

섬유혼입 고강도 콘크리트의 내화성능 평가

Evaluation on Fire Resistance Performance of High Strength Concrete Containing Fibre

송영찬

김용로*

김옥종

이도범

Song, Young-Chan Kim, Yong-Ro* Kim, Ook-Jong Lee, Do-Bum

Architectural Research & Engineering, Daelim Industrial Co., Ltd, Jongno-Gu, Seoul, 110-140, Korea

Abstract

The purpose of this research is to secure fundamental data on the application of fibre as a fire resistance method for more than 60 MPa high-strength concrete through an examination of mechanical properties and fire resistance performance.

The results are as follows: 1) When there are less than 0.5~1.0kg/m³ contents of PP and NY fibre for 60MPa and less high strength concrete, 1.0kg/m³ contents of PP and NY fibre for less than 80MPa high strength concrete and 1.5kg/m³ contents of NY fibre for more than 80MPa high strength concrete, the effect of fibre contents on workability and strength development is not significant. 2) Based on the result of a 3-hour fire resistance test for mock-up column, it is necessary to secure 50 mm of covering depth for the regulation of fire resistance performance of high strength concrete to the standards of The Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs. 3) It is necessary to secure more than 400mm of column size for stable fire resistance performance.

Keywords : high strength concrete, fire resistance performance, fire protection covering, organic fibre

1. 서론

초고층 건축물에 적용되는 고강도콘크리트의 폭렬 현상에 의한 내화성 저하 문제가 제기됨에 따라 국토해양부에서는 이에 대한 대응방안으로 2008년 7월 21일 “고강도 콘크리트 기동·보의 내화성능 관리 기준”을 고시함에 따라 국내 건설 업계에서도 향후 지속적으로 적용이 증가될 것으로 예상되고 있는 고강도 콘크리트의 내화성능을 확보하기 위해 다양한 기술개발을 수행하고 있다[1,2,3].

한편, 기존 자료에 따르면 고강도 콘크리트의 내화성능을 확보하기 위한 기술 중 현재까지는 콘크리트 내부에 합성섬유를 혼입하여 화재 발생시 콘크리트 내부 수증기압을 저감시켜

폭렬을 제어하고자 하는 방안이 가장 경제적이며, 현장 적용이 용이한 것으로 파악되고 있다[4,5].

이에 본 연구에서는 섬유혼입 고강도 콘크리트의 물성 및 내화 특성을 검토함으로써 60MPa 이상의 고강도 콘크리트가 적용되는 건설현장에서의 내화성능 확보방안으로서 섬유혼입 공법을 적용하기 위한 기초자료를 확보하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

현장 적용을 위한 섬유혼입 고강도 콘크리트의 내화성능 검토를 위한 실험계획은 Table 1에서 보는 바와 같이 시리즈 I에서는 설계기준강도 60MPa의 고강도콘크리트에 대하여 섬유 종류, 섬유 길이 및 혼입량에 따른 섬유혼입 콘크리트의 기초 물성을 검토하고자 하였으며, 시리즈II에서는 시리즈 I에서 검토된 물성을 기초로 하여 설정된 섬유혼입 고강도 콘크리트의 내화특성을 평가하고자 하였다. 또한 시리즈III에서는 설계기준강도 80MPa의 고강도콘크리트에 대하여 섬유 종류,

Received : August 31, 2010

Revision received : September 28, 2010

Accepted : October 5, 2010

* Corresponding author : Kim, Yong-Ro

[Tel: 82-2-2011-8256, E-mail: kyr8447@daelim.co.kr]

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

Table 1. Experimental scheme

Series	Classification of experiment	Compressive strength	Factors	Variable	Measuring items
I	Mechanical properties of high strength concrete containing fibre	60MPa	Fibre type	PP, Cellulose(UF500)	<ul style="list-style-type: none"> Slump flow Air content (0, 60 min.) Compressive strength (18h, 3d, 7d, 28d)
			Fibre length	6, 9, 12mm	
			Contents	0.5, 1.0, 1.5kg/m ³	
II	Fire resistance performance of high strength concrete containing fibre	60MPa	Covering depth	40, 50mm	<ul style="list-style-type: none"> Fire test (KS F 2257)
			Contents	PP 0.5, 1.0, 1.5kg/m ³	
			Fibre type	PP, NY	
III	Fire resistance performance of high strength concrete containing fibre	80MPa	Contents	1.5, 2.0, 2.5, 3.0kg/m ³	<ul style="list-style-type: none"> Slump flow Air content Compressive strength Fire test
			Covering depth	30, 40, 50, 60, 70mm	
IV	Mechanical properties and fire resistance performance of high strength concrete containing fibre	100MPa	Fibre type	PP, NY	<ul style="list-style-type: none"> Fire test

혼입량 및 피복두께에 따른 섬유혼입 콘크리트의 기초 물성 및 내화성능을 평가하고자 하였으며 시리즈IV에서는 시리즈 I, II, III에서 검토된 내화성능을 기초로 하여 설정된 섬유혼입량에 대하여 설계기준강도 100MPa의 고강도콘크리트의 내화성능을 평가하고자 하였다.

2.2 사용재료

본 연구에 사용한 재료의 물리적 특성을 Table 2에 나타냈으며, 설계기준강도 60MPa, 80MPa, 100MPa의 콘크리트 배합을 Table 3에 나타냈다.

Table 2. Physical properties of used materials

Material	Physical properties
Cement	<ul style="list-style-type: none"> Ordinary portland cement, Density 3.15g/cm³
Admixture	<ul style="list-style-type: none"> Blast furnace slag type 3, Density 2.91g/cm³ Fly ash, Density 2.22g/cm³ Silica fume, Density 2.20g/cm³
Aggregate	<ul style="list-style-type: none"> Fine aggregate : Sea sand, Density 2.59g/cm³ Coarse aggregate : Crushed gravel, Density 2.67g/cm³
Fibre	<ul style="list-style-type: none"> Polypropylene, Density 0.91g/cm³, Length 12mm Cellulose, Density 1.10g/cm³, Length 2.3mm Nylon, Density 1.15g/cm³, Length 12mm

Table 3. Design mixture of concrete

Designation	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)						
			W	C	BFS	FA	SF	S	G
20-60-600	28.0	45.0	165	413	177	-	-	729	901
20-80-600	23.3	46.0	163	399	210	56	35	718	859
20-100-600	20.3	46.0	163	418	257	64	64	671	803

2.3 실험방법

섬유혼입 고강도콘크리트의 성능 검토를 위한 실험방법으로서 콘크리트의 기초 물성 평가는 각 평가항목별 KS에 준하여 평가하였다.

또한, 내화성능 검토를 위한 내화시험은 KS F 2257-1 건축부재의 내화시험방법에서 제시한 표준가열곡선에 의해 3시간 내화시험을 실시하였다.

가열로는 국토해양부에서 고시된 고강도콘크리트 내화성능 관리기준의 시험방법과 동일하게 진행하기 위하여 Figure 1 과 같은 수평가열로에서 내화시험을 진행하였다.



Figure 1. Fire test of high strength concrete

시리즈II의 내화시험을 위한 시험체는 Figure 2에서 보는 바와 같이 사전 검토를 위하여 PP 섬유혼입량에 따른 내화성능을 평가하기 위해 200×200×400mm 크기의 시험체를 제작하였으며, 실제 부재를 대상으로 한 내화성능 평가를 위한 모의부재는 900×900×1500mm 크기로 제작하였다.

또한 시리즈III, IV의 내화시험을 위한 시험체는 Figure 3에서 보는 바와 같이 450×450×800mm 크기로 제작하고 피복두께별 내화성능을 평가하기 위한 시험체는 주근의 위치를 피복두께에 맞춰 설치를 하였다.

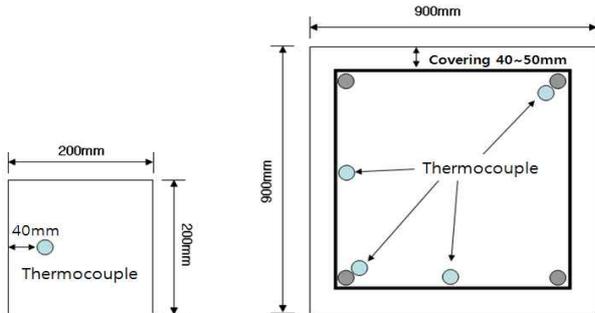


Figure 2. Section of series II specimens

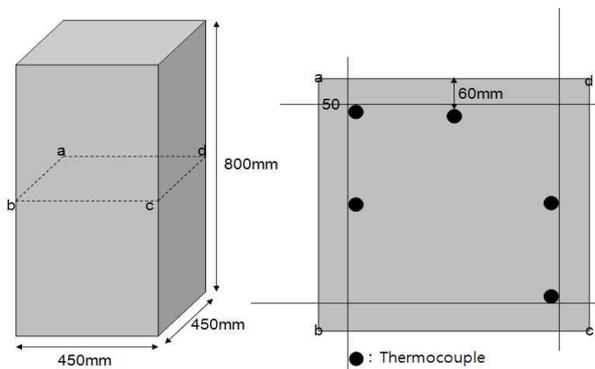


Figure 3. Shape of series III, IV specimens

3. 실험결과 검토 및 분석

3.1 기초물성 검토

Figure 4는 시리즈 I의 시험요인별 슬럼프플로우 측정 결과를 나타낸 것으로서 폴리프로필렌(PP) 섬유 길이의 경우 본 연구의 범위에서는 길이에 관계없이 목표 슬럼프플로우 범위를 나타냈으며, 경시변화에 있어서도 유의할만한 경향은 보이지 않았다.

PP 섬유 혼입량에 따른 슬럼프플로우는 비빔직후의 경우 혼입량 1.5kg/m³에서 슬럼프플로우가 다소 낮게 나타났으나, 경시60분에서는 혼입량에 따른 큰 차이가 보이지 않고 있어본 연구에서 검토된 PP 섬유 혼입량 1.5kg/m³ 이하에서는 고강도콘크리트의 슬럼프플로우에 미치는 영향이 크지 않은 것으로 나타났다.

한편, 섬유 종류에 따른 슬럼프플로우 측정 결과 섬유혼입량 1.0kg/m³ 수준에서는 PP 섬유에 비해 셀룰로오스 섬유가 다소 유동성이 저하되는 것으로 나타났다.

또한, 섬유 길이, 혼입량 및 종류에 따른 공기량의 경우 본 연구의 실험요인 내에서는 유의할만한 경향은 보이지 않았다.

Figure 5는 시리즈 I의 시험요인별 섬유혼입 고강도콘크리트의 압축강도측정 결과를 나타낸 것으로 압축강도에 있어서 PP 섬유 길이 및 섬유 종류에 따른 영향은 크지 않은 것으로 나타났다.

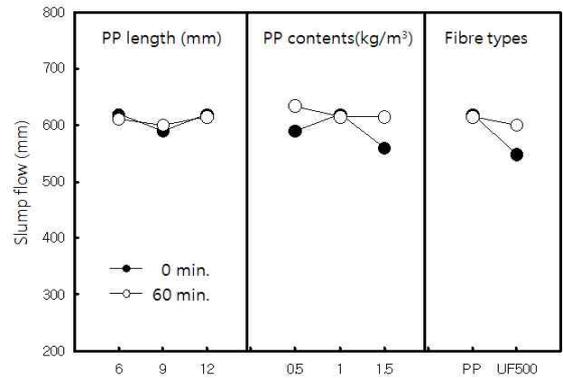


Figure 4. Slump flow of Series I

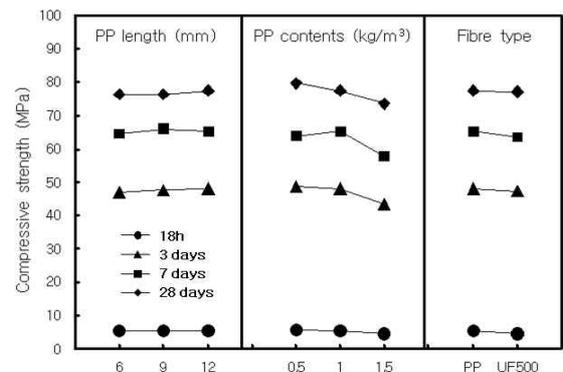


Figure 5. Compressive strength of Series I

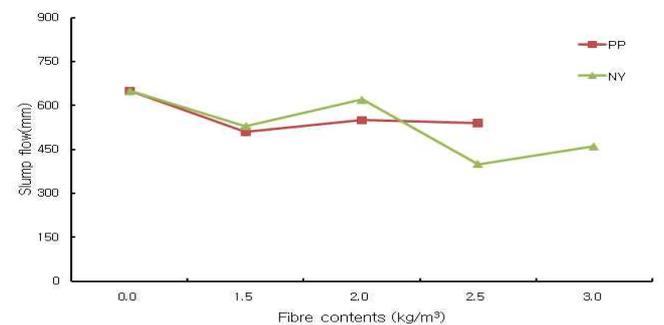


Figure 6. Slump flow by fibre contents and type at series III

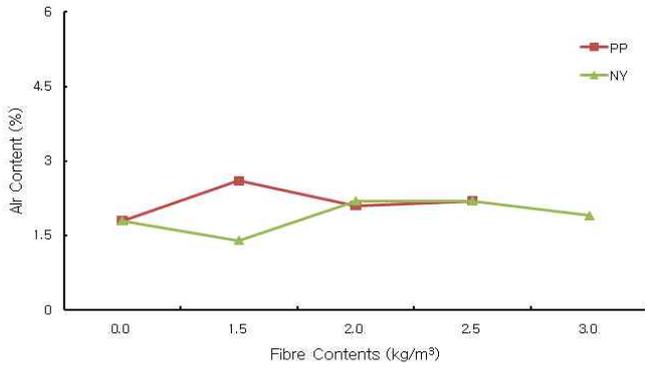


Figure 7. Air content by fibre contents and type at series III

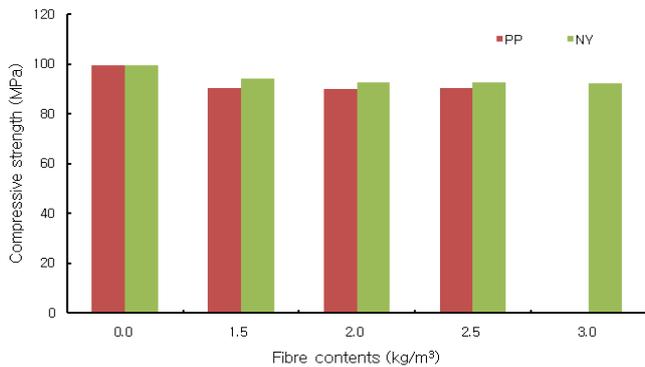


Figure 8. Compressive strength by fibre contents and type at series III

그러나 섬유 혼입량에 따른 압축강도 시험 결과 재령 18시간의 초기 재령에서는 큰 차이가 보이지 않았으나, 재령이 경과함에 따라 섬유 혼입량이 증가할수록 고강도콘크리트의 압축강도는 저하하는 경향이 나타났다.

Figure 6 및 Figure 7은 시리즈 III의 섬유종류별 혼입량에 따른 섬유혼입 고강도콘크리트의 슬럼프플로우 및 공기량을 나타낸 것으로 슬럼프플로우는 섬유를 혼입하지 않은 플레인에서 목표 슬럼프플로우인 650mm를 만족하였으며, 혼입량이 1kg/m³ 증가함에 따라 슬럼프플로우가 약 8% 감소하여 유동

성 저하의 경향이 나타났다. 또한 공기량의 경우 PP섬유와 나일론(NY)섬유의 혼입량과는 별개로 뚜렷한 경향 없이 1.4~2.6%의 범위에서 나타남을 알 수 있었다.

Figure 8은 시리즈 III의 섬유종류별 혼입량에 따른 섬유혼입 고강도콘크리트의 28일 압축강도를 나타낸 것으로 압축강도의 경우 설계기준강도인 80MPa를 모두 상회하는 값을 나타내었지만 PP섬유의 경우 혼입량을 1kg/m³ 증가시 약 4.5%, NY섬유의 경우 약 3% 압축강도가 감소하는 경향을 나타내었다.

3.2 내화성능 검토

Figure 9는 시리즈 II에서 PP 섬유 혼입량에 따른 3시간 내화시험 결과를 나타낸 것으로서 PP 섬유 혼입량이 증가할수록 고강도콘크리트 내부의 온도상승이 지연되는 것으로 나타났다.

또한, 피복두께 40mm 위치에서의 온도는 섬유혼입량에 관계없이 가열개시 120분 경과시 국토해양부 관리기준인 평균 538°C를 초과하는 것으로 나타났다.

그러나, 3시간 내화시험 종료 후, 시험체의 외관 관찰 결과 Figure 10에서 보는 바와 같이 폭발현상은 발생하지 않은 것으로 나타났다.

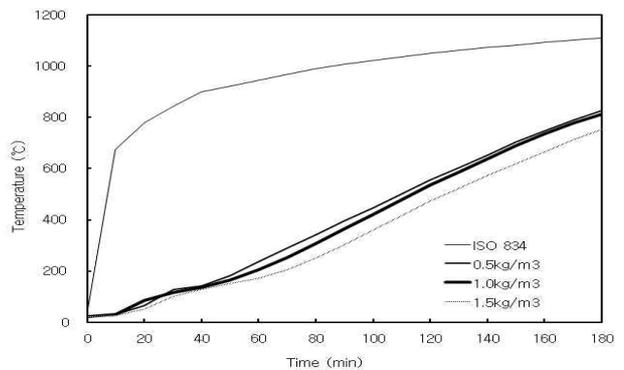


Figure 9. Fire test result by PP fibre contents at series II

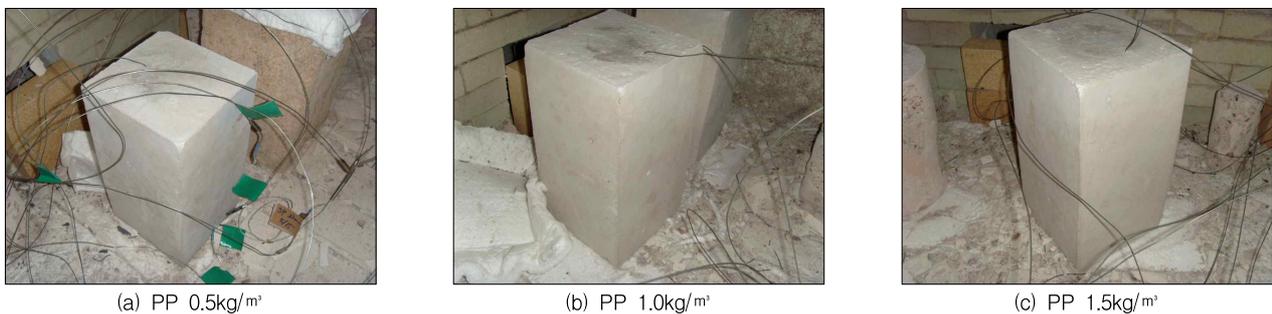


Figure 10. Appearance of specimens after 3 hours fire test at series II

한편, Figure 11과 Figure 12는 시리즈II에서 실제 부재를 대상으로 하여 피복두께에 따른 섬유혼입 고강도콘크리트의 내화시험 결과를 나타낸 것으로서 피복두께 40mm에서는 가열개시 180분 경과시 국토해양부 관리기준인 평균온도 538℃는 만족하였으나 최고온도 649℃를 초과하는 것으로 나타났고, 피복두께 50mm에서는 평균온도와 최고온도 기준을 만족하는 것으로 나타났다.

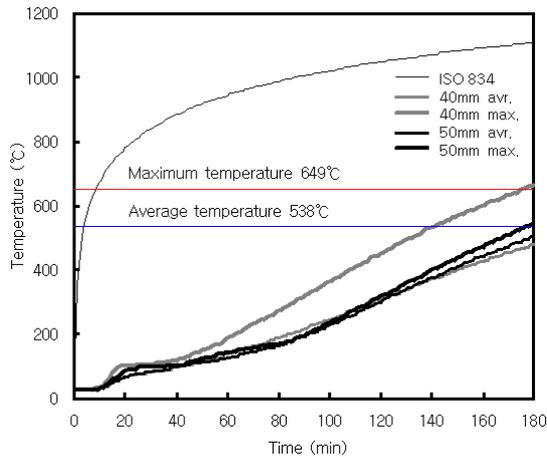


Figure 11. Fire test result by covering depth of series II



(a) Covering 40mm (b) Covering 50mm

Figure 12. Appearance of Mock-up column before and after fire test at series II

Figure 13 및 Figure 14는 시리즈III에서 피복두께 변화에 따른 콘크리트 내부온도를 나타낸 그래프와 내화시험 종료 후 피복두께 변화에 따른 내부온도 그래프이다. 피복두께 10mm 증가 시 내화시험 3시간 종료 후 최종 온도결과를 비교한 결과 약 11%씩 내부온도가 감소하는 경향을 나타냈다.

섬유를 혼입하지 않은 일반 고강도 콘크리트의 경우 피복두께 40mm에서 평균온도 538℃를 90분 이내에 초과하였으며, PP섬유를 1.5kg/m³ 혼입한 경우라 하더라도 피복두께 30mm와 40mm에서 3시간 전에 모두 평균온도 기준을 초과함으로써 기준에 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

따라서 국토해양부 고시 내화성능 관리기준을 만족하기 위

한 조건으로는 콘크리트의 피복두께를 최소한 50mm 이상 확보해야 가능할 것으로 판단되었다.

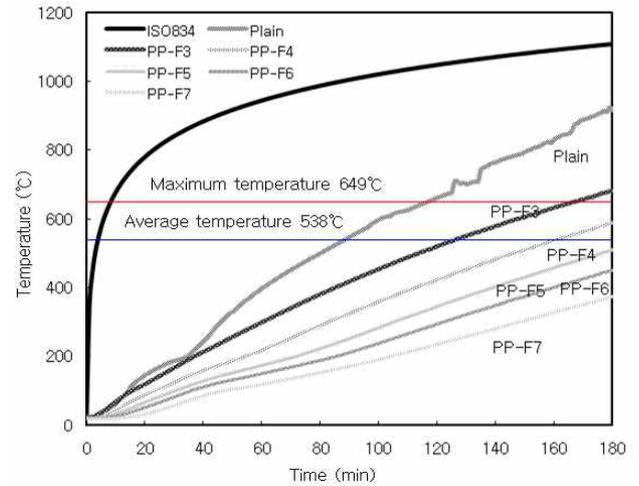


Figure 13. Fire test result by covering depth of series III

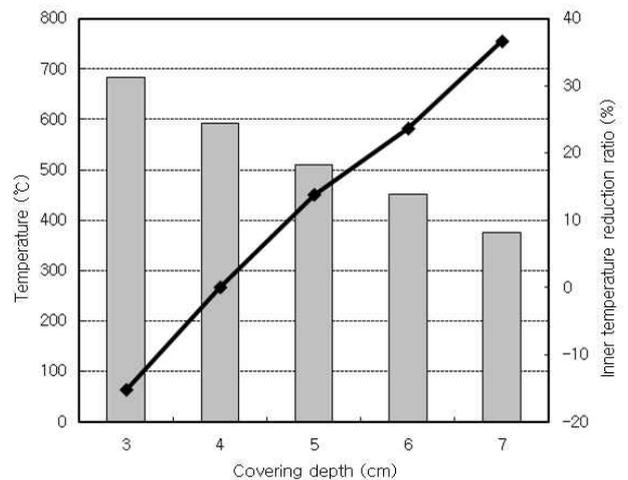


Figure 14. Inner temperature and reduction ratio by covering depth at series III

Figure 15 및 Figure 16은 시리즈III에서 각각 섬유 혼입량 변화에 따른 콘크리트 내부온도 및 내화시험 종료 후 섬유 혼입량 변화에 따른 내부온도 그래프이다. 섬유 종류에 상관없이 섬유 혼입량이 증가함에 따라 콘크리트 내부온도가 증가하는 경향을 나타내었으며 이는 일정량 이상의 섬유를 혼입할 경우 유기섬유가 용융하여 생긴 공극이 콘크리트 내부 수증기 압 저하의 영향보다 콘크리트 내부로의 열침투 경로생성의 영향이 더 커져 내부 온도 증가의 결과로 나타난 것으로 판단된다.

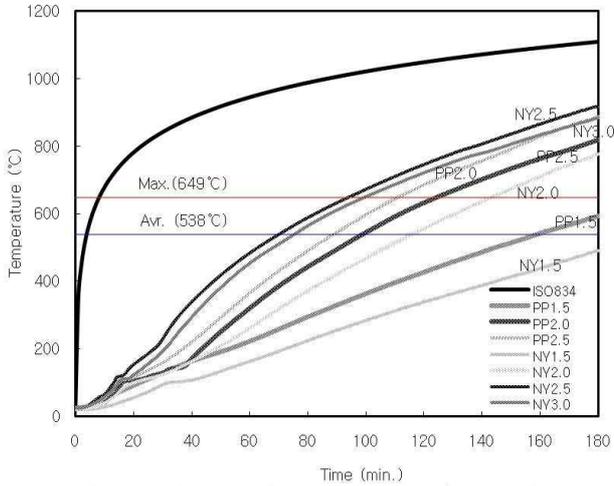


Figure 15. Fire test result by fibre contents at series III

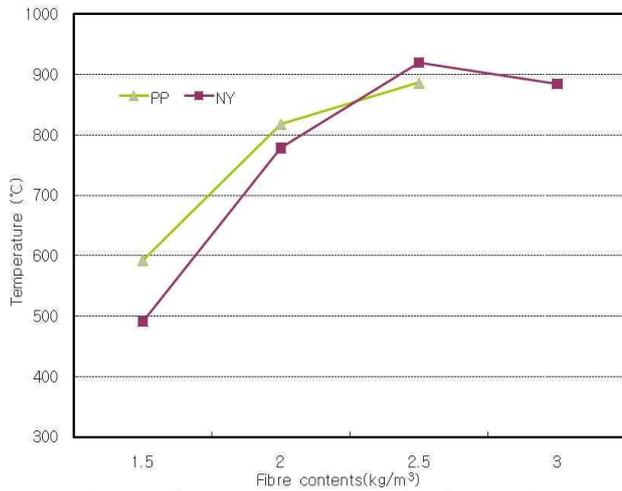


Figure 16. Inner temperature by fibre contents at series III



Figure 17. Appearance of specimens after fire test at series III

또한 NY섬유 1.5kg/m³ 혼입한 콘크리트의 경우를 제외한 모든 시험체가 내화성능 관리기준의 평균온도 기준인 538°C를 초과하여 관리기준을 만족하지 못하였으며 혼입량이 증가할수록 내부 온도는 증가하는 경향을 나타냈다.

Figure 17에 나타낸 것과 같이 3시간 내화시험 종료 후 육

안관찰 결과 섬유를 혼입하지 않은 시험체에서 폭발 현상이 나타났으며, 섬유 종류 및 혼입량에 관계없이 나머지 시험체 모두 폭발 현상은 나타나지 않았고 가열로가 완전히 식은 후 시험체 표면을 관찰한 결과 모든 시험체에서 다수의 방사형 균열이 관찰되었다.

한편, 시리즈IV의 섬유종류별 고강도콘크리트 기초물성 평가 결과를 Table 4에 나타내었다. 설계기준강도 100MPa 고강도콘크리트를 대상으로 하여 시리즈III의 시험결과를 바탕으로 PP섬유와 NY섬유의 혼입량을 1.5kg/m³으로 설정하였으며, PP섬유를 혼입한 경우 유동 감소가 상당히 나타나는 것을 확인할 수 있었으며, NY섬유의 경우 친수성 섬유로 유동성에는 문제가 없음을 확인할 수 있었다. 또한 압축강도 확인결과 28일에 설계기준강도인 100MPa보다 7~12% 상회하는 값을 나타내어 압축강도에도 문제가 없음을 확인하였다.

Table 4. Mechanical properties of series IV

Type	Contents (kg/m ³)	Slump flow (mm)	Compressive strength (MPa)		
			3 days	7 days	28 days
Plain	-	500	57.3	75.9	113.0
PP	1.5	430	57.9	73.0	107.2
NY	1.5	610	59.6	74.9	112.4

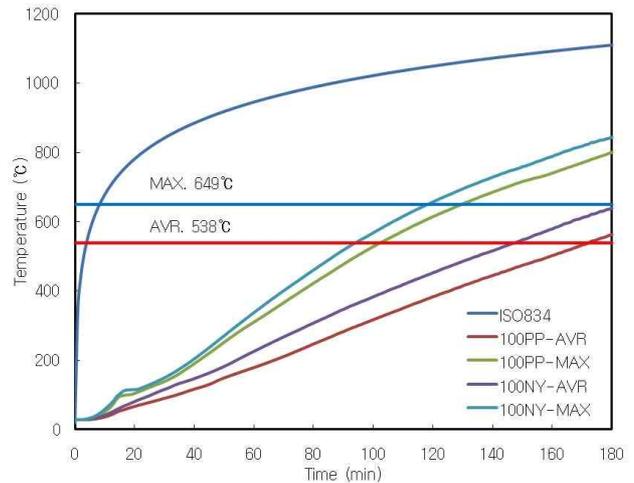


Figure 18. Fire test result by fibre type at series IV

아울러 Figure 18은 시리즈IV에서 섬유종류별 내화시험 결과를 나타낸 그래프로써 PP섬유와 NY섬유 시험체 모두 면부에서는 국토해양부 관리기준인 평균온도 538°C를 만족하였으

나 각 모서리부가 취약하여 관리기준 최고온도인 649℃를 초과하여 3시간 내화시험 종료 후 최종 평균온도 및 최고온도 모두 관리기준온도를 만족하지 못한 것으로 나타났다.

4. 결 론

현장적용을 위해 60MPa~100MPa 수준의 고강도콘크리트에 있어서 섬유혼입에 따른 기초 물성 및 내화 특성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 설계기준강도 60MPa 이하의 고강도 콘크리트의 경우 PP섬유 및 NY섬유 혼입량 0.5~1.0kg/m³ 이하, 60MPa 초과 80MPa 이하의 고강도 콘크리트의 경우 PP섬유 및 NY섬유 혼입량 1.0kg/m³, 80MPa 초과하는 고강도콘크리트의 경우 NY섬유 1.5kg/m³ 범위에서는 섬유혼입이 고강도콘크리트의 시공성 및 강도발현에 미치는 영향은 크지 않은 것을 확인하였다.
- 2) 실제 부재크기를 대상으로 한 시험체의 3시간 내화시험 결과 피복두께 50mm를 확보해야 국토해양부 관리기준을 만족하는 것으로 나타나 섬유혼입에 의한 내화성능 확보 기술의 적용성을 확인할 수 있었다.

요 약

2008년 7월 21일 고시한 국토해양부의 고강도 콘크리트 내화성능 관리기준에 따라 50MPa 이상의 고강도 콘크리트는 내화성능을 확인하여 건축물에 적용 가능하게 되었다.

이에 본 연구는 60, 80, 100MPa의 고강도 콘크리트를 대상으로 섬유종류, 섬유길이, 혼입량에 따른 콘크리트의 역학적 특성을 파악하고 아울러 피복두께에 따른 내화성능을 검토하여 국토해양부 관리기준에 만족하는지 파악하고, 초고층 건축물에 있어서 고강도 콘크리트를 적용하기 위한 내화성능 확보 방안을 마련하고자 하였다.

키워드 : 고강도콘크리트, 내화성능, 내화피복, 유기섬유

References

1. Kim YR, Song YC, Jung YH, Kim OJ, Lee DB. An experimental study on the fire resistance properties of high strength concrete using fiber for field application. Proceedings of Korea Institute of Construction 2008;8(2):187-91
2. Song YC, Kim YR, Kim OJ, Lee DB. Evaluation of fire

performance for high strength concrete mock-up column with fiber by unloaded fire test. Proceedings of Korea Institute of Construction 2009;9(2):97-100

3. Song YC, Kim YR, Oh JK, Kim OJ, Lee DB, Ko CH. An Experimental Study on Fire Resistance Performance of High Strength Concrete by Fiber Contents and Depth of Concrete Cover. Proceedings of Architectural Institute of Korea 2009;29(1):583-86
4. Han CG. Concrete with spalling resistance, Korea Concrete Institute 1998;10(6):5-10
5. Pierre K, Gregoire C, Christophe G. High temperature behaviour of HPC with polypropylene fibres from spalling to microstructure. Cement and Concrete Research 2001(31):1487-99