

# 결합재의 물성과 아스팔트 혼합물 강도특성과의 상관성 연구

## Correlation Between Tensile Strength and Binder Physical Properties of Asphalt Mixture

김광우\* · 이성훈\*\* · 정승호\*\* · 김성운\*\* · 이상범\*\*\*

### 1. 서 론

아스팔트 콘크리트 포장의 성능은 사용된 아스팔트와 골재의 특성에 크게 좌우되며 아스팔트는 종류와 등급에 따라 유변학적 특성(Rheology)이 다르기 때문에 아스팔트 포장도 사용된 아스팔트의 종류에 따라 역학적 특성이 크게 다르다. 따라서 아스팔트 콘크리트의 성능을 향상시키기 위해서는 아스팔트 결합재의 특성을 향상시키는 것이 무엇보다 중요하다.

일반적으로 아스팔트의 특성을 개선할 목적으로 아스팔트에 일정량의 개질재를 첨가하여 아스팔트의 물성을 개선시켜 개질 아스팔트(Modified asphalt)를 제조하였다. 이때 첨가되는 개질재로는 고무계, 열가소성 수지계, 세미블로운계 등의 첨가제가 사용되고 있다. 이러한 첨가제 가운데 요즘에는 여러 종류의 폴리머(Polymer)가 아스팔트의 특성 변화를 위해 많이 이용되고 있다.

이에 본 연구에서는 국내에서 널리 사용되고 있는 Styrene-butadiene-styrene(SBS)와 Low density polyethylene(LDPE)를 국내 AP-3d의 3종과 AP-5의 1종에 중량비 3~6%를 혼합하여 개질한 아스팔트 결합재(Binder)를 제조하고 이를 사용하여 제조한 샌드 아스팔트(Sand asphalt) 혼합물의 인장강도 시험을 수행하고 인장강도와 사용된 바인더 특성과의 관계를 구명하였던 바 그 결과를 본 논문에 보고한다.

### 2. 재 료

본 연구에 사용된 아스팔트는 국내 3개 정유사(S, L, H)에서 생산되는 AP-3(침입도 등급 85~100)와 국내 1개사(S)에서 생산되는 AP-5(침입도 등급 60~70)이다. 그리고 AP-3의 경우 개질재료 LDPE(Low density polyethylene) 4%, 5%, 6%와 SBS(Styrene-butadiene-styrene) 3%, 4%, 5%를 각각 사용하였고 AP-5의 경우 LDPE와 SBS의 첨가율을 모두 3%, 4%, 5%로 사용하였다. 이 중 LDPE는 50

---

\* 강원대학교 농공학부 부교수(033-250-7284)

\*\* 강원대학교 대학원 박사과정

\*\*\* 강원대학교 대학원 석사과정



번 체를 거의 다 통과(통과량 99.5%)하는 비교적 고운 분말이고 SBS는 그보다 입자가 훨씬 커 50번 체에 거의 다 남고(통과량 약 15%) 8번 체를 거의 다 통과(통과량 99.5%)하는 가루 형태의 분말이다. 골재는 강원도 지역의 편마암을 사용하였고 골재 입도는 직접인장강도 측정시 일어날 수 있는 골재의 영향을 최소화하기 위해 샌드 아스팔트 입도에 맞추었다.

### 3. 실험 방법

#### 3.1 PG-등급 시험

DSR(Dynamic shear rheometer)시험은 아스팔트 바인더의 점탄성 거동 특성을 분석하기 위해 사용되는 시험장치이다. DSR시험기는 아스팔트 바인더의 복소전단탄성계수( $G^*$ )와 위상각( $\delta$ )을 측정함으로써 점탄성 거동 특성을 분석한다.

BBR(Bending beam rheometer)시험은 매우 낮은 온도에서 아스팔트의 강성(Stiffness)을 측정하기 위해서 크리프 하중을 재하하는 소형 아스팔트 보 시편을 이용한다. 크리프 하중이 사용되는 이유는 온도가 하강할 때 포장내부에서 점차적으로 발생하는 응력을 모사하기 위해서이다. 그림 1은 DSR시험기이다.

#### 3.2 직접인장시험

폴리머 개질 아스팔트가 일반 아스팔트보다 우수한 점 하나는 높은 인장강도이다. 아스팔트 콘크리트의 인장강도 증가는 차량의 윤하중을 받는 아스팔트 포장체로서는 가장 효과적인 수명연장의 요인이다. 따라서 본 연구에서는 샌드 아스팔트 혼합물(Sand asphalt mixture)을 제조하고 간접인장강도(Indirect tensile strength: ITS) 및 직접인장강도(Direct tensile strength: DTS) 시험을 수행하였다.

아스팔트에 개질재를 혼입하기 위해서 아스팔트를 185℃로 가열하여 완전히 녹인 후 동일 온도로 유지시키면서 폴리머를 서서히 첨가하였다. 이때 전단 믹서기를 사용하여 6,000rpm의 속도로 회전시키면서 혼합하여 개질 아스팔트(PMA: polymer modified asphalt)를 제조하였으며 이렇게 제조된 개질 아스팔트는 밀봉하여 냉동 보관하였다.

각각의 아스팔트별로 배합설계를 수행하여 적정 아스팔트 함량(OAC)을 결정하였다. 직접인장강도 시험을 수행하기 위한 배합설계이므로 마샬 배합설계를 이용하지 않고 간접인장강도 배합설계법을 수행하였으며 혼합물의 공극률은 4%를 기준으로 가능한 한 높은 간접인장강도가 얻어지도록 하였다. 이렇게 구한 적정 아스팔트 함량을 이용하여 간접인장강도 시험과 직접인장강도 시험을 수행하였다. 간접인장강도 측정은 재하속도 50mm/min로 Lotman loading head를 사용하였다. 측정시의 온도 25℃를 맞추기 위하여 항온실에서 24시간 동안 양생하였다.

직접인장강도 시험을 수행하기 위하여 가운데 부분이 오목한 특수한 공시체를 제작하였다. 이렇게 단면의 변화를 주어 따로 노치(Notch)를 주지 않아도 가운데 부분에서 파괴가 발생하도록 하였다. 모든 직접인장 공시체는 3개씩 제작하였으며 공시체의 길이는 140mm이고 인장파괴면(잘룩한 부분)은 30×40mm이다.

직접인장 시험을 수행하기 위하여 본 연구에서는 특수한 인장 시험용 그림을 제작하였으며 공시체와 인장그립의 접촉면 사이에서 발생하는 밀리는 현상(Slip)을 제거하기 위하여 특수한 패드(Pad)를



사용하였다. 재하 속도는 0.5mm/min으로 수행하였으며 직접인장 시험 세팅시 좌우 편심을 제거하기 위해 추를 이용하였다. 그림 2는 직접인장 그림에 공시체가 설치된 모습이다.



Figure 1. Dynamic shear rheometer

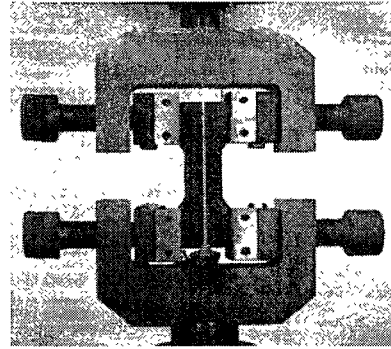


Figure 2. Overall view of a specimen setting for direct tensile strength test

#### 4. 결과 및 고찰

본 연구에서 LDPE와 SBS로 개질한 결과 직접인장강도가 크게 향상되었다. S사 AP-5를 제외하고 모든 아스팔트에서 LDPE로 개질한 아스팔트의 인장강도가 SBS로 개질한 아스팔트보다 조금 높게 나타났다. 특히 H사 AP-3의 경우 LDPE 6%로 개질한 경우 개질하지 않은 경우보다 인장강도가 85%나 향상되었다. 표 1은 PG-등급 결과를, 표 2는 인장강도를 나타낸다.

Table 1. PG of modified asphalt

Prop. Modifier	S AP-3	L AP-3	H AP-3	S AP-5
None	58-16	58-16	58-16	64-10
LDPE 4%	64-16	70-10	64-10	70-10
LDPE 5%	64-16	70-10	70-10	70-10
LDPE 6%	70-10	76-10	70-10	76-10
SBS 3%	64-16	64-10	64-16	70-10
SBS 4%	64-16	70-10	64-10	76-10
SBS 5%	64-16	70-10	70-10	76-10

Table 2. Direct tensile strength test results

Asphalt	Modifier	DTIS (kg/cm <sup>2</sup> )	IIS (kg/cm <sup>2</sup> )
S AP-3	None	2.262	5.44
	LDPE 6%	3.300	6.50
	SBS 5%	2.864	5.80
S AP-5	None	2.581	-
	LDPE 5%	3.890	7.41
	SBS 5%	4.061	5.94
L AP-3	None	2.697	5.24
	LDPE 6%	4.032	5.54
	SBS 5%	3.906	5.64
H AP-3	None	2.289	5.32
	LDPE 6%	4.224	7.27
	SBS 5%	3.990	6.45

간접인장강도도 직접인장강도와 유사한 결과를 보인다. 직접인장강도와는 달리 L사 아스팔트에서 LDPE가 SBS보다 낮았고 나머지는 모두 LDPE가 더 높은 강도를 보였다. 전반적으로 간접인장강도는 직접인장강도에 비해 크게는 2배 이상의 크기를 보였다. 이는 간접인장강도 측정시 공시체에 압축하



중으로 할렬을 발생시키는 과정에서 일어나는 골재간의 인터록킹 영향과 재하속도 차이 때문인 것으로 보여진다.

샌드 아스팔트 혼합물의 직접인장강도 및 간접인장강도와 사용된 결합재의 물성과의 관계는 그림. 3~6과 같다. 직접인장강도의 경우는 PG 고온 등급과 가장 밀접한 상관관계( $R^2 > 0.9$ )를 나타냈으며 PG 등급이 높은 결합재가 인장강도도 강한 것으로 나타났다. 직접인장강도는 동점도의 변화와도 상당히 밀접한 관계( $R^2 > 0.8$ )를 나타냈다. 즉 동점도가 높아짐에 따라 인장강도도 증가하였다.

침입도와 절대 점도와 직접인장강도와의 상관관계는 이보다는 못하지만  $R^2$ 가 0.7 이상으로 비교적 높게 나타나 역시 상당한 상관성이 있는 것으로 판단된다. 반면에 간접인장강도는 모든 물성에서  $R^2$ 가 직접인장강도보다 훨씬 낮았다. 이는 같은 혼합물이라도 강도 측정 메커니즘에 따라 상관관계가 크게 차이가 나는 것으로 사료된다.

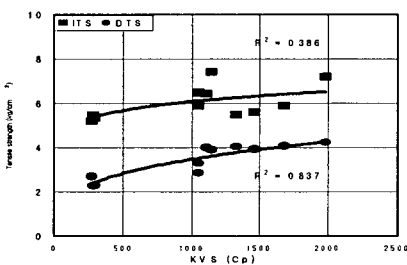


Figure 3. Relationship of asphalt mixture tensile strength with binder kinematic viscosity

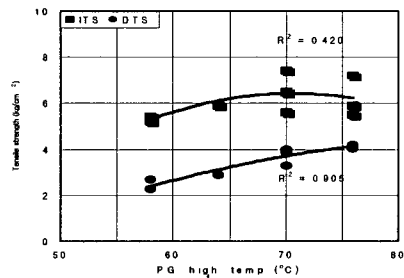


Figure 4. Relationship of asphalt mixture tensile strength with binder PG high temp. grade

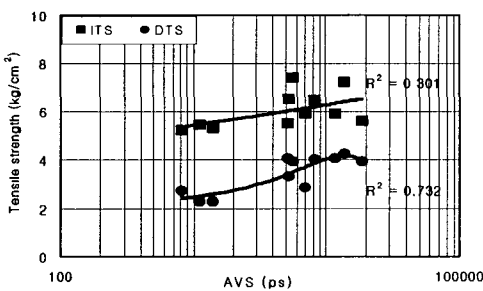


Figure 5. Relationship of asphalt mixture strength with binder absolute viscosity

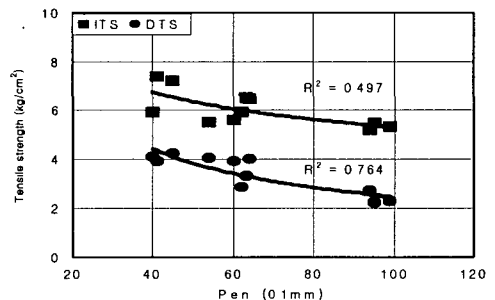


Figure 6. Relationship of asphalt mixture tensile strength with binder penetration

## 5. 결론

아스팔트를 폴리머로 개질한 경우의 간접인장강도와 직접인장강도를 측정하여 상관 분석한 결과 결론은 다음과 같다.



- 1) 폴리머로 개질한 경우 모든 아스팔트의 간접인장강도와 직접인장강도가 크게 향상되었다. 특히 H사 AP-3의 경우 LDPE 6%로 개질한 경우 직접인장강도가 85%나 향상되었다.
- 2) 모든 혼합물에서 간접인장강도가 직접인장강도보다 크게 나타났다. 이는 간접인장하중 재하시 재하속도, 골재간의 인터록킹과 같은 결합력 이외의 다른 저항력의 작용으로 보여진다. 따라서 결합재 성능과 혼합물의 인장강도를 보기 위해서는 직접인장강도를 사용해야 한다.
- 3) 국내 아스팔트의 고온 공용성 등급은 52~64이나 개질을 하면 64~72까지 고온 공용성 등급이 향상되었다.
- 4) SBS와 LDPE 두 개질제를 가지고 같은 온도에서 비교해 보면 LDPE가 복소전단탄성계수( $G^*$ )는 SBS보다 높고 위상각(Phase angle)은 SBS보다 낮았다. 따라서 LDPE가 SBS보다 소성변형 저항에 좀더 유리하다는 것을 알 수 있었다.
- 5) 아스팔트 결합재의 물리적 특성과 혼합물의 역학적 특성중 하나인 인장강도와의 상관관계를 분석한 결과 직접인장강도는 결합재의 PG 고온 등급과 가장 밀접한 관계를 보였고 ( $R^2 > 0.9$ ), 그 다음동점도, 침입도, 절대점도 순이었으며  $R^2$ 는 모두 0.7 이상이였다.
- 6) 본 연구에서는 제한된 숫자의 공시체를 사용하였으므로 일반화된 결과의 도출을 위해서는 보다 많은 종류의 혼합물과 많은 숫자의 공시체에 대한 실험을 수행해야 할 것이다.

## 참고 문헌

1. 김광우, 이명호, 안경애, 최영규, "개질 아스팔트 결합재의 특성 연구," 연구보고서 1집, 석재복합신소재연구센터, 1996.
2. 김광우, 안경애, 정일권, 도영수, "개질 아스팔트의 노화 특성 분석," 논문집 4집, 석재복합신소재연구센터, 1999.
3. 정일권, "국내 아스팔트의 폴리머 개질 및 노화에 따른 특성 변화 연구," 석사졸업논문, 2000.
4. 조희원, "LDPE 및 SBS 개질 아스팔트 콘크리트의 기본특성에 관한 연구," 석사졸업논문, 1998.
5. "비용절감을 위한 도로재료 연구사업," 한국건설기술연구원, 1997.
6. "슈퍼팔트(SBS PMA)의 현장 공용성 및 효과분석 연구," 한국건설기술연구원, 2000.
7. Bahia, H. U. and Anderson, D. A., "The Pressure Aging Vessel(PAV): A Test to Similar Rheological Change Due to Field Aging," Physical Properties of Asphalt Cement Binders, ASTM STP 1241, John C. Hardin, Ed., ASTM, Philadelphia, 1995.
8. Bahia, H. U. and Anderson, D. A., "The new proposed rheological properties of asphalt binder: Why are they required and how do they compare to conventional properties," Physical Properties of Asphalt Cement Binder: ASTM STP 1241, John C. Hardin, Ed., American Society for Testing and Materials, Philadelphia., 1995.
9. "Determining the rheological properties of asphalt binder using a dynamic shear rheometer(DSR)," AASHTO Designation: TP5, 1997.
10. "Superpave Asphalt Binder Specification," Superpave series Asphalt Institute, No. 1 (SP-1), 1995.