

부순 적벽돌 혼입량에 따른 철근콘크리트 보의 역학적 특성에 관한 연구

Effect of the Broken Red Bricks on the Mechanical Properties of Reinforced Concrete Beams

김 정 섭* 신 용 석** 조 철 희*** 노 성 열***
Kim, Jeong Sup Shin, Yong Seok Cho, Cheol Hee No, Sung Yeol

Abstract

The purpose of this study is to attempt to use broken red brick, which is categorized as impurities of circular aggregate to thick aggregate, as a replacement for concrete. Through the material test and performance test for each mixing rate of the broken red brick (0%, 30%, 60%), the following conclusion was reached by studying the material and structural characteristics of circular aggregate to the concrete. Even though broken red brick, which is categorized as impurities of circular aggregate, is mixed 30% with normal rubble, the compression strength, intensity strength, and curving strength was similar to that of concrete that uses normal rubble. Therefore, concrete beam made with broken red brick can be applied to the real construction field. Also, the study regarding the cutting test of the concrete that uses broken red brick and regarding applying and mixing admixture that can increase the ductility factor will be required in the future.

요 지

본 연구는 순환골재의 불순물로 분류되고 있는 부순 적벽돌을 콘크리트용 대체 굵은골재로 사용하기 위한 것이다. 부순 적벽돌 혼입량별(0%, 30%, 60%) 재료시험과 부재시험을 통하여 순환골재가 철근콘크리트에 미치는 재료 및 구조적인 특성을 파악하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 일반 쇄석에 대하여 순환골재의 불순물로 분류되고 있는 부순 적벽돌을 혼입률 30%까지 치환하여 사용하여도 일반 쇄석을 사용한 콘크리트와 거의 유사한 압축강도, 인장강도, 휨 강도를 갖는 것으로 나타났다. 따라서 부순 적벽돌을 사용한 철근콘크리트 보의 실제 구조물에 대한 적용이 가능할 것으로 사료된다. 또한, 추후 부순 적벽돌을 사용한 콘크리트의 전단시험 및 연성계수를 향상 시킬 수 있는 혼화재의 배합과 적용에 관한 연구가 필요할 것이다.

Keywords : Broken red Bricks, Flexural behavior, Recycled aggregate

핵심 용어 : 부순 적벽돌, 휨 거동, 순환골재

* 정희원, 조선대학교 건축학부 교수, 공학박사

** 정희원, 조선대학교 박사과정 교신저자

*** 정희원, 조선대학교 박사과정

E-mail : ysshin27@naver.com 062-230-7146

• 본 논문에 대한 토의를 2008년 4월 30일까지 학회로 보내 주시면 2008년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

1.1 연구의 배경

최근 천연골재의 고갈과 바다 모래 채취까지 극심한 제약을 받고 있는 상황에서 건설폐기물을 이용한 순환골재 사용은 최적의 대안으로 재평가되고 있다.

또한 대량의 건설폐기물은 재활용되지 못하고 불법 매립이나 불법 투기와 같이 부적합하게 처리됨으로써 환경오염 문제를 일으키고 있어 건설폐기물의 재활용은 중요한 과제로 대두되고 있다. 순환골재의 재활용을 위해 2003년 12월 '건설폐기물활용촉진에관한법률'의 제정 이후 하위법령 등의 제정, 그리고 2005년 8월에 고시된 '순환골재 품질기준' 마련 등으로 인해 순환골재의 활용기반은 어느 정도 갖추어져 있다고 볼수 있다. 하지만 현재 정책 및 기준이 마련됨에도 불구하고 순환골재 수요자의 부정적인 생각 때문에 현재 건설폐기물의 재활용은 거의 이루어지고 있지 않은 실정이다.

이는 현재까지 순환골재를 사용한 콘크리트의 재료적 특성에만 국한된 연구가 진행되어 실제 구조물에 적용한 연구 및 사례가 미비하기 때문이라고 사료된다. 따라서 본 연구에서는 폐콘크리트 다음으로 많은 비율을 차지하고 있으며 순환골재의 불순물로 구분되고 있는 부순 적벽돌에 관해서 재료시험과 철근콘크리트 휨 실험을 통하여 순환골재를 사용한 콘크리트의 사용성 여부 및 실용성을 제고하고자 한다.

Table 1 실험인자 및 수준

설 계 기준강도	슬럼프	공기량	혼 입 율	배 합 기 호
24N/mm ²	15±2cm	4.4±1.5%	부순 적벽돌 0%	RBA-0
			부순 적벽돌 30%	RBA-30
			부순 적벽돌 60%	RBA-60

Table 2 콘크리트 배합표

종류	재료	W/C (%)	혼입율 (%)	중량 배합(kg/m ³)				
				C	S	G	RBA	AE제
RBA-0	45	45	0	480	583	1,088	0	4.8
RBA-30			30	480	583	762	326	4.8
RBA-60			60	480	583	435	643	4.8

2. 실험계획

2.1 실험개요

실험은 Table 1과 같이 부순 적벽돌 혼입률을 0%, 30%, 60%로 원주형 공시체(Ø100×200mm)와 부재 시험체(150(b)×250(h)×2,100(L)mm)를 제작하여 순환골재의 혼입량에 따라 콘크리트의 파괴 압축강도, 쪼갬 인장강도, 내화도(耐火度), 철근콘크리트 보의 휨 실험을 실시하였다.

2.2 배합설계

본 연구에서는 국내·외에서 연구된 배합표를 참고하여, 순환골재 혼입률 0%인 일반 콘크리트 설계기준강도(f_{ck})가 24MPa가 되는 배합을 기준으로 하였다. 부순 적벽돌을 사용한 콘크리트의 배합표는 Table 2에 나타난 바와 같다.

2.3 사용재료

잔골재와 굵은골재는 KS F 2502(골재의 체가름 실험 방법)의 규격에 적합한 골재를 사용하였으며, 잔골재, 굵은골재의 물리적 성질은 Table 3과 같다.

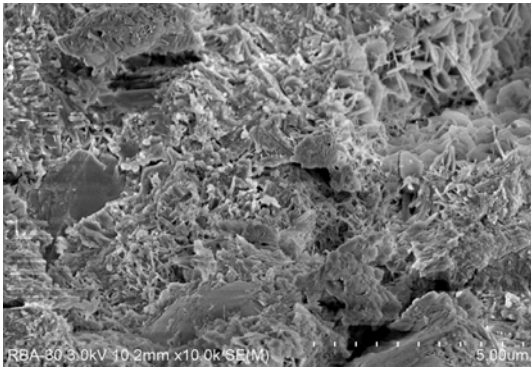
본 연구에 사용된 부순 적벽돌은 KS F 2573(콘크리트용 순환골재)의 1종 굵은골재의 품질기준을 만족하는 것을 사용하였으며 순환골재의 물리적 성질은 Table 4와 같다.

Table 3 골재 물리적 성질

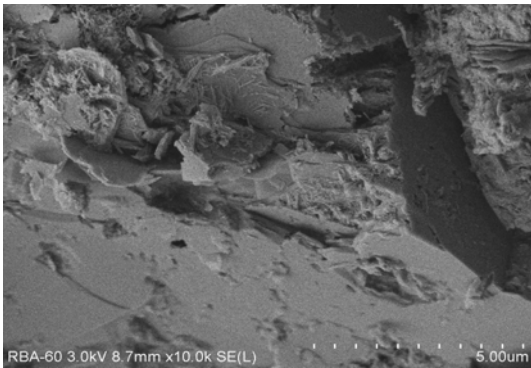
골재종류	최대치수 (mm)	비중	흡수율 (%)	조립율 (F.M)	단위용적중량 (kg/m ³)
잔골재	5	2.61	1.05	2.69	1,653
굵은골재	20	2.67	1.24	6.83	1,550

Table 4 부순 적벽돌 물리적 성질

골재종류	최대치수 (mm)	비중	흡수율 (%)	조립율 (F.M)	압축강도 (MPa)
부순적벽돌	20	1.69	5.6	2.69	12.5



(a) RBA - 30



(b) RBA - 60

Photo 1 부순 적벽돌 혼입 공시체 내부 S·E·M

Photo 1은 부순 적벽돌을 30%, 60% 혼입한 콘크리트의 전자현미경 사진이다.

2.4 시험체 설계 및 제작

시험체는 강도설계법으로 설계하였으며, 시험체의 크기는 Fig. 1과 같이 제작하였다. 철근은 SD300을 사용하여 상부에는 D10, 하부에 D13을 배근하고, 스테리프는 100mm간격의 D10을 사용하였으며 축소형 시험체이므로 피복두께는 30mm로 하였다.

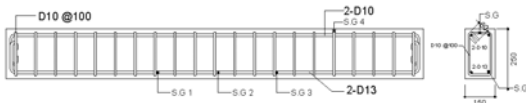


Fig. 1 시험체 철근 배근 상세도

실험에서 가력 초기에는 하중제어 방식, 항복이후에는 변위제어 방식으로, 완전파괴 될 때까지 3등분점 2점가력 방법으로 가력하여 각각의 변수에 따른 구조적 특성을 비교 검토하였다.

3. 실험방법

실험은 재령 30일이 경과한 후 Fig. 2와 같이 만능 구조실험기가 설치된 실험실에서 행하였으며 단순지지 상태로 실험체를 설치하고 2개의 집중하중을 작용하여 실험체가 완전파괴 될 때까지 가력 후 최대 내력을 결정하였다. 균열의 진행 상황은 하중을 가력하면서 하중 단계에 따라 발생하는 균열을 유성펜을 사용하여 위치와 하중을 표시하면서 파악하였다.

가력은 초기에는 1kN 단위의 하중 제어 방식으로, 항복 이후에는 변위 2mm마다 데이터를 측정하는 변위 제어방식으로 재하하였다. 가력판 상부에 Load Cell을 설치하여 가력단계에 따른 하중을 측정하였다.

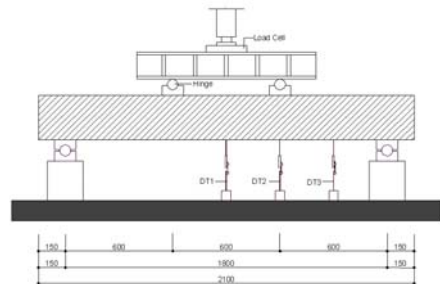


Fig. 2 가력장치 및 측정장치

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 재료실험

4.1.1 압축강도 실험결과

재료실험용 공시체는 혼입물 및 재령별로 6개씩 제작하여 실험을 실시하였다.

압축강도 실험 결과는 Table 5 및 Fig. 3과 같으며, RBA시험체의 경우 모든 시험체가 재령 28일에서 설계기준강도 24MPa이상의 강도발현을 보였다.

Table 5 부순 적벽돌 사용 콘크리트 압축강도

시험체명	순환골재 혼입률(%)	압축강도(MPa)			
		7일	14일	28일	60일
RBA-0	0	18.2	32.4	37.3	43.2
RBA-30	30	14.4	32.4	36.9	40.0
RBA-60	60	11.2	29.7	32.0	38.0

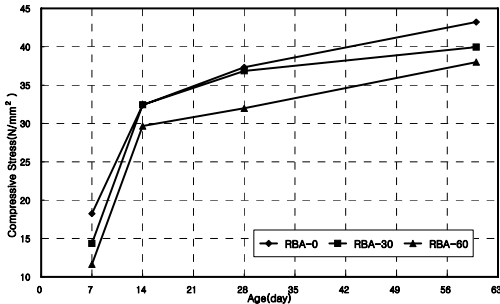


Fig. 3 부순 적벽돌 사용 콘크리트 재령별 압축강도

압축강도 발현율은 Table 6과 같으며 재령 14일에 설계기준강도의 123.8~135.0%인 29.7~32.4MPa으로 강도발현을 보였다. 재령 28일을 기준으로 혼입률별로 압축강도를 비교했을 경우 부순 적벽돌을 30% 혼입한 시험체는 기준 시험체와 유사한 수준의 강도발현을 보였다. 기준 시험체와 혼입률 60% 시험체를 비교했을 경우 RBA 60% 시험체 재령별로 8.5%~14.4%정도의 차이를 보였다. 이는 순환골재를 60%이상을 혼입했을 경우 골재의 입도가 좋지 못한 것에 의해서 골재사이의 공극이 증가하여 기준 시험체와 강도차이를 보인 것으로 사료된다.

4.1.2 쪼갬 인장강도 실험결과

쪼갬 인장강도 실험 결과는 Table 7 및 Fig. 4와 같으며, 압축강도와 마찬가지로 기준 시험체가 부순 적벽돌로 치환한 시험체보다 인장강도가 높게 나타났

Table 6 부순 적벽돌 사용 콘크리트 압축강도 발현율

시험체명	순환골재 치환율(%)	압축강도 발현율(%)			
		7일	14일	28일	60일
RBA-0	0	49	87	100	116
RBA-30	30	39	88	100	108
RBA-60	60	36	93	100	119

Table 7 부순 적벽돌 사용 콘크리트 인장강도

시험체명	쪼갬 인장강도(N/mm²)			쪼갬 인장강도/압축강도(%)		
	7일	14일	28일	7일	14일	28일
RBA-0	1.8	3.2	3.6	9.8	9.7	9.7
RBA-30	1.6	3.2	3.6	10.9	9.9	9.9
RBA-60	1.1	2.9	3.2	9.0	9.6	10.0

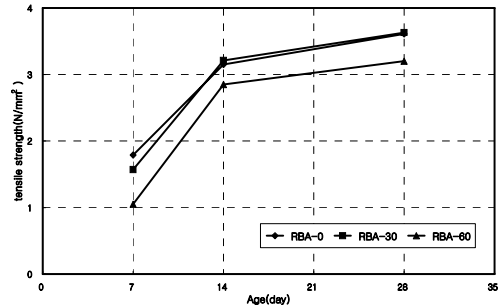


Fig. 4 부순 적벽돌 사용 콘크리트 재령별 인장강도

다. 기준 시험체에 비해 혼입률 30% 시험체는 재령 7일에서는 12.3% 정도 낮은 경향을 나타냈으나 재령 14일부터는 기준 시험체와 비슷한 인장강도 발현을 보였다. 60% 혼입 시험체는 기준 시험체에 비해서 재령별로 9.5~41.3% 정도 낮은 인장강도를 나타냈다.

부순 적벽돌을 사용한 콘크리트의 압축강도와 인장강도의 비는 보통 콘크리트와 마찬가지로 압축강도의 1/7~1/13 범위 내에 있어 보통 콘크리트와 동등한 인장강도가 발현하는 것으로 나타났다.

4.1.3 콘크리트 내화도 실험결과

재령 60일에서 경과한 다음 각각의 변수별로 20°C, 400°C, 600°C의 온도로 공시체를 30분간 가열한 후 수행한 콘크리트의 각 온도별 내화도 실험결과는 Table 8 및 Fig. 5~Fig. 6과 같다.

Table 8 내화도 실험결과

시험체명	내화도 실험 후 압축강도(MPa)			
	비내화	200°C	400°C	600°C
RBA-0	43.2	39.1(9.0)	35.7(17.3)	32.1(25.8)
RBA-30	40.0	35.9(10.1)	32.8(18.0)	29.1(27.2)
RBA-60	38.0	34.4(9.4)	31.2(17.8)	27.6(27.4)

* 주() 비내화 기준시험체에 대한 압축강도 손실률(%)

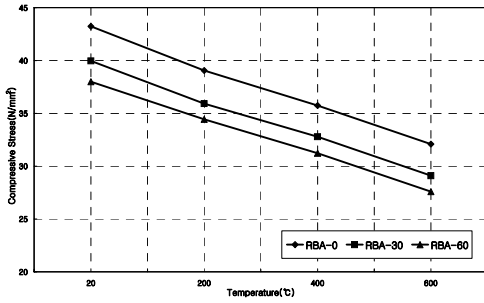


Fig. 5 내화도 실험 후 압축강도

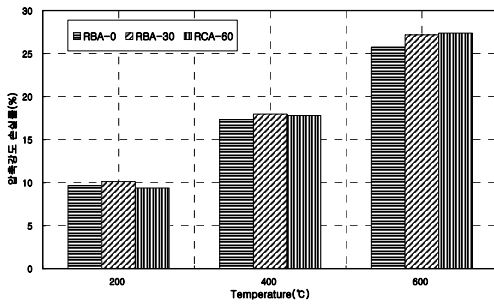


Fig. 6 내화도 실험 후 압축강도 손실률

기준 시험체는 200°C에서 39.1MPa, 400°C에서는 35.7MPa, 600°C에서는 32.1MPa로 비내화 시험체에 비해서 200°C에서 9.0%, 400°C에서는 17.3%, 600°C에서는 25.8% 정도의 압축강도 감소를 보였다.

혼입률 30% 시험체는 200°C에서 35.9MPa로, 400°C에서는 32.8MPa로, 600°C에서는 29.1MPa로 혼입률 30% 비내화 시험체에 비해서 200°C에서 10.1%, 400°C에서는 18.0%, 600°C에서는 27.2% 정도의 압축강도 손실을 보였다. 혼입률 60% 시험체는 200°C에서 34.4MPa로, 400°C에서는 31.2MPa로, 600°C에서는 27.6MPa로 비내화 시험체에 비해서 200°C에서 9.4%, 400°C에서는 17.8%, 600°C에서는 27.4% 정도의 압축강도 손실을 보였다.

내화도 실험을 실시하였을 때 기준 시험체가 부순 적벽돌을 사용한 시험체보다 모든 온도에서 압축강도가 높게 나타났으며 적벽돌의 혼입률이 높을수록 압축강도는 많이 저하하는 것으로 나타났다. 내화도 실험 후 육안으로 관찰한 결과 공시체의 표면은 온도가 높아질수록 밝은 회색으로 변화했다.

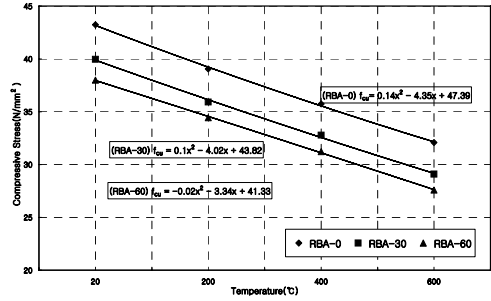


Fig. 7 내화도 실험 후 회귀분석 결과

Table 9 내화도 실험 후 회귀분석 결과

시험체명	회귀분석	결정계수
RBA-0	$f_{cu} = 0.14x^2 - 4.35x + 47.39$	0.919
RBA-30	$f_{cu} = 0.1x^2 - 4.02x + 43.82$	0.908
RBA-60	$f_{cu} = -0.02x^2 - 3.34x + 41.33$	0.905

※ f_{cu} : 추정압축강도(MPa), x : 내화도 온도(°C)

부순 적벽돌을 사용한 콘크리트의 내화도 실험 결과를 근거로 압축강도를 회귀분석한 결과는 Table 9 및 Fig. 7과 같다.

4.2 힘 실험결과

4.2.1 힘 실험결과

본 연구에서 엄밀해석에 의하여 인장철근이 항복할 때의 강도를 항복강도로 간주하고 압축콘크리트의 연단부의 변형률이 파단 변형률에 도달했을 때의 강도를 최대강도로 간주하였다.

부순 적벽돌을 사용한 철근콘크리트 힘 시험체의 실험결과는 Table 10 및 Fig. 9와 같으며, 보통콘크리트 시험체와 부순 적벽돌 30% 혼입한 부재 시험체를 비교했을 경우, 부순 적벽돌 30% 혼입한 3번 부재 시험체는 다소 차이를 보였다. 부순 적벽돌 30% 혼입한 1번과 2번 시험체는 보통콘크리트 시험체와 유사한 초기균열강도, 항복강도, 최대강도는 나타났다. 이는 콘크리트 특성상 다소 차이를 보인 것으로 사료된다.

각 변수별 시험체의 평균값은 초기균열강도 1.08MPa, 항복강도는 2.80MPa로 혼입률 30% 시험체가, 최대 힘 강도는 3.72MPa로 기준시험체가 가장 높게 나타났다.

Table 10 시험체별 휨 실험 결과

시험체명	초기균열강도		항복강도		최대 휨 강도	
	ocu (MPa)	δcu (mm)	σy (MPa)	δy (mm)	σu (MPa)	δu (mm)
RBA-0-1	0.91	0.98	2.86	5.74	3.68	34.36
RBA-0-2	1.03	0.88	2.65	5.72	3.75	37.90
RBA-0-3	0.91	0.86	2.59	6.80	3.73	34.44
RBA-30-1	1.23	0.34	2.79	5.98	3.65	37.62
RBA-30-2	0.99	0.86	2.83	6.10	3.65	33.40
RBA-30-3	1.03	1.08	2.77	6.10	3.68	27.90
RBA-60-1	0.97	1.07	2.58	6.80	3.50	34.97
RBA-60-2	1.24	1.02	3.04	5.74	3.71	30.20
RBA-60-3	0.67	1.04	1.90	5.78	2.44	30.82

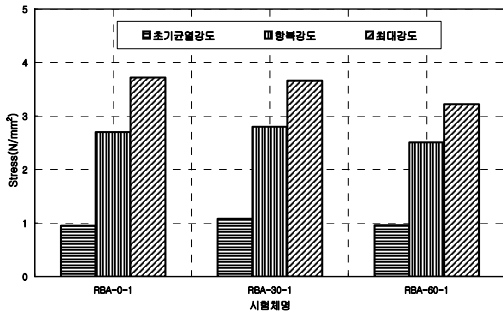


Fig. 8 부재 시험체 휨 실험 결과

4.2.2 균열 및 파괴 형태

기준 시험체의 경우 0.91~1.03MPa, RBA 30% 시험체는 0.99~1.23MPa, RBA 60% 시험체는 0.67~1.24MPa에서 초기균열이 발생하였으며 부재의 중앙하부에서 상부로 수직균열이 발생하였다. 재하 하중의 증가에 따라 부재의 상부로 휨 균열이 증대되어 파괴되었다.

4.2.3 부재 시험체의 연성 평가

본 논문에서는 구조물이 견딜 수 있는 최대하중을 더 이상 지지할 수 없을 때 파괴된다고 하는 파괴의 개념에 따라 ACI Committee 363의 연성계수를 정의하는 다음 식을 적용한다.

$$\mu_{max} = \delta_u / \delta_y$$

μ_{max} : 최대하중시의 연성계수

δ_u : 최대하중에 대응하는 변위

δ_y : 부재항복시의 변위

부순 적벽돌을 사용한 휨시험체의 시험체별 평균 연성계수는 Table 11과 같으며, 부순 적벽돌 혼입률별 평균 연성계수의 경우, 기준 시험체가 5.89, 부순 적벽돌을 30% 혼입한 시험체가 5.45, 부순 적벽돌을 60% 혼입한 시험체가 5.25로 기준 휨 시험체의 연성계수가 가장 높게 나타났으며 부순 적벽돌을 60% 혼입한 시험체가 가장 낮게 나타났다.



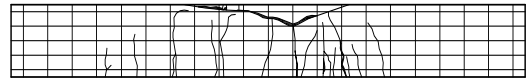
(a) RBA-0-1



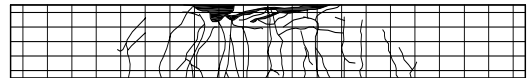
(b) RBA-0-2



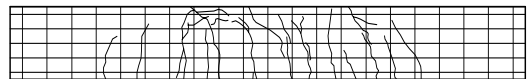
(c) RBA-0-3



(d) RBA-30-1



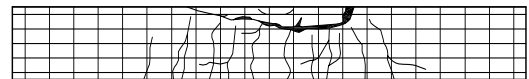
(e) RBA-30-2



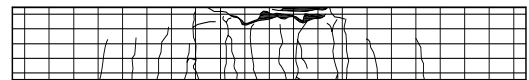
(f) RBA-30-3



(g) RBA-60-1

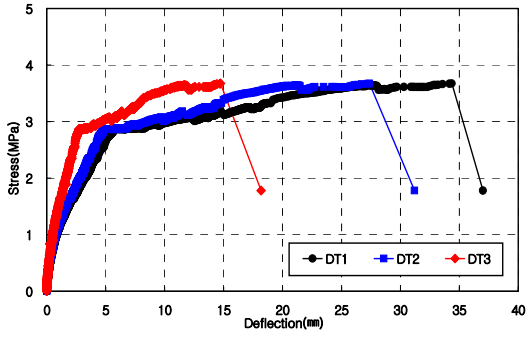


(h) RBA-60-2

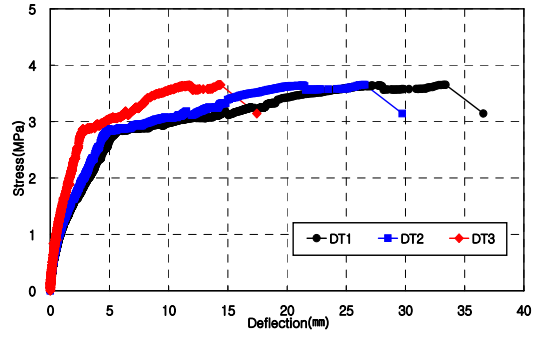


(i) RBA-60-3

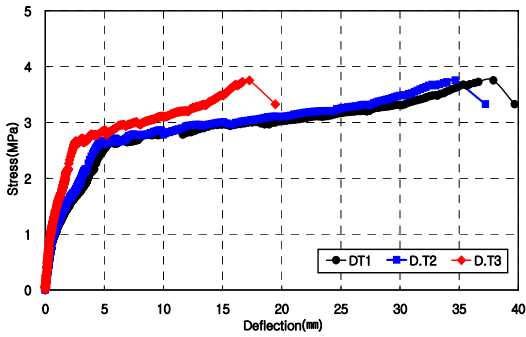
Fig. 9 부재 시험체 균열도



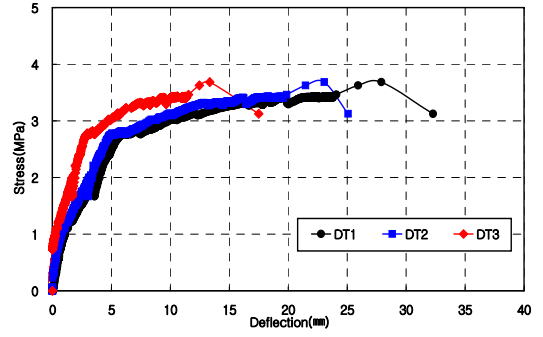
(a) RBA-0-1



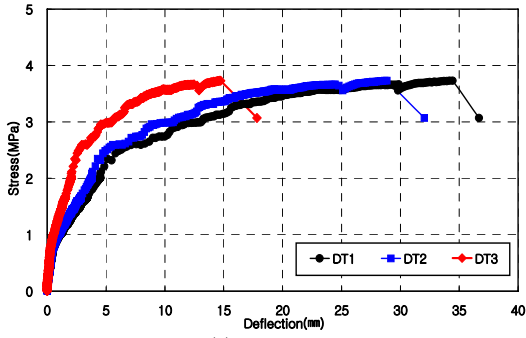
(e) RBA-30-2



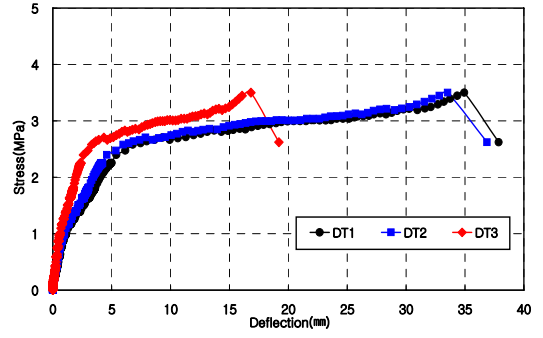
(b) RBA-0-2



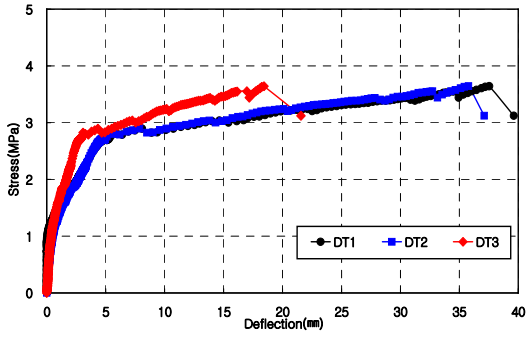
(f) RBA-30-3



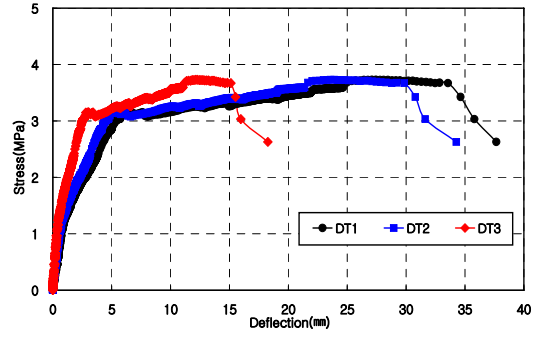
(c) RBA-0-3



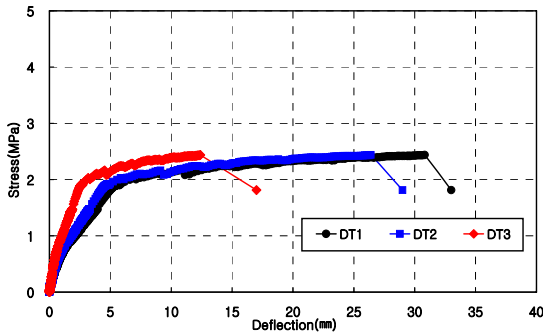
(g) RBA-60-1



(d) RBA-30-1



(h) RBA-60-2



(i) RBA-60-3
Fig. 10 부재 시험체 응력-처짐 곡선

Table 11 부재 시험체별 연성계수

시험체명	항복강도		최대강도		연성계수
	σ_y (N/mm ²)	δ_y (mm)	σ_u (N/mm ²)	δ_u (mm)	
RBA-0	2.70	6.09	3.72	35.57	5.89
RBA-30	2.80	6.06	3.66	32.97	5.45
RBA-60	2.51	6.11	3.22	32.00	5.25

기준 시험체와 혼입물에 따른 시험체의 연성계수를 비교한 바, 기준 시험체에 비해 혼입물 30% 시험체는 7.47%정도, 입물 60% 시험체는 10.9% 정도 연성 계수가 낮게 나타났다.

5. 결 론

본 연구는 부순 적벽돌을 콘크리트용 대체 굵은골재로 사용하기 위한 순환골재 혼입률별(0%, 30%, 60%) 재료 실험과 부재실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 압축강도실험결과, 부순 적벽돌 혼입률 30%는 기준 시험체와 유사한 수준의 강도발현을 보였다. 혼입률 60% 시험체는 재령별로 8.5%~14.4% 정도의 압축강도 감소를 보였다.
- 2) 쪼갬 인장강도실험 결과, 압축강도와 마찬가지로 치환율 30% 시험체는 기준 시험체와 거의 유사한 인 강강도를 보였다.
- 3) 가열 후 압축강도 실험 결과, 순환골재의 혼입률이 증가할수록 가열온도가 높을수록 압축강도가 다소 저하하는 것으로 나타났다. 이는 순환골재가 연소

(燃焼)되어 부착 및 결합력이 상실되는 것으로 사료된다.

- 4) 철근콘크리트 보의 휨 실험 결과, 시험체의 평균 연성계수는 기준 시험체에 비하여 혼입물 30% 시험체는 7.5% 정도, 혼입물 60% 시험체는 10.9% 정도 낮게 나타나, 순환골재 혼입률이 증가할수록 연성계수는 저하는 되는 것으로 사료된다. 순환골재를 사용한 부재 시험체와 보통콘크리트 부재 시험체의 초기균열 강도, 항복강도, 최대강도는 거의 유사한 거동을 하는 것으로 나타났다.
- 5) 각종 재료실험과 부재실험 결과를 종합한 바, 일반 쇄석에 대하여 순환골재의 불순물로 분류되고 있는 부순 적벽돌을 30%까지 혼입하여 사용하여도 보통 콘크리트와 거의 유사한 구조적 특성을 갖는 것으로 나타나 부순 적벽돌을 철근콘크리트 보의 실제 구조물에 적용이 가능할 것으로 사료된다.
- 6) 추후 부순 적벽돌을 사용한 콘크리트 시험체의 전단거동 및 연성계수를 향상 시킬수 있는 혼화재의 배합과 적용에 관한 연구가 필요할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2006학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

참고문헌

1. 김정섭외 2인, "잔골재로 고막 패각을 사용한 철근콘크리트 보의 휨 거동에 관한 연구" 한국구조물진단학회 논문집, 제8권 4호, 2004. 10, pp. 265-273.
2. 구봉근외 3인, "순환골재를 사용한 콘크리트 보의 휨 거동", 한국구조물진단학회 학술발표논문집, 제15권 1호, 2000. 8, pp. 117-122.
3. 윤현도의 1인, "재생골재를 사용한 철근콘크리트 보의 전단성능", 한국구조물진단학회 학술발표논문집, 제 15권 1호, 2000. 8, pp. 129-134.
4. 양근현 외 2인, "골재의 함수상태가 순환골재 콘크리트의 특성에 미치는 영향", 대한건축학회 논문집, 제21권 10호, 2005. 10, pp. 103-110.

(접수일자 : 2007년 3월 13일)