

휨 굴곡시험을 이용한 아스팔트 바인더의 저온특성연구

Low Temperature Characteristic of the Asphalt Binders Using the Flexural Beam Test

박태순^{*} · 이수희^{**} · 김지선^{***}

Park, Tae Soon · Lee, Su Hui · Kim, Ji Sun

1. 서 론

종래에 국내에서 사용되고 있는 아스팔트 바인더의 파악력을 평가하는 방법으로 터프니스-테나시티(Toughness & Tenacity) 시험이 사용되어 왔다. 그러나 아스팔트 바인더가 점차 고점도화 되어감에 따라 터프니스-테나시티 시험기에서 인발파단을 발생시키기 전에 아스팔트 바인더가 금속반구로부터 탈구되거나 시험도중에 절단되어 정확한 시험결과를 얻을 수 없을 뿐만 아니라 시험결과도 공용성을 예측할 수 없게 되었기 때문에 휨 굴곡시험이 개발되었다. 휨 굴곡시험은 아스팔트 바인더의 파악력을 바르게 평가하는 방법으로서 바인더의 인장 파단 에너지(Energy)에 주목하여 휨 시험에 의해 구해진 휨 변형량(變形量 : 힘이 작용해서 물체가 움직인 량) 및 휨 스티프니스(Stiffness)가 혼합물의 저온 칸타브로(Cantabro) 손실율과 높은 상관성을 갖는 것으로 보고 되고 있다.(일본도로공단 시험연구소, 일본 개질 아스팔트협회(2002)).

본 연구에서는 국내에서 사용되고 있는 여러 아스팔트 바인더를 사용하여 휨 굴곡시험을 실시하여 저온에서의 아스팔트 바인더의 저온 거동특성에 대해서 분석하였다.

2. 휨 굴곡 시험

2.1 시험장비 및 방법

휨 굴곡 시험방법은 아래 그림 1과 같이 몰드를 조립하여 아스팔트 바인더를 몰드에 흘려 넣는데, 냉각에 의한 수축을 고려하여 충분히 넣는다. 몰드와 함께 시편의 온도가 5℃가 될 때까지 저온

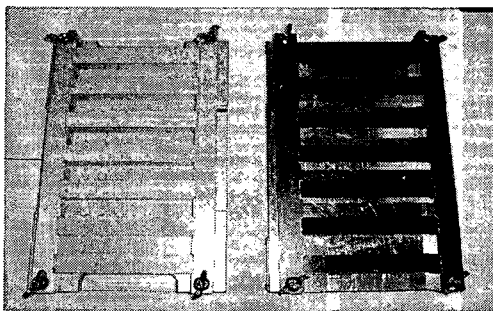


그림 1. 휨 굴곡시험 몰드

항온조에서 양생하여 (-20℃의 항온조에서 약 20분, 또는 5℃의 항온조에서 60분) 시편을 성형한다. 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 측정하고, 시편이 바르게 제작되었는 것을 확인한다. 시편의 양생은 -20±1℃로 유지된 저온 항온조에서 3~6시간 이루어진다. 1개의 조건에 대하여 최소 3개의 시편을 제작한다. 휨 굴곡시험장비는 아래 그림 2와 그림 3에 나타났다.

* 정회원 · 서울산업대학교 토목공학과 · 교수 · (02-970-6506, tpark@snu.ac.kr)
** 정회원 · 서울산업대학교 토목공학과 · 대학원 · (02-970-6946, puresuhui2@empal.com)
*** 정회원 · 서울산업대학교 토목공학과 · 대학원 · (02-970-6946, white6816@empal.com)

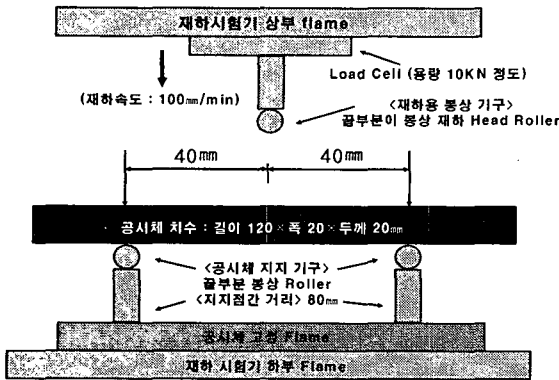


그림 2. 휨 굴곡시험 재하 장치(상세도)

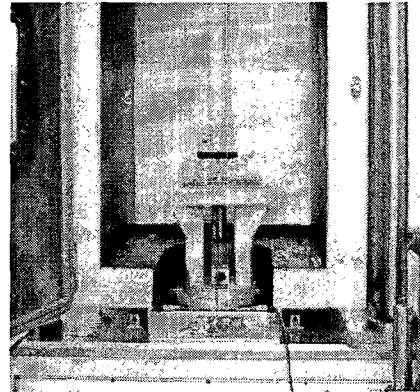


그림 3. 휨 굴곡시험 재하 장치

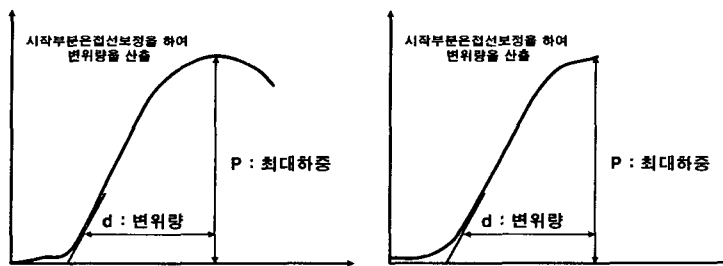
양생 후 시편은 성형 면을 윗면으로 하여 재하 장치에 빠르게 설치하고 재하속도 100mm/min으로 중앙부에 집중 재하 한다. 재하는 최대하중이 나타날 때까지 하며, 변위와 하중을 기록한다. 단 저온 항온조에서 시편을 꺼내고 나서 시험 종료까지 20초 이내에 종료한다.

2.2 결과 정리 및 분석방법

기록된 변위-하중 곡선에 의해 최대하중 및 이 때의 변위량을 구하여 아래의 식에 의해 최대 휨 응력 및 최대 휨 변형을 소수점 이하 한자리까지 구하고, 평균치도 산출한다. 또, 변위량에 대해서는 그림 4에 나타난 것과 같이 접선보정을 하여 계산한다.

$$\text{최대 휨 응력}(\sigma) = \frac{3l}{2bh^2} P, \quad \text{최대 휨 변형}(\epsilon) = \frac{6h}{l^2} d \quad \dots\dots\dots (\text{식1})$$

- 여기에서
- b : 시편의 폭(mm) 20mm
 - h : 시편의 두께(mm) 20mm
 - l : 시편 지지점 간 거리 20mm
 - P : 최대 하중(N)
 - d : 최대 하중시의 변위량(mm)



공시체가 파단되지 않는 경우의 예

공시체가 파단되는 경우의 예

그림 4. 최대하중 변위량 그래프



최대 휨 응력(σ) 및 최대 휨 변형(ϵ)에서 휨 변형량과 휨 스티프니스를 아래 식에 의해 소수점 이하 한자리까지 산출한다. 시험결과에 대해서는 평균치 및 변동계수도 산출한다.

$$\text{휨 변형량} = \text{최대 휨 응력}(\sigma) \times \text{최대 휨 변형}(\epsilon), \text{ 휨 Stiffness} = \frac{\text{최대휨응력}(\delta)}{\text{최대휨변형}(\epsilon)} \quad \dots(\text{식 } 2)$$

휨 변형량 및 휨 스티프니스 방법에서 변동계수를 산출하여 그 변동계수가 아래에 나타난 목표치를 초과하는 경우에는 원인의 추정과 시험방법의 확인을 통하여 재시험을 실시한다.

- 휨 변형량 : 30%. 휨 Stiffness : 20%

특히 시험시의 파단형상에 대해서 파단(O)되지 않는 경우와 파단 되는 경우(X)가 모두 발생한 경우에는 다시 변동계수가 위의 목표치를 초과하는 경우가 있다. 이와 같이 재시험 결과가 나온 경우는 최초 시험 결과와 재시험 결과를 전부 채택하여 보고하는 것으로 하고 있다.

3. 시험

3.1 시험재료

휨 굴곡시험에 사용한 아스팔트 바인더는 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 개질 아스팔트 바인더인 5종과 무색 아스팔트 바인더 2종을 사용하였으며, 기준 시료로서 일반아스팔트 바인더를 비교 시험해 주었다.

3.2 시험결과 및 분석

일반아스팔트(AP-5), 무색 I, II는 -20℃에서 하중이 재하 됨과 동시에 파단 되었다. 반면에 개질 IV의 경우는 휨에 저항을 하며 서서히 파단 되었다. 개질 II와 개질 III은 파단 되지 않고 표 1에 보인 것과 같이 일정 응력을 나타내었다.

표 1. 아스팔트 바인더의 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		49.5	48.8	50.1	50.0	44.5	45.1	
파단상태 ○:파단되지않음, ×:파단	-	×	×	○	○	×/○	×	×	×	
최대하중(P)	kg	0	0	43.3	21.1	19.9	9.5	0	0	
최대하중 시의 변위량(d)	mm	0	0	10.6	19.0	14.73	0.46	0	0	
최대 휨 응력(σ)	kg/mm ²	0	0	0.65	0.32	0.32	0.14	0	0	
최대 휨 변형(ϵ)	-	0	0	0.20	0.26	0.28	0.009	0	0	
휨변형량	kg/mm ²	0	0	0.13	0.08	0.09	0.0012	0	0	
휨 스티프니스(Stiffness)	kg/mm ²	0	0	3.28	1.22	1.16	16.45	0	0	
변동계수	휨변형량 (30% 이내)	%	-	-	0	2.60	9.75	21.60	-	-
	휨Stiffness (20% 이내)	%	-	-	3.37	3.90	1.73	10.93	-	-

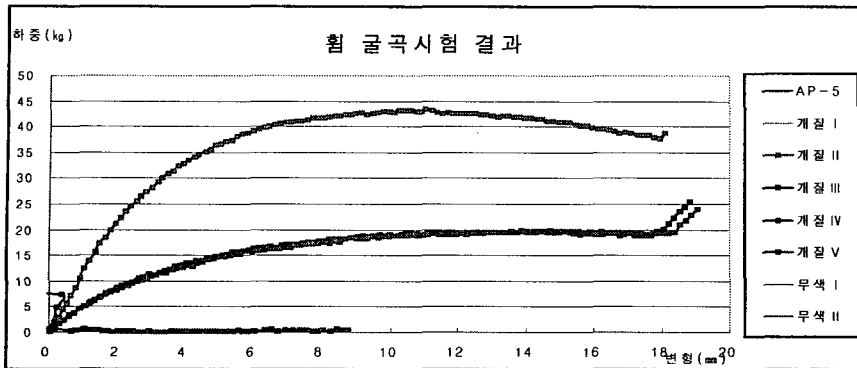


그림 5. 휠 굴곡시험 결과

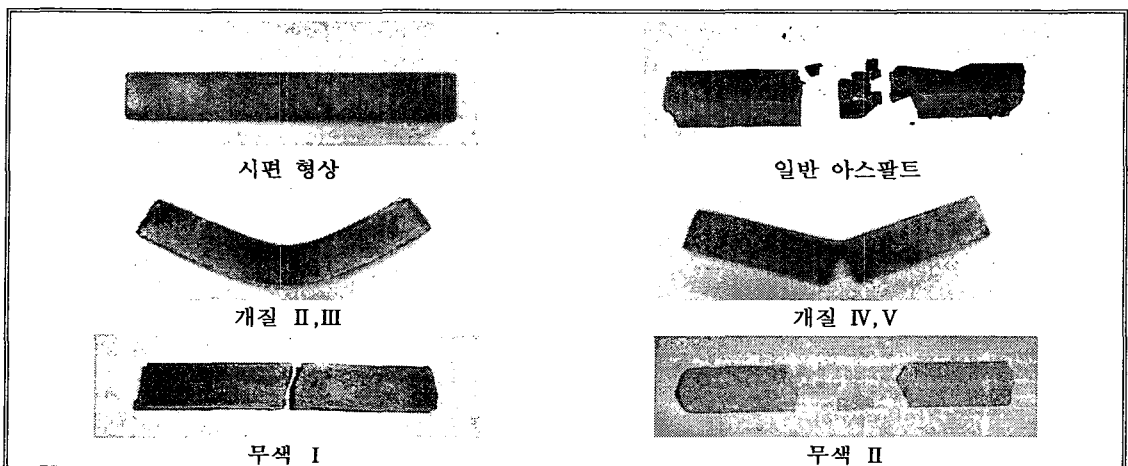


그림 6. 휠 굴곡시험 결과 아스팔트 바인더의 굴곡 및 파단 형상

4. 결 론

아스팔트 시료의 종류에 따라 개질 또는 첨가재료가 저온에서의 파단현상은 매우 다르게 나타났다. 일반 아스팔트와 무색 아스팔트는 저온에서 탄성을 상실하면서 취성파괴가 발생하였으며 고무가 첨가된 아스팔트 바인더 역시 저온에서 탄성을 상실하면서 하중에 대한 저항성을 상실하였다. 한편, 고분자가 함유된 아스팔트 바인더는 저온에서도 어느 정도의 탄성을 보였으며 시편이 파단되는 결과는 나타나지 않았다.

참 고 문 헌

1. 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
2. 박태순, 윤수진, 조혁기, 김학서, "국내 개질 아스팔트 바인더 터프니스·테나시티 특성 및 문제점 연구", 한국도로포장공학회 학술발표회, 한국도로공사, 2002,10