



길소나이트 개질 아스팔트 혼합물의 특성연구

Mechanical Properties of Gilsonite Modified Asphalt Concrete Mixtures

이석홍*

1. 서론

Gilsonite란 미국 유타주의 동부에 위치한 수직광맥에서 채굴되는 천연아스팔트로 1869년에 처음 발견되어 1885년부터 Samuel H. Gilson에 의하여 상업적인 목적으로 생산되었다. Gilsonite는 아스팔트의 개질재 (modifier) 또는 강화재 (reinforcing agent)로 사용되어 아스팔트 혼합물의 안정도(stability)를 증가시키고, 소성변형을 감소시키며 온도 변화에 따른 susceptibility를 감소시키며 water stripping의 저항성을 증진시키는 것으로 알려져 있다.

표 1 일반 석유아스팔트와 Gilsonite의 화학적 조성비교

Content	Asphalt	Gilsonite
Mineral type	Petroleum	Asphaltite
Chemical composition		
Elementary analysis, %		
Nitrogen	1.0	3.2
Sulfur	3.0	0.3
Component analysis, %		
Asphaltenes	15 - 25	71
Maltenes (Resins)	75 - 65	27
Saturates (Oils)	10	2

Gilsonite는 천연 탄화수소(natural hydrocarbon)으로 이루어져 있으며 Asphaltene이 71% Nitrogen이 3% 그리고 Sulfur가 0.3%이고 독성이 없다. 일반아스팔트와 Gilsonite의 화학적조성의 차이는 표 1에 정리되어 있다.

본 논문에서는 Gilsonite로 개질된 아스팔트의 유연화학적 특성을 파악하기 위하여 dynamic shear rheometer를 이용하여 결정된 G^* 와 $\tan\delta$ 를 사용하였으며 비교를 위하여 현재 국내에서 사용중인 여러 가지 다른 아스팔트 개질재들과 비교하였다. 또한 아스팔트 혼합물의 간접인장강도 (indirect tensile strength) 와 회복탄성계수(resilient modulus)를 측정하였다.

2. 본문

본 실험에 사용된 straight asphalt는 국내에서 생산되는 4개의 정유사 아스팔트 (AP-3 와 AP-5)의 평균값을 사용하였으며 아스팔트 바인더의 단기노화 (short-term aging) 특성을 강조하기 위하여 Rolling Thin Film Oven Test를 실시하였다. 본 실험에 사용된 아스팔트 개질재는 모두 4가지 (Chemcrete, Gilsonite, SBR, SBS)이며, 일반아스팔트에의 첨가량은 각각 2%, 10%, 4%, 그리고 3%

* 현대건설기술연구소 선임연구원 (0331-280-7451)



이다. 아래의 표 2와 3은 모두 단기노화 된 일반아스팔트와 개질아스팔트 들의 G^* 값 과 $\tan \delta$ 값을 정리한 것이다. 시험에 사용된 온도는 00C, 100C, 200C, 300C 이다.

표 2 개질아스팔트의 G^* 값과 $\tan \delta$ 값의 비교 (base asphalt : AP-3), 한국건설기술연구원, 1997, 1998

종 류		AP-3	Chemcrete (AP-3)	Gilsonite (AP-3)	SBR (AP-3)	SBS (AP-3)
$G^* @ 10 \text{ rad/s RTFOT (pa)}$	0 ^o C	2.15E7 0.925	1.99E7 0.838	4.23E7 0.693	3.25E7 0.725	4.04E7 0.626
	10 ^o C	2.93E6 1.609	3.26E6 1.392	8.33E6 1.094	3.73E6 1.336	5.07E6 0.992
	20 ^o C	2.92E5 2.869	3.99E5 2.391	1.27E6 1.718	4.86E5 2.105	8.72E5 1.600
	30 ^o C	3.12E4 5.064	4.79E4 3.762	1.64E5 2.601	6.65E4 2.904	1.30E5 2.242

표 3 개질아스팔트의 G^* 값 과 $\tan \delta$ 값의 비교 (base asphalt : AP-5), 한국건설기술연구원, 1997, 1998

종 류		AP-5	Chemcrete (AP-5)	Gilsonite (AP-5)	SBR (AP-9)	SBS (AP-5)
$G^* @ 10 \text{ rad/s RTPOT (pa)}$	0 ^o C	2.82E7 0.841	3.01E7 0.798	5.86E7 0.617	4.43E7 0.637	5.24E7 0.566
	10 ^o C	4.29E6 1.446	4.99E6 1.274	1.28E7 0.978	5.85E6 1.192	8.27E6 1.000
	20 ^o C	4.65E5 2.506	6.62E5 1.992	2.01E6 1.549	8.54E5 1.919	1.48E6 1.552
$\tan \delta$	30 ^o C	5.19E4 4.253	9.05E4 3.223	2.70E5 2.325	1.20E5 2.714	2.56E5 2.136

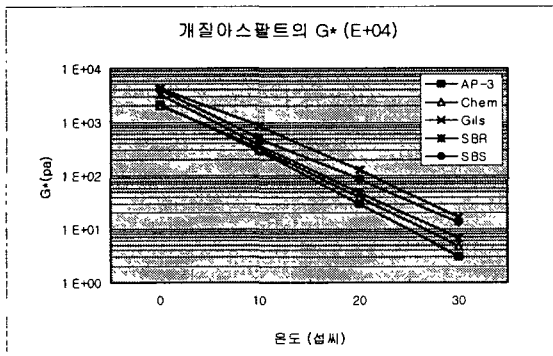


그림 1 각 개질아스팔트의 G^* 값 (AP-3 based)

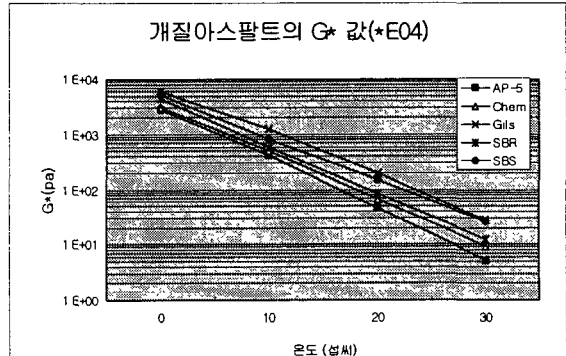


그림 2 각 개질아스팔트의 G^* 값 (AP-5 based)



그림 1은 표 2의 값 중에서 G^* 값을 그림으로 표시한 것으로 AP-3를 base asphalt로 사용한 경우이다. 그림에서 볼 수 있듯이 00C 에서 300 C 까지의 범위에서의 G^* 값은 Gilsonite의 값이 제일 크고 그 다음에 SBS, SBR 그리고 Chemcrete 개질아스팔트의 순서임을 알 수 있다. Complex shear modulus (G^*)는 반복되는 전단하중에 대한 아스팔트의 변형에 대한 저항성의 척도로 정의되므로, 큰 값의 G^* 를 갖는 개질아스팔트가 변형에 대한 큰 저항성을 갖고 있다고 볼 수 있다.

그림 2도 그림 1 에서와 거의 동일한 양상을 보여주고 있다. Phase angle (위상각)은 아스팔트의 탄성 (recoverable)과 점성 (non-recoverable) 변형의 상대적인 양을 표시하는 것으로 위상각의 크기는 사실상 에너지의 손실(loss or dissipation)을 의미한다. G'' (loss modulus) / G' (storage modulus)로 표현되는 $\tan\delta$ 는 아스팔트에 저장될 수 있는 최대에너지에 대한 손실된 에너지의 비로 정의된다. 결국 $\tan\delta$ 값이 적으면 손실에너지의 양이 작다고 말할 수 있다. G^* 값이 크고 $\tan\delta$ 값이 적다는 의미는 아스팔트의 거동이 보다 탄성적이란 말이고 소성변형에 대한 저항성이 크다는 의미이다.

위의 표 2 와 3을 보면 AP-3 based 개질아스팔트에서는 SBS의 $\tan\delta$ 값이 제일 적고 그 다음이 Gilsonite이며, AP-5 based 개질아스팔트에서는 Gilsonite와 SBS가 가장 적은 값들을 보이고 있다. 그러나 실험의 온도범위가 300 C 이상의 영역은 포함되어 있지 않아, 이 시험데이터를 소성변형이나 피로균열 그리고 저온균열 등으로 직접 연결하기에는 어려움이 있다고 사료된다.

아스팔트의 유변학적인 특성과 아스팔트혼합물의 특성의 유사성을 파악하기 위하여 몇 가지 개질 아스팔트를 사용하여 아스팔트혼합물의 특성시험을 수행하였다. 수행된 시험은 간접인장시험과 회복탄성계수시험이고 시험은 200 C에서 수행되었다.

그림 3에서의 SMA시료는 기타 다른 시료와 다른 SMA의 대표적인 골재입도를 사용했으며 나머지 개질아스팔트를 사용한 아스팔트혼합물시료들은 동일한 입도를 사용하였다. 간접인장강도 시험 이후에 강도-변형 곡선에 포함된 면적을 구하여 각 혼합물의 toughness를 구하였다. 그 결과는 표 4에 그

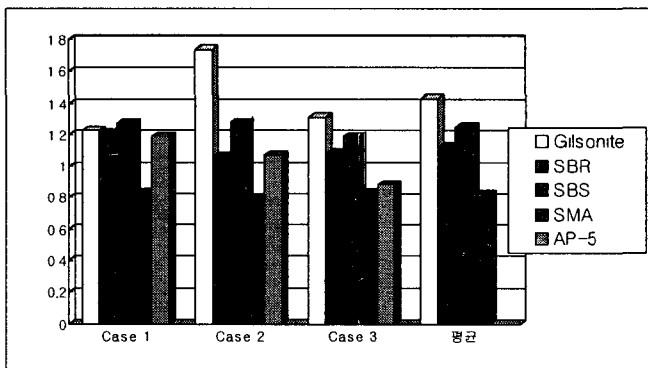


그림 3 아스팔트혼합물의 간접인장강도 비교 (N/mm²)

리고 파괴시 까지의 변위량은 표 5에 정리되어 있다. 표 4에서 볼 수 있듯이 아스팔트 혼합물의 대표적인 물성평가시험인 간접인장시험 과 회복탄성계수 시험에서도 아스팔트의 바인더시험에서와 같이 Gilsonite 그리고 SBS의 순서가 그대로 유지되고 있다고 볼 수 있다. Gilsonite의 경우에는 toughness와 간접인장강도가 가장 우수하지만 파괴시의 변위량이 다른 개질재에 비하여 작은 것으로 나타났다.

간접인장시험과 회복탄성계수 시험은

AASHTO Designation TP-31Edition 1B에 의하여 수행되었으며 MTS의 Asphalt Testing System이 특수 제작한 sample fixture와 extensometer를 사용하였다. 모든 시험 및 값의 계산은 MTS의 program에 의하여 자동적으로 수행되고 계산되었다. 아스팔트혼합물 시료는 3개를 한 조로 하여 평균값을 사용



하였으며, 정확한 온도의 보존을 위하여 비록 상온(200C)에서의 시험이었지만, 동일한 온도로 set-up 된 mechanical temperature chamber에 시료를 15시간 동안 저장하였고 시험실의 온도도 200C로 유지 하였다.

표 4 개질아스팔트 혼합물의 toughness (N*mm)

	Case 1	Case 2	Case 3	평 균
Gilsonite	18.4	26.05	22.55	25.67
SBR	28.05	22.75	25.05	25.28
SMA	16.00	16.94	21.38	18.11
AP-5	21.25	21.48	22.23	21.65

표 5 개질아스팔트 혼합물의 퍼파시 변위량 (mm)

	Case 1	Case 2	Case 3	평 균
Gilsonite	18.4	26.05	22.55	25.67
SBR	28.05	22.75	25.05	25.28
SMA	16.00	16.94	21.38	18.11
AP-5	21.25	21.48	22.23	21.65

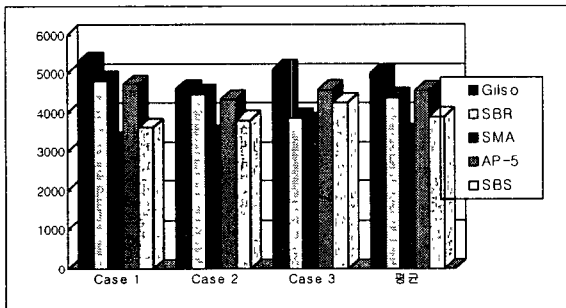


그림 4 아스팔트혼합물의 회복탄성계수 비교 (N/mm²)

우는 강도나 toughness가 다른 개질재 보다 우수하여 균열저항성이 우수하다고 인정되지만, 파괴 시의 변위량이 다른 개질재에 비하여 작은 것으로 나타났음을 알 수 있다. 최근 미국에서는 Gilsonite 를 2차의 개질재인 SBR이나 SBS와 동시에 사용한 경우도 있는 것으로 알려지고 있다.

국내에 만연되고 있는 소성변형에 대한 정확한 평가를 위해서는 본 연구과제를 보다 넓은 온도범위 로 확장해야 하며, 본 논문에서 언급되지 않은 골재의 품질이나 입도에 의한 영향도 고려되어야 한다고 생각한다.

4. 참고문헌

- 김남호, 황성도, 박용철 "비용절감을 위한 도로재료 연구사업 (1-1-A, 1-1-B)", 한국건설기술연구원, 1997, 1998
- Asphalt Institute, "Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing (SP-1)", 1995
- NCAT, "Hot Mix Asphalt Material, Mixture Design and Construction", 2nd Edition, 1996
- Gilsonite Information Bullutin, American Gilsonite Company
- Nippon Hodo., LTD, "Gilsonite Resin for Asphalt Modification", 1988

3. 결 론

위에서 언급한 아스팔트의 유변학적인 특성에 의하면 4가지의 아스팔트 개질재 중에서 Gilsonite 그리고 SBS개질 아스팔트가 우수한 것으로 보인다. 아스팔트혼합물시험의 결과에서도 아스팔트 바인더의 결론과 유사한 결론을 보이고 있다고 판단된다. 아스팔트혼합물의 간접인장강도의 시험결과를 보면 Gilsonite의 경