

고막 패각을 잔골재로 사용한 전단보강근이 없는 철근콘크리트 보의 연성에 관한 연구

A Study on Ductility Capacity of Reinforced Concrete Beam without Shear Reinforcement Using Cockle Shells as Fine Aggregate

김 정 섭*

Kim, Jeong-Sup

김 광 석**

Kim, kwang-seok

Abstract

As a result of compressive strength, specimens having mixture rate of cockle shells of 15% and 20% showed more increases of compressive strength than non-mixture specimens as age increases. Ductility capacity of specimens was higher in specimens mixing cockle shells than in specimens using general fine aggregates and specimen of 10% of cockle shells was highest in ductility capacity.

To sum up all experimental results, ductility capacity of specimen without shear reinforcement using mixture of cockle shell was higher than non-mixture specimen and it is considered that mixture of cockle shells up to 20% as fine aggregate for concrete will be available. Continuous researches on durability, workability and economy of crushed cockle shells used for substitute fine aggregate of concrete will be needed.

키워드 : 잔골재, 고막 패각, 압축강도, 연성능력, 철근콘크리트 보

Fine Aggregate, Cockle Shells, Compressive Strength, Ductility Capacity, Reinforced Concrete Beam

1. 서 론

1.1 연구의 배경

철근콘크리트는 유지관리 및 내구성, 내화성 등의 장점으로 인하여 구조물에 많이 사용된 재료이다. 하지만 콘크리트의 기본 재료인 하천골재 및 육상골재의 고갈로 인하여 대체 개발이 필요하게 되었다.

그 해결책의 일환으로 바다모래(海砂)와 쇄석의 사용량이 증가하는 실정이나 바다모래의 과도한 채취에 따른 부작용이 해양생태계의 파괴와 어족자원의 고갈, 해저 지형의 변화와 연안 침식 등이 다양하게 나타나고 있다. 앞의 환경적인 문제와 바다모래에 함유된 염화물에 의하여 조기에 철근의 부식 등의 문제점으로 인하여 새로운 대체 자원이 필요할 것으로 판단된다.

이러한 대체 자원의 필요성으로 인하여 각종 산업폐기물 혹은 해양부산물을 건설재료로 활용하고자하는 노력이 여러 학문분야에서 다각도로 진행 되어왔다.

최근 들어 해양 부산물 중의 하나인 굴 및 고막 패각을 콘크리트의 잔골재로 사용하려는 연구가 일부 연구자에 의해 진행되어 왔다. 또한 이를 사용한 콘크리트의 물리적, 화학적

특성은 물론 역학적, 시공적 특성을 검토한 결과, 그 활용성의 다양함이 보고되고 있다.

그러나 기존의 연구는 공시체의 단기 재령에 국한되어 있으며 실제 부재실험은 이루어지지 않고 있다. 구조 부재에 대하여 굴 및 고막 패각의 콘크리트 골재 혼합에 따른 내구성에 대한 다각적인 연구가 필요하다.

1.2 연구의 목적

산업폐기물의 증가에 따른 매립장이 절대적으로 부족한 실정이며, 이로 인해 고막 패각이 연안 일대에 대량으로 폐기되어 환경 오염의 한 원인이 되고 있다.

본 연구에서는 고막 패각을 인위적으로 분쇄하여 콘크리트용 잔골재로 대체 사용함으로써 콘크리트의 역학적 특성 및 내구성에 미치는 영향을 평가하기 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 일반 사항

본 연구에서는 보통 철근콘크리트 보의 부재 실험체 2개와 고막패각이 함유된 철근콘크리트 보의 부재 실험체를 혼입률(5%, 10%, 15%, 20%)별로 각각 2개씩 제작하여 구조적 내력

* 정회원, 조선대학교 건축학부 교수, 공학박사

** 정회원, 조선대학교 대학원 박사수로

및 거동에 관하여 실험을 하였다.

실험은 압축강도시험과 부재실험으로 구분하여 실시하며, 압축강도시험은 부재실험에 사용된 재료인 콘크리트의 재료적인 물성을 시험하기 위하여 $\phi 100\text{mm} \times 200\text{mm}$ 원주형 공시체를 제작하여 부어넣기 24시간 후 탈형하였고, 압축시험 전까지 기중 양생을 실시한 후 표면을 연마하여 재하시 편심으로 인한 파괴를 방지하였다. 압축강도시험은 100tonf의 만능구조시험기를 이용하여 KS 규격에 의하여 실험을 실시한다.

부재실험에서는 기준 실험체를 완전 파괴될 때까지 가력 후 최대내력을 파악하여 기준 실험체의 최대내력으로 결정하고, 각각의 변수에 따른 특성을 비교·검토한다.

2.2 시험체 설계

본 연구는 전단보강근이 없는 고막패각을 혼입한 철근콘크리트 보의 전단거동을 파악하기 위한 연구로서 전단파괴를 하는 범위에서 시험체를 설계하였다.

실험체는 극한강도설계법으로 동일하게 설계하며, 실험체의 크기는 그림 1과 같이 150(B) \times 250(D) \times 1,548(L)mm로 제작한다. 시험체에 사용된 철근은 SD400을 사용하여 하부에 HD16을 배근하였고, 스테럽은 100mm간격의 D10철근을 사용하였으며 피복두께는 30mm로 한다.

철근은 거푸집에 넣기 전에 철근 스트레인지지(Strain gauge, S.G)를 부착하여 조립하고, 철근 양끝에는 충분한 길이의 Hook를 만들어 실험도중 콘크리트와 철근간의 부착강도가 저하하지 않도록 하였다.

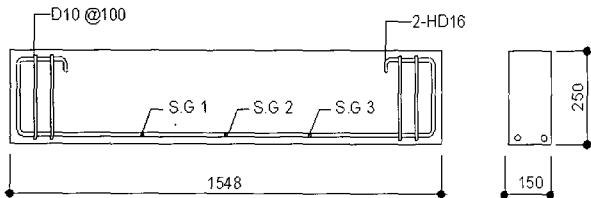


그림 1. 실험체의 상세도

콘크리트 부어넣기는 거푸집에 조립된 철근을 넣은 후 피복두께 유지를 위해 스페이스(Spacer)를 설치한 후 부어넣기 하였으며, 부어넣기 후 콘크리트의 습윤상태를 유지하기 위해 비닐을 덮어 보온양생 한다.

28일 이상 양생 후 실험실로 운반하여 떼어내기 후 이물질을 제거하고, 실험체 표면에는 백색 수성페인트를 칠하여 10 cm간격으로 격자(grid)를 그려서 실험 시 발생하는 균열의 위치 및 형태, 하중 등 진행상황의 파악이 용이하도록 한다.

2.3 사용재료

1) 시멘트

본실험에 사용된 시멘트는 KS L 5201(포틀랜드 시멘트)에 규정된 S사 제품을 사용하였고, 시멘트의 화학적 성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1. 시멘트의 화학적 성분 및 물리적 성질

구분	화 학 성 분 (%)							비 중
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Ig. loss	
보통 포틀랜드 시멘트	21.9	6.59	2.81	60.12	3.32	2.11	2.58	3.15

2) 골재

골재는 KS F 2502(골재의 체가름시험 방법)의 규격에 적합한 깎자갈과 섬진강 강사를 사용하였으며, 골재의 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2. 골재의 물리적 성질

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

3) 고막패각

우리 나라 전체 패류 생산량의 약 44%정도를 굴, 고막패각이 차지하고 있으며, 실험에 사용한 고막패각은 인위적인 방법으로 분쇄하여 최대치수 5mm이하를 사용하였다. 고막패각의 물리적, 화학적 성질은 표 3, 표 4와 연도별 패류 생산량은 표5와 같다.

표 3. 고막패각의 물리적 성질

골재종류	최대치수 (mm)	비중	흡수율 (%)	조립율 (F.M)	단위용적중량 (kg/m ³)
고막패각	5	2.69	2.57	3.19	1,870

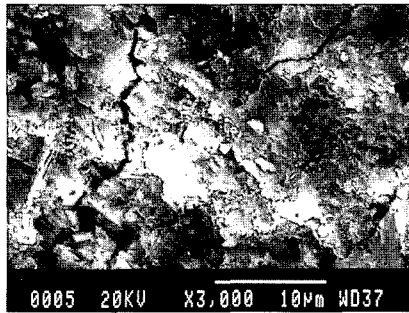
표 4. 고막패각의 화학적 성질

구분	화 학 성 분 (%)				
	Ca	Si	Fe	N	Al
고막패각	81.30	13.65	3.16	1.88	0.01

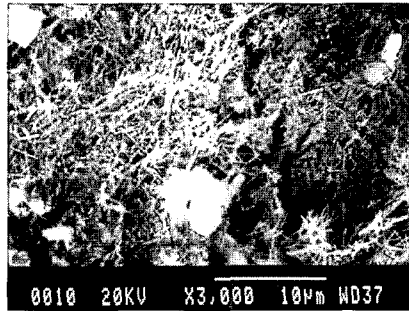
표 5. 연도별 굴, 고막 패류 생산량

연도별	계	굴 패각		고막 패각	
		생산량 (ton)	비율 (%)	생산량 (ton)	비율 (%)
1998	29,638	9,446	31.87	4,754	16.04
1999	33,397	14,723	44.08	1,540	4.61
2000	32,470	11,321	34.87	797	2.45
2001	33,781	9,167	27.14	4,261	12.61
2001	26,013	11,508	44.24	578	2.22
계	155,299	56,175	36.17	11,930	7.68

※ 통계청 통계



(a) 혼입률 10%



(b) 혼입률 20%

그림 2. 고막패각을 혼입한 콘크리트의 내부 SEM 사진

4) 철근

실험체에 사용된 철근은 SD400의 이형철근 HD16(하부근)과 SD300의 이형철근 D10(스터럽)을 사용하였으며, 각각 3개씩 시험편을 KS B 0802(금속재료 인장시험방법)에 따라 시험을 실시하였다. 철근 3개의 평균재료시험 결과는 표6과 같이 나타났으며, KS D 3405(철근콘크리트용 봉강)의 규준에 모두 적합하였다.

표 6. 철근의 성질

골재종류	단면적 (cm ²)	항복강도 (N/mm ²)	인장강도 (N/mm ²)	연신율 (%)
D10	0.72	388.0	486.5	28.2
HD16				

2.4 배합계획

시험체에 사용된 콘크리트는 설계기준강도 24MPa 콘크리트의 배합순서는 잔골재, 고막패각, 시멘트, 굵은골재와 같은 순서로 투입하였으며, 비빔을 한 후 KS F 2402(포틀랜드 시멘트 콘크리트의 슬럼프 시험 방법)의 규격에 의하여 슬럼프를 확인한 후 부어넣기 하였다.

표 7. 콘크리트 배합표

시험체 종류	물시멘트 트비 (%)	슬럼프 (cm)	배합중량(kg/m ³)					패각 혼입량 (%)
			물	시멘트	잔골재	굵은 골재	패각	
C0	45	12	183	407	658	1,106	0	0
C5	45	12	183	407	625.1	1,106	32.9	5
C10	45	12	183	407	592.2	1,106	65.8	10
C15	45	12	183	407	559.3	1,106	98.7	15
C20	45	12	183	407	526.4	1,106	131.6	20

주) ● C : 고막패각 ● 0, 5, 10, 15, 20 : 패각 혼입량(%)

2.5 실험방법

본 실험은 재령 30일이 경과한 후 그림 2와 같이 만능구조 실험기가 설치된 실험실에서 행하였으며 단순지지 상태로 시험체를 설치하고 2개의 집중하중을 작용하여 시험체가 완전 파괴 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 0.1tf 단위로 하중 제어 방식으로 가력하였으며, 항복 이후에는 변위 2mm마다 테이터를 측정하는 변위 제어방식으로 제어하였다. 가력판 상부에 Load Cell을 설치하여 가력단계에 따른 하중을 측정하였다.

시험체 하부의 단부에는 로울러(Roller)를 설치하여 수평변위와 회전에 대한 구속이 발생하지 않도록 하였고 지점 파괴를 방지하기 위하여 12cm폭의 각형 철강을 설치하여 실험하였다.

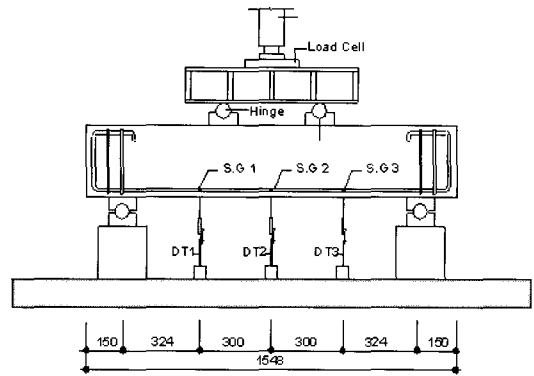


그림 3. 가력 장치 및 측정장치

좌측과 우측 가력점 하부 1개소 그리고 중앙부 1개소에 LVDT(Liner Vertical Displacement Transducer, 변위게이지, 이하 D.T)를 설치하여 가력 단계에 따른 시험체의 변위를 측정하였다. 철근의 변형은 S.G를 그림 3과 같이 철근에 부착하여 변위 측정과 동일한 하중 단계에 따라 측정하였다. 모든 측정기기의 측정 데이터는 Date Logger에 연결하여 수집하였으며 개인용 컴퓨터를 이용하여 변환 처리하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 실험 결과

1) 콘크리트 압축강도 실험결과

기중양생한 공시체의 파괴 압축강도 실험에서, 압축강도 값이 가장 높게 측정된 고막패각 시험체는 재령 28일과 90일에서는 혼입률 20%시험체로 24.7MPa과 32.8MPa로 약 33.9% 정도 압축강도가 증가하였으나, 재령 180일에는 혼입률 15%의 시험체가 33.1MPa로 강도가 높게 나타났다. 고막패각 혼입 시험체 모두 재령이 경과할수록 증가하였다.

무혼입 시험체와 혼입률 20% 고막패각 시험체를 비교하였을 경우, 재령 28일은 약 4.1%, 재령 90일은 약 25.7%, 재령

180은 약 22.9%정도로 무혼입 시험체가 고막패각 시험체보다 압축강도가 낮게 나타났으며, 공시체의 재령별 압축강도 실험 결과는 표 8 및 그림 4와 같다.

표 8. 공시체의 재령별 압축강도 실험결과

시험체명	7일 (MPa)	28일 (MPa)	60일 (MPa)	90일 (MPa)	180 (MPa)
C0	21.9	24.1	24.4	24.8	25.3
C5	21.7	24.1	24.5	24.8	25.7
C10	21.5	24.3	25.6	27.5	28.0
C15	21.2	24.7	26.5	32.3	33.1
C20	21.2	24.7	26.7	32.8	32.8

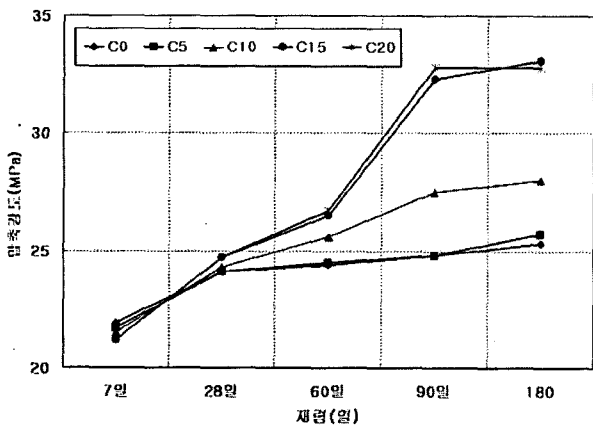


그림 4. 고막패각 혼입률에 따른 재령별 파괴 압축강도

2) 부재 시험체의 균열 및 파괴 형태

각 시험체별 부재 시험결과, 초기균열강도는 1.32MPa로 무혼입 시험체가, 항복강도는 5.00MPa, 최대강도는 6.21MPa로 고막패각 혼입률 20% 시험체가 높게 나타났다. 초기균열강도가 가장 낮은 시험체는 고막패각 혼입률 20% 시험체이며, 항복강도와 최대강도가 가장 낮은 시험체는 고막패각 혼입률 10% 시험체였다. 전단보강근이 없는 시험체의 실험결과는 표 9 및 그림 5와 같다.

표 9. 부재 시험체의 실험결과

시험체명	초기균열강도		항복강도		최대강도	
	σ_{cr} (MPa)	δ_{cr} (mm)	σ_y (MPa)	δ_y (mm)	σ_{max} (MPa)	δ_{max} (mm)
B0-1	1.44	0.24 / 0.39	5.08	3.22 / 3.45	5.36	3.74 / 4.36
B0-2	1.21		5.13		3.68	
B5-1	1.20	0.58 / 0.56	5.14	4.20 / 4.22	5.81	10.56 / 9.88
B5-2	1.12		5.71		4.24	
B10-1	1.02	0.58 / 0.68	4.64	3.64 / 4.71	5.52	9.90 / 12.20
B10-2	1.19		4.77		5.36	
B15-1	1.28	0.56 / 0.51	5.58	4.20 / 3.54	6.36	10.68 / 7.16
B15-2	1.08		4.45		2.88	
B20-1	0.96	0.82 / 0.75	5.81	5.16 / 5.00	6.21	9.28 / 11.29
B20-2	0.87		5.41		4.84	

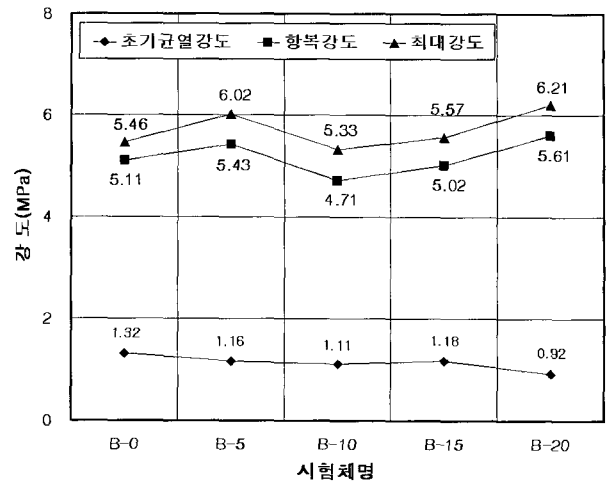
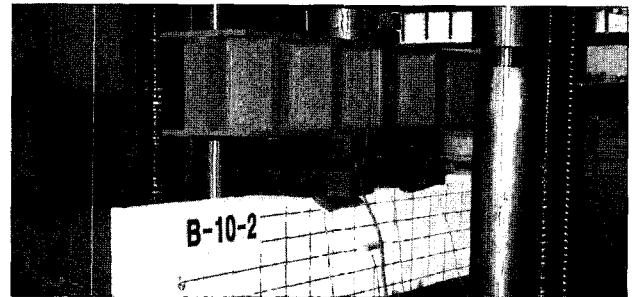
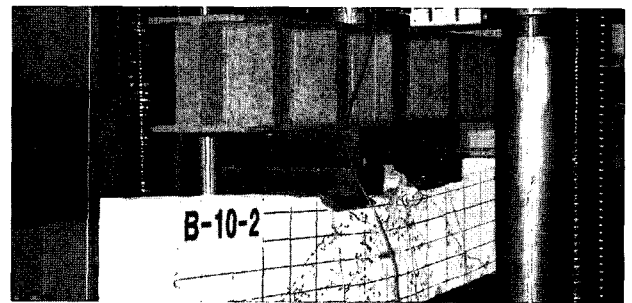


그림 5. 부재 시험체의 실험결과



(a) 가력 전 전경



(b) 가력 후 전경

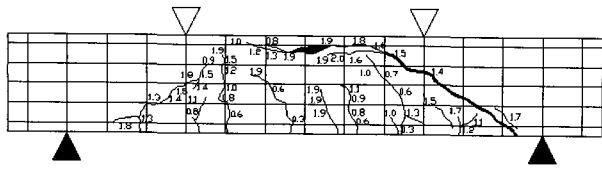
그림 6. 부재 시험체의 실험 전경

3.2 시험체의 균열 및 파괴형태

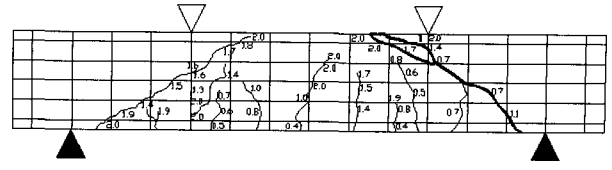
시험체에 하중을 가하면 부재의 파괴현상은 초기균열이 부재의 중앙 하부에서 수직으로 균열이 발생하였으나, 점차 하중이 증가함에 따라 가력점과 지점사이의 사인장균열로 변환되었다.

고막패각 혼입시험체는 무혼입시험체 보다 낮은 하중에서 초기균열이 발생하였으며, 모든 시험체는 최대강도 후 처짐은 계속 증가하나 응력은 일정 시간 정지하였다가 갑자기 큰 폭으로 감소하면서 부재의 처짐 진행속도가 빨라졌다.

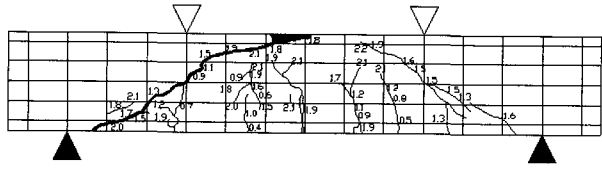
고막패각 혼입 시험체는 최대강도 후 사인장 균열이 진행되면서 압축축의 박락에 이르러 압축파괴 되었다.



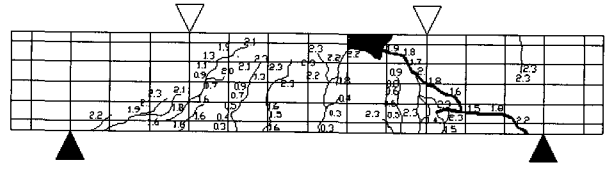
(a) B-0-1



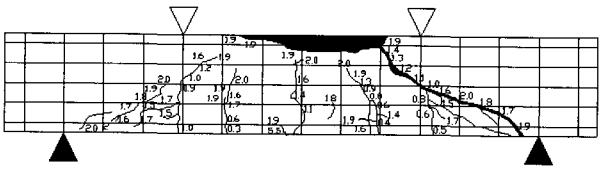
(b) B-0-2



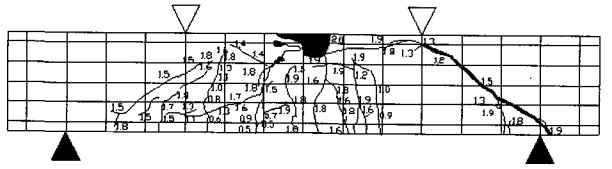
(c) B-5-1



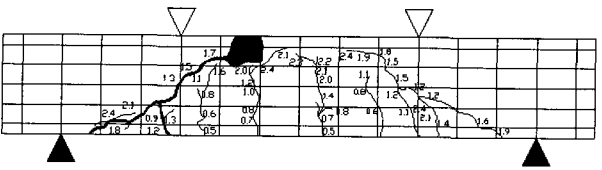
(d) B-5-2



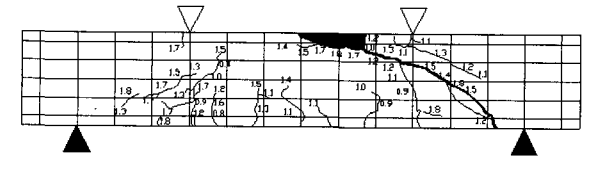
(e) B-10-1



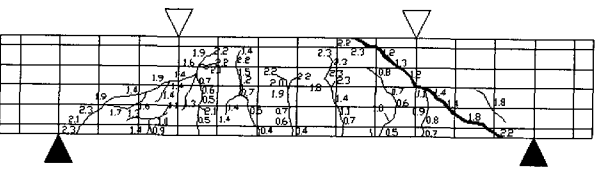
(f) B-10-2



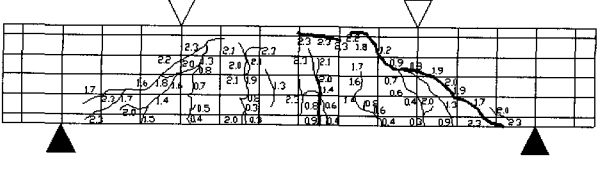
(g) B-15-1



(h) B-15-2

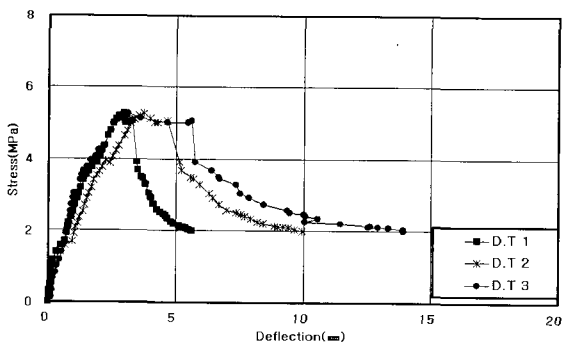


(i) B-20-1

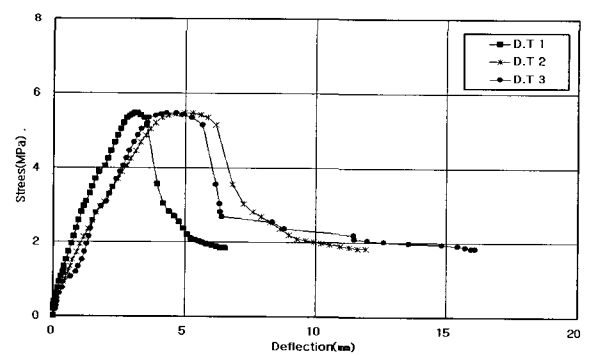


(j) B-20-2

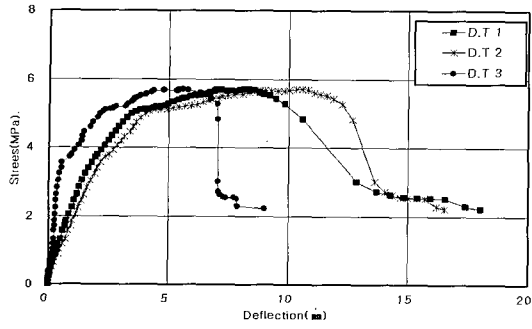
그림 7. 부재 시험체의 균열도



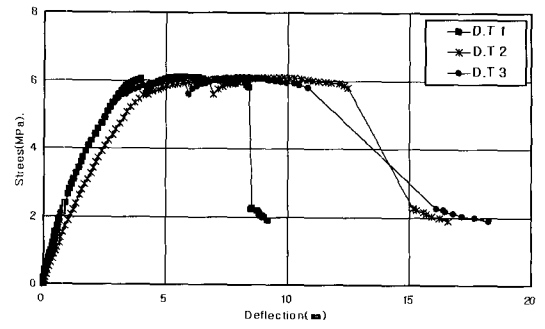
(a) B-0-1



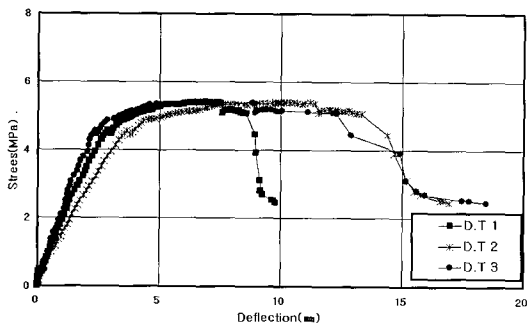
(b) B-0-2



(c) B-5-1



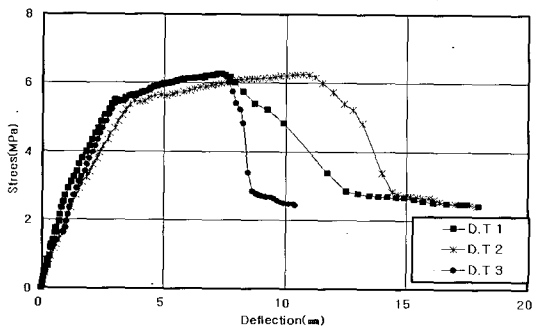
(d) B-5-2



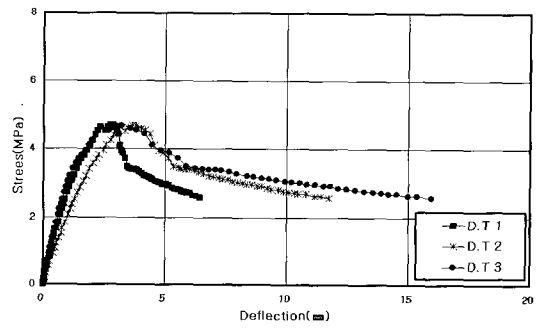
(e) B-10-1



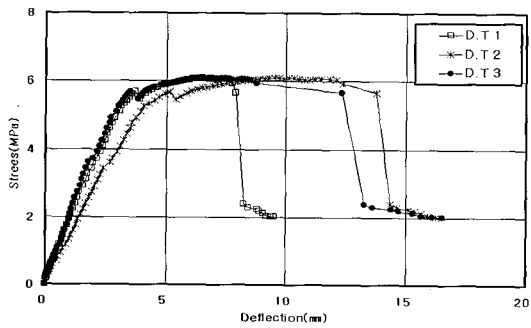
(f) B-10-2



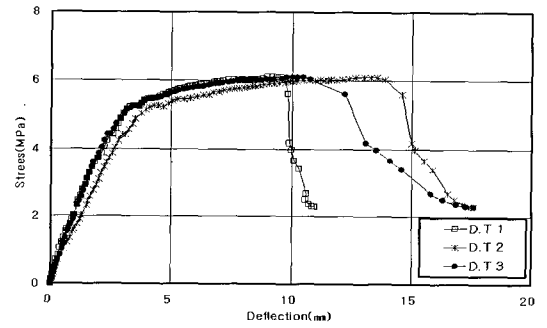
(g) B-15-1



(h) B-15-2



(i) B-20-1



(j) B-20-2

그림 8. 부재 시험체별 응력·변위 곡선

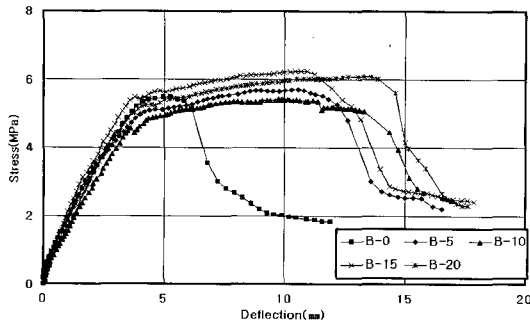


그림 9. 무혼입 시험체와 고막 패각 혼입한 시험체의
응력·변위 곡선

Committee 363의 연성계수를 정의하는 다음 식을 적용한다.

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

δ_{max} : 최대하중에 대응하는 변위

δ_y : 부재항복시의 변위

μ_{max} : 최대하중시의 연성계수

시험체의 연성계수에서 무혼입 시험체는 1.26, 고막 패각 혼입률 5% 시험체는 2.34, 혼입률 10% 시험체는 2.72, 혼입률 15% 시험체는 1.90, 혼입률 20% 시험체는 2.28로 고막패각 혼입률 10% 시험체의 연성계수가 가장 높게 나타났다.

무혼입 시험체와 고막 패각 혼입률 10% 시험체를 비교한 바 고막패각 혼입률 10% 시험체가 무혼입 시험체보다 연성계수가 약 115.87% 높게 나타났다.

4. 부재의 거동 및 연성 능력

철근콘크리트 부재나 구조물의 설계 시 사용되는 연성이나 취성의 개념은 그림 10과 같은 하중-변위 곡선으로부터 잘 알 수 있다. 그림 8의 응력-변위 곡선을 통해 알 수 있듯이, 최대 전단응력이 작용하는 구간에 설치된 D.T2를 볼때 전단 거동에 의한 연성파괴 거동을 알 수 있다.

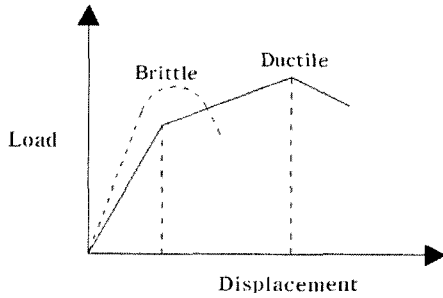


그림 10. 연성 및 취성거동

부재의 연성을 평가하기 위해서 부재 항복시의 처짐을 기준으로 하여 부재 파괴시의 처짐을 비율적으로 나타낸다.

본논문에서는 구조물이 전될 수 있는 최대하중을 더 이상 지지할 수 없을 때 파괴된다고 하는 파괴의 개념에 따라 ACI

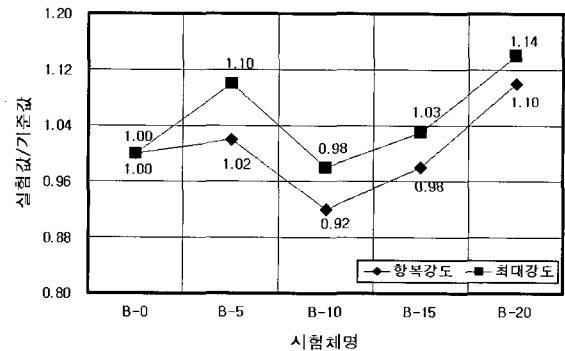


그림 11. 부재 시험체의 내력 증가율

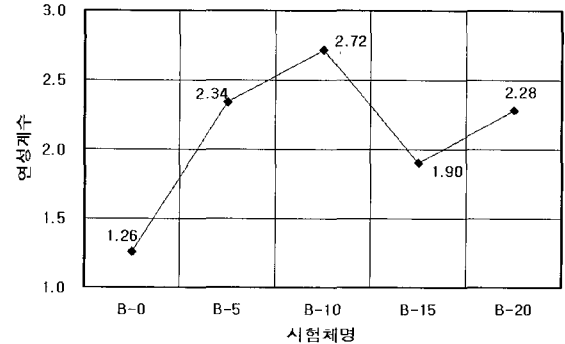


그림 12. 부재 시험체의 연성

표 10. 부재 시험체의 내력 증가율 및 연성계수

시험체명	항복강도						최대강도						연성계수			
	강도 (MPa)	평균 (MPa)	처짐 (mm)	평균 (mm)	실험값/기준값	평균	강도 (MPa)	평균 (MPa)	전단설계강도 (MPa)	설계강도/실험강도	처짐 (mm)	평균 (mm)	실험값/기준값	평균	μ_{max}	평균
B-0-1	5.08	5.11	3.22	3.45	1.00	1.00	5.36	5.46	5.81	0.94	3.74	4.36	0.98	1.00	1.16	1.26
B-0-2	5.13		3.68		1.00		5.57				4.98		1.02		1.35	
B-5-1	5.14	5.43	4.20	4.22	1.01	1.02	5.81	6.05	5.81	0.96	10.56	9.88	1.06	1.10	2.51	2.34
B-5-2	5.71		4.24		1.02		6.22				9.20		1.14		2.17	
B-10-1	4.64	4.71	3.64	4.50	0.91	0.92	5.52	5.33	5.84	1.10	9.90	12.20	1.01	0.98	2.72	2.72
B-10-2	4.77		5.36		0.93		5.14				14.50		0.94		2.71	
B-15-1	5.58	5.02	4.20	3.54	1.09	0.98	6.36	5.57	5.89	1.06	10.68	7.16	1.17	1.03	2.54	1.90
B-15-2	4.45		2.88		0.87		4.78				3.64		0.88		1.26	
B-20-1	5.81	5.61	5.16	5.00	1.14	1.10	6.21	6.21	5.89	0.95	9.28	11.29	1.14	1.14	1.80	2.28
B-20-2	5.41		4.84		1.06		6.20				13.30		1.14		2.75	

참 고 문 헌

시험체의 내력 증가율에서 항복강도는 고막패각 혼입률 20% 시험체가, 최대강도 고막패각 혼입률 10% 시험체가 높게 나타났다. 시험체의 내력 증가율과 연성계수는 표 10 및 그림 10과 같다.

5. 결 론

본연구는 고막패각을 콘크리트용 대체 잔골재로 사용하기 위한 고막패각 혼입률(0%, 5%, 15%, 20%) 철근 콘크리트보의 전단실험을 통하여 고막패각이 철근콘크리트에 미치는 재료 및 구조적인 특성을 파악하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

본 연구는 고막패각을 콘크리트용 대체 잔골재로 사용하기 위한 고막패각 혼입률(0%, 5%, 10%, 15%, 20%)에 따른 전단보강근이 없는 철근콘크리트 보의 부재실험과 공시체 압축강도 실험을 통하여 고막패각이 철근콘크리트에 미치는 재료 및 구조적인 특성을 파악하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 압축강도 실험결과, 고막패각 혼입률 15%, 20% 시험체가 무혼입 시험체보다 재령이 증가할수록 압축강도는 증가하는 것으로 나타났다. 무혼입 시험체와 고막패각 혼입 시험체의 압축강도를 비교한바, 고막 패각 혼입 시험체가 재령 60일 이후에서 높게 나타났다. 이는 고막패각의 흡수율이 일반 잔골재보다 높은 특성으로 초기에는 압축강도가 미세하게 낮으나, 고막 패각의 혼입율과 재령이 경과함에 따라 압축강도가 증가하는 것으로 사료된다.
- 2) 시험체별 부재 실험결과, 초기 균열 강도는 고막패각 혼입률이 증가할수록 저하되었으며, 항복강도 및 최대강도는 일반잔골재를 사용한 시험체와 유사하거나 다소 증가하는 것으로 나타났다. 고막패각 시험체의 최대강도는 전단설계강도 보다 높은 것으로 나타났다.
- 3) 시험체의 연성능력은 일반 잔골재를 사용한 시험체보다 고막패각을 혼입한 시험체가 높았으며, 고막패각의 혼입률 10% 시험체가 가장 높게 나타났다.
- 4) 각종 실험 결과를 종합한바, 고막패각을 혼입한 전단보강근이 없는 시험체의 연성능력이 무혼입 시험체보다 높게 나타나, 콘크리트용 잔골재로 고막패각 혼입률 20%까지는 활용 가능성이 있을 것으로 사료된다.
추후 분쇄한 고막 패각을 콘크리트용 대체 잔골재로 사용을 위한 내구성, 시공성, 경제성 등에 관한 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

1. 김정섭외 4인, “콘크리트용 잔골재로서 고막 패각의 활용성에 관한 연구”, 대한건축학회 춘계학술발표대회논문 제 24권 1호, pp. 211~214, 2004.04
2. 김정섭외 4인, “패각류가 함유된 철근콘크리트 보의 내력 및 거동에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 논문집 제 20권 1호, pp. 67~74, 2004.01
3. 김우석외 4인, “경량 콘크리트 보의 전단내력에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, 제18권 5호, pp19~28, 2002. 05.
4. 양은익외 2인, “골패각을 혼입한 콘크리트의 역학적 특성 조사”, 대한토목학회 논문집, 제21권, 6-A호, pp. 773~784, 2001.11.
5. 김학모외 4인, “산업폐기물(골패각)을 혼입한 콘크리트의 장기성능평가”, 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제14권 2호, pp. 227~232, 2002.
6. 어서홍외 2인, “콘크리트용 골재로서 골패각의 활용”, 한국콘크리트학회 논문집, 제14권 4호, pp. 540~548, 2002. 08.