

골재종류 및 폴리프로필렌 섬유 혼입률 변화에 따른 고성능콘크리트의 폭열 성상

The Spalling Properties of High-Performance Concrete with the Kinds of Aggregates and Polypropylene Fiber Contents

이 병 렬* 황 인 성** 윤 기 원*** 양 성 환**** 한 천 구****
Lee, Byong Yul Hwang, Yin Seong Yoon, Gi Woon Yang, Seong Hwan Han, Cheon Goo

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the spalling properties of high-performance concrete with the kinds of aggregates and polypropylene(below PP) fiber contents. According to the experimental results, concrete contained no PP fiber takes place in the form of the surface spalling and the failure of specimens after fire test regardless of the kinds of aggregates. Concrete contained more than 0.05% of PP fiber with the kinds of aggregates does not take place the spalling. Concrete using basalt has better performance in spalling resistance that concrete using granite and limestone. It is found that residual compressive strength has 50~60% of their original strength. Although specimens after exposed at high temperature are cured at water for 28days, they do not recover their original strength.

1. 서 론

고성능 콘크리트를 사용한 구조물이 점차로 증가하고 있는 시점에서 화재시 발생하는 폭열현상은 고성능 콘크리트의 내화구조상 시급히 해결해야할 문제점으로 등장하고 있다.

콘크리트의 폭열이란 화재시 고온에 의해 부재 표면이 박리·탈락 또는 파괴하는 현상으로, 내부 수증기압을 폭열의 주원인으로 보고 있다. 그러나, 이러한 폭열현상은 골재종류에 의해서도 크게 좌우되어지는 것으로 알려져 있는데, 특히 우리나라에서는 비내화적인 화강암이 주암종을 이루고 있어, 이를 콘크리트용 골재로 사용할 경우 화재 발생시 커다란 문제점으로 제기될 수 있음에 골재종류에 따른 고성능 콘크리트의 폭열 성상은 충분히 검토할 필요성이 있다.

그러므로, 본 연구에서는 고성능 콘크리트의 폭열방지에 대한 연구의 일환으로, 골재종류 및 폴리프로필렌(이하 PP라 함) 섬유 혼입률 변화에 따른 폭열 성상을 검토하므로써, 고성능 콘크리트의 폭열방지를 위한 참고자료로 제시하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

- * 정회원, 청주대 건축공학과, 박사과정, (주)진부 건축사 사무소 소장
- ** 정회원, 청주대 건축공학과, 석사과정
- *** 정회원, 주성대학 건설재료공학과 전임강사, 공학박사
- **** 정회원, 인천전문대 건축과 교수, 공학박사
- ***** 정회원, 청주대 건축공학과 교수, 공학박사

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획 표 1과 같다. 즉, 실험요인은 W/C 35%에서 목표 슬럼프플로우를 고유동 콘크리트 범위인 60±5cm로 하고, 골재종류를 화강암, 석회암, 현무암 3개 수준과 PP섬유 혼입률을 0, 0.05, 0.10%의 3개 수준으로 하여 총 9배치를 실험계획한다. 이때 배합사항은 표 2와 같다.

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 1종 보통포틀랜드시멘트(비중:3.15, F_{28} :387kg/cm²)를 사용하고, 잔골재는 강모래(비중:2.58, 조립률:2.47)를 사용하며, 굵은골재로써 화강암(비중:2.61, 조립률:6.53)은 충북 옥산산, 석회암(비중:2.72, 조립률:6.65)은 충북 제천산, 현무암(비중:2.69, 조립률:6.48)은 제주산 20mm 부순 돌을 사용한다. 혼화제로 고성능감수제는 국내 K사의 폴리칼본산계를 사용하고, PP섬유는 국내 S사의 단섬유(길이:19mm, 비중:0.9)를 사용한다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 팬믹서를 사용하여 혼합한다. 이때 PP섬유의 혼입은 혼합시 섬유의 분산이 잘 되도록 손으로 골고루 뿌려준 후 건비율을 실시하는 것으로 한다.

굳지않은 콘크리트의 실험 및 경화 콘크리트의 실험은 KS 및 기타 표준적인 방법으로 실시하고, 폭열시험은 공시체를 종류별로 나누어 바닥용 가열로 내에 수직으로 놓고, KS F 2257에 의거 표준가열 곡선으로 1시간 가열을 실시한다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트 특성

그림 1은 골재종류별 PP섬유 혼입률 변화에 따른 슬럼프, 슬럼프플로우 및 공기량, 단위용적중량을 나타낸 것이다.

전반적으로 PP섬유 혼입률 증가에 따라 슬럼프 및 슬럼프플로우는 저하하는 것으로 나타났고, 공기량은 무혼입과 비교하여 약간 증가 혹은 감소의 경향은 있으나 큰 차이는 없는 것으로 사료된다. 골재종류별 굳지않은 콘크리트의 특성은 다소의 차이는 있으나, 큰 영향은 없는 것으로 분석되어지고, 단위용적중량은 골재종류별 비중에 의해 다소 차이가 있는 것으로 나타났다.

표 1. 실험계획

실험요인				실험사항	
W/C (%)	골재 종류	PP섬유 혼입율	목표치	굳지않은 콘크리트	경화 콘크리트
35	화강암 석회암 현무암	0 0.05 0.10	슬럼프 플로우 60±5 cm	· 슬럼프 · 슬럼프 플로우 · 공기량 · 단위용 적중량	· 압축강도 · 동탄성계수 · 중성화깊이 · 폭열시험

표 2. 배합사항

골재 종류	W/C (%)	W (kg/m ³)	S/A (%)	S.P/C (%)	절대용적배합 (ℓ/m ³)			중량배합 (kg/m ³)		
					C	S	G	C	S	G
화강암	35	170	50	1.67	161	308	308	509	793	803
석회암		170	50	1.67	161	308	308	509	793	837
현무암		169	50	1.72	161	308	308	509	793	827

주) 단위수량은 S.P.제 양을 제외한 것으로 한다.

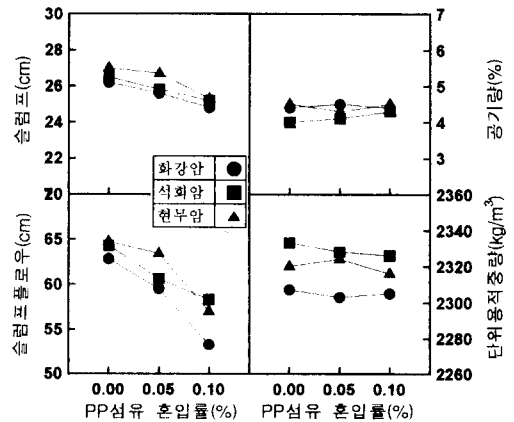


그림 1. 골재종류별 PP섬유 혼입률 변화에 따른 굳지않은 콘크리트의 특성

3.2 경화 콘크리트의 특성

그림 2는 골재종류별 PP섬유 혼입률 변화에 따른 가열전 압축강도를 나타낸 것이다.

PP섬유 혼입률 변화에 따른 압축강도는 다소 증가 또는 감소의 경향은 있으나 무혼입과 비교하여 큰 차이는 없는 것으로 나타났고, 골재종류별 압축강도는 화강암, 현무암, 석회암 순으로 나타났으나, 대부분 500~600kg/cm²를 상회하는 고강도 영역으로 나타났다.

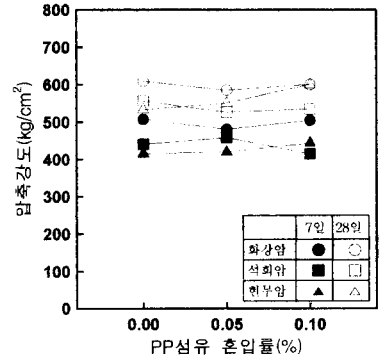


그림 2. 가열전 압축강도

3.3 폭열 특성

표 3은 화재조건을 상정한 가열시험을 실시하고 난 후의 폭열여부를 나타낸 표이고, 사진 1은 폭열시험 후 공시체의 형상을 나타낸 것이다.

폭열시험 결과분석으로 PP섬유 무혼입인 경우는 골재종류에 상관없이 모두 폭열을 일으켰고, PP섬유 0.05% 혼입한 경우는 화강암에서 1개, 석회암에서 1개의 박리폭열을 보였을 뿐 나머지는 폭열을 일으키지 않았다. 또한, PP섬유 0.1% 혼입한 경우는 화강암에서 2개의 박리폭열을 보였을 뿐 석회암, 현무암을 사용한 경우는 폭열을 일으키지 않았다.

이상을 종합하여 보면, 고성능 콘크리트의 폭열현상은 PP섬유 무혼입인 경우 골재종류에 의한 영향은 크게 나타나지 않는 것으로 사료되며, PP섬유 0.05% 이상 혼입한 경우의 폭열방지 효과는 내화적인 현무암이 다소 우수하고, 비내화적인 석회암, 화강암 순으로 나타났다.

표 3. 폭열 여부

골재종류 \ 혼입률	0%			0.05%			0.10%		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
화강암	X	X	X	O	O	△	△	O	△
석회암	X	X	X	△	O	O	O	O	O
현무암	X	X	X	O	O	O	O	O	O

O: 비폭열(캐핑면 탈락) △: 박리 폭열, X: 파괴 폭열

크게 나타나지 않는 것으로 사료되며, PP섬유 0.05% 이상 혼입한 경우의 폭열방지 효과는 내화적인 현무암이 다소 우수하고, 비내화적인 석회암, 화강암 순으로 나타났다.

그림 3 및 그림 4는 골재종류별 PP섬유 혼입률 변화에 따른 가열전후 및 가열후 28일 수증양생한 후의 압축강도와 잔존압축강도 및 동탄성계수와 잔존동탄성계수를 나타낸 것이다.

골재종류에 따른 가열후 압축강도는 PP섬유 무혼입인 경우 모두 폭열하여 강도측정이 불가하였으나, PP섬유 0.05% 이상 혼입한 경우 폭열방지 효과로 잔존압축강도율이 화강암과 현무암의 경우 60% 전후로 나타났고, 석회암의 경우 50% 전후로 나타났다. 또한, 가열후

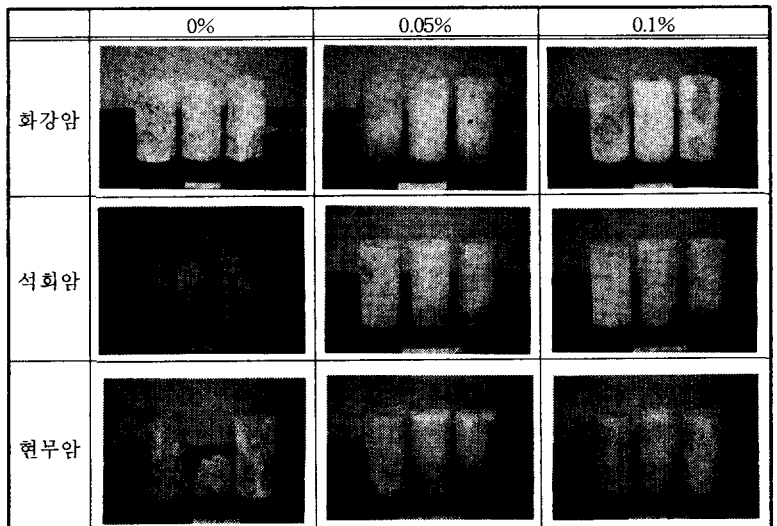


사진 1. 폭열시험 후 공시체의 폭열 형상

28일간 수중양생한 후의 압축강도는 가열후와 비교하여 큰 차이가 없는 것으로 나타났는데, 이는 고온에 의해 내부조직까지 균열이 발생하였기 때문에 강도회복이 이루어지지 않는 것으로 사료된다.

동탄성계수는 가열후 거의 측정이 불가능하였으나, 가열후 28일간 수중양생한 경우는 압축강도의 경우와 달리 80% 전후로 크게 회복됨을 알 수 있다.

그림 5는 가열전후의 중성화 깊이를 나타낸 것으로, PP섬유 무혼입인 경우는 내화적인 현무암이 중성화 깊이가 가장 양호한 것으로 나타났고, PP섬유 0.05% 이상 혼입한 경우는 폭열방지 효과에 기인하여 골재종류별 큰 차이 없이 현무암, 석회암, 화강암 순으로 중성화깊이가 얕아서 양호한 것으로 나타났다.

4. 결 론

골재종류 및 PP섬유 혼입률 변화에 따른 고성능 콘크리트의 굳지않은 및 경화 콘크리트의 특성과 폭열특성에 관한 실험 연구결과를 종합하면 다음과 같다.

- 1) 굳지않은 콘크리트의 특성으로 골재종류별로는 PP섬유 혼입률 증가에 따라 슬럼프 및 슬럼프플로우가 저하하는 것으로 나타났고, 공기량은 무혼입과 비교하여 큰 영향이 없는 것으로 나타났다.
- 2) 경화 콘크리트의 특성으로 골재종류에 따른 압축강도는 화강암, 현무암, 석회암 순으로 나타났고, PP섬유 혼입에 의한 압축강도는 무혼입과 비교하여 큰 영향은 없는 것으로 분석된다.
- 3) 폭열특성으로 PP섬유를 무혼입한 경우는 골재종류에 상관없이 모두 폭열을 일으켰는데, 이는 고성능 콘크리트의 폭열에 미치는 골재종류의 영향은 크게 나타나지 않는 것으로 사료된다. 단, PP섬유 0.05% 이상 혼입한 경우는 대부분 폭열 방지 효과를 보였는데, 화강암이나 석회암 보다는 내화적인 현무암이 다소 양호한 것으로 나타났다.
- 4) 골재종류에 따른 가열후 잔존압축강도율은 PP섬유 0.05% 이상 혼입한 경우 폭열방지 효과에 기인하여 현무암, 화강암이 60% 전후로 나타났고, 석회암이 50% 전후로 다소 작게 나타났다. 단, 가열후 28일간 수중양생한 후의 강도회복은 거의 일어나지 않았다.

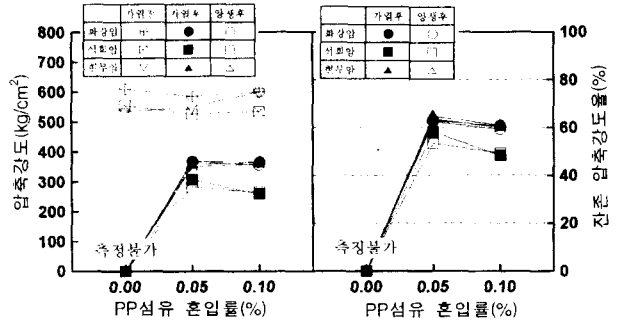


그림 3. 골재종류별 PP섬유 혼입률 변화에 따른 가열전후 및 가열후 28일 수중양생한 후의 압축강도와 잔존압축강도율

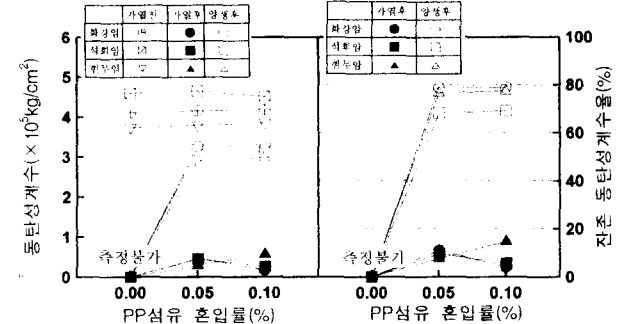


그림 4. 골재종류별 PP섬유 혼입률 변화에 따른 가열전후 및 가열후 28일 수중양생한 후의 동탄성계수와 잔존동탄성계수율

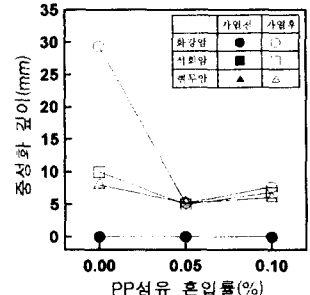


그림 5. 가열전후의 중성화 깊이

참고문헌

- 1) 井上明人, 飛坂 基夫; 高強度コンクリート部材の耐火性の評價に關する研究(第2報:骨材の岩種及び含水率影響), 日本建築學會大會學術講演梗概集, pp. 739~740, 1991. 9.