



마샬 안정도시험기를 이용한 아스팔트 혼합물의 파괴에너지 측정시스템 개발

Development of Fracture Energy Measurement System of Asphalt Mixture Using Marshall Tester

김 부 일 * 이 문 섭**
Kim, Boo il Lee, Moon Sup

Abstract

The purpose of this study is to develop a simple and rational crack evaluation system using Marshall tester. Fracture energy were used as a parameter to evaluate the crack resistance of asphalt mixtures. Marshall tester basically measures the vertical deformation obtained from the linear variable differential transformer(LVDT) attached on the specimen's exterior, which can cause a measurement error due to the local deformation near the loading head. Therefore, the validity of the measurement system of Marshall tester should be tested to use it in calculation of fracture energy. Two types of indirect tensile strength tests were performed using four types of asphalt mixtures at two temperature conditions. From the tests, it was shown that local deformation near the loading head had not occurred before a specimen was fractured, so that it did not cause the measurement error of fracture energy. And also from the statistic analysis, the coefficient of variation of vertical deformation measurements obtained on specimen's exterior is less than 15%. Thus, vertical deformation measurements obtained on the specimen's exterior can be used in crack evaluation system using Marshall tester.

Keywords : indirect tensile strength, Marshall tester, fracture energy

요 지

본 연구는 마샬 시험기를 이용하여 아스팔트 혼합물의 균열저항성을 평가할 수 있는 보다 간편하고 합리적인 측정시스템을 개발하는데 목적이 있다. 균열저항성 평가를 위한 파라메타로서 파괴에너지를 이용하였다. 마샬 시험기는 기본적으로 공시체 외부에 거치한 LVDT를 이용하여 수직변형률을 측정하는 시스템이며, 이 같은 외부 수직변형률 측정방식은 하중 스트랩 부분에서 발생하는 국부적인 변형으로 인해 측정오차를 야기할 가능성이 있다. 따라서 추가적인 계측 시스템을 설치하지 않고 기본적인 마샬 시험기를 이용하여 혼합물의 파괴에너지를 측정하기 위해서는 공시체 외부에 거치한 LVDT를 이용한 수직변형률 측정값이 파괴에너지 산정에 적용가능한지 여부를 검증하여야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 공시체 중앙부분에서의 수평변형률과 외부에 거치한 LVDT를 이용한 수직변형률을 측정하는 두 가지 방식의 간접인장강도실험을 수행하여 그 차이를 비교분석하였다. 실험결과, 외부 수직변형률 측정의 문제점으로 지적되었던 하중 스트랩 부분에서 발생하는 국부적인 변형은 파괴시점 이전에는 극히 적은 것으로 나타나 파괴에너지 계산에 오차를 유발하지 않음을 보여주었다. 또한 외부 수직변형률 측정의 실험변동성을 확인한 결과, 변동계수가 15% 이하로 마샬 시험기를 이용한 균열저항성 평가 시스템에 이용 가능함을 알 수 있었다.

핵심용어 : 간접인장강도, 마샬 시험기, 파괴에너지

* 정회원 · 한국건설기술연구원 도시시설연구실 선임연구원 · 공학박사
** 정회원 · 한국건설기술연구원 도시시설연구실 연구원 · 공학석사



1. 서론

현재 국내에서는 아스팔트 혼합물 배합설계방법으로 마샬 시험법을 사용하고 있다. 마샬 배합설계방법은 시험장치가 간단하고 경제적이지만, 하중을 가하는 방법이 실제 교통하중에 의해 발생하는 응력상태와 상이하여 혼합물의 역학적 특성을 제대로 반영하지 못한다. 이로 인해 소성변형, 피로균열 등 포장의 공용성을 제대로 예측할 수 없다는 단점에도 불구하고 현재까지 널리 사용되고 있다. 따라서 아스팔트 혼합물의 배합설계와 공용성능과의 상관성을 향상시키려면 보다 합리적인 개념의 배합설계로의 진전이 있어야 한다.

아스팔트 혼합물의 강도관련 특성치로 가장 널리 사용되는 것은 마샬 안정도이다. 마샬 안정도는 혼합물을 다진 후 견고성(Integrity)을 측정하기 위해 사용되는 것으로 배합설계에서 중요한 항목으로 적용된다. 마샬 안정도는 시험방법이 비교적 쉽고 간편하여 전 세계적으로 널리 사용되나 최근의 많은 연구에서는 아스팔트 혼합물의 공용성과 상관성이 없음을 지적하고 있다. 즉, 배합설계에서 제시된 기준치보다 월등히 높은 안정도를 가진 혼합물에서 피로균열이 심하게 발생하는 등 마샬 안정도의 무용론이 제기되고 있으며 대체 특성치의 개발이 필요한 시점이다.

마샬 안정도를 대체하여 아스팔트 혼합물의 균열 저항성을 평가할 수 있는 보다 진보한 시험방법으로는 Superpave Indirect Tensile Test (IDT), 피로시험 등이 있다. 그러나 이들은 대부분 동적 재하시험이고, 장비가 고가이며, 시험방법이 비교적 어렵고 미숙련자의 경우 작은 환경변화에도 결과의 변동성이 크게 나타나게 되며 해석도 어려워 아스팔트 플랜트 등 현장에서의 실용성이 떨어진다. 따라서 본 연구에서는 아스팔트 플랜트 등 현장에서 마샬 시험기를 이용하여 아스팔트 혼합물의 균열을 평가할 수 있는 보다 간편하고 합리적인 측정시스템을 개발하고자 한다.

2. 연구내용

2.1 시험방법 개발의 기본개념

현재 사용하고 있는 마샬 안정도시험기는 공시체를 감싸 쥐는 듯한 형태로 하중을 가한다. 이러한 재하방식은 균열을 모사하기 위한 인장응력을 공시체 내에 발생시키지 못하며 오히려 쇼빙과 같은 소성변형을 발생시키는 재하형태를 나타내게 된다. 따라서 직선형태의 하중 스트랩을 사용하여 공시체 내에 순수인장응력을 발생시켜야만 아스팔트 혼합물의 균열저항성을 평가하는 시험방식으로 타당하다.

기존 마샬 안정도시험기의 변형량 측정방식은 그림 1의 (b)와 같이 LVDT를 공시체 바깥쪽에서 거치하여 공시체의 전체 수직변형량을 측정하는 방식이다. 이러한 방식은 응력이 집중되는 하중점측부위의 국부적인 변형량이 포함되는 단점을 가지고 있다 (Sousa 등, 1991). 즉, 측정된 수직변형량은 공시체의 하중이 닿는 부위에서의 국부적인 변형특성을 포함할 수밖에 없어 아스팔트 혼합물의 순수한 인장 변형특성을 표현하는데 한계가 있다.

이외에도 외부에서 측정된 데이터를 사용하는데 발생하는 문제점은 측정 시스템과 관련이 있다. 불균질한 공시체에 의해 하중 스트랩과 공시체 사이 접촉면에서 발생하는 공시체의 회전도 변형량 측정에 영향을 미친다. 불균질한 접촉은 추가적인 응력집중현상을 발생시킨다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 여러 가지 방법이 사용되었다. 한 가지 방법은 공시체 양쪽 면에서 데이터를 측정하여 두개의 평균을 사용하는 것이다. 또 다른 방법은 공시체가 회전하는 것을 막기 위하여 Loading head에 가이드를 설치하여 잡아주는 것이다. 그러나 가이드는 Loading head를 완벽히 잡아 줄지는 몰라도 가이드에 발생하는 마찰력으로 공시체에 가해지는 하중을 감소시키는 문제점을 내포하고 있다.

이와 같은 외부측정에 대한 문제점을 해결하기 위



하여 Schmidt(1972)는 LVDT를 공시체 중앙부분에 고정하는 장치를 만들었다. 하지만, 이 시스템은 압력을 가하여 공시체에 LVDT를 고정시키기 때문에 공시체에 추가적인 응력과 구속을 발생하는 문제점을 내포하고 있다. 이런 문제점은 공시체에 스트레인 게이지와 게이지 포인터를 사용함으로써 해결하였다. Ruth와 Maxfield(1977)는 게이지 포인터를 장착할 수 있는 LVDT 시스템을 개발하여 이러한 문제점들을 해결하였다.

이후 많은 연구를 통해 순수한 인장변형량과 인장강도를 측정하기 위해서 그림 1의 (a)와 같이 공시체 내부(일정한 인장응력이 발생하는 부분)에서 수평 변위를 측정하고, 그 때의 인장응력을 측정하여 간접인장강도를 구하는 방법이 사용되고 있다 (ASTM D6931).

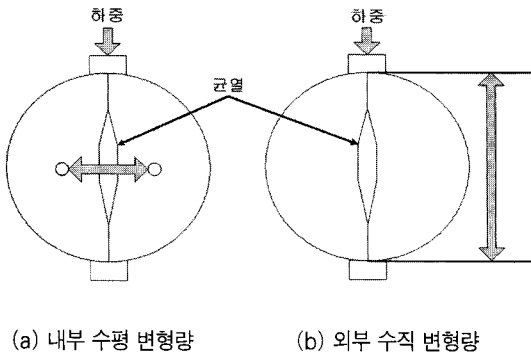


그림 1. 변형량 측정방법

그러나 이러한 방식을 아스팔트 플랜트 등 현장에 적용할 경우 별도의 수평변위 측정장비가 필요할 뿐만 아니라 변위를 수집할 데이터로거가 별도로 필요하여 경제적인 부담을 줄 수 있다. 따라서 본 연구에서는 기존의 마찰 안정도시험기를 추가적인 장치없이 그대로 이용하면서 아스팔트 혼합물의 균열저항성을 평가하는 것이 가능하지 살펴보고자 한다. 다시 말해, 마찰 안정도 몰드는 간접인장 몰드로 대체하지만 기존의 마찰 안정도시험기의 변형량 측정 시스템은 그대로 이용하여 균열저항성을 평가할 수 있는 시

스템을 개발하고자 한다. 이를 위해서는 공시체 바깥쪽에서 측정할 수직변형량을 이용하여 파괴에너지를 구하고 이 값의 변동성이 아스팔트 혼합물을 평가하기에 유의한 수준인지를 파악해 보아야 하며, 궁극적으로 본 연구를 통해 아스팔트 플랜트 등 현장에서 부담없이 사용 가능한 합리적인 균열평가 시스템을 제안하고자 하는 것이다.

2.2 실험재료

2.2.1 아스팔트 바인더

아스팔트의 분류는 침입도, 연화점 및 점도를 기준으로 하고 있으며, 우리나라에서는 KS M 2252 (침입도분류에 의한 도로포장용 아스팔트) 및 KS M 2208 (점도분류에 의한 도로포장용 아스팔트)에 따라 아스팔트를 분류하고 있다. 본 연구에서는 우리나라에서 널리 사용되고 있는 일반 아스팔트(PG64-22)와 SBS계열의 개질 아스팔트(PG76-22)를 이용하였다.

2.2.2 골재

본 연구에서 사용한 골재는 전국적으로 분포가 많고 성능이 좋은 화강암을 선정하였다. 또한 굵은골재 최대치수를 19mm와 13mm로 선정하여 잔골재, 채움재와 혼합하여 국토해양부 19mm 및 13mm 밀입도 규격(KS F 2349)에 적합한 입도로 조정하여 실험을 수행하였다(그림 2~그림 3).

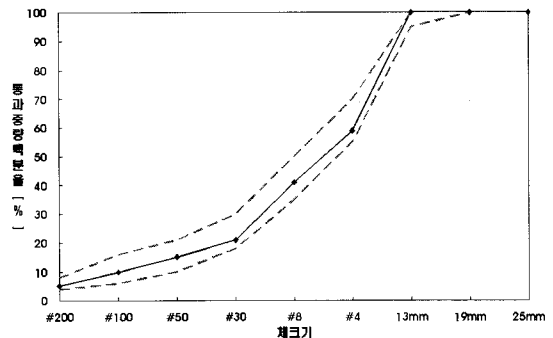


그림 2. 13mm 골재합성 입도 그래프

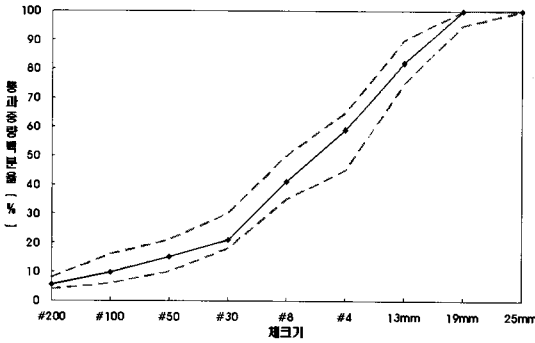


그림 3. 19mm 골재함량 입도 그래프

2.3 아스팔트 혼합물 실내실험

2.3.1 파괴에너지(Fracture Energy)

아스팔트 혼합물의 균열저항성을 평가하는데 사용되는 인장강도(Tensile Strength), 파괴변형률(Failure Strain), 파괴에너지(Fracture Energy)와 같은 파괴특성들은 Superpave IDT를 사용한 강도시험으로부터 결정된다. 강도시험은 공시체가 파괴될 때까지 일정 재하속도(50mm/min)를 적용하는 Strain Control 방식으로 수행된다. 수평과 수직 변형, 그리고 적용되는 하중이 시험동안 20Hz의 비율로 기록된다.

파괴에너지는 공시체가 파괴될때까지 공시체에 가해지는 전체 에너지이다. 그림 1은 파괴에너지를 결정하는 방법을 보여준다. 몇몇 연구자들은 파괴에너지의 전부가 재료에 균열을 발생시키는데 이용되는 양을 지적하였다(Roque 1992). 즉, 재료에 가해진 파괴에너지 중 일부는 탄성에너지(Elastic Energy)의 형태로 외부로 반사되고 나머지 흡수에너지(Dissipated Creep Strain Energy)가 재료에 균열을 발생시킨다고 지적하였다. 그러나 실제로 아스팔트 혼합물의 탄성에너지는 파괴에너지에 비해 매우 작아, 파괴에너지의 약 95% 이상을 흡수에너지가 차지한다. 따라서 현장에서 간편하게 아스팔트 혼합물의 균열저항성을 평가하기위한 시험방법으로 굳이 흡수에너지를 구하여 사용할 필요는 없다. 왜냐

하면 파괴에너지는 강도시험만을 통해서 구할 수 있으나 흡수에너지는 강도시험 외에 MR시험이 추가적으로 필요하기 때문이다(그림 4). 따라서 본 연구에서는 파괴에너지를 통해 아스팔트 혼합물의 균열저항성을 평가하는 시스템을 개발하고자 한다.

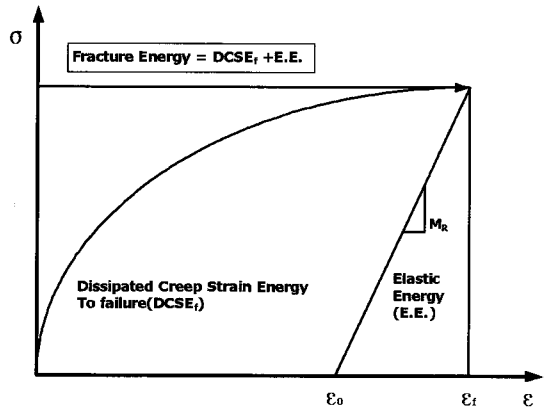


그림 4. 파괴에너지, 흡수에너지 및 탄성에너지의 개념

3. 연구결과

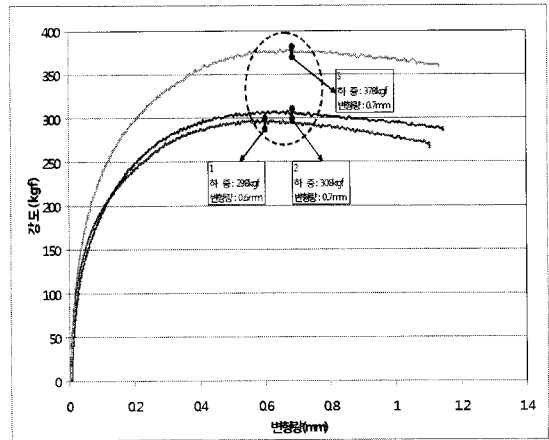
3.1 사전 예비실험

그림 5~그림 6과 표 1은 내부 및 외부에서 측정 한 변형률-강도 및 파괴에너지를 보여주고 있다. 본 실험에서 인장강도는 최대응력에서 결정하였으며, 파괴변형률은 인장강도가 발생될 때의 변형률로 정의하였다. 또한, 변형률을 변형률로 바꾸기 위하여 내부 수평 데이터의 경우 25.4mm로, 외부 수직 데이터의 경우 100mm로 나누어 구하였다. 이때 파괴에너지는 그림 4에서와 같이 인장강도와 파괴변형률의 면적으로 KJ/M^3 의 단위로 구하였다.

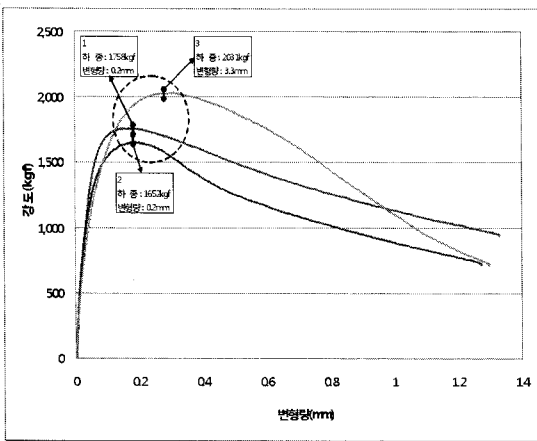
Sousa 등(1991)은 하중 스트랩에 의해 발생하는 국부적인 변형에 의하여 외부에서 측정하는 방법은 파괴변형률을 정확히 모사하지 못한다고 지적하였다. 그러나 그림 5와 표 1에서 보는 바와 같이 외부 수직 데이터를 이용한 결과들이 내부 수평 데이터를



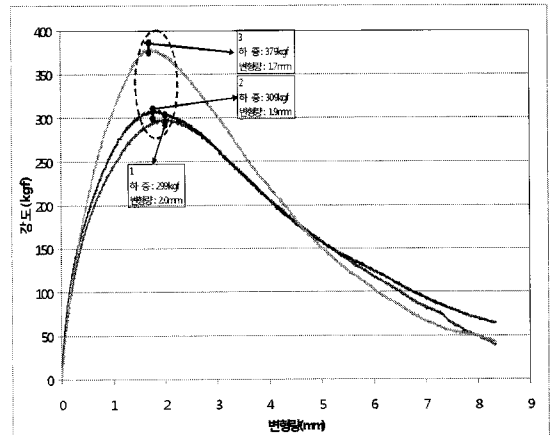
이용한 결과들과 유사한 경향을 보이거나, 오히려 결과의 변동성이 더 작음을 나타내고 있다. 이것은 하중 스트랩에서 발생하는 변형량이 전체 변형량에 미치는 영향이 적다는 것을 보여주는 결과이다. 다시 말해, Sousa 등이 지적한 하중 스트랩에서 발생하는 국부적인 변형은 주로 파괴시점(ϵ_f) 이후에 발생하는 것으로 볼 수 있다. 따라서 이와 같은 결과를 통해 외부에서 측정하는 수직변형량을 이용하여 파괴에너지를 결정하는 것이 타당할 수 있음을 알 수 있다.



(a) 내부 수평 데이터

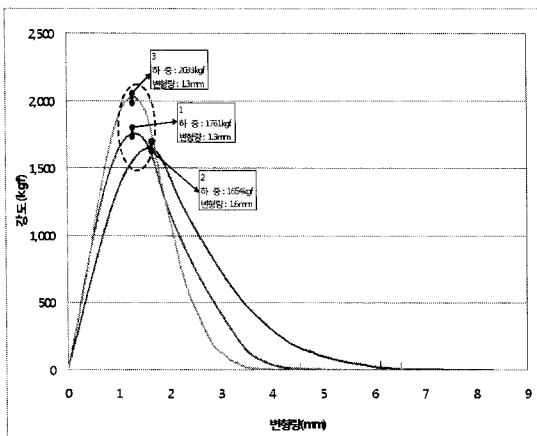


(a) 내부 수평 데이터



(b) 외부 수직 데이터

그림 6. 13mm 배수성 아스팔트 혼합물의 내부 및 외부 측정 데이터



(b) 외부 수직 데이터

그림 5. 13mm 밀입도 아스팔트 혼합물의 내부 및 외부 측정 데이터

표 1. 아스팔트 혼합물의 파괴변형률과 파괴에너지

구분	간접인장 강도 (kgf)	내부 수평		외부 수직	
		파괴변형률 (ϵ_f)	파괴에너지 (KJ/M ²)	파괴변형률 (ϵ_f)	파괴에너지 (KJ/M ²)
밀입도	1758.34	0.005952	8.43	0.013154	14.63
	1652.18	0.007405	10.28	0.013137	17.03
	2030.54	0.011786	19.58	0.013106	16.47
배수성	298.16	0.026341	5.71	0.019941	4.49
	308.08	0.026314	6.91	0.018922	4.48
	378.19	0.027727	8.55	0.017139	4.50

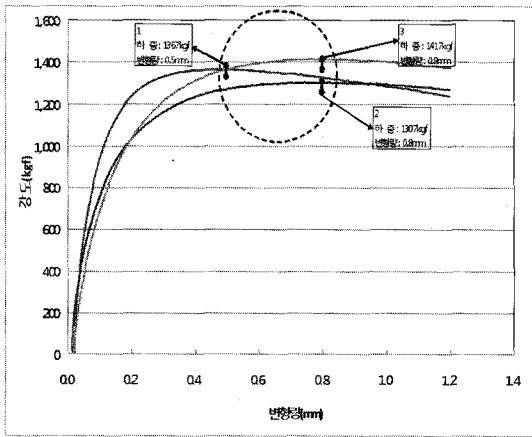


3.2 본 실험

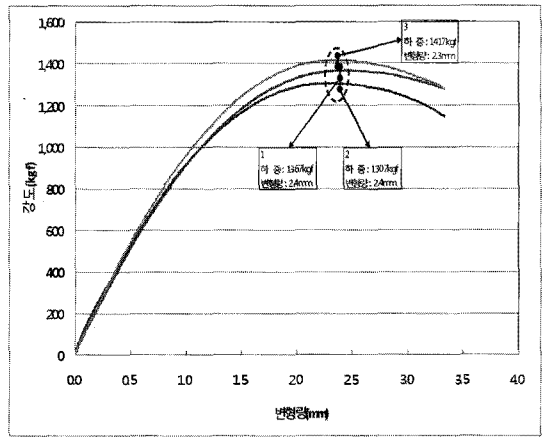
사전 예비실험에서는 외부에서 측정된 수직변형량을 이용하여 파괴에너지를 결정할 수 있는 가능성을 확인하였다. 이 결과를 가지고 본 실험에서는 골재입도, 바인더, 온도에 따른 외부 수직변형량의 특성을 분석하였다. 4개의 혼합물(입도(13mm, 19mm), 바인더(PG64-22, PG76-22))을 사용하여 2가지 온도(10℃, 20℃)에서 실험을 수행하

였다.

그림 7~그림 8은 일반 및 개질 아스팔트 혼합물에 대하여 내부 및 외부에서 측정된 변형량-강도를 보여주고 있다. 일반 및 개질 아스팔트 혼합물 모두에서 외부 수직변형량이 내부 수평변형량과 비교해 일정한 경향을 보여주고 있다. 이것은 사전 예비실험과 동일한 결과를 보여주고 있으며, 하중 스트랩에 의한 변형량은 전체변형량에 미치는 영향이 적다는 것을 다시금 확인할 수 있었다.

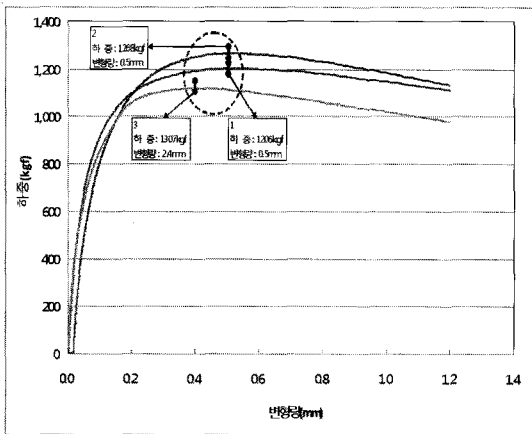


(a) 내부 수평 데이터

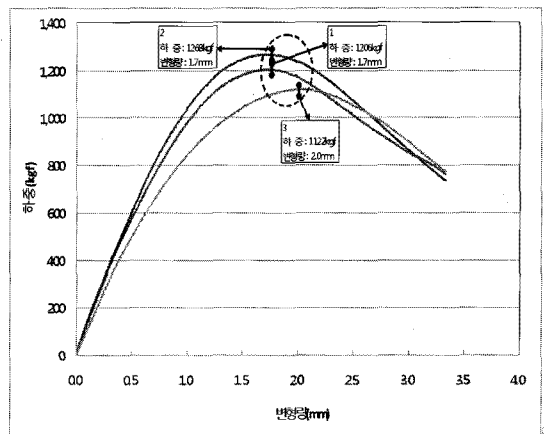


(b) 외부 수직 데이터

그림 7. 13mm 개질 아스팔트 혼합물의 내부 및 외부 측정 데이터(20℃)



(a) 내부 수평 데이터



(b) 외부 수직 데이터

그림 8. 19mm 일반 아스팔트 혼합물의 내부 및 외부 측정 데이터(20℃)

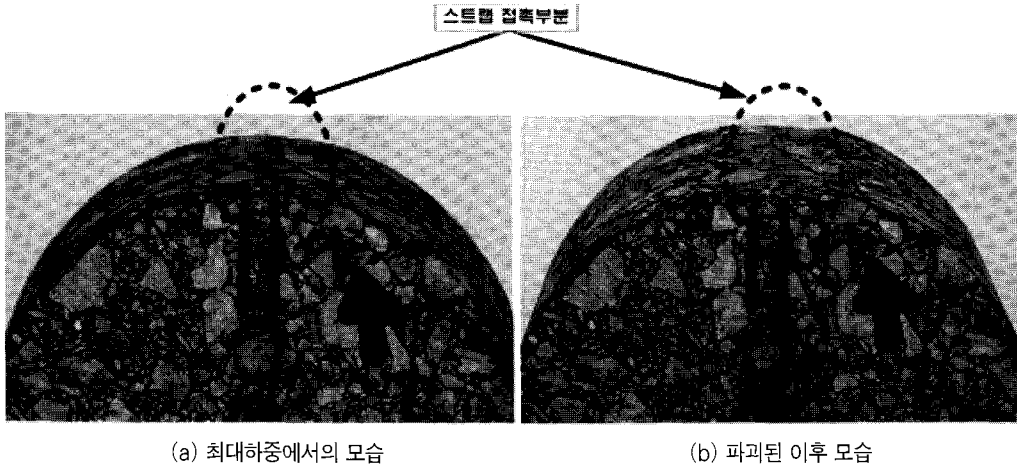


그림 9. 실험 후 공시체 모습

또한, 하중 스트랩에서 발생하는 국부적인 변형이 주로 파괴시점(ϵ_f) 이후에 발생하는 것을 확인하기 위하여 공시체 파괴 모습을 사진 촬영하였다. 그림 9는 간접인장 모드에서 (a) 파괴시점과 (b) 파괴된 후의 모습을 보여주고 있다. (a) 파괴시점의 사진은 공시체에 파괴시점(최대 하중)까지 실험을 진행한 후 촬영하였으며, (b) 파괴된 후 사진은 파괴시점 이후까지 실험을 진행하여 촬영하였다. (a) 파괴시점에서 사진에서 보듯이 하중 스트랩 부분에는 어떠한 변형도 발생하지 않는 것을 볼 수 있으며, 심지어 하중 스트랩에 의해 발생하는 자국도 볼 수가 없었다. 하중 스트랩에 발생하는 변형은 (b) 파괴된 후 사진에서 볼 수 있으며, 균열이 육안으로 확인될 정도까지 되어야 하중 스트랩에 의한 영향을 확인할 수 있었다. 이와 같은 사진은 파괴시점까지는 하중 스트랩에 의해 국부적인 변형이 발생하지 않는다는 것을 단적으로 보여주는 것이다.

표 2는 4가지 혼합물에 대하여 2가지 온도에서 내부 및 외부에서 측정된 변형률-강도 및 파괴에너지를 보여주고 있다. 파괴에너지는 사전 예비실험과 동일한 방법으로 계산하여 적용하였다.

표 2에서 보듯이 간접인장강도 모드 시험의 반복

성 검토를 위하여 각각의 혼합물마다 3번씩 실험을 수행하였다. 외부 수직변형률은 3번 반복실험을 수행하였을 경우, 모두 동일하거나 유사한 결과를 보여주고 있다. 반면, 내부 수평변형률은 수직변형률에 비하여 결과값의 편차가 크게 나타났다. 따라서 변형률의 편차가 크게 나타난 수평변형률은 파괴에너지 값에도 영향을 미쳐 외부 수직 데이터에 비하여 파괴에너지의 편차가 크게 나타났다.

간접인장 모드 시험에서 내부 수평 데이터는 온도가 내려 갈수록, 바인더 점도가 올라 갈수록 강도 및 파괴에너지가 높게 나타난다. 외부 수직 데이터도 내부 수평데이터와 동일한 경향을 보이며, 외부 수직 데이터를 이용하여 파괴에너지를 결정하는 것이 타당할 수 있음을 알 수 있다.

3.3 실험변동성 분석

외부에서의 변형률 측정방식은 2장에서 기술한 바와 같이 하중이 닿는 부위에서의 국부적인 변형특성을 포함하고 또한 불균질한 공시체에 의해 하중 스트랩과 공시체 사이의 접촉면에서 공시체가 회전할 가능성이 있기 때문에 실험오차가 크게 발생할 가능성



표 2. 아스팔트 혼합물의 파괴변형률과 파괴에너지

구 분			강도 (kgf)	내부			외부			
				변형률 (ϵ_f)	파괴에너지 (KJ/M ³)		변형률 (ϵ_f)	파괴에너지 (KJ/M ³)		
13mm	일반 아스팔트	10℃	1	2367.74	0.013635	30.50	35.75	0.073755	114.76	130.74
			2	2336.48	0.025894	52.67		0.089809	145.77	
			3	3009.29	0.010094	24.07		0.074782	131.68	
		20℃	1	2065.75	0.007236	12.81	19.39	0.073381	93.79	70.36
			2	1143.47	0.031348	30.42		0.085470	64.74	
			3	1198.01	0.018249	14.94		0.063233	52.54	
	개질 아스팔트	10℃	1	2407.12	0.038690	83.35	67.36	0.104417	172.28	157.54
			2	2657.46	0.030971	71.31		0.097217	157.09	
			3	2550.79	0.021261	47.41		0.092127	143.26	
		20℃	1	1367.39	0.017842	20.08	30.12	0.094419	88.54	87.28
			2	1306.86	0.031352	35.29		0.092677	85.27	
			3	1416.77	0.030113	34.99		0.091141	88.01	
19mm	일반 아스팔트	10℃	1	2592.48	0.011284	26.00	30.08	0.073016	114.76	117.76
			2	3119.39	0.008002	23.88		0.072809	127.70	
			3	2413.98	0.019008	40.36		0.074265	110.82	
		20℃	1	1205.58	0.019536	20.52	18.90	0.067884	55.10	57.71
			2	1268.32	0.020118	20.87		0.066875	56.90	
			3	1122.45	0.015882	15.30		0.079519	61.15	
	개질 아스팔트	10℃	1	2065.75	0.007236	12.81	38.91	0.073381	93.79	121.22
			2	2630.90	0.018304	43.10		0.077861	121.47	
			3	2541.30	0.026942	60.81		0.094563	148.41	
		20℃	1	1409.38	0.050832	64.24	50.64	0.102162	100.70	92.00
			2	1583.52	0.021564	28.34		0.077644	80.18	
			3	1440.39	0.046342	59.34		0.093458	95.12	

이 있음을 Sousa(1991)와 같은 연구자들이 지적하였다. 그러나 본 연구결과 외부 수직변형률 측정 방식이 내부 수평변형률 측정방식에 비해 측정오차의 변동성이 크지 않음을 확인할 수 있었다. 따라서 여기서는 외부 수직변형률과 내부 수평변형률에 대한 측정값의 변동성을 변동계수를 통해 통계적으로 분석하여 보았다. 변동계수의 측정목적은 샘플들의 표준편차를 샘플의 평균으로 나눔으로서 변동성이 얼마나 큰지를 판단하는 것이다. 본 연구에서는 입도, 바인더, 온도별 각각에 대하여 3번의 반복실험을 실시하였고, 이들의 변동성을 분석하였다. 변동계수를

구하는 식은 아래와 같다.

$$\text{변동계수 (CV)} = \frac{s}{\bar{X}} \times 100$$

여기서, s 는 표준편차, \bar{X} 는 평균이다.

표 3에서 보는 바와 같이 외부 수직변형률 측정값의 변동계수는 1.1%~15% 정도로 내부 수평 변형률 측정값의 변동계수보다 작게 나타났으며, 따라서 외부 수직변형률 측정의 실험변동성이 더 작음을 보여주고 있다. 이와 같은 결과는 Sousa 등이 지적한



외부변형량 측정방식의 문제점과 상반되는 것으로, 공시체가 파괴되기 직전까지는 하중이 닿는 부위에서의 국부적인 변형이나 공시체의 회전으로 인한 측정 오차가 발생가능성이 적음을 보여주는 것이다. 그림 10에서도 이와 같은 결과를 보여주고 있는데, 외부 수직변형률에 대하여 3회 반복실험값이 평균값과 차이가 거의 없거나 동일한 것을 보여주고 있다.

표 3. 변동계수 측정결과

구 분		변동계수(%)		
		내부	외부	
13mm	일반 아스팔트	10℃	50.1	11.3
		20℃	63.7	15.0
	개질 아스팔트	10℃	28.8	6.3
		20℃	28.2	1.8
19mm	일반 아스팔트	10℃	44.3	1.1
		20℃	12.4	9.8
	개질 아스팔트	10℃	56.5	13.6
		20℃	39.8	13.6

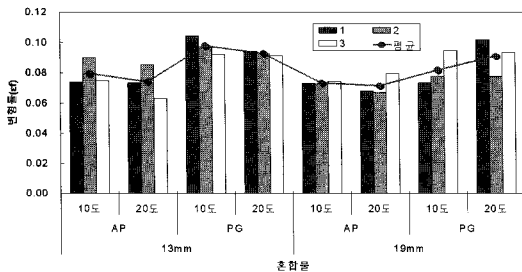


그림 10. 외부 수직변형률 분포

4. 결론

본 연구에서는 마샬 안정도시험기를 이용하여 아스팔트 혼합물의 파괴에너지를 구하기 위한 연구를 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 외부에서 측정된 변형량의 변동성은 내부에서

측정한 변형량의 변동성과 유사하거나 오히려 더 작음을 실험을 통하여 보여 주었다.

- 하중 스트랩과 공시체가 접촉하는 부분에서 발생하는 국부적인 변형은 주로 파괴시점 이후에 발생하는 것으로 나타났다.
- 외부 수직변형률 측정과 내부 수평변형률 측정의 실험변동성을 확인한 결과, 외부 수직변형률 측정방식의 실험변동성이 상대적으로 더 적은 것으로 나타났다.
- 아스팔트 플랜트 등 현장에서 마샬 안정도시험기를 활용하여 아스팔트 혼합물의 균열저항성을 평가하는 측정방법으로 내부 수평변형률 대신 외부에서 측정하는 수직변형률을 직접 이용할 수 있음을 실험을 통하여 확인하였다.

감사의 글

본 논문은 국토해양부의 건설핵심기술연구개발사업인 '장수명·친환경 도로포장 재료 및 설계시공기술 개발'의 연구수행 결과입니다.

참고문헌

- 이문섭, 김부일, 홍제청(2008), "마샬안정도 시험기를 이용한 아스팔트 혼합물의 파괴에너지 측정시스템 개발 연구", 한국토목학회학술발표.
- ASTM D6931 "Standard Test Method for Indirect Tensile (IDT) Strength of Bituminous Mixtures", ASTM.
- B.E. Ruth, and J.D. Maxfield (1977) "Fatigue of Asphalt concrete", *Final Report-project 245-D54*, Department of Civil Engineering, University of Florida.
- Heinicke, J. J. and T. S. Vinson, "Effect of Test Condition Parameters on IRM." *Journal of Transportation Engineering, ASCE*, Vol. 114, No. 2 (March 1998), pp. 153-172.
- J.B. Sousa, R. Taylor, and A.J. Tanco (1991)



"Analysis of Some Laboratory Testing Systems for Asphalt-Aggregate Mixtures", *Presented at the 70th Annual Meeting of the Transportation Research Board.*

Mamlouk M. S. and Sarofim, "The Modulus of Asphalt Mixtures-An Unresolved Dilemma." *Presented at the 67th Annual Meeting of the Transportation Research Board, 1988.*

Reynaldo Roque, William G. Buttlar (1992) "The Development of A Measurement and Analysis System to Accurately Determine Asphalt Concrete Properties Using The Indirect Tensile Mode", *AAPT Vol. 61, pp.304-332.*

Schmidt, R. J., "A Practical Method for Measuring the Resilient Modulus of Asphalt-Treated Mixtures," *Highway Research Record 404, 1972, pp.22-32.*

Sousa, J. B., R. Taylor, and A. J. Tanco, "Analysis of Some Laboratory Testing Systems for Asphalt-Aggregate Mixtures" *Presented at the 70th Annual Meeting of the Transportation Research Board, 1991.*

접 수 일: 2008. 11. 17

심 사 일: 2008. 11. 20

심사완료일: 2009. 2. 27