

3성분계 무시멘트 경화체의 양생방법에 따른 강도특성

Strength Property of Ternary System Non-Cement Matrix according to the Curing Method

이진우, 이상수
한밭대학교 건축공학과

Jin-Woo Lee(storeup@naver.com), Sang-Soo Lee(sslee111@hanbat.ac.kr)

요약

본 연구는 CO₂발생으로 인한 지구 온난화에 따른 해결책으로 고로슬래그, 레드머드, 실리카 흙 등을 시멘트를 대체하기 위한 기초적인 연구를 수행한 것으로 고로슬래그, 레드머드, 실리카 흙 및 알칼리 자극제를 사용하여 시멘트와 같은 성질을 가지는 경화체의 제조가 가능한지에 대한 실험적 검토를 실시하였다. 이를 위하여 시멘트 대체재로 고로슬래그, 레드머드, 실리카 흙 등의 무기결합체와 수산화나트륨(NaOH), 규산나트륨(Na₂SiO₃) 등을 사용하여 비빔시간 변화에 따른 강도특성을 선행실험에 실시하였다. 선행실험을 바탕으로 본 실험에서는 기건양생, 수중양생, 피막양생, 한지양생을 실시함으로써 경화체의 강도특성에 대하여 분석을 실시하였다. 그 결과, 수중양생 80℃의 경우 재령 28일에서 압축강도 및 휨강도가 가장 우수하였으며 무시멘트 경화체의 제조가 가능해서 친환경적인 콘크리트 생산에 커다란 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다.

■ 중심어 : | 지구온난화 | 고로슬래그 | 레드머드 | 실리카 흙 | 무시멘트 경화체 | 비빔시간 | 양생방법 |

Abstract

This study was conducted as the basic research for the replacement of Blast Furnace Slag, Red Mud, Silica Fume, etc., with cement as a solution to the problems arising from the global warming caused by the generation of CO₂, and conducted the experimental review to examine the feasibility of matrix having properties identical to those of cement by using the Blast Furnace slag, Red mud, Silica fume, and alkali-activator. For this, by using the the inorganic binder, such as Blast Furnace Slag, Red Mud, Silica Fume, etc., and NaOH, Na₂SiO₃ and others as the cement substitute material, the strength characteristic according to the mixture time variation was performed in the tentative experiment. Based on the preceding experiment, this study performed the experiment to analyze the strength properties of hardener through the curing by air-dry temperature, curing by temperature in water, coating curing, and Korean paper curing. For the water curing at 80℃, the compressive strength and flexural strength were found to be the most excellent at the age of the 28th day, and furthermore, it was found that the non-cement hardener could be made, which is considered to affect the production of eco-friendly concrete.

■ keyword : | Global Warming | Blast Furnace Slag | Red Mud | Silica Fume | Non-Cement Matrix | Mixing Time | Curing Method |

* 본 연구는 2013년도 한국연구재단 지원사업[과제번호 : 2013-026265]에 의해 수행되었습니다.

접수일자 : 2014년 01월 08일

심사완료일 : 2014년 03월 18일

수정일자 : 2014년 02월 27일

교신저자 : 이상수, e-mail : sslee111@hanbat.ac.kr

I. 서론

1. 연구의 배경

최근 CO₂발생으로 인한 지구 온난화 및 이에 대한 해결책은 국제적인 환경 문제로 대두되고 있다. 특히 대부분의 건축과 토목 현장에서 사용되는 포틀랜드 시멘트의 경우, 제조과정에서 발생하는 CO₂양이 해마다 증가되는 추세이다. [그림 1]에 나타낸 바와 같이 시멘트는 1톤 생산하는데 0.4~1.0톤의 CO₂가스를 배출하는 등 전 세계 CO₂가스 배출량의 7%를 차지할 정도로 심각하다[1][2].

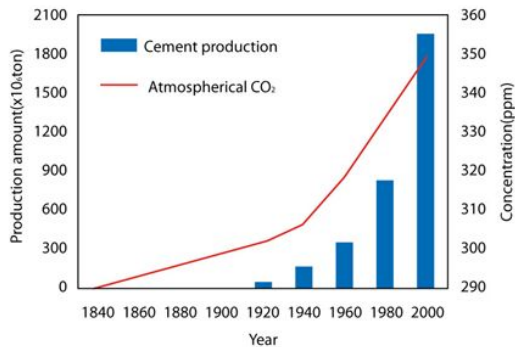


그림 1. 시멘트 생산량에 따른 CO₂발생

고도의 경제성장과 생활수준이 향상됨에 비례하여 해마다 산업부산물 및 폐기물의 발생량은 급격히 증가하고 있으며, 환경보전과 자원의 재활용이 강조되고 있는 시점에서 이들의 활용은 전 세계적으로 중요한 문제이다. 또한, 현대 건축에서는 급변하는 경제성장과 사회 기반시설 등의 확충으로 건축물의 실내 환경에 대한 쾌적한 주거 공간을 위한 개선보다는 편리성과 기능성만을 추구하는 실태이다. 수도권 및 큰도시의 발달에 따른 인구과밀화와 지가의 상승으로 초고층 구조물이 등장함에 따라 재료자체의 강도나 작업의 용이함 및 비용 절감 측면에서만 요구되고 있으며, 이에 따라 현대 건축물을 지을 시 새집증후군이라는 큰 문제점이 발생되고 있다.

이에 따라 전세계적으로 친환경에 대한 관심이 높아지면서 지구온난화의 방지를 위한 저탄소 연구가 절실

해지고 있다. 또한 산업부산물이나 폐기물처리에 대한 대책이 시급해지고 있어 이를 재활용할 수 있는 연구는 절대적인 요구사항이 되었다. 특히 시멘트산업은 자원 소비량 및 이산화탄소 배출량이 많은 산업으로 지적되고 있다. 따라서 시멘트 생산에 있어서 각종 산업부산물 또는 폐기물을 활용함으로써 천연자원 소비량을 감축시키고 저에너지 소비형 생산방식의 개발을 통해 이산화탄소의 배출량을 감축시킬 수 있는 기술개발 등이 시급한 과제로 떠오르고 있다[3]. 이러한 노력에 대한 결과로서 고로슬래그나 플라이애시 등과 같은 산업부산물을 시멘트에 대해 일부 치환한 콘크리트의 사용이 점차 보편화되고 있으며, 이러한 관점에서 현재 플라이애시 및 고로슬래그를 시멘트 특성을 지닌 물질로 전환하기 위한 하나의 수단으로서 이들 물질에 대한 알칼리 활성화 반응에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[4]. 이에 따라 본 연구는 “산업부산물을 사용한 저탄소 무기결합체의 역학적 특성에 관한 연구”의 기존 연구를 바탕으로 CaO함유량 30% 기준으로 Si/Al 4일 경우 가장 안정적인 압축강도를 발현하였기 때문에 CaO함유량 및 Si/Al비를 고정하였다. 또한, 이를 바탕으로 고로슬래그, 레드머드, 실리카 흙 등의 산업부산물 및 수산화나트륨, 규산나트륨의 알칼리자극제를 설정하여 양생방법에 따른 심화된 연구를 하였다[5].

2. 연구의 목적

최근 국내·외를 중심으로 지구온난화 방지를 위한 노력이 이루어지고 있으며, 건설산업에서의 주 사용 재료인 시멘트는 소성과정 중 다량의 CO₂를 발생시키고 이를 저감시키고자 전 세계적으로 산업부산물을 활용한 연구가 진행중이다. 따라서, 본 연구에서는 고로슬래그, 레드머드, 실리카 흙 등의 산업부산물을 시멘트 대체재로서 상호 단점을 보완하여, 액상의 알칼리 자극제만으로 상온에서 제조 가능한 무시멘트 경화체의 최적배합을 기존연구에서 도출하였으며, 최적배합을 바탕으로 공시체를 제작하고 양생방법에 따른 양생을 실시한 후 압축강도 및 휨강도 특성에 대하여 분석을 실시하였다[5]. [그림 2]는 본 연구의 목적을 나타내었다.

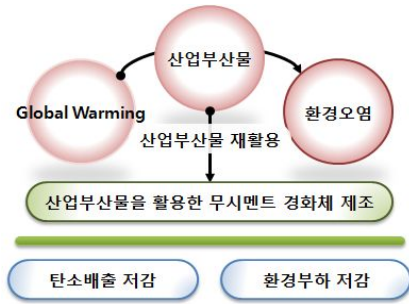


그림 2. 연구 목적

II. 선행 실험계획 및 결과

1. 선행 실험계획

본 연구에 앞서 무기결합체의 비빔조건을 선정하기 위한 선행 실험의 수준 및 요인은 [표 1]에 나타내었다. 결합재 조건으로써 CaO 30%의 함유량과 Si/Al 비4를 기준으로 고로슬래그, 레드머드, 실리카 흙 등의 질량비를 설정하였으며, 알칼리 자극제는 NaOH 및 Na₂SiO₃를 결합재 질량 400g에 각각 50g을 첨가하였다. 비빔조건으로는 20, 30, 40, 50 (rpm)으로 각각 30, 60, 90 (초)로 총 120, 240, 360 (초) 총 3수준으로 설정하였으며, 시험항목으로는 압축 및 휨강도 총 2수준으로 설정하였다.

표 1. 선행실험수준 및 요인

실험요인	실험수준	
무기결합재	-고로슬래그, 레드머드, 실리카 흙	1
무기결합재 조건	-CaO 함유량 30%, Si/Al ^{a)} 변화율 4	1
알칼리 자극제	-NaOH : Na ₂ SiO ₃ (100g기준)	-50g:50g
	-질량(binder 400g기준)	-100g
W/B	-31%	1
양생조건	-상대습도 80±5%, 온도 20±2℃	1
비빔조건	-20, 30, 40, 50(rpm)→각 30초씩 총 120초	3
	-20, 30, 40, 50(rpm)→각 60초씩 총 240초	
	-20, 30, 40, 50(rpm)→각 90초씩 총 360초	
시험항목	-압축강도, 휨강도	2

주 a) Si/Al : SiO₂(분자량)/Al₂O₃(분자량)

2. 선행 실험결과 및 분석

[그림 3]은 비빔시간에 따른 압축강도 측정결과를 나

타낸 것으로서, 모든 경화체의 압축강도가 재령 28일에 45MPa 이상 발현되었으며, 비빔시간이 늘어날수록 강도가 증가되는 경향을 나타내었다. 또한, 90초 비빔 총 360초로 실시한 경화체의 압축강도는 재령 28일에 51.1MPa로 가장 높은 강도발현을 하였다. 반면, 30초 비빔의 경우 초기강도의 발현은 저하되었지만, 재령이 경과할수록 경화체의 반응이 활성화되어 재령 28일 강도에서 60, 90 (초)의 차이는 미미하였다.

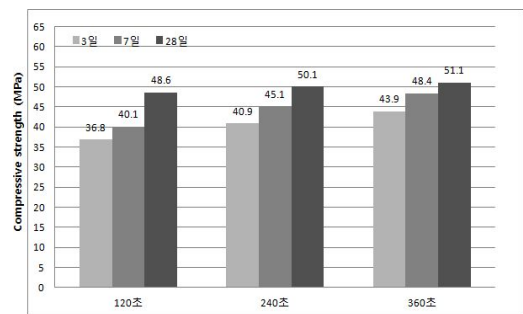


그림 3. 비빔시간에 따른 무기결합체의 압축강도

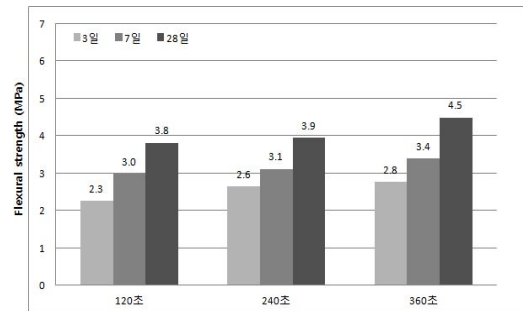


그림 4. 비빔시간에 따른 무기결합체의 휨강도

[그림 4]는 비빔시간에 따른 휨강도 측정결과를 나타낸 것으로서, 비빔시간이 늘어날수록 강도가 증진되는 경향을 나타내었다. 또한, 90초 비빔 총 360초 비빔을 실시한 경화체의 강도는 재령 28일에서 4.5MPa로 30, 60 (초)보다 미미하게 높은 강도발현을 하였다. 압축강도와 휨강도는 유사한 경향으로, 비빔시간이 길어질수록 알칼리 자극제가 고루 분포되어 강도증진에 영향을 준 것으로 보인다. 반면, 비빔시간이 짧을수록 공기량이

많아져서 공극이 상대적으로 많이 늘어나 압축강도의 저하원인으로 판단된다.

압축강도와 휨강도 측정결과, 비빔시간 각각 90초, 총 360초가 차이는 미미하였으나 가장 우수한 강도발현을 하였으므로, 본 실험의 기초자료로 제시하였다.

III. 본 실험계획 및 방법

1. 본 실험계획

본 실험요인 및 수준은 [표 2]에 나타낸 바와 같이 선행연구를 바탕으로 비빔조건을 20, 30, 40, 50 (rpm)으로 각각 90초, 총 360초로 비빔시간을 고정하였으며, W/B 31%, CaO 함유량 30%, Si/Al 변화율 4로 선정하여 고로슬래그, 레드머드, 실리카 흙 등의 무기결합체를 총 400g, 알칼리 자극제를 액상형태의 NaOH 50g, Na₂SiO₃ 50g 총 100g을 첨가하였다. 양생조건으로는 기건양생, 수중양생, 피막양생, 한지양생 총 4수준으로 설정하였다. 시험항목으로는 압축강도, 휨강도 총 2수준 실험하였다. 본 실험 배합은 [표 3]과 같다.

표 2. 본 실험수준 및 요인

실험요인	실험수준		
무기결합재	-고로슬래그, 레드머드, 실리카 흙		1
무기결합재 조건	-CaO 함유량 30%, Si/Al ^{a)} 변화율 4		1
알칼리 자극제	-NaOH : Na ₂ SiO ₃ (100g기준)	-50g:50g	1
	-질량(binder 400g기준)	-100g	
W/B	-31%		1
양생조건	-기건양생 (20, 40, 60, 80℃)		4
	-수중양생 (20, 40, 60, 80℃)		
	-피막양생 (20℃)		
	-한지양생 (20℃)		
비빔조건	-20, 30, 40, 50(rpm)→각 90초씩 총 360초		1
시험항목	-압축강도, 휨강도		2

주 a) Si/Al : SiO₂(분자량)/Al₂O₃(분자량)

표 3. 본 실험배합

W/B (%)	W (g)	무기결합재 조건	알칼리 자극제 (g)		무기결합재 (g)			무기결합재 화학적 구성비율(%)			비빔시간	양생조건
			NaOH	Na ₂ SiO ₃	BFS	RM	SF	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃		
31	60	CaO 30% Si/Al 4	50	50	180	150	70	29.6	33.5	16.3	각 rpm별 90초, 총 360초	기건양생 수중양생 피막양생 한지양생

2. 사용재료

본 연구에서 사용된 재료는 고로슬래그와 실리카 흙, 레드머드이며, 사용재료의 화학적 성질은 [표 4]에 나타내었다.

(1) 고로슬래그(BFS : Blast Furnace Slag)

고로슬래그는 SiO₂와 CaO, MgO, Al₂O₃가 주성분이며, 밀도 2.91g/cm³, 분말도 4,464cm³/g인 3종을 사용하였다.

(2) 실리카 흙(SF : Silica Fume)

실리카 흙은 밀도 2.18g/cm³, 분말도 220,000cm³/g인 것을 사용하였다.

(3) 레드머드(RM : Red Mud)

레드머드는 Fe₂O₃와 Al₂O₃가 주성분이고 Na₂O를 함유하고 있으며, 밀도와 분말도는 각각 3.37g/cm³, 3,483cm³/g이다.

(4) 알칼리 자극제(Alkali Accelerator)

알칼리 자극제는 액상인 수산화나트륨(NaOH) 33%와 규산나트륨(Na₂SiO₃)은 KSM 1415에 따른 1종, 38.5%를 사용하였다.

표 4. 사용재료의 화학성분

(단위 : %)

구분	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
고로슬래그	26.03	10.96	0.18	54.07	4.21
실리카 흙	94.00	2.60	1.69	0.31	1.03
레드머드	14.20	29.12	25.12	13.99	0.40

3. 실험방법

무기결합재 페이스트의 압축강도 및 휨강도를 측정하기 위한 비빔방법은 20, 30, 40, 50 (rpm)의 속도로 각각 90초씩 총 360초 비빔을 하였고, 굳은 페이스트의 휨

및 압축강도 시험 방법은 KS L ISO 679 : 시멘트의 강도 시험 방법에 의거하여 40×40×160mm 몰드에 경화체를 성형 제작하였으며, 상대습도 80±5%, 온도 20±2℃의 조건으로 전치 양생 6시간을 실시한 후 타설하여 각 기건양생, 수중양생을 실시하였다. 또한, 경화체 제조과정에서 표면에 피막양생제를 도포하고 전치 양생 6시간을 실시한 후 타설과 동시에 피막양생제를 경화체에 스프레이로 도포하는 피막양생, 경화체 제조과정에서 표면에 한지를 덮어 전치 양생 6시간을 실시한 후 타설하여 경화체에 한지를 감싸는 한지양생으로 각각 실험을 진행하였다.

IV. 본 실험결과 및 분석

1. 기건양생 온도별 결과 및 분석

1.1 압축강도

[그림 5]는 기건양생 온도별 압축강도 측정결과를 나타낸 것으로, 기건 20℃의 경우 재령에 따른 강도증진율이 안정적인 값을 나타내었으며, 온도가 높아질수록 압축강도 값이 증진되는 것을 알 수 있다. 또한, 기건 80℃인 경우 재령 28일에 70.6MPa로 가장 높은 강도값을 나타내었다. 반면, 양생온도가 높아질수록 재령 3일에 높은 강도값을 나타내었으며, 재령이 경과할수록 7, 28일에서는 강도의 증진율이 저하되었다. 이는 고온양생의 경우 초기재령에 따른 압축강도가 고온의 촉진반응에 의해 초기에 일정량 이상의 강도발현을 한 것으로 보이며, 내부수화물이 현저하게 치밀화하여 경화체 내부의 수화반응 속도를 저해시킨다고 판단된다.

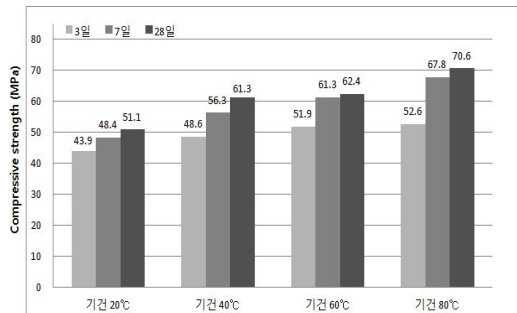


그림 5. 기건양생 온도별 압축강도

1.2 휨강도

[그림 6]은 기건양생 온도별 휨강도 측정결과를 나타낸 것으로, 기건 20℃의 경우 재령에 따른 강도증진율이 안정적인 경향을 나타내었다. 반면, 양생의 온도가 높아질수록 휨강도의 값이 저하되었으며, 40℃이상의 경우 재령이 경과할수록 강도값은 저하되었다. 이는 고온상태에 방치를 하여 수분이 증발하여 정상적인 화학반응을 하지 못한 것과, 시험체가 공기면에 접촉하는 외기면의 건조로 인한 균열로 강도저하에 영향을 준 것으로 판단된다.

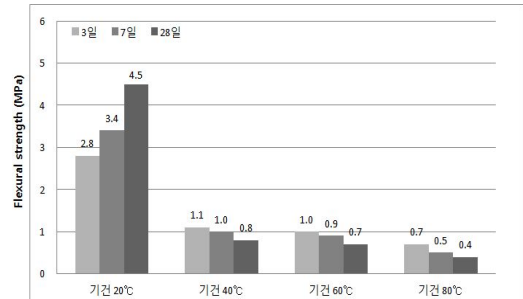
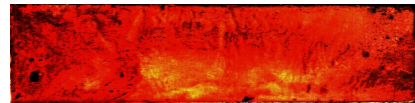


그림 6. 기건양생 온도별 휨강도



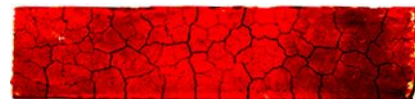
(a) 20℃경화체 재령 28일 균열사진



(b) 40℃경화체 재령 28일 균열사진



(c) 60℃경화체 재령 28일 균열사진



(d) 80℃경화체 재령 28일 균열사진

그림 7. 기건양생 온도별 경화체 균열

[그림 7]은 기건양생을 실시하였을 경우 온도별 변화에 따른 경화체의 균열을 나타낸 것이다. 온도가 높아질수록 경화체 표면의 균열이 커지는 경향을 보였으며

기건양생을 실시한 후 수중양생을 실험하였을 때는 균열이 나타나지 않는 것을 확인할 수 있었다. 강도의 경향 차이는 휨강도는 균열로 인한 상부압축은 버틸 수 있으나 하부인장은 균열로 인하여 버틸 수 없어 휨강도가 저하된 것으로 보이며, 압축강도는 중앙부의 집중하중으로 인한 경화체 자체의 고온양생으로 인하여 초기 강도발현이 우수하였으며 반면, 표면의 균열로 인한 축하중에 의한 축력은 버틸 수 있는 것으로 강도가 증진되었다고 판단된다.

2. 수중양생 온도별 결과 및 분석

2.1 압축강도

[그림 8]은 기건 양생시 발생하는 균열을 방지하기 위한 수중양생 온도별 경화체의 압축강도 측정결과를 나타낸 것으로, 수중 20℃의 경우 재령에 따른 강도증진율이 안정적인 값을 나타내었고, 기건 20℃ 양생보다 압축강도가 더 높은 것을 확인할 수 있었으며, 온도가 높아질수록 압축강도 값이 증진되는 것을 알 수 있다. 수중 80℃인 경우 재령 28일에 61.5 MPa로 가장 높은 강도값을 나타내었다. 반면, 온도가 높아지더라도 강도의 차이는 크지 않다는 것을 느낄 수 있었으며, 양생온도가 높아질수록 재령 3일에 높은 강도값을 나타내었고, 재령이 경과할수록 7, 28일에서는 강도는 증진되었으나 강도의 증진율이 저하되었다. 이는 고온양생의 경우 초기재령에 따른 압축강도가 고온의 촉진반응에 의해 초기에 무기결합재 내부에서 활발한 반응을 함으로써 재령이 경과할수록 반응이 끝난 무기결합재의 강도증진율이 저하된 것으로 판단된다.

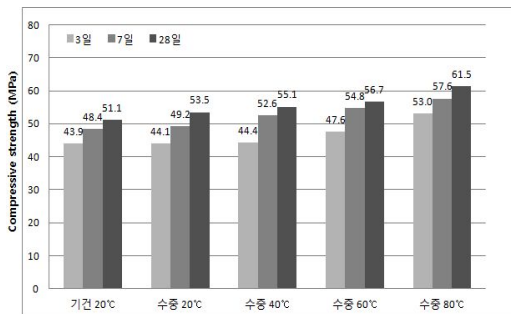


그림 8. 수중양생 온도별 압축강도

2.2 휨강도

[그림 9]는 수중양생 온도별 경화체의 휨강도 측정결과를 나타낸 것으로, 압축강도와 유사한 경향을 나타내었으며, 기건 20℃ 및 수중 20℃의 경우 재령에 따른 강도증진율이 안정적인 경향을 나타내었다. 수중양생의 온도가 높아질수록 기건양생의 온도별 변화에 따른 경향과 반대의 경향이 나타났다. 수중 80℃의 경우 재령 28일에 7.8MPa의 강도값을 나타내었다. 이는 수중양생을 실시함으로써 충분한 수분공급으로 인하여 균열을 제어함으로써 기건양생보다 높은 강도값을 얻은 것으로 보인다. 반면, 수중양생의 온도가 높아질수록 강도증진율이 저하되는 경향을 보였다. 이는 고온양생을 하였을 경우 초기에 내부 수화생성물이 현저하게 치밀화되어 이후의 수화반응 속도를 저해시킨 것으로 판단된다.

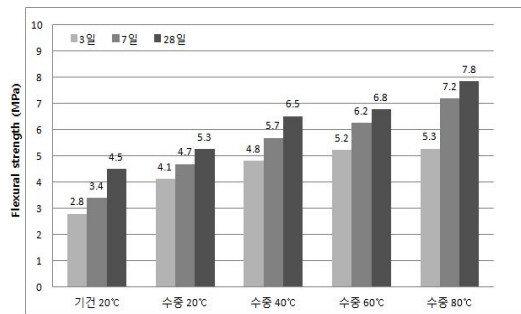


그림 9. 수중양생 온도별 휨강도

3. 피막양생 및 한지양생 결과 및 분석

3.1 압축강도

[그림 10]은 피막양생 및 한지양생에 따른 압축강도 측정결과를 나타낸 것으로, 피막 20℃양생의 재령 28일 측정 강도 값은 48.3MPa, 한지 20℃양생의 재령 28일 측정 강도 값은 45.1MPa로 기건 20℃양생보다 낮은 강도값을 나타내었다. 이는 피막양생의 경우 피막양생체는 콘크리트의 건조 수축을 방지하는 양생방법이며 콘크리트 타설시 사용되는 제품으로 3성분계 무기결합재의 양생방법으로는 적절하지 못하다고 사료된다. 또한, 한지양생의 경우 무기결합재 내부의 다량의 수분을 한지가 흡수하여 충분한 강도발현이 되지 않았다고 판단

이 된다. 기건양생을 실시한 경우보다 피막양생 및 한지양생의 강도저하원인에 대해서는 추가적인 연구가 필요할 것으로 보인다.

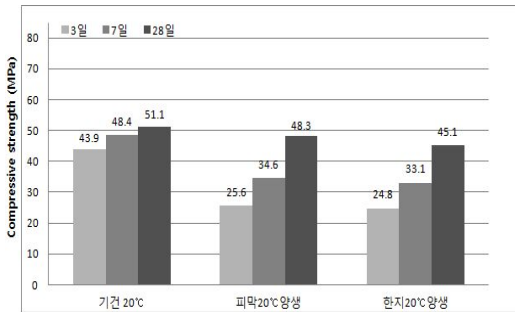


그림 10. 피막양생 및 한지양생에 따른 압축강도

3.2 휨강도

[그림 11]은 피막양생 및 한지양생에 따른 휨강도 측정결과를 나타낸 것으로, 압축강도와 유사한 경향을 나타내었으며, 피막 20°C 양생의 재령 28일 측정 강도 값은 3.8MPa, 한지 20°C 양생의 재령 28일 측정 강도 값은 3.4MPa로 기건 20°C 양생보다 낮은 강도값을 나타내었다. 이는 피막양생의 경우 피막양생제는 콘크리트의 건조 수축을 방지하는 양생방법이며 콘크리트 타설시 사용되는 제품으로 3성분계 무기결합체의 양생방법에는 적절하지 못한 방법이라 사료된다. 또한, 한지양생의 경우 무기결합체 내부의 다량의 수분을 한지가 흡수하여 충분한 강도발현이 되지 않았다고 판단이 된다.

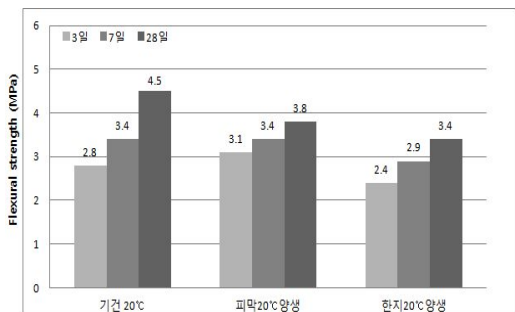


그림 11. 피막양생 및 한지양생에 따른 휨강도

V. 결론

3성분계 무시멘트 경화체의 기건양생, 수중양생, 피막양생, 한지양생방법 등에 따른 강도 특성에 대하여 실험적으로 검토한 결과, 본 연구의 범위 내에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 선행 실험으로 비빔시간에 따른 강도특성을 나타낸 결과, 압축강도와 휨강도에서 비빔시간 90초, 총 360초 비빔이 재령 28일에서 각각 51.14MPa, 4.49 MPa로 가장 높은 강도값을 나타내었다. 비빔시간의 값에 따른 강도의 값은 미미하였으나 가장 우수한 90초로 실험을 진행하였다.
- 2) 기건양생 온도별 강도 특성 분석 결과, 40°C 이상의 온도로 양생을 하였을 때 표면에 표면균열이 일어난 것을 확인할 수 있었고, 압축강도는 기건 80°C 양생일 경우 70.6MPa로 높은 강도값을 나타내었으나, 휨강도는 온도가 높아질수록 강도값은 저하되었으며, 기건 20°C인 경우 안정적인 강도를 발현하였다.
- 3) 수중양생 온도별 강도 특성 분석 결과, 온도가 높아질수록 강도값이 증진되는 것을 확인할 수 있었으나, 강도의 증진율은 저하되었다. 재령 28일에서 압축강도 및 휨강도는 각각 61.5MPa, 7.8 MPa의 강도를 발현하였다.
- 4) 피막양생 및 한지양생에 따른 강도 특성 분석 결과, 피막양생 및 한지양생은 기건양생보다 낮은 강도값을 나타내었으며, 무시멘트 경화체의 양생 방법으로 적절하지 못한 것으로 판단되었다.

참고 문헌

- [1] 오태곤, “각국의 환경영향평가제도와 시사점”, 한국콘텐츠학회논문지, 제5권, 제4호, pp.62-70, 2005.
- [2] UNEP, kyoto protocol, UNEP Press, pp.12-18, 2002

- [3] 한동엽, 산업폐기물을 활용한 비소성 시멘트 모르타르의 기초 물성에 관한 연구, 석사학위논문, p.1, 2013.
- [4] 박선규, “고로슬래그 미분말을 사용한 무시멘트 경화체의 반응 특성”, 한국콘텐츠학회논문지, p.2, 2013.
- [5] 이윤성, 산업부산물을 사용한 저탄소 무기결합재의 역학적 특성에 관한 연구, 석사학위논문, pp.28-35, 2012.

저 자 소 개

이진우(Jin-Woo Lee)

준회원



- 2013년 2월 : 한밭대학교 건축공학과(공학사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 한밭대학교 건축공학과 석사과정

<관심분야> : 무기결합재, 무시멘트, 시멘트 2차 제품

이상수(Sang-Soo Lee)

정회원



- 1990년 1월 ~ 1992년 2월 : 남광토건(주) 기술사업부 사원
- 1994년 11월 ~ 2004년 2월 : (주)대우건설기술연구원 책임연구원
- 2000년 2월 : 충남대학교 건축공학과(공학박사)

▪ 2004년 3월 ~ 현재 : 한밭대학교 건축공학과 교수
<관심분야> : 산업부산물, 무시멘트, 콘크리트, 경량복합패널, 건축재료, 건축시공