

일반강도 및 고강도 철근 콘크리트 부재에 대한 내화성능평가 연구

최 동 호 || 건축구조부 연구원

1. 개요

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 콘크리트보다 강도 등에 있어서 취약성이 나타나는 경우가 많아 고강도 콘크리트를 사용하여 시공한 건물의 경우 화재 후 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 파악하는 데 목적을 두고 있다.

1.1 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	400×250×
		50	4,700
	기둥	40	350×350×
		50	3,360
고강도 (500 kgf/cm ²)	보	40	400×250×
		50	5,000
	기둥	40	350×350×
		50	3,360

1.2 시험방법 및 성능기준

시험체에 대한 시험방법 및 성능기준은 [표 2]와 같다.

[표 2] 시험방법 및 성능기준

구분	시험방법	성능기준
보	KS F 2257-6(1999)의 재하가열시험	- 변형량 = $\left(\frac{E}{400d}\right)$ mm 이하 - 변형율 = $\left(\frac{E}{9,000d}\right)$ mm / min이하 L : 시험체 스패(mm) d : 시험체 압축축에서 인장축까지의 거리(mm)
기둥	KS F 2257-7(1999)의 재하가열시험	- 변형량 = $\left(\frac{h}{100}\right)$ mm 이하 - 변형율 = $\left(\frac{3h}{1,000}\right)$ mm / min이하 h : 시험체 높이(mm)

1.3 시험하중

시험체에 대한 시험하중 및 재하방법은 [표 3]과 같다.

[표 3] 시험하중 및 재하방법

시험체		시험 하중 (N)	수량(개)	재하 방법
일반 강도	보	87,024	10	집중하중 (지점거리 1,200 mm 지점)
	기둥	372,400	3	중심 축하중
		637,000	4	
		372,400 637,000	2 3	
고강도	보	96,236	12	집중하중 (지점거리 1,200 mm 지점)
	기둥	637,000	8	중심 축하중
		372,400	2	편심 하중 (35 mm)

2. 시험 결과

2.1 보

일반강도 및 고강도 철근콘크리트 보에 대한 재하가열시험결과는 각각 [표 4·5]와 같다.

[표 4] 일반강도 철근콘크리트 보 재하가열시험결과

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

[표 5] 고강도 철근콘크리트 보 재하가열시험결과

시험체명	시험시간 (분)	변형량 (mm)		변형율 (mm/min)		내화성능	
		성능 기준	측정 결과	성능 기준	측정 결과		
HB40-1	60	165	18.5	7.3	1.2	1시간 이상	
HB40-2			21.8		1.9		
HB40-3	50.1		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	

2.2 기둥

일반강도 및 고강도 철근 콘크리트 기둥에 대한 재하가열시험결과는 각각 [표 6·7]과 같으며, 피복두께 40 mm 및 50 mm인 일반강도 및 고강도 철근 콘크리트 기둥에 대하여 637,000 N의 중심 축하중을 적용, 각각 1시간 및 2시간

재하가열시험을 실시한 후 나타난 각 기둥의 변형량을 비교한 결과는 각각 [그림 5·6]과 같다.

(시험체의 변형량 및 변형율 성능기준은 각각 33.6 mm와 10.1 mm/min임.)

[표 6] 일반강도 철근콘크리트 기둥 재하가열시험결과

시험체명	재하량 (N)	시험 시간 (분)	최대 연신량 (mm)	최대 변형량 (mm)	최대 변형률 (mm/min)	내화성능
NC40-1	372,400	60	14.5	-	0.1	1시간 이상
NC40-2		120	13.1		0.2	2시간 이상
NC50-1			6.9			
NC40-3	372,400 (편심)	60	4.3	-	0.3	1시간 이상
NC50-2			3.2		0.1	
NC40-4	637,000	60	1.9	-	0.2	1시간 이상
NC40-5		120	4.4		0.2	2시간 이상
NC40-6		208	3.8		52.6	52.8
NC50-3		120	4.5	-	0.2	2시간 이상
NC40-7	637,000 (편심)	141	1.9	54.2	45.1	2시간 20분
NC40-8		60	2.5	-	0.3	1시간 이상
NC50-4		180	1.1	4.2	0.3	3시간 이상

[표 7] 고강도 철근콘크리트 기둥 재하가열시험결과

시험체명	재하량 (N)	시험 시간 (분)	최대 연신량 (mm)	최대 수축량 (mm)	최대 수축률 (mm/min)	내화성능
HC40-1	372,400	60	2.0	0.1	0.5	1시간 이상
HC40-2			3.0	-	0.2	
HC40-3	637,000 (중심 축 하중)	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	372,400	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	60	2.3	-	0.2	1시간 이상
HC40-8 (편심 하중)		30	1.5	-	0.0	30분 이상

※최대 연신량은 시험초기 수열로 인하여 신장된 길이임.

3. 시험 결과 종합

3.1 보

가. 일반강도 및 고강도 철근 콘크리트 보에 대한 가열시험을 실시한 결과를 정리하면 표 8 과 같다.

[표 8] 철근콘크리트 보 시험결과 비교

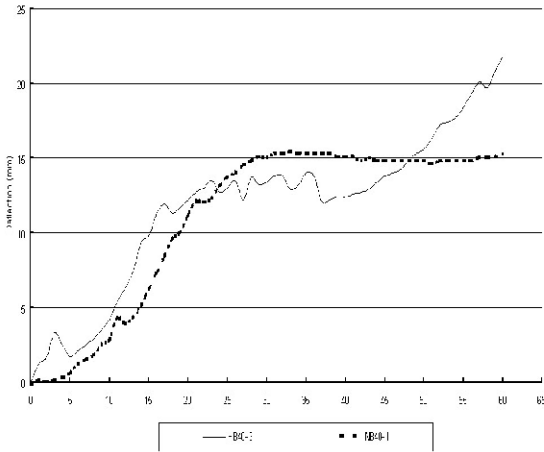
종류	구분		시험시간 (분)	성능기준		내화성능
	재하량 (N)	피복 (mm)		변형량 (mm)	변형율 (mm/min)	
일반강도	87,024	40	60 ~ 150	156	6.9	최소 1시간 이상 최대 2시간 29분 (NB40-5)
		50	60 ~ 225	161	7.1	최소 1시간 이상 최대 3시간 44분 (NB50-5)
고강도	96,232	40	60 ~ 140	165	7.3	최소 1시간 이상 최대 2시간 20분 (HB40-6)
		50	60 ~ 161	170	7.6	최소 1시간 이상 최대 2시간 40분 (HB50-6)

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

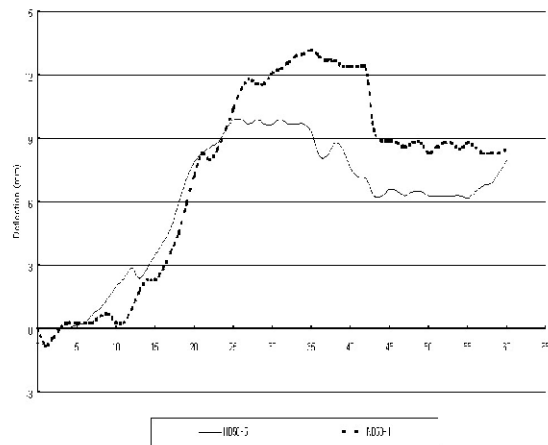
60분 가열시험시 40 mm 피복의 경우 고강도 시험체(HB40-2)의 변형량이 가열 48분 경과시 급격하게 증가하였으며, 50 mm 피복 시험체의 경우는 약 23분 경과시 일반강도 시험체(NB50-1)의 변형량이 고강도 시험체(HB50-5) 보다 증가하였다.

다. 120분 이상 가열시험시 일반강도 및 고강도 철근 콘크리트 보의 변형량을 피복두께별로 비교한 결과는 각각 [그림 3·4]와 같다.

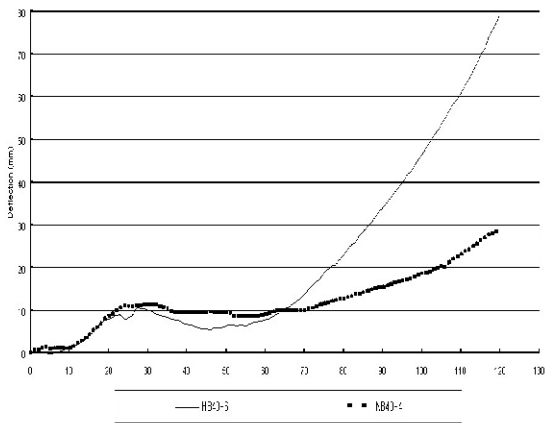
40 mm 피복의 경우 고강도 시험체(HB40-6)의



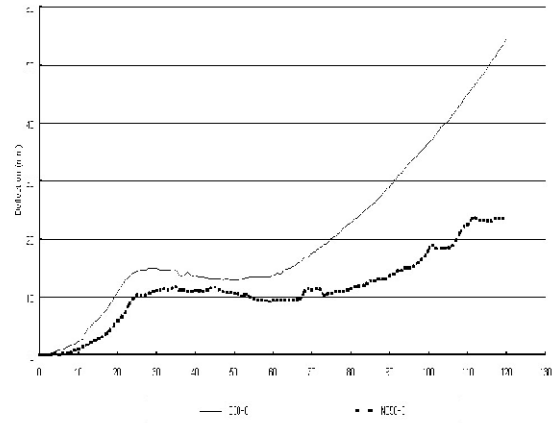
[그림 1] 40 mm 피복 철근콘크리트 보 변형량



[그림 2] 50 mm 피복 철근콘크리트 보 변형량



[그림 3] 40 mm 피복 철근콘크리트 보 변형량

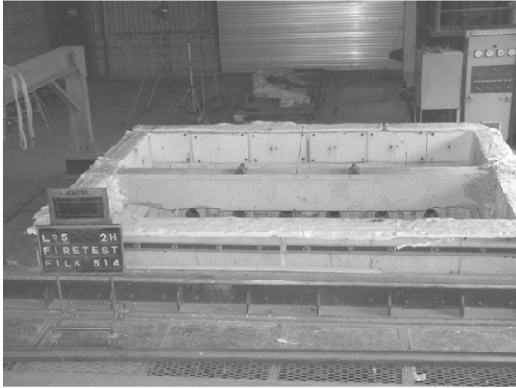


[그림 4] 50 mm 피복 철근콘크리트 보 변형량

변형량이 가열 65분 경과시 급격하게 증가하였으며, 일반강도 시험체(NB40-4)와 비교하여 약 50 mm 정도 변형량이 크게 나타났다. 50 mm 피복 시험체의 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.

리트 보의 가열종료시 시험체 모습을 나타낸 것이다. 가열중 시험체의 폭열은 고강도 콘크리트로 제작된 시험체에서 일반강도로 제작된 경우보다 활발하게 발생하였다. 위의 시험결과를 볼 때 시험체의 폭열이 클수록 시험체의 변형량이 증가한 것을 알 수 있으며, 시험체의 콘크리트 피복이 폭열로 탈락한 경우에 시험체의 내화성능이 급격하게 저하되는 현상이 발생하였다.

라. [그림 5·6]은 일반강도 및 고강도 철근 콘크



[그림 5] 일반강도 철근콘크리트 가열 후 모습



[그림 6] 고강도 철근콘크리트 가열 후 모습

3.2 기둥

가. 일반강도 및 고강도 철근 콘크리트 기둥에 대하여 637,000 N의 중심축 하중을 재하하며 가열시험을 실시한 결과를 정리하면 표 9와 같다.

[표 9] 철근콘크리트 기둥 시험결과 비교

구분	종류	피복 (mm)	시험 시간 (분)	성능기준		내화성능
				변형량 (mm)	변형율 (mm/min)	
일반 강도	40	60 ~ 208	33.6	10.1	최소 1시간 이상 최대 3시간 27분 (NC40-6) 2시간 이상 (NC50-3)	
	50	120				
고 강도	40	30 ~ 169	33.6	10.1	최소 0.5시간 이상 최대 2시간 48분 (HC40-5) 최소 0.5시간 이상 최대 2시간 12분 (HC50-2)	
	50	30 ~ 133				

나. [그림 7·8]은 시험체에 637,000 N의 중심축 하중을 재하하며 60분 가열한 40 mm 피복된 일반강도 및 고강도 철근콘크리트 기둥 시험체의 변형량 및 120분 가열시 50 mm 피복된 일반강도 및 고강도 철근 콘크리트 기둥 시험체의 변형량을 나타낸 것이다.

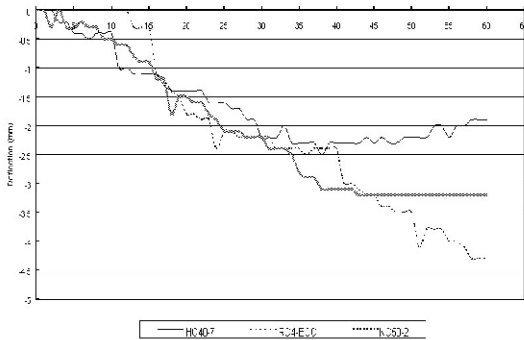
40 mm 피복 시험체의 경우 시험중 고강도 시험체(HC40-1, HC40-2) 및 일반강도 시험체

(NC40-4) 모두 성능기준을 초과하는 수축변형은 발생하지 않았으며, 변형을 곡선도 비슷한 경향을 나타냈다. 다만 고강도 시험체 HC40-2의 경우에는 변형을 변화가 다른 시험체와 비교하여 차이를 나타내고 있는데 이는 시험중 폭열 등의 영향 때문인 것으로 판단된다.

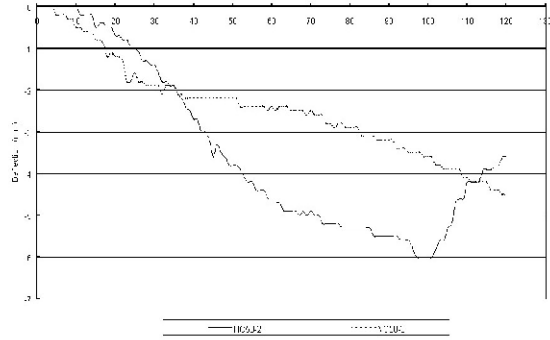
50 mm 피복 시험체의 경우에도 시험중 고강도(HC50-2) 및 일반강도(NC50-3) 시험체 모두 성능기준을 초과하는 수축변형은 발생하지 않았다. 단, 고강도 시험체의 경우는 가열 후 100분까지 시험체가 신장되다가 이후부터 수축되는 현상을 보이고 있으며, 일반강도 시험체의 변형량 곡선의 기울기 보다 그 기울기가 다소 크게 나타나고 있다.

다. [그림 9]는 시험체에 372,400 N의 편심하중을 재하하며 60분 가열한 40 mm 피복된 일반강도 및 고강도 철근 콘크리트 기둥 시험체의 변형량 및 50 mm 피복된 일반강도 철근 콘크리트 기둥 시험체의 변형량을 나타낸 것이다.

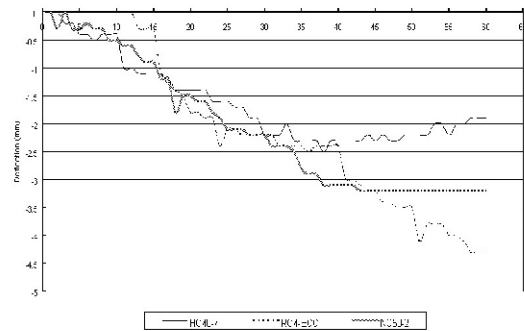
시험중 시험체 모두 성능기준을 초과하는 수축변형은 발생하지 않았다. 다만, 고강도 시험체가 피복두께에 상관없이 일반강도 시험체에 비하여 큰 연신량을 나타냈고 일반강도 시험체



[그림 7] 40 mm 피복 철근콘크리트 기둥 변형량 (60분 가열)



[그림 8] 50 mm 피복 철근콘크리트 기둥 변형량 (120분 가열)



[그림 9] 일반강도 및 고강도 철근콘크리트 기둥 변형량 (40 및 50 mm 피복, 편심하중)

의 경우 고강도와 비교하여 변형량 곡선의 기울기가 크게 나타났다.

라. [그림 10·11]은 일반 및 고강도 콘크리트 기둥의 가열종료시 시험체 모습을 나타낸 것이다. 가열중 시험체의 폭열은 보 시험체와 마찬가지로 고강도 콘크리트로 제작된 시험체에서 보다 활발하게 발생하였으나, 보 시험체의 경우와 같이 시험체의 콘크리트 피복이 폭열로 거의 탈락한 경우에도 시험체의 내화성능이 급격하게 저하되지는 않았다.

4. 결론

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

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

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

3) 일반강도 및 고강도 철근 콘크리트 보·기둥 시험체 모두 시험중 폭열이 발생하였으나 일반강도 콘크리트 시험체에서보다 고강도 콘크리트 시험체에서 폭열이 더욱 활발하게 발생하였으며, 폭열의 영향으로 일반강도 콘크리트 시

협체와 고강도 콘크리트 시험체의 최대 내화성능 사이에 평균 약 1시간정도의 차이가 발생하였다.

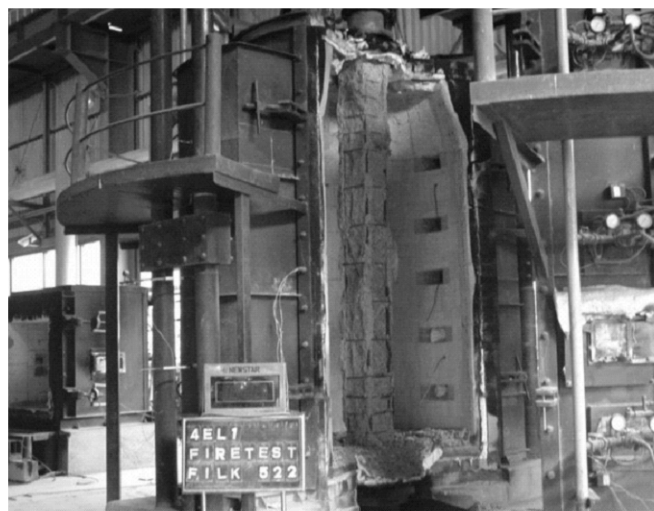
4) 고강도 콘크리트 시험체의 경우, 시험중 폭열의 영향으로 일반강도 콘크리트 시험체에 비하여 내화성능이 저하되었으며, 그중 보의 경우가 기둥에 비하여 폭열에 의한 피복재 탈락의

영향을 크게 받은 것으로 나타났다.

5) 고강도 콘크리트 보 및 기둥 시험체는 시험중 폭열이 일반강도 시험체에서보다 활발하게 발생하여 시험체의 내화성능에 영향을 준 것으로 사료되므로 폭열에 대한 대책을 마련하는 것이 시험체의 내화성능을 향상시키는데 필요하다고 판단된다. **FILK**



[그림 10] 일반강도 철근콘크리트 기둥 가열후 모습



[그림 11] 고강도 철근콘크리트 기둥 가열후 모습