

굴폐각을 사용한 철근콘크리트 보의 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Structural Characteristics of Reinforced Concrete Beams Containing Oyster Shells

이 상 철* 우 송 규** 안 용 덕** 전 학 수*** 구 해 식****
Lee, Sang-cheol Woo, Song-gyu An, Yong-deok Jun, Hak-su Koo, Hae-shik

Abstract

This is an experimental study on the structural characteristics of reinforced concrete beams using of the oyster shells as a substitute fine aggregate of concrete. In this study, the main factors consist of the grain sizes and the percentage of substitution of oyster shells to fine aggregate in the equal water cement ratio. The results of the study showed as followed. The initial load value of them represented similar constant within 10% of the maximum load value in each test beam. But the maximum load value and the ultimate load value decreased with increased grain size and the rate of substitution. As the grain size of oyster shells became smaller, the load values of them were somewhat higher. The deflection among deformation properties of reinforced concrete beams with oyster shells represented typical curves like that of normal reinforced concrete. In the deformation of steel and concrete, the deformation was proportionated to the load till yield point and from yield point until approaching the ultimate load point. One type was typical curve of the load and the deformation and the other type irregularly was changed to very small deformation for the load increase centering around load axis. After the analyzing structural behaviors and the properties of reinforced concrete test beams with oyster shells, the most excellent grain size of oyster shells represented 1.0mm and less or 5.0mm and less with taking uniformly, and the percentage of practicable substitution of them to fine aggregate was about 30%.

키워드: 구조적 특성, 굴폐각, 폐각크기, 대체율

Keywords: Structural Characteristics, Oyster Shells, Grain sizes, Percentage of Substitution

1. 서 론

우리나라 남해안 경남지역의 통영, 거제, 고성군 연안 일대에서의 굴양식사업에 대한 폐각 처리 문제는 매우 부실한 상태이다. 경상남도 통계¹⁶⁾에 의하면 연간 약 24만톤의 굴폐각이 발생하고 있는데 이중 약 6만톤 정도는 굴채묘종과 폐각비료 등으로 활용되고 있고 또한 약 6만톤은 공유수면 매립에 사용되고 있으며 나머지는 미처리되는 실정인데 이의 대부분은 불법 매립이나 주변에 야적하는 형식으로 처리되어 매립시 누출수로 인한 환경오염과 불법 야적으로 인한 미관상 위해(危害) 및 심한 악취로 주거환경에 지대한 악영향을 미치고 있다.

이러한 굴폐각의 주성분은 석회석과 동일하게 대부분 방해석구조의 탄산칼슘으로 되어 있지만 치밀질 암석상

인 석회석과는 달리 매우 활성이 큰 미구조로 이루어져 있어서 시멘트와의 수화반응과 부착성상의 어려움이 없을 것으로 판단되므로 굴폐각을 적절한 크기로 분쇄한 후 입도를 조절하면 콘크리트 골재로서의 사용 가능성이 있을 것으로 보여진다.

굴폐각을 사용한 콘크리트 관련 기존 논문들의 대부분은 굴폐각 대체율 변화에 따른 굳지 않은 콘크리트의 특성과 경화한 콘크리트의 역학적 특성, 내구성에 미치는 영향을 분석·검토^{6~9)}하였고 이후 이들 내용들을 아주 세밀하게 세분화하여 굴폐각 입도크기, 배합종류, 물시멘트비, 대체율 변화 등에 대해 굴폐각을 사용한 콘크리트의 시공연도 및 제반 강도들에 대한 기본 특성과 굴폐각의 콘크리트의 탄성계수 등을 연구^{1,2)}하였으나 굴폐각을 간골재 대체재로 사용하여 철근콘크리트 보의 특성에 대한 연구는 전무이다.

그래서 본 연구에서는 건축물의 주요구조 부재중 보에 대해 굴폐각을 사용한 철근콘크리트 보의 메카니즘과 이에 수반되는 구조적 특성을 연구하여 굴폐각을 사용한 철근콘크리트의 주요구조 부재들에 대해 많은 기초자료를 제공하고 환경적 측면 및 자원 재활용 측면과 함께

* 경남대학교 대학원 박사과정
** 경남대학교 대학원 박사수료
*** 영광건설주식회사 대표이사, 공학박사
**** 교신저자, 경남대 건축학부 교수, 공학박사
(koo@kyungnam.ac.kr)
이 연구결과물은 2006년도 경남대학교 학술진흥연구비 지원에 의하여 이루어 졌음.

굴패각 처리에 일익을 담당하고자 한다.

2. 실험

2.1 시험체 설계

본 연구의 굴패각 철근콘크리트 보 설계는 보단면에 대한 휨모멘트와 전단력 크기를 계산하여 예상 파괴하중을 예측하고 이로부터 소요 철근을 배근한 후 파괴실험을 실시하여 굴패각 함유량 변화에 대한 철근콘크리트 보의 구조적 거동과 특성변화를 연구한다.

실험에서 사용한 굴패각 철근콘크리트 보 시험체는 극한강도설계법에 의해 설계·제작하며 보 크기는 실험실의 후레임 시스템(Frame System)에 적합한 실대형 축소 크기로서 모두 폭 $b=150\text{mm}$, 총 $D=200\text{mm}$, 길이 $L=1,500\text{mm}$ 로 하였다. 시험체 사용 철근은 SD300 이형 철근으로 주근은 복근으로 하며 상부근과 하부근은 각각 2-D10, 2-D13을 사용하였다. 그리고 스티럽은 $\Phi 6$ 을 사용하여 단부에는 80mm, 중앙부에는 150mm 간격으로 배근하였으며 피복 두께는 모두 25mm로 하였다. 보의 연단부의 상·하부 주근은 모두 후크(hook)를 설치하여 재하시 주근의 슬립현상 예방과 철근의 정착길이를 확보하였다. 그림 1은 시험체의 형상과 치수 그리고 철근 배근도를 나타낸 것이다.

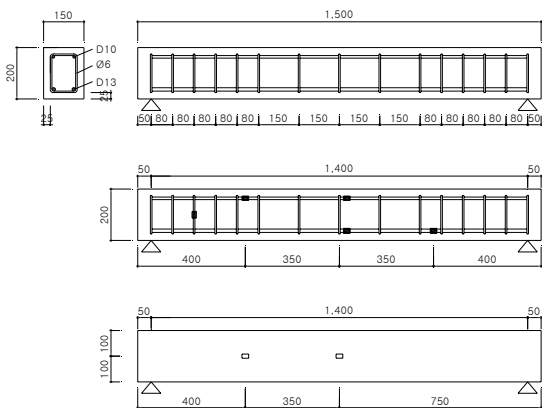


그림 1. 시험체의 상세도(mm)

또한 재하시 철근과 콘크리트의 변형을 측정하기 위해 철근의 상부근에는 스패의 1/4 및 1/2 위치에, 하부근에는 1/2 및 3/4에 위치에 각각 2개소씩, 그리고 스티럽에서는 지점에서 160mm 위치한 스티럽 중심부 1개소에 스트레인게이지(straingage)를 부착하였고 콘크리트는 시험체 제작·양생후 상부근과 동일 위치의 콘크리트면 2개소에 스트레인게이지를 부착하였다.

2.2 재료의 성질

2.2.1 시멘트

본 실험에서 사용한 시멘트는 KSL 5201에 규정된 국내 S사의 제1종 보통 포틀랜드 시멘트로 시멘트의 화학적 성질 및 비중은 표 1과 같다.

표 1. 시멘트의 화학적 성분 및 비중^{1,2)}

화학적 성분 (%)								비중
Ig loss	Insol. residue	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	
0.9	0.1	20.9	3.2	6.0	62.6	3.3	2.3	3.14

2.2.2 골재 및 굴패각

잔골재는 경남 하동산 강모래로 전체 모래에서부터 이 물질과 먼지를 완전 제거한 후 사용하였으며 굵은골재는 최대치수 19mm이하의 함안 석산의 화강암 쇄석을 물로 세척한 후 자연상태로 건조시켜 사용하였다. 표 2는 해당 골재의 물리적 성질을 나타낸 것이다.

표 2. 골재의 물리적 성질^{1,2)}

골재	비 중			조립율	흡수율 (%)	단위용적 중량 (kg/m ³)
	겉보기 상태	절대건조 상태	표면건조 포화상태			
잔골재	-	-	2.59	1.85	1.61	1652
굵은골재	2.737	2.658	2.687	6.67	1.09	1551

굴패각은 남해지역 해안에서 굴양식 부산물로 발생된 폐기 패각을 채취하여 세척한 뒤 강력한 통풍으로 먼지를 제거하고 110±10℃ 건조로에서 24시간 건조시킨 후 분쇄하여 5.0mm, 3.0mm, 1.0mm 표준체를 각각 순차적으로 이용하여 입도크기를 분류하였다. 표 3은 사용한 굴패각의 물리적 성질을 나타낸 것이다.

표 3. 굴패각의 물리적 성질^{1,2)}

입도 크기	비중			흡수율 (%)	단위용적 중량 (kg/m ³)	실적율 (%)
	절대 건조	표면건조 포화	겉보기			
5.0~3.0mm	2.27	2.36	2.50	3.90	914.9	40.3
3.0~1.0mm	2.27	2.38	2.54	4.45	938.9	41.4
1.0mm이하	2.28	2.41	2.61	5.21	1050.7	46.1
평균	2.27	2.38	2.55	4.52	968.2	42.6

2.2.3 철근

본 실험에 사용된 철근은 SD300의 이형철근으로 하부근 D13, 상부근 D10, 늑근은 $\Phi 6$ 을 사용하였고 KS B 0801 급

표 4. 사용철근의 기계적 성질

종류	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)
D13	370	505	28.6
D10	378	515	27.5
$\Phi 6$	424	689	26.2

속재료 인장시험편 규격, KS B 0802 금속재료 인장시험방법에 의해 각각 3개씩의 시험편을 제작한 후 시험을 실시하여 사용 철근의 재료적 특성을 파악하였다. 표 4는 사용 철근의 기계적 성질을 나타낸 것이다.

2.3 배합설계

본 실험의 시험체 제작에 사용한 콘크리트의 설계기준 강도에 있어서는 기존 연구들^{1, 2)}로부터 물시멘트비 W/C=60%에서, 그리고 굴패각 혼합율이 30%에서 $f_{ck} = 18.0\text{MPa}$ 이 되도록 배합설계를 하였는데 표 5는 본 실험의 배합설계를 위한 굴패각 입도크기 및 혼합율에 대한 전체 계획표이며 표 6은 실험에 사용된 시험체의 콘크리트 배합설계표이다.

표 5. 입도크기와 혼합율에 대한 전체 계획

입도크기 혼합율	5.0mm 이하	5.0~3.0 mm	3.0~1.0 mm	1.0mm 이하
0%	○	○*	○*	○*
10%	○	○	○	○
20%	○			
30%	○	○	○	○
40%	○			
50%	○			

*기준보 IIA0 실험치를 활용함
시험체 전체 개수: 12개(재령 28일 기준)

여기서 배합설계의 주요 변수는 동일 물시멘트비에 있어서 굴패각 입도크기, 굴패각 혼합율로 하며 이에 대해 각각 1개씩만 선택·제작하여 본 실험의 시험체 수는 모두 12개이다.

표 6. 콘크리트 배합설계표

시험 체명	굴패각 혼합율 (%)	단위중량(kg/m ³)					비 고
		물	시멘트	굴패각	모래	자갈	
IIA0*	0	201	335	0	759	1,518	*기준보
IIA10	10	201	335	76	681	1,518	
IIA20	20	201	335	152	607	1,518	
IIA30	30	201	335	228	531	1,518	
IIA40	40	201	335	304	455	1,518	
IIA50	50	201	335	379	380	1,518	
IIB10	10	201	335	76	681	1,518	
IIB30	30	201	335	228	531	1,518	
IIC10	10	201	335	76	681	1,518	
IIC30	30	201	335	228	531	1,518	
IID10	10	201	335	76	681	1,518	
IID30	30	201	335	228	531	1,518	

II: W/C=60%, A:5.0mm이하, B:5.0~3.0mm, C:3.0~1.0mm, D:1.0mm이하
숫자: 굴패각 혼합율(예: 30→혼입율 30%)

본 시험체 제작시 사용한 굴패각의 건조상태는 표면건조상태로 하고 먼저 각 재료에 대한 사용량을 정확히 개량한 후 굵은골재, 잔골재, 굴패각, 시멘트의 순으로 넣고 1분정도 고르게 건비빔한 후 필요량의 물을 추가하여 약 4~5분간 재료가 균질하게 배합될 수 있게 하였으며 해당 시험체 제작시 공시체를 KS F 2403 공시체 제작 및 양생방법에 따라 제작 및 양생을 하였다. 이때 혼합방법은 작업 능률 향상을 위하여 강제식 믹서기를 사용하지 않고 직접 손비빔으로 혼합하여 제작하였는데 손비빔시

측정한 물의 양이 유실되지 않도록 주의하면서 작업을 실시하였다.

콘크리트 타설은 피복두께를 유지하기 위해 거푸집에 스페이스를 설치하고 조립한 철근을 넣은 후 타설하였으며 타설 후에는 비닐을 사용하여 콘크리트의 습윤상태를 유지시키고 콘크리트가 경화하여 충분한 강도가 생길 때까지 건축학회 표준시방서 규정에 따라 존치한 후 건조균열이 발생하지 않도록 자주 살수하여 실험실의 상온에서 자연건조상태로 양생하였다.

본 굴패각 콘크리트 보 실험에 있어서 기준 시험체인 IIA0 시험체의 콘크리트 공시체 시험결과 그의 품질은 다음과 같다.

4주 압축강도 $f_{ck} = 18.62\text{MPa}$, 콘크리트 탄성계수 $E_c = 1.70\sim 2.27 \times 10^4 \text{MPa}$, 슬럼프 120mm, 굵은골재 최대치수 25mm, 재령 28일~36일이상, 공기량 4.10%

2.4 실험방법

본 실험을 위한 각종 시험방법은 KS기준에 의하여 실시하였으며 각 시험체의 시험은 그림 2와 같이 프레임 시스템(frame system)에 단순지지 상태로 정확하게 시험체를 설치하여 1점 집중재하 가력방법을 취하였다.

재하방법은 재하속도를 30kN/min으로 일정하게 유지하면서 최대하중시까지 0.2tonf 단위의 하중제어방식으로, 최대하중 이후에는 변위 2.0mm마다 데이터를 측정하는 변위제어방식으로 시험체가 완전파괴되는 극한하중 때까지 재하하였으며 가력기(actuator)에 부착된 20tonf 규모의 로드셀로 정밀 하중을 측정하였다.

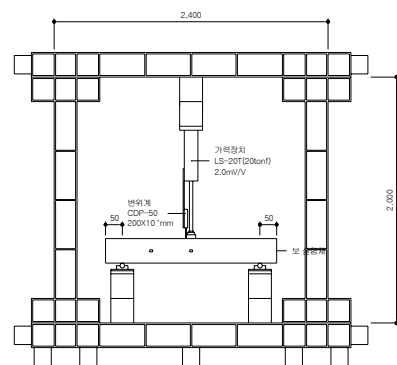


그림 2. 시험체 설치 및 재하장치

시험체들의 변위는 가력점 중앙부 1개소로 가력기에 변위계(LVDT)를 설치하여 가력하중에 의한 최대처짐을 측정하였고 가력하중에 의한 철근 변형 및 콘크리트 변형은 지정된 위치에 게이지를 정확히 부착하여 변형도를 측정하였다. 실험 데이터는 컴퓨터에 데이터 로거(data logger)로 연결하여 수집하여 그림 및 표작업을 할 수 있도록 변환·처리하였다.

또한 시험체의 균열 모드를 관찰하기 위해서 시험체에

흰색으로 페인팅한 후 10cm, 또는 5cm간격으로 격자형으로 줄을 그어 균열을 쉽게 관찰할 수 있게 하고 재하하중 단계마다 직접 보 측면에 균열 진전과정을, 그리고 발생 균열 끝에 하중치를 기록하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 시험체의 하중 최대크기

표 7은 시험체의 시험 결과를 정리하여 시험체의 초기 균열하중과 최대하중, 극한하중을 나타낸 것이다. 표 7의 실험체명에 대한 하중값은 측정된 실험 데이터로부터 구하였으며 해당 데이터들이 2개이상 있을 경우 그 값에 대한 제일 큰 하중값을 선택하여 정리하였다.

표 7. 시험체 초기균열하중 및 최대하중(kN)

실험체명	P_{cr}	P_{max}	P_u	$\frac{P_{cr}}{P_{max}}$	$\frac{P_{cr}}{P_u}$	$\frac{P_{max}}{P_u}$	$\frac{P_{cr}}{P_{b,cr}}$	$\frac{P_{max}}{P_{b,max}}$	$\frac{P_u}{P_{b,max}}$
IIA0*	19.61	49.03	53.74	0.400	0.365	0.912	1.00	1.00	1.000
IIA10	20.59	43.15	44.23	0.477	0.466	0.976	1.05	0.88	0.823
IIA20	20.59	38.25	40.31	0.538	0.511	0.949	1.05	0.78	0.750
IIA30	19.61	37.27	41.09	0.526	0.477	0.907	1.00	0.76	0.765
IIA40	21.57	34.32	43.35	0.629	0.498	0.792	1.10	0.70	0.807
IIA50	19.61	33.34	36.58	0.588	0.536	0.912	1.00	0.68	0.681
IIB10	22.56	44.13	46.58	0.511	0.484	0.947	1.15	0.90	0.867
IIB30	24.52	44.13	51.19	0.556	0.479	0.862	1.25	0.90	0.953
IIC10	19.61	39.23	41.48	0.500	0.473	0.946	1.00	0.80	0.772
IIC30	21.57	37.27	54.72	0.579	0.394	0.681	1.10	0.76	1.018
IID10	18.63	48.05	51.19	0.388	0.364	0.939	0.95	0.98	0.953
IID30	20.59	39.23	46.39	0.525	0.444	0.846	1.05	0.80	0.863

P_{cr} : 초기균열하중 P_{max} : 최대하중 P_u : 극한하중
 $P_{b,max}$: 기준보의 최대하중 $P_{b,cr}$: 기준보의 극한하중

초기균열하중 크기범위는 19.61~23.54kN으로 각 시험체 보의 최대 및 극한하중 크기의 약 1/2정도에서 발휘하고 있으며 특히 입도크기 5.0mm이하의 시험체 보에서는 최대 10%정도의 오차 범위로 시험체의 초기균열하중에 대해서는 거의 동일한 크기를 보이고 있다. 이러한 초기균열하중은 표 7로부터 입도크기 및 굴패각 혼입율에 거의 영향을 받지 않는 것으로 나타났는데 이러한 사실로부터 굴패각을 적절한 크기로 분쇄하여 콘크리트에 사용할 수 있음을 시사하고 있다. 최대하중 크기범위는 33.34~49.03kN으로 기준보의 최대하중 값이 제일 높고 입도크기 5.0mm이하, 굴패각 혼입율 50%의 경우가 제일 낮은 최대하중을 나타내었다.

그림 3~5는 표 7로부터 굴패각 혼입율과 W/C, 입도크기별 보 시험체들에 대한 하중크기를 나타낸 것이다. 그림 3은 W/C 60%에 있어 입도크기 5.0mm이하 경우 굴패각 혼입율 10%씩 증가에 대한 하중크기를 나타낸 것이

며 그림 4는 동일 W/C에서 각각 입도크기 5.0~3.0mm,

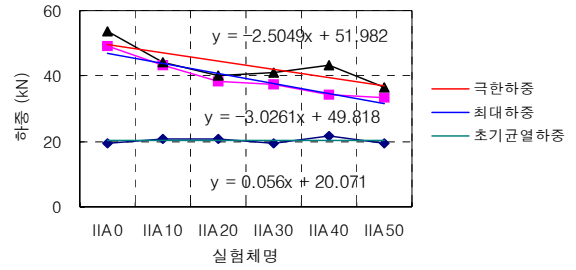
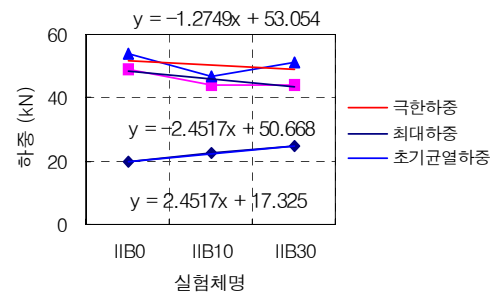
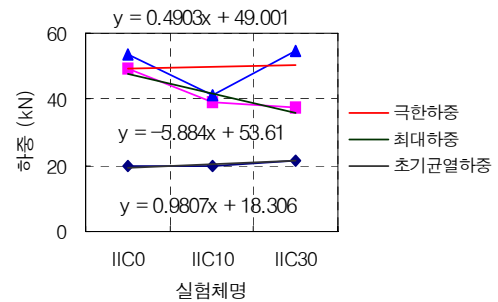


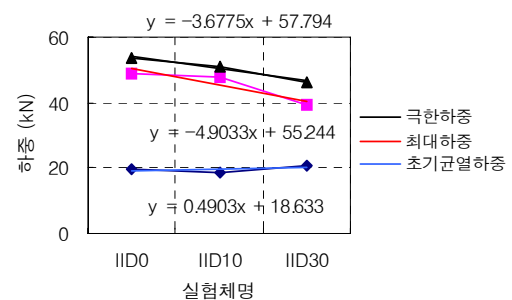
그림 3. 혼입율별 하중크기 I (W/C=60%, 입도크기: 5.0mm이하)



(a) 입도크기: 5.0~3.0mm



(b) 입도크기: 3.0~1.0mm



(c) 입도크기: 1.0mm이하

그림 4. 혼입율별 하중크기 II

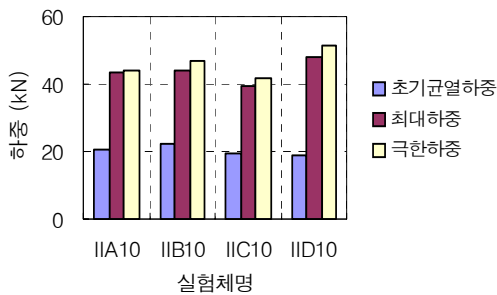
3.0~1.0mm, 1.0mm이하에 대해 굴패각 혼입율 20%씩 증가에 대한 하중크기를 나타낸 것으로 입도크기 5.0mm이하 경우 이들 최대하중 값에 대한 측정치들을 회귀분석한 결과 다음과 같은 식을 구하였다.

$$P_{max} = - 3.0261x + 49.818 \quad (x: \text{혼입율})$$

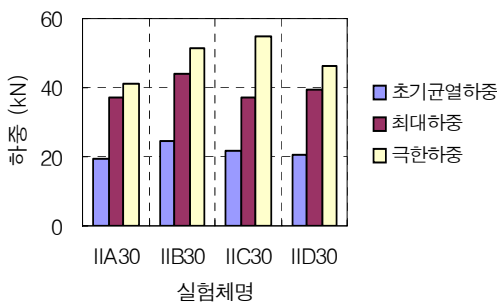
그리고 다른 입도크기에 대해서도 회귀분석한 결과 최대하중 크기는 굴패각 혼입율이 증가하면 할수록 감소하여 입도크기 3.0~1.0mm 경우 기울기 값이 제일 큰 값 $k = 5.88$ 을 보였고 입도크기 5.0~3.0mm 경우 기울기 값이 제일 작은 값 $k = 2.45$ 를 나타내었으며 대부분 실험식의 절편값은 49.82~55.24로 거의 유사한 값을 보였다.

여기서 기울기 값이 크다는 것은 굴패각을 사용한 콘크리트 보 시험체의 저항할 수 있는 최대하중 크기 변화가 해당 크기의 굴패각을 많이 혼합하여 사용하면 할수록 보의 능력이 크게 저하됨을 의미하고 기울기 값이 작다는 것은 보의 능력 저하가 완만함을 나타내므로 최대하중 값이 크므로 기울기 값이 작은 입도크기를 사용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

그림 5는 굴패각 입도크기 및 W/C에 대한 보 시험체들의 최대하중 크기를 나타낸 것으로 그림으로부터 굴패각 혼입을 변화에 있어서 입도크기 5.0~3.0mm의 경우 같은 크기의 최대하중을 나타내었으나 일반적으로 굴패각 혼입을 증가에 따라 시험체 보의 최대하중 크기는 감소함을 보였다.



(a) 혼입율: 10%



(b) 혼입율: 30%

그림 5. 입도크기별 하중크기

또한 시험 보의 최대하중은 굴패각 혼입율에 대해서도 입도크기 변화에 대한 보의 능력에는 지대한 영향을 미치지 않으나 입도크기 1.0mm이하의 경우 대체로 입도크기가 작을수록 최대하중 크기가 큰 것을 알 수 있는데 이것은 굴패각 입도크기가 작으면 작을수록 굴패각 흡수율의 영향은 있겠지만 밀실한 콘크리트를 얻을 수 있어 콘크리트의 압축강도가 우수해지기 때문으로 판단된다.

극한하중 값은 36.58~54.72kN으로 최대하중 값보다 평균 17.83%정도 더 크게 나타났으며 동일 입도크기에 대해 굴패각을 많이 혼입하면 할수록 보의 극한하중 능력이 다소 저하됨을 알 수 있다.

3.2 균열 및 파괴상황

그림 6은 본 실험에서 실시한 시험체들의 균열 상황도를, 표 8은 시험체별 최대균열폭과 파괴양상을 간단히 나타낸 것이다. 그리고 사진 1과 2는 실험한 전형적인 균열 파괴양상들을 나타내고 있다.

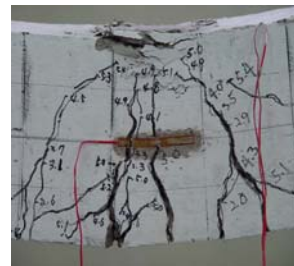


사진 1. 휨균열 파괴



사진 2. 사인장균열 파괴

여기서 굴패각을 혼합하지 않은 기본보의 균열양상은 초기균열이 보의 하중작용점을 중심으로하여 좌측과 우측 방향으로 각각 보춤 길이 정도의 거리 약 40cm 주요 범위내에서 휨균열이 집중적으로 발생한 후 하중이 증가함에 따라 주요 범위의외에도 미세균열들이 더욱 많이 발생하여 증가하며 초기 발생한 균열들은 하중 작용점

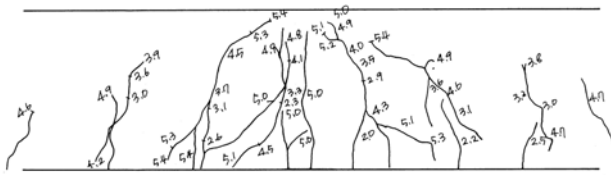
표 8. 시험체 최대균열폭 및 파괴양상(mm)

실험체명	W_{max}	파괴양상
IIA0*	5.0	· 일반적인 균열형태 양상 · 중앙 하부 수직균열로 파괴, 이분화됨
IIA10	5.0	· 좌측면 사인장균열로 파괴
IIA20	3.5	· 균열범위 좁음, 중앙 하부 균열
IIA30	3.0	· 좌측면 균열 많이 형성, 중앙부에서 파괴
IIA40	3.5	· 중앙 하부 균열, 사인장 균열 파괴
IIA50	4.2	· 간단명료한 파괴양상, 균열범위 좁음
IIB10	5.2	· 중앙 하부 균열 파괴
IIB30	6.0	· 기본 범위내의 주요 균열, 사인장 균열 파괴
IIC10	5.0	· 중앙 하부 균열 파괴, 균열 범위 30cm내 주요 균열
IIC30	5.4	· 균열 범위 30cm내 두가지 균열 파괴
<td>5.0</td> <td>· 중앙 우측 균열 확장으로 파괴</td>	5.0	· 중앙 우측 균열 확장으로 파괴
IID30	3.0	· 균열양상 단순함, 좌우측 균열로 파괴

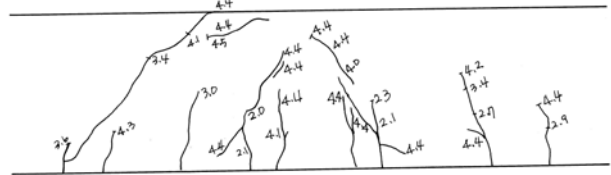
*기준보, W_{max} : 최대균열폭

로 향해 점차 진행 · 성장하여 파괴에 도달하게 된다. 이러한 패턴은 굴패각을 사용한 콘크리트에서는 더욱 현저하게 나타나는데 이것은 잔골재 대체제로 사용한 굴패각 함유량의 증가로 콘크리트의 강도가 떨어져 균열을 억제하는 성능이 저하하기 때문으로 판단된다.

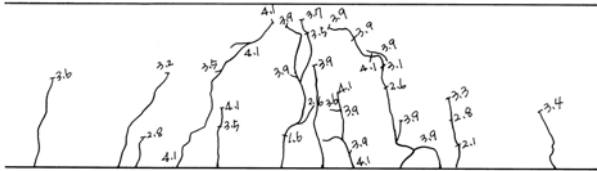
그리고 대부분 시험체 보들은 초기균열 발생 후부터 중앙 하중작용점으로 진전하여 극한하중에 도달하면서



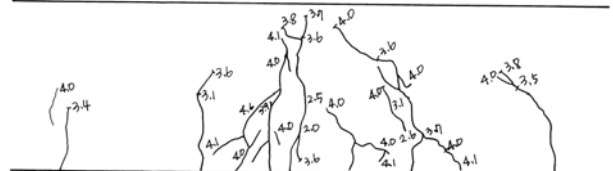
(a) 시험체 IIA0



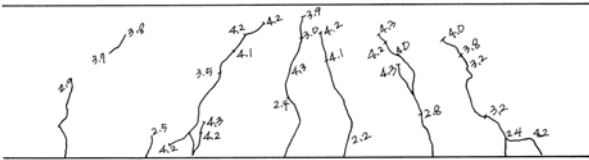
(b) 시험체 IIA10



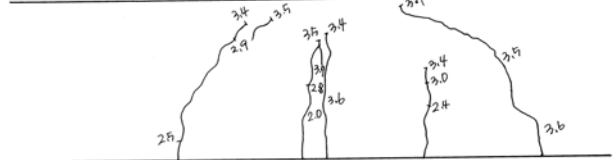
(c) 시험체 IIA20



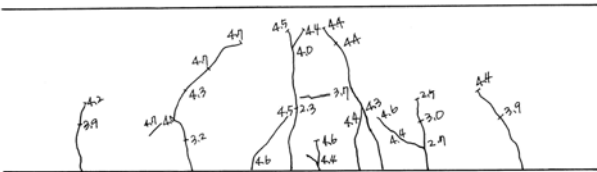
(d) 시험체 IIA30



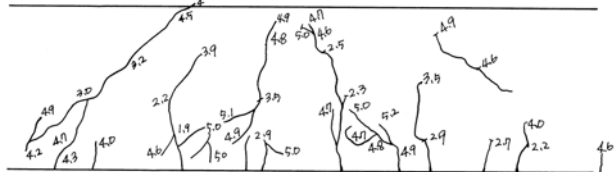
(e) 시험체 IIA40



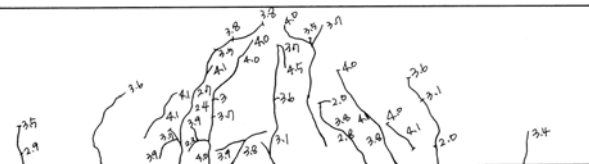
(f) 시험체 IIA50



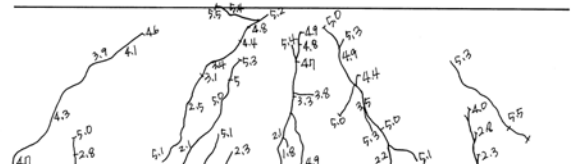
(g) 시험체 IIB10



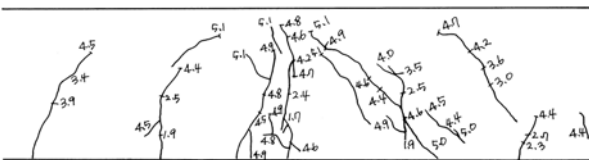
(h) 시험체 IIB30



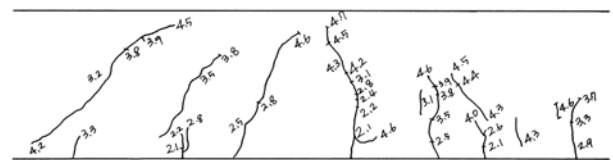
(i) 시험체 IIC10



(j) 시험체 IIC30



(k) 시험체 IID10



(l) 시험체 IID30

그림 6. 시험체 균열도

보의 능력을 잃고 파괴되며 하중작용점 주위에는 작용 하중으로 인해 콘크리트 피복 부분이 압괴되거나 조금 떨어져 나갔다.

3.3 변형특성

그림 7~10은 각 시험체별 측정된 많은 데이터들을 기본적으로 표현 가능한 필요 하중들에 대해 각 측정점 별

로 정리하였는데 측정 데이터에서 동일 하중값에 대한 해당 데이터들이 2개이상 있을 경우 그중 제일 큰 값을 선택하여 그림으로 나타낸 것이다.

3.3.1 하중과 처짐

그림 7은 시험체 보의 지간 중심에서 측정한 하중과 처짐 곡선을, 그림 8은 이의 하중 중별에 대한 처짐비 관계를 나타낸 것이다.

여기서 각 시험체들의 처짐곡선은 대체로 전형적인 모양으로 항복 처짐까지 거의 유사한 형태를 나타내었다. 대부분의 처짐은 초기인장균열 발생전까지 처짐량은 비슷하며 하중이 증가함에 따라 절곡된 선의 기울기가 커지고 처짐의 증가율과 강성의 저하율이 증대됨을 알 수 있으며 항복하중에 도달한 뒤 유사한 기울기로 극한하중으로 향하고 있다.

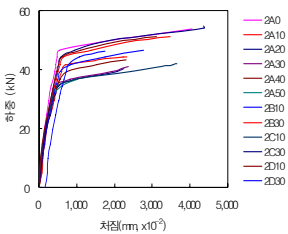


그림 7. 중앙부 처짐곡선

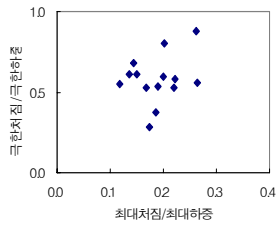
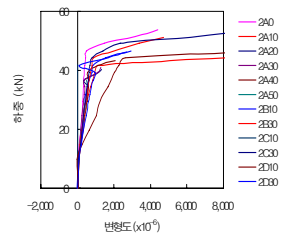


그림 8. 처짐/하중비에 대한 분포도

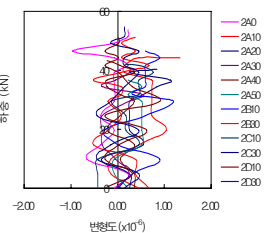
그림 8은 각 하중별에 대한 처짐비 관계를 도시한 것으로 여기서 굴괘각 혼입율이 높은 시험체에서 제일 낮은 분포에 위치하는 반면 입도크기를 3.0~1.0mm로 사용한 시험체에서 높은 분포에 위치하며 대부분 시험체 보들은 극한하중에 대한 극한처짐의 비가 0.52~0.68의 크기에 위치하고 있다.

3.3.2 철근 변형도

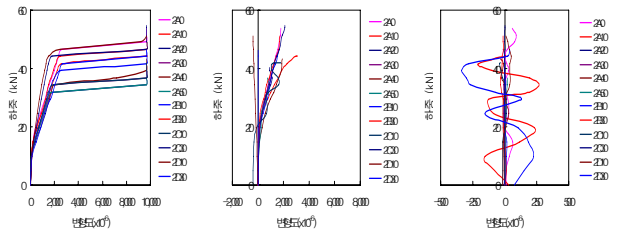
그림 9는 철근의 측정 위치별 하중과 변형도 곡선을 나타낸 것으로 그림 9의 (a)와 (c), (d)의 변형도는 하중이 커짐에 따라 비례적으로 변형도도 증가하는 전형적인 양상을 보이고 있다.



(a) 상부중앙 주근



(b) 상부단부 주근



(c) 하부중앙 주근 (d) 하부단부 주근 (e) 늑근
그림 9. 철근 변형도 곡선

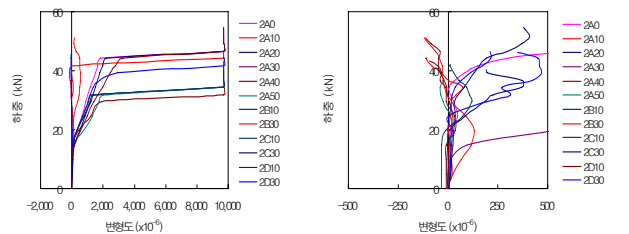
여기서 변형도는 인장균열 발생전까지 거의 일정한 기울기를 보이다가 이후부터 항복하중 도달까지 굴괘각 혼입율에 의한 보의 특성에 따라 각각의 기울기로 나타나다가 극한하중에 도달하여 파괴에 이르게 된다.

그러나 그림 9의 (b)와 (e)의 변형도는 곡선 초기 균열 발생 전·후부터 시작하여 하중의 증가와 함께 불규칙적으로 변할 뿐만 아니라 각 시험체 중별에 관계없이 변형도 대단히 복잡하며 그림 형태도 기복이 심하고 자유롭게 나타났으나 이들 변형도의 절대값 크기는 일정한 범위내에 있으므로 더 많은 응력을 수용할 수 있는 여력이 있는 것으로 판단된다. 그리고 늑근에 있어서는 다른 측정된 철근들에 비해 변형값이 크지 않고 하중축을 중심으로 변화하는데 대부분 시험체들이 불규칙적인 변형을 나타내었다.

3.3.3 콘크리트 변형도

그림 10은 콘크리트의 하중과 변형도 곡선을 나타낸 것으로 콘크리트의 중앙 중심에서 측정한 중앙부의 하중·변형도 곡선은 철근의 주근 변형도와 같이 하중이 증가함에 따라 변형도도 증가하는 전형적인 양상을 보이며 초기균열하중 이전까지는 거의 변형을 일으키지 않다가 초기균열이 발생한 후부터 각 시험체들의 항복점을 기준으로 기울기를 형성한 뒤 극한변형을 하면서 극한하중에 도달하게 된다.

그러나 단부에서의 변형도는 규칙성이 없이 형성되는 시험체도 있지만 대체로 하중축을 중심으로 변형을 보이



(a) 중앙부 (b) 단부

그림 10. 콘크리트 변형도 곡선

고 있는데 이러한 현상은 콘크리트의 재료의 비균질성과 비선형의 탄성계수 등 콘크리트의 특성 때문인 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에 있어서 굴폐각을 사용한 철근콘크리트 부재인 보에 대한 구조적 특성에 관한 실험 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 굴폐각을 사용한 철근콘크리트 보의 초기균열은 굴폐각 입도크기 그리고 혼입율에 거의 영향을 받지 않으며 이의 하중크기는 각 시험체의 최대하중 크기의 10%이내 범위로 거의 일정하게 나타났다. 그러나 최대하중과 극한하중 크기는 혼입율이 증가할수록 감소하며 입도크기도 작을수록 하중 크기는 다소 증가하는 것으로 나타났다.
- 2) 굴폐각 철근콘크리트 보의 변형 특성중 처짐은 일반적인 철근콘크리트 보와 같이 전형적인 양상을 나타내며 철근 및 콘크리트의 변형도에서는 하중과 변형도가 비례하면서 항복점까지 형성한 후 극한하중에 도달하는 전형적인 변형 양상과 하중증가에 대한 변형도 값이 미소하여 하중축을 중심으로 불규칙적으로 변하면서 극한변형에 도달하는 두가지 유형이 나타났다.
- 3) 본 실험으로부터 회귀분석한 결과 굴폐각 혼입율 증가에 대한 최대하중크기 관계식은 다음과 같다.

$$P_{max} = - 3.0261 x + 49.818 \quad (x: \text{혼입율})$$
- 4) 실험한 굴폐각 콘크리트 보의 구조적 거동과 특성들을 모두 종합·분석한 결과 굴폐각을 잔골재 대체재로서 가장 이상적인 굴폐각 입도크기와 혼입율 정도는 일반적으로 입도를 균등하게 취한 5.0mm이하 또는 1.0mm이하이며 약 30%까지 대체 가능한 정도임을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 전학수, 구해식, “굴폐각을 사용한 콘크리트의 강도발현에 관한 실험적 연구”, 한국구조물진단학회지, 제10권 663호, pp. 137~146, 2006
2. 전학수, 구해식, 안용덕, “굴폐각 콘크리트의 기본특성에 관한 연구”, 한국구조물진단학회지, 제9권 3호, pp. 169~177, 2005
3. 김정섭, 신용석, “고막 폐각을 잔골재로 사용한 철근콘크리트 보의 전단 거동에 관한 연구”, 한국건축시공학회논문집, 제4권 제2호, pp. 89~95, 2004
4. 김정섭, 김광섭, 김관선, “고막 폐각의 콘크리트 잔골재로 재활용 방안에 관한 연구”, 한국건축시공학회논문집, 제4권 1호, pp. 141~146, 2004
5. 김정섭 외 4인, “폐각류가 함유된 철근콘크리트 보의 내력 및 거동에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회논문집 구조계, 20권 1호, pp. 67~74, 2004

6. 양은익 외 3인, “굴폐각을 잔골재로 대체 사용한 콘크리트의 장기성능 평가”, 한국콘크리트학회논문집, 제15권 2호, pp. 280~287, 2003
7. 박상규 외 3인, “굴폐각을 혼합한 시멘트 혼합체의 압축강도 특성 연구”, 대한토목학회논문집, 제23권 2B호, pp. 129~138, 2003
8. 어석홍, 황규한, 김정규, “콘크리트용 골재로써 굴폐각의 활용”, 한국콘크리트학회논문집, 제14권 4호, pp. 540~548, 2002
9. 양은익, 윤길림, 심재설, “굴폐각을 혼합한 콘크리트의 역학적 특성조사”, 대한토목학회논문집, 제21권 6-A호, pp. 773~784, 2001
10. 한국콘크리트학회, “콘크리트 구조설계기준·해설”, 기문당, 2000
11. 대한건축학회, “건축재료”, 기문당, 1997
12. 정일영 외 2인, “건축재료실험”, 형설출판사, 1990
13. 건설폐기물재활용연구단, “건설폐기물 재활용 정책 및 기술 개발 동향”, 주택도시연구원, 2006, 6
14. 한국골재협회, “2001 시도별 골재수급계획”, 2001
15. 건설교통부 골재수급기본계획, “해사의 채취량과 의존도”, 2001
16. 통계청, “어업생산통계”, 통계청, 2000