

# 개질 아스팔트 바인더 휩 굴곡시험 도입 타당성에 관한 기초연구

## A Feasibility Study on the Introduction of Flexural Beam Test for Modified Asphalt Binder

박태순<sup>\*</sup> · 이수희<sup>\*\*</sup> · 홍민경<sup>\*\*\*</sup>

Park, Tae Soon · Lee, Su Hui · Hong, Min Kyoung

### 1. 서론

현재 국내에서 아스팔트 바인더에 대해 사용하고 있는 터프니스·테나시티(Toughness & Tenacity) 시험과 점도시험만으로는 새롭게 개발·적용되고 있는 고점도 아스팔트 바인더의 점탄성을 파악하는 데 많은 문제점이 부각되고 있다. 터프니스·테나시티 시험기는 인발과단을 발생시키기 전에 아스팔트 바인더가 금속반구로부터 탈구되거나 시험도중에 절단되어 정확한 시험결과를 얻을 수 없다. 또한 점도시험에 사용되는 모세관 점도계로는 고무입자와 같은 굵은 개질재가 혼합되어진 개질 아스팔트 바인더로는 점도시험이 이루어지지 못한다. 휩 굴곡시험은 터프니스·테나시티와 점도시험이 갖는 문제점을 보완하여 바인더의 인장 파단 에너지(Energy)를 바탕으로 아스팔트 바인더의 파악력을 바르게 평가하는 방법이다. 게다가 휩 굴곡시험에서 측정되는 파괴에너지가 충격균열, 반사균열 및 저온균열과 직접적인 관련이 있다는 연구결과가 보고되고 있다(Nakanishi et al, 2002).

본 연구에서는 국내에서 사용되고 있는 여러 개질 아스팔트 바인더를 사용하여 터프니스·테나시티 시험, 절대점도시험(60℃) 및 휩 굴곡시험을 실시하여 개질 아스팔트 바인더의 거동특성에 대해서 분석하였으며, 개질 아스팔트 바인더에 휩 굴곡시험 도입의 타당성에 대해 연구하였다.

### 2. 개질 아스팔트 바인더 물리적 시험방법

#### 2.1 절대 점도시험

절대점도 시험은 60℃를 유지할 수 있는 물이나 오일로 채워진 항온수조 내부에서 실시된다. 점도계관은 아스팔트 바인더가 채움 표시 선에 도달할 때까지 관의 넓은 쪽을 통해 채워진다. 아스팔트 바인더의 온도를 60℃로 유지시키기 위하여 이 점도계관을 항온수조에 일정시간동안 거치한다. 온도평형이 끝나면 아스팔트 바인더가 흐르도록 점도계관의 작은 관을 통해 부분 진공을 가하게 되고 두개의 표시선(Timing Mark) 사이를 통과하는 시간을 초 단위로 측정한다. 측정 후 점도의 기본 단위인 포아스(Poise)로 바꾸기 위하여 통과 시간(초)에 점도계관의 환산계수를 곱해준다.

#### 2.2 터프니스·테나시티 시험

25℃로 양생한 아스팔트 바인더에 인장 헤드를 시료 중앙에 담구었다가 인장할 때 30cm까지 늘어나는 동안의 힘의 양을 하중·변위의 관계로 기록한다. 그림 1은 아스팔트 바인더의 파악력 및 점결력 시험시 개질 아스팔트 바인더의 하중과 변위 관계 및 아스팔트 바인더의 파악력과 점결력의 정의를 나타낸 것이다. 그림 1

\*정회원 · 서울산업대학교 토목공학과 · 교수 · 02-970-6506(E-mail : tpark@snut.ac.kr)

\*\*학생회원 · 서울산업대학교 토목공학과 · 대학원 · 02-970-6946(E-mail : puresuhui2@empal.com)

\*\*\*학생회원 · 서울산업대학교 토목공학과 · 대학원 · 02-970-6946(E-mail : blackrj@empal.com)

에서 A+B의 면적을 파악력(kgf·cm)이라고 하며 B의 면적을 점결력(kgf·cm)이라고 한다. 그림 1과 같이 최초 인장 헤드가 시료에서 빠지면서 하중이 높은 산형으로 나타나고 시료가 늘어남에 따라 변위와 함께 하중이 급격히 줄어든다.

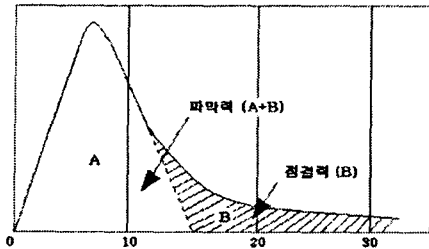


그림 1. 파악력 및 점결력 하중-변위 곡선

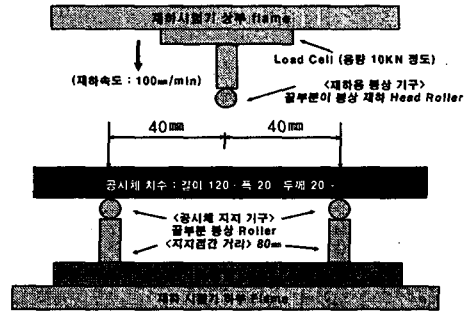


그림 2. 휠 굴곡시험 재하 장치(상세도)

### 2.3 휠 굴곡시험

시편을 성형하기 위해 아스팔트 바인더를 조립한 몰드에 흘려 넣는데, 냉각에 의한 수축을 고려하여 충분히 넣는다. 몰드와 함께 시편의 온도가 5℃가 될 때까지 저온 항온조에서 양생하여(-20℃의 항온조에서 약 20분, 또는 5℃의 항온조에서 60분) 시편을 성형 한다. 시편 성형 후 다시 몰드와 함께 저온 항온조에서 양생(-20℃의 항온조에서 약 10분, 또는 5℃의 항온조에서 30분) 한 후 시편을 탈형하여 시편의 질량을 측정한다. 시편의 양생은 -20±1℃로 유지된 저온 항온조에서 3~6시간 이루어진다. 1개의 조건에 대하여 최소 3개의 시편을 제작하여 성형 면을 위로 하여 재하속도 100mm/min으로 중앙부에 집중 재하 한다. 재하는 최대하중이 나타날 때까지 하며, 변위와 하중을 기록한다. 단, 저온 항온조에서 시편을 꺼내고 나서 시험 종료까지 20초 이내에 종료한다.

## 3. 개질 아스팔트 바인더 물리적 시험 결과

### 3.1 절대 점도시험(60℃)

60℃에서 개질 아스팔트 바인더의 흐름에 대한 저항성을 측정된 결과는 표 1과 같다. 고무계열의 개질제가 첨가된 개질Ⅳ와 개질Ⅴ는 개질제가 모세관을 막는 문제점으로 인해 시험이 불가하였으며, 개질Ⅰ은 고분자 개질제를 사용하여 개질되었으나 60℃에서 흐름이 전혀 발생하지 않아 시험이 이루어지지 못하였다.

표 1. 절대점도 시험결과

아스팔트 종류	AP-5 (Poise)	개질Ⅰ (Poise)	개질Ⅱ (Poise)	개질Ⅲ (Poise)	개질Ⅳ (Poise)	개질Ⅴ (Poise)	무색Ⅰ (Poise)	무색Ⅱ (Poise)
1	2,510	시험불가	380,561	168,956	시험불가	시험불가	22,046	22,763
2	2,404		486,278	200,823			20,148	33,341
3	2,523		422,307	194,506			21,486	23,424
평균	2,479		429,715	188,095			21,227	26,509

### 3.2 터프니스테나시티

25℃에서 일반아스팔트 및 개질 아스팔트 바인더 5종과 무색 바인더 2종에 대해 실시한 터프니스·테나시티(Toughness Tenacity) 시험결과는 표 2와 같다. 고점도 개질 아스팔트 바인더 인 개질Ⅱ는 탈구현상으로



로 인해 시험이 불가하였고, 개질 V는 10cm 이상 아스팔트 바인더가 늘어나지 못하고 절단되는 현상을 보여 시험이 불가능하였다. 또한 25℃에서 무색 I과 무색 II는 파악력과 점결력이 모두 일반아스팔트 바인더보다 작은 수치를 나타내었다.

표 2. 파악력 및 점결력 시험결과

(단위 kg·cm)

바인더의 종류		AP-5	개질 I	개질 II	개질 III	개질 IV	개질 V	무색 I	무색 II
1 회	파악력	82	214	시험 불가 (탈구)	257	312	시험 불가 (절단)	49	36
	점결력	61	178		179	205		42	28
2 회	파악력	77	205		273	절단		47	31
	점결력	58	161		192	절단		39	25
3 회	파악력	71	223		298	305		48	34
	점결력	52	183		215	189		40	27
평 균	파악력	77	214		276	309		48	34
	점결력	57	174		195	197		40	27

주) 터프니스 : 파악력, 테나시티 : 점결력

3.3. 휨 굴곡시험

-20℃에서 실시한 휨 굴곡시험에서 일반아스팔트(AP-5), 무색 I, II는 -20℃에서 하중이 재하 됨과 동시에 파단이 발생하였지만, 개질 II와 개질 III은 파단 되지 않고 표 3에 보인 것과 같이 일정 응력을 나타내었다. 그러나 -5℃와 -10℃에서 일반아스팔트(AP-5), 개질 I, 무색 I과 무색 II에 대해 추가적으로 실시한 휨 굴곡시험에서는 하중재하에 대하여 일정 응력을 나타내었으며 그 결과는 표 4와 같다.

표 3. -20℃에서 실시한 휨 굴곡 시험결과 비교

바인더의 종류	단위	AP-5	개질 I	개질 II	개질 III	개질 IV	개질 V	무색 I	무색 II	
시편의 질량	g	46.5	46.4	49.5	48.8	50.1	50.0	44.5	45.1	
파단상태 (○:파단되지않음, X:파단)	-	X	X	○	○	X/○	X	X	X	
최대 하중(P)	kg	0	0	43.3	21.1	19.9	9.5	0	0	
최대 하중 시의 변위량(d)	mm	0	0	10.6	19.0	14.73	0.46	0	0	
최대 휨 응력( $\sigma$ )	kg/mm <sup>2</sup>	0	0	0.65	0.32	0.32	0.14	0	0	
최대 휨 변형( $\epsilon$ )	-	0	0	0.20	0.26	0.28	0.009	0	0	
휨 변형량	kg/mm <sup>2</sup>	0	0	0.13	0.08	0.09	0.0012	0	0	
휨 스티프니스(Stiffness)	kg/mm <sup>2</sup>	0	0	3.28	1.22	1.16	16.45	0	0	
변동계수	휨 변형량(30% 이내)	%	-	-	0	2.60	9.75	21.60	-	-
	휨 Stiffness(20% 이내)	%	-	-	3.37	3.90	1.73	10.93	-	-

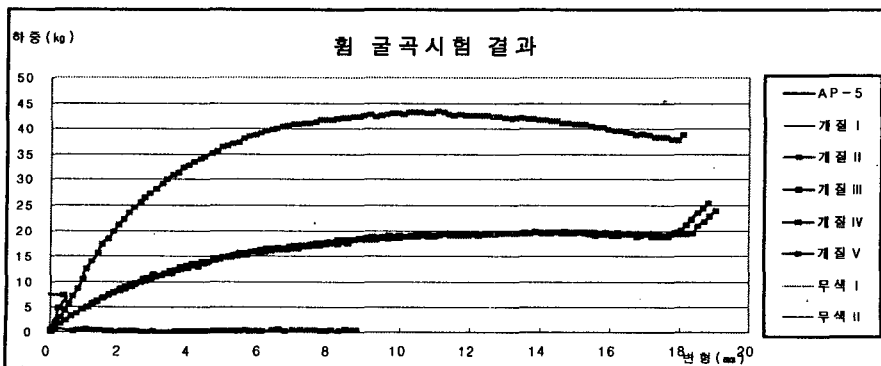


그림 3. 휨 굴곡시험 결과

표 4. -5℃와 -10℃에서 실시한 휨 굴곡 시험결과 비교

바인더의 종류	단위	-5℃				-10℃				
		AP-5	개질 I	무색 I	무색 II	AP-5	개질 I	무색 I	무색 II	
시편의 질량	g	47.2	46.8	45.5	44.5	46.9	47.3	45.2	44.8	
파단상태 (○:파단되지않음, ×:파단)	-	×/○	×	○	○	×/○	×	○	○	
최대 하중 (P)	kg	39.09	41.19	29.0	54.12	27.08	0	22.99	37.01	
최대 하중 시의 변위량 (d)	mm	5.33	10.25	9.30	9.26	14.85	0	8.97	11.74	
최대 휨 응력 ( $\sigma$ )	kg/mm <sup>2</sup>	0.59	0.40	0.43	0.81	0.41	0	0.35	0.56	
최대 휨 변형 ( $\epsilon$ )	-	0.08	0.17	0.15	0.18	0.26	0	0.16	0.19	
휨 변형량	kg/mm <sup>2</sup>	0.05	0.07	0.15	1.80	0.10	0	0.06	0.11	
휨 스티프니스 (Stiffness)	kg/mm <sup>2</sup>	7.56	2.33	2.88	4.51	1.59	0	2.12	2.88	
변동계수	휨 변형량(30% 이내)	%	8.84	11.31	11.66	15.92	9.07	-	7.44	7.42
	휨 Stiffness(20% 이내)	%	17.99	14.13	15.46	10.69	11.69	-	9.12	19.85

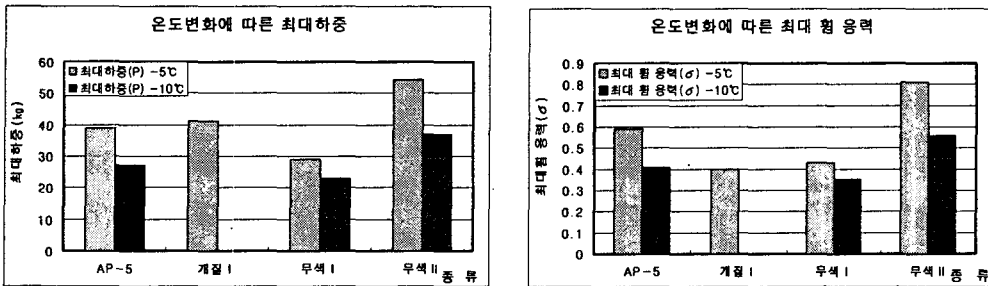


그림 4. 온도 변화에 따른 휨 굴곡시험 최대하중(좌)과 최대 휨 응력(우)

#### 4. 결론

다양한 개질 아스팔트 바인더에 대하여 절대 점도시험, 터프니스·테나시티 시험 및 휨 굴곡시험을 실시 하였으나, 개질재의 종류에 따라 특정 시험이 이루어지지 않는 아스팔트 바인더도 발생하였다. 그러나 휨 굴곡시험은 모든 개질 아스팔트 바인더에 대하여 시험이 가능하였고 그 거동특성이 아스팔트 바인더의 종류, 시험온도, 개질재 또는 첨가재료에 의해 저온에서의 파단현상은 매우 다르게 나타났다. 특히, 여러 온도(-5℃, -10℃, -20℃)에서 휨 굴곡시험을 실시함으로써 시험에 사용된 모든 개질 아스팔트 바인더의 서로 다른 저온 거동특성을 파악할 수 있었으며 향후 보완 연구 및 시험을 통하여 온도 변화에 대한 개질 아스팔트 바인더의 저온 특성을 심도있게 분석 할 필요가 있다. 본 연구는 개질아스팔트 바인더의 점도시험 및 터프니스·테나시티 시험과 더불어 휨 굴곡시험의 도입 필요성을 보여주는 결과이다.

#### 참 고 문 헌

1. 박태순, 윤수진, 조혁기, 김학서, "국내 개질 아스팔트 바인더 터프니스·테나시티 특성 및 문제점 연구", 한국도로포장공학회 학술발표회, 한국도로공사, 2002,10
2. 박태순, 이수희, 김지선, "휨 굴곡시험을 이용한 아스팔트 바인더의 저온특성연구", 한국도로학회 학술발표회, pp203-206, 2005.11
3. 허정도, 노성열, 최한길, "아스팔트 바인더의 새로운 저온등급 제안", 한국도로학회 학술발표회, pp 131-136, 2004.10
4. Nakanishi H, Kawanaka T, ziqing L, Baocum H, "Study on Improvement in Durability and Funtion of Porous Asphalt Pavement", Intern. Conf. on Road & Airfield Pavement Technology, Kunming, China, Proceeding Vol. II, pp. 965-973, 2002