

# 노후된 시멘트 콘크리트 포장재료의 재활용

이진용\*

## 1. 머리말

우리나라는 1978년 남해고속도로의 43.5km 시멘트 콘크리트 포장을 시작으로 88올림픽고속도로, 호남고속도로 대전-광주간 확장공사, 중부고속도로 등을 시공하였다. 현재까지 건설된 고속도로 총 연장의 2,050km 중 아스팔트 포장은 775km이고, 시멘트 콘크리트 포장은 1,275km로 62%에 달하여 도로의 이설, 보수, 교체시 노후된 시멘트 콘크리트가 많이 발생하고 있다. 이 외에도 올 하반기부터 20년 이상 된 아파트의 재건축이 서울의 잠실, 반포, 청담, 도곡, 화곡, 암사, 명일 등을 중심으로 본격화 될 전망이다. 현재 국내 건설 폐기물은 해마다 배출량이 증가하고 있으나, 정확한 통계가 없는 실정으로 전체 폐기물 발생량의 40%인 약 2천만톤의 건설폐기물이 발생하는 것으로 추정하고 있다. 일반적으로 건설공사에서 발생하는 고품 폐기물의 처리는 주로 매립에 의존하여 왔지만 날로 심각해져 가는 처리장의 부족과 각종 규제강화 및 새로운 쓰레기 처리장 건설의 어려움 등으로 그 처리는 날로 어려워지고 있다. 또한 매립을 위한 막대한 수송비와 처분 비용으로 최근까지 국내 건설현장에서 발생된 많은 건설폐기물은 불법매립, 투기 및 소각과 같이 부적법하게 처리되었으며, 특히 IMF이후 폐기물 업체들의 잇따른 도산으로 환경오염의 주범이 되

고 있다.

본고는 노후된 시멘트 콘크리트 포장 해체시 다량으로 얻어지는 폐콘크리트를 재활용하기 위하여 국내외의 재활용 현황 및 활용방안에 대하여 알아보고자 한다.

## 2. 폐콘크리트의 재활용실태

### 2.1 폐콘크리트의 발생 및 처리실태

폐콘크리트는 노후된 시멘트 콘크리트 포장에서 발생하는 것 외에도 콘크리트 구조물의 철거, 전기·전화선의 지중매설에 따른 보도 블럭과 전신주의 철거 및 교체, 콘크리트 흙판, 콘크리트 패널 및 블럭의 제조과정에서 발생하는 파손 및 불량품으로 인하여 배출되는데 시기적으로는 토목 및 건축활동이 활발한 2~7월경에 발생량이 폭증하고 장마기 또는 혹한기에는 발생량이 줄어든다. 폐콘크리트는 다른 사업장에서 배출되는 폐기물과는 달리 환경오염 측면에서 큰 유해성은 없지만 발생량 자체가 많고, 시멘트 콘크리트 포장인 경우 폐콘크리트는 철근, 토사 등이 함께 배출되기 때문에 재활용이 용이하지 않다.

폐콘크리트는 토사, 아스팔트 콘크리트 및 벽돌 등과 같이 건설폐기물에 속하며, 이것은 지자체에서 지정한 건설폐기물 전문 수집·운반업체 또는 중간처리업체의 적환장으로 반입되어 파

\* 동아건설산업(주) 기술연구원, 공학박사

쇄·선별과정을 통해 재생골재, 토사, 미분, 철근 그리고 잡쓰레기로 구분된 후 재생골재나 토사는 유·무상으로 판매되어 건설현장에서 성토용, 복구용 등으로 처리되고, 철근은 제철회사에 판매되어 가공·재생된다. 그리고 잡쓰레기는 매립장에 반입되어 처분되거나 소각되고 있다. 그림 1은 건설폐기물이 중간처리업체로 반입되어 재생 및 최종 처리되는 과정을 보여준다.

## 2.2 폐콘크리트 관련법규

오늘날 환경오염 문제는, 사회·경제활동이 대량생산·대량소비·대량폐기형으로 고도화됨에 따라 폐기물량의 증대와 함께 폐기물질의 다양화, 최종처분장의 부족 등이 발생하여 보다 심화, 확대되면서 그 문제의 해결을 위한 여러 가지 대책이 강구되고 있는 실정이다.

폐콘크리트 처리는 1986년에 제정된 '폐기물관리법'에 의하여 이루어지고 있으며, 2차에 걸친 법 개정이 있었다. 또한, 폐콘크리트를 포함한 산업폐기물의 재활용을 더욱 촉진시키기 위한 제도 마련을 위하여 폐기물 발생억제 및 재활용에 관한 규정을 분리하여 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률을 제정하였으며, 폐기물 분류체계를 유해성 기준으로 재분류하고, 재활용장을 대신하여 폐기물 처리시설 주변영향 주민에 대한 지원 규정을 두어 폐기물 처리시설의 설치를 촉진하는 기반을 마련하였다. '95년 1월부터 전국적으로 쓰

레기 종량제를 실시하면서 국민생활 전반에 걸쳐 많은 변화가 이루어지는 등 폐기물관리행정의 주변여건이 대폭 전환됨에 따라 '95년 8월 폐기물관리법을 개정하였고, '96년 1월 시행령, '96년 2월에는 시행규칙이 대폭 개정되었다(그림 2).

## 2.3 국내·외 재활용 현황

유럽에서는 건설폐기물의 재활용에 대한 관심이 1900년경에 독일에서부터 시작되었다. 1. 2차 세계대전 후 발생한 막대한 양의 조적식 건물 벽돌조각의 처리가 중요한 관심사로 대두되면서 재생골재 관련 품질규정을 제정하였다. 그 후 1970년대에 들어서면서 천연골재가 고갈되고 노후된 콘크리트 구조물의 해체에 따라 발생하는 막대한 양의 건설폐기물의 처리 문제가 심각해짐에 따라 건설폐기물의 상당량을 차지하면서도 특별한 처리나 복잡한 공정 없이 재활용이 가능한 폐콘크리트의 재활용 방안에 대한 연구와 적용이 시작되었다. 1990년 '건설폐기물 억제를 위한 목표 결정안'을 수립하여 각 주마다 폐기물 감량화 목표를 정하여 놓고 적극적으로 추진되고 있다. 영국에서는 매년 2000만톤 이상의 건설폐자재가 발생하고 있으며 그 중 콘크리트가 50~55%, 폐벽돌이 30~40%를 차지하고 있으며 거의 대부분이 재활용되고 있다. 덴마크의 경우에도 폐콘크리트 재활용 기술에 대한 연구가 활발히 추진되고 있다.

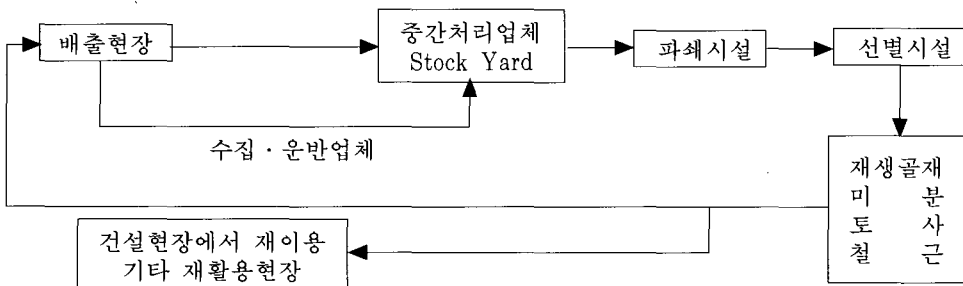


그림 1. 건설폐기물 중간처리 및 최종처리 계통도

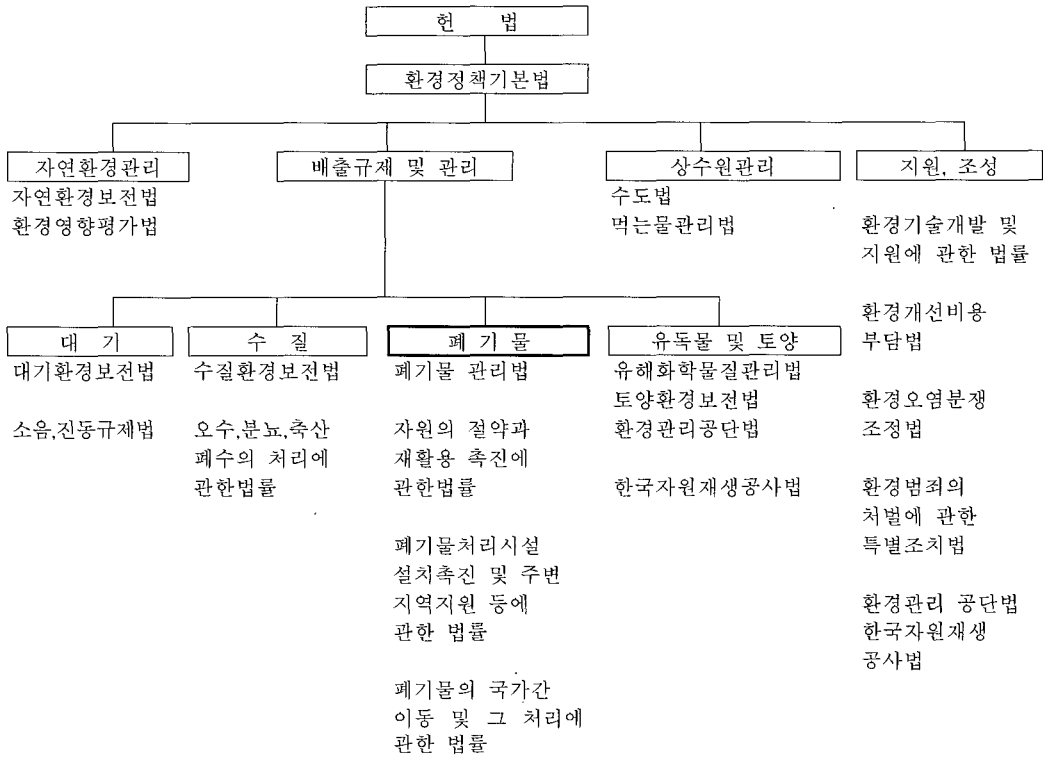


그림 2. 국내 환경법 체계도

일본은 1985년에 '시가지 토목공사 공중재해 방 지대책 요강'을 전면 개정하여 잔토와 폐기물에 대하여 세심하게 관리하고 있으며, 특히 1991년에는 '리사이클링 법'에 의거하여 '건설부산물 적정 처리 추진 요강'을 제정하여 지정폐기물의 재활용을 의무화하고 있다. 1994년에는 '건설폐기물 행동계획'을 발표하여 2000년에 폐기물 발생량을 10% 감소시키고 재활용률을 80%까지 증가시키는 것을 목표로 하고 있다. 현재 일본에서는 도로 노반재용으로 사용은 물론 성토재의 활용은 보편화되어 있다.

미국에서는 1970년대에 접어들면서 천연광재의 고갈과 고품폐기물의 배출문제에 깊은 관심을 갖고 활성화가 시작되었으며, 현재 폐콘크리트를 이용한 재생콘크리트 포장을 실용화 하였다.

국내 폐콘크리트의 활용기술에 대하여 일부 산업체와 대학(동아건설, 코오롱건설, 연세대학교, 충남대학교, 강원대학교, 청주대학교)의 연구로 재활용 기술발전에 공헌을 하였으며, 정부에서는 올해 7월 4일에 '자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법'에 의거하여 2000년 이후부터 재활용을 더욱 강화하였다(표 1).

표 1. 건설폐기물의 재활용 목표율

연도별	목표율/실적 (%)			
	토사	콘크리트 및 벽돌	아스팔트 콘크리트	폐목재
'98.1.1~'99.12.31	60/72.2	50/74.7	35/72.9	-/69.2
'00.1.1~'01.12.31	65→70	55→70	40→70	→30
'02.1.1부터	75	75	75	50

주 : →은 목표치를 상향 조정한 것을 의미함.

### 3. 폐콘크리트의 재활용방안

노후된 시멘트 콘크리트포장은 와이어매쉬 및 철근이 사용되었는가 또는 무근콘크리트인가에 따라 다르겠지만, 해체시 가장 많이 얻어지는 콘크리트덩이는 주로 폐콘크리트로 구성되고, 이외 소량의 폐기물을 함유한다. 따라서 폐콘크리트를 파쇄하여 굵은골재와 잔골재를 생산하고 있으며, 선진국에서는 주로 도로의 보조기층 및 재생콘크리트 생산에 적용하고, 국내에서도 이런 분야에 관련된 연구가 이루어져 현재 진행중에 있다. 필자는 건설교통부 국책연구과제로 폐콘크리트 활용에 관한 연구를 수행하였으며, 그 결과를 다른 연구 결과들과 함께 본 고에 간단히 설명하고자 한다.

일반적으로 재생골재 생산시스템 구성은 생산 시설에 투입되는 폐콘크리트의 품질, 최종으로 생산 계획하는 골재의 크기, 요구되는 재생골재의 품질과 파쇄장비에 투입되는 폐콘크리트의 크기, 파쇄장비의 특성 등에 따라 알맞게 변경되어야 한다. 그림 3과 같이 파쇄는 1차 파쇄와 2차 파쇄로 나누어지고, 우선 죠크러셔(Jaw crusher) 등의 굵은골재 파쇄용 1차 파쇄기로 15cm정도 이하로 파쇄하면서 자선기(磁選機)에 의한 철근의 제거, 인력에 의해 잡쓰레기를 제거한 후 20~40mm의 체로 분리한다. 재생골재를 보조기층이나 기층 등에 재활용하는 경우에는 1차 파쇄 후에 체를 통과시킨 파쇄물과 2차 파쇄 후의 파쇄물은 품질이 달라 별도로 취급하는 경우가 많다. 이것은 1차 파쇄후의 체 통과분에는 그때까지의 공정에서 제거 불가능한 미세한 이물질이 함유되기 때문이다. 죠크러셔 등의 압축력에 의한 파쇄로는 상대적으로 파쇄물에 편평한 입자가 많고 입도 분포가 좋지 않을 경우가 있으나, 2차 파쇄용 임팩트 크러셔(또는 콘크러셔 및 자이레트리 크러셔)에 의해 파쇄입자의 형태나 입도 분포가 개선된다. 국내의 섹션용 2차 파쇄 장비의 경우는 콘크러셔와 자이

레트리 크러셔 등이 많이 사용되고 있다. 그리고 파쇄된 폐콘크리트는 주로 굵은골재, 잔골재 그리고 나머지는 소량의 잡쓰레기로 구성되어진다. 따라서 노후된 시멘트 콘크리트 포장의 재활용률은 파쇄후 대량 생산되는 재생골재의 활용기술에 달려있다.

#### 3.1 재생골재를 도로의 보조기층재로 활용하는 방안

파쇄된 폐콘크리트에서 생산된 재생골재는 다양한 분야에 재활용이 가능하나, 현재 국내에서는 물론이고 선진국조차도 도로의 보조기층재 및 콘크리트 골재로서 사용 가능성에 대해서만 연구 및 실용화에 초점을 맞추고 있다. 표 2는 재생골재를 도로의 보조기층에 사용하기 위하여 폐콘크리트에서 생산된 재생골재의 품질을 도로교 시방서에 규정한 시험(액성한계, 소성지수, 마모감량, 수정CBR 및 다짐 시험) 결과를 시방서 기준과 비교하여 재활용 가능성을 판정한 것이다.

시험결과 재생골재는 뒷채움재 및 되메우기 재료는 물론 도로의 보조기층재로 적당한 것으로 밝혀졌으며, 시험결과를 종합하면 다음과 같다.

- ① 재생골재의 입도분포는 파쇄장비와 관계없이 도로시방서에서 정한 기준범위내에 있으나, 기층재에 쓰일 재생골재는 보조기층재와 달리 입도조절을 위해 2차 파쇄가 요구된다.
- ② 임팩트 크러셔를 이용하여 파쇄한 재생골재가 죠크러셔를 이용해서 파쇄한 방법보다 잔골재의 분포도가 높으며 현장밀도시험과 현장CBR 시험에서도 높은 지지력을 갖는다.
- ③ 재생골재의 실내시험결과는 도로교표준시방서의 보조기층 재료로 적합하나 최적함수비가 일반골재에 비해 다소 높고, 최대진조밀도는 다소 낮다.
- ④ 현장다짐시험에서 재생골재가 일반골재에 비

해서 다짐이 어려워 시방서에서 요구하는 수준의 현장다짐밀도를 얻기 위해서는 추가적인 다짐이 필요하다.

- ⑤ 페콘크리트가 환경에 미치는 영향을 평가하기 위해서 용출시험을 실시한 결과, 재생골재는 중금속성분과 유기물성분의 노출정도가 기준치보다 적게 검출되었다. 따라서 폐기물관리법에서도 사업장폐기물이면서 인체에 유해하지 않은 폐기물로서 관리되는 것과 같이, 도로공사에 사용시 환경에 미치는 유해성은 극히 미약하다.

### 3.2 재생골재를 콘크리트 생산에 활용하는 방안

재생골재는 형상이 쇄석상이기 때문에 전반적으로 입형이 불량하고 골재자체의 모르터분배에 의해 흡수율이 큰 점 등 골재의 특수성으로 인하여 보통 콘크리트와는 상당히 다른 특성을 지니며, 그 특징을 알아보면 아래와 같다.

#### (1) 흡수성

보통골재와 비교해서 재생골재의 가장 다른 물리적특성은 높은 흡수성이다. 재생골재의 흡수율은 원콘크리트의 품질과는 관계없이 천연골재에 비하여 2~5배에 이른다. 이것은 원골재 입자에

붙어 있는 오래된 모르터의 높은 흡수율 때문인 것으로 간주된다. 일본에서 제안된 “재생골재와 재생콘크리트 사용”에 의하면 재생골재는 흡수율이 굵은골재의 경우 7%, 잔골재에서 13% 이내의 골재만 사용하도록 규정하고 있다.

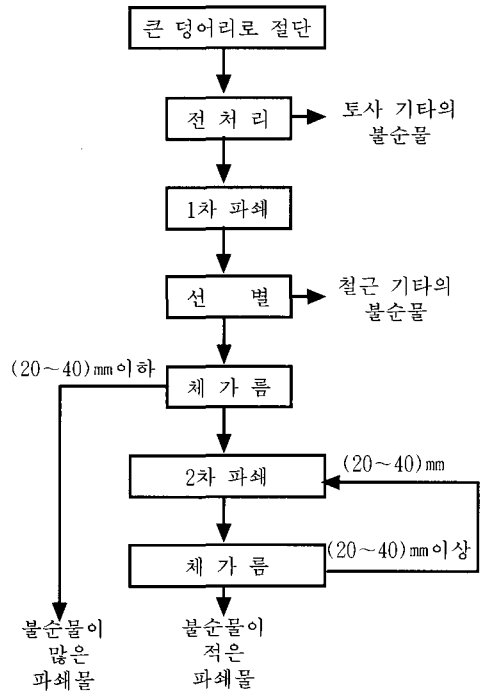


그림 3. 건설폐기물 파쇄시스템의 일반적인 구성

표 2. 도로보조기층용 재생골재 시험결과

시험종목	시험방법	쇄석혼합골재	A (재생골재)	B (재생골재)	C (재생골재)	D (재생골재)	E (재생골재)	기준	
액성한계 (%)	KS F2303	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	-	
소성지수	KS F2304	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	6 이하	
마모감량 (%)	KS F2508	29	42	46	47	47	45	50 이하	
수정 CBR (%)	KS F2320	55	49	71	64	44	47	30 이상	
다짐시험	KS F2312	최대건조 밀도(g/cm³)	2.214	1.914	1.935	1.943	1.898	1.908	-
		최적 흡수비(%)	6.0	14	12	10	15	13	-

(2) 밀도

최근 연구 결과에 의하면 재생 굵은골재의 밀도는 2,290~2,510kg/m<sup>3</sup>이고 재생 잔골재는 2,190~2,320kg/m<sup>3</sup>로서 천연골재에 비하여 약 200kg/m<sup>3</sup>정도 낮은 것으로 조사됐다. 그 이유는 원골재 입자에 붙어 있는 오래된 모르터의 낮은 밀도 때문인 것으로 간주된다. 그러나 재생콘크리트의 밀도는 원콘크리트의 다양한 물과 시멘트의 비율에는 영향을 받지 않는 것으로 나타났다.

(3) 안정도

황산을 이용한 골재 안정도시험 ASTM C33에 의하면 무게손실을 굵은골재는 18%, 잔골재는 15%까지로 규정하고 있으나, 재생골재 시험결과 굵은골재는 18~59%이고 잔골재는 7~21%로서 ASTM에서 정한 규정을 많이 초과한다.

(4) 단위수량

재생골재는 흡수율이 높고, 골재 입형이 나쁘기 때문에 일반적으로 워커빌리티가 나쁘게 되는 경향이 많아 보통콘크리트에 비하여 동일 슬럼프를 얻기 위해서는 단위수량이 많아지는 경향이 있다. 이와 같이 콘크리트의 단위수량이 많아지는 것은 콘크리트의 건조수축에 의한 균열을 발생시키는 원인으로도 되기 때문에 된비빔 콘크리트의 사용, 유효한 고성능 감수제의 사용 등에 의해 가능한 한 단위수량을 저감시키는 것이 바람직하다.

(5) 공기량

재생콘크리트는 보통콘크리트에 비하여 공기량을 많이 포함하고 있다. 그 이유는 재생골재의 입형이 나쁘기 때문에 잠재공기량이 많고, 골재자체의 공극이 크기 때문이다.

(6) 블리딩

재생골재의 대체율이 증가함에 따라 블리딩량은 감소한다.

(7) 압축강도

많은 연구결과에 의하면 재생골재를 사용한 콘

크리트는 보통콘크리트에 비하여 낮다. 필자가 보통콘크리트에 재생 굵은골재를 20%씩 증가하여 100% 까지 대체한 재생콘크리트 강도시험결과에서도 동일한 결과를 얻을 수 있었으며, 재생골재의 대체량이 많아질수록 강도가 낮아지고, 골재원의 종류에 따라 강도차이가 있다.

(8) 탄성계수

재생골재는 비교적 낮은 탄성계수를 갖는 구모르타르가 원골재 주위에 존재하므로 인해, 재생콘크리트의 탄성계수는 원골재를 사용한 동종 콘크리트보다 낮다.

(9) 건조수축

일반적으로 모든 재생콘크리트의 건조수축량은 동일한 천연골재로 생산한 콘크리트보다 배합비나 재생골재의 종류에 관계없이 약 50% 까지 상승하며, 분쇄한 골재중 저급의 모르터 성분이 있는 재생골재를 사용하여 생산한 재생콘크리트의 경우는 기존의 천연골재로 생산한 콘크리트보다 3배 정도 건조수축이 증가한다. 또 다른 시험결과에 의하면 재생굵은골재와 재생잔골재를 사용할 때, 재생콘크리트의 건조수축은 천연골재를 전부 사용한 콘크리트의 건조수축보다 14~95%정도 많은 건조수축이 발생한다.

(10) 내구성

재생콘크리트의 흡수율은 보통콘크리트의 흡수율보다 약 3배가 증가한다. 이것은 천연콘크리트와 잔골재가 혼합하여, 보통콘크리트내에서 비교적 밀실한 매트릭스를 형성하는 반면에, 재생콘크리트는 상대적으로 밀실한 매트릭스 안에 분포된 재생골재 사이의 많은 공극이 흡수성을 저하시키는 것으로 간주된다. 일부 동결융해시험에서는 보통콘크리트보다 재생콘크리트의 동결융해 저항성이 낮다는 것을 발견하였으며, 다른 시험결과는 재생콘크리트가 오히려 보통콘크리트보다 내구성이 우수한 것으로 상반된 결과를 얻었다. 필자의 연구결과에 의하면 재생콘크리트가 동결융해에

대한 저항성이 낮은 것을 발견하였다.

#### 4. 맺음말

선진국에서는 환경과 자원고갈에 대한 우려 속에 폐콘크리트 재활용에 대한 실용화 및 재생골재의 품질향상을 위해 많은 연구가 이루어지고 있다. 또한 일부 국가에서는 시범사업으로 현장 타설 및 그 성능을 판정하는 단계에 있다. 국내에서도 일부 학자와 기업이 연구수행을 하였거나 수행중에 있으며, 지금까지의 국내연구 결과에 따르면 폐콘크리트로부터 생산된 재생골재는 도로의 보조기층 및 재생콘크리트 생산에 이용이 가능한 것으로 보고되고 있다. 그러나 필자의 의견으로는 재생골재를 콘크리트에 재활용하는 방안은 선진국조차 상당히 꺼리고 있기 때문에 추가적으로 심도있는 연구가 필요하다. 더불어 재생골재의 품질기준을 정하고, 재활용을 하는 시공업체에게 경제적인 인센티브를 보장해 주며, 발주자 또는 관리 감독자에게도 경제적 또는 사회적 인센티브를 주는 것이 필요하다. 그리고 정부 주도의 재활용 모델사업을 실시하여 기술적 문제를 해결하고, 불법투기 근절, 경제성, 개발과 보급, 공급물량 확보, 수요처 확보, 홍보, 끊임없는 기술개발, 용도 확대 및 이를 관장할 수 있는 통합시스템을 구축하여 이에 대한 지속적인 연구와 투자를 함으로써 국내의 재생골재 활용을 선진국 이상으로 늘릴 수 있을 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. 김정인, 경제와 환경의 가교, 대한토목학회지, 48권 1호, 27-34pp, 2000
2. 김무한 외, 재생골재 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 재생골재 혼합조건의 영향에 관한 실험적연구, 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제 5권 제 1호, pp.16-25, 1993.
3. 강명오, 우리나라 고속도로의 시멘트 콘크리트 포장에 대하여, 대한토목학회지, 48권 7호, 18-30pp, 2000
4. 이진용 외, 건설산업 폐기물의 리사이클링 시스템 및 재활용 기술 개발에 관한 연구, 연차보고서, 414pp, 1995
5. 이진용 외 3명, 재생콘크리트의 강도발현 및 동결융해 저항성 특성, 콘크리트학회지, 10권 4호, pp163-169, 1998, 8
6. 송화원 외, 폐콘크리트를 이용한 재생골재의 표준화 및 품질평가 시스템 개발연구, 국립기술품질원, 210pp, 1998.
7. T. C. Hansen, Recycling of Demolished Concrete and Masonry, RILEM REPORT 6, E&FN SPON, 1992.
8. Y. Kasai, Reuse of Demolition Waste, Vol. 2, 1988.