

# 혼화재료를 혼입한 재생시멘트 모르타의 수화특성에 관한 연구

## A Study on Hydration Properties of Recycled Cement Mortar using Admixture Materials

박 차 원\*

Park, Cha-Won

강 병 희\*\*

Kang, Byeung-Hee

### Abstract

The purpose of this study was the development of a recycling process to recover the hydraulic properties of hydration products which account for a large proportion of cementitious powder from concrete waste. This process was performed to recycle cementitious powder as recycle cement. Therefore, after the theoretical consideration of the properties of recycle process of recycled aggregates and cementitious powder, we investigated the hydraulic properties of cementitious powder under various temperature conditions in hardened mortar which was modeled on concrete waste. And we analyzed properties of chemical reactions of recycled cement with admixture materials such as Fly-Ash, Blast Furnace Slag

As a result of the experiment, the most effective method to recover hydraulic properties of the cementitious powder from concrete waste was condition of burning at 700°C for 120 minute. And it is shown that the fluidity of mortar was decreased rapidly when the burning temperature of recycle cement was increased. However, the compressive strength and fluidity were improved significantly when admixture materials such as Fly-Ash or Blast Furnace Slag was added.

키 워 드 : 폐콘크리트계 미분말, 재생시멘트, 혼화재료, 수화특성

Keywords : Cementitious Powder from Concrete Waste, Recycled Cement, Admixture materials, Hydration Properties

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라는 1970년대 이후 고도성장기에 건설되어 내구적으로 그 한계에 도달하고 있는 철근콘크리트 구조물이 점차 증가하고 있으며, 최근 건축물의 재개발 및 재건축이 활발해짐에 따라 이러한 노후화된 구조물들이 건설폐기물로서 해체될 경우 그 총량은 천문학적인 양이 될 것으로 예상된다.

2002년 환경부 자료에 따르면 건설폐기물 발생량은 전체 산업폐기물 발생량의 34%를 차지하고 있으며, 건설폐기물량의 약 80%를 폐콘크리트가 차지하고 있다.

특히, 과거, 현재 및 미래에 걸쳐 현저하게 다량 생산되어진 콘크리트 구조물의 STOCK으로부터 발생될 산업폐기물로서의 콘크리트 처리문제, 콘크리트를 구성하고 있는 골재를 비롯한 석회석의 한정되어진 부존자원 고갈문제는 이미 현실의 문제로써 인식이 보편화되었다. 특히, 시멘트의 주원료인 석회석 자원의 고갈이라는 실질적인 문제는 현재의 건설재료나 시공법만으로는 대처하기 어려운 심각한 문제이며, 석회석

광물의 잔존량(가채광량)과 연간 채굴량을 고려하면 자원고갈문제는 먼 미래의 이야기라 할 수 없다.<sup>1)</sup>

이러한 사회적·기술적 배경으로 인하여 최근 폐콘크리트의 재활용 기술의 개발에 관한 많은 연구가 이루어지고 있으며, 재생골재의 경우 이미 한국산업규정이 제정되었으며 현재 실용화 단계에 이르렀다.

그러나, 폐콘크리트 내부의 20% 이상을 차지하고 있는 폐콘크리트 미분말에 대한 연구는 전무한 상태이며, 최근 재생시멘트로서 활용에 관한 연구가 기초적으로 이루어지고 있으나, 아직 그 물성에 있어서 많은 개선점이 남아있다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 재생시멘트의 활용가능성을 혼화재료와의 수화반응 특성을 통해 고찰하고자 하며, 향후 재생시멘트의 활용을 위한 기초적인 기술자료를 제시하는 것을 목표로 한다.

### 1.2 연구의 방법 및 범위

현재 재생시멘트에 관한 연구는 다양하게 이루어지고 있으며, 특히 폐콘크리트계 미분말의 수화성 회복을 위한 소성 프

\* 동아대학교 대학원 건축공학과 박사수료, 정희원

\*\* 동아대학교 건축학부 교수, 정희원

1) 대한광업진흥공사의 보고에 의하면 연간 석회석 채굴량에 따라 다소 차이는 있지만, 지금까지의 추세로 석회석이 채굴된다면 향후 가채광년수는 30~40년으로 추정된다.

로세스에 관한 연구에 대해서는 다양한 배합조건과 실험인자를 대상으로 많은 연구가 진행되었다.

본 연구에서는 시멘트의 수화특성 중 가장 중요한 물성 중의 하나인 고로슬래그, 플라이애쉬와 같은 혼화재료와의 잠재수경성, 포졸란반응 등의 화학반응성을 연구하고자 하였다. 따라서 재생시멘트와 혼화재료와의 화학반응 특성과 각 배합조건에서의 유동특성 및 강도특성을 고찰하는 것을 본 연구의 범위로 하였다.

## 2. 페콘크리트계 미분말의 화학적 특성

### 2.1 페콘크리트계 미분말의 발생 프로세스

그림 1은 한국과 일본 등 현재 페콘크리트의 재활용에 관한 연구 및 실용화가 활발히 이루어지고 있는 경우에서의 페콘크리트계 미분말의 발생 프로세스를 나타낸 것이다. 페콘크리트는 현재 다양한 재생 프로세스를 통하여 재생 굵은골재로 재생산되고 있으며, 이러한 과정에서 모르터 폐기물이 발생하고 있다. 이러한 모르터 폐기물 내에는 재생 잔골재로서 활용할 수 있는 모래 성분과 시멘트 수화물이 주성분을 이루는 페콘크리트계 미분말이 30~40% 구성되어 있다.

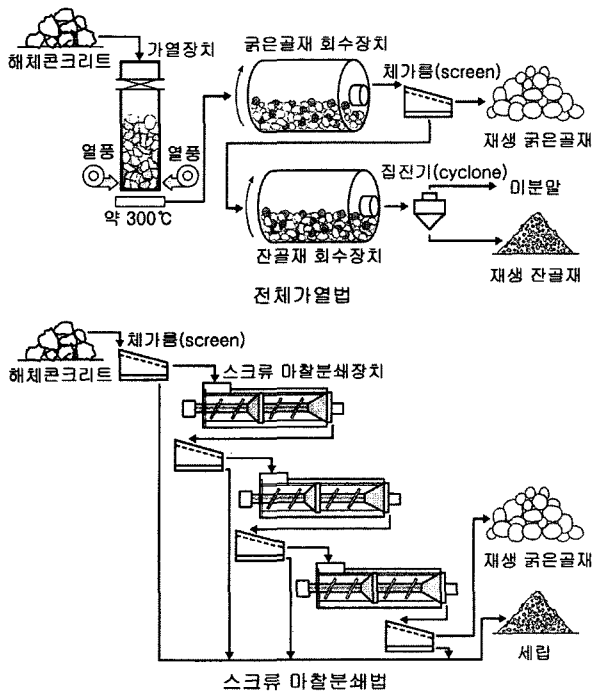


그림 1. 페콘크리트계 미분말의 발생 프로세스

「스크류 마찰분쇄법」은 스크류에 의한 교반과 압밀상태에서의 마찰작용에 의해 고품질 굵은골재만을 회수하는 방법이고, 골재의 품질목표치를 달성하는데 까지 몇 번의 반복처리를 행한다. 이 방법은 재생 굵은골재를 회수할 수 있지만, 잔골재의 고품질화가 어렵기 때문에, 잔골재를 포함하는 부산미분이 60~70%정도 발생한다.

현재 국내 대부분의 콘크리트 재생 업체에서는 「스크류

마찰분쇄법」을 이용하여 재생골재를 생산하고 있으나, 일본에서는 페콘크리트의 계면분리를 위하여 약 300°C의 온도로 예비가열을 행하는 「전체가열법」을 채용하는 경우도 있다. 국내에서도 안재철(2002), 오상균(2004) 및 저자(2004) 등에 의하여 관련 연구가 진행되고 있으며, 예비가열로 인한 재생골재의 고품질화가 가능한 것으로 연구결과 보고하고 있다.<sup>2)</sup>

따라서, 일본에서도 「전체가열법」을 이용한 경우 재생 잔골재의 효율적 분리가 가능한 것으로 보고하고 있으며, 향후 재생골재 관련 연구가 계속 진행될 경우, 재생 잔골재와 시멘트 페이스트 폐기물과의 분리가 용이할 것으로 판단된다.

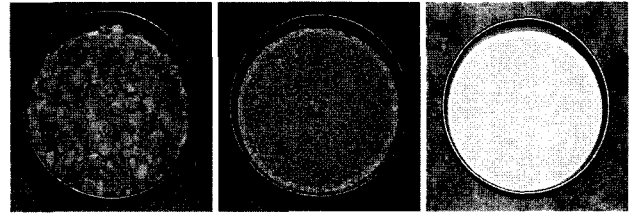


그림 2. 페콘크리트를 통해 생산된 재생 굵은골재, 재생 잔골재, 페콘크리트계 미분말 (no.100 이하)

### 2.2 페콘크리트계 미분말의 화학적 특성

표 1과 그림 3은 기존연구 및 저자를 통해 제조되어진 재생시멘트의 화학적 특성을 KS L 5201의 규준에 준하여 분석한 결과를 나타낸 것이다.

현재 페콘크리트계 미분말을 재생시멘트로 활용하기 위한 연구는 대부분 모르터 모재를 분쇄하여 페콘크리트계 미분말의 모델로서 실험을 행하고 있는 것이 대부분이다. 이는 불활성 충전재인 재생골재의 경우와 달리 재생시멘트는 수화성의 회복을 목적으로 하기 때문에 페콘크리트계 미분말의 화학적 특성이 재생프로세스의 개발에 있어 가장 중요한 영향을 미치기 때문이다. 특히, 실제 페콘크리트계 미분말의 경우 단위시멘트량, 단위수량, 사용 혼화재료 등 배합이 다양하고 각 배합에 따른 구성 수화조각이 상이하하며, 특히 폐기시점에 따라 화학성분의 변화가 크게 된다.

표 1에서 日本 「京板콘크리트」<sup>8)</sup>와 김진만<sup>9)</sup>의 연구결과는 재생골재로부터 채취한 부착 모르터(RAM)의 화학분석 결과이며, 저자 등에 의한 기존 연구결과<sup>3)</sup>는 재생시멘트를 제조하기 위하여 페이스트 및 모르터 모재를 이용한 페콘크리트계 미분말의 화학분석 결과이다.

강열감량분과 불용잔분 이외의 부분은 주로 시멘트 성분으로부터 나오기 때문에 CaO와 SiO<sub>2</sub>가 주성분이며, CaO의 경우 「京板콘크리트」의 연구결과에 따르면 많은 부분이 CaCO<sub>3</sub>

2) 상온선펙창계수로 시작되는 저온도의 콘크리트 팽창곡선은 시멘트 페이스트와 골재가 모두 팽창하는 온도의 한계인 80~90°C를 제 1차 정점으로 하고, 순 시멘트 페이스트의 고온수축성에 의하여 온도의 상승과 함께 팽창율은 감소하고 이행점 110~140°C에 이르게 된다. 약 110°C 이상이 되면, 골재는 팽창을 계속하는데 반해 시멘트 페이스트 부분은 수축하게 된다.

관련 연구결과를 살펴보면, 이러한 페이스트의 수축과 골재의 팽창효과를 이용하여 예비가열을 통한 재생골재의 품질개선 효과가 큰 것으로 확인되었다.

형으로 존재하고 있는 것으로 나타나 페콘크리트의 폐기시점에 따라 많은 수화물이 증산화 된 것을 알 수 있다.

그러나, 불용잔분량과 SiO<sub>2</sub> 성분이 큰 것으로 나타났으며, 이는 골재와 페이스트 계면분리가 용이하지 않아 잔골재 성분과 분쇄과정에서 골재가 마모된 부분의 혼입이 되었기 때문으로 판단된다.

이러한 결과는 실제 페콘크리트(CW)를 분쇄하여 제조한 재생시멘트와도 유사한 결과로서, 불용잔분 실험결과에 따르면 no.100 (0.15mm) 체가름에 비하여 no.200 체가름시 잔골재 혼입율이 크게 감소하는 것을 알 수 있다.

따라서, 페콘크리트계 미분말의 재생시멘트로서의 재활용을 위해서는 모르타르부분에서의 잔골재 성분의 분리가 가장 중요한 것으로 생각된다.

표 1. 페콘크리트계 미분말의 화학적 특성

SAMPLE	비 고	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	SO <sub>3</sub>	insol.	
OPC	S사	62.0	21.3	5.4	3.5	3.3	1.64	0.1~0.2	
京阪 コンク リート (日本)	RA M	-	26.9	10.2	3.6	2.6	1.0	0.8	
김진만	RA M	No.100	17~23	44~53	9~11	1~4	- Na <sub>2</sub> Oeq 2~3%	49~69	
오상균	P	No.100	56.7	17.2	4.5	2.5	2.4	1.0	
안재철	M	No.100	37.9	42.9	3.9	2.47	2.52	1.26	
박차원	M	No.100	32.7	42.2	9.52	3.03	1.8	0.8	
박차원 안재철	CW (A)	No.100	29.23	30.96	7.65	1.88	1.99	-	41.5
		No.200	31.61	30.95	7.83	1.85	2.19	-	27.7
	CW (B)	No.100	29.58	30.71	7.16	1.75	1.85	-	42.6
		No.200	32.31	31.08	7.46	1.76	2.07	-	26.4

※ P: 페이스트 모재(모델), M: 모르타르 모재(모델)  
RAM: 재생골재 부착 모르타르, CW: 페콘크리트 모재

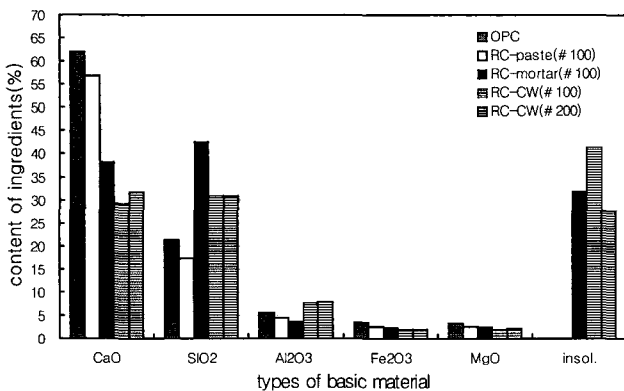


그림 3. 재생시멘트의 화학적 특성

### 3. 실험

#### 3.1 사용재료

본 실험에서 사용한 각 재료의 물성은 표 2와 같다.

표 2. 사용재료의 물성

사 용 재 료	물 성	기 호
보통포틀랜드 시멘트	비중: 3.15 비표면적(blaine): 3,200(cm <sup>2</sup> /g)	OP
고로슬래그 (광양산)	비중: 2.92 비표면적(blaine): 4,400(cm <sup>2</sup> /g)	BS
플라이애쉬 (보령산)	비중: 2.21 비표면적(blaine): 3,400(cm <sup>2</sup> /g)	FA
고성능AE감수제	폴리카르본산계 SP-8K 비중: 1.07	SP
잔골재	하동산 강모래 표건비중: 2.56 절건비중: 2.51 흡수율: 2.29% F.M: 2.48	S

#### 3.2 실험인자 및 수준

본 연구의 실험인자 및 수준은 표 3과 같다. 본 연구에서는 실제 콘크리트 폐기물의 경우 재령과 배합이 불명하여 모재의 성상에 따른 정확한 분석이 어려울 것으로 판단되어 페콘크리트의 모델로서 잔골재 혼입율(S/M) 45%, W/C 60%의 모르타르 시험체(OM)를 재령 28일 후 분쇄하여 이용하였다. 또한, 모르타르 중의 페이스트와 잔골재 부분의 효율적인 분리를 위해 예비가열 처리를 하였다.

표 3. 실험인자 및 수준

母材 모르타르 (OM)	재생시멘트의 제조					재생시멘트를 이용한 모르타르		
	예비 가열	소성 온도 (°C)	소성 시간 (min)	냉각 방법	이수 척고 (%)	Binder	SP (%)	배합
S/M 45%	200°C 120분	600	60	상온 냉각	4	RC	1	RM
W/C 60%		700	90			FA20%		배합은
		800	120			BS20%		OM
						BS40%		배합과 동일※
	1	3	3	1	1	5	1	(계) 45

※ RM의 배합은, 재생시멘트(RC)의 비중이 OPC와 상이하기 때문에 잔골재혼입율을 45%로 하여 유동성에 영향을 미치는 페이스트의 량을 OM과 동일하게 한 후, W/C가 60%로 동일한 단위시멘트량과 단위수량을 산출하여 배합하였다.

수화성 회복을 위한 소성온도는 선행된 연구<sup>2),3),4)</sup>를 토대로 600°C, 700°C, 800°C의 3수준으로 하였으며, 소성시간을 60분, 90분, 120분으로 달리 하였다. 또한, 재생시멘트의 혼화제 치환에 따른 수화반응 특성을 고찰하기 위하여, 고로슬래그와 플라이애쉬를 분체로 이용한 재생시멘트 모르타르(RM)의 물성 실험을 행하였다.

### 3.3 배합설계

본 연구에서 사용한 재생시멘트의 모재(母材)인 모르터 (OM)의 배합은 표 4와 같다.

표 4. 모재 모르터의 배합

조건	기호	W/C (%)	S/M (%)	단위용적중량 (g/l)		
				W	C	S
母材모르터	OM	60	45	360	600	1152

### 3.4 실험방법 및 측정

#### 1) 재생시멘트의 제조

재생시멘트의 제조과정은 그림 4와 같으며, 본 연구에서는 시멘트 경화체와 잔골재의 분리를 용이하게 하기 위하여 20°C 120분간 예비가열 처리를 하였다.

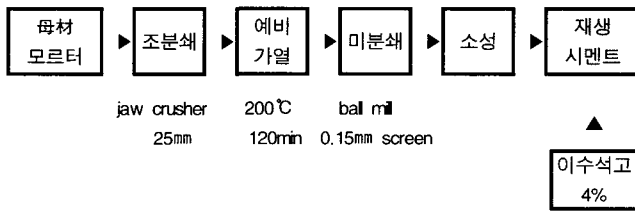


그림 4. 재생시멘트의 제조

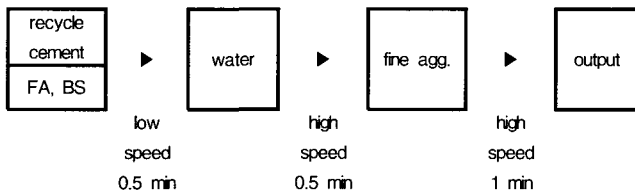


그림 5. 재생시멘트 모르터의 배합

#### 2) 측정

본 연구를 위한 실험항목은 표 5와 같다.

표 5. 실험 항목

측정 항목		비고
재생시멘트	화학분석	KS L 5201
	비중	KS L 5110
재생시멘트 모르터	플로우	KS L 5111
	압축강도	KS L 5105
재생시멘트 경화체의 미세구조		SEM (주사형 전자 현미경)

표 6. 재생시멘트 모르터의 물성실험 결과

RC 소성조건		Binder (%)	flow (%)	압축강도 (MPa)	
temp. (°C)	time (min)			7days	28days
600	60	RC	280	3.3	5.6
		BS20	310	2.4	4.6
		BS40	360	0.6	1.6
		FA20	310	2.2	4.7
		FA40	320	1.4	3.1
	90	RC	295	3.6	6.0
		BS20	325	3.0	4.3
		BS40	330	0.8	2.1
		FA20	305	3.5	4.9
		FA40	310	1.6	4.0
	120	RC	260	4.4	5.6
		BS20	300	3.6	8.3
BS40		340	1.1	3.7	
FA20		255	3.2	5.4	
FA40		310	2.0	3.7	
700	60	RC	275	4.8	6.1
		BS20	310	3.0	6.6
		BS40	330	1.2	3.6
		FA20	300	4.4	5.6
		FA40	300	1.9	4.5
	90	RC	240	4.3	7.9
		BS20	320	3.3	8.0
		BS40	330	1.2	3.8
		FA20	290	3.4	6.1
		FA40	330	1.8	4.5
	120	RC	215	4.5	7.9
		BS20	300	2.6	8.0
BS40		340	0.3	4.0	
FA20		280	3.3	7.4	
FA40		305	2.0	5.3	
800	60	RC	245	2.1	6.7
		BS20	290	0.2	5.9
		BS40	320	0.1	1.6
		FA20	290	1.6	6.1
		FA40	310	0.3	3.4
	90	RC	225	1.1	5.2
		BS20	285	0.1	3.3
		BS40	310	0.2	0.3
		FA20	265	0.5	3.8
		FA40	275	0.1	1.3
	120	RC	140	0.4	5.3
		BS20	235	0.2	0.9
BS40		290	0.2	0.3	
FA20		190	0.0	2.6	
FA40		245	0.0	0.4	

## 4. 실험결과 및 고찰

재생시멘트의 소성조건과 혼화재료의 배합에 따른 재생시멘트 모르터의 물성은 표 6과 같다.

### 4.1 재생시멘트 모르터의 플로우

그림 6, 7, 8은 재생시멘트 모르터의 혼화재 첨가에 따른 유동성의 영향을 나타낸 것이다. 기존 연구와 예비실험 결과 재생시멘트를 이용한 모르터의 유동성이 다소 불량한 것으로 나타나, 본 연구에서는 재생시멘트 모르터에 고성능AE감수제를 분체기준 1% 혼합하여 사용하였다.

실험결과, 플라이애쉬와 고로슬래그는 보통콘크리트에 사용된 경우와 마찬가지로 재생시멘트를 이용한 모르터의 유동성 개선에도 큰 효과가 있는 것으로 나타났다.

고로슬래그의 경우, 치환율 20% 증가에 따라 평균 16%의 플로우 증가효과를 나타내었으며, 플라이애쉬의 경우 평균 14% 플로우가 증가하였다. 특히, 무진동에 의한 플로우 실험 결과에 의하면 고로슬래그를 40% 치환한 경우, 혼화재를 치환하지 않은 경우에 비하여 106% 플로우가 증가하여 재생시멘트 모르터의 유동성을 크게 개선하는 것으로 나타났다.

이러한 결과는 혼화재의 구형입자 등에 따른 물리적 기능이 유동성 개선효과의 원인이기 때문인 것으로 판단된다.

따라서, 기존 연구결과, Ca(OH)<sub>2</sub>의 탈수에 의해 생성된 CaO의 물과의 급격한 소화(消和, slaking)에 의하여 보통포틀랜드 시멘트에 비하여 유동성이 크게 나쁜 재생시멘트의 유동성 증진을 위해서는 고로슬래그 및 플라이애쉬와 같은 혼화재료의 사용이 적절할 것으로 판단된다.

#### 4.2 재생시멘트 모르터의 압축강도

##### 1) 분체종류에 따른 압축강도

그림 9, 10, 11은 분체 종류에 따른 재생시멘트 모르터의 압축강도를 나타낸 것이다.

실험결과, 소성온도 600℃, 700℃인 경우, 고로슬래그, 플라이애쉬 20% 치환시의 평균 압축강도는 혼화재를 사용하지 않은 재생시멘트 모르터에 비하여 비슷하거나 우수한 것으로 나타났다. 특히, 소성조건 600℃ 120분, 고로슬래그 20% 치환시 치환하지 않은 경우에 비하여 46% 증가하는 것으로 나타나, 유동성과 강도 측면에서 가장 우수한 것으로 판단된다.

그러나, 600℃, 700℃ 모든 조건에서 혼화재를 40% 치환시, 고로슬래그의 경우 49%, 플라이애쉬의 경우 약 36% 가량 강도가 크게 감소하는 것으로 나타났으며, 800℃의 경우에는 거의 강도발현을 하지 않았다.

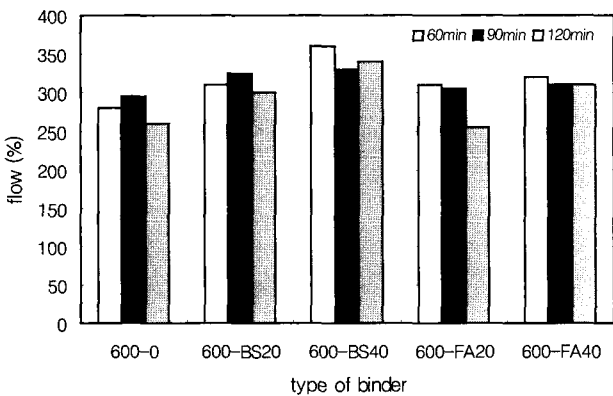


그림 6. RM600에서의 혼화재 치환율에 따른 플로우

이상과 같은 실험결과, 혼화재를 치환한 재생시멘트 모르터의 강도성상은 우수한 것으로 나타났으며, 소성온도 700℃의 경우는 거의 오차가 나타나지 않는 균일한 압축강도를 발현하여 재생시멘트의 제조를 위한 최적 조건으로 사료된다. 그러나 고로슬래그, 플라이애쉬와 같이 포졸란 반응 또는 잠

재수경성에 의한 화학반응기구를 갖는 혼화재의 경우, 보통콘크리트의 장기강도 증진에 유효한 작용을 하기 때문에 향후 91일 강도를 비롯한 장기재령하에서의 강도발현 성상을 고찰해야 할 것으로 보인다.

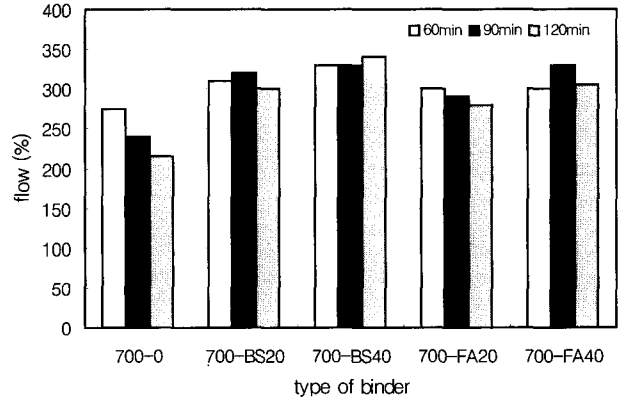


그림 7. RM700에서의 혼화재 치환율에 따른 플로우

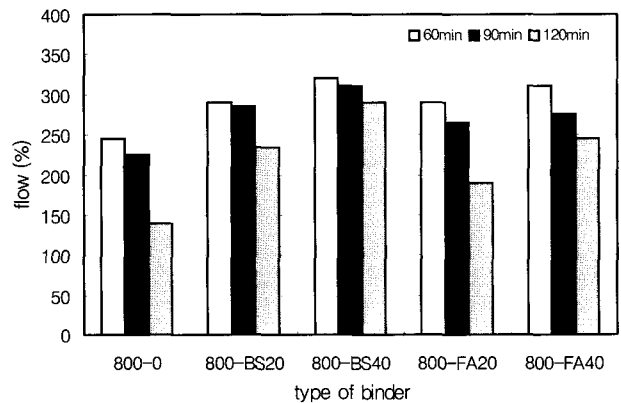


그림 8. RM800에서의 혼화재 치환율에 따른 플로우

또한, 재생시멘트의 경우 보통포틀랜드 시멘트와 화학적 성분이 상이하므로, 혼화재료를 이용한 고성능화된 재생시멘트 및 콘크리트 기술의 유효개발을 위해서는 재생시멘트 수화물 내 Ca(OH)<sub>2</sub> 등의 량을 고려하여 구성 혼화재의 전량을 활성화할 수 있는 최적 치환율과 배합설계에 관한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

##### 2) 재령에 따른 압축강도

재령에 따른 압축강도는 그림 12, 13, 14와 같다.

재생시멘트의 경우 7일 강도가 28일 강도의 약 55~60% 발현하는 것으로 나타났으며, 이는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용한 경우 일반적으로 65% 이상 강도발현을 하는 것과 비교할 때 다소 낮은 값이다. 이러한 결과는 화학성분 분석결과에서 전술한 바와 같이, 낮은 CaO 함량으로 인한 것으로 판단되며, 향후 장기재령시의 강도측정을 통한 추가된 고찰이 필요하다.

재생시멘트에 혼화재를 치환한 경우는 강도발현이 우수한 700℃ 소성조건을 비교할 때, 고로슬래그와 플라이애쉬 20% 치환시 재생시멘트만을 사용한 경우에 비하여 7일 강도는 각

각 34%, 24%씩 크게 감소하는 것으로 나타났다. 그러나, 28일 강도의 경우 혼화재를 치환하지 않은 경우와 거의 비슷한 것으로 나타났으며, 고로슬래그를 치환한 경우는 오히려 2% 가량 강도가 증가하였다.

이러한 결과는 혼화재를 치환한 경우 초기강도 발현은 늦으나, 장기강도에서 우수한 강도성상을 나타내는 것으로, 재생시멘트의 화학성분은 다소 상이하나 보통 포틀랜드 시멘트와 유사한 물성을 나타내었다.

### 4.3 재생시멘트의 SEM

그림 15는 재생시멘트와 재령 7일, 28일의 재생시멘트 모르타르 경화체의 미세구조를 주사형전자현미경(SEM)으로 관찰한 것이다.

사진 a)는 재생시멘트 분말을 나타낸 것으로서 골재계면의 분리가 용이하지 않아 많은 양의 잔골재 미분말이 혼입되어 있었다.

사진 c)는 재령 7일의 재생시멘트 수화조직으로 수산화칼슘으로 추정되는 육각판상(六角板狀) 조직의 모습이다. 그러나, 이러한 수산화칼슘이 소성가공 전 모재 모르타르 내 존재한 것인지, 재생시멘트의 수화과정 속에서 생성된 것인지는 추후 연구가 필요하다.

사진 e), g)와 h)의 경우, 재령 28일의 재생시멘트 수화조직내 에tring가이트와 같은 침상조직이 다양하게 발견되었으며, 재생시멘트의 높은 압축강도를 감안할 때, 재령이 계속되면서 활발한 수화반응이 나타남을 알 수 있었다. 또한, 사진 h)의 경우 type III C-S-H로 불리는 규산칼슘수화물이 생성된 것으로 판단된다.

그러나, 앞서 전술한 바와 같이 재생시멘트는 보통포틀랜드 시멘트와 상이한 화학성분을 가지고 있고, 아직 그 수화조직에 관한 연구가 이루어져 있지 않기 때문에 수화시 미세구조에 관한 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

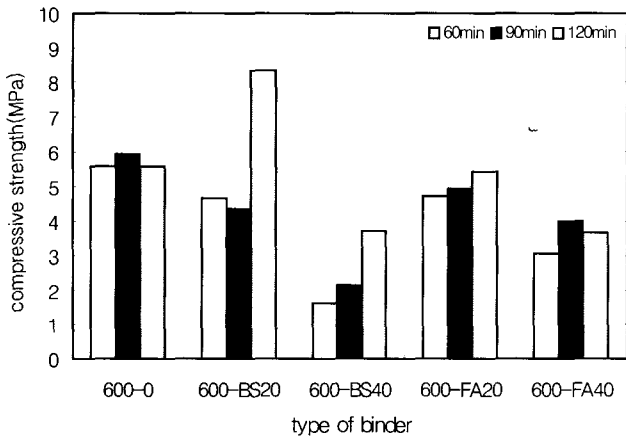


그림 9. RM600에서의 혼화재 치환율에 따른 압축강도

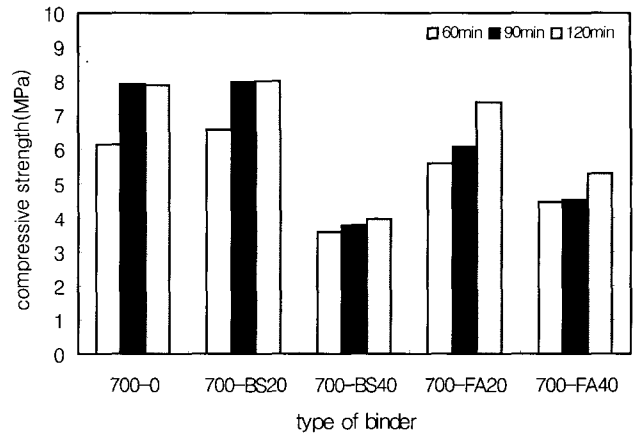


그림 10. RM700에서의 혼화재 치환율에 따른 압축강도

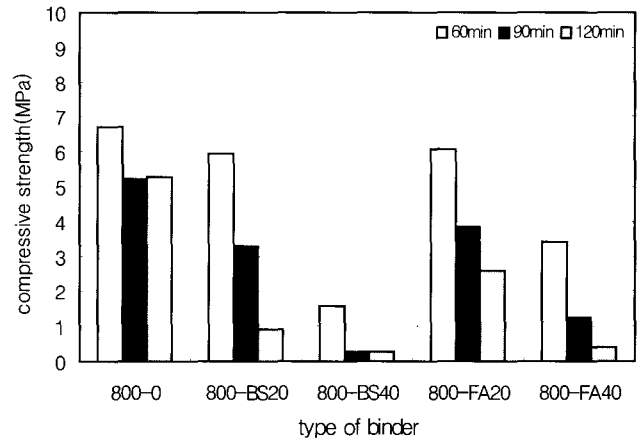


그림 11. RM800에서의 혼화재 치환율에 따른 압축강도

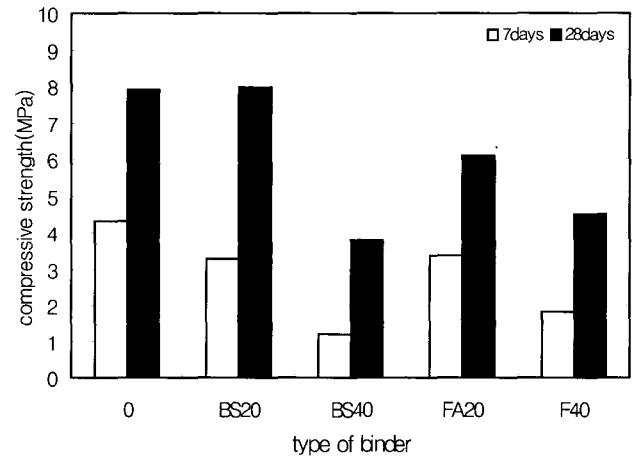


그림 12. 재령에 따른 모르타르의 압축강도 (RM700T90)

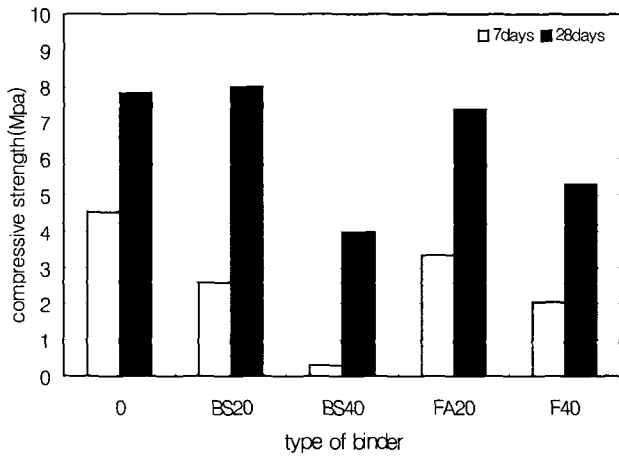


그림 13. 재령에 따른 모르터의 압축강도 (RM700T120)

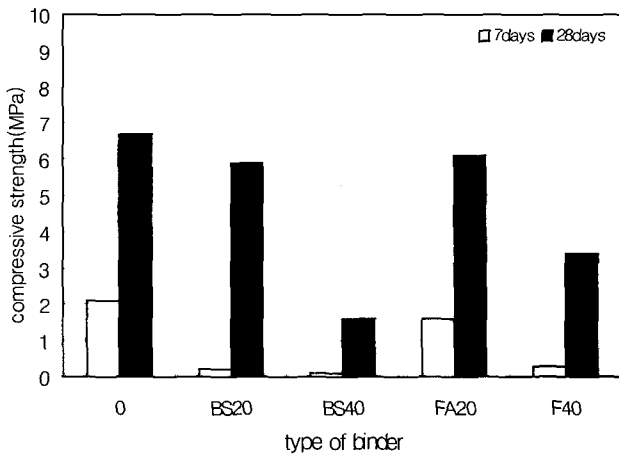


그림 14. 재령에 따른 모르터의 압축강도 (RM800T60)

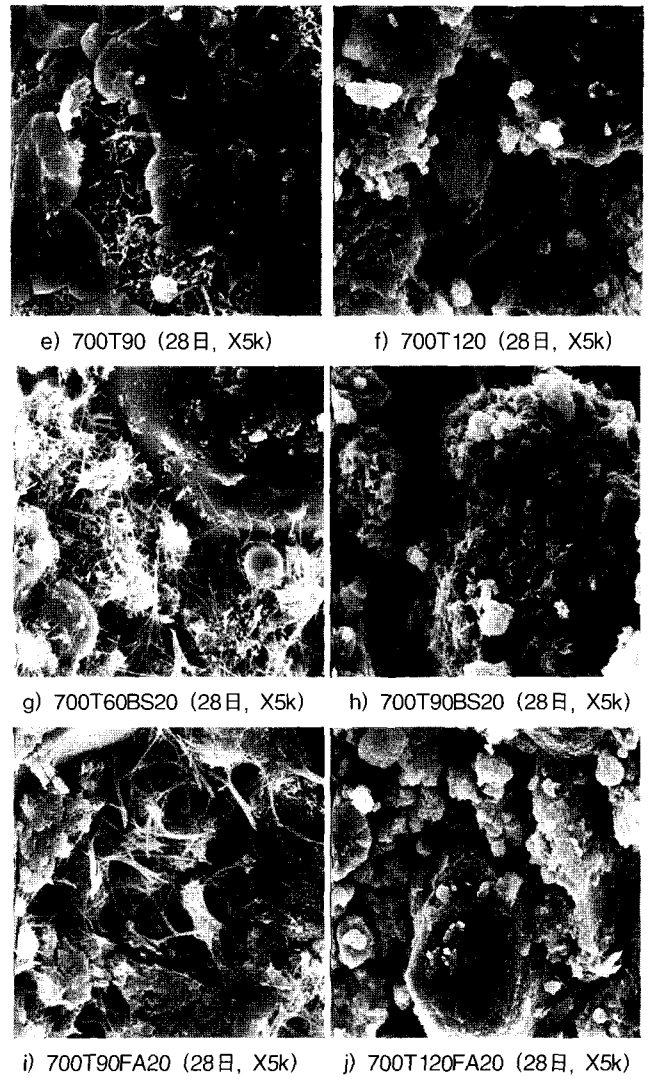
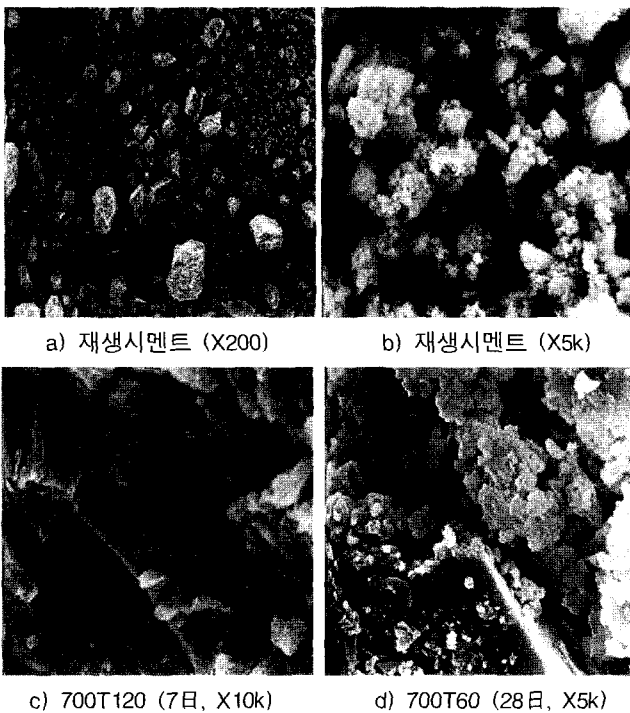


그림 15. 재생시멘트 경화체의 미세구조



## 5. 결 론

폐 콘크리트계 미분말의 재생시멘트 효율적 활용을 위하여 콘크리트용 혼화재료를 혼합하여 수화특성 및 제반 물성을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 폐콘크리트계 미분말 및 재생시멘트의 화학분석 결과 CaO와 SiO<sub>2</sub>가 주성분인 것으로 나타났으나, 폐콘크리트 내부 혼입된 잔골재와 페이스트의 분리가 용이하지 않아 SiO<sub>2</sub> 및 불용잔분량이 크게 증가한 것으로 나타났다. 따라서, 국내에서도 폐콘크리트 미분말의 분리와 고품질 재생시멘트 및 재생 잔골재의 생산이 용이한 「가열분쇄법」의 도입이 필요할 것으로 판단된다.
- 2) 재생시멘트의 소성온도가 증가할수록 모르터의 유동성은 급격히 떨어지는 것으로 나타났으나, 플라이애쉬, 고로슬래그와 같은 혼화재료를 첨가할 경우 유동성 개선효과가 우수하였다.

- 3) 고로슬래그와 플라이애쉬를 치환한 결과, 초기재령에서의 강도 발현율은 낮았으나, 28일 강도는 거의 동일한 것으로 나타났으며, 이는 보통포틀랜드 시멘트에 적용한 경우와 유사한 수화반응을 나타내기 때문인 것으로 판단된다.
- 4) 재생시멘트는 보통 포틀랜드 시멘트와 화학반응 기구가 거의 유사하므로 고로슬래그를 치환할 경우 유동성과 강도가 우수한 재생콘크리트 제품의 생산이 가능한 것으로 나타났다.

이상과 같은 연구결과, 콘크리트계 미분말의 재가공을 통하여 재생시멘트로서의 활용이 가능한 것으로 나타났으며, 기존의 콘크리트용 혼화재료를 혼합할 경우 우수한 물성을 나타내었다. 그러나 화학분석 결과와 물성실험 결과를 토대로 고찰할 때, 보통시멘트와 수화반응 특성에 있어 많은 차이도 있을 것으로 판단된다. 이러한 특징은 향후 재생시멘트의 고품질화 및 활용화에 있어서도 많은 해결과제가 있는 것으로 보인다.

향후, 재생시멘트의 미시구조 특성에 따른 모르터 및 콘크리트의 물성에 관한 많은 관련연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

### 참 고 문 헌

1. 吳相均·安幸徹 外, 韓國での建設廢棄物の發生量とリサイクルに関する考察, 日本建築學會大會學術講演便概集, 2002年8月, pp.991-992
2. 吳相均·安幸徹 外, セメントモルタルの加熱粉碎による再生セメントへの再利用, 日本建築學會大會學術講演便概集, 2002年8月, pp.993-994
3. 박차원 외, 콘크리트 구조물의 완전순환이용을 위한 폐콘크리트계 미분말의 재생시멘트 활용 기술 연구, 한국건축시공학회 논문집 제4권 제3호, 2004. 09., pp. 143-151
4. 안재철 외, 中性화가 進行된 廢콘크리트系 微粉末의 再生시멘트 活用을 위한 水和性 回復, 대한건축학회 논문집(구조계) 제20권 11호, 2004. 11.
5. 강병희, 초음파에 의한 고온수열콘크리트의 강도추정에 관한 실험적 연구, 한양대학교 박사학위논문, 1989
6. 小林一輔, コンクリート構造物の早期劣化と耐久性診断, 森北出版, 1991年7月
7. 小林一輔, コア採取によるコンクリート構造物の劣化診断法, 森北出版, 1998年4月
8. 한국유기성폐자원학회 편저, 건설폐기물의 재활용, 동화기술, 1999
9. 김진만, 콘크리트 리사이클링에 관한 해외 동향과 재생 골재의 특성, 공주대학교 자원재활용 신소재 연구센터, 2001. 12
10. 장중호 외, 재생미분말의 가열온도에 따른 기초물성 및 시멘트 혼화재 적용성에 관한 연구, 콘크리트학회 봄학술발표논문집, 2001. 12
11. 정재동, 콘크리트 재료공학, 선성각, 2002
12. 박승범, 건설폐기물의 국내의 재활용기술의 현황 그리고 처리 및 재활용 실태, 콘크리트학회, 2000
13. 오병환 외 22명, 최신 콘크리트공학, 기문당, 1992
14. 김광우 외 3명, 콘크리트 재활용 실태 및 연구동향, 콘크리트학회지, 6권 6호, 1994
15. 윤재환, 포틀랜드 시멘트 및 콘크리트, 세진사, 1990
16. 김규봉, 재생 미분말을 이용한 신재료, 신공법(지반개량 재료의 이용), 콘크리트 학회지, 2003, 3
17. Torben C. Hansen, Recycled concrete aggregate and fly ash produce concrete without portland cement, Cement and Concrete Research, Vol. 20, Aug.1989, pp. 355-356
18. S.L. Sarkar and D.N. Little, Microstructural Investigation of Severe Distress in a Crushed Concrete Base, Cement and Concrete Research, Vol. 28, No. 3, 1998, pp. 401-410