

도심지 중온포장공법 적용성 평가

Evaluation of Urban Experience with Warm Mix Asphalt

신경엽* · 이상엽** · 이정훈*** · 이현종**** · 지세진*****

Shin, Kyoung Yub · Lee, Sang Yum · Lee, Jung Hun · Lee, Hyun Jong · Ji, Se Jin

1. 서론

환경에 대한 관심이 날로 커져가는 상황에서 건설재료 역시 환경에 미치는 영향을 고려하게 되었다. 1997년에 발효된 교도협약에 의해 지구온난화 방지를 위한 세계적인 노력이 이루어지고 있으며 국내에서도 지구온난화에 따른 환경 위기론과 함께 “녹색성장”에 대한 사회적 요구가 고조되었다. 2008년 9월 지식경제부에서는 그린에너지 보급 확대 계획을 발표하고 ‘저탄소 녹색성장 전략’을 국가 발전 비전으로 제시하였다. 도로포장분야에서는 에너지 절감, 비용절감, 대기오염 최소화를 기본으로 하는 환경 친화적인 포장재료 및 기술인 저탄소 중온 아스팔트 포장공법 개발 연구를 수행하고 있다. 또한, 2009년 7월 서울시에서는 ‘2030 서울형 저탄소 녹색성장’ 마스터플랜을 발표하고, 2030년까지 온실가스 40% 감축과 신재생에너지의 보급을 20%로 확대하는 기본 방침을 세우고, 포장분야의 연구를 시행하였으며, 2009년 9월 중온포장공법을 도심지 도로에 시험 적용하여 시공성 및 공용성에 대한 추적조사를 진행해오고 있다.

따라서, 본 연구에서는 도심지 시험시공을 통하여 다양하게 개발되고 있는 중온 아스팔트 포장 기술의 공용성, 시공 상태, 환경영향 평가 등을 수행하고 일반 아스팔트 포장과 중온 아스팔트포장과의 공용성 비교를 실시하였다. 향후 친환경 저탄소 포장도로의 국내외 연구개발 및 적용실태를 분석하고 현장 시험시공의 범위 확대 및 효과분석을 실시하여 경제적, 기술적, 환경적 타당성 분석의 선행과 실질적 도입을 위한 기본방안이 마련되어야 할 것이다. 이를 기반으로 탄소 배출량 저감, 도심지 열섬완화 등 보다 선진화된 환경 친화적인 포장도로 서비스를 시민들에게 제공하는데 최종의 목적이 있다고 할 것이다.

2. 재료

2.1 골재입도 및 혼합물의 품질기준

다음의 표 1은 저탄소 중온아스팔트 포장공법의 공용성을 조사하기 위해 시행된 시험시공 일정 및 구간과 사용된 재료의 종류를 나타낸다.

표 1. 저탄소 중온아스팔트 표층 포설 일정

구간	시공일정		구간	연장 (m)	혼합물종류
	날짜	시간			
1-1	'09.10.21.	22:30~23:30	배봉초교사거리~자동차용품점	50	A
1-2	'09.10.21.	23:30~익일00:30	자동차용품점~모더니스트앞	50	B
1-3	'09.10.22.	01:00~05:00	모더니스트앞~	100	Control(일반)

표 2는 시험시공에 사용된 2종(A, B)의 중온 아스팔트 혼합물의 시방규정 자료를 토대로 바인더의 품질기준을 작성하였으며 그림 1은 입도분포의 상한과 하한을 각각 나타내었다. 본 연구의 실내 공용성 평가를 위

* 정회원 · 세종대학교 토목환경공학과 석사과정 · 02-498-3812(Email:yub1982@nate.com)

** 정회원 · 서울시청 도시교통본부 도로관리담당관 주무관 · 공학박사 · 02-3707-8512(E-mai:slee11@seoul.go.kr)

*** 정회원 · (주)로드코리아 책임연구원 · 공학박사 · 031-378-4853(Email:jlee11@roadkorea.net)

**** 정회원 · 세종대학교 토목환경공학과 교수 · 공학박사 · 02-3408-3812(Email:hlee@sejong.ac.kr)

***** 일반회원 · 서울시청 도시교통본부 도로관리담당관 주무관 · 공학석사 · 02-3707-8543(E-mai:jisejin@seoul.go.kr)



한 공시체 제작에 사용되는 모든 아스팔트 혼합물은 아스팔트 믹서기를 사용한 기계식 비빔으로 혼합하였다. 공극률, 간접인장강도 및 수분손상시험 등에 사용된 시편은 모두 마샬 다짐기를 사용하여 직경 100mm, 높이 68mm의 원통형 시편을 제작하여 시험에 사용하였다.

표 2. 제품별 바인더의 품질기준

구분	A	B
침입도 (25℃, 100g, 5초)	40 이상	80~100
연화점 ℃	70 이상	42.0~50.0
신도(25℃, 5cm/min, cm)	50 이상	100 이상
톨루엔 가용분(%)	·	99.0 이상
인화점(Cleveland Open Cup, ℃)	·	260 이상
박막 가열 후 질량 변화율 (%)	0.6 이하	0.6 이하
박막 가열 후 침입도 잔류율(%)	65 이상	50 이상
증발 후의 침입도 비 (%)		110 이하
밀도 (15℃) kg/m ³	1.020	1.031

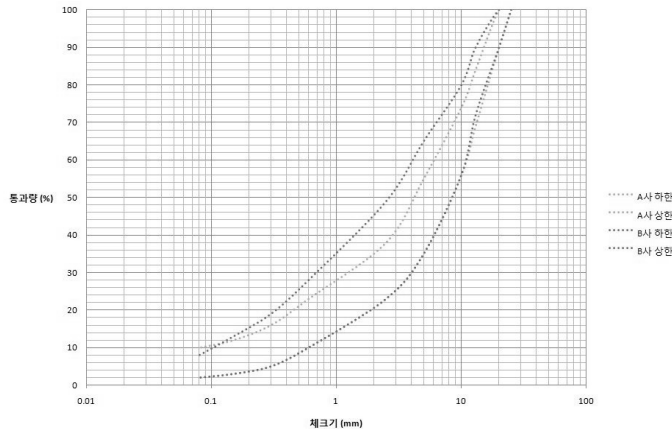


그림 1. 제품별 입도분포

3. 실내 공용성 평가

일반 아스팔트 혼합물과 증온 첨가제를 투입한 두 종류의 증온 아스팔트 혼합물의 실내공용성 성능을 비교 분석하기 위하여 온도별 공극률, 수분민감성, 균열저항성 등을 평가하였다. 휠 트랙킹 동적안정도시험 결과의 상관관계를 통해 아스팔트 혼합물의 내유동 특성을 평가하였고, 간접인장강도 및 TSR 시험을 통해 아스팔트 혼합물의 수분민감성 및 균열저항성을 평가하였다. 이러한 역학적 성능을 평가하기 위해 각각의 혼합물의 시방규정대로 아스팔트 시편을 제작하였고, 증온 아스팔트의 실용화 가능성을 분석하고자 하였다.

3.1 제품별 공극률 및 다짐온도별 공극률 변화율

현장에서 채취한 아스팔트 혼합물을 가지고 제작한 시편이 목표 공극률을 만족하는지 알아보기 위하여 각각의 시방규정에 따라 시편의 공극률을 측정 하였다. 표 3에 측정 결과를 나타내었다. 혼합물 B의 경우 15 0℃에서 공극률 4%를 만족하였다. 또한 혼합물의 시공성을 측정하기 위하여 제품별 온도별 공극률을 측정하였다. 그림 3에서 보듯이 혼합물 A의 경우 일반 아스팔트 보다 20℃ 낮은 온도에서도 다짐도가 좋음을 알 수 있고, 혼합물 B의 경우 일반 아스팔트와 비슷한 다짐도를 보이고 있다. 이것은 왁스타입의 개질제를 사용하였기 때문이다. 왁스타입의 개질제는 재가열을 하였을 경우 그 성질을 잃어버리는 특징을 갖고 있다.

표 3. 제품별 공극률

구분	Gmm	Gmb	공극률(%)	온도(℃)
A	2.3838	2.2900	3.9336	130
B	2.4158	2.3226	3.8208	150
Control(일반)	2.4127	2.3156	4.0241	150

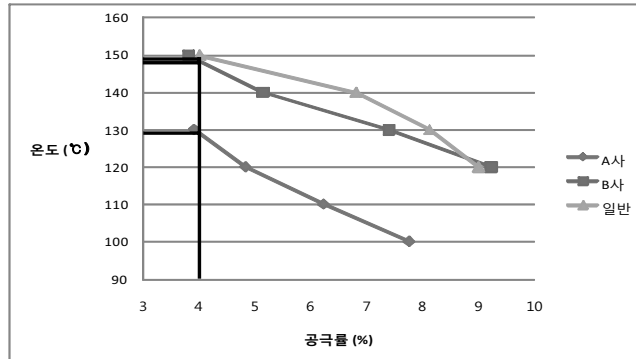


그림 3. 다점온도별 공극률 변화율

3.2 간접인장강도

간접인장강도시험은 아스팔트 혼합물의 내균열성 거동특성을 평가하는데 매우 유용한 시험방법으로써 아스팔트 콘크리트의 고온변형, 저항성, 피로균열 저항과 온도 균열저항성 그리고 수분민감성을 평가하기 위해 사용된다. 즉 간접인장강도 시험을 통해 인장강도 값과 인장변형률을 측정하게 되며 동시에 측정된 값의 상관관계를 통해 아스팔트 콘크리트의 공용성을 예측하게 된다.

본 연구에서는 25℃에서 두 종류의 중온 아스팔트 혼합물과 일반 아스팔트 혼합물을 가지고 간접인장강도 시험을 실시하였다. 표 4는 제품별 간접인장강도를 나타내고 있다. A사 제품의 경우 간접인장강도 값이 일반 아스팔트 혼합물에 비하여 작게 나왔지만 공용성에 큰 영향을 줄 만큼의 결과는 아니었고, B사 제품의 경우 일반 아스팔트 혼합물 보다 높은 간접인장강도 값을 보여주고 있다.

표 4. 간접인장강도

구분	A	B	Control(일반)
간접인장강도 (N/mm ²)	1.44	1.55	1.49

3.3 수분손상

마살 시편을 제작하여 60℃에서 24시간, 25℃에서 1시간동안 수침시킨 마살 시편 3개와 건조 상태의 마살 시편 3개로 간접인장강도를 측정하여 3종의 아스팔트 혼합물에 대한 수분 저항성을 측정하였다. 표 5는 간접인장강도비를 측정된 결과이다.

표 5. 수분손상시험에 의한 간접인장강도비

구분	평균 강도(N/mm ²)	TSR(%)
A	건조(S1)	0.76
	수분(S2)	
B	건조(S1)	0.69
	수분(S2)	
Control(일반)	건조(S1)	0.93
	수분(S2)	



표 5에서 보는 바와 같이 중온 아스팔트 혼합물의 간접인장강도비가 일반 아스팔트 혼합물의 간접인장강도비가 작게 나왔지만 공용성에 큰 문제를 입힐 정도는 아니었다.

3.4 휠 트래킹(동적안정도)

휠트래킹 시험은 여름철과 같은 고온의 포장조건하에서 실제 차량하중이 통과함에 따라 발생하기 쉬운 소성변형을 실내에서 재현하여 평가하는 속성시험으로, 반복주행으로 인한 바퀴패임 깊이의 변화를 측정함으로써 아스팔트 혼합물의 동적안정도(Dynamic Stability)를 결정할 수 있다. 소성변형에 대한 공용성을 분석하기 위하여 2종의 중온 아스팔트 혼합물과 일반 아스팔트 혼합물을 가지고 휠트래킹 시험을 실시하였다. 따라서 본 연구에서는 접지압 100%를 가하였을 때의 일반적인 시험방법인 686N의 운하중을 가하여 각각의 혼합물에 대하여 시험을 수행하였으며 표 6은 제품별 동적안정도를 나타낸 결과이다.

표 6. 제품별 동적안정도

구분	시험방법	동적안정도(회/mm)
A	KS F 2374:2000	5699
B		15750
Control(일반)		4903

중온 아스팔트 혼합물의 경우 아직 정해진 시방규정이 없지만 일반 아스팔트 혼합물에 비해 높은 동적안정도를 보여주고 있으므로 일반 아스팔트 혼합물에 비해 소성변형에 강하다는 것을 확인할 수 있었다.

4. 시험시공 및 시공 상태 분석

4.1 공극률

시험시공의 다짐도 상태를 확인하기 위하여 혼합물별로 3개의 코어를 채취 하였고 총 2차레에 걸쳐 코어 채취를 실시하였다. 표 7은 두 종류의 중온 아스팔트 콘크리트의 공극률을 나타내고 있다. 보통 시공 초기 공극률을 8%정도로 맞추는데 두 제품 모두 9%로의 공극률을 보여주고 있으므로 초기 다짐이 잘되어 있는 것을 확인 할 수 있었다.

표 7. 공극률

혼합물 종류	1차	2차
A	9.89	5.05
B	9.59	6.49

4.2 온도비교

열화상 카메라와 적외선 온도계를 이용하여 시공 시 온도의 변화를 측정하였다. 그림 8은 제품별 시공 온도를 비교한 사진이다. 두 종류의 중온 아스팔트 혼합물의 온도는 일반 아스팔트 혼합물의 온도보다 20℃ 정도 낮게 나오는 것을 확인할 수 있었다.

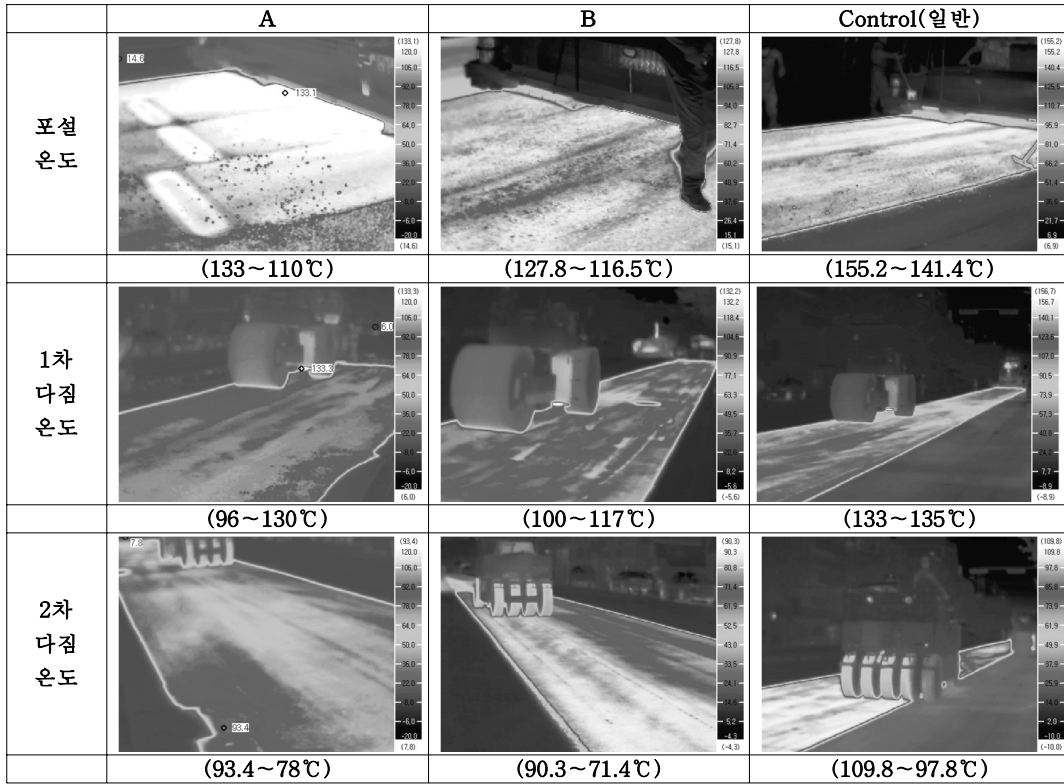


그림 8. 혼합물별 시공 온도 비교

5. 환경영향평가 분석

본 연구에서는 인체에 영향을 줄 수 있는 유해가스(CO₂, SO₂, CO, NO_x 등)를 플랜트에서 측정하여 기존 일반 아스팔트 혼합물의 유해가스 발생량과 비교하여 그 효과를 분석하였다. 표 8은 시간대별 혼합물의 유해가스 발생량을 나타내고 있다.

표 8. 시간대별 혼합물의 유해가스 발생량

유해가스 종류	A				B				Control(일반)			
	시작	5	10	15	시작	5	10	15	시작	5	10	15
O ₂	18.4	18.4	18	17.8	17.9	17.7	17.6	17.8	16.8	17.1	17.4	17.4
CO ₂	1.9	2.2	2.2	2.4	2.3	2.4	2.5	2.4	2.4	2.9	2.7	2.7
CO	738	930	978	1038	928	950	1080	1071	1071	1352	808	855
NO _x	25	29	30	31	31	34	36	33	33	42	38	38
배기가스 온도	68	68	67	68	72	74	75	73	73	76	76	79
가스 미터 온도	12	10	10	10	7	7	7	7	7	9	9	9
먼지	2.6				2.9				4.4			

중온 아스팔트 혼합물과 일반 아스팔트 혼합물의 유해가스 발생량 비교 결과 먼지의 경우 크게 줄어들었음을 확인할 수 있었고, NO_x 발생량의 경우 중온 아스팔트 혼합물의 발생량이 적음을 확인할 수 있었다. CO₂ 발생량의 경우는 포집 시작부터 완료시까지 일반에 비해 적은 양이 발생되었으며 배기가스 온도 또한 낮은 온도임을 알 수 있었다. 또한, CO, O₂ 발생량의 경우도 포집 시작부터 5분 이내인 혼합시 까지는 일반 아



스팔트 혼합물에 비해 적게 발생되고 있음을 확인할 수 있었다. 따라서, 중온화에 의한 유해가스 발생의 저감효과를 확인할 수 있었다.

6. 결론

본 연구는 두 종류의 중온 아스팔트 혼합물과 일반 아스팔트를 가지고 실내 공용성 실험 및 환경영향 평가 등을 사용하여 공용성을 평가하고자 하였다.

1. 다짐온도별 공극률 변화율 시험을 통하여 A사와 일반 아스팔트 혼합물과의 다짐도 비교를 하였고 A사의 다짐 온도가 일반 아스팔트 혼합물의 다짐 온도에 비해 20℃ 낮게 나와 중온 아스팔트의 작업성이 우수하다는 결과를 얻을 수 있었다. B사의 경우 첨가된 중온 개질제의 특성을 잃어버렸기 때문에 일반 아스팔트와 같은 결과를 보이게 되었다.
2. 25℃에서의 간접인장강도 시험 결과 균열에 대한 저항특성 및 파괴시 인장변형율은 B사 제품이 일반 아스팔트 혼합물에 비하여 높게 나와 균열에 대한 공용성이 좋게 평가되었고 A사 제품의 경우 일반 아스팔트 혼합물에 비하여 조금 작게 나왔지만 공용성에 영향을 줄만큼의 결과는 아니었다.
3. TSR 시험결과 일반 아스팔트 혼합물의 TSR은 93%, A사 76%, B사 69%의 값이 나왔다. 중온 아스팔트 혼합물의 TSR의 값이 작게 나왔는데 채취한 혼합물의 재 가열 가열과정에서 개질제에 영향을 미쳐서 오차가 발생하였을 가능성이 있을 수 있다.
4. 동적안정도 시험결과 일반 아스팔트 혼합물의 동적안정도는 4903회/mm이 나왔고 A사의 경우 5699회/mm, B사의 경우 15750회/mm가 나왔다. 중온 아스팔트 혼합물의 동적안정도가 일반 아스팔트에 비해 높아 소성변형에 대한 저하성이 좋다는 결과를 얻을 수 있었다.
5. 현장시험시공 실시 결과 일반 아스팔트 포장에 비하여 생산 및 시공시에 발생하는 가스 발생이 확연히 줄어들음을 알 수 있었다. 특히, 먼지의 경우 크게 줄어들었음을 확인할 수 있었고 NOx 발생량의 경우 중온 아스팔트 혼합물의 발생량이 적음을 확인할 수 있었다. 하지만 CO, O₂발생량의 경우 일반 아스팔트 혼합물이 더 적게 발생되고 있음을 확인할 수 있었다.

이상의 결과로부터 중온 아스팔트 혼합물은 기존 일반 아스팔트 혼합물의 생산 및 시공온도를 약 30℃ 저하시키면서 생산 및 시공단계에서 기존재료보다 우수한 다짐성을 얻은 반면, 역학적인 공용성능은 유사한 결과를 보여주어 중온화의 우수성을 확인할 수 있었다. 하지만 국내의 경우는 중온 아스팔트 개발에 있어서 초기 단계에 와 있으므로 지속적인 제품 개발과 현실에 가장 적합한 시방서 개발이 요구되어진다.

참고 문헌

1. 황성도, 정규동, 중온화 아스팔트 포장공법의 국내외 기술현황. 한국도로학회지. 제 10권 1호 (2008)
2. Brian D. Powell, PH.D, Graham C. Hurley, Warm-Mix Asphalt: Best Practices. National Asphalt Pavement Association. (2007)
3. John D'Angelo, Eric Harm, John Bartoszek, Gaylon Baumgardner, Matthew, Corrigan, Jack Cowser, Thomas Harman, Mostafa Jamshidi, Wayne Jones, Dave Newcomb, Brian Prowell, Ron Sines, and Bruce Yeaton, Warm-Mix Asphalt European Practice. FHWA-PL-08-007 (2008)
4. Thomas Bennert, Assessment of Workability/Compactability of Warm Mix Asphalt. Transportation Research Board (2010)