

碩士學位論文

廢 콘크리트 再活用 方案에
關한 研究



濟州大學校 産業 大學院

建設環境工學科

土木工學 專攻

金 君 學

2004

廢
콘크리트
再活用
方案에
關한
研究



金
君
學
二
〇
〇
四

碩士學位論文

廢 콘크리트 再活用 方案에
關한 研究

指導教授 南 正 萬



濟州大學校 産業 大學院

建設環境工學科

金 君 學

2 0 0 4

廢 콘크리트 再活用 方案에 關한 研究

指導教授 南 正 萬

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2004年 6月 日



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY
濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科 土木工學 專攻

金 君 學

金君學의 工學碩士學位 論文을 認准함.

2004年 6月 日

委員長 印

委 員 印

委 員 印

目 次

目 次	i
LIST OF TABLE	ii
LIST OF FIGURES	iii
LIST OF PHOTOS	iv
I. 서론	1
II. 폐콘크리트 발생원인 및 처리실태	2
1. 폐콘크리트 발생원인	2
2. 폐콘크리트의 처리실태	5
3. 폐콘크리트의 발생현황	8
4. 폐콘크리트의 발생량 예측	9
III. 재생골재의 재활용 실태	10
1. 기본방향	10
2. 국내·외 건설폐기물 재활용 관련법률	11
3. 재활용 실태	16
4. 콘크리트 재생	22
5. 콘크리트 재생방법 및 용도	25
IV. 재생골재 및 쇄석골재에 대한 역학적 실험결과	38
1. 재생골재의 공학적 특성	38
2. 쇄석골재의 공학적 특성	42
3. 재생골재와 쇄석골재 공학적 특성 비교분석	44
V. 제주지역의 재생골재 사용 활성화 방안	49
1. 보조기층	49
2. 뒷채움	51
3. 기타	52
VI. 결론	53

LIST OF TABLES

Table 2-1	Source of Waste Concrete	3
Table 2-2	Yearly Quantity of Construction Wastes	9
Table 3-1	Waste Concrete Recycling-related Laws and Ordinances	12
Table 3-2	Construction Wastes Recycling-related System	15
Table 3-3	Quality Standards of Substructure of Road Use	19
Table 3-4	Penetration Standards for Substructure of Road of Recycled Aggregate	20
Table 3-5	Compaction Standards	20
Table 3-6	Chart of Recycling of Construction Waste Materials	21
Table 3-7	Features of Crushing Equipment	30
Table 3-8	Recycling Usage of Waste Concrete	36
Table 4-1	Engineering Feature Test Result of Waste Concrete Recycled Aggregate	41
Table 4-2	Sieve Test Result of Waste Concrete Aggregate	41
Table 4-3	Engineering Feature Test Result of Crushed Stone Aggregate	42
Table 4-4	Test Comparison of Recycled Aggregate and Crushed Stone Aggregate	48
Table 5-1	Indoor Test Result of Recycled Aggregate Supplementary Base Course Material	50
Table 5-2	Penetration Test Result of Recycled Aggregate Back Filling Material	51
Table 5-3	Indoor Test Result of Recycled Aggregate Back Filling Material	51

LIST OF FIGURES

Figure 3-1 Recycling Ratio by Recycled Aggregate's Road Usage	16
Figure 3-2 Kinds of Construction Wastes	23
Figure 3-3 Recycling and Usage of Construction Byproducts	24
Figure 3-4 Flow Diagram for Production Process of the Recycled Roadbed Material of Waste Concrete	26
Figure 3-5 Recycling System Diagram by Waste Concrete Dimensions	27
Figure 3-6 Recycled Aggregate's Manufacturing Process Utilizing Waste Concrete	29
Figure 3-7 Intermediary Treatment System for Recycling of Waste Concrete (Ministry of Construction and Transportation, 1999)	31
Figure 3-8 Manufacture and Supply System of Waste Concrete Recycled Aggregate	35
Figure 4-1 Sieve Curve of Recycled Aggregate	39
Figure 4-2 Compaction Test Curve and CBR	40
Figure 4-3 Sieve of Crushed Stone Aggregate	43
Figure 4-4 Crushed Stone Aggregate's Compaction Curve and CBR Test	43
Figure 4-5 CBR Test Comparison	44
Figure 4-6 Abrasion Rate Test Comparison	45
Figure 4-7 Compacting Curve Comparison	46
Figure 4-8 Thick Aggregate Density	47
Figure 4-9 Absorption Rate Test Comparison	47
Figure 5-1 Sieve Comparison between Recycled Aggregate and Crushed Stone	50

LIST OF PHOTOS

Photo 3-1 Facilities by Treatment Process of Waste Concrete	32
Photo 3-2 Facilities by Treatment Process of Waste Concrete	33
Photo 3-3 Facilities by Treatment Process of Waste Concrete and Produced Recycled Aggregat	34



Study on the Recycling Policy of Waste Concrete

Gun-Hak Kim

*Department of Construction and Environmental Engineering
Graduate School of Industry
Cheju National University*

 제주대학교 중앙도서관
Supervised by Professor Jung-Man Nam

ABSTRACT

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 1.98g/cm³ at 11.5% in optimal function ratio, abrasion was 21.8% and absorption rate was 5.65% as a result of experiments.

1) As a result of analyses on the domestic laws and regulations on the recycled aggregate in the industry of jeju and on the quality standards through gathering waste concrete from construction sites within jeju Island, the recycled waste concrete aggregate may be judgingly used as the material for back filling, refilling, road bed filled ground and supplementary base course of road materials.

2) To expand the diffusion of recycled aggregate, it is important to secure homogeneity in quality, and we need to make an effort to produce high quality of recycled aggregate.

3) To raise the recycling rate of recycled aggregate, I think specifying the use of recycled aggregate in a certain ratio of natural aggregate should be compulsory on the specifications in the design stage by establishing the recycled aggregate usage and criteria.

As with the study result as above, the recycled aggregate is currently used for refilling and back filling materials, due to the lack of reliability on the recycled aggregate, although it meets the criteria of domestic specifications. In view of the excellence of the recycled aggregate, the construction achievement of it as the material for supplementary base course really lacks. Although there are many questions regarding if the recycled aggregate will maintain excellent engineering attributes when it is used as the material for supplementary base course, related institutions should make a great effort to provide reliability on the recycled aggregate through various tests to promote the use of recycled aggregate.



I. 서 론

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 2001년도 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.

현재 건설폐자재는 대부분 단순 매립하거나 폐기되고 있는 실정이며, 일부에서 외국의 기술을 직접 도입하거나 개발하여 재활용하고 있으나 발생 및 처리과정의 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 대체재 보다는 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 실험등을 통해 도로의 보조기층재, 되메움재, 뒷채움재 등으로 재활용하는 방안을 연구하고 재생골재에 대한 활용성을 평가하고 그 결과가 도로표준시방서 규정에 적합한지 여부에 대하여 고찰해 보고자 한다.

II. 폐콘크리트 발생원인 및 처리실태

1. 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, 폐아스콘, 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 골재등

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 사업장 에서도 발생한다.

폐콘크리트 발생의 주요 원인은 Table 2-1과 같다.

Table 2-1. Source of Waste Concrete

구 분	내 용	비 고
노후건축구조물	건축적 구조적 수명이 다한 빌딩 및 공동주택의 재건축시에 기존건물의 해체로 부터 폐콘크리트 가 다량 발생	
노후토목구조물	구조물로서 수명이 다하여 구조물 해체시 다량 의 콘크리트가 발생	
보도블럭, 전신주	파손, 블럭 교체시 전선지중화 공사로 인해 발생	
불량도로	도로 재포장시 발생	
불량제품	콘크리트관(흡관, VR관), 블럭, 벽돌등 제작시 하자있는 제품으로부터 발생	

1) 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 건설폐재의 재활용 가능성은 다른것에비해 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.



2. 폐콘크리트의 처리실태

그동안 건설폐기물은 건설공사에 수반되어 배출되는 불요물로써, 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 유용물로써 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 처리방법은 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 재활용하는 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 저급하여 재활용할 수 없는 경우
 - 공사현장에 임시로도 보관할 공간조차 없는 경우
- ② 자체 재활용 : 현장내에서 재활용 하는 방법
 - 해체현장에 구조물을 신설하는 경우, 구조물의 뒷채움재 또는 되메움재 등으로 자체 현장 내에서 재활용 하는 경우
 - 폐콘크리트 및 폐아스콘을 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, 건설폐기물

의 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 폐아스콘 등을 파쇄해서 도로의 보조기층재 및 구조물의 뒷채움재, 되메움재 등으로 재활용하는 경우도 있지만 위탁 처리하는 경우도 많다.



3. 폐콘크리트 발생현황

폐콘크리트는 국내의 재건축, 재개발등의 활성화로 가설된지 오래된 교량등과 같은 노후 콘크리트 구조물과 보도블럭, 시공이 불량하게된 도로 및 불량하게 제작된 콘크리트 제품 등이 있으나 이중에서 가장큰 비중을 차지하는것은 용도변경 또는 노후 된 콘크리트 해체 구조물 등으로 대량으로 일시에 배출되는 특성을 가지고 있다.

건설공사는 성격, 규모를 중앙에서 파악하기가 어렵고 현장이 한곳에 고정되어 있지 않아서 파생되는 건설부산물의 종류 및 정확한 수량을 파악하기가 어려운 실정이다.

국내에서 발생하는 건설폐기물의 연간 발생량은 <Table 2.2>과 같으며 이 가운데 폐콘크리트는 67%, 폐아스팔트콘크리트가 13%로 전체의 80%를 차지하고 있으며 건설폐기물은 경제성장과 도시집중화 현상에 따른 건설수요 등을 고려할 때 건설폐기물 발생량은 더욱 증가할 것으로 전망되며 건설폐기물의 발생량은 건설경기과 밀접한 영향이 있어 건설 성수기일 때와 지역적으로 도심재개발이 추진되는 경우에는 증가하지만 장마철과 혹한기에는 현저히 줄어들어 발생량을 예측하기가 힘들고 그 처리의 관리도 어렵다. 따라서 건설부산물에 포함되어 있는 폐콘크리트의 발생량도 정확히 파악하기란 곤란하다. 이렇듯 건설폐기물의 발생량을 파악하는 것은 현재로서는 아직 추정에 불과한 형편이어서 실질적인 정확한 통계정리는 불가능한 실정이다. 우리나라 건설폐기물 발생량에 대한 통계치는 추정치로서 외국자료에 비해 신뢰도가 낮다. 이런 점을 해결하기 위해서 건설 폐기물의 발생 및 처리과정을 보다 체계적으로 관리하는 시스템을 점진적으로 구축할 필요가 있다.

Table 2-2 Yearly Quantity of Construction Wastes

(단위: 톤/일)

연도	건 설 폐 기 물				
	계	토사	콘크리트	아스콘	기타
'96	23,577	3,954	14,981	3,398	1,244
'97	42,320	6,990	25,469	7,489	2,372
'98	42,445	4,881	28,165	7,867	1,532
'99	56,712	4,727	39,819	9,317	2,849
'00	71,063	5,579	49,352	11,388	4,744
'01	98,660	8,210	66,051	13,700	10,699



4. 폐콘크리트 향후 발생량 예측

현재의 발생량을 집계하는데도 불확실하고 추정자료에 그치는 실정에서 향후에 발생하는 건설폐기물량 및 폐콘크리트 발생량을 예측한다는 것은 어려움이 따른다. 이러한 점을 감안해서 해체 대상건물의 연면적을 구하고 해체시의 폐콘크리트 발생량을 곱해서 개략적인 발생량을 추정한다.

폐콘크리트의 최대 발생원은 해체 건물이다. 따라서 향후 해체될 예정이거나 해체를 고려해야 하는 건물들의 연면적을 파악할 수 있다면 폐콘크리트의 발생량을 비교적 근사하게 추측 할 수 있다.

해체 구조물에 따라 다소 다르겠지만 일반적으로 아파트의 경우 폐콘크리트의 발생량을 단위면적당 0.57m³정도로 추측하고 중량은 흙의 무게와 유사한 1.6 ~ 1.8 t/m³으로 보면, 폐콘크리트 발생량을 개략적으로 예측할 수 있다.

Ⅲ. 재생골재 재활용 실태

1. 기본방향

자원의 절약과 재활용 촉진에 관한법률 및 건설폐재 배출사업자의 재활용 지침이 제정, 고시되면서 재활용에 대한 관심이 높아지고 있지만 이는 법률 및 지침상의 정비만을 의미하는 것으로 실제 공사현장 및 관련업체의 대응체계 및 기술개발 노력은 극히 미미하다.

건설폐기물은 다른 폐기물과 비교하여 환경적 유해성은 높지 않으나 발생량이 막대하기 때문에 주변 환경에 미치는 영향이 적다고 할 수 없다.

현재 건설폐기물이 적정처리 및 재활용에 대한 다양한 대책 및 접근방법이 모색되고 있지만 가장 합리적인 방안은 다음 3가지로 요약할 수 있다.

- 1) 건설폐기물 배출량을 최대한 억제하는 방안.
- 2) 배출된 건설폐기물을 적정하게 처리하는 방안.
- 3) 건설폐기물을 가공해서 재활용하는 방안.

2. 국내·외 건설폐기물 재활용 관련법률

최근에 우리나라는 도시개발이 활성화와 토지 이용의 극대화로 점차 건설공사가 증가하고 있고 이에 따라 건설부산물의 발생량도 해마다 증가하고 있으며 특히 이는 수도권에서 급증하고 있는 실정이다. 이와는 반대로 환경관련 각종 규제와 지역 이기주의 등으로 인해 매립지와 같은 건설폐기물 처리부지의 확보는 점점더 어려워지고 있는 실정이다. 또한 최근 들어 환경문제에 대한 관심이 집중되면서 건설공사현장에서 배출되는 토사 및 건설폐기물에 대한 처리 및 재활용의 필요성이 제기되고 있다.

이에 정부는 한정된 자원을 효율적으로 활용하는 한편 환경을 보존하고자 하는 목적 하에 기존의 폐기물 관리법 이외에 건설폐기물 관리에 관한 법률인 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률을 제정 공포하게 되었으며 이후 시행령과 시행규칙이 동시에 공포되어 시행하게 되었다.

동법 제 12조 및 시행령 11조 규정에 따르면 일정규모 이상의 지정부산물을 배출하는 사업자는 환경부 장관과 건설교통부 장관이 통합 고시하는 지침을 준수할 것을 규정하고 있다.

동법 제 12조를 근거로 건설폐기물 배출사업자의 재활용 지침이 공포되었다.

건설 폐자재와 관련된 법률은 폐기물관리법, 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률 등과 재활용 관련 지침 등이 있다. 폐콘크리트를 포함한 건설폐기물과 관련된 재활용 관련법령 및 재활용 관련제도는 <Table 3.1>, <Table 3.2>와 같다.

Table 3-1 Waste Concrete Recycling-related Laws and Ordinances

법률	<ul style="list-style-type: none"> · 폐기물관리법 · 폐기물관리법시행령 · 폐기물관리법시행규칙
	<ul style="list-style-type: none"> · 자원의절약과 재활용촉진에 관한 법률 · 자원의절약과 재활용촉진에 관한 법률 시행령 · 자원의절약과 재활용촉진에 관한 법률 시행규칙
지침	<ul style="list-style-type: none"> · 건설폐재 배출사업자의 재활용 지침(환경부고시 제 1999-117호, 건설교통부 고시 제1999-218호, 1999.7.24) · 공공기관의 폐기물 재활용촉진을 위한 지침(국무총리훈령 제429호, 2002.4.1)



1) 폐기물 관리법

『폐기물관리법』은 폐기물을 적정하게 처리하여 자연환경 및 생활환경을 청결히 함으로써 환경보전과 국민생활의 질적 향상에 이바지함을 목적으로 제정되었으며, 폐기물의 수집, 운반, 보관, 처리 등의 방법을 규정하고 있다.

- ① 지방자치단체장은 당해 구역 내에서 배출되는 일반폐기물을 수집, 운반, 처리해야 한다. 단, 지자체의 조례가 정하는 바에 따라 일반폐기물 처리업자로 하여금 수집, 운반, 처리를 대행하게 할 수 있다. (법률 제13조)
- ② 일반폐기물 다량 배출자는 다음 각호의 자를 말하며, 다량 배출자는 일반폐기물을 배출하는 날로부터 1월 이내에 다량 배출자 신고서를 시장, 군수, 구청장에게 제출하여야 한다. (시행령 제6조, 시행규칙 제8조)

- 일반폐기물을 1일 평균 300kg 이상 배출하는 자
- 일반폐기물을 1회에 1톤이상, 일련의 공사, 작업등 연속되는 행위에 의해 1주일에 1톤 이상 배출하는 자

③ 매립기준 및 방법

- 일반폐기물로 인해 매립층내에 공간이 생길 수 있는 폐가구류, 폐건축자재 등은 매립 시 가급적 공간이 최소화되도록 해체, 압축, 파쇄, 절단 후 매립한다.

④ 건설업자를 폐기물 다량 배출자를 규정하고 준수사항을 정함. (시행규칙 제8조)

- 폐기물 다량 배출자는 폐기물 배출일로부터 7일 이전에 관할 시·군·구의 장에게 신고하여야 함.
- 다량 배출자는 발생폐기물을 스스로 또는 적정처리업체에 위탁하여 처리하여야 함.

2) 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률

『자원의 절약과 재활용촉진에 관한법률』은 자원의 효율적인 이용과 폐기물의 발생억제, 자원의 절약 및 재활용촉진을 통하여 환경을 보전하고 지속적인 경제발전과 국민복지 향상에 이바지함을 목적으로 한다.

자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률에서는 연간 시공금액 250억원 이상인 건설업자를 ‘중점관리 대상업자’로 지정, 건설폐기물중 ‘지정부산물’의 일정량을 재활용하도록 의무화함으로써 중점관리 대상업자에 대한 재활용 의무를 규정하고 있으며 공공기관의 재활용제품 우선구매 계획 수립으로 재생제품의 우선사용에 대해 제시하고 있다. 또한, 지정부산물을 배출하는 사업자는 지정부산물의 용도에 따른 재활용 방법, 지정부산물의 이용 촉진에 관한 계획의 작성 및 실시, 지정부산물의 분리·파쇄 등에 관한 사항에 대하여 지침에 따라 준수하도록 하며, 이에 따르지 않을 때

이에 대한 내용을 공개 하거나 필요한 조치를 명하도록 하고 있다. 또한 자원 재활용에 필요한 시설설치, 연구, 재활용 사업 등의 자원재활용에 자금이 필요할 경우 정부에서 보조하거나 융자할 수 있으며, 필요한 경우에는 차관을 앞선할 수 있다고 하였다.

3) 건설폐재 배출사업자의 재활용지침

본 재활용지침은 『자원의 절약과 재활용촉진에 관한법률』 제12조 및동법 시행령 제11조의 규정에 의한 「건설폐재 배출사업자의 재활용지침(환경부 고시 제1999-117호, 건설교통부고시 제1999-218호, '99.7.24)」 중 개정·고시한 것으로 토사, 콘크리트, 아스팔트콘크리트, 벽돌 및 건축폐목재를 배출하는 지정부산물 배출업자가 재활용을 촉진하기 위하여 준수하여야 할 사항을 규정함을 목적으로 한다.

지침에 따르면 건설폐재의 재활용 용도는 보수공사용, 도로기층용, 보조기층용, 콘크리트 제조용, 콘크리트제품 제조용, 포장타르, 아스팔트혼합물, 도로포장용 아스팔트, 유화아스팔트, 파쇄골재이용, 건축·토목공사의 자재이용, 건축·토목공사의 성토용, 복구용 및 폐기물 매립시설의 복토용등, MDF(섬유판) 제조용, 산업연료용 및 톱밥 제조용 등이다.

4) 공공기관의 폐기물재활용 촉진을 위한 지침

본 지침은 2002년 4월 국무총리훈령 제429호로 발표되었으며, 『자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률』 제32조의 규정에 의하여 공공기관의 재활용제품 우선구매 등에 관한사항을 정함으로써 폐기물의 감량화 및 재활용을 촉진함을 목적으로 한다.

Table 3-2 Construction Wastes Recycling-related System

구 분	법률 및 지침	주 요 내 용
국무총리실	공공기관의 폐기물 재활용 촉진을 위한 지침	폐기물의 재활용을 촉진하기 위한 공공기관의 의무를 규정
환 경 부	폐기물 관리법	폐기물의 처리방법, 재활용 자재의 품질기준 등 규정
	자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률	지정부산물(토사, 폐콘크리트, 폐아스콘 등)을 규정하고 건설업체에 대하여 지정부산물에 대한 재활용 계획수립과 재활용 의무를 부여
환 경 부 · 건 교 부	건설폐기물 배출사업자의 재활용 지침	건설폐기물 배출사업자가 재활용을 촉진하기 위하여 준수하여야 할 규제
건설교통부	건축법	건축폐자재의 사용 비율에 따라 용적률등 건축기준의 완화를 규정
	건축폐자재의 활용기준	건축물에 건축폐자재 사용비율 및 기준완화에 대한 세부규정
	건설표준품셈	건설폐기물 발생원단위를 규정
	건설기술관리법	발주자 및 건설업체의 재활용 의무, 폐기물처리비 산정기준을 규정
	건설폐자재의 재활용 요령	건설폐자재의 처리 및 재활용에 대한 제도현황 및 기준을 정리

3. 재활용 실태

1) 국내 건설폐기물 재활용 실태

국내 건설폐기물의 자원화는 가정에서 나오는 일반폐기물이나 다른 사업장에서 발생하는 산업폐기물에 비하여 아직까지 사회적인 관심이 부족하며 선별처리 및 재활용 기술개발이 미미하다 하겠다.

건설폐기물의 재활용율은 정부의 재활용정책 중점추진으로 1997년부터 증가하여 2002년 85.9%로 상승추세에 있으며 건설폐기물의 재활용 용도는 성토, 매립용이 90%이상을 차지하고 있으나 도로기층, 보조기층, 콘크리트용 골재등과 같이 부가가치가 높은 부분에서의 재활용 실적은 매우 저조한 편이며 재활용 용도별 비율은 <Figure2.1>과 같다.

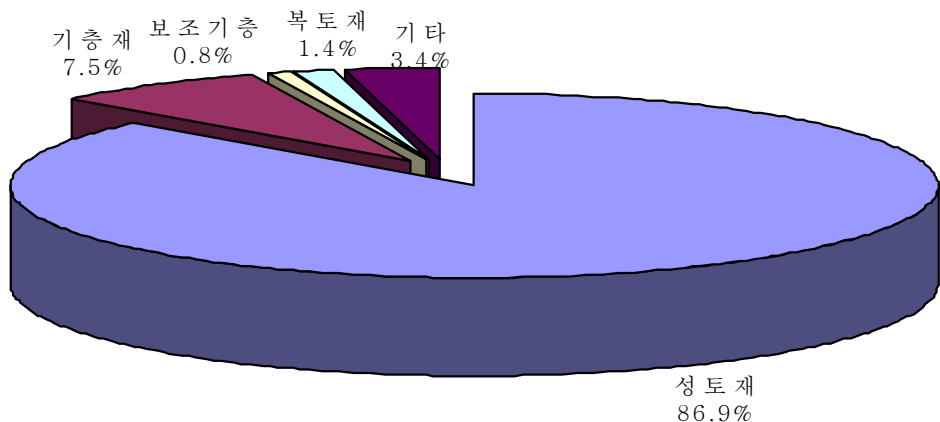


Figure 3-1 Recycling Ratio by Recycled Aggregate's Road Usage

2) 일본의 건설폐기물 재활용 실태

건설폐기물의 재활용이 활발한 대표적인 나라가 일본이며 1985년 7월에

「시가지 토목공사 공중재해방지 대책요강」을 전면 개정하여 폐기물 처리 계획, 위탁처리, 운반경로 운행관리에 대하여 세부적인 사항들을 정하여 관리하고 있다.

일본에서 건설폐기물에 대한 본격적인 대책은 1991년 리사이클법이 제정되면서 이법에 근거하여 건설부산물 적정처리 추진요강 등을 제정하여 건설부산물 리사이클을 추진하게 되었다.

우리나라와 마찬가지로 건설폐기물의 종류별로 재활용 목표율을 정하여 일정규모 이상의 지정 사업자는 반드시 발생하는 건설폐기물을 재활용 하도록 의무화 하고 있다.

건설청이 실시한 건설폐기물 실태조사에 의하면 1990년도 건설공사 현장에서 반출된 건설 토량은 약 3억 7,000만^m³로서 반출량 가운데 30%가 공공공사 등에서 성토재 등으로 재활용 되고 있으나 60%초과 하는 양은 농지나 택지조성, 구릉지 매립 등에 활용되고 있는 것으로 나타났다.

3) 기타 국가들의 건설폐기물 재활용실태

독일 연방정부는 1990년 건설폐기물 억제를 위한 목표 결정안을 마련하여 폐기물이 재활용 대책을 강구하였다.

재활용이 촉진을 위하여 시공자, 관청 등에서 해체 및 건설공사가 체계적으로 연계되도록 하여 폐기물의 감량화 목표를 설정하여 이들의 달성에 역점을 두어 추진하고 있다.

덴마크는 폐콘크리트를 1929년 도로포장, 1959년 공항포장, 1969년 자동차 도로포장에 활용하였으며 최근 폐기물 발생량이 증가하면서 폐콘크리트의 재활용에 대한 다양한 연구가 추진되고 있다.

이상에서 언급한 바와 같이 선진국의 경우도 건설폐기물의 재활용이 도로의 보조기층재와 노반재 등 토목공사에 주로 사용하고 있음을 볼 수있다. 노반재 중에서도 고급의 기층용도로 사용하는 방안에 대한 연구가 활발히

추진되고 있으며 건축자재의 부족과 함께 고도선별 처리 후 건축자재료의 이용방안이 활발히 추진되고 있다.

4) 재생골재 재활용 관련기준

건설교통부에서 1997년 5월 시행한 건설폐자재 품질관리기준은 Table 3-3과 Table 3-4와 같고, 구조물 뒷채움 재료의 다짐기준은 Table 3-5에 표시하였다.



Table 3-3 Quality Standards of Substructure of Road Use

대구분	소구분	기준항목	품질기준	시험방법
노 체	상부노체	최대치수(mm) 수정 CBR값(%)	300mm 이하 2.5% 이상	- KS F 2320
	하부노체	최대치수(mm)	300mm이하	-
노 상	상부노상	최대치수(mm) 소성지수 수정 CBR값(%)	100mm 이하 10 이하 10%이상	- KS F 2303 KS F 2320
	하부노상	최대치수(mm) 소성지수 수정 CBR값(%)	150mm 이하 20 이하 5% 이상	- KS F 2303 KS F 2320
동 상 방 지 층		최대치수(mm) 0.02mm이하 세립도함유량(%) 모래당량	100mm 이하 3%이하 20%이상	- KS F 2302 KS F 2310
보 조 기 층		마모감량 소성지수 액성한계 수정CBR값(%) 모래당량(%)	50% 이하 6 이하 25% 이하 30% 이상 25% 이상	KS F 2508 KS F 2303 KS F 2303 KS F 2320 KS F 2340
기 층	입도 조정기층	마모감량(%) 소성지수 수정CBR값(%) 안정성(%)	40% 이하 4 이하 80% 이상 20% 이상	KS F 2508 KS F 2303 KS F 2320 KS F 2507
	시멘트 안정처리 기층	마모감량(%) 소성지수 수정CBR값(%) 점토함유량(%)	40% 이하 9 이하 25% 이하 1% 이하	KS F 2508 KS F 2303 KS F 2507 KS F 2512
뒷 채 움재	상부	최대치수(mm) 소성지수 수정 CBR값(%)	50mm 이하 10 이하 10% 이상	- KS F 2302 KS F 2320
	하부	최대치수(mm) 소성지수 수정 CBR값(%)	100mm 이하 20% 이하 5% 이상	- KS F 2302 KS F 2320

Table 3-4 Penetration Standards for Substructure of Road of Recycled Aggregate

구 분		통 과 중 량 백 분 율 (%)										
		100 mm	80 mm	50 mm	40 mm	25 mm	19 mm	5.0 mm	3.0 mm	2.0 mm	425 μ m	75 μ m
입도조정층	B-1	-	-	100	95~100	-	60~90	30~65	20~50	-	10~30	2~10
	B-2	-	-	-	100	80~95	60~90	30~65	20~50	-	10~30	2~10
시멘트안정처리층 B-1		-	-	100	95~100	-	50~100	20~60	-	-	-	0~15
보조기층	SB-1	-	100	-	70~100	-	50~90	30~65	-	20~55	5~25	2~10
	SB-2	-	-	100	80~100	-	95~100	30~70	-	20~55	5~25	2~10
동상방지층		100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15 이하
노상		100	-	-	-	-	-	25~100	-	-	-	25 이하
노체		100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
뒷채움재	상부	-	-	100	-	-	-	25~100	-	-	-	0~10
	하부	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10~30

Table 3-5 Compaction Standards

재료종별	다짐도	시공함수비	1층 마무리 두께	비 고
뒷채움A	95% 이상 KS F 2312 적용	최적함수비 부근	20cm 이하	- 노상 아래에 있는 성토 두께 약1m 부분의 노체부를 뒷채움 A로 함. - 뒷채움 A의 아래 부분을 B로 함.
뒷채움B	95% 이상 KS F 2312 적용	수정 CBR 5 이상	20cm 이하	

Table 3-6는 전국 건설폐자재 처리업 총연합회가 제공한 건설폐자재 재활용 일람표이다.

Table 3-6 Chart of Recycling of Construction Waste Materials

순번	용도	규격	법적근거	비 고
1	도로 보조기층재	100, 80, 50 40, 19mm	건설교통부 발생 건설폐자재 처리 및 재활용 요령 (1997.5)	-
2	도로 기층재	50, 40, 25, 19mm	건설교통부 발생 건설폐자재 처리 및 재활용 요령 (1997.5)	-
3	구조물 뒷채움 재료 (상부)	최대입경 50mm (입경 : 물체의 평균크기)	건설교통부 발행 건설폐자재 처리 및 재활용 요령 (1997.5)	구조물 뒷채움이란? 설계도서, 지방서, 감독관의 지시에 따 라 구조물의 시공 종료후, 기초의 터 파기 부분을 원지반 표면까지 되메우기, 다짐, 고르기 하는 작업
4	구조물 뒷채움 재료 (하부)	최대입경 100mm		
5	기타 성토- 복토재 매립지의 복토용	설계, 시공지침 등에서 제시한 방법과 순서에 따름 (대 개 50mm내외)	환경부 고시 제 97-12호 (97.2.25)	시도지사가 별도로 인정하는 경우에 한 함
6	농지, 저지대, 연약지반에 이용시	대개 50mm 내 외	폐기물 관리법 시행규칙 (별표 11의 2)	시, 도지사가 별도 로 인정하는 경우에 한함
7	매립지 매립용	최대입경 50mm	폐기물 관리법 시행규칙 (별표 4)	브레이커 파쇄 가능

4. 폐콘크리트 재생

신축공사 및 해체 공사로부터 발생하는 부산물은 <Figure 3.2>과 같이 여러가지가 있는데 이중에서 굴삭으로 인한 건설잔토, 오니, 콘크리트덩이, 아스팔트덩이 등을 총칭하여 건설부산물이라고 부른다. <Figure3.3>는 건설부산물의 종류와 재생재의 종류 및 용도의 관계를 나타낸 것이다. 또한, 이들 중에서 생산활동상 재활용하는 것이 자원의 효율적인 이용을 위해 특히 필요한 것을 지정부산물로 정하고 있다. 지정부산물은 건설부산물 중에서 재활용성이 높은 건설 발생토(토사), 콘크리트덩이, 아스콘(아스팔트 콘크리트)덩이를 우선 1차로 지정하였다.

산업폐기물중에서도 건설폐기물은 비산성의 석면계통을 제외하고는 대부분 환경에 무해하여 재생하면 건설자재로 다시 활용할 수 있는 특성을 갖고 있다. 그중에서도 주로 구조물의 해체 시에 발생하는 폐콘크리트는 재생 후에도 그 물성이 본래의 물성에서 크게 벗어나지 않아 그 용도가 매우 다양하다. 또한, 폐콘크리트는 재활용 시 부가가치가 높은 반면에 재생에 필요한 기술수준이 그다지 높지 않아서 노반재로서의 활용과 폐콘크리트 덩이로부터 모래나 자갈을 분리시켜 재이용하는 방안에 대하여 관심을 가질 필요가 있다.

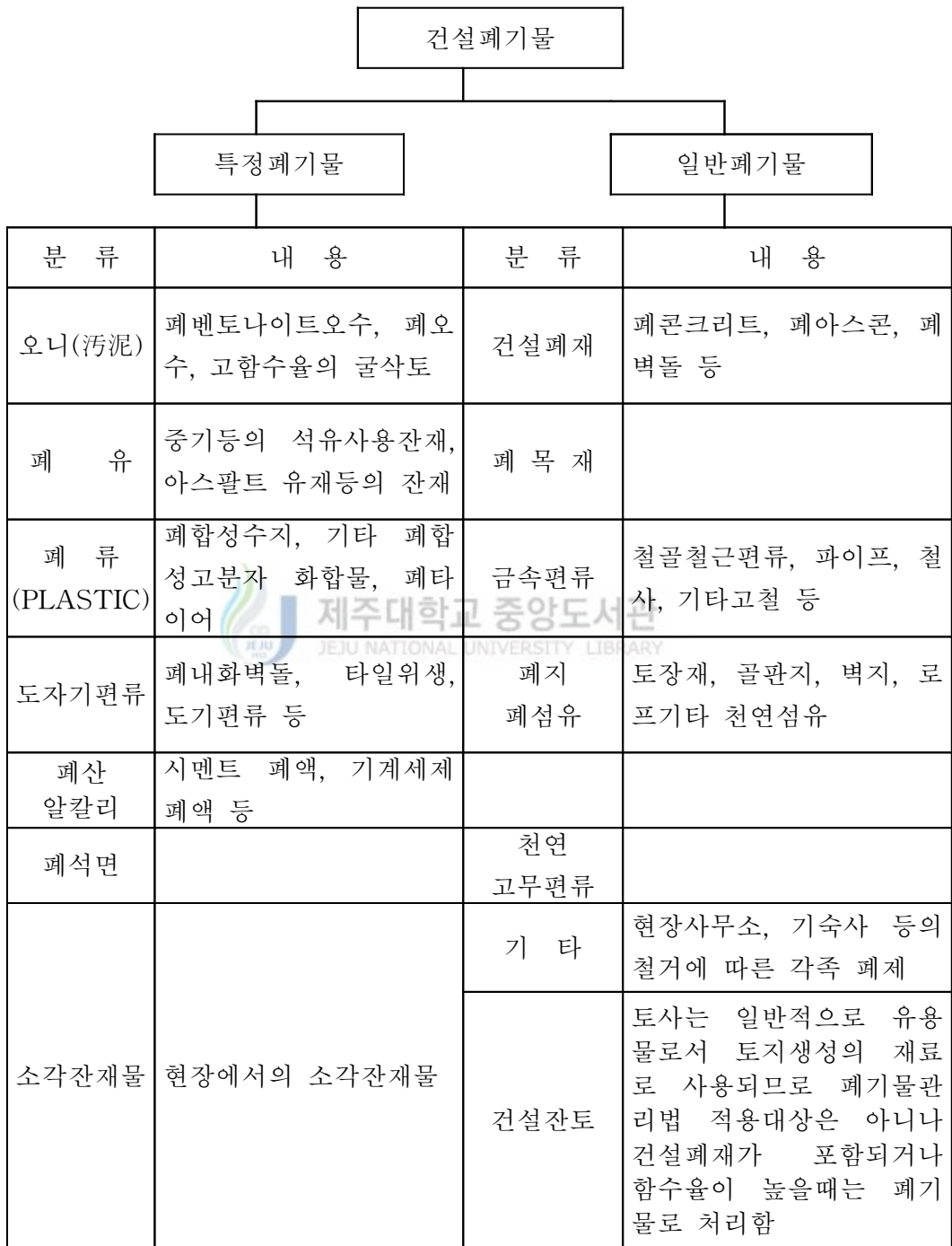


Figure 3-2 Kinds of Construction Wastes

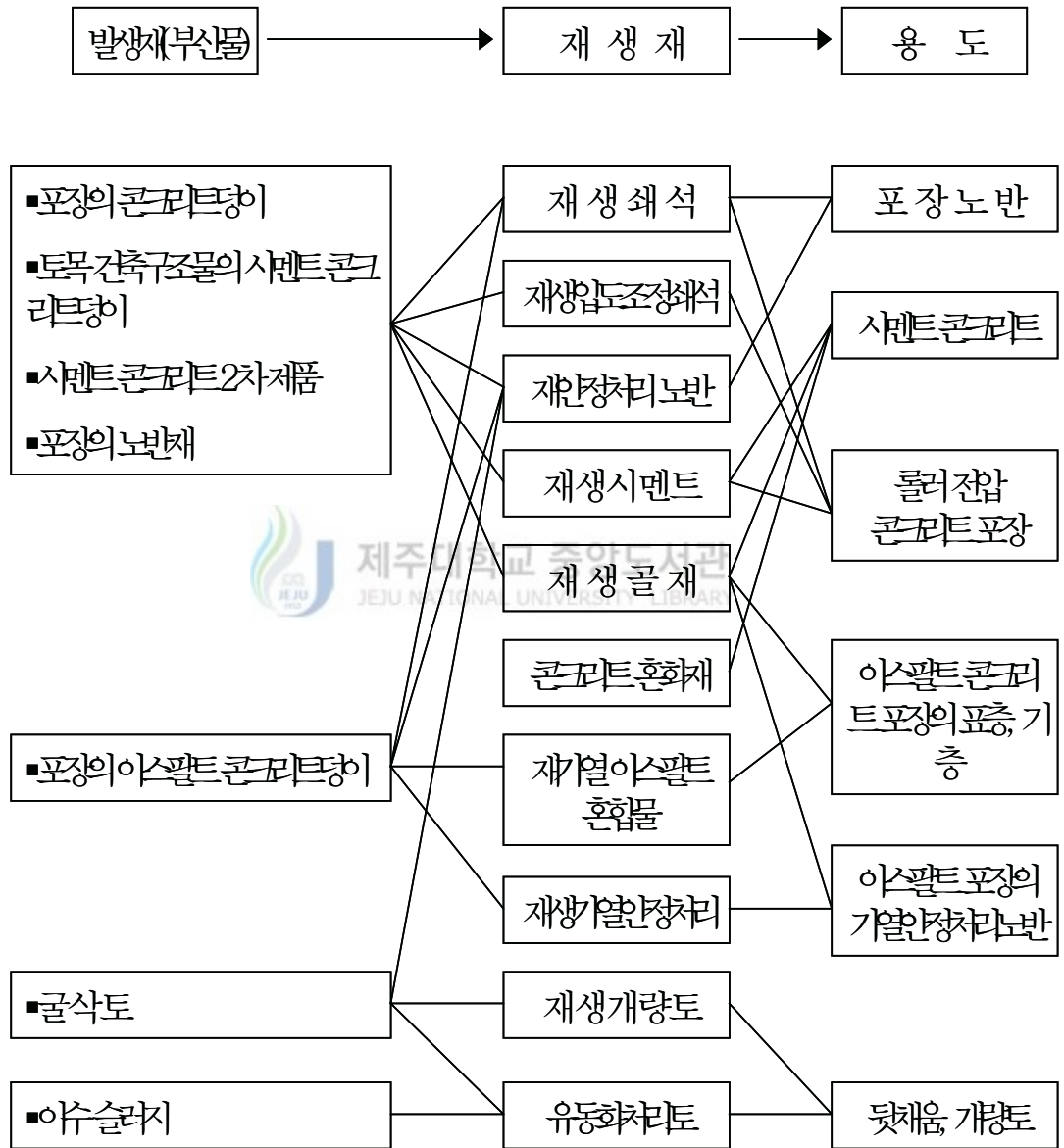


Figure 3-3 Recycling and Usage of Construction Byproducts

5. 콘크리트의 재생방법 및 용도

구조물 해체시 발생하는 폐콘크리트를 재생하는 방법은 분쇄기를 이용하는데 크게 중간처리시설이 있는 분쇄기로 폐콘크리트덩이를 운반한 후 분쇄하는 방법과 이동식 분쇄기를 해체현장에 반입하여 분쇄하는 방법 2가지로 구분할 수 있다. 대규모의 해체공사를 제외하고는 대부분 중간처리 시설을 이용하며, 이 시설은 도심지의 해체현장과 가까운 대도시 근교에 설치되는 경우가 많다.

분쇄과정은 Figure 3-4와 같으며, 해체현장에서 브레이커를 이용하여 500mm정도의 크기로 거칠게 분할한 후 조 크러셔(Jaw Crusher) 또는 임팩트 크러셔(Impact crusher)를 이용하여 80mm정도 크기로 1차 분쇄한다. 1차 분쇄된 폐콘크리트 분쇄물은 다시 임팩트 크러셔를 이용하여 40mm 이하의 크기로 반복 공정을 통해 2차 분쇄된다. 그후 분쇄물에 섞여 있는 철근 등의 금속물은 자석을 이용해서 자동으로 분리할 수 있으며 40mm 이하의 분쇄물을 체가름하여 몇가지 입도의 크기로 분류한다. Figure 3-4는 폐콘크리트부터 재생노반재를 생산하는 과정을 흐름도를 나타낸 것이다. 한편, Figure 3-5는 폐콘크리트의 규격별 재활용 흐름도를 나타낸 것이다.

재생조골재, 세골재로 사용하고자 할 때는 Figure 3-4의 과정을 좀더 세밀하게 많이 반복해서 거치면 된다. 그러나, 반복 과정을 많이 거칠수록 생산단가는 높아지므로 재활용 용도에 맞추어 적당한 수준에서 그치는 것이 효과적이라고 볼 수 있다.

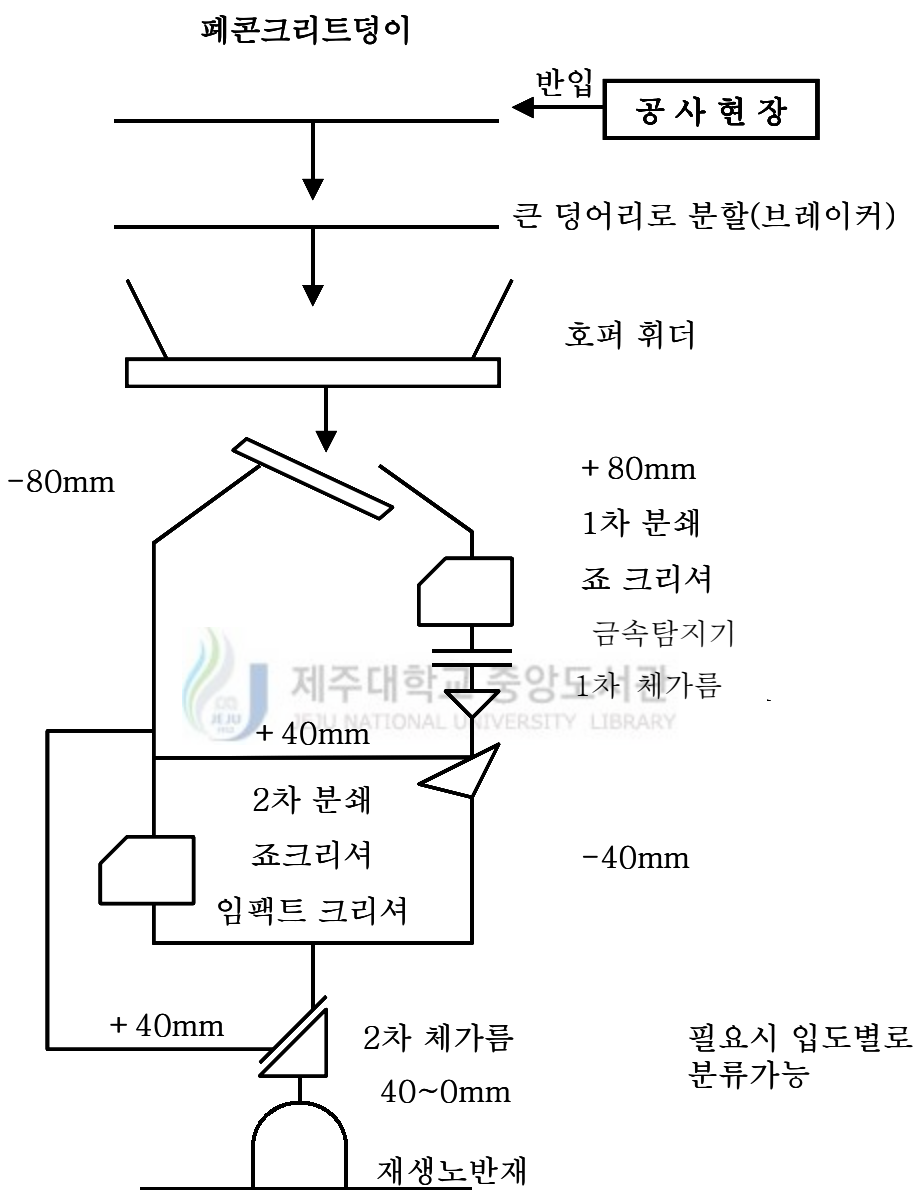


Figure 3-4 Flow Diagram for Production Process of the Recycled Roadbed Material of Waste Concrete

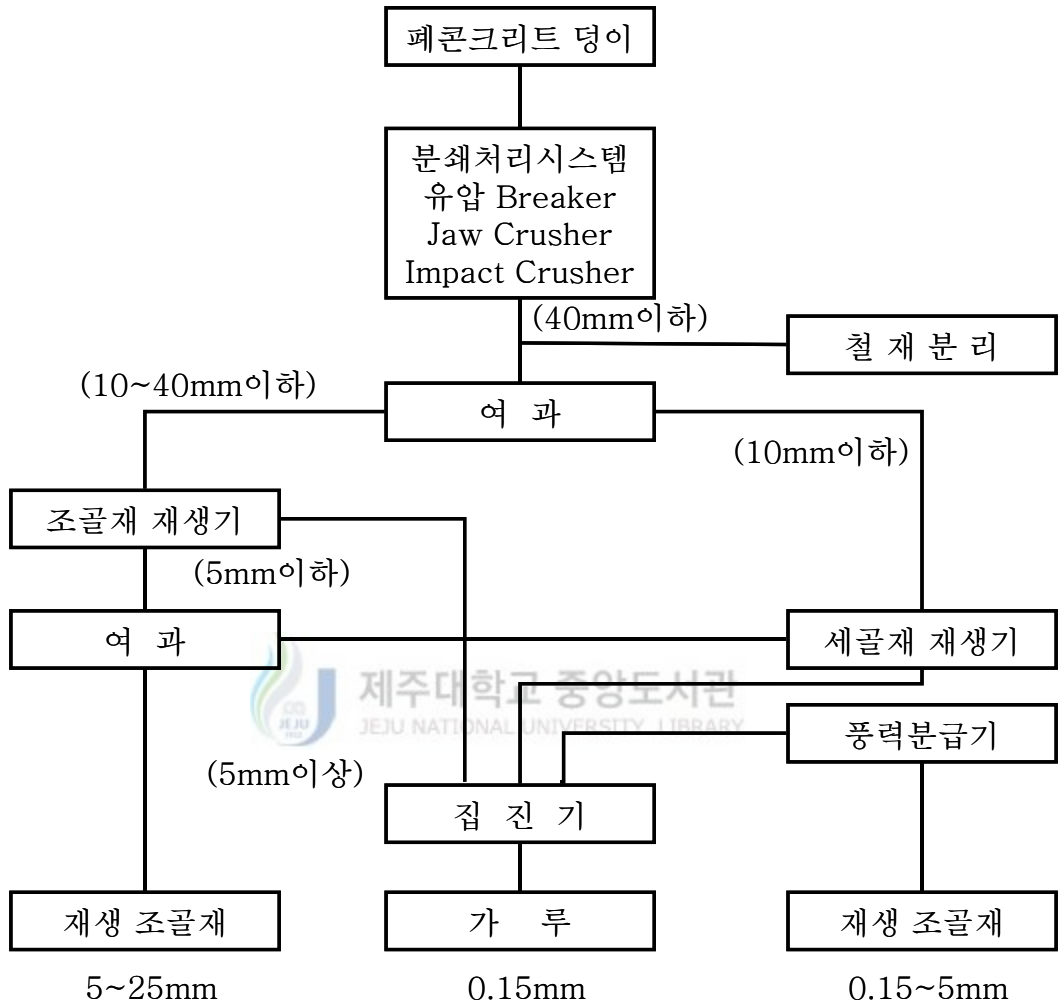


Figure 3-5 Recycling System Diagram by Waste Concrete Dimensions

1) 폐콘크리트 파쇄 시스템

폐콘크리트를 활용한 재생골재 생산시스템은 원료가 되는 폐콘크리트의 형태 및 불순물 함유량과 최종생산물인 재생골재의 품질에 따라 파쇄장비의 용량 및 재생과정이 결정된다.

폐콘크리트를 재활용하기 위해서는 무엇보다도 사용용도에 맞는 크기로

파쇄하는 것이 중요하다. 이때 가능한 폐콘크리트 내의 골재를 손상시키지 않고 시멘트페이스트와 모르터를 골재와 분리시키는 것이 골재의 재활용에 있어서 유리하다. 폐콘크리트 파쇄시스템은 우선 기계적 분리로써 1차 파쇄와 2차 파쇄로 나누어진다. 1차 파쇄에는 조 크러셔 등의 굵은 골재 파쇄기로 15cm정도 이하로 파쇄하면서 자선기 및 인력에 의해 철근, 폐목재, 폐섬유, 폐플라스틱 등의 이물질 제거 후 20~40mm의 체로 선별한다. 그리고 임팩트 크러셔 등으로 2차 파쇄를 실시하여 파쇄입자의 형태나 입도 분포를 결정한다.

그러나 폐콘크리트의 재활용을 보편화하기 위해서는 그러한 1차파쇄, 2차 파쇄 등의 공정이 한번에 완료되는 것이 바람직하고 해체현장에서 50cm이하로 조파쇄된 것을 1공정에서 40cm전후까지 파쇄하는 장치의 개발이 필요하다.

나아가서 가능하다면 그러한 파쇄기를 트레일러에 적재해서 이동할 수 있게 하고 해체현장에서 바로 사용할 수 있게 되면 중간처리 시설로 이동해야 하는 것과 같은 불편을 해소할 수 있어 운송효율의 향상을 기대할 수 있다.

Figure 3-6은 폐콘크리트를 파쇄 및 선별과 분리과정을 거쳐 재생골재로 제조하는 과정을 나타낸 것이다. 폐콘크리트는 파쇄 및 선별과정을 거친 후 각 체의 치수별 체분석을 실시하여 각 용도에 맞는 재생골재를 생산하게 된다.

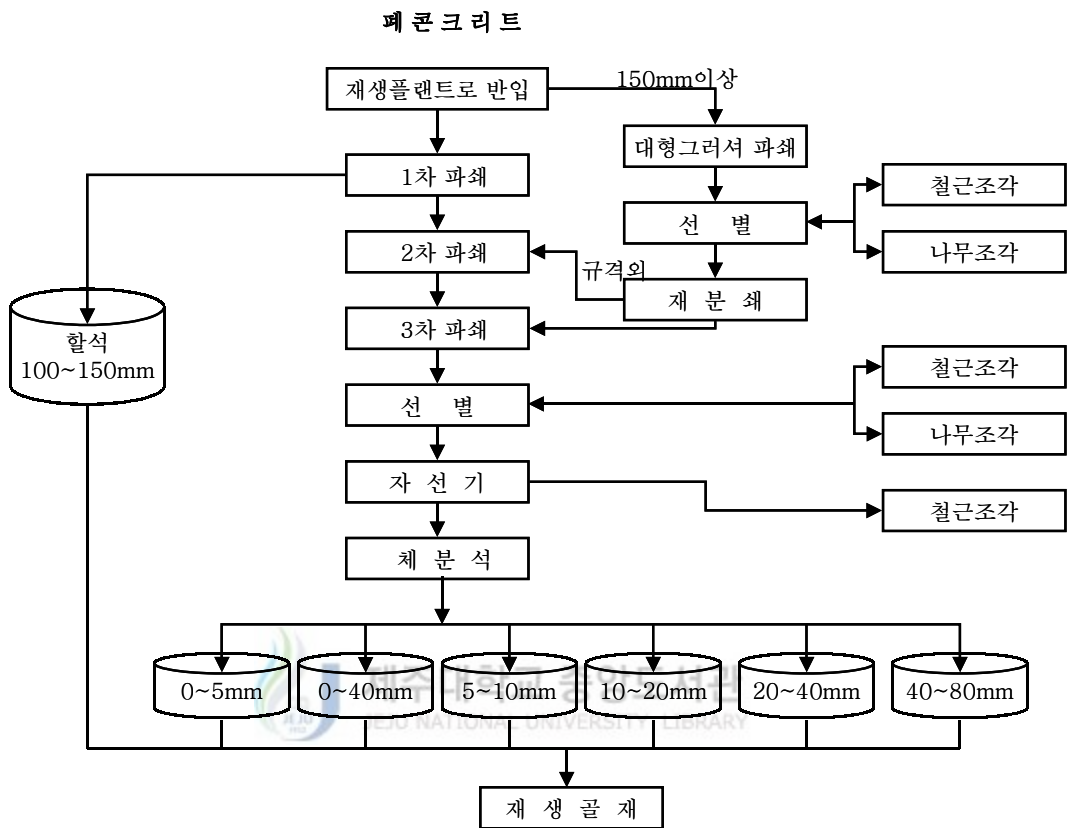


Figure 3-6 Recycled Aggregate's Manufacturing Process Utilizing Waste Concrete

2) 폐콘크리트 파쇄 장비

일반적으로 폐콘크리트를 파쇄하여 양질의 재생골재를 만들기 위해서는 파쇄장비의 기종 선정이 중요하며, 성능은 가능한 한 폐콘크리트 내의 골재를 손상시키지 않고 시멘트 페이스트와 모르타의 부착을 작게 하는 것이 좋다. 폐콘크리트를 재활용하기 위하여 사용되는 파쇄장비는 그 종류가 다양하다. 파쇄에 이용되고 있는 기구는 압축, 충격, 절단력 등을 이용하며 2가지 이상의 원리를 응용한 파쇄장비도 있다.

폐콘크리트의 파쇄장비는 장치형식에 따라 이동식과 고정식으로 분류된

다. 고정식의 경우는 이동하지 않는 조건에서 사용되는 파쇄장비를 말하며, 이동식의 경우는 자체의 구동장치에 의한 이동이 가능한 파쇄장비를 말한다.

고정식 파쇄장비의 경우 가동률이 높고, 거동비가 낮으며, 최종 재생제품의 품질을 높일 수 있는 장점이 있으나, 재활용 제품의 판로 또는 용도가 확실히 보장되어야 운용될 수 있다. 반면에 이동식 파쇄장비는 설치 및 운용을 위한 허가조건이 비교적 간단하며, 폐기물 발생 장소에서 즉시 재활용이 가능한 장점이 있으나 고정식에 비하여 단위처리 용량 당 투자비가 높고, 설치장소의 한계가 있어 분진 및 소음등의 환경적인 문제에 불리하다. 따라서 폐콘크리트의 발생장소 및 발생량, 수송거리등을 비교하여 이동식과 고정식의 파쇄장비를 적절히 사용하는 것이 바람직하며 폐콘크리트 재활용 중간처리 시스템은 Figure 3-7과 같으며 파쇄장비 특징은 Table 3-7과 같으며 Photo 3-1, Photo 3-2, Photo 3-3은 재생골재 생산과정 및 재생골재 사진이다.

Table 3-7 Features of Crushing Equipment

구분	파쇄장비	특 징
1차 파쇄	쥬 크러셔	1,000mm 이상의 대형 콘크리트 덩어리의 파쇄 가능
	자이레트리 크러셔	쥬 크러셔에 비해 진동이 적고, 대용량
2차 파쇄	임팩트 크러셔	파쇄물의 입경분포가 넓고, 분말생성되며 유지비가 비싸다
	콘 크러셔	파쇄비가 크고, 파쇄된 골재의 모양이 넓다
	롤 크러셔	10~20cm 크기의 골재생산에 많이 쓰임
	볼 밀	원통안에 볼과 폐콘크리트를 투입 파쇄
	로드 밀	로드를 사용하여 1mm이하로의 미분쇄에 적합

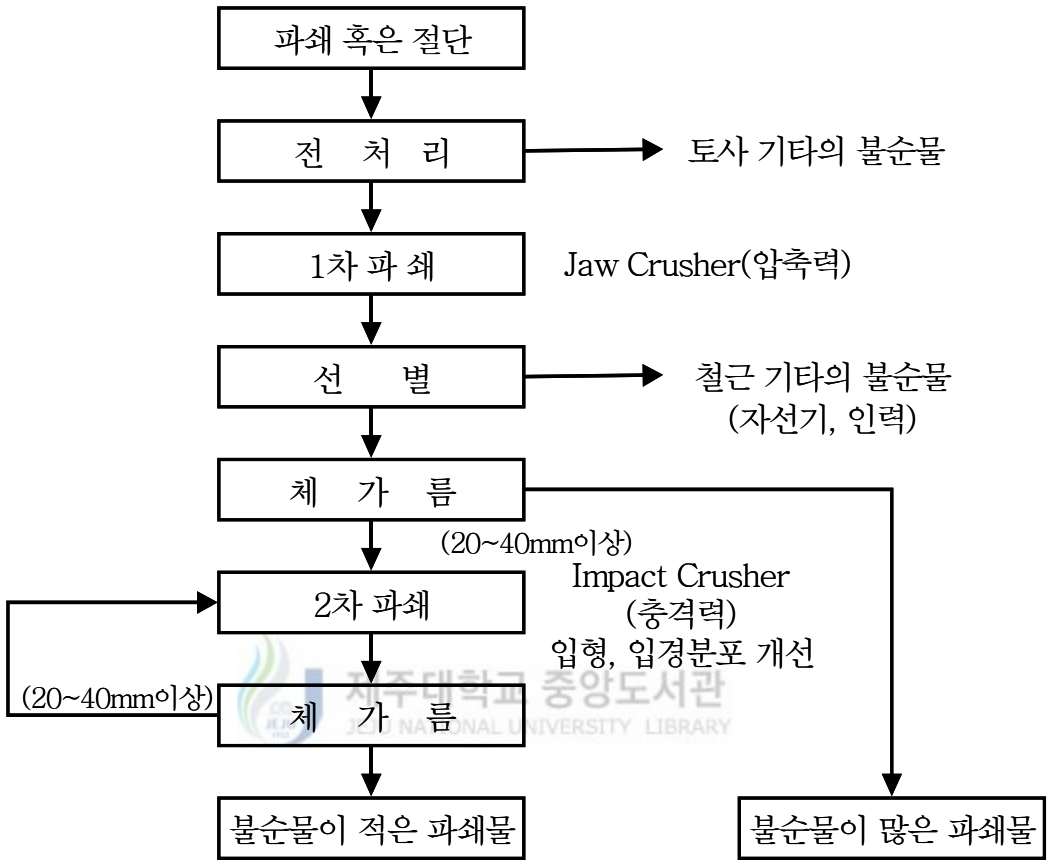


Figure 3-7 Intermediary Treatment System for Recycling of Waste Concrete (Ministry of Construction and Transportation, 1999)



전체전경



운전실



Hopper, Feeder & 1차 Jaw crusher



Hopper 내부에 투입된 폐기물



1차 파쇄 된 폐기물의 이송



1차 자력선별기(Electric megnet)

Photo 3-1 Facilities by Treatment Process of Waste Concrete



1차 수선별



토분분리기 및 송풍기(쓰레기 등 이물질분리)



골재세척수조(Sorting Tank)



세척 후 이송되는 골재



세척수조의 부유물을 제거하는 스크래퍼



탈수스크린을 거쳐 2차 Jaw crusher

Photo 3-2 Facilities by Treatment Process of Waste Concrete



탈수스크린 및 2차 Jaw crusher



2차 자력선별기 및 수선별대



제품선별기 및 송풍기



송풍기로 분리된 이물질의 포집



생산 된 재생골재



생산 된 재생골재

Photo 3-3 Facilities by Treatment Process of Waste Concrete and Produced Recycled Aggregat

3) 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 Figure 3-8에 나타내었다.

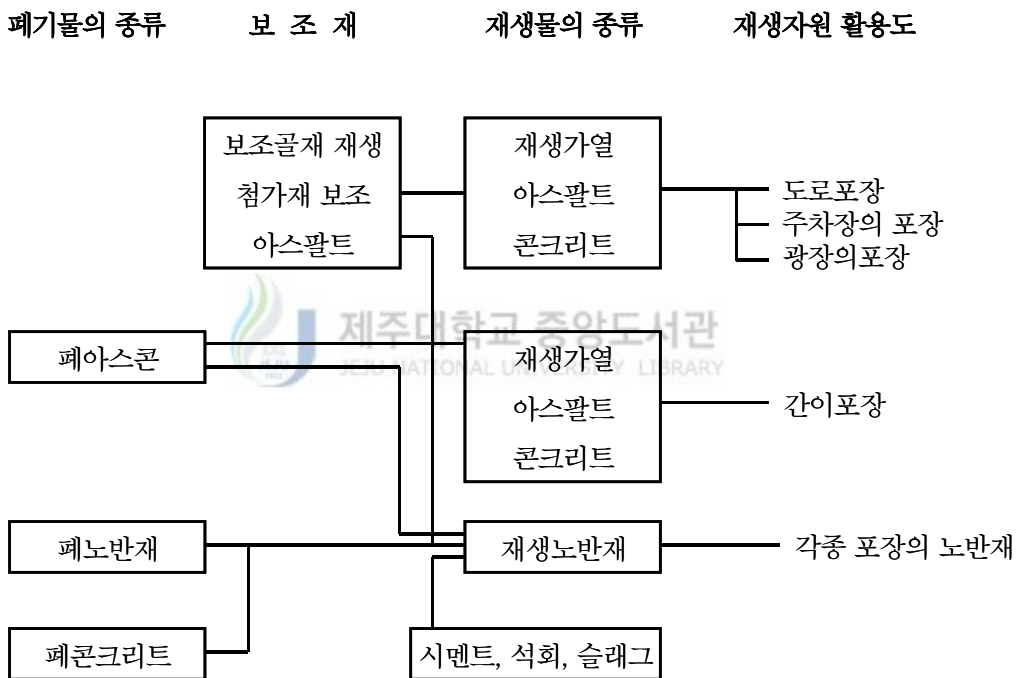


Figure 3-8 Manufacture and Supply System of Waste Concrete Recycled Aggregate

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 3-8에 나타내었고 재활용 용도에 대해 살펴보면 다음과 같다.

Table 3-8 Recycling Usage of Waste Concrete

형 상	용 도	활 용 방 안
부재.덩어리	어 초 바닥 깔기 돌	건설의 보, 기둥부분을 절단하여 어초로 재이용하고 바닥 깔기를 얇은부분을 가공하여 바닥 깔기 돌로 이용
1차 파쇄상태	바닥다짐재 도로용재료	건설현장에서 1차파쇄된 콘크리트를 30~50cm 정도로 2차파쇄하여 바닥 다짐재로, 미설재, 혼합재, 노반재로 이용하거나 불량토와 혼합교반하여 이용
조 골 재	콘크리트용 골재	폐콘크리트를 파쇄하여 생산된 조골재를 아스팔트 콘크리트용 조골재로 이용하거나 콘크리트 제조용 5mm이상의 조골재로 재이용
세 골 재	콘크리트용 골재	폐콘크리트를 파쇄한 세골재를 콘크리트용 혹은 시멘트 2차제품용 세골재로 재이용
미 분 말	지반계량	지반 심층 혼합처리에 재이용

(1) 토지조성재

흙, 모래대신 사용하는 것으로 조성후 토지이용에 지장이 없는 크기로 분쇄하여 사용하지만 부가가치는 낮다.

(2) 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 2.5mm이하의 단입도 쇄석으로 이용한다.

(3) 기초 및 뒷채움재

일반적인 규격은 없지만 크러셔로 분쇄한 그대로 이용하거나(40mm이하) 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.

(4) 노반재

노반재는 크러셔로 ① 분쇄하여 그대로 이용하는 경우와 ② 이를 2~3종류로 체가름한 후 일정 입도 분포가 되도록 배합하고 최적함수비로 가수하여 입도조정 노반재로서 이용하는 경우와 ③ 시멘트 등의 결합재를 첨가해서 재생안정처리 노반재로서 이용하는 경우가 있음을 보여주고 있다.

IV. 재생골재와 쇠석골재에 대한 역학적 실험결과

1. 재생골재의 공학적 특성

폐콘크리트를 채취하여 선별처리한 재생골재에 대하여 공학적 특성을 살펴 보았다.

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 각종실험을 실시하여 폐콘크리트의 공학적 특성을 분석함으로써 도로노반재로서의 사용 가능여부를 평가하였다.

가) 재료

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

나) 시험항목 및 방법

폐콘크리트 재생골재에 대하여 되메움재, 뒷채움재, 보조기층재료로 사용하기 위하여 포장재료로써의 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.

다) 시험결과 및 분석

재생골재를 도로 노반재에 사용하기 위하여 제주산업에서 생산된 폐콘크리트 재생골재의 관련 실내시험결과는 Table 4-1과 같다.

1) 체가름 시험

골재의 체가름 시험을 위한 시료채취를 제주산업에서 표본채취 하였으며 시방서에 제시된 SB-2의 입도에 맞도록 시험한 결과 Figure 4-1과 같다.

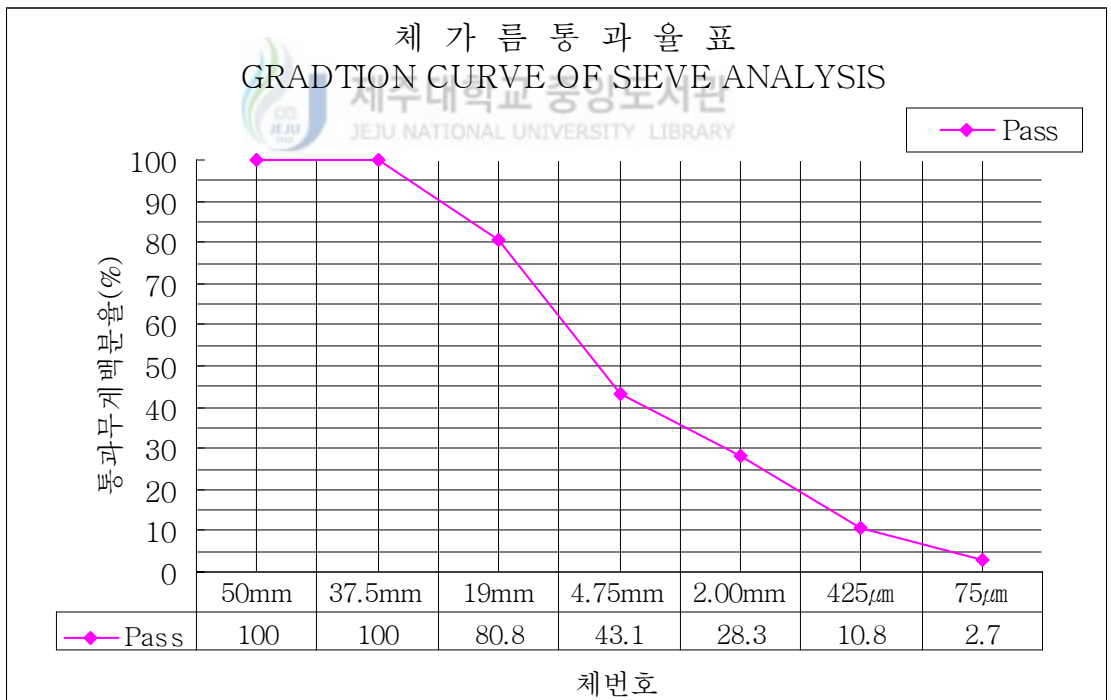


Figure 4-1 Sieve Curve of Recycled Aggregate

Figure 4-1에서 보는바와 같이 표본 채취한 시료에 대하여 체가름 시험결

과 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 높은것으로 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 2.233g/cm^3 으로 나타났다.

(4) 다짐시험

다짐시험결과는 Figure 4-2에 나타내었다. D다짐으로 실험을 실시하였으며 최대건조밀도는 1.98g/cm^3 이고 최적함수량은 11.5%로 나타났다.

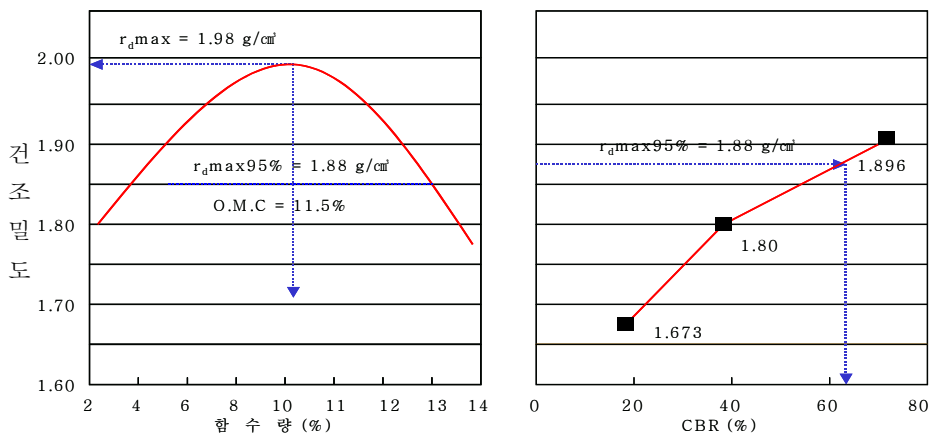


Figure 4-2 Compaction Test Curve and CBR

Table 4-1 Engineering Feature Test Result of Waste Concrete Recycled Aggregate

시험항목	시험방법(KSF)	재생골재
굵은골재밀도	2503	2.233 g/cm ³
흡수율	2503	5.65 %
안정성	2507	4.5 %
마모율	2508	21.8 %
단위중량	2505	1.230 g/cm ³
다짐	2312	D
최대건조밀도		1.98 g/cm ³
최적함수량		11.5 %
실내CBR	2320	60.5 %
체가름	2509	cu=23.41 cg=1.34
비중	2308	2.69

Table 4-2 Sieve Test Result of Waste Concrete Aggregate

구 분	체 크 기 (mm)						
	53	37.5	19	4.75	2.0	0.425	0.075
통과율	100	100	80.8	43.1	28.3	10.8	2.7
시방서 기준 (SB-2)	100~100	100~80	100~55	70~30	55~20	30~5	10~2

2. 쇄석골재의 공학적 특성

남제주군 안덕면 동광리소재 선일기업에서 생산된 쇄석골재에 대한 시험재료는 현재 제주도내 도로현장에서 일반적으로 사용하고 있는 양질의 골재를 사용하였으며 시험방법은 도로공사 표준시방서 규정에 따라 실내시험을 실시하였다.

시험결과는 Table 4-3과 Figure 4-3, Figure 4-4와 같다.

Table 4-3 Engineering Feature Test Result of Crushed Stone

시험종목	시험방법 (KS F)	단위	성과
#200체 통과율	2511	%	4.7
다짐	2312	-	D-b
최대진조밀도		g/cm ³	2.127
최적함수량		%	4.8
마모율(G급)	2508	%	22.6
굵은골재밀도	2503	g/cm ³	2.664
흡수율		%	1.95
함수량	2306	%	2.0
액성한계	2303	%	NP
소성한계		%	NP
체가름	2502	%	-
실내CBR	2320	%	52.0

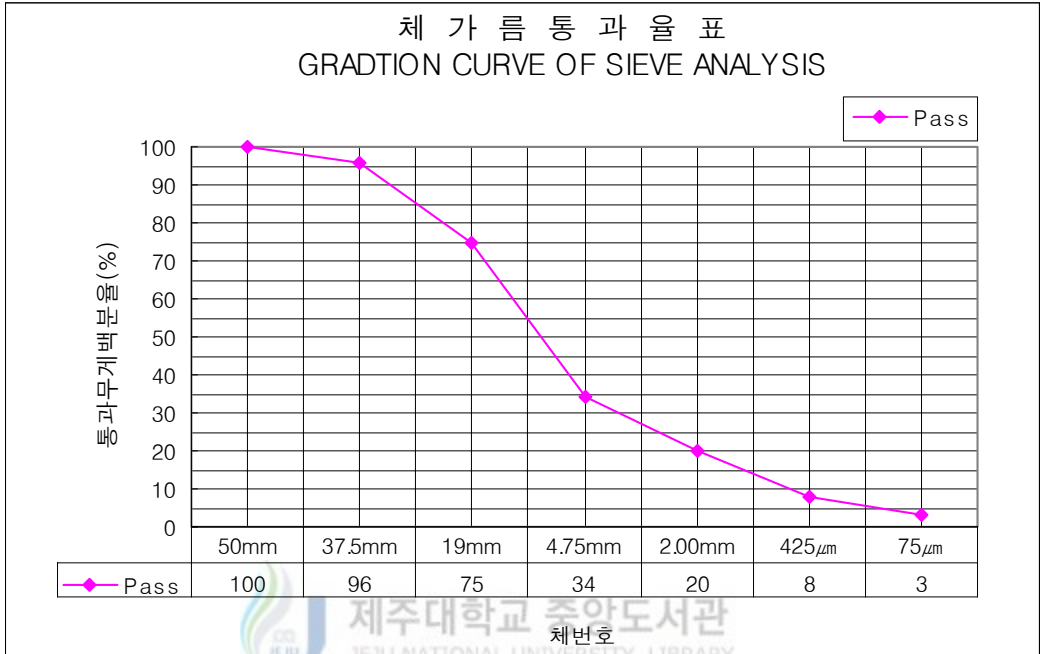


Figure 4-3 Sieve of Crushed Stone Aggregate

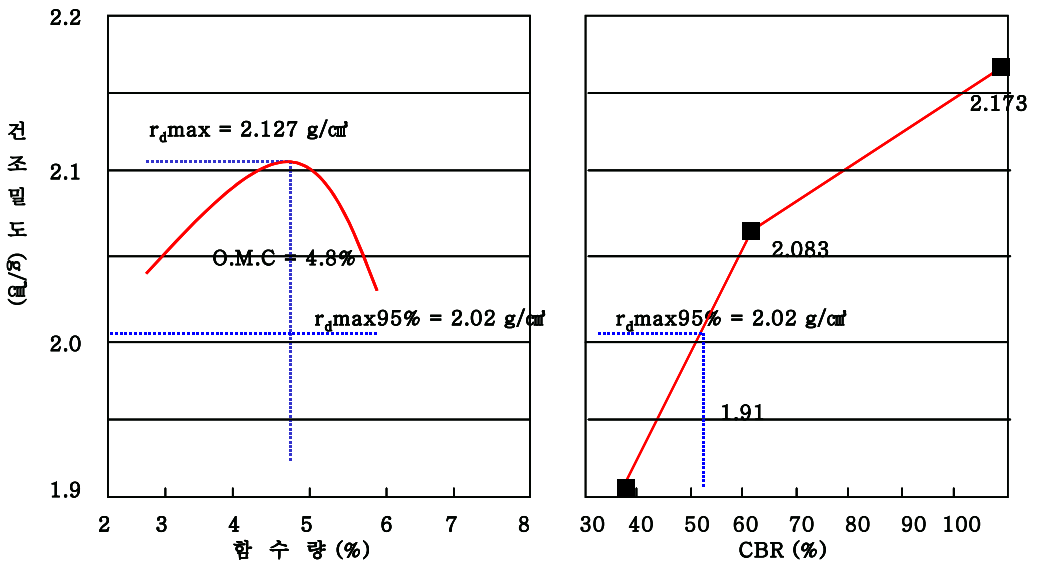


Figure 4-4 Crushed Stone Aggregate's Compaction Curve and CBR Test

3. 재생골재와 쇠석골재의 공학적 특성 비교분석

재생골재와 일반쇄석골재의 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 4-3과 같으며 Figure 4-3, Figure 4-4는 쇠석골재 체가름 시험 및 다짐시험 결과이며 Table 4-4는 재생골재와 쇠석골재에 대한 실험을 비교한 것이다.

1) 실내 CBR

보조기층재료 사용 규정에 근거하여 폐콘크리트 및 쇠석골재에 대한 CBR 시험결과를 Figure 4-5와 같이 나타냈다.

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

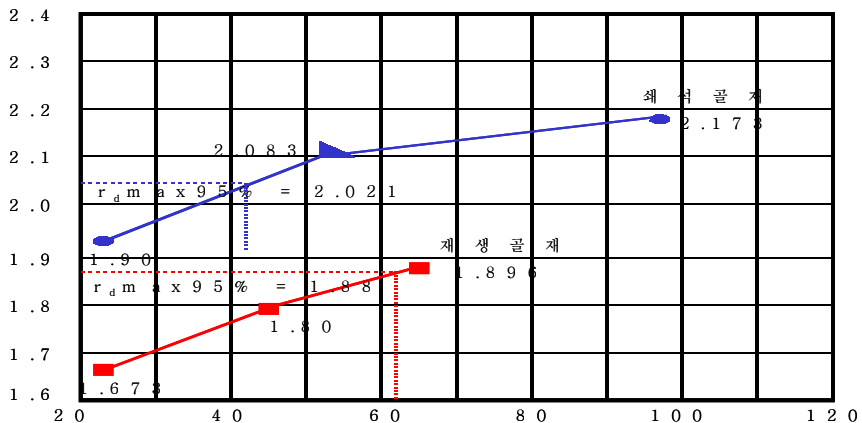


Figure 4-5 CBR Test Comparison

2) 마모율

KSF 2508 규정에 의거 무작위로 채취한 재생골재 및 쇄석에 대한 마모율을 시험한 결과 재생골재의 마모율은 21.8%로 측정되었으며 쇄석골재의 경우 마모율은 22.6%로 Figure 4-6과 같다.

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

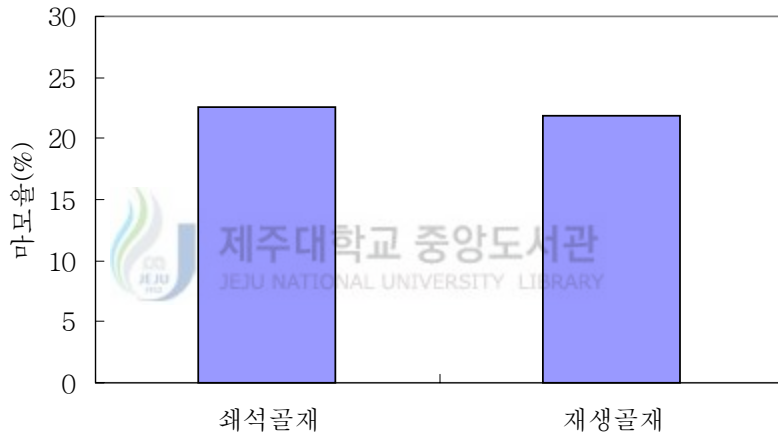


Figure 4-6 Abrasion Rate Test Comparison

3) 다짐시험

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

Figure 4-7은 쇄석골재와 재생골재를 비교한 것으로 재생골재는 쇄석골재에 비하여 함수비는 높고 밀도는 낮은 것으로 나타났으며, 그 이유는 파쇄된 콘크리트 또는 블럭, 벽돌 등에서 생산된 재생골재 표면에 붙어 있는 물

타르와 불순물에 의해서 쇠석골재 보다 엷물림이 좋지 않아 골재들 사이에 공극을 많이 포함하게 되고 더불어 밀도가 낮아진 것으로 판단된다.

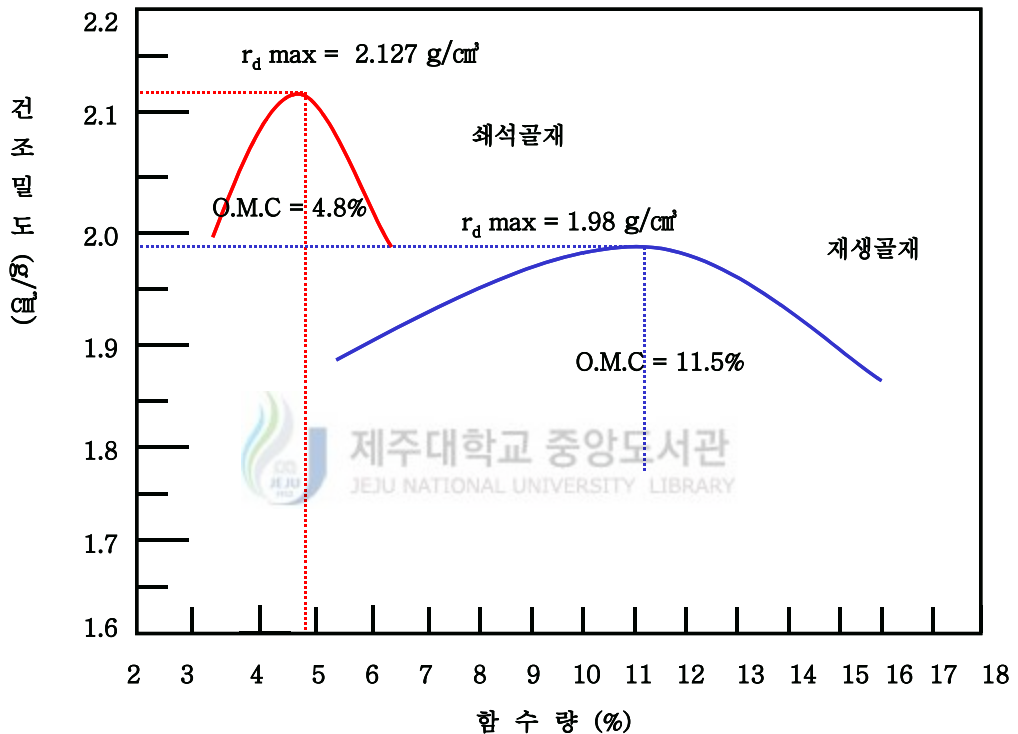


Figure 4-7 Compacting Curve Comparison

4) 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 동결에 대한 내구성이 크다. 그러나 골재의 채취량은 풍화정도에 따라서 밀도 및 흡수량에 변화가 생긴다. 따라서 재생골재의 밀도는 $2.23t/m^3$ 쇠석골재의 밀도는 $2.664t/m^3$ 로 Figure 4-8, Figure 4-9와 같이 나타났으며 흡수율은 재생골재

5.65% 쇠석골재1.95%로 측정되었다.

시험결과 재생골재가 일반쇄석골재에 비해 굵은골재밀도는 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 KSF 에서는 굵은골재의 밀도가 2.2이상으로 규정하고 있다. 따라서 굵은골재밀도 시험결과 2.233으로 나타나 품질시험 기준에 만족하였다.

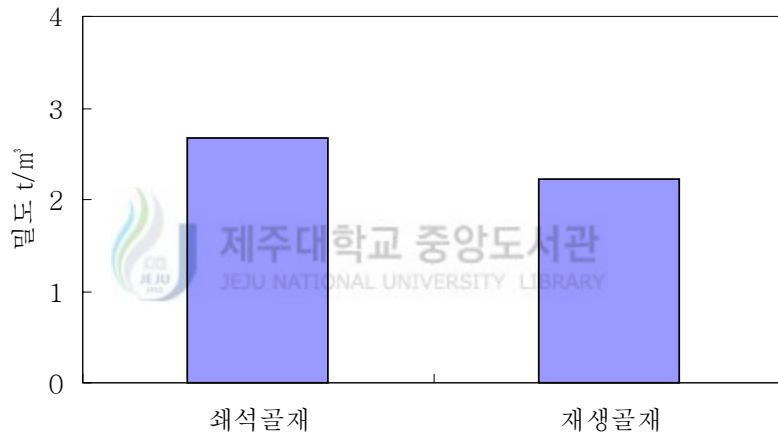


Figure 4-8 Thick Aggregate Density

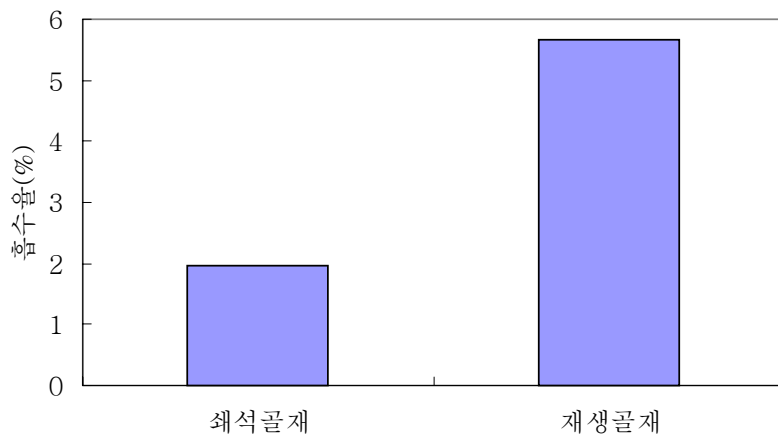


Figure 4-9 Absorption Rate Test Comparison

Table 4-4 Test Comparison of Recycled Aggregate and Crushed

시험종목		시험방법	재생골재	쇄석골재
			시험결과	시험결과
액성한계		KSF 2303		NP
소성지수		KSF 2304		NP
마모감량		KSF 2508	21.8%	22.6%
수정CBR		KSF 2320	60.5%	52%
다짐 시험	최대건조밀도 (g/cm ³)	KSF 2312	1.98(g/cm ³)	2.127(g/cm ³)
	최적함수비(%)		11.5%	4.8%
흡수율		KSF 2503	5.65%	1.95%
굵은골재 밀도		KSF 2503	2.23(g/cm ³)	2.664(g/cm ³)
단위중량		KSF 2505	1.23(g/cm ³)	
비 중		KSF 2308	2.74	
# 200체 통과율		KSF 2511	2.7%	4.7%

V. 제주지역의 재생골재 사용 활성화 방안

1. 보조기층

Table 5-1은 실내시험 결과를 표시한 것으로 대체적으로 재생골재는 도로공사 표준시방서에 나와있는 보조기층재 기준에 적합한 것으로 나타났다.

보조기층재로 사용될 재생골재의 마모시험 결과치는 21.8%로써 일반쇄석골재 22.6%보다 낮게 나타났으나, 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 물흡수율이 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 <Figure 5.1>은 재생골재와 쇄석골재에 대한 체가름 시험에 대한 비교도 도로공사 시방서에서 제시된 SB-2의 입도에 모두 만족한 것을 나타냈다.

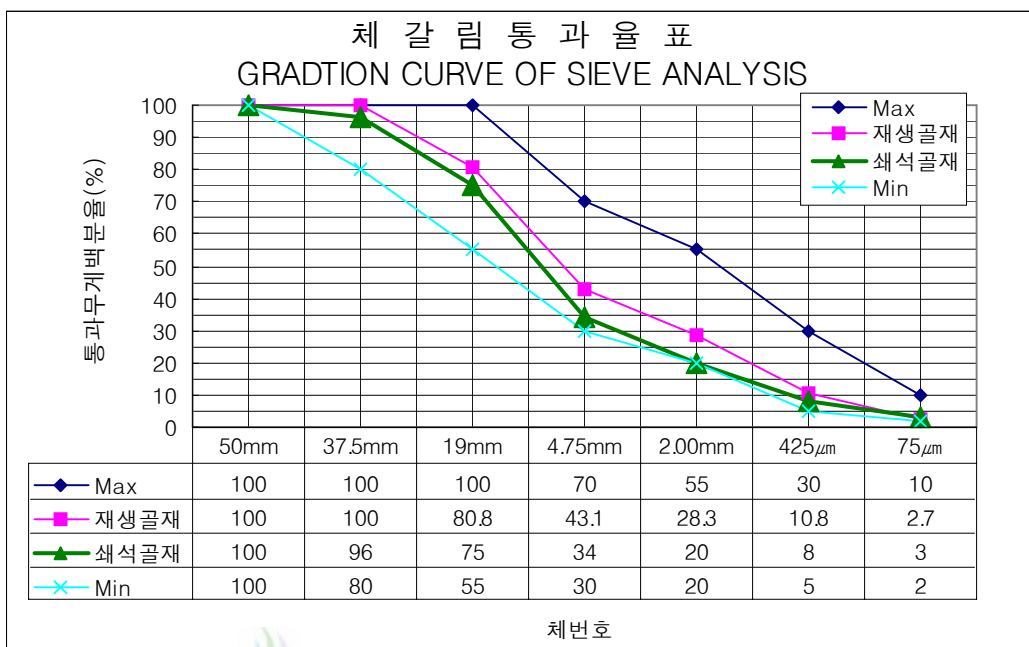


Figure 5-1 Sieve Comparison between Recycled Aggregate and Crushed Stone

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

Table 5-1 Indoor Test Result of Recycled Aggregate Supplementary Base Course Material

시험종목		시험결과	기준
액성한계(%)		NP	-
소성지수		NP	6이하
마모율(%)		21.8	50이하
수정CBR(%)		60.5	30이상
다짐 시험	최대건조밀도 (g/cm ³)	1.98	-
	최적함수비 (%)	11.5	-

2. 뒷채움재

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

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

수정 CBR은 60.5%로 도로공사 표준지방서에서 정한 기준보다 월등히 지지력이 높은것으로 나타났으며 소성지수도 지방서에 준하므로 재생골재는 건물이나 도로의 되메움재나 뒷채움재료로 적합한 것으로 나타났으며 시험 결과는 Table 5-2와 Table 5-3에 나타나 있다.

Table 5-2 Penetration Test Result of Recycled Aggregate Back Filling Material

입도시험	시험결과	기준
100mm 통과율	-	100
#4 통과율	42.2	20~100
#200 통과율	1.5	0~15

Table 5-3 Indoor Test Result of Recycled Aggregate Back Filling Material

구분	시험결과	기준
액성한계(%)	N.P	
소성지수	N.P	10이하
최대건조밀도(g/cm ³)	1.98	
최적함수비(%)	11.5	
수정CBR(%)	60.5	10이상

3. 기타

가) 어초 바닥돌

콘크리트덩어리 원재료의 특성을 살려 재이용하는 것으로 받침대등을 절단 후 그대로 인공어초로서 재이용하며 두께가 얇은 재료는 절단가공후 바닥 디딤돌로 이용.

나) 할석 및 바닥균함

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

다) 미분말

조골재와 세골재 제조의 수반되는 2차 폐재로 지반개량등에 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 사용 시 재생골재가 우수한 공학적인 성질을 유지할 것인가에 대하여 많은 의문점이 있으나 재생골재에 대한 재활용 촉진을 위해서는 관계기관에서 시범적으로 다양한 시험시공을 통하여 재활용에 대한 신뢰감을 가질수 있도록 노력해야 할 것이다.

VI. 결 론

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

폐콘크리트 재활용 방안에 관한 연구 결과는 다음과 같다.

- 1) 우수한 품질의 재생골재 생산기반을 마련하기 위해서는 재생골재의 용도별 품질기준으로 설정하고 이에 따른 품질인증도 부여한다.
- 2) 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.
- 3) 재생골재의 보급 확대를 위해서는 품질의 동질성을 확보하는 것이 중요하고 양질의 재생골재를 생산할 수 있도록 노력해야 할 것이다.
- 4) 재생골재를 생산 후 수요처 확보문제가 대두될 수 있는바 대안으로 건설공사 설계 시 공사표준시방서 및 전문시방서에 재생골재 사용용도 및 품질기준을 명시하고 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률을 개정하여 재생골재 사용을 의무화하는 등 재생골재 재활용 촉진을 위한 시범사업 실시등도 하나의 대안이라 하겠다.
- 5) 재생골재에 대한 재활용율을 높이기 위하여 설계시 시방서에 재생골재

사용용도 및 기준을 설정하여 천연골재의 일정비율을 재생골재로 사용하도록 의무화 하는 기준을 명시하여야 할 것으로 판단된다.

- 6) 이상에서 살펴본 바와 같이 건설폐기물의 발생원에서부터 최종처리까지 종합적인 방안의 마련 및 실시를 통하여 적정처리 및 재활용등을 꾀함으로써 자원의 절약과 환경 보전적 건설산업을 이루어야 할 것이다.

※ 폐콘크리트 재생골재와 우수성에 비하여 재활용 취지를 달성하지 못하는 저해요인으로는 건설폐기물 법체계가(폐기물관리법, 건기법, 자원절약과 재활용 촉진에 관한 법률, 재활용 지침 등) 다원화 되어 있고 담당부서도 건교부, 환경부로 이원화 되어 있어 체계적이고 효율적인 업무추진을 위하여 일원화하는 것이 타당하다고 판단된다.



참고문헌

1. 한국재생공사 “폐콘크리트 재활용기술 개발방안에 관한연구 (1996)
2. 건설교통부 건설폐기물 처리 및 재활용 요령 (1997)
3. 김무한의 국내 폐콘크리트 발생량의 예측 및 재생골재로의 이용전망에 관한 연구 대한건축학회 학술발표 논문집
4. 박영진의 도로 성토재로서 폐콘크리트의 활용성 연구 대한토목학회 학술발표 논문집
5. 건설교통부 건설폐자재 재활용 지침개발 (2003)
6. 구봉근외 폐콘크리트를 사용한 재생골재 콘크리트의 공학적 특성 건설기술연구소 논문집
7. 박준태외 재생콘크리트 골재 기층 및 보조기층의 성능 및 특성 대한토목학회 논문집
8. 이진용외 재생용 골재의 도로 성토재로서의 적합성 연구 대한 토목학회 논문집
9. 이세현 재생골재 품질검토서 한국건설기술연구원
10. 황성도의 건설폐자재 재활용 잠정 지침 한국도로포장 공학회

감사의 글

이 한편의 논문으로 짧지만 긴 대학원 생활을 마무리 하자니 부끄럽고 두려운 마음이 앞섭니다.

본 논문이 결실이 오늘까지 이르기까지 노심초사 배려를 아끼지 않으시고, 아낌없는 지도와 학문적 가치를 일깨워주신 양성기 교수님, 박상렬 교수님, 김남형 교수님, 이병걸 교수님, 김상진 교수님, 김성근 교수님께 진심으로 감사의 말씀을 드립니다.

특히 논문 연구과정에서 넓고 깊은 학문의 깊이가 무엇인가를 보여 주시고 세심한 지도와 심혈을 기울여 주신 남정만 지도 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

또한 어려운 환경속에서도 대학원 생활동안 동고동락하며 땀 흘리던 6기 동기생인 신남, 인석형님, 양훈, 윤석, 학철, 정언에게도 그동안 수고했다는 말과 함께 감사의 마음을 전합니다.

그리고 저를 아는 모든 분들께 이 한편의 논문으로 감사함을 대신 하고자 합니다.

끝으로 비록 함께 하시지 못하고 멀리 계시지만 언제나 제 곁에서 어디에선가 지켜보고 계실 돌아가신 아버님과 항상 걱정해 주시고 사랑을 듬뿍 주시는 어머님께 머리 숙여 감사드리며, 형제자매 여러분의 격려와 관심에도 고마움을 표합니다.

항상 밝은 모습으로 내조해 준 아내, 용기와 힘을 준 사랑하는 지혁, 유나와 함께 이 작은 결실을 같이 하고자 합니다.