

재생골재의 천연골재 대체재로의 사용

안 지 환

한국지질자원연구원

1. 서언

1970년대 이래 건설붐의 영향으로 신축되었던 상가나 아파트를 포함한 주택 등 콘크리트 구조물의 재개발이 본격화되어짐에 따라 건설 산업 폐기물이 급격히 증가하고 있다. 또한, 거의 반영구적인 내구성을 갖는 것으로 인식된 콘크리트 구조물은, 구조물의 기능적인 수명과는 상관없이 짧은 기간에 해체되고 있는 실정이다. 이렇게 발생된 폐콘크리트의 양은 전체 건설폐기물의 60-70%정도를 차지하고 있으며, 2001년 현재 약 2,400만톤 이상 발생하고 있다.

일본과 유럽 등 여러 나라에서는 이러한 문제를 일찍이 인식하여 1980년대 초부터 폐콘크리트를 골재로 사용하기 위한 노력을 기울여 도로의 기층 및 보조기층, 콘크리트용 골재로 활용하고자 하였다. 특히, 일본은 30년 전부터 재생골재에 대한 연구를 시작, 이에 대한 규격을 제정하여 노반재 등으로의 사용이 적용된 지 오래전이며, 재생골재의 품질을 천연골재와 동등하거나 그 이상으로 제조하기 위한 연구가 꾸준히 지속되어, 90년대 말에는 재생골재를 일반 구조용으로 사용하기 위한 인정 기준을 마련함으로써 천연골재의 완전한 대체재로서 재생골재를 사용할 수 있는 토대를 마련하였다.

이에 반해 국내의 폐콘크리트로부터의 재생골재 생산은 파쇄 등 일반 쇄석을 생산하는 방식과 크게 다르지 않고, 기초적인 물성만을 비교하는 수준에 그치고 있으며 많은 연구에도 불구하고 현재 재생골재는 뒷채움재나 보조기층용 재료로밖에 사용을 하고 있지 않는 실정이다.

재생골재는 천연골재와는 달리 콘크리트라는 복합체로부터 생산되기 때문에, 골재에 시멘트 페이스트 및 모르타르가 필수적으로 부착되어 있어, 구조용 콘크리트 등 재생골재의 활용 용도를 확대시키기 위해서는 시간이 경과된 시멘트 모르타르에 대한 특성을 고려해야 한다. 이러한 시멘트 모르타르는 그 사용된 시멘트의 종류, 첨가제, 혼화제 및 잔골재 등에 따라 상이하며, 해체연수, 해체장소에 따라 달라 재생골재가 콘크리트에 사용되었을 때, 장기적인 특성에 대한 예측은 매우 어렵다. 일반적으로 골재가 콘크리트 중에서 차지하는 용적비율은 약 65-85%로서 골재의 종류나 품질에 따라 콘크리트의 성질에 미치는 영향은 매우 크다고 할 수 있기 때문에 재생골재를 사용한 콘크리트의 장기안정성에 대한 검토는 필수적이라고 할 수 있다.

일반적으로 재생골재는 부착된 시멘트 페이스트 및 모르타르로 인해 천연골재에 비해 흡수율, 비중, 마모율 등 골재로서의 일반적인 특성이 낮으며, 이러한 재생골재를 사용한 재생콘크리트는 일반 콘크리트에 비해 단위수량이 증가하여 내구성을 나타내는 동결융해저항성, 건조수축, 화학저항성 등이 저하하는 것으로 보고되고 있다. 따라서, 재생골재를 콘크리트 구조체에 전량 또는 부분적으로 치환했을 경우, 천연골재에 비해 취약하여 콘크리트 구조체의 역학적 성능과 내구성이 저하되는 문제점이 발생할 것으로 예상된다.

그러므로, 재생골재의 사용에 있어, 품질이 저급 노반재 등의 사용에서 벗어나, 건축구조물 등으로 적용하기 위해서는 재생골재의 발생 특성상 여러 공학적, 환경적 특성이 고려되어 안전성이 확보되어야 할 것이다. 특히, “일반 구조용 재생골재 인정 기준”을 마련한 일본에서조차도 재생골재에 대해 일반 콘크리트용 골재와 동등하거나 더욱 엄격한 규정을 적용하고 있으며, 재생골재에 대한 본격적인 연구가 시작된 지 30년이 경과하였음에도 불구하고 최종 사용되는 재생콘크리트에 대한 건조수축, 동결융해저항성 등 장기적인 안정성에 대한 견해가 완전하게 정립되어 있지 않은 것은 우리에게 시사하는 바가 크다.

본고에서는 재생골재를 구조용 골재로 활용하기 위해 요구되는 제반 사항을 검토함으로써 연구자들의 참여를 유도하여 재생골재의 재활용 용도의 확대를 촉진하고자 한다.

2. 재생골재의 사용 확대에 대한 당위성

폐콘크리트를 재활용해야 하는 가장 근본적인 이유는 국내 천연골재 자원의 고갈에 따른 골재의 공급 부족에 있다고 할 수 있다. 국내에서도 이미 경험하고 있듯이 하천에서 채취하는 골재는 한계에 다다랐고 굵은골재는 쇄석이, 잔골재는 해사가 사용되는 경우가 많다. 하지만 이러한 쇄석의 사용은 알칼리 골재반응이 문제가 되고 이로 인해 균열을 발생시켜 콘크리트의 내구성을 현저하게 저하시킬 수 있다. 해사의 경우도 충분한 세척공정을 거쳤다 할지라도 해사속의 염분은 철근을 부식시켜 콘크리트의 내구성을 떨어뜨리는 문제점을 안고 있다. 2000년 현재, 하천골재의 비중이 전체의 24.1%, 바다골재의 비중이 23.4%, 산림골재가 43.7%, 육상골재가 8.8%로 해사와 쇄석이 전체의 70%가량이며, 환경파손 문제 등으로 쇄석 등의 개발이 점차 어려워질 전망이다. 수요량에 있어서도 이러한 현상은 점차 심화될 것으로 예측되는데, 국내 골재의 가채 매장량이 약 40억^m³이라고 볼 때, 골재의 수요량이 약 1.5억^m³인(2000년 기준) 것을 감안하여 약 25년 후에는 골재 부족에 직면할 것이다. 또한, 운송거리의 제약 등으로 인한 지역적 수급 불균형은 더욱 이른 시기에 발생할 것으로 예상된다.

이러한 골재수급 현실과 골재 소비구조를 고려해 볼 때, 천연골재를 대체할 수 있는 대체재료의 개발이 시급하며, 폐콘크리트로부터의 재생골재는 가장 가능성이 높은 대체재료 중의 하나임은 틀림없다.

3. 일본의 기술동향

30년 전부터 재생골재에 대해 관심을 갖은 일본은 생골재의 품질을 천연골재와 동등하게 함으로써 천연자원의 보존 및 자원순환형 처리시스템을 구축하고 있다. 특히 단순 파/분쇄에서 벗어나 가열분쇄 등 고도처리를 통해 천연골재와 동등한 재생골재를 생산하기 위해 노력을 기울이고 있으며, 재생골재를 구조용 콘크리트에 사용하기 위한 적절한 기준과 장기적인 안정성에 대한 데이터를 축적함으로써, 재생골재의 사용을 극대화하고자 하고 있다.

일본은 여러 시책과 연구를 통해 재생골재에 대한 정책을 꾸준히 추구하여 왔으며, 이러한 정책과 지속적인 연구에 의해 각 분야에서 여러 재생골재 사용기준(안)이 제시되어왔다. 이를 요약하면 아래와 같다.

- 0 1981년 건설성 종합기술개발프로젝트 「건설사업의 폐기물 이용기술개발」를 통하여,
 - 보통 골재에 재생골재를 소량 혼합하여 사용하는 방법 제시
 - 재생골재를 보통골재와 동등한 품질로 개량하여 사용하는 방법을 검토하여, 「재생조골재품질기준(안)」, 「재생조골재를 사용하는 콘크리트 사용기준(안)」 「재생골재를 사용한 콘크리트의 설계시공지침(안)」 제시
- 0 일본건축업협회 “ 재생골재 및 재생콘크리트 사용기준(안) (1987년)
- 0 건설성 종합프로젝트에서 콘크리트 재생이용에 대한 조사를 통해 「콘크리트 부산물 재이용에 관한 용도별 잠정품질기준(안)」 제시 (1992년)

또한, 1999년에는 (재)일본건축센터에서 “ 건축 구조용 재생 골재 인정 기준”을 만들어 재생골재를 구조용으로 사용하기 위한 토대를 마련하였다. 이 인정 기준은 기존의 콘크리트 용 골재와 동등한 품질 기준을 적용하고 있으며, 일부 항목에 있어서는 더욱 엄격한 기준을 적용함으로써 재생골재 콘크리트에 대한 안정성을 확보하고자 하고 있다.

일본과 비교하였을 때, 국내에서도 정책적으로 재생골재의 활용 용도를 확대하고자 10년 전부터 꾸준히 노력하고 한국산업규격을 제정하였음에도 불구하고 현재까지 재생골재의 90%이상이 성토재 등으로밖에 사용되고 있지 않은 것은 무엇보다도 재생골재 품질에 대한 신뢰성의 부족에 그 원인이 있다고 할 수 있다.

4. 재생골재 콘크리트의 장기 안정성

콘크리트의 장기 안정성은 콘크리트 공시체에 대한 건조수축, 탄산화, 동결융해저항성 등으로 측정할 수 있다. 앞서 언급한 바와 같이 현재의 기술 수준으로는 재생골재에는 시멘트 모르타르가 부착되어 있고, 이로 인해, 재생골재의 비중, 흡수율 등 골재로서의 특성이 천연 골재에 비해 낮다. 이러한 재생골재의 특성은 콘크리트에 사용되었을 때, 다음과 같은 문제점을 발생시킬 수 있다.

첫째, 높은 흡수율로 인해, 콘크리트 타설시 물의 사용량이 많아짐으로써 동결융해저항성이 저하하게 된다. 이에 대해 재생골재를 사용한 콘크리트 배합 및 타설에 대한 연구가 꾸준히 지속되고 있으나, 신뢰성 있는 결과를 얻지는 못하였다.

둘째, 단위수량을 감소시키더라도 장기적으로 볼 때, 재생골재를 사용한 콘크리트는 안정성에 대한 문제를 야기시킬 수 있다. Fig. 1은 콘크리트의 내부에 결함이 발생, 균열이 성장하는 경로를 나타낸 것으로, 콘크리트의 내부에서 발생된 결함은 일반적으로 골재와 시멘트 페이스트의 부착면을 따라서 성장하게 되는데 이러한 균열의 성장은 콘크리트가 파괴될 때까지 일어나게 된다. 따라서 발생된 균열의 성장 속도는 골재의 면과 시멘트 페이스트의 부착면에 따라 크게 영향을 받게 되며, 결국 콘크리트의 강도에도 많은 영향을 미치게 된다. 다시 말해, 재생골재의 표면이 불순하거나, 부착된 시멘트 페이스트의 양이 많은 재생골재의 사용은 그 만큼 콘크리트 내에서 결함으로 작용하게 될 것이다. 따라서 구조용, 즉 많은 하중을 받는 콘크리트에 재생골재를 사용하는데 있어서 안정성에 대한 문제가 발생할 수 있는 가능성이 매우 높다.

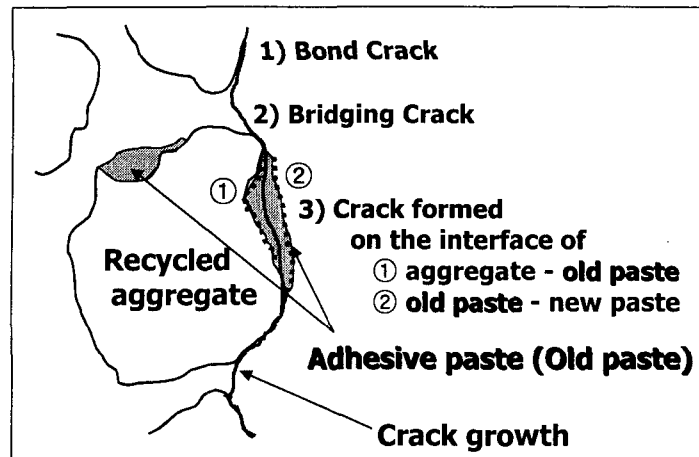


Fig. 1. Crack and crack growth in recycled concrete

참고로 일본의 몇몇 연구보고서 및 논문을 토대로 재생콘크리트에 대한 내구성 검토를 정리하면 아래와 같다.

1) 재생굵은골재를 전량사용한 재생콘크리트

잔골재에 하천사를, 굵은골재에 재생굵은골재 및 재생콘크리트를 탄산화한 재생굵은골재를 사용하였을 때, 부착된 미분이 많으면, 내동결융해성이 저하되는 경향이 있다는 보고가 있다. 그러나, 탄산화와 내동결융해성과는 관계 없다는 보고도 있다.

2) 재생굵은골재를 보통 골재에 치환 사용한 재생콘크리트

보통 굵은골재에 재생굵은골재를 10, 20, 30, 50, 100%치환 사용한 재생콘크리트에 있어, 100% 치환 사용한 경우의 내구성 지수는 66%이지만, 치환량이 50%이하의 경우의 내구성 지수는 94-100%가 되며, 동결융해저항성에 대해 우수한 결과를 나타낸다고 보고하고 있다. 또한, 치환량이 30%이하라면, 동결융해저항성에 문제는 없다고 보고하고 있다.

3) 재생골재를 전량 사용한 재생콘크리트

통상 과쇄하여 제조한 재생골재를 전량 사용한 재생콘크리트의 내구성 지수는 W/C가 커지는데 따라 작아지는 경향을 나타내고, W/C가 50% 및 55%에서 내구성 지수가 90%이상을 나타내고, W/C가 65%-80%에서는 저하된다고 보고하고 있다. 콘크리트 중의 재생골재의 사용량이 증가할수록 내구성지수는 낮아지는 경향이 있으며, 이것은 재생골재의 흡수율 등의 영향이 크기 때문인 것으로 보고하고 있다.

4) 고도 처리한 재생골재를 사용한 재생콘크리트

골재에 부착된 모르타르 부분을 가능한 한 제거한 고도처리(분쇄 방식, 가열분쇄방식) 제조에 의한 재생골재는, 굵은골재, 잔골재 모두 비중, 흡수율이 원골재 그 자체 또는 그것에 매우 가까운 특성을 갖는다. 이와 같은 재생골재를 사용한 재생콘크리트에 관한 연에서, 전량 사용하는 경우에, 동결융해저항성은 재생골재의 품질(비중, 흡수율)에 영향을 받는다는 보고가 있으며, 그 중에는 동결융해저항성이 떨어진다는 보고도 있다.

5) 기타

재생골재에 포함된 불순물 및 미분이 재생콘크리트의 내동결융해성에 영향을 준다고 보고하고 있다. 또한, 재생콘크리트의 공기연행성에 따라 동결융해저항성에 크게 영향을 준다고 보고하고 있다.

위와 같이 재생콘크리트의 단기/장기 안정성에 대한 검토에 대해 상대적으로 많은 연구를 수행한 일본에서조차 그 연구결과는 상이한 것은 우리에게 시사하는 바가 크다. 한가지 분명한 것은 재생골재의 문제점을 해결하기 위한 가장 좋은 방법은 재생골재 콘크리트에 대한 체계적인 장기안정성에 대한 검토가 필요하고 무엇보다도 재생골재의 표면에 부착되어 있는 시멘트 페이스트를 완전히 제거할 수 있는 기술이 개발되어야 한다는 것이다.

5. 고품질 재생골재 생산 기술 실례

앞서 언급한 일본의 “ 건축 구조용 재생 골재 인정 기준 ” 을 만족하는 고품질의 재생골재를 생산하는 방법 2가지가 소개되고 있는데 그 기술들을 간략히 소개하면 아래와 같다.

Mitsubishi materials에서는 가열분쇄방법에 의해 재생골재를 생산하고 있으며, 그 과정은 다음과 같다.

콘크리트 덩어리를 열풍에 의하여 약 300℃에 가열하고, 시멘트 페이스트 부분을 취약화시켜 강구를 사용하여 골재를 약화시키지 않을 정도의 마찰력으로 시멘트 페이스트를 선택적으로 제거한다. 동시에 세립분을 연속적으로 배출하면서 재생굵은골재를 제조한다. 또한, 잔골재 회수 장치에서는 세립분을 재생굵은골재에 의하여 분쇄 처리를 행하여 재생잔골재를 제조한다. 내용물은 전부 분급 장치에 투입되고, 미분은 공기분급에 의해 제거·회수된다. 이러한 과정에 의해 생산된 재생굵은골재, 재생잔골재는 콘크리트용의 골재 품질(JIS A 5005)을 만족하였다.

또 하나는 주식회사 竹中工務店에서 개발한 건설구조용 재생골재회수장치로 콘크리트덩어리를 파쇄한 후, 파쇄물을 편심 회전하는 처리 장치에 의해 처리해, 굵은골재와 모르타르 부분을 거의 완전하게 분리하여 천연 골재 및 쇄석과 동등의 품질을 가지는 굵은골재를 제조하고 있다. 이 재생골재를 사용한 콘크리트는, 프레스 콘크리트의 성질과 상태, 강도 및 내구성이 통상의 굵은골재를 사용한 콘크리트와 같아, 건축물이나 구조체에 이용할 수 있는 것으로 보고되고 있다. 이 재생골재 또한 JIS A5005를 만족하고 있으며, 일본에서 처음으로 건물의 구조체(1층 마루의 일부, 면적 약 100m²)에 재생굵은골재가 사용되었으며, 약 30m³에 타설되었다.

6. 결론

연간 2,400만톤 발생하는 폐콘크리트의 발생량을 고려해 볼 때, 환경적으로 폐콘크리트를 재생골재로 사용하는 것은 당연하다. 특히, 골재 수급 불균형이 심화되어 쇄석의 사용량이 높아짐에 따라 환경 파괴가 가속화되고 있는 현실에서는 자원의 재이용과 더불어 천연자원의 보존을 위해서 더욱 절실하다고 할 수 있다. 그러나 이와 같은 재생골재의 사용 요구가 가중되어 있음에도 불구하고 주로 성토용 등 저급용도로만 사용되고 있다는 것은 자원의 순환체계의 구축에 역행하는 것이다.

이에 대한 해결책으로는, 무엇보다도 재생골재의 품질 향상을 위한 재활용 기술 개발이 절실하며, 이와 더불어 인명과 관련된, 이들 재생골재가 사용된 건축구조물에 대한 안정성에 대한 검증이 체계적으로 이루어져 재생골재의 품질에 대한 신뢰성을 구축하는 것이다.

참고문헌

- 1) 松井 勇 외 2인, “ 재생콘크리트의 내동결융해성에 관한 고찰 ”, 일본콘크리트학회논문집 (2002).
- 2) 안지환 외, “ 건설폐기물 리사이클링의 품질기준 및 촉진 방안 ”, 건설교통부 (2001).
- 3) 윤형원 외, 건설산업 폐기물의 리사이클링 시스템 및 재활용 기술개발에 관한 연구 (1997).
- 4) 古賀康男외 3인, “ 가열분쇄법에 의한 콘크리트덩어리로부터 고품질골재회수기술의 개발 ”, 일본콘크리트학회논문집, Vol.22, No.2, (2000).
- 5) 井上孝之외 3인, “ 고품질 재생골재의 연구 ”, 일본콘크리트학회논문집, Vol.21, No.1 (1999).