

하이브리드 섬유 혼입 고강도 콘크리트의 내화 및 역학적 특성에 관한 연구

A Study on the Fire Resistance and Mechanical Properties of High Strength Concrete Mixed Hybrid Fibers

신용석¹

이지민^{2*}

유명환³

조철희⁴

김정섭⁴

Shin, Young-suk¹

Li, Zhi-min^{2*}

Yoo, Myung-Hwan³

Cho, Cheol-hee⁴

Kim, Jeong-sup⁴

*Department of Architectural Engineering, Chosun University, Dong-Gu, Gwangju, 509-759, Korea*¹

*Graduate School, Chosun University, Dong-Gu, Gwangju, 509-759, China*²

*Graduate School, Chosun University, Dong-Gu, Gwangju, 509-759, Korea*³

*Department of Architectural Engineering, Chosun University, Dong-Gu, Gwangju, 509-759, Korea*⁴

Abstract

In this paper, by using steel fiber, polypropylene fiber and these two hybrid fibers, the fire resistance performance and explosive properties of High Strength Concrete (HSC) with specified compressive strength of 40MPa are discussed. The paper also examines the bending resistance of the beam and the shearing resistance properties of non-reinforced HSC beam. This research helps to clarify the fire resistance of fiber HSC and its anti-explosion methods. The test results show that crack generation, explosion and carbonization can be effectively restrained when HSC is mixed with hybrid fibers under high temperature; furthermore, the maximum internal force and ductility are increased and the initial cracking can be restrained in the mechanical test.

Keywords : high strength concrete, hybrid fiber, fire resistance

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

고강도 콘크리트의 성질은 보통콘크리트의 성질과 마찬가지로 경제성과 압축강도, 강성 등 우수한 물성을 가지고 있으나 인장, 휨 및 충격강도가 낮고 에너지 흡수능력이 적어 매우 취성적이며 균열에 대한 저항성이 낮은 단점을 가지고 있다.

또한 보는 휨과 더불어 전단력의 영향이 큰 부재이다. 전단 보강되지 않은 철근콘크리트 부재에서는 균열이 생기기 전에는 전단응력이 콘크리트 자체의 전단저항에 의하여 저항하나 균열이 발생하면 이러한 전단저항이 감소하고 급작스런 파괴

가 일어나게 된다[6].

이러한 콘크리트의 취성적 거동을 연성적 거동으로 유도하고 인장강도의 향상, 균열의 생성을 억제하는 등 역학적 성질의 개선을 위해 강섬유와 폴리프로필렌섬유를 혼입하여 고강도 콘크리트의 단점을 보완할 수 있다.

고층 건축물은 화재발생시 인명안전, 재산보호 등을 확보해야 하기 때문에 고강도 콘크리트의 내화성능 증대가 필요하다.

화재 발생시 고강도 콘크리트의 폭렬은 쉽게 발생하기 때문에 건축물 설계와 시공단계에서부터 건축물의 내화성능을 확보하기 위한 내화문제를 구체적으로 검토할 필요가 있다.

따라서 본 연구는 콘크리트가 고강도화 됨에 따라 폭렬 및 취성적인 거동을 개선 하기 위해 폴리프로필렌섬유 (polypropylene Fiber ; 이하 PP섬유) 및 강섬유를 혼입하여 재료 시험 및 부재 실험을 통해 고강도 콘크리트의 내화성능 및 폭렬 상황을 검토하고, 섬유 혼입 철근 콘크리트 보의 휨과 전단보강근이 없는 보의 거동을 파악하고자 한다.

Received : October 21, 2010

Revision received : November 30, 2010

Accepted : December 7, 2010

* Corresponding author: Li, Zhi-min

[Tel: 82-62-230-7146, E-mail: lzm0505@hotmail.com]

©2010 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

1.2 연구의 범위 및 내용

재료시험은 섬유 조합변수에 따른 설계기준강도 40MPa의 원주형 공시체(Ø100mm×200mm)를 제작하여 내화시험(200℃, 400℃, 600℃, 800℃), 내화시험 후 잔존 압축강도시험과 중성화시험 등을 통해 섬유 혼입 고강도 콘크리트의 내화 성능 및 역학적 특성을 검토한다.

부재 실험은 섬유 조합변수에 따른 섬유를 혼입한 철근콘크리트 보의 구조적 특성을 파악하기 위해서 휨과 전단보강근이 없는 실험을 실시한다.

변수에 따른 부재실험과 재료시험을 통해 섬유 혼입 고강도 콘크리트의 내화성능 및 휨 및 전단거동을 파악하여 섬유를 혼입한 고강도 콘크리트의 시공시 참고자료를 제시하고자 한다.

2. 이론적 고찰

고강도 콘크리트 화재시 콘크리트의 표면이 박리, 탈락등의 폭발 현상이 발생하고 철근을 노출시켜 구조체의 내력 저하를 초래하게 된다.

궁극적으로는 건축물의 붕괴를 초래할 수 있다고 국내외 연구자들은 보고하였다.

고온 하의 콘크리트의 압축강도 저하는 골재 등 여러 요인에 의해 크게 성질이 좌우되며, 냉간이나 열간 등의 시험체 가열방법에 의해서도 다소차이가 발생한다.

하지만 시험체의 압축강도는 가열온도가 상승함에 따라 감소하며 500℃에서는 약 60%, 800℃에서는 15% 정도의 상대 압축강도를 보이는 것이 일반적이다[10].

일본에서는 1992년 Honma Ayato[7] 등이 「콘크리트의 폭발성상에 관한 연구」를 통하여 콘크리트의 폭발 발생원인 및 메커니즘의 해명을 시도하였으며, 1994년 西田 朗[8] 등은 「폭발방지용 폴리프로필렌 단섬유를 혼입한 고강도 콘크리트의 성상에 관한 연구」를 통하여 ‘폭발방지에 효과가 있다’고 하는 폴리프로필렌 단섬유를 고강도 콘크리트에 적용하여 폭발 방지에 대한 유효성 및 폭발 방지재를 이용한 콘크리트의 성상에 관한 연구를 하였다.

한편, Kasai et al.[9] 등은 「내열 콘크리트의 개발」을 통하여 콘크리트 폭발의 원인으로 골재의 영향을 검토하였다.

2001년 Pierre Kalifa[11]는 「High Temperature Behaviour Concrete of HPC with Polypropylene Fibers from Spalling to Microstructure」 연구를 통하여 섬유 혼입에 의한 폭발방지 메커니즘 제안 및 최적의 섬유 혼입량 결정 검토하였다.

3. 재료시험

3.1 시험계획

본 연구에서는 공시체에 사용된 섬유는 K사의 강섬유(40kg/m³), 폴리프로필렌섬유(1.5kg/m³)와 하이브리드 섬유(강섬유 40kg/m³, PP섬유1.5kg/m³)를 사용하였다.

공시체(Ø100×200mm)를 제작해서 양생 후에 내화 시험기를 사용하여 200℃, 400℃, 600℃, 800℃의 온도별로 KS F 2257-1(건축부재의 내화시험방법-일반요구사항, 2005.7)에서 규정하는 사항으로 1시간 가열을 실시하였다.

3.2 사용재료

3.2.1 시멘트 및 골재

본 실험에 사용한 시멘트는 KS L 5201(포틀랜드 시멘트, 2006.10)에 규정된 S사의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 시멘트의 화학적 성분 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

Table 1. Cement chemical composition and physical properties

Chemical Composition (%)							Density
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	lg.loss	(g/cm ³)
21.9	6.59	2.81	60.12	3.32	2.11	2.58	3.15

잔골재와 굵은골재는 KS L 5202(골재의 체가름 실험 방법, 2005.12)의 규격에 적합한 골재를 사용하며, 잔골재는 섬진강산 강모래, 굵은골재는 쇠석을 사용한다. 골재의 물리적 성질은 Table 2와 같다.

Table 2. Aggregate physical properties

Kind	Diameter (mm)	Unit Weight (kg/m ³)	Density (g/cm ³)	Water Ratio (%)	Fineness Modulus
sand	5	1.65	2.61	1.05	2.69
gravel	20	1.55	2.67	1.24	6.83

3.2.2 섬유

본 연구에 사용된 폴리프로필렌섬유는 K사의 망사형 섬유를 사용하였으며 일반적인 물리적 성질은 Table 3과 같다.

강섬유는 K사의 후크형 제품을 사용하였으며 강섬유의 물리적 특성은 Table 3과 같다.

3.3 배합설계

강섬유 및 PP섬유를 혼입한 콘크리트의 콘크리트 설계기준 강도는 기존 고층건축물에 사용된 40MPa로 설정하였다.

섬유를 혼입한 고강도 콘크리트의 배합설계는 Table 4와 같다.

기준 실험체(섬유를 혼입하지 않은 콘크리트 : N), 강섬유 혼입 실험체(강섬유 혼입량 40kg/m³ : HCS), 하이브리드 섬유 혼입 실험체(강섬유 40kg/m³+폴리프로필렌섬유 1.5kg/m³ :SHF)를 실험체를 제작하였다. 하이브리드 섬유의 혼입 양은 기존의 연구를 토대로 결정하였다.³⁾

Table 3. Fiber physical properties

Property	PP	S
Elasticity Modulus (GPa)	4	200
Density(g/cm ³)	0.91	7.85
Diameter	3, 10denier	0.5mm
Fiber length(mm)	20	30
Tensile Strength(MPa)	600	1,100
Acid/Alkali Resistance	High	Low
Electrical Conductivity	Low	High

Table 4. Concrete mix proportion

Specimen	Slump (cm)	Air (%)	W/C (%)	S/a (%)	Unit Weight (kg/m ³)						Fiber	
					34.2	C	S	G	SP	FA	PP	S
HCN					164	479	672	1012	8.3	72	0	0
HCS	34.2	3±1	34.2	40.0	164	479	672	1012	8.3	72	1.5	0
SHF					164	479	672	1012	8.3	72	1.5	40

HCN : standard specimen

HCS : steel fiber reinforced specimen (steel fiber : 40kg/m³)

SHF : hybrid fibers reinforced specimen (PP : 3D-20mm-1.5kg/ m³; S : 40kg/m³)

3.3. 실험방법

내화 시험은 순환골재 치환율과 섬유 혼입 유, 무에 따라 제작한 실험체를 양생한 다음 KS F 2257-1(건축부재의 내화 시험방법-일반요구사항, 2005.7)의 방법에 의해 내화 시험기를 사용하여 200℃, 400℃, 600℃, 800℃의 온도별로 60분 가열한 후 압축강도 실험을 한다.

시험항목은 공시체(Ø100×200mm)의 폭렬 유무 및 표면관찰과 질량변화, 잔류강도 평가를 실시한다.



(a) fire test before

(b) fire test after

Figure 1. Fire resistance test



(a) before

(b) after

Figure 2. Compressive strength test



Figure 3. Carbonization test

3.4. 시험결과

3.4.1 내화 시험결과

섬유 혼입에 따라 공시체를 내화 시험기로 200℃, 400℃, 600℃, 800℃의 온도별로 1시간 가열한 후 압축강도, 질량변화 및 표면상황을 분석하였다.

1) 폭렬 유무 및 표면관찰

각 시험체별 폭렬 발생 유무 및 표면색깔, 균열상황이 Table 5와 같다. 200℃, 400℃ 내화시험 후에 실험체의 폭렬을 발생하지 않고, 600℃, 800℃ 내화시험 후에 기준실험체와 강섬유를 혼입한 실험체는 폭렬이 발생하였다.

Table 5. Fire resistance test result

Temperature	Specimen	Performance	Crack	Color
200°C	HCN	-	-	normal
	HCS	-	-	normal
	SHF	-	-	normal
400°C	HCN	-	crack	pink
	HCS	-	hardly any	pink
	SHF	-	hardly any	pink
600°C	HCN	explosion	deep crack	pink red
	HCS	explosion	crack	pink red
	SHF	-	crack	pink red
800°C	HCN	explosion	deeper crack	red gray
	HCS	explosion	crack	red gray
	SHF	-	crack	red gray

2) 질량 변화

각 시험체 내화시험 후 질량의 변화와 손실률은 Table 6과 Figure 4와 같다.

질량손실률은 200°C에서 1.84% 정도, 400°C에서 7.14% 정도, 600°C에서 8.71% 정도, 800°C에서 10.35% 정도 나타났고 기준시험체보다 강섬유를 혼입한 시험체는 400°C에서 0.30% 정도, 600°C에서 0.27% 정도, 800°C에서 0.65% 정도 증가하였다.

Table 6. Mass loss after fire resistance test

Temperature	Specimen	Weight(g)		Loss Weight (g)	Loss Ratio (%)	Average
		Test Before	Test After			
200	HCN	3234.55	3176.35	58.20	1.80	1.84
	HCS	3223.14	3161.58	61.56	1.91	
	SHF	3197.42	3139.67	57.75	1.81	
400	HCN	3216.17	2988.77	227.39	7.07	7.14
	HCS	3236.05	2997.52	238.53	7.37	
	SHF	3186.15	2964.13	222.02	6.97	
600	HCN	3196.58	2923.58	273.00	8.54	8.71
	HCS	3257.81	2970.90	286.91	8.81	
	SHF	3161.00	2883.50	277.51	8.78	
800	HCN	3236.36	2915.96	320.40	9.90	10.35
	HCS	3278.35	2932.40	345.95	10.55	
	SHF	3181.81	2844.15	337.65	10.61	

HCN : standard specimen

HCS : steel fiber reinforced specimen (steel fiber : 40kg/m³)

SHF : hybrid fibers reinforced specimen (PP : 3D-20mm-1.5kg/ m³; S : 40kg/m³)

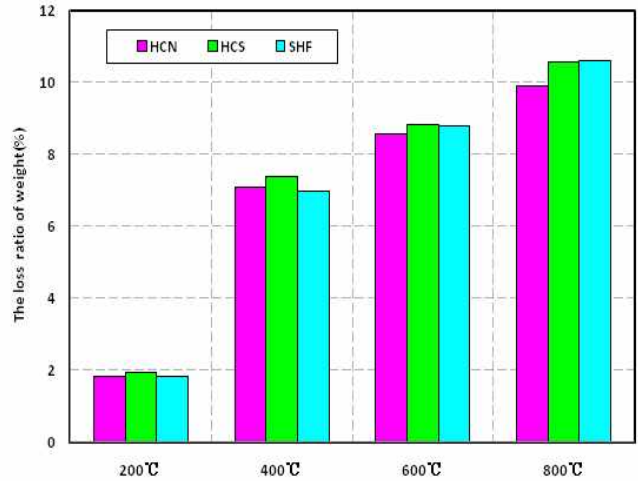


Figure 4. The loss ratio of weight after fire test

하이브리드 섬유를 혼입한 시험체는 400°C에서 0.1% 정도 낮게 나타났고 600°C에서 0.24% 정도, 800°C에서 0.71% 정도 증가하였다.

이는 내화시험 후 질량손실의 대부분이 균열과 콘크리트 박리 및 수분의 증발 때문인 것으로 판단된다.

3) 압축강도 잔존률

내화시험 전후의 압축강도 시험 후 기준시험체와 섬유를 혼입한 시험체의 압축강도와 잔존률은 Table 7 및 Figure 5, 6와 같다.

시험체의 압축강도 잔존률은 200°C에서 내화시험 후에 각 시험체의 압축강도 잔존률은 93.17% 정도 나타나고 큰 차이가 없었다.

기준시험체와 비교하여 강섬유를 혼입한 시험체는 400°C에서 7.32% 정도, 600°C에서 4.35% 정도, 800°C에서 0.4% 정도 높게 증가하였고 하이브리드 섬유를 혼입한 시험체는 400°C에서 5.73% 정도, 600°C에서 7.36% 정도, 800°C에서 10.60% 정도 높게 나타났다.

또한, 200°C, 400°C, 800°C에서 강섬유를 혼입한 시험체의 압축강도 잔존률은 높게 나타났고 600°C에서 하이브리드 섬유를 혼입한 시험체의 압축강도 잔존률은 높음을 알 수 있다.

이는 고온에서 용해되지 않고 남아있는 섬유로 인해 고강도 콘크리트 시험체는 파손되지 않았으며 이를 통한 잔존압축강도가 높은 것으로 사료된다.

Table 7. Residual rate of compressive strength after fire test

Temperature	Compressive Strength (Mpa)			Residual Rate (%)		
	HCN	HCS	SHF	HCN	HCS	SHF
normal	46.18	43.07	39.41	100.00	100.00	100.00
200°C	43.91	40.96	36.28	92.34	95.09	92.07
400°C	42.55	39.69	35.69	84.82	92.14	90.55
600°C	24.61	22.95	22.19	48.94	53.29	56.30
800°C	13.59	10.67	13.78	24.37	24.77	34.97

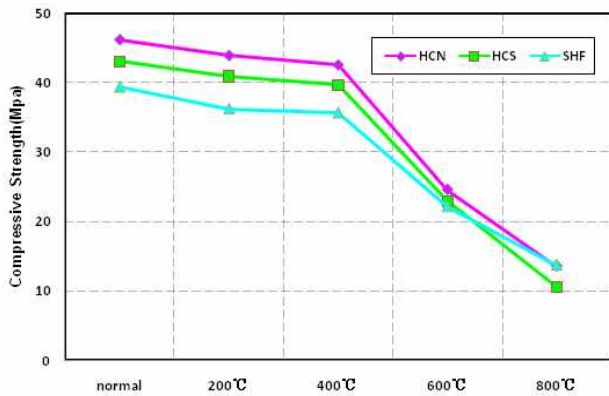


Figure 5. Compressive strength after fire test

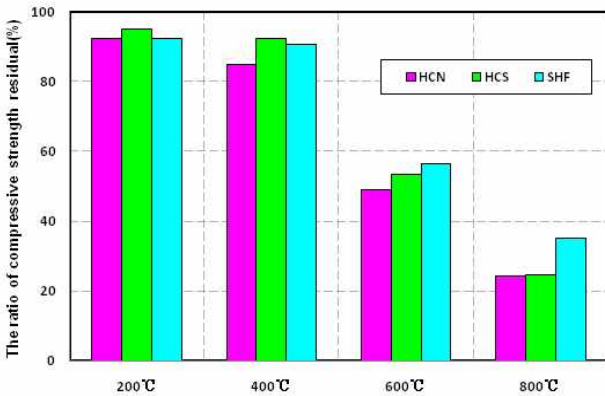


Figure 6. Residual rate of compressive strength after fire test

3.3.2 중성화 시험 결과

각 시험체 내화시험 후 중성화 시험결과는 다음 Table 8 및 Figure 7과 같다.

Table 8. Carbonization length

Temperature (°C)	Carbonization Length (mm)		
	HCN	HCS	SHF
normal	3.21	3.44	3.90
200	5.76	6.07	5.42
400	5.46	6.29	5.39
600	5.16	6.58	5.25
800	6.38	7.10	7.39

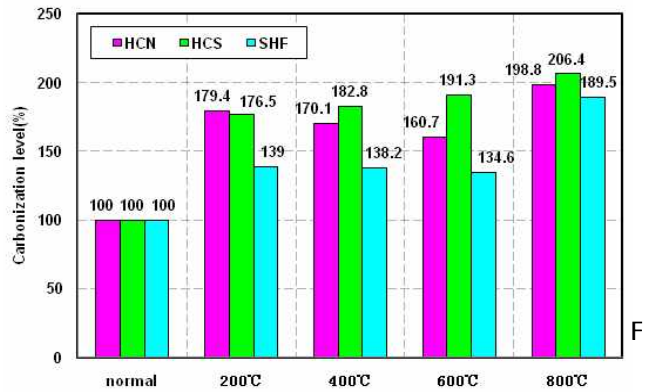


Figure 7. Carbonization length ratio

600°C이하 내시험 후 각 시험체는 온도별에 따라 각 시험체의 중성화 깊이 값이 유사하였다.

800°C 내화시험 후 강섬유를 혼입한 시험체의 중성화 깊이는 206.4% 정도 높게 보여 주었다.

섬유를 혼입하지 않는 경우와 강섬유를 혼입한 경우는 중성화비는 온도의 증가 따라 크게 발생하였고, 하이브리드 섬유를 혼입한 경우 온도의 증가 따라 증가 경향을 나타내지만 중성화에 대하여 우수한 억제효과를 나타내었다.

4. 부재 실험

4.1 실험계획

일반적으로 콘크리트의 강도가 높을수록 취성적인 파괴를 쉽게 발생하여 본 실험에서 고강도 콘크리트 취성적인 파괴를 연성파괴도 유도하기 위해 PP섬유(3D-20mm-1.5kg/m³) 및 강섬유(40kg/m³)를 혼입하여 하이브리드 고강도 철근콘크리트 보 실험체를 제작하여 섬유 보강 유무에 따라 실험을 실시한다.

부재 실험은 휨실험과 전단보강근이 없는 실험으로 구분하여 실험을 실시하였으며 실험체의 단면크기 및 길이는 Figure 8, 9에서 보는 바와 같이 극한강도설계법으로 설계하여 실시한다.

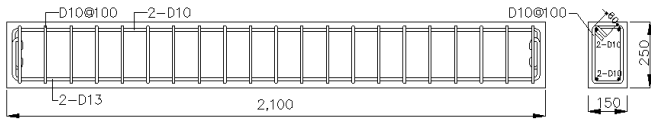


Figure 8. arrangement bars of bending beam

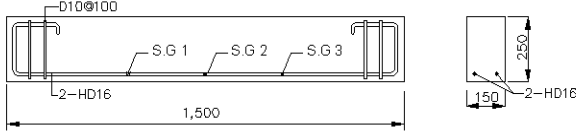


Figure 9. arrangement bars of without stirrup reinforced beam

4.2 실험방법

본 실험은 Figure 10~Figure 12와 같이 만능구조시험기가 설치된 실험실에서 행하며, 단순지지상태로 실험체를 설치하고 2점의 집중하중을 작용하여 휨과 전단보강근이 없는 실험체가 완전 파괴 될 때까지 가력 후 최대내력을 결정한다.

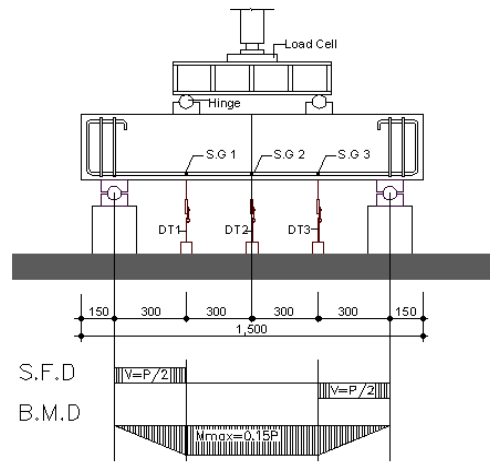


Figure 12. Without stirrup reinforced beam Set-up

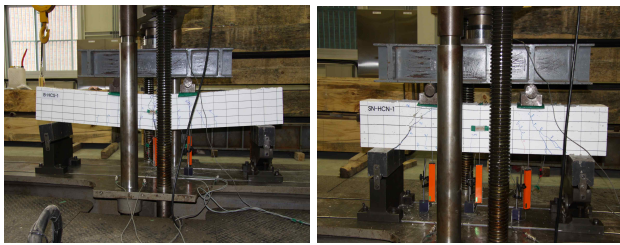
4.5 휨실험 결과 및 분석

4.5.1 실험 결과

기준실험체와 섬유 혼입 철근콘크리트 보 실험체의 휨 실험 결과는 Table 9 및 Figure 13과 같다.

섬유를 혼입 휨 실험체별 초기균열하중의 경우, 섬유 혼입이 없는 기준실험체에 비해 강섬유 혼입 실험체가 39.8%, PP 섬유와 강섬유를 혼입 하이브리드 실험체가 44.6% 높게 나타났으며 섬유를 혼입함으로써 철근콘크리트 보 휨 실험체의 초기균열 제어 효과가 있는 것으로 나타났다.

각 실험체별 항복하중은 비슷한 경향을 보였으며 최대하중의 경우, 기준실험체에 비해 강섬유 혼입 실험체가 0.4% 정도 높게, PP섬유와 강섬유를 혼입 하이브리드 실험체가 0.4% 정도 낮게 나타났다.



(a) bending beam (b) without stirrup reinforced beam

Figure 10. Testing view

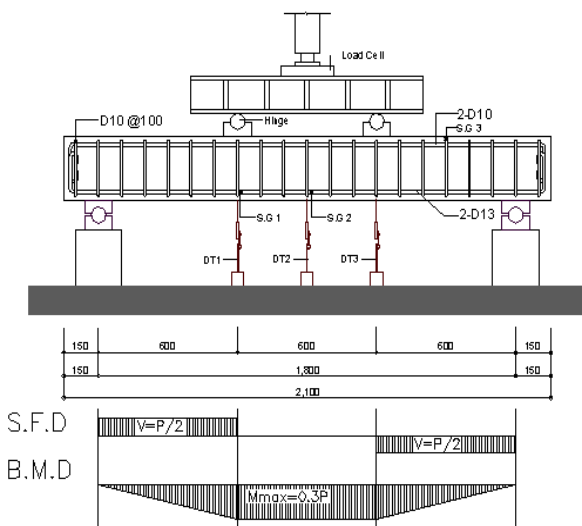


Figure 11. Bending beam Set-up

Table 9. Bending test result

Specimen	Initial Crack Load		Yield Strength		Maximum Load		Ductility (μ)	Ductility Ratio
	P_{ci} (kN)	δ_{ci} (mm)	P_y (kN)	δ_y (mm)	P_u (kN)	δ_u (mm)		
B-HCN-1	40.1	1.71	85.7	5.47	93.4	15.60	285	100.3
B-HCN-2	33.1	1.44	86.3	5.52	98.0	15.84	287	100.9
B-HCN-3	33.0	1.13	91.2	5.57	98.9	15.64	281	98.8
B-HCS-1	52.1	2.62	83.5	4.84	96.1	14.24	294	103.5
B-HCS-2	47.3	2.45	84.7	5.21	98.1	15.24	293	102.9
B-HCS-3	49.0	2.73	85.7	5.70	97.4	15.30	268	94.9
B-SHF-1	48.3	2.20	84.7	4.89	94.7	14.56	298	104.7
B-SHF-2	53.7	2.37	84.4	4.72	97.1	14.43	306	107.5
B-SHF-3	51.6	2.81	86.7	5.50	97.4	15.35	279	98.2

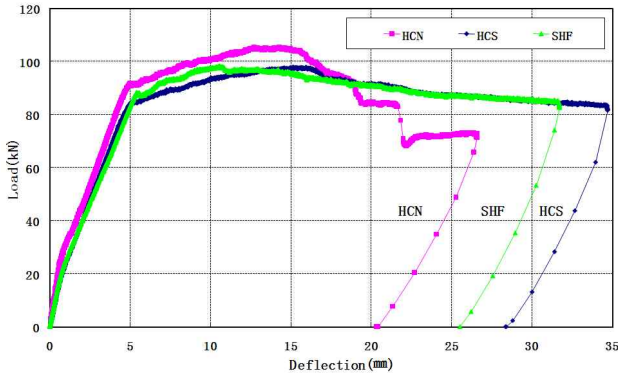


Figure 13. Load-deflection curve of bending beam

4.5.2 연성평가

부재의 연성은 부재의 항복시의 처짐을 기준으로 하여 부재 파괴시(최대하중시)의 처짐을 비율로 나타내었으며 휨실험체의 연성계수평가 결과는 Table 9와 같다.

섬유 무혼입 기준실험체의 연성계수는 2.84 정도, 강섬유 혼입 실험체는 2.85 정도, PP섬유와 강섬유를 혼입한 하이브리드 실험체는 2.94 정도로 나타났다.

기준실험체와 강섬유 혼입 실험체는 거의 비슷한 연성을 나타냈으며 기준실험체에 비해 하이브리드한 실험체는 3.5% 정도 연성계수가 높게 나타났다.

섬유 혼입 유무에 연성은 비슷한 경향을 보였으나 기준실험체는 최대하중 이후 급격히 하중이 감소하면서 취성적인 거동을 나타냈으며, 섬유를 혼입한 실험체는 최대하중 이후 하중은 저하되었지만 변위가 증대되면서 연성적인 거동을 보였다.

4.6 전단보강근이 없는 보의 실험 결과 및 분석

4.6.1 실험 결과

기준실험체와 섬유 혼입 철근콘크리트 보 실험체의 실험 결과는 Table 10과 같다.

전단보강근이 없는 실험체별 초기균열하중의 경우, 섬유 혼입이 없는 기준실험체에 비해 강섬유 혼입 실험체가 62.0% 정도, PP섬유와 강섬유를 혼입 하이브리드 실험체가 44.6% 정도 높게 나타났다.

앞의 휨실험과 마찬가지로 섬유를 혼입함으로써 전단보강근이 없는 철근콘크리트 실험체의 초기균열 제어 효과는 크게 나타났다.

각 실험체별 항복하중은 비슷한 경향을 보였으며 최대하중의 경우, 기준실험체에 비해 강섬유 혼입 실험체가 28.5% 정도, PP섬유와 강섬유를 혼입 하이브리드 실험체가 19.4% 정도 높게 나타났다.

Table 10. Without stirrup reinforced beam test result

Specimen	Initial Crack Load		Yield Load		Maximum Load		Ductility (μ)	Ductility Ratio
	P_{cu} (kN)	δ_{cu} (mm)	P_y (kN)	δ_y (mm)	P_u (kN)	δ_u (mm)		
S-HCN-1	55.9	0.55	124.8	1.25	268.5	3.82	3.06	114.5
S-HCN-2	61.9	0.79	93.2	1.32	230.0	3.52	2.67	99.9
S-HCN-3	59.9	0.73	99.8	1.47	199.1	3.37	2.29	85.7
S-HCS-1	83.7	0.87	107.2	1.27	275.0	4.09	3.22	120.6
S-HCS-2	89.0	0.95	107.3	1.20	283.6	4.48	3.73	139.8
S-HCS-3	115.0	1.13	117.8	1.17	337.5	4.12	3.52	131.9
S-SHF-1	66.1	0.8	100.7	1.42	223.0	4.44	3.13	117.1
S-SHF-2	105.7	1.45	105.6	1.47	262.4	3.80	2.58	96.8
S-SHF-3	84.9	0.81	108.8	1.11	347.0	5.14	4.63	173.4

4.6.2 연성평가

실험체의 연성지수평가 결과는 Table 10 및 Fig 14에 나타났다.

섬유 혼입하지 않는 기준실험체의 연성계수는 2.67, 강섬유 혼입 실험체는 3.49, 섬유 혼입 하이브리드 실험체는 3.45로 나타났고, 강섬유 혼입 실험체와 하이브리드 섬유 혼입 실험체의 연성계수는 유사한 연성을 보였으며 기준실험체에 비해 강섬유 혼입 실험체는 30.7% 정도 연성계수가 높게 나타났다.

전단보강근이 없는 실험체에 대해서 섬유 혼입 유무는 실험체의 전단거동에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

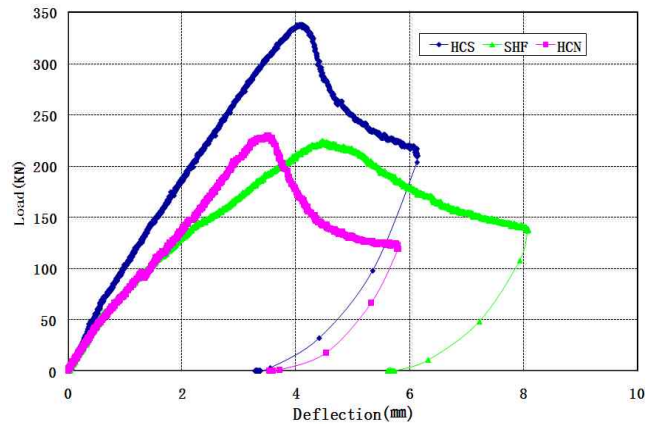


Figure 14. Load-deflection curve of without stirrup reinforce beam

기준실험체는 최대하중 이후 하중이 급격히 감소하면서 취성적인 거동을 나타내었지만, 섬유 혼입 경우는 최대하중 이후 하중은 저하되었지만 변위는 증대되면서 연성거동을 보였다.

또한, 하이브리드 섬유와 강섬유를 혼입함으로써 파괴최대 하중은 19.4~28.5% 정도 향상된 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 연구에서는 강섬유와 PP섬유를 혼입한 하이브리드 고강도 콘크리트의 내화시험과 중성화시험 및 부재실험을 실시하여 하이브리드 섬유 혼입 고강도 콘크리트의 내화성능 및 역학적 특성을 파악하여, 다음 결론을 얻었다.

- 1) 하이브리드 섬유를 혼입한 고강도 콘크리트는 폭렬의 발생 억제 효과가 우수한 것으로 나타났다.
- 2) 내화실험 후 실시한 하이브리드 섬유 혼입 콘크리트에서 압축강도의 잔존율이 보통 콘크리트보다 우수한 것으로 나타났다.
- 3) 하이브리드 섬유 혼입 고강도 콘크리트의 중성화 깊이는 온도의 증가에 따라 증가 경향이 나타나지만 중성화에 대하여 우수한 억제효과를 나타내었다.
- 4) 휨 실험결과, 강섬유 혼입 실험체와 하이브리드 섬유 혼입 실험체의 초기균열하중이 높게 나타났으며 하이브리드 섬유를 혼입함으로써 철근콘크리트 보의 초기균열 제어 효과를 나타내었다.

휨 실험체별 연성은 비슷한 경향을 나타내었지만 하이브리드 섬유 혼입 실험체의 연성이 기준실험체에 비해 4% 정도 높게 나타났다.

- 5) 전단보강근이 없는 실험체 실험 결과, 기준실험체 보다 하이브리드 섬유를 혼입한 실험체가 44.6% 정도 높게 나타나고 하이브리드 섬유를 혼입함으로써 전단보강근이 없는 철근콘크리트 보의 초기균열 제어 효과는 크게 나타났다. 최대내력은 기준실험체보다 하이브리드 섬유를 혼입한 실험체는 19.4% 정도 높게 나타났다.

실험체별 연성의 경우 기준실험체보다 하이브리드 섬유를 혼입한 실험체의 연성이 29.2% 정도 높게 증가하는 것으로 나타나 연성거동의 효과가 있는 것으로 사료된다.

요 약

본 연구는 고강도 콘크리트의 화재시 내화성능 확보를 위하여 주로 사용되는 강섬유(Steel Fiber), 폴리프로필렌(Polypropylene Fiber; 이하PP)와 PP섬유와 강섬유를 하이브리드 섬유를 혼입한 설계기준강도 40MPa의 고강도 콘크리트의 내화성능 및 폭렬 방지 방법을 검토하고, 섬유 혼입 고강도 콘크리트 보의 휨 및 전단보강근이 없는 보의 구조적 특성 연구를 통하여 섬유 혼입 고강도 콘크리트 보의 휨과 전단 저항

거동을 파악하였다. 실험결과, 하이브리드 섬유를 보강하면 균열 및 폭렬 발생, 중성화 억제 효과 등을 나타내었다. 부재실험에서는 초기균열제어, 연성과 최대내력 증대의 효과를 나타내었다.

키워드: 고강도 콘크리트, 하이브리드 섬유 내화성능

References

1. Kim JS, Cho CH, Shin YS. A study on the Structural properties of Fiber-reinforced Recycled Aggregate Concrete. Journal of the Korea Institute of Building Construction. 2008;8(5):35-42.
2. Kim JS, Cho CH, Shin YS. A study on the Mechanical properties of Fiber-reinforced Recycled Aggregate Concrete. Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2009;9(4):131-7.
3. Kim DS. A Study on the Fire Resistance Performance and Structural Properties of High Strength Fiber Reinforcement Concrete. [PhD dissertation]. Gwangju: Chosun University; 2010.
4. Shin SW, OH JK, Lee KS, Kwon YH. Shear Strength of Reinforced High-Strength Concrete Beams Without Shear Confinement. Architectural Institute of Korea. 1989;9(1):381-94.
5. Chung HS, Lee SJ. An Experiment Study on the bending behavior of Reinforced high Strength Concrete beams. Architectural Institute of Korea 1989;9(2):475-82.
6. Lee WH, Yang WJ, Jee SW, Jung IH. A influence of Parameters on the Flexural and Shear Behavior of High Strength Lightweight Concrete Beam, Architectural Institute of Korea. 2006;26(1):225-8.
7. HONMA A. A research of Spalling of Concrete, CiNii-Architectural Institute of Japan 1992:1393-4.
8. NISHIDA A, YAMAZAKI N, INOUE H, A Study on the properties of High Strength Concrete with short polypropylene fiber for Spalling Resistance, CiNii-Architectural Institute of Japan 1994:331-8.
9. KASAI Y, MATSUI I, YUASA N, ZHOU J. A study on Heat-resisting concrete: Discussion Aggregate, CiNii-Architectural Institute of Japan 1994:223-4.
10. Harmathy TZ. Fire Safety Design & Concrete. Longman Group UK Kimited; 1993.
11. Pierre K, Gregoire C, Christophe G. High Temperature Behaviour Concrete of HPC with Polypropylene Fibers from Spalling to Microstructure. Cement and concrete Research,

2001;31:1487–99.

12. Bilodean A., Malhotra VM, Hoff GC. Hydrocarbon Fire Resistance of High Strength Normal Weight and Light Weight Concrete Incorporating Polypropylene Fibers, Inter-national Symposium on High Performance and Reactive Powder Concrete, Sherbrooke, QC. 1998:271–96.
13. Boo CY, Kim JW. A Study on the Shear behavior of High Strength Reinforced Concrete Beam, Architectural Institute of Korea 1994;14(2):573–9.