

제강슬래그 및 순환골재로 천연골재를 대체한 아스팔트 혼합물(천연 골재 FREE 아스팔트 혼합물)의 개발 필요성

Necessity of developing the asphalt concrete with steel slag and reclaimed asphalt pavement replacing natural aggregates (Natural aggregates free asphalt concrete)



박경원 Kyung-Won Park
에스지이 주식회사
기술연구소 전무
E-mail : pkw4425@saholdings.co.kr

제강슬래그는 골재로 사용하는 경우 우수한 성질을 가지고 있으나 아스팔트 혼합물용 골재로 재활용은 제대로 이루어지지 못하고 대부분 저부가가치의 성토 및 복토 용도로 활용되고 있는 실정이다. 이에 본 고에서는 제강슬래그 및 아스팔트 순환골재로만 구성되어 천연골재를 사용하지 않는 아스팔트 혼합물의 실내시험 결과, 문제점 및 해결방안 및 본 고에서 제안한 기술의 산업화에 따른 기대효과에 대하여 소개하고자 한다.



장동복 Dong-Bok Jang
에스지이 주식회사
기술연구소 대리
E-mail : insangfa2001@saholdings.co.kr

1. 아스팔트 혼합물용 골재의 사용현황

1.1. 천연골재

2018년 국토교통부의 제6차 골재 수급 기본계획에 따르면 2023년의 골재 수요 예상량은 266,019,000 m³이고 산림파괴 면적은 87,550,000 m²으로 연간 여의도 면적(8,500,000 m²) 대비 103배의 산림이 파괴되어 20년 이내에 천연골재 고갈사태가 발생할 것으로 예측되고 있다.



이종민 Jong-Min Lee
에스지이 주식회사
기술연구소 사원
E-mail : leejm7042@saholdings.co.kr

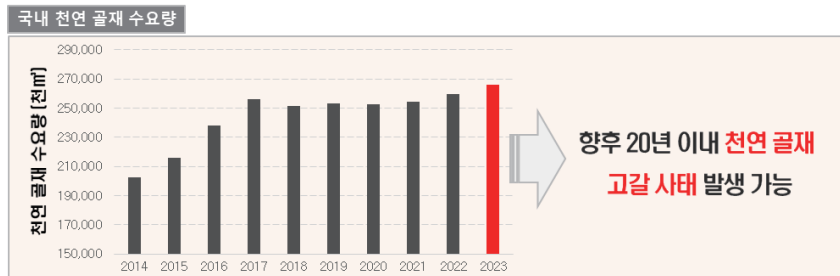


그림 1.1 2018년 국토교통부 제6차 골재수급 기본계획

1.2 제강슬래그의 재활용 현황

2019년 13개 제강사를 대상으로 조사한 결과(한국철강협회, 2019)에 따르면, 국내 제강슬래그 발생량은 11,119천 톤으로 10,770천 톤이 재활용되어 96.9%의 재활용률을 보이고 있다. 활용 용도는 성토용골재(45%), 제철원료(21%), 도로 기층 및 보조기층용 골재(16%), 토목용골재(6%) 등으로 재활용 되고 있어 고부가가치의 아스팔트 혼합물용 골재로는 활용되지 않고 있다.

1.3 순환골재

2019년 기준 순환골재 공공시장 실적으로 654건, 금액 11.8억 규모로 납품규모가 상당히 증가하였다. 아스팔트 혼합

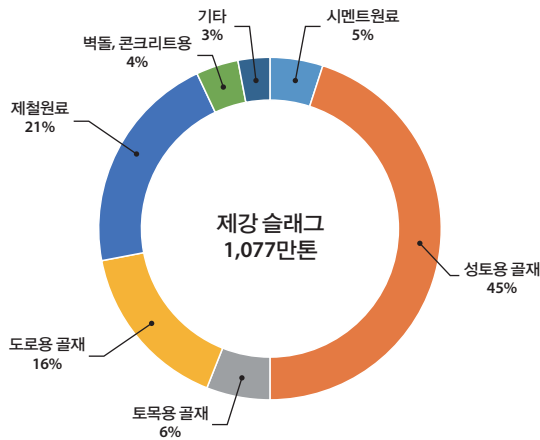


그림 1.2 국내의 슬래그 재활용 현황 (2019, 한국철강협회)

물의 공공시장 규모는 20년 57,348건, 1,975억 원으로 납품 건수 및 금액이 상당히 증가하였는데 이는 순환골재를 활용한 재활용 아스팔트 혼합물을 포함한 것으로 도로포장재의 대체재로서 순환골재의 수급량이 증가하고 있다.

2. 천연 골재 FREE 아스팔트 혼합물의 개발

본 고는 상기 언급한 천연골재의 부족 문제를 해결하기 위하여 천연골재를 사용하지 않고 제강슬래그 및 순환골재로 구성된 아스팔트 혼합물에 대한 실내시험을 실시하였다.

2.1 제강슬래그 골재의 체적 특성시험

제강슬래그 골재는 <그림 2.1>에 나타난 바와 같이 일반골재에 비해 검정색의 다공성이며 거친 표면조직을 나타내고 있다. <그림 2.2>와 같이 체적특성 시험결과 일반 골재의 공극($V_{pp} = 0.022$) 대비 제강슬래그 골재의 공극($V_{pp} = 0.044$)은 2배 높고 아스팔트를 흡수하는 공극(V_{ap})은 2.4배 높은 것으로 분석되었다.

2.2 제강슬래그 골재의 역학적 특성시험

천연 골재 FREE 아스팔트 혼합물을 개발하기 위하여 [표 2.1]과 같이 제강슬래그 골재의 특성 시험을 실시하여 천연골재와 비교하였다. 시험결과 마모감량, 안정성, 편장석 함유량, 동적수침피복률 등 모든 항목에서 제강슬래그 골재는 천연골재보다 우수한 것으로 조사되었다.

[표 1.1] 국내 도로포장재 관련 공공시장 규모(조달정보개발포털)

구 분	2016년		2017년		2018년		2019년	
	건 수	금액 (억 원)	건 수	금액 (억 원)	건 수	금액 (억 원)	건 수	금액 (억 원)
순환골재	318	8.9	489	11.5	488	11.5	654	11.8
아스콘	47,542	1,772	51,658	1,858	57,860	1,869	57,348	1,975


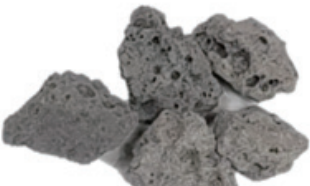
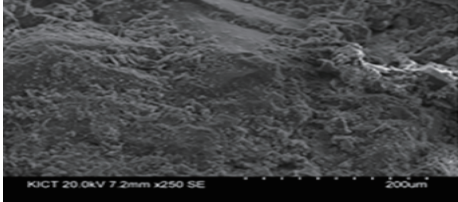
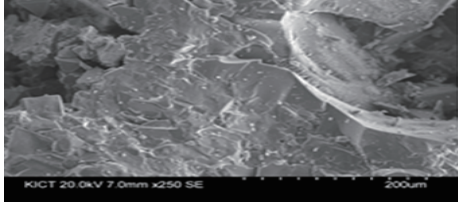
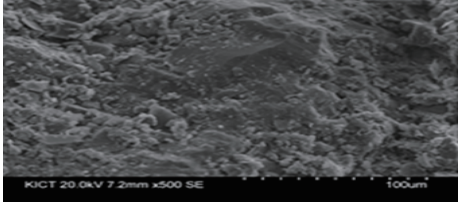
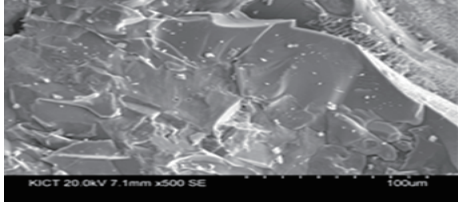
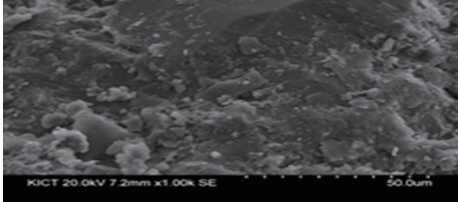
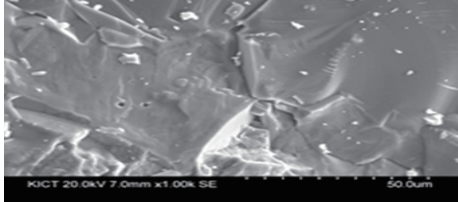
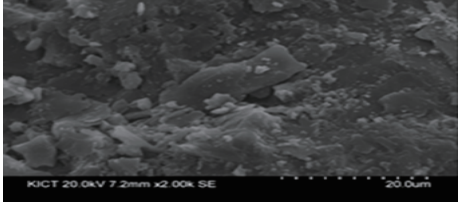
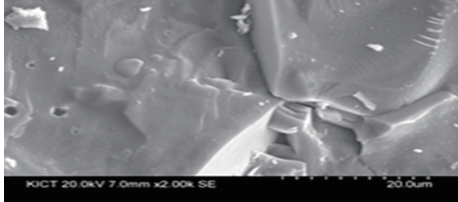
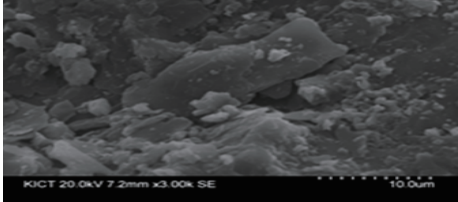
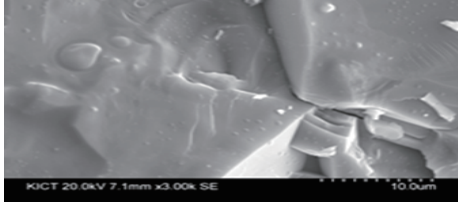
적용 배율	일반 골재	제강슬래그 골재
육안		
250	 <p>KICT 20.0kV 7.2mm x250 SE 200um</p>	 <p>KICT 20.0kV 7.0mm x250 SE 200um</p>
500	 <p>KICT 20.0kV 7.2mm x500 SE 100um</p>	 <p>KICT 20.0kV 7.1mm x500 SE 100um</p>
1000	 <p>KICT 20.0kV 7.2mm x1.00k SE 50.0um</p>	 <p>KICT 20.0kV 7.0mm x1.00k SE 50.0um</p>
2000	 <p>KICT 20.0kV 7.2mm x2.00k SE 20.0um</p>	 <p>KICT 20.0kV 7.0mm x2.00k SE 20.0um</p>
3000	 <p>KICT 20.0kV 7.2mm x3.00k SE 10.0um</p>	 <p>KICT 20.0kV 7.1mm x3.00k SE 10.0um</p>

그림 2.1 제강슬래그 골재 및 일반 골재의 형상 (SEM분석 결과)

부피				중량	
슬래그 골재		일반 골재		슬래그 골재	일반 골재
Vpp 0.044	Vap 0.0385	Vpp 0.022	Vap 0.0161	3.620	2.690
	Vpp-Vap 0.0055		Vpp-Vap 0.0055		
Vs 0.956		Vs 0.978		Vs	

그림 2.2 제강슬래그 골재 및 일반 골재의 체적 특성 비교 결과

[표 2.1] 제강슬래그 골재와 일반슬래그 골재의 성능 비교

시험항목	단위	13~5 mm		13 mm 단입도		10 mm 단입도	
		일반	슬래그	일반	슬래그	일반	슬래그
절대건조밀도	g/cm ³	2.66	3.71	2.69	3.62	2.67	3.60
흡수율	%	1.13	1.14	0.59	1.20	0.62	1.23
마모감량	%	13.9	16.9	25.5	21.3	26.2	19.9
안정성	%	1	1	3.5	2.2	3.7	2.5
편장석 함유량	%	13	1	2.5	2.8	3.1	2.2
파쇄면 비율	%	100	100	100	100	100	100
동적수침피복률	%	55	54	54	51	55	52

2.3 천연 골재 FREE 아스팔트 혼합물의 실내시험

천연 골재 FREE 아스팔트 혼합물을 제조하기 위하여 마샬 배합설계를 수행한 결과 1등급 제강슬래그 30%, 순환골재 60%, 아스팔트 바인더 2.3% 및 채움재 및 재생첨가제 7.7%의 최적 배합비를 산출하였다. 최적배합비로 구성된 설계혼합물에 대한 품질시험 결과 [표 2.1]과 같이 아스팔트 혼합물의 체적특성은 일반 골재 혼합물과 유사한 수준으로 나타났으며 인장강도비 (TSR) 110%, 간접인장강도 126%, 터프니스 105% 및 동적 안정도 145%로 균열저항성, 박리저항성, 소성변형 저항성 모두 향상되는 것으로 분석되었다.

이러한 천연 골재 FREE 아스팔트 혼합물의 우수한 성능은 제강슬래그 골재의 높은 내부마찰각 및 높은 밀도에 의하여 혼합물의 내구성 증가시키는 것으로 판단되며, 높은 공극률은

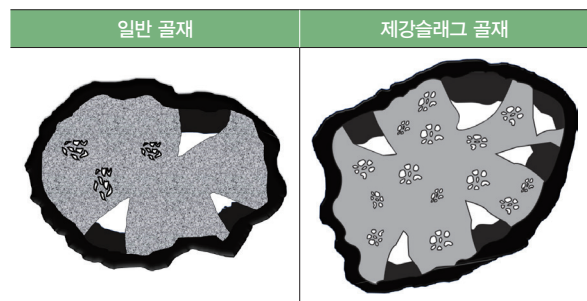


그림 2.3 아스팔트-골재 PLUG 형성 비교

<그림 2.3>과 같이 일반 골재 대비 다수의 아스팔트-골재 PLUG를 형성하여 물리적 결합을 강화함으로써 항복힘모멘트에 대한 형상계수 및 탄성계수를 증가시켜 수분저항성(포트홀 발생 저항성), 소성변형 저항성(동적안정도) 및 균열 저항성(간접인장강도)을 높이는 효과를 가지는 것으로 판단된다.

[표 2.1] 천연 골재 FREE 아스팔트 혼합물과 일반 아스팔트 혼합물의 성능비교

항 목	기준 (GR F 4005)	아스팔트 혼합물의 성능	
		일반 아스팔트 혼합물	천연 골재 FREE 아스팔트 혼합물
마찰안정도 (N)	5,000 이상	11,613	16,750
흐름값 (1/100cm)	20~40	34	27
혼합물 체적특성	공극률 (%)	3~6	4.1
	포화도 (%)	65~80	76
	골재간극률 (%)	14.0 이상	17.3
인장강도비 (TSR)	0.80 이상	0.80	0.88
간접인장강도 (N/mm ²)	0.80 이상	1.19	1.5
터프니스 (N · mm)	8,000 이상	14,422	15,184
동적안정도 (회/mm)	750 이상	1,801	2,603

3. 기술개발에 따른 문제점 및 연구방향

3.1 기술적 문제점 및 연구방향

본 고 제안기술은 (1) 제강슬래그와 순환골재로 구성된 아스팔트 혼합물의 역학적 특성을 보다 면밀히 관찰하기 위해서는 반복하중 및 온도변화에 따른 거동특성 분석시험, 장기공용성 시험을 통한 품질검증, 시험시공을 통한 현장검증 및 구조적 성능 평가, 포장상태 장기 모니터링 등의 연구가 필요하고 (2) 고품량 순환골재(60%)를 사용함으로써 현장 장시간 대기 또는 동절기 시공 시 기존 아스팔트 혼합물과 비교하여 온도의 감소속도가 빠른 단점을 가지므로 아스팔트 혼합물의 온도 저하시 다짐도 부족으로 인한 도로포장 조기파손, 포트홀 발생의 기술적 문제가 예상된다. 상기 문제를 해결하기 위해서는 계면활성제 성분의 첨가제를 이용하여 수소결합을 유도함으로써 아스팔트 혼합물의 온도가 급감하여도 다짐도를 확보하여 천연 골재 FREE 아스팔트 혼합물의 시공완성도를 높일 수 있을 것으로 기대된다.

3.2 환경적 문제점 및 연구방향

본 고 제안기술은 고품량 순환골재(60%)를 사용함으로써 기존 기술보다 악취 발생의 우려가 높다. 상기 문제를 해결하기

위해 선진외국에서 적용하고 있는 약액세정방법을 이용하여 아스팔트 혼합물의 제조, 운반, 시공과정에서 발생하는 악취를 제거하기 위한 기술개발이 필요한 것으로 판단된다.

4. 천연 골재 FREE 아스팔트 혼합물의 산업화에 따른 기대효과

본 고에서 제안하는 천연 골재 FREE 아스팔트 혼합물의 개발을 통해 제강슬래그 및 순환골재로 천연골재 사용량을 대체하는 경우, [표 4.1]과 같이 연간 여의도 면적의 4.47배에 해당하는 산림을 보호함으로써 연간 20,201 톤의 CO₂ 저감 효과를 기대할 수 있는 것으로 분석되었다.

5. 제언

인류의 역사가 발전과 쇠락을 거듭하는 과정에서 철의 발견은 강력한 왕권 통치 국가 발생을 통한 근대 국가발생의 주요 원인이다. 우리 생활에 반드시 필요한 철은 생산과정에서 소석회 등을 이용하여 불순물을 제거하며 이러한 과정에서 제강슬래그가 발생한다. 철성분 및 소석회 등이 포함된 제강슬래그는 인류가 철을 이용하는 동안 무한히 발생하는 “인류가

[표 4.1] 슬래그 골재 재활용에 따른 연간 산림보호 및 CO₂ 저감 효과

구분	연간 골재 수요량 (천 m ³)	산림파괴 면적 (천 m ²)	여의도 면적* 대비
연간 사용량	266,019**	87,550	103
천연골재 최대 대체량	11,545***	3,800	4.47
연간 CO ₂ 저감 효과****		20,201 톤	

* 여의도 면적 = 8,500,000 m²
 ** 2023년의 골재수요 예상량, 국토교통부
 *** 천연골재 최대 대체량(2019 한국철강협회 통계자료를 분석함)
 **** 소나무 임령 단위면적 당 CO₂ 흡수량 5.38 톤/ha/년, 산림청 2009

구분	현재 재활용 비율 (%)	제안기술의 재활용 예상량	
		중량 (천 톤)	부피 (천 m ³)
성토용	45	4,846.5	7,754.4
도로(보조기층)용	16	1,723.2	2,757.1
토목용	6	646.2	1,033.9
합계	67	7,215.9	11,545.4

만든 돌”로서 우리의 생활과 더불어 갈 것이다. 이러한 제강 슬래그는 앞서 언급한 바와 같이 자신의 우수한 골재로서의 성질을 발휘하지 못하고 현재 “부산물”로 성토 및 복토 용도로 땅속으로 매립되고 있다.

천연 골재 FREE 아스팔트 혼합물을 개발하여 제강슬래그를 성토 및 복토 용도로 땅속으로 매립하지 않고 아스팔트 혼

합물용 골재로 활용하면 여의도 면적의 4.47배에 해당하는 산림을 보호함으로써 연간 20,201 톤의 CO₂를 저감할 수 있다. 이를 실현하기 위해서는 기술개발 및 기술의 확대 보급을 위한 제도개선, 제강슬래그 생산구조의 혁신 등 산-학-연-정부가 공동체를 구성하여 “인류가 만든 돌”의 부가가치를 높여 탄소중립화에 동참하고자 제언하는 바이다.

담당 편집위원 : 김혁중(한경대학교)