

중성화가 진행된 폐콘크리트계 미분말을 재활용한 재생시멘트의 물성

The Properties of Recycle Cement to Reuse Cementitious Powder from Neutralized Concrete Waste

○ 강 태 훈* 김 성 수* 정 민 수** 강 병 희***
Kang, Tae-Hun Kim, Sung-Su Jung, Min-Soo Kang, Byung-He

Abstract

The purpose of this study is development of technique to use cementitious powder as recycle cement produced from deteriorated Concrete waste which has a large quantity of calcium carbonate. Therefore, after having theoretical consideration based on the properties of high-heated concrete and concerning about neutralization of Concrete, we analysis chemical properties of ingredients of cementitious powder. After making origin cement paste, then processing the accelerated carbonation, we consider the properties of hydration and chemical properties of cementitious powder under various temperature conditions

As a result of the thermal analysis, the CaCO₃ content of cementitious powder would affect decision of heat temperature to recover its hydrated ability because CaCO₃ content is increased when neutralization is progressed. And as a result of XRD analysis, in case of origin powder of non-neutralized paste, CaO peak is found at 700°C. but, heat temperature to generate CaO would increase when the content of neutralized ingredients is increased. Finally, recycle cement heated at 700°C shows the best compressive strength when the content of neutralized ingredients in recycle cement is less than 50%. However, it would be quite difficult to manage quality of recycle cement according to recycling points of various concrete waste.

키워드 : 열화콘크리트, 중성화 폐콘크리트계 미분말, 재생시멘트, 수화성

Keywords : deteriorated concrete, cementitious powder by neutralized concrete waste, recycle cement, hydrated ability

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 시멘트 사용량이 증가함에 따라 석회석의 가채광년수가 점점 줄어들 것으로 예상되고, 골재와 같은 부존자원의 매장량은 한정되어 있다. 또한 구조물의 노후화에 따른 도시재개발사업과 환경정비 등으로 인해 구조물의 해체공사가 증가함으로써 발생하는 폐콘크리트 및 건설폐기물로 인한 환경문제가 야기되고 있다. 따라서, 건설폐기물의 일종인 콘크리트 폐재의 재자원화는, 질이 좋은 천연자원의 고갈, 폐기콘크리트에 의한 환경파괴 등과 같은 문제점들을 해소하기 위해 반드시 행해져야 하며, 앞으로 이러한 재자원화에 관한 연구 또한 많은 분야에서 이루어져야 할 것이다.

이러한 사회적 배경에 의하여 최근 국내외를 중심으로 콘크리트를 재활용하기 위한 많은 연구가 진행되고 있으며, 국내에서도 폐콘크리트를 이용한 재생골재가 실용화 단계에 있다. 특히, 현재까지 수화성이 없는 폐기물로서 활용도가 거의

없었던 폐콘크리트의 20% 이상을 차지하는 폐콘크리트계 미분말의 재생시멘트로서의 재활용에 관한 기초적인 연구^{1),2)}도 진행되고 있다.

그러나, 기존연구의 대부분이 재령 28일 시점에서의 콘크리트를 대상으로 연구가 행해지고 있으며, 이러한 실험상의 모재는 실제 콘크리트 폐기물내 수화물과는 화학적으로 많은 차이가 있게 된다. 따라서, 폐기시점 콘크리트의 경우, 최소한 콘크리트의 표면부터 피복까지는 중성화가 일어났다고 생각할 때, 폐콘크리트를 이용한 재생시멘트의 개발에 있어 중성화에 의한 수화물의 화학적 변화를 고려하지 않으면 안될 것으로 생각된다.

따라서, 본 연구에서는 폐콘크리트의 재활용을 위한 기술개발의 일환으로, 중성화된 콘크리트계 미분말을 재생시멘트로서 재활용하기 위한 재생방법의 제안을 목적으로 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구에서는 먼저 콘크리트의 열적 특성과 중성화에 관한 이론적 고찰을 행하여 재활용 대상물질의 화학적 특성을 분석하였다. 그리고, 모재로서의 시멘트 페이스트를 제작 후 촉진중성화 과정을 거쳐 다양한 소성온도 조건 하에서의 화

* 정회원, 동아대 대학원 석사과정
** 정회원, 동아대 대학원 박사수료
*** 정회원, 동아대 건축학부 교수, 공학박사

학적 특성과 수화반응 특성을 고찰하였다.

먼저, 비중성화 시료와 중성화 시료의 열분석을 행하여 그 결과를 바탕으로 재생 process의 방법을 고찰하였다. 그리고, 다양한 배합조건에서의 재생시멘트 모르타르의 유동특성과 강도성상을 고찰하여, 시멘트 수화물의 화학성분 변화에 따른 최적 재생 process와 물성, 그리고 향후 품질관리 방안을 모색하여 재생시멘트의 연구를 위한 기초자료를 제시하는 것을 본 연구의 범위로 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 고온수열 콘크리트의 특성

그림 1과 같이 고온수열 콘크리트는 변태적인 열반응으로 인한 분해반응을 일으키게 된다. 이와 같은 현상이 저온에서는 주로 탈수와 수분증발에서 비롯되나, 고온에서는 구성요소의 변태나 분해를 일으키게 한다.

기존의 연구에서는 온도 400~600℃ 범위에서는 Ca(OH)₂의 탈수반응이, 600~900℃ 범위에서 콘크리트 중 CaCO₃의 탈탄산반응이 나타나는 것으로 보고 있다.

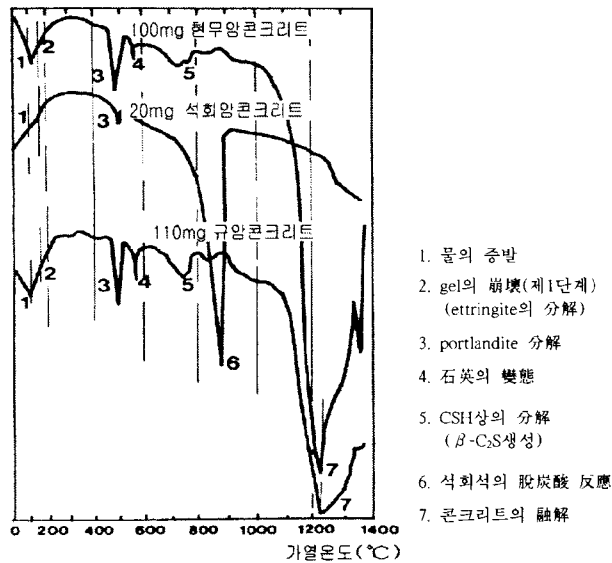


그림 1. 각종 콘크리트의 시차열분석

2.2 중성화

콘크리트의 중성화는 경과년수에 따라 서서히 진행하여 철근 콘크리트 구조물내 철근부식을 유발하게 되며, 또 다른 콘크리트의 성능저하 현상과 맞물리면서 구조물의 노후화를 더욱 가속화시키는 결과를 초래한다.

콘크리트가 중성화하게 되면 공기중에 존재하는 CO₂의 작용을 받아 페이스트내에 존재하는 다량의 Ca(OH)₂가 CaCO₃로 변화한다. 기존의 연구³⁾에 따르면 Ca(OH)₂뿐만 아니라 콘크리트의 기본조직인 C-S-H 또한 완전히 붕괴되어 골재와 CaCO₃와 실리카의 혼합체로 구성된 미지의 토석재료로 변질되는 것으로 보고하고 있다.

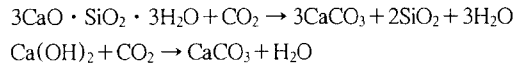


표 1. 열화콘크리트의 구성성분 분석 결과

분석 내용	표면층		내부		
	float	sink	float	sink	
열분석 (wt%)	Ca(OH) ₂	0.0	0.0	3.5	1.1
	CaCO ₃	22.2	38.6	17.9	15.8
	H ₂ O	15.0	5.3	18.8	8.4
화학 분석 (wt%)	Al ₂ O ₃	7.6		6.7	
	Fe ₂ O ₃	2.9		2.7	
	CaO	4.0		18.1	
	SiO ₂	41.0		18.8	
	Others	7.3		13.5	
	Ca/Si (C-S-H)	0.10		1.04	
X선회절	고정광물	Calcite	Calcite Quartz Cristobalite Feldspar	C-S-H Ca(OH) ₂	Quartz Calcite Feldspar Cristobalite

3. 실험

3.1 실험인자 및 수준

본 연구의 실험인자 및 수준은 표 2와 같다. 모재로서는 페이스트를 이용하였으며, 일부를 중성화 시켜 모재 중 일부를 혼합하여 사용하였다. 특히, 열화콘크리트는 중성화로 인하여 Ca(OH)₂ 뿐만 아니라 C-S-H까지 CaCO₃로 변하므로써, 재생시멘트의 개발을 위해서도 CaCO₃의 분해가 가장 중요한 인자가 될 것으로 사료된다. 따라서, 콘크리트계 미분말의 수화성 회복을 위한 소성온도는 콘크리트의 열적성질과 기존의 연구²⁾를 토대로 700℃, 900℃, 1100℃의 3수준으로 하였다.

표 2. 실험인자 및 수준

인자	모재 페이스트	모재 중 중성화페이스트 혼합율	소성 온도 (℃)	소성 시간 (min)	recycled mortar
수준	W/C 50%	0% (NC0)	700	120	W/C: 60% S/M: 40% SP: 2%
		10% (NC1)			
		30% (NC3)			
		50% (NC5)			
		100% (NC10)			
수준수	1	5	3	1	-

3.2 배합설계

1) 모재 페이스트

모재 페이스트의 배합은 표 3과 같다.

표 3. 모재 페이스트의 배합

조건	기호	W/C (%)	unit weight (g/ℓ)	
			W	C
母材페이스트	OP	50	612	1223

2) 재생모르터

재생 모르터의 배합은 표 4와 같다.

표 4. 재생모르터의 배합

조건	기호	비중	W/C (%)	S/M (%)	단위중량(g/l)				SP (g)
					W	RC	석고	S	
NC0-700	RM	2.56	60	40	363	582	24	1036	12.1
NC1-700	RM	2.52	60	40	361	578	24	1036	12.0
NC3-700	RM	2.56	60	40	363	582	24	1036	12.1
NC5-700	RM	2.63	60	40	367	588	25	1036	12.2
NC10-700	RM	2.67	60	40	369	591	25	1036	12.3
NC0-900	RM	3.08	60	40	389	623	26	1036	13.0
NC1-900	RM	3.02	60	40	387	619	26	1036	12.9
NC3-900	RM	3.00	60	40	386	617	26	1036	12.9
NC5-900	RM	2.91	60	40	382	610	25	1036	12.7
NC10-900	RM	2.78	60	40	375	600	25	1036	12.5
NC0-1100	RM	3.09	60	40	390	624	26	1036	13.0
NC1-1100	RM	3.09	60	40	390	624	26	1036	13.0
NC3-1100	RM	3.08	60	40	389	623	26	1036	13.0
NC5-1100	RM	3.14	60	40	392	627	26	1036	13.1
NC10-1100	RM	3.08	60	40	389	623	26	1036	13.0

3.3 사용재료

본 실험에서 사용한 각 재료의 물성은 표 5와 같다.

표 5. 사용재료의 물성

사용재료	물성	기호
보통포틀랜드시멘트	비중: 3.15 blaine: 3,200(cmf/g)	-
잔골재	비중: 2.56 흡수율: 2.29% F.M: 2.48	S
고성능AE감수제	폴리카르본산계 SP-8K 비중: 1.07	SP

3.4 실험방법 및 측정

1) 재생시멘트의 제조

재생시멘트의 제조과정은 그림 2와 같다.

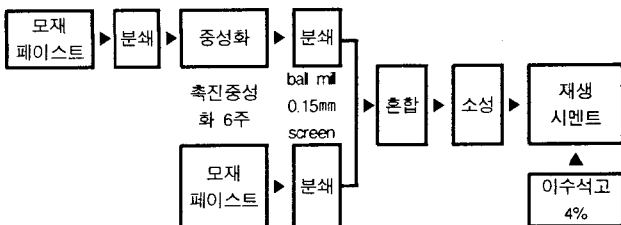


그림 2. 재생시멘트의 제조

2) 양생

중성화된 모재 페이스트(NC)는 28일 양생한 페이스트를 온도 30°C, 상대습도 60%, CO₂ 농도 20%로 조절하여 촉진중성화 양생을 실시하였다. 미중성화 모재 페이스트(NNC, NC₀)는 28일 양생한 모재 페이스트를 분쇄하여 사용하였다.

3) 측정

본 연구를 위한 실험항목은 표 6과 같다.

표 6. 실험 항목

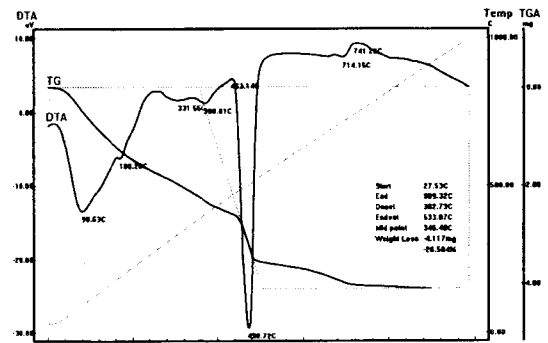
측정 항목	비고
열분석	KS M 0130
X선 회절 분석	KS M 0043
플로우시험	KS L 5111
압축강도시험	KS L 5105

4. 실험결과 및 고찰

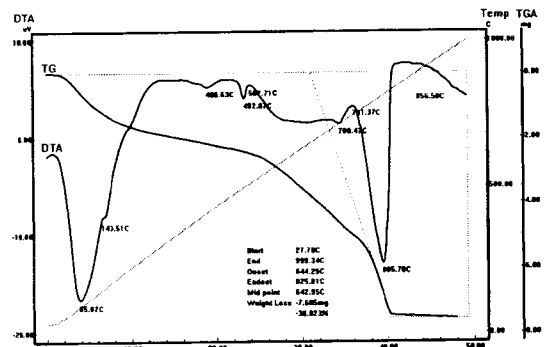
4.1 모재 페이스트의 중성화에 따른 열분석

그림 3은 NC(중성화시료)와 NNC(비중성화시료, NC₀)의 열분석 결과로서, NNC의 경우 TG곡선에서 알 수 있듯이 Ca(OH)₂의 탈수에 의한 감량은 1mg이다. Ca(OH)₂ 및 H₂O의 분자량은 각각 74.09, 18.02이며, Ca(OH)₂ → CaO + H₂O 식의 분해반응은 Ca(OH)₂과 H₂O이 1mol대 1mol의 비율로 생기기 때문에, 탈수에 의한 감량에서 Ca(OH)₂의 양은 74.09 / 18.02 = 4.11을 환산계수로 하여 산출하였다. 이때, Ca(OH)₂량은 4.11mg이며, 중량함유율은 20.55%이다.

측정결과, 그림 4와 같이 모재내 중성화 페이스트의 량이 증가할수록 CaCO₃ 함유율이 급격히 증가하였으며, NC의 경우 약 30% 가량을 차지하였다. 따라서, 그림3의 b)와 같이 700~850°C의 온도범위에서 CaCO₃의 탈탄산반응에 의한 증량 변화 피크가 큰 것으로 나타났다.



a) NNC(비중성화시료)



b) NC(중성화시료)

그림 3. 모재페이스트의 열분석(TG-DTA)

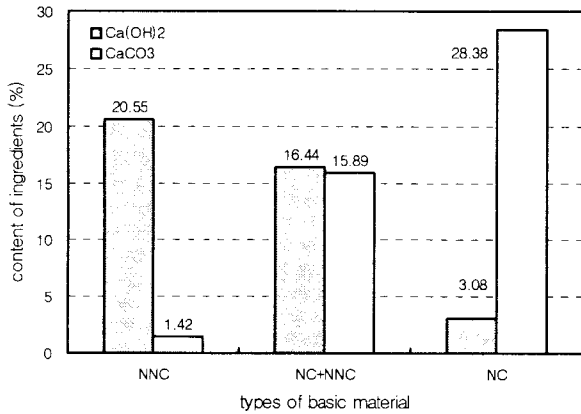
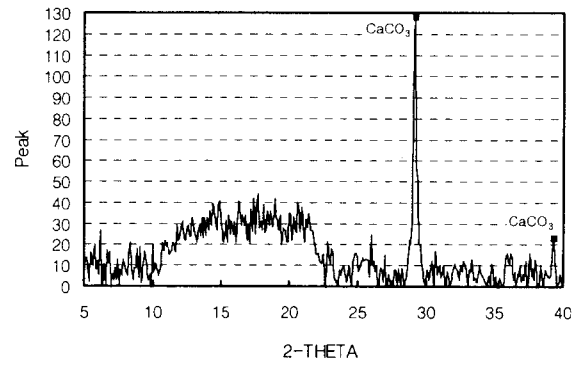


그림 4. 모재 시료내 성분 함유율

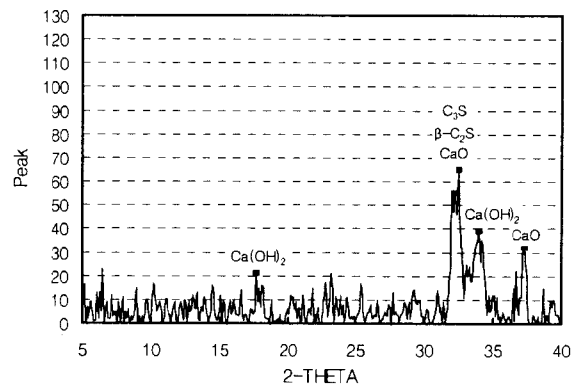
4.2 재생시멘트 및 재생시멘트를 이용한 모르터의 물성

1) 재생시멘트의 XRD 분석

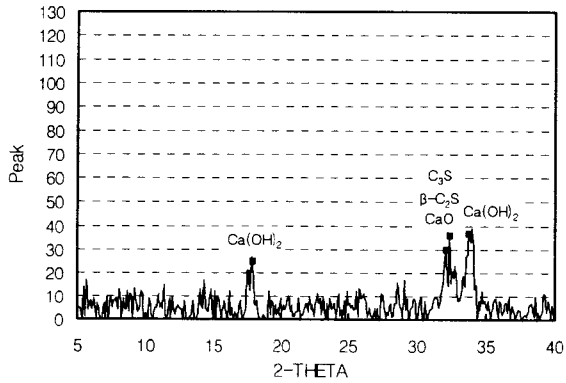
그림 5는 XRD 분석의 결과를 나타낸 것으로, 모재로 미중성화 페이스트(NC)를 사용한 경우, 그림 3의 a)와 같이 수화물의 많은 부분이 Ca(OH)₂로 이루어져 있어 모든 소성온도에서 탈수반응에 의한 CaO가 C₃S, C₂S의 피크로서 나타났다. 그러나, 모재 중 중성화 페이스트 함량이 증가할수록 CaCO₃의 탈탄산반응에 의한 CaO성분이 고온소성(1100℃)조건에서 나타난 것을 알 수 있다.



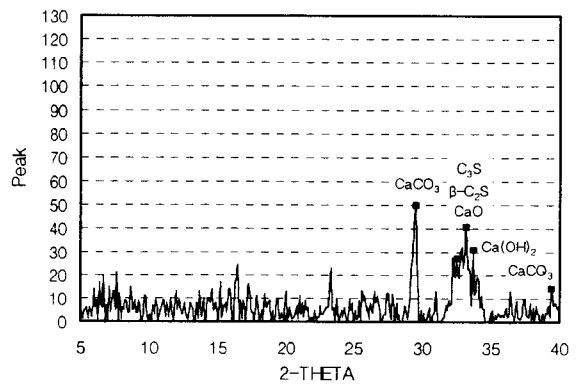
c) NC10-700



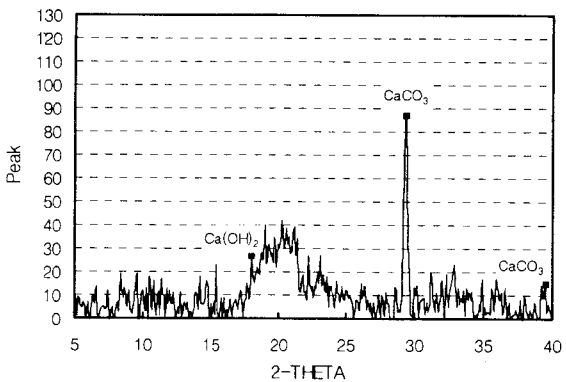
d) NC0-900



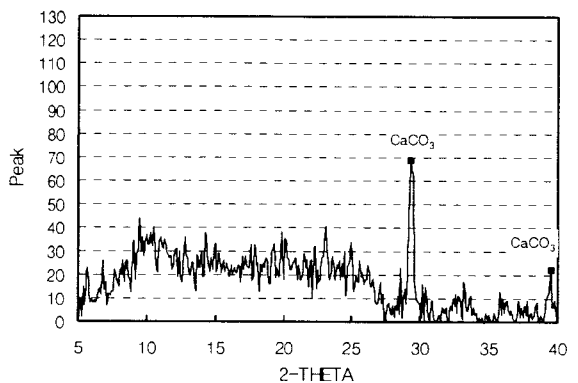
a) NC0-700



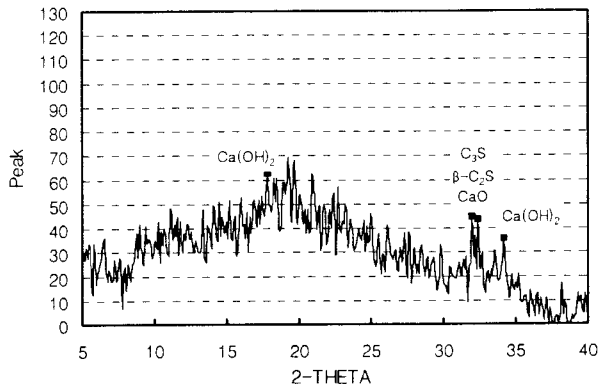
e) NC5-900



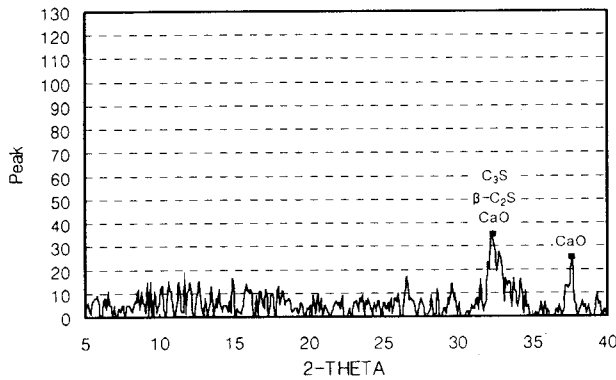
b) NC5-700



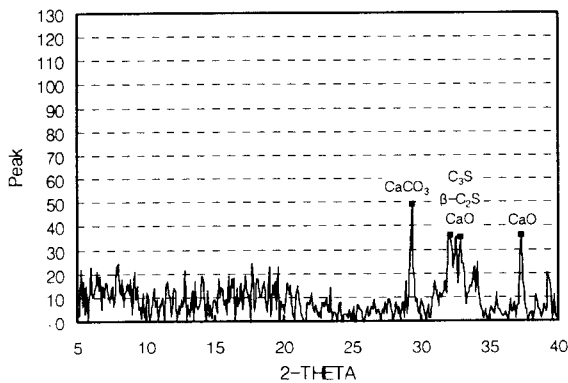
f) NC10-900



g) NC0-1100



h) NC5-1100



i) NC10-1100

그림 5. 재생시멘트의 혼합율별, 소성온도별 XRD

2) 재생시멘트 모르타의 플로우

그림 6은 재생시멘트 모르타의 플로우를 나타낸 것이다. 소성온도 700°C의 경우는 유동성이 우수한 것으로 나타났으며, 모재중 중성화 성분의 함유율이 증가할수록 플로우는 증가하는 것으로 나타났다. 그러나, 소성온도 900, 1100°C의 조건에서는 플로우시험이 불가능할 정도로 급결현상이 나타나, 향후 추가된 연구가 필요하다.

3) 재생시멘트 모르타의 압축강도

그림 7은 재생시멘트를 이용한 모르타의 재령 7일 압축강

도를 나타낸 것으로, 소성온도 700°C NC0과 NC1의 경우, 각각 110kgf/cm², 111kgf/cm²로 가장 높은 압축강도를 나타내고 있다. 이는 수화성 회복을 보이고 있는 것으로 판단된다. 그러나, 중성화시료의 혼합율이 늘어남으로 인하여 강도가 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 중성화시료내에 존재하는 CaCO_3 의 탈탄산반응이 진행되지 않았기 때문인 것으로 판단된다. 그러나, 모재중 중성화 성분이 50% 혼합된 경우까지는 소성온도 700°C가 강도측면에서 가장 우수하였으며 NC5의 경우 약 30% 정도 압축강도가 감소하는 것으로 나타났다.

모재의 전체가 100% 중성화 된 경우는 강도는 낮았으나, 소성온도 1100°C가 가장 높았으며, 이는 탈탄산반응을 위한 고온소성의 영향인 것으로 판단된다.

이상과 같은 결과는 어떠한 모재의 조건에서든 페콘크리트의 내부에는 중성화시료가 첨가됨으로 인하여 재생시멘트의 압축강도를 저하시키는 것을 의미하며, 이러한 압축강도의 저하는 열화콘크리트내 미분말의 재활용시 고려되어야 할 사항으로 판단된다.

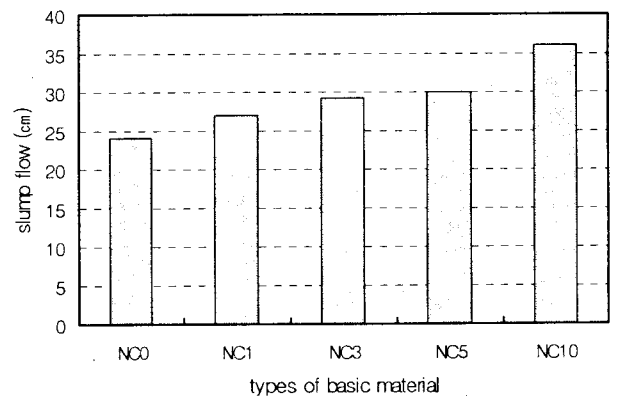


그림 6. 재생시멘트 모르타의 플로우(700°C 소성)

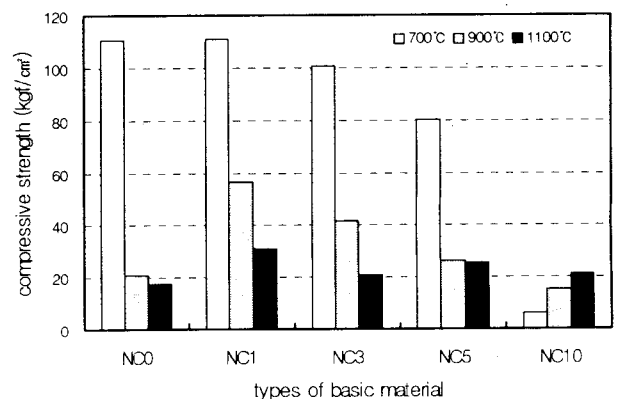


그림 7. 재생시멘트의 소성온도별 압축강도(재령 7일)

5. 결 론

열화콘크리트 폐기물의 재생시멘트 활용방안에 관한 기초적 연구를 수행한 결과 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 모재의 열분석에 의한 성분분석결과, 중성화가 진행될수록 CaCO_3 성분의 함유율이 증가하는 것으로 나타나, 재생시멘트의 재수화를 위한 소성온도의 결정에 있어 영향을 미칠 것으로 판단된다.
- 2) 재생시멘트의 X선 회절분석 결과, 미중성화 페이스트 모재의 경우 소성온도 700°C 에서 CaO 피크가 높은 것으로 나타났으나, 모재내 중성화 성분이 증가할수록 CaO 발생을 위한 소성온도가 증가하였다.
- 3) 중성화 성분의 함량이 50% 이하의 모재에서는 소성온도 700°C 가 가장 우수한 강도성상을 발현하였다.

그러나, 폐콘크리트의 재생시점에 따라 재생시멘트의 품질 관리에 다소 어려움이 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 吳相均·安宰徹 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, pp.991-992, 2002年8月,
2. 吳相均·安宰徹 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, pp.993-994, 2002年8月
3. 小林一輔, 콘크리트 구조물의 조기열화 내구성진단, 일광, 1996
4. 강병희, 초음파에 의한 고온수열콘크리트의 강도추정에 관한 실험적 연구, 한양대학교 박사학위논문, 1989
5. 小林一輔, 코어 채취 열화 진단법, 하남출판사, 1999
6. 정재동, 콘크리트 재료공학, 신성각 2002
7. 박승범, 건설폐기물의 국내의 재활용기술의 현황 그리고 처리 및 재활용 실태, 콘크리트학회 2000
8. 오병환 외 22명, 최신 콘크리트공학, 기문당 1992 pp35-37
9. 김광우 외 3명, 콘크리트 재활용 실태 및 연구동향, 콘크리트학회지, 6권 6호, 1994
10. 윤재환, 포틀랜드 시멘트 및 콘크리트, 세진사, 1990
11. 김규봉, 재생 미분말을 이용한 신재료, 신공법(지반개량 재료의 이용), 콘크리트 학회지, 2003, 3
12. Torben · HansenC, Recycled concrete aggregate and fly ash produce concrete without portland cement, Cement and Concrete Research, Vo 10 p5556 Aug.1989