

碩士學位論文

표면처리 순환 굽은골재를 사용한  
콘크리트의 압축강도 특성

濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

土木工學 專攻

高恩孝

2010年 2月

碩士學位論文

표면처리 순환 굵은골재를 사용한  
콘크리트의 압축강도 특성

濟州大學校 産業大學院

建設環境工學科

土木工學 專攻

高恩孝

2010年 2月

# 표면처리 순환 굵은골재를 사용한 콘크리트의 압축강도 특성

指導教授 朴相烈

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2010年 2月

濟州大學校 産業大學院  
建設環境工學科 土木工學專攻

高恩孝

高恩孝의 工學 碩士學位 論文을 認准함

2010年 2月

審査委員長 \_\_\_\_\_ 印

委 員 \_\_\_\_\_ 印

委 員 \_\_\_\_\_ 印

# Compressive Strength of Concrete Using Surface Treated Recycled Coarse Aggregates

Eun-Hyo Ko

(Supervised by Professor Sang-Yeol Park)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for  
the degree of Master of Engineering

2010. 2.

This thesis has been examined and approved

Master Committee, Sang-Jin Kim, Prof. of Civil Engineering

Master Committee, Dong-Wook Lee, Prof. of Civil Engineering

Master Committee, Sang-Yeol Park, Prof. of Civil Engineering

Department of Construction and Environmental Engineering  
GRADUATE SCHOOL OF INDUSTRY  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

# 목 차

표 목 차 .....	iii
그림목차 .....	iv
요 약 문 .....	v
<b>제 1 장 서 론 .....</b>	<b>1</b>
1.1 연구의 배경 및 목적 .....	1
1.2 연구의 방법 및 범위 .....	6
<b>제 2 장 기존 연구 및 이론적 고찰 .....</b>	<b>7</b>
2.1 폐 콘크리트의 자원화 기술 .....	7
2.1.1 순환골재의 제조과정 .....	8
2.1.2 파쇄 및 분쇄기술 .....	8
2.2 콘크리트용 순환골재의 특성 .....	16
2.2.1 순환골재에 부착된 시멘트 페이스트 .....	16
2.2.2 순환골재의 이물질 .....	17
2.2.3 순환골재의 물리적 특성 .....	18
2.2.4 순환골재의 품질기준 .....	20
2.3 순환골재 콘크리트의 특성 .....	22
2.3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성 .....	22
2.3.2 굳은 콘크리트의 특성 .....	24
<b>제 3 장 실험계획 및 방법 .....</b>	<b>26</b>
3.1 실험계획 .....	27
3.2 실험방법 .....	28

<b>제 4 장 실험결과 및 분석</b> .....	<b>32</b>
4.1 실험결과(물리적 특성) .....	32
4.1.1 밀도 및 흡수율 .....	32
4.1.2 단위용적질량 및 입자모양 관정실적률 .....	34
4.2 실험결과(역학적 특성) .....	36
4.2.1 마모감량 .....	36
4.2.2 슬럼프 및 공기량 .....	38
4.2.3 압축강도 .....	41
<b>제 5 장 결 론</b> .....	<b>42</b>
<b>참 고 문 헌</b> .....	<b>43</b>

## 표 목 차

<표 1.1> 건설폐기물의 성장현황 .....	4
<표 2.1> 파쇄물 크기에 따른 파쇄기의 종류별 특성 .....	9
<표 2.2> 기준 콘크리트의 압축강도 대비 15% 감소시 이물질의 체적률 .....	18
<표 2.3> 순환골재 내 최대 유해불순물량 .....	18
<표 2.4> 골재의 특성과 콘크리트 특성과의 관계 .....	19
<표 2.5> 국내·일본의 순환골재 및 보통골재의 품질기준 .....	21
<표 2.6> 각종 콘크리트의 압축강도 변동계수 .....	24
<표 3.1> 순환골재의 실험항목 .....	27
<표 3.2> 순환골재의 변수 .....	27
<표 3.3> 순환골재 및 일반골재 배합질량 .....	28
<표 3.4> 순환골재 실험방법 .....	29
<표 3.5> 시멘트의 물리적 성질 .....	29
<표 3.6> 골재의 성질 .....	30
<표 3.7> AE감수제 표준형 성질 .....	31
<표 4.1> 순환굵은골재의 밀도 및 흡수율 시험결과 .....	33
<표 4.2> 순환잔골재의 단위용적 및 입형판정실적률 실험결과 .....	34
<표 4.3> 순환굵은골재의 물리적 특성 실험결과 .....	36
<표 4.4> 슬럼프 및 공기량 실험결과 .....	38
<표 4.5> 순환굵은골재의 압축강도 실험결과 .....	40

## 그림목차

[그림 1.1] 폐기물 발생량 변화추이 .....	2
[그림 1.2] 건설폐기물 발생량 및 점유율 .....	2
[그림 1.3] 연도별 건설폐기물 처리방법별 처리량 및 처리율 변화추이 .....	5
[그림 2.1] 죠크러셔(Jaw crusher) .....	10
[그림 2.2] 자이레토리 크러셔(Gyratory crusher) .....	11
[그림 2.3] 콘 크러셔 .....	11
[그림 2.4] 임팩트 크러셔(impact crusher) .....	12
[그림 2.5] 해머 크러셔(Hammer crusher) .....	13
[그림 2.6] 롤 크러셔(roll crusher) .....	14
[그림 2.7] 볼 밀 (Ball mill) .....	15
[그림 2.8] 로드 밀 (Rod mill) .....	16
[그림 2.9] 처리횟수의 증가에 따른 순환골재의 흡수율 변화 .....	17
[그림 2.10] 골재 종류별 콘크리트의 공기량 .....	23
[그림 3.1] 골재의 입도곡선 .....	30
[그림 4.1] 순환굵은골재의 밀도 및 흡수율결과 .....	33
[그림 4.2] 골재의 밀도 및 흡수율 시험 .....	34
[그림 4.3] 단위용적질량 및 입자모양 판정 실적률 시험 .....	35
[그림 4.4] 굵은골재의 마모감량 시험 결과 .....	37
[그림 4.5] 굵은골재의 마모감량 시험 .....	37
[그림 4.6] 콘크리트의 슬럼프 및 공기량 시험 결과 .....	38
[그림 4.7] 콘크리트 배합시험 .....	39
[그림 4.8] 콘크리트의 슬럼프 및 공기량 시험 .....	39
[그림 4.9] 콘크리트의 압축강도 시험 결과 .....	41
[그림 4.10] 콘크리트의 압축강도 시험 전경 .....	38



## 요 약 문

본 연구에서 폐콘크리트의 재활용은 증가하는 폐기물 처리문제의 해법과 천연 골재자원의 보존과 건설산업을 위한 합리적인 순환 골재의 안전된 공급에 도움을 줄 것으로 기대한다. 본 연구의 목적으로 순환 굵은 골재의 표면처리 비율의 영향에 따른 순환콘크리트의 적용성을 분석하는 것이다.

본 실험연구에 채택된 시험변수는 순환 굵은 골재의 표면처리 정도이다. 표면처리 방법으로 골재 마모시험기를 사용하였고, 마모시험기의 회전수에 따라 0회(A), 100회(B), 300회(C), 500회(D)를 실시하여 순환골재 콘크리트의 압축강도를 분석하였다.

실험결과 순환골재 콘크리트의 품질은 순환 굵은 골재를 표면처리함으로써 개선할 수 있었다.

# 제 1 장 서 론

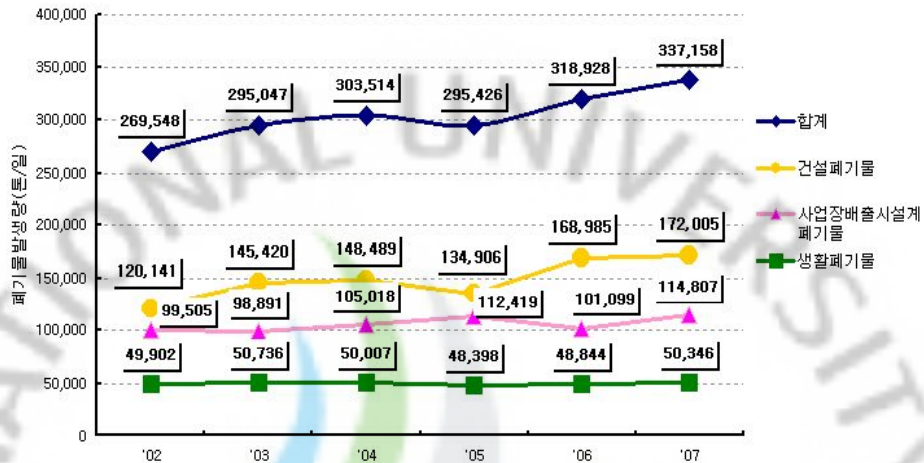
## 1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라는 1960년대 이래로 지난 30년 간 산업화로 대변되는 급속한 경제 개발을 통하여 이전에는 경험하지 못했던 많은 물질적 풍요를 누리게 되었다. 그러나 이러한 경제개발과정에서 대규모의 자원파괴가 행해지고, 대량소비의 확산에 따른 생활폐기물, 사업장폐기물 및 지정폐기물이 증가하고 있으며, 특히 도시의 재개발, 환경정비, 구조성능저하로 인하여 건축물의 해체가 증가일로에 있는데, 이러한 건축물 해체공사에서는 다량의 건설폐기물이 발생함에 따라 도시 및 주거환경파괴의 주범이 되고 있으며, 또한 사회·경제적인 측면에서도 큰 문제로 제기되고 있다. 이와 같은 폐기물의 대량 발생은 귀중한 자원 및 외화낭비를 가져오는 물론, 매립 또는 소각과정에서 토양, 지하수, 대기 등에 심각한 환경오염을 초래하게 된다.

최근에는 님비(Not in my back yard)현상의 확산으로 폐기물처리 부지를 확보하기가 점점 어려워지고 지역주민 간에 부지선정을 둘러싼 사회적 갈등을 야기 시키기도 한다. 이러한 상황에서 재활용은 버려지는 폐기물을 자원으로 되살려 폐기물 처리에 따른 환경오염을 막고 자원 순환형 사회·경제체계를 정착시킴으로써 환경문제와 자원문제를 동시에 해결하는 효과적 수단으로 새로이 인식되고 있다. 더구나 우리나라처럼 국토면적이 좁고 부존자원이 부족한 현실에서는 재활용이야말로 최적의 폐기물 관리수단으로서 매립·소각보다 우선적으로 추진할 필요가 있다.

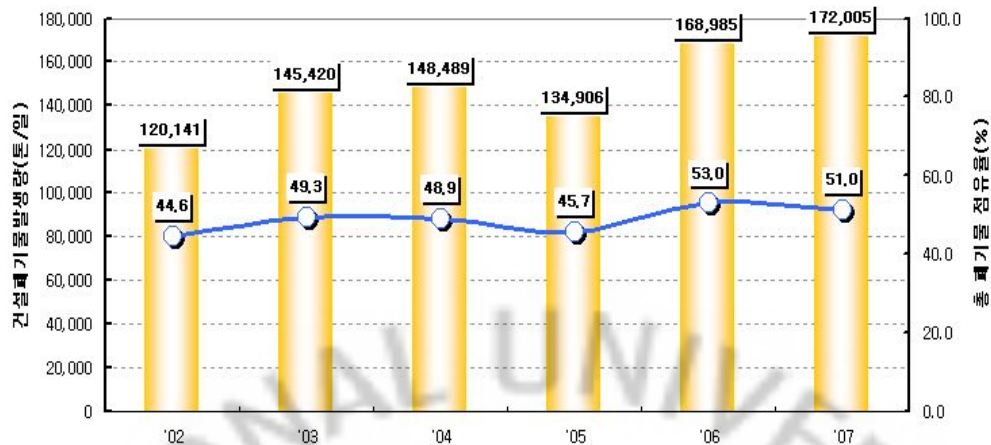
환경부 국립환경과학원 “2007 전국 폐기물 발생 및 처리현황”의 통계자료에 의하면 [그림1.1]에서와 같이 2007년도의 총 폐기물발생량은 337,158톤/일로, 전년

도 318,928톤/일에 비하여 약 5.7% 증가하였고, 폐기물 구성비는 생활폐기물 15.0%, 사업장배출시설계폐기물 34.0%, 건설폐기물 51.0%로서 건설폐기물이 가장 큰 구성 비율을 차지하고 있었다.



[그림 1.1] 폐기물 발생량 변화추이

특히, [그림1.2]에서와 같이 2007년도 건설폐기물 발생량은 172,005톤/일이며, 전년도 발생량 168,985톤/일 대비 1.8% 증가하였다. 건설폐기물 발생량이 증가한 이유는 2007년 기준 전년대비 건설폐기물 배출신고자수가 약 8.7% 증가하여 건설폐기물 발생량의 증가요인으로 작용한 결과로 추정된다. 이에 따라 총 폐기물 중 건설폐기물의 점유율은 51.0%로 전년도 53%에 비해 소폭 낮아졌다.



[그림 1.2] 건설폐기물 발생량 및 점유율

또한 <표 1.1>에서와 같이 2007년도의 건설폐기물의 성상은 건설 폐재류 82.1%, 가연성 1.0%, 비가연성 0.2%, 건설폐토석 4.1%, 혼합건설폐기물 12.6%로 나타났다. 건설폐재류 중 폐 콘크리트가 전체 건설폐기물 중에서 68.5%로서 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 다음으로 폐 아스팔트가 12.9%를 차지하고 있다.

<표 1.1> 건설폐기물의 성상현황

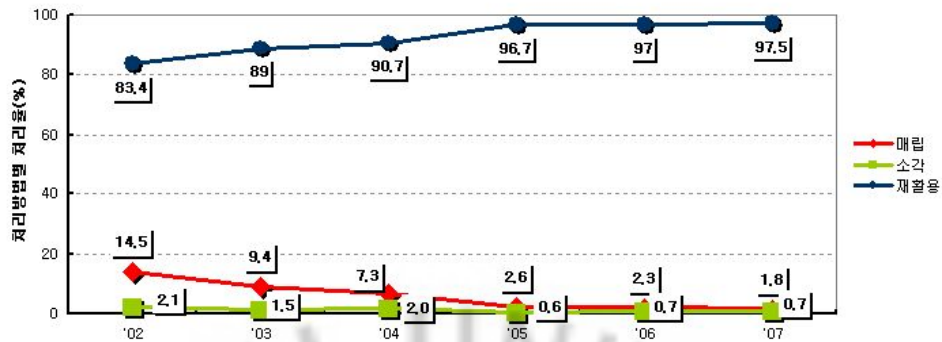
구 분	'00	'01	'02	'03	'04	구 분	'05	'06	'07		
총계 (톤/일)	78,777	108,520	120,141	145,420	148,489	총계 (톤/일)	129,572	168,985	172,005		
가연성	소 계	5,207	6,749	6,053	5,807	7,021	건설폐재류	소 계	90,328	132,955	141,158
	나무류	2,367	3,111	2,632	2,534	3,248		페콘크리트	74,757	110,296	117,886
	합성수지류	1,311	1,821	1,800	1,445	1,687		페아스콘	15,172	985	1,116
	종이류	591	557	507	452	478		기타	399	1,772	727
	기타	938	1,260	1,113	1,376	1,608	가연성 건설폐기물	소 계	4,701	947	948
	불연성	소 계	73,570	101,771	114,088	139,613		141,468	폐목재	3,676	18
금속류		1,087	1,316	1,323	922	1,025		폐합성수지	1,003	473	300
유리류		181	304	430	354	313	기타	22	8,817	7,102	
기타		1,239	1,491	10,343	7,722	7,842	비가연성 건설폐기물	소 계	495	23,991	21,740
건설폐재류		71,063	98,660	101,992	130,615	132,288		건설오니	398		
								기타	97		
						건설페토석	6,657				
						혼합건설폐기물	27,391				

※ '05년부터 「건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률」에 의거 건설폐기물 성상 분류 기준 변경됨.

- '05년 건설폐재류 기타 : 폐벽돌, 폐블럭, 폐기와
- 가연성건설폐기물 기타 : 폐섬유, 폐벽지
- 비가연성건설폐기물 기타 : 폐금속류, 폐유리

건설폐기물의 처리방법은 [그림 1.3]에서와 같이 건설폐기물의 재활용율은 년도에 따라서 계속 증가하고 있는 반면, 매립율은 감소하고 있다. 재활용율은 2007년에는 97.5%로 전년대비 0.5% 증가하였고 소각율은 0.7%로서 2005년 이후 변동 폭이 적고 매립율은 1.8%로서 전년도 2.3%에 비하여 0.5%로 감소하였다.

건설폐기물의 처리가 소각이나 매립보다 재활용이 증가하고 있는 것으로 나타나고 있으나 친환경적으로 처리와 고부가가치 형태로 재활용이 되고 있는지 신중한 검증이 필요하다.



[그림 1.3] 연도별 건설폐기물 처리방법별 처리량 및 처리율 변화추이

정부에서는 이러한 건설폐기물을 친환경적으로 처리하고 부존자원의 고갈문제를 해결하기 위하여 1986년 “환경보전법”으로부터 “폐기물관리법”을 분리·제정하였다. 그리고 2003년 12월에는 “건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률”을 제정하여 제도적 기틀을 마련하였고, 2006년 12월에는 동법 제35조 규정에 근거한 용도별 「순환골재 품질기준」을 규정하였다. 또한 같은 시기에 한국산업표준 「순환골재 품질기준」이 상호간에 부합화를 위하여 콘크리트용, 아스팔트 콘크리트용 및 도로 보조기층용과 같은 용도별 순환골재의 KS표준을 개정하여 다양한 용도 하에서 순환골재의 활용도를 높이기 위하여 적극적인 정책적 의지를 표명하고 있으나, 그 실적은 현재 미비한 수준이다.

우리나라 2007년도 총 폐기물 중 건설폐기물의 점유율은 51.0%이고 건설폐기물 중 폐 콘크리트가 68.5%로서 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 현재 폐 콘크리트의 처리방법은 도로건설의 노반재이나 성토용 및 복토용에 국한되어 대부분이 재활용되고 있다.

그 이유로는 폐 콘크리트를 이용한 순환골재는 여러 가지 품질상의 제약으로 인하여 비구조체에 주로 사용되고 있어서 자원의 유효이용 측면에서 매우 불합리하고, 이를 개선하지 않고 콘크리트의 제조에 재활용할 경우 천연골재를 사용한 콘크리트의 공학적 특성과 상이하게 나타날 것으로 예상되기 때문에 품질관리가 쉽고 생산비용이 저렴한 도로건설의 노반재이나 성토용 및 복토용으로 그 이용이 제한되고 있다.

천연골재자원의 부족과 환경보전 등의 이유와 지속적인 골재수요로 인해 천연 골재 대체 재료의 개발이 사회·경제적으로 시급한 실정이다. 이러한 배경에서 순환골재를 사용한 콘크리트의 제조기술을 개발하여 현재 비구조체에만 사용되는 순환골재를 건축물의 구조체 콘크리트용 골재로 활용할 수 있도록 개선하여 자원문제와 환경문제를 동시에 해결해야할 필요성이 있다.

본 연구는 도내 순환골재의 특성에 관한 실태를 파악하고 순환골재의 물리적·역학적 특성에 관한 실험을 실시하여 순환골재를 건축물의 구조체 콘크리트용 골재로 활용하기 위한 공학적 특성을 알아보고자 한다.

## 1.2 연구의 방법 및 범위

연구의 목적을 달성하기 위한 논문의 구성은 다음과 같다.

1. 제1장 서론은 본 연구의 배경 및 목적을 기술하였다.
  2. 제2장 기존연구 및 이론적 고찰 에서는 콘크리트용 순환골재의 특성 및 순환골재 콘크리트의 특성에 관한 각종 참고문헌을 종합하여 순환골재의 특성이 콘크리트의 공학적 특성에 미치는 인자와 연구방향을 고찰하였다.
  3. 제3장 실험 계획 및 방법에서는 도내 순환골재의 특성에 관한 실태를 실험적으로 규명하고자, 마모 시험기 회전수를 0회, 100회, 300회, 500회를 두어 표면 처리된 순환골재와 일반골재를 비교하여 본 실험을 위한 시료를 채취하였다.
- 제4장 실험결과 및 분석 에서는 도내 순환골재의 물리적·역학적 특성을 확인하고 표면처리된 순환골재와 일반골재로 배합설계 하여 압축강도를 비교하였다.
- 제5장 결론에서는 이와 같은 결과를 토대로 표면처리된 순환골재를 사용하여 건축물의 구조체 콘크리트용 골재로 활용하기 위한 공학적 특성을 비교하였다.

## 제 2 장 기존 연구 및 이론적 고찰

건축구조물의 약 80% 이상은 철근콘크리트 구조로 건설되고 있으며, 이에 사용하는 콘크리트는 안전하고 경제적인 구조물 건설을 위해 적절한 품질과 안정적인 공급이 이루어져야 한다. 또한 콘크리트의 구성재료 중 골재는 전체 용적의 70~80%를 차지하고 있어, 각종 건설공사의 기초재료로 경제에 미치는 영향이 큼으로 안정적이 공급이 절실히 요구되고 있다. 그러나 최근 한정된 자원으로 보존량이 감소추세를 보이고 있고 환경보전의 강화로 골재 채취 여건이 악화되면서 수급불안정이 야기되고 있으므로 골재의 원활한 수급을 위한 조치가 필요할 것으로 판단된다. 이에 대한 대안으로 폐 콘크리트를 재활용한 순환골재를 활용할 수 있는 방안을 도출하는 것은 매우 시급하다고 할 수 있다.

따라서 본장에서는 순환골재를 콘크리트용 골재로 활용하기 위해서 순환골재의 제조과정 및 분쇄기술에 대하여 알아보고 콘크리트용 순환골재의 특성을 참고문헌을 통하여 고찰하였다.

### 2.1 폐 콘크리트의 재자원화 기술

#### 2.1.1 순환골재의 제조과정

폐 콘크리트를 순환플랜트에 반입하기 전에 파쇄기로 용도 및 용량에 적절한 크기의 치수로 분쇄한 후 순환플랜트로 반입하며, 이렇게 반입된 폐 콘크리트는 조 크러셔를 이용하여 1, 2차 파쇄를 하여 철근 및 목편과 같은 불필요한 물질을 제거한다. 그 후 임팩트 크러셔를 사용하여 3차 파쇄를 한 후 자선기를 이용하여 최종적으로 철근조각을 제거 한 후, 각 체의 치수별 체분석을 행하여 순환골재를 생산하게 된다.



파쇄한 콘크리트에서 시멘트 페이스트 분을 완전히 제거할 수만 있다면 원 콘크리트에서 사용한 잔·굵은 골재를 그대로 이용할 수 있으나, 시간과 비용을 고려할 때 콘크리트를 파쇄한 그대로의 형태로 재이용하는 방법이 편리하다.

이러한 파쇄골재는 원 콘크리트에 사용한 잔·굵은 골재를 시멘트 페이스트로 굳힌 것과 같은 상태이므로 그 성질은 원 콘크리트의 강도차이에는 거의 상관관계가 없이 동일한 파쇄골재를 얻을 수 있는 것으로 보고되고 있으며, 이는 콘크리트 구조물 강도의 불규칙성에 관계없이 파쇄골재를 만들 수 있다는 점에서 유리하다.

최대치수 25 mm 정도로 파쇄했을 때 굵은골재와 잔골재의 생산비율은 4 : 1 정도의 비율로 제조된다. 단 잔골재는 매우 거칠어 단독으로 사용하기 어렵다고 여겨지고 있다. 골재로서의 성질은 입자의 크기에 따라 변화하여 입자가 작아질수록 밀도가 작아지고 흡수율이 크게 된다. 이는 입자를 구성하는 원 골재와 시멘트 페이스트의 비율이 변화기 때문이며, 일반적으로 입자가 작을수록 시멘트 페이스트 분이 많아지고 골재로서 품질은 저하된다.

## 2.1.2 파쇄 및 분쇄기술

### (1) 파쇄·분쇄의 원리

일반적으로 암석을 파쇄할 때 작용하는 힘에는 압축, 휨, 충격, 전단, 비틀림, 마모 등이 있다. 이러한 힘은 단독으로 작용하는 경우도 있지만, 대부분 두 가지 이상의 힘이 조합되어 동시에 작용하는 경우가 많다. 즉 파쇄기에 따라 압력만을 이용하는 경우도 있고, 충격력과 압력을 이용하는 경우, 충격과 전단 및 마모의 합성력을 이용하여 암석을 파쇄하는 경우 등이 있다.

또한, 파쇄는 사용목적에 따라 몇 가지로 나눌 수 있는데, 대체로 조쇄(Coarse crushing), 중쇄(medium crushing), 분쇄(grinding) 등 세 종류로 대별한다. 조쇄란 채취된 원석내지 이것에 준하는 큰 덩어리를 파쇄하는 것으로 주로 1차 파쇄의 목적으로 사용되는 경우가 많으며 보통 20~300 mm 정도의 크기로 파쇄하는 것이고, 중쇄는 2차 파쇄용으로 보통 6~10 mm 정도의 크기로 부수는 것이며, 분

쇄는 1 mm 이하로 파쇄하는 것이다.

따라서 이러한 파쇄 산물의 크기를 근거로 하여 파쇄기를 조쇄기와 중쇄기, 분쇄기로 구분해서 부르는 경우도 있다.

## (2) 파쇄 · 분쇄기의 종류 및 특성

파쇄에 이용되고 있는 기구는 압축, 충격, 마찰, 전단력 등을 이용한 것이다. 단독 또는 두 개 이상의 파쇄기를 조합하여 사용할 수도 있다. 현재 국내에서 골재 생산을 위해 주로 사용하는 파쇄기의 종류는 조 크러셔, 임팩트 크러셔 및 콘 크러셔로서 단독 또는 조합하여 사용하고 있으며, 파쇄물 크기에 따른 파쇄기의 종류별 특성을 <표 2.1>에 나타내었다.

<표 2.1> 파쇄물 크기에 따른 파쇄기의 종류별 특성

이용 상태	기 종	파 쇄 방 법	파쇄 능력	공급 원석 덩이 입경	입도조정	능 력 (ton/h)	
파쇄물의 크기	대	조크러셔	압축력	대	300~400	가능	60~150
		자이레토리 크러셔	압축력	대	300~400	가능	60~150
	중	콘크러셔	충격력+압축력	소	50~100	가능 (세립분이 많다)	30~50
		임팩트크러셔	충격력	소	100~311		50~80
		해머크러셔	충격력	소	200~300		20~70
		롤크러셔	충격력+압축력	소	100~200		10~60
	소	로드 밀	충격력+압축력	소	50~100	세립분이 많다	10~20
		볼 밀	충격력+압축력	소	50~100		10~20

골재로 하였을 때 생산 비율과 품질에 영향을 미치는 요인으로는 모암의 종류, 모암의 풍화 정도, 골재 파쇄기의 종류, 처리공정(처리횟수), 골재파쇄기로의 공급 원료의 치수, 처리시의 골재의 함수율 등이 있다.

또한, 크러셔 종류별로 생산되는 골재의 외형이 다르다. 임팩트 크러셔를 사용

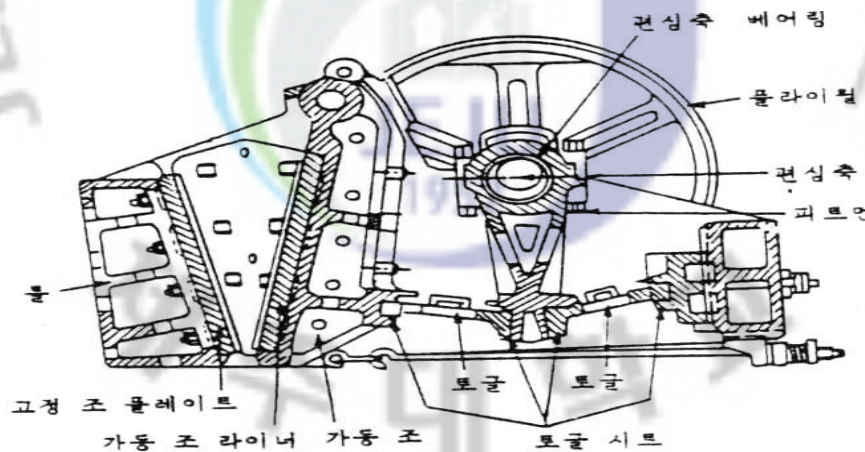
해서 만든 골재가 죠 크러셔를 이용해서 파쇄한 골재보다 좀 더 둥근 모양이고 입도 분포에서도 임팩트 크러셔를 사용해서 만든 골재가 잔골재를 많이 포함하고 있다. 하지만 생산된 골재의 내부에 발생하는 크랙의 양이 압축력에 의해 파쇄하는 죠 크러셔 보다 충격력에 의한 파쇄를 하는 임팩트 크러셔가 많을 수 있다.

파쇄장비가 생산 골재에 미치는 영향으로서 첫째, 조골재 파쇄장비의 처리횟수의 증가는 조골재의 생산비율을 저하시키고, 세골재와 미분의 생산비율을 증가시킨다. 3차 처리의 경우 조골재는 20%, 세골재는 약 70%, 미분은 약 10%로 된다.

따라서 어느 정도의 생산 비율과 적절한 입도를 확보하기 위해서는 2차 처리이내가 타당하다고 판단된다.

### (1) 죠 크러셔

[그림 2.1]에서 보는 바와 같이 물체를 물어 부순다는 단순한 생각을 기계화한 것으로, 마주보는 Jaw plate사이에서 주로 압력에 의해 암석을 부수는 파쇄기로서 현재 가장 많이 사용되고 있다.

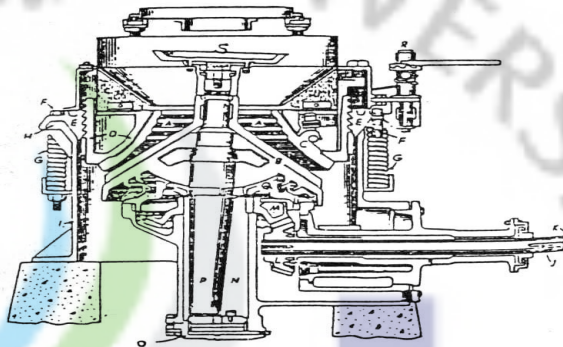


[그림 2.1] 죠 크러셔(Jaw crusher)

## (2) 자이레토리 크러셔

자이레토리 크러셔는 죠 크러셔보다 약간 늦게 발명된 파쇄기로서 Gates crusher라고도 불린다. [그림 2.2]에서 보는 바와 같이 자이레토리 크러셔의 파쇄 과정은 근본적으로는 죠 크러셔의 경우와 같다.

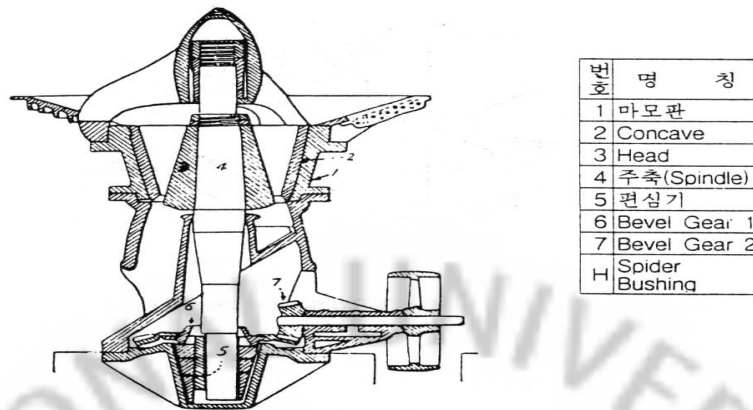
번호	명칭
A	Mantle
B	Breaking Head
C	Bowl
D	First Link
E	Second Link
F	Bolt
G	Spring
H	Rim
I	Main Frame
J	Middle Shaft
K	Shaft
L	Bevel Pinion
M	Dust Sealing
N	Eccentric
O	Thrust Plate
P	Spindle
Q	Spherical Sheet
R	Windlass
S	Distributor



[그림 2.2] 자이레토리 크러셔(Gyratory crusher)

## (3) 콘 크러셔

콘 크러셔는 자이레토리 크러셔를 변형하여 중쇄에도 사용할 수 있게 한 것으로서 수직축에 고정된 차쇄 헤드를 회전시켜 파쇄를 일으키는 크러셔이다.



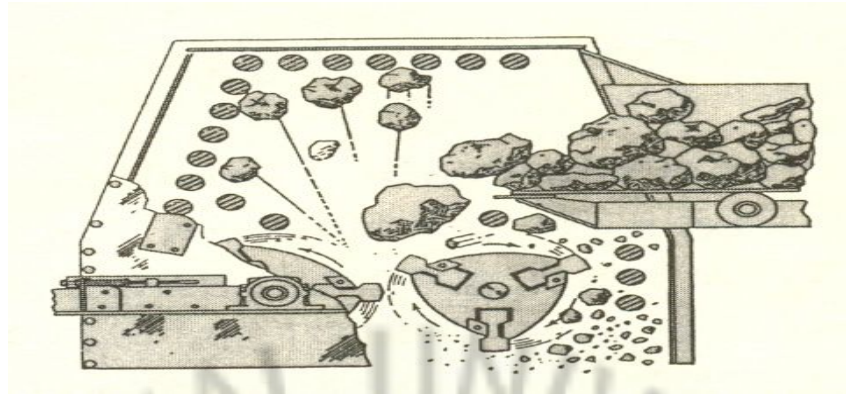
[그림 2.3] 콘 크러셔(Cone crusher)

[그림 2.3]에서 보는 바와 같이 콘 크러셔는 자이레토리 크러셔보다 세밀한 파쇄가 가능하고, 또한 충격에 의해 파쇄가 일어나기 때문에 구조가 약간 복잡하기는 하나 파쇄된 암석이 그대로 흘러내리는 슬립(slip) 현상이 거의 없으며, 파쇄가 불가능한 철조각 등과 같은 이물질이 맞물려 들어가 있을 경우에도 스프링 작용에 의해 concave를 상승시켜 이물질을 하강할 수 있도록 고안되어 있다.

콘 크러셔는 파쇄비(crushing ratio)가 크고 2차 파쇄용으로 많이 사용되는 특징과 파쇄되는 골재의 입형이 비교적 넓은 단점을 가지고 있다.

#### (4) 임팩트 크러셔

임팩트 크러셔는 암석에 타격을 가해 파쇄하는 형태의 기계로서 아주 단순한 원리와 쉬운 운전법, 저렴한 가격 등으로 널리 보급되어 있는 파쇄기이다. 임팩트 크러셔의 구조는 [그림 2.4]에서 보는 바와 같이 Housing 속에 원통형의 Rotor가 있고, Rotor 주위에 내마모재로 만든 몇 개의 타격판을 고정하고, Housing 내부에도 경질재로 내장할 뿐만 아니라, 반발판이라고 불리는 타격 받침판 등이 배치되어 있다.



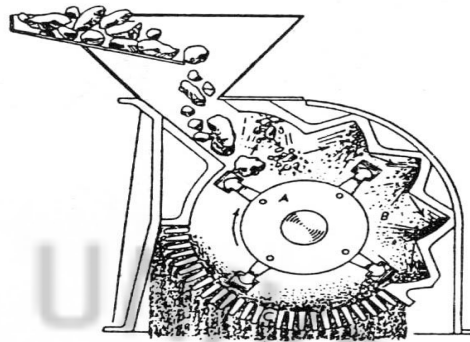
[그림 2.4] 임팩트 크러셔(Impact crusher)

임팩트 크러셔에 의한 파쇄 산물은 입형이 입방형에 가까우며, 편평하거나 가늘고 긴 입자가 적어 특히 아스팔트형 골재를 제조하기 위한 파쇄기로서 가장 바람직하나, 타격판 및 반발판의 소모가 많고 운전비가 많이 드는 단점이 있다. 특히 원료의 암석이 강하여 파쇄시 고속의 타격을 원하는 경우나 규산분을 많이 함유하여 마모성이 높은 암석을 처리할 때에는 부품의 소모가 심하다.

#### (5) 해머 크러셔

해머 크러셔는 임팩트 크러셔와 매우 유사하지만 타격판이 Rotor에 고정되어 있지 않고, Hinge식으로 장치되어 있으므로 Swing hammer crusher라고도 불린다. [그림 2.5]에서 보는 바와 같이 해머 크러셔는 특별한 반발판이 갖추어져 있지 않으나, housing 내부가 가속된 원료로 하여금 효과적으로 충돌·분쇄되도록 고안되어 있다.

번호	명칭
A	Rotor
B	Grate

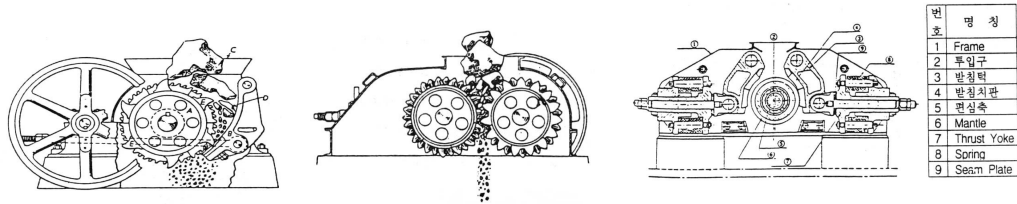


[그림 2.5] 해머 크러셔(Hammer crusher)

또한 해머 크러셔는 Rotor의 하반부를 둘러싸고 있는 Grate가 있고, 이러한 Grate의 눈을 통과할 때까지 파쇄된 것이 제품으로서 아래로 배출되기 때문에 보통 3~5 mm 정도의 세골재를 제조하는 데에도 많이 사용되며, 특히 석회질의 암석을 파쇄 하는데 적당하다.

#### (6) 롤 크러셔

[그림 2.6]에서 보는 바와 같이 롤 크러셔는 Roll의 회전에 의해 암석원료를 파쇄하는 기계로, Single roll crusher, Double roll crusher, Specific roll crusher 등의 세 종류가 있다.

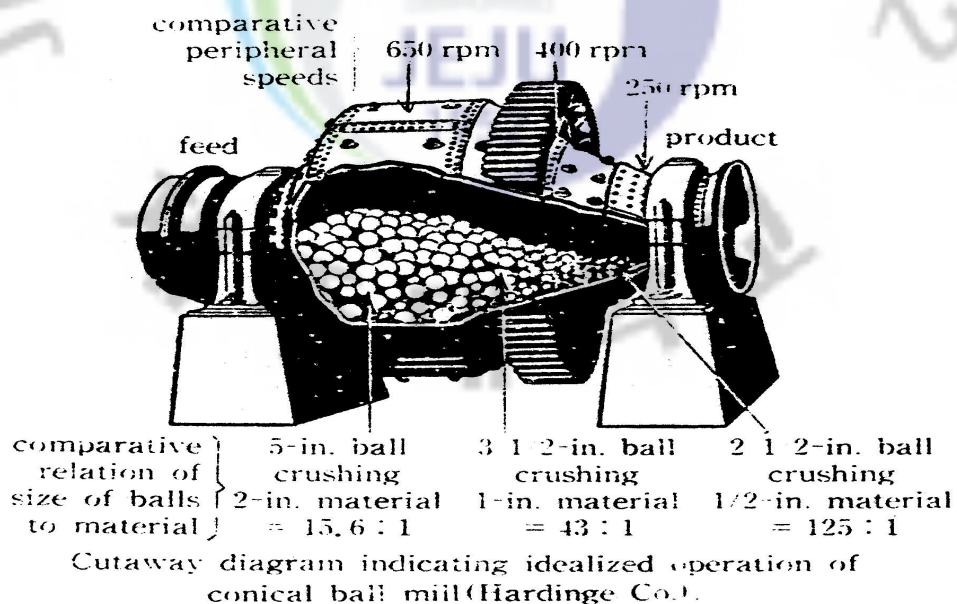


(a) Single roll crusher      (b) Double roll crusher      (c) Specific roll crusher

[그림 2.6] 롤 크러셔(Roll crusher)

(7) 볼 밀

[그림 2.7]에서 보는 바와 같이 볼 밀은 원통형 또는 원통원추형의 셀내에 볼과 함께 처리물을 집어넣어 처리물을 회전시킴으로서 마찰, 또는 충격을 처리물에 주어 파쇄시킨다. 볼로서는 강구 또는 세라믹 볼 등도 사용된다. 장시간에 걸쳐서 미세한 분말로 만들 때에는 배치식으로 하지만 일반적으로 연속 익류식으로 하여 배출시키는 것이 많다.

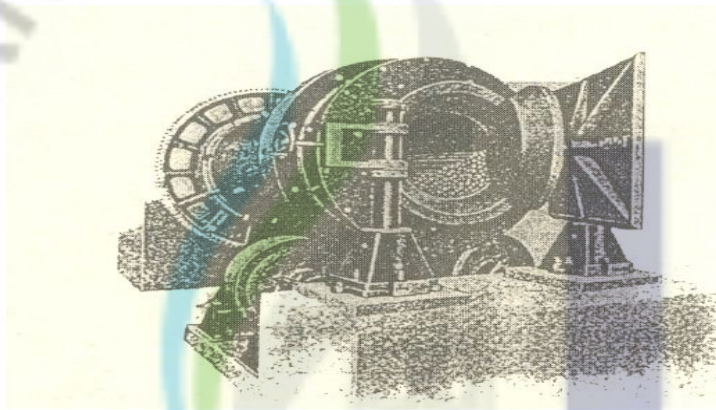


[그림 2.7] 볼 밀 (Ball mill)



## (8) 로드 밀

[그림 2.8]에서 보는 바와 같이 로드 밀은 롤 밀과 형태 및 파쇄기구가 같고 단, 원통형 셀내에 볼 대신에 로드를 사용하는 파쇄기이다. 볼의 경우에는 볼 상호간의 접촉은 점인데 반하여 로드는 선이다. 밀 내의 처리물이 현저하게 큰 다른 입자가 존재할 때 로드가 동시에 접촉하여 처리물을 파쇄할 수 없고 로드가 큰 입자를 지지하여 힘은 큰 입자에 강하게 붙어 조그만 입자는 움직이지 않는다. 그래서 로드밀은 조그만 입자를 우선적으로 파쇄하고 불필요한 미립자의 생성은 거의 없다.



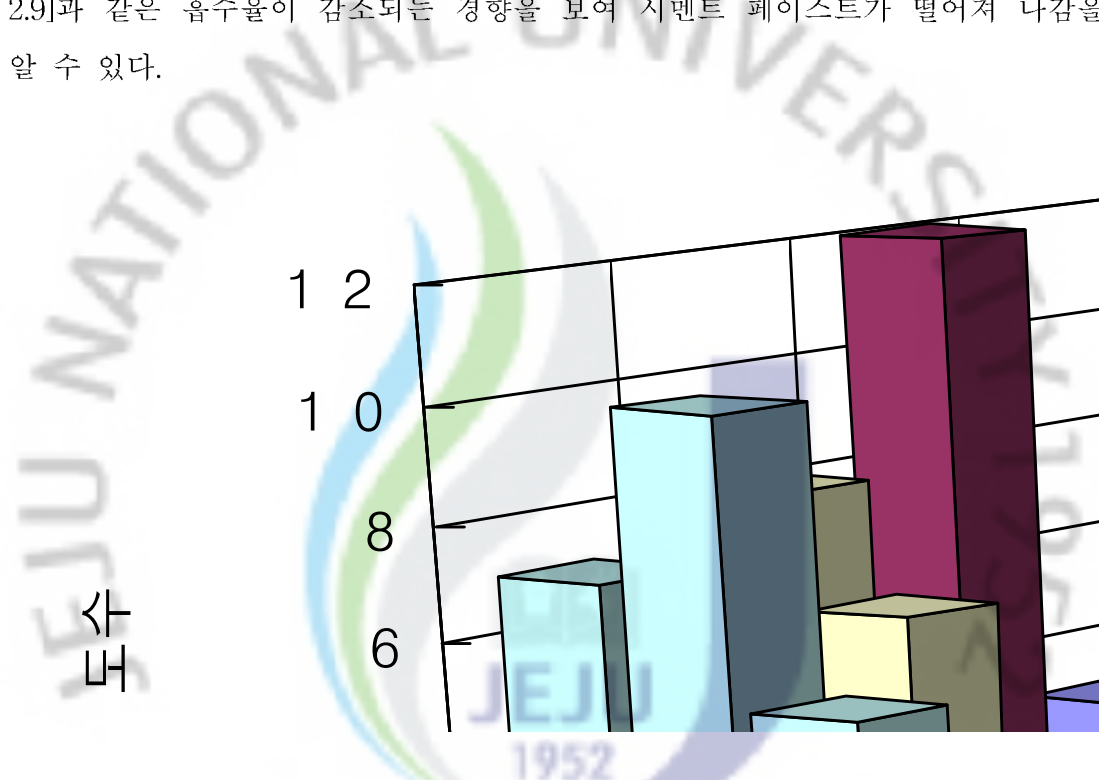
[그림 2.8] 로드 밀 (Rod mill)

## 2.2 콘크리트용 순환골재의 특성

### 2.2.1 순환골재에 부착된 시멘트 페이스트

순환골재를 생산하는 과정에서 골재 표면에 부착된 시멘트 페이스트가 완벽하게 제거되지 못하고 남아 있어 콘크리트에 악영향을 미치는 중요한 요인이 된다. 부착된 시멘트 페이스트가 많을수록 순환골재는 미립분과 흡수율이 증가하게 되고,

이것을 사용한 순환골재 콘크리트는 밀도, 강도, 내구성 등이 저하된다. 이를 제거하기 위한 많은 기술들이 개발되고 있으나 경제성을 확보하고 있는 기술은 아직 개발되지 않은 것으로 조사되었다. 순환 굵은골재에 부착된 시멘트 페이스트양은 파쇄되는 크기에 따라 차이가 있으나, 동일한 파쇄 횟수에서는 16~32 mm 굵은골재에서는 25~35%, 8~16 mm는 약 40%, 4~8 mm는 약 60% 정도가 시멘트 페이스트인 것으로 알려져 있지만, 처리 횟수를 증가시켰을 때에는 [그림 2.9]과 같은 흡수율이 감소되는 경향을 보여 시멘트 페이스트가 떨어져 나감을 알 수 있다.



[그림 2.9] 처리횟수의 증가에 따른 순환골재의 흡수율 변화

### 2.2.2 순환골재의 이물질

순환골재에 혼입된 이물질은 건축물을 해체하는 과정에서 포함되는 것으로 그 종류는 매우 다양하다. 이러한 이물질은 그 종류에 따라 콘크리트에 영향을 미치는 정도가 달라지는데, 금속은 대부분 철로서 순환골재 생산 공정에서 대다수 제거되고 있고, 석재·타일·벽돌·유리와 같은 무기이물질은 보통골재와 밀도가 비교적 유사하고, 화학적으로도 안정적이기 때문에 콘크리트에 대한 영향은 거의 없다.

점토는 건축물의 해체 현장이나 파쇄물 적재장에서 부착되는데, 순환골재 생산시 세척과정에서 대체적으로 제거되지만, <표 2.2>과 같은 각종 이물질이 콘크리트의 압축강도를 낮추기 때문에 반드시 그 함유량을 확인할 필요가 있다.

<표 2.2> 기준 콘크리트의 압축강도 대비 15% 감소시 이물질의 체적률

혼합물	회반죽	점토	나무	탈수석고	아스팔트	비닐아세테이트 페인트
골재에 대한 부피비(%)	7	5	4	3	2	0.2

이 이외에도 콘크리트에 악영향을 미치는 것은 플라스틱·아스팔트·도료·목질재·종이·섬유·단열재와 같은 유기이물질로서 콘크리트의 특성에 악영향을 미치기 때문에 <표 2.3>와 같은 규정치 이하로 제거하여야 한다.

<표 2.3> 순환골재 내 최대 유해불순물량

국가	구분		항목	순환굵은골재	순환잔골재
	한국	0.08 mm체 통과량 시험에서 손실된 양(%)			1.0 이하
점토덩어리함유량(%)			0.2 이하	1.0 이하	
이물질함유량 (%)		유기이물질		1.0 이하 (용적)	
	무기이물질		1.0 이하 (질량)		
일본	회반죽, 진흙덩이와 기타 혼합물의 밀도가 1,950 kg/m <sup>3</sup> 미만인 것			10 kg/m <sup>3</sup>	
	아스팔트, 플라스틱, 페인트, 천, 종이, 나무 그리고 1.2 mm체에 걸린 입자상 물질 또는 기타 혼합물의 밀도가 1,200 kg/m <sup>3</sup> 미만인 것			2 kg/m <sup>3</sup>	

### 2.2.3 순환골재의 물리적 특성

골재가 콘크리트의 특성에 영향을 주는 것은 많은 연구를 통해 정리되어 왔으며 대체적으로 <표 2.4>에서 나타낸 바와 같이 골재의 특성에 따라 콘크리트에 미치는 영향 정도가 다를 수 있었다.

<표 2.4> 골재의 특성과 콘크리트 특성과의 관계

골재의 특성	콘크리트의 특성과의 관계
안정성	강도, 내구성
화학적 안정성	알칼리 골재반응, 팽아움, 풍화작용
마모감량	마모저항성
입도	유동성, 밀도, 경제성, 수축
골재의 최대 크기	경제성, 수축, 밀도, 강도
입형	유동성, 경제성, 수축, 강도
표면 상태	유동성, 접착강도, 내구성
밀도	골재 분리, 내구성, 용적 계산, 경제성
흡수율 및 표면수율	강도, 유동성, 내구성
실적률	강도, 강성, 투수율, 내구성

\* Concrete Manual(1989)과 Aggregate in Concrete(2005)의 내용을 재구성함

골재의 밀도가 큰 것일수록 골재자체의 공극이 적기 때문에 흡수율이 적어지면서 동결융해저항성 등이 증가하여 내구성이 커지게 된다. 반면, 밀도가 너무 높아지게 되면 굳지 않은 콘크리트 상태에서 골재분리 및 블리딩 현상이 발생할 수 있기 때문에 이에 대한 각별한 주의가 요구된다. 이에 순환골재의 밀도는 원골재에 부착된 시멘트 페이스트로 인해 보통골재에 비해 매우 낮은 수준이며, 이를 효과적으로 제거할 경우 보통골재와 유사한 밀도를 나타낸다.

순환골재의 흡수율은 콘크리트 내구성 측면에서 동결융해에 미치는 영향이 매우 큰 요소로서, 순환골재는 표면에 부착된 시멘트 페이스트로 인해 보통골재에 비해 흡수율이 매우 큰 골재이다. 따라서 순환골재의 밀도 및 단위용적질량을 감소시키고, 콘크리트에 있어서 강도의 감소, 내구성저하 및 건조수축을 증가시키는 요인이 된다.

입도란 크고 작은 골재 입자가 혼합되어 있는 비율을 말하는 것으로서 골재의 물리적 특성이라고 할 수 없으나, 시멘트 페이스트에 의해 채워져야 할 골재 표면 간의 공극의 양에 결정적인 영향을 미치는 중요한 성질이다. 이에 순환골재의 입도는 미립분의 영향을 받으며, 보통골재에 비해 미립분을 많이 포함하고 있으므로, 콘크리트의 워커빌리티가 저하되고 단위수량이 증가하게 된다. 또한 순환골재의 입형은 순환골재가 파쇄공정에 의해 생산되기 때문에 보통골재에 비해 약간 거친 특성을 갖는다. 양질의 순환골재를 생산하기 위해서는 임팩트 크러셔와 같은 입형 개선이 가능한 파쇄기를 사용하거나, 파쇄정도를 필요한 정도로 조정하여 생산하여야 한다.

순환골재의 마모감량은 일반적으로 고강도 콘크리트로부터 제조된 16~32 mm는 22.4%, 저강도 콘크리트에서 제조된 4~8 mm는 41.4%로 알려져 있다.

#### 2.2.4 순환골재의 품질기준

“건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률”은 건설공사 등으로 인하여 발생한 건설폐기물을 친환경적으로 적정처리하고 재활용을 촉진하여 국가자원의 효율적 이용을 목적으로 하고 있으며, 이 법률 제35조에 근거하여 “순환골재 품질기준”을 2006년 12월에 규정하였다. 또한 이 기준과 상호간에 일치를 위하여 같은 시기에 한국 산업규격 KS F 2573 (콘크리트용 순환골재)을 개정하였다.

순환골재 생산을 위하여 투입되는 폐 콘크리트는 환경에 유해한 화학물질, 악취, 콘크리트 특성에 악영향을 미치지 않는 것을 사용해야 하며, 생산된 순환골재는 <표 2.5>에서 나타낸 품질기준을 만족하여야 한다.

<표 2.5> 국내·일본의 순환골재 및 보통골재의 품질기준

구 분		절건 밀도 ( $g/cm^3$ )	흡수율 (%)	미립분량 (%)	안정성 손실량 (%)	입자모양 판정실적률 (%)	마모 감량 (%)		
국 내 기 준	보통 골재 <sup>(1)</sup>	부순굵은골재	≥2.5	≤3.0	≤1.0	≤12	≥55	≤40	
		부순잔골재	≥2.5	≤3.0	≤7.0	≤10	≥53	-	
	순환 골재 <sup>(2)</sup>	굵은골재	≥2.5	≤3.0	≤1.0	≤12	≥55	≤40	
		잔골재	≥2.2	≤5.0	≤7.0	≤10	≥53	-	
일 본 기 준	보통 골재 <sup>(3)</sup>	굵은골재	≥2.5	≤3.0	-	-	≥55	-	
		잔골재	≥2.5	≤3.5	-	-	≥53	-	
	순환 골재 <sup>(4)</sup>	굵은골재	1종	≥2.2	≤3.0	≤1.5	≤12	≥55	-
			2종	≥2.2	≤5.0	≤1.5	≤12, ≤40 <sup>(6)</sup>	≥55	-
			3종	≥2.2	≤7.0	≤1.5	-	≥55	-
	잔골재	1종	≥2.2	≤5.0	≤5.0	≤10	≥53	-	
		2종	≥2.2	≤10	≤5.0	-	≥53	-	
	구조용 순환 골재 <sup>(5)</sup>	굵은골재	≥2.5	≤3.0	≤1.0	-	≥55	-	
잔골재		≥2.5	≤3.5	≤7.0	-	≥53	-		

- 주 (1) KSF 2527 : 2004 (콘크리트용 부순골재) 품질기준  
 (2) KSF 2573 : 2006 (콘크리트용 순환골재) 품질기준  
 (3) 일본건축공사 표준사양서·동해설의 품질기준  
 (4) 일본 총프로의 통합기준  
 (5) (재)일본건축센터 건축구조용 순환골재 인정기준  
 (6) 동결융해 내구성을 고려하는 않는 경우임.

## 2.3 순환골재 콘크리트의 특성

### 2.3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

순환골재가 단위수량, 잔골재율, 블리딩, 단위용적질량 및 공기량과 같은 굳지 않은 콘크리트의 특성에 미치는 영향을 고찰하면 다음과 같다.

#### (1) 워커빌리티

순환골재는 흡수율이 매우 크기 때문에 사용하기에 앞서 프리웨팅(Pre-wetting) 하는 것이 원칙이지만 이와 같은 조치를 한 경우에도 골재 입형이 나쁘기 때문에 일반적으로 워커빌리티가 좋지 못한 경우가 많고 보통 콘크리트에 비해 동일한 슬럼프를 얻기 위해서는 단위수량이 많아지는 경향이 있다. 일반적으로 순환골재는 쉘석모양으로 입도 및 입형이 불량하고 실적율이 낮기 때문에 보통골재를 사용하는 경우에 비해 동일 수준의 워커빌리티를 확보하기 위해 단위수량은 25 kg, 잔골재율은 4.7% 정도 높여야 하는 것이 문제점으로 제기되며 그 해결책으로 고성능감수제 사용이 요망된다.

순환골재 콘크리트는 보통 콘크리트에 비해 단위수량이 크기 때문에 이론적으로 블리딩이 커질 것으로 예상되지만, 순환골재 콘크리트는 보통 콘크리트와 비교하여 오히려 낮은 값을 나타낸다. 이와 같은 원인으로 폐콘크리트의 파쇄과정에서 발생하는 미립분에 의한 것으로서 미립분이 2~7%의 범위에서는 보통 콘크리트와 유사한 경향이나 미립분이 10% 이상이 되면 미립분의 보수작용으로 콘크리트중의 수분이 미립분의 표면에 흡착되기 때문이다. 또한 순환골재는 밀도가 낮고 입형이 불량해서 골재 상호간의 가교작용에 의해 침강이 적어지기 때문에 블리딩의 저해 요인으로 되어 블리딩수가 골재 하부에 남는 비율이 보통골재를 사용한 콘크리트에 비교하여 큰 경향을 나타낼 수 있다.

#### (2) 단위용적질량

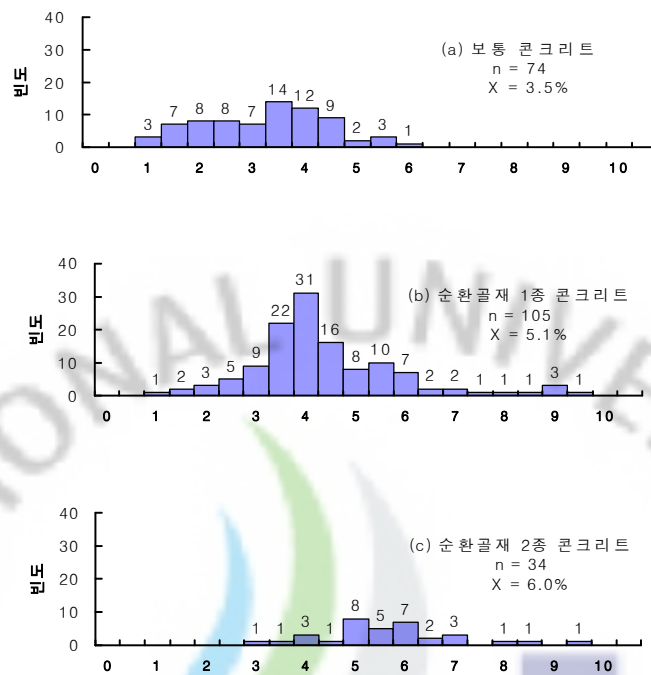
순환골재의 단위용적질량은 보통골재에 비해 작다. 따라서 순환골재 콘크리트

트는 일반적으로 단위용적질량이 작아지는 경향을 보인다. 이를 동일 배합의 보통 콘크리트 (단위용적질량 : 약  $2.33 \text{ ton/m}^3$ )와 비교하면 순환골재 1종 콘크리트에서는 5%, 순환골재 2종 콘크리트에서는 10%, 순환골재 3종 콘크리트에서는 13.5% 줄어들고 있는 것으로 알려져 있다.

### (3) 공기량

AE제를 사용한 보통 및 순환골재 콘크리트의 골재수정계수를 보정하지 않은 실측 공기량의 분포상태를 [그림 2.10]에 나타낸 것이다. 보통 콘크리트는 약 3.5%를 중심으로 분포하고 있으나, 순환골재 콘크리트는 전체적으로 공기량이 크고 분포의 상황도 상당히 넓은 범위에 걸쳐 있는 것을 알 수 있으며, 이것은 순환골재 입형이 나쁘기 때문에 잠재 공기량이 많고, 골재 자체에 공극이 많기 때문이다. 따라서 순환골재의 골재수정계수는 1~2% 정도이므로 이를 이용하여 보정을 행하면, 실질 공기량은 보통 콘크리트에 비해 약간 큰 정도로 되어 그리 큰 차이는 아니라고 할 수 있다.





[그림 2.10] 골재 종류별 콘크리트의 공기량

### 2.1.1 굳은 콘크리트의 특성

순환골재가 압축강도, 인장강도, 휨강도, 건조수축 및 동결융해저항성과 같은 굳은 콘크리트의 특성에 미치는 영향을 고찰하면 다음과 같다.

#### (1) 압축강도

순환골재 콘크리트의 압축강도는 보통 콘크리트와 비교하여 1종은 약 80%, 2종은 약 75%, 3종은 약 68% 수준이지만, 재령에 의한 압축강도 증가율은 대체적으로 보통 콘크리트와 유사한 것으로 조사되었다. 압축강도에 미치는 순환골재의 영향은 순환굵은골재보다는 순환잔골재에서 큰 것으로 알려져 있으며, 이를 보완하는 방법으로 0.15 mm 이하의 잔입자를 제거함으로써 강도 저하 정도를 줄일 수 있는 것으로 조사되었다.

실험실에서 측정한 압축강도 변동계수는 <표 2.6>에서 나타난 바와 같이 순환골재 콘크리트는 보통 콘크리트와 전반적으로 유사한 수준을 보이고 있지만, 실용화의 과정에서는 압축강도 변동이 약간 증대할 가능성이 있다.

<표 2.6> 각종 콘크리트의 압축강도 변동계수

종류	슬럼프		80 mm	150 mm	210 mm	평균
	X	R				
보통 콘크리트	X		2.50	1.90	3.0	2.47
	R		1.10~3.29	0.83~3.33	2.08~4.62	0.83~4.62
순환골재 1종 콘크리트	X		2.28	3.31	3.42	3.20
	R		1.83~4.90	2.39~4.90	1.33~4.86	1.33~4.90
순환골재 2종 콘크리트	X		1.87	1.83	1.88	1.86
	R		0.90~2.50	0.50~3.42	0.60~3.43	0.50~3.43

\* X=평균치, R=범위, 시험횟수는 5회임

압축강도와 연관성이 높은 물시멘트비는 압축강도를 추정하는 식으로 많이 사용되고 있으며, 순환골재에 있어서는 골재의 등급에 따라 압축강도가 차이가 발생하기 때문에 아래와 같이 각각의 골재에 대해 물시멘트비와 상관성이 다르게 나타내고 있다. 그러나 잔골재에 대해서는 치환율이 증가할수록 압축강도가 저감된다는 것 이외에는 아직까지 특별한 추정식이 발표되지는 않았다.

$$\text{순환골재 1종 콘크리트 : } x = \frac{23.1}{f_c + 13.4}$$

$$\text{순환골재 2종 콘크리트 : } x = \frac{22.0}{f_c + 14.9}$$

$$\text{순환골재 3종 콘크리트 : } x = \frac{22.0}{f_c + 14.9}$$

여기서,  $x$  : 물시멘트비(%)

$f_c$  : 압축강도(MPa)이다.

상기의 식에 따르면 물시멘트비가 50%인 경우, 순환골재 1종은 콘크리트는 약 33MPa, 순환골재 2종 콘크리트 약 29MPa, 순환골재 3종 콘크리트는 약 25MPa 정도의 압축강도가 발현하는 것으로 추정된다.

### 제 3 장 실험계획 및 방법

환경보호가 가장 큰 국가적 관심사로 대두되고 있는 요즘, 건설폐기물의 발생을 최소화시키고 발생된 건설폐기물 중에서 가장 큰 비중을 차지하고 있는 폐 콘크리트를 순환골재로 재활용함으로써, 폐기물 처리비용을 경감시키고 나아가 천연 자원 보호 및 공해예방과 에너지 절감효과가 요구되고 있는 실정이다.

그러나 순환골재는 원 콘크리트에 사용되었던 원래의 골재 외에 여러 가지 물질이 혼합되어 있기 때문에 원골재의 성질보다 오히려 혼합되어 있는 물질의 종류와 양이 순환골재의 품질을 지배하게 된다. 순환골재에 혼합되어 있는 물질은 골재입자에 부착된 시멘트 페이스트와 건물해체시 혼합된 종이, 나무, 유리, 타일, 벽돌, 아스팔트 등의 이물질 등으로 구성되어 있다.

이러한 구성으로 인해 순환골재가 콘크리트의 공학적 특성에 악영향을 미치므로 폐콘크리트를 재활용한 순환골재를 고부가가치 형태의 콘크리트용 골재로 활용하기가 어려운 것이 현실이다.

따라서 본 장에서는 도내 순환골재의 특성에 관한 실태를 실험적으로 규명하고자, (KS F 2508-07)굵은 골재의 마모시험 방법에 의해 순환골재 회전수 0회(A), 순환골재 회전수 100회(B), 순환골재 회전수 300회(C), 순환골재 회전수 500회(D)를 통하여 표면처리된 시료를 구분하였고 이를 비교하기 위해 일반골재(E)를 본 실험대상에 적용하고자 시료를 채취하였다.

### 3.1 실험계획

순환골재의 특성을 파악하기 위하여 표면처리 변수로 설정된 실험계획은 순환골재 회전수 0회를 A, 순환골재 회전수 100회를 B, 순환골재 회전수 300회를 C, 순환골재 회전수 500회를 D, 일반골재를 E 로 하여 실험계획을 작성하였다.

<표 3.1> 순환골재의 실험항목

순환골재 특성	굵은골재		
물리적 특성	· 밀도 및 흡수율 · 입자모양판정실적률	· 단위용적질량	
역학적 특성	· 마모감량	· 슬럼프, 공기량	· 압축강도

순환골재 및 보통골재는 <표 3.1> 과 같이 물리적 특성 및 역학적 특성을 파악하고, 그에따른 시험방법은 KS 기준을 준수 하였다.

<표 3.2> 순환골재의 변수(마모 시험 회전수)

순환골재 및 일반골재				
구 분	종 류	회 전 수	시 료 량(kg)	입 도 구 분
A	순환골재	0	50	-
B	순환골재	100	50	b
C	순환골재	300	50	b
D	순환골재	500	50	b
E	일반골재	0	50	b

\* 입도 구분이 b타입은 마모시험은 KS F2508 의 입도구분임.

순환골재를 굵은 골재의 마모시험KS F 2508-07 방법에 의해 순환골재 회전수 0회, 회전수100회, 회전수 300회, 회전수 500회전을 통하여 표면처리된 시료를 구하였고 이를 비교하기 위해 일반골재를 본 실험에 적용하고자 시료를 채취하였다.

<표 3.3> 순환골재 및 일반골재 배합질량

사용 배합표 25-24.0-120									
구 분	W/C (%)	S/a (%)	AE/C (%)	질량배합( $kg/m^3$ )					
				C	W	G	S1	S2	AD
A	57	49	0.05	325	185	823	508	338	1.625
B	57	49	0.05	325	185	830	508	338	1.625
C	57	49	0.05	325	185	844	508	338	1.625
D	57	49	0.05	325	185	847	508	338	1.625
E	57	49	0.05	325	185	884	508	338	1.625

표면처리된 순환골재 및 일반골재를 동일한 W/C와 S/A 를 적용하여 질량배합을 하고, 질량에 따른 용적은 30ℓ로 실험실 간이 믹서로 배합설계하였다. 배합설계시 슬럼프 및 공기량을 측정하고 압축강도는 28일 강도로 하였다.

### 3.2 실험방법

“건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률” 제35조의 규정에 근거한 “순환골재 품질기준”과 KS F 2573 (콘크리트용 순환골재) 을 근거로 순환골재의 실험항목 및 실험방법은 <표 3.4>과 같다.

<표 3.4> 순환골재의 실험방법

구분		실험항목	실험방법	
종류	특성		규격번호	규격명
순환 굵은 골재	물리 적	밀도 및 흡수율	KS F 2503	굵은골재의 밀도 및 흡수율 시험방법
		단위용적질량	KS F 2505	골재의 단위용적질량 및 공극률 시험방법
	특 성	입자모양판정실적률	KS F 2527	콘크리트용 부순골재 (6.2)
	역 학 적	마모감량	KS F 2508	로스엔젤레스 시험기에 의한 굵은골재의 마모 시험방법
		특 성	슬럼프,공기량, 압축강도	KS F 4009

### 3.2.1 사용재료

본 실험에 사용된 재료는 시멘트, 일반골재, 표면처리된 순환골재, 혼화제, 배합수로서 물리적 성질은 다음과 같다.

#### (1) 시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 KS L 5201에 규정된 D사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트로 물리적 특성은 <표 3.5>와 같다.

<표 3.5> 시멘트의 물리적 성질

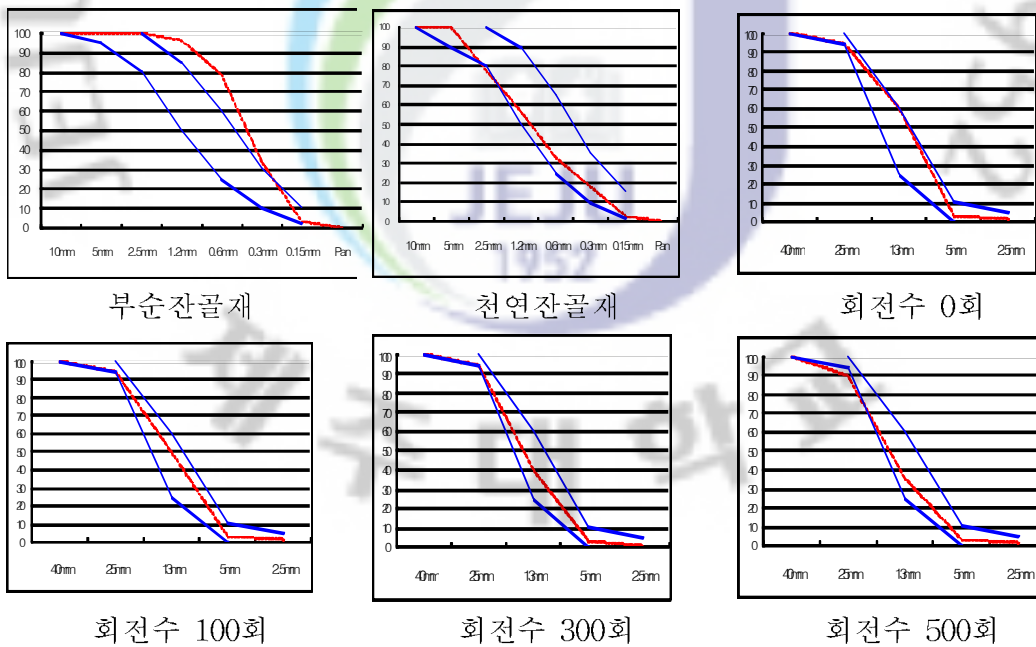
밀도 ( $g/cm^3$ )	분말도 ( $cm^2/g$ )	응 결		안정도 (%)	압축강도(MPa)		
		초결(분)	종결(분)		3일	7일	28일
3.15	3 400	213	270	0.15	31.1	50.2	67.5

#### (2) 골재

본 실험에 사용된 골재의 물리적 성질은 <표 3.6>과 같고 골재의 입도곡선은 [그림 3.1]에서 나타냈다. 보통골재로서 잔골재는 ZZE 인근바닷모래를, 일반골재는 제주도 북촌의 쇄석골재를, 순환골재는 제주시에 소재한 J사에서 생산된 순환골재를 사용하였다.

<표 3.6> 골재의 성질

골재종류		조립률	절건밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	표건밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	흡수율 (%)	마모감량 (%)	
잔골재	천연골재	2.02	2.55	2.58	1.86	-	
	부순잔골재	3.31	2.58	2.60	2.12	-	
굵은골재	보통골재	쇄석	6.31	2.58	2.60	2.26	31.2
	순환골재	0 회	7.03	2.28	2.34	4.52	0
		100 회	6.78	-	-	-	-
		300 회	6.23	-	-	-	-
		500 회	5.68	-	-	-	-



[그림 3.1] 골재의 입도곡선

### (3) 혼화제

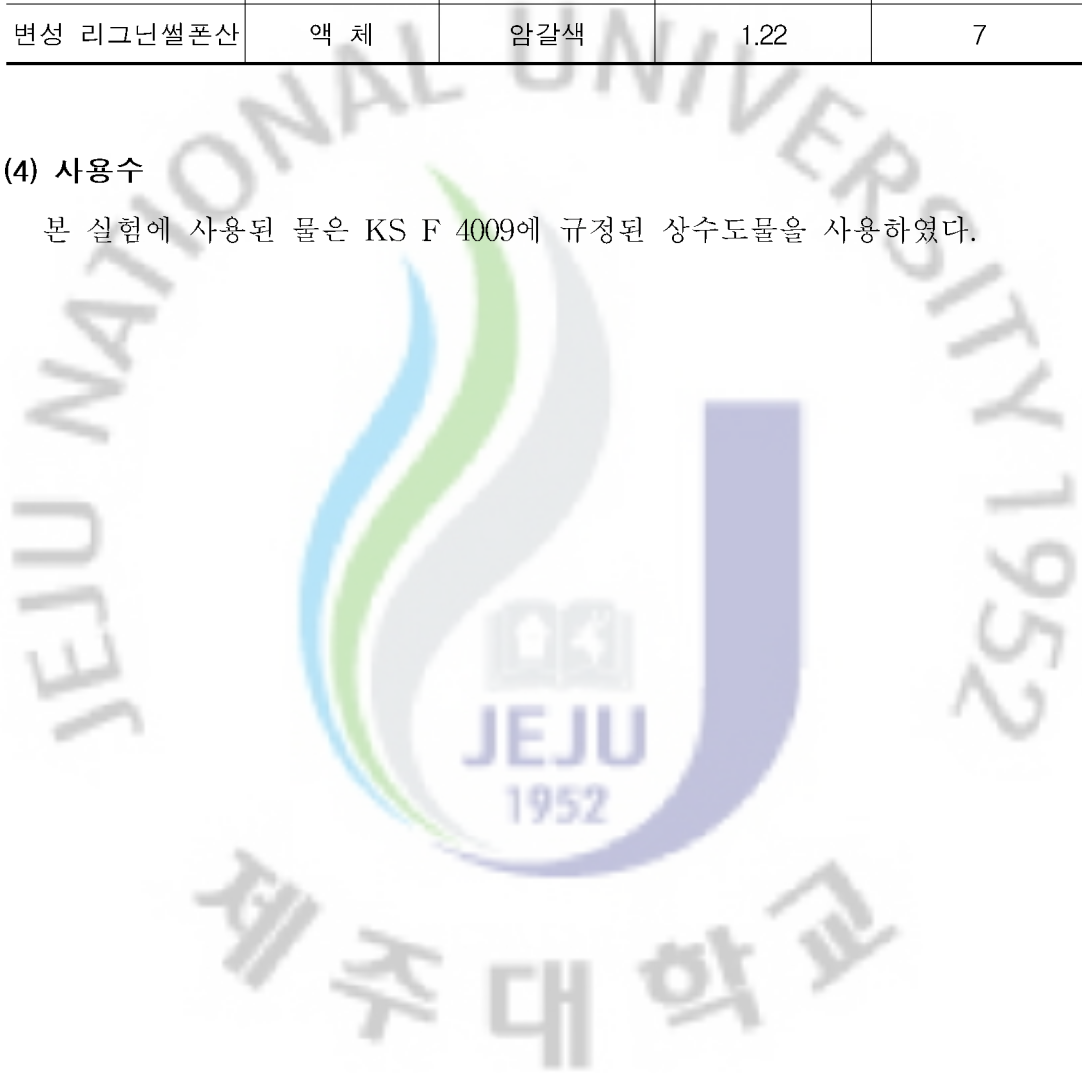
본 실험에 사용된 혼화제의 물리적 성질은 <표 3.7>, 에서 나타낸 바와 같이 AE 감수제 표준형은 국내 E사의 제품을 사용하였다.

<표 3.7> AE 감수제 표준형 ATA-100 의 물리적 성질

주 성분	형 태	색 상	비중(20℃)	pH(20℃)
변성 리그닌설폰산	액 체	암갈색	1.22	7

### (4) 사용수

본 실험에 사용된 물은 KS F 4009에 규정된 상수도물을 사용하였다.





## 제 4 장 실험결과 및 분석

### 4.1 실험결과(물리적특성)

#### 4.1.1 밀도 및 흡수율

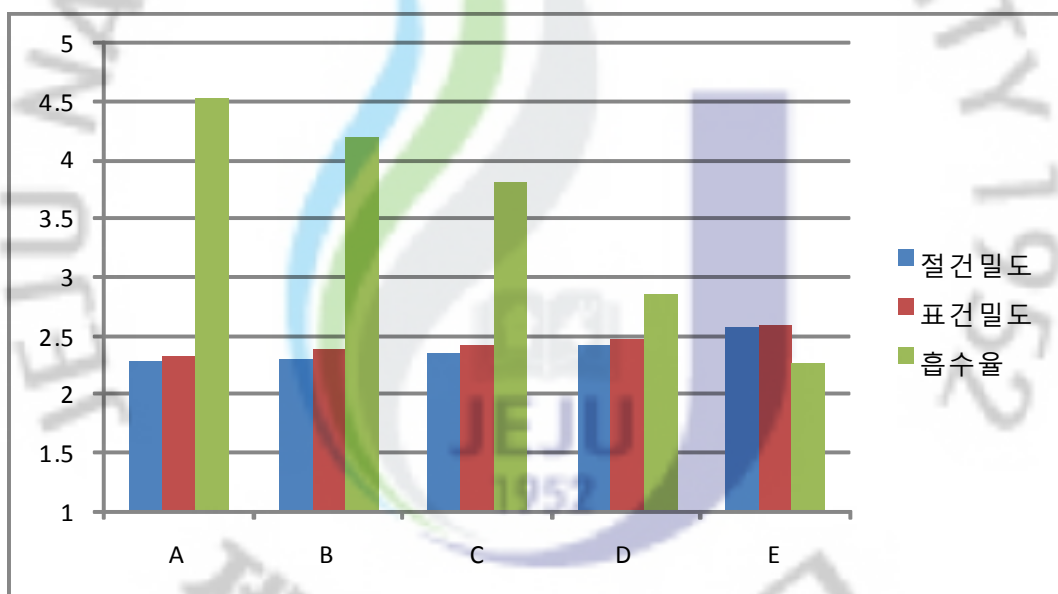
표면처리된 순환 굵은골재의 밀도 및 흡수율에 대한 실험결과를 <표 4.1>와 실험사진은 [그림 4.1]에 나타내었으며, 25mm 일반 골재는 절건밀도가 2.58, 흡수율이 2.26 으로 골재 기준을 만족하고 있는 것으로 나타났다. 그리고 표면처리를 위하여 순환골재 마모를 0회 시킨것은 절건밀도가 2.28, 흡수율이 4.52이고, 순환골재 마모를 100회 시킨것은 절건밀도가 2.30, 흡수율이 4.20이고, 순환골재 마모를 300회 시킨것은 절건밀도가 2.36, 흡수율이 3.10이고, 순환골재 마모를 500회 시킨것은 절건밀도가 2.43, 흡수율이 2.85 로 값이 측정되었다.

전체적으로 마모회전수를 높인(500회)것이 마모회전수를 낮춘(0회)골재보다 흡수율이 낮은 것으로 나타났으며, 이로부터 파쇄공정단계에 따라 순환골재의 품질이 영향을 받는다는 사실을 파악할 수 있었다.

순환골재의 품질은 제조설비와 연관성이 매우 높기 때문에 경제성이 고려된 고품질의 순환골재를 생산할 수 있는 제조설비가 구축되지 않은 현재의 시점에서 향후 관련 환경여건이 조성된다면 도내 순환골재의 품질은 향상될 것으로 판단된다.

<표 4.1> 순환굽은골재의 밀도 및 흡수율 실험결과

구분	G <sub>max</sub> (mm)	1st			2nd			
		절건밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	표건밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	흡수율 (%)	절건밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	표건밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	흡수율 (%)	
A	0 회	25	2.28	2.34	4.52	2.28	2.35	4.52
B	100 회	25	2.30	2.38	4.20	2.32	2.37	4.19
C	300 회	25	2.36	2.42	3.82	2.38	2.42	3.71
D	500 회	25	2.43	2.48	2.85	2.42	2.46	2.84
E	쇄석	25	2.58	2.60	2.26	2.59	2.60	2.25



[그림 4.1] 골재의 밀도 및 흡수율 결과



[그림 4.2] 골재의 밀도 및 흡수율 시험

#### 4.1.2 단위용적질량 및 입자모양 판정실적률

순환골재의 단위용적질량 및 입자모양판정실적률에 관한 실험결과는 <표 4.2>와 실험사진은 [그림 4.3]에 나타냈다.

<표 4.2> 순환굵은골재의 단위용적질량 및 입자모양판정실적률 실험결과

구 분		단위용적질량 (kg/L)	입자모양판정실적률(%)
품질기준		-	55 이상
A	0 회	1.26	55.30
B	100 회	1.34	56.10
C	300 회	1.41	57.23
D	500 회	1.49	58.89
E	일반골재	1.51	61.20



[그림 4.3] 단위용적 질량 및 실적률 시험

<표 4.2>와 같이 순환굼은골재의 단위용적질량은 1.26~1.49kg/L의 범위이고 평균은 1.34kg/L이며, 전체적으로 표면처리를 한것이 마모회전수를 높인 골재가 대략 15.4% , 0.2kg/L 정도 큰 경향을 보이고 있는 것으로 나타났다. <표 4.2>와 같이 순환굼은골재의 입자모양판정실적률은 55.30~58.89%의 범위이고, 평균은 56.88%로써, 모든 순환굼은골재가 “순환골재 품질기준”에서 규정하고 있는 55% 이상을 만족하고 있는 것으로 나타났다.

## 4.2 실험결과 (역학적특성)

순환굼은골재의 역학적 특성을 파악하기 위하여 표면처리된 순환골재를 이용하여 마모감량, 슬럼프, 공기량, 압축강도에 관한 실험을 실시하였다.

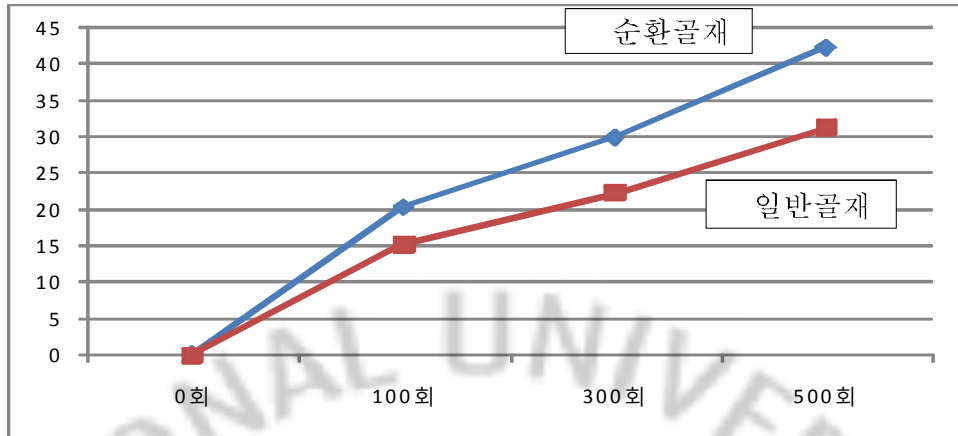
### 4.2.1 마모감량

<표 4.3>에서 보는바와 같이 순환 굵은골재의 마모감량은 20.37~42.3% 범위이고 평균은 30% 정도로 회전수 0의 골재들은 “순환골재 품질기준”에서 규정한 40% 이하를 만족하지 못하는 것으로 나타났고, 회전수 100회 이상의 순환골재는 보통골재의 마모감량과 비슷한 것으로 나타났다. 전체적으로 순환골재의 마모감량은 회전수 0의 골재만을 제외하고는 20% 이상으로서 ASTM C 33 (Standard Specification for Concrete Aggregates)의 기준과 “순환골재 품질기준”을 대부분 만족하지만 마모 특성이 매우 약하게 나타났다. 그러나 국내 순환골재의 마모감량이 상당히 약한 특성을 나타내고 있지만, ASTM C 33에 의하면 콘크리트용 골재의 마모감량은 일반적으로 50% 이하를 기준값으로 설정하고 있기 때문에, 국내 순환골재를 콘크리트에 활용하는데 있어 마모감량은 큰 문제가 되지 않을 것으로 판단된다. 비교검증을 위하여 일반골재를 비교대상으로 삼고 실험사진은 [그림 4.4~4.5]에 나타냈다.

<표 4.3> 순환굵은골재의 역학적 특성 실험결과

구 분		마모감량 (%)	
		순환골재	일반골재
구 분		40 이하, 50 이하 <sup>(1)</sup>	
A	0회	0.00	0.00
B	100회	20.37	15.17
C	300회	29.90	22.30
D	500회	42.30	31.20

주 (1) ASTM C 33 (Standard Specification for Concrete Aggregates)에서의 기준값



[그림 4.4] 굵은 골재 마모감량 시험 결과



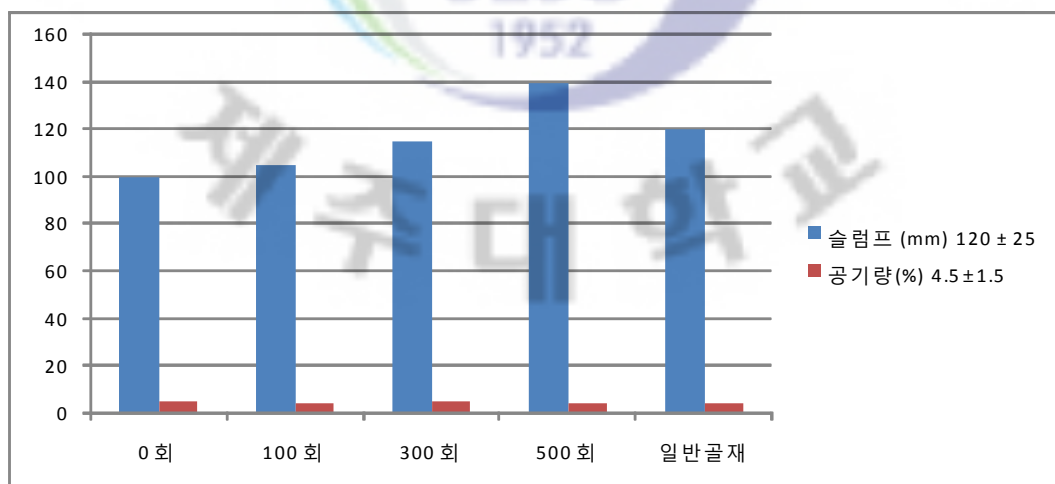
[그림 4.5] 굵은 골재 마모감량 시험

## 4.2.2 슬럼프 및 공기량

<표 4.4>에서 나타난 것과 같이 슬럼프 및 공기량에 대한 결과이다. 슬럼프 측정결과는 마모 회전수에 따라 조금씩 차이는 있으나 결과값에는 경미한 영향을 미치는 것 같다. 공기량 측정결과는 마모 회전수와는 관계가 크지 않다고 판단되지만 전체적으로 일반골재 보다는 높게 측정되었다. 실험사진은 [그림 4.7~4.8]에 나타냈다. [그림 4.6]에서 볼 수 있듯이 동일 물-시멘트비에서 슬럼프의 영향은 표면처리의 횟수가 증가할 수록 증가하는 것으로 나타났다.

<표 4.4> 슬럼프 및 공기량 실험결과

구 분	슬럼프 (mm)	공기량(%)
품질기준	120 ± 25	4.5±1.5
A 0 회	100	5.0
B 100 회	105	4.8
C 300 회	115	4.9
D 500 회	140	4.8
E 일반골재	120	4.6



[그림 4.6] 콘크리트 슬럼프 및 공기량 결과



[그림 4.7] 콘크리트 배합 시험



[그림 4.8] 슬럼프 및 공기량 시험

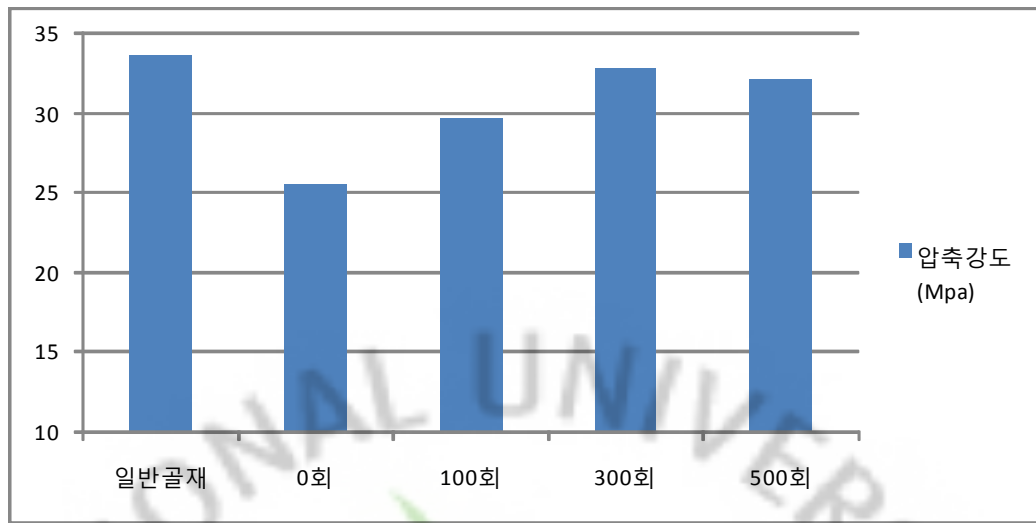


### 4.2.3 압축강도

<표 4.5>에서 보는바와 같이 압축강도 시험결과는 물-시멘트비 를 동일하게 하여 배합설계를 전체적으로 실시한 결과 일반 골재로 배합설계한 시료가 가장 높게 나타났으며, 표면처리를 위한 마모 회전수를 높일수록 강도는 상향하는 결과가 보이다가 회전수 500일때는 강도가 소폭감소 경향을 보이는 것으로 나타나고 있다. 이는 마모 회전수를 지나치게 높일 경우 골재의 입형이 작아져서 그에 따른 설계 보정이 이루어 지지않은채 배합설계가 이루어 져서 강도가 작게 나타나는 것으로 보여진다. 실험사진은 [그림 4.9]에 나타냈다.

<표 4.5> 순환굵은골재의 압축강도 실험결과

구 분		압축강도 Mpa (28일)													평균
		1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	9회	10회	11회	12회	13회	
A	0회	25.9	24.8	25.9	25.8	26.1	24.9	25.5	25.6	26.0	25.4	25.5	26.0	25.1	25.6
B	100회	28.3	29.5	30.1	28.6	29.9	31.2	30.4	28.5	29.5	29.4	28.8	30.4	31.5	29.70
C	300회	32.6	33.5	30.9	33.5	31.5	32.6	33.4	32.7	33.8	33.5	34.0	33.8	32.4	32.94
D	500회	31.2	33.2	31.6	32.8	33.9	31.5	33.5	32.8	31.2	32.2	31.8	30.4	32.9	32.23
E	일반 골재	32.8	33.5	33.9	34.5	33.2	34.5	33.8	32.9	33.7	34.3	33.1	33.6	33.9	33.65



[그림 4.9] 콘크리트 압축강도 시험 결과



[그림 4.10] 콘크리트 압축강도 시험 전경

## 제 5 장 결 론

본 연구는 표면처리된 순환골재를 사용한 콘크리트의 압축강도 특성을 파악하기 위하여 순환골재의 물리적·역학적 특성과 콘크리트의 압축강도의 변화를 실험을 통해 살펴보았다.

본 연구에서 도출된 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1 표면처리된 순환굵은골재의 압축강도는 A(0회), B(100회), C(300회), D(500회) 각각 25.6, 29.7, 32.9, 32.2 Mpa 범위로 나타났다. 일반골재의 압축강도(33.6 Mpa)와 비교하여 2.0 ~ 23.8% 정도 차이를 보이고 있다.

2 순환골재를 표면처리함으로써 압축강도는 증가하였고, 300회 표면처리한 순환골재인 경우 일반골재를 사용한 시험체와 비교하여 약 2% 정도의 차이를 나타냈다. 표면처리 함으로서 순환골재 콘크리트의 품질이 개선되었다.

3 순환굵은골재의 흡수율은 2.85~4.52% 범위로 표면처리를 거치지 않으면 KS기준 범위에 벗어나는 점을 알 수 있었다.

4 순환골재의 단위용적질량 및 입형판정 실적률은 단위용적 질량이 1.26~1.49kg/L 수준으로 일반 채석골재 1.51kg/L에 비해서는 16.5% 차이가 나타나고 있다. 입형판정 실적률인 경우 55.30~58.89%로 시료가 “순환골재 품질기준”을 만족하였다.

5 순환골재의 역학적 특성으로 순환굵은골재의 마모감량은 20.3~42.3% 범위로 ASTM C 33의 기준값인 50% 이하를 만족하지만, 표면처리를 위한 마모회전수를 500회 정상방법으로 하였을 때는 “순환골재 품질기준”에서 규정한 40% 이하를 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 그러나 ASTM C 33의 기준을 만족하고 있기 때문에, 도내 순환골재를 구조용 콘크리트에 활용하는데 있어 마모감량은 큰 문제가 되지 않을 것으로 판단된다.

6 순환골재의 물리적 특성으로 순환굵은골재의 절건밀도는 2.28~2.44 범위로 전체 실험 대상시료 중 “순환골재 품질기준”에서 규정한 2.50 이상을 만족하지 못하는 결과가 나타났다. 고품질의 순환골재를 생산하기 위해서는 관련 생산기술의 개선과 보완이 필요할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- 국립환경과학원, (2008), “2007 전국 폐기물 발생 및 처리현황”, 환경부, 발간등록번호 11-1480523-000003-10.
- 송영주, (2005), “재생골재 마모시험과 특성연구” 한국콘크리트학회 논문집, Vol.17, No.1..
- 정지용, 심중우, 이세현, (2006). “재생골재 입형이 재생골재 콘크리트의 압축강도와 슬럼프에 미치는 영향”, 한국콘크리트학회 논문집, Vol.18, No.1.
- 남상일, (1995), “재생골재콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구”, 충남대학교 박사학위논문.
- 서치호, 김병윤,(2005), “재생골재 콘크리트의 내구특성에 관한 실험적 연구”, 한국 콘크리트학회 논문집, Vol.17, No.3, pp.385~392.
- 이세현, 서치호, (2001), “고강도 영역의 재생골재 콘크리트의 물리적 특성”, 한국 콘크리트학회 논문집, Vol.13, No.6.
- 이세현, (2001), “재생골재콘크리트의 성능개선에 관한 연구”, 건국대학교 박사학위 논문.
- 유덕룡, (2007), “라텍스 개질 순환골재콘크리트의 공학적 특성에 관한 연구), 전남대학교 박사학위논문.
- 정재동, (2004), “재생골재를 사용한 콘크리트의 강도발현특성과 내구성에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, Vol.20, No.9, pp.119~126.
- 한국전자재시험연구원, (2005), “재생콘크리트 품질기준 및 시험방법 표준화에 관한 연구”, 산업자원부.

## 감사의 글

학위과정과 직장생활을 병행하면서 많은 분들의 은혜를 받아 오늘의 결실을 맺게 되었기에 도와주신 모든 분에게 감사의 마음으로 글을 올립니다.

본 논문이 완성되기까지 학술적인 지원과 논문의 세세한 부분까지도 지도하고 가르쳐 주신 박상렬 지도교수님 진심으로 감사드립니다. 심사위원장으로 학문적인 면은 물론이고 인격수양에 까지 귀중한 가르침을 주신 김상진 교수님에게 머리 숙여 감사드립니다. 그리고 심사과정에서 많은 지도와 조언을 아끼지 않으신 이동욱 교수님에게 감사의 마음을 전합니다. 그리고 항상 제주대학교 발전 및 토목학과의 발전을 위해 노력하시고 헌신하시는 김남형 교수님, 양성기 교수님, 남정만 교수님, 이병걸 교수님에게도 진심으로 머리숙여 감사드립니다.

그리고 배움의 길을 걷기에 직장인이 시간적 한계를 극복하고 학업에 정진할수 있도록 배려해 주신 백록레미콘 김명자 회장님, 박원철 사장님, 김수근 전무님이 배풀어 주신 사랑 마음속 깊이 간직하고 다짐하면서 고마운 마음 전합니다. 그리고 본 논문이 완성되기까지 항상 도와주고 참여해주 김창훈 박사학위 과정 선배님, 좌용현님도 고마운 마음 간직하겠습니다.

본 논문을 시작하면서 많은 조언과 격려를 아끼지 않으시고 도와주신 한국 전자채 시험연구원 유덕룡 박사님, 한국표준협회 백천주 부장님, 한국레미콘 협동조합 이우종 팀장님, 그리고 실험에 참여하여 같이 작업하고 동고동락한 김운용 차장님, 김재호님 그리고 가족같은 백록레미콘 직원들 진심으로 고맙습니다.

멀리 광주에서 아우의 논문에 관심 가져주시고 조언과 격려를 해주신 김신철 팀장님, 한서은 팀장님, 송재광 팀장님에게도 고마움을 전합니다.

그리고 대학원 과정을 보람있고, 활기차게 보낼 수 있도록 항상 따뜻하게 배려해주신 10기 선배님, 11기 동기 이원민님, 강행근님, 김용탁님, 권성국님, 김희준님, 심재용님, 김원철님, 홍승종님, 윤승환님 그리고 12기 후배님 등 여러 선후배님들께도 진심으로 감사드립니다.

조금은 늦은듯한 나이에 학문의 길을 열어 갈수 있도록 힘과 용기를 주신 아버지님, 어머니님 그리고 장모님 감사드립니다.

항상 내 옆에서 헌신하고 뒷바라지 해준 예쁜신부 행자 진심으로 사랑한다. 그리고 항상 바르고 모범적인 큰아들 세진이, 우리집 귀염둥이 민범이 와 오늘의 이 기쁨을 함께 나누고자 합니다.

이제 시작이라는 신념으로 앞으로 더욱더 정진할 것이며 항상 겸손하고 신의를 지키면서 가치있는 인생을 살아갈것을 저를 알고 있는 모든 분들에게 약속드립니다.

2010년 2월

고은효 올림