폐 벤토나이트 분말을 혼입한 모르터의 강도 발현 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Strength-Development Properties of Mortar with Discarded Bentonite Powder

정 민 수* 김 효 열* 안 재 철** 강 병 희***
Jung, Min-Su Kim, Hyo-Youl Ahn, Jae-Chul Kang, Byeung-Hee

Abstract

As the bentonite is main material to prevent from collapse of drilling hole at underground excavation works, the quantity of bentonite is increasingly used on construction industry day by day. But, the discarded bentonite that is excessively used at underground excavation works causes various enviromental trouble such as soil and water pollution etc. Therefore, this study aims to propose a foundamental report about pozzolan reaction of discarded Bentonite powder by heat-treatment and cooling as concrete mineral admixture.

To find out the strength-development properties of mortar with discarded Bentonite powder by indirect cooling & cooling using of water after heat-treatment, the experiments such as flow test, and compressive strength test on curing age of mortar are excuted. As a result of this study, discarded Bentonite powder can be utilized as concrete mineral admixture by heat-treatment and especially, the strength-development properties of mortar mixing with discarded Bentonite powder is superior to the situation of 600℃-60min-cooling using of water.

키 워 드 : 폐 벤토나이트, 소성가공, 폐 벤토나이트 분말, 간접냉각, 주수냉각, 콘크리트 광물질 혼화재
keywords : discarded Bentonite, heat-treatment, discarded Bentonite powder, indirect cooling, cooling using of water, concrete mineral admixture

1. 서 론

1.1 연구의 목적

벤토나이트는 지하굴착 공사시 굴착공의 붕괴 방지를 위한 안정액의 주재료로서[1], 벤토나이트 안정액은 사용 중 소정의 품질규준을 만족하지 못하는 것과 사용이 끝난 것은 폐 벤토나이트로서 배출되게 되며, 이는 대부분의 팽윤성을 상실하여 안정액으로서 재활용할 수 없다.

이에, 산업폐기물 관리법에서는 폐 벤토나이트를 단순건조 후 성토용재로 이용하도록 명시하고 있으나, 대부분 오수로 흘려 보내어지거나 무단방치 되고 있는 실정이다.

그러나, 폐벤토나이트는 단일 폐기물로서 배출되므로 혼합 폐기물의 형태로 발생하는 기존의 건설폐기물에 비하여 재활용 가능성이 높다. 또한 벤토나이트는 다량의 규산과 알루미나를 함유하고 있어 그 화학조성에 있어서도 재활용 가능성의 범위가 확대될 수 있다. 일반적으로 함수규산 알루미나 점토광물은 소성 및 냉각의 과정을 통하여 광물의 결정구조를 불안정화 또는 비정질화하면 포졸란 반응성을 발현하는 것으로 보고되고 있다.[2]

따라서, 본 연구에서는 소성 후 주수 및 간접냉각의 과정에 의해 제작된 폐 벤토나이트 분말을 혼입한 모르터의 강도 발현 특성을 고찰하여, 콘크리트용 혼화재료로서의 활용가능성을 검토하고자 한다.

* 동아대 대학원 건축공학과 박사과정
** 동아대 건설기술연구소 특별연구원, 공학박사
*** 동아대 건축공학과 교수, 공학박사

1.2 연구방법 및 범위

본 실험에서 사용한 폐 벤토나이트 분말은 실제 건설현장에서 사용후 폐기하는 굴착용 벤토나이트 안정액을 수집하여 이용하였다. 수집된 폐 벤토나이트를 건조·분쇄 후 설정 온도와 시간에 따라 각각 소성하였으며, 시료의 냉각은 간접냉각 방식과 주수냉각 방식으로 급냉하였다.

실험은 제작된 폐 벤토나이트 분말의 포졸란 반응성을 검토하기 위하여 폐 벤토나이트 분말을 혼입한 모르터의 플로우 시험과 재령 7일, 14일, 28일, 91일의 압축강도를 측정하였다.

이상의 결과를 바탕으로 소성가공한 폐 벤토나이트 분말의 콘크리트 혼화재로서의 활용 가능성을 평가하고, 폐 벤토나이트의 재활용 기술 개발에 관한 기초자료를 제시하는 것을 본 연구의 범위로 한다.

2. 이론적 고찰

2.1 벤토나이트(Bentonite)[1]

벤토나이트는 몬모릴로나이트를 주 구성광물로 하는 점토

광물의 일종으로 광물학적 분류에서 스멕타이트 족에 속하는 광물로 Si-4면체층과 Al-8면체층이 2:1 형태의 결정구조를 갖는 미세한 집합체이다.

벤토나이트의 생성과정은 일반적으로 화산분출물의 유리질 성분이나 응회암(凝灰巖)이 열수변질(熱水變質) 및 풍화되어 생성된다. 벤토나이트의 결정구조는 그림 1.과 같다.

2.2 벤토나이트의 열적성질[3)]

벤토나이트는 크게 Ca계 벤토나이트와 Na계 벤토나이트로 대별할 수 있으며, 시차열 분석 결과는 그림 2.와 같다.

Na계 벤토나이트의 경우, 132℃에서 층간수가 탈수되며, 682℃에서 결정수가 탈수되어 결정의 형태가 붕괴되어 대부분 비정질 구조로 변화한다. 그러나, 910℃에서 다시 재 결정화가 이루어져 비수화성의 고온결정상 물질이 생성된다.

Ca계 벤토나이트의 경우, 140~206℃에서 층간수가 탈수되며, 690℃에서 결정수의 탈수작용에 의해 대부분 비정질 물질로 존재한다. 그러나, 915℃에서 Ca계 벤토나이트와 마찬가지로 비수화성의 고온결정상 물질이 생성된다.

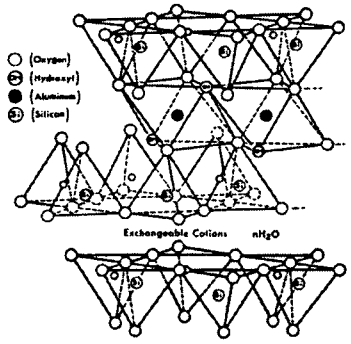


그림 1. 벤토나이트의 결정구조

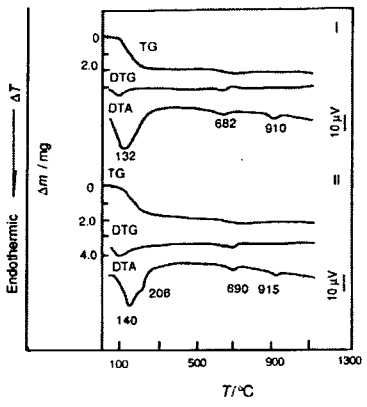


그림 2. 벤토나이트의 시차열 분석 곡선

2.3 폐 벤토나이트의 화학조성

벤토나이트의 사용전·후의 화학적 성분을 파악하기 위하여, KS L 4007「점토의 화학분석」에 의하여 분석한 결과는 표 1.과 같다.

표 1. 폐 벤토나이트 분말의 화학조성

성분(%)	SiO2	Al2O3	CaO	MgO	Na2O	K2O	Fe2O3
사용전	55.60	15.47	2.82	2.71	5.09	0.85	3.86
사용후	56.66	23.45	1.28	-	-	4.50	1.44

표 1.에 나타난 바와 같이 벤토나이트의 사용전과 사용후에 따른 화학조성의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. 이는 벤토나이트가 현장에 적용시 벤토나이트 안정액의 품질확보를 위하여 철저한 품질관리에 의한 것으로 사료된다.

본 연구에서 사용한 폐 벤토나이트의 실리카 함량은 56.66%로 점토질 물질로서는 상당히 높은 수준이며, 알루미나의 함량 역시 비교적 높다. 따라서 소성가공에 의하여 벤토나이트의 실리카와 알루미나 모두가 불안정화 되거나, 비정질화 된다면 상당히 높은 포졸란 반응성을 가질 것으로 기대된다.

표 2.는 일반적인 콘크리트용 혼화재의 화학조성을 나타낸 것으로, 기타 혼화재와 비교하여 볼 때 벤토나이트의 화학조성은 플라이 애쉬와 유사한 것으로 나타났다.

표 2. 콘크리트용 혼화재의 화학조성

성 분 (%)	SiO2	Al2O3	CaO	MgO	Na2O	K2O	Fe2O3
고로슬래그	33.10	13.80	42.40	6.10	0.23	0.31	0.29
플라이애쉬	59.90	27.94	1.75	1.08	2.58	0.70	4.59
실리카 흄	90.00	2.00	0.60	0.60	0.40	1.40	3.00

3. 실 험

3.1 실험계획

본 연구에서는 실험인자 및 수준을 표 3.과 같다.

표 3. 실험인자 및 수준

실 험 인 자		수 준 수
소성온도 (℃)	500, 600, 700, 800	4
소성시간 (분)	30, 60	2
냉 각 방 법	주수냉각, 간접냉각	2
치 환 율 (%)	0, 10	2
계		32

3.2 사용재료

1) 벤토나이트

폐 벤토나이트 분말의 제작과정은 그림 3., 냉각방법은 그림 4.와 같다. 제작된 폐 벤토나이트 분말의 비중은 2.57이며, #230을 이용하여 63㎛이하로 조정하여 사용하였다.

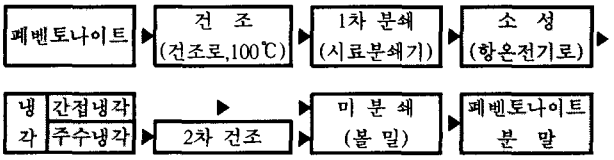


그림 3. 폐 벤토나이트 분말의 제작과정

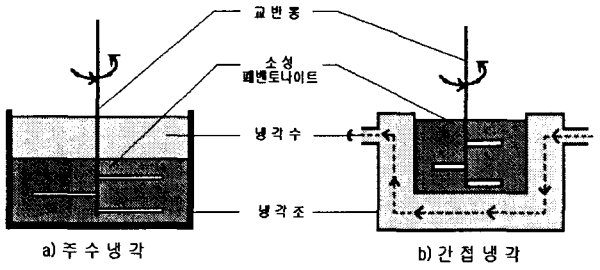


그림 4. 폐 벤토나이트 분말의 냉각장치

2) 시멘트

본 실험에는 국내 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 그 물리적·화학적 성질은 표 4., 표 5.와 같다.

표 4. 보통 포틀랜드 시멘트의 물리적 성질

비중	분말도 (㎠/g)	응결(분)		안정도 (%)	압축강도(kg/㎠)		
		초결	종결		3일	7일	28일
3.15	3,260	240	405	0.11	200	275	385

표 5. 보통 포틀랜드 시멘트의 화학적 성분

성 분	CaO	SiO2	Al2O3	Fe2O3	MgO	SO3	Ig·loss
함 량	62.5	21.3	5.4	3.5	3.3	1.64	1.38

3) 골재

본 실험에서 사용한 골재는 경남 합천산 강모래를 사용하였으며, 그 물리적 성질은 표 6.과 같다.

표 6. 골재의 물리적 성질

종 류	최대입경 (㎜)	조립율 (F.M)	비중	흡수율 (%)	단위용적 중량(kg/ℓ)
잔골재	5	2.52	2.56	2.2	1,620

4) 혼화제

본 실험에 사용한 혼화제는 고성능 AE 감수제의 일종으로 폴리카루본산 에테르계의 복합체인 Rheobuild SP-8N을 사용하였으며, 그 특성은 표 7.과 같다.

표 7. 혼화제의 특성

구 분	주 성 분	외 관	비 중	알칼리량 (%)	염산이온량 (%)
내 용	폴리카루본산 에테르계	암갈색의 액체	1.04~1.06	0.1	0.01이하

5) 사용수

본 실험에서는 불순물 등을 포함하지 않은 부산광역시 상수도 물을 사용하였다.

2.3 실험방법 및 측정

1) 모르터의 제조 및 공시체 제작방법

모르터의 제조는 KS L 5109(수경성 시멘트 반죽 및 모르터의 기계적 혼합방법)에 의해 소형 전동식 Mixer를 사용하여 배합하였다.

공시체는 φ5×10cm 크기의 원주형 몰드를 사용하여 KS F 5105(수경성 시멘트 모르터의 압축강도 시험방법)에 따라 제작하였으며, 다짐방법은 다짐봉을 사용하였다.

2) 양생방법

제작된 공시체는 KS F 2403에 의해 24시간 이후에 탈형을 하고, 양생온도는 20±3℃로 하였다. 공시체는 탈형후 양생조에서 각 재령별로 수중양생 하였다.

표 8. 시 험 결 과

소성온도 (℃)	소성시간 (min)	플로우 (%)		압축강도 (kgf/㎠)								활성도지수 (%)							
				간접냉각				주수냉각				간접냉각				주수냉각			
		간접냉각	주수냉각	7일	14일	28일	91일	7일	14일	28일	91일	7일	14일	28일	91일	7일	14일	28일	91일
Plain		190		309	351	392	429	309	351	392	429	100	100	100	100	100	100	100	100
500	30	161	162	200	277	314	373	210	273	306	357	65	79	80	87	68	78	78	83
	60	176	174	216	323	369	459	235	329	377	468	70	92	94	107	76	94	96	109
600	30	165	163	210	278	318	421	229	285	333	454	68	79	81	98	74	81	85	106
	60	170	175	234	326	381	459	236	332	397	491	76	93	97	107	76	95	101	114
700	30	165	170	211	284	345	399	216	301	350	406	68	81	88	93	70	86	89	95
	60	171	178	287	344	373	468	251	336	384	450	93	98	95	109	81	96	98	105
800	30	165	171	248	326	333	423	231	297	331	350	80	93	85	99	75	85	84	81
	60	175	178	230	347	389	446	231	316	357	391	74	99	99	104	75	90	91	91

3) 측정

(1) Flow 시험

플로우 시험은 시멘트 시험용 플로우 테이블을 이용하였으며, KS L 5105의 8항에 의거하여 실시하였다.

(2) 압축강도

압축강도 시험은 KS L 5105(수경성 시멘트 모르터의 압축강도 시험방법)에 의하여 실시하였다.

(3) 활성도 지수(SAI : Strength Activity Index)

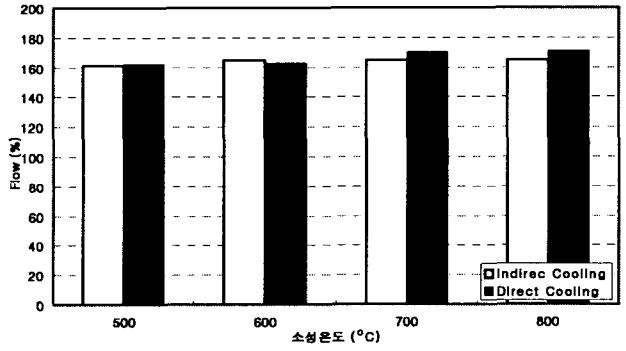
소성 후 주수냉각한 폐 벤토나이트 분말을 사용한 모르터의 활성도 지수는 식 1.에 의하여 산출하였다.

$$\text{활성도지수} = \frac{\text{폐벤토나이트모르터의압축강도}}{\text{플레인모르터의압축강도}} \times 100(\%) \text{ -식 1.}$$

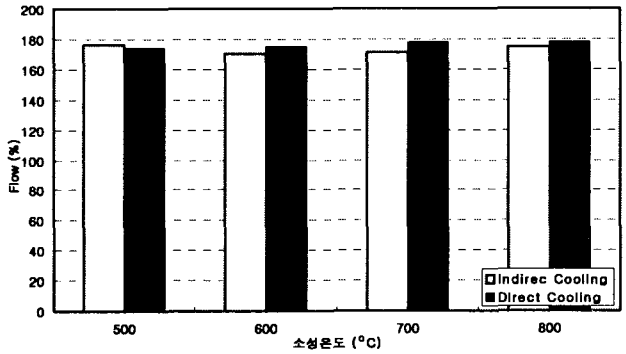
3. 실험 결과 및 분석

3.1 플로우

소성가공한 폐 벤토나이트 분말의 냉각방법에 따른 모르터의 플로우 변화는 표 8., 그림 5.와 같다.



a) 소성시간 30분



b) 소성시간 60분

그림 5. 폐 벤토나이트 분말을 혼입한 모르터의 플로우

소성시간 30분의 경우, 소성온도 500℃에서 폐 벤토나이트 분말을 혼입한 모르터의 플로우는 폐 벤토나이트의 냉각방법의 차이에 따른 변화는 적은 것으로 나타났다. 그러나, 소성온도 600℃, 700℃, 800℃에서는 폐 벤토나이트의 소성 후 냉각방법이 변화함에 따라 모르터의 플로우는 다소 차이를 나타내었으며, 소성온도 600℃의 경우에서는 간접냉각, 소성온도 700℃와 800℃에서는 주수냉각이 모르터의 플로우가 높게 측정되었다.

소성시간 60분의 경우, 소성온도 500℃에서는 폐 벤토나이트 분말의 혼입한 모르터의 플로우는 간접냉각의 경우가 176%, 주수냉각의 경우가 174%로서 유사한 것으로 나타났으나, 소성온도 600℃ 이상의 범위에서는 소성 후 냉각방법을 간접냉각으로 실시한 경우보다 주수냉각이 모르터의 플로우가 높은 것으로 측정되었다. 특히, 소성온도 600℃와 700℃의 범위에서는 폐 벤토나이트 분말을 혼입한 모르터의 플로우는 주수냉각의 경우가 간접냉각의 경우보다 약 7% 정도 높은 것으로 측정되었다.

폐 벤토나이트의 소성후 냉각방법을 달리하여 제작한 폐 벤토나이트 분말을 혼입한 모르터의 플로우 시험 결과를 전체적으로 고려하여 볼 때, 폐 벤토나이트 분말의 냉각방법에 따른 플로우의 변화는 적은 것으로 나타났으며 소성온도가 변화하는 경우에서도 동일한 양상을 나타내었다. 그러나, 폐 벤토나이트 분말의 제조시 소성시간에 따른 모르터의 플로우 변화는 현저한 것으로 나타났으며, 폐 벤토나이트 분말의 제조시 소성시간이 길어짐에 따라 모르터의 플로우는 증가하는 것으로 나타났다.

3.2 모르터의 압축강도 및 활성도지수

폐 벤토나이트 분말의 소성온도와 시간 및 냉각방법에 따른 모르터의 압축강도 및 활성도 지수 시험 결과는 표 8.과 같다.

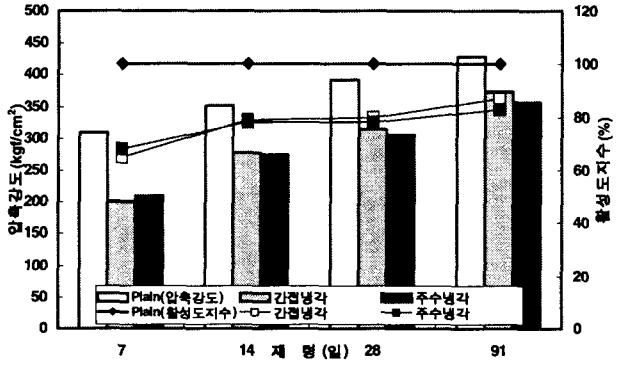
1) 소성시간 30분

소성시간 30분간 가공 후 소성온도와 냉각방법을 달리하여 제작한 폐 벤토나이트 분말을 혼입한 모르터의 재령별 압축강도 시험 결과는 그림 6.과 같다.

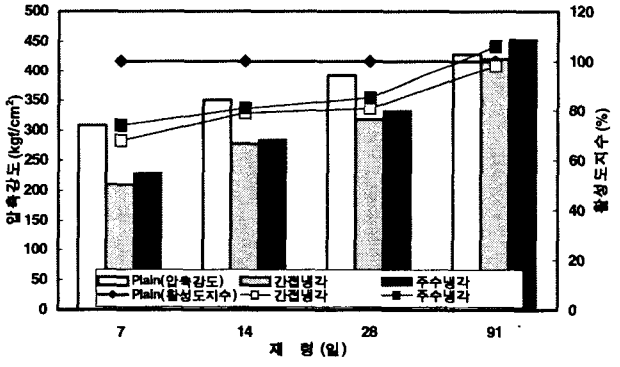
소성온도 500℃의 경우, 폐 벤토나이트 분말을 혼입한 모르터의 압축강도는 재령이 증가함에 따라 압축강도가 다소 증진하는 것으로 나타났으나, 주수냉각·간접냉각 모두 전 재령에서 플레인 모르터에 비하여 낮은 것으로 측정되었다. 또한 폐 벤토나이트 분말의 냉각방법에 따른 압축강도 발현 특성은 유사한 것으로 나타났으며, 플레인 모르터의 압축강도에 비하여 재령 28일에서 약 79%, 재령 91에서 약 85%의 강도만을 발휘하는 것으로 측정되었다.

소성온도 600℃의 경우, 주수냉각 및 간접냉각방식으로 제작한 폐벤토나이트 분말을 혼입한 모르터의 압축강도는 재령이 증가함에 따라증진하는 것으로 나타났다. 그러나, 재령 7일, 14일, 28일의 압축강도는 플레인 모르터에 비하여 낮은 것으로 측정되었으며, 재령 28일의 플레인 대비 압축강도 발현비율은 주수냉각의 경우가 약 85%, 간접냉각의 경우는 80%인 것으로 나타났다. 그러나, 재령 91일에서는 간접냉각의 경우 약 98%로서 플레인 모르터의 압축강도와 유사한 것

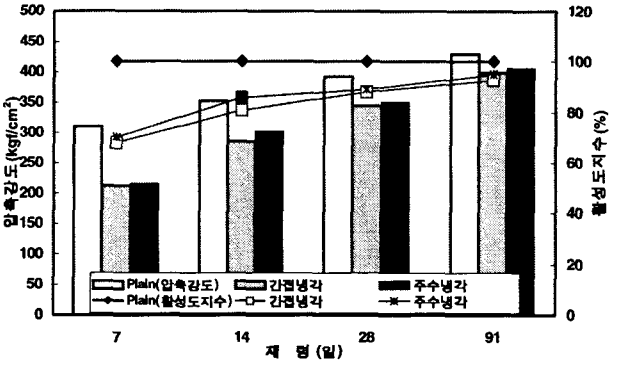
으로 나타났으며, 특히 주수냉각의 경우는 플레인 모르터의 압축강도를 약 6% 정도 상회하는 것으로 측정되어 강기강도의 증진효과가 발휘되는 것으로 나타났다. 소성온도 600℃의 경우, 주수냉각과 간접냉각방식으로 제작한 폐벤토나이트 분말을 혼입한 모르터의 압축강도는 재령 7일, 14일에서는 유사한 것으로 나타났으나, 재령 28일 이후에서는 주수냉각의 경우가 간접냉각에 비하여 강도발현성능이 우수한 것으로 나타났다.



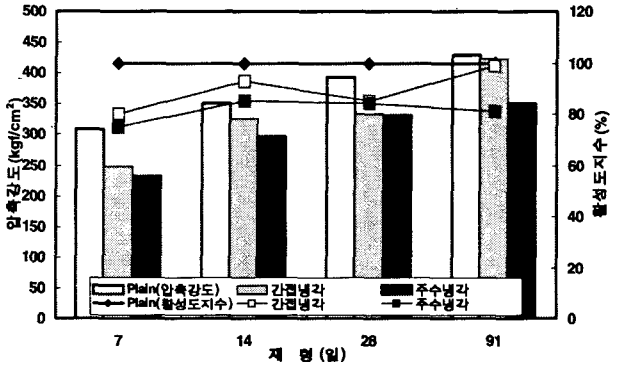
a) 소성온도 500℃



b) 소성온도 600℃



c) 소성온도 700℃



d) 소성온도 800℃

그림 6. 냉각방법에 따른 압축강도 및 활성도지수
(소성시간 : 30분)

소성온도 700℃의 경우, 주수냉각 및 간접냉각 방식으로 제작한 폐 벤토나이트 분말을 혼입한 모르터의 압축강도는 전 재령에서 플레인 모르터에 비하여 낮은 것으로 측정되었으나, 재령이 증가함에 따라 플레인 모르터의 압축강도와의 차가 감소하는 것으로 나타났다. 재령 91일의 압축강도는 플레인 모르터에 비하여 주수냉각, 간접냉각 각각 약 95%, 93% 정도의 강도를 발현하는 것으로 측정되어 냉각방법의 변화에 따른 강도발현 특성은 유사한 것으로 나타났다.

소성온도 800℃의 경우, 간접냉각과 주수냉각방식으로 제작한 폐벤토나이트 분말을 혼입한 모르터의 압축강도는 폐 벤토나이트 분말의 냉각방법이 변화함에 따라 현저한 차이를 나타내는 것으로 측정되었다. 주수냉각의 경우는 전 재령에서 플레인 모르터의 압축강도에 비하여 평균 약 80% 정도의 강도만을 발현하는 것으로 나타났으나, 간접냉각방식으로 제작한 폐벤토나이트 분말을 혼입한 경우는 재령 91일에서 약 99%정도의 강도를 발현하는 것으로 나타나 플레인 모르터의 압축강도와 유사하였다. 그러나, 간접냉각의 경우는 재령 28일에서의 압축강도가 플레인 모르터에 비하여 약 15% 정도의 강도감소효과를 나타내어 콘크리트용 혼화재로서의 적용가능성은 적은 것으로 나타났다.

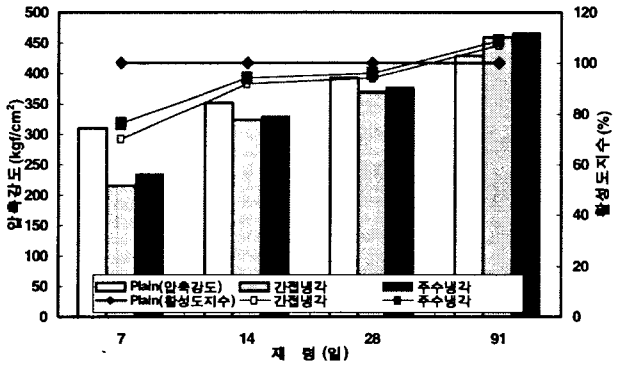
이상과 같이, 소성시간 30분의 경우에서는 주수냉각 및 간접냉각으로 제작한 폐 벤토나이트 분말을 혼입한 모르터의 압축강도는 재령 28일 이내에서 모두 플레인 모르터에 비하여 압축강도의 차가 큰 것으로 측정되어 콘크리트 혼화재로서의 적용가능성이 적은 것으로 사료된다. 또한, 소성시간 30분의 경우, 소성가공한 폐벤토나이트 분말의 냉각방법에 따른 강도발현 특성은 유사하였다.

2) 소성시간 60분

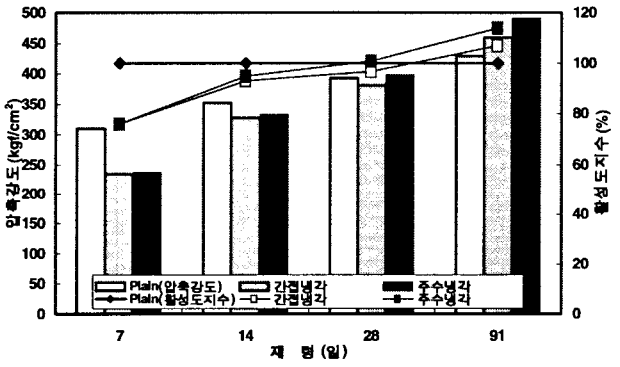
소성시간 60분간 가공 후 소성온도와 냉각방법을 달리하여 제작한 폐 벤토나이트 분말을 혼입한 모르터의 재령별 압축강도 시험 결과는 그림 7.과 같다.

소성온도 500℃의 경우, 폐벤토나이트 분말을 혼입한 모르터의 압축강도는 주수냉각, 간접냉각 모두에서 재령이 증가함에 따라 압축강도가 증진되는 것으로 나타났으며, 냉각방법에 따른 차이는 적은 것으로 나타났다. 특히 재령 14일, 28일의

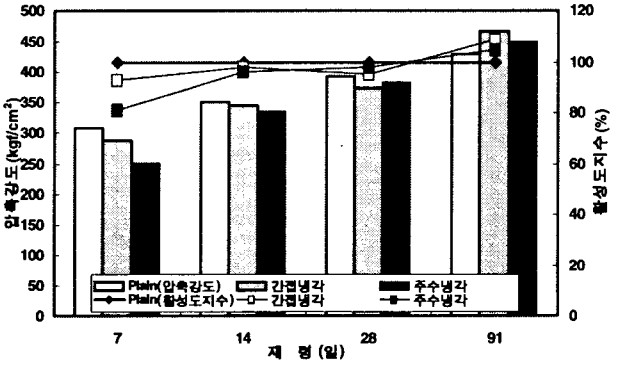
압축강도는 플레인 모르터의 각각 약 93%, 95% 정도를 발휘하는 것으로 측정되어 폐벤토나이트 분말을 치환함에 따른 강도의 차가 적은 것으로 나타났다. 특히 재령 91일에서는 주수냉각, 간접냉각의 모든 경우에서 플레인 모르터의 압축강도를 각각 약 9%, 7% 정도 상회하는 것으로 나타나, 폐 벤토나이트 분말을 500℃, 60분으로 가공하여 시멘트에 치환하여 사용할 때 시멘트 경화체의 장기강도 개선효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.



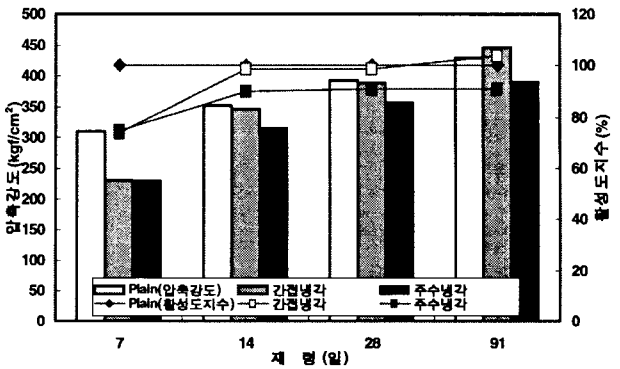
a) 소성온도 500℃



b) 소성온도 600℃



c) 소성온도 700℃



d) 소성온도 800℃

그림 7. 냉각방법에 따른 압축강도 및 활성도지수 (소성시간 : 60분)

소성온도 600℃의 경우, 폐벤토나이트 분말을 혼입한 모르터의 압축강도는 재령이 증가함에 따라 증진되는 것으로 나타났으며, 재령 14일 이후에서는 플레인 모르터의 압축강도와 유사한 것으로 측정되었다. 특히 소성가공한 폐벤토나이트를 주수냉각방식으로 제조한 경우는 재령 28일에서 플레인 모르터의 압축강도를 다소 상회하였으며, 재령 91일에서는 플레인 모르터의 압축강도 대비 약 14%의 장기강도 개선효과를 발휘하였으며, 간접냉각의 경우도 이와 동일한 양상을 나타내었으나 주수냉각의 경우가 간접냉각 보다 강도발현성능이 우수한 것으로 나타났다.

소성온도 700℃의 경우, 재령 7일에서 간접냉각방식으로 제작한 폐벤토나이트 분말을 혼입한 모르터의 압축강도에 비하여 간접냉각의 경우가 매우 우수한 강도발현성능을 나타내었으며, 이때의 활성도지수는 약 93%로서 타 소성온도 조건에 비하여 초기강도 발현성능이 가장 우수한 것으로 나타났다. 재령 14일 이후의 압축강도 발현특성은 간접냉각과 주수냉각의 경우가 유사한 것으로 나타났으며, 재령 91일에서는 각각 9%, 5%의 장기강도 증진효과를 발휘하는 것으로 측정되었다.

소성온도 800℃의 경우, 소성가공한 폐벤토나이트의 냉각방식이 다름에 따라 이를 혼입한 모르터의 압축강도는 큰 차이를 나타내었으며 간접냉각의 경우가 주수냉각에 비하여 강도발현특성이 우수한 것으로 나타났다. 특히 간접냉각방식으로 제작한 폐 벤토나이트 분말을 혼입한 모르터의 압축강도는 재령 14일 이후에서 플레인 모르터의 압축강도와 유사하였으며, 재령 91일에서 약 4%의 강도증진 효과를 발휘하는 것으로 나타났다.

따라서, 폐벤토나이트 분말의 소성조건 중 소성시간을 60분으로 설정할 경우는 소성시간 30분의 경우보다 강도발현성능이 우수한 것으로 나타났으며, 또한 대부분의 경우에서 시멘트 경화체의 장기강도 증진효과를 발휘하는 것으로 나타났다. 소성시간 60분의 경우 소성가공한 폐벤토나이트의 냉각방법에 따른 강도발현 성능은 소성온도 600℃ 이하의 범위에서는 주수냉각의 경우가 우수하였으며, 그 이상의 범위에서는 간접냉각의 경우가 우수한 것으로 나타났다.

4. 결 론

소성가공한 폐벤토나이트를 냉각방법을 달리하여 제작한 폐벤토나이트 분말을 혼입한 모르터의 플로우와 압축강도발현특성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 폐벤토나이트 분말을 시멘트와 혼합치환하여 사용할 경우, 모르터의 플로우는 저하하는 것으로 나타났으나 폐벤토나이트의 냉각방법에 따른 변화는 적었다.

2. 폐벤토나이트 분말을 혼합치환함에 따라 모르터의 초기강도는 저하하는 것으로 나타났으나, 폐벤토나이트 분말의 가공조건을 700℃, 60분, 간접냉각으로 설정한다면 초기강도의 확보가 용이할 것으로 판단된다.

3. 폐벤토나이트를 소성시간 30분으로 가공한 경우는 주수냉각, 간접냉각 모두에서 강도발현성능이 매우 낮아 콘크리트 혼화재로서의 활용가능성이 적은 것으로 판단된다.

4. 폐벤토나이트의 소성시간을 60분으로 설정할 경우, 폐벤토나이트 분말을 혼입한 모르터의 강도발현성능은 매우 향상되었다. 특히 소성온도 600℃이하의 범위에서는 주수냉각의 경우가, 700℃이상의 범위에서는 간접냉각의 경우가 우수하였다.

따라서, 콘크리트 혼화재로서 활용하기 위한 폐벤토나이트 분말의 가공조건은 장기강도증진효과의 발현 측면에서는 600℃·60분·주수냉각이, 초기강도확보를 위해서는 700℃·60분·간접냉각의 경우가 유리할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 노진환 외, 벤토나이트와 그 응용, 산업광물은행·한국과학재단, 2000, pp1~45
2. 변근주, 혼화재료, 한국레미콘공업협회, 1990, pp54~58
3. 정재동, 콘크리트 재료공학, 보성각, 2000, pp168~169
4. 최희용·황해주·김문한, 황토반응의 메카니즘에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 97 추계학술발표대회 논문집, 1997
5. 이종근, 무기재료원료공학, 반도출판사, 1995, pp3~81
6. 정상진 외, 건축재료학, 보성각, 1999, pp69~70
7. 笠井芳夫, 池田尙治, コンクリートの實驗方法, 技術書院, 1993, pp81~87
8. 정민철, Meta Kaolin 및 Silica Fume을 이용한 고성능 고강도 시멘트 모르타르 특성에 관한 연구, 한국세라믹학회지 제33권 5호, 1996
9. F. M. Lea, The Chemistry of Cement and Concrete, Chemical Publishing Company, 1971, pp414~453
10. P. Kumar Mehta, Concrete, The McGraw-Hill Companies Inc., 1993, pp271~285
11. A. M. Neville, Properties of Concrete, LONGMAN, 1995, pp84~88