

폐콘크리트 재활용 기술에 관한 연구

A STUDY FOR REUSE OF RECYCLED CONCRETE

이진용* 이인대**
Lee, Chin Yong Lee, In Dae

ABSTRACT

The recycled aggregate obtained from the recycled concrete may be used in road construction as crushed aggregate. The properties of recycled aggregate are reached to the values in accordance with specification for the subbase layer of the road construction. However, for the base layer of road construction, the mixtures of recycled aggregate and crushed aggregate have to be used in order to satisfy the specification. In the Batch Leaching Test the recycled aggregate has lower content of heavy metal and organic matter than those written in environmental pollution law. So it does not occur the environmental pollution.

1. 서론

지금까지 건설공사에서 발생하는 고품 폐기물의 처리는 주로 매립에 의존하여 왔다. 하지만 날로 심각해져 가는 처리장의 부족과 각종 규제의 강화 및 새로운 쓰레기 처리장 건설의 어려움 등으로 그 처리는 날로 어려워지고 있다. 또한 매립을 위한 막대한 수송비와 처분비용으로 최근까지 국내 건설 현장에서 발생된 건설폐기물은 대부분 현장여건에 따라 불법매립, 투기 및 소각과 같이 부적법하게 처리되었으며 각종 환경오염의 원인이 되고 있다.

현재 국내에서는 매년 약 2천만톤의 건설폐기물이 발생하고 있는 것으로 추정되고 있으며 2000년대에는 매년 현재보다 2배 이상의 건설폐기물이 발생할 것으로 예상된다. 그러나 국내에서는 건설폐기물 수거, 분리 및 재생골재 생산 체계의 미 정립, 장비의 실용화 부족 및 미비한 재활용 실태등으로 인하여 매우 적은 극소의 량만이 재활용되고 있는 실정이다. 따라서 수요 촉진을 위해 재활용 기술 개발이 절실히 요구된다.

건설폐기물을 재활용해야 하는 또 다른 이유는 국내 천연골재 자원의 고갈에 따른 골재의 공급 부족에 있다고 볼 수 있다. 현재 우리나라는 활발한 기간산업의 투자로 천연골재의 수요량이 급속히증가하고 있으며, 이러한 증가추세에 의하면 현재 확

보된 약 40억^m의 가채매장량은 약 10년분 정도에 불과하므로 골재를 재활용하여 천연자원을 보존해야 한다.

본 연구는 건설폐기물의 재활용 실태를 알아보고 그 중에서도 재활용 가능성이 높으며 구조물 해체 시 가장 다량으로 얻어지는 폐콘크리트 일부를 채취·수집하여 도로공사에 재활용 여부를 판정하고, 그 활용성을 평가하였으며, 또한 폐콘크리트가 환경에 미치는 영향을 연구하였다.

2. 건설폐기물의 재활용 실태

2.1 건설폐기물의 종류

건설공사 현장에서 발생하는 폐기물은 건축·토목공사 및 건설구조물 해체공사에서 배출되는 폐기물이며, 이것에는 토사, 콘크리트덩이, 아스팔트콘크리트덩이, 오니, 나무조각, 종이류, 금속류, 폐플라스틱류, 폐유리, 폐도자기류 등이 포함된다. 우리나라는 법규상으로 건설폐기물의 종류가 상세히 분류되지 않았으나 폐기물관리법에 의하면 건설폐기물은 대부분 유해하지 않은 사업장폐기물에 속한다. 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률에 따라 재활용 대상 건설폐기물은 지정부산물로서 토사, 콘크리트덩이, 아스팔트콘크리트덩이 등 3가지가 있다.

* 정회원, 동아건설산업주 기술연구실, 공박
** 정회원, 동아건설산업(주) 환경사업실, 차장

2.2 국내 건설폐기물의 재활용 실태

국내 건설폐기물의 자원화는 생활폐기물이나 타 사업장폐기물과 비교하여 아직까지는 사회적인 관심이 부족하다. 따라서 분류, 선별, 재생처리등 재활용 기술의 개발·보급이 지연되고 있으며, 폐기물 처리체계가 미흡한 상태이다.

건설폐기물중 토사는 오염된 것을 제외하면 거의 재활용되고 있으며, 페콘크리트와 페아스팔트콘크리트는 현재 일부 기업에서 파쇄처리장비를 자체 개발 또는 외국에서 직도입 하거나 기술제휴에 의한 장비 및 설비 시스템의 도입을 했으나 아직도 활성화되지는 못하고 재활용품 사용실적도 미미한 실정이다.

자원절약과 재활용의 활성화를 위하여 1995년 11월 17일 건설교통부와 환경부는 “건설폐재 배출사업자의 재활용지침”을 개정 발표 하였다. 이 법에 따르면 건설폐재는 아래와 같은 용도로 사용할 것을 권장하고 있다.

- ① 보수공사용
- ② 도로 기층용, 보조 기층용
- ③ 포장 타르
- ④ 아스팔트 혼합물
- ⑤ 도로 포장용 아스팔트
- ⑥ 유화 아스팔트
- ⑦ 파쇄 골재 이용
- ⑧ 건축·토목공사의 자재이용
- ⑨ 기타 건축·토목공사의 성토용, 복구용

자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법의 시행령 제 11조에 규정한 지정 부산물 배출사업자에 관한 기본 방침을 보면 연간 시공금액 250억원 이상인 건설업자는 건설 현장에서 배출되는 건설폐재의 일정량을 재활용토록 하였다. 건설폐재를 일정량 이상 배출하는 사업자는 “건설폐재배출사업자의 재활용 지침”을 준수 하도록 했으며 1998년 이후까지의 목표치를 제시하였다(표 2.1).

한편 현재 국내에서 알려진 재활용의 예는 (주)건영의 동부이촌동 재건축아파트 현장에서 1994년 6월경에 페콘크리트를 파쇄하여 성토재와 뒷채움재 등으로 사용하였으며, 코오롱건설의 남산외인 아파트현장은 페콘크리트를 도로성토재로 사용한 예가 있다. 동아건설산업(주)은 1994년 5월 초에 페콘크리트 및 페아스팔트 콘크리트용 파쇄장비를 순수한 국내 기술로 제작한 이래 1994년 8월에 창동아파트

표 2.1 건설폐재 재활용 목표율

대상 (발생량기준)	1,000(m ³)또는 1,600(t)이상	500(m ³)또는 1,000(t)이상	200(m ³)또는 400(t)이상
	토 사	콘크리트 덩이	아스팔트 콘크리트 덩이
95년 12월 31일까지	30 (%)	25 (%)	10 (%)
96년 1월 1일부터 98년 12월 31일까지	45 (%)	35 (%)	25 (%)
98년 1월 1일부터	60 (%)	50 (%)	35 (%)

현장에서 페콘크리트 재생자재의 대부분을 성토용, 건물의 뒷채움용, 가설도로용 등으로 자체현장에서 재활용하였고, 1994년 12월에 의정부 장암 아파트현장에서도 페콘크리트를 재생하여 가설도로용 성토용 등으로 재활용 하였으며 재활용품의 품질은 자사의 중앙시험실, 국립건설시험소, 한국건설 품질시험연구소에서 보조기층 및 기층으로 사용가능한 품질확인을 받았다.

그러나 페콘크리트를 재생자재로 생산했을 때 적시에 수요처가 확보되지 않을 경우에는 야적장소의 확보가 어렵고 타 재료와 비교한 경제성과 사회적인 무관심으로 인해 재활용·적정처리에 어려움이 가중되고 있는 실정이다.

3. 페콘크리트의 재생

3.1 도로 성토용 재생골재 생산

재생골재를 생산하기 위해서 자체개발된 이동식 파쇄장비를 이용하였으며 생산절차는 다음과 같다.

1) 건축물을 해체 하기 전에 미리 나무토막, 종이, 플라스틱, 비닐, 전선, 파이프 등의 불순물은 인력으로 미리 수거하여 재생골재용 재료에 혼합되지 않도록 한다.

2) 페콘크리트에 부착되어 있는 철근은 파쇄장비에 들어갈 수 있는 크기로 미리 절단하여 파쇄장비에 부착되어있는 자선기로 자동선별이 될 수 있도록 한다.

3) 콘크리트덩이를 약 50cm 정도로 부레카를 이용하여 파쇄한다.

4) 콘크리트덩이를 파쇄장비로 일정 소요치수로 파쇄한다.

5) 생산된 재생골재를 용도에 맞는 적절한 골재인지 여부를 골재시험방법에 따라 시험하고 그 결과에 따라 활용한다.

보조기층재, 되메움재, 뒷채움재의 경우는 죠크라샤(Jaw Crusher)로 1차 파쇄하여 바로 사용할 수 있었으며 기층의 경우는 콘크라샤(Cone Crusher)로 2차 파쇄하여 사용하였다.

3.2 파쇄장비에 따른 재생골재의 특성변화

재생골재의 파쇄는 Jaw 와 임팩트 크라샤(Impact Crusher)를 사용하여 파쇄하였으며, 여러 곳에서 운반된 다양한 폐콘크리트 골재를 도로의 보조기층 및 기층에 포설하여 적합성 여부에 대한 시험을 하였다. 폐콘크리트는 파쇄방법에 따른 재생골재의 파쇄모양을 보여 주고 있으며, Impact Crusher를 사용해서 만든 재생골재가 Jaw Crusher를 이용해서 파쇄한 골재보다 좀더 둥근모양이며, 입도분포에서도 Impact Crusher를 사용해서 재생된 골재가 잔골재를 많이 포함하고 있다. 또한 Impact Crusher 사용시에는 Jaw Crusher보다 마모율이 높은 것으로 나타났다.

4. 재생골재의 도로 성토재로서의 적합성 연구

4.1 현장개요

재생골재의 파쇄는 Jaw 와 Impact Crusher를 사용하여 파쇄하였으며, 여러 곳에서 운반된 다양한 폐콘크리트 골재를 도로의 보조기층 및 기층에 포설하여 적합성 여부에 대한 시험을 하였다.

시험시공은 서울 및 부산지역의 오래된 공장, 아파트, 상가건물에서 발생한 폐콘크리트의 재생골재를 사용하여 실내시험 및 현장시공을 하였다. 시험시공의 장소 및 사용량 등에 관한 정보는 표 4.1과 같다.

4.2. 입도분포

폐콘크리트로부터 얻어진 재생골재의 입도는 약간의 모래질 흙을 포함하고 있으나 대체로 도로공사 표준시방서에서 정한 품질규정에 적합하였다. 입도는 크라샤 종류와 용량에 따라 달리 생산되었으며 보조기층용 입도는 폐콘크리트를 부레카로 크게 분할후 Jaw Crusher에 투입하여 생산하였고, 기층재 생산을 위해서는 2번 파쇄를 하였다. 그러나 Impact Crusher를 이용하여 재생골재를 생산할 경우에는 한번의 파쇄로 시방서에 명시된 기층의 입도를 맞출 수 있었다.

표 4.2는 보조기층 골재의 입도 분포도로서 재생골재의 체통과 백분율을 표시하고 있다. 일반적으로 도로공사 표준시방서에서 정한 입도분포의 굵은 골재 분포율이 재생골재에 비해 높은 것으로 나타났다. 모든 재생골재는 도로공사 표준시방서(표 4.2)에서 제시한 SB-2의 기준범위 입도 내에 있다.

기층용으로 사용될 골재의 중량통과백분율을 또한 표 4.2에 표시하였다. 재생골재와 일반쇄석골재의 비율을 각각 100:0, 70:30, 60:40 그리고 50:50로 섞어서 만든 골재의 시험결과를 보여주고 있다.

입도분포가 시방서에서 정한 표준입도 범위(B-2) 내에 있으며 보조기층용 골재의 입도 분포도보다 양호한 것으로 나타났다.

표 4.1 시공현장 개요

시공장소	재생골재 생산			재생골재 사용량(m ³)	시공 일시	재활용범위
	원산지	파쇄방법	생산량(m ³)			
A지역 가설도로	장암 인켈공장	Jaw Crusher	8,872	실내시험	94.11.25	보조기층
B지역 가설도로	창동 PC공장	Jaw Crusher	13,278	396	94.12.25 ~ 12.29	보조기층
C지역 가설도로	남산외인 아파트	Impact Crusher	32,000	198	95. 4. 8 ~ 4.11	보조기층
D지역 가설도로	사상 중기상가	Jaw Crusher	22,357	297	95. 5. 3 ~ 5. 4	보조기층
E지역 가설도로	군포 중기상가	Jaw Crusher	65,000	226	95. 6.12 ~ 6.24	보조기층 및 기층

표 4.2 재료의 표준입도 및 재생골재의 입도

기층공	입도번호	통과 중량 백분율(%)							
		80 mm	50 mm	40 mm	19 mm	No. 4	No. 8	No. 40	No.200
보조기층	SB-2	-	100	80-100	55-100	30-70	20-55	5-25	2-10
	재생골재	-	85-95	78-98	54-76	30-48	22-42	6-20	2-3
기층	B-2	-	100	80-95	60-90	30-65	20-50	10-30	2-10
	쇄석혼합골재	-	100	100	77-81	41-44	32-33	13-14	6-7

4.3 실내시험

4.3.1 보조기층

표 4.3은 실내시험결과를 표시한 것으로 대체적으로 재생골재는 도로공사 표준시방서에 나와있는 보조기층재 기준에 적합한 것으로 나타났다.

보조기층재로 사용될 재생골재의 Los-angeles 마모시험 결과치는 42~47%로서 일반쇄석골재 29%보다 13~18%정도 높은 것으로 나타났다. 시험을 위한 재생골재는 여러곳의 구조물에서 수거하고 또한 비록 한 구조물이라도 설계강도가 각각 다른 구조물부분(벽체, 기둥, 슬라브등)에서 함께 수거함으로써 골재의 표면에 있는 모르타르는 다양한 물/시멘트 비율을 갖는 재생골재가 생산되고, 재생골재의 표면에 남아있는 시멘트풀이 상대적으로 원골재보다 강도가 낮으므로 재생골재가 일반쇄석골재보다 높은 마모율을 갖은 것으로 추측된다. 특히 재생골재 마모시험 값은 원콘크리트의 강도에 큰 영향을 받으므로 원콘크리트의 강도가 약하면 높아질 것으로 예상됨에 따라 마모감량이 50% 이상이면 보조기층재로서 사용하기 보다는 노체나 노상의 재료 또는 구조물의 뒷채움재로 사용하는 것이 타당할 것으로 예상된다.

보조기층은 교통하중을 분산시켜서 노상이 안정하도록 전달하는 중요한 역할을 하는 부분으로 충분한 지지력을 지니고 있어야 한다. 보조기층의 지지력비 시험은 KS F 2320(C.B.R.)에 따라 실시하였으며, 시험결과 2.5mm 관입량에서 필요로 하는 하중강도를 표준하중강도로 나눈 값을 백분율로 표시한 것이다. 시험결과에 의하면 재생골재의 수정 CBR은 시방서의 기준치보다 월등히 높은 것으로 나타났으며, 따라서 도로의 상부로부터 전달되는 하중을 충분히 지지할 것으로 예상된다.

다짐시험은 KSF 2322의 D다짐 방법에 의해 시행하였으며 최적함수비(O.M.C) 분포는 10~15%로서 보통쇄석골재의 6%에 비해 약 두배 정도 높으나 최대건조밀도(γ_{dmax})는 1.90로서 쇄석골재의 2.21에 비해 낮은 편이다.

표 4.3 재생골재의 보조기층재 실내시험결과

시험종목	시험방법	쇄석골재	A	B	C	D	E	기준	
액성한계(%)	KSF 2303	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	-	
소성지수	KSF 2304	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	N.P	6 이하	
마모감량(%)	KSF 2508	29	42	46	47	47	45	50 이하	
수정 CBR(%)	KSF 2320	86	49	71	64	44	47	30 이상	
다짐시험	최대건조밀도(g/cm^3)	KSF	2.21	1.91	1.94	1.94	1.90	1.91	-
	최적함수비(%)	KSF 2312	6	14	12	10	15	13	-

N.P : Non-plastic

4.3.2 기층

실내시험 결과 재생골재는 도로의 보조기층재로 적합한 것으로 나타났으나, 기층재료로 사용하기에 마모감량이 시방서에서 정한 40%를 초과함으로 재생골재를 기층재로 사용하기 위해서는 일반쇄석과 혼합하여 쓰는 것이 적합할 것으로 예상되어 재생골재와 일반쇄석골재의 혼합비율을 70:30(RA70), 60:40(RA60), 50:50(RA50)로 하여 시험을 실시하였다. 표 4.4는 쇄석혼합골재의 실내시험 결과를 보여주고 있다.

표 4.4 쇄석골재 및 쇄석혼합골재의 실내시험결과

시험종목	시험방법	쇄석	쇄석혼합 RA70	쇄석혼합 RA60	쇄석혼합 RA50	기준	
액성한계(%)	KSF 2303	N.P	N.P	N.P	N.P	-	
소성지수	KSF 2304	N.P	N.P	N.P	N.P	4 이하	
마모감량(%)	KSF 2508	29	30	36	31	40 이하	
안정성	KSF 2507	4	4	4	4	20 이하	
수정 CBR(%)	KSF 2320	86	71	81	90	80 이상	
다 짐 시 험	최대건조 밀도	KSF 2312	2.24	2.19	2.15	2.21	-
	최적함수비 (%)		6	7	7	6	-

N.P: Non-plastic

쇄석혼합골재의 마모감량은 일반쇄석골재와 큰 차이가 없으나, 쇄석골재 혼합비율이 60:40(RA60)일 경우에는 마모율이 36%로 약 7%정도 높은 것이 특이하다. 그리고 전체적인 시험결과치는 보조기층재 보다 약 13%정도 낮아 마모율에 대한 저항성이 상대적으로 높은 것을 보여주고 있다.

수정 CBR 시험치는 쇄석혼합골재 비율이 70:30(RA70)일 경우를 제외하고는 시방서에서 규정한 80%이상을 초과하여 지지력이 좋다. 그러나 쇄석혼합골재 비율이 70:30(RA70)일 경우는 수정 CBR이 71%로 나타나 9%정도 낮은 것으로 나타났다.

쇄석혼합골재의 최적함수비(O.M.C) 분포는 6~7%로서 일반쇄석골재의 6%와 비슷한 함수비를 보이고 있으며, 최대건조밀도(γ_{dmax})에서도 2.15~2.21로서 일반쇄석골재와 거의 차이점을 보이지 않고 있다.

4.4 현장시험

시험시공은 공장신축이나 시설물공사 현장에서 가설도로 설치를 위주로 시행하였다. 노상부분은 Grading하고 다짐한 후 재생재료를 운반하여 그레이더를 이용하여 포설하였다. 다짐은 10ton SAKAI 진동롤라를 사용하였고, 자연함수비가 전반적으로 8~10%정도 이므로 다짐상태가 양호할 것으로 예상, 추가적인 살수는 하지 않았다.

다짐방법은 진동롤라의 운행속도를 대략 2.0

Km/hr로 하여 왕복 2회 다짐하고, 다짐밀도는 시험을 2회하여 평균하였다. 다시 2회 추가 다짐하고 다시 2회 시험하고, 그리고 다시 2회 추가 다짐하여 밀도시험을 하였다.

4.4.1 보조기층

현장밀도 시험하기 전에 대표적인 시료를 채취하여 KSF 2312의 D방법에 의해 최대건조밀도를 구하여 현장밀도 시험후 다짐도를 판정하였다. 통상적으로 4회 이상의 왕복다짐을 하였다. 그러나 포설두께가 20Cm이상일 경우는 그에 따라 다짐량을 증가하는데, 본 연구에서는 시험시공 두께를 30Cm로 하여서 다짐횟수를 6회로 하였다.

현장밀도 시험결과에 의하면 진동롤라를 사용하여 다짐시, 2회 다짐후 C현장은 현장밀도 95%에 도달하였다. 그러나 그외에 현장은 95%에 못미치는, 즉 E현장은 92%, B현장은 93%, D현장은 94%이었다. 다짐횟수가 4회로 증가함으로 E지역을 제외한 모든 현장이 95%을 넘어섰으며, 다짐횟수가 6회가 됨에 따라 모든 현장이 96%을 넘어 섰다. 특히 C현장은 99%의 높은 다짐율을 보여주었다.

보조기층의 시공상태를 측정하는 현장 CBR 시험을 C,D 그리고 E지역에 추가적으로 실시하였다. 현장 CBR시험은 현장에서 트럭이나 기타 이동이 간편한 재하장치를 이용하여 지지력을 시험하는 방법으로 시험방법의 원리 및 계산방법은 실내 CBR 시험과 동일하다. 현장 CBR 시험결과에서 C지역 가설도로의 수치는 65%로 다른 현장의 42%, 37%보다 높은 지지력을 나타냈으며, 또한 수정CBR과의 비교에서 C와 D현장은 큰 차이가 없었으나 E지역의 경우 10%의 높은 차이점을 보여주었다.

4.4.2 기층

표 4.5은 현장밀도 시험결과를 표시한 것이다. 쇄석혼합골재는 재생골재보다 현장밀도가 2회 다짐시 3~4%정도, 4회 다짐시 1~2% 정도, 6회 다짐시 2%정도 낮아졌다. 그러나 쇄석골재는 4회 다짐후, 쇄석혼합골재는 6회 다짐후 시방서가 요구하는 95%이상의 다짐도를 얻을 수 있었다.

기층의 지지력을 측정하기 위해서 현장CBR 시험을 실시하였으며 시험결과에 의하면 쇄석골재는 96%로, 쇄석혼합골재(R70)보다 15%, 쇄석혼합골재(R60)보다 8%정도 각각 높은 것으로 나타났다.

표 4.5 재생골재의 기층재 현장시험결과

현장 밀도	쇄석 기층	혼합기층 (70:30)	혼합기층 (60:40)	기 준
2회 왕복다짐	94	91	90	95 이상
4회 "	96	94	95	95 이상
6회 "	98	96	96	95 이상

5. 재생골재의 환경영향 평가

산업이 발달되면서 인간이 자연에 미치는 영향은 점차로 증가하여 왔고, 이로 인한 환경오염이 급격히 증가하여 토양에 많은 유해폐기물과 독성물 등이 매립처분 되어 주변환경을 심각하게 오염시켜 왔다. 일반적으로 토양, 지표수 및 지하수오염은 폐기물에 혼합된 유기물의 분해과정에서 발생하는 침출수와 유기물 또는 무기물속의 유해성분이 우수에 용출되기 때문이다.

페콘크리트를 골재로 재활용시 강우 또는 지하수에 의해 발생한 침출수가 인근지역의 토양과 수계에 미치는 환경적인 영향을 검토하기 위해 용출시험을 수행하였다.

5.1 용출시험

용출방법은 국내 환경오염공정시험법상의 육상 매립처분용시료와 공유수면매립 처분용 시료를 조제한 후 용출조작에 통해 시험을 수행하였다. 페콘크리트의 유해성여부는 폐기물관리법에 근거하여 판정하였다.

5.2 시험결과 및 분석

페콘크리트를 대상으로 수행한 회분식 용출시험 결과는 폐기물관리법 시행령에 의해 페콘크리트의 유해성을 판정한 결과, 모든 중금속 성분과 유기물 성분의 용출농도는 기준치보다 작게 검출되어 페콘크리트는 폐기물관리법상 일반폐기물로 분류됨을 알 수 있었다.

6. 결 론

건설폐기물중 토사는 오염된 것을 제외하고 거의 재활용되고 있으나, 페콘크리트 및 페아스팔트는 재활용량이 미비한 실정이다. 따라서 건설폐기물

재활용 촉진을 위한 폐기물 재활용 법규의 기준강화 및 재활용량을 증진시키기 위한 많은 연구가 필요한 것으로 사료된다. 페콘크리트 재활용 비율을 높이기 위한 일환으로 수행된 본 연구의 결과에 의하면 페콘크리트에서 재생된 골재를 도로의 보조기층 및 기층재로 활용하기 위해서 국내의 도로공사 표준시방서에 따라, 골재의 입도시험, 액성한계, 소성시험, 마모감량, 수정 CBR시험등의 실내시험을 실시하였다. 시험결과 재생골재는 도로의 보조기층으로 적당한 것으로 밝혀졌다. 또한 본 연구의 실용성을 위하여 현장시험시공을 실시한 결과 일반적으로 시방서에서 정한 기준을 만족하였으나 재생골재를 기층재로 사용할 경우에는 일부 쇄석골재와 섞어서 사용하는 것이 기층용 쇄석골재의 치환용으로 적합한 것으로 나타났다.

또한 페콘크리트를 도로의 보조기층재, 기층제로 재활용할 경우 주변환경에 미치는 유해성은 극히 미미한 것으로 나타났다.

<참고문헌>

1. 김광우, 박제선, 페콘크리트의 재활용- 미국 FHWA 시범프로젝트(DP#47)의 소개, 대한토목학회지10월호,1992.
2. 김무한 외, 잔·굵은 골재로서 폐기콘크리트를 사용한 콘크리트에 관한 실험적 연구(제1보~제4보), 대한건축학회 학술발표논문집 제6권 제1호, 1986.
3. 김무한 외, 재생골재 콘크리트의 구조체 적용성에 관한 기초적 연구, 대한건축학회 학술발표회 논문집, 제9권 제8호, pp.200-211, 1993. 8.
4. 도로공사표준시방서, 건설부, 1995.5.
5. 박영진외, 도로성토재로서 페콘크리트의 활용성 연구, 대한토목학회 학술발표 논문집, pp516~519, 1995.10.
6. T.C. Hansen, Recycling of Demolished Concrete and Masonry, RILEM REPORT 6, E&FN SPON, 1992.
7. B.C.S.J, Proposed standard for the use of recycled aggregate and recycled aggregated concrete, Building Constructors Society of Japan, Committee on Disposal and Refuse of Construction Waste, English version Publish in June 1981.