

패각류를 잔골재 대체재로 사용한 철근콘크리트 기둥의 내력 및 거동에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Strength and Behavior of Reinforced Concrete Columns Containing Shells Substituted a Fine Aggregate

구 해 식*
Koo, Hae-Shik

Abstract

This is an experimental study on the maximum load value and structural behavior of reinforced concrete columns containing shells as a substitute fine aggregate of concrete, through making reinforced concrete test columns with shells. In this study, the main factors consist of the grain sizes and the percentage of substitution of shells to fine aggregate in two kinds of water cement ratio. The results of the study showed as followed. The maximum load value decreased with increased the rate of substitution about shells and as the grain size of shells became smaller, the load values of them were somewhat changed higher but it is important that we must consider absorption rate of shells sufficiently. If we have a proper water cement ratio in column productions containing the shells, we can meet the requirement of the percentage of substitution until 30%. The deflection and deformation properties of reinforced concrete columns with shells represented typical curves like that of normal reinforced concrete. But as the failure types, they are able to make some change without being out of the fundamental graph forms. After the analyzing structural behaviors and the properties of reinforced concrete test columns containing shells, the most excellent grain size of shells represented 3.0mm and less with taking uniformly, and the percentage of practicable substitution of them to fine aggregate was about 30%.

키워드 : 패각류, 패각크기, 대체율, 기둥 내력, 거동

Keywords : Shells, Grain sizes, Percentage of Substitution, Strength of Column, Behavior

1. 서 론

최근 우리나라 경제성장과 함께 건설산업의 발달로 건축물의 대형화, 고층화로 되어짐에 따라 철근콘크리트 구조의 주재료인 골재 수요의 급격한 증대로 말미암아 골재의 고갈 및 부족화 현상의 증가와 함께 이와 관련된 자연 환경 훼손에 대한 문제점 대두로 골재 대체재 개발에 많은 관심을 가지고 각종 산업폐기물 혹은 부산물을 골재 대체재로 활용하고자 하는 노력이 여러 분야에서 다각도로 진행되어 왔다.

이들 중 수산양식업의 부산물은 대부분 패각류인데 현재까지 패각류에 대한 기존 연구들은 패각류 입도크기, 배합종류, 물시멘트비, 패각류의 골재 대체율 변화에 대

한 프레쉬 콘크리트 및 경화 콘크리트의 역학적 특성과 패각류를 혼합한 콘크리트의 탄성계수 및 내구성에 미치는 영향 등 재료 실험적 측면에서의 연구들^{2,3)}과 패각류를 사용한 철근콘크리트 보의 특성 및 전단 거동에 대한 연구^{1,4)} 등 주요 부재에 대한 구조 실험적 측면에서의 연구들로 크게 구분할 수 있다.

본 연구는 이들중 부재에 대한 계속적 연구의 일환으로 기존 연구들을 바탕으로 하여 패각류를 사용한 철근콘크리트 기둥에 대해 실험을 축소한 크기로 제작하여 실험을 실시한 후 이에 대한 기둥의 구조적 거동 및 제반사항들을 연구하여 패각류 사용에 대한 철근콘크리트의 주요구조 부재들의 실용성 제고 및 이에 대해 많은 기초자료를 제공하고 건설기술자에게 패각류가 함유된 철근콘크리트의 특성을 명확히 제시하고자 한다.

* 교신저자, 경남대학교 건축학부 교수, 공학박사
(koo@kyungnam.ac.kr)

이 연구결과물은 2008년도 경남대학교 학술연구 장려금 지원에 의하여 이루어 졌음.

2. 실험

2.1 시험체 설계

본 연구의 폐각류가 함유된 철근콘크리트 기둥설계는 극한강도설계법으로 기둥단면에 대한 축하중 크기를 계산, 파괴하중을 예측하고 이로부터 소요 철근을 배근한 후 파괴실험을 실시하여 폐각류 함유량 변화에 대한 철근콘크리트 기둥의 구조적 거동과 제반사항들에 대해 연구한다. 여기서 사용한 폐각류는 폐각의 대부분을 차지하고 있는 골폐각을 채취하여 기둥설계에 사용 가능한 크기로 분쇄한다.

기둥 시험체 크기는 실험실의 후레임 시스템(frame system)에 적합한 실험형 축소 크기로서 그림 1과 같이 편심이 작용되지 않도록 단면을 $b \times h = 100\text{mm} \times 100\text{mm}$ 정방형으로, 길이 $l = 900\text{mm}$ 으로 모두 동일 크기로 제작한다. 사용 철근은 SD300 이형철근으로 주근은 4-D10, 띠철근은 $\Phi 6$ 을 사용하였으며 띠철근 배근 간격은 시험체 상·하부 단부에서는 50mm 간격으로, 중앙부는 100mm로 배근하였으며 피복 두께는 모두 15mm로 하였다. 기둥연단의 상·하부 주근은 모두 후크를 설치하여 재하시 콘크리트와 철근간의 부착강도 저하 방지 및 철근의 정착길이를 확보할 수 있도록 하였다.

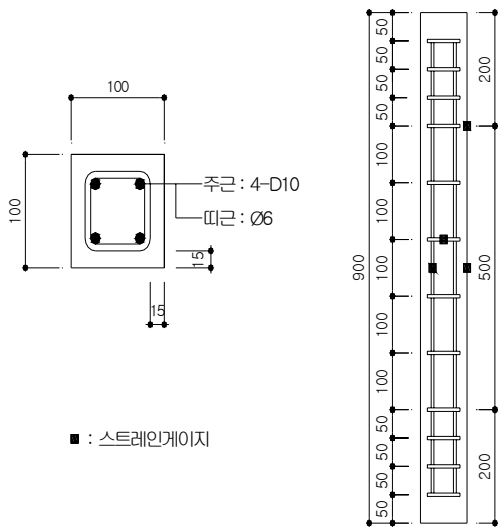


그림 1. 시험체의 상세도(단위: mm)

또한 하중재하시 철근 및 콘크리트의 변형을 측정하기 위해 철근은 기둥 중앙부 1/2 위치의 주근과 띠철근에 각각 1개소에, 콘크리트는 시험체 양생후 주근의 동일 위치의 콘크리트면과 상부에서 200mm 위치한 콘크리트면 2개소에 스트레인게이지를 부착하여 측정하였다. 그림 1은 시험체의 형상과 치수 그리고 철근 배근도 및 스트레인게이지 부착 위치를 나타낸 것이다.

2.2 사용재료의 성질

2.2.1 시멘트

본 실험에서 사용한 시멘트는 KS L 5201 포틀랜드 시

멘트의 규격에 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 골폐각

골재는 KS F 2502 골재의 체가름 시험방법의 규정에 적합한 것으로 굵은골재는 최대치수 19mm이하의 함안 석산의 화강암 쇄석을 물로 세척한 후 자연상태로 건조시켜 사용하였으며 잔골재는 경남 하동산 강모래로 전체 모래에서부터 이물질과 먼지를 완전 제거한 후 사용하였다. 사용 골재의 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2. 골재의 물리적 성질^{1,2)}

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

폐각류는 통영 해안에서 굴 수확후 부산물로 발생된 폐기 골폐각을 채취하여 세척한 뒤 강력한 바람으로 먼지 및 이물질을 제거하고 110±10℃ 건조로에서 24시간 건조시킨 후 분쇄하여 5.0mm, 3.0mm, 1.0mm표준체를 각각 순차적으로 이용하여 입도크기별로 분류하였다. 본 실험에서 사용한 골폐각의 물리적 성질은 표 3과 같다.

표 3. 골폐각의 물리적 성질^{1,2)}

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

2.2.3 철근

본 실험에 사용된 철근은 SD300의 이형철근으로 주근은 D10으로, 띠근은 $\Phi 6$ 을 사용하였으며 각각 3개씩의 시험편을 KS B 0801 금속재료 인장시험편 규격, KS B 0802 금속재료 인장시험방법에 따라 제작, 시험을 실시하였다. 철근 3개의 평균 재료시험 결과는 표 4와 같으며 KS D 3504 철근콘크리트용 봉강 규격에 모두 적합하였다.

표 4. 사용철근의 기계적 성질¹⁾

종류	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)	연신율 (%)
D10	378	515	27.5
Φ6	424	689	26.2

2.3 배합설계

본 실험의 배합설계는 기존 연구들^{1,2)}을 바탕으로 물시멘트비, 패각 입도크기 및 패각 혼입율을 변수로 하고 해당 조건별 1개씩 시험체를 제작하여 모두 14개를 만들었으며 각 시험체의 콘크리트 배합표는 표 5와 같다. 여기서 물시멘트비가 65% 및 70%로 높게 정한 것은 실험실 상황에 적의하도록 콘크리트 4주 압축강도를 12.0MPa로 하기 위한 것이며 패각 입도크기 및 혼입율은 해당되는 입도크기분 이하를 모두 균등하게 취하여 혼합·사용한 것을 의미한다. 그리고 일반적으로 잔골재에 패각류를 혼입·사용할 경우 패각류의 분쇄 크기는 콘크리트의 성질에 영향을 거의 주지 않는 19mm이하로 하며 패각류의 허용치는 30% 이하로 규정하고 있으므로¹⁾ 이를 입도크기 및 혼입율에 고려하였다.

표 5. 콘크리트 배합설계표

시험체명	골패각 혼입율 (%)	단위중량(kg/m ³)						
		물	시멘트	골패각(mm)			모래	자갈
				5.0~3.0mm	3.0~1.0mm	1.0mm 이하		
A00	0	178	273	-	-	-	453	960
Aa1	10	178	273	-	22.7	22.7	408	960
Aa2	20	178	273	-	45.3	45.3	362	960
Aa3	30	178	273	-	68.0	68.0	317	960
Ab1	10	178	273	15.1	15.1	15.1	408	960
Ab2	20	178	273	30.2	30.2	30.2	362	960
Ab3	30	178	273	45.3	45.3	45.3	317	960
B00	0	191	273	-	-	-	453	960
Ba1	10	191	273	-	22.7	22.7	408	960
Ba2	20	191	273	-	45.3	45.3	362	960
Ba3	30	191	273	-	68.0	68.0	317	960
Bb1	10	191	273	15.1	15.1	15.1	408	960
Bb2	20	191	273	30.2	30.2	30.2	362	960
Bb3	30	191	273	45.3	45.3	45.3	317	960

A: W/C=65%, B: W/C=70% a:3.0mm이하, b:5mm이하
 숫자: 골패각 혼입율(예: 3→혼입율 30%)

본 시험체 제작시 사용한 전체 재료들의 상태는 표면 건조상태로 하였으며 먼저 각 재료에 대한 사용량을 정확히 개량한 뒤 굵은골재, 잔골재, 골패각, 시멘트의 순으로 넣은 다음 1분정도 고르게 건비빔한 후 필요 수량을 추가하여 약 4~5분간 재료들이 균질하게 배합될 수 있도록 하였으며 해당 시험체 제작을 KS F 2403 공시체 제작 및 양생방법에 따라 제작 및 양생을 하였고 콘크리트의 슬럼프 측정은 KS F 2402 콘크리트의 슬럼프 시험

방법에 의해 실시하였다. 이때 혼합방법은 작업 능률 향상을 고려하여 강제식 믹서기를 사용하지 않고 직접 손비빔으로 혼합하여 제작하였는데 손비빔시 측정할 수량이 유실되지 않도록 주의하면서 작업을 실시하였다.

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

2.4 실험방법

본 실험을 위한 각종 시험방법은 KS기준에 의하여 실시하였으며 각 시험체는 그림 2와 같이 프레임 시스템(frame system)에 편심하중이 발생하지 않도록 정확하게 가력 중심에 일치시켜 가력하였고 로드셀 보호용 꺾으로 가력에 의한 기둥면의 국소파괴를 방지하였다.

재하방법은 가력기(actuator)에 부착된 200kN 규모의 로드셀로 가력 하중을 정밀하게 측정하였는데 이의 재하속도는 30kN/min으로 일정하게 유지하면서 예상 파괴하중의 1/2정도까지 2.0kN 단위의 하중제어방식으로, 그리고 이후에는 변위 2.0mm마다 데이터를 측정하는 변위제어방식으로 시험체가 완전 파괴될 때까지 재하하면서 데이터를 측정하였다.

시험체들의 변위 측정은 로드셀에 변위계(LVDT)를 부착시켜 가력하중에 의한 변위를 측정하였고 철근 및 콘크리트 변형은 지정된 위치에 스트레인게이지를 정확히 부착하여 변형도를 측정하였으며 측정된 실험 데이터를 컴퓨터에 데이터 로거(data logger)로 연결하여 수집하여 그림 및 표작업이 가능할 수 있도록 변환·처리하였다.

그리고 또한 시험체의 균열 모드는 실험 관측인들의 안전을 위해서 미세 균열이 발생하는 초기단계와 예상 파괴하중의 중간단계, 그리고 가력하중이 작용하지 않는 최종 파괴단계의 3단계로 구분하여 균열 진전과정을 스케치하였다.

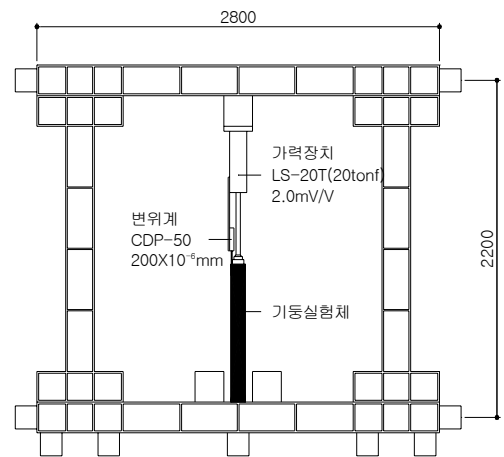


그림 2. 시험체 설치 및 재하장치

3. 실험결과 및 고찰

3.1 작업성 특성

표 6은 각 시험체에 대해 측정된 데이터로부터 정리한 실험결과를 나타낸 것으로 해당 데이터 값이 2개이상 있을 경우 그 값에 대해 제일 큰 파괴하중 값을 선택하여 정리하였다.

표 6. 기둥 시험체 파괴하중

시험체명	슬럼프치 (mm)	P_u (kN)	P_u/P_{nu}	A (cm ²)	f_c (MPa)	$f_c/f_{n,c}$	δ_{max} (mm)	δ_y (mm)	ϵ_{max}	μ
A00	120	109.54	1.000	100.2	14.08	1.00	14.10	7.42	0.0016	1.90
Aa1	111	106.70	0.974	99.7	13.47	0.96	10.60	9.64	0.0012	1.10
Aa2	110	98.95	0.903	100.0	11.68	0.83	5.90	5.32	0.0007	1.11
Aa3	109	97.38	0.889	99.8	11.35	0.81	5.90	5.22	0.0007	1.13
Ab1	38	104.15	0.951	100.0	12.85	0.92	6.90	6.11	0.0008	1.13
Ab2	12	94.63	0.864	100.0	10.71	0.76	12.60	10.77	0.0014	1.17
Ab3	0	64.92	0.593	99.9	4.04	0.29	18.70	10.00	0.0021	1.87
B00	150	100.62	1.000	99.8	12.08	1.00	14.70	9.93	0.0016	1.48
Ba1	150	101.99	1.014	100.1	12.36	1.02	15.70	12.08	0.0017	1.30
Ba2	149	101.01	1.004	100.0	12.15	1.01	6.60	5.89	0.0007	1.12
Ba3	148	99.73	0.991	100.0	11.86	0.98	7.60	6.50	0.0008	1.17
Bb1	133	97.87	0.973	99.9	11.45	0.95	6.60	6.00	0.0007	1.10
Bb2	120	97.67	0.971	99.8	11.42	0.95	7.00	5.83	0.0008	1.20
Bb3	108	97.09	0.965	100.0	11.27	0.93	6.90	6.11	0.0008	1.13

P_u : 파괴하중 $P_{n,u}$: 기준기둥의 파괴하중 A : 단면적
 δ_{max} : 최대측변위 δ_y : 항복변위 ϵ_{max} : 최대변형률 μ : 연성계수
 f_c : 콘크리트 압축강도 $f_{n,c}$: 기준기둥의 콘크리트 압축강도

그림 3은 표 6으로부터 물시멘트비, 입도크기, 패각 혼입율에 대한 슬럼프 변화를 도식한 것으로 이로부터 패각을 혼입한 콘크리트의 작업성은 일반적으로 물시멘트비가 높을수록, 사용 입도크기가 작을수록 그리고 사용 함유량이 낮을수록 양호한 것으로 나타났다.

그리고 물시멘트비에 있어서는 입도크기가 작으면 혼입량 증가 변화에 대해 슬럼프값은 거의 차이가 없거나 작은 변화를 보이지만 입도크기가 크면 클수록 혼입량 증가에 따라 슬럼프값은 감소하는데 물시멘트비가 낮은 경우 슬럼프값의 변화폭이 더욱 크다.

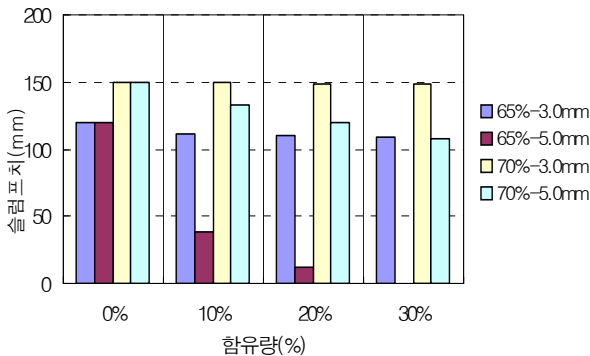


그림 3. 슬럼프치 변화

특히 물시멘트비 65%, 패각 입도크기 5mm이하를 혼입량 증가에 따라 슬럼프값이 급격히 감소함을 보이는데 이것은 일정량의 배합수에 대해 패각의 흡수율이 영향을 미친 것으로 판단되므로 패각이 혼입된 부재 제작시 부재 강도 및 능력과 함께 적합한 흡수율을 고려하여야 한다.

3.2 시험체의 파괴하중 크기

그림 4는 표 6으로부터 시험체 파괴하중 크기를 나타낸 것이다. 여기서 시험체 제반 조건에 있어서 모두 동일하나 단면 크기에 대해 조사한 결과 상호 오차범위가 최대 ±0.2%정도의 단면손실만 발생하므로 본 기둥 시험체의 압축강도보다 파괴하중 크기로 비교하기로 한다.

본 실험에서 파괴하중 크기는 슬럼프값과 유사하게 최대입도크기가 클수록, 사용 함유량이 많을수록 감소함을 보이고 있으며 전체 파괴하중 크기범위는 64.92~109.54kN으로 기준 기둥의 파괴하중 값이 제일 높고 물시멘트비 65%, 패각 입도크기 5.0mm이하, 혼입율 30%의 경우가 제일 낮은 파괴하중을 나타내었다.

물시멘트비 70%, 패각 최대크기 3.0mm이하에서 패각 함유량이 증가해도 하중크기는 기준 기둥 크기와 유사하게 나타나며 이의 최대크기 5.0mm이하에서도 기준 크기 하중와의 최대 3.5%차이를 보이는 반면 물시멘트비 65%, 최대크기 3.0mm이하에서는 패각 함유량이 증가할수록 기준 기둥에 대해 하중크기 변화는 2.6~11.1%정도 감소하지만 최대크기 5.0mm이하, 혼입율 30% 기둥의 경우 기준치의 약 60%정도로 매우 낮게 나타났다. 여기서 파괴하중 크기의 차이가 없다는 것은 어느 정도 양만큼 패각을 혼입·사용하여도 충분한 강도를 발휘할 수 있음을 알 수 있다.

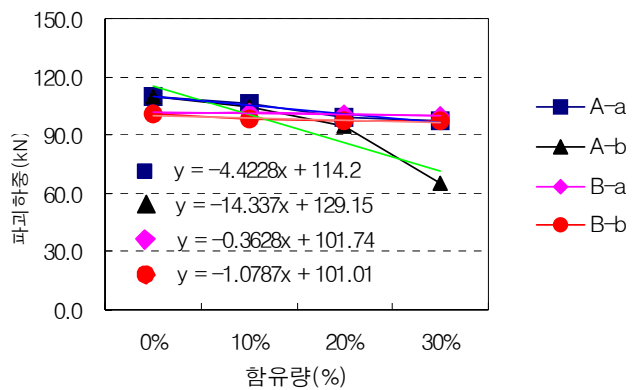


그림 4. 시험체의 파괴하중

그리고 패각 함유량 증대에 대해서 회귀분석한 결과 파괴하중 크기는 골패각 함유량이 증가하면 할수록 감소하여서 물시멘트비 70%의 경우 기울기 값이 제일 작은 값 $k = 0.36 \sim 1.08$ 를 보였고 물시멘트비 65%, 최대입도크기 5.0mm이하에 있어서 기울기 값이 제일 큰 값 $k =$

14.34을 나타내었으며 기울기 값이 제일 큰 값을 제외한 대부분의 실험식의 절편값은 101.01~114.2로 기준 파괴하중값과 거의 유사한 값을 보이고 있다. 여기서 기울기 값이 크다는 것은 패각을 사용한 콘크리트 기둥 시험체가 저항할 수 있는 파괴하중 크기 변화가 해당 최대입도 크기의 패각을 많이 혼합하여 사용하면 할수록 기둥의 능력은 크게 저하됨을 의미하고 기울기 값이 작다는 것은 기둥의 능력 저하가 매우 완만한 감소를 의미하므로 파괴하중 크기를 고려하여 기울기 값이 작은 최대입도 크기를 사용하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

그림 5는 물시멘트비에 대해 각각 패각 혼입율을 10%씩 증가시킨데 대해, 그리고 그림 6은 최대입도기별 기둥 시험체들에 대한 하중크기를 나타낸 것이다. 그림 5로부터 혼입율 10%, 20%에 있어서는 각각 기준 크기의 최대 0~4.9%, 0~13.6% 정도밖에 차이가 나지 않으며 혼입율 30%에서는 물시멘트비 65%, 최대입도 크기 5.0mm 이하 경우를 제외하면 최대 0~11.1%밖에 차이를 보이지 않으므로 패각 사용량은 잔골재 사용량의 30%까지는 가능할 것으로 판단된다. 또한 그림 6에 있어서는 최대입도 크기 3.0mm이하의 하중 크기가 5.0mm이하의 경우보다 1.02~1.50배 정도 더 크게 나타나므로 최대입도 크기가 작은 것을 사용하는 것이 더욱 바람직하다.

그리고 패각을 사용하지 않는 기준 기둥에 있어서의 파괴하중 크기는 물시멘트비가 낮을수록 크지만 패각 함유량 사용이 증가함에 따라 다른 양상을 보이므로 패각을 사용할 경우 적절히 함유량을 증가시켜 패각이 콘크리트 주변의 자유수를 흡수하여 물시멘트비가 감소되어 콘크리트의 충전율과 결합력을 높여 밀실해져서 파괴하중 크기가 증대시키는 것으로 판단되므로 이에 패각의 흡수율이 강도에 지대한 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

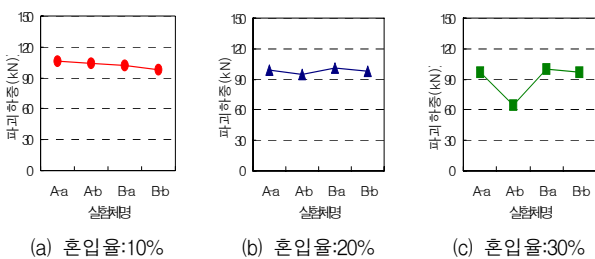


그림 5. 혼입율별 파괴하중

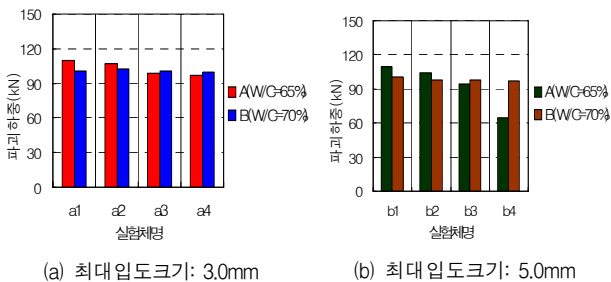


그림 6. 최대입도기별 파괴하중

또한 재료 측면에서 살펴보면 실험 결과로부터 강도면에서 우수한 입도는 최대입도 크기 3mm이하의 경우 혼입율 30%이하 그리고 5mm이하의 경우 혼입율 20%이하로는 대체 가능한 것으로 나타났다.

파괴하중 크기와 슬럼프값과의 관계는 파괴하중 95kN 이상, 슬럼프값 100mm이상의 값이 일정한 범위에 집중적으로 모여있는 현상을 알 수 있는데 이것은 패각 사용으로 인한 패각의 흡수율 관계가 주요 원인을 알 수 있다.

3.3 콘크리트 압축강도

표 6에는 시험체 기둥의 파괴하중 크기에 대해 이론적으로 계산한 콘크리트 압축강도를 나타내고 있다. 그림 7은 파괴하중 크기와 실제단면으로 계산한 압축강도를 나타낸 것으로 물시멘트비 65%의 기준강도에 비해 다소 떨어짐을 알 수 있는데 이러한 감소는 입도 크기 및 패각 함유량의 증가에 의한 콘크리트 압축강도의 저하 때문으로 판단된다.

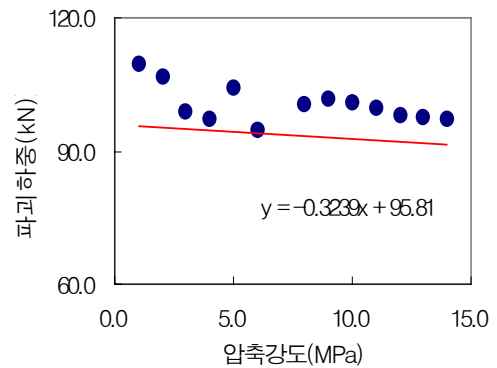


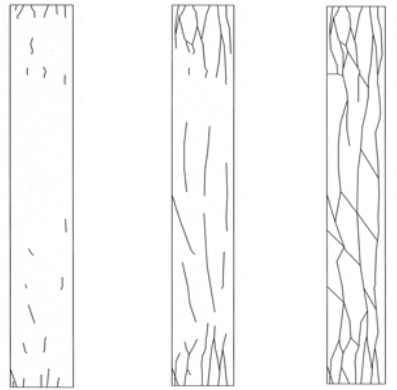
그림 7. 파괴하중과 압축강도

주어진 기둥 단면에 대한 콘크리트 배합강도 12.0MPa의 최대 설계축하중은 103.40kN이며 각 시험체의 압축강도 크기와 해당 물시멘트비의 기준강도와 관계는 물시멘트비 65%, 최대입도 크기 5.0mm이하, 혼입율 20~30% 경우를 제외하면 혼입율 10~30%에 대해 기준강도의 91.6~80.9%이상 발휘하였으나 물시멘트비 70%의 배합강도에 대해서는 혼입율 30%에서도 93.9%까지 나타나 패각 혼입율 정도를 30%까지 가능할 것으로 판단된다.

3.4 균열 및 파괴형상

그림 8은 본 실험에서 하중 재하시 기둥 시험체들중 시험체 Aa3에 대한 단계별 균열 진행도를, 그림 9는 전체 시험체들의 파괴상태에서의 균열 현황을 나타낸 것이다. 그리고 사진 1과 2는 이에 대한 실험결과 파괴양상을 보여준다.

본 실험에서 기둥 시험체의 기본 균열양상은 가력으로 부터 양단 지점에서 미세한 균열들이 발생하기 시작하고 하중이 증가함에 따라 균열은 다시 기둥면의 중앙부에도 일어나며 초기에 발생한 균열들이 빠른 시간내에 기둥면의 중앙부 균열들과 상호 연결되고 지점의 상부 또는 하



초기단계 중간단계 파괴단계
 그림 8. 시험체 Aa2 단계별 파괴상태

부에서 먼저 항복에 도달한 뒤 기둥 중간의 윗 또는 아래부분에서 휨변형이 시작하여 점점 상부나 하부가 볼록한 곡선의 형태를 띠면서 파괴에 이르게 된다. 이러한 현상은 패각 함유량 변화에 대한 다른 시험체에 있어서도 유사한 패턴을 보이는데 여기서 패각 함유량 증가는 콘크리트의 강도 저하를 가져오므로 이에 대한 시험체의 균열 저항 능력이 감소되는 것으로 판단된다.

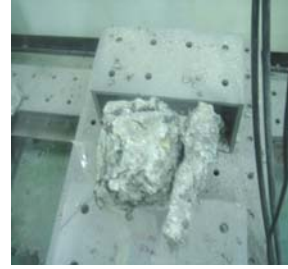


사진 1. 일반파괴현상



사진 2. 국부파괴형상(Ab3)

또한 시험체 Ab2와 Ab3에 있어서는 초기하중 재하시부터 하부 지점에서 미세 균열이 발생하기 시작하여 하중 증가와 함께 다른 부분이 변형되기 이전 시험체 하부 콘크리트에서 압괴되어 파괴되는 국부 파괴형상을 나타내었다. 이러한 콘크리트의 국부파괴에서는 균열이 집중적으로 하부에서 발생하여 직접 파괴에 이르게 되므로 기둥의 저항 능력이 현격히 떨어진다.

이러한 균열 패턴으로부터 국부파괴를 일으킨 시험체를 제외한 몰시멘트 65%의 시험체 균열은 70%의 시험체보다 발생 균열이 많지 않고 균열 형상도 단순한 형태를 보였다.

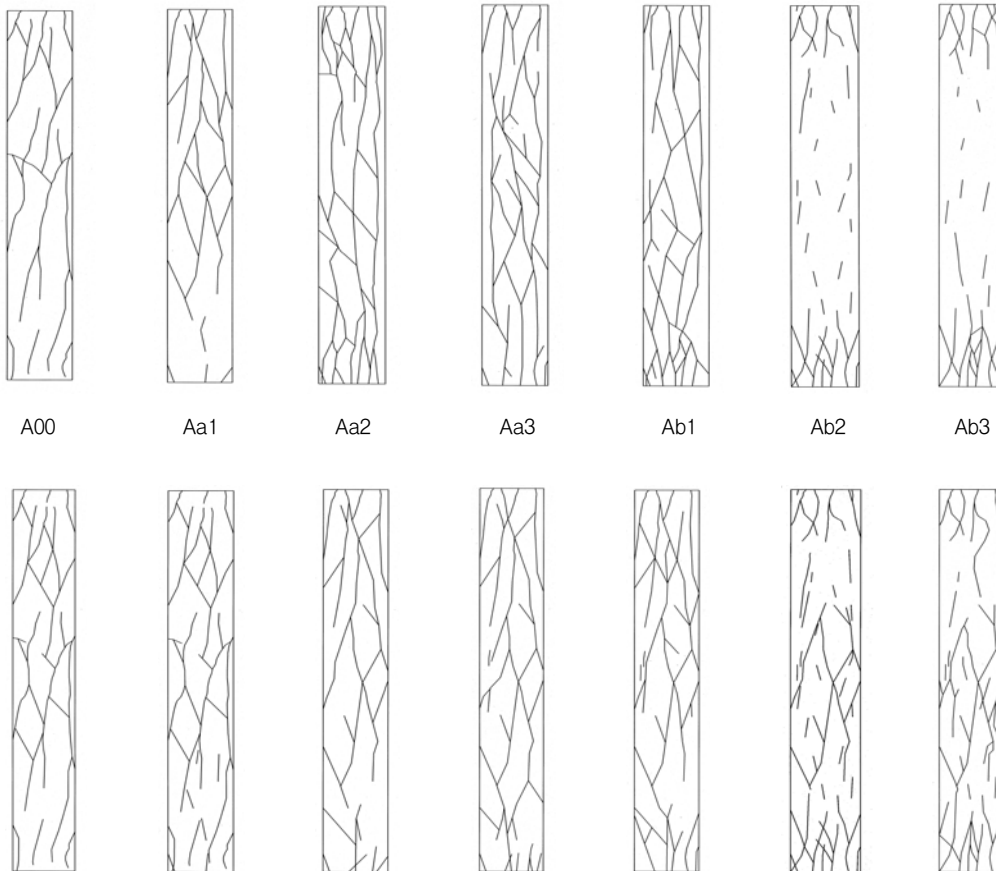


그림 9. 각 시험체의 파괴균열도

3.5 변위 및 변형특성

그림 10~12는 각 시험체별 많은 측정 데이터 값들을 정리하여 표현 가능한 기본적인 데이터를 이용하여 그림으로 나타낸 것이며 본 그림중 철근 및 콘크리트 변형도에 있어서 불규칙적으로 변하는 것은 하중재하시 균열도 작업을 위해 연속적으로 가력되지 않고 도중 중지된 상태로 있었기 때문에 하중이 감소되어 나타난 것이다.

3.5.1 하중과 축변위

그림 10은 시험체 기둥 상부 가력점에서 측정한 하중-축변위곡선이며 그림 11은 각 시험체별 최대 축변위를 정리한 것이다. 시험체들의 축변위곡선은 대부분 파괴하중까지 거의 유사한 패턴을 나타내고 있다. 대부분의 축변위는 초기단계 하중작용시 거의 직선적으로 변하다가 중간단계에서 하중이 증가함에 따라 기울기 값이 작아지는 곡선 양식을 갖추면서 진행한 뒤 최종단계에 이르러 파괴하게 되는데 여기서 패각 함유량의 증가에 따라 축변위도 증가하므로써 기둥 강성을 저하하게 한다. 특히 시험체 Ab3은 기울기 값이 제일 적으므로 파괴에 빨리 도달하고 최대 축변위도 제일 크게 나타났다.

표 6의 시험체별 최대 축변위 값은 그림 10으로부터 구하였으며 그림 11은 이를 패각 함유율별 그림으로 나타낸 것이다. 표 6으로부터 패각을 혼입하지 않은 기준 시험체와 입도크기 3.0mm이하, 혼입율 10%에 대해서는 유사한 최대 축변위 값을 나타냈고 국부파괴를 일으킨 시험체를 제외한 대부분 최대 축변위 값은 5.9~7.6mm이내로 기준 시험체 축변위 크기의 평균 46.4%정도의 축변위를 보였다. 여기서도 패각 입도크기가 클수록 최대 축변위는 작아지는데 이것은 패각의 흡수율과 밀접한 관계가 있는 것으로 사료된다.

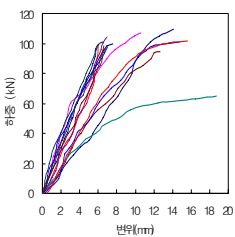


그림 10. 하중-축변위 곡선

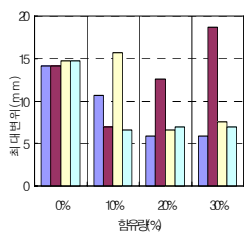


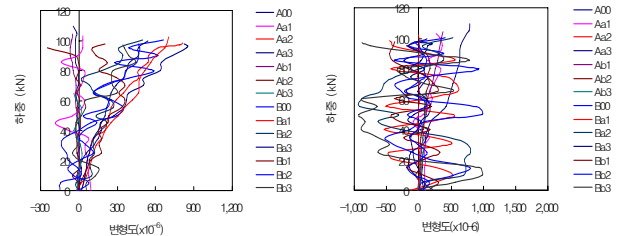
그림 11. 시험체 최대 축변위

3.5.2 철근 변형도

그림 12의 (a)와 (b)는 기둥의 중앙부에 위치한 주근 및 띠근의 하중 변형도 곡선을 나타낸 것으로 그림 12의 (a)~(b)로부터 하중이 증가함에 따라 변형도는 선형적으로 증가하거나 또는 불규칙적으로 증가·변화하는 양상을 보이는데 여기서 주근의 변형도가 띠근보다 다소 안정적으로 변화하므로 주근이 더 큰 응력을 수용하고 있음을 알 수 있다.

그러나 시험체 Aa2의 주근 및 Bb3 띠근 변형도가 초기하중부터 파괴하중까지 매우 불규칙적으로 변화하여

매우 복잡하며 변형도 양상도 기복이 심하고 자유롭게 나타나는데 이것은 하중재하시 연속적으로 가력이 되지 않고 관련 작업을 위해 잠시 멈추는 동안 하중이 감소하였기 때문으로 판단된다. 그러나 전체적으로 고려해 보면 시험체들은 파괴하중 작용까지 하중과 변형도 관계를 일반적인 양상임을 알 수 있다.



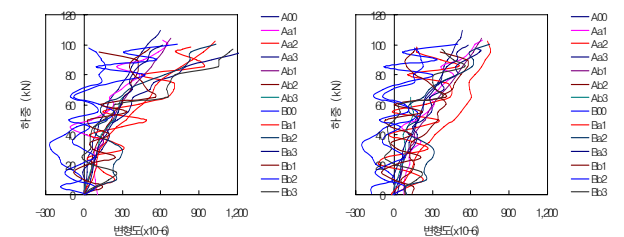
(a) 중앙부 주근 (b) 중앙부 띠근
그림 12. 철근 변형도 곡선

3.5.3 콘크리트 변형도

그림 13의 (a)와 (b)는 콘크리트의 중앙부 및 상단부의 하중 변형도 곡선으로 그림 13의 (a)~(b)로부터 콘크리트의 변형도는 철근 변형도중 주근의 변형도 곡선과 유사한 형태를 보이고 있다.

콘크리트의 변형도도 하중의 증가에 따라 변형도도 증가하지만 중앙부면 변형도는 상부 지점에서 20cm 떨어진 상부면보다 변형 크기가 더 크므로 더 많은 축하중을 받고 있지만 일부 변형 형태는 거의 동일한 변형을 보이고 있다.

여기서도 변형도의 불규칙한 변화는 하중재하시 연속적인 가력이 되지 않았거나 콘크리트 재료의 비균질성 및 비선형 탄성계수 등 콘크리트의 특성 때문으로 기인되며 콘크리트 변형도가 철근 변형도보다 변화폭이 크게 나타남을 알 수 있다.



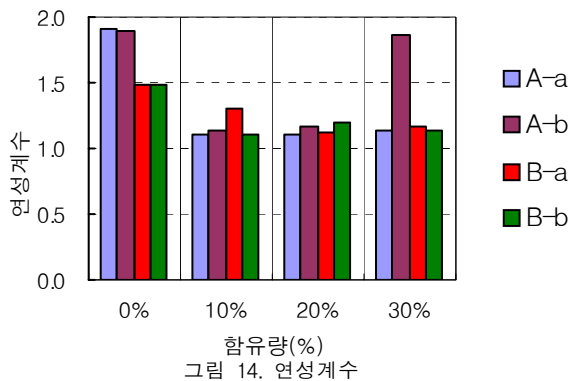
(a) 중앙부면 (b) 상부면
그림 13. 콘크리트 변형도 곡선

또한 표 6의 시험체별 최대변형도 값은 그림 13으로부터 구했는데 표 6으로부터 패각을 혼입하지 않은 기준 시험체들과 입도크기 5.0mm이하, 혼입율 10%의 경우의 최대변형도 값은 0.0016~0.0017로 거의 동일하지만 콘크리트의 압괴로 파괴된 시험체를 제외한 시험체들의 최대 변형도 크기는 0.0007~0.0008로 기준 시험체 크기의 평균 49.1%정도의 변형도를 나타냈다.

3.6 연성계수

그림 14는 시험체별 측정된 변형도로부터 ACI 기준의 정의에 의해 연성계수를 구하여 이를 그림으로 나타낸 것이다.

그림 14로부터 폐각을 혼합하지 않은 기준 시험체가 제일 큰 연성계수를 가지면서 다소 여유있는 능력을 보이는데 반해 폐각 크기 및 함유량 변화에 대해서 1.10~1.30의 비슷한 연성계수를 나타내었다. 그러나 몰시멘트비 65%, 입도크기 5.0mm이하, 혼입율 30%의 경우 연성계수가 1.87로 기준보의 값과 유사하지만 이것은 단지 해당 시험체 하부에서 콘크리트의 압괴에 의한 국부파괴가 발생하는 과정에서 높은 변위를 취하여 연성계수가 높게 나타난 것으로 판단된다. 본 실험에서 연성계수가 우수한 시험체는 몰시멘트비 70%, 입도크기 3.0mm이하, 혼입율 10%인 것으로 나타났다.



4. 결론

본 연구에서 분쇄한 폐각을 사용하여 철근콘크리트 기둥의 내력과 구조거동에 관한 실험 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 폐각을 활용한 철근콘크리트 기둥에 있어서 폐각 혼입율 증가에 따라 최대하중 크기는 감소하며 폐각 입도크기 변화에 있어서는 하중크기 변화의 영향은 적지만 폐각 혼입에 의한 사용 폐각 흡수율이 기둥 내력 및 성능에 중요한 영향을 미치므로 제작시 이에 대해 충분히 고려하여 타설하여야 한다.
- 2) 폐각 철근콘크리트 기둥 내력은 적절한 몰시멘트비에서 혼입율 30%까지 기준 시험체 강도의 96.5%정도 발휘하며 기둥 성능에 대해서도 만족한다.
- 3) 변위 및 변형특성중 폐각 시험체의 축변위는 보통 철근콘크리트 기둥과 유사하게 전형적인 형태를 나타내며 철근 및 콘크리트 변형도에 대해서는 대부분 하중과 변형도는 비례하면서 최대하중에 도달하지만 파괴양상에 따라 변형도가 불규칙적으로 변화하면서 파괴에 이르기에도 한다.
- 4) 폐각을 혼입한 철근콘크리트 기둥에서 폐각 입도크기 3mm이하, 혼입율 10%에 있어서는 내력과 연성계수

등 제반 구조적 거동을 비교·분석한 결과 폐각을 혼입하지 않은 기준 시험체와 유사한 성능을 나타내므로 폐각을 잔골재로 10% 대체 혼입하여도 구조적 성능에는 아무 영향을 미치지 않는다.

- 5) 폐각 철근콘크리트 기둥의 내력과 구조적 거동을 모두 종합·분석한 결과 폐각을 잔골재 대체재로서 가장 이상적인 폐각 입도크기와 혼입율 정도는 입도를 균등하게 취한 3.0mm이하이며 약 30%까지로서 이로부터 우수한 폐각 철근콘크리트 기둥 부재를 얻을 수 있다.

본 연구를 바탕으로 향후 다른 주요 구조 부재들에 있어서 강도크기 변화 등 구조공학적 연구를 더하여 폐각류에 대한 새로운 학문분야에 기여하도록 하겠다.

참고문헌

1. 이상철 외 4인, “골폐각을 사용한 철근콘크리트 보의 특성에 관한 실험적 연구”, 한국생태환경건축학회 논문집, 제7권 5호, pp. 135~142, 2007
2. 전학수, 구해식, “골폐각을 사용한 콘크리트의 강도발현에 관한 실험적 연구”, 한국구조물진단학회지, 제10권 663호, pp. 137~146, 2006
3. 전학수, 구해식, 안용덕, “골폐각 콘크리트의 기본특성에 관한 연구”, 한국구조물진단학회지, 제9권 3호, pp. 169~177, 2005
4. 김정섭, 신용석, “고막 폐각을 잔골재로 사용한 철근콘크리트 보의 진단 거동에 관한 연구”, 한국건축시공학회논문집, 제4권 제2호, pp. 89~95, 2004
5. 김정섭, 김광섭, 김판선, “고막 폐각의 콘크리트 잔골재로 재활용 방안에 관한 연구”, 한국건축시공학회논문집, 제4권 1호, pp. 141~146, 2004
6. 김정섭 외 4인, “폐각류가 함유된 철근콘크리트 보의 내력 및 거동에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회논문집 구조계, 20권 1호, pp. 67~74, 2004
7. 양은익 외 3인, “골폐각을 잔골재로 대체 사용한 콘크리트의 장기성능 평가”, 한국콘크리트학회논문집, 제15권 2호, pp. 280~287, 2003
8. 박상규 외 3인, “골폐각을 혼합한 시멘트 혼합체의 압축강도 특성 연구”, 대한토목학회논문집, 제23권 2B호, pp. 129~138, 2003
9. 어석홍, 황규한, 김정규, “콘크리트용 골재로써 골폐각의 활용”, 한국콘크리트학회논문집, 제14권 4호, pp. 540~548, 2002
10. 건설폐기물재활용연구단, “건설폐기물 재활용 정책 및 기술 개발 동향”, 주택도시연구원, 2006, 6

투고(접수)일자: 2008년 4월 8일

심사일자: 2008년 4월 14일

게재확정일자: 2008년 6월 19일