

건설폐기물의 재활용을 위한 순환골재 미분말의 활용과 대책방향

Guidelines of Recycled Aggregates Powder for Recycling of Construction Wastes



조만기 Man-Ki Jo
청주대학교 건축공학과 박사과정
E-mail : loveryou07@naver.com



김대건 Dae-Geon Kim
삼성물산 건설부문 책임연구원
E-mail : dg2013.kim@samsung.com

1. 서언

최근 국내의 부존자원 고갈 및 환경부하 저감에 대한 문제의 이슈는 자연스럽게 건설폐기물 및 산업부산물의 재활용이란 활동으로 연계되고 있으며, 이중 폐콘크리트에서 발생하는 순환골재의 경우는 귀중한 자원이라고 해도 과언이 아닐 만큼 부족한 골재 자원을 대신할 대체자원으로 손꼽히고 있다. 특히, 순환골재는 건설물 해체과정에서 발생하는 폐콘크리트를 파쇄 및 선별과정을 통해 <그림 1>의 일예와 같이 생산 되는 것으로, 순환 잔골재의 경우는 암질 부분에 미수화 시멘트를 포함하는 알칼리 성분이 용출되어 고로슬래그 미분말(이하 BS)기반 모르타르 및 콘크리트의 자극반응을 촉진시키는 등의 효과로 최근에는 활발히 사용되어지고 있다.

그러나, 건식 생산방식에서 제조되는 폐콘크리트 파쇄 및 분쇄과정 중 발생하는 순환골재 미분말(이하 RP)의 경우는 강알칼리성을 내포함으로써, 경우에 따라서는 재생시멘트나 콘크리트 혼화재료 등 여러 활용기술이 검토되고는 있으나, 대부분의 RP는 지정폐기물로 분류되어 화학 및 중화방법 등 고가의 비용으로 처리하여 매립 및 처분되고 있는 실정이다.

따라서, 본 고에서는 이와 같은 순환골재 미분말의 발생현황, 활용방안 및 이를 활용한 모르타르의 특성에 대한 것으로, RP를 사용한 BS기반 모르타르의 기초적 특성에 대하여 고찰하며, 궁극적으로는 저탄소 녹색성장에 기여할 수 있는 효율적인 순환자원 및 RP의 활용방안을 소개하고자 한다.

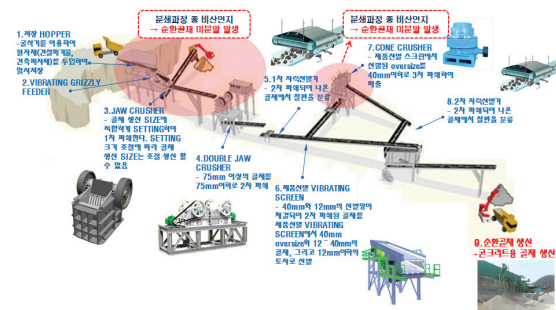


그림 1. 순환골재 생산 공정 일예

2. 순환골재 미분말의 특성 및 발생현황

2.1 연간 순환골재 미분말의 발생현황

국내의 폐기물 발생량은 2013년도 기준 대부분 생활, 사업장 및 건설폐기물로서 약 382,081톤/일 로, 연간 약 139,094,565톤의 폐기물이 발생되고 있다. 이중 건설폐기물은 약 183,538톤/일, 연간 약 66,991,370톤의 발생량을 나타내고, 건설폐기물 중 폐아스팔트 및 폐콘크리트는 연간 약 48,168,857톤의 막대한 양으로 폐기물 처리 및 발생량에 대한 현황을 파악하기 시작한 1996년 이후 최고를 기록하고 있다. 특히, 환경부에서는 재건축사업 활성화 및 건축물의 수명저하에 따른 폐콘크리트의 발생량 증가로 이후 매년 약 10%의 건설폐기물이 증가할 것으로 예상하고 있다. 이에 정부에서는 막대한 양의 폐기물을 소각(9%), 매립(6%), 재활용(82%) 및 해역배출(3%) 등의 방법으로 처리를 진행하고 있으며, 그 중 폐콘크리트의 경우 재활용의 일환으로 파쇄, 분쇄 및 선별을 통해 재생골재를 생산하여 콘크리트용 골재 또는 성토 매립용 및 기타 등으로 활용되어지고 있다. 기존 문헌에 따르면 순환골재 재활용시 발생하는 비산먼지, 즉 미분말은 약 2% 전후의 비율로 발생된다고 보고된 바 있는데²⁾, 폐콘크리트 발생량에 대한 비율로 환산한다면 연간 약 963,300톤의 미분말이 발생된다고 볼 수 있다.

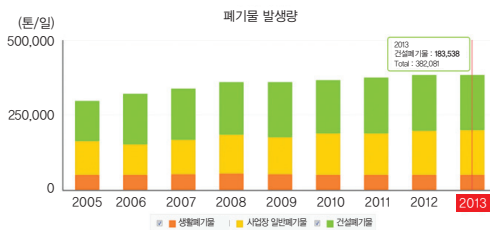


그림 2. 폐기물 발생량¹⁾

[표 2] 시멘트 및 RP의 화학조성비(%)

| 구분 | SiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | CaO | MgO | L.O.(%) |
|-----|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|---------|
| 시멘트 | 21.23 | 3.60 | 4.93 | 60.34 | 2.59 | 1.89 |
| RP | 27.35 | 6.66 | 5.99 | 33.87 | 1.54 | 20.26 |

2.2 순환골재 미분말의 물리·화학적 특성

순환골재 미분말은 폐콘크리트를 파쇄 및 분쇄 과정에서 <그림 1>에 발생하는 비산먼지를 집진기로 집진한 미분말로써, [표 1]과 같이 분말도 6 443 cm²/g의 고분말도 분체이자, pH 12.4정도의 강알칼리성을 내포하고 있다. 또한, [표 2]와 같이 시멘트와 유사한 CaO, SiO₂, 및 Al₂O₃의 화학조성비를 함유하고 있고, 높은 CaO의 회절분석결과를 나타내었다.

3. 순환골재 미분말의 활용사례

3.1 순환골재 미분말 및 순환잔골재 사용 BS기반 모르타르의 기초적 특성실험

본 연구팀에서는 pH 12 이상의 강알칼리를 내포하고 있는 순환골재 미분말(이하 RP)을 고로슬래그 미분말(이하 BS)을 기반한 모르타르에 적용시 BS의 잠재수경성 반응 촉진과 미립자에 의한 공극충전으로 제품의 품질향상과 폐

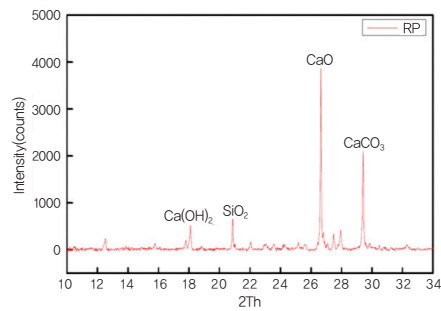


그림 3. RP시료의 XRD 분석결과

[표 1] RP의 물리적 성질

| 밀도(g/cm ³) | 분말도(cm ² /g) | pH | 형태 |
|------------------------|-------------------------|------|----|
| 2.30 | 6 443 | 12.4 | 분말 |

기물의 활용으로 인한 환경문제 저감 등에 기여할 것으로 예상하였다. 이에 막연하게 매립되어 폐기되는 순환골재 미분말의 활용성 및 이를 사용한 제품 개발에 기여하고자, 다음과 같이 BS 기반 무시멘트 상태에서의 일련의 실험을 진행하였다.

그 결과 압축강도의 경우는 RP의 치환율이 증가함에 따라 BS의 사용량이 감소됨으로 인해 점차 저하하는 경향을 나타내었는데, 초기재령보다 재령이 경과할수록 RP 치환율에 따른 강도 차이는 점차 커지는 것으로 나타났다. 이는 RP표면에 부착되어 있는 미수화 시멘트의 지속적인 수화반응성과 동시에 주 결합재로 사용된 BS가 RP의 미수화 시멘트 입자에서 용출되는 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 알칼리 등 자극제에 의한 잠재수경성 반응이 촉진됨에 기인한 것으로 분석된다. 또한, 무시멘트 시점에서의 RP 25%의 활용은 순수 BS를 100% 사용한 경우와 유사한 강도값을 나타내므로 저강도 영역에서의 2차제품 활용에 적합할 것으로 판단하였다.

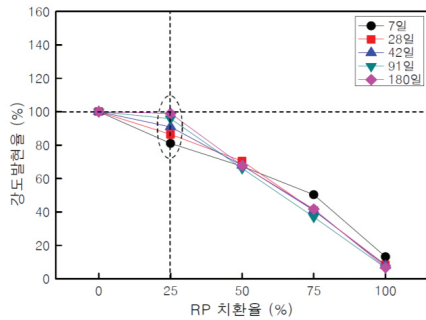


그림 4. RP치환율 변화에 따른 재령별 압축강도발현율

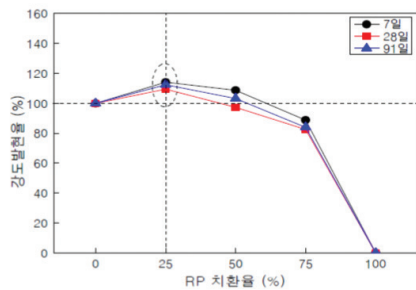


그림 5. RP치환율 변화에 따른 재령별 휨강도 발현율

휨강도의 경우는 압축강도 결과와 달리 RP 25% 치환 범위에서 BS 100%를 사용한 배합에 비해 약 10% 강도증진의 경향을 나타내었고, RP 50%까지의 사용에도 양호성을 나타내었다.

3.2 순환골재 미분말의 활용용도

(1) 벽돌 등 2차제품 제조

순환골재 미분말의 활용을 위한 기술개발 수준을 고려하였을 때, 현재 낮은 강도 등급 콘크리트의 적용이 적절할 것으로 사료되어, 콘크리트 2차제품 중 벽돌 제조시 결합재의 일부로 사용한 결과, 순환골재 미분말과 BS만을 결합재로 사용해도 요구강도가 발현되어 C종 2급의 무시멘트 벽돌제품 개발을 진행하였다.

기존 시멘트 벽돌의 경우는 시멘트와 혼화재료 및 석분 잔골재를 사용하여 제조하고 있다. 반면, 무시멘트 벽돌의 경우는 고로슬래그 미분말, 순환골재 미분말, 순환잔골재 및 석분을 사용하여 제조함에 따라 기존 제품과 동일한 품질을 확보하면서 비용도 절감할 수 있어, 블록 및 벽돌 등 2차제품의 결합재 일부로 사용이 가능할 것으로 보여진다.

(2) 시멘트 제조시 원료

일본에서 활용도가 높은 재생시멘트는 폐미분말 및 산업 부산물을 재가공 및 소성하여 제조하게 된다. 이때 사용되는 여러 가지의 원료 중 시멘트의 화학조성비와 유사한 순환골재 미분말을 재생시멘트의 원료로 사용하게 되는데, 즉 <그림 7>과 같이 폐콘크리트의 파쇄 후 시멘트 경화체와 골재 계면부분의 효율적인 분리를 위해 소정의 가열 후



그림 6. 순환골재 미분말을 활용한 2차제품

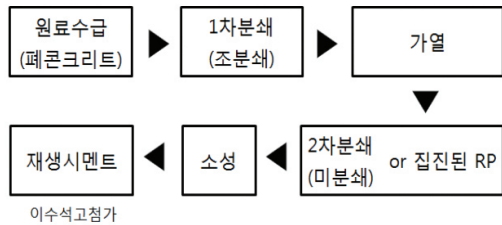


그림 7. 재생시멘트의 제조과정⁴⁾

미분쇄된 미분말과 파쇄중 집진된 RP에 소성과정을 거치게 되며, 플라이애시 및 이수석고 등을 첨가함에 따라 기존 시멘트와 유사한 재생 시멘트 제품을 생산하게 된다. 현재 국내의 산업계에서는 이러한 재생시멘트의 파쇄 방법, 소성온도 및 처리방법 개선 등으로 재생시멘트의 품질을 향상시키기 위한 연구의 관심이 집중되고 있다.

(3) 폴리머 콘크리트용 충전재

폴리머 콘크리트는 높은 접착성, 내구성, 내마모성, 내화학성, 방수성 및 수밀성 등의 효과로 인해 보수 보강, 건축 및 구조용으로 사용되는 콘크리트 재료 중 하나이다.

이러한 폴리머 콘크리트 제조시 기초적인 원재료 이외의 충전재를 사용하게 되는데, 충전재를 사용하는 주된 목적은 단위체적당 수지의 사용량을 감소시키고, 점성을 증가시켜 부착력을 크게 할 목적으로 미립분을 사용한다. 또한, 충전재는 무기질 분말이어야 하고, 낮은 수분함량과 비표면적이 큰 것일수록 유리하다고 보고된 바⁴⁾ 있는데, 낮은 수분함량과 6 000 cm²/g 이상의 고분말도 형태의 순환골재 미분말을 폴리머 콘크리트에 사용할 경우 미립분에 의한 충전재와 강알칼리에 의한 자극재료의 충분한 활용가능성이 있을 것으로 보여 진다.

(4) ALC 제조시 원료

ALC는 중량의 결점을 개량한 경량 콘크리트 제품으로써, 보통 콘크리트 중량의 약 1/4 정도이다. 대부분의 ALC의 제조는 미분쇄한 석회계 원료 및 실리카계 원료인 슬러리에 금속 알루미늄의 분말을 혼입하여 발포 또는 기포를

균일하게 분산시키고 오토클레이브 양생하여 경화시키는데, 미립자의 순환골재 미분말을 슬러리 원료로 사용할 경우 낮은 밀도 및 미립분에 의한 경량화와 강알칼리에 의한 강도증진 등으로 ALC에 효과적일 것으로 보여진다.

(5) 기타

기타 활용방안으로는 미립분, 알칼리, CaO 및 SiO₂를 목적으로 필요로 하는 충전재, 원료 및 성능향상재 등에 활용될 경우 제품의 성능향상과 더불어 경제성에도 충분한 효과를 보일 것으로 생각된다.

4. 맺음말

순환골재가 귀중한 대체자원으로 손꼽히고 있는 만큼 그 의 부산물로 발생되는 순환골재 미분말도 시멘트, 혼화재료 및 2차제품 산업에 있어서 중요재료로 사용가능성이 있을 것으로 생각된다. 비록 현재 대부분이 매립처리하고, 활용성이 미미한 실정이지만, 이번 특집기사의 순환골재 미분말에 대한 지식 및 기술공유를 통해 순환자원의 활용성을 높이고, 이를 활용한 다각적인 연구가 보탬이 되어, 매립에 의한 폐기 처분에 따른 환경문제 해결과 새로운 건설 재료로써의 자리매김 하기를 기대한다.

참고문헌

1. 환경부, 폐기물 발생 및 처리현황 통계자료, 2014
2. 김재원, 김하석, 임대빈, 이도현, 김봉주, 김진만, "재생 미분말의 발생현황과 특성에 관한 기초적 연구", 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, 2006. 11, pp. 521-524.
3. 한천구, 손석현, 박경택, "고로슬래그 미분말과 순환잔골재를 사용하는 무시멘트 모르타르의 특성에 미치는 순환골재 미분말의 영향", 대한건축학회 논문집, 2011. 06, pp. 99-106.
4. 박차원, 강병희, "폐콘크리트의 순환이용을 위한 폐미분말의 재활용 기술", 한국건축시공학회 논문집, 2005. 09
5. 김규용, "폐콘크리트를 이용한 신재료 및 신공법", 콘크리트 학회지, 2003. 03, pp.36-45, pp. 109-116.

담당 편집위원 : 류동우(대진대학교)