

아스팔트 덧씌우기 포장의 반사균열 지연을 위한 응력흡수 중간층 혼합물의 전단 저항특성

Shear Resistance Properties of Stress Absorbing Interlayer Asphalt Mixture for Reflective Cracking in Overlay Asphalt Concrete

박태순* · 이요섭** · 서경원*** · 고석범****

Park, Tae Soon · Lee, Yo Seop · Seo, Kyoung Won · Ko, Seok Beom

1. 서론

아스팔트 덧씌우기 포장에서 발생하는 반사균열을 억제하기 위하여 균열 및 안치(Crack & seat)공법, Rubblizing 공법, 포장섬유 설치 등 다양한 방법이 시도되어 왔다. 그러나 공용 후 발생하는 균열을 억제하기 위해서는 여러 문제점이 지적되어 왔다. 본 연구는 전단 응력 및 휨 응력으로부터 발생하는 균열을 효율적으로 억제할 수 있을 것으로 기대되는 탄성이 우수한 아스팔트 바인더를 개발하여 아스팔트 덧씌우기 포장의 중간층(노후 콘크리트와 표층 아스팔트 사이에 설치)에 대한 전단특성에 대하여 시험한 결과이다.

2. 응력흡수 중간층의 이론적 배경 및 원리

덧씌우기 전 응력흡수 중간층을 설치할 경우 기대되는 효과와 성능은 다음과 같다. 하부층에서 발생한 균열은 상부로 진전되고 응력흡수 중간층에서는 얇은 판상의 수평균열이 발생할 만큼의 모멘트와 전단응력이 발생한다. 이러한 단계 이후에는 하부층의 균열은 중간층에 도달하게 되고 판상균열이 발생하게 된다. 판상균열이 상부층의 하부에서 변형이 발생될 정도가 되어 파괴점에 도달하면 상부층의 균열이 발생되면서 결국에는 완전 파괴에 이르게 된다. 그림 1은 이와 같은 원리에 대한 모식도이다.

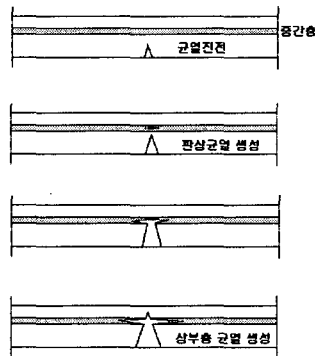


그림 1. 응력흡수 중간층의 거동 및 균열 진전 형태

*정회원 · 서울산업대학교 토목공학과 교수 · 02-970-6506(tpark@snut.ac.kr)
 **정회원 · 서울산업대학교 토목공학과 대학원 · 02-970-6946(lys1229@empal.com)
 ***정회원 · 서울산업대학교 토목공학과 대학원 · 02-970-6946(sk97104617@empal.com)
 ****정회원 · 대림산업기술연구소 · 공학박사 · 02-2011-8422(sbko@dic.co.kr)



이러한 응력흡수 중간층의 거동특성은 아래와 같은 효과가 기대된다.

- ① 전단저항 : 하층 및 상층간의 결합력과 중간층 자체의 전단저항이 너무 낮을 경우, 조기에 판상균열이 발생하여 상층의 조기균열이 발생하게 된다.
- ② 중간층의 강성 : 중간층의 강성이 너무 낮을 경우 상층의 하부에서 큰 변형이 발생하여 이 층으로부터 조기 균열이 발생하게 된다.
- ③ 중간층의 파악력(toughness) : 중간층의 파악력이 너무 낮을 경우 오히려 중간층을 통하여 균열이 진전되어 균열 발생 저지 효과가 없거나 제한적인 효과만을 얻게 된다.

3. 고탄성 응력흡수 중간층의 재료특성

응력흡수 중간층(이하 ‘중간층’으로 표기)용 아스팔트 바인더는 순수 국내 기술로 제작된 특수바인더로 S사에서 개발된 NY시제품 아스팔트가 사용되었다. NY시제품은, 이미 성능이 입증된 국외 제품과 비교하여 PG등급, 저장안정성, 탄성회복률 등에서 동등한 성능을 나타내었다. 혼합물 제작을 위해 사용된 중간층의 입도는 표 1 과 같다. 표 2 는 중간층 혼합물의 설계기준을 나타낸 것이다.

표 1. 중간층 입도

체크기	통과율 %
9.5 mm	100
No. 4 (4.75 mm)	80-100
No. 8 (2.36 mm)	60-85
No. 16 (1.18 mm)	40-70
No. 30 (600 μm)	25-55
No. 50 (300 μm)	15-35
No. 100 (150 μm)	8-20
No. 200 (75 μm)	6-14

표 2. 중간층용 혼합물에 대한 시험 기준

시험	기준
• 공극률 (Va), %	0.5 - 2.5
• 골재간극률 (VMA)	16.0 이상
• 빔 안정도 (AASHTO T-246,60℃), 선회다짐 50회 (몰드,100mm)	18.0 이상
• Flexural Beam Fatigue Test(AASHTO TP-8)	2개 건본의 평균치에 대한 최소 100,000 cycles 이상

중간층 상부의 덧씌우기층 혼합물의 재료로는 일반 아스팔트(AP-5)와 SBS 고분자 개질 아스팔트 혼합물(PMA)을 사용하였다.

4. 전단 반사균열 모사시험

반사균열을 모사하기 위해 수행한 전단 파괴모드(Fracture Mode II)시험은 직경 20cm인 바퀴(wheel)가 20cm 거리를 왕복하는 휠 트래킹(Wheel Tracking)시험기를 이용하였으며, 100kg의 운하중이 적용된 휠(wheel)을 시험공시체 상면에 재하하여 0.5Hz의 속도로 왕복하는 시험을 수행하였다. 시험공시체는 매 500cycle 마다 수직균열과 수평변위를 측정하였으며, 육안으로 관찰이 가능한 각각의 수직균열의 합이 공시체의 전체 높이에 도달할 때까지 시험을 수행하였다. 이 때까지 바퀴의 왕복 회수(cycles)를 파괴수명(Failure Life)으로 기록하였다. 반사균열 모사시험에 사용된 시험공시체는 표 3과 같다.



표 3. 아스팔트 혼합물 시험공시체

	Type A	Type B
시험 공시체 모식도		
혼합물 구성	① 덧씌우기층(밀입도) - 일반 아스팔트 혼합물 7.5cm - PMA 혼합물 7.5cm ② 콘크리트 슬래브 4cm	① 덧씌우기층(밀입도) - 일반 아스팔트 혼합물 5cm - PMA 혼합물 5cm ② 중간층(9.5mm 중간층 입도) - 두께 2.5cm ③ 콘크리트 슬래브 4cm

5. 결과 및 고찰

표 5에서는 반사균열 모사시험을 통해 측정된 저항특성 항목과 시험의 결과 값을 나타내었다. 일반 아스팔트 공시체(이하 'AP 혼합물'로 표기)의 전단파괴수명을 기준(6,500cycles)으로 하였을 경우 중간층이 설치된 공시체는 파괴수명이 25,000cycles로 3.8배의 수명 연장의 효과를 확인할 수 있었다. SBS 개질재가 첨가된 PMA 혼합물은 69,000cycles의 파괴수명을 나타내었고 중간층이 설치된 PMA 혼합물이 128,000cycles로 AP 혼합물 보다 각각 10.6배, 19.7배 파괴수명이 연장되는 결과를 보여주었다.

표 5. 포장층 재료별 전단 저항특성

혼합물		항목	전단파괴수명 (cycle)		수직균열 진전비 (mm/cycle)	수평변위 (mm)	동적안정도 (cycle/mm)
			기준	비교			
AP	AP 혼합물	기준	6,500	Control(1)	1.07×10^{-2}	3.54	1,797
	중간층 설치	비교	25,000	3.8배	0.26×10^{-2}	3.80	7,856
PMA	PMA 혼합물	기준	69,000	10.6배	1.06×10^{-3}	3.23	30,454
	중간층 설치	비교	128,000	19.7배	0.48×10^{-3}	2.26	72,597

전단파괴에 의한 수직균열 진전비는 윤하중 1회(cycle) 왕복에 의한 수직균열의 진전(mm)을 나타내는 것이다. AP 혼합물의 경우 표 5에서 처럼 수직균열 진전비는 1.07×10^{-2} cycles/mm로 나타났으며, 중간층이 설치된 경우 수직균열의 진전이 6.6배 지연되는 결과를 나타내었다. 그리고, PMA의 경우 PMA 혼합물과 PMA 혼합물에 중간층 설치된 경우에서 각각 1.06×10^{-3} mm/cycle, 0.48×10^{-3} mm/cycle로 중간층이 설치된 PMA 혼합물에서 반사균열의 진전이 가장 느리게 나타나는 결과를 확인하였다. 이것은 용력흡수 중간층과 SBS 고분자 개질재가 첨가된 아스팔트 혼합물(PMA 혼합물)을 표층으로 사용하므로써 일반 아스팔트보다 반사균열의 진전을 억제하는데 효과적인 것을 보여준다.

수평변위는 수직균열 관찰과 마찬가지로 매 500cycles 마다 측정하였으며 시험공시체가 파괴될 때의 윤하중 왕복횟수(cycles)와 수평변위량(mm)의 관계를 이용하여 동적안정도(DS : Dynamic Stability)를 구하였다. 동적안정도는 공시체가 수직균열의 발생으로 인하여 수평으로 1mm 변형을 일으키는데 요구되는 윤하중의 왕복회수로, 일반 아스팔트 혼합물의 경우 1,797cycles/mm로 나타났으며, 중간층을 설치한 경우 및 아스팔트 바인더를 PMA로 하였을 경우 우수한 경향을 나타내고 있다

본 연구에서는 포장층 재료별 저항특성 비교뿐만 아니라 아스팔트 덧씌우기층의 하부를 구성하는 콘크리트

트포장층을 모사한 시멘트 콘크리트 블록(콘크리트 슬래브)의 간격(이하 '줄눈 간격'으로 표기)을 변화시킨 후 각 줄눈 간격에 따른 저항 특성도 비교하여 보았다. 줄눈 간격은 1.0cm, 0.5cm, 0.25cm로 하였으며, 전단 파괴수명에 대한 결과는 그림 5, 그림 6 에서처럼 줄눈 간격이 줄어들수록 파괴수명은 연장되는 것으로 나타났다. 그림 5 와 그림 6 은 일반 아스팔트 혼합물과 PMA 혼합물에 대한 재료 및 줄눈 간격별 전단파괴수명 (Failure life)을 비교한 그래프이다.

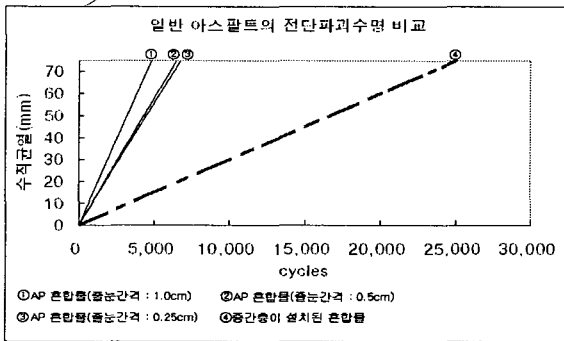


그림 5. AP 혼합물의 전단파괴수명 비교

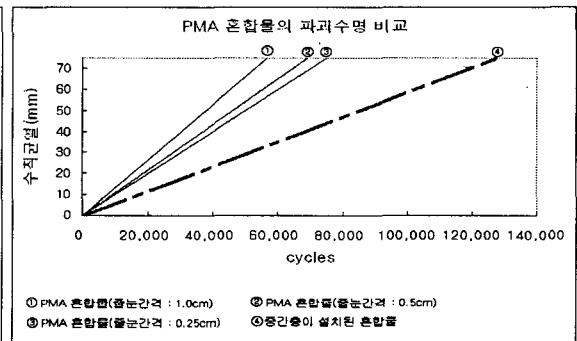


그림 6. PMA 혼합물의 전단파괴수명 비교

6. 결론

1. 중간층의 설치는 반사균열을 제어하는데 뚜렷한 효과가 있는 것으로 나타났다.
2. 중간층의 설치 후 상부 혼합물의 종류에 따라 전단파괴수명(cycle)의 차이가 크게 영향을 받는 것으로 나타나 중간층 설치시 상부 혼합물의 적절한 선정이 필요한 것으로 보인다.
3. 줄눈 간격 변화에 따른 반사균열 저항 특성은 일반적으로 줄눈 간격이 줄어들수록 저항성이 향상된 것으로 나타났다. 따라서, 덧씌우기전 포장 균열에 대한 전처리를 함으로써 유지보수 후 도로공용수명의 연장에 따른 시공비용의 절감효과도 고려할 수 있을 것으로 판단한다.

참고문헌

1. 김광우, 임성빈, 도영수, 이석근, 전단 반사균열 모사 실험방법 개발 및 적용성 연구, 한국도로포장공학회지, 제 1권 1호, pp.97-106.1999
2. 한국도로공사, 포장균열 및 노면 반사균열 억제방안 연구(I, II, III, IV), 한국도로공사 연구보고서, 1997~2000
3. Joseph, P. E., *Low Temperature Reflection Cracking Through Asphalt Overlays*, Ph. D. Dissertation. University of Waterloo, Waterloo, Ontario, Canada, 1987
4. Molenaar, A. A. A., Heerkens, J. C. P., Verhoeven, J. H. M., *Effects of Stress Absorbing Membrane Interlayers*, AAPT Vol.53, pp.453-481, 1986
5. Rigo, J. M., *General Introduction Main Construction of the 1989 Conference on Reflective Cracking in Pavements and Future Prospects*, Proceedings of the 2nd International RILEM Conference on Reflective Cracking in Pavements, pp.3-20, 1993