 수평변위가 가장 작은 것으로부터도 알 수 있었다. 이것은 PMA 혼합물자체가 균열진전에 의한 수평변위(균열 폭) 확장을 저지할 수 있으며, 줄눈을 실링재로 보강함으로서 하단 콘크리트의 움직임을 억제해 혼합물의 수평변위가 저지되는 효과가 있어 실링재의 효과를 입증하는 것이라 할 수 있다.

수직균열 진전비는 반복하중주기에 따른 수직균열 진전을 1차식으로 회귀분석한 것이다. 수직균열 진전비는 NAP-O가 28.5×10^{-3}mm/cycle로 가장 크게 나타났고, PMA-O 혼합물은 1.70×10^{-3}mm/cycle로 나타났다.

줄눈에 실링재로 보강한 NAP혼합물의 수직균열 진전비를 살펴보면 실링재의 특성에 따라 그 효과의 차이가 있으며 NAP-E가 NAP-B보다 우수하게 나타났다. PMA 혼합물의 수직균열 진전비를 살펴보면, 실링재의 종류에 따라 그 효과의 차이가 있으며, 균열 진전속도는 PMA-C, PMA-B, PMA-D, PMA-E 순으로 낮아져 PMA-E의 균열진전속도가 가장 낮았다.

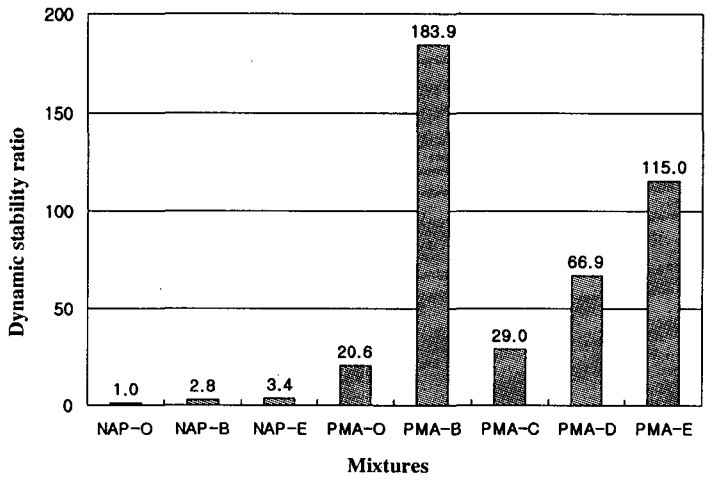

Fig. 4 Relative comparison of dynamic stability of various mixture-sealant combinations

4. 결 론

(1) 본 실험에 사용된 촉진 반사균열 시험법은 줄눈을 실링재로 메운 상태에서도 모사공시체에 적용할 수 있었으며 줄눈채움재의 효과에 따른 차이를 상대 비교·평가할 수 있었다.

(2) 줄눈 실링재는 반사균열 제어에 효과가 있는 것으로 나타났다. 즉, 실링재는 종류 및 특성에 따라 효과에 차이가 있으나 양쪽의 콘크리트에 접착되어 줄눈 간격이 상하 혹은 좌우로 움직이는 것을 억제하는 효과가 있어 줄눈을 채우지 않은 경우보다 반사균열의 진전 및 확장 억제에 효과를 나타낸 것으로 판단되었다.

(3) 사용재료가운데서 실링재 E를 사용하였을 때 피로수명이 가장 크게 나타났으나 수평변형은 상대적으로 크게 나타났고, B는 피로수명은 E에 비해 적으나 수평변형은 가장 적게 나타났고 동적 안정도도 일반 혼합물의 180배로 가장 크게 나타났다.

(4) 개질 혼합물과 일반 혼합물에 E 실링재를 각각 사용하였을 때 일반 혼합물의 경우 피로수명이 일반 혼합물의 7.2배로 나타났고, 개질 혼합물은 일반 혼합물의 2.48배로 나타나 일반 혼합물에서 실링재가 더 효과적임을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단지정 강원대학교 석재복합신소재연구센터의 지원에 의하여 이루어진 연구입니다.

참고문헌

1. 김광우, 임성빈, 도영수, 이석근, (1999) "전단반사균열 모사실험 방법개발 및 적용성 연구," 한국도로포장공학회지, 제 1권 1호.
2. 최동춘, (2002) "줄눈 실링재가 아스팔트 콘크리트의 반사균열에 미치는 영향," 강원대학교 대학원, 박사학위 논문.