

廢 콘크리트 再活用 方案에 關한 研究

남 정 만 · 김 군 학*

제주대학교 토목환경공학전공, *신구종합건설

Study on the Recycling Policy of Waste Concrete

Jung-Man Nam and Gun-Hak Kim*

Major of civil & Environmental Engineering, Cheju National University, Jeju-Do 690-756, Korea

*Sin-Gu Construction Co. Ltd., Jeju-Do 690-021, Korea

Recently, the efficient handling of recycled concrete becomes a problem, as re-development of city centers and apartments are being activated in Korea.

The effort to utilize the concrete aggregate as supplementary base course of road, back filling and refilling materials has been launched since the early 1980s, and the utilization method has been constantly studied and reviewed to commercialize it in various countries including the United States and European countries.

The concrete waste matters have the attributes that they need a vast area to reclaim, and their biological degeneration is not conducted with time passage. 70~80 thus, the concrete waste matter's potential utilization is very high.

According to the data studied so far, the CBR value of recycled aggregate was 60.5%, the maximum dry density was 1.98 g/cm³ at 11.5% in optimal function ratio, abrasion was 21.8% and absorption rate was 5.65%. As a result of analyses on the domestic laws and on the quality standards through gathering waste concrete from construction sites within Jeju Island, the recycled waste concrete aggregate may be judiciously used as the material for back filling, refilling, road bed filled ground and supplementary base course of road materials.

Key words : waste concrete, recycling, road, refilling, CBR

서론

건설폐자재는 건축물 재건축, 도심재개발, 도로 개·보수공사, 도로굴착 및 복구공사 등에서 발생되며, 일반적으로 시멘트 콘크리트류(폐콘크리트), 아스팔트 콘크리트류(폐아스팔트 콘크리트), 토사류(폐토사), 목재, 철재 등으로 분류되며 매년 발생량이 크게 증가되고 있다.

2002년도 환경부 통계연감에 따르면 국내의 2001년

도 일일 건설폐기물 발생량은 총 98,660톤이며 이중 폐콘크리트가 66,050톤, 폐아스팔트 콘크리트가 13,700톤으로 총 80%를 차지하고 있다. 폐콘크리트와 폐아스팔트 콘크리트의 발생증가율은 1996년과 비교할 경우 2001년도에 약 4배 이상 증가하였으며, 이런추세를 감안할 때 2005년에는 16만톤, 2010년에는 30만톤이 하루에 발생할 것으로 예상되고 있다(한국재생공사, 1996).

현재 건설폐자재는 대부분 단순 매립하거나 폐기되고 있는 실정이며, 일부에서 외국의 기술을 직접 도입하거나 개발하여 재활용하고 있으나 발생 및 처리

과정의 체계가 미비하고 재활용 재료를 설계에 적용하기 위한 체계적인 기준이 미비하기 때문에 재활용율이 저조한 실정이다. 현실적으로 건설현장에서 재활용 골재에 대한 신뢰성 부족으로 재활용 골재 대부분이 천연골재의 대체재보다는 성토재나 복토재 등으로 사용되고 있어 환경보호와 고부가가치 창출이라는 재활용 취지를 달성하지 못하고 있는 실정으로 이에 대한 방안으로 콘크리트 구조물 해체시 발생하는 폐콘크리트를 재생하여 역학적인 재료의 실험 등을 통해 도로의 보조기층재, 되메움재, 뒷채움재 등으로 재활용하는 방안을 연구하고 재생골재에 대한 활용성을 평가하고 그 결과가 도로표준시방서 규정에 적합한지 여부에 대하여 고찰해 보고자 한다.

폐콘크리트 발생원인 및 처리실태

폐콘크리트 발생원인

산업사회의 발달과 생활수준의 향상으로 폐기물은 질적인 변화와 양적인 증가를 가져오고 있으며 이로 인한 환경오염의 증가를 비롯한 여러 사회문제로 대두되고 있는 실정이다.

폐기물이라 함은 쓰레기, 연소재, 오니, 폐유 등 사람의 생활이나 산업활동에 필요하지 않은 물질을 일컫는 말로서 발생원과 성상을 기준으로 사업장의 산업폐기물과 가정에서 발생하는 생활 폐기물로 단순 구분된다.

폐콘크리트는 이 중에서 산업폐기물에 해당하는 것으로 다음과 같이 분류할 수 있다.

■ 건설폐기물

일반폐기물: 건설폐자재 - 폐콘크리트, 페아스콘, 폐벽돌 등

금속폐자재: 철골, 철근, 편류, 폐파이프, 철사, 고철 등 유리편류

천연고무편류

건설잔토 - 함수율이 높은 잔토 등

특정폐기물: 오니, 폐유, 폐합성수지류, 폐도기류

폐산, 폐알칼리, 폐석면, 소각 잔재물 등

■ 폐콘크리트

- 콘크리트 구조물의 해체시 발생하는 폐콘크리트

재개발 공동주택, 노후구조물, 전신주, 폐벽돌, 폐블럭

- 재활용 가능

포장도로 노반재, 콘크리트용 골재 등

폐콘크리트는 도로 아파트나 도심 빌딩등의 재개발 사업으로 인한 해체공사에서 건설 부산물에 포함되어 발생하지만 그 외에도 교량과 같은 콘크리트 구조물의 해체나 보도블럭 교체, 전신주 교체, 폐콘크리트 재포장, 도로개보수 사업장에서도 발생한다.

폐콘크리트 발생의 주요 원인은 Table 1과 같다.

Table 1. Source of Waste Concrete

Section	Contents	Remarks
Old constructed infrastructure	The waste concretes are produced when building and apartment house of which construct and structural life is finished are rebuilt.	
Old civil infrastructure	They are produced when the structures of which life finished are disjointed	
Walkway block, Telephone pole	They are produced when the damaged blocks are changed and the wire is buried in earth.	
Defective road	They are produced when the road is resurfaced	
Defective product	They are produced when concrete pipe(hume pipe, VR pipe), block, brick etc. are produced wrong	

이러한 건설폐기물은 건설경기, 시기, 지역과 밀접한 관계를 갖고 있는데 건설폐기물의 특성을 요약하면 다음과 같다.

① 발생량 자체가 막대하나 환경적인 측면에서 무해하다.

② 건설폐기물의 재활용 가능성은 높다. 특히 건설 폐재의 재활용 가능성은 다른 것에 비해 월등히 높다.

③ 공사현장에서 분리작업만 충분히 이루어진다면 자원화 및 재활용이 가능하다.

일반적으로 건설활동이 활발한 3 ~ 6개월경에 발생량이 급증하고 장마기 또는 혹한기에는 발생량이 줄어들며 지역적으로는 불량주택이나 도심이 재개발 사업이 추진되는 경우 발생량이 집중되고 있다(건설교통부, 1997).

폐콘크리트의 처리실태

그동안 건설폐기물은 건설공사에 수반되어 배출되는 불요물로서, 발생과 동시에 매립 처분되는 것으로 인식되어 왔다. 최근 “자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률” 및 “건설폐재 배출사업자의 재활용 지침”이 제정·고시되면서 건설폐기물의 재활용에 대한 관심이 높아지고 있지만, 이는 법률 및 지침상의 정비만을 의미하는 것으로 실제 공사현장 및 관련업체의 대응체제 및 기술개발 노력은 극히 미미한 실정이다. 건설폐기물은 다른 폐기물에 비교해서 환경적 유해성은 높지 않으나, 발생량이 막대하기 때문에 주변환경에 미치는 영향이 크다.

일반적으로, 처분은 매립이나 해양투기와 같이 자연계에 버리는 것을 말하고, 처리는 처분하기 이전에 자연계에 미칠 악영향을 최소화시키기 위한 인위적인 노력이 가미된 것을 말한다. 한편, 재활용은 처리의 개념을 확대·해석하는 것으로 처리와 함께 유용물로서 가공·재사용하는 것을 의미한다. 폐기물은 매립 또는 투기함으로써 가장 손쉽게 처분할 수 있으나, 매립에 따른 침출수 문제와 기타 주변환경에 미치는 영향으로 인해 지역주민의 반발을 불러일으키기 쉽다. 한편, 처리방법에는 압축과 같이 폐기물의 용적이나 중량을 감소시키는 감량화, 유해미생물이나 유해물질을 무해화 하는 안전화와 부패나 용출을 방지하는 안정화 방법 등이 있다. 특히, 건설폐기물의 처리 방법은 파쇄, 압축, 선별, 건조, 소각, 물질회수 및 물질교환 등 각종 방법이 이용될 수 있다.

- ① 배출억제 : 건설현장의 건설폐기물 배출량을 최대한 억제하는 방안.
- ② 적정처리 : 배출된 건설폐기물을 적정하게 처리하는 방안.
- ③ 재활용 : 발생된 건설폐기물을 여하한 방법으로든지 가공해서 재활용 하는 방안.

공사현장에서 다양한 형태로 배출되는 건설폐기물 중에서 재활용 가능한 부분은 최대한 선별해서 재자원화하고, 재활용 불가능한 부분은 적정하게 처분될 수 있도록 배출사업자, 처리업자 및 관계 공무원의 인식을 새롭게 정립해 나갈 필요가 있으며, 국내 공사현장의 폐콘크리트 처리실태는 다음과 같다.

국내의 건설현장에서 발생하는 건설폐기물의 처리

및 재활용 방법은 다음의 3가지로 요약 할 수 있다.

- ① 매립 : 공사현장에서 배출되는 즉시 매립장으로 반출하는 방법.
 - 배출되는 건설폐기물이 저감하여 재활용할 수 없는 경우
 - 공사현장에 임시로도 보관할 공간조차 없는 경우
- ② 자체 재활용 : 현장 내에서 재활용하는 방법
 - 해체현장에 구조물을 신설하는 경우, 구조물의 뒷채움재 또는 되메움재 등으로 자체 현장 내에서 재활용하는 경우
 - 폐콘크리트 및 페아스콘을 단순 분쇄한 후 도로의 보조 기층재 등으로 자체 현장에서 재활용하는 경우 등
- ③ 위탁처리 : 배출자가 수집·운반업체 및 중간처리업체에 처리를 의뢰하는 방법
 - 상기의 ①, ②항 자체도 여의치 않아 전문업자에게 위탁 처리하는 방법
 - 처리업자가 파쇄하여 재생골재로 재생산하거나, 적당한 크기로 분할하여 매립 처분하는 경우

상기의 3가지중 ③위탁처리 방법은 처리업자가 어떻게 처리·처분하였는지를 확인하기 곤란하고 배출자도 신경 쓸 여지가 없다. ③의 방법이 비교적 합리적이나 기본적으로는 현장자체에서의 재활용을 우선적으로 실시하는 것이 바람직하다고 본다.

한편, 공사현장의 여건이 재활용에 미치는 영향이 지대한데 즉, 건설폐기물의 재활용은 공사형태 및 현장여건에 따라 다음과 같이 상당한 차이가 있다.

- ① 도심지 공사 : 재건축, 재개발사업 등과 같이 도심지의 협소한 공간에서 시행되는 공사에서 발생하는 건설폐기물은 공사 현장내에 여유부지가 없는 관계로 거의 전량이 발생과 동시에 매립 처분되거나 위탁 처리되고 있다.
- ② 야외공사 및 도로공사 : 공사부지가 넓거나 도로공사와 같이 주변 부지에 여유가 있는 경우는 현장에서 발생하는 폐콘크리트 및 페아스콘 등을 파쇄해서 도로의 보조기층재 및 구조물의 뒷채움재, 되메움재 등으로 재활용하는 경우도 있지만 위탁 처리하는 경우도 많다(건설교통부, 2003).

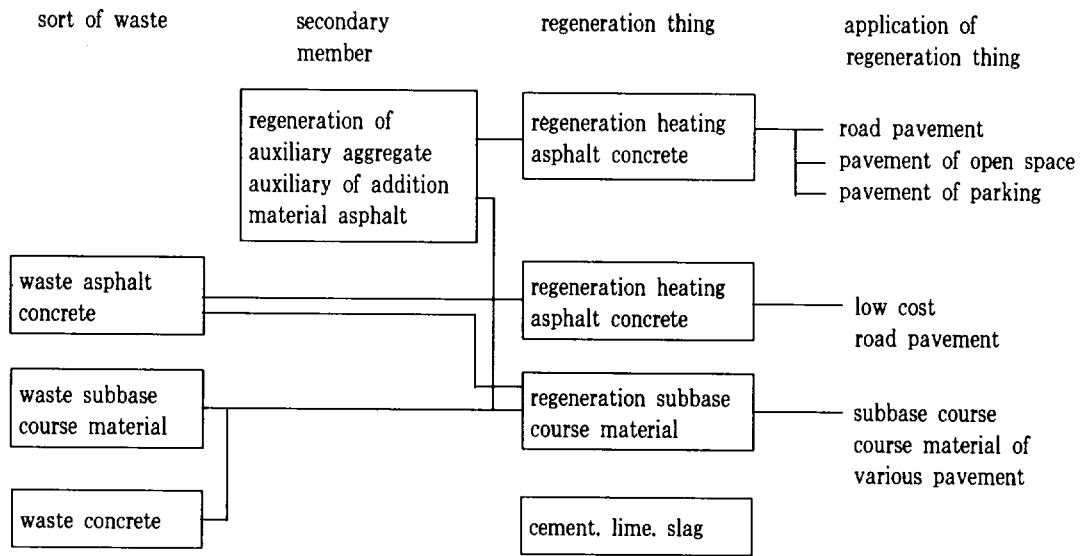


Fig. 1. Manufacture and supply system of waste concrete recycled aggregate.

폐콘크리트 재활용 용도

폐콘크리트 분쇄물의 용도는 주로 토지조성을 위한 매립재 및 노반재 이외에 구조물의 기초 및 뒷채움재, 도로의 노반재 및 아스팔트 혼합물용 골재와 콘크리트용 골재로 사용되고 있으며 폐콘크리트 재생골재의 제조·공급시스템은 Fig. 1에 나타내었다.

한편, "건설폐재 배출업자의 재활용 지침" 제7조에서 규정한 재활용 용도로서는

- ① 건축·토목공사 등 건설공사의 노반재 복구용
- ② 보수공사용
- ③ 도로기층용, 보조기층용
- ④ 포장타르, 아스팔트혼합물, 도로포장용 아스팔트
- ⑤ 유화 아스팔트
- ⑥ 파쇄골재 이용
- ⑦ 건축·토목공사의 자재이용 등으로 분류하고 있다.

참고로 일본 건설청에서 발간한 "건설사업의 폐기물 이용기술의 개발 보고서"에서 발표한 재생골재의 재활용 용도는 Table 2에 나타내었고 재활용 용도에 대해 살펴보면 다음과 같다.

토지조성재

흙, 모래 대신 사용하는 것으로 조성 후 토지이용에 지장이 없는 크기로 분쇄하여 사용하지만 부가가치는 낮다.

Table 2. Recycling Usage of Waste Concrete

Shape	Use	Application method
Members, Lumps	Lay stone on bottom of reef	The beam and column which are cut down are reused as a reef, and thin part of those which are processed are reused as a lay stone.
Primary crushed state	The bottom compaction materials for road	primary crushed concrete which was secondary crushed about 30~50mm are used as a compaction materials, of minor material, additive, subbase course material and are used mixture of bed soil.
Coarse aggregate	Aggregate of concrete	Coarse aggregate which are crushed from waste concrete are used as an aggregate for asphalt concrete or as a coarse aggregate for concrete product(5mm above)
Fine aggregate	Aggregate for concrete	Fine aggregate which are crushed from waste concrete are used for concrete or second product cement
Ground Granulated	Ground improvement	Ground Granulated are used as mixtures in deep-ground.

아스팔트 혼합물

도로건설시 사용하는 쇄석으로 다음 4가지로 구분된다.

- ① 크러셔로 분쇄한 그대로 이용
- ② 입경분포를 조성한 입도조정쇄석을 이용.
- ③ 좁은범위의 입경으로 체가름한 입도 쇄석을 이용.
- ④ 최소입경인 2.5 mm 이하의 단입도 쇄석으로 이용한다.

기초 및 뒷채움재

일반적인 규격은 없지만 크러셔로 분쇄한 그대로 이용하거나(40mm 이하) 단입도 쇄석을 많이 이용하며 입경이 비교적 큰 것이 좋다. 폐콘크리트는 철근을 제거하기 위해서 또는 형상을 조정하기 위해 비교적 작게 분쇄할 필요가 있지만 이렇게 되면 기초 및 뒷채움재에 적합한 큰 입경의 쇄석은 만들기 곤란한 점도 있다.

노반재

노반재는 크러셔로 분쇄하여 그대로 이용하는 경우와 이를 2~3종류로 체가름한 후 일정 입도 분포가 되도록 배합하고 최적함수비로 가수하여 입도조정 노반재로서 이용하는 경우와 시멘트 등의 결합재를 첨가해서 재생안정처리 노반재로서 이용하는 경우가 있음을 보여주고 있다.

재생골재와 쇄석골재에 대한 역학적 실험결과

재생골재의 공학적 특성

폐콘크리트를 채취하여 선별처리한 재생골재에 대하여 공학적 특성을 살펴보았다.

이는 재생골재에 대한 공학적 특성을 실증적으로 규명하고 품질변동수준을 파악함으로써 도로현장에서의 재활용 가능성 검토 및 효율적인 방법을 찾고자 한다.

도로노반재는 각 구조의 특성에 맞는 재료의 품질이 요구된다. 액성한계, CBR, 소성지수, 마모율, 체가름, 다짐 시험등 각종 실험을 실시하여 폐콘크리트의 공학적 특성을 분석함으로써 도로노반재로서의 사용가능여부를 평가하였다.

재료

실내시험은 폐콘크리트의 재생골재를 도로노반재(보조기층재, 되메움재, 뒷채움재)로 사용하기 위하여 폐콘크리트에 대한 공학적 특성을 파악하기 위하여 실내시험을 실시하였으며 실내시험에 사용된 재료는 제주산업에서 재생된 골재를 사용하였다.

시험항목 및 방법

폐콘크리트 재생골재에 대하여 되메움재, 뒷채움재,

보조기층재로 사용하기 위하여 포장재료로서의 적합성을 판정하기 위하여 수정 CBR, 흡수율, 밀도, 체가름 비중, 밀도, 안정성, 다짐 등의 시험을 수행하였으며 시험방법은 KSF 규정에 따라 제주도 토목시험실, 제주대학교 지반공학 시험실에서 실내시험 하였다.

시험결과 및 분석

재생골재를 도로 노반재에 사용하기 위하여 제주산업에서 생산된 폐콘크리트 재생골재의 관련 실내시험 결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Engineering Feature Test Result of Waste Concrete Recycled Aggregate

test item	test method (KSF)	recycled aggregate
density of coarse aggregate	2503	2.233 g/cm ³
water absorption	2503	5.65 %
stability	2507	4.5 %
abrasion rate	2508	21.8 %
unit weight	2505	1.230 g/cm ³
compaction		D
maximum dry density	2312	1.98 g/cm ³
optimum water content		11.5 %
indoor CBR	2320	60.5 %
sieve analysis	2509	cu = 23.41 cg = 1.34
specific gravity	2308	2.69

1) 체가름 시험

골재의 체가름 시험을 위한 시료채취를 제주산업에서 표본채취 하였으며 시방서에 제시된 SB-2의 입도에 맞도록 시험한 결과 Fig. 2과 같다.

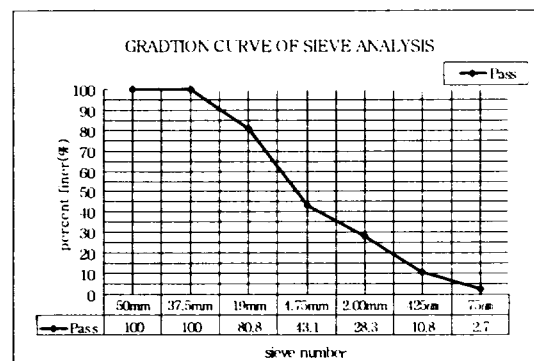


Fig. 2. Sieve Curve of Recycled Aggregate.

Fig. 2에서 보는바와 같이 표본 채취한 시료에 대하여 체가름 시험결과 도로공사 시방서에서 제시된 SB-2의 입도에 모두 만족하고 균등계수가 23.41, 곡률계수가 1.34로 입도가 양호한 것으로 나타났다.

(1) 액·소성 한계시험 결과

재활용 골재의 소성지수를 도출하기 위하여 액성한계 시험과 소성한계 시험을 실시하였다. 그 결과, 시료 모두 비소성(N.P. non-plastic)의 특성을 나타내었다.

(2) 수정CBR

재생골재의 수정 CBR 시험결과는 60.5%로 시방서에서 정한 30%보다 월등히 높은 것으로 나타나 도로의 상부로부터 전달되는 하중을 충분히 지지할 것으로 판단된다.

(3) 안정성, 흡수율, 굵은골재 밀도

재생골재의 안정성은 4.5%로 시방서의 기준 20%보다 15.5%가 낮으므로 안정성이 높은 것을 보여주고 있으며 흡수율은 5.65%, 굵은골재 밀도는 2.233 g/cm³으로 나타났다.

(4) 다짐시험

다짐시험결과는 Fig. 3에 나타내었다. D다짐으로 실험을 실시하였으며 최대건조밀도는 1.98 g/cm³이고 최적함수량은 11.5%로 나타났다.

쇄석골재의 공학적 특성

남제주군 안덕면 동광리소재 선일기업에서 생산된 쇄석골재에 대한 시험자료는 현재 제주도내 도로현장

에서 일반적으로 사용하고 있는 양질의 골재를 사용하였으며 시험방법은 도로공사 표준시방서 규정에 따라 실내시험을 실시하였다.

시험결과는 Table 5과 Fig. 4, Fig. 5와 같다.

Table 4. Sieve Test Result of Waste Concrete Aggregate

division	sieve size (mm)						
	53	37.5	19	4.75	2.0	0.425	0.075
passing rate	100	100	80.8	43.1	28.3	10.8	2.7
specification standard (SB-2)	100~100	100~80	100~55	70~30	55~20	30~5	10~2

Table 5. Engineering Feature Test Result of Crushed Stone

test item	test method (KS F)	unit	result
#200sieve passing rate	2511	%	4.7
compaction	2312	-	D-b
maximum dry density		g/cm ³	2.127
optimum water content		%	4.8
abrasion rate(G class)	2508	%	22.6
density of coarse aggregate	2503	g/cm ³	2.664
water absorption		%	1.95
water content	2306	%	2.0
liquid limit(LL)	2303	%	NP
plastic limit(PL)		%	NP
sieve analysis	2502	%	-
indoor CBR	2320	%	52.0

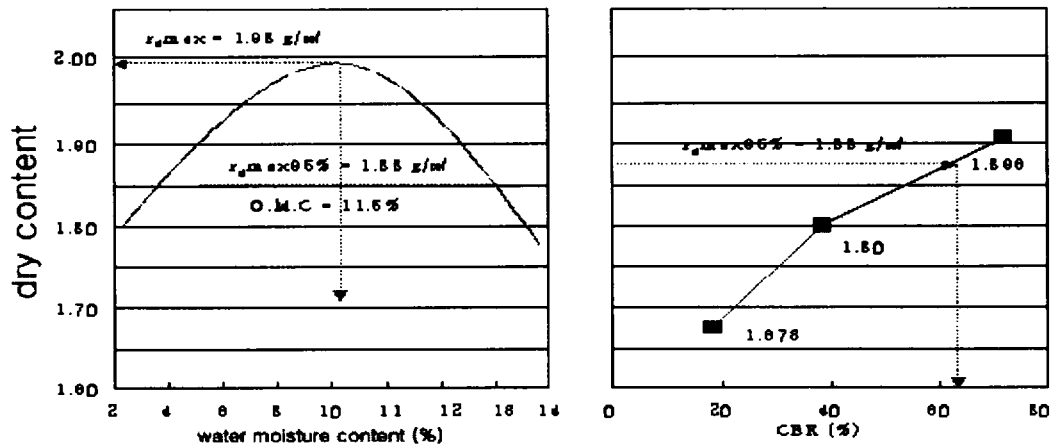


Fig. 3. Compaction Test Curve and CBR.

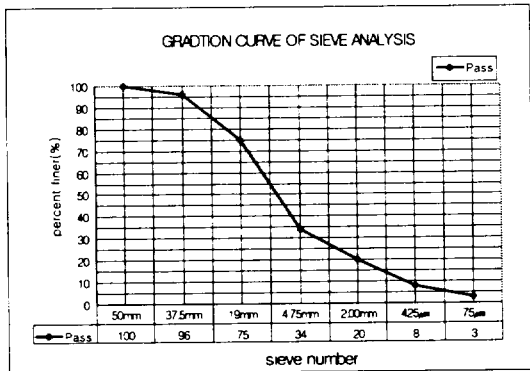


Fig. 4. Sieve of Crushed Stone Aggregate.

재생골재와 쇠석골재의 공학적 특성 비교분석

재생골재와 일반쇠석골재의 공학적 특성을 비교 분석하기 위하여 쇠석골재에 대하여 실내시험을 수행하였다. 쇠석골재는 생산과정에서 표준입도 범위안에 들어가는 것을 사용하였으며, 이물질함유량 시험은 쇠석골재의 특성상 생략하였다. 위의 2가지 실험을 제외하고 다른 항목은 폐콘크리트 재생골재와 동일한 방법으로 실험을 실시하였으며, 그 결과는 Table 5과 같으며 Fig. 4, Fig. 5는 쇠석골재 체가름 시험 및 다짐시험 결과이며 Table 5는 재생골재와 쇠석골재에 대한 실험을 비교한 것이다.

실내 CBR

보조기층재료 사용 규정에 근거하여 폐콘크리트 및

쇠석골재에 대한 CBR시험결과를 Fig. 6와 같이 나타냈다.

재생골재의 실내CBR은 60.5%로 나타났으며 쇠석골재에 대한 실내CBR은 52%로 나타났으며 따라서 기존의 도로공사 표준시방서 규정인 CBR 30%를 만족하였다.

마모율

KS F 2508 규정에 의거 무작위로 채취한 재생골재 및 쇠석에 대한 마모율을 시험한 결과 재생골재의 마모율은 21.8%로 측정되었으며 쇠석골재의 경우 마모율은 22.6%로 Fig. 7과 같다.

기존 도로공사 표준시방서에 나타난 바와 같이 보조기층 재료로 이용하기 위해서는 마모감량이 50% 이하 이므로 시험에 나타난 두가지 재료 모두 보조기층 재료의 기준에 만족하였다.

다짐시험

다짐시험은 KS F 2312의 D 다짐 방법에 의하여 시행하였으며 최적함수 비 분포는 11.5%로서 보통 쇠석골재의 4.8%에 비해 약 2배정도 높다. 그러나 최대 건조밀도는 1.98로서 쇠석골재의 2.127에 비해 낮은 것으로 나타났다.

Fig. 8은 쇠석골재와 재생골재를 비교한 것으로 재생골재는 쇠석골재에 비하여 함수비는 높고 밀도는 낮은 것으로 나타났으며, 그 이유는 파쇄 된 콘크리트 또는 블럭, 벽돌 등에서 생산된 재생골재 표면에

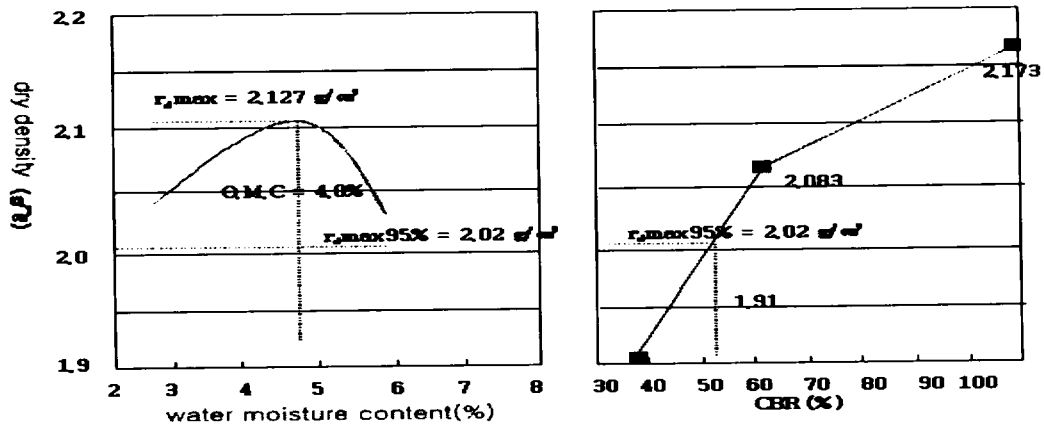


Fig. 5. Crushed Stone Aggregate's Compaction Curve and CBR Test.

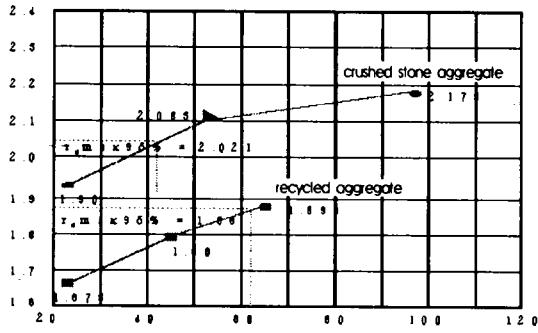


Fig. 6. CBR Test Comparison.

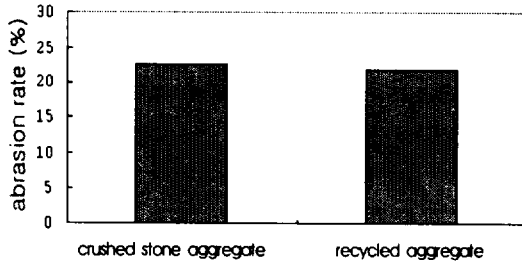


Fig. 7. Abrasion Rate Test Comparison.

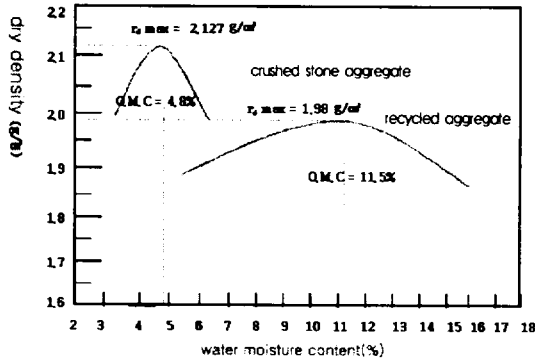


Fig. 8. Compacting Curve Comparison

붙어 있는 몰타르와 불순물에 의해서 쇄석골재 보다 잇물림이 좋지 않아 골재들 사이에 공극을 많이 포함하게 되고 더불어 밀도가 낮아진 것으로 판단된다.

굵은 골재밀도 및 흡수율 시험

굵은 골재의 일반적인 성질을 판단하고 골재의 표면건조포화 상태의 밀도, 겉보기밀도, 표면건조 포화상태의 겉보기밀도 흡수율을 구하는데 그 목적이 있으며 밀도가 큰 골재는 강도가 크고 흡수량은 적어 동

결에 대한 내구성이 크다. 그러나 골재의 채취량은 풍화정도에 따라서 밀도 및 흡수량에 변화가 생긴다. 따라서 재생골재의 밀도는 2.23 t/m³ 쇄석골재의 밀도는 2.664 t/m³로 Fig. 9, Fig. 10와 같이 나타났으며 흡수율은 재생골재 5.65% 쇄석골재 1.95%로 측정되었다.

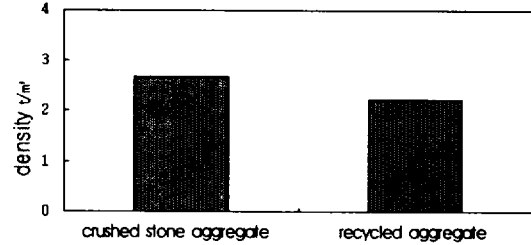


Fig. 9. Thick Aggregate Density.

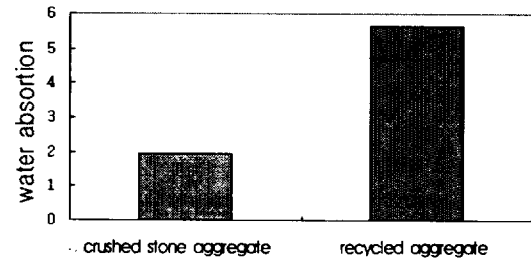


Fig. 10. Absorption Rate Test Comparison.

Table 6. Test Comparison of Recycled Aggregate and Crushed

test item	test method	recycled aggregate	crushed stone aggregate
		test result	test result
liquid limit(LL)	KSF 2303		NP
plasticity index	KSF 2304		NP
abrasion loss	KSF 2508	21.8%	22.6%
modified CBR	KSF 2320	60.5%	52%
compaction test	maximum dry density (g/cm ³)	1.98(g/cm ³)	2.127(g/cm ³)
	optimum water content(%)	11.5%	4.8%
water absorption	KSF 2503	5.65%	1.95%
density of coarse aggregate	KSF 2503	2.23(g/cm ³)	2.664(g/cm ³)
unit weight	KSF 2505	1.23(g/cm ³)	
specific gravity	KSF 2308	2.74	
# 200sieve passing rate	KSF 2511	2.7%	4.7%

시험결과 재생골재가 일반쇄석골재에 비해 굵은골재 밀도는 낮고 흡수율은 높은 것으로 나타났으며 재생골재는 일반쇄석골재에 비해 흡수율, 밀도에서 품질이 떨어진다. 이는 원골재에 부착된 모르타 성분 때문으로 원골재에 부착된 성분을 제거하면 재생골재의 품질은 개선될 수 있다. 콘크리트용 재생골재 KSF에서는 굵은골재의 밀도가 2.2 이상으로 규정하고 있다. 따라서 굵은골재밀도 시험결과 2.233으로 나타나 품질시험 기준에 만족하였다.

제주지역의 재생골재 사용 활성화 방안

보조기층

Table 7은 실내시험 결과를 표시한 것으로 대체적으로 재생골재는 도로공사 표준시방서에 나와있는 보조기층재 기준에 적합한 것으로 나타났다.

Table 7. Indoor Test Result of Recycled Aggregate Supplementary Base Course Material

test item	test result	standard
LL(%)	NP	-
plasticity	NP	below 6
abrasion rate(%)	21.8	below 50
modified CBR(%)	60.5	above 30
compaction test	maximum dry density (g/cm ³)	1.98
	optimum water content (%)	11.5

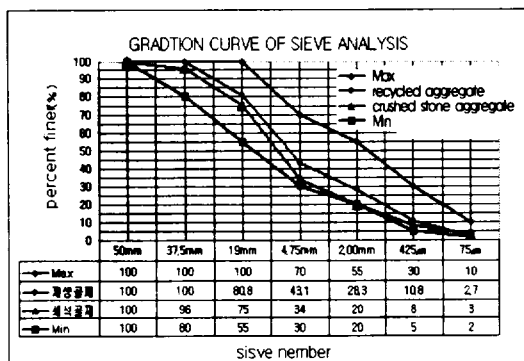


Fig. 11. Sieve Comparison between Recycled Aggregate and Crushed Stone.

보조기층재로 사용될 재생골재의 마모시험 결과치는 21.8%로서 일반쇄석골재 22.6%보다 낮게 나타나나, 시방기준(50%이하)에 만족하였다.

다짐시험은 KS F 2312 D다짐 방법에 의해 시행하였으며 최적함수비(O.M.C)는 11.5%이며 쇄석골재(4.8%)에 비하여 높으나 최대건조밀도(rdmax)는 1.98로써 쇄석골재 2.127에 비해 낮은 편이다. 이유는 분명하지 않으나 재생골재에 남아있는 모르타르로 쇄석골재보다 공극율이 높고 파쇄면이 상대적으로 넓으므로 물 흡수율이 높은 것으로 판단된다.

보조기층은 교통하중을 분산시켜서 노상이 안정하도록 전달하는 중요한 역할을 하는 부분으로 충분한 지지력을 지니고 있어야 한다. 보조기층의 지지력비 시험은 KS F 2320(CBR)에 따라 실시하였으며 시험결과에 의하면 재생골재 수정CBR은 60.5%로 시방기준 30%보다 월등히 높은 것으로 나타났으며 Fig. 11은 재생골재와 쇄석골재에 대한 체가를 시험에 대한 비교도 도로공사 시방서에서 제시된 SB-2의 입도에 모두 만족한 것을 나타냈다.

실내시험 결과에 따라 제주산업에서 생산되는 재생골재가 시방기준에 모두 만족하므로 보조기층 재료로 사용하여도 무방할 것으로 판단된다.

뒷채움재

되메우기 및 뒷채움재료는 토압을 경감하고 배수성이 좋으며 지반 침하가 일어나지 않아야 하며 재생골재를 사용시 다짐효과를 고려한 연속입도를 사용하여야 한다.

되메우기 및 뒷채움재로 사용하기 위한 재생골재의 입도시험결과에 의하면 NO4체 통과율이 35~50%로 시방서에서 정한 기준의 20~100%에 적합하고 NO200체 통과율이 3%미만으로 양호한 것으로 나타났다.

수정 CBR은 60.5%로 도로공사 표준시방서에서 정

Table 8. Penetration Test Result of Recycled Aggregate Back Filling Material

grain size analysis	test result	standard
100mm passing rate	-	100
#4 passing rate	42.2	20~100
#200 passing rate	1.5	0~15

Table 9. Indoor Test Result of Recycled Aggregate Back Filling Material

division	test result	standard
LL(%)	N.P	
plasticity index	N.P	below 10
maximum dry density(g/cm ³)	1.98	
optimum moisture content(%)	11.5	
modified CBR(%)	60.5	above 10

한 기준보다 월등히 지지력이 높은것으로 나타났으며 소성지수도 시방서에 준하므로 재생골재는 건물이나 도로의 되메움재나 뒷채움재료로 적합한 것으로 나타났으며 시험 결과는 Table 8와 Table 9에 나타나 있다.

기타

어초 바닥돌

콘크리트당어리 원재료의 특성을 살려 재이용하는 것으로 반침대 등을 절단 후 그대로 인공어초로서 재이용하며 두께가 얇은 재료는 절단가공후 바닥 디딤돌로 이용.

할석 및 바닥굴힘

형상은 블럭모양으로 원 콘크리트를 절거한 재료를 잘게 분할하는(10 ~ 50 cm) 정도로 할석 및 콘크리트와 혼합하여 바닥굴힘 재료로 이용

미분말

조골재와 세골재 제조의 수반되는 2차 폐재로 지반 개량 등에 이용된다.

이상의 검토결과 제주에서 생산되는 재생골재는 도로공사 표준시방서에 따라 보조기층재, 되메움재, 뒷채움재 등 만족하였으나 재생골재에 대한 신뢰성 부족등으로 되메움재, 뒷채움재로 현재 많이 사용되고 있으나 재생골재의 우수성에 비하여 시공실적은 매우 미흡한 실정으로 보조기층으로 사용시 재생골재가 우수한 공학적인 성질을 유지할 것인가에 대하여 많은 의문점이 있으나 재생골재에 대한 재활용 촉진을 위해서는 관계기관에서 시험적으로 다양한 시험시공을 통하여 재활용에 대한 신뢰감을 가질 수 있도록 노력해야 할 것이다.

결론

폐콘크리트의 재활용을 통하여 보조기층재, 되메움재, 뒷채움재 등이 적용성을 파악을 위하여 국내 관련법령 및 품질기준을 논하였으며 폐콘크리트를 재활용 하기 위한 파쇄 시스템분석 및 폐콘크리트와 쇄골재와의 공학적 특성을 비교 분석하였으며 폐콘크리트의 재활용 촉진을 위하여는 건설공사 현장에서의 폐기물을 분리하여 배출토록 하는 기준을 마련하여야 하며 건설폐기물의 처리비용을 현실화 함으로써 재활용을 촉진할 수 있다하겠다.

폐콘크리트 재활용 방안에 관한 연구 결과는 다음과 같다.

- 1) 제주도내 건설현장에서 폐콘크리트를 수거하여 제주산업에서 재생된 골재에 대한 국내 법령 및 품질기준을 분석한 결과 폐콘크리트 재생골재는 뒷채움재, 되메움재, 보조기층 재료로 연구결과 사용할 수 있을 것으로 판단된다.
- 2) 재생골재의 보급 확대를 위해서는 품질의 동질성을 확보하는 것이 중요하고 양질의 재생골재를 생산할 수 있도록 노력해야 할 것이다.
- 3) 재생골재를 생산 후 수요처 확보문제가 대두될 수 있는바 대안으로 건설공사 설계시 공사표준시방서 및 전문시방서에 재생골재 사용용도 및 품질기준을 명시하고 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률을 개정하여 재생골재 사용을 의무화하는 등 재생골재 재활용 촉진을 위한 시범사업 실시 등도 하나의 대안이라 하겠다.
- 4) 재생골재에 대한 재활용율을 높이기 위하여 설계시 시방서에 재생골재 사용용도 및 기준을 설정하여 천연골재의 일정비율을 재생골재로 사용하도록 의무화하는 기준을 명시하여야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

건설교통부. 1997. 건설폐기물 처리 및 재활용 요령. pp. 107-112, 164-171.
 건설교통부. 2003. 건설폐자재 재활용 지침개발. B-11 ~ B-46.

- 구봉근. 1998. 폐콘크리트를 사용한 재생골재 콘크리트의 공학적 특성. 건설기술연구소 논문집, 17(2): 222-224.
- 김무한. 1993. 국내 폐콘크리트 발생량의 예측 및 재생골재로의 이용전망에 관한 연구. 대한건축학회 학술발표 논문집, 425-430.
- 박영진. 1996. 도로 성토재로서 폐콘크리트의 활용성 연구. 대한토목학회 학술발표 논문집, 16(Ⅲ-2): 134-135.
- 박준태. 1997. 재생콘크리트 골재 기층 및 보조기층의 성능 및 특성. 대한토목학회 논문집, 17(Ⅲ-4): 350-352.
- 이세현. 2002. 재생골재 품질검토서. 한국건설기술연구원, 1-2.
- 이진용. 1996. 재생용 골재의 도로 성토재로서의 적합성 연구. 대한 토목학회 논문집, 132-283.
- 한국재생공사. 1996. 폐콘크리트 재활용기술 개발방안에 관한 연구. 5-66.
- 황성도. 건설폐자재 재활용 잠정 지침. 한국도로포장 공학회, 1pp.

