

국내외 순환잔골재의 품질현황에 관한 조사연구

An Examination Study on Quality of Recycled Fine Aggregate in Home and Abroad

임현웅* 김재환** 이종구*** 이도현**** 이상수***** 송하영*****
 Lim, Hyon-Ung Kim, Jae-Hwan Lee, Jong-Gou Lee, Do-Heun Lee, Sang-Soo Song, Ha-Young

Abstract

In this study, recently it is urgently required that recycle promotion of construction and demolition waste concrete because urban development is accelerated and redevelopment project is rapidly expanded, production quantity of construction and demolition waste concrete is being increased. On the other hand, it is urgently required that problem solution of demand and supply unbalance of fine aggregate because the sea sand is restricted by exhaustion of river sand and intensification of environment influence evaluation.

Therefore, it tries to conform in time necessity, there is the objective of this study to provide the fundamental data about the re-application as the comparison and analysis the quality present condition for the recycled fine aggregate in the inside and outside of the country. At the same time it will be able to improve the quality of the recycled fine aggregate waste as investigating the physical nature and a quality present condition of the recycled fine aggregate from construction waste.

키 워 드 : 순환잔골재, 폐기콘크리트, 제조장치, 고품질, 품질조사

Keywords : Recycled fine aggregate, Waste concrete, Manufacturing system, High-quality, Quality examination

1. 서 론

18C이후 전세계는 산업혁명(Industrial Revolution)이라는 사회·경제적인 변혁과 함께 새로운 산업구조의 변화가 일어남에 따라 대량생산·소비를 통한 인간의 생활을 윤택하게 하는 계기를 마련하게 되었다. 그러나 20C이후 이로 인해 발생하는 환경오염 및 자원고갈 문제가 크게 대두되고 있는 가운데 21C의 생산활동에 대한 새로운 방향으로서 향후 환경적으로 건전하고 지속적인 발전(Sustainable Development)이 가능한 경제사회의 시스템 구축이 시급히 요구되고 있다.

특히 건설산업은 타 산업에 비하여 막대한 천연자원을 소비하고, 콘크리트구조물의 라이프사이클(Life Cycle), 즉 구조물의 신축, 해체 및 재활용에 있어서 막대한 양의 건설폐기물을 발생시킴으로서 지구환경에 미치는 악영향이 매우 크기 때문에 건설산업을 친환경적 산업구조로 전환시키기 위해 라이프사이클 중 발생하는 막대한 양의 건설폐기물을 재활용할 필요성이 전세계적으로 급격히 모색되고 있다.^{2),5)}

한편, 콘크리트 용적의 70~80%를 차지하는 골재의 국내

현황을 살펴보면, 1970년대부터 골재수요 증가에 따른 무분별한 골재의 채취로 인한 천연골재자원의 고갈, 석산개발 및 바다모래 채취에 대한 환경규제의 강화로 인해 콘크리트용 골재, 특히 잔골재의 수급문제가 건설산업분야에서 시급히 해결해야 할 과제로 야기되고 있다.^{1),5)}

이에 따라 정부에서는 1986년 환경보전법으로부터 폐기물관리법을 분리·제정, 1993년에는 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률을 제정, 순환골재 사용시 사용비율에 따른 건축물의 용적율 완화, 2005년부터 일본과 같이 토목공사에서 폐기콘크리트, 페아스팔트콘크리트 등의 지정부산물을 30% 이상 사용할 것을 의무화등의 규정을 적용하는 등 순환골재의 재활용 촉진을 위한 정책을 적극적으로 추진하고 있으며, 폐기물 콘크리트를 활용한 순환골재의 제조기술 및 활용방안에 관한 연구가 다각적으로 진행되어 순환골재의 경우 국내에서도 품질고급화 기술이 개발되어 구조체 및 비구조체에 사용되고 있으나, 일부 선진국에서는 순환골재를 실제 콘크리트구조물에 적용하고 있는 것이 보편화된 실정이다.^{3),4)}

이러한 시대적인 필요성에 의거하여 본 연구에서는 국내외 순환잔골재의 품질현황을 비교·분석하여 건설폐기물 순환잔골재의 재활용에 대한 기초 자료를 제공하고, 건설폐기물 순환잔골재의 각종 품질 현황을 조사하여 문제점을 파악한후, 순환잔골재 활용의 확대 및 고부가가치의 창출을 위한 기초 자료를 제시하고자 하였다.

* 정회원, 한밭대학교 건축공학과 대학원, 석사과정

** 정회원, 한밭대학교 건축공학과, 겸임교수, 공박

*** (주)광산기공, 대표이사

**** 정회원, 대한주택공사 주택도시연구원, 연구위원, 공박

***** 정회원, 한밭대학교 건축공학과, 조교수, 공박

***** 정회원, 한밭대학교 건축공학과, 교수, 공박

2. 연구개요 및 방법

2.1 연구개요

본 연구에서는 국내·외에서 생산되는 순환잔골재 중 콘크리트용으로 사용되고 있거나 비교적 양질이라고 알려진 순환잔골재를 대상으로 콘크리트용 골재로서 요구되는 각종 품질에 대한 수준을 파악하고자 하였다.

2.2 조사대상 및 항목

2.2.1 국내 순환잔골재의 경우

국내 순환잔골재의 선정은 대한건설폐기물 공제조합의 추천업체와 환경부 관련자료에서 시설 및 규모가 큰 업체를 대상으로 1차 조사를 실시한 후, 비교적 양질의 순환잔골재 10종을 표 1과 같이 선정하였으며, 시험항목은 표 2와 같다.

표 1. 지역분포		표 2. 대상 시료의 품질시험항목	
지역	순환잔골재	KS F 2573 규정 항목	본 연구의 검토 항목
수도권	4	①입도	① + ② + ③ + ④ + ⑦ ⑧이물질함유량 ⑨안정성 ⑩유기불순물 (잔골재)
충청권	1	②절대건조밀도	
호남권	2	③흡수율	
경상권	3	④0.08mm체 통과량	
		⑤입자모양판정실적률	
계	10	⑥압축강도	
		⑦마모감량	

2.2.2 국외 순환잔골재의 경우

국외 순환잔골재의 선정은 '2002~2005년에 발간된 순환잔골재와 관련된 AIJ, JCI 및 CCR의 논문집의 내용을 분석하여 국내에서 생산되는 순환잔골재의 생산방식과 유사한 시설에서 생산된 제품중 고품질 순환잔골재의 품질현황을 선정하였으며, 조사항목은 국내의 시험항목과 동일하게 한다.

2.3 평가기준

순환잔골재의 품질평가를 위한 참고기준은 표 3과 같이 KS F 2573 (콘크리트용 재생골재) 과 일본의 건축공사 표준시방서 (JASS 5, 2003년 개정판) 를 중심으로 하고, 안정성은 「콘크리트부산물물의 재이용에 관한 용도별 잠정품질기준 (안)」 (일본국 토교통성, 1994.4) 을 준용하였으며, 유기불순물 함유량은 KS F 2526 (콘크리트용 골재) 의 규정을 준용하였다. 이물질 함유량은 부피기준으로 1% 이하를 기준으로 하였다.

표 3. 순환잔골재의 품질평가 참고기준

구분	순환잔골재 (KS F 2573)	일본건축공사 표준시방서 (JASS 5)
절대건조밀도 (g/cm ³)	2.2 이상	2.5 이상
흡수율 (%)	5.0 이하	3.5 이하
입자모양판정 실적률 (%)	53 이상	53 이상
0.08mm체 통과량	7.0 이하	7.0 이하
시험에서 손실된 양 (%)	7.0 이하	7.0 이하
알칼리골재반응		무해할 것
1.95 부유불순물량 (%)	-	1.0 이하
안정성 (%)	10	-
이물질함유량 (%)	유기이물질	1.0 이하 (용적)
	무기이물질	1.0 이하 (질량)

3. 조사결과 및 고찰

표 4는 국내에서 생산되는 순환잔골재 중 비교적 양질의 시료 10종에 대한 물리적 특성을 시험한 결과이다.

표 4. 국내 순환잔골재의 품질항목별 시험결과

시료번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
조립율	3.14	2.97	3.02	2.83	3.28	3.41	2.99	3.34	2.74	3.11
절건밀도 (g/cm ³)	2.31	2.30	2.41	2.14	2.26	2.36	2.43	2.35	2.48	2.32
흡수율 (%)	5.20	5.42	3.66	7.40	6.57	4.08	3.51	3.97	2.31	4.26
단위용적질량 (kg/cm ³)	1473	1460	1567	1363	1443	1561	1573	1501	1580	1554
0.08mm 통과량 (%)	2.11	4.17	3.29	7.50	8.78	3.27	1.33	3.13	3.41	3.89
안정성 (%)	6.1	4.1	3.1	7.6	8.1	4.3	3.6	5.7	2.0	4.1
이물질함유량 (%)	0.1	1.5	0.5	2.0	1.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
유기불순물	표준색보다 연함									

표 5는 '2002~2005년에 발간된 순환잔골재와 관련된 AIJ, JCI 및 CCR의 논문집의 내용을 조사한 내용이다.

표 5. 국외 순환잔골재의 품질항목별 조사결과

시료번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
조립율	2.96	2.86	3.10	3.02	3.06	2.54	2.75	3.13	3.07	3.04
절건밀도 (g/cm ³)	2.53	2.52	2.57	2.57	2.44	2.52	2.65	2.61	2.50	2.53
흡수율 (%)	2.37	2.42	2.69	2.03	3.43	2.09	6.27	2.60	2.88	2.45
0.08mm 통과량 (%)	2.14	4.52	3.72	3.41	3.34	2.47	2.09	3.52	2.18	3.29

3.1 입도시험

본 실험은 KS F 2502 (잔골재 체가름 시험 방법)에 따라 국내 순환잔골재의 입도시험을 실시하였으며, 그림 1은 국내 순환잔골재의 입도시험 결과로, 10종의 대상시료 중에서 5종 (No.1, 2, 4, 7 및 9)은 KS F 2573의 각각의 체를 통과하는 질량백분율(%) 범위의 표준입도를 만족하고 있으나, 그 외의 5종 (No.3, 5, 6, 8, 및 10)은 벗어나고 있어 생산공정을 개선할 필요가 있는 것으로 나타났다.

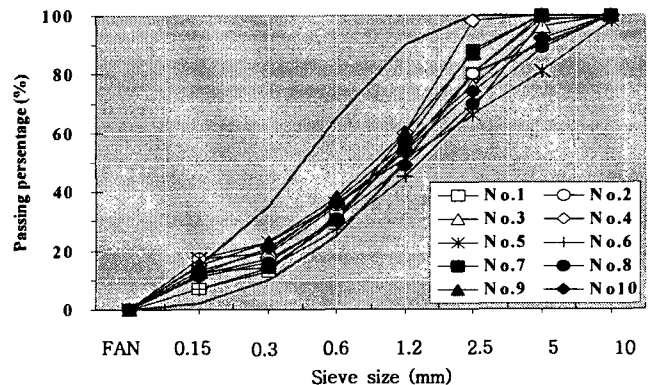


그림 4. 순환잔골재의 입도 분포곡선

3.2 조립율

그림 2는 국내 순환잔골재의 조립율을 나타낸 것으로, 국외의 경우 대상시료 10종의 평균 조립율은 2.95로 나타났고, 국내의 경우 평균 조립율은 3.08로써 콘크리트용 천연잔골재의 권장범위인 2.3~3.1의 범위에 포함되지만, 국외의 경우와 비교하여 다소 굵은입자가 많은 것으로 조사되었다.

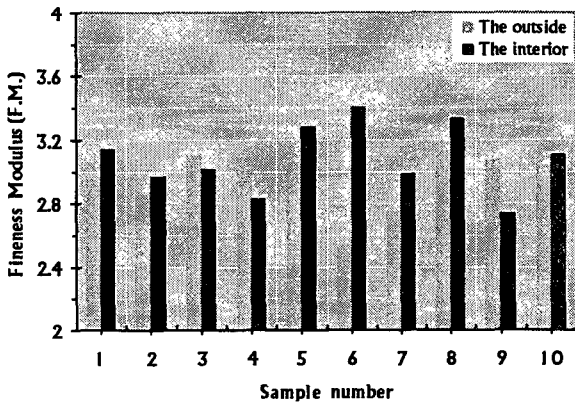


그림 2. 순환잔골재의 조립율

3.3 절건밀도

그림 3은 국내의 순환잔골재 절건밀도 시험결과를 나타낸 것으로, 국내의 경우 10종의 대상시료 중 매립·처분되는 No.4를 제외한 9종의 순환잔골재는 KS F 2573의 절건밀도 기준 (2.2g/cm³ 이상)을 만족하고 있다. 또한, 레미콘용으로 출하 중인 4종(No.3, 6, 7, 및 9)의 제품은 다른 제품보다 상대적으로 높은 수준을 나타내고 있으며, No.9는 절건밀도가 2.48 g/cm³로 천연잔골재에 근접한 품질을 나타내고 있다. 그러나, 국내의 모든 대상시료가 설계기준강도 21 MPa 이상의 구조체 콘크리트용 잔골재로서 필요한 규정치인 2.5 g/cm³ 이상 (KS F 2526 및 JASS 5)을 만족하지 못하는 것으로 나타나 천연잔골재와 동등하게 일반 콘크리트용 잔골재로 사용하기에는 부적합한 것으로 판명되었다.

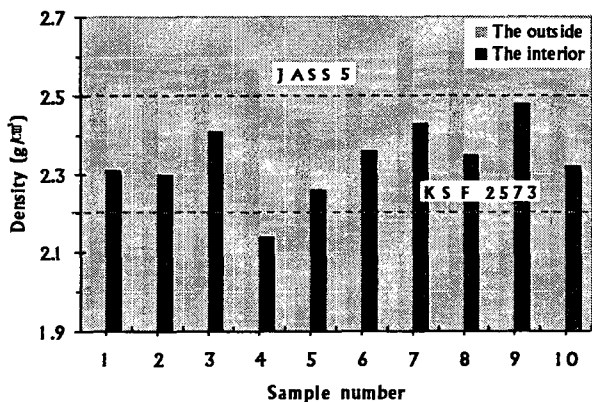


그림 3. 순환잔골재의 절건밀도

3.4 흡수율

그림 4는 국내의 순환잔골재의 흡수율 시험결과로서, 국내의 경우 모든 시료가 KS F 2573의 순환잔골재(2종)의 규정치 (10% 이하)를 만족하였고, 6개의 시료가 순환잔골재(1종)의 규정치 (5% 이하)를 만족하였으며, 1개의 시료만이 JASS 5의

규정치 (3.5% 이하)를 만족하는 것으로 나타났다. 그러나 4개 시료 (No.3, 6, 7 및 8)는 JASS 5 규정치에 근접한 수준을 보이는 것으로 조사되었다. 한편, 국외의 경우에는 대부분순환잔골재가 JASS 5의 규정을 만족시켰다.

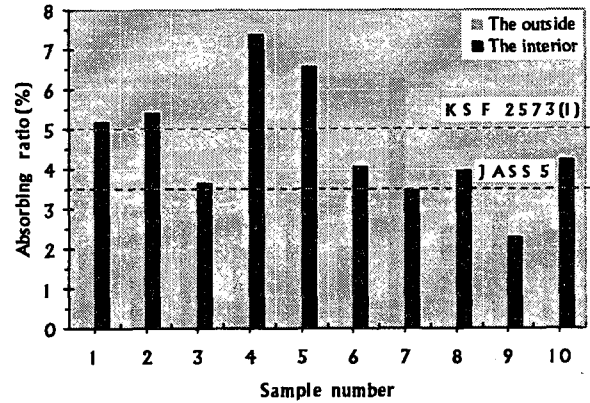


그림 4. 순환잔골재의 흡수율

3.5 단위용적질량

그림 5는 국내 순환잔골재의 단위용적질량 시험결과를 나타낸 것으로, 대상시료 10종의 단위용적질량은 평균 1.508 kg/m³로 조사되어 국내의 기준 1,450kg/m³ 이상(KS F 2544;콘크리트용 고로 슬래그 잔골재)을 만족하고 있으며, 레미콘용 순환잔골재로 사용되는 4종(No.3, 6, 7, 및 9)의 시료는 평균 1.550 kg/m³를 상회하고 있어 단위용적질량 측면에서는 국내의 생산 기술 수준이 확보되어 있다고 판단된다.

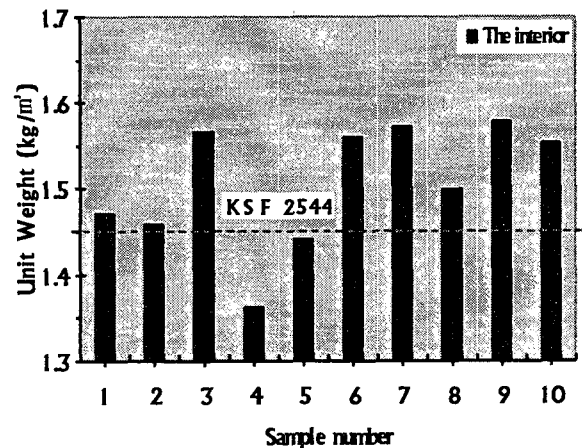


그림 5. 순환잔골재의 단위용적질량

3.6 0.08mm체 통과량

그림 6은 국내 순환잔골재의 0.08 mm체 통과량을 나타낸 것으로, 국내의 경우 매립 또는 콘크리트 2차제품용으로 출하되는 2개시료(No.4 및 5)를 제외한 나머지 대상시료는 순환잔골재의 KS F 2573의 규정치 (7% 이하)를 만족하였고, 콘크리트용 잔골재의 KS F 2526의 규정치 (3% 이하)를 만족하는 시료 (No.1, 및 7)가 조사되어 국내에서 생산되는 순환잔골재를 콘크리트용 잔골재로서 일부 활용이 가능하다고 판단된다.

한편, 국외의 경우 JASS 5의 기준치를 모두 만족시켰으며, 일부 순환잔골재의 경우에는 국내 천연잔골재의 기준치를 만족하는 것으로 조사되었다.

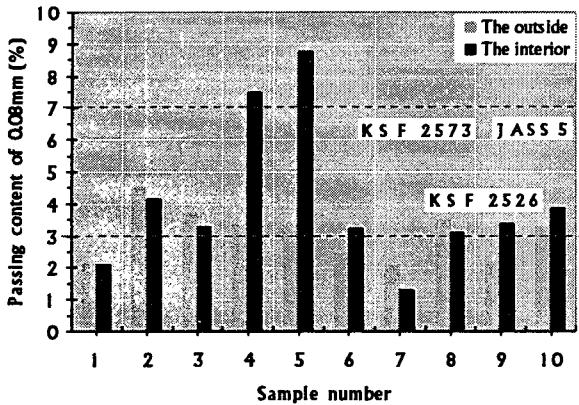


그림 6. 순환잔골재의 0.08mm체 통과량

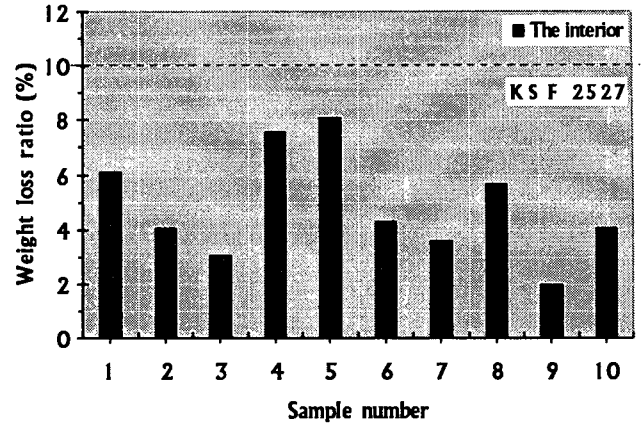


그림 8. 순환잔골재의 안정성

3.7 이물질 함유량

그림 7은 국내 순환잔골재의 이물질 함유량을 나타낸 것으로, 국내에서는 폐기물관리법 및 KS F 2526(콘크리트용 잔골재)의 이물질 함유량을 1% 이하로 규정되어 있으며, 조사결과 일부를 제외하고는 규정치를 만족하고 있는 것으로 조사되었다.

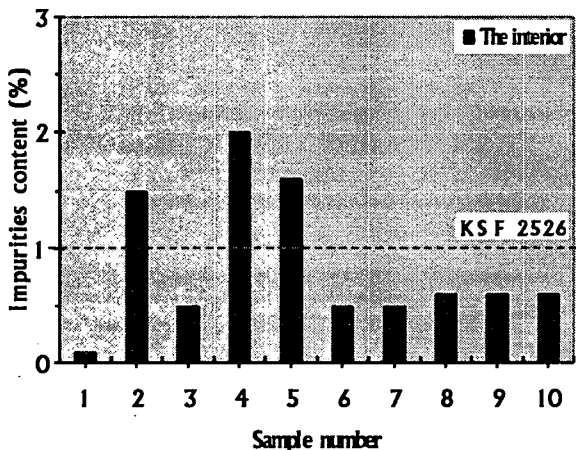


그림 7. 순환잔골재의 이물질 함유량

3.8 안정성 손실질량 및 유기불순물

그림 8은 KS F 2507(황산나트륨에 의한 안정성 손실질량 시험방법)에 의한 시험결과를 나타낸 것으로, 국내 순환잔골재의 대상시료 10종은 모두 상기의 기준값을 만족하는 것으로 나타났다.

현재 이와 관련된 국내 기준의 경우 KS F 2527에서 순환잔골재의 안정성을 10%이하로 규정하고 있으며, 국외의 경우에는 일본국토교통성 「コンクリート副産物の再利用に関する用途別暫定品質基準(案)」에서 순환잔골재 안정성은 10% 이하로 규정되어 있다.

또한, 골재의 유기불순물 함유량은 콘크리트의 응결 및 경화 특성에 악영향을 미치게 된다. 그러나 표 4에 나타낸 바와 같이 국내 조사대상 순환잔골재의 유기불순물 함유량 조사결과, 모든 순환잔골재가 표준치보다 연한 것으로 나타나 콘크리트용 잔골재로 사용하여도 안정성에는 문제가 없는 것으로 확인되었다.

4. 결론

국외의 순환잔골재의 품질 특성을 조사하여 국내에서 생산되는 순환잔골재와 비교·분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 국내 상위 10개 업체를 대상으로 순환잔골재의 품질현황을 조사한 결과, 순환잔골재의 품질 규정인 KS F 2573을 대부분 만족시키는 것으로 조사되었다.
- 2) 반면, 국내 순환잔골재를 구조체 콘크리트용 순환잔골재의 품질을 규정하고 있는 JASS 5(2003년 개정)의 품질수준에는 대부분 만족시키지 못하는 것으로 조사되었으며, 특히 절전밀도 및 흡수율의 품질 개선이 시급한 것으로 조사되었다.

謝辭

본 연구는 건설교통부 05 건설핵심기술연구개발사업(과제번호: 05건설핵심D02)의 지원으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 표합니다.

참고문헌

1. 한국건설기술연구원, 「건설폐기물 리사이클의 품질기준 및 촉진 방안」 건설교통부, 2002
2. 한국건설기술연구원, 「건설폐기물 재활용 촉진을 위한 정책 및 기술개발」, 건설교통부, 2002
3. 주택도시연구원, 「재생콘크리트의 품질관리 기반 조사분석연구」, 대한주택공사, 2003
4. 주택도시연구원, 「순환골재의 재활용 활성화를 위한 과제」, 대한주택공사, 2004
5. 주택도시연구원, 「재생골재 콘크리트의 품질평가 및 관리 방안 수립 연구」, 대한주택공사, 2005
6. 김재환, 「환경부하저감형 콘크리트용 고품질 순환잔골재의 제조 및 고부가 가치활용에 관한 연구」, 2006.02
7. 日本建築學會, 建築工事標準仕様書・同解説(JASS 5), 2003
8. 日本建築學會, 開發の全体概要及び再生骨材コンクリート性状, 石倉 武, 2003
9. 日本建築學會, 機械すりもみ法による再生骨材を用いたコンクリートの長期材齢性状, 久木理應紀, 2003