

폐콘크리트 미립분을 이용한 콘크리트 제품 제조 및 활용 기술

Manufacture and applications of Concrete Product using Waste Concrete Powder



김진만*
Jin-Man Kim



곽은구**
Eun-Gu Kwak



김기석***
Kee-Seok Kim

1. 서언

폐기물의 발생을 억제하기 위한 각종 정책의 시행과 관련 기술개발이 고도화됨에 따라 산업폐기물의 발생량은 증가하지 않고 있지만, 그 동안 건설되었던 구조물의 노후화에 의해 건설폐기물의 발생량은 지속적으로 증가하고 있어 전체 폐기물 발생량 증가의 원인이 되고 있다. 이에 따라 건설폐기물의 재활용에 대한 중요성은 이전보다 더 증가하고 있는 실정이다.

건설폐기물 중의 60~65%는 폐콘크리트이기 때문에 건설폐기물의 재활용률을 높이기 위해서는 폐콘크리트의 재활용률을 높이는 것이 중요한 비중을 차지하게 된다. 또한 폐콘크리트는 유가자원으로서의 가치도 다른 폐기물에 비하여 높기 때문에 많은 연구자들이 오랫동안 연구주제로 다루어왔다. 이와 같은 노력의 결과로 현재 폐콘크리트를 콘크리트용 골재로 사용하는 것을 포함한 순환골재의 기준과 장려하는 법령이 제정되어 사용되고 있다.

폐콘크리트로부터 만들어진 콘크리트용 순환골재는 순환골재의 용도 중에서 가장 고품위이며, 가장 부가가치가 높다. 이와 같은 이유로 순환골재 생산사는 콘크리트용 순환골재의 생산을 위해 노력하고 있으나, 고품질의 순환골재를 제조함에 따라 부산물로 발생되고 있는 것이 폐콘크리트 미립분이다. 그러므로 콘크리트의 효율적인 재활용이라는 측면에서 고품위의 순환골재 생산을 목표로 하는 경우에는 부산물인 미립분의 용도 개발도 함께 고민할 필요가 있다. 한편 순환골재의 생산 공정은 크게 습식공정과 건식공정으로 나누어진다. 습식공정은 비산먼지가 적고 순환골재로부터 이물질 제거가 용이하다는 장점이 있어 대부분의 채용되고 있지만, 골재의 함수상태로 인한 침출수 유출과 미분이 슬러리 상태로 발생하여 재활용에 어려운 문제점을 가지고 있다. 반면 건식공정의 경우 이물질 제거가 상대적으로 분리하고, 비산먼지를 대량으로 발생시킨다는 단점이 있어 거의 사용되지 않았다. 그러나 최근 미립분을 완벽하게 포집하여 환경문제를 해결함과 동시에 고성능 분쇄 시스템을 채용하여 고품질의 콘크리트용 순환골재를 생산하는 것을 목표로 한 새로운 건식공정이 개발되었다. 신 건식 공정은 고품질의 순환골재 제조로 골재의 성능을 만족하였으나, 미립분이 대량으로 발생하여 부산물의 처리에 어려움이 있다. 이러한 배경을 바탕으로 순환골재 제조 공정 중 건식 공정의 폐콘크리트 미립분을 이용한 콘크리트 조성물 제조 및 이를 활용하기 위한 방안을 기술하고자 한다.

* 공주대학교 건축학부, 교수

Kongju National University, Architecture
E-mail : jmkim@kongju.ac.kr

** 공주대학교 친환경콘크리트연구소, 연구원
Research Center for Environment-Friendly
Concrete, Kongju National University

*** 공주대학교 건축학부, 대학원생
Kongju National University, Architecture

2. 콘크리트 조성물 제조 기술

일반적으로 시멘트 벽돌, 블록, 흙관 등 시멘트의 결합 재료 하고 일정한 크기의 갖는 골재, 요구되는 성능을 갖게 하기 위한 혼화재료 등 이상의 재료를 혼합하여 제조되는 것을 시멘트 콘크리트 제품이라 한다. 이런 콘크리트 제품의 제조 공정은 크게 재료 혼합, 성형, 양생으로 이루어져 있으며, 각 공정별로 검토하면 다음과 같다.

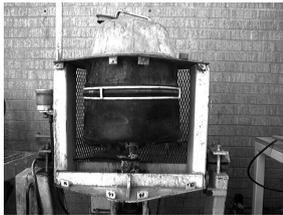
재료 혼합은 분말의 재료를 물과 혼합하는 것으로 그림 1과 같은 설비들이 이용하여 요구되는 혼합물을 제조하게 된다.



(a) 팬 타입 믹서



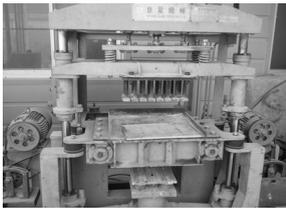
(b) 리본 믹서



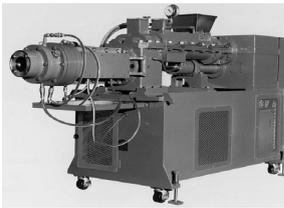
(c) 옴니믹서

그림 1. 재료 혼합 설비

제조된 혼합물들은 다양한 치수와 외관을 갖도록 성형하는 공정으로 이어지며, 이 공정에서 사용되는 설비는 다음과 같다.



(a) 진동가압성형기



(b) 압출성형기



(c) 원심력성형기

그림 2. 성형 설비

성형 공정 후 일정한 강도를 유지하기 위하여 양생 공정을 거치게 되며, 양생 공정은 기건 양생, 증기양생, 오토클레이브 양생 등으로 이루어진다. 기건 양생은 온도 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$, 습도 $60\pm 20\%$ 로 이루어진 상태에 약 8시간 정도 방치하는 것으로 한다. 증기 양생은 일정한 크기의 갖는 공간에 증기를 공급하여 주변 온도를 $60\sim 80^{\circ}\text{C}$ 로 유지시켜 준 후 약 5-8시간 동안 최고 온도로 유지시켜 초기의 강도를 증진시키는 양생 방법이다. 오토클레이브 양생은 최고 온도 180°C 의 10기압으로 일정 시간 동안 유지시켜 시멘트 수화물의 보다 단단한 결정 수화물을 생성시켜 일반 제품보다 높은 고강도를 제품을 얻어낼 수 있는 것으로 그림 3과 같은 토버모라이트가 생성되도록 하는 양생 방법이다. 이런 토버모라이트 생성 조건으로는 실리카(SiO_2) 성분과 칼슘질(CaO) 성분이 일정한 비율로 혼합하여야 한다.

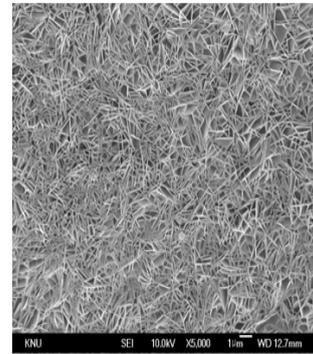


그림 3. Tobermorite 사진

이상의 콘크리트 제품 공정을 이용하여 사용되는 재료들의 특징을 다양화 시켜 제품을 제조가 가능하다. 즉 분말상의 재료들을 혼합하는 것으로 리본믹서를 채택하여 압출성형에 의해 제품을 성형이 가능하며, 이런 분말상의 재료들을 고강도의 제품으로 제조하기 위하여는 오토클레이브 양생 방법에 의해 가능하다. 또한 사용되는 재료들이 일정한 크기 즉 5mm이상의 경우에는 팬타입 믹서와 옴니믹서 등을 채택하여 혼합하며, 진동가압이나 원심력 성형 등에 의해 성형하고, KS 기준에서 제시하는 8MPa 정도로 유지하기 위하여 증기 양생을 채택하여 제품을 제조하게 된다.

3. 폐콘크리트 미립분의 특징

3.1 폐콘크리트 미립분 발생 공정

건설폐기물중간처리업체는 전국에 약 500여개 정도가 있으며, 그 중 건식 업체는 5%정도로 보고되고 있다. 이

건식 업체 중에 고품질 순환골재 제조가 가능한 업체는 전국에 1, 2군데로 조사되었다. 그 중에 충남 논산에 위치한 D사의 미립분에 대해서 발생 공정을 검토하였다. 전체 공정은 크게 굵은 골재와 잔골재 공정으로 분류되며, 잔골재는 그림 4와 같이 골재 크기 40mm의 투입하여 5mm의 골재로 제조하는 공정이다. 생산 공정의 분석 결과 시간당 40톤의 굵은 골재가 투입되면, 잔골재는 30톤이, 미립분은 9.48톤, 이물질이 0.52톤이 발생되는 것으로 분석되었다. (본 공정 중 VSI는 수직임팩트 크러셔를 의미함.) 또한, 미립분 발생 공정은 총 5군데로 조사되었으며, 골재의 크기 별로 분급하는 것과 골재 표면의 구모르타르 성분을 분리하는 공정에서 발생되는 것으로 조사되었다.

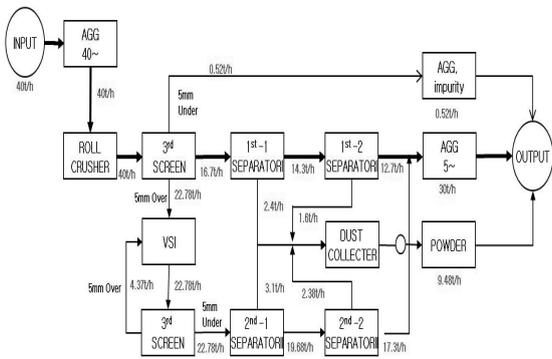


그림 4. 순환골재 제조 공정에 대한 물질수지

3.2 폐콘크리트 미립분 특성 분석

그림4에서의 발생 공정을 분석하면 미립분 발생 공정은 5군데로 조사되었으며, 5군데에 대한 표기는 다음과 같다.

표 1. 폐콘크리트 미립분 포집 장소

표기명	포집 장소(그림4 공정명)
1TS	1TS* 공정 포집(1st-2)
2TS	2TS 공정 포집(2st-2)
1S	1차 스크린 공정 포집(1st-1)
2S	2차 스크린 공정 포집(1st-2)
BF	백필터 포집(Dust collector)

*TS : Tornado Separator

표1와 분류하여 폐콘크리트 미립분을 포집하였으며, 포집된 폐콘크리트 미립분은 물리적 특성으로는 함수율, 밀도, 입자 크기 등을 분석하였으며, 화학적 특성으로는 산화물(XRF:) 분석을 실시하여 각각 미립분의 특성을 분석하였다.

표 2. 폐콘크리트 미립분 특성

표기명	함수율 (%)	평균입자크기 (μm)	밀도 (g/cm ³)
1TS	12	65	2.4
2TS	8	46	2.4
1S	12	50	2.4
2S	7	141	2.4
BF	6	13	2.5

표2는 폐콘크리트 미립분의 물리적 특성을 나타낸 것으로 미립분의 함수율은 최종 공정에서의 얻어지는 미립분의 함수율이 가장 낮은 것으로 나타났다. 또한 평균입자크기도 가장 작은 것으로 나타났다. 이는 집진기에서 포집된 미립분이 발생공정의 거리가 가장 길어서 이동 중에 건조된 것으로 판단된다.

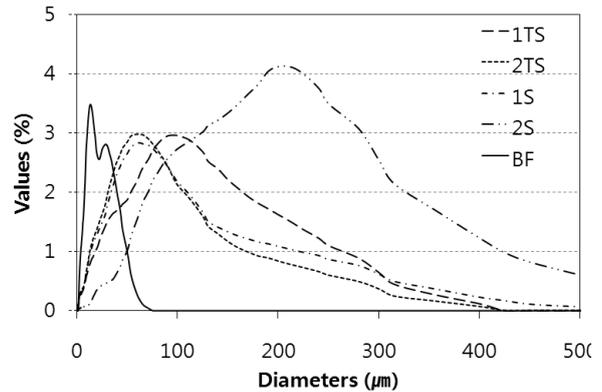


그림 5. 폐콘크리트의 미립분 입자 크기

각 공정별 미립분의 평균크기는 표 2 및 그림 5에 나타난 바와 같이 백필터 집진분(BF)이 13μm로 가장 작게 나타났으며, 회전에 의해 마모로 파쇄되는 VSI에 가까운 곳에서 채집된 2S가 141μm로 가장 큰 입도를 갖고 타 경우는 46~65μm의 범위를 갖는 것으로 나타나 비교적 일정한 크기를 보이고 있다.

표 3. 폐콘크리트 미립분의 산화물 분석(° /wt)

구분	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	K ₂ O	SO ₃	Ig.loss
1TS	36.8	36.5	8.5	7.2	4.5	3.7	2.4
2TS	38.4	33.7	9.3	7.6	4.7	3.4	2.5
1S	37.0	35.9	8.4	7.4	4.7	4.1	2.5
2S	44.7	28.6	8.4	8.1	4.7	2.6	2.5
BF	31.8	39.0	10.5	7.4	4.7	3.5	2.8

폐콘크리트 미립분의 화학조성은 표 3에 나타난 바와 같이 SiO₂ 31.8~44.7%, CaO 28.6~39.0%를 함유하고 거의 유사한 함유량을 보이고 있다. 그러나 2S의 경우 SiO₂의 함유량이 상대적으로 높고 CaO의 함유량은 상대적으로 낮게 나타나고 있어 VSI에서 원골재의 파쇄가 활발하였음을 알 수 있다.

4. 적용 콘크리트 조성물

4.1 진동가압성형 콘크리트 조성물

콘크리트 조성물 성형 방법의 하나인 진동가압성형은 일반적으로 시멘트 벽돌이나, 블록 등 부재의 크기가 매우 큰 제품을 성형할 때 사용되는 것이다. 이런 성형방법에는 주로 사용되는 재료가 시멘트, 골재, 물, 혼화재료 등으로 분류되어 있으며, 분말상의 재료는 크게 시멘트 외에는 사용되지 않고 있다. 이런 진동가압 성형에 폐콘크리트 미립분의 충전재로 사용하게 되면, 기존 배합에 비해 높은 물 시멘트비와 낮은 슬럼프 등을 갖게 된다. 그러나 시멘트와 골재 사이를 적절한 입자로 충전시켜 밀실한 구조를 가지는 콘크리트 조성물을 제조가 가능하며, 그로 인한 강도 증진, 분체계의 감소 등이 가능할 것이다.



그림 6. 진동가압성형제품

4.2 압출성형 콘크리트 조성물

시멘트압출성형 패널은 압출기를 이용하여 압출성형하는 것으로써 사용되는 재료는 시멘트, 천연 규사분, 규사 5, 6호사, 세피오라이트, PP 섬유 등 주재료는 분 체계로 평균 입자 크기 약 18 μ m의 가지는 재료이다. 이 분 체계 재료들은 대부분이 CaO와 SiO₂로 되어 있으며 두 산화물이 오토클레이브 양생을 거치게 되면 토버모라이트로 형성되어 일반 강도보다 높은 강도를 가지는 것이 일반화되어 있는 제조공정이다. 압출성형 재료 중 천연 규사분은 석산이나 바다 등에서 채취하여 골재를 가공해서 제조되는 것이다. 이런 규사분을 폐콘크리트 미립분으로 대체할 경우 SiO₂의 함유량은 떨어지나 시멘트의 주성분인 CaO의 성분이 함유되어 있어 일정한 양의 시멘트도 감소가 가능

할 것이다. 또한 폐콘크리트 미립분 중 입자가 규사분보다 매우 작기 때문에 활성도가 높을 것으로 판단된다.

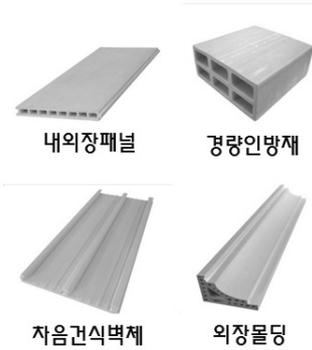


그림 7. 압출성형 제품

4.3 원심성형 콘크리트 조성물

원심성형에 의한 콘크리트 조성물은 크게 시멘트 콘크리트 파일이나 전신주 등으로 분류될 수 있으며, 물시멘트비가 매우 낮은 배합 조건으로 시멘트, 골재, 규사분, 혼화재료 등을 혼합하게 된다. 원심성형 제품들은 압출성형 제품과 동일하게 고강도 제품을 얻기 위하여 오토클레이브를 실시하며, 수화생성물인 토버모라이트를 생성을 촉진하기 위하여 규사분을 채택하게 된다. 이에 압출성형 제품과 동일하게 규사분을 폐콘크리트 미립분으로 대체할 경우 압출성형 제품과 동일한 효과를 기대하게 된다.

5. 기대효과

폐콘크리트를 고품질 순환골재로 제조하는 공정에서 발생하는 부산물인 폐콘크리트 미립분은 일정한 입자 크기와 주성분이 실리카와 석회질을 갖는 것으로 나타났다.

이 미립분의 특징을 최대한 활용하여 건설 산업에서의 원료로 사용하게 된다면 건설 산업에서의 환경 부하를 크게 감소시킬 수 있다.

기존 시멘트 및 규사분을 대체하기 위해 천연 자원을 파쇄 및 분쇄하여 가공하는 것이 아닌 순환자원을 활용하여 각각의 특성을 가진 원료를 공정처리를 통해 가공하고 최적비율로 조합하여 고기능성 소재로 개발하는 단계로 진보가 기대된다. 즉, 순환자원을 복합적으로 사용하고 단순한 물리적 치환이 아닌 이들의 화학적 결합을 유도할 경우 다양한 방향으로 적용이 기대된다.