

아스팔트 혼합물의 수분 민감 특성 연구

A Study on Moisture Susceptibility Characteristics of Asphalt Mixtures

이경하* · 박은용** · 조성환***

Lee, Kyung Ha · Park, Eun Yong · Cho, Seong Hwan

1. 서론

아스팔트 포장은 우기에 포트홀이 발생하는 등 수분 취약성을 가지고 있다. 우수가 아스팔트 혼합물의 골재로 침투하면 이러한 침투수로 아스팔트 피막과 골재를 분리시키며 친수성골재인 경우 이러한 현상이 쉽게 일어나게 된다. 이러한 현상을 박리(stripping) 현상이라 하고 박리현상이 위에서 아래로 진행될 때는 라벨링 현상이 발생되고, 아래에서 위로 진행될 때에 포트홀 파손이 일어나게 된다. 특히 교면포장과 콘크리트 포장 위 덧씌우기 구간에서는 아스팔트 포장내로 침투한 물이 하부콘크리트 슬래브에 채투하면서 파손이 심하게 발생된다. 아스팔트 포장 자체는 불투수성을 전제로 하고 있지만 실제로는 투수가 발생된다. 이러한 투수현상은 토공부에서는 하부기층 및 보조기층으로 배수되므로 큰 문제를 일으키지 않으나, 교면포장 등과 같이 하부에 콘크리트 슬래브가 있는 경우 배수가 되지 않아 구조물에도 악영향을 끼치게 된다. 특히 토공부보다는 교면포장과 콘크리트 포장 위 덧씌우기 구간 등에서 우수침투에 의한 파손이 더 크게 나타나 교통사고의 위험이 증대되고 있다. 이러한 포트홀이나 밀림 등의 파손은 혼합물 자체의 문제점만 개선해서는 해결이 안 되며 포장의 구조적인 문제점을 같이 검토해야 한다. 그러기 위해서는 재료적 측면에서 아스팔트 혼합물의 수분민감성을 분석하고 수분에 민감한 영향인자를 분석하여 수분민감성을 최소화하는 방안을 마련해야 한다.

따라서, 본 연구에서는 아스팔트 피막과 골재 사이로 침투한 수분이 아스팔트 혼합물에 미치는 역학적 민감 특성과 이러한 민감 특성을 분석할 수 있는 시험방법의 효과분석을 위한 수분에 대한 저항성 기준을 마련하고, 아스팔트 혼합물의 내수성을 강화하기 위한 방안을 연구하고자 한다.

2. 실내시험

아스팔트 혼합물의 수분민감특성이 공용성에 미치는 영향특성을 분석하기 위하여 공용특성과 관련된 수분민감도를 분석하였다. 아스팔트 혼합물의 일반적인 공용특성은 크게 소성변형, 피로균열, 저온균열의 세가지로 구분할 수 있다.

소성변형 특성을 파악하기 위하여 크리프시험과 휠트랙킹시험, 마찰안정도시험을 실시하였고, 피로특성을 파악하기 위하여 상온에서의 간접인장강도 시험을 실시하여 간접인장강도와 터프니스를 구하였다. 저온균열 특성을 파악하기 위하여는 저온에서의 간접인장강도 시험을 실시하여 터프니스를 구하였다.

본 연구에서는 아스팔트 혼합물의 공용특성을 살펴보기 위하여 시험방법으로는 크리프시험과 휠트랙킹시험, 마찰안정도시험, 간접인장강도시험을 실시하였고, 시험재료로는 일반 아스팔트 혼합물과, 박리방지제로 사용되는 소석회, 그리고 개질아스팔트 혼합물, SMA를 사용하였다.

표 1은 건조상태의 혼합물 종류에 따른 시험별 강도 및 터프니스 특성 결과를 나타낸 것이다. 표 1에서 강도특성치인 크리프계수, 간접인장강도, 마찰안정도는 개질아스팔트 혼합물이 가장 크게 나타났고, 저온에서의

* 정희원 · 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원 · 공학박사 · khlee@freeway.co.kr

** 비희원 · 한국유지관리(주) 사원 · 공학석사 · pey@kmcpech.co.kr

*** 비희원 · 동일기술공사 연구원 · 공학석사 · kapimax@licos.co.kr



균열에너지를 흡수할 수 있는 능력을 나타내는 저온 터프니스는 SMA가 가장 크게 나타났다.

표 1. 시험별 강도 및 터프니스 특성

시험 종류	혼합물 종류				
	일반	소석회	개질1	개질2	SMA
Creep Modulus, MPa	13.30	13.91	29.42	32.75	16.34
ITS(5°C), kg/cm ²	38.42	37.11	46.39	47.64	34.34
터프니스(5°C), kg·cm	610.92	623.06	477.25	654.50	806.98
ITS(25°C), kg/cm ²	16.25	16.47	17.14	23.76	10.48
터프니스(25°C), kg·cm	439.29	451.66	369.72	466.88	320.78
Marshall Stability, kg	1378.2	1422.8	1452.8	1980.5	978.1

3. 수분 민감특성 결과 분석

표 2는 건조상태와 수분포화상태의 공용특성시험을 통하여 수분민감도를 측정된 것이다. 표 2에서 개질2 아스팔트 혼합물이 5°C 터프니스를 제외하고는 수분민감도가 가장 적은 것으로 나타났다.

표 3은 각 시험특성치간의 수분민감도를 계산 한 것으로 수분민감도는 강도비(수분포화/건조) 또는 터프니스비가 1에 가까운 것이 수분민감도가 가장 적은 것이므로 본 연구에서는 1에서 강도비를 뺀 값에 절댓값을 취한 것을 수분민감도로 정의하였다.

표 3에서 수분민감도는 크리프계수, 저온터프니스, 상온TSR, 상온터프니스 순으로 나타났다. 표 3으로부터 수분민감도가 공용특성에 영향을 미치는 인자는 소성변형이 가장 크며, 저온균열, 피로균열 순인 것으로 판단할 수 있다.

표 2. 시험에 따른 혼합물 종류별 수분 민감 특성

시험 종류		혼합물 종류				
		일반	소석회	개질1	개질2	SMA
Creep Modulus, MPa	건조	13.30	13.91	29.42	32.75	16.34
	수분	32.38	25.29	36.32	40.28	28.49
Modulus Ratio		2.435	1.819	1.235	1.230	1.744
ITS(5°C), kg/cm ²	건조	38.42	37.11	46.39	47.64	34.34
	수분	29.41	30.44	39.43	42.83	28.78
TSR(5°C)		0.765	0.820	0.849	0.898	0.838
Toughness(5°C), kg·cm	건조	610.92	623.06	477.25	654.50	806.98
	수분	451.17	458.77	420.07	523.85	608.23
Energy Ratio		0.740	0.740	0.880	0.800	0.750
ITS(25°C), kg/cm ²	건조	16.25	16.47	17.14	23.76	10.48
	수분	12.79	13.37	13.63	21.12	8.29
TSR(25°C)		0.787	0.812	0.796	0.889	0.791
Toughness(25°C), kg·cm	건조	439.29	451.66	369.72	466.88	320.78
	수분	540.80	525.10	422.11	523.84	361.29
Energy Ratio		1.230	1.160	1.140	1.120	1.130
Marshall Stability, kg	수침 30분	1378.2	1422.8	1452.8	1980.5	978.1
	수침 48시간	1173.3	1233.3	1235.8	1821.2	868.2
Marshall Residual Stability		0.851	0.867	0.851	0.920	0.888



표 3. 수분민감도 특성

시험 특성치	공용특성	수분민감도	표준편차	변동계수
Creep Modulus	소성변형	0.693	0.498	0.294
터프니스(5℃)	저온균열	0.218	0.060	0.077
TSR(25℃)	피로균열	0.185	0.042	0.052
터프니스(25℃)	피로균열	0.156	0.044	0.038

본 연구에서는 수분처리를 수행하기 이전에 적절한 수침 시간을 결정하기 위한 예비 실험으로 50회 다짐 시편과 75회 다짐 시편에 대해서 약 80~120시간 동안 수침 시키면서 시간대 별로 각 시편의 포화도를 여러 차례 측정 후 이를 평균하여 포화도를 구하였다. 포화도 측정시 사용한 시편들은 공극률 4.0%를 목표로 하고 제작된 시편으로 공극률이 3.8~4.3% 범위내에 존재하였다.

시험결과, 75회다짐 시편의 시험결과로 72시간이후 포화도가 더 이상 증가하지 않는 것으로 나타났다. 50회 다짐한 C혼합물의 경우 72~96시간 지점에서 포화도가 수렴해 감을 알 수 있다. 50회 다짐한 시편에서는 균열이 대부분의 시편에 발생하면서 포화도가 급격하게 증가했으며, C혼합물의 경우, 96시간 이후의 시간에 대해서는 이미 균열이 발생하였다.

이상의 시험결과에서 수침시간이 72시간을 경과하여야 수분포화가 수렴해감을 알 수 있으며 현행 수침잔류안정도 시험방법에서 수침시간을 48시간으로 규정한 것은 개선되어야 할 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 우수 침투에 의한 아스팔트 포장의 파손을 방지하기 위하여 포장파손에 대한 원인 분석을 재료적 측면과 구조적 측면으로 분석하였다. 재료적 측면에서는 아스팔트 혼합물자체의 수분 민감 특성을 분석하여 영향인자 분석을 하였고, 현장조사 및 실내시험 분석을 실시하였다.

본 연구에서 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) 아스팔트 함량에 따른 분석 결과 잔류안정도와 TSR의 결과들이 공극률에 따른 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 입도별로 살펴보면 SMA입도가 아스팔트 함량에 대한 영향을 가장 적게 받는 것으로 나타났으며 잔류안정도와 TSR의 평가기준을 모두 만족하는 혼합물로 평가되었다.
- 2) 화강암과 석회암 골재의 분석결과 잔류안정도의 경우 골재의 변화에 따른 수분에 대한 영향을 거의 받지 않는 것으로 나타났으며 반면에 TSR의 경우 석회암 골재가 화강암 골재보다 수분에 대한 저항성이 높은 결과를 보여준다.
- 3) 입도에 대한 분석결과 WC-3와 WC-1입도에 비해 SMA13mm 입도가 첨가제의 종류에 따른 영향도 거의 받지 않는 결과를 얻었다. 이는 SMA13mm 입도가 WC-3와 WC-1 입도 보다 수분 민감 특성에 우수한 입도로 평가된다.
- 4) 첨가제는 일반, 소석회, 시멘트, 아민계열 총 4가지를 사용하여 잔류안정도 및 TSR에 대한 비교 분석을 한 결과 박리 방지제로 알려진 소석회의 사용보다 아민계열의 사용이 수분에 대한 저항성이 큰 것으로 평가되었다.
- 5) 분산분석방법을 이용하여 골재, 입도, 첨가제에 따른 분석결과 일원배치법에 의한 분석에서 잔류안정도와 TSR은 입도의 종류를 평가하기에 유의한 방법으로 평가되었다. 이원배치법에 의한 분석 결과, 골재와 입도의 조합이 가장 수분에 대한 저항성이 우수한 조합으로 평가된다.
- 6) 회귀분석을 통해 잔류안정도의 결과와 TSR의 결과를 비교 분석해 본 결과 TSR 결과가 수분 민감 특성을 평가하는데 잔류안정도 결과보다 신뢰성을 갖는 것으로 나타났으며, KS F 2349에 소개된 수분처리 방법 및 평가방법의 개선 및 개정이 필요할 것으로 평가된다.
- 7) 공용특성 시험결과, 강도특성치인 크리프계수, 간접인장강도, 마찰안정도는 개질2 아스팔트 혼합물이 가장 크게 나타났고, 저온에서의 균열에너지를 흡수할 수 있는 능력을 나타내는 저온 터프니스는 SMA가 가장 크게 나타났다.



- 8) 아스팔트 혼합물의 수분민감특성이 공용성에 미치는 영향특성을 분석한 결과에서는 소성변형과 피로균열 특성에서 개질2 아스팔트 혼합물이 수분민감도가 가장 적은 것으로 나타났고, 저온균열은 개질1 혼합물이 수분민감도가 가장 적은 것으로 나타났다.
- 9) 수분 민감도 분석결과에서는 수분민감도가 공용특성에 영향을 미치는 인자는 소성변형이 가장 크며, 저온 균열, 피로균열 순인 것으로 나타났다. 그리고, 수침잔류안정도 시험결과에서 수침시간이 72시간을 경과하여야 수분포화가 수렴해감을 알 수 있으며, 현행 수침잔류안정도 시험방법에서 수침시간을 48시간으로 규정한 것은 개선되어야 할 것으로 판단된다.
- 10) 현장조사 분석결과, 토공부 구간은 밀림에 의한 파손이 발생된 구간으로 모두 기존 하부층에 적색 세일 골재 또는 퇴적암계통 골재의 아스팔트 혼합물이 피막박리 현상을 일으켜 아스팔트와 골재가 분리되었다. 덧씌우기 보수작업시 이러한 불량층을 제거하지 않고 덧씌우기를 실시하여 상부층의 혼합물이 양호함에도 불구하고 파손이 발생되었다. 이러한 구간은 포장보수시 불량층을 모두 제거하여야 할 것으로 판단된다.

이상의 실내시험결과와 현장조사결과를 토대로 원인분석과 대책수립을 실시하였으며, 향후에는 포트홀 파손을 방지하기 위한 포장설계 및 시공지침을 수립하는 것이 필요하다.

참 고 문 헌

- 1. AASHTO, (1998) "Coating and Stripping of Bitumen-Aggregate Mixtures", Standard Specification for Transportation and Testing Part II-Tests, Twentieth Edition, AASHTO Designation : T283-85
- 2. Kennedy, T. W., F. L. Roberts, and K. W. Lee, (1984a) "Evaluating Moisture Susceptibility of Asphalt Mixtures Using the Texas Boiling Test", Transportation Research Record 968, Transportation Research Board, Washington D.C. p.45-53.
- 3. Roque. R. and Buttlar. W. G, (1992) "The Development of a Measurement and Analysis System to Accurately Determine Asphalt Concrete Properties using the Indirect Tensile Mode", Proceeding AAPT, vol. 61.
- 4. KSA 한국표준협회. (1998a) "가열 혼합, 가열 포설 역청 포장용 혼합물", 한국산업규격 KS F 2349