

# 폐석회석의 분말도 변화에 따른 콘크리트의 특성분석

## An Analysis on Concrete Properties with the Fineness of Waste Limestone

류 현 기\*

Ryu, Hyun-Gi

우 종 권\*\*

Woo, Jong-Kwon

### Abstract

According as industry develops rapidly, problem of resources exhaustion and environmental pollution is appearing. Way to use construction waste that is development of new compound material and Industry product is required. Limestone powder that is Industry product is  $CaCO_3$ , and viscosity is promotion effect because there is no damage to hydration of cement and powder is very thin and water tightness increases.

This research purposed to analyze concrete property changing limestone fineness. According as the limestone powdered replacement ratio increases, slump and unit capacity mass increased, and the air content decreased according as the replacement ratio increases. Compressive strength and tensile strength decreased according as the limestone powder replacement ratio increases.

키 워 드 : 폐석회석, 시멘트대체재료, 분말도, 압축강도

Keywords : Waste Limestone , Cement replacement, Fineness, Compressive strength

## 1. 서 론

산업의 급속한 발달과 고도의 경제성장에 의해 자원 사용량이 증대되고 제품생산에 따른 환경오염에 대한 문제로서 대기 오염 등의 심각한 문제점으로 대두되어 산업폐기물이나 부산물을 건축재료로 활용하는 방안이 적극적으로 검토되고 있는 실정이다.

특히, 시멘트 및 콘크리트 제품의 제조업체에서도 시멘트의 사용량이 점점 증가하고 있고 있음에 따라 시멘트 대체재료를 활용하기 위하여 시멘트의 사용량을 줄이기 위한 방안의 일환으로 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 이 중 산업 부산물의 일종으로 시멘트 제조 과정 중 발생하는 석회석( $CaCO_3$ )에 관한 연구는 표 1과 같이 진행되었으며, 석회석은 시멘트 원료의 주성분으로 사용되어지고 있어 시멘트 대체재료로서 사용이 기대된다.

따라서 본 연구에서는 광산 및 시멘트 제조회사에서 버려지는 폐석회석을 이용하여 건설재료로 활용한다면, 자원 재이용 측면에서 효과적인 것이다. 특히, 폐석회석의 분말도를 조절하여 시멘트 대체재료로 혼입하여 활용한다면 시멘트 및 콘크리트에 시멘트의 사용량을 절감할 수 있는 효과와 폐자원의 재활용적인 측면에서의 경제적 측면과 내구성, 수밀성 향상 등 많은 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

그러므로 본 연구에서는 폐석회석의 분말도 변화를 주어 시멘트 대체재료로 치환, 활용함으로써 콘크리트의 특성에 미치는 영향을 비교 분석하여 실무에 활용가능성에 대한 참고자료를

를 제시하고자 한다.

표.1 국내의 주요 연구내용

연구자	주요내용
한천구 류현기 (1995)	광산폐석을 콘크리트용 골재로서의 활용에 관한연구를 실시하여 광산폐기물 중 석회석 폐석 골재를 활용하고자 하는 연구 진행
김무한 (1995)	석회석 분말을 사용한 고유동 콘크리트의 응결특성에 관한 연구 발표
정준덕 (1997)	석회석을 이용한 콘크리트용 인공모래 제조로 석회석에 대한 콘크리트용 잔골재로 적용한 기초적 연구가 있어 콘크리트용 골재로서의 가능성 시사
박철립 (1998)	플라이애시와 석회석 분말을 이용한 초유동 콘크리트의 레올로지 특성에 관한 연구를 발표하여 석회석 분말의 고유동 콘크리트에서의 적용 가능성을 시사

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 2와 같고, 그 배합사항은 표 3과 같다. 먼저, 실험요인으로 W/B는 45%와 55%의 2수준으로 하며, 목표슬럼프  $18 \pm 2$ cm, 공기량을  $4.5 \pm 1.5\%$ 범위를 만족 하도록 하였다.

\* 충주대학교 건축공학과 교수, 공학박사, 정회원

\*\* 충주대학교 대학원 석사과정, 정회원

표 2. 실험계획

실험요인		실험수준	
배합 사항	W/B (%)	2	45, 55
	목표 슬럼프(cm)	1	18±2
	목표 공기량(%)	1	4.5±1.5
	석회석 치환율(%)	4	0(Plain), 10, 20, 30 (분말도 6500의 경우 0~ 50%까지)
	석회석 분말도 (cm <sup>3</sup> /g)	3	1500, 4500, 6500
실험 사항	굳지않은 콘크리트	4	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 슬럼프</li> <li>· 공기량</li> <li>· 불리당량</li> <li>· 응결시간 측정</li> </ul>
	경화 콘크리트	3	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 압축강도 (재령 7, 28일)</li> <li>· 인장강도 (재령 7, 28일)</li> <li>· 흡수시험 (재령 21일)</li> </ul>

표 3. 배합 사항

W/B (%)	단위 수량 (kg/m <sup>3</sup> )	S/a (%)	AE 감수계 (%)	석회석 분말도 (cm <sup>3</sup> /g)	석회석 치환율 (%)	질량 배합(kg/m <sup>3</sup> )							
						C	석회석	S	G				
45	179	37	0.40	1500	0	397	0	605	1,092				
					10	358	39	603	1,089				
					20	318	79	602	1,086				
					30	278	119	600	1,083				
					4500	10	358	39	603	1,089			
						20	318	79	602	1,086			
				30		278	119	600	1,082				
				6500	10	358	39.8	603	1,088				
					20	318	79.6	601	1,085				
					30	278	119	599	1,081				
				55	185	37	0.70	1500	0	336	0	618	1,115
									10	302	33	616	1,112
20	269	67	615						1,110				
30	235	100	613						1,107				
4500	10	302	33						616	1,112			
	20	269	67						615	1,109			
	30	235	100					613	1,107				
6500	10	302	33					616	1,112				
	20	269	67					614	1,109				
	30	235	100					613	1,106				
								40	201	134	616	1,103	
								50	168	168	609	1,100	

시멘트 대체재료로 석회석 미분말을 치환 사용하기 위하여 분말도를 1500, 4500, 6500(cm<sup>3</sup>/g) 3개 수준으로 정하였으며, 석회석 미분말의 치환율은 분말도 1500과 4500의 경우는 시멘트 중량에 대하여 10%에서 30%까지, 분말도 6500에서는 10%에서 50%까지 각각 10%씩 치환율을 증가시켜 실험계획 하였다. 실험

사항으로 굳지 않은 콘크리트는 슬럼프, 공기량, 단위용적 질량, 관입저항에 의한 응결시간을 측정하였으며, 경화콘크리트에서는 계획된 재령에 따라 압축강도, 인장 강도, 흡수시험 등을 실시하도록 하였다.

## 2.2 사용재료

본 실험에 사용한 재료의 물리적 및 화학적 성질은 다음의 표 4~6과 같다. 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드시멘트를 사용하고, 잔골재는 충주시 양성면 강모래를 사용하고, 굵은골재는 최대치수 20mm의 부순 골재를 사용하도록 하였다. 본 실험에 사용하는 잔, 굵은골재의 입도곡선은 그림 1과 같다. 석회석 미분말은 강원도 옥동산 석회석을 사용하며, 그 물리 및 화학적 성질은 다음 표 5와 같다.

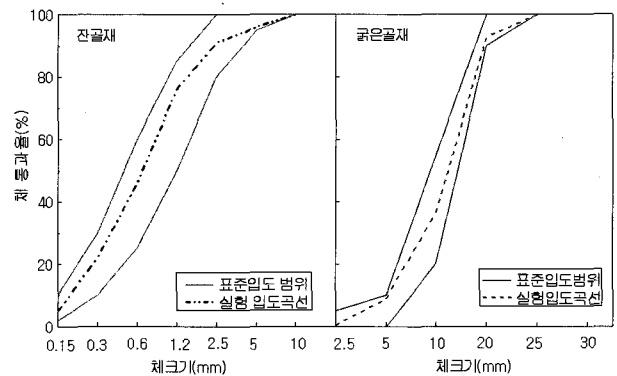


그림 1. 잔골재 및 굵은 골재의 입도곡선

표 4. 시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>3</sup> /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
			초결	중결	3일	7일	28일
3.15	3,480	0.06	250	438	22.6	31.3	39.8

표 5. 골재의 물리적 성질

골재 종류	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	조립 물 (F.M)	흡수율 (%)	단위용적질량 (kg/m <sup>3</sup> )	입형관정 실적률 (%)	No.200 체통과율 (%)
잔골재	2.52	2.6	2.35	1,595	64.6	3.0
굵은골재	2.67	7.2	0.8	1,529	57.3	-

표 6. 폐석회석 미분말의 물리 및 화학적 성질

구분	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>3</sup> /g)	MgO (%)	CaO (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	#325 (%)
분말도						
1500	2.76	1,500	1.16	53.16	2.10	53.6
4500	2.74	4,500	0.46	54.94	0.27	87.3
6500	2.7	6,500	1.06	54.09	0.77	91.3

## 2.3 실험방법

굳지 않은 콘크리트는 KS F 2041의 규정에 따라 시료를 채취한 후, 유동성의 척도인 슬럼프 시험을 KS F 2402 규정에 의거 실시하고, 공기 함유량 측정 시험은 KS F 2421의 굳지 않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기함유량 시험방법(공기실 압력

방법)에 의거 측정하도록 한다. 또한, 불리량과 응결시간 측정은 KS F 2421, KS F 2436 규정에 의거 실시하였다.

경화 콘크리트에 대해서는 압축강도, 인장강도, 흡수량에 대한 실험을 KS F 2403의 규정에 의하여 시험용 공시체를 제작, 표준 양생 후 KS F 2405와 KS F 2423의 규정에 따라 재령 7일, 28일 강도시험을 실시토록 하며, 흡수량은 28일 재령 경과 후에 측정하도록 하였다.

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 굳지 않은 콘크리트의 특성

##### 3.1.1 유동성

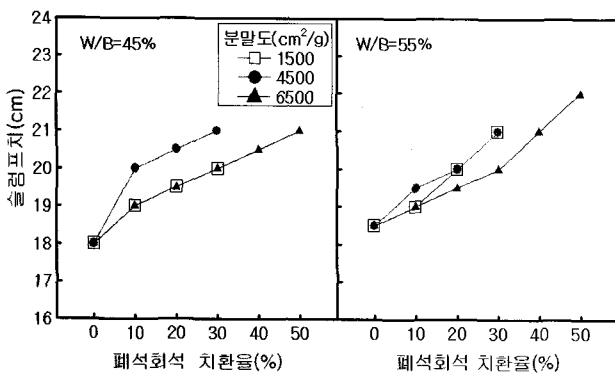


그림 2. 폐석회석 치환율 변화에 따른 슬럼프치

그림 2는 W/B별 폐석회석 치환율 변화에 따른 슬럼프치를 나타낸 그래프로써, 먼저 석회석 미분말의 치환율이 증가할수록 슬럼프치는 증가하는 경향으로 나타났다. 특히, 분말도 4500에서 분말도 1500, 6500의 경우보다 약 1cm정도 다소 높은 슬럼프치를 나타내었다.

W/B 45%에서는 분말도 4500의 경우에서 치환율 20, 30% 및 분말도 6500의 치환율 40, 50%에서는 각각 20.5와 21cm로 측정됨에 따라 유동성이 다소 크게 나타나, 목표 슬럼프치의 범위를 초과하였으며, 그 외의 치환율에서는 목표 슬럼프치를 만족하는 경향으로 나타났다. W/B 55%에서도 W/B 45%와 유사한 경향을 나타냄으로써 석회석 미분말의 양이 증가할수록 유동성은 증가하는 것을 알 수 있다.

##### 3.1.2 공기량

그림 3은 W/B별 폐석회석 치환율 변화에 따른 공기량을 나타낸 그래프로써, W/B 45% 및 55% 공히 모두 석회석 미분말의 분말도가 클수록, 치환율이 증가할수록, 공기량은 감소하는 경향으로 나타났고 특히, 분말도가 증가할수록 공기량은 낮아지는 경향을 나타내었다.

분말도 변화에 따른 공기량 특성으로 W/B 45%에서는 분말도 6500의 치환율 50%와 W/B 55%에서는 분말도 4500의 치환율 30%와 분말도 6500의 치환율 30, 40, 50%의 경우 목표 공기량 4.5±1.5%보다 낮은 공기량을 나타내었는데 이는 폐석회석 미립자의 첨가량이 증가할수록, 또한 미분말의 분말도가 클수

록 미세립자에 의한 콘크리트내의 미세공극 충전효과를 나타내어 공기량이 저하된 것으로 판단된다. 그 외의 분말도 변화에 따른 치환율에서는 KS허용한도 범위를 만족하는 것으로 나타내었다.

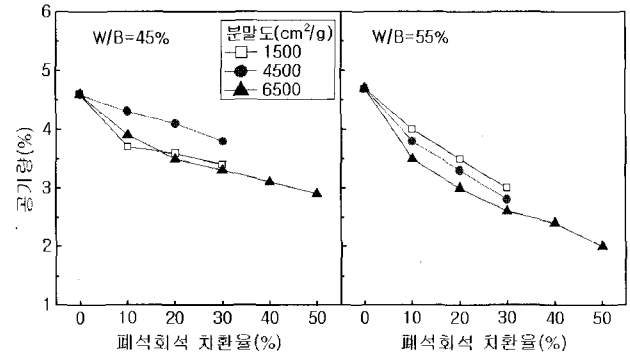


그림 3. 폐석회석 치환율의 변화에 따른 공기량

##### 3.1.3 단위용적질량

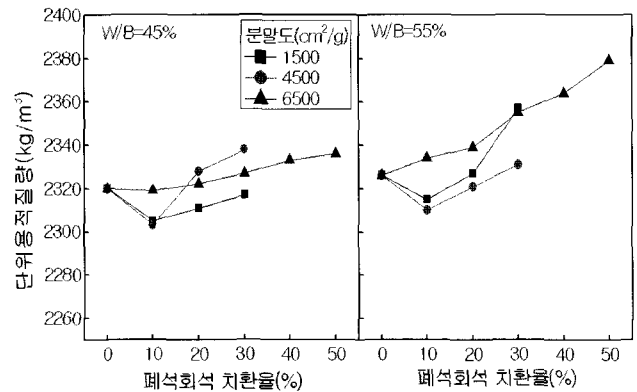


그림 4. 폐석회석 치환율 변화에 따른 단위용적질량

그림 4은 W/B별 석회석 치환율 변화에 따른 단위용적질량을 나타낸 그래프로써, 전반적 W/B 및 석회석 미분말의 분말도 변화에 따라 치환율이 증가할수록 단위용적질량은 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 석회석 미분말의 미립분이 공극을 충전하여, 공기량이 감소하여 단위용적질량이 증가한 결과로 판단된다.

##### 3.1.3 관입저항치에 의한 응결시간

그림 5 및 6은 W/B별 시간경과에 따른 관입저항치를 나타낸 것이다. 먼저, W/B 45%의 경우, 분말도 1500에서는 치환율이 증가할수록 응결시간이 Plain보다 약 2~3시간 정도 느리게 나타났으며, 분말도 4500, 6500에서는 대부분 석회석 미분말의 치환율이 증가할수록 응결시간은 Plain보다 빠르게 나타났고, 분말도 6500에서 치환율 40%에서 가장 빠른 응결시간을 나타내었다. 따라서, 분말도가 높을수록 전반적으로 응결시간은 빠른 것으로 나타났다. W/B 55%에서도 W/B 45%와 유사한 응결시간을 나타내었다. 이는 석회석의 미분말의 시멘트보다 비표면적의 증가 따른 유효수분을 흡수한 것으로 판단된다.

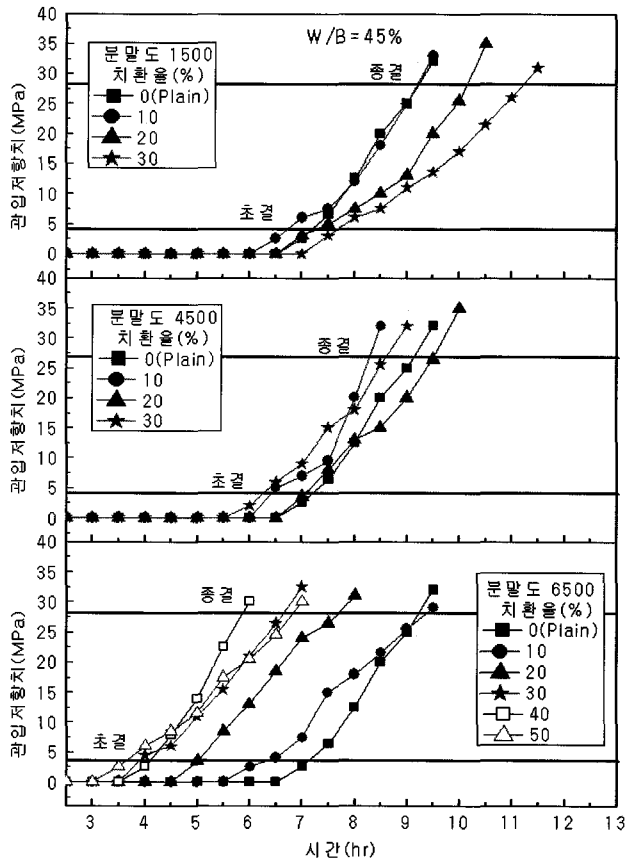


그림 5. 시간경과에 따른 관입저항치(W/B=45)

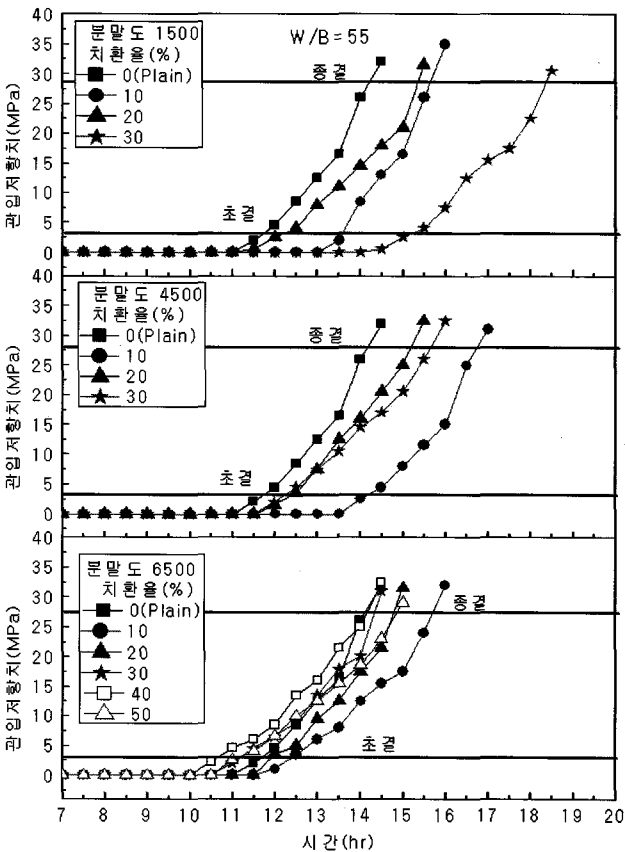


그림 6. 시간경과에 따른 관입저항치(W/B=55)

### 3.2 경화 콘크리트의 특성

#### 3.2.1 압축강도

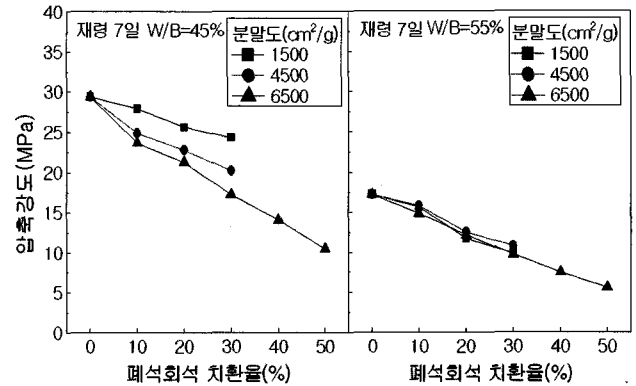


그림 7. 폐석회석 치환율 변화에 따른 압축강도(재령7일)

그림 7 및 8은 W/B별 폐석회석 치환율 변화에 따른 압축강도를 분말도변화에 따라 나타낸 그래프이다. 폐석회석 치환율이 증가할수록 압축강도는 저하하였으며 W/B 45%, 55%의 경우에서 Plain 보다 낮은 강도발현을 나타냈다. 특히, 분말도에 비해 분말도 1500의 경우가 높은 강도 발현을 나타내고 있으며, 분말도 6500에서 가장 낮은 강도가 발현 되는 것으로 나타났다.

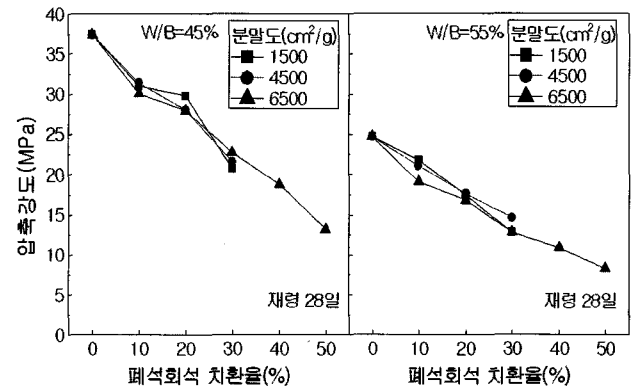


그림 8. 폐석회석 치환율 변화에 따른 압축강도(재령28일)

표준 재령 28일의 경우도 7일 재령과 유사하게 나타났는데 이는 W/B 45%의 Plain에서 37.3MPa로 가장 높은 강도를 나타내고 분말도 4500의 10%에서 다음으로 높은 강도를 나타내었으며 W/B 55%에서 분말도 6500의 50%에서 8.2MPa로 가장 낮은 강도 발현이 되는 것으로 나타내었다. 이와 같은 현상은 석회석 미분말이 다량 함유되어 단위시멘트량의 부족으로 충분히 수화하지 못한 결과로 판단된다.

그림 9는 기준배합에 대한 폐석회석의 치환율 변화에 따른 강도발현율을 나타낸 그래프로써 폐석회석의 치환율의 증가함에 따라 Plain보다 강도발현율은 감소하는 경향으로 나타났다. 폐석회석의 분말도가 증가함에 소폭의 감소 또는 증가하는 경향을 나타내었다.

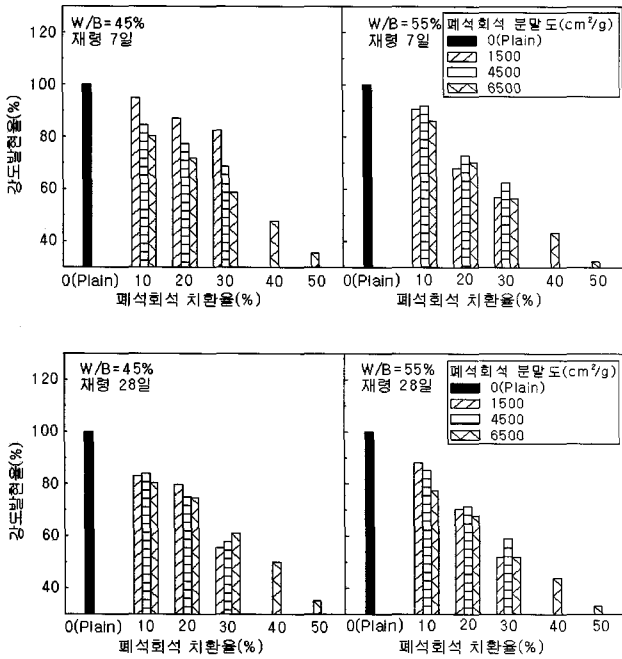


그림 9. 폐석회석 치환율 변화에 따른 강도발현율(재령7, 28일)

### 3.2.2 인장강도

그림 9 및 10은 W/B별 폐석회석 치환율 변화에 따른 인장강도를 나타낸 그래프로써 전반적으로 압축강도와 유사한 강도 발현을 나타내었고 모든 W/B에서 분말도 4500에서 가장 높은 강도를 나타내었다.

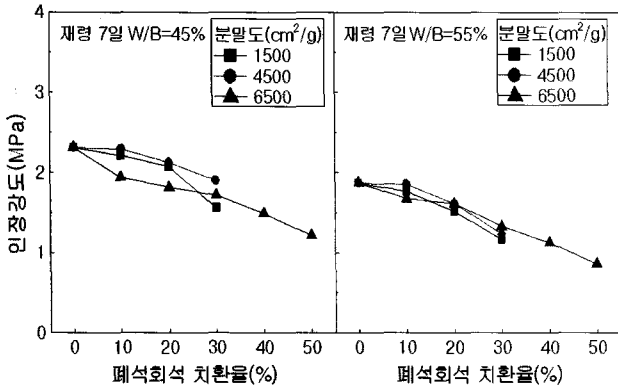


그림 9. 폐석회석 치환율 변화에 따른 인장강도(재령7일)

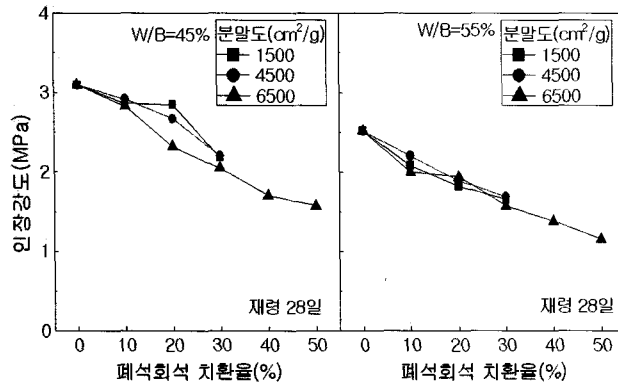


그림 10. 폐석회석 치환율 변화에 따른 인장강도(재령28일)

### 3.2.3 흡수시험

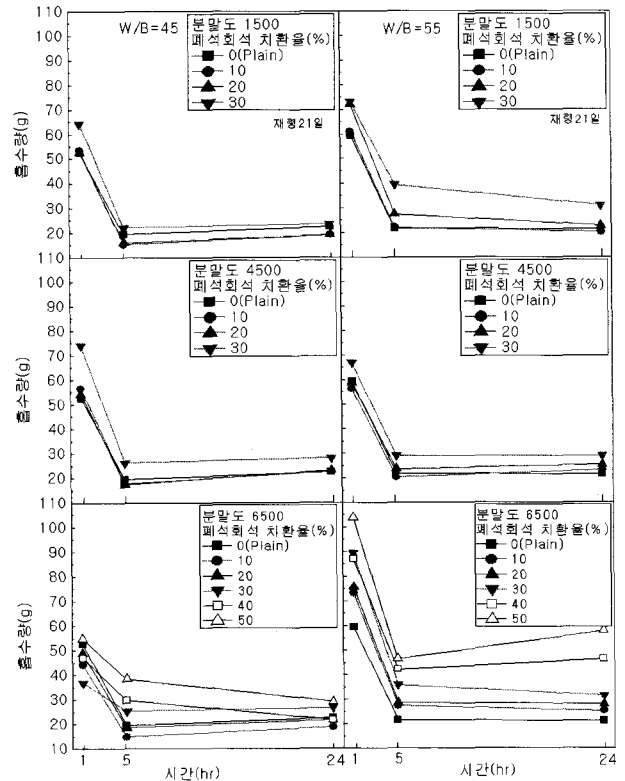


그림 11. 시간 경과에 따른 흡수량(재령 21일)

그림 11은 재령 21일에서 시간경과에 따른 흡수량을 W/B별로 나타낸 그래프이다. 먼저 W/B별 45%의 경우보다 W/B가 큰 55%에서 증가할수록 흡수량이 증가하는 경향으로 나타났고, 시간이 경과함에 따라 흡수량은 크게 감소하는 경향으로 나타났다. W/B 45% 및 55%에서 분말도 1500, 4500의 경우에서 폐석회석 치환율 10%의 경우에서 Plain과 비슷한 경향으로 나타났으며, 폐석회석 치환율 30% 이상에서는 Plain보다 흡수량이 다소 크게 나타났다. W/B 45%의 분말도 6500에서는 치환율 10%일 경우 가장 작은 흡수량을 나타나, W/B가 낮고, 분말도가 클수록 조직 치밀도의 여부에 따라 흡수량은 작은 것을 알 수 있었다.

### 4. 결론

본 연구에서는 폐석회석 미분말을 시멘트의 대체재료로서의 활용가능성을 파악하기 실험으로 석회석 미분말의 분말도 및 치환율 변화에 따른 콘크리트의 특성분석 결과는 다음과 같다.

- 1) 유동성은 W/B 및 분말도가 높을수록 증가하는 경향을 나타내었으며 폐석회석 치환율이 10% 증가할수록 슬럼프치는 약 0.5~1cm씩 증가하는 경향을 나타내었다.
- 2) 공기량은 분말도 및 치환율이 증가할수록 공기량은 감소하는 경향으로 나타내었으며 치환율 10% 증가할수록 약 0.5~1%씩 감소하는 경향을 나타내었다. 단위용적질량은 W/B 및 분말도, 폐석회석 치환율이 증가할수록 다소 증

가하는 것으로 나타남으로써 분말도가 미세할수록 콘크리트내의 모세공극 충전효과로 기여된 결과로 사료된다.

- 3) 응결시간은 W/B 증가할수록 응결시간이 지연되는 것으로 나타났으며 분말도가 높을수록, 치환율이 증가할수록 응결시간이 빨라지는 나타내었다.
- 4) 압축강도는 치환율이 증가할수록 강도는 감소하는 경향을 나타내었으며 분말도의 변화에서 따른 강도차이는 작게 나타났다. 인장강도는 압축강도와 유사한 강도 발현현상을 나타냄으로써 W/B 45% 및 55%에서 분말도 4500의 경우 치환율 10%에서 다른 분말도에 비해 보다 높은 인장강도를 나타내었다.
- 5) 흡수시험은 폐석회석 치환율이 증가할수록 흡수량이 증가하는 경향으로 나타났으며 모든 W/B에서 치환율 10%일 때 Plain과 비슷한 경향으로 나타났다.

이상 결론은 종합하면 폐석회석 치환율 10%에서 Plain과 유사한 결과로 나타났고 향후, 동결융해에 의한 내구성시험 및 장기강도 측정 등과 같은 시험을 통하여 지속적인 연구한다면 시멘트 대체재료로써 사용이 가능할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. 한국자원연구소, "폐기물 자원화·재활용 기술개발 연구개발계획서", 2000. 2
2. 한국콘크리트학회, "최신 콘크리트공학", 1992, 10 pp.453~476
3. 한국콘크리트학회, "콘크리트 혼화재료", 1997, 3
4. 조영근, 손진근, "고로슬래그미분말을 사용한 콘크리트 흡수에 대한 기초적 연구", 대한건축학회 가을 학술발표회 논문집, pp939~944, 2000"
5. 한천구, 조병영, "석회석 미분말을 사용한 시멘트 모르타의 기초적 특성", 대한건축학회 논문집, 제 18권 5호, pp.59~64, 2002. 5
6. 조중근, 한천구, "석회석 미분말의 함유율 변화에 따른 고유동 콘크리트의 특성", 대한건축학회 학술발표회 논문집, 제19권 2호, 1999, 10
7. 한천구, 조병영, "석회석 미분말 및 플라이애쉬 치환율 변화에 따른 고유동 콘크리트의 특성에 관한 연구", 대한건축학회 가을 학술발표회 논문집, pp287~292, 2001
8. 김무한, 신한식, 김문한, "건축 재료학", 2000, 1
9. 한천구, "콘크리트의 특성과 배합설계", 1998, 7
10. Ramakrishnan V ; "Evaluation of Kiln Dust in Concrete," Proc. 2nd Int. Conf. Fly Ash, Slica Fume, Slag and Natural Pozzolans in in Concrete, Madrid, 1986, pp.821~839
11. W.A. Gutterige and J.A. Daziell, Filler cement, Cement & Concrete Res., vol. 20, 1990, pp.778~782