

화재 피해를 입은 고강도 RC 기둥의 P-M 상관곡선에 관한 연구

A Study on P-M Interaction Diagram of Fire-Damaged High Strength Concrete Column

김 현 정* 최 은 규** 신 영 수***
Kim, Hyun Jung Choi, Eun Gyu Shin, Yeong-Soo

ABSTRACT

This study will make P-M interaction diagram of residual capacity at fire-damaged High strength concrete column with polypropylene fiber. Evaluating capacity of column decreasing spalling with P-M interaction diagram is important. because high strength concrete column with polypropylene fiber isn't section area loss. P-M interaction diagram that is made to analyze according to a various parameters is useful index for design and evaluating capacity of columns.

In this study, spalling, temperature distribution of interior column, residual strength and movement of column in eccentric loading are studied with expose time of high temperature. For study fire test that is similar real act, and after cooling in normal condition residual strength of specimen is estimated. And this study use DIANA(Displacement Analyzer) for analyzing nonlinear analysis. with experiment temperature and strength data.

요 약

최근 초고층 건물 건설의 증가로 인해 많이 사용되고 있는 고강도 콘크리트가 화재 시 폭발 현상으로 인해 내화성 문제가 대두되고 있다. 이에 본 연구는 화재 피해를 입은 폴리프로필렌 섬유(PP섬유) 혼입 고강도 RC 기둥의 비재하 가열 실험을 거친 시험체의 냉각 후 재하 실험을 통해 부재의 성능을 평가하였다. 화해 후 폭발이 저감된 기둥의 성능 평가는 단면 손실이 없어 외관상 평가가 힘들기 때문에 잔존 내력을 추정하고 설계 단계에서 화해에 의한 성능 저하를 고려할 수 있는 기반을 만드는 것이 중요하다. 이에 범용 유한요소 해석프로그램인 DIANA(Displacement Analyzer)를 사용하여 부재를 해석하였고, 실제와 거동과 유사한 해석을 위해 온도 곡선은 재하 가열 실험의 온도 분포를 이용하여 단면 모델링에 적용하였다. 화재 노출 시간, 콘크리트 압축강도, 단면 치수를 변수로 적용하여 해석으로 도출된 화재 피해를 입은 고강도 RC 기둥의 P-M 상관곡선을 통해 잔존 성능을 평가하여 설계에 이용하도록 제시하였다.

* 정회원, 현대건설(주), 주택영업본부 상품개발실 구조팀, 사원

** 정회원, 이화여자대학교, 건축구조연구실, 박사과정

*** 정회원, 이화여자대학교, 건축구조연구실, 교수, 공학박사

1. 서론

최근, 고층 건축물 건설의 활성화에 의해 고강도 콘크리트의 사용이 크게 증가하면서 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 현재까지의 연구에 의하면, 화해를 입은 고강도 콘크리트에서 나타나는 폭렬 현상은 PP섬유의 혼입에 의해 저감됨을 알 수 있다. 그런데 폭렬이 저감되는 장점은 확인되었으나 강성과 잔존 내력에 대한 연구가 미흡한 실정이다. PP섬유가 고온에 녹아서 공극을 만드는 것을 통해 폭렬을 저감시키지만 300℃ 이상의 고온에 노출되면 재료의 성질이 변하기 때문에 이러한 현상에 대한 파악이 필요하다. 특히 압축부재의 경우 고층으로 갈수록 도심이 일치하지 않기 때문에 하중과 함께 편심에 의한 모멘트를 고려한 P-M 상관곡선을 사용하여 설계하므로 화해를 입은 상태의 현상 파악이 중요하다. 이에 본 연구는 실제 크기의 시험체를 사용한 화재 실험을 통해 실험 데이터를 얻고, 이를 바탕으로 여러 가지 변수에 대해 비선형 해석 프로그램인 DIANA (Displacement Analyzer)를 사용하여, 화해를 입은 고강도 RC 압축 부재의 잔존 성능을 파악하고 실제 설계에 반영될 수 있는 P-M 상관곡선을 도출하였다.

2. 화해(火害)를 입은 고강도 RC 기둥의 해석

2.1 실험적 연구

본 연구에서는 폭렬 저감을 계획한 고강도 RC 기둥의 화해 후 현상에 대해 연구하기 위해 350mm×350mm×1500mm의 실제 크기의 기둥을 제작하여 실제와 유사한 상태의 화재실험을 수행하였다. 콘크리트 강도는 50MPa이고 폭렬 저감을 위해 PP 섬유를 혼입하여 제작하였다. 시험체의 배합비와 혼입한 PP 섬유의 물성치는 표 1.과 같다. 화재 실험은 실제와 유사한 거동을 나타내기 위해 표준 화재 곡선인 ISO 834 표준 가열 곡선으로 가열하였고, 시험체 내부에 열전대를 매설하여 화재에 노출된 시간에 따른 내부 온도분포를 측정하였다. 각 열전대의 측정 위치는 그림 1과 같이 콘크리트 온도 5개소, 철근온도 1개소에서 측정하여 내부에서 외부로의 온도 변화를 측정하였다.

표 1. 시험체 시방 배합비

W/C (%)	섬유 혼입률 (Vol.%)	혼화제 혼입량 (%)	S/A (%)	W (kg/m ³)	단위중량(kg/m ³)				플로어 범위 (mm)	공기량 범위 (%)	PP 섬유				
					C	FA	S	G			직경 (μm)	길이 (mm)	인장강도 (MPa)	비중	용융점 (℃)
30.5	0.1	0.85	43	173	482	85	699	934	470±50	3±1.5	40	12	450	0.9	168

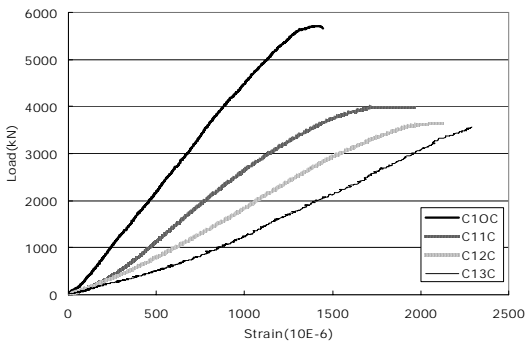


그림 3. 가열 시간에 따른 하중-변형률 곡선

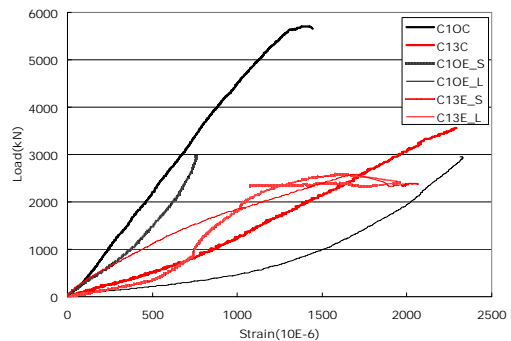


그림 4. 편심하중에 의한 하중-변형률 곡선

화재에 노출된 고강도 RC 기둥의 잔존 내력을 파악하기 위해 재하실험을 수행한 결과는 다음의 그림 3.과 그림 4.로 나타낼 수 있다. 스트레인 게이지(Strain Gage) 데이터로 분석 한 결과 잔존 내력과 강성이 크게 저하됨을 알 수 있다.

2.2 유한요소해석

화해를 입은 고강도 RC 기둥의 해석에 의한 P-M 상관곡선 도출을 위해 범용 유한요소해석 프로그램인 DIANA(Displacement Analyzer)를 사용하였다. 재료별 특징으로는 콘크리트의 온도별 물성치 변화를 적용하였다. 온도에 따른 압축강도와 탄성계수는 Hammer(1995)의 실험에 의한 저감계수와 정혜원(2007)의 강도회복 계수 1.3을 적용하였다. 각각의 변수에 따라 온도 분포가 다르기 때문에 온도 모델은 그림 5.의 등온선을 기준으로 적용하여 그림 6.으로 이상화시켜 적용하였다. 철근은 Bilinear 형태를 적용하였고, 항복조건은 Von Mises를 적용하였는데, 항복 후 모델로는 일 경화 모델(Work Hardening)을 적용하였다. 그리고 Eurocode 2에 의하면 철근의 온도별 물성치 변화의 경계는 350℃인데, 해석에 사용한 단면 온도 분포에서 철근은 300℃~400℃로 측정되어 고온에 노출되지 않은 철근과 동일하게 적용하였다. 지지 조건은 XYZ 세 방향에 대하여 변형이 발생하지 않는 힌지(Hinge)단으로 설정하였다. mesh는 단면은 X 방향으로 20 element, Y 방향으로 20 element로 한 단면은 400개의 element로 구성했다. 높이는 1000mm를 10개의 element로 구성하여 해석 모델은 총 4000개의 element로 구성하였다. 적용 변수는 화재 시간(60분, 90분, 120분), 강도(50MPa, 60MPa), 단면 치수(350mm, 550mm)를 적용하여 해석하였다.

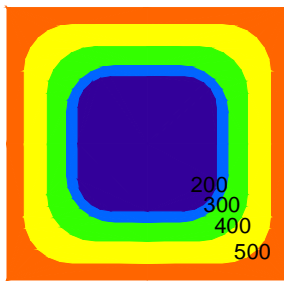


그림 6. 90분간 화재에 노출된 기둥의 온도 분포

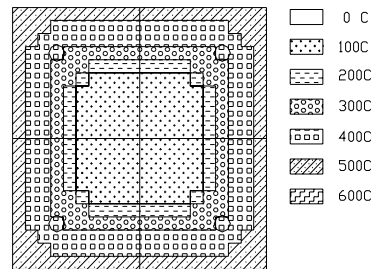


그림 6. 단면 물성치에 적용한 온도분포

3. 결과 및 고찰

변수별 P-M 상관곡선의 특성은 다음과 같다. 그림 7.에 따르면 60분간 화재 피해를 입은 기둥은 피해를 입지 않은 75%의 잔존 성능을 보이고, 90분간 화재시 64%, 120분간 화재시 52%의 잔존 성능을 나타냈다. 균형 상태에서의 성능 저하는 60분 화재시 82%, 90분 화재시 70%, 120분 화재시 59%로 나타났다. 그림 8.에 따르면 콘크리트 압축강도 50MPa 기둥은 90분간 화재 피해를 입으면서 64%의 잔존 성능을 보이고, 60MPa 기둥은 75%의 잔존 성능을 보였다. 균형 상태에서의 성능 저하는 콘크리트 압축강도 50MPa 기둥은 70%로 나타났고, 60MPa 기둥은 72%로 나타났다. 그림 9.에 따르면 화재 피해를 입지 않은 단면 550mm의 기둥은 90분간 화재 피해를 입은 후 68%의 잔존 성능을 보였고, 단면 350mm의 기둥은 64%의 잔존 성능을 보였다. 균형상태에서의 성능 저하는 단면 350mm 기둥이 72%, 단면 550mm 기둥이 76%로 나타났다.

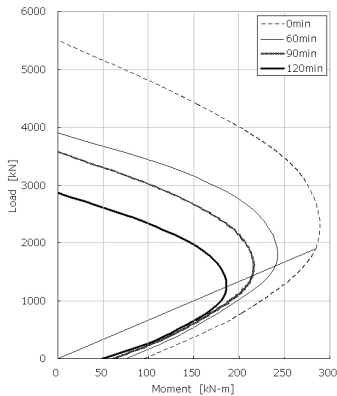


그림 7. 해석에 의한 화재 노출 시간별 P-M 상관곡선

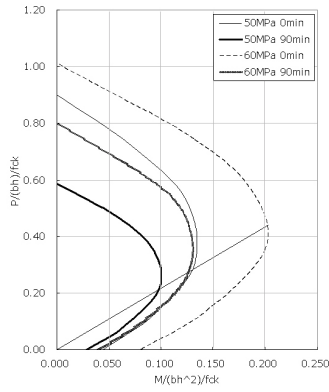


그림 8. 해석에 의한 콘크리트 압축강도별 P-M 상관곡선

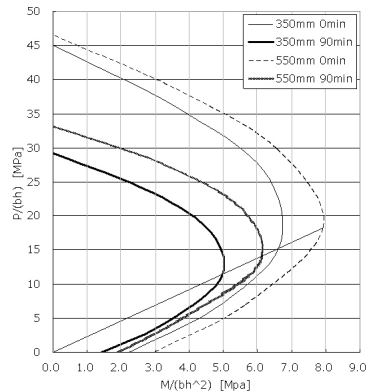


그림 9. 해석에 의한 단면 치수별 P-M 상관곡선

4. 결론

1) 변수별 시험체의 잔존 성능은 120분 화재 피해 기둥이 제일 낮았고 90분 화재 기둥, 60분 화재 기둥, 단면 550mm 기둥, 콘크리트 압축강도 60MPa 기둥의 순으로 성능이 높아졌다. 이 결과로 인해 화재 피해에 있어서 단면의 크기와 콘크리트의 압축강도가 기둥의 잔존 성능에 좋은 영향을 주는 것으로 나타났지만 단면의 크기와 강도로 제어하는 것은 경제성과 관련이 높기 때문에 적용에 주의가 필요하다.

3) 축하중과 휨모멘트를 동시에 받는 기둥 부재는 P-M 상관곡선을 이용하여 설계와 성능평가가 이뤄지는데, 화재 피해를 입은 기둥은 성능이 크게 떨어지므로 성능평가에 기존의 P-M 상관곡선은 적합하지 않다. 본 연구를 통해 도출된 화재 피해를 입은 기둥 부재의 다양한 P-M 상관도는 화재 피해에 의한 기둥의 잔존 성능 확보를 위해 그 효과와 설계 상황에 맞는 방법 선택의 기반이 될 수 있는 것이 기대된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 특정기초연구 (과제번호 : R01-2004-000-10348-0) 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. 이상호, 허은진, “가열조건에 따른 철근콘크리트 부재의 휨 강도에 관한 해석적 연구”, 한국콘크리트학회 논문집 제13권 3호, pp 195-205, 2001.6
2. 정혜원, “화재 피해를 입은 폴리프로필렌 섬유 혼입 고강도 콘크리트의 비파괴 검사법에 의한 압축강도 추정”, 이화여자대학교 석사학위논문, 2007
3. TNO, DIANA User’s Manual, Release 9.1
4. T.T. Lie, T.D. Lin, D.E. Allen, M.S. Abrams, *Fire Resistance of Reinforced Concrete Columns*, National Research Council Canada Division of Building Research, 1984