

# 국산 아스팔트 혼합물 역학시험장치 개발에 관한 연구

## Development of Asphalt Mechanical Property Testing Machine

허 인 순\*

Heo, In Soon

### 1. 서 론

우리나라는 급속한 교통산업의 발전으로 인해 도로포장 및 포장재료의 선진화 및 고급화에 많은 관심이 쏟아지고 있는 실정이다. 특히 아스팔트포장의 경우 포장도로에 약 90% 이상을 차지하고 있어 기존의 마찰안정도에 의한 평가방법보다는 포장의 공용성이나 역학특성에 대한 성능평가는 아스팔트 포장의 특성을 고려했을 때 매우 타당하고 경제적인 방법으로 평가되고 있다. 그러나, 현재 국내에서 사용하고 있는 시험장비는 미국이나 유럽의 제품을 수입하여 사용하기 때문에 경제적인 손실이 매우 크다는 지적이 있어 왔다.

국내의 시험장비에 관한 연구는 국내기술력의 불신과 시험장비 사용 경험자의 편견, 그리고 수요의 부족 등으로의 국내 기술개발에 많은 투자가 이루어지지 못했으며 국내 포장분야의 발전을 저해하는 간접적인 한가지 요소로 작용하였다. 그러나 외국의 고가 장비를 수입하여 그대로 사용하기에는 국내 도로포장의 발전이 급격히 이뤄지고 있는 현실과 향후 계속되어야 할 각종 포장 관련시험 및 연구의 향상을 고려해 볼 때, 먼저 아스팔트 혼합물 역학시험장치의 실용화 및 국산화가 필요할 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 아스팔트 혼합물에 대한 공학적인 지식과 역학시험장치에 대한 기계적인 특성을 기초로 하여 아스팔트 혼합물의 회복탄성계수시험(Resilient Modulus), 간접인장시험(Indirect Tensile Stiffness), 크리프시험(Static Creep/Repeat Creep), 일축압축시험, 삼축압축시험, 저온시험(-30℃), 피로균열시험을 수행 할 수 있는 역학시험장치를 개발하였다. 또한 본 시험장비의 시험결과에 대한 타당성을 검증하기 위하여 영국제품인 노팅햄 아스팔트 시험기(NAT)의 시험결과를 비교하여 시험장비의 신뢰성을 상대 평가하였다.

### 2. 역학시험장치

#### 2.1 아스팔트 혼합물의 역학 특성

아스팔트 혼합물의 재료 특성화란 다양한 하중변화와 온도 하에서 하중, 변위, 온도에 대하여 아스

\* 정희원 · (주)한진엔지니어링 대표이사 · 02-6351-6898 (E-mail:ingrid-heo@hanmail.net)



팔트 혼합물의 반응을 측정·분석하는 것을 의미한다. 아스팔트 바인더나 골재의 공학적 특성이 우수 하더라도 다짐부족, 바인더함량의 과다, 접착력 부족으로 인해 소성변형, 균열, 라벨링(ravelling) 등 아스팔트 포장의 파손으로 나타나는데 그 발생 원인은 다음과 같다.

- ① 소성변형(Rutting) : 과다한 바인더량, 둥근 골재의 과다 사용, 수분 민감성저하
- ② 온도균열(Temperature Crack) : 굳은 바인더 사용, 과소한 바인더량, 필러 사용량 과다
- ③ 피로균열(Fatigue Crack) : 과소한 바인더량, 굳은 바인더 사용, 수분 민감 성저하, 지반 지지력의 부족
- ④ 라벨링(Ravelling) : 다짐부족, 과소한 바인더량 , 필러 사용량 과다, 수분 민감성 저하
- ⑤ 골재마모(Polishing) : 골재의 품질불량
- ⑥ 블리딩 (Bleeding) : 과도한 바인더량, 수분민감성 저하

그러나 과거에는 시험장비의 부족으로 이러한 문제점에 대한 원인이 정확하게 평가되지 못했다. 하지만 다음과 같은 역학적 시험으로 포장의 파손원인을 밝혀내고, 해결할 수 있는 방법들이 개발되었다.

- ① 회복탄성계수시험(Resilient Modulous Test) - 온도 감온성 평가
- ② 크리프시험(Static/Repeat Creep Test) - 소성변형 저항성 평가
- ③ 피로균열시험(Fatigue Crack Test) - 피로 균열저항성 평가
- ④ 간접인장시험(Indirect Tensile Stiffness) - 균열저항성 평가

## 2.2. 국내외 역학시험 동향

아스팔트 혼합물에 관한 시험은 혼합물의 일반적인 특성을 평가하기 위해 수행된다. 이러한 시험은 아스팔트 바인더의 특성, 골재의 특성,아스팔트 함량 및 밀도에 관한 적·합 여부를 평가한다. 이러한 시험과는 다르게 아스팔트 혼합물의 역학적 특성을 평가하기 위해 사용되는 일반적인 시험방법은 선회다짐 전단지수(GSI), 동탄성계수, 회복탄성계수, 간접인장강도, 크리프 및 수분민감성 등이 국내외 에서 수행되고 있다. 일반적으로 사용하는 마살배합설계방법은 공극률, 골재간극률, 포화도, 마살 안정도, 흐름치만으로 혼합물의 특성을 평가하기 때문에 복잡하게 작용하는 포장체의 공용성 판정하기에는 부적당한 것으로 평가되고 있다. 따라서 최근 국내에서는 마살배합설계에 의존하기보다는 미국의 슈퍼패이브나 다양한 역학시험을 통해 아스팔트 혼합물의 성능과 공용성을 평가하고 있다.

## 3. 성능비교시험

### 3.1 시험개요

본 연구에서 제작한 역학적 시험기의 정확성을 검증하기 위해 대표시험으로 회복탄성계수시험과 크리프시험을 실시하였다. 또한, 시험결과를 비교하기 위해 타 연구소의 외국 시험장비를 사용하여 동일



한 공시체와 시험조건을 적용 비교시험을 실시하였다. 그림 1은 국산 아스팔트 역학시험기이다(좌:  $M_R$  시험, 우: 크리프시험).

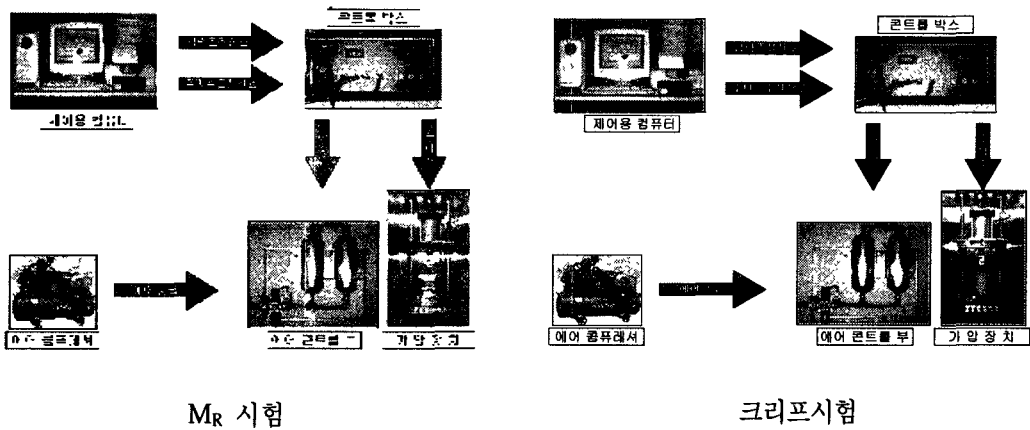


그림 1. 국산 아스팔트 역학시험기

### 3.2 회복탄성계수( $M_R$ )시험

아스팔트 혼합물을 시험실에서 제작하였거나 현장에서 채취된 코아를 사용하여 여러 온도(5, 25, 40℃)에서 하중주어 회복탄성계수를 결정하는 시험이다. 아스팔트 혼합물의 회복탄성계수를 구하기 위한 반복하중을 가하여 얻어진 압축력의 원래 곡선 또는 다른 적당한 곡선에 의해 만들어진다. 적당한 곡선이란 가진 신호가 공시체에 전달될 때까지의 물리적인 변화에 의하여 만들어진다. 이 힘은 공시체에서 원호의 수직한 면에 가해진다(그림 2 참조). 수평변형은 공시체에서의 측정된 값이고 포아송비(25℃에서 0.35)는 탄성계수의 계산에 사용된다. 탄성 포아송비 또한 수평·수직 변형의 회복량을 이용하여 계산된다.

변형량의 결과는 수직변형량과 수평변형량으로 두 개의 다른 값을 측정할 수 있다(그림 3 참조). 여기에서 수직변형량은 포아송 비를 구하지 않는다면 생략해도 된다. 이 값을 이용하여 회복탄성계수를 계산할 수 있다. 순간탄성계수는 한 주기에서 힘이 제거된 동안 일어나는 순간회복변형량을 통해 계산된다. 전체 탄성계수는 전회복변형량으로 계산되고 이것에는 순간 회복량과 한 사이클의 나머지 그리고 힘을 제거한 동안, 시간별로 일어나는 연속적인 전회복변형량이 포함된다.

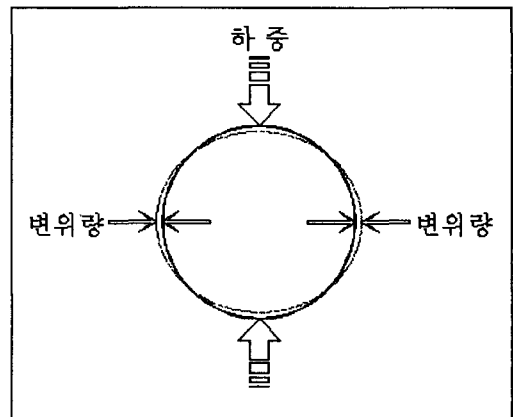


그림 2. 재하방법 및 변형량 측정장치

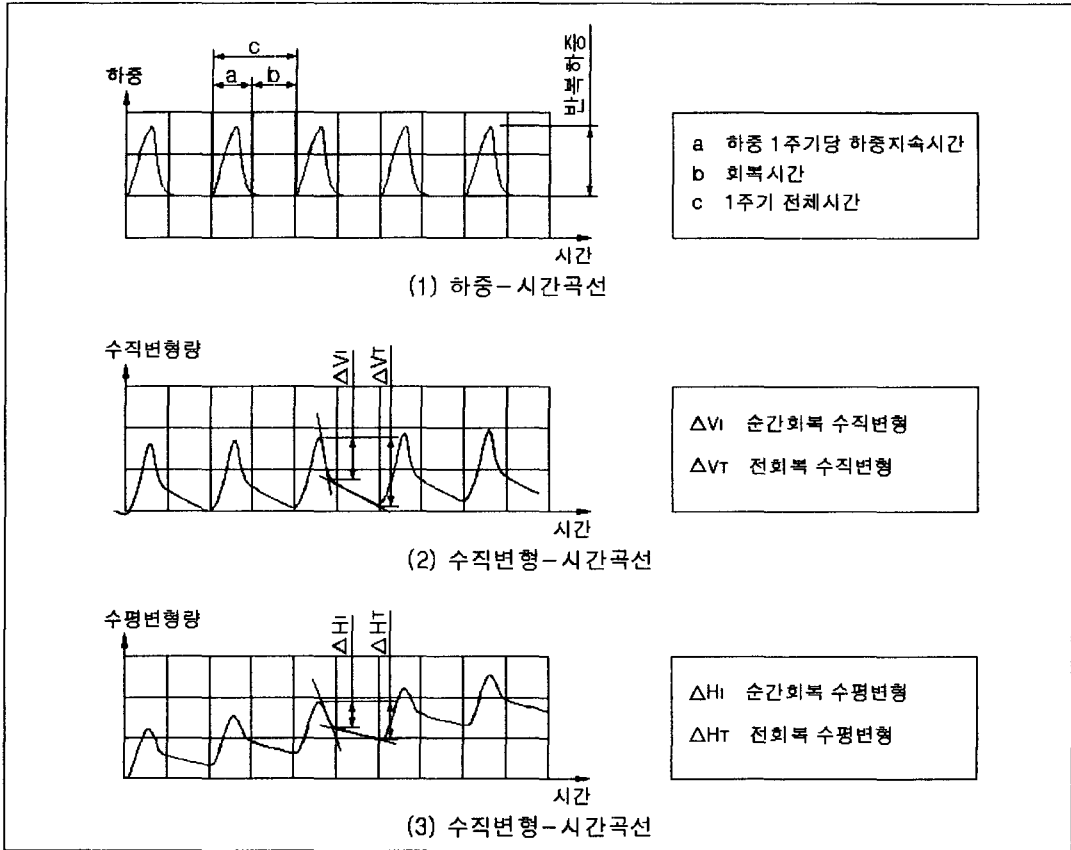


그림 3. 시간에 대한 하중 및 변형곡선

회복탄성계수시험의 규격은 미국과 유럽의 시방규정을 참고로 표 1과 같이 결정하였다. 회복탄성계수시험에서 회복탄성계수(M)와 포아송비( $\nu$ )는 다음식으로 구한다.

$$M_{RI} = P(\nu_{RI} + 0.27) / t\Delta H_i$$

$$M_{RT} = P(\nu_{RT} + 0.27) / t\Delta H_T$$

$$\nu_{RI} = 3.59\Delta H_i / \Delta V_1 - 0.27$$

$$\nu_{RT} = 3.59\Delta H_T / \Delta V_T - 0.27$$

- 여기에서,  $M_{RI}$  = 신축성에 의한 순간 탄성율 (Mpa)
- $M_{RT}$  = 신축성에 의한 전체 탄성율 (Mpa)
- $\nu_{RI}$  = 순간 포아송의 비,  $\nu_{RT}$  = 순간 포아송의 비
- t = 콘시체의 두께 (mm)
- $\Delta H_i$  = 순간 수평 회복 변형량 (mm)
- $\Delta H_T$  = 순간 수직 회복 변형량 (mm)



$\Delta V_I$  = 전체 수평 회복 변형량 (mm)

$\Delta V_T$  = 전체 수직 회복 변형량 (mm)

표 1. 회복탄성계수( $M_R$ )시험 규격

NO.	구분	내용	측산 장비의 성능
1	시험 온도	5℃, 25℃, 40℃ (±1.0℃)	-30~80℃가변형
2	공시체의 크기	① 직경 150 mm, 높이 76 ~ 114mm ② 직경 100 mm, 높이 51 ~ 114mm	←
3	가진주파수	0.33Hz, 0.5Hz, 1Hz	0.1Hz ~ 무한대
4	가진력	0~1000kgf(9.8kN)	0~2000kgf(19.6kN)
5	변위 측정단위	0.1 Micron	←
6	공시체 보관함	3개	20개

### 3.3 Creep 시험

시험실에서 제작한 아스팔트혼합물이나 현장에서 채취된 코아를 사용하여 일정 주기의 단일 축 응력(stress)에 대해 영구 변형량을 측정하는 시험이다. 공시체의 평면부에 직교하는 방향(그림 4 참조)으로 반복하중 또는 정적하중을 일정시간 동안 가한다. 그리고 또 일정시간동안 하중을 제거한다. 이때 일정시간동안 하중과 변형량을 컴퓨터에서 모니터링한다. 측정된 데이터를 이용하여 최대 변형량과 영구변형량을 결정한다(그림 5 참조).

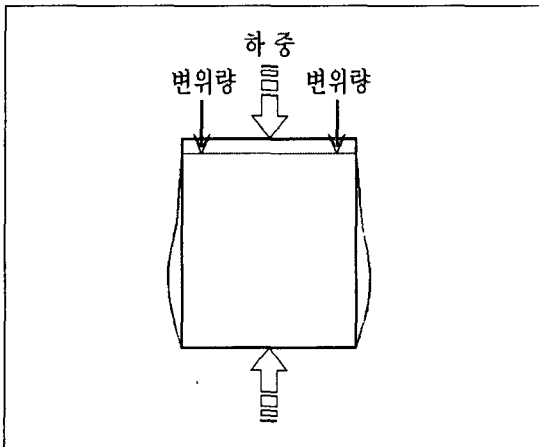


그림 4. 재중방향, 변형량 측정위치

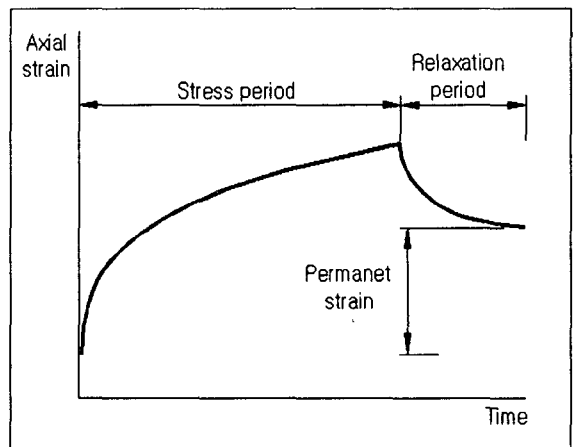


그림 5. 크리프시험 결과 그래프

크리프 시험의 규격은 미국과 유럽의 시방규정을 참고로 표 2 와 같이 결정하였다.



표 2. 크리프(Creep)시험 규격

NO.	구분	내용	국산장비의 성능
1	시험 온도	30℃ (±1.0℃)	-30~80℃가변형
2	공시체의 크기	① 직경 150 mm, 높이 76 ~ 114mm ② 직경 100 mm, 높이 51 ~ 114mm	① 직경 150 mm, 높이 50 ~ 250mm ② 직경 100 mm, 높이 50 ~ 250mm
3	가진주파수	1Hz	0.1Hz ~ 무한대
4	가진력	0~1000kgf(9.8kN)	0~2000kgf(19.6kN)
5	변위 측정단위	0.1 Micron	←
6	공시체 보관함	3개	20개

## 4. 시험결과 및 분석

### 4.1 시험계획

회복탄성계수시험과 크리프 시험을 하기 위한 동일한 공시체를 각각 4개씩(Sample 1 및 2: SBS 개질아스팔트 혼합물, Sample 3 및 4: 최대골재 크기 2.36 mm-분시험을 위해서 표면 거칠기를 매끈하게 제작하기 위해서 가능한 작은 골재를 사용하였다) 제작하여 시험을 실시하였다.

### 4.2 회복탄성계수시험

표 1에 정리되어 있는 시험조건으로 국산 제작 시험기와 외국 수입 시험기를 사용하여 실시한 회복탄성계수 시험결과는 표 3과 같다.

표 3. 회복탄성계수 시험결과

온도 시료	국산 제작 시험기			외국 수입 시험기		
	회복탄성계수(MPa)			회복탄성계수(Mpa)		
	5℃	25℃	40℃	5℃	25℃	40℃
Sample 1	13120	3200	600	10948	2053	482
Sample 2	12000	1740	580	10862	1871	499
Sample 3	10100	1850	450	9384	1588	378
Sample 4	11000	1600	-	9921	1413	-

### 4.3 크리프시험

표 2에 정리되어 있는 시험조건으로 국산 제작 시험기와 외국 수입 시험기를 사용하여 실시한 크리프 시험결과는 표 4와 같다.



표 4. 크리프 시험결과

시료명	국산 제작 시험기			외국 수입 시험기		
	최대변형량 (mm)	회복변형량 (mm)	영구변형량 (mm)	최대변형량 (mm)	회복변형량 (mm)	영구변형량 (mm)
Sample 1	0.18	0.05	0.13	0.18	0.08	0.10
Sample 2	0.42	0.1	0.32	0.33	0.13	0.20

#### 4.4 시험결과 분석

국내에서 제작된 성능시험기를 사용하여 시험 결과를 비교한 결과 현재 도입되어 사용하고 있는 외국산 시험기의 시험 결과와 거의 유사한 결과를 보였다. 회복탄성 시험의 경우 다소 상이한 결과를 보이고 있는데 외국산 시험기에 비하여 다소 높게 측정되었다. 회복탄성계수 시험의 경우 지금까지의 연구 결과에 의하면 시험 방법 자체의 문제점으로 인하여 동일한 시험기를 사용한다고 하더라도 스프링의 탄력, 공시체의 시험위치 및 LVDT의 시험결과 수집방법의 차이로 인하여 시험의 신뢰도가 낮은 것으로 보고되고 있다. 이러한 점을 고려했을 때 본 시험기의 결과는 매우 만족한 것으로 평가된다. 한편, 소성변형을 측정하는 크리프 시험은 외국산 시험기와 거의 동일한 시험 결과를 보이고 있는 것으로 나타났다. 소성변형이 크게 발생하고 있는 국내 아스팔트 포장의 평가는 물론 아스팔트 혼합물의 점탄성 특성을 고려한 시험기로 보급 확대는 물론 국내 아스팔트 포장의 소성변형 저항성을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

#### 5. 결 론

한정된 조건하에서 수행한 국산 시험장비와 외국산 시험 장비의 비교는 성공적으로 판단된다. 회복탄성계수와 크리프 시험의 결과가 서로 일치하고 있어서 국내에서 제작된 시험장비는 국내 아스팔트 포장성능 시험 분야를 크게 발전시킬 수 있을 것으로 기대된다. 지금까지 외국 수입에 의존해 왔던 우리나라 아스팔트 포장 시험기술을 발전시킬 수 있으며 앞으로 포장 산업의 확대와 발전이 크게 기대되는 중국 및 동남아시아, 남미 등지에 수출하여 국가 경제에 이바지 할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 감사의글

본 연구의 시험을 위해 애써주신 경성대학교 이관호 교수님과 서울산업대학교 김용주, 조혁기씨께 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 아스팔트 포장연구회 역, "아스팔트 포장공학 원론", 한국도로포장공학회, pp 282~285, 296~299.



2. 박태순, 고석범, 김수삼, “국내 아스팔트포장의 소성변형으로 인한 유지보수비용 및 문제점 조사에 관한 연구” 한국도로포장공학회 ‘99 학술발표회 논문집, 1999. 11. pp 69~74.
3. 박태순, “ 특집논단:국내아스팔트 포장의 소성변형 원인 및 대책” 한국도로포장공학회지 제 2권2호, 2000.6, pp 13~24.
4. Dawley, C. B., Hogewiede, B. L. and Anderson, K. O., "Mitigation of Instability Rutting of Asphalt Concrete Pavement in Lethbridge, Alberta, Canada", Proceedings, The Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 59. 1990.