

칼라 아스팔트 혼합물의 현장 적용성 연구

A Study on Field Application of Color Asphalt Mixture

김완상* · 이석홍** · 이정준*** · 공원석****

Kim, Wan Sang · Lee, Suck Hong · Lee, Jung Joon · Kong, Won Suk

1. 서론

최근에 버스전용차로제의 확대시행과 학교 주변 보호구역에 칼라 아스팔트 혼합물을 포장하는 사례가 증가하고 있다. 이처럼 칼라 아스팔트 혼합물의 시공 확대는 도시 미관을 고려하여 아름다운 환경을 조성하고, 경계구역과 위험지역을 시각적으로 알림으로써 운전자 및 보행자 등의 사용자에게 안정성을 크게 부여하기 위한 것으로 볼 수 있다. 그러나 일부 칼라 아스팔트 혼합물 포장지역에서 투명바인더의 높은 점성과 강성으로 인한 저온균열 및 소성변형이 현상이 나타나고, 색상이 탈색되고 변색되어 시인성 측면에도 문제가 발생하였다.

따라서 이번 논문에서는 점차로 사용은 늘고 있으나, 균열과 파손, 변색 등에 취약함을 보여 포장 공용성에 문제가 제기된 기존의 차도용 투명 아스팔트 바인더의 공용성을 개선하기 위하여 제작된 개질 투명 아스팔트 바인더를 사용하여 실내 실험을 수행하고자 한다. 이를 위하여 개질 투명 아스팔트 바인더를 사용하여 제작한 칼라 아스팔트 혼합물과 AP-5 바인더를 사용하여 제작한 13mm 밀입도 아스팔트 혼합물의 마찰안정도실험, 간접인장강도 실험 및 수분민감성 측정실험 그리고 회복탄성계수 실험 등을 실시하여 칼라 아스팔트 혼합물의 물리적 특성을 비교 평가하였다.

2. 실험개요

2.1 아스팔트 혼합물 제작

본 연구를 위하여 제작된 아스팔트 혼합물의 입도는 건교부 도로포장설계시공지침의 아스팔트 혼합물 표준 배합 중, 13mm 밀입도로 동일하게 적용하였다. 아스팔트 바인더 함량은 칼라 아스팔트 및 AP-5 아스팔트 모두 혼합물 중량의 5.5%로 하였으며, 칼라 아스팔트 혼합물의 경우 황색(Yellow) 안료를 혼합물 전체의 2%씩 사용하여 각기 다른 여섯 종류의 혼합물을 중차량이 통행하는 버스전용차로 임을 고려하여 양면 75회씩 다짐 제작하였다.

3. 아스팔트 혼합물의 역학적 특성시험

3.1 간접인장강도실험

간접인장강도(Indirect Tensile Strength Test) 시험은 1953년에 Akazawa에 의해 시멘트 콘크리트의 인장 강도를 측정하기 위한 시험법으로 처음 소개되었고, Messina와 Breen이 아스팔트 혼합물의 시험에 적용하였다. 이 후 1965년에 Hadley 등에 의하여 시험 방법이 정립되었다. 간접인장강도실험은 수직인 직경 면을 따라 평행하게 작용하는 정적 압축 하중을 원통형 공시체에 작용시킴으로서 수행되며, 아스팔트 혼합물을 특성

* 정회원 · 현대건설기술연구소 주임연구원 · 031-280-7058 · kimws@hdec.co.kr

** 정회원 · 현대건설기술연구소 팀장/수석연구원/공학박사 · 031-280-7451 · 2000hyundai@hanmail.net

*** 비회원 · 코오롱유화(주) 기술연구소 선임연구원 · 032-580-0918 · kkongwon@kolon.com

**** 비회원 · 코오롱유화(주) 기술연구소 선임연구원 · 032-580-0919 · smoker@kolon.com



화하는데 있어 유용한 두 가지의 특성을 제공한다. 첫 번째 특성은 인장강도인데 이것은 아스팔트 혼합물의 균열 발생 가능성을 평가하는 데 사용되고 두 번째 특성은 파괴 시의 인장 변형률인데, 이것은 균열 발생 가능성의 시점을 예측하는데 유용하게 사용된다. 즉, 파괴시 변형률이 클수록 균열에 대한 저항성이 더 크다는 것을 의미한다.

(1) 간접인장강도실험 환경

각 온도변화에 따른 간접인장강도실험을 수행하기 위하여 -30℃~100℃까지 온도조절이 가능하며, 일정온도로 장시간 유지할 수 있는 특징을 가지고 있는 Mechanical Chamber를 사용하였다. 실험시료는 6시간 이상 일정 실험온도로 Pre-Setting 하였으며, 실험 전·후에 온도차가 발생하지 않게 하기 위하여 실험온도에 적합한 경우에만 실험을 수행하였다. ASTM D 4123에 규정된 절차에 따라 재하하중은 50.8 mm/분(2 inch/분)으로 제어하였다.

3.2 수분민감성실험

수분 민감성을 측정하기 위한 실험을 실시하였다, 현재까지 현장조건과 실험실 실험결과와의 상관관계에 있어 만족할 만한 관련을 가진 실험은 없으나, 수분에 의한 아스팔트 혼합물의 파손사례 등이 발생하고 있어 이를 평가하기 위해 수퍼페이즈 배합설계에서도 채택하고 있는 수정로트만 실험을 실시하였으며, 더불어 수침 후 인장강도실험도 실시하였다.

(1) 수침 후 인장강도실험 환경

본 연구에서는 ASTM D 1075의 방법을 사용하였다. 60℃의 물에 24시간동안 수침 시킨 혼합물 시료를 25℃의 물에 2시간 동안 추가로 수침시켜 온도를 안정화하고 상온(25℃)에서 간접인장강도 실험을 실시하여 결과를 얻고, 이 결과를 습윤 처리전 간접인장강도에 대한 백분율로 하여 잔류인장강도를 구하였다.

(2) 수정로트만 실험 환경

수분민감성을 측정하기 위한 또 다른 방법인 AASHTO T 283의 수정로트만 실험도 실시하였다. 실험방법은 25℃ 수조에 2시간 수침하여 25℃에서 간접인장강도 실험을 수행하고 얻은 시험결과를 기준시료로 하고, 수분의 영향을 측정하기 위한 비교시료는 -18℃에서 16시간 Curing 하고 60℃의 항온수조에서 24시간 수침 후, 다시 25℃ 수조에 2시간 수침하여 25℃에서 간접인장강도실험을 실시하는 것으로 비교 시료를 기준시료로 나누어 인장강도비를 구하게 된다.

3.3 회복탄성계수실험

교통하중에 의한 반복적인 하중 조건 하에서 아스팔트 도로포장체의 탄성 거동 특성을 파악하기 위해 회복탄성계수(Resilient Modulus, Mr)를 측정한다. 이는 온도별로 다양하게 변화하는 아스팔트 혼합물의 거동 특성을 판단하는데 적용할 수 있다. 즉 아스팔트 혼합물이 고온에서 회복탄성계수가 상대적으로 크거나 높은 증가율을 보였다면, 이 혼합물은 포장의 소성 변형에 대한 저항성이 크다는 것을 의미한다. 또한 저온에서 상온에 이르는 온도 변화에 따른 회복탄성계수의 변동 폭이(온도변화에 따른 회복탄성계수 값의 변화) 상대적으로 작다면, 이런 혼합물은 온도 균열의 발생 원인중 하나인 감온성(Temperature Susceptibility)의 영향을 작게 받는다는 것을 의미한다.

(1) 회복탄성계수실험 환경

환경조건은 간접인장강도실험과 동일하다. 하중의 재하는 간접인장강도의 5~20%의 범위에서 1~200회 반복하게 되며, 본 실험에서는 각 샘플별, 온도별로 측정된 간접인장강도의 17%에 해당하는 값으로 반복 재하하였다. 또한 저온 및 상온 고온에서의 아스팔트 혼합물의 특성을 측정하기 위하여 5℃, 25℃, 40℃에서의 온도영역에서 회복탄성계수를 측정하였다. 시험에 사용된 하중 형태는 0.1초의 재하시간과 0.9초의 휴지시간을 1사이클로 하는 Haversine 형태의 하중으로, 200회 동안 일정하게 하중을 반복 재하 하였고 실험결과



마지막 5회의 값을 평균하여 얻어지는 값으로 데이터는 컴퓨터에 자동 입력 및 분석된 것이다.

3.4 마샬안정도시험

마샬시험법은 아스팔트 혼합물의 경험적인 물성을 측정하기 위한 것으로, 목적은 표준 실험실 다짐도로 다져진 아스팔트 혼합물의 강도를 측정하기 위한 것이다. 실험 방법은 60℃수조에 30분 동안 수침 된 혼합물 시료를 분당 50.8mm(2inch/분)의 속도로 압축 하중을 가하여 공시체가 파괴될 때까지 실시하며, 이 때의 최대 하중(마샬안정도)과 변형량(흐름값)을 구한다. 이 온도에서의 실험은 여름철 포장체의 대략적인 최고 포장 온도를 나타내는 것으로, 아스팔트 혼합물에 대한 가장 열악한 온도 조건을 모사하기 위함이다.

(1) 잔류안정도시험 환경

가열 아스팔트 혼합물의 박리특성을 시험하기 위하여 물 속에 일정시간 수침한 혼합물에 대하여 실시하는 마샬안정도시험으로 KS F 2349의 수침 후 잔류안정도를 측정하여 아스팔트 혼합물의 수분민감성을 살펴보았다. 잔류안정도를 측정하기 위해 60℃의 항온수조에 48시간 동안 수침 후 안정도를 측정하고 습윤 처리된 안정도 값과 비교하여 잔류안정도를 구하게 된다.

4. 아스팔트혼합물의 측정결과

4.1 간접인장강도시험 결과

간접인장강도 실험은 각 온도별(저온:5℃, 상온:25℃, 고온:40℃)로 실시하였다. 표 1의 간접인장강도 실험 결과는 샘플별 온도별로 실험한 3개의 시료에 대한 결과값의 평균값을 나타내고 있다. 이 표에서 파괴시 변형량은 재하하중이 최대치에 이르는 시점까지의 변형량으로 아스팔트 혼합물 시료가 파괴에 이르러 발생한 변형량을 기록한 것이고, Toughness(간접인장강도 시험 중에 발생한 강도-변형량 곡선이 포함하는 면적으로 정의됨)는 아스팔트 혼합물의 파괴 후 하중이 50% 제거된 지점까지의 값을 나타낸다.

표 1. 간접인장강도 실험결과

종 류	온 도	간접인장강도(N/mm ²)	파괴시변형량(mm)	Toughness(N · mm)
Sample1	5℃	6.50	1.46	39,069
	25℃	1.87	1.37	42,896
	40℃	0.77	1.36	19,673
Sample2	5℃	7.35	1.25	36,469
	25℃	3.06	1.24	51,622
	40℃	1.12	1.23	24,032
Sample3	5℃	6.50	1.25	34,826
	25℃	1.99	1.18	38,596
	40℃	0.92	1.14	18,023
Sample4	5℃	7.21	1.15	37,334
	25℃	2.46	1.37	52,923
	40℃	0.87	1.47	21,559
Sample5	5℃	7.00	1.25	32,955
	25℃	3.78	1.23	48,746
	40℃	1.27	1.39	31,329
Sample6	5℃	6.50	1.15	37,599
	25℃	2.32	1.32	45,378
	40℃	0.81	1.29	19,588
AP-5	5℃	5.39	1.26	41,525
	25℃	1.16	1.82	31,345
	40℃	0.81	1.51	10,549

실험 결과를 보면, 5℃에서의 간접인장강도는 칼라 아스팔트 혼합물 샘플시료 6개 모두가 AP-5 아스팔트

혼합물 시료에 비해 121%~136%정도 상회하는 값을 보였다. 상온인 25℃에서도 161%~326%에 이르는 값을 얻었고, 고온인 40℃에서도 칼라 아스팔트 혼합물이 큰(157%~259%) 경향을 보였다. 일반적으로 파괴시 변형량과 Toughness 값이 큰 경우 균열에 대한 저항성이 높아지게 되는데, 칼라 아스팔트 혼합물은 5℃에서 파괴시 변형량과 Toughness가 AP-5 혼합물보다 작은 것으로 나타났으며, 상온과 고온에서는 큰 값을 보였다. 저온에서의 값이 상대적으로 작게 나타난 것은 샘플시료의 상태가 Brittle 한 것으로 보이며, 저온부에서는 stress-strain 거동이 급격하게 떨어지는 것으로 보여진다. 그림 1과 2는 각 온도별 간접인장강도와 Toughness를 정리한 그래프이다.

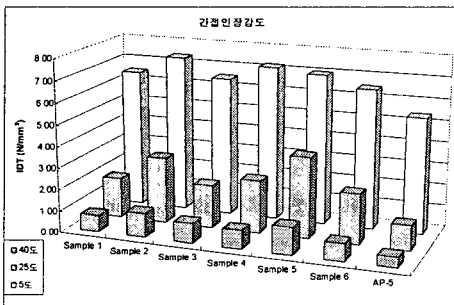


그림 1. 각 온도별 간접인장강도

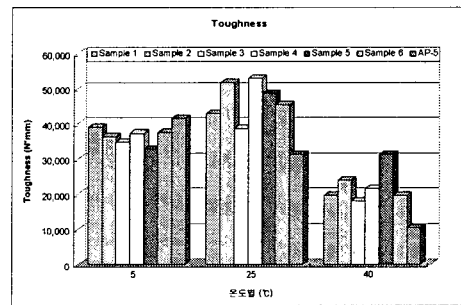


그림 2. 각 온도별 Toughness

4.2 수분민감성실험 결과

아스팔트 혼합물은 습기나 물로 인해 골재표면과 아스팔트 바인더 사이의 점착력이 떨어져 박리 현상이 일어나 파손의 원인이 되기도 한다. 표 2는 이러한 아스팔트 혼합물의 수분에 대한 저항성을 측정하기 위해 실시한 실험결과를 정리한 것이다.

표 2. 수분민감성 실험결과

시료	잔류인장강도		수정로트만		
	간접인장강도 (N/mm ²)	잔류인장강도율 (%)	간접인장강도 (기준시료, N/mm ²)	간접인장강도 (비교시료, N/mm ²)	인장강도비
Sample 1	1.82	97.2	1.84	1.68	0.91
Sample 2	2.76	90.1	2.85	2.18	0.77
Sample 3	1.71	85.9	1.92	1.36	0.71
Sample 4	2.57	104.1	2.63	2.52	0.96
Sample 5	3.67	97.0	3.67	3.20	0.87
Sample 6	2.24	96.2	2.40	1.71	0.71
AP-5	1.26	108.3	1.33	0.97	0.73

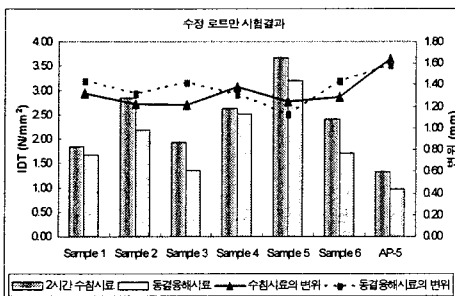


그림 3. 수정로트만 결과

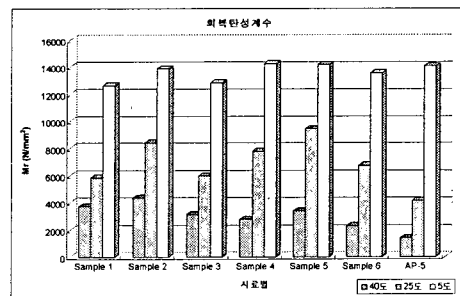


그림 4. 각 온도별 회복탄성계수



잔류인장강도 시험결과 칼라 아스팔트 혼합물 샘플시료 6개와 AP-5 혼합물 모두 수분에 대한 저항능력이 나 박리 저항성 등에 만족한 결과를 보였다. Sample 4와 AP-5의 잔류인장강도율은 오히려 증가한 결과를 보이고 있으나, 이는 시료의 상태 등에 따라 약간 상이한 결과를 얻을 수 있고 이 실험이 경험적인 결과를 얻는 시험이므로 전반적인 경향을 파악하는 것이 중요하다 할 수 있다.

기준시료에 대한 비교시료의 간접인장강도비가 지방규정에서는 0.7~0.8 이상일 것을 제안하고 있으며, 수정로트만 실험결과 샘플시료 6개 모두 0.7이상으로 기준을 만족하는 결과를 얻었다.

4.3 회복탄성계수실험 결과

실험 결과, 5℃에서의 회복탄성계수는 샘플시료 6개 모두가 AP-5 아스팔트 혼합물 시료보다 90%~101%의 값을 보였다. 상온인 25℃에서는 141%~227%에 이르는 값을 보였고, 고온인 40℃에서도 상대적으로 큰 값을(165%~312%) 보이고 있다. 저온에서의 회복탄성계수의 감소는 AP-5 혼합물에 비해 연성을 나타내 간접인장강도 시험과는 다른 양상을 보이고 있으며 온도감온성 측면에서, 5℃에 대한 40℃의 회복탄성계수 비를 산출하면, 칼라 아스팔트 혼합물의 경우 회복탄성계수비가 3.2에서 5.9의 값을 보이고 있고, AP-5 혼합물은 10.0의 값을 보여, 칼라 아스팔트 혼합물이 온도균열 발생원인 중 하나인 감온성의 영향을 적게 받을 것으로 보인다. 표 3의 회복탄성계수실험 결과는 샘플별 온도별로 실험한 각 3개의 시료에 방향성을 고려하여 90° 회전 하여 실험을 실시하고 얻은 데이터 각 6개씩의 평균값을 나타내고 있다.

표 3. 회복탄성계수실험 결과

시료	회복탄성계수(N/mm ²)		
	5℃	25℃	40℃
Sample 1	12628	5836	3733
Sample 2	13901	8428	4387
Sample 3	12840	5981	3154
Sample 4	14270	7781	2800
Sample 5	14024	9427	3406
Sample 6	13582	6737	2321
AP-5	14105	4151	1408

표 4. 마찰안정도 및 잔류안정도 결과

시료	안정도(kgf)	호름값(1/10mm)	수침후 안정도(kgf)	잔류안정도비(%)
Sample 1	2062	29.6	1952	94.7
Sample 2	2296	25.0	2288	99.7
Sample 3	2156	26.7	2200	102.0
Sample 4	2036	30.2	2124	104.3
Sample 5	2698	27.0	2488	92.2
Sample 6	2158	27.9	2000	92.6
AP-5	1870	28.3	1937	103.6

4.4 마찰 안정도실험 결과

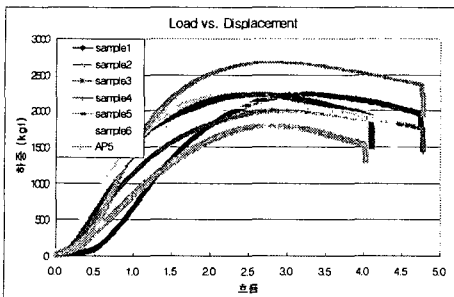


그림 5. 마찰안정도 시험결과

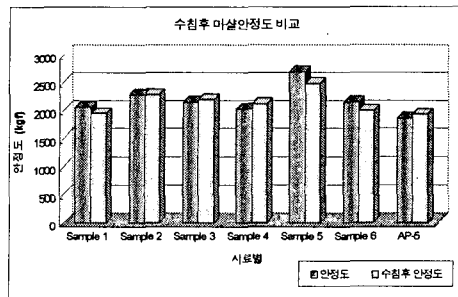


그림 6. 수침 후 마찰안정도 시험결과

마찰 안정도 실험결과는 칼라아스팔트 혼합물과 AP-5 혼합물 모두 안정도 750kgf, 호름치(0.1mm) 20~40의 조건을 기준으로 하는 건교부 도로포장설계시공지침의 마찰 배합설계기준을 만족하였다. 또한 아스팔트 혼합물의 수분민감성을 예측하기 위해 실시한 잔류안정도 시험결과도 75%이상으로 만족한 실험결과를 얻었다. 그림 5와 그림 6은 마찰안정도 시험결과와 잔류안정도 시험결과를 나타낸 그래프이다.

경험적인 공용성 평가방법중 하나로, 유럽에서 사용되는 안정도를 호름 값으로 나누어 얻는 Stiffness 지수



를 비교해보면, 칼라 아스팔트 혼합물이 AP-5 혼합물 보다 크게 나타나 변형에 대한 저항성이 클 것으로 예상된다.

5. 결론

본 연구는 개질 투명 아스팔트 바인더의 공용성능을 알아보기 위하여, 칼라 아스팔트 혼합물과 AP-5 밀입도 아스팔트 혼합물을 제작, 여러 실내 실험을 통해 혼합물의 물리적 특성을 평가하였으며 결과는 다음과 같다.

- 간접인장강도 실험결과 저온, 상온, 고온 모두에서 AP-5 혼합물에 비해 증가한 것으로 보이나 파괴시 변형량과 터프니스의 값이 저온에서 작게 나타나 저온에서의 균열 저항성은 상대적으로 작을 것으로 예측된다.
- 회복탄성계수 실험결과 저온에서는 AP-5 혼합물보다 감소하고 상온과 고온에서는 증가하는 경향을 보이고 있다. 온도감온성 측면에서는 칼라 아스팔트 혼합물이 AP-5 혼합물 보다 개선된 것으로 보인다.
- 수침 마찰 안정도, 수침인장강도, 수정로트만 등 수분민감성 실험들의 결과를 보면 샘플 시료 및 AP-5 혼합물 모두가 시방 규정을 만족하였다.
- 마찰안정도 실험결과 교통량이 하루 1000대 이상인 경우의 시방 규정인 안정도 750 kgf 이상, 흐름치 20~40의 조건들을 칼라 아스팔트 혼합물 샘플 시료 6개 모두 만족하는 것으로 나타났다.

이번 칼라 아스팔트 혼합물의 물성 평가 결과 상온 및 고온에서는 공용성이 우수 할 것으로 예측되나, 저온에서는 상대적으로 낮아 이를 보완하고 개선하는 노력이 필요할 것으로 보인다. 끝으로, 본 연구에서 칼라 아스팔트 혼합물 각각의 샘플이 비슷한 경향의 결과를 보여 각 샘플별 혼합물의 특성 비교는 다루지 않았다.

참 고 문 헌

1. 아스팔트 포장 연구회, 아스팔트 포장공학 원론, 1999
2. 건설교통부, 도로포장설계시공지침. 1994
3. Asphalt Institute, Superpave Mix Design (SP-2), 1996
4. Asphalt Institute, The Asphalt Handbook (MS-4), 1989