

가열 재활용 아스팔트 포장의 성능 연구

A Study of the performance of Hot Recycled Asphalt pavements

정규동* · 황성도** · 윤안상*** · 홍재청****

Jeong Kyudong · Hwang Sung-Do · Yoon An-Sang · Hong Jae-Chung

1. 서 론

국내의 아스팔트 포장 재활용은 1980년대에 현장노상가열재생장비를 해외에서 도입함으로써 최초로 시작되었다. 그러나 국내에서 전문적인 재활용에 대한 연구가 이루어지지 않은 상황에서 장비를 우선적으로 도입하였으므로 국내의 도로현황과 맞지 않고, 관련 기술수준과 법규도 미비하여 실제 포장은 거의 이루어지지 못하였다. 그 후 관련 산업체에서는 1990년 중반부터 재활용 장비를 개발하거나 외국에서 도입함과 동시에 건설교통부의 신기술을 지정받아 재생아스콘을 도로 현장에 적용할 수 있는 근거 및 기술을 확보하게 되었다. 이로써 재생아스콘 포장의 실용화가 시작되었으나, 실제 플랜트에서 생산된 아스팔트혼합물에 대한 평가나 포장 후의 공용성에 대한 평가는 거의 없는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 재생아스팔트 혼합물을 생산하는 플랜트와 현장 가열 표층 재생공사 현장에서 재생아스팔트 혼합물 등을 채취하여 품질시험을 하였으며, 재생아스팔트 포장연도별로 나누어 노면상태조사장비를 이용하여 균열율, 종단평탄성 등을 측정하여 재활용 포장의 공용성을 평가하였다.

2. 플랜트 가열재생아스팔트 혼합물의 품질 시험

플랜트 가열재활용의 적정성 및 현황을 파악하고자 2002년 3월 29일 경기도 지역에 소재한 T사에서 페아스콘 및 재생아스콘과 신규골재 등을 채취하였다. 이 회사의 재생플랜트는 시간당 160t의 재생아스팔트 혼합물을 생산할 수 있으며, 기존 신아스팔트 혼합물을 생산하는 플랜트에 일본에서 수입한 재생드라이어 등을 추가로 설치한 구조로 되어 있다.

2.1. 재 료

2.1.1. 재생골재

본 실험에 사용한 아스콘 재생골재는 최대치수 13mm 골재로서 도로에서 밀링한 페아스콘을 플랜트에서 임팩트 크러셔 등으로 파쇄하고 선별한 것이다. 페아스콘이 도로의 표층 부분을 콜드 밀링하여 걷어낼 때 바로 트럭에 상차되기 때문에 재생골재에 함유된 이물질은 없었다.

재생골재의 아스팔트 함유량은 6.4%이었고, 재생골재의 입도는 아래의 <그림 1>과 같이 13mm 신아스팔트 혼합물의 표준 골재입도와 비교하였을 때 절삭과 파쇄과정으로 인하여 기준입도보다 전반적으로 입도 크기가 적어졌음을 알 수 있었다.

2.1.2. 신규골재

신규골재는 경기도 지역에서 가장 많이 사용되는 화강암 쇄석으로 최대치수 13mm 굵은골재, 잔골재 및 채움재가 사용되었다. 이들의 입도분포는 <표 1>과 같다.

* 정회원 · 한국건설기술연구원 토목연구부 연구원 · 031-910-0183(e-mail:kjjeong@kict.re.kr)
** 정회원 · 한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원 · 031-910-0180(e-mail:sdhwang@kict.re.kr)
*** 정회원 · 한국건설기술연구원 토목연구부 선임연구원 · 031-910-0614(e-mail:asyoon@kict.re.kr)
**** 정회원 · 한국건설기술연구원 토목연구부 기술원 · 031-910-0186(e-mail:jchong@kict.re.kr)



2.1.3. 아스팔트

아스팔트는 KS M 2201에 규정된 침입도 등급 60~80인 AP-5가 사용되었다. 재생골재에 포함된 아스팔트의 노화된 물성을 보완하기 위해서는 AP-3을 사용할 수 있으나, T사에서 재생아스팔트 혼합물 제조에 사용하는 아스팔트가 AP-5이고 재생골재의 사용비율이 20%에 불과하기 때문에 우선적으로 AP-5 등급의 아스팔트를 사용하였다.

<표 1> 골재 입도 분포

구분 \ 체(mm)	통과중량백분율							
	20	13	5	2.5	0.6	0.3	0.15	0.075
13mm굵은골재	100	81.37	5.37	0.81				
부순모래		100	94.14	82.36	47.04	30.98	17.76	5.86
채움재						100	98.02	34.62

2.2. 시험방법

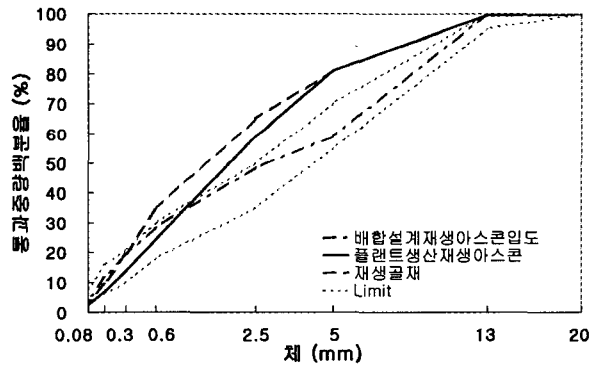
플랜트에서 채취한 재생아스팔트 혼합물과 플랜트에서 사용한 재생골재와 추가재료를 이용하여 실험실에서 제조한 혼합물을 마샬다짐기로 양면 50회 다짐하여 공시체를 제조하였으며, 이를 이용하여 마샬특성치실험을 하여 마샬안정도, 흐름치 등을 구하였으며, KS F 2366의 실험적 방법에 의하여 최대이론밀도를 구하였다.

2.3. 결과 및 고찰

2.3.1. 입도

현재 T사는 재생골재의 골재입도, 아스팔트함량 등의 품질시험을 여러 번 수행한 후 이들의 평균적인 입도분포 및 아스팔트 함량을 이용하여 자체적인 배합비율을 작성하였으며, 정기적으로 이를 검증하고 있으며 재생골재의 물성에 따른 변동성을 줄이기 위하여 약 20%정도만 사용하는 것으로 파악되었다.

따라서 플랜트에서 사용하는 배합비율을 적정성을 검증하기 위하여 재생골재와 추가되는 골재에 대한 입도시험을 수행하고, 플랜트에서 제시한 배합비율로 합성입도를 구하였다. 이 결과 <그림 1>과 같이 표층 13mm 밀입도 아스팔트 혼합물의 시방입도에 적합한 것으로 나타났다.



<그림 5> 플랜트 재생 아스팔트 혼합물의 골재입도

그러나, 플랜트에서 채취한 재생아스팔트 혼합물은 그림과 같이 5mm이상의 굵은골재입도는 재생골재의 입도와 큰 차이점이 없었으며, 표층 13mm 밀입도 아스팔트 혼합물의 골재입도를 벗어나 있었다.

2.3.2. 아스팔트 함량

아스팔트 함량은 <표 2>와 같이 KS F 2349의 밀입도 아스팔트 혼합물의 기준을 만족시키고 있으나, 플랜트에서 제시한 배합비율로 실험실에서 제조한 혼합물의 아스팔트 함량과는 차이가 있어, 생산과정에서의 품질관리가 필요한 것으로 판단되었다.

<표 2> 재생아스팔트혼합물 및 재생골재의 아스팔트 함량

	기준 (밀입도)	재생골재	재생아스팔트 (실험실제조)	재생아스팔트 (플랜트)
아스팔트 함량(%)	4.5 ~ 7	6.4	6.0	5.6



2.3.3. 마찰특성치

<표 3> 플랜트 재생아스팔트혼합물의 마찰특성치

재생혼합물을 KS F 2366에 따라 실측하여 최대이론밀도를 구한 후 다짐특성을 파악한 결과 <표 3>과 같이 실험실에서 제조한 혼합물과 플랜트에서 채취한 혼합물 모두 공극율은 4.5%, VFA는 74% 정도의 값을 보여 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 그리고 마찰안정도 또한 1,200kg 이상으로 기준을 만족하였다.

종류	AC (%)	실측밀도 (g/cm ³)	이론밀도 (g/cm ³)	공극율 (%)	VFA (%)	안정도 (kg)	호름값 (0.1mm)
기준	4.5~7			3~6	70~85	500이상	20~40
재생아스팔트 (실험실제조)	6	2.345	2.459	4.6	74.8	1206	44
재생아스팔트 (플랜트)	5.6	2.357	2.469	4.5	74.0	1531	44

호름값은 기준을 약간 상회하는 결과값을 보였다. 그러나 호름값은 현재 여러 연구결과 아스팔트 포장에 대한 소성변형 등의 공용성과 상관성이 낮은 것으로 나타나고 있어 차후 연구를 통해 이 물성값의 기준에 대한 검토가 필요하다.

3. 노상표층재생포장공법으로 생산된 혼합물의 품질 실험

노상표층재생포장공법은 현장에서 소성변형등이 발생한 포장구간을 가열하여 절삭함과 동시에 절삭되어 발생된 페아스콘을 약 70~80% 재활용하여 재생첨가제와 신아스팔트혼합물과 혼합하여 재생포장하는 공법이다.

본 연구에서는 광주의 J사에서 시공하는 현장을 조사하였으며, 노상표층재생포장의 품질관리현황 및 현장에서 생산된 재생혼합물의 품질에 대한 적정성을 평가하였다.

3.1. 재 료

3.1.1. 밀링된 아스콘 재생골재

기존 아스팔트 콘크리트 13mm 밀입도로 포장되어 있었으며, 노상표층재생기로 5cm를 절삭하여 덧씌우기 하였다. 실험에 사용한 아스콘 재생골재는 기존 아스팔트 포장을 가열파쇄방법으로 절삭하면서 발생되며, 절삭된 포장의 중앙부위에 모아서 재생장비에 상차된 신아스팔트혼합물과 혼합하게 된다.

3.1.2. 신아스팔트혼합물

신아스팔트 혼합물은 침입도 등급 60~80인 AP-5를 사용하여 인근 가열 아스콘플랜트에서 생산하였다. 신아스팔트 혼합물의 아스팔트 함량은 3.3% 이었으며, 골재 입도시험 결과는 <표 4>와 같다.

<표 4> 신아스팔트 혼합물의 골재 입도 분포

구분 \ 체(mm)	통과중량백분율							
	20	13	5	2.5	0.6	0.3	0.15	0.075
신아스팔트혼합물	100	75.47	24.2	16.11	8.35	6.25	3.82	1.69

3.1.3. 재생첨가제

<표 5>의 60℃ 점도 884cSt이고, 방향족함량이 90.25%인 재생첨가제가 전 체혼합물의 중량비에 대하여 0.36% 사용되었다.

<표 5> 재생첨가제의 품질

시험종류	점도 (60℃ cSt)	인화점 (℃)	세추레이트 (wt, %)	RTFO(또는 TFO) 후	
				점도비	중량변화율(±, %)
시험결과	884	304	36.47	1.09	1.14

3.2. 시험방법

노상표층재생포장은 시공전에 현장에서 코어를 채취하여, 골재입도 및 아스팔트함량 등의 시험을 통해 기존 포장의 품질을 검사한 후, 재생첨가제의 함량, 추가할 신아스팔트혼합물의 입도와 아스팔트함량 및 아스콘 재생

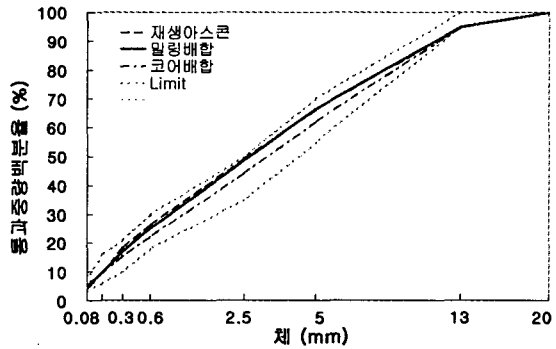


골재와의 혼합비율을 결정한다. 따라서 기존 포장의 코어를 채취하여 골재입도 및 아스팔트 함량 등의 품질시험을 수행하였으며, 현장에서 가열과쇄방법으로 밀링한 아스콘 재생골재에 대하여 동일한 시험을 하여 비교·고찰하였다. 그리고, 재생아스팔트 혼합물의 소성변형에 대한 저항성을 평가하고자 휠트랙킹 시험을 실시하였다.

3.3. 결과 및 고찰

3.3.1. 골재입도

재생아스팔트 혼합물과 신규아스콘은 8 : 2의 비율로 혼합되었으며, 재생아스팔트 혼합물의 골재입도는 아래의 그림과 같이 13mm 밀입도 규정을 만족하였다. 그러나 <그림 2>에서 알 수 있듯이 코어에서 추출한 골재의 입도와 밀링한 후의 아스콘 재생골재에서 추출한 골재의 입도에 차이가 있었으므로, 밀링한 아스콘 재생골재와 신아스팔트 혼합물을 혼합한 '밀링배합'과 실제 재생아스콘의 골재입도는 동일하였으나, 배합설계시 이용한 코어에서 추출한 골재입도로 신아스팔트와 가상으로 혼합한 '코어배합'의 경우 실제로 생산된 재생아스콘의 입도와 차이가 있었다. 따라서 차후 코어의 골재입도를 이용하여 배합설계시 이에 대한 연구가 있어야 할 것으로 판단된다.



<그림 6> 재생아스팔트 혼합물의 입도분포

3.3.2. 마찰특성치

플래트에서 채취한 재생혼합물을 KS F 2366에 따라 실측하여 최대이론밀도를 구한 후 다짐특성을 파악한 결과 공극율은 3.68%, VFA는 81.56% 정도의 값을 보여 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 그리고 마찰안정도 또한 1,935kg 으로 기준을 만족하였다. 그러나 흐름값은 43으로 플랜트 재생아스팔트 혼합물의 결과와 비슷하게 기준을 약간 상회한 결과를 보였다.

3.3.3. 휠트랙킹 시험

휠트랙킹 시험 결과 아래의 <표 6>과 같이 재생아스팔트 혼합물의 동적안정도가 일반아스팔트 혼합물과 비교하여 약 2.5배 우수함을 알 수 있었고, 변형률도 적은 것으로 평가되었다.

<표 6> 휠트랙킹 시험 결과

종류	일반아스팔트 혼합물	재생아스팔트 혼합물
동적안정도(회/mm)	480	1,211
변형률(mm/min)	0.0906	0.0347

4. 재생아스팔트 포장의 노면 상태 조사

본 연구에서는 공용연도별 재활용 포장의 결함을 비파괴 방식으로 조사 및 분석하여 주행성과 포장의 성능을 평가하고자 하였다.

4.1. 조사 방법

비파괴 방식으로 포장의 결함을 조사하는 장비인 노면상태조사장비(Automated Road Analyzer ; ARAN)는 주행 중에 노면상태를 자동으로 측정할 수 있는 장비로서 캐나다의 Roadware 사의 제품이며, 세계적으로 가장 많이 이용되고 있다. 최대 80km/hr로 주행하며 포장 균열 길이, 폭, 소성변형 깊이(Rutting), 종단평탄성(International Roughness Index ; IRI) 등의 측정과 GPS, Gyro 시스템을 이용하여 도로의 기하구조, 도로 시설물 조사 등에 사용된다. 본 연구에서는 종단평탄성, 소성변형 깊이, 균열을 등을 측정하였다.



조사는 광주 국도 13호선 등 총 7개 구간에 걸쳐 이루어 졌으며, 1997년부터 2001년까지 포장된 재활용 포장 선정하였다. 현장표층재생포장으로 포장된 구간은 HIR1~HIR4 등 4개 구간이었으며, 플랜트재생혼합물을 이용한 구간은 PR1~PR3 등 3개 구간이었다. 그리고, 진행차로를 'a', 진행반대차로를 'b' 로 구분하였으며, HIR3의 경우는 편도 4차선이었으므로 이를 'a-1'~'a-4'로 구분하였다. 각 구간에 대한 조사거리는 약 1km~3km 이었으며, 35~50km/hr 주행하며 조사하였다.

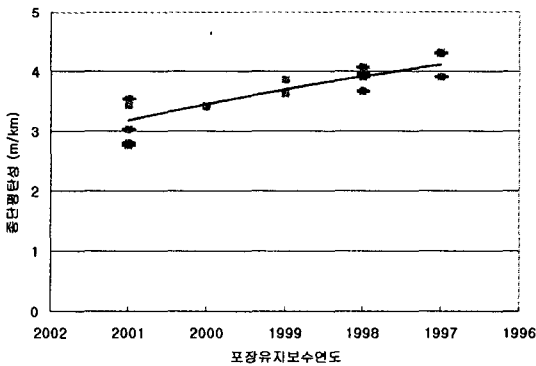
4.2. 결과 및 고찰

4.2.1. 중단평탄성

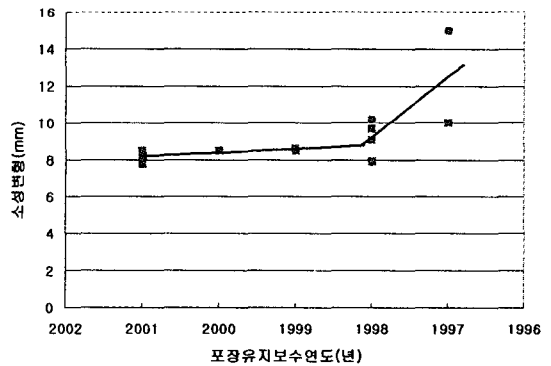
중단평탄성은 <그림 3>과 같이, 재활용 포장방법에 따른 차이보다 재활용 포장 후의 포장공용연도에 따른 영향을 받아 평탄성의 차이를 보임을 알 수 있었다. 즉, 중단평탄성은 유지보수후 1년이 경과된 2001년도 포장은 3.0~3.4 m/km 이었고, 유지보수후 5년이 경과한 1997년도에 포장한 구간은 4.1 m/km 정도로 다소 증가하였다.

4.2.2. 소성변형 조사

소성변형을 조사한 결과 일부구간에서 최대 45mm 가 발생하였으나, 대부분의 구간에서 소성변형의 발생은 크지 않았다. 그러나 <그림 4>와 같이 유지보수 후 4개년 동안은 소성변형의 발생과 진전이 천천히 진행되었으나, 4~5년 경과된 포장에서 소성변형의 발생이 급증하는 경향을 보였다.



<그림 7> 재생아스팔트 포장의 중단평탄성



<그림 8> 재생 아스팔트 포장의 소성변형

4.2.3. 균열 조사

포장체의 균열 조사 결과, 플랜트에서 재활용한 포장은 균열의 발생을 볼 수 없었고, 현장표층재생한 포장은 1곳을 제외하면, 0.31~0.75% 의 매우 낮은 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 균열이 다소 심한 구간은 플랜트 재활용율이 20~50% 밖에 이루어지지 않는데 비하여, 현장표층재생 포장은 70~80%를 재활용하므로, 기존 노화된 아스팔트를 적정한 정도로 회복시키지 않은 구간의 경우 플랜트재생아스팔트 혼합물보다 균열의 발생이 빨리 생기는 것으로 판단된다.

5. 결론

페아스콘을 재활용한 아스팔트혼합물과 포장의 공용성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 아스팔트 재생 플랜트 현장을 조사한 결과 플랜트의 실험실에서 배합설계한 재생아스팔트 배합비율은 적



절하였으나, 생산과정의 관리가 부족하여 골재입도가 기준을 만족하지 못하였다. 따라서 재생아스팔트혼합물의 배합설계 뿐 만 아니라 생산공정에서도 재생아스팔트 혼합물의 품질을 관리할 수 있는 방안의 마련이 필요하다.

<표 7> 아스팔트 재활용 포장의 균열조사

구분	조사 지역	포장 년도	조사 구간	조사거리(m)	균열율 (%)
HIR1	광주 국도13호선 비아.I.C-흑석사거리	1997	1a	1,630	0.75
			1b	1,580	0.88
HIR2	전남 무안군 망운지구	1998	2a	870	1.37
HIR3	충주 국도19호선 구룡지구	1998	3a	3020	0.28
			3b	3010	0.26
HIR4	전주시 화산로 덕진구청-완산구청	2001	4a-2	1,480	0.31
			4a-3	1440	0.31

2. 노상표층재생포장공법으로 생산된 재생아스팔트혼합물의 성능을 평가한 결과 흐름치를 제외한 마찰특성치가 기준을 만족하였으며, 특히 휠트래킹 시험 결과 동적안정도 등이 일반 신재아스팔트 혼합물보다 높은 것으로 나타났다.
3. 노상표층재생공법은 배합설계시 아스팔트 포장의 코어를 채취하여 골재입도 시험을 한 후 배합설계하지만, 실제 가열파쇄된 골재의 입도가 코어로 분석된 골재의 입도보다 전반적으로 작아져 있어, 차후 코어의 골재입도를 이용하여 실제 파쇄 후의 입도변화를 예측하는 연구가 뒤따라야 할 것으로 판단된다.
4. 재생아스팔트 혼합물로 포장된 구간에 대하여 ARAN 장비를 이용하여 노면 상태를 조사하였으며, 이 결과 포장 후 5년이 경과하여도 공용성에는 큰 문제가 없는 것으로 파악되었다. 그러나 공용연도가 5년이 경과할 경우 균열, 소성변형 등의 발생율이 다소 증가하였다.
5. 재생아스팔트혼합물은 신아스팔트혼합물과 물성의 차이가 있으므로, 신아스팔트혼합물의 규정과 비교·검토하여 재생아스팔트혼합물의 규정에 대한 검토가 필요하다. 즉, 일반적으로 재생아스팔트 혼합물은 아스팔트가 노화되어 일반아스팔트 혼합물보다 더 단단하므로, 안정도는 기준을 훨씬 초과하는 데 비하여 균열에 대해서는 취약할 수 있다. 그러나, 현재 균열에 대한 저항성을 평가하는 기준이 없으므로 이에 대한 기준을 마련하기 위한 연구가 필요할 것으로 사려된다.

6. 참고문헌

- 1 건설교통부(1998), “현장가열 재생아스팔트 포장공법 시험시공보고서”
- 2 건설교통부(2001), “ 2001 도로포장관리시스템”
3. (주)충원개발(1995), “재생첨가제를 이용한 아스팔트포장의 표층재생포장활용기술,” 건설교통부 신기술 제 42호
4. 세아건설(주)(1998), “간접가열방식에 의한 페아스팔트혼합물의 플래트 재생공법,” 건설교통부 건설신기술 117호