

PP섬유 혼입율 및 잔골재 종류 변화에 따른 고성능 콘크리트의 폭렬특성

Spalling Characteristics of High Performance Concrete According to Changes in PP Fiber Ratio and Type of Aggregate

정홍근*

김원기**

배장춘***

한민철***

양성환****

한천구*****

Jung, Hong-Keun Kim, Won-Ki Pei, Chang-Chun Han, Min Cheol Yang, Seng-Hwan Han, Cheon-Goo

Abstract

This study is reviewed fire resistance characteristics of high strength concrete according to changes in PP fiber mixing ratio and type of fine aggregate, and the results can be summarized as follows. As fire resistance characteristics, all plain crushed sands prevented spalling regardless of increase in mixing ratio of PP fiber. Mixtures other than the plain showed satisfactory spalling prevention when 0.05 % or more of PP fiber was mixed. After the fire resistance experiment, the plain showed 5.5 % of mass loss rate when fiber was not mixed and others could not be measured. According to increase in mixing ratio of fiber, river sand with fineness modulus of 2.2 showed most satisfactory result of 34 %~42 %. Mass loss rate after fire resistance experiment was most satisfactory at about 10 % in the plain crushed sand without mixing of fiber, and all other mixes with 0.05 % PP fiber or more showed 5~10 % loss rate.

키워드 : 폴리프로필렌 섬유, 잔골재 종류, 폭렬특성, 섬유 혼입율

Keywords : Polypropylene Fiber, Various Aggregate, Spalling Properties, Fiber Ratio

1. 서 론

현대 건축물은 초고층화, 대규모화 됨에 따라 고성능 콘크리트의 사용이 증대되는 추세이다. 그런데, 이와 같은 고성능 콘크리트는 강도, 내구성, 경제성 등 여러면에서는 유리한 점이 있지만 화재시에는 폭렬에 취약한 것으로 보고되고 있어 내화구조상 반드시 해결되어야 할 문제점으로 대두되고 있다.

한편, 최근 국내에서는 천연골재의 고갈, 환경문제 해소 등을 위하여 콘크리트용 골재로써 인공적으로 제조되는 부순골재 및 폐콘크리트를 파쇄하여 얻은 순환골재 등을 대체골재로 활용하고 있는 상황이다.

그러나, 이와 같은 골재 종류가 다양화됨에 따라 콘크리트의 기초적 특성 및 내구특성에도 크게 영향을 미치게 되므로 신중한 검토가 요구되는데, 특히 내화특성의 경우는 골재의 성질, 입형, 표면조직, 입도분포, 공극구조, 비열 등 물성변화

에 따라 크게 달라질수 있음에도 불구하고 현재까지 굵은골재에 대해서만 연구가 진행되었고 잔골재에 대한 연구는 아직 미흡한 상황이다.

따라서, 본 연구에서는 내화성능에 효과적인 재료로 알려진 폴리프로필렌(이하 PP)섬유의 혼입율 변화와 함께 골재의 종류 변화에 따른 고성능 콘크리트의 기초적 특성 및 내화 특성을 분석하여 시공성 및 내화성이 양호한 PP섬유의 혼입율 및 최적 골재종류를 결정하는 실무에 기여하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 콘크리트 배합사항은 표 2와 같다.

즉, 배합사항으로 W/B는 25 % 1수준에 대하여, 시멘트에 대한 질량비로 플라이애시 20 %와 실리카 품 10 %를 동시에 치환한 것을 플레이 배합으로 하고, 실험변수로써 부순잔골재(이하 Plain), 순환잔골재, 강모래 3수준, 여기에 강모래는 조립률 변화로써 2.2, 2.7, 3.3의 3수준 등 5수준에 대

* 청주대학교 건축공학과 석사과정, 정회원

** 청주대학교 건축공학과 박사과정, 정회원

*** 청주대학교 건축공학과 조교수, 정회원

**** 인천전문대학 건축과 교수, 정회원

***** 청주대학교 건축공학과 교수, 정회원

표 1. 실험계획

실험요인		실험수준	
배합 사항	W/B(%)	1	25
	슬럼프(mm)	1	150±25
	공기량(%)	1	3.0±1.0
	혼화재 치환율(%)	1	OPC : FA : SF = 7 : 2 : 1
	PP 섬유 혼입율(%)	4	0, 0.05, 0.10, 0.15
	골재종류	5	<ul style="list-style-type: none"> • 부순잔골재(Plain) • 순환잔골재 • 강모래 <ul style="list-style-type: none"> - 조립률 2.2 - 조립률 2.7 - 조립률 3.3
실험 사항	굳지 않은 콘크리트	2	<ul style="list-style-type: none"> • 슬럼프 • 공기량
	경화 콘크리트	1	<ul style="list-style-type: none"> • 압축강도(7일, 28일)
	내화시험	4	<ul style="list-style-type: none"> • 폭렬유무 • 폭렬등급 • 질량감소율 • 잔존압축강도율

표 2. 콘크리트의 배합표

구분	W/B (%)	W (kg/m ³)	S/a	AE제 (%)	SP제 (%)	질량배합 (kg/m ³)				
						C	FA	SF	S	G
Plain	25	160	45	0.04	1.8	448	128	64	704	1636
						448	128	64	691	1553
						448	128	64	678	1553
						448	128	64	678	1553
						448	128	64	678	1553
						448	128	64	678	1553

하여 PP섬유의 혼입율을 0, 0.05, 0.10, 0.15 %의 4수준으로 변화시켜 총 20배치를 실험계획 하였다. 이때, 배합사항으로 Plain콘크리트에 대하여

여 목표 슬럼프 150±25 mm, 목표 공기량 3.0±1.0 %를 만족하도록 배합설계 한 후 실험변수별 동일한 배합 조건을 적용하였다. 실험사항으로, 굳지 않은 콘크리트에서는 슬럼프 및 공기량을 측정하였고, 경화 콘크리트에서는 계획된 재령에서 압축강도를 측정하였으며, 내화시험으로는 폭렬유무, 폭렬등급, 질량감소율 및 잔존압축강도율을 측정하는 것으로 하였다.

2.2. 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 보통 포틀랜드 시멘트(분말도 : 3 144 cm²/g, 밀도 : 3.15 g/cm³)를 사용하였다. 골재로써 굵은골재는 국내 P사산, 잔골재로 강모래와 부순모

래는 국내 S사산, 순환잔골재는 국내 I사산을 KS의 표준임도 범위를 만족하도록 입도 조정하여 사용하였는데, 그 물리적 성질은 표 3과 같다.

혼화재료로써 플라이애시(분말도 : 4 081 cm²/g, 밀도 : 2.22 g/cm³)는 국내 K사산, 실리카폼(분말도 : 200 000 cm²/g, 밀도 : 2.21 g/cm³)은 노르웨이산을 사용하였고, 고성능 감수제(밀도 : 1.05 g/cm³)와 AE제(밀도 : 1.04 g/cm³)는 각각 국내 E사의 폴리칼본산계 및 음이온계를 사용하였다. 또한, 폭렬방지용 섬유로써 PP섬유(밀도 : 0.91 g/cm³), 직경 : 0.04 mm, 길이 : 19 mm)는 국내 S사산을 사용하였다.

표 3. 골재의 물리적 성질

구분	밀도 (g/cm ³)	조립률 (FM)	흡수율 (%)	단위 용적질량 (kg/m ³)	0.08 mm체 통과량(%)
잔 골 재	부순모래	2.63	2.54	0.46	1 684
	순환잔골재	2.43	2.74	3.62	1 592
	강모래 2.2	2.60	2.15	1.30	1 670
	강모래 2.7	2.60	2.74	1.61	1 723
	강모래 3.3	2.60	3.33	1.54	1 654
	굵은골재	2.68	6.55	0.58	1 564

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬타입 믹서를 사용하여 혼합하였다. 굳지 않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 공기량은 KS F 2421의 규정에 의거 실시하였고, 경화 콘크리트의 실험으로 압축강도 및 잔존 압축강도는 KS F 2405 규정에 의거하여 실시하였다.

내화시험은 φ 100×200 mm 원주형 시험체를 보·바닥가 열로에 평면적으로 배치한 후 KS F 2257-1에서 규정한 표준가열곡선(그림 1)에 의거하여 1시간 가열하는 것으로 하였다. 내화시험 후 공시체의 폭렬여부는 육안으로 관찰하여 조사하였고, 폭렬등급은 질량감소율을 기준으로 비폭렬~1/4 폭렬-1등급, 1/4~2/4 폭렬-2등급, 2/4~3/4 폭렬-3등급, 3/4~4/4 폭렬-4등급 등 총 4개의 등급으로 분류하여 평가하였으며, 잔존압축강도율은 가열전의 시험체와 비교하여 평가하였다.

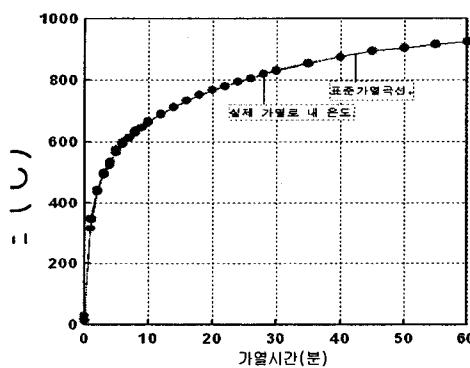


그림 1. 표준가열곡선과 실제 가열로 운도곡선

3. 실험결과 및 분석

3.1 콘크리트의 기초적 특성

그림 2는 잔골재 종류별 PP 섬유 혼입율 변화에 따른 슬럼프를 나타낸 것이다. 먼저, Plain인 부순모래의 경우 PP 섬유 혼입율이 증가할수록 유동성은 감소하는 경향을 나타내었지만 목표 범위를 만족하는 것으로 나타났다. 골재종류 변화로서, 순환잔골재를 사용한 경우는 플레인보다 약간 증가 또는 감소하는 경향은 있지만 큰 차이없이 목표 슬럼프 범위를 만족하였고, 강모래는 특히 조립률이 커질수록 슬럼프가 급격히 감소하여 목표 범위를 만족하지 못하였는데, 이는 점성이 높은 고강도 콘크리트의 경우 잔골재의 영향이 일반강도와 전혀 다르게 나타나는 것으로서, 추가적인 심도있는 분석이 요구되었다.

그림 3은 PP 섬유 혼입율 변화에 따른 공기량을 나타낸 것이다. 전반적으로, 잔골재의 종류변화에 따른 공기량은 강모래 조립률 2.2의 경우 가장 큰 값을 나타내었고, 그다음으로 강모래 조립률 2.7, 3.3, 순환잔골재, Plain의 순으로 나타났는데, PP 섬유 혼입율에 상관없이 모두 목표 공기량을 만족하는 것으로 나타났다.

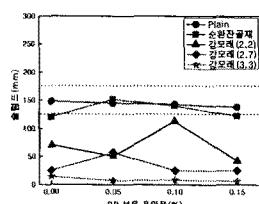


그림 2. PP섬유 혼입율 변화에 따른 슬럼프

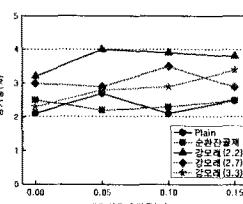


그림 3. PP섬유 혼입율 변화에 따른 공기량

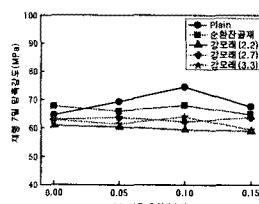


그림 4. PP섬유 혼입율 변화에 따른 7일 압축강도

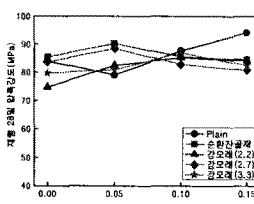


그림 5. PP섬유 혼입율 변화에 따른 28일 압축강도

그림 4 및 5는 PP 섬유 혼입율 변화에 따른 재령 7일 및 28일 압축강도를 나타낸 것이다. 전반적으로 재령 7일에서의 압축강도는 모든 배합에서 60 MPa 이상, 재령 28일에서는 모든 배합에서 70 MPa 이상의 고강도 범위를 나타내었는데, PP 섬유 혼입율이 증가할수록 약간 증가하는 경향이나 큰 차이를 보이지는 않았다. 전반적으로 압축강도는 Plain의 경우

79~94 MPa로 가장 높은 범위를 나타내었고, 그다음으로 순환잔골재, 강모래 조립률 2.2, 3.3, 2.7의 순으로 나타났는데, 이는 부순잔골재의 경우 형상이 각이지고 거칠어 시멘트와 계면간의 부착력이 증대한 반면 여타 골재의 경우 표면이 등근모양의 입형으로 시멘트와 잔골재 계면간의 부착력이 저하하여 압축강도가 크지 않은 것으로 판단된다.

3.2 콘크리트의 내화특성

표 4는 내화시험 후 PP섬유 혼입율 및 잔골재 종류변화에 따른 폭렬성상 및 폭렬등급을 나타낸 것이다. 먼저, Plain의 경우 PP 섬유 혼입율 증가에 관계없이 모두 폭렬이 방지되는 것으로 나타났는데, 이는 부순모래의 형상이 각이지고 거칠어 골재와 페이스트간 천이지대에 많은 공극이 존재하게 되어, 공극자체만으로 수증기압을 효과적으로 완화시켜 폭렬이 방지된 것으로 사료된다.

또한, 잔골재의 종류 변화에 따라서 섬유 무혼입의 경우는 모두 폭렬이 발생했지만, PP섬유 0.05 % 이상을 혼입한 경우에는 약간의 박리현상이 나타났으나 모두 폭렬등급 1등급으로 양호한 폭렬방지성능을 나타내었다. 이는 콘크리트에 혼입된 PP섬유가 고온에 녹아 네트워크를 형성 하여 효과적으로 내부 수증기압을 배출함에 기인한 것으로 분석된다.

그림 6은 PP 섬유 혼입율 변화에 따른 잔존압축강도율을 나타낸 그래프이다. 먼저, 섬유를 무혼입한 경우 Plain은 잔존압축강도율이 5.5 %로 낮게 나타났고, 섬유의 혼입율 0.05 % 이상에서는 16~19 %로 섬유 무혼입 보다는 높게 나타났다. 또한, 잔골재 종류변화에 따라서는 섬유를 무혼입한 경우 순환잔골재 및 강모래 조립률 2.2, 2.7, 3.3은 심한 파괴현상에 의해 잔존압축강도 측정이 불가 하였고, 폭열이 방지된 PP섬유 0.05 % 이상에서는 강모래 조립률 2.2는 잔존압축강도율이 34~42 %로 가장 높게 나타났으며, 그다음으로 순환잔골재, 강모래 조립률 2.7, 3.3, Plain의 순이었다.

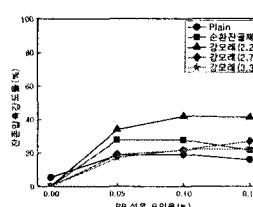


그림 6. PP섬유 혼입율 변화에 따른 잔존압축강도율

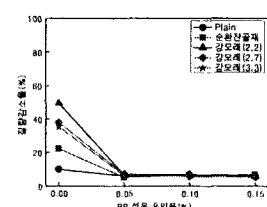


그림 7. PP섬유 혼입율 변화에 따른 질량감소율

표 4. PP 섬유 혼입율 및 잔골재 종류 변화에 따른 폭렬성상 및 폭렬등급

구분	PP섬유 혼입량											
	0			0.05			0.1			0.15		
부순 잔골재 (Plain)												
순환 잔골재												
골 재 종 류	강모래 조립률 2.2											
강모래 조립률 2.7												
강모래 조립률 3.3												

그림 7은 PP섬유 혼입율 변화에 따른 질량감소율을 나타낸 그래프이다. 먼저, 섬유를 혼입하지 않은 경우 Plain은 약 10 %로 비교적 우수하게 나타났고, 잔골재의 종류 변화에 따른 질량감소율은 모두 심한 폭렬 발생으로 비교적 큰 질량감소율을 나타내었다. 또한, PP섬유 0.05 % 이상 혼입한 경우는 모든 배합에서 공히 5~10 %로서 비교적 우수하게 나타났다.

4. 결 론

본 연구는 PP섬유 혼입율 및 잔골재 종류 변화에 따른 고강도 콘크리트의 내화특성에 대해 검토 하였는데, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 굳지않는 콘크리트의 유동특성은 Plain과 순환잔골재의 경우가 가장 양호하였고, 강모래 조립률 변화에 따라서는 모두 슬럼프가 급격히 감소하였다. 잔골재의 종류 변화에 따른 공기량은 강모래 조립률 2.2인 경우에서 가장 큰 값을 나타내었고, PP 섬유 혼입율 변화에 따라

서는 모두 목표 공기량을 만족하였다.

- 2) 경화콘크리트의 특성으로 잔골재 종류 변화에 따른 재령 28일 압축강도는 모든 배합에서 70 MPa 이상의 고강도 범위를 나타내었고, 부순모래, 순환잔골재, 강모래의 순이었는데, PP섬유의 혼입율이 증가에 따라서는 약간 증가하는 경향이었다.
- 3) 내화특성으로 Plain인 부순모래는 PP 섬유 혼입율에 무관하게 모두 폭렬이 방지 되었고, Plain을 제외한 여타의 배합은 PP섬유 0.05 % 이상을 혼입한 경우 일때 모두 양호한 폭렬방지성능을 나타내였다.
- 4) 내화시험후 잔존압축강도율은 섬유 무혼입의 경우 Plain만이 5.5 %로 비교적 양호하게 나타났고, 기타는 측정할수 없었다. 섬유의 혼입율 증가에 따라서는 강모래 조립율 2.2의 경우 34 %~42 %

로 가장 양호하게 나타났으며, 그다음으로 순환잔골재, 강모래 조립률 2.7, 3.3, Plain의 순이였다.

- 5) 내화시험 후 질량감소율은 섬유 무혼입의 경우 부순모래인 Plain은 약 10 %로 가장 우수하게 나타났고, PP섬유 0.05 % 이상 혼입한 경우는 모든 배합에서 공히 5~10 %로 우수하게 나타났다.

이상을 종합하면 W/B 25 %인 고성능 콘크리트에서 PP섬유는 잔골재 종류에 문관하게 0.05 % 이상 혼입하고, 잔골재는 부순모래를 활용할 때, 폭렬방지 측면 및 기타성능에서 가장 우수함을 알 수 있었다.