

폴리프로필렌 및 비닐론 섬유를 혼입한 고강도콘크리트의 내화특성

Fire Resistance of High Strength Concrete with Polypropylene and Vinylon Fiber

남지현*
Nam, Ji-Hyun

오상균**
Oh, Sang-Gyun

김정길***
Kim, Jung-Kil

Abstract

The fire damage of building would effect on the safety of structure. When the reinforced concrete structure is heated by high temperature due to the fire, the structural resisting-force will be decreased. In a way, it is a requirement to use high strength concrete for high rise building. Particularly, fire resistance properties of high-strength concrete is more important than normal strength concretes. The fire outbreak of a high strength concrete by sudden temperature rise is a main problem, and causes crack by thermal stress, leading to the deterioration of the durability.

In this study, normal and high strength mortar were exposed to a high temperature environment. And than fundamental data for the character change of concrete heated highly were presented by measuring compressive strength of concrete with polypropylene and vinylon fiber, before and after heating.

As the results, it is proven that high strength mortar with polypropylene and vinylon fiber for prevents deterioration of durability by fiber.

키워드 : 섬유보강콘크리트, 폭발반응, 고강도콘크리트, 폴리프로필렌 단섬유, 비닐론 단섬유

keywords : Fiber Reinforcement, Explosive Spalling, High Strength Concrete, Polypropylene fiber, vinylon fiber

1. 서론

건축물은 화재 시 인명안전, 재산보호의 관점에서 일정시간 내화성능의 확보와 함께 구조적인 안전대책이 중요한 문제점으로 지적되고 있다.

대부분의 콘크리트 구조물은 일반강도의 보통콘크리트로 화재 시에는 폭발에 대한 심각한 우려의 걱정이 없어 이에 대한 검토가 거의 이루어지지 않았으나, 최근의 건축 구조물은 초고층화, 대형화를 위해 고강도 및 고유동과 같은 고성능 콘크리트를 많이 사용하고 있다. 하지만, 고강도를 비롯한 대부분의 고성능콘크리트는 내외부 조적이 치밀하므로 화재 시에는 급격한 온도 상승에 의해 부재표면이 심한 폭음과 함께 박리 및 탈락하는 폭발현상이 발생할 수 있고, 균열과 함께 심각한 강도저하 등도 문제점으로 제기되고 있다.

특히 이러한 폭발현상은 피복두께의 결손과 함께 철근의 온도 상승의 원인이 되어 구조물의 내력 저하를 초래하게 된다.

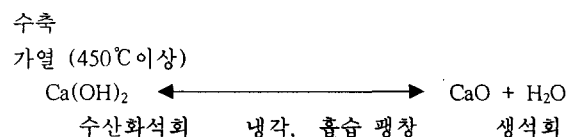
이러한 폭발을 방지하는 방안으로는 내화도료 등을 피복하

여 화재 시 고온을 차단하는 방법과 내열성이 작은 유기섬유 등을 혼입하여 내부 수증기압을 빠르게 유출시키는 방법, 강제 등으로 횡구속하여 폭발을 억제하는 방법 등이 알려지고 있다.

본 연구는 폴리프로필렌 단섬유와 비닐론 단섬유를 모르타에 혼입하여 고강도와 보통강도의 수준에서 시험체를 제작하고 그 물성을 비교 분석함으로써 고강도콘크리트의 내화성능 개선을 위한 기초 자료를 얻는 데에 그 목적이 있다.

2. 고온에서의 콘크리트 특성

포틀랜드시멘트의 주성분은 규산석회로, 규산석회는 수화하면 수산화석회(Ca(OH)₂)를 유리한다. 이것은 가열냉각에 의해 다음과 같은 변화를 일으키고 수축, 팽창을 반복하게 된다.



* 정회원, 동의대학교 건축공학과 대학원, 석사과정
** 정회원, 동의대학교 건축공학과 조교수, 공학박사
*** 정회원, 동의대학교 건축공학과 교수, 공학박사

이렇게 해서 450℃ 이상에서 장시간 가열되어진 콘크리트는 냉각 후 대기 중에 방치하면 균열이 생기고 경우에 따라서는 붕괴한다. 原田의 연구¹⁾에 의해서도 500℃ 이상으로 가열되어진 콘크리트를 공기 중에 방치하면 붕괴 위험이 있는 균열이 발생하며, Beckmann²⁾, Livovich³⁾ 등도 500℃ 보다 저온에서 같은 사실을 일으킨다고 보고한 바 있다. 다음으로 제 1회째 가열 후의 콘크리트 강도는 다음의 그림 1)과 같은 변화를 보이지만, 이 강도의 감소는 100℃ 전후로부터 시작되는 시멘트 수화물의 탈수 및 골재와 시멘트 페이스트 부분과의 열에 의한 팽창차가 원인이라고 생각되어진다.

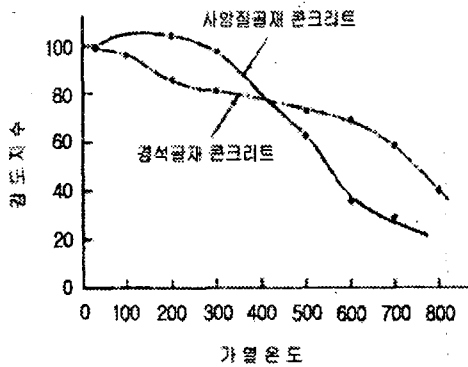


그림 1. 가열 직후(반복없음)의 콘크리트 강도
(무가열 콘크리트의 압축강도를 100으로 함)

고온에서의 고강도콘크리트의 폭열 경향이나 특징은 보통 강도콘크리트의 그것에 비하여 다소 다르다. 고강도콘크리트의 밀실한 구조는 수증기나 습기가 이동하기 어려워 콘크리트의 표면 근처에 높은 수증기압을 일으킨다. 고강도콘크리트의 폭열은 함수량의 정도, 콘크리트의 밀도, 외부하중에 의한 압축응력과 프리스트레스, 가열온도의 속도, 온도분포, 압축강도, 시험체의 치수와 형상 등에 따라 그 경향이 달라진다.

3. 실험개요

3.1 사용재료 및 물성

본 연구에서 실험한 각 재료의 물리적 특성과 기호는 표 1과 같다.

시멘트는 비중이 3.15, 비표면적이 3,200(c㎡/g)인 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였고 잔골재로는 최대치수가 5mm, 표

견비중이 2.55인 모래를 사용하였다. 혼화제는 폴리카르보산계 고성능AE감수제인 SP-8K를 사용하였다.

사진 1은 내화성능 개선을 위하여 본 실험에서 사용한 섬유의 형상을 나타낸 것이며 폴리프로필렌 단섬유 2종류와 비닐론 단섬유 1종류를 일정한 모르터에 혼입하였다.

표 1. 사용재료의 물성

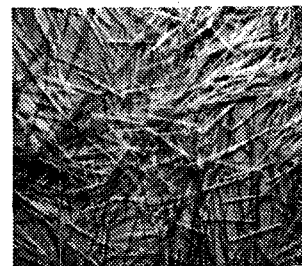
사용재료	물 성	기호
보통포틀랜드 시멘트	비 중 : 3.15 비표면적(blaine) : 3,200(c㎡/g)	C
잔 골 재 (왕사:낙동강사=2:1)	최대치수 : 10mm 표견비중 : 2.48 절건비중 : 2.43	S
고성능AE감수제	폴리카르보산계 SP-8K 비 중 : 1.07±0.02	SP
고로슬래그 (광양산)	비중: 2.92 비표면적(blaine) : 4,400(c㎡/g)	BS
섬유	폴리프로필렌 단섬유 (길이: 60mm, 직경: 100μm)	PF1
	폴리프로필렌 단섬유 (길이: 12mm, 직경: 200μm)	PF2
	비닐론 단섬유 (길이: 12mm, 직경: 240μm)	VF



폴리프로필렌 단섬유(PF1)



폴리프로필렌 단섬유(PF2)



비닐론 단섬유(VF)

사진 1. 섬유의 종류별 형상

표 3. 모르터의 배합

모르터 종류	Symbol	W/B (%)	Unit Weight (g / l)				S/M (%)	섬유 혼입율 (g / l)		
			W	C	BS	S		PP1	PP2	VF
보통강도모르터	OP	60	340	567	-	1224	48	-	-	-
고강도모르터	HPBS1	35	299	767	85	1097	43	-	-	-
	HPBS1PF1-1						43	1	-	-
	HPBS1PF1-2						43	2	-	-
	HPBS1PF2-1						43	2	1	-
	HPBS1PF2-2						43	-	2	-
	HPBS1VF-1						43	-	-	1
	HPBS1VF-2						43	-	-	2
	HPBS3VF-2						43	596	256	252

3.2 실험인자 및 수준

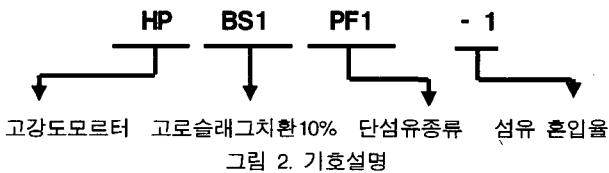
본 연구의 실험 인자 및 수준은 표 2와 같다. 물시멘트비는 고강도모르터를 35%, 보통강도모르터를 60%로 하였으며, 혼화재료인 고로슬래그의 치환율은 각각 10%, 30%로 하였다. 섬유 혼입율은 섬유의 종류에 따라 1g/l, 2g/l를 혼입하였다.

표 2. 실험인자 및 수준

실험인자	수준			
W/B (%)	고강도모르터	35		
	일반강도모르터	60		
S/M (%)	고강도모르터	43		
	일반강도모르터	48		
고로슬래그 혼입율 (%)	10			
	30			
섬유종류별 혼입율 (g/l)	PF1	0	1	2
	PF2	0	1	2
	VF	0	1	2

3.3 배합

본 실험에 있어서 모르터의 배합은 표 3과 같고 각 배합별 기호는 그림 2에서 나타내는 예와 같다.



3.4 실험방법

본 연구에서는 가열온도와 시간에 따른 콘크리트의 재료 특성을 고찰하기 위하여 일반강도모르터와 고강도모르터를 각각 제작하여 가열시험 및 압축강도 시험을 실시하였다.

또한 고강도모르터에 각종 단섬유를 혼입하여 단섬유혼입에 따른 내열성능 개선여부와 단섬유의 종류는 물론 혼입량에 따른 효과를 관찰하였다.

모르터의 제조는 KS L 5105에 따라 5×5×5cm 크기의 정육면체 몰드를 제작하였으며, 제작된 시험체는 항온수조에서 28일간 수중 양생하였다. 모르터 비빔 시 단섬유 혼입시기와 방법은 60초 저속으로 비빔 후 단섬유를 고무 뿌리면서 90초간 고속 비빔을 하였다.

한편, 고온가열시험은 먼저 시험체를 건조기에서 50° C 7일간 건조시킨 후 전기로에서 600° C와 800° C로 각각 60분과 90분 동안 가열하였다.

또, 일반강도모르터, 고강도모르터, 섬유보강모르터의 각 시험체는 모두 고온가열 전후에 압축강도를 측정하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

그림 3은 가열온도에 따른 잔류압축강도를 나타낸 그래프이다. 고강도모르터와 일반강도모르터를 각각 60분, 90분간 가열한 것이다. 그림에서와 같이 고강도와 일반강도모르터 모두 가열 온도가 상승함에 따라 압축강도는 감소하였다. 그러나 고강도모르터의 압축강도 감소율은 일반강도모르터의 감소율보다 2배 정도 급격히 저하되었으며 800° C에 있어서 잔존압축강도는 일반강도모르터의 잔존압축강도와 큰 차이가 있음을 알 수 있다.

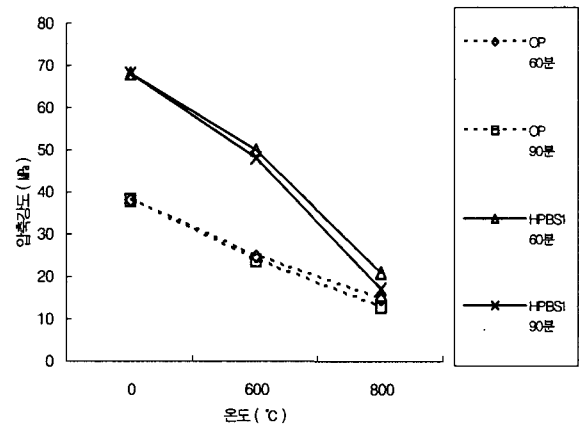


그림 3. 온도변화에 대한 압축강도

그림 4는 고강도와 일반강도모르터의 가열온도별 총가열 시간경과에 따른 압축강도 변화를 나타낸 것이다. 고강도와 일반강도모르터는 가열시간이 증가함에 따라 모두 압축강도가 감소하였다. 60분 이상 가열할 경우, 압축강도 저하는 60분 이전에 비하여 완만하였으나, 고강도모르터의 강도저하가 일반강도모르터의 강도저하보다 컸고 가열온도도 높을수록 강도저하가 큰 것을 알 수 있었다.

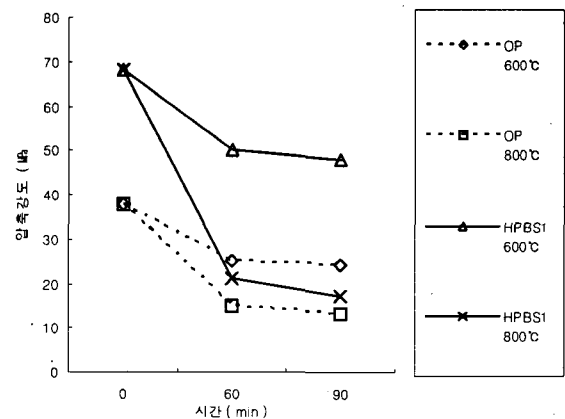


그림 4. 가열시간에 따른 압축강도

그림 5에서 그림 8까지는 고강도모르터에 폴리프로필렌 단섬유 2종류와 비닐론 단섬유를 각각 1 g/l, 2 g/l를 혼입하여 60분, 90분간 전기로에서 800° C와 600° C로 가열한 후 압축강도를 측정하는 결과이다.

각 섬유를 포함한 고강도모르터를 600°C에서 60분, 90분간 가열한 후 압축강도의 변화를 나타낸 결과는 그림 5와 같다. 그림에서와 같이 미가열 상태에서 60분까지는 최고 약 50%이상 최소 약 20%의 압축강도 감소를 보였으며 60분에서 90분에 이르기까지는 평균 약 20%정도 압축강도가 저하하였다. 또한, 고로슬래그 혼입량이 다른 시험체를 비교함으로써 고강도모르터에 있어서 가열에 따른 압축강도의 저하는 섬유의 종류와 혼입량은 물론 시멘트의 양에 따라서도 큰 차이를 보임을 알 수 있었다.

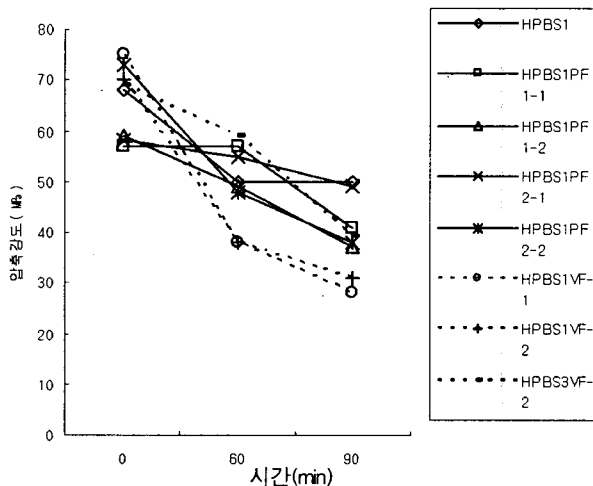


그림 5. 600°C가열 압축강도

또한 그림 6은 각각의 섬유를 함유한 고강도모르터를 800°C로 60분, 90분간 가열한 후 압축강도의 변화를 나타낸 결과이다. 가열시간이 60분일 때 미가열 상태와의 차이는 약 50%이상 감소한 것을 알 수 있었으며, 90분에서는 거의 차이가 없는 것을 알 수 있었다. 전체적으로 설계기준강도가 동일한 경우, 고강도모르터보다도 섬유보강모르터가 압축강도의 감소율이 낮았으며, 이는 섬유가 모르터의 내화성능을 개선한 것으로 사료된다.

이것은 일반적으로 폴리프로필렌 단섬유나 비닐론 단섬유는 500°C 전후에서 용융되어 콘크리트 속의 수분이 증발할 수 있는 간극을 만드는 역할을 함으로, 화재 시 콘크리트 속에서 발생하는 수증기압을 감소시킬 수 있다.

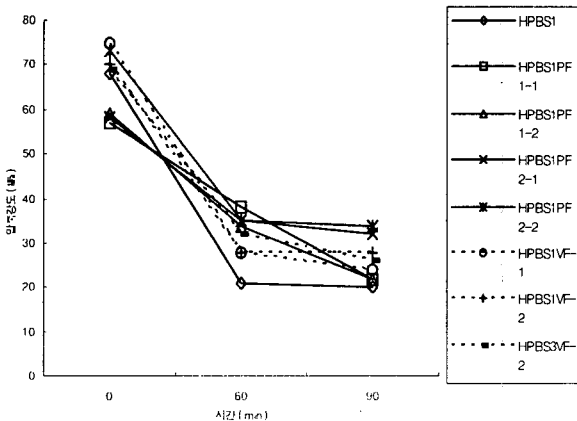


그림 6. 800°C가열 압축강도

이러한 현상은 일반강도의 콘크리트보다도 고강도에 있어서 현저히 나타나는데, 골재나 경화시멘트 입자 간의 간극이 일반강도의 모르터 보다 급격히 좁은 것에 기인하는 것으로 사료된다.

그림 7은 각각의 섬유를 함유한 고강도모르터를 가열시간 60분에서 600°C와 900°C를 비교한 그림이다. 그림에서 보듯이 다소 차이는 있지만 600°C도 보다 800°C에서 잔류압축강도가 현저히 떨어지는 것을 알 수 있다. 그러나 600°C에 있어서는 고강도모르터와 섬유보강모르터의 잔류압축강도 차이가 그다지 크지 않았다. 섬유를 혼입하지 않은 고강도모르터는 가열온도 800°C도에서 잔류압축강도가 섬유보강모르터보다 최고 약 50%정도 작았다. 혼입된 섬유의 종류에 따라서도 잔류압축강도는 다소 차이를 보였으며, PF섬유가 VF섬유 보다 25%정도 압축강도 저하의 폭이 작아 내화성능 개선에 유리한 것으로 판단된다. 한편 두 종류의 섬유 모두 혼입율에 따른 강도의 변화는 크지 않아서 내화성능 개선에 미치는 영향이 크지 않은 것으로 사료된다.

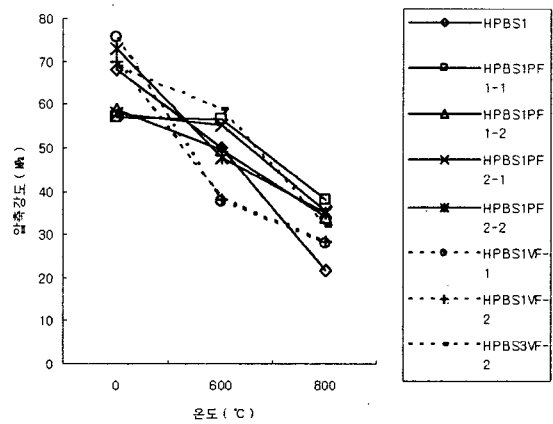


그림 7. 60분 가열

그림 8은 각 섬유를 함유한 고강도모르터의 가열시간을 90분으로 하고 600°C와 900°C로 가열한 결과를 비교한 것이다. 두 온도 모두 가열시간 90분의 결과가 가열시간 60분의 결과보다 평균 약 5%정도 작았다. 따라서 60분이상인 범위에 있어서 가열시간이 잔류압축강도의 감소에 미치는 영향은 가열 온도의 증가보다는 미소한 것을 알 수 있다.

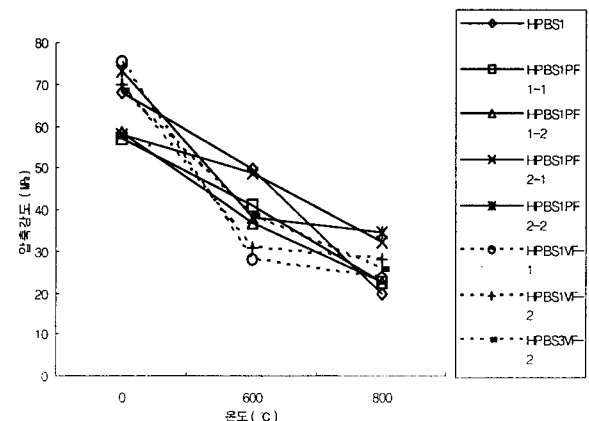


그림 8. 90분 가열

5. 결 론

고온에 노출된 콘크리트가 압축강도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 섬유, 섬유혼입율, 물시멘트비의 차이를 둔 콘크리트를 고온에 노출시킨 후 잔류압축강도를 측정하여 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) 고강도모르터의 압축강도 감소율은 일반강도모르터의 감소율보다 2배 정도 급격히 저하되었으며 800℃에 있어서 잔존 압축강도는 일반강도모르터의 잔존압축강도와 큰 차이가 없었다.
- 2) 가열시간경과에 따른 고강도와 일반강도모르터의 압축강도 변화는 최초 가열시간으로부터 60분까지가 급격한 강도 저하를 나타냈으며 60분 이상 가열한 경우에는 고강도 및 일반강도모르터 모두 완만한 강도저하를 보였다. 또, 가열온도에 따라서는 가열온도가 높을수록 강도 저하도 큰 것을 알 수 있었다.
- 3) 전체적으로 설계기준강도가 동일한 경우, 고강도모르터보다도 섬유보강모르터가 압축강도의 감소율이 낮았다. 따라서 섬유가 모르터의 내화성능을 개선한 것으로 사료된다.
- 4) 혼입된 섬유의 종류에 따라서도 잔류압축강도는 다소 차이를 보였으며, PF섬유가 VF섬유 보다 25%정도 압축강도 저하의 폭이 작아 내화성능 개선에 유리한 것으로 판단된다. 또한 섬유의 혼입율에 따른 강도의 변화는 그다지 크지 않아서 내화성능 개선에 미치는 영향이 크지 않은 것으로 사료된다.

본 실험의 결과로부터 폴리프로필렌 단섬유를 일정량 혼입함으로써, 화재 시에 발생하는 고강도콘크리트의 폭열을 방지하고 압축강도의 급격한 저하를 막아 내구성을 개선할 수 있음을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 原田 有, 高温度におけるセメントモルタルおよびコンクリートの熱膨脹について, 日本建築學會論文集, No. 46, 1953
2. Grün & Beckmann, Cement and Cement Mfr, p.430, 3, (3), 1930
3. Livovich, Bull. of Amer. Ceram. Soc., p.559, 40, (9), 1961
4. 趙在悅. 高温에 露出된 콘크리트의 残留壓縮強度 特性에 關한 研究. 서울대학교 대학원. 1995
5. 盧熙逸. 高温을 받은 콘크리트의 強度에 關한 研究. 대한건축학회지. pp 18-28.
6. 정상진외 1명, 고온하에서의 콘크리트 특성변화, 콘크리트학회지, 9권 4호. 1997.8.
7. 전선천외 4명, 고성능 콘크리트에 있어 폴리프로필렌 섬유의 혼입률 및 부재크기 변화에 따른 내화 특성, 대한건축학회학술발표논문집, 20권 1호, 2000.4.
8. 황인성의 5명, 섬유 종류 및 혼입량 변화에 따른 고성능 RC 기둥의 내화 특성에 관한 연구, 대한건축학회학술발표논문집, 24권 2호, 2004.10.
9. 한천구의 2명, PP纖維 混入 및 橫拘束에 對한 高性能 콘크리트의 爆裂 防止 性能, 대한건축학회논문집, 19권 1호, 2003.1.