

아스팔트 콘크리트 순환골재의 도로 기층재 적용성 평가

Application of road base materials of asphalt concrete recycled aggregates



최유승 Yu-Seung Choi
 ㈜윤성산업개발
 대표이사
 E-mail : pikeman1004@naver.com



윤상혁 Sang-Hyeok Youn
 ㈜윤성산업개발
 이사
 E-mail : havea@nate.com



임희섭 Hee-Seob Lim
 ㈜윤성산업개발
 연구소장
 E-mail : heesubjm@naver.com



조형규 Hyeong-Kyu Cho
 한국세라믹기술원
 선임연구원
 E-mail : hkcho@kicet.re.kr

1. 서론

2020년 12월 발표된 “2050년 탄소중립선언”은 전 세계적으로 탄소 배출량을 2050년까지 ‘제로’로 만드는 것으로써 앞으로 모든 산업분야에서 탄소배출량을 지속적으로 감소시키고 Net Zero 목표를 향해 노력해야 한다. 또한, “순환경제 활성화”가 탄소중립의 10대 과제로 선정한 만큼 다양한 산업에서 탄소중립을 위한 노력뿐만 아니라 모든 자원을 재활용하고 순환하는 노력을 기울여야 하는 상황이다.

아스팔트 콘크리트 산업은 도로포장의 90% 이상을 차지하고 있으며 대부분의 생산 및 시공 공법은 고온(160~180℃) 가열공법으로써 제품을 생산하고 시공하는데 많은 탄소를 배출하고 있는 산업이다. 이에 본 기사에서는 아스팔트 콘크리트 순환골재의 도로 기층재로의 적용성 평가에 대해 소개하고자 한다.

2. 아스팔트 콘크리트 순환골재 관련 현황

국가통계포털(Korea Statistical Information Service)의 2019년 국내에서 발생한 건설폐기물 발생량은 80,702천 톤의 발생되었으며, 그 중 폐아스팔트 콘크리트는 전체 건설폐기물의 약 19.6%로서 연간 15,025천 톤이 발생되어 2005년 발생량 5,538천 톤에 비하여 약 2.7배 증가한 것으로 보고하고 있다. 폐아스팔트 콘크리트의 재활용률을 고찰하여보면 2019년에는 약 99% 이상의 높은 재활용률을 나타냈고 있다.

[표 1] 건설 폐기물 발생 현황

Total		Amount(ton/day)	Ratio(%)
		221,101.9	100
Nonflammable	Concrete	137,815.9	62.33
	Asphalt	41,163.3	18.62
	Brick	3,340.4	1.51
	Block	2,084.1	0.9
	Roof tile	22.6	0.01
	Soil, Rock	8,385.2	3.79
	Etc	1,165.5	0.53
Combustible	Wood	862.9	0.39
	Synthetic Resins	1,606.8	0.3
	Fiber	11.3	0.01
	Wallpaper	2.6	0.001
Mixed	Board	206.2	0.09
	Panel	8.9	0.004
	Mixed Waste	24,366.6	11.02
Etc.		59.6	0.03

반면 재활용 용도를 살펴보면 [표 2]에 나타난 것과 같이 폐아스팔트 콘크리트는 골재와 아스팔트를 함유하고 있는 고부가가치의 폐자원임에도 대부분은 성토재 및 복토재 사용되고 있으며, 도로보조기층용 등으로 사용하고 있다. 이는 고부가가치의 폐자원을 단순히 재활용함으로써 반복적인 순환을 어렵게 만들고, 토양오염을 가중 시키는 원인으로 작용할 수 있다. 그러므로 가장 바람직한 재활용은 아스팔트혼합물로 이용하여 아스팔트 폐기물을 고정화 시키는 것이나 아직까지는 중간처리업체의 고품질 아스팔트 콘크리트 순환골재의 생산 기술 부족 등으로 인하여 가장 바람직한 고부가가치 재활용, 즉 아스팔트 콘크리트 순환골재로 활용하는 재활용률은 단지 9.77%에 불과한 실정이다.

건설폐기물은 처리 시 문제점으로 대두되는 것은 배출되는 폐기물이 혼합폐기물에 가깝다는 점과, 배출현장이 이동되는 특성을 가지므로 항상 신규현장을 개척해야 하고, 중간처리업체가 소유한 시설의 처리능력과 기술에 의존하고 있다는 것이다. 그러나 폐아스팔트 콘크리트 및 폐콘크리트 등은 단일폐기물로 배출되는 경우가 많아 비교적 재자원화하기가 용이한 폐기물이라 할 수 있다.

[표 2] 폐 아스팔트 콘크리트 재활용율

Waste Asphalt Concrete(ton)		
Content(A)		15,024.6
Recycle(B)		15,022.3
Recycle Ration(C=B/A*100)		99.99%
2019 Year	Recycle Products(D)	4,892
	Recycle Aggregate Ration 30%(E)	1,467.6
	Recycle(F=E*B/100)	9.77%

3. 아스팔트 콘크리트 순환골재의 기층재 적용성 평가 실험

아스팔트 콘크리트 순환골재의 기층재 구성 재료로서의 기본적인 물성 평가 및 관련 표준 품질 충족 여부를 검토하고자 각 실험 기준에 따라 물성 평가 실험을 실시하였으며 물성 평가 실험항목 및 시험 기준은 [표 3]에 나타내었다.

[표 3] 실험 항목 및 기준

Contents	Experiment Contents	Standards
Recycled Aggregate	Reclaimed Asphalt Content	GR F 4041 KS F 2354
	Moisture Content	
	Washing Test	
	Foreign Matter Content	

※GR F 4041:아스팔트 콘크리트 순환골재)
 ※KS F 2354:아스팔트 포장용 혼합물의 아스팔트 함유량 시험방법)

본 실험에서 사용한 아스팔트 콘크리트 순환골재는 건설폐기물 중간처리업체인 국내 Y사에서 생산된 것이며, 기존 아스팔트 콘크리트 순환골재로 사용되는 골재는 13mm 이하로 30% 이상을 사용되었으나 본 실험에서는 순환골재를 100% 재활용하기 위하여 13mm 이하와 25mm 골재를 혼합하여 사용하였다. 아스팔트 콘크리트 순환골재는 GR F 4041에 따라 구재 아스팔트 함량, 찌기 시험에서 손실되는 양, 무유기 이물질 함량, 입도를 평가하였다.

4. 아스팔트 콘크리트 순환골재의 기층재 적용성 평가 실험결과 및 분석

아스팔트 콘크리트 순환골재의 구재 아스팔트 함량은 KS

F 2354 아스팔트 포장용 혼합물의 아스팔트 함유량 시험방법에 준하여 실시하였다. 먼저 채취된 시료를 삼염화에틸렌을 볼 내에 있는 시료가 잠기도록 부어서 1시간 동안 충분히 침수시킨다. 그리고 시료가 담긴 볼을 원심분리기에 장착한 후 시험기기를 천천히 회전시켜 최대 속도 3600 r/min까지 회전시키고 배수구로부터 삼염화에틸렌이 흐르지 않을 때까지 점차적으로 속도를 회전시킨다. 기계가 정지되면 삼염화에틸렌을 200 ml씩 더첨가시켜 상기 과정을 반복하고 추출액이 맑고 연한 색깔이 될 때까지 실시한다. 시험과정 중 회분총량, 시료 중 수분질량, 추출된 골재의 질량, 추출액 중 세분 골재분의 질량, 필터링의 질량 증가분 등을 측정하여 시험시료의 아스팔트 함유율을 다음의 식에 의하여 산출한다.

$$A(\%) = \frac{(W_1 - W_2) - (W_3 + W_4 + W_5)}{W_1 - W_2} \times 100 \quad (1)$$

여기서, A는 아스팔트 함유율 (%)

W₁는 시료의 질량

W₂는 시료 중 수분의 질량

W₃는 추출된 골재의 질량

W₄는 추출액 중 세립 골재분의 질량

W₅는 필터링의 질량 증가분

아스팔트 콘크리트 순환골재의 구재 아스팔트 함유량을 평가하기 위하여 일정 기간마다 시료를 채취하여 총 5회 평가하였으며 시험결과는 [표 4]에 나타내었다.

[표 4] 구재 아스팔트 함량

No.	Reclaimed Asphalt Content(%)		Standard
	25 mm	13 mm	
1	2.32	4.19	3.8 over
2	2.10	4.08	
3	1.96	4.17	
4	2.15	4.08	
5	2.22	4.29	
Ave.	2.15	4.16	

시험결과를 보면 알 수 있듯이 아스팔트 콘크리트 순환골재의 구재 아스팔트 함량은 원료 폐기물의 입고시기 및 특성에 따라 다소 상이한 결과를 나타냈다. 순환골재 25 mm의 경우 1.96~2.32 % 범위를 나타냈고 평균은 2.15 %, 순환골재 13 mm의 경우 4.08~4.29 % 범위를 나타냈고 평균은 4.16 %의 구재 아스팔트 함량이 나타났다.

현재 GR F 4041에서는 순환골재의 아스팔트 함량을 3.8% 이상으로 규정하고 있으며, 본 실험의 평가결과 아스팔트 콘크리트 순환골재 25mm는 품질기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 이는 순환골재를 파쇄하여 선별할 때 25~13 mm에서 작업이 이루어져 단입도 상태로 생산되기 때문으로 판단된다. 기존 순환골재 13mm의 경우에는 품질 기준을 만족한 것으로 확인되었다.

아스팔트 콘크리트 순환골재의 함수율 시험은 KS F 2550에 준하여 실시하였고, 순환골재에 함유되어 있는 구재아스팔트를 고려하여 건조기의 온도를 50±5 °C로 유지하고 24시간 건조하였다. 건조 전의 시료 질량과 건조 후 시료질량을 측정하여 함수율을 산출하였으며 함수율 시험 결과는 [표 5]와 같다.

[표 5] 함수율

No.	Moisture Content(%)		Standard
	25 mm	13 mm	
1	0.6	1.8	5 lower
2	0.7	1.6	
3	0.7	1.5	
4	0.6	1.7	
5	0.7	1.5	
Ave.	0.7	1.6	

[표 6] 씻기 시험 결과

No.	Loss Amount(%)		Standard
	25 mm	13 mm	
1	0.8	1.4	5 lower
2	0.7	1.7	
3	0.5	1.6	
4	0.9	1.4	
5	0.8	1.5	
Ave.	0.7	1.5	

아스팔트 콘크리트 순환골재의 씻기 시험은 KS F 2511에 준하여 건조된 순환골재 시료를 용기에 넣고 시료가 완전히 침수되도록 물을 가한 후 휘저어 굽은 입자와 잔 입자를 완전히 분리시키고 0.08 mm체를 통과하는 잔 입자를 제거한다. 이 작업을 씻은 물이 맑아질 때까지 반복한 후 씻기 전의 건조 질량과 씻은 후의 건조 질량을 측정하여 씻기 시험에서 손실되는 양을 산출하였으며 씻기 시험 결과는 [표 6]에 나타내었다.

아스팔트 콘크리트 순환골재의 이물질 함유량 시험은 KS F 2576 순환골재의 이물질 함유량 시험방법에 준하여 실시하였다. 유기 이물질의 경우는 부피 측정방법으로 순환골재의 전체 부피 및 이물질의 부피를 측정하여 이물질 함유량을 부피측정 방법 식 (2)과 같이 산출하고 무기 이물질의 경우는 시험용 순환골재의 질량과 순환골재 중에 포함되어 있는 무기 이물질의 질량을 측정하여 질량 측정방법 식 (3)에 의하여 산출하였다.

$$B(\%) = \frac{V_2}{V_1 - V_2} \times 100 \quad (2)$$

여기서, B는 이물질 함유량 (%)
 V₁는 순환골재 전체 부피
 V₂는 이물질 부피

$$B(\%) = \frac{W_2}{W_1} \times 100 \quad (3)$$

여기서, B는 이물질 함유량 (%)
 W₁는 순환골재 시료 질량
 W₂는 순환골재 이물질 질량



그림 1. Test of Foreign Matter Content

현재 아스팔트 콘크리트 순환골재에 포함되어 있는 각종 이물질을 제거하기 위하여 Trommel screen, Grizzly feeder, 인력선별, 자력선별 등 다양한 이물질 제거 공정을 구성하고 있다. 이와 같은 폐아스팔트 콘크리트 중간처리 시스템에 의해 생산된 순환골재의 이물질 함유량 시험결과를 [표 7]에 나타내었다. 비닐과 같은 유기 이물질의 경우는 평균 0.04 ~ 0.05 %의 특성을 나타냈고 무기 이물질의 경우는 0.13 ~ 0.14 %를 나타냈다. 따라서 투입되는 폐아스팔트 콘크리트에 따라 이물질 함유량이 차이를 나타내기는 하였으나 그 정도는 매우 미소한 수

[표 7] 유기이물질함량

No.	Organic Foreign Matter(%)		Nonorganic Foreign Matter(%)		Standard
	25 mm	13 mm	25 mm	13 mm	
1	0.05	0.04	0.15	0.14	1.0 lower
2	0.03	0.06	0.14	0.10	
3	0.03	0.04	0.10	0.11	
4	0.03	0.06	0.11	0.13	
5	0.05	0.07	0.21	0.15	
Ave.	0.04	0.05	0.14	0.13	

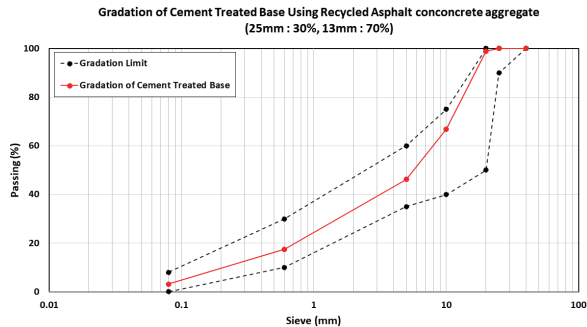
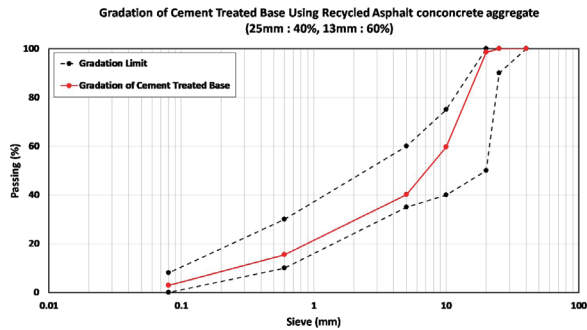


그림 2. Foreign Matter Content

준으로서 현재 GR에서 규정하고 있는 이물질 함유량 기준치 5.0% 이하를 모두 충족시키는 것으로 나타났다.

본 실험에서는 우수재활용제품 인증 순환 상온 아스팔트 혼합물(GR F 4026) BB-1CR 표준배합의 골재 최대 사이즈 25 mm로 아스팔트 콘크리트용 순환골재를 파쇄하여 생산한 골재를 사용하였다. 시험결과 생산되는 순환골재 25 mm와 순환골재 13 mm의 체가름 시험을 진행하였고, [표 8]과 같이 사용비율에 따라 혼합입도를 적용한 결과 GR F 4026에서 규정하고 있는 BB-1CR 입도 범위를 모두 충족시키는 것을 확인하였다.

[표 8] 골재 입도 분석

Sieve Size (mm)	Passage Mass Percentage		
	Standard	Ratio (25mm:13mm)	
		4:6	3:7
40	100	100	100
25	90~100	100	100
20	50~100	98.5	98.9
10	40~75	59.6	66.9
5	35~60	40.2	46.2
0.6	10~30	15.4	17.5
0.08	0~8	2.8	3.2

5. 맺음말

구조 안정성, 내구성, 경제성 등을 확보한 도로 기층재 개발을 위해 생산한 아스팔트 콘크리트 순환골재의 도로 기층 구성 재료의 적용성 평가를 위해 구제 아스팔트 함량, 찢기 시험에서 손실되는 양, 유무기 이물질 함량, 입도를 평가하였고 도로 기층재로의 품질 기준의 적합성을 확인하였다. 향후 본 연구를 통하여 아스팔트 콘크리트 순환골재의 도로 기층재로 활용성이 증대될 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Road Status, Korea Statistical Information Service, Korea, (in Korea)
2. Choi, Y. L., Kim, I. T., Lim, N. Y., and Cho, Y. H. (2008) Application of recycled aggregates for asphalt concrete base, Korean Society of Road Engineers, 10(a), 233-241.
3. Kwak, N. K. (2013) Study on engineering characteristics of roadbed mixed with GMX, Doctor Thesis, Department of Civil Engineering, University of Seoul, Seoul, Korea.
4. GR F 4041 (2018) Asphalt Concrete Recycled Aggregates, Good Recycled Products Information System(GR), Seoul, Korea, (in Korea)

담당 편집위원 : 김낙현(그리너스)

●● 학회 특별회원사 동정 안내

Magazine of RCR(한국건설순환자원학회지)은 계간으로 발행되어 회원을 비롯한 관련 업계, 학계, 유관기관 및 단체 등에 배포되고 있습니다. 특별회원사의 최신 정보 및 기술현황 등의 홍보사항을 학회지에 무료로 게재하여 널리 홍보하고자 하오니 관심 있는 특별회원사는 아래 사항을 참조하여 원고를 송부하여 주시기 바랍니다.

1. 특별회원사 홍보내용

특허, 신기술, 신제품, 수상실적, 세미나 및 시연회, 사회공헌 등

2. 원고 분량

A4 2~4매 내외이나 특별한 제한이 없음(그림 또는 사진 포함 가능)

3. 보내실 곳

한국건설순환자원학회 오경숙 국장(E-mail : rcr@rcr.or.kr, Tel. : 02-552-4728)