

습식비중분리시스템에서 생산된 고품질 순환모래를 사용한 모르타르의 품질평가에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Quality Estimation of the Mortar using High-Quality Recycled Sand Produced from the Manufacturing System by Wet Gravity Separation

이 지 환* 노 형 남* 이 종 석* 이 상 수** 송 하 영***
Lee, Ji-Hwan Rho, Hyoung-Nam Lee, Jong-suk Lee, Sang-Soo Song, Ha-Young

Abstract

This study was to execute the experiment for analyzing the quality characteristics of mortar by type of recycled sand by using the recycled sand produced by the manufacturing system by wet gravity separation in order to develop the removal device of impurities for the production of high-quality recycled sand. As a result, this study has shown that the mortar using the high-quality recycled sand through the manufacturing system by wet gravity separation in the fluidity property, strength property, and shrinkage property largely, compared with the mortar using low-quality recycled sand that not passed the device of sand flux. There was a tendency similar to the plane mortar. In conclusion, it was considered as various quality performances of the recycled sand were improved through the production stage of prototype.

키 워 드 : 순환모래, 건설폐기물, 이물질 제거장치, 고품질, 순환골재 모르타르
Keywords : Recycled sand, Construction waste, Sand flux, High-quality, Recycled aggregate mortar

1. 서 론

최근 전 세계적으로 환경오염 및 자원고갈 문제가 크게 대두되고 있는 가운데 21세기의 생산 활동에 대한 키워드로서 향후 환경부하가 작은 지속적 발전이 가능한 경제사회 시스템의 구축이 시급히 요구되고 있다. 특히 건설생산은 타 산업의 생산 활동에 비하여 막대한 자원을 소비하고, 콘크리트 구조물의 라이프사이클(Life Cycle), 즉 구조물의 신축, 해체 및 재활용에 있어서 막대한 양의 건설폐기물을 발생시켜 지구환경에 미치는 영향이 매우 크기 때문에 건설산업을 환경 친화적 산업구조로 전환시키기 위해 콘크리트 구조물의 라이프사이클 중 발생하는 막대한 양의 건설폐기물을 재활용할 필요성이 대두되고 있다.

국내의 건설폐기물 발생량은 매년 2천만톤 이상으로 그 대부분은 건설폐기물 중간처리업체를 통해 선별과정을 거쳐 일부는 매립과 소각, 그리고 전체 발생량의 66%에 이르는 폐콘크리트는 건설폐기물 발생 현장에서 각종 이물질 등이 제대로

분리되지 않고, 건설폐기물 중간처리업체에 의해 파쇄과정을 거치면서 인력, 전자석, 송풍기 및 수중폭기조 등으로 이물질을 분리·선별하고 있으나 생산되는 순환모래에는 다량의 미세한 이물질이 함유되어 있어 품질확보가 곤란하므로 대부분 성토·복토용 등의 저부가가치 용도에 국한되어 사용되거나, 재활용되지 못하고 야적·폐기되고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 고품질 순환모래 생산을 위한 이물질 제거장치를 개발하고자 습식비중분리시스템인 샌드플렉스 장치에서 생산된 순환모래를 이용하여 모르타르의 품질특성을 실험·실증적으로 평가함으로써, 시작품에 대한 성능을 평가하고, 목표 품질의 달성과 향후 성능 보완 및 개선을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 실험개요

본 연구에서 개발한 시작품의 성능을 평가하기 위하여 선별스크린을 거친 단계에서 생산된 순환모래와 습식비중분리시스템인 샌드플렉스 장치를 거친 단계에서 생산된 순환모래를 사용하여 모르타르의 각종 품질특성을 실험·실증적으로 검

* 정희원, 한밭대학교 건축공학과 대학원, 석사과정
** 정희원, 한밭대학교 건축공학과, 조교수, 공박
*** 정희원, 한밭대학교 건축공학과, 교수, 공박

또하여 모르타르용 잔골재로서 순환모래의 고부가가치 활용을 위한 기초자료를 제시하고자 하였다.

2.1 실험계획

표 1 및 표 2는 본 연구의 시작품이 설치된 건설폐기물 중간처리업체의 제조시스템에서 각각 생산된 순환모래의 종류에 따른 모르타르의 품질특성을 평가하기 위한 것으로서, 실험할 골재의 종류는 NS(천연모래), RS-II(선별스크린을 거친 순환모래), RS-IV(샌드플럭스 장치를 거친 순환모래)의 3수준으로 설정하였으며, 물시멘트비는 50%로 하였고, 시멘트 모래의 중량비는 1:2.5로 고정하였으며, 골재치환율은 100%로 하여 실험을 실시하였다. 또한 순환모래를 사용한 모르타르의 품질특성을 비교·평가하기 위해 비빔직후의 플로우 및 공기량을 측정하였으며, 재령 3, 7일 압축강도 및 수축특성을 알아보기 위한 소성수축 실험을 실시하였다.

표 1. 순환모래를 사용한 모르타르의 실험계획

골재종류 ¹⁾	W/C (%)	C:S	치환율 (%)	질량배합(kg/m ³)				SP (%)
				W	C	S	RS	
NS	50	1:2.5	100	380	760	1,900	-	-
RS-II						-	1,900	1.6
RS-IV						-	-	-

주 1) NS:천연모래, RS-II:2차 선별스크린을 거친 순환모래
RS-IV:Sand Flux System을 거친 순환모래

표 2. 순환모래를 사용한 모르타르 실험의 측정항목

측정항목	균지않은 성상	<ul style="list-style-type: none"> 테이블 플로우(mm) 공기량(%)
		균은 성상



그림 1. 건설폐기물 중간처리업체의 순환골재 생산공정도

또한, 그림 1은 현장적용된 건설폐기물 중간처리업체의 순환모래를 생산하기 위한 전체공정도 중 대상시료가 채취된 위치와 순환모래의 품질특성을 평가하기 위한 생산공정도를 나타낸 것이다.

2.2 비빔 및 시험체 제작방법

모르타르의 비빔은 벤취형 모르타르 믹서 (20ℓ)를 사용하여 실시하였으며, 먼저 시멘트와 순환모래를 투입하여 30초간 건비빔한 후 물을 첨가하여 2분간 비빔하여 총 비빔시간이 2분 30초가 되도록 하였으며, 토출 후 플로우테이블을 이용하여 모르타르의 균지않은 성상을 측정하였다. 또한, 압축강도용 시험체는 5×5×5 cm의 큐빅몰드를 사용하여 제작하였으며, 탈형 후 20±2 ℃의 수중에서 표준양생을 실시하였고, 재령 3, 7일에 200 ton 용량의 UTM (Universal Test Machine)을 이용하여 최대하중을 측정한 후 압축강도를 산정하였으며, 소성수축용 시험체는 외측원의지름38cm, 내측원의지름 11cm의 몰드를 사용하여 제작 하였고, 제작 후 40±3 ℃의 건조기에서 24시간 건조 후 육안 관찰을 실시하였다.

3. 사용재료 및 순환모래의 물리적 성질

본 실험에 사용된 시멘트는 보통포틀랜드시멘트(1종)로서 시멘트의 물리적 성질은 표 3에 나타난 바와 같다. 또한, 표 4 및 그림 2~6은 순환모래의 기초 물성평가를 나타낸 것이다.

표 3. 시멘트의 물리적 성질

구분	밀도	분말도 (cm ² /g)	응결시간 (h:m)		안정도 (%)	압축강도 (kgf/cm ²)		
			초결	종결		3일	7일	28일
시멘트	3.15	3,383	4:20	6:35	0.14	211	282	387
KS L 5201	-	≥2,800	≥1h	≤10h	≤0.8	≥130	≥200	≥2wer 90

표 4. 순환모래의 물리적 성질

구분	조립율 (F.M.)	절건밀도 (g/cm ³)	표건밀도 (g/cm ³)	흡수율 (%)	점토덩어리량 (%)	이물질함유량 (%)	
						질량	용적
NS	2.82	-	2.60	1.11	-	-	-
RS-II	3.10	2.34	-	5.64	28.32	1.29	1.43
RS-IV	3.25	2.42	-	4.65	0.34	0.07	0.17

3.1 조립율

그림 2는 대상시료의 조립율을 나타낸 것으로서, KS F 2526(콘크리트용 골재)에서 제시하고 있는 2.3~3.1의 범위에 모두 만족하는 것으로 나타났다.

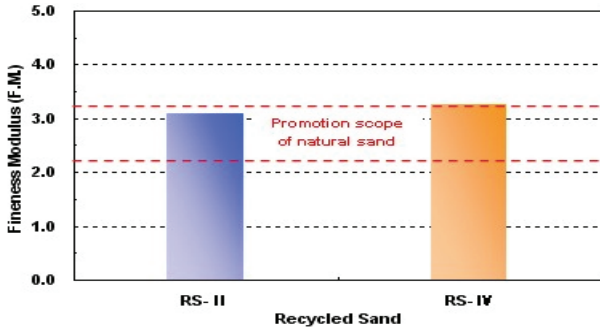


그림 2. 순환모래의 조립율

3.2 절건밀도

그림 3은 대상시료의 절건밀도 시험결과를 나타낸 것으로서, RS-II는 2.34g/cm³, RS-IV는 2.42g/cm³의 범위를 나타내어 KS F 2527(콘크리트용 부순골재) 및 JASS A 5021(H)의 기준에는 만족하지 못하였으나, KS F 2573(순환잔골재)의 기준에는 만족하는 것으로 나타났으며, 샌드플렉스 장치를 거친 RS-IV가 RS-II에 비해 절건밀도가 높은 것으로 나타났다. 이는 플렉스탱크 내부의 부력부가수단에 의해 순환잔골재에 포함된 각종 미세 유기이물질과 미립분 그리고 이에 부착된 일부 모르타르의 제거로 인해 RS-II에 비해 절건밀도 개선효과를 보이고 있는 것으로 판단된다.

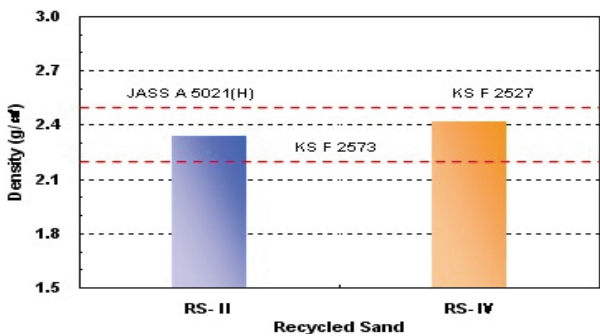


그림 3. 순환모래의 절건밀도

3.3 흡수율

그림 4는 대상시료의 흡수율 시험결과를 나타낸 것으로서 KS F 2527(콘크리트용 부순골재) 및 JIS A 5021(H)의 기준에는 만족하지 못하였으나, RS-IV의 경우 KS F 2573(순환잔골재)의 기준에는 만족하는 것으로 나타났다.

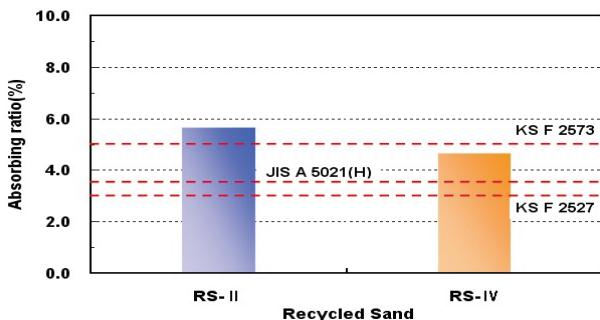


그림 4. 순환모래의 흡수율

3.4 점토덩어리량

그림 5는 대상시료의 점토덩어리량 시험결과를 나타낸 것으로 샌드플렉스 장치를 거친 RS-IV의 점토덩어리량이 RS-II에 비해 현저히 낮아지는 것을 볼 수 있으며, RS-IV의 경우 KS F 2573(순환잔골재)의 기준에 만족하는 것으로 나타났다.

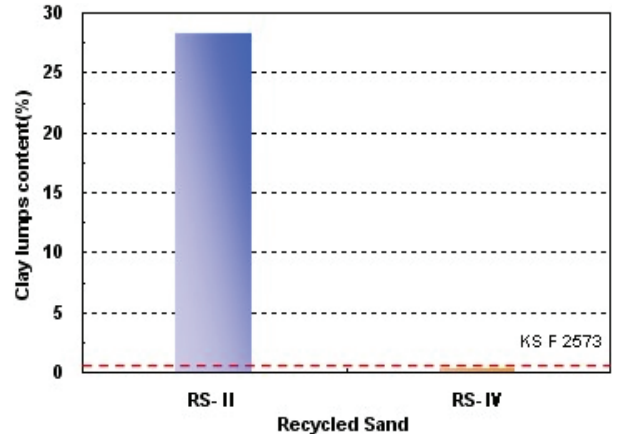


그림 5. 순환모래의 점토덩어리량

3.5 이물질 함유량

그림 6은 대상시료의 이물질 함유량 시험결과를 나타낸 것으로 점토덩어리량 시험결과와 마찬가지로 이물질 함유량이 현저히 감소한 결과를 나타내고 있으며, 샌드플렉스 장치를 거친 RS-IV의 경우 KS F 2573(순환잔골재)의 기준에 만족하는 것으로 나타났다.

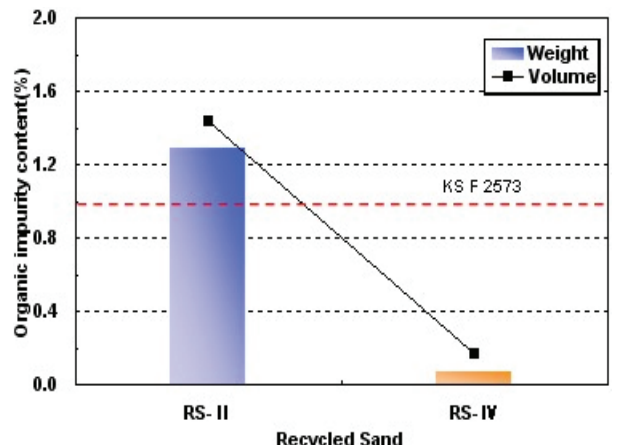


그림 6. 순환모래의 이물질 함유량

4. 실험결과 및 고찰

표 5 및 표 6은 순환모래 종류에 따른 모르타르의 굳지않은 성상 및 굳은 성상을 측정된 결과를 나타낸 것이다.

표 5. 순환모래를 사용한 모르타르의 실험결과

구분		NS	RS-II	RS-IV
테이블 플로우 (mm)		240	161	224
공기량 (%)		6	4	11.5
압축강도 (MPa)	3일	5.25	4.09	5.28
	7일	9.24	7.34	8.91

표 6. 순환모래를 사용한 모르타르의 소성수축변화 실험결과

구분	NS	RS-II	RS-IV
균열 길이 (mm)	No	270	56
균열 폭 (mm)	No	0.3	0.1
균열 면적 (mm ²)	No	81	5.6

4.1 균지않은 성상의 결과 및 분석

그림 7은 비빔직후 플로우의 변화 및 공기량을 나타낸 것으로, 샌드플렉스 장치를 거치면서 플로우의 값이 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 경향은 순환모래에 포함되어 있는 각종 이물질의 종류와 함유량, 순환모래 표면에 부착되어 있는 모르타르 및 페이스트의 부착량에 따른 수분의 흡수와 부착과정을 거치면서 순환모래의 표면이 거칠어짐에 따라 순환모래 입자들 간의 상호 작용이 플로우의 증가에 큰 영향을 끼치는 것으로 판단된다. 또한, 공기량은 샌드플렉스 장치를 거치면서 RS-II에 포함되어있는 이물질과 미립분 및 토분을 제거해 줌으로 인해 RS-IV의 공기량이 증가하는 것으로 판단된다.

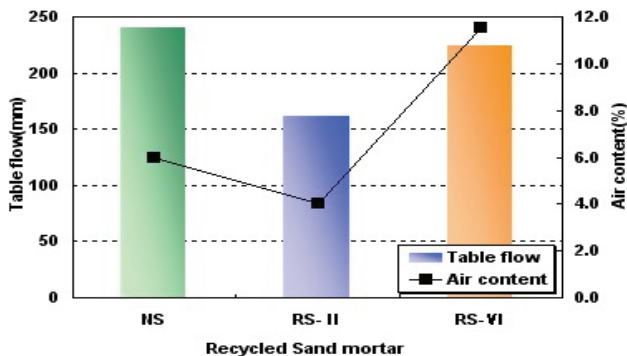


그림 7. 모르타르의 공기량 및 플로우 변화

4.2 굳은 성상의 결과 및 분석

그림 8은 모르타르의 압축강도 시험결과를 나타낸 것으로서, 모래의 종류에 관계없이 재령이 증가할수록 압축강도는 증가하는 경향을 나타내고 있고, 샌드플렉스 장치를 거친 RS-IV의 경우 압축강도 발현이 NS와 동등하게 나타났으며, RS-II에 비해 높은 강도발현 성상을 나타내었다. 이는 순환모래의 표면에 부착되어 있던 모르타르 및 페이스트와 각종 이물질 등 순환모래를 사용한 모르타르의 압축강도 저해요인이 제거되었기 때문인 것으로 판단된다.

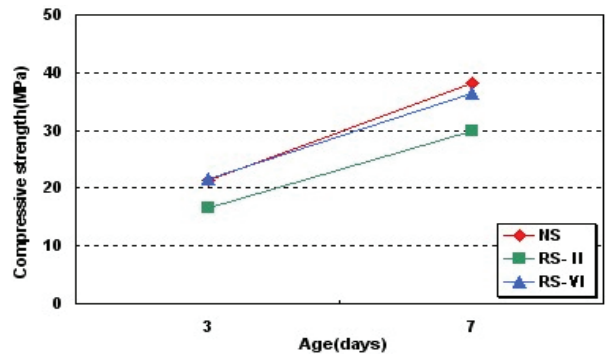


그림 8. 모르타르의 압축강도 변화

또한, 그림 9는 소성수축 변화를 나타낸 것으로서, NS에 비해 다소 균열이 발생 했지만, RS-II에 비해 균열발생량이 현저히 감소되는 성상을 나타내었다. 이는 RS-II에 포함되어 있는 각종 이물질과 미립분 및 토분 등을 제거해 줌으로 인해 RS-IV의 균열발생량이 줄어드는 것으로 판단된다.

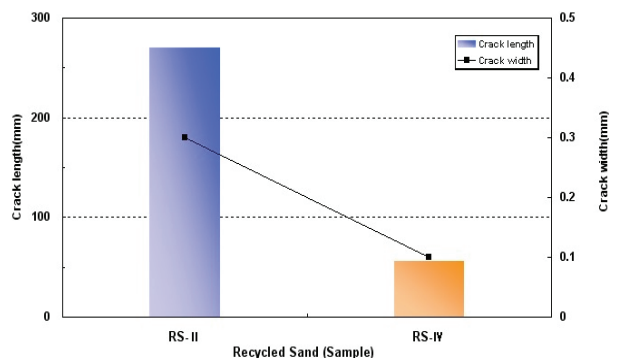


그림 9. 모르타르의 소성수축 변화

5. 결론

샌드플렉스 장치에서 생산된 고품질 순환모래를 사용한 모르타르의 각종 품질평가를 실시한 결과, 다음과 같은 결론은 얻을 수 있었다.

- 1) 샌드플렉스에서 생산된 순환모래의 기초물성을 평가한 결과, 선별스크린을 거친 단계의 순환모래(RS-Ⅱ)에 비하여 샌드플렉스 장치를 통과한 순환모래(RS-Ⅳ)의 품질이 향상되었으며, 점토덩어리량과 이물질 함유량의 경우 품질개선 효과가 큰 것으로 나타났다.
- 2) 선별스크린을 거친 단계의 순환모래(RS-Ⅱ)를 사용한 모르타르 보다 샌드플렉스 장치를 거쳐 최종 생산된 순환모래(RS-Ⅳ)를 사용한 모르타르의 플로우 및 압축강도가 증가하는 경향이 나타났다. 또한, 소성수축 변화를 알아본 결과 이 역시 선별스크린을 거친 단계의 순환모래(RS-Ⅱ)를 사용한 모르타르 보다 샌드플렉스 장치를 거쳐 최종 생산된 순환모래(RS-Ⅳ)를 사용한 모르타르의 균열발생량이 현저히 감소되는 성상을 나타내었다. 이러한 경향은 본 연구에서 개발한 샌드플렉스 장치를 거치면서 순환모래의 각종 품질성능이 개선되었기 때문으로 판단되며, 향후 지속적인 품질평가와 이에 대한 데이터의 축적이 이행되어야 할 것으로 사료된다.

謝 辭

본 연구는 건설교통부 05 건설핵심기술연구개발사업(과제 번호 : 05건설핵심D07)의 지원으로 수행되었으며, 이에 깊은 감사를 표합니다.

참 고 문 헌

1. 김무한 외, 고품질 순환모래 건식생산 시스템의 공정 및 장치의 개발과 개선에 관한 연구, (사)한국콘크리트학회 가을 학술발표회 논문집, 제19권 2호, 2007. 11
2. 송하영 외, 샌드플렉스 장치에서 생산된 순환모래를 사용한 모르타르의 품질평가에 관한 실험적 연구, (사)한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 제19권 1호, 2007. 05
3. 日本建築學會, 建築工事標準仕様書同解説 (JASS 5), 2003
4. (財)日本規格協會, JIS A 5021 (コンクリート用再生骨材 H), 2005. 03