

국내 개질 아스팔트바인더 터프니스·테나시티 특성 및 문제점연구

Characteristics and Statement of Problems of Toughness and Tenacity for Modified Asphalt Binders

박태순* · 윤수진** · 조혁기*** · 김학서****

Park, Tae Soon · Yoon, Soo Jin · Cho, Hyuk Ki · Kim, Hak Seo

1. 서 론

90년 중반 이후 국내에서는 이상 기온 및 교통량의 증가로 인하여 아스팔트 포장의 파손이 심화되면서 이에 대한 한가지 대책으로 여러 종류의 개질 아스팔트바인더(이하 아스팔트)가 사용되고 있다. 개질 아스팔트는 토공구간의 도로포장 이외에도 교량, 터널, 고가 도로 등 각종 구조물의 포장으로 사용되고 있으며 특히, 강상판 교량 포장으로 개질 아스팔트가 주로 사용되고 있어서 개질 아스팔트의 사용 실적도 매년 증가되고 있는 실정이다. 그러나, 국내에서는 개질 아스팔트의 특성을 평가분석 할 수 있는 시험규정이나 연구결과가 없었기 때문에 초기에는 침입도 및 점도의 변화를 참고로 개질 효과 및 품질시험을 실시하였다. 이후 90년도 후반에는 미국의 슈퍼페이브 시험 방법과 장비가 국내에 도입되면서 슈퍼페이브 제 1단계 아스팔트 시험을 이용하여 고온 및 저온 특성의 변화와 향상을 분석하는 방법이 사용되고 있으나 일부 개질 또는 특수 아스팔트에는 시험 적용이 불가능한 경우도 발생하고 있는 실정이다. 개질 아스팔트가 도입 된지 10년이 경과 하였지만 아직까지 개질 아스팔트에 대한 시험방법 및 시방규정이 없는 실정이기 때문에 국내 시방규정 설정이 매우 시급하다고 하겠다. 상술한 시험방법 이외에 터프니스·테나시티 (Toughness& Tenacity)시험이 사용되고 있는데 이 시험의 도입과 시방규정은 언제 어떻게 어떠한 경로로 국내에 도입되었는지 밝혀지지 않고 있다. 본 연구로부터 조사된 바에 의하면 개질 아스팔트를 수입하는 업체로부터 일본의 혼슈시코쿠(本州四國) 교량에 사용하고 있는 이 시험방법을 도입하여 국내 교량에 적용하였으며 이후 일본의 개질 아스팔트 규격으로 정해진 개질아스팔트 I형 및 II형에 대한 시방규정을 국내에서도 비공식적으로 적용하여 사용하고 있는 실정이다. 참고로 개질아스팔트 I형은 SBR을 주재료, 개질아스팔트 II형은 SBS를 주재료 한 개질 아스팔트이다. 본 연구는 약 3년 동안 국내에서 사용된 개질 아스팔트의 터프니스·테나시티 시험결과를 토대로 국내 개질 아스팔트의 터프니스·테나시티 시험결과와 이 시험에 대한 현황 및 문제점에 대하여 조사 연구한 결과에 대하여 서술하였다.

2. 터프니스·테나시티 (Toughness& Tenacity) 시험

터프니스·테나시티 시험은 JR. Benson이 「New Concepts for Rubberized Asphalt」 (Roads and Streets, April 1955)에서 제안한 시험방법으로 그 이후에 미국토목학회(ASCE)에서 벤슨의 시험방법을 일부 수정하였다. 표 1은 벤슨의 시험방법과 ASCE 시험법을 비교한 것이다. 표 1에서 볼 수 있는 것처럼 두 시험 방법의 차이는 시험에 사용하는 금속반구(tension head)의 크기, 시료채취량, 시료의 조정온도 등이다.

*정회원 · 서울산업대학교 토목공학과 교수 · 02-970-6506(E-mail:tpark@snut.ac.kr)
**정회원 · 서울산업대학교 토목공학과 대학원 · 02-970-6946(E-mail:naya0730@hanmail.net)
***정회원 · 서울산업대학교 건설기술연구소 주임연구원 · 02-970-6946(E-mail:brownhk@hanmail.net)
****정회원 · 서울산업대학교 토목공학과 대학원 · 02-970-6946(E-mail:ddsoon@hanmail.net)



표 1. 벤슨법과 ASCE법의 비교 (太田 建二, 1984)

조건		시험법	J. R Benson 법	ASCE 법
시험기구	시료용기	직경	53.9mm	53.9mm
		깊이	34.9mm	34.9mm
		비고	ASTM D5의 침입도용기와 같은 크기로 두꺼운 컵.	ASTM D5의 침입도용기와 같은 크기.
	금속반구 (tension head)	반경	11.1mm	9.5mm
		지지봉 직경	6.4mm	6.4mm
		지지봉 길이	44.5mm	50.8mm
	인장시험기	용량	26.8kgf 이상	좌동
		인장속도	508mm/min	
측정조건	시료의 조정		190℃까지 가열	연화점 +180℃까지 가열(단, 190℃이하)
	시료 채취량		36g	50g
	금속반구 셋팅		9.9mm 깊이까지 침입	9.5mm 깊이까지 침입
	시료의 양생 및 측정		상온에서 60~90분, 25℃의 항온수조에서 60~90분 (측정은 25℃의 상온)	좌동
	인장속도		508mm/min (단, 침입도 75이하의 시료는 305mm/min)	508mm/min

터프니스는 개질 아스팔트의 파악력(把握力, kgf·cm)을 테나시티는 점결력(粘結力, kgf·cm)을 측정하는 시험으로 특히 고무가 혼입된 아스팔트 또는 고무 및 수지가 혼입된 아스팔트의 특성을 연구하기 위해 사용하는 시험방법이다. 현재 일본에서는 「아스팔트 포장요강」과 「혼슈시코쿠 교량기준(안)」에서, 미국에서는 1995년도 ASTM D5801에서 개질 아스팔트의 규격으로 채택되어 사용하고 있다. 또한, 우리나라에서는 비공식적으로 표 2에 나타난 일본 개질 아스팔트협회의 지방규정을 사용하고 있다.

표 2. 개질아스팔트 터프니스·테나시티 지방규정 (일본 개질 아스팔트 협회, 1998)

항목 \ 종류	개질아스팔트 I형	개질아스팔트 II형	고점도 개질아스팔트	부착성개선 개질아스팔트	초중 교통용 개질아스팔트
터프니스(25℃) (kgf·cm)	50이상	80이상	200이상	160이상	200이상
테나시티(25℃) (kgf·cm)	25이상	40이상	150이상	80이상	150이상
비고	개질아스팔트 I형 및 II형은 일본아스팔트 포장요강 (1992년판)에 규정한 것과 동일.		고점도 개질아스팔트는 일본 배수성포장기술지침안에 규정하는 것과 동일.	부착성개선개질아스팔트는 일본 건설성 중부지방 건설국의 아스팔트 규격을 참조.	



그림 1은 터프니스·테나시티 시험장비이며, 그림 2는 아스팔트 종류에 따른 터프니스·테나시티 시험 성향을 보여주고 있다.

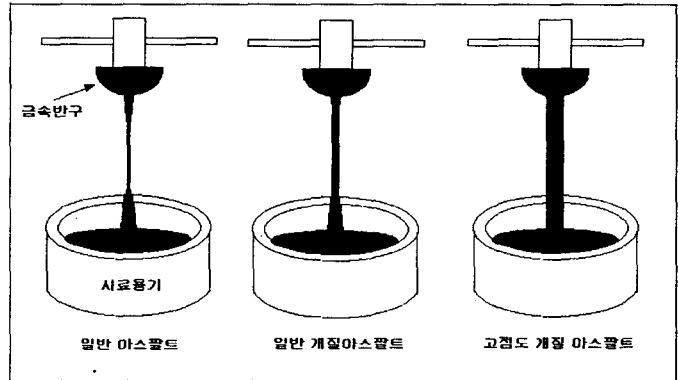
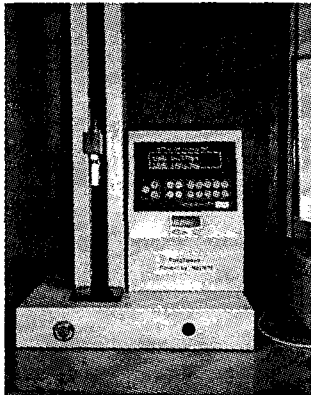


그림 1. 터프니스·테나시티 시험기 그림 2. 아스팔트종류에 따른 터프니스·테나시티 시험 성향

이 시험은 25℃로 조절된 아스팔트 시료 중에 금속반구를 담구었다가 30cm까지 신장시키는 동안의 힘의 양이 그림 3과 같이 하중-변위의 관계로 기록된다. 그림 3의 산형 부분은 아스팔트가 금속반구를 붙들고 있는 저항성으로 표현하여 전체부분의 질량을 파악력, 낮은 부분은 아스팔트의 큰 변형에 대한 저항성으로 후반의 질량을 점결력이라 정의한다. 제조 중에 산화가 많이 발생한 아스팔트의 경우 30cm까지 신장되기 전에 시료가 중간에서 절단되거나 금속반구로부터 이탈되는 현상이 발생하게 된다.

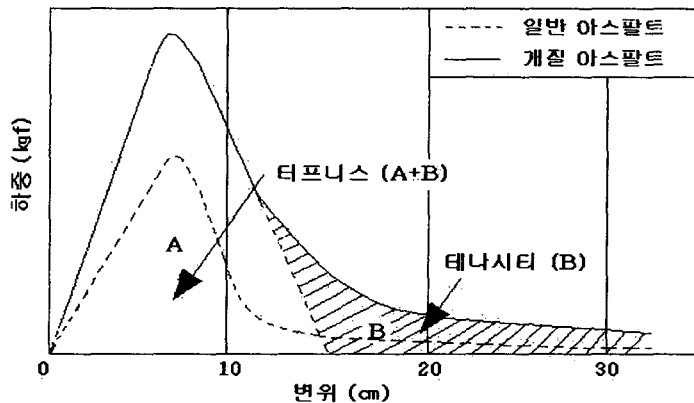


그림 3. 터프니스·테나시티의 하중-변위 곡선

3. 시험재료 및 시험결과 비교분석

3.1 시험 재료

터프니스·테나시티 시험에 사용한 아스팔트는 국내에서 생산된 교량용, 배수성 및 도로용 개질 아스팔트 11종과 일본 교량용 아스팔트 1종 그리고 비교 분석을 위해 일반 아스팔트 2종을 수집하여 실시하였다. 표 3



은 시험에 사용된 시료의 종류이다.

표 3. 시험재료 목록

기 호	종 류	시료 갯수
I	일반 아스팔트	2
II	일반 개질 아스팔트	1
III	교량용 아스팔트	3
IV	배수성 아스팔트	4
V	고점도 개질 아스팔트	2
VI	일본 교량용 아스팔트	1

3.2 비교시험 및 분석결과

시험은 시료의 성형실온에서 1-2시간 방치한 후 시험 온도인 25℃에서 2시간이상 양생하였으며, 500mm/min의 속도로 30cm이상 신장까지의 최대 하중값 및 변위값을 측정하여 터프니스와 테나시티를 산출하였다. 표 4는 각 시료에 대한 터프니스·테나시티 시험 결과이다. 표 4에서 볼 수 있는 것처럼 터프니스와 테나시티는 아스팔트의 종류에 따라 값 차이가 크게 발생하였는데 교량용 아스팔트가 가장 큰 터프니스와 테나시티 값을 나타내었다. 반면 일반 아스팔트 2종은 작은 값을 나타내었고, 배수성 아스팔트 4종은 터프니스 값에 비해 테나시티 값이 현저히 작게 나타났다. 또한, 30cm이상의 변위까지 신장된 아스팔트는 일반 아스팔트와 일본 교량용 아스팔트뿐이고 다른 아스팔트는 모두 30cm이하의 변위에서 절단되었다. 특히, 배수성 아스팔트 4종은 변위가 거의 발생하지 않은 상태(약 4~5cm)에서 금속반구로부터 이탈되는 현상이 발생하였다.

표 4. 터프니스·테나시티 시험결과

번호	시료명	터프니스 (kg·cm)	테나시티 (kg·cm)	변위 (cm)
1	일반 개질 아스팔트	257	179	21
2	일반 아스팔트(1)	35	15	31
3	일반 아스팔트(2)	82	61	31
4	배수성 아스팔트(1)	137	58	5
5	배수성 아스팔트(2)	186	45	5
6	배수성 아스팔트(3)	154	39	5
7	배수성 아스팔트(4)	185	35	4
8	교량용 아스팔트(1)	466	388	21
9	교량용 아스팔트(2)	467	389	21
10	교량용 아스팔트(3)	361	304	21
11	일본 교량용 아스팔트	197	142	31
12	도로용 개질 아스팔트	234	247	23
13	고점도 개질 아스팔트(1)	256	225	16
14	고점도 개질 아스팔트(2)	173	122	10



3.3 온도변화에 따른 시험결과 비교

본 연구에서는 터프니스·테나시티 시험을 시험 온도인 25℃외에 27℃, 29℃에서 2시간 양생하여 온도변화에 따른 시험을 실시하였다. 시험재료는 표 4에서 언급한 14종의 아스팔트 중에 4종류를 선택하였다. 그림 4는 온도변화에 따른 시험결과를 나타낸 것이다. 그림 4에서도 볼 수 있듯이 교량용 아스팔트가 가장 큰 터프니스 및 테나시티 값을 나타내었고 온도에 대한 변화도 거의 발생하지 않았다. 또한 29℃에서 변화폭이 커지는 것으로 나타난 것은 임의의 온도를 넘으면 아스팔트는 터프니스와 테나시티 값이 저하하는 것으로 나타나서 여러 온도에서 시험을 수행하여 온도 변화에 대한 민감도를 분석하는 것이 필요한 것으로 나타났다.

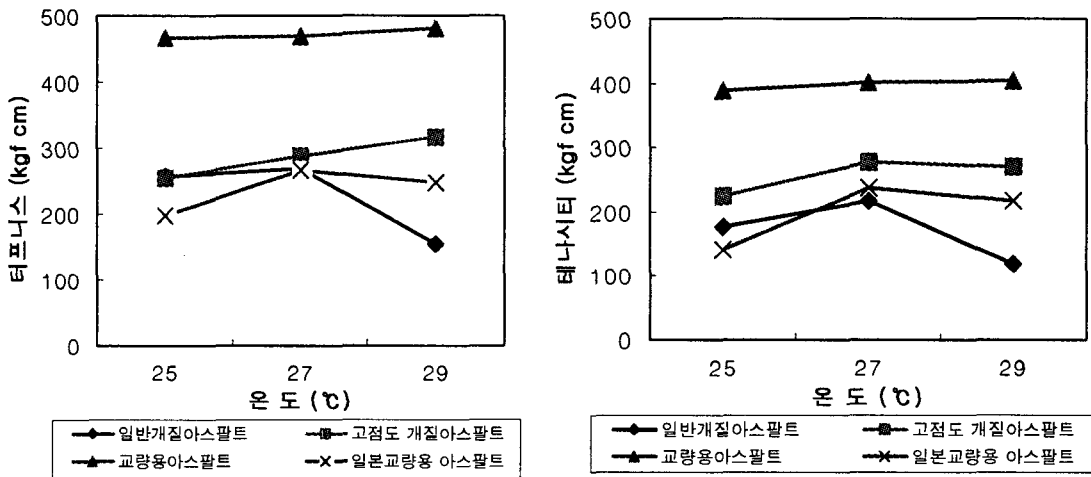


그림 4. 온도변화에 따른 시험결과

3.4 시험의 문제점 및 개선사항

터프니스·테나시티 시험은 상술한 것처럼 지금으로부터 47년 전인 1955년에 개발된 방법으로 현재 국내에서는 일본 규정에 따라 몇 개 기관에서 시험을 수행하고 있다. 본 시험의 문제점으로는 (1) 금속반구의 문제점 (2) 시료의 양과 시료 용기의 문제점 (3) 금속반구의 레벨조정에 대한 문제점 (4) 시료의 양생 조건 등이 있으며, 시험 결과를 참고할 때 국내에서 생산되고 있는 개질 아스팔트의 품질에 대해서도 심도 있는 연구검토가 필요한 것으로 사료된다.

터프니스·테나시티 시험에서 가장 중요한 것은 금속반구의 크기와 그 표면의 가공정도인데 일본 고무 아스팔트 협회에서 조사한 사항에 의하면 재질이 철재이기 때문에 표면에 녹이 발생할 경우 측정값에 직접적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 또한, 시료의 양을 벤슨법의 경우 36g으로 규정하고 있는 반면, ASTM에서는 50g으로 규정하고 있어서 시료의 양에 대한 연구검토가 필요하다. 25℃에서 개질 아스팔트가 매우 강하기 때문에 인장 강도에 의해 용기 하부가 들어 올려지는 현상이 발생하여 측정값의 신뢰성이 저하되는 원인을 제공하고 있으며, 금속반구를 시료 안에 정확히 정착시키는 것이 중요한데 정확한 레벨조정이 되지 않았을 경우 측정값에 현저한 차이를 미치게 된다. 양생시간과 온도 역시 테나시티의 값이 차이를 나타냈고, 양생조건이 길어질 수록 터프니스와 테나시티는 조금씩 더 커지는 것으로 나타났다. 국내에서 생산된 개질 아스팔트의 경우 터프니스·테나시티 시험에서 가장 크게 관심을 끄는 부분은 국내의 개질 아스팔트는 시험 규정처럼 30cm가 자연스럽게 신장되는 아스팔트가 거의 없어서 개질 아스팔트의 생산과 관련된 품질관리에 재고가 필요한 것으로 사료된다.



4. 결론

최근 개질 아스팔트의 개발과 판매가 확대되고 있다. 아스팔트 포장 분야에서는 개질 아스팔트에 대한 관심이 집중됨에 따라 교통 및 환경조건에 따른 맞춤형 개질 아스팔트의 생산을 위해 노력하고 있다. 터프니스·테나시티 시험은 고무가 혼입된 개질 아스팔트의 평가방법으로서 터프니스와 테나시티의 향상은 기존 아스팔트에 비하여 포장의 마모성과 박리성 및 미끄럼 방지등의 효과를 얻을 수 있다. 그러나, 우리나라에서는 개질 아스팔트의 품질과 성능을 공식적으로 시험할 수 있는 규정이 제정되어 있지 않은 상태로 주로 일본 개질 아스팔트 협회의 시방규정을 그대로 사용하고 있다. 본 연구에서는 국내에서 생산한 개질 아스팔트 13종과 일본에서 생산된 개질 아스팔트 1종을 대상으로 터프니스·테나시티 시험을 실시하여 국내 개질 아스팔트의 품질과 터프니스·테나시티 시험의 문제점을 도출하였다. 터프니스·테나시티 값은 개질 아스팔트마다 현저한 차이를 나타내었으며, 국내에서 생산된 개질 아스팔트는 시험 도중에 절단되는 현상 또는 금속반구가 아스팔트로부터 이탈되는 현상이 자주 발생하여 아스팔트가 제조과정 중에 산화가 심하게 되었거나 생산 중에 품질시험을 거치지 않은 것으로 판단되었다. 또한, 터프니스·테나시티 시험은 개질 아스팔트의 품질향상을 위한 평가방법으로 좀더 정확한 시험방법과 시험조건들이 국내 실정에 맞게 개선 및 재검토되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Freddy L. Roberts, Prithvi S. Kandhal, Investigation and Evaluation of Ground Tire Rubber in Hot Mix Asphalt, NCAT Report No.89-3, August 1989.
2. Test Method D5801-95(2001) Standard Test Method for Toughness and Tenacity of Bitumens Materials, ASTM.
3. State of Ohio Department of Transportation, Supplement 1012 Method of Test for Rubber Compound, August 15, 1995.
4. 日本乳劑協會規格, “タフネス・テナツティ - 試験方法”, JEAAS.
5. 太田 建二, “タフネス・テナツティ - 試験”, 舗装, Vol19, No.8, 1984.4, pp30~34.
6. 日本改質アスファルト協會, “ゴム・熱可塑性エラストマー入り 改質アスファルト ポケットガイド”, 1998.1, pp12.