

콘크리트의 골재와 시멘트 페이스트 단체분리를 위한 예비연구

김관호¹⁾, 조희찬¹⁾

1) 서울대학교 지구환경시스템공학부

Study on Liberation of Aggregate and Cement paste in Concrete

Kwan Ho Kim¹⁾, Hee Chan Cho¹⁾

1) Seoul of Civil, Urban & Geosystem Engineering,
Seoul National University, Seoul, Kor

1. 서론

최근의 건설업계에서 겪고 있는 문제는 크게 ‘건설 폐기물의 재활용 문제’와 ‘건설 재료의 고갈 문제’를 꼽을 수 있다. 건설 폐기물은 관계 기관에서의 불법 투기 단속이 강화되고, 노후한 건축물에 대한 재건축과 재개발이 증가함에 따라 발생량은 꾸준히 증가해 왔다. 2002년 자료에 따르면 건설폐기물의 일일 발생량은 약 12만톤으로, 전체 폐기물 발생량의 약 45%를 차지하고 있다. 이에 따라 1994년에는 건교부와 환경부 공동으로 ‘건설폐재 배출사업자의 재활용지침’을 고시하여 재활용 목표 충족 의무화를 추진하는 등, 건설폐기물의 재활용, 특히 건설 폐기물의 큰 비율을 차지하고 있는 폐콘크리트의 재활용에 대한 관심과 노력이 증가하였다.

또한 2002년 하반기 이래로 건설 공사의 필수 자재인 골재 부족 현상이 지속되고 있으며, 앞으로 심각한 골재 부족 현상이 우려되고 있다. 그 이유는 국내의 골재 자원의 점진적인 고갈과 환경 규제 강화에 따른 골재 채취의 조건 악화, 환경 단체들의 골재 채취에 대한 압력 강화 등을 꼽을 수 있다. 또한 국내 하천 골재의 고갈과 쇄색 골재 채취, 골재 채취화의 원거리화에 의해 골재 가격이 상승하고 있다. 이에 따라 미세척 해사, 알칼리반응성 골재 등 저품위 골재가 대량으로 유통되어, 결과적으로 건설 구조물의 안전을 저하시킬 우려가 있다.

이러한 문제들을 해결하기 위해서 폐콘크리트에서의 골재 수급 방안이 새로운 대안으로 떠오르고 있다. 그러나 현재는 저품질의 재생골재만이 생산되어, 노반재나 벽돌의 원료로 사용되고 있는 실정이다. 이렇게 재생 골재의 품질이 낮은 이유는 폐콘크리트에서의 골재와 시멘트 페이스트의 분리가 완전하게 이루어지지 않아, 골재의 표면에 시멘트 페이스트가 부착되어 있기 때문이다. 이러한 재생골재는 시멘트 페이스트의 자체 균열과, 골재와 새로운 페이스트 계면의 낮은 부착력으로 인해 강도가 저하된다. 또한 페이스트의 높은 흡수율로 인해 콘크리트 배합설계 및 관리상의 어려움을 유발시키고, 동결 용해 저항성을 떨어뜨려 콘크리트의 내구성 저하를 일으키는 원인이 될 수 있어 고품질의 원료로 재활용하기에는 큰 어려움이 있다.

따라서 본 연구에서는 여러 가지 기술 중에 가열처리 방법과 Microwave처리 방법에 대해서 콘크리트의 파쇄특성과 폐콘크리트의 골재와 시멘트 페이스트의 단체분리 특성을 알아보았다.

2. 배경이론

1) 단체분리 (Liberation)

Fig. 1은 X와 Y의 두가지 물질로 이루어진 혼합물을 존재할 때, 혼합물 XY에서 Y가 차지하는 비율을 C라하고, Y를 포함한 비율이 C보다 작거나 같은 입자의 질량 누적백분율을 나타낸 모식도이다. XY에서 Y가 차지하는 전체비율이 ϕ 라 할 때, 1번의 그래프는 모든 입자의 비율이 ϕ 이므로, 단체분리가 전혀 이루어지지 않은 상태이다. 이에 비해 2번 그래프는 Y의 비율이 0%와 100%인 입자만이 존재하게 되고, 이는 완전한 단체분리가 이루어진 상태이다. 일반적인 단체분리의 곡선은 3번의 그래프와 같은 형태를 띄게 되고, 이를 통해서 단체분리의 정도를 계산할 수 있다.

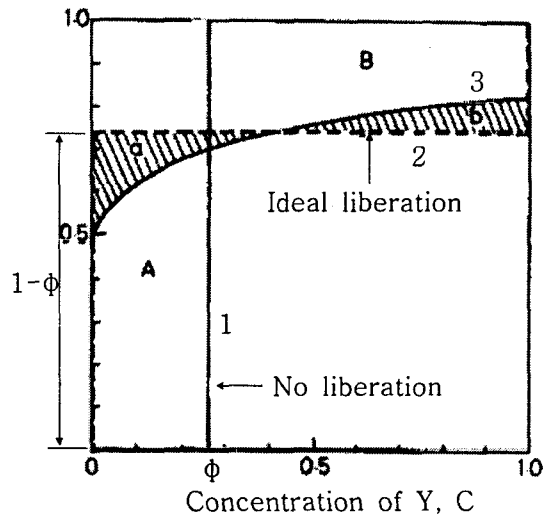


Fig. 1 Illustration of liberation pattern

단체분리의 정도는 Locking Index(LI)를 통해 나타낼 수 있으며, LI는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 식(1)로 계산되며, LI값이 1이면 단체분리가 일어나지 않은 상태이고, LI값이 0이면 완전한 단체분리를 의미한다.

$$LI = \frac{a + b}{A + B} \dots\dots\dots(1)$$

2) 가열처리

콘크리트가 강도를 갖는 이유는 시멘트를 구성하고 있는 각종 물질들이 수화반응을 하여 골재와 함께 굳어지기 때문이다. 이러한 콘크리트에 열을 가하면, 콘크리트 생성의 역반응(탈수반응)이 기대되어, 골재와 시멘트의 부착 강도를 저하시킬 수 있다. 폐콘크리트에 함유된 골재를 손상시키지 않고 가열 분해를 하기 위해서는 α -SiO₂가 β -SiO₂로 전이되는 573℃ 이하의 온도와 점토 광물의 탈수로 골재의 열화로 인한 강도 저하가 일어나지 않는 400℃-500℃의 온도가 적합하다.(안지환, 김형석 등 2001).

3) Microwave처리

Microwave를 이용한 전처리 방법은 일반적인 가열 처리 방법이 시편의 표면에서부터 일어나는 것과 달리, 시편 내부에 Microwave가 침투하여 페콘크리트 전면에서 고르게 반응이 일어난다. 전처리공정에 Microwave를 이용하는 선행된 연구 결과에 따르면, 광물이 다른 입자에 의해 둘러싸은 영향은 그리 크지 않고, 광물이 Microwave를 받아들이는 차이에 의해 열역학적 응열과 변위의 차이가 발생하여 입자 내부의 국부적인 파괴를 유발시킬 수 있다. (Kingman 등, 1998, Salsman 등, 1996).

3. 실험방법

페콘크리트에서 지름 5.5cm, 높이 5.5cm의 원통형 코어를 채취하여 각 조건별로 3개의 시편에 대해 전처리를 하였다. 가열처리 방법은 400℃에서 1시간 열처리 하였고, Microwave에 의한 처리 방법은 600w, 2450MHz의 Microwave를 90초간 가하였다. 전처리한 시편은 조크러셔로 파쇄하여 분쇄특성을 알아보았고, 파쇄된 페콘크리트 조각들은 경화된 콘크리트의 시멘트 함유량 시험 방법(KS F 2416)에 따라 산처리를 하여 골재와 콘크리트의 함유량을 조사하였다.

4. 실험 결과 및 결론

조크러셔를 이용한 분쇄결과는 Fig.2와 같다. 콘크리트의 분쇄특성은 전처리에 관계없이 비슷한 양상을 보였으며, 전체의 무게의 50% 이상이 12.7mm 이상의 범위에 존재하였다.

Fig.3은 가열처리한 시편에 대한 단체분리 특성을 그래프로 나타낸 것이다. 골재만 존재하는 시편을 0%, 페이스트만 존재하는 시편은 100%로 산정하여, 0%에서 100%까지의 구간을 10개로 나누어 총 12개 구간의 총 시편에 대한 누적질량 백분율을 나타낸 그래프이다. 3.35mm 이하의 시편에 대해서는 골재가 존재치 않다고 가정하여, 100% 시멘트 페이스트로 간주하였다. 그래프를 살펴보면 입자의 크기가 작아질수록 그래프의 형태가 수평에 가까워지는 것을 알 수 있고, 이를 통해 입자가 작을수록 단체분리가 더 잘 이루어진다는 것을 알 수 있다. 이러한 양상은 아무런 처리를 하지 않은 시편과 Microwave처리 방법으로 전처리한 시편에 대해서도 동일한 양상을 띄었다.

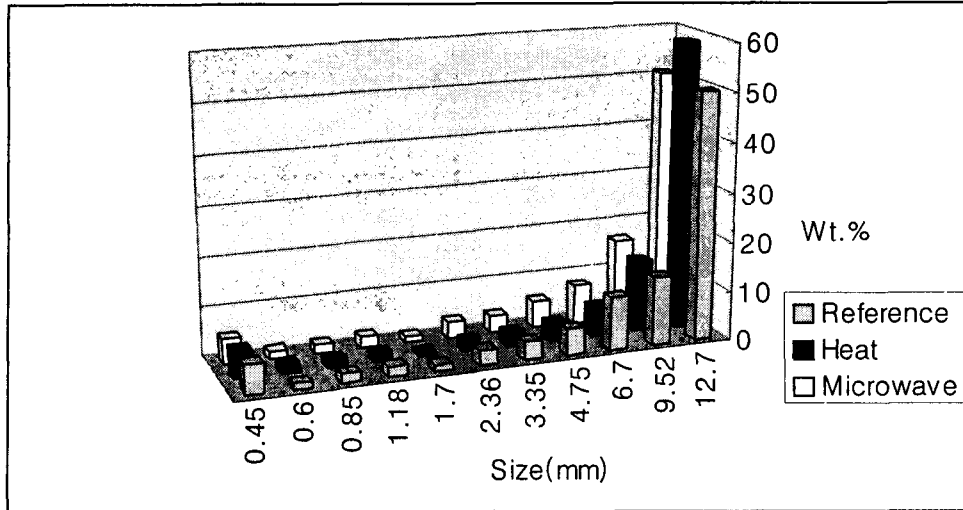


Fig. 2 Size Distribution of concrete

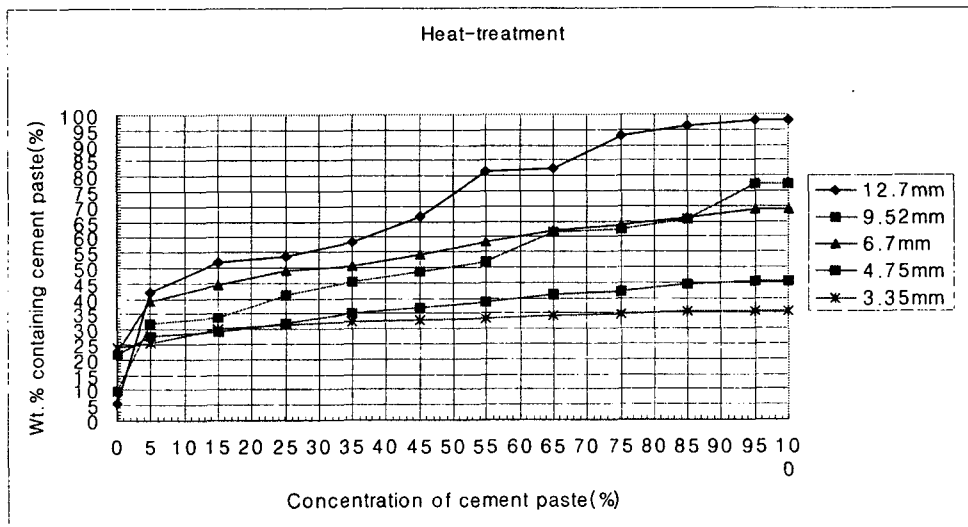


Fig.3 Liberation pattern of Heat-treatment

이러한 단체분리의 정도를 Locking Index(LI)를 통해 나타내면 Fig. 4와 같다. LI 값이 작을수록 더 효율적인 단체분리를 나타내며, Fig. 2에서 확인 할 수 있듯이 입자의 크기가 작아짐에 따라 LI값도 작아짐을 알 수 있다. 전처리의 방법에 따른 단체분리 특성을 살펴보면 가열처리를 한 시편의 단체분리가 처리를 하지 않은 시편과 Microwave로 전처리한 시편에 비해 단체분리가 더 잘 일어남을 알 수 있다. 이는 적절한 전처리를 통해 콘크리트에서의 골재와 시멘트 페이스트의 단체분리를 증가시킬 수 있음을 보여준다. Microwave를 이용한 전처리 방법은 아무런 처리를 하지 않은 조건에 비해 큰 입자에서는 단체분리가 잘 일어나지 않았지만 입자가 작아질수록 단체분리가 잘 이루어지지 않은 결과를 보였다. 이렇듯 Microwave의 전처리 효과는 기존의 연구에 비해 명확히 들어나지 않았는데, 이는 불균질한 폐콘크리트와 한정된 시편으로 인한 것으로 사료되며, 좀 더 많은 수량의 시편에 대해서 연구를 수행하면 Microwave에 의한 전처리 효과도 규명할 수 있을 것이다.

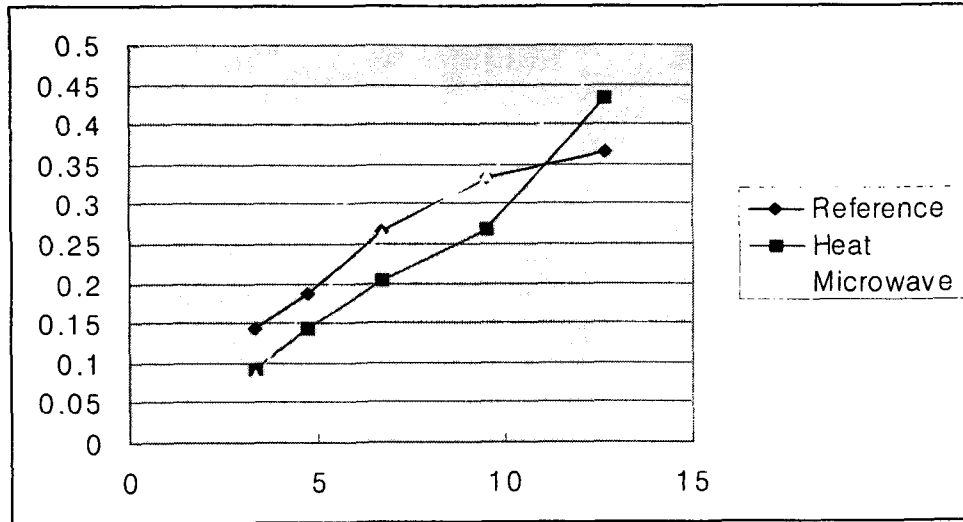


Fig.4 Locking Index (LI) by Pre-treatment

5. 참고문헌

1. 한국 골재 협회 (<http://www.aak.or.kr/>)
2. Ji-Whan Ahn, Hyuung-Seok Kim, Gi-Chun Han, "Recovery of Aggregates from Waste Concrete by Heating and Grinding", *Geosystem Eng.*, 4(4), 123-129, December 2001
3. S. W. Kingman, N.A. Rowson, "Microwave Treatment of Minerals - A review", *Minerals Engineering*, Vol. 11, pp.1083
4. J. B. Salsman, R.L. Williamson, W.K. Tolley, D. A. Rice, "Short-pulse Microwave Treatment of Disseminated Sulfide Ore", *Minerals Engineering*, Vol. 9, No.1, pp 43-54.
5. L.G Austin, A. Kalligeris-Skentzos, E.T. Woodburn, "Ash liberation in fine grinding of a British coal". *Powder Technology* 80(1994) pp 147-158.