

재생 굵은골재를 사용한 철근 콘크리트 보의 거동에 관한 실험연구

An Experimental Study on the Behavior of Reinforced Concrete Beams using Recycled Coarse Aggregate

이 명 규* 김 광 서** 이 근 호*** 윤 건 호**** 정 상 화*****
 Lee, Myung-Kue Kim, Kwang-Seo Lee Keun-Ho Yun, Geon-Ho Jung, Sang-Hwa

Abstract

The object of this study is to investigate experimentally the shear behavior of reinforced concrete beams using recycled coarse aggregate. At first, the specimens are manufactured for the compressive strength of 210kgf/cm² with recycled coarse aggregate ratio of 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%, respectively. From the results, Reinforced concrete beams using recycled coarse aggregate were made with recycled coarse aggregate ratio of 0%, 20%, 40%, 60%, 80% with stirrups and recycled coarse aggregate ratio of 0%, 20%, 40% without stirrups. The results of crack pattern and failure mode, load-displacement curve(center point and load point) and load-steel curve(compressive, tensile, stirrup) were analysed. It is concluded from the test that the shear behavior of recycled concrete beams is determined to have similar behavior of normal concrete beams. Therefore, from this study the application of recycled concrete to concrete structures may be possible. But, for using the recycled concrete widely, it is expected that the more studies on quality control, substitution ratio and mix design related with recycled concrete are necessary.

키 워 드 : 재생 굵은 골재, 재생 굵은 골재 치환율, 철근콘크리트 보, 전단거동

Keywords : Recycled Coarse Aggregate, Substitution Ratio, Reinforced Concrete Beam, Shear Behavior

1. 서 론

국내의 경우 1990년대 중반이후 까지도 구조물의 재개발 사업 중에 발생하는 콘크리트 폐기물의 처리는 주로 매립에 의존해왔다. 그러나, 최근에는 온난화 현상이나 오존층의 파괴와 같은 환경문제의 대두로 인해 환경보호의 필요성을 인정하여 우리가 가지고 있는 환경을 유지·관리하기 위해 환경 관련 법규를 정비하고 환경을 파괴하는 행위에 대하여 강력히 규제하는 방향으로 나가고 있기 때문에 콘크리트 폐기물을 공사현장 근처에서 매립하는 것은 불가능하다고 할 수 있으며 폐기물의 매립을 위해서는 운반거리가 먼 매립지까지 운반하여 처리하여야 한다. 이에 따라 구조물의 재개발 및 재건축 사업비 중에서 콘크리트 폐기물의 처리비용이 차지하는 비중이 증대하고 있으므로 구조물 재개발 사업의 성공적인 수행을 위해서는 이러한 환경 및 경제적인 요인으로 인해 콘크리트 폐기물의 효율적인 재활용 기술이 필수적으로 요구되게 되었다고 할 수 있다(6).

지금까지 이루어진 국내 연구결과를 살펴보면 폐콘크리트를 콘크리트용 골재로 재활용하기 위해서 적지 않은 연구가

진행되어 왔으며 그중 대부분의 연구는 재생골재 콘크리트의 아직 굳지 않은 상태의 시공성 및 경화 상태에서의 압축강도 등의 공학적 특성을 보통 콘크리트와 각 실험요인 및 수준별로 상호비교·검토함으로써 재생골재 콘크리트의 기본적인 조합설계 방침에 기초 자료를 제시하기 위한 실험이 주류를 이루어 왔다(3). 이에 따르면 재생골재를 사용한 콘크리트는 일반 콘크리트보다 압축강도 및 시공성은 떨어지지만, 적절한 고성능감수제의 사용과 부배합의 채택, 그리고 보통골재와의 혼합사용 등의 방법을 적용하면 일반 콘크리트의 수준을 유지할 수 있어 구조체에 적용가능성을 확인하였다. 국외의 연구결과에 의하면, 재생 굵은골재와 자연모래로 만든 구조물에서 철근과 재생골재 콘크리트의 부착강도는 정적하중과 피로하중에 대하여 보통 콘크리트와 비슷한 결과를 보였으나, 재생 잔골재와 재생 굵은골재를 모두 사용할 경우, 구조물의 균열은 보통 콘크리트보다 휨하중에 대하여 약 15% 낮은 곳에서 발생했으며, 철근 콘크리트의 극한 휨강도는 부착파괴에 의해서 약 30% 낮았다. 이에 반해, 전단강도는 같은 경향을 보였다(9). 또한, 재생골재를 사용한 철근 콘크리트의 전단강도는 보통 철근 콘크리트보다 약간 낮지만, 스티럽 갯수를 늘리면 같은 강도를 얻을 수 있다. 결과적으로, 철근 콘크리트 구조물에서 재생 굵은골재를 자연 굵은골재 또는 쇄석 대신 30%까지 치환이 가능하지만, 재생 잔골재는 피해야 한다(10).

따라서, 본 연구에서는 폐콘크리트 재활용 가능성에 대한 일환으로 재생콘크리트를 일반 콘크리트 구조물에 사용할 수

* 전주대학교 토목환경공학과 교수, concrete@jeonju.ac.kr

** 원광대학교 건축공학과 교수

*** 원광대학교 건축공학과 박사과정

**** 남양건설 대리

***** 전주대학교 토목환경공학과 객원교수

있는지의 여부를 검증하기 위하여 연구를 수행하였다. 강도, 내구성 등 여러 가지 단점을 지닌 재생 잔골재는 배제하고 재생 굵은골재만을 사용한 철근콘크리트 보를 제작하여 보통 골재를 사용한 철근콘크리트 보와 전단 거동 특성을 비교·분석함으로써 일반 구조물에 대한 재생 굵은골재의 적용여부 고찰 및 재생 굵은골재에 대한 자료를 축적하고자 한다. 실험 계획은 자연 굵은골재에 대한 재생 굵은골재 치환율과 전단 보강 여부에 따라 완전 전단보강 부재(치환율 0%), 최소 전단보강 부재(치환율 0%, 20%, 40%, 60%, 80%), 전단보강하지 않은 부재(치환율 0%, 20%, 40%)로 나누었으며, 균열양상, 하중-처짐 관계, 하중-변형률 관계 및 중앙단면의 변형률 관계를 살펴보았다.

2. 실험개요

2.1 사용재료 및 배합

1) 사용재료

본 연구에 사용한 재생 굵은골재는 전주시내에 소재한 재활용업체에서 채취하였다. 분쇄, 세척 및 분류과정을 통하여 생산된 굵은골재 중 본 실험에서는 30mm를 통과하고 4번체에 남는 골재를 사용하였으며 잔골재는 천연모래를 사용하였다. 또한, 재생 굵은골재에 포함된 유해한 불순물(벽돌, 아스팔트, 유리, 인조석, 타일, 종이, 나무 등)은 육안으로 가능한 한 제거하였다. 그림 1은 본 실험에서 사용한 골재의 체가름 곡선이며, 천연 잔골재 및 굵은골재와 재생 굵은골재의 물리적 특성은 표 1과 같다.

표 1. 골재의 물리적 성질

골재종류	비중	흡수율(%)	조립률(FA)	마모감율(%)
잔 골 재	2.57	1.83	2.57	-
천연 굵은골재	2.64	0.98	6.51	29
재생 굵은골재	2.35	6.30	7.29	44

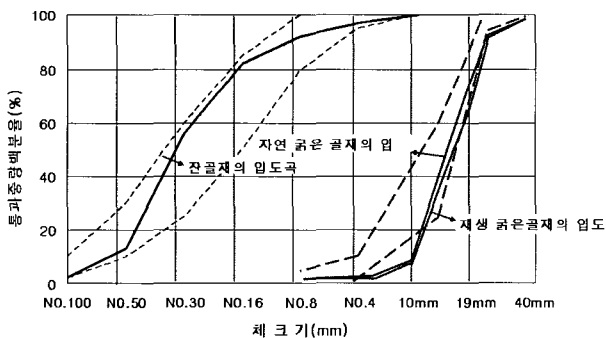


그림 1. 골재의 체가름 곡선

일반적으로 잔골재의 비중은 보통 2.5~2.65정도이며, 굵은 골재의 비중은 보통 2.55~2.70정도이다. 또한, 잔골재와 굵은 골재의 조립률은 각각 2.3~3.1과 6~8정도이다. 따라서, 본 실험

험에서 사용된 재생 굵은골재의 비중은 보통 굵은골재의 비중보다 약 12%정도 낮고 흡수율은 약 6배 이상이며, 재생 굵은골재의 조립률은 양호한 편이다. 또한, 재생 굵은골재 마모 감률은 44%로 “포장 콘크리트 표준시방서” 규정보다 다소 높았다. 한편, 실험용 시멘트는 S사의 보통 포트랜드 시멘트를 사용하였다.

2) 배합 설계

본 실험의 배합설계는 재생 굵은골재 치환율에 따라 수행하였으며, 배합설계시 골재의 재료적 특성을 고려(비중, 현상 상태 등)하였다. 특히, 재생골재의 낮은 비중과 높은 흡수율 때문에 재생 굵은골재 치환율이 증가할수록 단위수량은 증가하였으며 1m³당 굵은골재의 양은 감소하였다. 표 2는 재생 굵은골재 치환율에 따른 콘크리트 배합표이다. 설계강도는 210 kgf/cm²이며, 재생 굵은골재의 여러 가지 불확실성을 고려하여 변동계수를 15%로 추정하였으며, 증가계수는 $\alpha=1.33$ 으로 정하여 배합강도를 계산하였다.

표 2. 재생 굵은골재 치환율에 따른 콘크리트의 배합표

배합 치환율	W/C (%)	S/a (%)	단 위 량(kgf/cm ³)					
			물 (W)	시멘 트 (C)	잔골재 (S)	굵은골재(G)		
						자연	재생	계
0	47.6	38.8	190.1	399	691.8	1094.5	0	1094.5
20	48.1		191.9		692.6	855.5	213.9	1069.4
40	48.5		193.6		693.4	626.6	417.8	1044.4
60	48.9		195.2		694.2	407.7	611.6	1019.3
80	49.2		196.7		695.0	198.9	795.4	994.3

또한, 재생 굵은골재 치환율에 따른 콘크리트의 압축강도, 탄성계수 및 포아송비를 측정하기 위해 배합별로 원형물체 ($\phi 10 \times 20$ cm)를 각 3개씩 제작하여 콘크리트 스트레인 게이지를 부착하여 종횡방향 변형률을 측정하였다.

2.2 실험변수 및 부재 제작

1) 실험변수

철근콘크리트 보는 총 9개를 제작하였으며 자연 굵은골재에 대한 재생 굵은골재 치환율 및 전단보강 여부에 따라 완전 전단보강 부재(치환율 0%; F00), 최소 전단보강 부재(치환율 0%, 20%, 40%, 60%, 80%; S00, S02, S03, S04, S06, S08) 및 전단보강하지 않은 부재(치환율 0%, 20%, 40%; NS00, NS02, NS04)로 나누었다. 실험부재는 복철근으로 설계하였고 각 철근의 항복강도는 인장철근(AS)이 $f_y=3000\text{kgf/cm}^2$ (D22), 압축철근(AS')이 $f_y=4000\text{kgf/cm}^2$ (D10), 전단철근(Av)이 $f_y=4000\text{kgf/cm}^2$ (D6)이다. 표 3은 실험변수 및 전단철근 간격을 나타낸 것이다.

표 3. 철근콘크리트 보의 제작 계획

구분	전단 보강 여부	시험체	재생 굵은골재 치환율(%)	스트럽간격 (cm)
보통 철근 콘크리트	완전 보강	F00	0	10
재생 굵은골재 철근 콘크리트	최소 보강	S00	0	15
		S02	20	15
		S04	40	15
		S06	60	15
		S08	80	15
	보강하지 않음	NS00	0	-
		NS02	20	-
		NS04	40	-

2) 실험부재 제작

철근콘크리트 보의 크기는 15×25×192cm로 콘크리트 배합은 직접 손으로 실시하였으며 2회에 걸쳐 타설하였다. 굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험은 실시하지 않았으며 타설시 위커빌리티 불량으로 많은 어려움이 있었다. 콘크리트 타설 후 실험부재는 비닐 및 습윤 담요를 도포하여 수분을 유지하도록 하였으며, 거푸집 제거는 제작 7일 후에 실시하였으며 재하 실험(재령 28일)전까지 노상에 보관하였다. 또한, 실험부재는 하중 재하시 부재표면에 나타나는 하중에 따른 균열 위치 및 진전상태를 보다 명확히 알기 위해서 보의 양 측면에 흰색 수성페인트를 칠하고 5cm간격으로 격자줄을 그어 균열 위치를 쉽게 파악할 수 있도록 하였다.

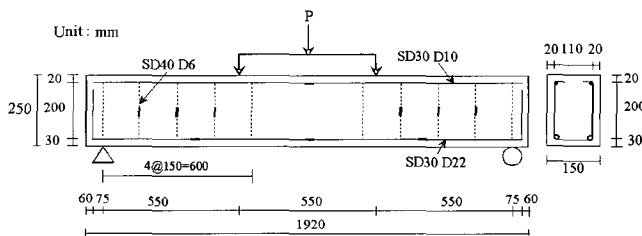


그림 2. 완전 전단보강한 철근콘크리트 보의 단면(F00)

2.3 측정 및 재하방법

그림 3은 하중 재하와 동시에 측정할 게이지 위치 및 명칭을 나타낸 것이며, 하중 재하시 변형률 및 처짐 측정은 실험부재의 내부에 설치되어 있는 철근 게이지와 외부에 설치되어 있는 콘크리트 게이지 및 변위계를 통하여 이루어 졌다. 철근 게이지는 하부 인장철근 중앙 및 중앙과 지점사이에 각 1개씩(총 4개)을 부착하였으며, 전단철근은 양쪽 각 3개씩(총 6개), 압축철근은 중앙에 각 1개씩(총 2개) 부착하였다. 콘크리트 게이지는 하중 재하에 따른 보의 중립축 변화를 보기 위해 중앙상단을 기준으로 2, 7, 12, 17cm 간격으로 4개씩 부착하였다. 또한, 하중 재하시 각 실험부재의 처짐을 측정하기 위하여 변위계를 부재 중앙 및 하중 재하점에 각 3개 설치하였다. 각 응답의 측정시 구조시험기에 내장된 로드셀로 재하하는 하중값을 동시에 측정하였으며, 위의 모든 측정값들은 데이터 로거로 측정하여 컴퓨터로 기록하였다.

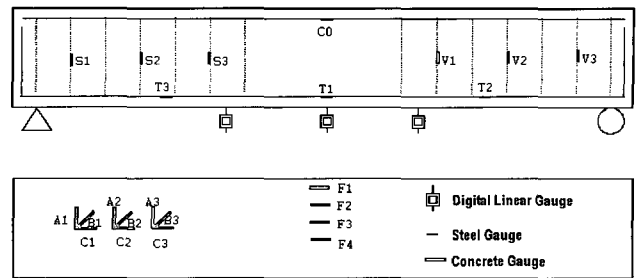


그림 3. 측정용 게이지 위치 및 명칭(부재 F00)

거푸집 제작, 철근조립, 콘크리트 타설 및 양생의 과정을 거쳐 완성된 철근콘크리트 보는 4점 재하방식으로 재하하였으며, 전단거리는 2.2d 이다. 실험부재 재하는 200tonf 용량의 만능시험기를 사용하였으며, 하중재하시 보에 발생한 균열은 하중단위별(0.5tonf)로 균열형상을 실험부재 양 측면에 도안하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 강도실험결과 및 고찰

1) 압축강도

그림 4는 재생 굵은골재 치환율에 따른 재생 굵은골재 콘크리트의 압축강도(재령 28일)를 나타낸 것이다. 압축강도는 최대 348kgf/cm²(R00)에서 최소 266kgf/cm²(R08)까지로 재생 굵은골재 치환율이 증가할수록 저하하는 경향을 보였으며 최대 감소율은 약 24%이었다. 또한, 거의 모든 배합에서 배합강도 280kgf/cm²에 도달하였으며, 치환율 20%와 40%인 경우는 치환율이 0%인 보통콘크리트와 압축강도에 있어 큰 차이를 보이지 않았다. 하지만, 본 실험의 경우 슬럼프가 목표 슬럼프 8±2cm에 비해 매우 작게 나타났으며 이와 관련한 압축강도의 증가 영향 요인도 배제할 수 없다. 또한, 이와 관련하여 재생콘크리트를 제조하는 경우 소요 슬럼프 값을 얻어 위커빌리티를 향상시키기 위해서는 유동화제 첨가가 꼭 필요할 것으로 판단된다.

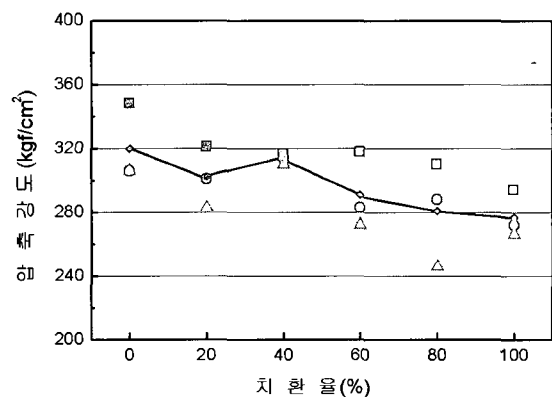


그림 4. 배합에 따른 압축 강도실험 결과

그림 5는 재생 굵은골재 치환율에 따른 응력-변형률 곡선을 나타낸 것이며, 최대 응력시 변형률은 0.00187~0.00236의 범위에 있었다. 또한, 재생 굵은골재 콘크리트의 응력-변형률 관계는 재생 굵은골재 치환율에 따라 특별한 차이가 없으므로 판단된다.

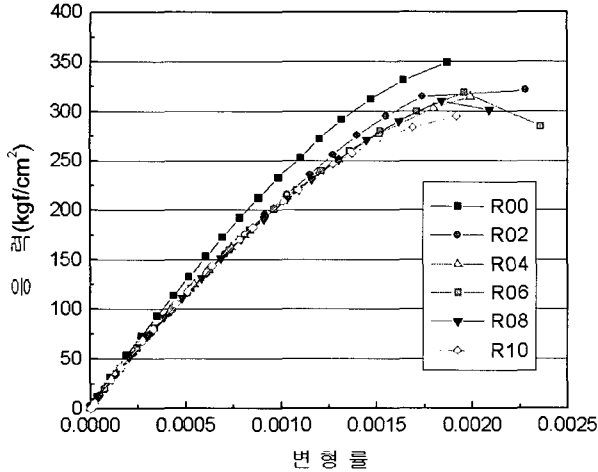


그림 5. 배합에 따른 응력-변형률 곡선

2) 탄성계수 및 포아송비

재생 굵은골재 치환율에 따른 콘크리트의 탄성계수는 응력-변형률 곡선의 1/3~1/4점에 있는 할선계수 방법을 이용해 계산하였으며 그 결과는 그림 6과 같다. 일반적으로 콘크리트의 탄성계수는 압축강도가 커면 큰 것으로 알려져 있지만, 그림 8에서 볼 수 있듯이 압축강도가 가장 낮은 R10의 경우 다른 치환율에 비하여 탄성계수가 높았으며 최대 탄성계수를 나타낸 R00의 약 93%에 도달하였다. 최대 탄성계수는 248,847kgf/cm²(R00), 최소탄성계수는 205,440kgf/cm²(R06)으로 최대 탄성계수의 약 83%이었다. 이러한 압축강도와 탄성계수의 비일관성은 재생 굵은골재의 불규칙적인 형상으로 인하여 생긴 것으로 판단된다.

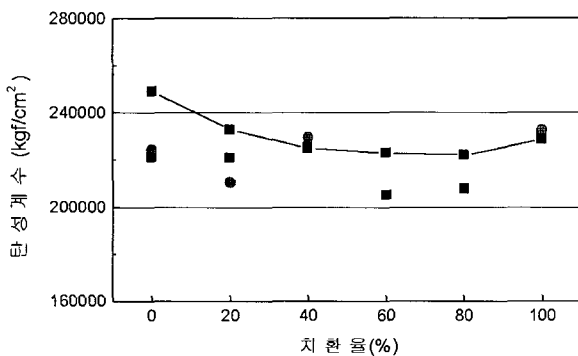


그림 6. 재생 굵은골재 치환율에 따른 탄성계수 변화

또한, 재생 굵은골재 콘크리트의 포아송비는 재생 굵은골재 치환율에 따라 큰 차이가 없었다. 포아송비 범위는 0.12(R02)~0.19(R00)으로 치환율 0%(R00)을 제외한 재생 굵은골재의 평균 포아송비는 약 0.15이었다.

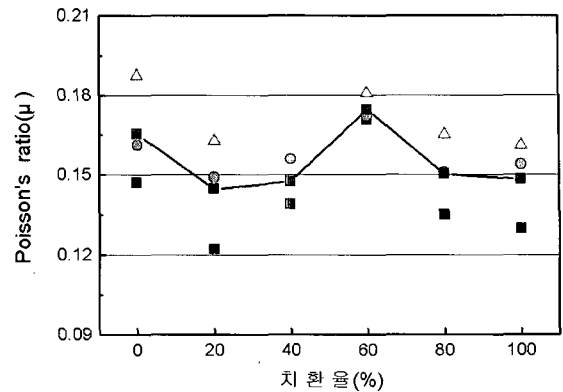


그림 7. 재생 굵은골재 치환율에 따른 포아송비의 변화

3.2 부재 실험결과 및 고찰

철근콘크리트 보의 재하실험은 완전 전단보강 철근콘크리트 보(F00), 최소 전단보강 철근콘크리트 보(S00, S02, S04, S06, S08), 전단보강을 하지 않은 철근콘크리트 보(NS00, NS02, NS04)로 나누어 실시하였다. 실험부재 F00은 휨파괴를 유도하였으며, 실험부재 S00~S08, NS00, NS02, NS04는 전단파괴를 유도하였다. 부재 재하시 측정된 처짐과 철근 및 콘크리트 변형률은 하중-처짐 곡선, 하중-변형률(인장철근, 압축철근, 전단철근)곡선을 중심으로 분석하였으며, 표 4는 철근콘크리트 보의 재하실험 결과이다.

전단보강 철근콘크리트 보의 재하 실험결과는 재생 굵은골재 치환율에 따라 극한하중(Pu), 초기균열하중(Pcrack), 사인장 균열 및 인장철근 항복강도는 특별한 차이가 없었으며, 전단철근 항복강도는 치환율이 증가할수록 다소 증가하였다. 반면, 전단보강하지 않은 철근콘크리트 보(NS00, NS02, NS04)의 극한하중(파괴하중)은 전단보강한 철근콘크리트 보의 약 55%로, 초기균열 및 사인장 균열 발생시점은 거의 비슷하였으며, 사인장 균열과 동시에 갑작히 파괴되어 인장철근은 항복하지 않았다. 또한, 모든 실험부재의 압축철근은 항복하지 않았다.

표 4. 재하 실험 결과

부재	Pu (tonf)	Pcrack (tonf)	사인장 균열 (tonf)	인장철근 항복 (tonf)	전단철근 항복 (tonf)	처짐량(mm)	
						중앙	하중점
F00	19.49	4.8	13.0	17.95(T0)	11.5(V2)	11.22	9.46
S00	19.45	3.8	10.2	18.86(T0)	10.5(V2)	8.33	7.34
S02	19.40	3.5	9.9	-	10.5(S2)	11.79	10.03
S04	18.96	4.5	11.7	-	12.5(V2)	9.88	9.44
S06	19.21	4.3	12.0	17.50(T1)	10.4(V3)	12.45	10.26
S08	19.38	4.5	8.8	18.96(T1)	10.0(V2)	10.00	8.66
NS00	11.60	4.5	10.5	-	-	3.96	3.38
NS02	10.68	5.2	10.2	-	-	3.23	2.60
NS04	12.42	4.8	12.3	-	-	5.74	4.93

1) 하중-처짐 곡선

그림 8은 각 실험부재의 하중-처짐 관계를 재생 굵은골재 치환율 및 전단보강 여부에 따라 도시한 것이다. 재생 굵은골재 치환율에 따른 부재의 하중-처짐 곡선은 보통 철근콘크리트 보의 하중-처짐 곡선과 비슷한 경향을 보였으며, 전단보강하지 않은 부재의 하중-처짐 곡선은 갑작스런 파괴로 인해 전단보강한 부재와 처짐량에서 차이(약 3~9cm)를 보였을 뿐 재생 굵은골재 사용에 따른 차이점은 없었다. 또한, 부재별 처짐량은 파괴강도에 따라 조금씩 차이가 있을 뿐 재생 굵은골재의 사용이 철근콘크리트 보의 처짐에 영향을 주지 않는 것으로 판단된다.

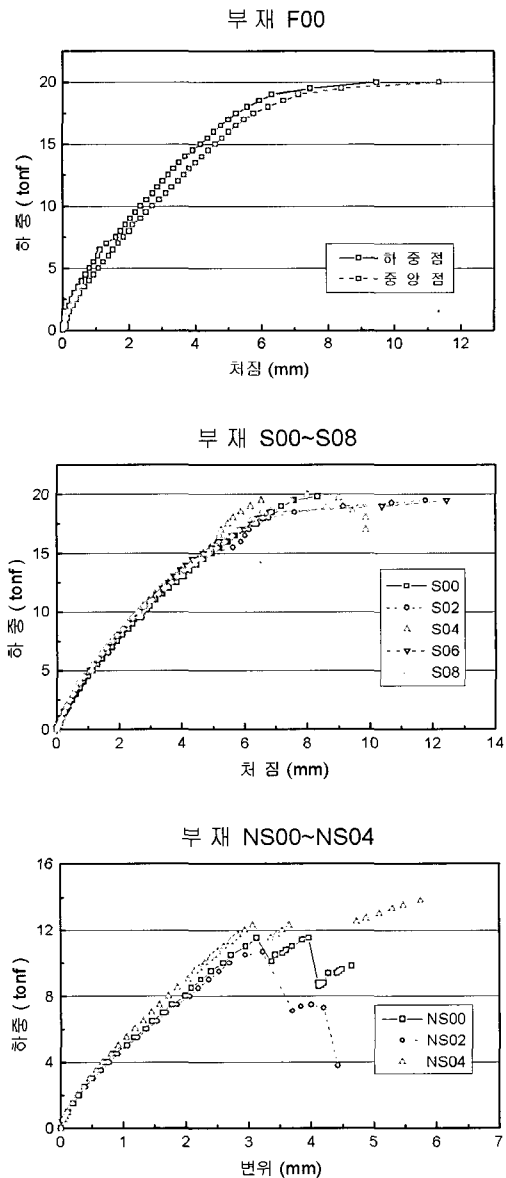


그림 8. 부재 F00의 하중-처짐 곡선(중앙 및 하중점)

2) 응력-변형률 곡선

그림 9, 10, 11은 하중과 인장철근, 압축철근 및 전단철근의 변형률 관계를 나타낸 것이다. 하중-변형률 곡선은 하중-처짐 곡선과 유사한 양상을 보였으며 재생 굵은골재 치환율에 따른 특별한 경향은 없었다.

(1) 인장철근

그림 9에서 보듯이, 부재 F00, S00, S06, S08의 인장철근은 항복하였으며 항복시 부재별 변형률은 각각 2010×10^{-6} (17.95tonf), 1854×10^{-6} (18.86tonf), 2133×10^{-6} (17.50tonf), 1723×10^{-6} (18.96tonf)이었다. 또한, 부재 S02, S04의 최대 하중에 대한 인장철근 변형률은 각각 2192×10^{-6} (19.5tonf), 2050×10^{-6} (19.74tonf)이었으며, 부재 NS00, NS02, NS04은 전단철근을 보강하지 않아 갑작스런 파괴로 인해 인장철근 변형률은 상대적으로 작았다. 각각의 최대 변형률은 1288×10^{-6} (11.49tonf), 1227×10^{-6} (8.949tonf), 1499×10^{-6} (13.87 tonf)이었다. 그리고, 항복한 대부분의 인장철근은 중앙에서 발생했으며 하중점에서는 일어나지 않았다. 재생 굵은골재를 치환한 실험부재의 인장철근 항복하중 및 변형률은 17.50~18.96tonf($1723 \sim 2133 \times 10^{-6}$)범위로 S06부재가 상대적으로 항복강도는 낮고 항복변형률은 큰 편이었다.

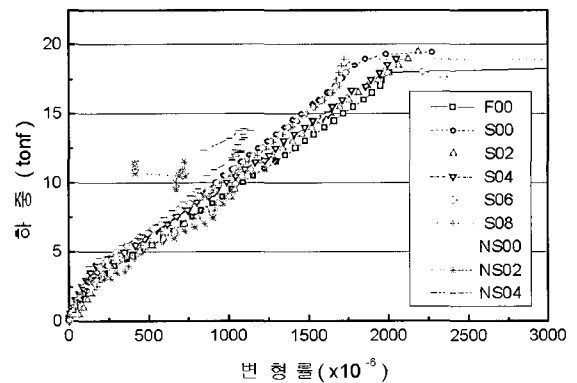


그림 9. 부재별 중앙점의 하중-인장철근 변형률 곡선

(2) 압축철근

그림 10은 부재별 하중-압축철근 변형률 관계를 나타낸 것이며, 모든 부재에 대한 압축철근은 철근콘크리트 보의 설계와 달리 항복하지 않았다. 완전보강한 부재 F00의 변형률(압축, 1471×10^{-6})이 가장 컸으며, 재생 굵은골재 치환율에 따라 압축철근 변형률의 차이는 없었다. 또한, 전단철근을 사용하지 않은 부재(NS00, NS02, NS04)의 압축철근 변형률은 보강한 부재의 압축철근 변형률에 비해 상대적으로 작을 뿐 큰 차이는 없었다.

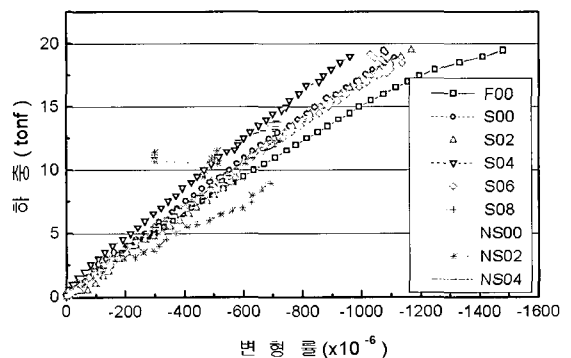


그림 10. 하중-압축철근 변형률 곡선

3) 전단철근

그림 11은 하중과 전단철근의 변형률 곡선을 나타낸 것으로 전단철근 항복은 하중점과 지점 중간인 V2, S2에서 주로 일어났으며 지점에 가까운 V3, S1는 거의 항복하지 않았다. 또한, 대부분의 실험부재에서 지점에 가까운 V3, S1의 변형률은 V2, S2가 항복하는 동시에 급격히 변형률이 증가함을 볼 수 있었다. 실험부재의 전단철근 항복강도는 표 4과 같으며 항복시 변형률은 14×10^{-6} (S08)~ 280×10^{-6} (S02)이었으며, 재생 굵은골재 치환에 따른 전단철근 항복강도는 부재 S04(12.5tonf)를 제외하고 평균 10.3tonf이었다.

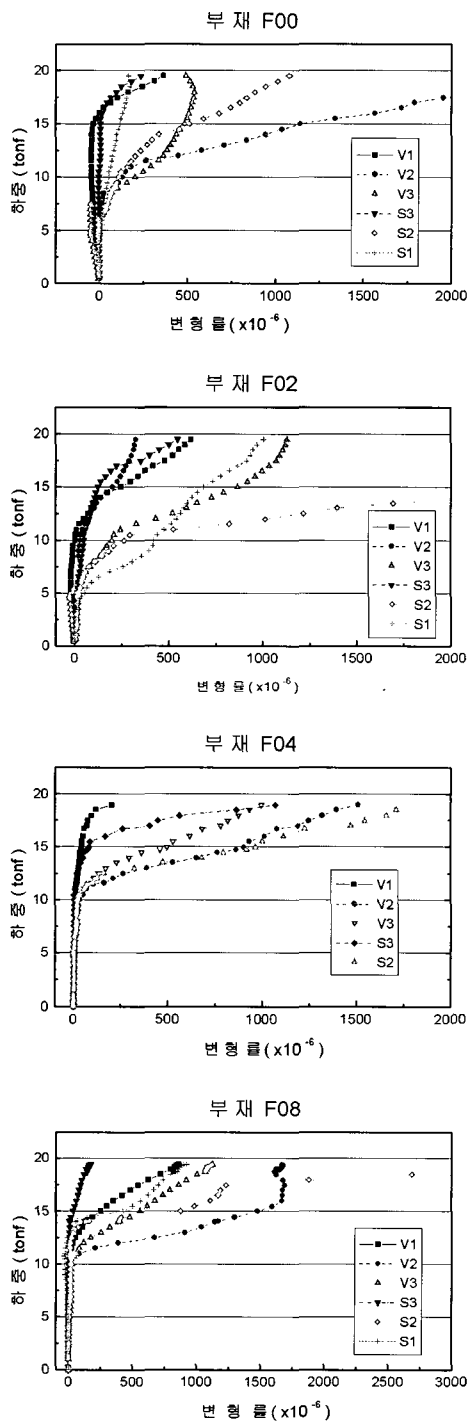
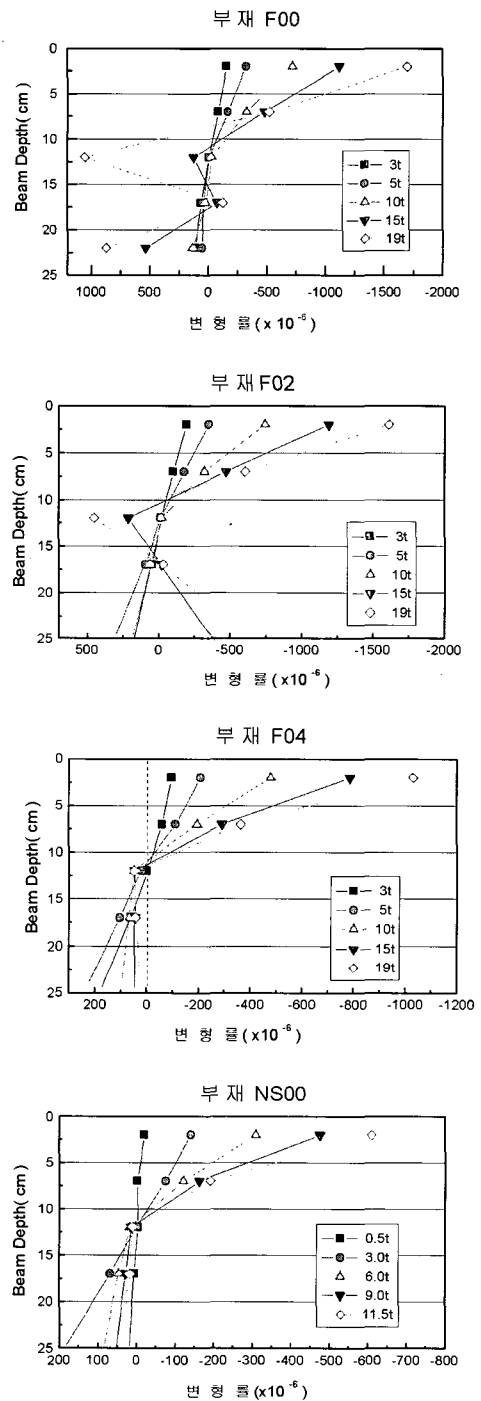


그림 11. 하중-전단철근 변형률 곡선

3) 중앙단면의 콘크리트 변형률 변화

그림 12는 부재별 철근콘크리트 보의 중앙 상단면에서 각각 2, 7, 12, 17cm 떨어진 곳에서의 콘크리트 변형률을 나타낸 것이다. 압축부 파괴시 콘크리트 중앙변형률은 부재 S04를 제외한 대부분의 전단철근 보강 부재(F00, S00, S02, S06, S08)가 약 0.002이었으며, 하중이 증가할수록 중립축은 부재 상단으로 올라갔으며 보 파괴에 근접하면 다시 부재하단으로 내려오는 경향을 보였다. 또한, 초기균열(4~6tonf)이 발생하기 전까지는 보의 깊이에 따른 콘크리트의 압축변형률과 인장변형률이 거의 같아 직선을 보였다. 전단철근 보강하지 않은 부재는 갑작스런 파괴로 인하여 중앙단면 변형률의 특징은 발견할 수 없었다.



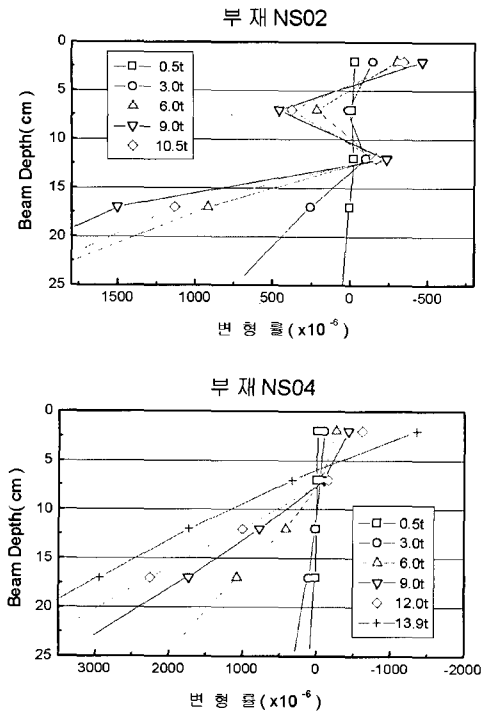
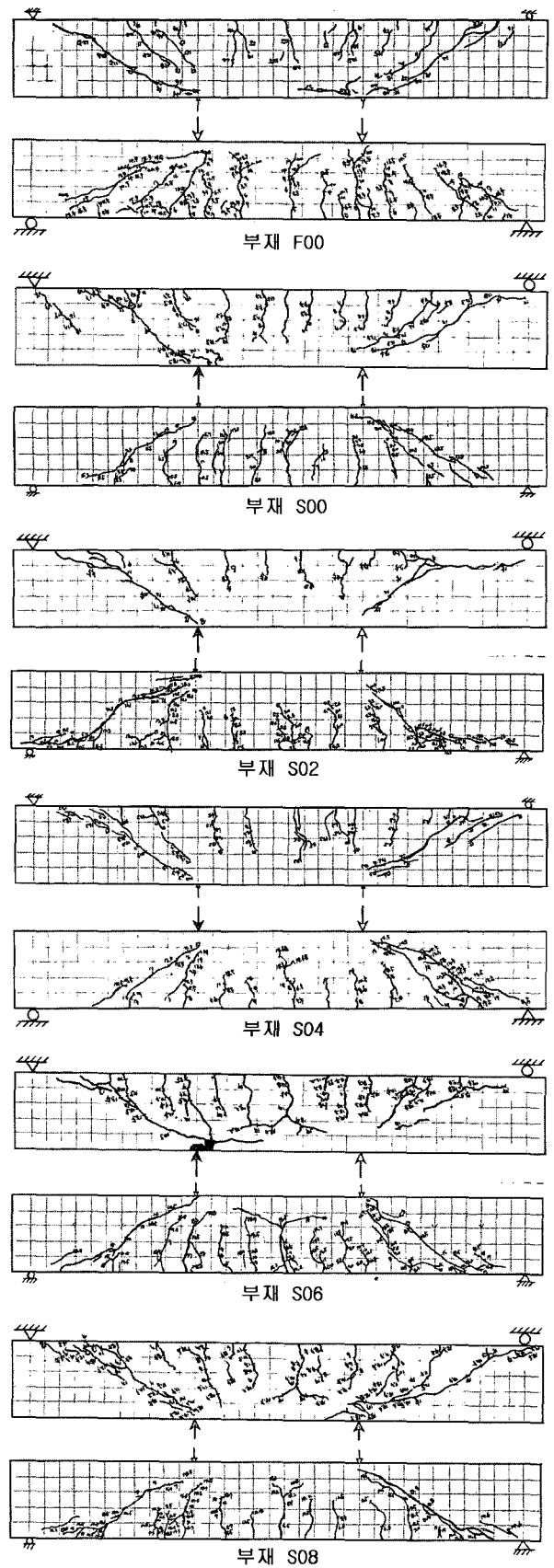


그림 12. 중앙단면 변형률

4) 실험부재의 파괴 양상

그림 13는 철근콘크리트 보의 파괴 될 때까지의 균열 양상을 도시한 것이다. 모든 부재는 초기하중 단계에서는 보의 재하점 사이(순수 휨구간)에서 먼저 휨균열이 발생하였으며, 하중이 증가할수록 양 재하점에서 지점사이(전단스팬구간)에서도 휨 균열이 일어났다. 실험부재의 초기균열은 3.5(S02)~5.2 tonf(NS02)범위에서 발생했으며, 이러한 초기균열은 더 이상의 진전 없이 8.8(S08)~13.0tonf(F00)범위에서 복부전단 균열이 발생하였다. 전단 보강된 철근콘크리트 보의 균열 양상은 휨과 전단 균열이 공존하였으며, 파괴양상도 비슷하였다. 또한, 부재 S02를 제외한 모든 부재에서 복부전단 균열 발생 후, 순수 휨 구간에서 발생한 휨 균열이 하중증가와 함께 보의 상부 쪽으로 진행하였으며, 전단 스패에서 생긴 휨 균열은 점차 사인장 균열로 발전하였다. 특히, F00 부재(완전전단보강 부재)는 중앙과 지점사이에서 발생한 휨 균열이 진전되어 전단균열로 바뀌었으며, 최소전단 보강한 부재는 휨전단 균열과 복부에서 발생한 균열이 하중증가와 지점방향으로 발전하여 파괴강도에 도달하였다. 전단보강하지 않은 철근 콘크리트 보의 균열 양상은 재생 굵은골재 치환율에 따라 큰 차이는 없었으며, 사인장 균열 발생 전까지는 전단보강된 철근콘크리트 보의 균열양상과 비슷하였다. 하지만, 사인장 균열 발생 후 휨구간에서 발생한 휨균열은 거의 진전이 없었으며 전단스팬 구간에서 발생한 사인장 균열은 재하점과 지점을 향해 계속 진행되어 인장철근을 따라 종방향 균열이 발생하였다. 또한, 사인장 균열 발생 후 하중 증가없이 갑작스럽게 보가 파괴되어 균열발생 빈도는 전단철근을 사용한 부재에 비해 적었다.



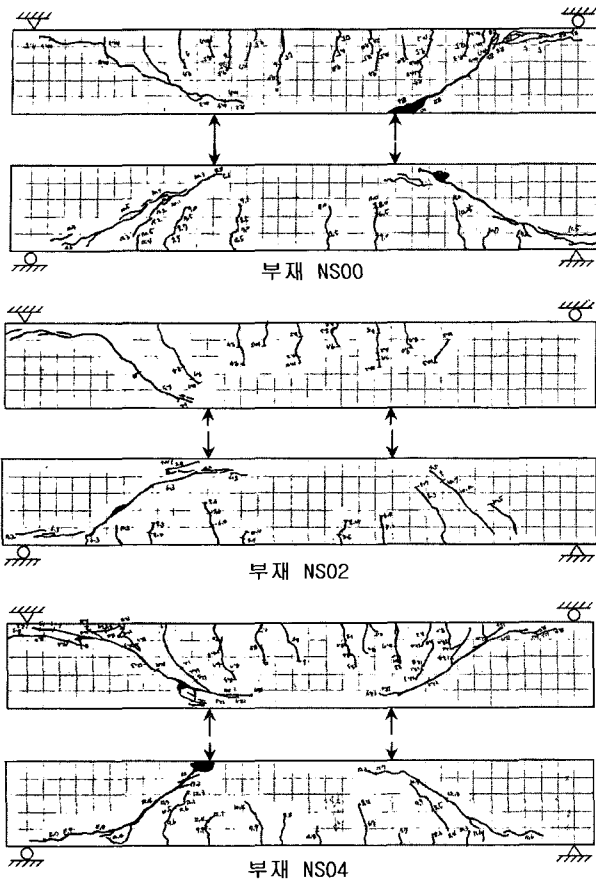


그림 13. 보의 파괴 양상

4. 결 론

본 연구에서 수행한 재생 굵은골재 철근콘크리트 보에 관한 구체적인 연구결과는 다음과 같다.

- 1) 재생 굵은골재는 천연골재보다 비중은 낮고 흡수율이 크며 마모감율은 KS규정보다 약간 높았다. 이것은 재생골재에 부착된 잔존 몰탈의 영향으로 판단된다.
- 2) 재생콘크리트의 압축강도는 266~348kgf/cm²으로 재생골재 치환율이 증가함에 따라 강도가 다소 감소하였으며 최대응력시 콘크리트의 변형율은 0.00187~0.00236으로 적절한 것으로 평가된다.
- 3) 재생콘크리트의 탄성계수는 205,440~248,847kgf/cm²를 나타냈으며 재생골재 치환율이 클수록 다소 감소하는 경향을 보였으며, 포아송 비는 0.12~0.19의 범위로 보통콘크리트와 비교하여 큰 차이를 보이지는 않았다.
- 4) 철근콘크리트 보의 재하실험결과는 재생 굵은골재 콘크리트의 강도실험 결과처럼 재생 굵은골재 치환율에 따른 극한하중(18.96~19.45tonf), 초기균열하중(3.5~4.5tonf), 사인장균열(8.8~12.0tonf) 및 인장철근 항복강도(17.50~18.86tonf)에

있어 특이한 점은 없었으며, 전단철근 항복강도(4.17~9.99tonf)는 재생 굵은골재 치환율에 따라 다소 증가하였다. 전단보강하지 않은 철근콘크리트 보의 극한하중은 전단보강 철근콘크리트 보의 약 55%이며 초기 및 사인장균열 발생시점은 거의 비슷하였다.

- 5) 재생 굵은골재를 치환한 철근콘크리트 보의 하중-처짐 곡선은 보통 철근콘크리트 보의 하중-처짐 곡선과 비슷한 경향을 보였으며, 전단보강하지 않은 철근콘크리트 보의 하중-처짐 곡선은 갑작스런 파괴로 인해 전단보강한 실험부재와 처짐 양에 있어서 큰 차이를 보였다. 하지만, 재생 굵은골재 사용에 따른 차이점은 없었으며 이에 따라 재생 굵은골재 사용여부가 철근콘크리트 보의 거동중 처짐에 대한 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.
- 6) 재생 굵은골재를 치환한 철근콘크리트 보의 하중-철근변형률 곡선은 하중-처짐 곡선과 유사한 경향을 보였으며 재생 굵은골재 치환율에 따른 특별한 경향은 없었다. 인장철근은 부재 F00, S00, S06, S08가 항복하였으며 부재 S02, S04, NS00, NS02, NS04은 항복하지 않았다. 압축철근은 모든 부재가 항복하지 않았으며 전단철근을 사용하지 않은 부재는 압축변형률이 상대적으로 작을 뿐 큰 차이는 없었다. 전단철근 항복은 모두 하중점과 지점 중간인 V2, S2에서 일어났으며 지점에 가까운 V3, S1는 거의 항복하지 않았다. 또한, 대부분의 실험부재에서 지점에 가까운 V3, S1의 변형률은 V2, S2가 항복하는 동시에 급격히 변형률이 증가함을 볼 수 있었다.
- 7) 재생 굵은골재를 치환한 철근콘크리트 보의 중앙단면의 변형률 변화는 부재 S04를 제외한 대부분의 전단철근 보강 부재(F00, S00, S02, S06, S08)의 변형률은 약 0.002이었으며, 하중이 증가할수록 중립축은 부재상단으로 올라갔으며 보 파괴에 근접하면 다시 부재하단으로 내려오는 경향을 보였다. 또한, 초기균열이 발생하기 전까지는 보의 깊이에 따른 콘크리트의 압축변형률과 인장변형률이 거의 같아 직선을 보였다.
- 8) 재생 굵은골재를 치환한 철근콘크리트 보의 균열은 초기에 3.5(S02)~5.2tonf(NS02)범위에서 발생했으며, 복부전단 균열은 8.8(S08)~13.0tonf(F00)범위에서 발생하였다. 완전전단 보강된 철근콘크리트 보의 균열 양상은 휨균열 발생 후 사인장균열로 발전하였으며, 파괴양상은 모든 전단 보강된 보에 대해 비슷한 양상을 보였다. 한편, 최소전단보강 보의 경우는 복부균열 발생 후 전단 파괴가 발생하였으며, 전단보강하지 않은 철근 콘크리트 보의 경우는 휨 균열 발생 후 부착파괴가 발생하였다. 또한, 재생골재 치환율에 따른 이들 균열 진전 및 파괴양상은 거의 동일한 경향을 나타내었다.

참 고 문 헌

1. 김무한 (1998) 건설폐기물 및 재생골재 콘크리트. 한국콘크리트학회지, 제 10권 6호.
2. 홍경옥 (1999) 전단철근비 및 압축강도에 따른 철근콘크리트 보의 전단강도 및 전단파괴해석. 석사학위논문, 서울대학교
3. 윤진수 (1999) 재생콘크리트보의 휨 및 전단거동에 대한 실험연구. 석사학위논문, 중앙대학교.
4. 주봉철 (2000) 재생골재를 사용한 철근콘크리트 보의 휨 및 전단거동 특성. 석사학위논문, 충북대학교.
5. 윤건호 (2001) 재생 굵은골재를 사용한 철근콘크리트 보의 전단거동에 관한 실험연구. 석사학위논문, 전주대학교
6. 임남웅 (2001) 폐콘크리트는 자원이다. 월간녹색21, 1-2월호.
7. 황충렬 외 (1996) 재료역학. 반도출판사
8. A.L.L. Baker (1971) Shear Failure of Reinforced Concrete Beams, ACI JOURNAL, pp763-773
9. Mukai, T., et al. (1979), study on reuse of waste concrete for aggregate of concrete. paper presented at seminar on Energy and Resources Conservation in Concrete Technology, Japan-US Cooperative Science Programme, San Francisco.
10. Mukai, T., Kikuchi, M., and Ishikawa, N. (1978), Study on the properties of concrete containing recycled concrete aggregate. Cement Association of Japan, 32nd Review,(in English).
11. Regina Helena F. Souza, Julio Appleton (1997) Behaviour of Shear-Strengthened Reinforced Concrete Beams, RILEM, Materials and Structures, Vol. 30, pp81-86
12. Andrew G. Mphonde and Gregory C. Frantz (1984) Shear Tests of High-and Low-Strength Concrete Beams Without Stirrups, ACI JOURNAL TECHNICAL PAPER, pp81-32
13. Peter Marti (1999) How to Treat Shear in Structural Concrete, ACI JOURNAL TECHNICAL PAPER, pp408-413
14. Michael P. Collins et al. (1996) A General Shear Design Method, ACI JOURNAL TECHNICAL PAPER, pp36-44
15. R. Park and T. Paulay (1975) Reinforced Concrete Structure. WILEY-INTERSCIENCE PUBLICATION
16. T.C. Hansen (1992) Recycling of Demolished Concrete and Masonry. E & FN SPON
17. A. M. Neville (1997) Properties of Concrete. WILEY.
18. M. Nadim Hassoun (1998) Structural Concrete(Theory and Design). ADDISON-WESLEY