

포장의 공용성 평가를 위한 포장가속시험기 도입 연구

Evaluation of Pavement Performance by means Accelerated Pavement Testing

윤용록* · 배성호** · 서영찬*** · 김준형****

Yoon, Yong Rok · Bae, Sung Ho · Suh, Young Chan · Kim, Jun Hyung

1. 서 론

도로포장에서 발생하는 많은 결함들을 보완하기 위해서 해마다 끊임없는 연구가 이루어지고 있다. 연구결과들이 현장에 적용된 후에 많은 시행착오를 겪으면서 실내/실외 실험이나 컴퓨터 시뮬레이션만으로는 공용성을 평가하기엔 그 신뢰도가 상당히 떨어짐을 알게 되었다. 또한 공용성에 대한 정확한 검증 없이 현장에 적용함으로써 경제적인 문제까지 발생하게 되었다. 우리나라에서도 새로운 포장재료나 공법을 도입함에 있어 실내 실험에서 만족한 성적을 보인 재료들에 대해서는 실제에 적용하기 전에 포장가속시험 (Accelerated Pavement Test)등을 통해 장기 공용성을 확인할 필요가 대두되고 있다. 따라서 본 연구에서는 Full-Scale로는 국내 최초로 개발된 한양대학교 포장가속시험기(Hanyang University Accelerated Pavement Test, HAPT)를 소개하고, 포장가속시험기를 이용한 포장의 공용성 평가를 시험적으로 수행하였다.

2. 한양대학교 포장가속시험기

본 연구에서 사용된 포장가속시험기는 포장체에 실제와 유사한 환경하중과 교통하중을 실험실내에서 단기간에 모사하여 도로 신소재의 적용성과 기존 설계방법이나 재료의 공용성을 평가하기 위한 목적으로 국내 최초로 개발을 수행, 완료하였다. 그림 1은 현재 한양대학교에서 운영중인 포장가속시험기의 전경과 Heating System의 모습을 보여주고 있으며 복륜하중으로 구성되었고 최대 11 Ton까지 재하가 가능하며 자세한 제원은 그림 2에 나타나있다.

2.1 Heating System

포장가속시험에서 환경조건을 제어하기 위해 포장체의 온도를 조절할 수 있는 Heating System을 설치하였다. 온도 조절은 여름철 한 낮에 실제 현장의 포장체 온도를 모사할 수 있도록 하였으며, 그로 인해 단시간에 온도에 따른 포장체의 거동을 파악할 수 있고 포장위의 직접적인 하중외에 환경하중의 민감성을 예측할 수 있도록 하였다.

* 한양대학교 교통공학과 석사과정 · 공학박사 · E-mail:yun0142@hanmail.net

** 한양대학교 교통공학과 석사과정 · 공학박사 · E-mail:next000@empal.com

*** 한양대학교 교통공학과 교수 · 공학박사 · E-mail:suhyc@hanyang.ac.kr

**** 한양대학교 교통공학과 박사과정 · 공학박사 · E-mail:kjh0705@hanmail.net

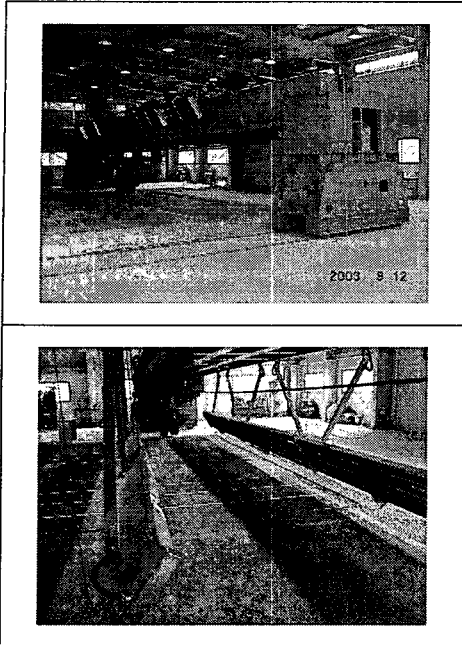


그림 1. HAPT 전경

항목	제원
장비제원	길이:20m, 폭:2m, 높이:3.4m
Test Section	가로:9.3m, 세로:12.5m, 깊이:3m
Wheel System	복륜하중
하중 부가	최대 11 톤
속도	운영속도 : 8~15Km
Lateral Wander	조절가능
주행타이어	11.00R20
주행방향	일방향, 양방향 모두 가능
환경제어	Heating System

그림 2. HAPT 제원

3. 시 공

Test Pit의 단면선정은 각 시험목적에 따라 다양하게 시공이 가능하다. 본 연구에서 설정한 단면의 경우는 현재 현장의 개질아스팔트 시험포장과 공용성을 비교하기 위해서 그 단면에 맞추어 결정하였다. 시공은 현장시공과 동일한 과정을 거쳐 실시하였으며, 일반 도로시방규정에 맞추어 품질관리시험을 수행하였다.

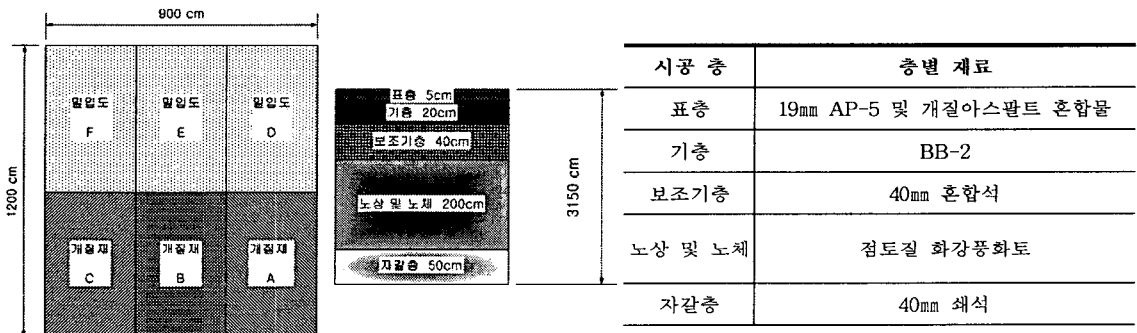


그림 3. Test Pit 결정 단면



4. 계 측

4.1 소성변형

소성변형은 포장의 거동 특성에서 전 세계적으로 가장 많이 이용되고 있는 포장가속시험기의 연구 항목이다. 본 연구에서 소성변형을 측정하기 위하여 자체적으로 개발한 Laser Profilometer는 표 1에서 보는바와 같이 측정구간, 간격, 횡수를 조정하여 수집된 모든 데이터를 컴퓨터로 제어할 수 있도록 제작되었다. 이러한 계측기의 사용으로 인해 개인이 육안으로 측정하였을 때의 오차를 레이저의 정밀도를 이용하여 Data의 신뢰성을 높일 수 있을 뿐만 아니라 Data의 수집과 분석, 저장등의 편리성을 갖는 장점이 있다. 다음의 그림 4는 Laser Profilometer의 모습을 보여주고 있다.

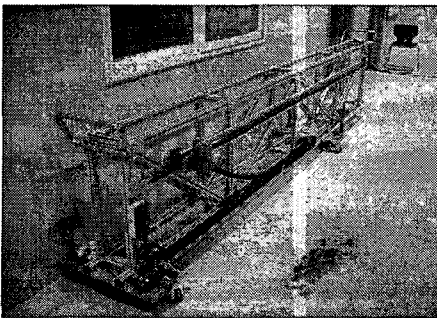


그림 4. Laser Profilometer

표 1. Laser Profilometer 제원

항 목	범 위 (max)	
측정 구간	0~2m (3m)	
측정 간격	5mm (20mm)	
측정 횡수	한 지점당 3회 (5회)	
운영 방법	초 기	기 본
	500회	1000회

4.2 균열

균열을 조사하기 위한 방법은 육안 분석, 이미지 프로세싱등의 여러 방법들이 있지만 본 연구의 특성상 조사구간이 실내이고 범위가 한정되어있기 때문에 특수 장비의 이용은 비효율적이라 판단되어 균열을 조사하기 위하여 가장 확실한 육안 분석을 실시하였다. 측정방법은 반복 하중 횡수당 일정구간을 분할하여 표면 사진을 촬영하였고 Data로 저장 분석하였다.

4.3 온도

아스팔트는 온도의 범위에 따라 민감하기 때문에 시험에 적용되는 온도의 영향은 중요한 사항이다. 본 연구에서는 표층 표면과 표층 아래 5cm의 위치에 Thermocouple과 i-button을 설치하여 시험중 5분 간격으로 온도측정을 하였고 실시간으로 Data Logger에 수집되도록 하였다. 다음의 그림 5는 온도계를 적정 위치에 설치한 사진이다.

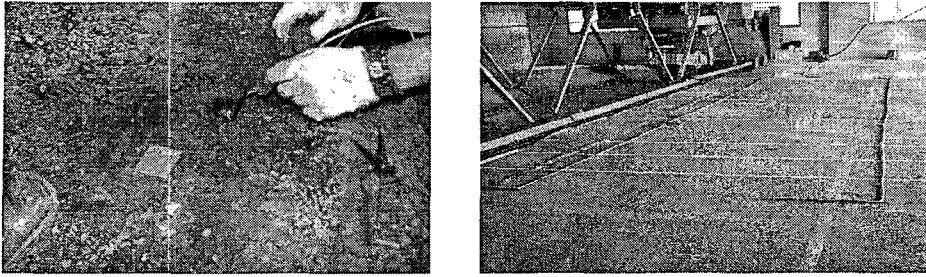


그림 5. 온도계 매설

5. 공용성 평가

포장의 공용성은 실제 포장에서 가장 중요하게 다루어지는 분야이며 포장가속시험기를 이용하여 같은 조건으로 동일 하중을 부가하였을 때, 어떤 포장의 공용성이 좋은가를 판단할 수가 있다. 각 포장의 공용성을 조사하기 위해 다음 표 2에 주어진 조건에 따라서 두 개의 구간으로 나누어 시험을 실시하였다.

표 2. 시험조건

시험	Test 1 (밀입도-개질재 A)	Test 2 (밀입도-개질재 B)
하중	8.2 ton 복륜 단축하중	8.2 ton 복륜 단축하중
속도	10 km/h	10 km/h
Wandering	좌 / 우 3cm	좌 / 우 3cm
온도	25 ~ 30℃	50℃ (표층아래 5cm)
주행방향	양방향	양방향

(1) Test 1 구간

Test 1 구간 (밀입도 - 개질재 A)에서는 80,000회까지의 소성변형 Data를 조사하여 변화추이를 조사한 결과, 밀입도 구간이 개질재 구간보다 조금 더 많은 양의 소성변형이 발생한 것으로 나타났다. 이 결과는 다음의 그림 6에서 보는바와 같이, 밀입도 구간에서는 최대 변형량이 8mm정도 발생하였고, 개질재 A 구간에서는 최대 변형량이 3mm정도로 나타났다. 횡수에 따른 변화 차이도 개질재보다 밀입도 구간이 훨씬 큰 폭으로 나타났음을 알 수 있다.

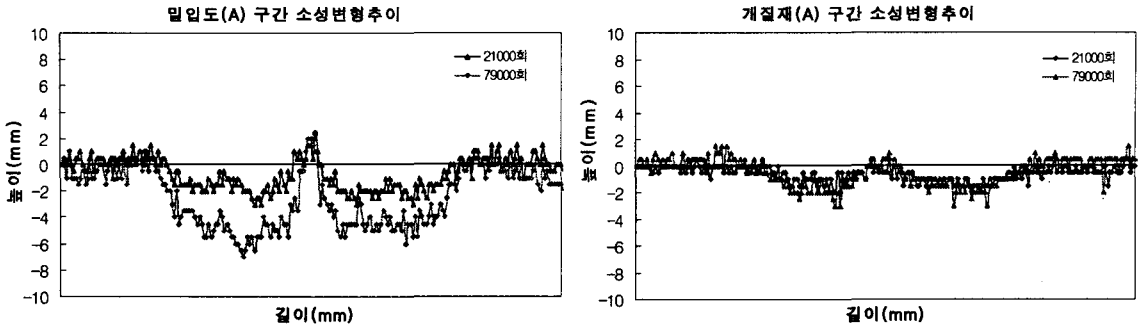


그림 6. 밀입도-개질재 A 구간(Test 1)의 소성변형 변화추이 (시험온도 25~30 ℃)

Test 1의 경우는 Heating을 하지 않고 실내 상온에서 실험을 하였으므로 대기중 온도와 표층 및 표층 아래 5cm의 온도 모두가 거의 비슷한 25~30℃의 온도 분포로 나타났다. 상온에서의 시험이어서 소성변형 역시 적게 발생한 것으로 판단된다.

(2) Test 2 구간

Test 2구간(밀입도-개질재 B)에서는 30,000회까지 실험이 진행되었으며, 소성변형데이터를 조사하여 변화 추이를 조사한 결과, Heating을 실시한 관계로 두 구간의 소성변형 진행속도는 훨씬 빨리 나타났다. 현재 그림 7에서 보는바와 같이, 밀입도 구간에서는 최대 변형량이 35mm정도 발생하였고, 개질재 구간에서는 최대 변형량이 10mm정도로 나타났다.

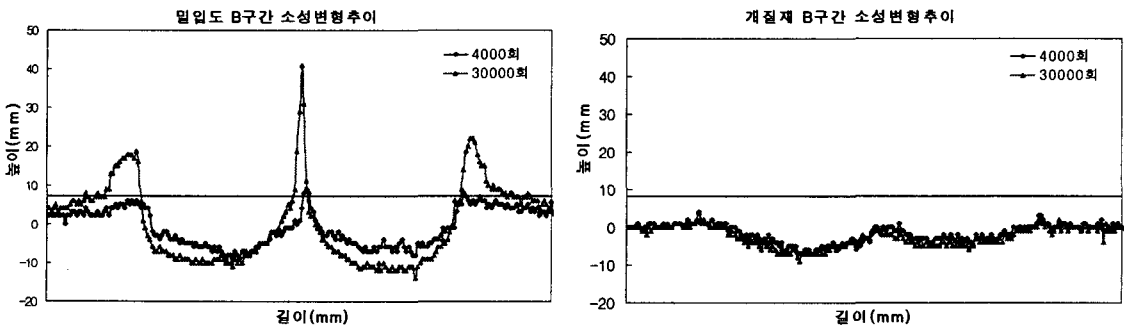


그림 7 밀입도-개질재 B 구간(Test 2)의 소성변형 변화추이 (시험온도 50 ℃)

Test 2구간에서는 Heating을 가해서 포장파손을 촉진시켜 시험을 실시하였다. 본 구간에서는 표층 아래 5cm에서의 온도를 50℃로 맞추어 시험을 실시하였으며, 이는 혹서기 포장체 온도를 모사하기 위함이다.



(3) 종합 분석

그림 8에서 보는바와 같이 Test 1의 소성변형 발생량과 Test 2의 소성변형 발생량이 큰 차이를 보이고 있다. Test 1의 경우는 Heating을 하지 않은 상태에서 시험한 값이기 때문에 소성변형의 발생이 그다지 크지 않았으나, Test 2의 경우에는 밀입도 구간에서 소성변형의 발생이 크게 나타났다. 이는 일반 밀입도 아스팔트 포장이 고온에서 소성변형에 크게 취약하다는 것을 알 수 있다. 그러나, 개질 아스팔트의 경우에는 소성 변형의 증가량이 크지 않았다.

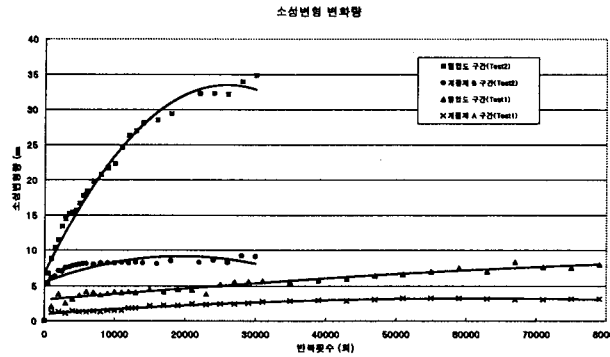


그림 8. 소성변형 발생량

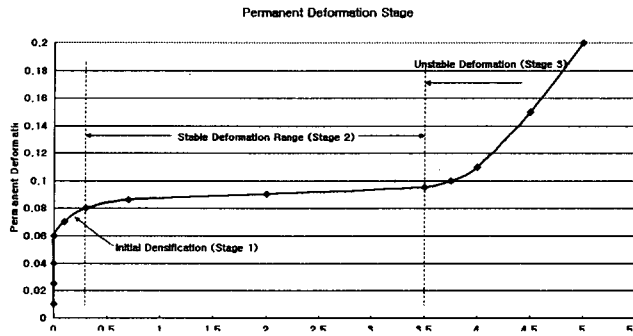


그림 9. 소성변형 발생 단계

Carpenter, S.H.(TRR, 1993)에 의하면, 소성변형량은 그림 9의 형태로 변화하는 것으로 조사되었다. 여기서 Stage 1에서는 초기 변형부분으로 반복횟수에 따른 변형량이 상대적으로 크게 증가하지만, Stage 2의 단계로 가면 하중 반복횟수에 비해 그 증가량은 현저히 적게 나타나면서 안정된 공용상태를 보인다. 하중 반복 횟수가 일정단계를 지나면 파괴가 급격히 발생하는 Stage 3으로 진행된다. 본 연구의 시험 결과와 비교해 볼 때, 상온에서의 시험은 Stage 1에서 Stage 2 단계로 이어지는 형상이나, 고온에서의 시험은 Stage 1에서 Stage 2로 이어지지 못하고 조기파손이 일어난 것으로 나타났다. 즉, 고온의 시험에서는 Stage 1에서 Carpenter가 제안하는 정상파손 형태로 진행되지 않고 파손이 발생한 것으로 판단되었다.

6. HAPT 공용성 시험과 실내시험의 결과 비교

HAPT 공용성 시험결과와 실내 시험의 결과를 비교한 것이 다음의 표 3이다. 표에서 보는 바와 같이, 동적 안정도가 작은 밀입도의 소성변형 발생량이 개질 아스팔트 혼합물의 소성변형 발생량보다 크게 나타났으



며, 고온에서의 실험의 경우는 그 차이가 훨씬 더 크게 나타났다. 이 결과는 실내 실험 결과와 HAPT 시험 결과가 일치 한다.

표 3. HAPT 공용성 시험과 실내시험과의 비교

		HAPT 공용성 시험 (소성변형)				실내시험	
		1000회	10000회	30000회	50000회	동적안정도 (회/mm)	M _R (25℃)
25℃	밀입도	2mm	4.12mm	5.66mm	6.58mm	1787.627	7.76
	개질재 A	1.2mm	1.5mm	2.7mm	3.2mm	5005.363	4.53
50℃	밀입도	8.8mm	22.3mm	34.9mm	-	1787.627	7.76
	개질재 B	6mm	8.2mm	9.1mm	-	5005.343	1.18

그러나, 회복탄성계수 시험의 경우에는 그 결과가 다르게 나타났다. 상대강도계수는 회복탄성계수의 함수로 나타나며, 회복탄성계수의 값이 크면 상대강도계수값도 커지게 된다. 상대강도계수값이 크다는 것은 포장의 장기 공용성이 증대되어 소성변형이나 균열에 대한 저항성이 커지는 것을 의미한다. 그러나, 본 연구의 결과에 따르면 소성변형이 적게 발생한 개질재에서 회복탄성계수 값이 적게 나타났다. 이것은 기존의 상대강도계수를 산정하는 방법이 회복탄성계수 값만을 이용하는 것은 바람직하지 못하다는 것을 입증해 주는 결과이다.

7. 결론

본 연구에서는 장기 공용성을 검증하기 위한 수단으로 국내에서 처음으로 full-scale 포장가속시험기를 도입하여 시험 연구를 수행하였고 그 결과를 정리하면 아래와 같다.

1. HAPT 장기공용성 시험 결과, 소성변형의 발생량은 같은 조건에서 밀입도 아스팔트혼합물 보다 개질 아스팔트혼합물이 훨씬 더 적게 나타났으며, 상온에서 보다 고온에서 그 발생량 차이는 훨씬 크게 나타났다.
2. HAPT 장기공용성 시험 결과, 다른 온도에서의 밀입도 아스팔트 혼합물의 소성변형 발생은 상온에서 Carpenter가 제안하는 정상파손인 Stage 1에서 Stage 2 과정으로 발생하는 반면에 고온에서는 Stage 1에서 더 이상 진행하지 못하고 파괴되는 것으로 나타났다.
3. 균열의 경우는 모든 시험구간에서 발생하지 않았다. 개질재와 밀입도 구간 모두 균열이 발생하기 전에 소성변형으로 인한 파손이 크게 나타나 균열 발생이 없었던 것으로 판단된다.
4. 회복탄성계수의 경우에는 실내실험과 HAPT 장기 공용성 시험과의 결과가 일치하지 않았으며, 이는 현재 까지 포장설계에 사용되고 있는 상대강도계수값의 산정방법에 모순점이 있는 것으로 판단된다.
5. 본 연구에서 실내 실험과 HAPT 시험과의 데이터를 비교한 결과, 실내 실험을 이용하여 포장의 공용성을 평가하고, 그 결과를 신뢰수준이 높은 포장가속시험기와 비교 하였을 때, 차이점을 확인 할 수 있었다.



감사의 글

본 연구는 2003년 건설교통기술혁신사업 산학연 공동 연구개발 사업의 연구비 지원으로 수행되고 있는 “특수 아스팔트 포장의 장기 공용성 평가 및 개선 연구”과제 수행 결과의 일부로 이루어진 것으로 본 연구를 가능하게 한 건설교통부 관계자 분들에게 감사를 표합니다.

참고문헌

1. Carpenter, S.H.(1993), "Permanent Deformation : Field Evaluation", In Transportation Research Record 1417, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C., pp. 135~143.
2. 한국건설기술연구원(2003), “특수 아스팔트 포장의 장기 공용성 평가 및 개선 연구”, 연구평가 보고서, 한국건설기술연구원.
3. 조운호, “포장파손 촉진 실험장비의 소개”, 대한토목학회지 제44권 제7호, 대한토목학회, 1996. 7.
4. 서영찬 외(2001), “Full Scale 포장가속시험기 개발연구”, 연구논문, 한국 도로포장공학회 학술발표회 논문집, 한국도로포장공학회
5. 양성철, 유태석, 엄주용, “한국형 포장가속시험시설의 개발현황”, 한국도로포장공학회지 제2권 2호, 한국도로포장공학회, 2000. 6.