

# 콘크리트 리사이클링에 관한 해외 동향과 재생 골재의 특성

김진만

〈공주대학교 건축공학과 교수〉

조성현

〈공주대학교 자원재활용 신소재 연구센터 전임연구원〉

- |                         |                  |
|-------------------------|------------------|
| 1. 머리말                  | 3.1 재생골재의 입자구성   |
| 2. 콘크리트의 리사이클링에 관한 해외동향 | 3.2 재생골재의 공학적 특성 |
| 3. 콘크리트용 재생골재의 특성       | 3.3 재생골재의 품질 규정  |

## 1. 머리말

인간은 인간의 생활을 영위하기 위하여 자연으로부터 자원을 채취하여 사용하고 사용이 완료된 후에는 최초의 자원을 폐기물화하여 자연에 되돌리게 된다. 문명의 발달에 따라 자원의 이용량은 급속히 증가되고 더불어 인간이 배출하는 폐기물의 양도 급속히 증가하게 되었다. 드디어 20세기에 이르러 무한한 포용력으로 수용하던 자연도 그 자정능력을 상실하게 되었고 오염이 급속히 진행됨으로써 이제 인간이 배출한 폐기물로부터 인간 자신의 생활이 위협받는 상황에 다다르게 되었다. 그 대표적인 예가 이산화탄소일 것이다. 새로운 천년의 시작인 21세기를 맞이하여 이제 인간

은 자연을 더 이상 훼손하지 않기 위한 노력을 경주하여야 하며, 여기에서 건설분야 또한 중요한 역할을 담당하여야 할 것이다.

건설분야에서 발생하는 폐기물은 가연성과 불연성으로 분류되며 총량은 2000년 기준으로 78,777(ton/일)이 발생하고 있다. 이중 재생골재용으로 사용될 가능성이 있는 폐콘크리트는 49,352(ton/일)이 발생하여 연간 약 1,800만톤이라는 막대한 양이 발생되고 있다. 한편 골재는 연간 2억 6000천만톤(2000년 기준)이라는 매우 막대한 량을 사용하고 있지만, 최근 골재 자원을 취득하는 것이 점점 어려워짐에 따라 새로운 대체 자원의 필요성이 높아지고 있다.

이러한 배경에서 폐콘크리트는 골재를 대체

할 수 있는 가장 가능성 있는 대체 자원으로 부각되고 있으나 그 물성이 쇄석에 비하여 떨어지기 때문에 용도가 제한되어 있는 것이 현상이다. 그러나 많은 연구자들이 재생골재를 사용한 재생콘크리트의 연구에 전념하고 있어 상황은 개선되리라 생각된다. 본 자료는 콘크리트의 리사이클링에 관한 국외 연구현황과 재생골재 및 재생콘크리트에 관한 최근의 연구결과를 연구자적 입장에서 정리한 것이다.

## 2. 콘크리트의 리사이클링에 관한 해외동향

콘크리트 리사이클링에 관련한 선진국은 단연 유럽이다. 제2차 세계대전 후 도시의 재건축을 위하여 콘크리트 폐기물을 파쇄하여 건설재료로 재이용한 경험이 많기 때문이다. 도시 재건축작업이 어느 정도 완료된 후에는 폐콘크리트의 리사이클링에 대한 관심이 낮았으나, 1976년에 이르러 RILEM의 「콘크리트 해체와 재이용 위원회(약칭 37-DRC)」가 발족되어 서독, 벨기에 및 네델란드 3국이 공동프로젝트 그룹을 형성해 활동을 개시한 후 리사이클링에 대한 관심이 높아지고 있다. 일본에 있어서 리사이클에 관한 조직적인 연구활동은 1974년에 (재)건축업협회에 의한 것이 최초이고 우리나라와 같이 자원이 부족하기 때문에 리사이클링에 대한 관심이 매우 높다.

미주 및 일본의 리사이클링에 관한 최근의 동향을 간단히 정리하면 다음과 같다.

### 2.1 미국

- ASTM C-33-82 및 ASTM C-125-79 a  
1982년 이후 콘크리트 파쇄물을 조골재 및 세골재로 인정. 재생골재에 관한 시방 및 지침은 갖추지 않음

- 미네소타주 운수국 지침(MDOT), 아이오주 운수국 지침(IDOT)  
각 주에서 재생콘크리트를 도로포장에 사용할 때의 조건과 시험방법을 제시
- 미육군 공병대  
지침을 개정하여 재생골재의 사용을 추천함

### 2.2 네델란드

- VBT 1986 : 콘크리트, NL, NEN 3542 : 골재
  - ① 골재 · 표준입도 · 연석 및 미립량 · 수용성염화물 · 유기불순물 · 황화물 · 목편 및 유기물 · 용적안정성 · 응결지연 · 내동해성 · 이온(BS 1047) · 알카리골재반응성재료 · 조골재량중의 편평입자량
  - ② 폐기물 추출수에 의한 응결시험
  - ③ 재생골재의 사용비율이 20% 이상일 경우 구조부재용 콘크리트는 두께를 20% 증가시킴.

### 2.3 영국

- BS882(1992) : 보통골재, BS 3797(1990) : 경량골재, BS 1047(1983) : 서냉고로슬래그  
BS 5328 (1991) : 콘크리트(재생골재의 규정은 없음)
- 고속도로공사용 시방서(1991년, 제 7회 개정판)를 만족하면, 콘크리트 폐기물을 도로포장용 콘크리트로 사용하는 것을 인정함
  - BS 882의 골재강도, 편평입자 및 미립분의 규정을 만족할 것.
  - BS 5328의 염화물 및 황화물 함유량 규정을 만족할 것
  - 응결지연 및 내구성 저하를 초래하지 않는 것

## 2.4 구소련

- 콘크리트 및 철근콘크리트 연구소, 1984년에 표준외 콘크리트 및 철근콘크리트 제품의 재이용에 관한 최초의 러시아 지침
  - 건축 및 기타 구조물의 바닥, 기초 및 아스팔트 포장용
  - 5~15Mpa의 콘크리트 및 철근콘크리트 제조가 가능
  - 보통 쇄석을 50% 혼입하면 20Mpa까지의 콘크리트 및 철근콘크리트 제조 가능
  - 재생골재의 미분은 아스콘의 필러로 추천함
  - 수축 및 크리프가 크기 때문에 프리스트레스 콘크리트에는 사용하면 안됨.

## 2.5 독일

- DIN 1045 : 무근 및 철근, 보통 및 중량 콘크리트, DIN 4226 : 골재  
재생골재의 시방은 포함하지 않음. 특히, 재생골재를 사용하는 경우는 사용할 때마다 공공기관에 인가가 필요.
- ZTV Beton-StB (1991)  
콘크리트 포장에 재생골재의 사용은 온화한 환경에서 사용한다면 인정. 상층용 재생골재 및 하층용 재생골재에 관한 규정이 있지만, 재생골재는 하층용에 사용한 예가 있다.
- 실시 프로젝트
  - 베를린에 있는 파이로트 프로젝트
  - 서베를린의 건설의원 주도하에 1987년 말에 발족
  - 신 리사이클 공장의 기초벽을 5000톤의 재생골재로 시공
  - 재생골재와 재생골재 콘크리트에 관한 기술적 검토를 축적
  - 베를린의 벽 붕괴 후 프로젝트 중단, 그 후 1992년 말 프로젝트 재개가 발표되었지

만, 아직 활동은 시작하지 않음.

- 콘크리트 블록 제조회사에서 1991년 약 30%의 재생골재를 함유한 블록제조를 개시
- 콘크리트 포장 : 북부 독일의 A 27 고속도로의 17km구간이 재생골재를 사용하여 시공함

## 2.6 덴마크

- 정규 콘크리트 코드 (116) : 1990년에 온화한 환경이라면 어떤 종류의 구조물에도 재생골재의 사용을 인정
  - 40MPa까지의 콘크리트용 재생골재 GP1
    - 2200kg/m<sup>3</sup> 이상의 표건밀도
    - 구조용 콘크리트를 파쇄한 것이 여기에 해당.
  - 20MPa까지의 콘크리트용 재생골재 GP2
    - 1800kg/cm<sup>3</sup> 이상의 표건밀도
    - 청정한 해체 구조물, 조적조와 콘크리트의 혼합물이 여기에 해당
    - 탄성계수의 설계 허용치
    - GP1 콘크리트는 보통 콘크리트의 80%
    - GP2 콘크리트는 보통 콘크리트의 50%
    - 주부재의 안정성, 휨 및 압축강도의 변동 계수 : 모두 불리함

## 2.7 벨기에

- LIN에 의한 기술지침 (RILEM 보고 TC 121-DGR을 참고)
  - 골재의 밀도, 흡수율, 조성, 금속·유리·역청제 등, 불순물, 유기물, 염화물, 황화물 등에 대한 규격이 있고, GBSB-I 과 GBSB-II 에 골재를 구분.
  - 재생골재콘크리트의 강도를 C 16/20과 C 30/37로 구분

- 재생골재 콘크리트의 설계용 값 (인장강도, 탄성계수, 크리프, 수축)에 대한 계수를 부여

## 2.8 프랑스 · 스페인

### ■ 콘크리트용 재생골재 가이드라인

- 프로젝트의 개요
  - ① 참가기관 : CEBTP(프랑스), SDVM(프랑스), ITEC(스페인), CSTC(벨기에)
  - ② 검토작성기간 : 1991. 9부터 2년간
  - ③ 작업내용 : 주요 EC 국가에서 해체재료의 리사이클링에 관한 조사연구, 기술적 연구, 가이드라인 작성
- 프랑스에서 재생골재의 사용은 도로 및 매립공사에 제한, 벨기에에서 고속도로 건설에 사용
- 실용 가이드라인의 내용
  - ① 리사이클링 재료의 선정 및 제조골재의 검사
    - 주요한 품질, 시험방법, 콘크리트에 사용 기준
    - 포로시티, 황화물, 역청제 등의 고려
  - ② 콘크리트에 재생골재의 사용
    - 재생골재 콘크리트는 기존 표준품질을 가지지 않음, 시방서의 만들어지지 않음, 건설업자의 심리적 장벽 및 경험부족 등 때문에 중요치 않는 종류의 공사에 사용. 그러나, 내구성은 필요.
    - 콘크리트의 배합, 비빔, 초기양생, 강도, 내구성에 관하여 언급

## 2.9 유럽 통일 코드

- 1989년 9월에 RILEM TC 121-DGR (1989년 9월 초기 회의)
  - 목적

- ① 재생콘크리트 및 조적조 골재를 사용한 콘크리트의 제조에 관한 가이드라인
- ② 콘크리트 및 조적조의 재이용을 고려한 해체 및 해체폐기물 공정에 관한 가이드라인

- 작업 그룹은 아래의 유럽 초안 및 각국의 권고를 참고함

- ① 유러코드 2
- ② 네덜란드 콘크리트 협회 : 비부식환경에서 콘크리트용 재생골재 사용 권고
- ③ 파쇄 콘크리트 및 조적조 블록을 쇠석 콘크리트로 사용하는 것에 관한 CUR권고
- ④ CUR권고 125
  - 콘크리트용 골재로 사용한다. 파쇄 콘크리트 및 조적조 블록
- ⑤ 건축물 및 토목 구조물의 콘크리트용 골재로서 건축 및 해체 폐기물을 재이용하기 위한 가이드라인(벨기에 초안)

### ■ 골재를 다음과 같이 3종으로 구분한다.

- Type I : 조적조에서 재생한 골재
- Type II : 콘크리트 덩어리로부터 재생한 골재
- Type III : 원재료와 Type I 및 Type II 재생골재를 혼합하여 제조한 골재

### ■ 골재의 시방서 외에 재생골재를 사용한 콘크리트의 종류를 환경조건 및 강도에 따라 구분.

## 2.10 일본

- (재) 건축업협회의 연구(1974년)
  - 양호한 품질의 골재를 제조하기 위한 파쇄기의 종류와 특성 검토
- 건설성 총합 기술개발 프로젝트「건설사업으로의 폐기물 이용기술의 개발」개시(1981년)
  - 재생골재의 품질기준 제시

- 고도 처리한 재생골재를 대상으로 한 연구도 수행함

■ 건설성 총합 기술개발 프로젝트「건설부산물의 발생억제·재생이용기술의 개발」개시 (1992년)

- 콘크리트 부산물의 용도별 잠정 품질 기준안 제정(1994년)
- 고도처리 기술의 개발상황을 고려하여 흡수율 3% 이하의 재생조골재를 기준화함
- 재생골재의 품질에 관한 건축·토목의 통합 기준안 제정
- 재생골재 콘크리트의 종류 및 재생골재 콘크리트의 종류에 따른 적용구조물의 예를 제시

### 3. 콘크리트용 재생골재의 특성

#### 3.1 재생골재의 입자구성

##### 3.1.1 재생골재의 분류

재생골재에는 원콘크리트에 사용되었던 원래의 골재(원골재)외에 여러 가지 물질이 혼입되어 있기 때문에 원골재의 성질보다 오히려 혼입되어 있는 물질의 종류와 양이 재생골재의 품질을 지배하게 된다. 재생골재에 혼입되

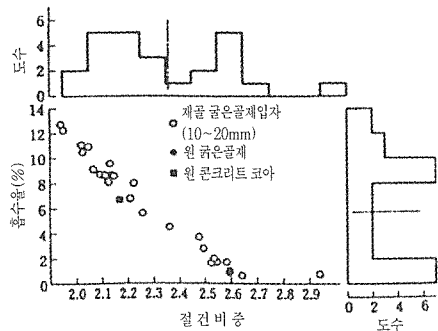
어 있는 물질은 다음과 같이 3가지로 분류할 수 있다.

- ① 골재입자에 부착된 모르터 또는 시멘트 페이스트
- ② 건물 해체시 혼입된 종이, 나무, 유리, 타일, 벽돌, 아스팔트 등의 불순물
- ③ 해체현장 및 재생골재 제조공장에서 취급 시 혼입 되는 토사

또한 재생조골재는 입자의 구성에 따라 ㉠ 원조골재로 구성된 것, ㉡ 원조골재에 일부 원모르터가 부착되어 있는 것, ㉢ 원콘크리트로 구성된 것, ㉣ 원모르터로만 구성된 것으로 추정할 수 있으나 콘크리트 공시체의 절단면 관찰결과 [그림 1]로부터 재생골재의 구성은 모르터분과 원콘크리트 중의 자갈이 반반 정도로 구성되어 있음을 알 수 있다. 이것을 정량적으로 확인하기 위해서 조크러셔 개조기로 제조한 1차 처리 재생조골재(10~20mm)의 입자 25개의 비중·흡수율을 측정하고 결과 [그림 2]에 나타난 바와 같이 재생골재의 입자는 2개의 그룹으로 나누어지는 것을 알 수 있다. 즉 재생골재는 자갈과 모르터 입자로 구성되고, 모르터 입자의 품질과 그 비율이 재생조골재



(그림 1) 재생콘크리트의 단면도



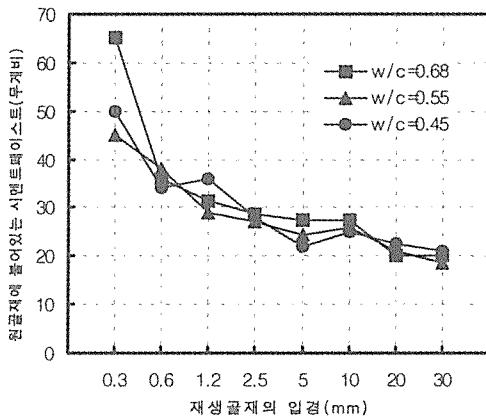
주) 원골은골재는 콘크리트 코아를 할열한후 시료에서 채취한 것임. 원 콘크리트 코아는 압축강도시험용 코아(16본)의 평균값임.

(그림 2) 재생조골재 입자 절건비중과 흡수율의 관계 및 도수분포

의 품질을 규정한다고 할 수 있다.

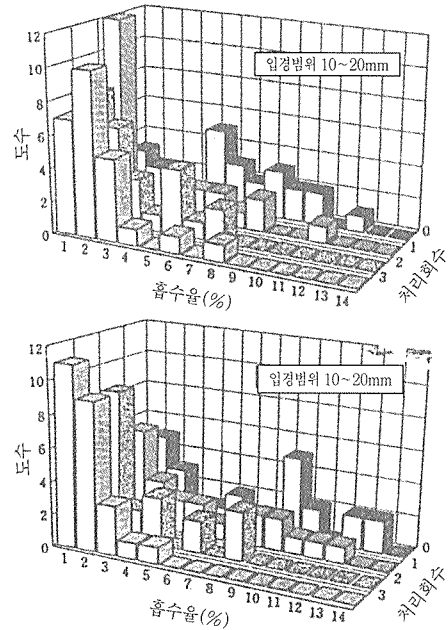
### 3.1.2 재생골재에 부착된 시멘트페이스트

골재에 붙어있는 모르터의 부피 백분율을 ASTM C-457.71의 선형이동법(Linear Traverse Method)을 이용하여 구하면 파쇄 방법과 원콘크리트의 종류에 따라서 차이가 있으나 16~32mm 조골재에서는 25~35%, 8~16mm에서는 약 40%, 그리고 4~8mm 재생골재에서는 60% 정도이다. [그림 3]은 다양한 물-시멘트비로 만든 원콘크리트에서 생산된 재생골재의 원골재에 붙어있는 시멘트 페이스트의 무게비를 나타낸 것이다.



[그림 3] 재생골재의 입경에 따른 시멘트 페이스트의 무게비

[그림 4]는 재생조골재의 처리회수를 증가시켰을 때 입자의 흡수율 분포의 변화를 나타낸 것으로 흡수율 7%정도 이상의 것은 모르터 입자로 생각해도 좋다. 이 그림에서 알 수 있듯이 재생골재의 제조에 있어서 처리회수가 많을수록 파쇄 및 연마의 반복에 의해 모르터 입자는 파쇄되어 세골재로 되고, 또한 원골재에 부착한 모르터가 떨어져 나감으로써 원골재 입자 또는 원골재에 가까운 입자의 비율이 많아지는 것을 알 수 있다.



[그림 4] 처리회수의 증가에 따른 재생골재 입자의 구성변화

### 3.1.3 재생골재의 불순물 및 미립분

재생골재에 혼입된 불순물 및 미립분은 [표 1]에 나타난 바와 같이 매우 다양하다. 건축물의 경우 해체 시 콘크리트 외에 여러 가지 재료가 혼입되기 때문에 주의가 필요하다.

금속은 대부분 철로서 철근 외에 각종 금속류가 있으며, 이러한 금속재료는 재생골재의 처리공정을 어렵게 하는 원인이 된다. 석재, 타일, 벽돌, 유리는 골재와 비중이 비교적 가깝고 화학적으로 안정하기 때문에 콘크리트에 대한 악영향은 거의 없지만, 유리는 작업자에 해를 미치는 경우가 있다. 모르터 또는 경량콘크리트는 다량 혼입하지 않을 경우 악영향은 크지 않다.

니분(泥分)은 해체현장이나 스톡야드의 지면으로부터 콘크리트에 부착하게 되는데 이는 콘크리트의 많은 특성을 저해하므로 반드시 씻기 시험이나 점토과량시험으로 확인할 필요가 있다. 석고, 플라스틱도 콘크리트에 유해하

[표 1] 재생골재에 혼입된 불순물

문헌	종류	금속	석재	타일 벽돌	유리	泥分	아스팔트 콘크리트	모르터	신터경량 콘크리트	기포 콘크리트
	비중		7.8	2.5	2.5	2.5	2.3	2.3	2.1	1.9
불순물량 (질량%)	0.00~	0.04~	0~	0.02~	5.00	5.00	0.69~	0.04~	0.06	
	4.90	5.90	3.94	1.00			4.00	20.9		
문헌	종류	석고	플라스타	플라ستيك	아스팔트 방수층	도료 수지	목질재	지포 (紙布)	단열재	기 타
	비중	1.6	1.6	1.3	1.1	1.9	0.45		0.05	
불순물량 (질량%)	2.10~	0.00~	0.004~	0.004~	0.003	0.01~	0.03~	0.003~	0.08~	
	9.06	9.06	0.53	0.53	~0.39	1.00	0.39	0.23	1.00	

[표 2] 미분의 화학적 분석결과(6종류의 범위)

insol.	49~69%
SiO <sub>2</sub>	44~53%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9~11%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1~4%
CaO	17~23%
Na <sub>2</sub> Oeq	2~3%

[표 3] 기존 콘크리트에 비해 15%의 압축강도를 감소시킨 혼합물의 체적율

혼합물	회반죽	흙	나무	탈수 석고	아스팔트	비닐아세테이트 페인트
골재에 대한 부피(%)	7	5	4	3	2	0.2

[표 4] 유해혼합물의 최대량

골재의 형태	회반죽, 진흙덩이와 기타 혼합물의 밀도가 1950kg/m <sup>3</sup> 미만 인 것	아스팔트, 플라ستيك, 페인 트, 천, 종이, 나무 그리고 1.2mm체에 걸린 입자상 물질 또는 기타 혼합물의 밀도가 1200kg/m <sup>3</sup> 미만 인 것
재생골재	10kg/m <sup>3</sup>	2kg/m <sup>3</sup>
재생세골재	10kg/m <sup>3</sup>	2kg/m <sup>3</sup>

지만, 굵은 골재에 혼입되는 경우는 그다지 많지 않다.

문제가 되는 것은 프라스틱, 아스팔트, 도료, 목질재, 종이, 천, 단열재와 같은 유기 불순물로서 콘크리트에 큰 악영향을 미친다. 그러므로 재생골재를 제조하는 과정에서 이것들을 얼마나 제거 가능한지가 재생골재의 품질을 결정하는 매우 중요한 요소가 된다.

재생골재에 포함된 미립분은 통상 0.15mm 이하의 것을 의미한다. 습식분급의 방식은 그 양이 적지만, 건식의 경우에는 씻기 손실량만 5% 정도의 값이 된다. 미분의 화학분석 결과는 [표 2]에 나타낸 바와 같으며, 불용잔분으로부터 추측하면 미립분에는 잔골재 성분이 약 50% 포함되어 있다.

재생골재의 불순물 함유량에 관한 많은 연구가 다양한 방법으로 연구되었으며, 또한 천연골재와 재생골재에 부착되어 있는 다양한 오염물질이 콘크리트의 강도에 영향을 미치는 연구결과를 발표하였다. [표 3]은 콘크리트의 강도를 15% 감소시킬 경우의 포함된 오염물질의 양을 용적비로 나타낸 것이다.

타일이나 유리조각 불순물은 재생콘크리트 압축강도에 아주 작은 영향을 미치지만, 석고는 영향이 비교적 크며, 약 용적으로 3% 혼입되어 있을 경우 콘크리트의 강도를 15%나 감소시키게 되는데 이는 석고가 물에 닿으면 연

화되기 때문이다. 점토, 페인트, 아스팔트 그리고 목재 역시 콘크리트의 강도를 감소시키게 된다. 일본에서 규정하고 있는 재생골재에 포함되는 유해물의 한도는 [표 4]과 같다.

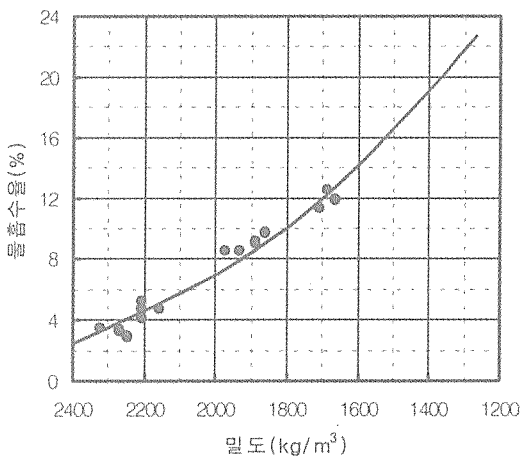
### 3.2 재생골재의 공학적 특성

#### 3.2.1 흡수율

보통골재와 비교하여 재생골재의 물리적 특성의 가장 큰 차이점은 높은 흡수성이다. 흡수율이 높은 골재를 사용할 경우 나타나는 가장 큰 문제점으로는 동결융해에 대한 내구성의 저하이다.

재생조골재의 흡수율은 원콘크리트의 품질에 관련 없이 최대크기 4.8mm 재료는 8.7%, 16~32mm 재료는 3.7% 정도이다. 그러나 이에 해당하는 원골재의 흡수율은 3.7과 0.8%이다. 또 다른 연구에서는 재생조골재의 흡수율은 3.6~8.0%이고 재생세골재는 8.3~12.1%인 것으로 보고하고 있다.

이와 같이 재생골재의 흡수율이 높은 것은 원골재 입자에 붙어 있는 오래된 모르터의 높은 흡수율 때문으로 사료된다. [그림 5]에 나타난 바와 같이 재생골재의 흡수율의 증가는



[그림 5] 재생콘크리트 골재의 밀도에 따른 흡수율

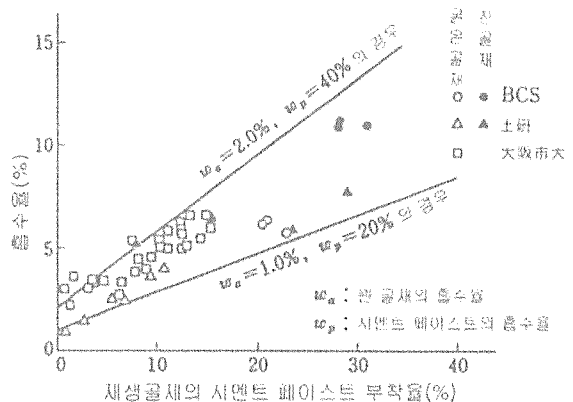
밀도의 감소를 의미하므로 골재의 품질을 악화시키는 주요한 요인이 된다.

한편 시멘트 페이스트의 흡수율은 재생골재에서 시멘트 페이스트의 부착율과 흡수율의 관계로부터 역산하여 보면 약 20~40% 정도임을 알 수 있다[그림 6].

#### 3.2.2 밀도

재생조골재를 사용한 재생콘크리트와 원콘크리트의 밀도를 [표 5]에 나타내었다. 모르터의 밀도는 약 2000kg/m³로 나타나고 있는데 이는 밀도가 2380~2401kg/m³ 범위에 있는 경화콘크리트와 비교하면 훨씬 낮은 수치이다. Hasaba 등은 5~25mm 재생조골재의 밀도는 2430kg/m³ 정도이고, 원콘크리트의 품질과 무관하다는 것을 발견하였다. 5mm 이하의 재생조골재의 밀도는 2310kg/m³이고, 원조골재의 밀도는 2700kg/m³이다.

일본에서 연구된 결과에 의하면 재생조골재의 건조밀도는 2120~2430kg/m³이고, 재생세골재의 건조밀도는 1970~2140kg/m³의 범위임을 보고하고 있어 일반적인 골재에 비하면 매우 낮은 수준인데 이는 원골재 입자에 붙어 있는 구모르터의 낮은 밀도 때문이다.



[그림 6] 재생골재의 시멘트 페이스트 부착량과 흡수율의 관계



(표 5) 천연골재와 재생골재의 특성

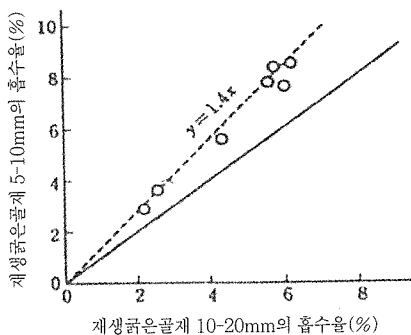
골재의 종류		밀도(SSD) kg/m <sup>3</sup>	흡수율 (%)	B.S. 파쇄치	B.S. 조립율	황산염 안정도	모르터 함유율
15mm 이하 천연골재		2700	1.14	-	-	-	-
25mm 이하 재생골재	W/C=0.42	2430	6.76	23.0	23.0	133	38.4
	W/C=0.53	2430	6.93	23.1	23.1	130	36.7
	W/C=0.74	2430	7.02	24.6	24.6	113	35.5
재생세골재 < 5mm		2310	10.9	-	-	-	-

### 3.2.3 파쇄강도 및 마모감량

재생조골재의 40ton 파쇄치는 25~35%로 천연 강자갈보다 크지만 인공경량골재나 연암 보다는 약간 적은 값이다. 재생골재는 가압시 모르터 부분은 쉽게 부서지나 원콘크리트에 사용된 세골재가 저항하기 때문에 부서지기 어려운 상태로 된다.

로스엔젤스 마모손실율의 범위는 원콘크리트의 강도가 높은 경우 22.4%, 낮은 경우 41.4%를 나타내고 있다.

ASTM C 33에 의하면 골재는 로스엔젤스 마모 손실율이 50%를 넘지 않으면 콘크리트 제품에 사용될 수 있다고 되어 있으며, 도로공사용 골재의 경우에는 40%를 규정하고 있는 것으로 보아 일반적인 콘크리트에 적용이 가능함을 알 수 있다.



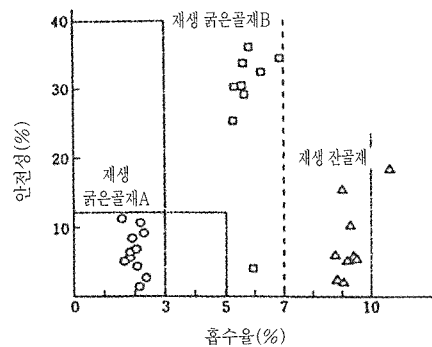
(그림 7) 재생 굵은골재의 입경에 따른 흡수율의 차이점

### 3.3 재생골재의 품질 규정

#### 3.3.1 재생골재의 시험방법

재생골재의 특성을 논의 할 때 품질시험방법이 문제가 된다. 예를 들면 현행 KS의 비중 및 흡수율 시험방법은 10mm 이상의 조골재를 대상으로 시험을 실시하는 것으로 되어 있지만, [그림 7]에 나타난 것처럼 5~10mm와 10~20mm에서는 비중 및 흡수율이 큰 차이를 보이고 있다. 이 때문에 현행방법에서는 조골재의 비중을 이용하여 계산하게 되는 골재의 다른 품질 시험값(예를 들면 실적율) 또는 콘크리트의 성질 시험값(예를 들면 질량법에 의한 공기량)이 부정확한 값이 되므로 콘크리트의 배합계산과 콘크리트의 성능 평가가 적절하게 이루어지지 못하게 된다.

이러한 배경 때문에 일본에서는 18개 시험기



(그림 8) 공통시험에 따른 흡수율 및 안정성의 편차

관을 대상으로 공통시험을 실시하여 시험방법 및 시험 정밀도에 대하여 검토하였는데, 그 시험결과와 일례를 나타낸 [그림 8]에서 알 수 있는 바와 같이 재생골재의 안정성 손실량은 시험기관별로 매우 큰 차이를 보이고 있어 현행 시험방법의 개선이 필요함을 제기하고 있다.

### 3.3.2 재생골재에 관한 품질 규정

재생골재를 제조할 때 처리횟수를 증가시키면 부착물이 더 많이 제거되고 부착물이 제거될수록 골재로서의 품질은 향상되지만 에너지(결국은 비용)와 부산물의 미립분이 증가한다. 재생골재를 이용할 경우 이러한 모순된 조건에서 공학적인 타협점을 찾아야 한다.

일본 건설성에서는 콘크리트 해체재의 리사이클 촉진 대책의 하나로 1995년 4월 11일에 「콘크리트 부산물의 재이용에 관한 용도별 잠정 품질기준(안)」(이하 잠정안으로 약칭)을 제정하였다.

콘크리트 재생골재의 품질 및 재생골재를 이용한 콘크리트의 물성은 부착물의 양 및 품질에 영향을 받는다. 그래서 이들과 관련이 깊은 흡수율과 안정성을 재생골재의 지표로 하고, 재생 굵은골재를 3종류, 재생 잔골재를 2종류로 품질구분을 하였다. 이 목적은 처리비용이 들지 않은 골재도 적재적소에 사용할 수 있다는 것이다. 또한 일본의 건축연구소에서는 재생골재를 구조용 골재로 이용하기 위한

[표 6] 재생골재 보통골재의 품질 기준

항 목	국 내 기 준		일 본 기 준		
	보통 골재	재생 골재	보통 골재	일반 재생골재	구조용 재생골재
① 절건밀도					2.5g/cm <sup>3</sup> 이상
② 흡수율	조골재(3.0% 이하) 세골재(5.0% 이하)	조골재 1종(3.0 이하) 조골재 2종(5.0 이하) 조골재 3종(7.0 이하) 세골재 1종(5.0 이하) 세골재 2종(10 이하)	조골재(3.0% 이하) 세골재(3.5% 이하)	조골재 1종(3.0 이하) 조골재 2종(5.0 이하) 조골재 3종(7.0 이하) 세골재 1종(5.0 이하) 세골재 2종(10 이하)	조골재(3.0% 이하) 세골재(3.5% 이하)
③ 입형판정 실적율	조골재(55% 이상) 세골재(55% 이상)	조골재(55% 이상) 세골재(53% 이상)	조골재(55% 이상) 세골재(53% 이상)	조골재(55% 이상) 세골재(53% 이상)	조골재(55% 이상) 세골재(53% 이상)
④ 입도	별도로 규정함	별도로 규정함	별도로 규정함	별도로 규정함	별도로 규정함
⑤ 미분분량	조골재(1.0% 이하) 세골재(3.0% 이하)	조골재(1.5% 이하) 세골재(5.0% 이하)		조골재(1.5% 이하) 세골재(5.0% 이하)	조골재(1.0% 이하) 세골재(7.0% 이하)
⑥ 염화물량	세골재 (NaCl로서 0.04% 이하)		세골재 (NaCl로서 0.04% 이하)		세골재 (NaCl로서 0.04% 이하)
⑦ 알칼리골재 반응성	무해, 무독으로 판정되지 않을 것		무해, 무독으로 판정되지 않을 것		무해, 무독으로 판정되지 않을 것
⑧ 1.95부유 불순물량	조골재(1.0% 이하) 세골재(1.0% 이하)				조골재(1.0% 이하) 세골재(1.0% 이하)
기준 출처	콘크리트 시방서	KS F 2573	일본 건축공사 표준 사양서 · 동해설	일본 총프로의 통합기준	(제)일본건축센터 건축구조용 재생골재 인정기준

인정기준을 제정하여 이 인증을 취득하는 경우에는 일반적인 콘크리트용 골재와 동등한 품질로 인정하고 있다.

국내의 경우 폐기물 관리법 시행규칙에 의하면 재생골재에 관한 기준 제6조1항 별표4의 제5의 라목 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률이 규정하고 있는 재활용 목적에 적합하

게 처리되 최대 직경이 100mm 이하이고, 이 물질 함유량이 부피기준으로 1% 이하가 되도록 하여야 한다고 규정되어 있으며, KS F 2573에는 콘크리트 재생골재에 관하여 규정하고 있다.

이상과 같은 국내 및 일본의 규정을 정리하여 나타내면 [표 6]과 같다.

