

일반강도 및 고강도 철근 콘크리트 부재의 내화성능 비교평가 연구

최동호, 이유식, 김연구*
방재시험연구원*

A Study on the Evaluation of Fire Resistance Performance
of Nomal & High Strength Reinforced Concrete Elements

Choi Dongho, Lee Yusik, Kim Yeongoo*
*Fire Insurers Laboratories of Korea**

1. 서론

콘크리트 제조기술의 지속적인 발전과 건축부재의 경량화에 의한 경제성 확보 등을 목적으로 기존의 일반강도 콘크리트에 비하여 강도가 향상된 고강도 콘크리트의 사용이 증가하고 있다. 고강도 콘크리트는 일반강도 콘크리트에 비하여 동일한 중량인 경우 강도면에서 약 2배 이상의 성능을 나타내고 있어 건물의 고층화 및 대형화 추세에 적합하다고 할 수 있다. 하지만 고강도 콘크리트는 고온에 노출되면 일반 강도 콘크리트보다 강도 등에 있어서 취약성이 나타나는 경우가 많아 고강도 콘크리트를 사용하여 시공한 건물의 경우 화재후 건물구조에 대한 평가와 함께 추후 보수 또는 보강에 대한 고려가 필요하다.

본 시험연구는 철근 콘크리트 보 및 기둥 부재가 화재피해를 입은 경우 이들 부재의 보수·보강을 위한 기초자료로 활용하기 위하여, 일반강도 및 고강도 철근콘크리트 보·기둥에 대한 재하가열시험을 실시하여 이들 부재의 내화성능을 파악하는데 목적을 두고 있다.

2. 시험 개요

2.1 시험체

시험체인 일반강도 및 고강도 철근콘크리트 보·기둥 시험체의 사양 및 수량은 표 1과 같다.

표 1. 시험체 수량 및 사양

시 험 체		피복 두께(mm)	수 량(개)	사양 (mm)
일반강도 (210 kgf/cm ²)	보	40	5	400×250×4,700
		50	5	
	기둥	40	4	350×350×3,360
		50	2	
고강도 (500 kgf/cm ²)	보	40	6	400×250×5,000
		50	6	
	기둥	40	8	350×350×3,360
		50	2	

2.2 시험방법 및 성능기준

시험체에 대한 시험방법 및 성능기준은 표 2와 같다.

표 2. 시험방법 및 성능기준

구분	시험방법	성능기준
보	KS F 2257-6(1999) 의 재하가열시험	- 변형량 : $(\frac{L^2}{400d})$ mm 이하, 변형률 : $(\frac{L^2}{9,000d})$ mm/min 이하 L : 시험체 스패 (mm) d : 시험체 압축측에서 인장측까지의 거리 (mm)
기둥	KS F 2257-7(1999) 의 재하가열시험	- 변형량 : $(\frac{h}{100})$ mm 이하, 변형률 : $(\frac{3h}{1,000})$ mm/min 이하 h : 시험체 높이 (mm)

2.3 시험 하중 및 재하 방법

시험체에 대한 시험하중 및 재하방법은 표 3과 같다.

표 3. 시험하중 및 재하방법

시 험 체	시험 하중 (N)	수 량 (개)	재하 방법
일반강도	보	87,024	집중하중 (지점거리 1,200 mm 지점)
	기둥	637,000	중심축 하중
		372,400	편심 하중 (35 mm)
고강도	보	96,236	집중하중 (지점거리 1,200 mm 지점)
	기둥	637,000	중심축 하중
		372,400	편심 하중 (35 mm)

3. 시험 결과

3.1 보

일반강도 및 고강도 철근콘크리트 보에 대한 재하가열시험 결과는 각각 표 4·5와 같다.

표 4. 일반강도 철근콘크리트 보 재하가열시험 결과

시험체명	시험시간(분)	변형량 (mm)		변형율 (mm/min)		내화성능
		성능기준	측정결과	성능기준	측정결과	
NB40-1	60	156	15.3	6.9	1.2	1시간 이상
NB40-2	120		43.3		1.2	2시간 이상
NB40-3	60		10.2		1.1	1시간 이상
NB40-4	120		29.1		0.8	2시간 이상
NB40-5	150		180.0		-	2시간 29분
NB50-1	60	161	13.0	7.1	1.3	1시간 이상
NB50-2	120		30.5		1.4	2시간 이상
NB50-3	60		13.0		0.9	1시간 이상
NB50-4	120		30.3		1.7	2시간 이상
NB50-5	225		159.8		5.9	3시간 44분

표 5. 고강도 철근콘크리트 보 재하가열시험 결과

시험체명	시험시간(분)	변형량 (mm)		변형율 (mm/min)		내화성능	
		성능기준	측정결과	성능기준	측정결과		
HB40-1	60	165	18.5	7.3	1.2	1시간 이상	
HB40-2			21.8		1.9		
HB40-3	90		50.1		7.3	6.1	1시간 30분 이상
HB40-4			46.5			1.7	
HB40-5			15.7			1.6	
HB40-6	140	140.8	4.8	2시간 20분 이상			
HB50-1	60	170	12.1	7.6	1.0	1시간 이상	
HB50-2	90		48.5		1.9	1시간 30분 이상	
HB50-3			24.8	6.9	1.5		
HB50-4			39.2	2.1			
HB50-5	60		9.9	7.6	1.2	1시간 이상	
HB50-6	161	171.0	8.4	2시간 40분			

3.2 기둥

일반강도 및 고강도 철근콘크리트 기둥에 대한 재하가열시험 결과는 각각 표 6·7과 같다. (시험체의 변형량 및 변형율 성능기준은 각각 33.6 mm, 10.1 mm/min임.)

표 6. 일반강도 철근콘크리트 기둥 재하가열시험 결과

시험체명	재하량 (N)	시험시간 (분)	최대 연신량 (mm)	최대 수축량 (mm)	최대 수축율 (mm/min)	내화성능
NC40-1	637,000 (중심축 하중)	60	1.9	-	0.2	1시간 이상
NC40-2		120	4.4		0.2	2시간 이상
NC40-3		208	3.8	52.6	52.8	3시간 27분
NC50-4		120	4.5	-	0.2	2시간 이상
NC40-5	372,400 (편심 하중)	60	4.3	-	0.3	1시간 이상
NC50-6			3.2		0.1	

※ 최대 연신량은 시험초기 수열로 인하여 신장된 길이임.

표 7. 고강도 철근콘크리트 기둥 재하가열시험 결과

시험체명	재하량 (N)	시험시간 (분)	최대 연신량 (mm)	최대 수축량 (mm)	최대 수축율 (mm/min)	내화성능
HC40-1	637,000 (중심축 하중)	60	2.0	0.1	0.5	1시간 이상
HC40-2			3.0	-	0.2	
HC40-3		30	3.3	-	0.1	0.5시간 이상
HC40-4			1.8	-	0.1	
HC40-5		169	6.5	76.2	74.9	2시간 48분
HC40-6		30	1.1	-	0.3	0.5시간 이상
HC50-1			1.4	-	0.2	
HC50-2		133	6.0	72.6	74.7	2시간 12분
HC40-7	372,400 (편심 하중)	60	2.3	-	0.2	1시간 이상
HC40-8		30	1.5	-	0.0	30분 이상

4. 시험 결과 분석

4.1 보

가. 60분 가열시험시 일반강도 및 고강도 철근 콘크리트 보의 변형량을 피복두께별로 비교한 결과는 각각 그림 1·2와 같다.

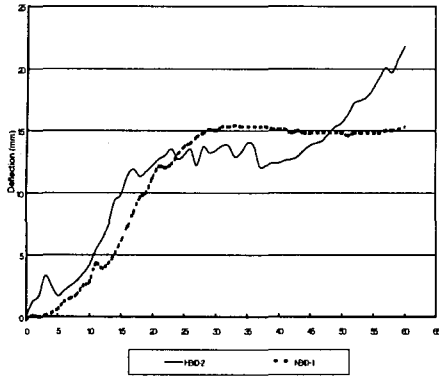
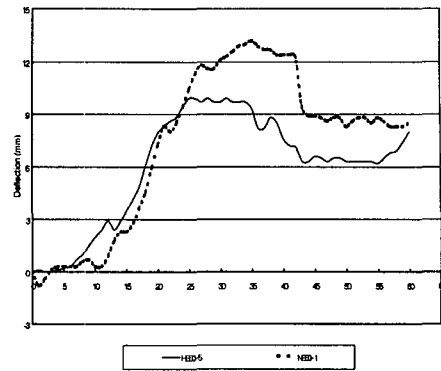


그림 1. 보 변형량 (40mm 피복, 60분 가열) 그림 2. 보 변형량 (50mm 피복, 60분 가열)



60분 가열시험시 40 mm 피복의 경우 고강도 시험체(HB40-2)의 변형량이 가열 48 분 경과시 급격하게 증가하였으며, 50 mm 피복 시험체의 경우는 약 23분 경과시 일반강도 시험체(NB50-1)의 변형량이 고강도 시험체(HB50-5) 보다 증가하였다.

나. 120분 이상 가열시험시 일반강도 및 고강도 철근 콘크리트 보의 변형량을 피복 두께별로 비교한 결과는 각각 그림 3·4와 같다.

40 mm 피복의 경우 고강도 시험체(HB40-6)의 변형량이 가열 65분 경과시 급격하게 증가하였으며, 일반강도 시험체(NB40-4)와 비교하여 약 50 mm 정도 변형량이 크게 나타났다. 50 mm 피복의 경우에도 약 65분 경과시 고강도(HB50-6) 및 일반강도(NB50-5) 시험체의 변형량이 증가하기 시작하였으며, 고강도 시험체가 일반강도 시험체에 비하여 약 30 mm 정도 큰 변형량을 나타냈다.

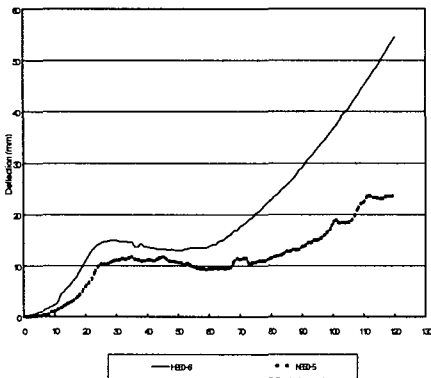
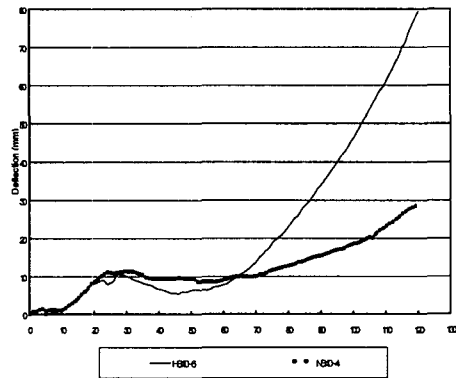


그림 3. 보 변형량 (40mm 피복, 120분 가열) 그림 4. 보 변형량 (50mm 피복, 120분 가열)



다. 가열중 시험체의 폭열은 고강도 콘크리트로 제작된 시험체에서 일반강도 콘크리트로 제작된 시험체 보다 활발하게 발생하였다. 시험체의 폭열이 클수록 시험체의 변형량이

증가하였으며, 시험체의 콘크리트 피복이 폭열로 탈락한 경우에 시험체의 내화성능이 현저히 저하되는 현상이 발생하였다.

4.2 기둥

가. 그림 5·6은 637,000 N의 중심축 하중을 재하하며 60분 가열한 40 mm 피복 시험체의 변형량 및 동일 하중을 적용하여 120분 가열한 50 mm 피복 시험체의 변형량을 나타낸 것이다.

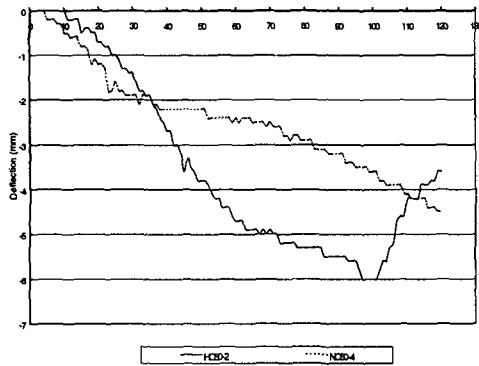


그림 5. 기둥 변형량
(40 mm 피복, 중심축 하중, 60분 가열)

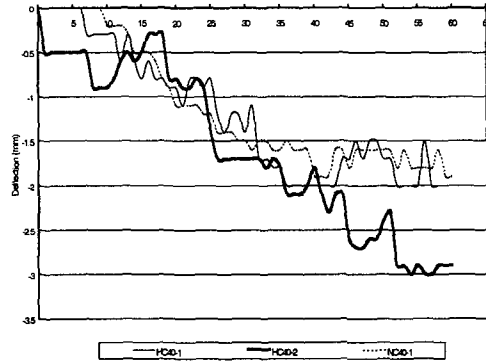


그림 6. 기둥 변형량
(50 mm 피복, 중심축 하중, 120분 가열)

40 mm 피복 시험체의 경우 시험중 고강도(HC40-1, HC40-2) 및 일반강도(NC40-1) 시험체에서 성능기준을 초과하는 변형은 발생하지 않았으며, 변형을 곡선도 비슷한 경향을 나타냈다. 다만 고강도 시험체 HC40-2의 경우는 변형을 변화가 다른 시험체와 비교하여 차이를 나타내고 있는데 이는 시험중 폭열 등의 영향 때문인 것으로 판단된다.

50 mm 피복 시험체의 경우에도 시험중 고강도(HC50-2) 및 일반강도(NC50-4) 시험체에서 성능기준을 초과하는 변형은 발생하지 않았다. 단 고강도 시험체의 경우 일반강도 시험체의 변형량 곡선 보다 그 기울기가 다소 크게 나타나고 있다.

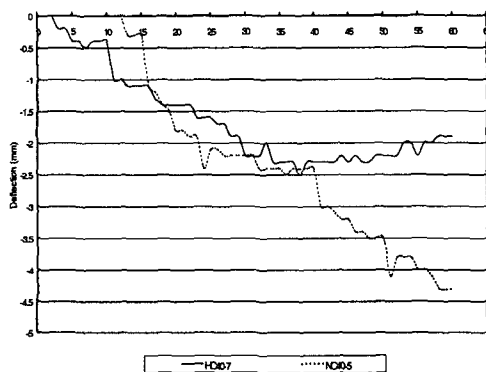


그림 7. 기둥 변형량 (40 mm 피복, 편심 하중, 60분 가열)

나. 그림 7은 372,400 N의 편심하중을 재하하며 60분 가열한 40 mm 피복 시험체의 변형량을 나타낸 것이다.

시험중 일반강도(NC40-5) 및 고강도(HC40-7) 시험체에서 성능기준을 초과하는 변형은 발생하지 않았으며, 다만 일반강도 시험체의 경우 변형량 곡선의 기울기가 고강도 시험체에 비하여 다소 크게 나타났다.

다. 가열중 시험체의 폭열은 보 시험체와 마찬가지로 고강도 콘크리트로 제작된 시험체에서 더욱 크게 발생하였으나 보의 경우와는 달리 시험체의 콘크리트 피복이 폭열로 거의 탈락한 경우에도 시험체의 내화성능이 급격하게 저하되지는 않았다.

5. 결론

화재피해를 입은 철근 콘크리트 부재의 보수·보강을 위한 기초자료로 활용하기 위하여, 일반강도 및 고강도 콘크리트로 제작된 철근콘크리트 보·기둥에 대하여 재하가열시험을 실시, 그 내화성능을 평가한 본 시험연구의 결론은 다음과 같다.

가. 보 시험체는 평균적으로 최소 1시간 이상, 최대 2시간 30분 이상의 내화성능을 나타냈으며, 그중 일반강도 콘크리트 시험체는 최대 3시간 44분, 고강도 콘크리트 시험체는 최대 2시간 40분의 내화성능을 나타냈다.

나. 기둥 시험체는 평균적으로 최소 30분 이상, 최대 2시간 30분 이상의 내화성능을 나타냈으며, 그 중 일반강도 콘크리트 시험체는 최대 3시간 27분, 고강도 콘크리트 시험체는 최대 2시간 48분의 내화성능을 나타냈다.

다. 일반강도 및 고강도 철근 콘크리트 보·기둥 시험체 모두 시험중 폭열이 발생하였으나 고강도 콘크리트 시험체의 폭열이 일반강도 콘크리트 시험체 보다 더욱 크게 발생하였으며, 이로 인하여 일반강도와 고강도 콘크리트 시험체의 최대내화성능에 평균 약 1시간 정도 차이가 발생하였다고 판단된다.

라. 고강도 콘크리트 시험체는 보가 기둥에 비하여 시험중 폭열에 의한 피복재 탈락의 영향을 크게 받은 것으로 나타났다.

마. 시험중 시험체에서 발생한 폭열이 시험체인 고강도 철근콘크리트 보 및 기둥의 내화성능에 큰 영향을 주는 것으로 나타났으므로 건물의 주요 구조 부재를 고강도 콘크리트로 시공하는 경우에는 폭열에 대한 대책을 마련하는 것이 건물의 내화성능을 향상시키는 중요한 요인이 된다고 판단된다.

참고문헌

1. KS F 2257-1, 건축 구조 부재의 내화 시험 방법 - 일반 요구 사항, 1997.
2. KS F 2257-6, 건축 구조 부재의 내화 시험 방법 - 보의 성능 조건, 1997 .
3. KS F 2257-7, 건축 구조 부재의 내화 시험 방법 - 기둥의 성능 조건, 1997.
4. ISO 834-1, Fire-Resistance Tests - Elements of Building Construction, Part 1: General

- Requirements, 2000.
5. ISO 834-6, Fire-Resistance Tests - Elements of Building Construction, Part 6: Specific Requirements for Beams, 2000.
 6. ISO 834-6, Fire-Resistance Tests - Elements of Building Construction, Part 7: Specific Requirements for Columns, 2000.
 7. 한국콘크리트학회 “최신 콘크리트 공학”.
 8. 한국콘크리트학회 “콘크리트 구조 설계 기준”.
 9. 한국콘크리트학회 “콘크리트 표준시방서”.