

# 포장가속시험을 이용한 밀입도 높은 아스팔트 소성변형 저항성 평가

## Evaluation of Dense Grate Warm-mix Asphalt Rutting Resistibility Using Accelerated Pavement Testing

서용환\* · 권홍준\*\* · 서영찬\*\*\* · 이재준\*\*\*\* · 권수안\*\*\*\*\*

Seo, Yong Hwan · Kwon, Hong Jun · Suh, Young Chan · Lee, Jae Jun · Kwon, Soo Ahn

### 1. 서 론

환경오염 문제가 대두되면서 전 세계적으로 녹색성장을 위해 다양한 분야에서 이산화탄소 저감 방안에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 이에 따라 국내 도로포장의 약 90%를 차지하고 있는 아스팔트 콘크리트 포장 분야 역시 시공 시 발생하는 이산화탄소를 줄이기 위해 중온 아스팔트(WMA, Warm Mix Asphalt)에 대한 관심이 집중되어 다양한 연구가 진행되고 있다. 이러한 노력의 결과로 최근 순수 국내 기술로 저탄소 중온 아스팔트 첨가제를 개발하여 전국 5개소에 시험 포장을 성공적으로 수행한 사례가 있다.

저탄소 녹색성장에 부응하는 중온 아스팔트를 사용하면 아스팔트 혼합물의 생산온도를 약 30℃정도 낮출 수 있어 연료비를 절약하고, 탄소발생량을 줄일 수 있으며, 시공 시 유해가스 배출의 감소를 기대할 수 있다. 그러나 중온 아스팔트의 사용을 위한 현장 적용성 검증 및 일반 밀입도 아스팔트 콘크리트 공용성 비교 검증이 미약한 실정이다.

본 연구는 포장가속시험기의 반복하중에 의한 중온 아스팔트(WMA)와 일반 아스팔트(HMA, Hot Mix Asphalt)의 소성변형 저항성 시험을 실시하여 두 재료의 소성변형 장기 공용성의 비교 검증에 그 목적을 두고 있다. 본 연구에서는 한국건설연구원에서 개발한 저탄소 중온 아스팔트와 일반 아스팔트를 Full-scale의 한양대 포장가속시험기(HAPT, Hanyang Accelerated Pavement Testing)를 이용하여 40℃의 온도조건에서 하중재하 횟수에 따른 소성변형 거동을 분석하였다.

### 2. 포장가속시험

#### 2.1 재료특성

본 연구에서는 중온 아스팔트 혼합물에 대한 소성변형 공용성 평가를 위해 국내에서 개발된 중온 아스팔트 혼합물(LEADCAP)과 가열 아스팔트 혼합물(HMA)을 준비하였다. 본 연구에서 사용된 중온첨가제는 국내 및 국외에서 일반적으로 사용되는 왁스계열의 유기첨가제이다. 골재는 국내에서 생산되는 화강암 쇄석골재를 사용하였다. 사용골재의 입도는 그림 1과 같으며, 국내 골재 품질 기준을 모두 만족하였다. 일반 아스팔트 바인더 및 중온 아스팔트 바인더의 공용성 등급은 모두 PG 64-22이다. 배합설계 방법은 먼저 가열 아스팔트 혼합물에 대해 배합설계를 수행한 후에 여기서 결정된 최적 아스팔트 함량을 기준으로 각 중온화 첨가제를 치환하여 첨가하는 방법으로 혼합물을 제작하였다. 가열 아스팔트 혼합물의 최적 아스팔트 함량은 5.2%로 결정되었으며, LEADCAP은 2%의 첨가비율(아스팔트 함량 대비, 무게비)로

\* 정회원 · 한양대학교 교통공학과 석사과정 · 031-419-0552(E-mail : ssyyhh85@nate.com)  
\*\* 정회원 · 한양대학교 교통공학과 박사과정 · 031-419-0552(E-mail : agni83@nate.com)  
\*\*\* 정회원 · 한양대학교 교통공학과 교수 · 공학박사 · 031-400-5155(E-mail : suhyc@hanyang.ac.kr)  
\*\*\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수석연구원 · 공학박사 · 031-910-0174(E-mail : yijaejun@kict.re.kr)  
\*\*\*\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로시설연구실 · 책임연구원 · 031-910-0434(E-mail : sakwon@kict.re.kr)

중온 아스팔트 혼합물을 제작하였다. 가열 아스팔트 혼합물의 혼합 및 다짐온도는 각각  $155\pm 2^\circ\text{C}$ ,  $140\pm 2^\circ\text{C}$ 였으며, 중온아스팔트 혼합물의 혼합 및 다짐온도는 각각  $125\pm 2^\circ\text{C}$ ,  $115\pm 2^\circ\text{C}$ 로 가열 아스팔트 혼합물보다 약  $30^\circ\text{C}$  낮은 온도에서 혼합 및 다짐을 수행하여 혼합물을 제작하였다.

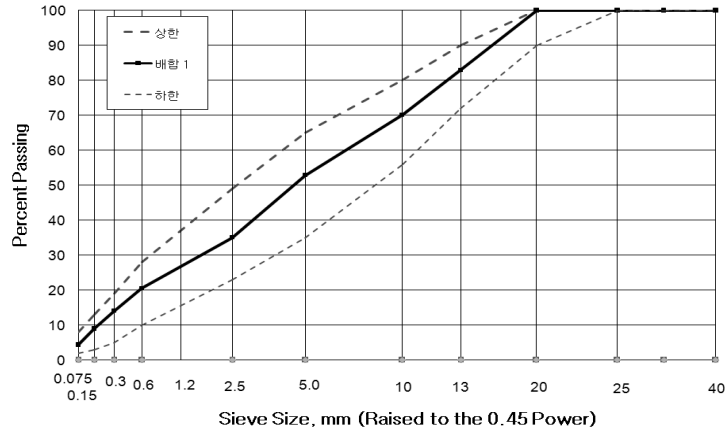


그림 1. 실험에 사용된 골대의 입도

## 2.2 시험조건

### (1) 단면조건

포장가속시험은 그림 2와 같은 하부층에 WMA와 HMA 표층시공을 실시하였다. 시공된 표층은 가로 12.5m, 세로 2m이며, 그림 3과 같이 전체 12.5m 구간에 대해 WMA 700cm, HMA 550cm 구간으로 나누어 비교실험이 가능하도록 시공하였다.

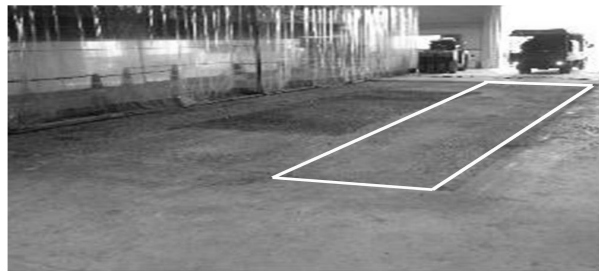


그림 2. 포장가속 시험체



그림 3. WMA 및 HMA 표층시공

**(2) 하중조건**

포장가속시험기에 적용한 하중은 8.2ton(Dual tire/Single Axle), 타이어 압은 120psi를 유지하여 실험을 진행하였다. 또한 전체 하중 크기와 접지 면적을 이용해 타이어의 접지압을 구하기 위하여 Foot Print를 실시하였으며, 결과값은 0.748Mpa로 계산되었다.

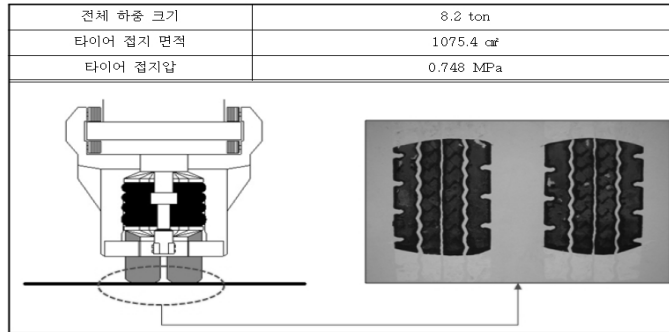


그림 4. 타이어 접지압 산출

**(3) Wandering조건**

포장가속시험을 실제 현장 포장에 가해지는 차량하중의 분포를 근접하게 모사하기 위해서 많은 요소들이 고려되어야 하는데 그 중 포장의 공용성에 크게 영향을 미치는 요소 중 하나는 Wandering(차량주행의 수평방향 분산)이다. 이는 포장가속시험의 소요시간뿐만 아니라 비용에도 큰 영향을 끼친다.

하중재하 분포는 정규분포 형태로 실험의 가속화를 위해 좌우로 약40cm Full Wandering을 적용하는 대신 Dual tire 중심에서 좌우로 약 20cm의 Half Wandering을 적용하였다. 이때 1Cycle 하중 재하 횟수를 4000회로 하였다.

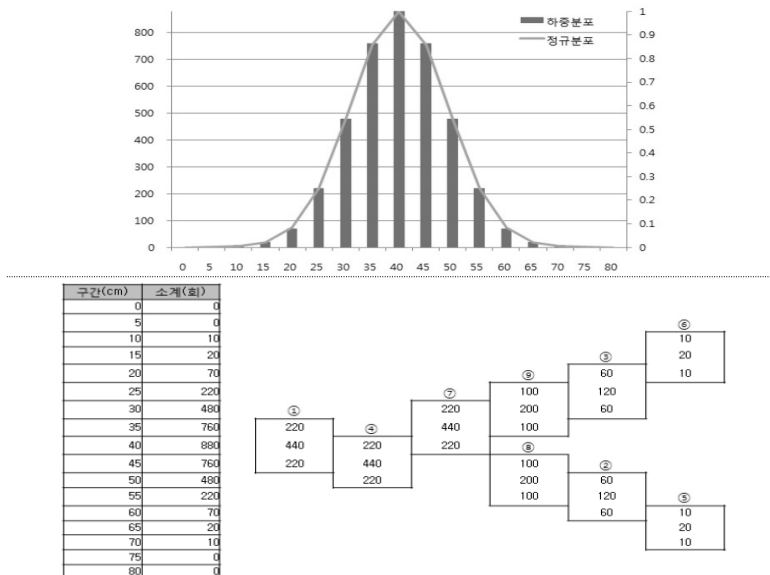


그림 5. Wandering 적용계획

### 2.3 시험진행

포장가속시험을 이용한 소성변형 시험절차는 그림 6에 나타나 있다. 본 연구에 사용된 WMA와 HMA를 그림 6(a)와 같이 표층에 시공하여 표층 2.5cm 깊이에서 포장 온도가 40℃를 유지할 수 있도록 그림 6(b)에서 보는 바와 같이 Heating system(Heating천막, Heating판)을 이용해 포장을 가열하였다. 또한 포장 온도 측정을 위해 그림 6(c)의 온도측정센서를 매설하여 포장의 온도변화 확인 및 실험조건 온도를 유지하였다. 그림 6(d)는 하중제하에 따른 표층의 소성변형을 확인하기 위해 Laser profiler를 이용하여 측정하고 있는 모습이다.

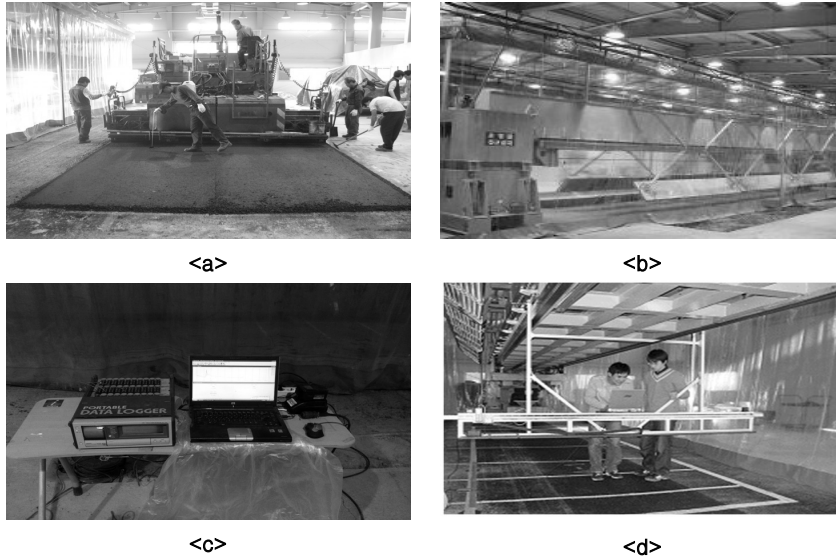


그림 6. 포장가속시험의 진행 과정

### 3. 시험 결과

하중 제하에 따른 재료별 표면 소성변형 발생량을 측정하기 위해 횡방향 Laser profiler를 통해 재료별 3개 지점에 대한 소성변형을 측정하였다. 각 측정 지점별로 그림 7에서와 같이 WMA구간은 W-1, W-2, W-3, HMA구간은 H-1, H-2, H-3으로 구분하였다. 이때, 소성변형 발생량의 크기는 하중제하의 영향을 받지 않는 부분을 포함한 값으로 하였으며, 그림 8의 Rut Depth값을 측정하였다.

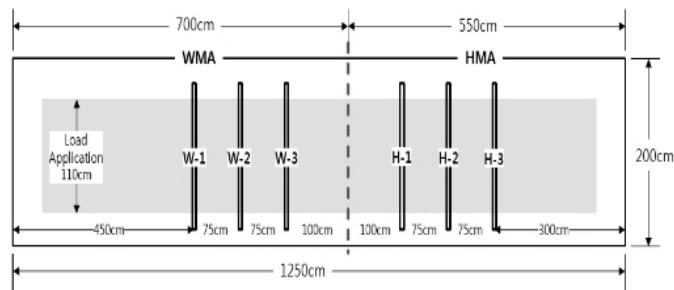


그림 7. 횡방향프로파일 측정 지점

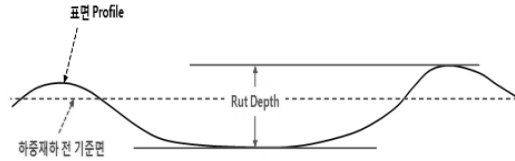
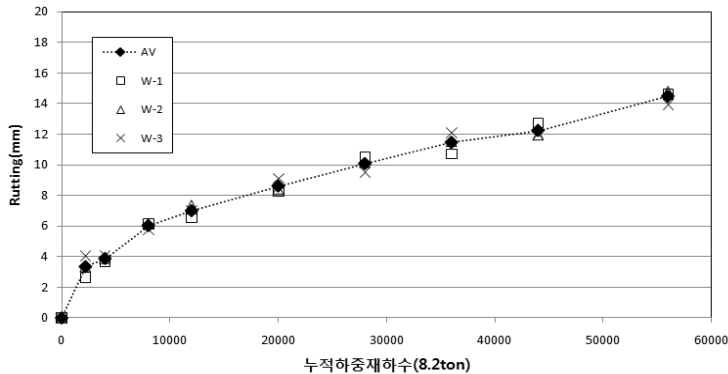


그림 8. Rut Depth의 정의

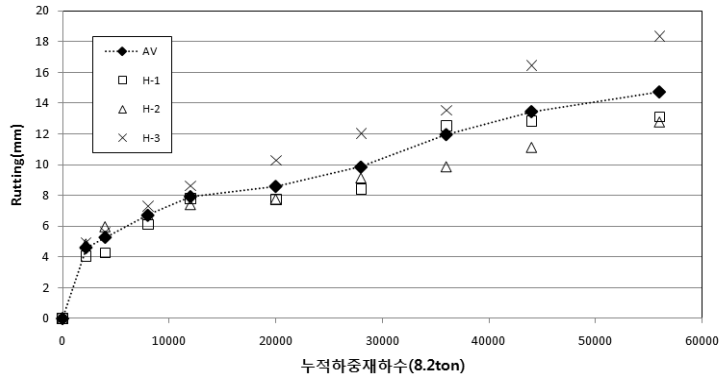
총 56,731회의 하중적용 후 각 재료별 3구간에 대한 하중재하에 따른 WMA와 HMA의 평균 소성변형 발생량은 표 1에 나타나 있고, 그림 9에 그래프로 나타내었으며 최종적으로 발생한 소성변형량은 WMA 14.45mm, HMA 14.74mm이다. 또한 평균의 차이가 통계학적으로 유의한지를 판단하기 위해 t-검정을 실시하였다. WMA와 HMA의 두 재료 소성변형 측정 구간(W-1, W-2, W-3, H-1, H-2, H-3)으로부터 얻어진 소성변형의 평균과 분산을 이용하여 귀무가설을 두 모평균이 같다고 가정하고, 유의수준 5%에서의 검정을 실시하면 기각역은  $t_{(0.025;4)} = 2.776$ 보다 크거나  $-2.776$ 보다 작은 영역으로 계산되었다. t-검정 결과 모든 하중적용횟수에 따른 t값은  $-2.613$ 이고, 이는 기각역에 포함되어 있지 않으므로 재료별 평균을 유의수준 5%의 검정에서 유의(같다)하다고 판단하였다.

표 1. 재료별 하중재하에 따른 소성변형 발생량

하중적용수(8.2ton)	하중재하에 따른 RD(mm)	
	WMA	HMA
0	0	0
2,200	3.34	4.62
4,000	3.87	5.28
8,000	6.02	6.72
12,000	6.99	7.93
20,000	8.60	8.59
28,000	10.06	9.85
36,000	11.44	11.97
44,000	12.22	13.46
56,000	14.45	14.74



(a) WMA구간



(b) HMA구간

그림 9. 재료별 하중재하에 따른 평균 소성변형

#### 4. 결론

본 연구의 범위내에서 포장가속시험기를 이용하여 밀입도 중온 아스팔트 소성변형 저항성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 국내 최초로 Full-scale 포장가속시험을 이용하여 WMA와 HMA의 소성변형 비교 실험을 수행하였다.
- (2) 소성변형발생량은 WMA 14.45mm, HMA 14.74mm로 비슷하였으며, 실험에서 얻어진 두 재료의 소성변형발생량을 토대로 평균과 분산을 이용하여 t-검정을 실시한 결과 역시 유의수준 5%에서 평균이 동일하다는 결과가 나타났다.
- (3) 소성변형은 두 재료가 비슷한 발생량을 보였으므로, 향후 포장가속시험을 통해 WMA와 HMA의 피로균열 실험을 실시하여 장기 공용성 측면에서 차이를 보이는지에 대한 연구를 진행할 예정이다.

#### 참고 문헌

- [1] 임재규, 이재준, 양성린, 권수안 (2010), “소형현장가속기[MMLS3]를 이용한 포장 공용성 평가를 위한 기초 연구”, 한국도로학회 2010 가을 학술발표회 논문집, pp.89-92.
- [2] David Jones, Rongzong Wu, Bor-Wen Tsai, Qing Lu and John T.Harvey (2008), “Warm-Mix Asphalt Study : Test Track Construction and First-Level Analysis of Phase 1 HVS and Laboratory Testing”, Research Report, University of California Pavement Research Center.