

길소나이트 개질 아스팔트 혼합물의 균열저항 특성연구

Characteristics of Crack Resistance for Gilsonite Modified Asphalt Concrete Mixtures

김완상* · 이석홍**

1. 서 론

본 논문은 지난해 한국도로포장공학회 학술발표회에 발표된 "길소나이트 개질 아스팔트 혼합물의 특성연구 - 이석홍, 1999"에 이어서 길소나이트 개질 아스팔트 혼합물의 온도변화에 따른 균열저항 특성을 규명하기 위하여, 간접인장강도(Indirect Tensile Strength, ITS)실험과 회복탄성계수(Resilient Modulus, Mr)실험을 수행하였으며, MTS의 asphalt testing system과 함께 특수 제작된 sample fixture와 circumferential extensometer를 이용하였다. 특히 회복탄성계수실험 과정에서 시료의 온도변화에 따른 포아송비의 변화도 알 수 있었다. 각각의 실험은 AASHTO Designation TP-31 Edition 1B에 의해 수행되었으며, 실험온도는 각각 5°C, 25°C, 40°C였다. 본 논문에서 사용된 아스팔트 혼합물은 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 13mm일반 밀입도 아스팔트 혼합물과 13mm일반 밀입도 아스팔트 혼합물에 길소나이트를 8% 혼합한 길소나이트 개질 아스팔트 혼합물을 사용하였다.

2. 본 론

본 실험에 사용된 골재와 아스팔트 바인더의 물성은 표 1과, 표 2에서와 같이 KS규정의 품질기준에 적합한 재료이다.

골재 입도는 그림 1과 같이 상·하한의 범위중 중간 입도를 선택하였다. 아스팔트 바인더의 함량은 혼합골재 전체 중량비의 5.7%로 하였으며, 일반 밀입도 아스팔트 혼합물은 AP-5 아스팔트 바인더를 사용하였다. 길소나이트 개질 아스팔트 혼합물은 AP-5 아스팔트와 함께 AP-5 아스팔트 중량의 8%를 길소나이트로 치환하였으며, 총 혼합 아스팔트 함량은 동일하게 5.7%를 사용하였다.

비교평가를 위하여 일반 밀입도 아스팔트 혼합물과 길소나이트 개질 아스팔트 혼합물의 굵은 골재 최대치수는 13mm의 동일한 입도를 적용하였다.

* 현대건설기술연구소 연구원

** 현대건설기술연구소 팀장(031-280-7451)



표 1. 사용골재의 품질시험 결과

	13mm		6mm		자연사		Filler	
	시방기준	실험결과	시방기준	실험결과	시방기준	실험결과	시방기준	실험결과
표건비중	2.45이상	2.618	2.45이상	2.633	2.45이상	2.565	2.6이상	2.749
겉보기비중	-	2.681	-	2.702	-	2.641	-	-
흡수율 (%)	3.0이하	0.90	3.0이하	0.97	3.0이하	1.13	1.0이하	0.2
단위중량 (kgf/cm ³)	1250이상	1655	1250이상	1709	1250이상	1440	-	-
마모율 (%)	35이하	24.8	-	-	-	-	-	-
안정성 (%)	12이하	3.08	10이하	2.78	10이하	3.08	-	-
편평,세장석 함유량 (%)	20이하	16	-	-	-	-	-	-

표 2. 아스팔트 바인더의 품질시험 결과

	기 준	실험결과
침 입 도 (25℃, mm)	60 - 80	71
연 화 점 (℃)	44.0 - 52.0	47.5
신 도 (15℃, cm)	100이상	150이상
톨루엔 가용분 (wt%)	99.0이상	99.59
인 화 점 (℃)	260이상	260이상
박막가열후 질량변화율 (%)	0.6이하	0.01
박막가열후 침입도 잔류율 (%)	55이상	80.3
증발후의 침입도비 (%)	110이하	101
밀 도 (15℃, g/cm ³)	1.000이상	1.029

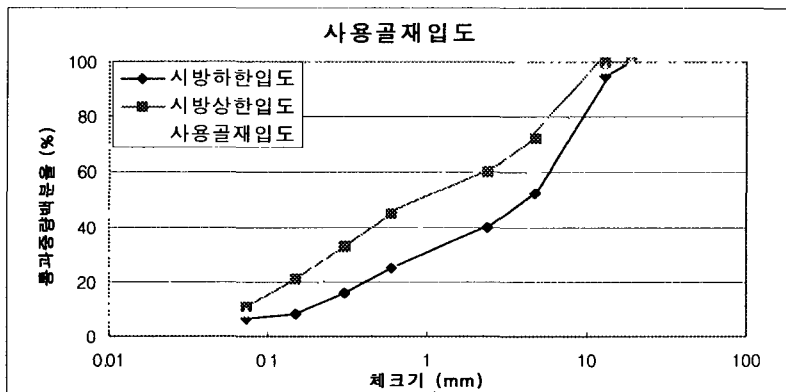


그림 1. 아스팔트혼합물의 사용골재 입도

아스팔트 혼합물의 시료의 제작은 각 12개씩으로, 1개의 공시체에 골재량 1200g이며 일반 밀입도



아스팔트 혼합물의 경우, 전체 골재중량비 5.7%에 해당하는 68.4g의 AP-5 아스팔트를 첨가하였고 길소나이트 개질 아스팔트 혼합물은 전체 골재중량비 5.7%에 해당하는 68.4g의 AP-5 아스팔트중 길소나이트의 치환분인 5.5g을 첨가하였고, AP-5는 62.9g을 혼입하여 KS F 2337 규정에 적합한 시험기구를 사용하여 공시체를 제작하였다.

실험 환경은 각 온도변화에 따른 간접인장강도실험과 회복탄성계수실험을 수행하기 위하여 mechanical environmental chamber를 사용하였다. 사용된 chamber는 -30℃~60℃까지 온도조절이 가능하며, 일정온도로 장시간 유지할 수 있는 특징을 가지고 있다. 이 mechanical chamber는 저온관리에 있어서 액화질소(liquid nitrogen)의 사용없이 일정하게 저온을 유지할 수 있어 실험온도의 정확성에 많은 기여를 하였다.

실험시료는 16~18시간의 일정시간 동안 실험온도에서 보관되었으며, 실험 전·후에 온도차가 발생하지 않게 하기 위하여 실험온도에 적합한 경우에만 수행하였다.

3. 비교고찰

아스팔트 혼합물의 간접인장강도 실험결과를 보면 다음과 같다.

표 3. 밀입도 아스팔트 혼합물

실험온도 (°C)	간접인장강도 (N/mm ²)	Toughness (N·mm)	파괴시변위량 (mm)
5	4.53	50000	1.80
	4.41	52500	2.00
	4.74	50000	1.70
25	1.01	24000	1.90
	1.01	22500	1.90
	0.98	22000	2.00
40	0.35	7000	1.70
	0.30	6750	2.80
	0.32	7125	2.80

표 4. 길소나이트 개질 아스팔트 혼합물

실험온도 (°C)	간접인장강도 (N/mm ²)	Toughness (N·mm)	파괴시변위량 (mm)
5	4.93	47500	1.50
	4.77	37500	1.35
	4.86	42500	1.35
	1.49	23500	1.70
25	1.50	28500	1.60
	1.64	29000	1.75
	0.58	10500	1.80
40	0.58	10350	1.70
	0.56	11250	1.80

표 3, 표 4에서 나타난 간접인장강도실험 결과 길소나이트 개질 아스팔트 혼합물이 밀입도 아스팔트 혼합물보다 온도별 영역에서 간접인장강도 값이 컸으며, toughness의 경우는 저온에서는 밀입도 아스팔트 혼합물이, 상온 및 고온 영역에서는 길소나이트 개질 아스팔트 혼합물이 큰 것으로 나타났다.

저온인 5℃의 경우 간접인장강도는 길소나이트 개질 아스팔트 혼합물이 밀입도 아스팔트 혼합물보다 6%이상 증가하였고, toughness와 파괴시변위량은 16%와 23%가 감소한 것으로 나타났다. 25℃ 상온에서는 길소나이트 개질 아스팔트 혼합물의 간접인장강도의 증진정도가 확연히 나타났는데, 밀입도 아스팔트 혼합물보다 54% 이상 증가하였고, 이에 따라 toughness도 18%증가하였다. 그러나 파괴시변위량은 13% 감소하였다. 고온영역인 40℃에서는 간접인장강도의 증진이 78%에 달하였고 toughness



또한 54% 정도 증가하였으며, 파괴시변위량은 27% 감소하였다. 특히 중간 및 고온영역에서는 길소나이트 개질 아스팔트 혼합물의 간접인장강도가 획기적으로 증가한 것에 비하여 변형에 저항할 수 있는 총에너지량인 toughness의 증가량은 상대적으로 작게 증가하고 있으며, 파괴시의 변위량이 작게 나타나고 있어 전체적인 σ - ϵ 거동을 짐작할 수 있게 한다.

그림 2 간접인장강도실험 결과는 간접인장강도 값과 toughness 값을 밀입도 아스팔트 혼합물과 길소나이트 개질 아스팔트 혼합물을 비교하여 볼 수 있으며 그림 3 아스팔트 혼합물의 하중-변위곡선은 밀입도 아스팔트 혼합물과 길소나이트 개질 아스팔트 혼합물의 하중-변위곡선으로 이 결과로 보면 하중은 길소나이트 개질 아스팔트 혼합물이, 변위량은 밀입도 아스팔트 혼합물이 크다는 것을 알 수 있다.

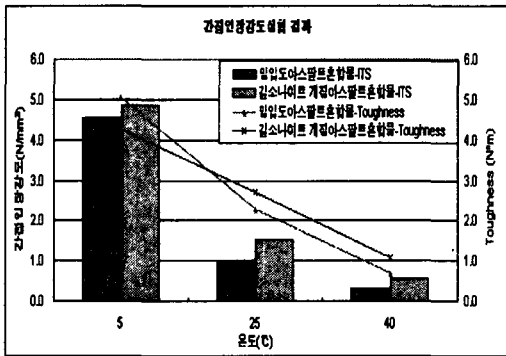


그림 2. 간접인장강도실험 결과

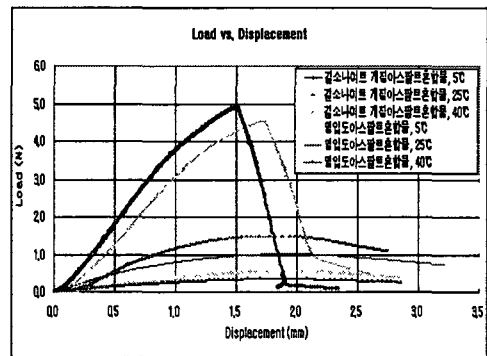


그림 3. 아스팔트 혼합물의 하중-변위곡선

회복탄성계수 실험 결과는 표 5, 표 6과 같다.

표 5. 밀입도 아스팔트 혼합물

실험온도 (°C)	회복탄성계수 (N/mm²)	평균값 (N/mm²)	Poisson's ratio
5	8956	(88,118kgf/cm²)	0.09
	8322		0.08
	9274		0.12
	8251		0.07
25	3302	(35,414kgf/cm²)	0.30
	3642		0.41
	3872		0.39
	3794		0.40
40	1537	(15,565kgf/cm²)	0.71
	1515		0.82
	1475		0.69
	1324		0.73

표 6. 길소나이트 개질 아스팔트 혼합물

실험온도 (°C)	회복탄성계수 (N/mm²)	평균값 (N/mm²)	Poisson's ratio
5	10326	(107,474kgf/cm²)	0.12
	10748		0.12
	10411		0.11
	10089		0.06
25	5223	(56,549kgf/cm²)	0.31
	5865		0.37
	5039		0.29
	5151		0.28
40	2159	(21,257kgf/cm²)	0.52
	2008		0.54
	2174		0.54
	2024		0.41



그림 4의 회복탄성계수실험 결과는 각 온도별 밀입도 아스팔트 혼합물과 길소나이트 개질 아스팔트 혼합물의 회복탄성계수 평균값과 포아송비 평균값을 표시한 것으로, 실험 결과를 보면 회복탄성계수의 경우 각 온도영역에서 길소나이트 개질 아스팔트 혼합물이 밀입도 아스팔트 혼합물보다 큰 것을 알 수 있다.

저온인 5℃의 경우 회복탄성계수는 길소나이트 개질 아스팔트 혼합물이 밀입도 아스팔트 혼합물보다 약 26%이상 증가하였고, 포아송비는 비슷한 값을 나타냈다. 25℃ 상온에서는 길소나이트 개질 아스팔트 혼합물의 회복탄성계수가 46% 이상 증가하였고, 포아송비는 16%가 감소하였다. 고온영역인 40℃에서는 회복탄성계수가 43% 증가하였고, 포아송비는 31%정도 감소하였다. 그러나 포아송비의 계산에 사용된 수평, 수직변위량은 개질 아스팔트 혼합물의 경우가 적게 나타났다.

회복탄성계수 값의 크기를 균열저항성과 직접적으로 연관지어 생각하기는 어려우나, 저온에서 회복탄성계수의 증가는 아스팔트 혼합물의 거동을 brittle하게 하므로, 직접적인 회복탄성계수의 비교보다는 온도변화에 따른 회복탄성계수비의 측정이 의미있는 일이라 생각된다.

또한 중간온도 이상의 영역에서는 회복탄성계수의 비가 작게 나타나, 온도변화에 따른 아스팔트혼합물의 물리적 특성(아스팔트 혼합물의 온도 감온성)이 개선되었음을 알 수 있다.

포아송비는 아스팔트 도로포장의 해석시 일반적으로 0.3정도의 값을 가정하여 사용하는데, 실험결과 온도변화에 따른 포아송비의 차가 심했으나, 중간온도인 25℃에서 유사한 값을 발견 할 수 있었다.

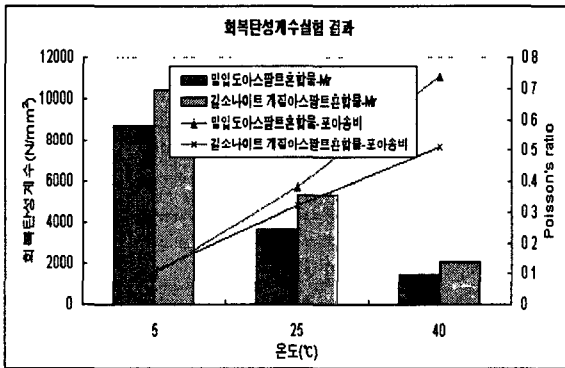


그림 4. 회복탄성계수실험 결과

4. 결 론

1. 간접인장강도실험 결과 길소나이트 개질 아스팔트 혼합물의 간접인장강도는 전 온도영역에서 밀입도 아스팔트 혼합물보다 크게 나타나, 길소나이트 개질 아스팔트 혼합물이 밀입도 아스팔트 혼합물보다 인장균열에 대한 저항성이 큰 것으로 예측된다.
2. toughness의 경우 저온에서는 밀입도 아스팔트 혼합물이, 상온 및 고온에서는 길소나이트 개질 아스팔트 혼합물이 상대적으로 크게 나타나서, 변형에 대한 저항성이 우수한 것으로 보인다.
3. 파괴시변위량은 전 온도영역에서 밀입도 아스팔트 혼합물이 큰 것으로 나타나서, 파괴시변위량만을 놓고 본다면, 밀입도 아스팔트 혼합물의 균열저항성이 우수한 것으로 예측된다.
4. 회복탄성계수실험 결과 전 온도영역에서 길소나이트 개질 아스팔트 혼합물의 회복탄성계수가 밀입도 아스팔트 혼합물에 비해 증가한 것으로 나타났다. 이는 길소나이트 개질 아스팔트 혼합물의



하중에 대한 탄성복원력이 밀입도 아스팔트 혼합물에 비해 우수함을 보여주고 있다. 또한 중간온도 이상의 영역의 회복탄성계수의 비가 작게 나타나, 온도변화에 따른 아스팔트 혼합물의 물리적 특성인 아스팔트 혼합물의 온도감온성이 개선되었음을 알 수 있다.

- 5. 포아송비의 경우는 길소나이트 개질 아스팔트 혼합물이 각 온도영역에서 밀입도 아스팔트 혼합물보다 같거나 작은 것으로 나타났으며, 일반적으로 길소나이트 개질 아스팔트 혼합물의 수평변위 및 수직변위량이 적은 값을 보이고 있다.

이를 종합적으로 보면 길소나이트 개질 아스팔트 혼합물은 간접인장강도와 상온 및 고온에서의 toughness가 우수한 것으로 나타났지만, 파괴시까지의 변위량과 저온에서의 toughness가 밀입도 아스팔트 혼합물보다 작게 나타나 극한지나 우리나라의 북부지방 같은 추운 곳에서의 사용은 길소나이트의 첨가량 등의 변화와 특성을 파악하여야 하며, 최근 미국에서와 같이 고무계 아스팔트 개질제를 동시에 사용하는 것도 고려될 수 있는 사항이다.

참고문헌

1. 건설교통부, "도로현황조사" , 건설교통부, 2000
2. Asphalt institute, "The Asphalt Handbook -Manual Series No.4(MS-4) 6th Edition" Asphalt Institute, 1993
3. 아스팔트포장연구회, "아스팔트포장공학 원론" , 한국도로포장공학회, 1999
4. 국립건설시험소, "96 도로시험포장공사" , 국립건설시험소, 1996
5. 이석홍, "길소나이트 개질 아스팔트 혼합물의 특성연구" , 한국도로포장공학회, 1999
6. 이현철, "아스팔트 종류에 따른 혼합물의 특성에 관한 연구" , 인천대학교, 1997
7. 김남호, 황성도, 박용철, "비용절감을 위한 도로재료 연구사업 (1-1-A, 1-1-B)" , 한국건설기술연구원, 1997. 1998
8. Asphalt institute, "Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing (SP-1)" , 1995
9. Gilsonite Information Bullutin, American Gilsonite Company