콘크리트용 순환골재의 기술개발 현황 및 활성화 대책

The Status of Technical Development and Strategy to Increase the Use of Recycled Aggregate in Concrete

이 도 헌
대한주택공사 주택도시연구원 연구위원
E-mail: dhlee@jugong.co.kr

Abstract Since the middle of 1990's, the generation of the construction wastes has rapidly increased in Korea, where the waste concrete has made up most of the construction wastes. The reuse of an existing concrete as a material for a new concrete is an important concept in constructing a resources circulation system in the future. Researches regarding the use the recycled aggregate as the concrete aggregate have been performed with many useful results in the last decade. Nonetheless, the construction practices in the field that actually use the recycled aggregate are seldom found. This means that there still remain technical problems that need to be addressed. Proper material classification should be made systematically and consistently from the dismantling stage of a structure. It is also important to develop more advanced techniques of producing the recycled aggregates in the intermediate stage. Development of the materials, construction techniques, quality control, and the related specifications is also important. Furthermore, active strategies may need to be systematically taken to increase the use of recycled aggregates.

Keywords : Construction waste, waste concrete, recycled aggregate, recycling

1. 서 언

지구 온난화 현상이 악화되어 감으로 인하여 세계적인 기상이변이 속출하고 있는 가운데, 환경보존에 대한 인식은 갈수록 높아져 가고 있다. 이에 따라 자연환경의 보존을 위한 환경규제가 날로 강화되어 가고 있으며, 이에 따라 20세기 후반부터 지구환경 보존 및 천연자원의 보존에 대한 중요성이 크게 증가되어 가고 있다.

또한 경제산업의 발전과 함께 인류의 삶의 질 향상 및 생활환경 개선에 대한 욕구도 동시에 높아져가고 있다. 그러나 그동안 개발중심의 경제적 성장을 추구하여 오는 과정에서, 각종 산업분야에서 배출되는 각종 폐기물 및 오염물질로 인하여 대기환경 악화 및 생활환경 훼손이라는 오류를 범하여 왔다. 이러한 상황이 지속될 경우에는 인류의 자멸 및 지구의 멸망이라는 결과를 예측하게 된 지금, 이러한 환경훼손 방지를 위한 노력이 범세계적, 범국가적, 범인류적으로 적극적으로 추진해야 할 당면과제로 대두되어 있다.
우리나라의 물질수지 경향을 보면 국내자원과 수입자원이 각각 거의 50%씩을 점유하고 있으므로, 세계적으로 자원의 무기화 경향이 뚜렷해지고 있는 실정에서, 부존자원이 매우 한정되어 있는 우리나라와 같은 자원부족국가로서는 자원을 효율적으로 사용하는 것이 매우 중대한 사안이다. 국내에서 총 소비자원 중에서 약 50%가 에너지로 소비되고 나머지는 대부분 건설구조물과 같은 형태로 국내에 축적되고 있다. 그러나, 건설구조물은 일정기간동안 사용한 후에는 해체되게 마련이며, 이것이 재활용되지 않고 그대로 축적되게 되면 향후 언젠가는 전 국토가 건설폐기물로 뒤덮이는 상황이 오게 될 것이다. 건설폐기물의 대부분은 유해성 물질이 아니며, 각종 자재로 재활용이 가능한 것들이므로 건설폐기물을 잘 분리하여 사용하면 유용한 자원이 되지만, 그냥 버리게 되면 쓰레기가 되어 환경파괴 및 자원낭비의 결과를 초래하게 된다. 따라서 건설폐기물의 재자원화는 미래의 자원순환형 사회를 구축하기 위한 가장 중요하고 시급히 추진되어야 할 것이다.
폐기물관리법에 명시되어 있는 폐기물은 크게 생활폐기물, 사업장배출시설계 폐기물, 건설폐기물로 분류할 수 있는데, 이 중에서 국내에서 생활환경 및 지구환경을 저해하는 주요요인인 건설폐기물은 구조물의 노후화에 따라 그 발생량이 점점 증가되고 있으며, 지금까지 건설폐기물의 무단폐기로 인한 환경오염 증대와 매립지 부족 및 유효자원의 낭비 등의 각종 폐해를 초래하고 있다. 단순한 예로써 우리나라의 2004년도 건설폐기물 발생량은 약 5,400만 톤으로써, 이를 적절한 용도로 유용하게 재활용한다는 것은 그동안 심심치 않게 보도되었던 불법폐기에 의한 환경오염을 방지하게 될 뿐만 아니라 국가경제의 전반적 측면에서 가져오는 경제적 이익 및 유무형의 잠재적 가치는 환산할 수 없을 정도이다.
한편, 우리나라의 경제성장에 따른 건설물량의 급증으로 국내의 골재부존자원이 급격히 감소되어 이미 강자갈이나 강모래는 거의 고갈되어 있는 실정이며, 이를 부순돌, 부순모래, 바다모래, 수입모래 등으로 충당하고 있으나 이러한 골재자원마저도 부존량의 한계가 있을 뿐 아니라 석산개발에 따른 산림훼손 및 바다모래 채취에 따른 바다생태계 파괴 등을 방지하기 위한 따른 인허가 제한 등의 환경규제 강화로 생산이나 공급에 어려움이 가중되고 있다. 따라서, 노후된 콘크리트 구조물을 해체할 때에 발생되는 막대한 양의 폐콘크리트를 파쇄·가공하여 얻어지는 순환골재를 가장 효과적으로 활용할 수 있는 콘크리트용으로 활용하기 위한 기술개발이 요망된다. 지금까지 국내에서도 1990년대 이후에 다양한 연구가 시행되고 관련업계에서도 많은 기술개발을 이룩하여 왔으나, 아직까지도 순환골재를 구조체 콘크리트용 골재로 사용하기에는 어려움이 있는 것이 현실이다.
따라서, 여기에서는 건설폐기물의 발생현황과 순환골재를 콘크리트용으로 사용하기 위한 현 단계에서의 문제점을 분석하고, 이에 대한 기술개발 방향에 대하여 기술함으로써, 향

후 콘크리트용 순환골재의 사용촉진을 도모하고자 한다.

2. 건설폐기물의 발생 및 재활용 현황

2.1 건설폐기물 발생 현황

표 1 및 그림 1은 2005년도 환경부·국립환경과학원의 통계자료 “2004 전국 폐기물 발생 및 처리현황”에 의한 1998년부터 2004년까지의 폐기물 종류별 발생 현황을 나타낸다. 여기에서 보면, 생활폐기물 및 사업장배출시설계 폐기물의 발생량은 더 이상 증가하지 않고 정체상태에 있는데 비하여, 건설폐기물의 발생량은 8년간에 약 5.2배에 이르는 급격한 증가추세를 보이고 있어, 우리나라의 폐기물 총발생량의 급격한 증가의 주요 원인이 되고 있다. 2004년도에 발생된 건설폐기물은 매일 약 14만 8천 톤이 발생되며, 이것은 5천만 인구가 매일같이 엄청난 량을 발생시키는 생활폐기물보다 3배 정도나 많은 양이다. 이 양은 단순히 계산하더라도 15톤 트럭으로 약 1만대분에 해당하므로, 차량길이를 포함한 간격을 불과 30m로 가정하더라도 서울에서 대구까지에 이르는 엄청난 양이 발생된다는 계산이 된다. 특히, 표 2의 건설폐기물 성상별 발생현황을 보면 2004년도에 발생된 연간 5,420만 톤의 건설폐기물 중에서는 폐콘크리트를 포함한 건설폐재류가 연간 4,829만 톤이 발생되어 89.1%를 차지하고 있다. 또한, 표 2 및 그림 2에서와 같이 폐콘크리트 발생량은 건설폐재류 중에서 72.5%를 차지하며, 매년 급격한 증가추세에 있음을 알 수 있다.

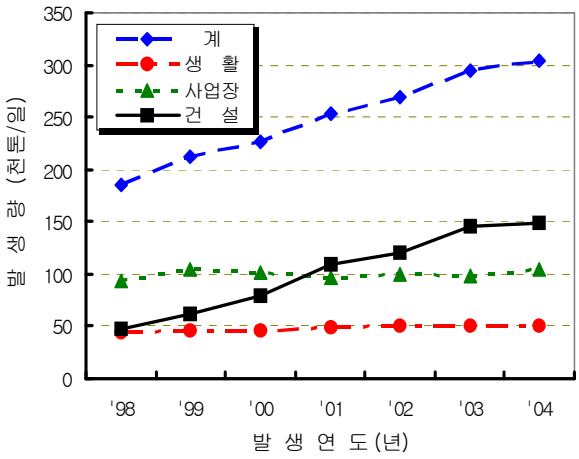

그림 1. 폐기물 종류별 발생 추이

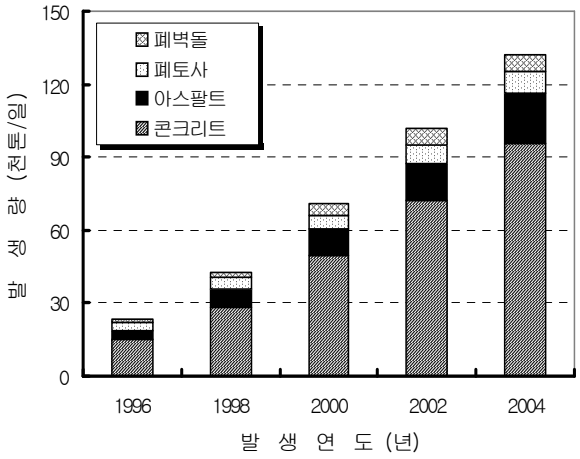

그림 2. 건설폐재류의 발생량 추이

표 1. 폐기물 종류별 발생 현황 (단위 : 톤/일)

구 분	'98	'99	'00	'01	02'	03'	'04
생활폐기물	44,583	45,614	46,438	48,499	49,902	50,736	50,007
사업장일반폐기물	92,713	103,893	101,453	95,908	99,505	98,891	105,018
건설폐기물	47,693	62,221	78,777	108,520	120,141	145,420	148,489
계	184,989	211,728	226,668	252,927	269,548	295,047	303,514

표 2. 건설폐기물의 성상별 발생 현황 (단위 : 톤/일)

구분 / 연도	총계	가연성 폐기물	불연성 폐기물								
			소 계	건설폐재류					금속류	유리류	기 타
				계	폐토사	콘크리트	아스팔트	폐벽돌			
1996	28,425	2,991	25,434	23,577	3,954	14,981	3,398	1,244	1,170	192	495
1998	47,693	3,148	44,545	42,445	4,881	28,165	7,867	1,532	818	127	1,155
2000	78,777	5,207	73,570	71,063	5,579	49,352	11,388	4,744	1,087	181	1,239
2002	120,141	6,053	114,088	101,992	7,428	72,526	14,729	7,309	1,323	430	10,343
2004	148,489	7,021	141,468	132,288	9,538	95,806	20,162	6,782	1,025	313	7,842

따라서, 이와 같은 통계자료를 근거로 하면 폐콘크리트의 재활용 방법으로써 폐콘크리트를 파쇄·가공하여 가장 부가가치가 높은 콘크리트로 활용할 수 있는 기술개발이 국가적으로 얼마나 중요한 것임을 미루어 짐작할 수 있게 된다.

2.2 건설폐기물의 처리 및 재활용 현황

건설폐기물은 여러 가지 방법으로 처리되고 있으며, 일반적으로 처리방법을 대별하면 매립(landfill), 소각(incinerate), 재활용(recycle)으로 구분된다. 환경부 통계자료에 의하면 2003년도 현재 전국 333개 매립시설의 잔여매립용량은 24,982만m^3이며, 2003년도의 매립량은 1,761만m^3인 것으로 나타나고 있다. 그러므로 향후 폐기물 발생량이 전혀 증가하지도 감소하지도 않으며 매립시설도 증설되지 않는다면, 14년 후에는 폐기물을 매립할 장소조차 없게 된다. 표 3은 1996년부터 2004년까지의 건설폐기물 처리방법별 변화추이를 나타낸 것으로써, 여기에서 매립비율은 38.7%에서 7.3%로 크게 감소하고 재활용 비율은 58.4%에서 90.7%로 크게 증가하여 매우 양호한 추세를 나타내고 있다.
그러나 문제는 이와 같은 재활용률이 고부가가치의 용도로 재활용된 비율을 의미하지 않는다는 점이다. 즉, 예를 들어 폐콘크리트 및 폐아스콘의 재활용 현황에 대한 2003년도

환경부의 자료를 보면 86.1%가 단순매립되거나 성토용 등의 저부가가치 용도로 사용되고, 비교적 고부가가치 용도로 사용된 것은 13.9%에 불과한 것으로 나타나고 있다. 따라서, 순환골재의 다양하고 고도의 재활용 기술개발을 통하여 고부가가치의 용도로 사용할 수 있도록 함으로써 실질적이고 본질적 의미의 재활용을 추구할 필요가 있다.
한편, 건설폐기물이 발생되는 현장에서 재활용하는 것은 건설폐기물을 외부로 반출하지 않고 신규로 소요되는 건설자재의 반입도 필요 없게 되므로, 교통환경오염(소음, 분진) 및 경제성 등의 측면에서 매우 유용한 방법이다. 그러나, 건설폐기물 처리주체는 자치단체, 처리업체, 자가처리로 구분되는데, 2004년도에는 366개에 달하는 중간처리업체에서의 처리량 점유율이 95.9%를 차지하므로, 현장 재활용률 향상을 위한 노력이 요구된다.

표 3. 건설폐기물의 처리방법 변화 추이 (단위 : 톤/일)

구 분	'96년		'98년		'00년		'02년		'04년	
		%		%		%		%		%
매 립	10,988	38.7	7,112	14.9	10,021	12.7	17,462	14.5	10,976	7.3
소 각	848	3.0	1,007	2.1	2,071	2.6	2,462	2.1	2,949	2.0
재활용	16589	58.4	39,574	83.0	66,685	84.7	100,209	83.4	134,557	90.7
계	28,425	100	47,693	100	78,777	100	120,141	100	148,489	100

2.3 건설폐기물 발생량 예측

우리나라의 경제성장기는 1960년대부터 시작되어, 1990년을 전후하여 주택 200만호 건설 등 건설물량이 대폭 증가해 왔으며, 현재 아파트 건축물의 재건축이 약 30년 정도 경과된 것을 대상으로 이루어진다는 점을 고려하면, 앞으로 건설폐기물의 발생량이 기하급수적으로 증가할 것으로 예상된다. 표 4는 주택 건설호수와 재건축 시기를 참고로, 향후 국내의 건설폐기물 발생량을 추정하기 위하여 과거에 지어진 주택호수를 건축연도별로 나타낸 것이다. 여기에서, 우리나라 주택의 노후화에 따른 재건축이 건립 후 30년이 경과된 것을 대상으로 이루어진다고 가정하면, 평균적으로 1970년대에 건설된 것이라고 할 수 있다. 즉, 2004년도에 발생된 건설폐기물의 양이 5,420만 톤이며, 이 양은 국내 주택수 총량의 약 10% 정도를 차지한다고 개략적으로 판단할 수 있다. 따라서, 향후 10년 후에는 총 24.9%가 해체되어 현재보다 약 2.5배 증가된 약 1억 톤의 건설폐기물이 발생되며, 20년 후에는 약 5.6배 증가된 약 3억 톤의 건설폐기물이 발생될 것으로 예측된다.
이와 같이 향후의 건설폐기물 발생에 따른 문제는 불과 이제 시작된 단계라고 할 수 있을 정도로 매우 급격하게 증가될 것이며, 발생량이 거의 정체상태에 있는 생활폐기물이나 사업장배출시설계 폐기물과는 전혀 다르게 대응할 필요가 있다는 점을 시사한다. 따라서 이와 같이 심각한 폐해가 예상되는 건설폐기물의 발생량 문제를 해결하기 위하여 건설폐기물을 각종 건설용 및 산업용 재료로 재활용할 수 있도록 관련기술을 개발해야 하는 것

은 우리의 매우 시급하게 당면한 문제임이 틀림없다.

표 4. 우리나라 건축연도별 주택건설 호수 추이

구 분 \ 건축연도		~1959	1960~1969	1970~1979	1980~1989	1990~2000	계
단독주택	호수	547,068	362,973	742,635	1,046,948	1,369,839	4,069,463
아 파 트	호수	78	4,351	238,449	1,134,451	3,853,990	5,231,319
연립/다세대	호수	139	927	54,876	422,914	787,133	1,265,989
기 타	호수	16,146	20,054	57,288	125,796	173,287	392,571
계	호수 (%)	563,431 (5.1)	388,305 (3.5)	1,093,248 (10.0)	2,730,109 (24.9)	6,184,249 (56.4)	10,959,342 (100.0)

3. 순환골재의 특징 및 용도

3.1 순환골재의 특징 및 콘크리트에 미치는 영향

폐콘크리트를 파쇄·가공한 순환골재가 기존의 천연골재와 다른 물리적 특성상의 차이점은 각종 이물질이 포함될 가능성이 크고(그림 3), 골재 표면에 모르타르가 부착되어 있으며(그림 4), 품질편차가 크다는 점을 대표적으로 들 수 있다. 이와 같은 점은 콘크리트용으로 사용하기 위한 순환골재의 물리적 특성을 대부분 저하시키게 되며, 특히 흡수율, 밀도, 마모감량의 특성이 저하된다. 순환골재의 일반적 특성을 나타내면 다음과 같다.

1) 밀도 및 단위용적질량이 낮고, 흡수율, 안정성 및 마모감량 등이 높다.
2) 이물질 함유량이 높다.
3) 0.08㎜체 통과량이 높다.
4) 품질편차가 크고 품질관리가 어렵다.

이로 인하여 순환골재를 사용한 콘크리트의 배합시에는 단위수량이 증대하며 강도확보를 위하여 시멘트량을 증대시키거나 물시멘트비를 낮추어야 된다. 또한 아직 굳지 않은 콘크리트 및 경화콘크리트의 특성이 저하되며, 콘크리트의 품질편차가 증대하므로 품질관리에 유의해야 한다. 순환골재 콘크리트의 일표적인 특성을 나타내면 다음과 같다.

1) 콘크리트 배합시 단위수량이 많이 소요되며, 블리딩이 저하된다.
2) 워커빌리티가 저하되며, 슬럼프 및 공기량의 경시변화량이 크다.
3) 압축강도, 인장강도, 휨강도, 전단강도, 피로강도 등 강도특성이 낮아진다.
4) 탄성계수가 낮고, 건조수축 및 크리프가 증대한다.

5) 중성화, 염해, 화학저항성 및 특히 동결융해저항성 등의 내구성이 낮아진다.
6) 아직 굳지 않은 콘크리트 및 경화콘크리트의 품질편차가 크고 품질관리가 어렵다.
7) 상기의 영향으로 콘크리트 구조체에 균열이 발생되기 쉽다.

그림 3. 순환골재의 이물질

그림 4. 순환골재의 부착모르타르

3.2 순환골재의 재활용 용도

순환골재는 매우 다양한 용도로 재활용될 수 있으며, 부가가치 낮은 성토용에서부터 부가가치가 높은 레미콘용에 이르기까지 용도에 따라 가격도 천차만별로 달라진다. 순환골재를 단순매립하거나 저부가가치의 성토재로 활용하기 보다는 이를 파쇄·가공하여 다시 건설용 골재로 재활용하는 것은 자원절약 및 환경보존을 통한 자원 폐콘크리트를 파쇄한 순환골재의 표면에 붙어있는 부착모르타르를 제거하기 위해서는 파쇄기의 종류 및 파쇄 횟수, 운전방법 등에 대한 적절한 시스템 구축이 요망된다. 현재 국내의 중간처리업체에서 순환골재 생산용으로 사용하고 있는 파쇄기는 대부분 기존의 부순골재 생산을 위한 파쇄기(조크러셔, 콘크러셔, 임팩트크러셔, 롤크러셔 등)를 사용하고 있으나, 구조체 콘크리트용으로 사용하기 위한 양질의 순환골재를 생산하기 위해서는 부착모르타르를 효율적으로 충분히 제거할 수 있는 파쇄기의 개발 및 적용이 바람직한 것으로 사료된다. 즉, 파쇄기의 수량도 중요하지만 순환골재의 고품질화를 위해서는 파쇄 메카니즘이 더욱 중요할 수도 있다. 일본에서는 이러한 측면에서 고품질 순환골재 생산을 위한 파쇄기는 기존의 것과 전혀 다르거나 개선한 것이 개발되고 있다. 일본에서 부착모르타르를 제거하기 위한 대표적인 순환골재 제조방법의 예를 나타내면 표 6과 같다.순환형 사회시스템 구축을 위한 중요한 키워드가 될 것임에 틀림없을 것이다. 그러나, 국내에서 레미콘용과 같이 고부가가치의 용도로 사용할 수 있을 만큼 적절한 품질의 순환골재가 적절한 용도로 사용되고 있는지 의문의 여지가 있다.
필자가 조사한 2002년도 국내 순환골재 생산업체의 재활용 현황을 나타내면 표 5와 같다. 일반적으로 부가가치가 높은 용도로는 도로용(노반재 및 보조기층재 등), 콘크리트 2차제

품용, 레미콘용 등을 들 수 있으나, 표 5에서의 도로용이란 거의 성토용에 불과한 것으로 여겨진다. 또한 레미콘용이란 보다 활용이 용이한 순환굵은골재보다 순환잔골재를 활용하는 경우를 나타내는데, 이는 국내에서 굵은골재보다 잔골재의 수급이 어렵기 때문에 나타나는 현상이며, 기술개발의 단계에서 보면 바람직하다고는 할 수 없다. 그림 5는 일본의 폐콘크리트 발생량과 도로용(노반재) 수요에 대한 연도별 추이를 나타낸 것으로서, 2005년도 이후에는 폐콘크리트를 노반재만으로는 완전한 처리가 불가능해져 콘크리트용으로 사용할 필요성이 대두되었다는 것을 나타낸다. 우리나라도 이러한 현상은 곧 닥칠 것으로 생각되므로, 순환골재를 콘크리트용으로 사용하기 위한 각종 기술개발이 요구된다.

표 5. 순환골재의 용도별 생산현황(2002년)

용도	생산업체수	생산량(톤)	점유율(%)
성토/매립용	63	6,477,400	62.3
바닥용	19	551,000	5.3
도로용	28	1,749,000	16.8
2차제품용	5	278,500	2.7
레미콘용	9	837,500	8.1
기타	15	500,500	4.8
합계	68	10,393,900	100.0

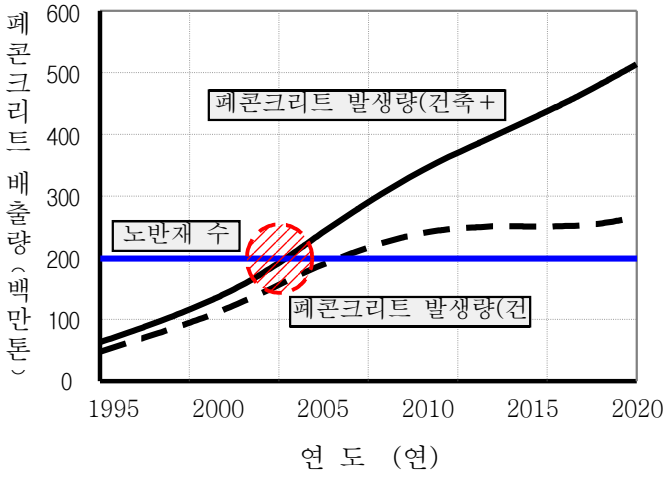

그림 5. 일본의 폐콘크리트 발생량과 노반재 수요 변화 추이

4. 콘크리트용 순환골재의 개술개발 방향

4.1 재활용 기반구축 기술개발 방향

순환골재의 효과적인 재활용의 필요성은 환경부 및 건교부 등의 정부 관련부처에서도 충분히 인식하고 있으며, 따라서 2003년 12월에 “건설폐기물 재활용 촉진에 관한 법률”을 제정하고, 건교부·환경부에서 “순환골재 용도별 품질기준”을 제정하였으며, 순환골재의 품질인증제도 마련을 추진하고 있다.
이와 같은 추진배경에는 재생제품에 대한 부정적 인식으로 인하여 재활용 활성화에 걸림돌이 되고, 또한 순환골재의 기술적 기준(품질기준, 설계·시공·품질관리지침 등) 이외에도 정책·제도적으로 재활용 기반을 마련해야 된다는 당위성이 고려되었다고 여겨진다. 그러므로 이러한 법률의 제정 등을 통하여 순환골재의 재활용을 촉진토록 함은 매우 고무적인 조치임에 틀림없으나, 일반적으로 순환골재의 품질이 기존의 골재보다 떨어진다는 점을 충분히 고려해야 할 것이다. 즉, 관련기준 등을 짧은 기간 동안에 조급하게 제정하기 위하여 충분한 검토가 이루어지지 않는다면 결과적으로 콘크리트의 품질저하로 인한 구조물의 하자발생 및 내구성 저하를 초래하여 장기적으로 재활용 효과보다 더욱 큰 손실을 가져올 수 있다는 점을 간과해서는 안 될 것이다.
순환골재의 재활용 활성화를 위한 기반구축을 위해서는 우선적으로 관련현황을 정확하게 직시할 수 있어야 한다. 그러나 지금까지 국내의 관련 통계자료는 많이 부족할 뿐만 아니라 데이터의 신뢰성도 충분히 높다고 하기 어렵다고 생각된다. 따라서, 체계적인 통계조사를 선행하는 것은 매우 중요한 사안일 것이다. 순환골재의 품질에 대한 부정적 인식을 타파하기 위해서는 물론 양질의 순환골재를 생산하기 위한 기술개발도 필수불가결한 것이지만, 순환골재를 사용할 경우의 인센티브 부여를 확대하는 방안도 동시에 강구되어야 할 것이다. 아울러 순환골재의 유통정보에 대한 상세한 정보를 실시간으로 제공할 수 있는 순환골재 유통정보시스템을 보완할 필요성도 있을 것이며, 양질의 순환골재 생산 및 유통을 위한 순환골재 유통기지 건설에 관한 적절한 방안도 적극적으로 검토할 필요가 있다고 판단된다.
또한, 국내에서 콘크리트용 순환골재의 KS 규격이 마련되고, 용도별 품질기준이 마련되었다고는 하지만, 아직도 콘크리트 표준시방서 및 구조설계기준에는 명확하게 명기되어 있지 않고, 설계·시공·품질관리지침도 마련되어 있지 않으므로, 이와 관련한 시방서 정비작업도 필요하게 된다. 이러한 측면에서 일본에서는 JIS 규격을 순환골재의 품질별(고품질, 중품질, 저품질)로 제정하였다는 점을 좋은 참고자료가 될 것이다.
한편, 고품질의 순환골재를 생산하여 활용하는 것이 반드시 경제적·환경적으로 좋다고는 할 수 없다. 순환골재를 가장 적절하게 사용한다는 것은 LCA 평가를 통하여 결정되어져야 한다고 생각되나, 우리나라에서는 아직 환경부하 평가에 관한 기술개발이 미진한 실정이므로, 향후 LCA 평가기법에 대한 종합적이고 체계적인 연구개발이 요망된다.

4.2 해체 및 구조물 설계기술 개발 방향

양질의 순환골재를 생산하기 어려운 원인 중의 하나는 해체현장에서 발생되는 각종 이물질이 혼재되어 있다는 점이다. 그러므로 일본에서는 2001년도에 건설리사이클법을 제정하여 건설폐기물의 성상별 분별해체를 법제화하였으며, 그 효과는 매우 크게 나타나고 있는 것으로 여겨진다. 그러나, 우리나라에서는 철근 등의 철제물과 같은 유가물은 규제하지 않아도 잘 선별되지만, 그 이외의 것은 분리선별이 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다. 여러 가지 이물질이 많이 혼재되어 있을수록 고품질의 순환골재 생산은 어렵게 되며, 이를 콘크리트용으로 사용하기도 어렵게 된다. 따라서, 구조물 해체현장에서 폐기물의 성상별로 분별해체하고 분리선별해야 할 필요성이 있으므로, 선해체-후분리 방식을 탈피하여 선분리-후해체 방식으로 전환할 수 있는 성상별 분별해체 기술의 개발이 매우 시급히 요망된다. 동시에 해체시의 분리선별을 제도적으로 규제함으로써 양질의 순환골재 생산 및 폐기물의 성상별 재활용률 향상에 기여할 것이다. 그림 6은 구조물의 구성재를 사전에 분리선별하지 않고 해체함으로써 건설폐기물이 각종 자재가 혼합되어 발생되게 되는 장면을 나타내며, 그림 7은 폐기물을 성상별로 분별해체하는 장면의 일례를 나타낸다.

그림 6. 선해체-후분리 시공 사례

그림 7. 선분리-후해체 시공 사례

한편, 폐콘크리트의 발생량을 저감시키기 위한 기술은 환경보호 및 자원절약을 위하여 매우 중요하며, 이를 위해서는 구조물 해체공사시에 폐기물의 성상별로 잘 분리하여 재활용률을 높이는 방법 이외에도, 구조물의 설계단계에서부터 폐기물이 많이 발생되지 않도록 설계에 반영할 필요가 있다. 그 방법으로는 우선 구조물 해체시 폐콘크리트가 다량으로 발생되는 것을 방지하기 위한 구조물의 장수명화 기술을 적용하는 것이 큰 효과를 거둘 수 있는 방법이다. 이와 같은 폐기물 발생량의 저감효과 이외에도 구조물의 장수명화는 기간당 자원소비량을 감소시키고 건설시의 투입 에너지를 감소시킬 수 있으므로 앞으로 기술적으로 지향해야 할 방향이다. 특히 근래에 우리나라에서는 주택가격의 상승 및 설비의 노후화와 주거양식의 변화 등을 이유로 구조물의 물리적 수명이 다하지 않은 상태에

서 조기 재건축이 성행하고 있다는 것은 건설폐기물의 대량 발생으로 인한 환경폐해 및 국가적인 재정낭비를 초래하고 있음을 인식해야 할 것이다.
콘크리트 구조물의 장수명화는 여러 가지 방법으로 실현할 수 있으며, 일반적으로 리모델링이 용이한 기술개발이나 보수가 용이한 기술개발을 통하여 구조물의 수명을 연장시키는 것도 매우 효과적인 방법이다. 그러나 그와 같은 방법보다는 콘크리트 구조체의 성능을 향상시켜 장수명화를 꾀하는 방법이 가장 기본적으로 추구해야 할 방향이며, 이를 위해서는 콘크리트의 고강도화와 고내구화가 필연적으로 요구된다. 콘크리트용 골재의 품질이 나쁠수록 고강도콘크리트 및 고내구성콘크리트의 제조가 용이하지 않으므로, 구조물의 장수명화를 실현하기가 어렵게 된다. 따라서, 일반적으로 기존의 천연골재나 부순골재보다 품질이 열악한 순환골재를 구조체 콘크리트용으로 사용할 경우에는 가능한 한 강도가 크게 높지 않은 구조물에 우선 적용하는 것이 바람직하며, 한편으로는 순환골재 콘크리트의 재료배합설계 기술 및 고품질 순환골재 생산기술의 개발에 노력해야 할 것이다.
아울러, 순환골재를 사용한 재활용 제품을 현장에서 많이 적용하고 또한 콘크리트 부재를 재이용하기 위해서는 부재 및 제품의 표준화 및 모듈화가 중요하게 될 것이다. 단, 현 단계에서 PC 부재와 같은 콘크리트 부재를 그대로 재이용하기 위한 기술을 개발하는 것은 그 효과 및 효율성을 고려할 때 시급한 문제는 아니라고 생각된다.

4.3 순환골재 생산기술 개발 방향

국내에서 순환골재를 생산하는 시스템은 습식과 건식이 모두 있으나, 콘크리트용(특히 순환잔골재)을 생산할 목적으로는 거의 전 업체가 습식시스템을 채용하고 있다. 이것은 순환골재의 품질확보가 유리하기 때문으로 판단되지만, 물을 순환사용함에 따라 침전조는 물론 약품탱크와 탈수시설 등의 대규모 수처리 시설이 소요되므로 막대한 초기투자비가 소요되며, 슬러지 케이크의 재활용이 어렵다는 단점이 있다. 반면에 건식분급 시스템은 초기투자비가 적게 소요되고 분급 후에 산출된 미립분의 이용가능성이 높으며 폐수처리 설비를 갖추기 위한 초기투자비가 적게 소요된다는 장점이 있음에도 불구하고, 순환골재의 품질확보가 어렵다는 원인으로 국내 생산업체에서는 채용하고 있지 않다. 따라서, 품질확보가 가능하다면 건식시스템이 여러 가지 측면에서 유리하다고 할 수 있다. 건식시스템에서 고품질 순환골재를 생산하기 위해서는 몇 가지의 기술개발이 요구된다. 첫째는 미립분을 충분히 제거할 수 있는 기술이며, 둘째는 부착모르타르를 효율적으로 제거하기 위한 기술이라고 볼 수 있으며, 이러한 기술개발을 추구할 필요가 있다.
한편, 양질의 콘크리트용 순환골재의 생산을 위해서는 이물질 제거 기술과 고도의 폐콘크리트 파쇄·가공 기술의 요구된다. 이물질 제거기술에는 여러 가지 방법이 있으나, 우선 순환골재를 생산시스템에 투입하기 이전에 폐콘크리트의 이물질을 최대한 제거하는 것이 중요하다. 그 후 인력선별, 자력선별, 부유선별, 풍력선별 등의 과정을 잘 조합하는 기술이 수반되어야 한다. 폐콘크리트에 포함될 수 있는 각종 이물질(종이, 플라스틱, 유리, 목재, 아스팔트, 적벽돌, 블록 등)은 각각 특성이 달라서 콘크리트의 특성에 악영향을 미치

는 경우가 많다. 이물질과 관련된 현재의 문제점으로는 각각의 활용용도에 부합된 이물질의 정의가 명확하게 규정되어 있지 않으며, 밀도가 물보다 무거운 이물질의 선별이 어렵다는 점이다. 그림 8은 각종 이물질의 밀도차이를 나타내는데, 특히 적벽돌, 플라스틱, 유리 등 물보다 무거운 이물질도 선별할 수 있는 기술개발도 요구되는 항목이다.

폐콘크리트를 파쇄한 순환골재의 표면에 붙어있는 부착모르타르를 제거하기 위해서는 파쇄기의 종류 및 파쇄횟수, 운전방법 등에 대한 적절한 시스템 구축이 요망된다. 현재 국내의 중간처리업체에서 순환골재 생산용으로 사용하고 있는 파쇄기는 대부분 기존의 부순골재 생산을 위한 파쇄기(조크러셔, 콘크러셔, 임팩트크러셔, 롤크러셔 등)를 사용하고 있으나, 구조체 콘크리트용으로 사용하기 위한 양질의 순환골재를 생산하기 위해서는 부착모르타르를 효율적으로 충분히 제거할 수 있는 파쇄기의 개발 및 적용이 바람직한 것으로 사료된다. 즉, 파쇄기의 수량도 중요하지만 순환골재의 고품질화를 위해서는 파쇄메커니즘이 더욱 중요할 수도 있다. 일본에서는 이러한 측면에서 고품질 순환골재 생산을 위한 파쇄기는 기존의 것과 전혀 다르거나 개선한 것이 개발되고 있다. 일본에서 부착모르타르를 제거하기 위한 대표적인 순환골재 제조방법의 예를 나타내면 표 6과 같다.

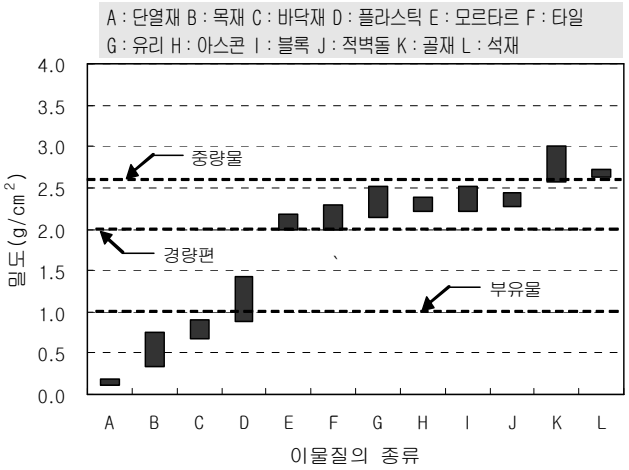

그림 8. 각종 이물질의 종류별 밀도

표 6. 일본의 고품질 순환골재 제조방법

종류	제조방법
가열 마쇄법	약 300℃의 열풍을 가하여 골재와 시멘트페이스트간의 계면을 취약화시킨 후 마쇄하는 방법
편심로터법	외부 원통형 쉘과 내부 편심로터간의 마쇄작용에 의한 방법
스크류법	케이싱내의 스크류와 역회전하는 콘크러셔에 의한 압밀·마쇄작용에 의한 방법

상기와 같은 일본의 고품질 순환골재 제조방법은 생산능력이 낮고 고비용이 초래되므로 우리나라에 그대로 도입하기는 경제성을 확보할 수가 없다. 따라서, 이러한 문제를 해결할 수 있는 폐콘크리트의 파쇄기술 개발은 콘크리트용 순환골재의 활용을 위하여 바람직한 방향이다. 여기에서 또 한 가지 개발되어야 할 사항은 고품질 순환골재의 생산으로 인하여 대량으로 발생되는 미립분을 어떻게 재활용할 수 있는가의 문제이다. 그동안 국내외에서 미립분을 재활용하기 위한 연구가 다각적으로 이루어져 왔으나, 아직까지 대량으로 활용할 수 있는 적절한 방법은 강구되어 있지 않으므로, 미립분 재활용 기술 개발은 필히 모색되어야 할 것이다.

4.4 순환골재 콘크리트의 제조 및 적용기술 개발 방향

순환골재 콘크리트를 제조하는 레미콘 공장에서는 순환골재의 특성에 대한 기술적 지식과 품질편차를 줄이기 위한 기술력 확보에 대한 노력이 요망된다. 근래에 레미콘용 잔골재 수급부족 현상과 관련하여 레미콘 공장에서 콘크리트용 잔골재로서 품질이 미흡한 순환잔골재를 일부 사용한 것으로 알려져 있다. 그러나, 보다 적용성이 우수한 순환굵은골재보다 품질이 열악한 순환잔골재를 먼저 사용하고자 하는 경향은 결코 바람직한 현상이라고 할 수 없다. 순환골재 생산기술 발전현황을 비추어보면 재생굵은골재보다 재생잔골재의 품질확보가 더욱 어려우므로, 우선적으로 순환굵은골재 콘크리트의 제조에 주력할 필요가 있으며, 품질관리를 철저히 할 필요성이 있다.
순환골재 콘크리트의 요구품질을 만족시키기 위해서는 우선 철저한 반입검사에 의하여 품질이 좋은 순환골재를 선정·관리하는 것이 중요하다. 순환골재의 물리적 특성 중에서 콘크리트의 품질관리에 가장 유념을 해야 하는 것은 흡수율 관리일 것이다. 이것은 순환골재의 표면에 부착되어 있는 모르타르의 흡수성이 높기 때문에 골재의 표면수율 관리가 어렵고 따라서 콘크리트의 슬럼프를 비롯한 각종 물리적·역학적 특성에 대한 품질편차가 크게 발생될 소지가 많기 때문이다. 이를 적절히 관리하기 위해서는 흡수율이 낮은 순환골재의 선정은 물론 순환골재의 적절한 함수율 관리를 위하여 지붕이 있고 살수설비가 구비되어 있는 별도의 저장시설을 갖추는 것이 바람직하며(그림 9 참조), 배합시 순환골재의 계량을 위한 계량빈 및 서비스탱크가 부가적으로 필요하다.

한편, 고품질 순환골재를 생산하여 활용하는 것이 언제나 가장 바람직한 것이라고는 할 수 없다. 즉, 순환골재의 특성을 고려한다면 보다 저품질의 순환골재 사용방안을 강구하는 것이 나을 수도 있을 것으로 생각된다. 이를 위해서는 순환골재 콘크리트의 제조기술 및 시공·품질관리를 엄밀하게 정립할 필요가 있으며, 이것이 완성되어 활용될 수 있다면 콘크리트용 순환골재의 재활용 촉진에 매우 큰 영향을 미칠 것으로 사료된다.
건설현장에서 순환골재 콘크리트를 적용할 경우에는 우선 균열발생의 위험성에 대비해야

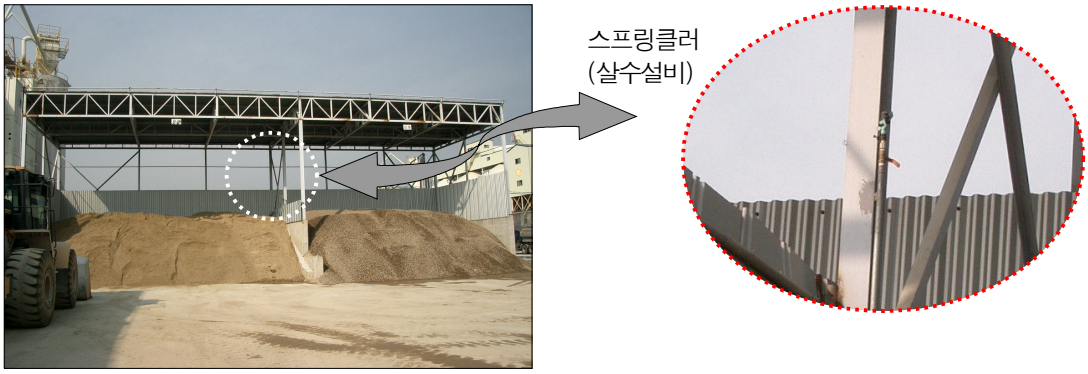

그림 9. 레미콘 공장의 골재 저장시설 사례
(지붕 및 살수용 스프링클러 설치)

되므로, 레미콘 공장 선정시에 생산시설의 적절성과 사용재료의 종류 및 품질관리실태의 적절성 등을 사전에 검토할 필요가 있다. 콘크리트가 현장에 반입될 때에는 레미콘 공장에서 발급하는 송장을 확인하고 레미콘의 배합을 나타내는 슈퍼프린트를 철저히 확인하여 콘크리트의 단위수량 및 물시멘트비의 적절성 등을 검토하는 것이 바람직하다. 레미콘 타설시에는 블리딩수의 과소발생 여부와 펌핑성이 저하될 가능성에 대한 펌프압 산정, 이어치기 시간 및 표면마감에 주의해야 하며, 콘크리트 타설 후에는 건조수축이 크다는 점에 유의하여 철저한 양생관리가 필요하다.
한편, 순환골재는 기존의 골재보다 품질확보가 어렵고 콘크리트의 균열발생 및 각종 물리적·역학적 특성이 저하되어 구조체의 성능확보에 어려움이 예상된다. 따라서, 순환골재를 양질의 천연골재 또는 부순골재와 혼합하여 사용하는 것이 바람직하며, 이러한 혼합사용방법이 순환골재의 재활용을 위해서도 좋을 것이다. 단, 이 경우에는 순환골재의 혼합비율을 적절히 확인할 수 있는 기술개발이 필요하게 된다. 마지막으로 순환골재 콘크리트의 품질편차는 일반콘크리트보다 크기 때문에 순환골재 콘크리트에 대한 현장에서의 각종 품질시험빈도에 대한 검토도 필요할 것으로 생각된다.

5. 맺음말

본 고에서는 이에 관련된 현황분석 및 향후에 할 기술개발 방향에 대하여 기술하였다. 그동안 인류는 각종 개발을 통하여 환경을 오염시키고, 지구적 차원의 기상이변을 일으킬 정도로 자연을 훼손하여 왔다. 그러므로 다량으로 발생되는 폐콘크리트를 콘크리트용 순환골재로 재활용해야 한다는 것은 환경오염 방지 및 자원의 유효활용 측면에서 이론의 여지가 없으며, 이제는 우리 모두의 의무로 여겨지는 시점에 있다.
건설된 구조물은 최소한 수십 년 동안 건전하게 유지되어야 하므로, 자칫 품질관리를 소홀히 하여 하자발생 및 조기철거 사례가 발생된다면, 오히려 순환골재에 대한 부정적 인식이 부각되어 콘크리트용 순환골재의 재활용 촉진에 역행하는 결과를 초래하게 될 것이

다. 아직 국내에서 순환골재를 콘크리트용으로 재활용하기에는 성숙되지 않은 부분이 많이 있으며, 이러한 점을 타개하기 위해서는 중간처리업체 순환골재 생산자 및 레미콘 업체와 시공업체는 물론 산·학·연·관에서 지속적인 노력이 수반되어야 할 것이다.

감사의 글

본고는 2005년 건설교통부 건설기술연구개발 중 '건설폐기물 재활용 기술 개발(05건설핵심 D07)사업의 연구개발 내용을 포함하고 있으며, 관련 연구진에 감사드립니다.

참고문헌

1) 환경부·국립환경연구원, 2004 전국 폐기물 발생 및 처리현황, 2005.
2) 대한주택공사, 재생콘크리트의 품질관리기반 조사분석 연구, 2003. 11.
3) 日本コンクリート工學協會,
廢棄物のコンクリート材料への再資源化に關するシンポジウム論文集, 2002. 6.
4) T.C. Hansen, RILEM REPORT 6, Recycling of Demolished Concrete and Masonry, E&FN SPON, 1989.
5) 이도헌, 국내 재생(순환)골재의 생산 및 활용현황, 재생(순환)골재 및 재생(순환)골재콘크리트 정책·기술 세미나 논문집, 한국콘크리트학회, 2004. 2.
6) 이도헌, 콘크리트용 순환골재의 품질기준 및 재활용 지침, 순환골재 품질기준 제정을 위한 공청회, 건설교통부, 2004. 11.
7) 한국건설기술연구원, 순환골재 품질인증 시행방안 마련을 위한 공청회, 2005. 10, p.42.
8) 한국건설순환자원학회·대한주택공사 주택도시연구원, 건설폐기물 및 순환골재 생산과 활용기술, 2006. 4, p.261.
9) 주택도시연구원, 건설폐기물 재활용 정책 및 기술개발 동향, 2006. 6. p.199.
10) 환경부·한국건설순환자원학회, 건설폐기물 재활용 기본계획 수립을 위한 공청회, 2006. 8, p.42.

요 약 1990년대 중반 이후, 국내 건설폐기물 발생량은 매우 급격히 증대하고 있으며, 그 중에서 폐콘크리트는 가장 많은 양을 차지하고 있다. 이러한 실정에서 폐콘크리트를 새로운 콘크리트용 원재료로 재활용한다는 것은 미래의 자원순환형 사회를 구축하는 근간이 될 것이다. 그러므로 약 10여 년 전부터 국내에서도 순환골재를 콘크리트용 골재로 재활용하기 위한 각종 관련연구 및 기술개발이 다각적으로 추진되어 많은 성과를 거두어 왔다. 그럼에도 불구하고, 아직까지 순환골재를 콘크리트용으로 사용하는 사례는 극히 미미한 실정이며, 이는 기술적으로 해결해야 할 부분이 많이 남아 있다는 것을 의미한다.

순환골재를 콘크리트용으로 적극적으로 활용하기 위해서는 구조물 해체단계에서부터 폐기물의 성상별로 분별해체가 적절히 이루어지는 것이 중요하다. 또한, 순환골재를 생산하는 중간처리업체의 생산시스템 고도화 기술의 개발이 요구되며, 순환골재를 콘크리트용으로 적용하기 위한 재료·시공·품질관리 기술개발 및 관련 시방서의 체계적인 정비가 요구된다. 아울러 순환골재의 재활용을 위한 제도적 활성화 방안도 함께 추진됨으로써 콘크리트용 순환골재의 활성화를 촉진시킬 수 있을 것이다.

핵심용어 : 건설폐기물, 폐콘크리트, 순환골재, 재활용, 중간처리업체