

# 탄소 저감 도로 포장기술 개발을 위한 폐아스콘 활용 방안

Article  
01

유 성 진 한국건설안전기술협회 회장(공학박사/기술사)  
조 규 태 인천대학교 공학기술연구소 연구교수(공학박사/기술사)  
이 재 식 인천대학교 건설환경공학과 박사과정(공학석사)

## 1 서론

전 세계적으로 지구 온난화로 인한 기후변화와 생태계 파괴는 개발과 성장위주의 정책일로를 걷던 인류에게 더 이상 묵과할 수 없는 인류 생존의 위협이 될 수도 있는 중요한 사안으로 지난 100년 세계 평균기온은 0.74℃ 상승했으며, 금세기말 최고 6.4℃ 상승할 것으로 예상되고 있다. 이에 따라 저탄소 녹색성장(Green Growth)이 주요 현안이 되었으며, 온실가스 배출 순위 세계 10위인 우리나라도 이에 따른 대책이 시급한 실정이다.

정부에서는 2009년부터 재생 아스콘의 사용을 의무화 하는 내용으로 “건설 폐기물의 재활용 촉진에 관한 법령”을 개정하였고, 선진국의 경우 유럽과 일본은 이미 폐아스콘의 재활용률이 2007년도 기준 50% 이상을 상회하고 있어 우리나라의 폐아스콘 재활용 비율도 획기적으로 증대할 필요가 있다.

정부에서는 2011년까지 국내 발생되는 폐아스콘의 15% 이상을 도로포장용 재생아스콘으로 활용할 계획이

나 이에 대해 명확한 로드맵이 없고 관련 기술 진흥을 위한 정책 및 기술에 대한 연구개발이 상당히 미흡한 수준이다. 또한, 국내의 경우 재생 아스콘의 내구성 부족이 재생 아스콘 사용 확대의 걸림돌로 작용하고 있다.

현재 도로 포장 분야에서도 다양한 저탄소/저에너지 도로포장 공법이 개발되고 있으며, 특히 상온 및 중온 아스팔트 기술은 탄소 저감 효과가 월등히 뛰어나기 때문에 상온 및 중온 재생 아스팔트의 고성능화 기술 개발이 필요하다.

## 2 국내·외 폐아스콘 재활용 현황

### 2.1 국내 폐아스콘 재활용 현황

2006년도 기준으로 국내 재생아스콘 생산량은 연간 약 52만 톤으로 아스콘 생산량(28백만톤/년)의 1.8% 수준이다.

폐아스팔트는 98.1% 정도가 도로 보조기층용, 성토, 복토용으로 재활용 되었고, 1.9%가 재생 아스콘으로 재활용 되었다.

[표 1] 폐아스콘 재활용 현황(2007년말)

(단위 : 천톤/년)

발생량	매립량	재활용량(순환골재)		
		소계	재생 아스콘	도로보조기중용, 성·복토용 등
8,094	3	8,091	150(1.9%)	7,941(98.1%)

[표 2] 재생아스콘 생산업체 현황(2008년말)

(단위 : 개소)

계	수도권	강원권	충북권	대전·충남권	전북권	광주·전남권	대구·경북권	부산·경남권
56	20	5	4	9	3	3	10	2

재생아스콘 생산업체 현황은 [표 2]와 같이 나타났다.

환경부에서 발간한 건설폐기물 재활용기본계획(2007년~2011년) 보고서에 따르면, 건설폐기물의 발생량 및 이를 이용한 순환골재의 생산량 예측을 경제성장률과 과거의 발생량을 기준으로 예측한 결과 2011년도까지 건설폐기물의 발생량은 지속적으로 증가하며, 특히 시계열분석을 통한 발생량 예측결과 2011년도 건설폐기물의 발생량은 2000년 대비 3.5배 이상 증가될 것으로 추정하였다.

## 2.2 국외 폐아스콘 재활용 현황

2007년도 기준으로 전체 아스팔트 생산량은 16억 톤으로 [표 3]과 같이 북미 34.4%, 아시아 30.9%, 유럽 27.2% 순으로 나타났으며, 외국의 재생 아스콘 사용 현황은 [표 4]와 같다.

## 3 저탄소 중온 아스팔트 포장(WMA)의 기술현황

저탄소 중온 아스팔트 콘크리트 포장(WMA: Warm Mixed Asphalt)은 가열 아스팔트 콘크리트 포장 이상의 품질을 유지하면서, 가열 아스팔트 포장에 비하여 생산 및 시공 온도가 약 30℃ 낮게 생산된 저에너지 소비형 도로 포장 기술로서, 중온화 첨가제 또는 중온화 아스팔트를 혼합하여 생산한 저탄소 중온 아스팔트 혼합물을 사용하여 시공한 것을 말한다.

즉, 현재 대부분의 아스팔트 콘크리트 포장은 160℃~170℃의 고온에서 가열 아스팔트 혼합물을 생산하여 시공하지만, 저탄소 중온 아스팔트 콘크리트 포장은 약 30℃ 낮은 130℃~140℃ 정도의 온도에서 아스팔트 혼합물을 생산하여 시공하는 것이 가장 큰 특징이다.

[표 3] 전세계 아스팔트 생산량(2007년)

(단위 : %)

아프리카	아시아	오세아니아	유럽	북미	중미	남미
1.9	30.9	0.6	27.2	34.4	2.2	2.8

\* 2007년도 기준 전체 생산량은 16억 톤

[표 4] 외국의 재생아스콘 사용 현황(2007년)

(단위 : %)

일본	네덜란드	독일	덴마크	스웨덴	벨기에	이탈리아	한국
73.2	65	60	53	50	38	30	1.8

\* 재생아스콘 사용율 : 재생아스콘/아스콘 × 100

[표 5] 저탄소 중온 아스팔트 혼합물의 품질기준

항목	표층용, 중간층용		기층용	
	WC-1-4	WC-5-6		
간접인장강도(N/mm <sup>2</sup> )	0.8 이상		0.6이상	
터프니스(N-mm)	8,000 이상		6,000이상	
인장강도비(TSR)	0.75 이상		-	
동적 안정도 (회/mm)	W64등급	750이상	1,000이상	-
	W70등급	1,500이상	2,000이상	-
	W76등급	2,000이상	3,000이상	-

### 3.1 저탄소 중온 아스팔트 혼합물의 품질 기준

저탄소 중온 아스팔트 혼합물은 배합설계시 표층 및 중간층용은 공극률 4%, 기층용은 공극률 5%이어야 하며, 그 외의 가열 아스팔트 혼합물의 골재 간극률, 포화도 등의 체적 특성 기준과 마찰안정도 품질기준을 만족할 뿐만 아니라 [표 5]에 따른 품질을 확보하여야 한다.

### 3.2 저탄소 중온 아스팔트 포장의 적용효과

일반적으로 중온 아스팔트 포장은 가열아스팔트 혼합물의 제조온도를 약 30℃ 낮추며, 이에 따라 석유계 연료소비량을 저감하고, CO<sub>2</sub> 배출량을 절감할 수 있다.

[표 6]은 국내 저탄소 중온 아스팔트 혼합물의 CO<sub>2</sub> 절감효과를 나타낸 것이다.

[표 6] 국내 저탄소 중온 아스팔트 혼합물의 CO<sub>2</sub> 절감효과

구분	단위	기열아스콘(톤)	저탄소 중온 아스콘(톤)
병커유 사용량	l	9.3	6.3
CO <sub>2</sub> 배출량	kg	29.0	19.6
비율	%	100	67.7
절감량	%	0	32.3

### 3.3 저탄소 중온 아스팔트 포장의 종류 및 적용

유럽에서는 밀입도 아스팔트 혼합물, SMA, 개립도 아

스팔트 혼합물 등 모든 종류의 아스팔트 혼합물에 중온 아스팔트 기술들이 적용되고 있다.

이 외에 중온 아스팔트는 고분자 개질 아스팔트 및 생생 아스팔트에도 사용하고 있다. 이러한 중온 아스팔트 포장 기술은 중교통 조건의 도로뿐만 아니라 비행장, 버스정류장 등에도 적용되고 있다.

또한, 중온 재생 아스콘 생산 및 시공 기술이 개발된다면 폐아스콘 재활용을 통한 저탄소/저에너지 도로포장 공법으로 한단계 더 발전할 수 있을 것이다.

## 4 상온 재생 아스팔트 포장의 기술 현황

상온 재생 아스팔트 포장 공법은 상온 기층 혼합물을 생산하기 위해 재생 아스팔트 포장재료(RAP)와/혹은 재생첨가제를 결합하는 과정으로 유화 아스팔트를 사용하여 상온에서 포설하는 공법이다.

재생의 주된 목적은 기존의 포장재료를 포장의 보수에 재사용하는 것에 있으며, 재생의 가장 큰 장점은 자원과 비용의 절감이다. 상온 재생공법은 최근 사용되고 있는 다양한 재생 공법 중 하나로서, 보편적으로 시공되고 있는 가열 아스팔트 포장과 비교하여 총 지출의 40~50% 정도 절감된 비용으로 안정적인 포장을 할 수 있는

것이다.

그러나, 일반적인 가열아스팔트 혼합물과 같이 신뢰성 있는 공용성 보장을 위해 재생공법에 사용되는 상온 아스팔트 혼합물이 적절하게 설계되어야 한다.

#### 4.1 상온 재생 아스팔트 포장의 특징

상온 재생 아스팔트 포장은 순환골재와 결합재를 상온에서 혼합하고 생산하며, 기존의 아스팔트 포설장비로 시공이 가능한 특징을 가지고 있다.

[표 7]은 가열 재생 공법과 상온 재생 공법의 특징을 비교한 것이다.

#### 4.2 상온 재생 아스팔트 혼합물의 배합설계

현재까지 제대로 된 상온 재생혼합물 표준 설계방법은 없다. 그러나 [그림 1]에 보인 흐름도와 같은 기본적인 단계들은 도로 기관에 의해 사용된 대부분의 배합설계 순서들에 포함되어 있다.

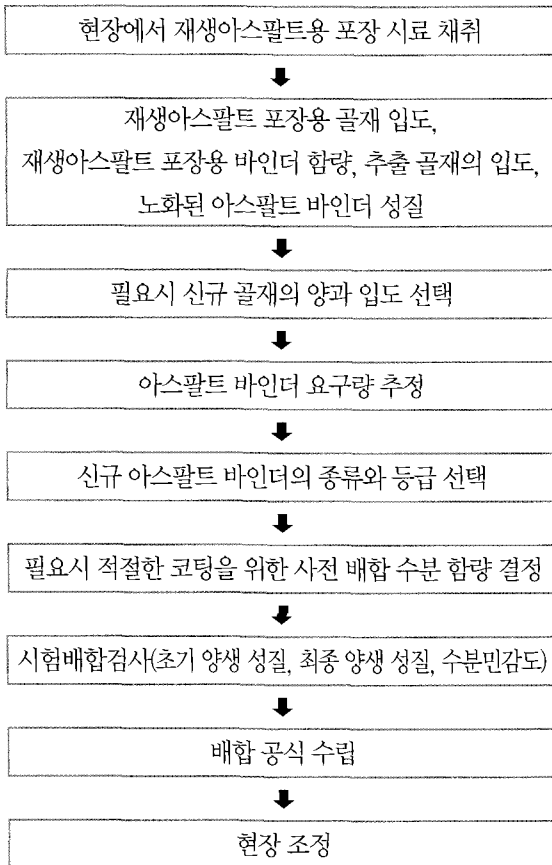
상온 재생 아스팔트 혼합물이 적합한 공용성을 보장하기 위하여 상온 혼합물 배합 설계는 재생 혼합물과 바인

더의 연화를 지연에 영향을 미치는 시간과 온도를 고려하여야 한다.

첫 번째 단계는 대표 시료 채취 및 시험에 의한 적절한 재료의 평가이다. 재생아스팔트용 포장재나 절삭된 재료의 구성(아스팔트의 함량과 입도)이 결정되어야 한다. 재생아스팔트 포장의 회복된 아스팔트 시멘트의 점성도와 침입도 역시 결정되어야 한다. 필요한 신규 골재의 양은(필요한 경우) 재생 혼합물의 목표입도와 재생아스팔트용 포장재나 절삭된 재료의 입도에 기초하여 결정된다. 재생 첨가제의 선택은 주로 재생 아스팔트용 포장재 내의 노화된 아스팔트 바인더의 물성에 좌우된다. 마지막으로 유화아스팔트와 물(필요시 재생 첨가제 첨가)의 양은 이 성분들의 다양한 함량으로 구성된 여러 시험 혼합물에 대한 준비와 실험을 통해 결정할 수 있다. 비록 상온 재생 혼합물의 설계에 관한 국가 표준 시험방법은 아직 없지만 여러 관련 기관에서 설계 배합 절차를 개발하여 제시하고 있는 실정이다.

[표 7] 가열 재생과 상온 재생 아스팔트 포장 공법의 비교

구분	가열재생	상온재생
가열 및 시공온도	140~170℃	가열 없음
골재	신규골재 혼합사용	필요시신규골재 혼합사용
결합재	아스팔트 바인더	유화 아스팔트
첨가제	재생 첨가제 사용	-
포설	기존 포설장비	기존 포설장비
산화/노화	가열과정서 산화/노화 진행	산화/노화 거의없음
에너지 소비	가열에너지 소비	소비 없음
공해 발생	온실가스 배출	공해 발생 없음
기타	온도관리 필요	양생시간 필요



[그림 1] 상온 재생 혼합물의 배합 설계 흐름도

## 4.3 국외 상온 재생 아스팔트 포장 배합 설계 방법

### 4.3.1 캘리포니아주 배합 설계 방법

캘리포니아주 배합 설계의 지침은 포장 코어로부터의 샘플 준비, 재생아스팔트 포장을 파쇄하여 얻는 재료의 입도, 그리고 파쇄된 현장에서의 샘플 준비 방법을 규정하고 있다.

또한, 재생아스팔트 포장에서 추출하여 얻어진 노화된 아스팔트 점성도의 결정을 요한다. 재생 첨가제의 양과 등급의 결정 방법이 주어지며 실내 시험용 샘플의 양생 방법이 제시되고 있다.

### 4.3.2 세브런 배합 설계 방법

상온 재생에 대한 세브런 배합설계 방법은 다음과 같은 6단계로 구성되어 있다.

- (1) 재생아스팔트 포장의 평가
- (2) 무처리된 골재의 양과 입도의 결정
- (3) 필요한 아스팔트 바인더의 추정
- (4) 유화 재생 첨가제의 종류와 양의 선택
- (5) 시험배합의 실험
- (6) 현장 배합식의 결정

### 4.3.3 펜실베이니아주 배합 설계 방법

펜실베이니아주 배합 설계 방법은 재생아스팔트용 포장재 시료의 크기와 최적 수분 함량 및 유화제 함량 결정 과정을 규정한다. 초기 평가는 재생아스팔트용 포장재의 골재 입도와 아스팔트 함량, 그리고 추출된 아스팔트 바인더의 침입도와 점성도 결정을 포함하고 있다.

이 방법에서는 두 가지 시험이 수행된다. 코팅시험은 일정한 유화제 함량에서 함수비를 달리하여 수행한다. 그 결과에 근거하여 최적의 수분 함량을 결정한다. 다음으로 최적의 유화제 함량은 수분 조건에 따른 양생되고 다져진 시편에 대한 회복탄성계수 시험에 근거하여 결정된다.

## 4.4 국외 상온 재생 아스팔트 포장 사례

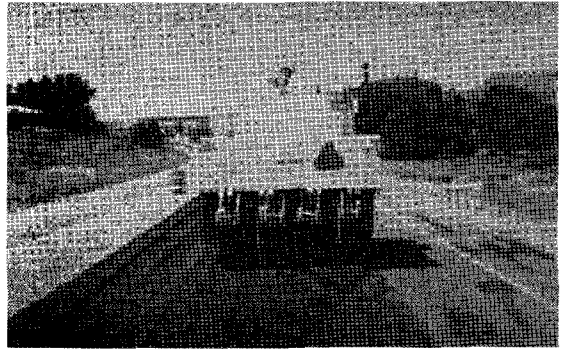
1984년 뉴멕시코주의 US 64에 상온 현장 아스팔트 재생 작업이 수행되었다. 재생 첨가제의 양은 실험실 배합 설계에 근거하여 결정되었으나 현장조건에 맞게 조정되었고, 100mm 두께의 가열아스팔트혼합물 덧씌우기가 재생 기층위에 사용되었다.

재생공법에 사용되는 장비조합은 [그림 2]와 같이 절삭장비, 파쇄기, 믹서, 페이버로 구성되었다. 절삭장비는 기존의 도로를 절삭하여 파쇄기로 운반했다. 이 장치에서 절삭된 재생아스팔트용 포장재는 크기별로 분류되었다.

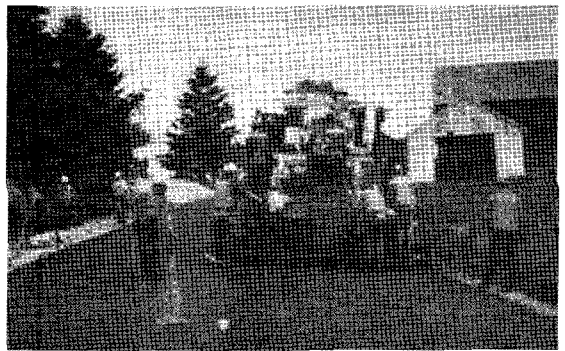


[그림 2] 재생 장비 조합

재생 아스팔트용 포장재의 최대크기는 32mm로 줄어들었으며 크기별로 분류된 재료는 믹서에서 유화제와 혼합되었는데, 이때 유화제는 트럭을 통해 공급되었다. 그 다음 믹서는 재생 혼합물을 고랑에 포설하였고 페이버로 고랑에 놓인 혼합물을 끌어올려 스크리드로 포장을 실시하였다. 초기 다짐에는 [그림 3]과 같이 공기압축 타이어 롤러(30ton)가 사용되었고 최종다짐에는 철륵 롤러가 사용되었다.



[그림 3] 초기 다짐용 공기압축 타이어 롤러



[그림 4] 재생 후 도로 상태

[그림 4]는 재생 후 도로 상태를 나타낸 것이다.

## 5 결론

본 기사는 전 세계적으로 저탄소 녹색성장이 주요 현안이 되어 있는 현실에서 국내외 폐아스콘 재활용 현황에 대하여 소개하였으며, 온실가스 배출 순위 세계 10위인 우리나라도 이에 따른 대책이 시급한 실정이다.

온실가스 감축 잠재력이 비교적 큰 수송부문 특히 도로부문에서의 에너지 및 온실가스 저감을 위한 기술개발은 조속히 추진해야할 커다란 국가 정책 과정이다.

현재 도로 포장 분야에서도 다양한 저탄소/저에너지 도로포장 공법인 저탄소 증온 아스팔트 포장과 상온 재

생 아스팔트 포장공법 기술 등이 개발되었지만, 상온 재생 아스팔트 포장은 일반적으로 기층 혼합물에 사용하고 있으며, 저탄소 중온 아스팔트 포장 신규 골재를 사용하여 포장을 하고 있다.

따라서, 순환 골재의 효율적 재활용 기술을 통하여 중온 아스팔트 포장 기술에 적용하고, 상온 재생 아스팔트

포장을 표층에 적용할 수 있는 상온 재생 아스팔트의 고성능화 기술 개발로 합리적인 도로 포장 기술이 적용된다면 순환골재 사용으로 탄소저감 선도 기술을 확보할 수 있고, 온실가스 배출량을 감소시킴으로써 친환경 도로재료 시장의 확대를 기대할 수 있으며 또한 탄소배출권 거래에서 경제적으로 매우 유리하다고 판단된다.

#### 참고문헌

- 1) 이종만, 김낙석, 김완상, 홍은철(2009), “도로포장용 상온 재생 아스팔트 혼합물 개발”, 한국방재학회 논문집 제9권3호, pp.1-7.
- 2) 조동우, 황성도, 임광수 (2009), “유럽의 저탄소 중온 아스팔트 포장(WMA)의 기술현황”, 한국도로학회지 제11권2호 pp.20-25.
- 3) 한국도로학회, (2011), “친환경 재생아스팔트 포장기술”, 구미서관, pp.165-210.
- 4) 남영국 외 15명(2000), “페아스팔트 콘크리트 재활용 실용화 방안 연구 최종 보고서”, 서울특별시.
- 5) FHA, U.S. Department of Transportation, Washington DC (1987), “Pavement Recycling Guidelines for Local Governments”, Report No. FHWA-TS-87-230.
- 6) L.E. Santaucci and M.T. Hayashide, (1983), “Design and Testing of Cold-Recycled Asphalt Mixes”, Proceedings of AAPT.
- 7) L.E. Wood, T.D. White, and T.B. Nelson. “Current Practice of Cold In-place Recycling of Asphalt Pavements”, In Transportation Research Record 1178, TRB, National Research Council, Washington, DC.