

현장가열 재생 아스팔트 콘크리트 혼합물의 물성 평가

Evaluation of Material Properties of Hot-In Place Recycling Asphalt Concrete

이재준^{*} · 홍재청^{**} · 유형목^{***} · 백봉기^{****} · 이경록^{*****}

Lee, Jae-Jun · Hong, Jae-Cheong · You, Hyong-Mok · Baek, Bong-Gi · Lee, Kyung-Rock

1. 서론

아스팔트 콘크리트 포장은 차량하중 및 환경하중으로 인해 균열, 포트홀 과 소성변형이 발생하여 포장체에 파손이 발생하게 된다. 파손된 일반국도내 아스팔트 콘크리트 포장을 보수하기 위해서 아스팔트 플랜트에서 생산한 가열 아스팔트 혼합물을 사용하여 파손된 아스팔트 콘크리트 포장을 보수하고 있다. 최근 건설 폐기물 재활용 촉진에 관한 법률 시행령으로 인해 건설폐기물 재활용을 권고하였으며, 2010년 6월 10일부터는 재생아스콘 사용을 15% 사용을 의무화하였다.^(1,2) 이로 인해 아스팔트 콘크리트 시장에서 재생아스팔트 생산량이 증가할 것으로 예측이 되며, 재생아스콘 사용에 따른 천연골재 대체효과와 CO₂ 저감에 따른 녹색성장 정책에도 기여하게 될 것으로 사료된다. 재생 아스콘을 활용하여 도로포장용 아스팔트 콘크리트 혼합물을 생산하는 방법으로는 일반 아스팔트 혼합물 생산 플랜트 생산 공법과 현장가열 재생 아스팔트 생산 공법이 현재 국내에서 사용되고 있다. 본 연구에서는 재생 아스콘을 활용하여 아스팔트 혼합물을 생산하는 방법 중의 하나인 현장가열재생 아스팔트 공법으로 생산된 아스팔트 혼합물에 대한 물성을 평가하고자 한다. 현장가열재생 아스팔트 공법의 장점은 재생아스콘을 100% 활용하며 일반가열 아스팔트 혼합물 생산과 비교하여 적은 에너지가 소모되며 온실가스 발생량도 적다는 장점을 지니고 있다. 표 1은 일반가열아스팔트와 현장가열재생 아스팔트(HIR), 그리고 표면처리공법 중의 하나인 슬러리실과 마이크로 서페이싱 공법에 대한 에너지 사용량과 온실가스 발생량을 설명해주고 있다. 현장가열재생아스팔트가 20%의 에너지 저감효과가 있음을 설명해주고 있다.

표 1. Total Energy Use and GHG Emission for Pavement Preservation Treatments(4)

공 법	Details	Energy Use		GHG Emission	
		BTU/yd ³	MJ/m ²	BTU/yd ³	MJ/m ²
Hot Mix Asphalt	두께 (3.8cm)	46,300	59	9.0	4.9
	두께 (5.0cm)	61,500	77	12.3	6.7
Hot In-Place Recycling(HIR)	두께 (3.8cm)	38,700	49	7.0	3.8
	두께 (5.0cm)	51,300	65	9.0	4.9
Slurry Seal/Micro-surfacing	Type III 12% Emulsion, 13kg/m ²	5,130	3.5	0.6	0.3
	Type II 14% Emulsion, 8.7kg/m ²	3,870	4.9	0.4	0.2

* 정회원 · 한국건설기술연구원 수석연구원 · 공학박사(E-mail:yjjaejun@kict.re.kr) - 발표자

** 정회원 · 한국건설기술연구원 수석기술원(E-mail:jchong@kict.re.kr)

*** 정회원 · 한국건설기술연구원 수석기술원(E-mail:naekog@kict.re.kr)

**** 정회원 · 국토해양부 도로운영과 사무관(E-mail:bg6496@korea.kr)

***** 정회원 · 국토해양부 도로운영과 주무관(E-mail:rogi7983@korea.kr)

현장가열재생아스팔트공법은 현장에서 파쇄된 재생 아스콘과 플랜트에서 생산된 아스팔트 혼합물, 그리고 성능개선 첨가제를 첨가하여 현장에서 바로 믹싱을 하여 바로 포장하는 공법이다. 본 연구는 일반국도 21호선에서 노후된 기존 아스팔트 콘크리트 포장 유지보수 일환으로 시행된 현장가열재생아스팔트 혼합물의 물성을 평가하였다. 지난 2010년 5월 31에서 6월 4일 사이에 일반국도 21호선에 현장가열재생아스팔트 시공이 진행되어 한국건설기술연구원에서는 현장을 방문을 통하여 시공현장으로부터 연구에 필요한 시료과 현장코어를 채취하여 테스트를 수행하였다. 휠트래킹 시험을 위해 현장에서 가져온 혼합물을 현장 포설온도와 동일 조건에서 재히팅한 뒤 휠트래킹 시편을 제작하여 60℃에서 휠트래킹시험을 하여 동적안정성을 평가하였으며, 현장에서 채취한 코어를 활용하여 간접인장강도, 마찰안정도를 측정하여 평가하였다.

2. 재료 및 실험방법

2.1 현장가열재생 혼합물

본 연구에서 사용된 현장가열재생 아스팔트 혼합물을 일반국도 21호선 노후도로 유지보수공사에서 사용되었던 현장가열재생 혼합물을 현장에서 직접 채취하여 사용하였다.

2.2 현장가열재생 아스팔트 시공

그림 1은 현장가열재생아스팔트 콘크리트 포장 시공 절차를 설명해 주고 있다. 그림 1 (a)는 현장가열재생 아스팔트 콘크리트 포장 전경을 보여주고 있다. 현장 가열재생아스팔트 포장 시공은 크게 4단계로 나눌 수 있었다: 1차 히팅, 파쇄, 신재와 혼합 믹싱, 포설.

그림 1 (b)는 기존 아스팔트를 파쇄하기 전에 일차적으로 히팅하는 과정으로 기존 노면 아스팔트 콘크리트의 이물질 제거를 목적으로 하고 있다. 그림 1 (c)는 일차가열이 된 노면 아스팔트의 2차 가열과 1차 절삭을 하며 절삭된 기존아스팔트 혼합물에 재생첨가제를 투입하는 과정이 이루어진다. 파쇄된 아스팔트 혼합물은 중앙에 정렬되었다. 기존 노면에서 파쇄되어 얻어진 재생 아스팔트 혼합물과 섞을 아스팔트 플랜트에서 생산된 아스팔트를 투입하는 과정은 그림 1 (d)에서 설명하고 있다. 그림 1 (e)는 투입된 신재 아스팔트 투입과 3차 가열을 하면서 2차 절삭을 한 뒤, 기존 노면에서 파쇄된 아스팔트 혼합물과 혼합하여 페이버로 운송되는 과정을 보여주고 있다. 그림 1 (f)는 마무리 과정인 페이버를 이용한 아스팔트 혼합물 포설과 롤러 다짐과정을 설명해 주고 있다. 포설온도를 측정해보니 120℃에서 현장가열 재생 아스팔트 포장이 포설되었다.

2.3 휠트래킹

본 연구에서는 아스팔트 콘크리트의 소성변형 및 동적안정도를 평가하기 위하여 그림 2와 같은 wheel tracking. 장비를 이용하여 동적안정도를 평가하였다. 가로 30cm 세로 30cm 높이 5cm인 공시체를 공극률 약 4±0.5%로 맞추어 제작하였다. 제작된 공시체는 24시간 양생 후 시험을 시작하였다. 그림 3과 같은 시간에 따른 변형 커브를 그린 후 d_{60} 과 d_{45} 를 구하여 동적안정도는 아래 공식을 이용하여 계산을 하였다.

$$\text{동적안정도}(DS) = \frac{\text{통과횟수}}{\text{변형량}} = \frac{15 \times C}{(D_{60} - D_{40})}$$

여기서, C= 재하주행속도 42 (회/분), d_{60} = 주행시간 60분 변형량 (mm), d_{45} =주행시간 45분 변형량(mm)



(a) 현장가열재생아스팔트 포장 전경



(b) 1차 노면 포장 가열 장치



(c) 기존 아스팔트 파쇄 장치



(d) 신재 아스팔트 투입



(e) 신재와 재생 아스팔트 혼합장치



(f) 아스팔트 혼합물 포설 및 다짐

그림 1. 현장 가열 재생 아스팔트 시공 과정

2.4 간접인장강도

본 연구에서는 상온에서 현장가열아스팔트 혼합물의 물성을 평가하기 위해 KS F 2382에 규정된 아스팔트 혼합물의 간접인장강도 시험방법 절차에 따라 대상 공시체의 간접인장강도 시험을 측정하였다. 간접인장강도는 파괴순간에서의 하중과 응력으로 계산하였으며, 본 시험을 실험공시체가 파괴될 때까지 50mm/min.의 지속적인 변위를 적용하는 변위 조절 모드에서 실시되었다.

2.5 마찰안정도

아스팔트 혼합물의 소성 흐름(plastic flow) 저항성을 평가하기 위해 KS F 2337의 마찰시험기를 사용한 역청 혼합물의 소성 흐름에 대한 저항력 시험에 따라서 마찰 안정도를 측정하였다.

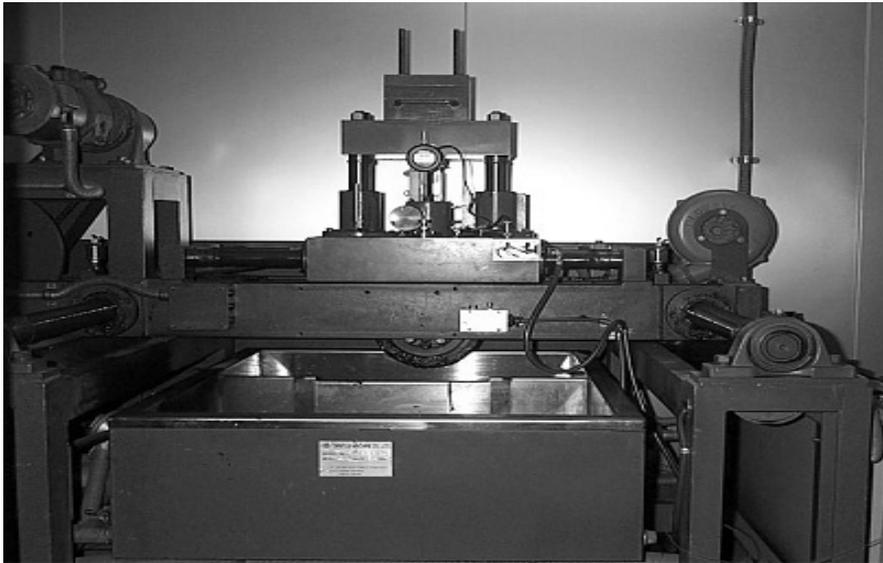


그림 2. 휠트래킹 시험 장비

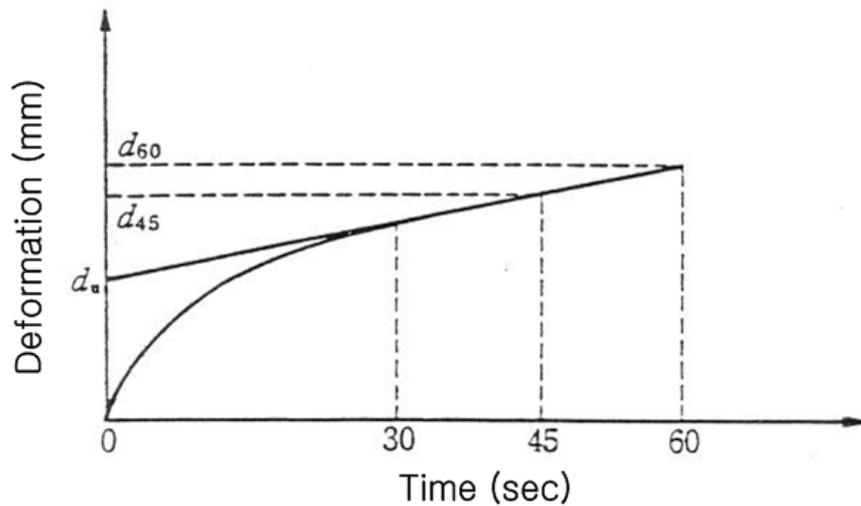


그림 3. Time vs. Deformation Curve

3. 실험 결과

본 연구에서는 현장가열재생아스팔트 혼합물에 대한 물성을 평가하기 위해서 동적안정도, 간접인장강도, 마찰안정도를 측정하였다. 간접인장강도와 마찰안정도는 현장에서 채취한 코어를 이용하여 측정을 하였다. 동적안정도를 평가하기 위한 휠트래킹 시편은 현장에서 채취한 Loose Mixture를 제히팅하여 휠트래킹 시편을 만들어 테스트를 하였다. 3개의 시편을 사용하여 그 평균값을 사용하였다.

3.1 휠트랙킹

휠트랙킹 시험은 소성변형 저항성을 예측하기 위하여 가장 널리 사용되고 있는 시험방법으로, Wheel tracking 시험을 통해서 얻어진 변형량-사이클 곡선의 동적 안정도(Dynamic stability: DS)를 측정하였다. 시험온도는 60℃에서 측정하였으며, 국도 21호선 구간에 사용된 현장가열재생 아스팔트 혼합물을 120℃로 재히팅하여 휠트랙킹 시편을 제작하여 테스트를 실시하였다. 그림 4의 원형 빨간색 포인트는 세 개 측정값들의 평균값을 나타내고 있다. 그림 4에서 설명하는 것과 같이 동적안정도는 1200과 2000의 값을 나타내었다. 이는 일반가열아스팔트 혼합물의 기준인 500을 모두 만족하는 결과이다. 그림 4에서 설명하고 있는 것과 같이 국도 21호선 현장에서 가져온 현장가열재생 혼합물로 실험한 동적안정도 측정값의 범위가 크게 나타났다. 이는 현장가열재생 아스팔트 포장 시스템의 현장 믹싱에서 생산된 혼합물들이 골고루 혼합이 잘 이루어지지 않아 발생된 것으로 판단되어, 현장에서 가져온 Loose Mixture를 실내에서 믹싱온도 120℃로 가열하여 40초 동안 추가 믹싱 후 휠트랙킹 시편을 제작하여 동적안정도를 측정 평가하였으며, 그 결과값을 그림 4에 추가하였다. 현재 현장가열아스팔트 혼합물 시스템에서 생산된 아스팔트 혼합물의 동적안정도는 시편마다 값의 차이가 크게 나타났던 것과 달리 실험실에서 재 믹싱하여 측정한 동적안정도 결과값들의 분포폭이 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 현행 현장가열재생아스팔트 혼합물의 믹싱 시스템을 개선하면 좀 더 성능이 향상된 현장재생 아스팔트 혼합물을 생산할 수 있음을 설명해주고 있다.

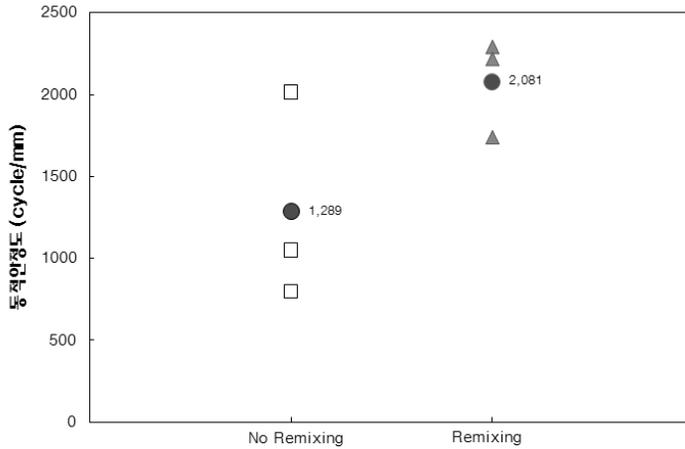


그림 4. 현장 가열 재생 아스팔트 동적 안정도 측정 결과

3.2 간접인장강도

국도 21호선에서 현장가열재생아스팔트 혼합물 시공이 끝난 후 현장에서 코어를 채취하여 현장가열 재생 아스팔트 혼합물의 균열저항성 정도를 측정하기 위하여 간접인장강도를 상온 25℃에서 측정하였다. 측정 결과값은 아래 표 2에 정리하였으며, 표 2에서 나타난 것 같이 균열저항성은 GR F 4005 “재활용 가열 아스팔트 혼합물”의 품질기준을 만족하는 결과는 나타내었다.

표 2. 간접인장강도 측정결과

시편	1	2	3	GR F 4005 품질기준값 ⁽³⁾
간접인장강도(N/mm ²)	1.356	1.214	1.109	
평균	1.226			0.8 이상



3.3 마찰안정도

국도 21호선에서 현장가열재생아스팔트 혼합물의 소성 흐름(plastic flow)의 저항성 평가하기 위해서 시공이 끝난 후 현장에서 코어를 채취하여 현장가열 재생 아스팔트 혼합물의 소성 흐름에 대한 저항성을 평가하기 위해 KS F 2337 방법에 준하여 측정하였다. 마찰안정도를 측정한 결과는 아래 표 3에 정리하였다. 표 3에서 나타난 것 같이 GR F 4005 “재활용 가열 아스팔트 혼합물”의 품질기준의 안정도 값 6,000보다 모든 시편이 우수한 성능을 보여주었다.

표 3. 마찰 안정도 측정결과

시편	1	2	3	GR F 4005 품질기준값 ⁽³⁾
안정도(N)	8,629	10,328	7,564	
평균	8,840			6,000 이상

4. 결 론

본 연구에서는 현장가열재생아스팔트 혼합물의 물성을 평가하기 위해 동적안정도, 간접인장강도, 마찰안정도를 측정하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 현장에서 직접 생산된 가열아스팔트혼합물의 동적안정도값은 일반가열아스팔트 혼합물의 기준값을 만족하였으며, 현장가열재생아스팔트 혼합물에 추가적인 믹싱을 함으로써 동적안정도값이 증가함과 동시에 결과값들의 분포도가 줄어들므로 생산 아스콘의 품질이 향상됨을 알 수 있었다. 이는 현장 가열재생 아스팔트 시스템에 믹싱 과정을 개선을 한다면 보다 나은 제품을 생산할 수 있으리라 사료된다.
2. 현장 코어를 이용하여 측정한 마찰안정도와 간접인장강도의 값은 GR F 4005에서 제시하고 있는 품질기준 값을 모두 만족하는 결과를 나타내었다.

감사의 글

이 논문은 국토해양부 2010 일반국도포장관리시스템 연구과제('09~'10) 연구결과의 일부입니다.

참고 문헌

1. 국토해양부고시 제 2010-397호, 건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률, 사단법인 한국재생아스콘 협회, www.krascon.co.kr.
2. 건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률 시행령, 시행, 2010.1.1. 대통령령 제 21904호. 사단법인 한국재생아스콘 협회, www.krascon.co.kr.
3. 품질표준 재활용 가열 아스팔트 혼합물, GR F 4005
4. Jim Chehovits, Larry Galehouse, (2010), Energy Usage and Greenhouse Gas Emissions of Pavement Preservation Process for Asphalt Concrete Pavements, The First International Conference on Pavement Preservation, Newport Beach, California, April 13~15.