

섬유의 종류 및 온도가열곡선 변화에 따른 콘크리트의 내화특성

Fire Resistance of the Concrete Corresponding to the Various Fiber Contents and Heating Curves

한 천 구* 배 장 춘**

Han, Cheon-Goo Pei, Chang-Chun

Abstract

This study investigated fundamental characters of the concrete according to various fiber types and contents and their properties of spalling resistance and residual compressive strength after fire test corresponding to ISO and RABT heating curves. The results were summarized as following. The Flowability was gradually declined as the increase of fiber contents, and it was the most favorable with nylon(NY) fibers. The decrease of air contents due to increasing fiber contents was in order by polypropylene(PP), polyvinyl alcohol(PVA) and NY fibers. The compressive strengths were over 40 MPa at 7 days and 50 MPa at 28 days. It was in order by PVA, PP and NY fibers. For the spalling properties, all specimens were prevented at ISO heating curve. In the other hand, the partial spalling at the surface occurred on the plain without fibers, but it was prevented over 0.10 % of PVA and 0.05 % of PP and NY fibers at the RABT heating curve.

키워드 : 가열온도, 폴리프로필렌섬유, 폴리비닐알코올섬유, 나일론섬유

Keywords : Heating Temperature, Polypropylene Fiber(PP), polyvinyl alcohol Fiber(PVA) , Nylon Fiber(NY)

1. 서 론

건축물의 주요 구조부재는 화재시 인명안전, 재산보호의 관점에서 일정시간 내화성능의 확보가 중요하다.¹⁾

최근 건축물은 고층화, 초고층화, 대규모화와 함께 고성능 콘크리트의 사용이 증가하고 있는 추세인데, 이러한, 고성능 콘크리트는 보통 콘크리트와 달리 그 조직이 치밀하기 때문에 화재 발생 시 급격한 온도 상승으로 인한 내부 수증기압이 구조체 콘크리트의 구속응력보다 크게 발생함으로써 폭발현상이 발생한다. 이러한 폭발현상은 구조부재 피복 콘크리트의 박락비산과 함께 철근이 고온에 노출되어 심각한 구조내력 저하를 초래하여, 경우에 따라서는 건축물의 붕괴까지도 일으킬 수 있는 원인이 된다.^{2)~8)}

한편, 현재 LPG 가스, 등유 등 급가열성 위험물의 저장탱크가 건물 인접부까지 건설되고도 있는데, 화재 시 발생하는 온도곡선은 통상적인 ISO 834에 규정하는 표준가열곡선보다 극심하게도 나타날 수도 있다.

그러므로, 본 연구에서는 고성능 콘크리트의 폭발방지를 목적으로, 유기섬유의 다양한 종류 및 혼입을 변화에 따른 콘크리트의 기초적 특성과 건축물의 표준온도가열곡선인 ISO 곡

선과 보다 극심한 조건을 상정한 독일의 RABT 온도가열곡선에 따른 내화시험을 실시한 후 폭발성상 및 잔존압축강도 특성 등을 검토하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다. 즉, 고성능 콘크리트의 내화성능 실험계획으로 설계기준 강도 40MPa를 가정하여 W/B는 34 %의 1수준에 대해, 섬유를 혼입하지 않은 것을 플레인 배합으로 하고 여기에 섬유의 종류별로는 폴리프로필렌섬유(Polypropylene : 이하 PP섬유), 폴리비닐알코올섬유(polyvinyl alcohol : 이하 PVA섬유), 나일론섬유(Nylon : 이하 NY섬유)의 3수준, 섬유의 혼입율로는 0.05, 0.10, 0.15 %의 3수준, 온도가열곡선별로는 ISO 온도가열곡선 및 RABT 온도가열곡선 2수준으로 변화시켜 총 10 배치의 실험을 계획하였다.

이때 배합사항으로, 플레인 콘크리트는 목표슬럼프 150 ± 25 mm, 목표공기량은 4.5±1.5 %가 만족되도록 배합설계한 다음 섬유종류 및 혼입율별에도 동일한 배합조건을 적용하였다. 실험사항으로, 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프, 슬럼프플

* 정희원, 청주대학교 건축공학과 교수 공학박사

** 정희원, 청주대학교 대학원 건축공학과 박사과정

로우, 공기량, 단위용적질량을 측정하고, 경화 콘크리트에서는 계획된 재령에서 압축강도, 인장강도, 내화시험후의 폭렬유무, 질량감소를 및 잔존 압축강도를 측정하도록 하였다.

표 1. 실험계획

실험요인		실험수준	
배합사항	W/B(%)	1	34
	목표슬럼프(mm)	1	150±25
	목표공기량(%)	1	4.5±1.5
	섬유의 종류	3	PP, PVA, NY
	섬유 혼입율(%)	4	0(플레인), 0.05, 0.10, 0.15
실험요인	온도가열곡선	2	ISO (1시간) RABT
측정항목	굳지 않은 콘크리트		<ul style="list-style-type: none"> • 슬럼프 • 슬럼프플로우 • 공기량 • 단위용적질량
	경화 콘크리트	강도	<ul style="list-style-type: none"> • 압축강도(7, 28일) • 인장강도(28일)
	내화시험		<ul style="list-style-type: none"> • 폭렬유무 • 질량감소율 • 잔존압축강도

PP: 폴리프로필렌섬유, PVA: 폴리비닐알콜섬유, NY: 나일론섬유

표 2. 콘크리트의 배합표

굵은골재 최대치수 (mm)	목표 슬럼프 (mm)	목표 공기량 (%)	W/C (%)	S/a (%)	단위질량(kg/m³)					
					W	C	S	G	SP제	AE제
20	150	4.5	34	46	170	500	752	899	2.60	0.28

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 3과 같다. 골재로써 잔골재는 국내 P사산 부순 잔골재와 천연 잔골재를 1:1로 혼합한 잔골재를 사용하였고, 굵은골재는 국내 P사산 20 mm 부순 굵은골재를 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 4와 같다. 혼화제로 고성능 감수제는 국내산 B사의 폴리칼본산계, AE제는 국내 N사산을 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 5와 같다. 폭렬방지용 유기섬유로써 PP섬유, PVA섬유, NY섬유는 모두 국내산 S사 제품을 사용하였으며, 그 물리적 성질과 형상은 각각 표 6 및 사진 1과 같다.

2.3 실험방법

콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 혼합하였다. 즉, 먼저 시멘트, 잔골재, 굵은골재, 유기섬유를 동시에

혼합하여 30 초간 전비빔을 실시한 후 물을 넣고 다시 60 초간 비빔을 하고, 그 다음에 혼화제를 넣고 90초간 비빔을 하여 배출하는 것으로 하였다.

표 3. 시멘트의 물리·화학적 성질

밀도 (g/cm³)	분말도 (cm²/g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도(MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.15	3 302	0.15	208	351	20.4	29.4	38.7

표 4. 골재의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm³)	조립률	단위용적질량 (kg/m³)	0.08mm체 통과량 (%)
잔골재	2.61	2.70	1 645	1.2
굵은골재	2.66	6.56	1 532	0.3

표 5. 혼화제의 물리적 성질

구분	주성분	형태	색상	밀도 (g/cm³)
고성능 감수제	폴리칼본산계	액상	담갈색	1.21
AE제	고급 알콜계	액상	미황색	1.01

표 6. 섬유의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm³)	길이 (mm)	직경 (mm)	인장강도 (MPa)
PP 섬유	0.91	19	0.04	560
PVA 섬유	1.26	8	0.04	1600
NY 섬유	1.15	12	0.012	918

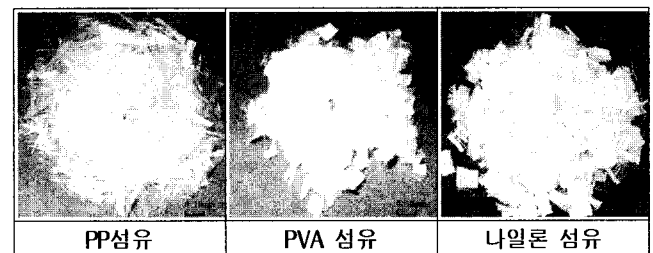


사진 1. 섬유사진

굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 슬럼프플로우는 KS F 2594, 공기량은 KS F 2421, 단위용적질량은 KS F 2409의 규정에 의거 실시하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축강도 및 잔존 압축강도는 Ø100×200 mm 공시체를 KS F 2403 규정에 의거 제작하

여 계획된 소정 재령 및 내화시험후 KS F 2405 규정에 의거 측정하였고, 인장강도는 KS F 2423에 의거 실시하였다. 화재를 상정한 내화시험은 사진 2와 같이 공시체를 종류별로 바닥용 내화시험 가열로 내에 수직으로 배치하여 놓고, 그림 1과 같은 ISO 온도가열곡선과 독일의 RABT 온도가열곡선에서 규정하는 표준가열곡선에 근접한 가열을 실시하였다. 내화시험후 공시체의 폭발여부는 육안으로 관찰하여 조사하였고, 질량감소율은 내화시험전후 각 시험체의 중량을 측정하여 백분율로 구하였다.

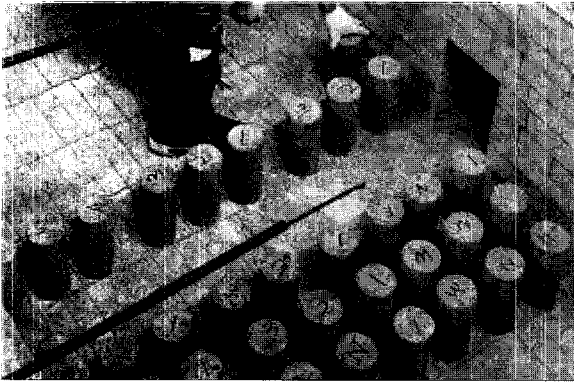


사진 2. 가열로내의 시험체 배치 전경도

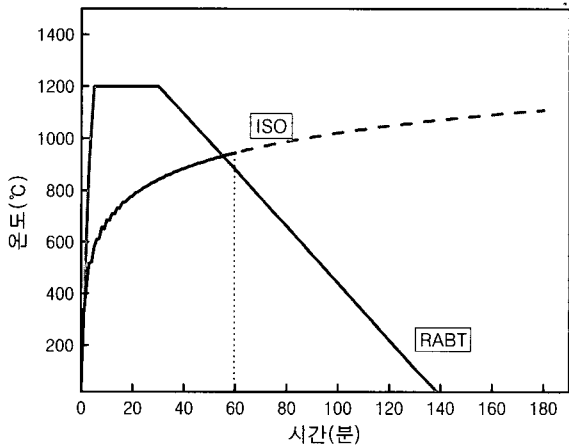


그림 1. 온도가열곡선

3. 실험결과 및 분석

3.1 유동특성

그림 2, 3은 각각 섬유유 종류 및 혼입율 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 및 슬럼프플로우를 나타낸 것이다.

섬유를 무혼입한 플레인 콘크리트는 목표 범위를 만족하는 것으로 나타났고, 섬유유 혼입율 변화에 따라서는 모두 유동성이 저하하는 것으로 나타났는데, 섬유유종류에 따라서는 NY 섬유유를 혼합한 경우 형상비 및 친수성 등에 기인하여 유동성

저하가 가장 작게 나타났고, 그 다음으로 PP섬유, PVA섬유 순으로 유동성이 저하하였다.

3.2 공기량 및 단위용적질량

그림 4, 5는 각각 섬유유 종류 및 혼입율 변화에 따른 공기량 및 단위용적질량을 나타낸 것이다.

섬유를 무혼입한 플레인 콘크리트는 목표 공기량을 만족

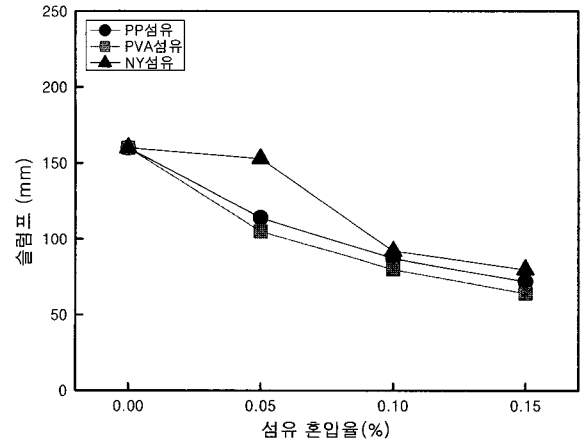


그림 2. 섬유유 종류 및 혼입율 변화에 따른 슬럼프

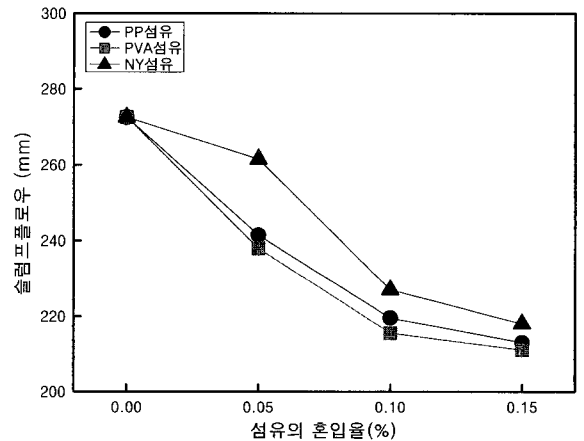


그림 3. 섬유유 종류 및 혼입율 변화에 따른 슬럼프플로우

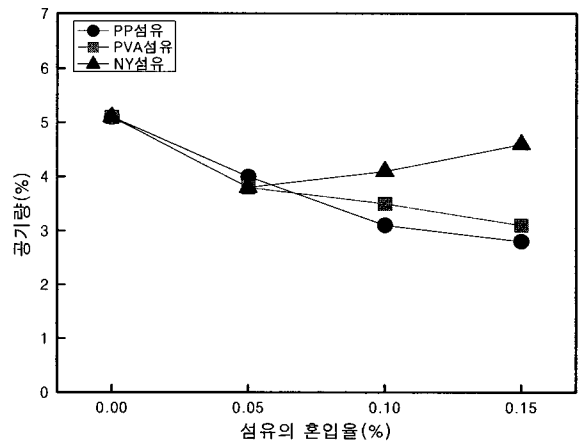


그림 4. 섬유유 종류 및 혼입율 변화에 따른 공기량

하는 것으로 나타났고, 섬유 혼입률 변화에 따라서는 공기량이 저하하는 것을 알 수 있었다. 섬유의 종류에 따라서는, 먼저 NY섬유의 경우 섬유를 무혼입한 플레인 콘크리트에 비해 혼입률 0.05 %까지는 저하하다가 그 이상 혼입 할 경우 오히려 증가하는 경향을 나타내었고, 기타 섬유는 PVA, PP 순으로 공기량이 저하하였는데, 이는 NY섬유의 경우 직경이 0.012 mm로 작으므로 콘크리트 내부에 어느단계 이상에서는 네트워크를 형성하므로써, 공기량을 약간 증진시키는 것으로 나타났지만, PP섬유 및 PVA섬유의 경우는 직경이 0.04 mm로 Entrained Air와 유사한 크기범위로서 섬유의 혼입에 따른 일부 소포현상에 기인하여 공기량이 약간 저하하는 것으로 사료된다. 단, 단위용적질량은 공기량과 반대로 섬유 혼입률이 증가할 수록 증가하였다.

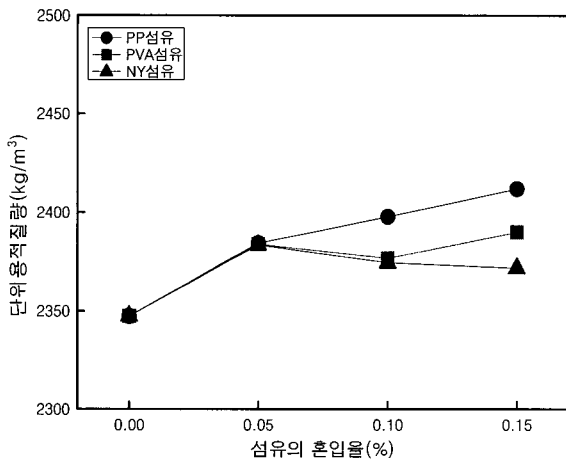


그림 5. 섬유의 종류 및 혼입률 변화에 따른 단위용적질량

3.3 강도특성

그림 6, 7은 섬유의 종류 및 혼입률 변화에 따른 압축강도 및 인장강도를 나타낸 것이다.

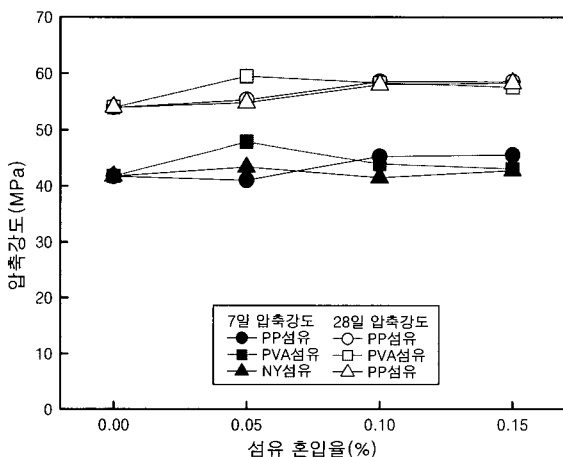


그림 6. 섬유의 종류 및 혼입률 변화에 따른 압축강도

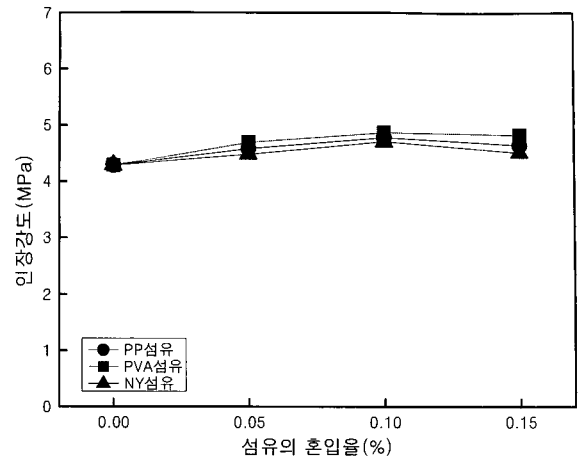


그림 7. 섬유의 종류 및 혼입률 변화에 따른 인장강도

섬유의 종류 및 혼입률 변화에 따른 압축강도는 7 일, 28 일 공히 플레인에 비해 다소 증가하는 것으로 나타났는데, 이는 섬유와 콘크리트와의 부착력 증대에 기인한 것으로 분석된다. 섬유의 종류변화에 따른 재령 28일 압축강도는 PVA섬유가 가장 크게 나타났고, 그 다음으로 PP섬유, NY섬유의 순이었다.

섬유의 종류 및 혼입률 변화에 따른 인장강도는 압축강도의 8 % 전후로 약간 증가 후 감소하는 경향은 있지만 큰 차이는 아닌 것으로 사료된다.

3.4 내화특성

3.4.1 폭발성상

사진 3은 온도가열곡선별 섬유의 종류 및 혼입률 변화에 따른 $\phi 100 \times 200$ mm 공시체에 대하여 내화시험을 실시하고 난 후의 폭발모습을 나타낸 것이다.

전반적으로, 온도가열곡선 변화에 따른 내화특성으로 RABT 온도가열곡선의 경우 ISO 온도가열곡선에 비해 폭발정도가 비교적 심하게 나타났는데, 이는 ISO 온도가열곡선의 경우 온도가 서서히 상승하여 1 시간 지난 후 가열로내 최고온도가 약 900℃에 도달한 후 실험이 종료되었고, RABT 온도가열곡선의 경우는 초기 약 5 분에 가열로내 최고온도가 1200℃까지 급속히 상승하다가 그 이후 30 분간 1200℃를 유지하다가 서서히 하강하기 때문에 초기의 급격한 온도상승속도와 가열로내 높은 온도에 기인한 것으로 판단된다.

ISO 온도가열곡선에 따른 내화특성으로, 섬유를 혼입하지 않은 플레인의 경우 표면에 약간의 균열이 발생하였으나 폭발이 발생하지 않아 양호하게 나타났고, 섬유의 혼입률 변화에 따라서는 역시 모두 폭발이 발생하지 않고 공시체 형상을 그대로 유지하여 양호한 모습을 나타내었다.

또한, RABT 온도가열곡선에 따른 내화특성으로, 섬유를

구분	섬유 혼입율 (%)	ISO 온도가열곡선	RABT 온도가열곡선
플레인	-		
PP 섬유	0.05		
	0.10		
	0.15		
PVA 섬유	0.05		
	0.10		
	0.15		
NY 섬유	0.05		
	0.10		
	0.15		

사진 3. 섬유 종류 및 혼입율 변화에 따른 공시체의 폭렬모습

혼입하지 않은 플레인은 표면부에 부분적으로 폭렬이 발생하였는데, 이는 초기의 급격한 고온에 의해 콘크리트의 내부의 수증기압의 급격히 증가하여 박리폭렬이 발생한 것으로 판단된다. 한편, 섬유의 종류 및 혼입을 변화에 따라서는 PP섬유와 NY섬유는 0.05 %이상 혼입한 경우, PVA섬유는 혼입량이 0.10 %이상인 경우에서 폭렬이 발생하지 않아 양호한 모습을 나타내었다.

3.4.2 질량감소율

그림 8, 9는 각각 온도가열곡선별 섬유의 종류 및 혼입을 변화에 따른 내화시험직 후 질량감소율을 나타낸 것이다.

전반적으로, 온도가열곡선 변화에 따른 질량감소율은 RABT 온도가열곡선의 경우 ISO 온도가열곡선에 비해 1~7 %전후 크게 나타났는데, 이는 초기의 급격한 온도상승과 가열로내 높은 최고온도에 의한 수증기압의 증대에 따른 폭렬발생에 기인한 것으로 분석된다.

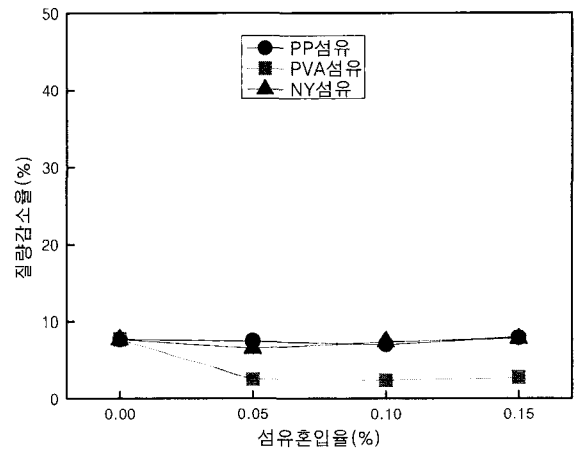


그림 8. 섬유의 종류 및 혼입율 변화에 따른 질량감소율 (ISO)

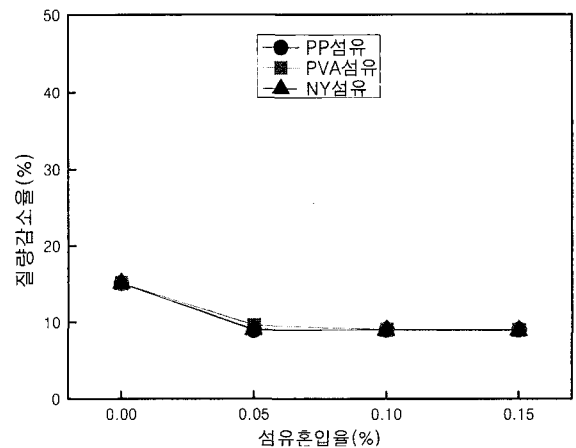


그림 9. 섬유의 종류 및 혼입율 변화에 따른 질량감소율 (RABT)

즉, 먼저 ISO 온도가열곡선에 따른 내화시험직 후 질량감

소율은 플레인의 경우 8 % 전후로 나타났고, 섬유유 종류 및 혼입을 변화에 따라서는 역시 3~8 %로 비교적 양호하게 나타났으며, PVA섬유를 혼입한 경우 3 % 전후로 가장 양호하였다.

또한, RABT 온도가열곡선에 따른 내화시험 직후 질량감소율은 플레인의 경우 15 % 정도로 나타났고, 섬유유 종류 및 혼입을 변화에 따라서는 9 % 정도로 비교적 양호하게 나타났다.

3.4.3 잔존압축강도

그림 10~12는 온도가열곡선별 섬유유 종류 및 혼입을 변화에 따른 내화시험직 후 잔존 압축강도 및 잔존압축강도율을 나타낸 것이다.

전반적으로, 온도가열곡선 변화에 따른 잔존압축강도는 RABT 온도가열곡선의 경우 ISO 온도가열곡선에 비해 10 % 전후 작게 나타났다.

즉, ISO 온도가열곡선에 따른 잔존압축강도는 플레인의 경우 내부균열 등의 영향으로 27 % 전후로 나타났고, 섬유

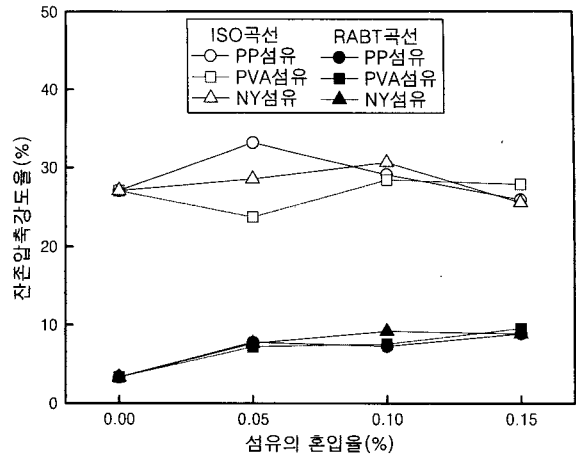


그림 12. 섬유유 종류 및 혼입을 변화에 따른 잔존압축강도율

의 종류 및 혼입을 변화에 따라서는 25~35 % 전후로 나타났으며, PP섬유를 0.05 % 혼입한 경우 가장 양호하게 나타났다.

RABT 온도가열곡선에 따른 내화시험직 후 잔존압축강도율은 플레인 콘크리트의 경우 역시 표면박리 등으로 3 % 전후로 매우 작게 나타났고, 섬유유 종류 및 혼입을 변화에 따라서는 9 % 전후로 유사하게 작게 나타났다.

4. 결 론

본 연구는 섬유유 종류 및 혼입을 변화에 따른 콘크리트의 기초특성과 ISO 온도가열곡선과 RABT 온도가열곡선에 따른 화재를 상정한 내화시험을 실시한 후 폭렬방지성상 및 잔존압축강도 특성 등을 분석한 것으로, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 유동특성은 섬유유 혼입율이 증가할 수록 저하하는 것으로 나타났는데, 섬유유 종류별로는 NY섬유를 혼합한 경우 유동성이 가장 양호하였다. 섬유유 혼입율증가에 따른 공기량은 저하하였는데, NY섬유가 가장 적게 저하하였고, 그 다음으로 PVA, PP순이었다.
- 2) 압축강도는 7 일 재령에서 40 MPa이상, 28 일 재령에서 50 MPa이상으로 섬유유 혼입율이 증가할 수록 크게 나타났는데, PVA, PP, NY의 순이었다.
- 3) 내화시험후 폭렬특성으로, ISO 온도가열곡선의 경우 플레인 및 섬유유 종류변화에 따라서 모두 폭렬이 발생하지 않았으나, RABT 온도가열곡선의 경우, 섬유유 혼입하지 않은 플레인은 급격한 온도상승과 높은 온도에 의한 내부 수증기압의 증대로 시험체의 표면부에 부분

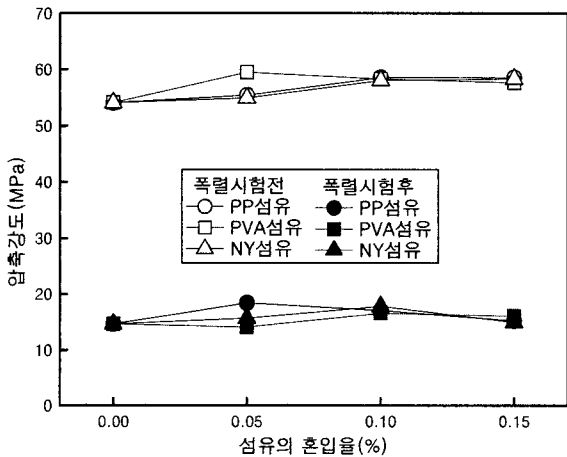


그림 10. 섬유유 종류 및 혼입을 변화에 따른 잔존압축강도(ISO)

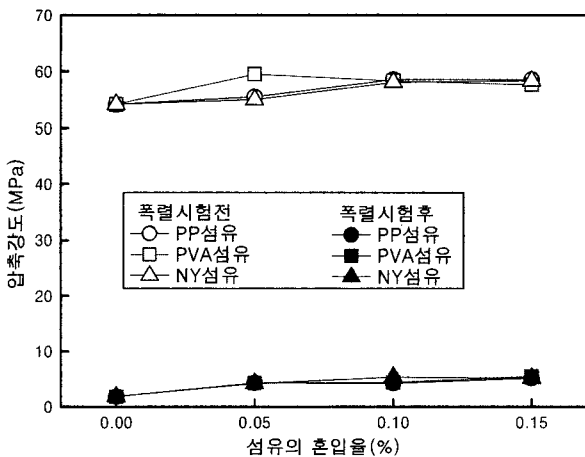


그림 11. 섬유유 종류 및 혼입을 변화에 따른 잔존압축강도(RABT)

적으로 폭렬이 발생하였지만, PVA섬유 0.10 %이상, PP섬유, NY섬유는 혼입율 0.05 %이상에서 폭렬이 발생하지 않는 것으로 나타났다.

- 4) 내화시험후 잔존압축강도율은 내부균열 등의 영향으로 크게 저하하였는데, ISO 온도가열곡선의 경우는 25 % 전후, RABT 온도가열곡선의 경우 폭렬이 발생하지 않더라도 9 % 전후이었다.

참 고 문 헌

1. 김경민, 고성능 콘크리트를 사용한 RC기둥의 폭렬방지 및 내화성 향상, 청주대학교 박사학위논문, 2006.12
2. 이병열, 화재시 고성능 콘크리트의 폭렬방지에 관한 연구, 청주대학교 박사학위논문, 2001.12
3. 장동찬, 건축법규 해설, 문운당, pp.2-13, 2-68, 2-129, 2006
4. 한천구, 비폭렬성 콘크리트, 콘크리트 학회지, 제 10권 6호, pp.5-12, 1998.12
5. J.G. Sanjayan, Design against spalling of concrete in fire, Proceeding of the First Korea-Australia Workshop on Recent Advances in High Performance Concrete, pp.155~169, 2005
6. K.D. Hertz, Limits of spalling of fire-exposed concrete, Fire Safety Journal 38, pp.103~116, 2003
7. 山崎 庸行, 西田 朗, 耐爆裂性コンクリート, 콘크리트工学, Vol. 36, No. 1, pp. 44~47. 1998. 1
8. 日本콘크리트工学協會, 콘크리트構造物の火災安全性研究委員會 報告書, 2003

(접수 2008. 9. 12, 심사 2008. 9. 29, 게재확정 2008. 10. 6)