

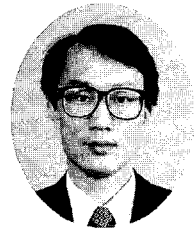
특집 II

환경친화 콘크리트

폐기물의 유효 이용과 콘크리트 - Reuse of Wastes and Concrete -



박연동*



정재동**

1. 서론

산업사회가 고도로 발전하면서 인간의 생활은 보다 윤택해졌지만, 그 부작용으로 환경 오염과 자원의 고갈 문제가 심각하게 대두되고, 환경 파괴에 의한 자연 재해까지 겹치면서 지구 환경에 대한 위기 의식은 날로 고조되고 있다. 환경 문제에 대한 인류의 이러한 공감 아래 환경친화적 기술 개발, 폐기물의 재활용 등이 전 세계적으로 장려되고 있으며, 그 결과로 인간의 의식뿐만 아니라 기술적으로도 많은 개선이 이루어졌다.

우리나라 GDP의 약 20%를 차지하는 건설산업은 그 동안 산업화와 경제 성장에 크게 기여해 왔으나 각종 건설 공사를 수행하는 과정에서 막대한 양의 자원을 활용하였고 자연에 큰 변화를 준 것도 사실이다.¹⁾ 최근 건설 분야에서도 환경 문제의 심각성을 인지하고 폐기물의 재활용 등 환경친화적인 사업에 많은 관심을 가지고 있으나, 경제성 문제, 품질 문제, 부정적인 인

식 등으로 인하여 크게 활성화되지 못하고 있다.

지구 환경과 콘크리트의 관계는 시멘트, 골재 등의 원재료 채취, 시멘트의 제조와 이산화탄소의 배출과 같은 환경 부담과 관련된 부분과, 산업 부산물의 이용, 폐콘크리트의 재활용 등 환경친화적인 부분이 공존하고 있다. 최근, 일본에서는 콘크리트와 환경의 관계에 있어 환경의 중요성을 크게 강조하는 에코 콘크리트라는 개념이 도입된 바, 에코 콘크리트란 지구 환경 부하의 저감에 기여하는 동시에 인간을 포함하는 모든 생물과의 관계에 논리적인 배려가 이루어진 콘크리트로 정의한다.²⁾ 즉, 에코 콘크리트는 폐기물, 오염, 자원 고갈 등 환경에 대한 부담을 경감시키는 환경 부하 저감형 에코 콘크리트와 생물계와의 조화 또는 공존을 꾀하는 생물 대응형 에코 콘크리트로 대별할 수 있고, 전자는 폐기물의 재활용, 장수명 콘크리트, 재생 골재 사용 콘크리트, 혼합 시멘트 및 포졸란 재료의 활용 등이 해당된다. 생물 대응형 에코 콘크리트는 생물의 서식장을 확보하고, 생물에게 악영향을 주지 않도록 고안한 콘크리트이며, 식생 콘크리트 등이 대표적인 예가 될 수 있다.³⁾

* 정회원, 경산대학교 건축학부 전임강사

** 정회원, 대구대학교 건축공학과 교수

폐기물의 유효 이용은 환경을 보존하고 자원을 절약하는 대표적인 방법이 될 수 있으며, 본고에서는 이와 관련이 깊은 페콘크리트의 재활용 기술, 시멘트·콘크리트계 재료에 대한 산업 폐기물 및 산업 부산물 재활용 동향 등에 관하여 간략히 기술하고자 한다.

2. 페콘크리트의 재활용

페콘크리트는 콘크리트용 또는 도로용 재생 골재, 시멘트 원료, 지반 개량재 등으로 재활용할 수 있는데, 이 중에서도 재생 골재로 사용하는 방법이 가장 널리 이용되고 기술적으로도 실용화 단계에 와 있다. 재생 골재를 사용한 재생 콘크리트에 대한 연구는 외국에서만 아니라 국내에서도 수행되어 왔으며, 4)~6) 기술기사로도 자세히 소개되었기 때문에 7)~8) 관련 자료가 필요한 사람은 쉽게 구할 수 있으리라 본다. 따라서, 본 장에서는 재생 골재 관련 설명은 생략하고, 재활용 관점에서 가장 이상적인 콘크리트인 완전 리사이클 콘크리트에 대하여 간략히 기술한다.

환경 부하 문제와 관련하여 생각하면, 콘크리트는 현재 <표 1>에 나타난 환경 관련 문제를 안고 있기 때문에 향후 미래에도 건설 재료로 사용을 지속하기 위해서는 강제나 알루미늄같이 수 회에 걸쳐 재사용할

수 있는 기술이 필요하다.

2.1 완전 리사이클 콘크리트의 정의⁹⁾

완전 리사이클 콘크리트란 '시멘트 및 시멘트 원료가 되는 물질이 포함된 결합재, 혼화 재료, 골재를 사용하여 경화 후 전량을 시멘트 원료 및 재생 골재로 사용 가능한 콘크리트'이며, 콘크리트는 <그림 1>과 같이 폐쇄된 체계로 순환한다. <표 2>는 완전 리사이클 콘크리트에 사용되는 원재료를, <표 3>은 완전 리사이클 콘크리트의 배합비의 일례를 나타내고 있다.

2.2 완전 리사이클 콘크리트의 품질

<표 4>는 보통 포틀랜드 시멘트, 석회암 쇄석 및 쇄사를 사용하여 제조한 완전 리사이클 콘크리트의 완전 리사이클성에 대한 友澤史紀 등¹⁰⁾의 실험 결과로서, 경화한 원콘크리트를 전량 분쇄한 후 필요한 성분 조정을 행하여 시멘트 원료로 사용하고, 전기로 소성, 석고 첨가 및 분쇄 공정을 거쳐 재생 시멘트를 제조하였다. 표에서 알 수 있는 바와 같이 재생 시멘트와 재생 콘크리트는 시판 시멘트 및 원콘크리트와 동등 수준의 품질을 나타내고 있다.

표 1. 콘크리트가 가지고 있는 자원 환경 문제와 완전 리사이클 콘크리트에 의한 개선·해결⁹⁾

항 목	문 제 점	완전 리사이클 콘크리트에 의한 개선·해결
폐기 처분	· 최종 처리장은 감소하고 있는 반면 페콘크리트 발생량은 증가하는 추세에 있음.	· 페콘크리트는 시멘트 제조용 원료 또는 재생 골재로 사용되기 때문에 최종 폐기 처분되는 콘크리트는 없음.
재이용	· 노반재로 페콘크리트를 이용하는 것은 잠재 수요가 충분하나 페콘크리트 발생 현장과 도로 현장까지의 거리 때문에 물류 비용이 많이 듦. · 품질이 양호한 재생 골재를 제조하려면 재생 골재 생산 원가가 상승하고 재이용·폐기 처분이 곤란한 미분이 대량 발생함.	· 페콘크리트를 해체 현장 근처의 시멘트공장, 재생 골재 제조 공장에 반입하여 가공한 후 부근의 레미콘공장, 공사 현장에 출하하면 물류 비용의 부담이 없음. · 재생 골재 제조시 대량 발생하는 미분은 시멘트 원료로 사용. · 재생 시멘트와 재생 골재를 사용한 콘크리트는 다시 재생이 가능하므로 콘크리트는 영구적 리사이클이 가능함.
골재 자원	· 골재 자원 부족과 골재 채취에 의한 환경 파괴 문제 때문에 막대한 골재 공급량을 유지하기가 어려움.	· 환경 보존이 용이한 석회석을 채굴하기 때문에 소규모 분산 골재 채취에 의한 환경 파괴가 없음. · 재생 골재의 영구적 리사이클에 의해 골재 자원 문제로부터 해방
석회석 자원	· 석회석도 유한한 자원이므로 소모되어 없어지고, 고갈에 따른 새로운 광산을 확보해야 됨.	· 석회석 자원을 구조물에 영구히 보존, 축적하므로 석회석 자원의 고갈에서 해방
CO ₂ 배출	· 석회석을 주원료로 하여 시멘트를 제조하는 한 막대한 양의 CO ₂ 가 배출됨.	· 1회 소성한 석회질 원료를 시멘트 원료의 일부로 사용하면 시멘트 제조시 CO ₂ 배출량과 소성에 필요한 에너지가 감소함.
산업 폐기물	· 고로 슬래그, 플라이 애쉬같은 산업 부산물도 한번은 유효 이용되나 콘크리트의 수명이 다하면 결국 폐기 처분됨.	· 산업 부산물의 적극적 사용이 권장되며, 영구적 리사이클이 가능함.

3. 산업 폐기물의 재활용 동향¹¹⁾

최근에는 외국뿐만 아니라 국내에서도 산업 폐기물을 콘크리트나 기타 건설 재료로 재활용하는 사례가 증가하고 있다.

<표 5>는 콘크리트나 시멘트계 건설 자재에 사용 가능한 폐기물의 재활용 동향을 요약한 것이다.

다양한 폐기물이 콘크리트에 사용될 수 있지만 그에 못지 않게 효율적으로 재활용되지 못하는 경우가 대부분인 것도 사실이며, 그 이유는 폐기물을 가공없이 콘크리트 재료로 사용할 수 있는 경우는 드물고 재분류하거나 다른 공정을 거쳐야 하기 때문이다.

폐기물을 콘크리트에 효과적으로 재활용하기 위해서는 폐기물의 특성과 콘크리트에 미치는 영향에 대해서 충분히 검토하여야 한다. 본 장에서는 플라이 애쉬나, 고로 슬

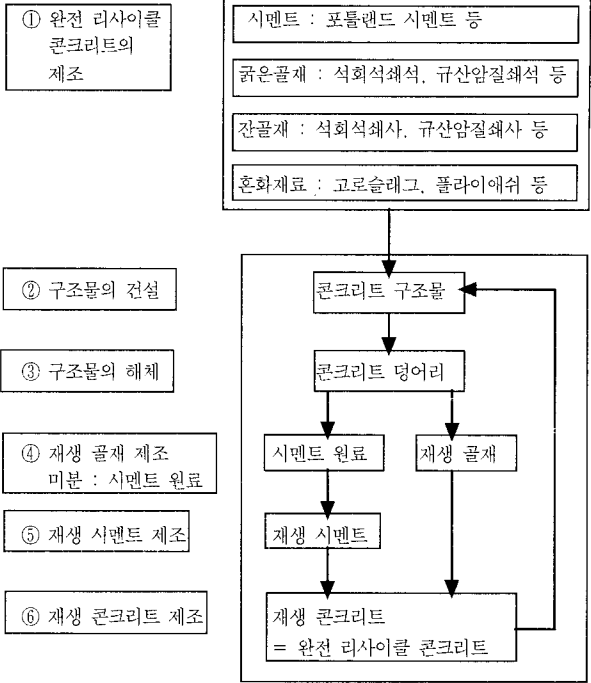


그림 1. 완전 리사이클 콘크리트의 개념도

표 2. 완전 리사이클 콘크리트에 사용되는 원재료

분 체	시멘트, 고로 슬래그 미분말, 플라이 애쉬 실리카질 분말, 실리카 폼, 석회석 미분말 등
잔골재	석회석 쇄사, 규산질 암석 쇄사, 규사, 고로 슬래그 잔골재, 팽창 혈암계 인공 경량 잔골재, 플라이 애쉬 소성 잔골재, 동슬래그 쇄사 등
굵은골재	석회석 쇄석, 규산질 암석의 쇄석 또는 자갈, 점판암 쇄석 또는 자갈, 고로 슬래그 굵은골재, 팽창 혈암계 인공 경량 굵은골재, 플라이 애쉬 소성 굵은골재 등

표 3. 완전 리사이클 콘크리트의 배합비 예

종 류	단 위 량 (kg/m ³)				
	물	시멘트	혼화재	잔골재	굵은골재
보통 콘크리트a	180	320	0	석회암 쇄사 785	석회암 쇄석 1050
보통 콘크리트b	180	190	고로 슬래그 130	규산질 암석 쇄사 755	석회암 쇄석 1050
고유동 콘크리트	180	305	플라이 애쉬 244	석회암 쇄사 770	석회암 쇄석 770
경량 콘크리트	180	360		석회암 쇄사 880	팽창 혈암계 인공 경량 골재 443

표 4. 재생 시멘트 및 재생 콘크리트의 성질

종류	비중	비표면적 (m ² /g)	응결 시간(분)		플로우 (mm)	압축 강도(N/mm ²)		
			초결	종결		3일	7일	28일
재생 시멘트	3.13	334	2:00	2:50	233	15	25	43

보통 강도 콘크리트	종류	W/C	압축 강도 (N/mm ²)	탄성계수 (kN/mm ²)
재생	0.58	35.2	29.0	

고강도 콘크리트	종류	W/C	압축 강도 (N/mm ²)	탄성계수 (kN/mm ²)
재생	0.30	66.8	46.5	

래그 등 널리 알려진 폐기물에 대한 설명은 생략하고, 쌀겨 및 쌀겨재, 폐유리, 도시 쓰레기 조각재, 연탄재, 폐주물사 등의 재활용에 대하여 간략히 기술한다.

3.1 쌀겨 및 쌀겨재

쌀겨는 인도 등지에서 프리캐스트 블록이나 슬래브 콘크리트용 골재로 사용되고 있다. 쌀겨는 톱밥에 비하여 시멘트 풀의 수화 반응을 방해하는 수용성 시멘트 독성이 적고, 밀도는 100 ~ 150 kg/m³ 정도이다.

표 5. 시멘트·콘크리트계 재료에 폐기물을 재활용한 사례

구 분	폐 기 물	재활용 실태 및 용도
유기성 폐기물	짚겨	골재로 사용하여 초경량 콘크리트 개발
	쌀겨재	시멘트 대체 재료로 활용되며, 고강도 콘크리트의 제조도 가능
	톱밥	톱밥을 전처리하여 문, 창문틀 등 각종 시멘트계 건축 자재 제조
도시 쓰레기	페콘크리트	페콘크리트를 골재로 재활용하여 기초부 콘크리트, 콘크리트 포장, 비내력벽 등 콘크리트 부재에 사용하며, 미국, 유럽, 일본 등지에서는 대대적인 재활용 프로젝트가 진행되고 있고, 많은 처리 업체가 생겨나고 있음.
	페벽돌	페벽돌을 콘크리트용 골재로 재활용하고 있으며, 특히 점토 벽돌을 골재로 재활용하면 콘크리트의 경량화와 인장 강도의 증대가 가능함.
	소각재	도시 쓰레기 소각로에서 나오는 유해성 소각재를 재활용하여 콘크리트 벽돌, 보도 블록, 조명 블록, 타일 등을 개발하고 있음.
	페스티리폴	모래, 시멘트와 혼합하여 준불연성의 경량 콘크리트 제품 제작
	FRP 폐재	FRP 폐재를 미분쇄하여 콘크리트의 잔골재 대체재로 활용. 미장 모타르, 경량 골재로 사용하며, 최근에는 콘크리트용 섬유 보강재로 재활용
	연탄재	국내에서 시멘트, 플라이 애쉬 등과 혼합하여 시멘트 벽돌 제조
	복합 쓰레기	다양한 생활 쓰레기를 분리하지 않고 파쇄한 후 시멘트와 특수 화학 혼합제를 사용하여 각종 보도 블록, 타일 등의 토목, 건축 자재 제조
산업용 폐기물	고로 슬래그	제철소 부산물인 고로 슬래그는 시멘트 제조의 원재료로 사용하거나 시멘트와 혼합한 슬래그 시멘트로 폭넓게 활용됨. 또, 최근에는 분말 화하여 고급 건축 자재 개발에 이용되고 있음.
	플라이 애쉬	석탄 화력발전소 부산물인 플라이 애쉬는 시멘트의 원료 또는 콘크리트용 혼화 재료로 세계적으로 폭넓게 사용되고 있음.
	실리카 폼	패도 실리코어나 실리콘 메탈 제조시의 부산물로 초고강도 콘크리트용 혼화 재료로 사용됨. 최근에는 콘크리트용 신소재로 크게 각광받고 있으며, 미국 등지에서 초고층 콘크리트 건축물의 건설에 많은 사용 실적이 있음.
	페비닐	각종 공장에서 배출되는 페비닐 또는 농업용 페비닐을 이용하여 플라스틱 콘크리트를 만드는데, 각종 블록류나 건축 자재 생산
	페석고	시멘트 제조의 부원료로 사용하거나 석고보드 제조에 활용
	석분	시멘트계의 각종 건축 자재에 미분말 보충용으로 사용됨.
	폐주물사	주물 공장에서 발생하며, 시멘트 원료, 콘크리트용 잔골재, 블록 제작 용 등으로 재활용됨.
	슬러지	하수 처리나 폐수 처리 공장에서 발생하는 각종 슬러지를 다양한 방법으로 전처리하여 인공 경량 골재, 각종 보드류의 건축 자재 제조
	폐유리	폐유리와 시멘트계 재료를 혼합하여 인조 대리석 등을 제조

짚겨 콘크리트의 단위 중량은 짚겨와 시멘트의 비율, 다짐 정도에 따라 달라지며, 일반적으로 0.6 tonf/m³ 내외이다. 또한, 압축 강도는 30 ~ 130 kgf/cm², 휨 인장 강도는 20 ~ 50 kgf/cm² 정도이다.

쌀겨는 쌀겨재(rice husk ash, RHA)로 만들어 사용하면 더 효과적인데, 쌀겨재는 시멘트의 부분적 대체재로 사용할 수 있다. RHA의 주성분은 비결정 실리카질로, 전체 중량의 85 ~ 97%를 차지하며, 소각 방법에 따라 함량이 변화한다.

RHA는 소각 온도, 소각 시간, 공기량 주입 등에 따라 품질 특성이 변화하는데, 자연 공기의 주입 상태로 400℃에서 4시간 소각하고 자연 상태에서 즉시 냉각한 후 100분 동안 분쇄하는 공정을 거친 쌀겨재

의 품질이 우수하다고 알려져 있다. 여기서 사용되는 쌀겨는 일반 정미소에서 배출되는 것이다. 연구 문헌에 의하면, 결합재 양의 20%를 RHA로 대체한 콘크리트와 시멘트만을 사용한 콘크리트의 재령 28일 압축 강도는 각각 620 kgf/cm²와 450 kgf/cm²로, RHA를 20% 첨가한 경우, 콘크리트의 압축 강도가 40% 이상 증가하였다. 또한, RHA를 시멘트 양의 70%까지 대체하여 사용하더라도 전 재령에 걸쳐 일반 콘크리트와 비교하여 동등 이상의 강도가 발휘되었다. RHA 콘크리트는 조적 공사의 모르타르, 기초부 콘크리트, 매스 콘크리트, 시멘트 벽돌 제조 등에 유용하게 사용될 수 있다.

3.2 폐유리

가정용 폐기물에서 유리 형태의 폐기물이 차지하는 비율이 영국에서는 9% 정도이고, 미국에서는 약 6 ~ 8% 정도로 추산되고 있다. 이러한 폐기물은 원활히 수거되어 재사용되는 것이 바람직하지만 유리 제품의 부분적 파

손이나 수집 및 재사용상의 어려움으로 인해 많은 유리 폐기물이 발생되고 있다.

유리 폐기물을 콘크리트용 골재로 사용하는 방안이 연구되면서 유리 골재라는 용어가 생겨났으며, 동일한 조건에서 유리 골재를 사용한 콘크리트의 압축 강도가 600 kgf/cm²인데 비하여, 자연산 골재를 사용한 콘크리트의 압축 강도는 450 kgf/cm² 수준이었다는 실험 결과도 보고되고 있다.

유리 골재를 일반 콘크리트에 사용하는 방법 이외에도 콘크리트계 인조 대리석에 사용하는 방법이 있는데, 독일에서는 이 인조 대리석이 인기 있는 건축 자재 중 하나가 되고 있다. 그러나, 유리 골재를 사용할 때는 시멘트의 알칼리 성분과 유리와의 반응이 문제가

되기 때문에 특별한 시멘트를 사용하거나 유리의 전처리 공정 등이 필요하다. 이 분야에 대한 연구는 아직 초보적인 단계이므로 좀더 많은 연구가 수행되어야 할 것이다.

3.3 도시 쓰레기 소각재

근래에 폐기물의 효과적인 처리 방법으로 소각에 대한 관심이 높아지고 있다. 우리나라의 경우 발생 쓰레기의 대부분이 매립되고 있으며 이에 따른 매립장의 부족 역시 심각한 실정이다. 국내에서 발생하는 쓰레기 중 불에 태울 수 있는 가연성 쓰레기가 전체의 50% 수준에 육박하기 때문에 소각 비율을 높이기 위하여 노력하고 있다. 그러나, 많은 양의 쓰레기를 소각하게 되면 여기서 나오는 소각재의 처리 문제도 심각하게 대두된다.

소각재는 전기 집진에 의해 회수되는 EP재(electrostatic precipitater ash)와 하부에 남는 BA재(bottom ash)로 나뉘는데, 이용 특성상 EP재가 BA재보다 유리하기 때문에 EP재의 재활용에 대한 관심이 높다. 소각재의 품질은 소각한 원폐기물의 종류와 특성, 소각 시설 등에 따라 변화되며, 소각재의 사용 비율이 높아질수록 콘크리트의 품질 특성은 저하된다. 소각재는 시멘트의 대체재로 사용하는데, 일부 실험 결과에 따르면, 시멘트 양의 30% 정도까지 대체하여 사용하는 경우에는 콘크리트의 강도가 상승하지만 이 한계를 초과하면 압축 강도는 급격히 저하된다.

미국과 일본 등 선진국에서는 소각재를 콘크리트용 혼화 재료로 재활용하기 위한 연구가 많이 진행되고 있으며, 우리나라의 경우에도 쓰레기의 소각 비율이 점점증하고 있는 추세이므로 이에 대한 충분한 연구와 재활용 기술 개발을 서둘러야 할 것이다.

3.4 연탄재

최근 들어 주거 생활의 현대화로 인해 생활 쓰레기에서 연탄재가 차지하는 비율이 20% 내외로 상당히 줄어들기는 하였으나 아직까지 국내 생활 쓰레기에서 차지하는 비율이 가장 높다. 연탄재를 시멘트 벽돌에 모래 대용으로 사용하는 방안이 다각도로 강구되었고, 관련 특허도 다수 발표되고 있다. 연탄재를 이용한 시멘트 벽돌은 단열성, 차음성 등에서 성능이 뛰어나고

강도면에서도 기존의 시멘트 벽돌 이상이다. 국내에서 연탄재를 재활용하여 벽돌 등을 생산하는 업체는 3개사 정도이다.

3.5 폐주물사

주물 공장에서 사용하는 주물사는 실리카질 함량이 높은 고급 모래이며, 폐주물사는 사용 후 폐기되는 주물사를 말한다. 폐주물사는 산업 폐기물 분류상 유해 폐기물에 속하여 위생 매립 등의 처리를 하여야 하는데, 최근, 매립 처분 비용의 상승과 매립지의 부족 등으로 주물업체에서는 생산 원가의 상승 요인으로 작용하고 있다. 또한, 국가 환경적인 차원에서는 매립장의 부족과 더불어 유용 자원의 폐기 처분이라는 부정적인 측면이 있다.

미국의 경우, 폐주물사는 주로 포틀랜드 시멘트 원료, 콘크리트용 골재, 아스팔트용 골재, 매립재 등으로 재활용되고 있으며, 일본의 경우는 콘크리트 제조용 원재료, 타일, 벽재 등의 전자재, 원예 자재, ALC 제품의 원재료, 원적외선 방사 재료 등으로 재활용하고 있거나 재활용 연구 중에 있다. 우리나라의 폐주물사 재활용 정도는 아직 초보적인 수준을 면치 못하고 있으며, 주로 벽돌이나 블록을 생산하는 데 재활용하고 있다.

폐주물사에 관한 연구 결과를 살펴보면, 폐주물사는 상당히 다양한 용도로 재활용될 수 있는데, 지금까지 연구된 결과에 따라 재활용 용도를 정리하면 <표 6>과 같다.

표 6. 폐주물사의 재활용 용도

재활용 용도	주요 내용
콘크리트 2차 제품	시멘트 벽돌, 시멘트 블록 등
콘크리트용 골재	콘크리트용 모래 대체 재료
시멘트 원료	포틀랜드 시멘트의 원료
아스팔트	아스팔트용 골재
목울	목울용 원료
유리질화	유해 폐기물의 용융화를 위한 원료
매립재	매립재, 토양의 펠터제
혼화 재료	미분을 열처리하여 혼화 재료로 사용
아스팔트 필러	미분을 아스팔트의 석분 대체재로 사용
유리	유리의 원료
원예 재료	원예 재료
기포 콘크리트	ALC 등 기포 콘크리트의 원재료
원적외선 재료	원적외선 방사 재료

4. 결 론

환경 오염과 자원 고갈의 문제는 날로 심각해지고 있으며, 이에 따른 법적 규제도 엄격해지고 있다. 선진국에서는 지구 환경 보존과 관련된 이러한 문제를 깊이 인식하고 다양한 폐기물에 대한 재활용 연구가 진행되고 있고, 이 중 상당 부분이 실용화되었으나, 우리나라의 경우에는 연구나 실용화 방안 모두 부족한 실정이다. 더욱이 우리나라는 부존 자원이 부족한 국가로서 한정된 자원의 절약에 힘써야 함은 물론이다. 따라서, 이제 더 이상 폐기물은 '쓰레기'가 아니라 '자원'이라는 발상의 대전환이 필요할 것으로 보며, 폐기물 재활용에 대한 인식의 전환과 함께 기술 개발, 용도 확대 등에 대한 끊임없는 노력과 더불어 정책적인 배려가 강화되어야 할 것이다.

특히, 콘크리트는 폐콘크리트화되었을 때 그 양이 막대한 반면, 상당 부분이 재활용 가능하고, 전술한 바와 같이 제조 과정에서 많은 양의 다양한 산업 폐기물을 재활용할 수 있으므로 환경친화적인 재료라 할 수 있으며, 콘크리트가 환경과 관련한 부정적인 이미지를 불식하고 진정 환경친화 재료로 제 역할을 다할 수 있도록 관련 연구·기술자들은 힘써야 할 것이다. □

참고문헌

1. 이상은, "건설폐기물을 이용한 건설자재 개발의 활성화", 대한토목학회지, 제46권 제12호, 1998. 12, pp.2-3.
2. エココンクリート研究委員会, "エココンクリート研究委員会報告書 - 自然環境との調和を考慮したエココンクリートの現状と将来展望", 日本コンクリート工學協會, 1995. 11, p.78.
3. 水口裕之, "エココンクリートとば", 콘크리트工學, Vol. 36, No.3, 1998. 3, pp.9-12.
4. 남상일, "재생골재 콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구", 충남대학교 박사학위논문, 1995. 2.
5. 김무한 외, "폐기콘크리트를 활용한 재생 골재의 각종 물성에 관한 실험적 연구", 한국폐기물학회지, 제15권 제3호, 1998. 5, pp. 203-209.
6. 이진용 외 3인, "재생콘크리트의 강도발현 특성 및 동결융해저항성 특성", 콘크리트학회논문집, 제10권 4호, 1998. 8, pp. 163-169.
7. 김무한, "건설폐기물 및 재생골재 콘크리트", 콘크리트학회지, 제10권 6호, 1998. 12, pp.52-60.
8. 이진용, "폐콘크리트의 재활용 기술", 대한토목학회지, 제46권 제12호, 1998. 12, pp.11-16.
9. 友澤史紀, 野口貴文, "完全リサイクルコンクリート," 콘크리트工學, Vol.35, No.7, 1997. 7, pp.57-60.
10. 友澤史紀 外, "完全リサイクルコンクリート(エココンクリート)の研究", 日本建築學會大會學術講演概要集 A, 1994, pp.341-342.
11. 신회택 외 6인, "주물사 재활용 기술개발에 관한 연구", 한국자원재생공사, 1995. 12, p.219.