

고막 껍질을 잔골재로 사용한 철근콘크리트 보의 전단 거동에 관한 연구

A Study on the Shear Behavior of Reinforced Concrete Beams Using of Cockle Shells as Fine Aggregate

김정섭*
Kim, Jeong-Sup

신용석**
Shin, yong-Seok

Abstract

1) As result of specimen with shear reinforcing bar of reinforced concrete beam, ductile coefficient of specimen was high in specimen containing Cockle shells based on non-mixed specimen.

In increase rate of specimens, yield strength was similar in specimens containing Cockle shells and non-mixed specimens and maximum strength was higher in specimen containing Cockle shells.

2) To sum up the above experimental results, it is found that using splitted Cockle shells as aggregate for concrete by 10%~15% showed the same or higher compressive strength and shear strength as concretes using general aggregate and it can be used as substitute aggregate of concrete.

It is considered that for future use of splitted Cockle shells as substitute concrete aggregate, continuous researches of its durability, applicability and economy are needed.

키워드 : 잔골재, 고막 패각, 전단 거동
Fine Aggregate, Cockle Shells, Shear Behavior

1. 서론

1.1 연구의 배경

철근콘크리트는 내구성, 내화성 그리고 재료구입의 용이성 등 여러 가지 장점으로 인해 현재까지 꾸준히 수요가 증대되는 재료이다. 하지만 콘크리트 전체 용적의 70~80%를 차지하고 있는 하천골재 및 산림, 육상골재 등 천연골재가 고갈되어 가는 실정이며, 그 해결책으로 바다모래와 쇄석의 사용이 현저하게 증가하였다.

이로 인한 각종 산업폐기물 혹은 부산물을 건설재료로 활용하고자 하는 노력이 여러 학문분야에서 다각도로 진행되어 왔다. 화력발전소에서 발생하는 비산재, 즉 플라이애시를 콘크리트용 혼화재료로 사용하는 것, 철광석 제조시 부산물로 발생하는 슬래그를 골재 또는 시멘트 원료로 사용하는 것, 광산 폐석을 골재로 활용하는 것, 재개발 과정에서 발생하는 폐콘크리트로부터 재생골재를 획득하는 것, 그 밖에도 폐타이어, 폐유리 등을 콘크리트 제조시의 혼합물로 활용하고자 하는 연구와 실용 사례가 많이 이루어지고 있다.

최근들어 부산물 중의 하나인 굴 및 고막 패각을 콘크리트

의 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 단기 재령에 대한 결과에 국한되어 있으며 실제 적용을 위해서는 굴 및 고막 패각의 콘크리트 골재 혼합에 따른 내구성에 대한 다각적인 연구가 필요하다.

1.2 연구의 목적

콘크리트의 자연골재가 점점 고갈되어가고 있고, 산업폐기물의 증가에 따른 매립장이 절대적으로 부족한 실정이다. 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.

* 정회원, 조선대학교 건축학부 교수, 공학박사

** 정회원, 조선대학교 대학원 석사과정

2. 실험계획 및 방법

2.1 일반 사항

고막패각 혼입률을 5%, 10%, 15%, 20%로 철근콘크리트보의 부재시험체를 혼입률별 2개씩 제작하여 구조적 내력 및 거동에 관하여 실험을 하였다.

실험은 압축강도시험과 부재실험으로 구분하여 실시한다. 압축강도시험은 부재실험에 사용된 재료인 고막패각의 재료적인 물성을 시험하기 위하여 $\phi 100\text{mm} \times 200\text{mm}$ 원주형 공시체를 제작하여 실험을 하였다.

압축강도시험은 100tonf의 만능구조시험기를 이용하여 KS 규격에 의하여 실험을 실시한다. 부재실험에서는 기준 시험체를 완전 파괴될때까지 가력후, 최대 내력을 파악하여 기준 시험체의 최대내력으로 결정한다.

2.2 시험체 설계

부재시험체는 극한강도설계법으로 동일하게 설계하며, 시험체의 크기는 그림 1과 같이 150mm(b) \times 250(D)mm \times 2100(L)mm로 제작한다.. 시험체에 사용된 철근은 SD300을 사용하여 상부에 2-HD13, 하부 2-HD13을 배근하였고, 스테럽은 D10@250을 배근하여 피복두께는 30mm로 한다.

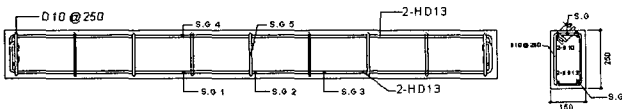


그림 1. 시험체 배근도

철근은 철근 조립전에 스트레인지이지 부착하여 조립하고, 철근 양끝에는 충분한 길이의 Hook를 만들어 콘크리트와 철근간의 부착강도가 저하하지 않도록 q하였다.

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

28일 이상 양생 후 실험실로 운반하여 거푸집 탈형 후 이물질 제거하고, 시험체 표면에는 균열의 위치 및 형태, 하중 등 진행상황의 파악이 용이하도록 백색페인트를 칠하여 10cm간격으로 격자를 그렸다

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.

2) 잔골재

잔골재는 KS F 2502(골재의 체가름 실험 방법)의 규격에 적합한 섬진강에서 채취한 강모래를 사용하였다.

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

표 2. 잔골재의 물리적 성질

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

3) 굵은골재

굵은골재는 KS F 2502(골재의 체가름 실험 방법)의 규격에 적합한 깎자갈을 사용하였으며 굵은골재의 물리적 성질은 표 3과 같다.

표 3. 굵은골재의 물리적 성질

골재종류	최대치수 (mm)	비 중	흡수율 (%)	조립율 (F.M)	단위용적중량 (kg/m ³)
잔골재	20	2.67	1.24	6.83	1,550

4) 고막패각

고막패각은 분쇄하여 최대치수 5mm이하를 사용하였으며 고막패각의 물리적, 화학적 성질은 표4, 표5와 같다.

표 4. 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 5. 고막패각의 화학적 성질

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

5) 철근

시험체에 사용된 철근은 SD400의 이형철근 HD13(상부근, 하부근)과 SD300의 이형철근 D10(스테럽)을 사용하였으며, 각각 3개씩 시험편을 KS B 0802(금속재료 인장시험방법)에 따라 시험을 실시하였다. 철근 3개의 평균재료시험 결과는 표 4와 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
HD13	1.27	487.3	607.2	19.0

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 부어넣기하였다.

표 7. 콘크리트 배합표

시험체 종류	물시멘트비 (%)	슬럼프 (cm)	배합중량(kg/m ³)					패각 혼입량 (%)
			물	시멘트	잔골재	굵은골재	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

본실험은 재령 30일이 경과한후 그림 2와 같이 만능구조실험기가 설치된 실험실에서 행하였으며 단순지지 상태로 시험체를 설치하고 2개의 집중하중을 작용하여 시험체가 완전 파괴 될 때까지 가력 후 최대 내력을 결정하였다. 균열의 진행 상황을 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 데이터를 측정하는 변위 제어방식으로 제하하였다. 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.

우측 가력점 하부 1개소, 중앙부 1개소, 그리고 우측 지점으로부터 30cm 떨어진 지점 1개소에 LVDT(Liner Vertical Displacement Transducer, 변위계이지, 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.

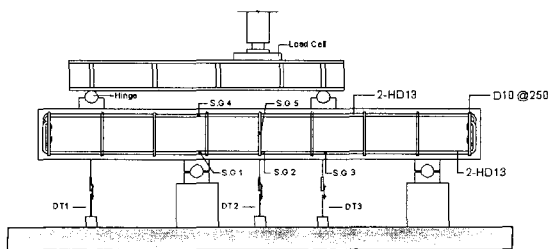


그림 2. 가력 장치 및 측정장치

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 실험 결과

각 시험체별 부재 실험 결과, 초기 균열 응력은 1.92MPa, 항복강도는 4.83MPa, 최대강도는 5.58MPa로 고막 패각 혼입률 10% 시험체가 가장 높게 나타났다.

초기 균열 응력과 항복강도 및 최대강도가 가장 낮은 시험체는 고막패각 혼입률 20% 시험체로 나타났으며 전단시험체의 실험결과는 표 8 및 그림 3과 같다.

표 8. 전단 시험체의 실험결과

시험체명	초기균열하중		항복하중		최대하중	
	σ_{cr} (MPa)	δ_{cr} (mm)	σ_y (MPa)	δ_y (mm)	σ_{max} (MPa)	δ_{max} (mm)
B-0-1	2.00	1.22	2.54	3.72	3.34	20.1
B-0-2	1.84	0.83	4.16	4.76	4.78	0
B-5-1	1.83	0.72	2.56	4.32	3.26	19.1
B-5-2	1.59	0.50	5.30	5.64	6.07	2
B-10-1	1.51	1.70	2.27	5.68	3.02	26.7
B-10-2	1.60	0.81	4.83	6.61	5.58	9
B-15-1	1.71	1.02	2.27	5.10	2.85	24.0
B-15-2	1.45	0.46	4.21	2.92	4.99	1
B-20-1	1.23	1.02	2.08	5.02	2.91	24.6
B-20-2	1.28	0.32	3.39	4.63	4.57	6
						13.7
						8

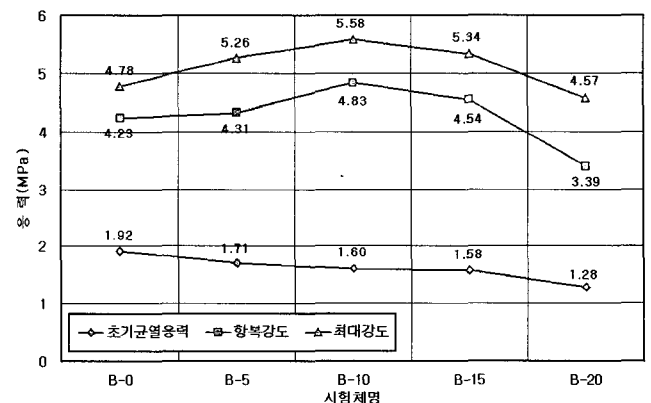


그림 3. 전단 시험체의 실험결과

3.2 시험체의 균열 및 파괴형태

시험체에 하중을 가하면 부재의 파괴현상은 초기균열이 보의 좌측 지점 상부에서 하부로 휨균열에 의한 선형 파괴 후, 재하하중의 증가로 인하여 종국 전단파괴형태를 나타내었다.

고막 패각을 혼입한 시험체는 무혼입시험체 보다 낮은 하중에서 초기균열이 발생하였다.

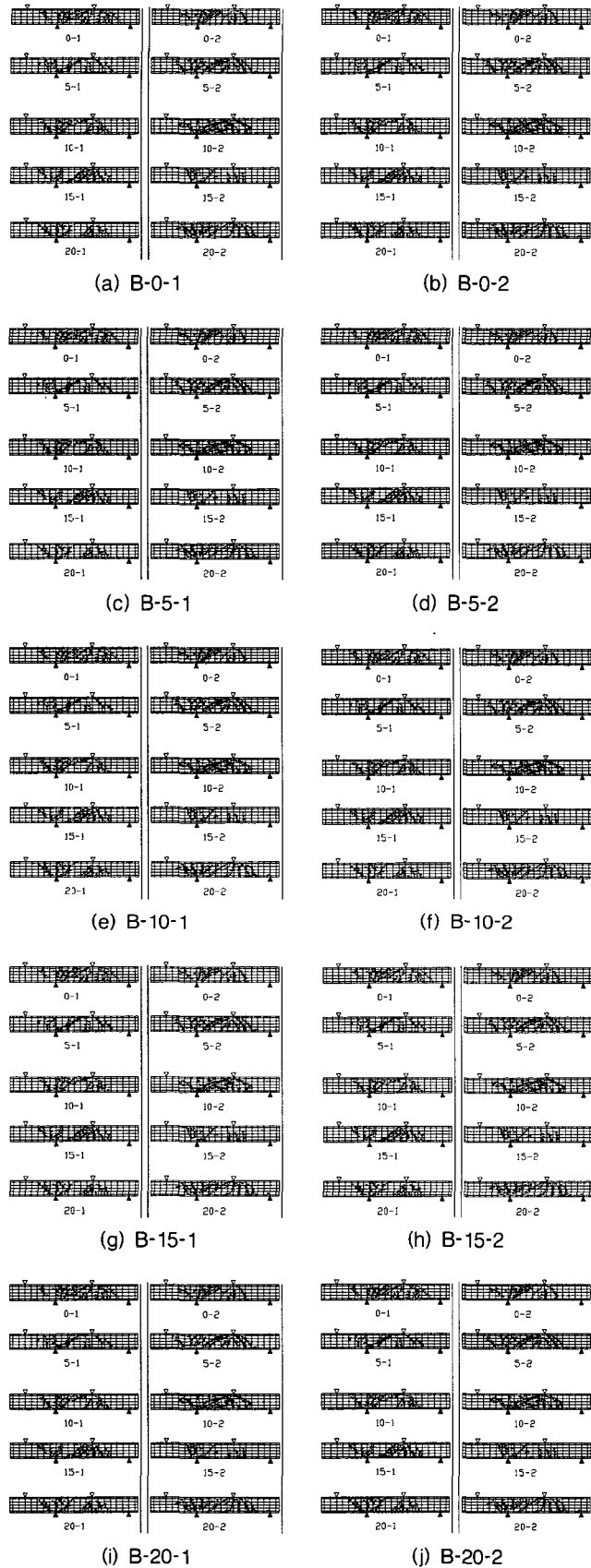


그림 4. 시험체의 균열도

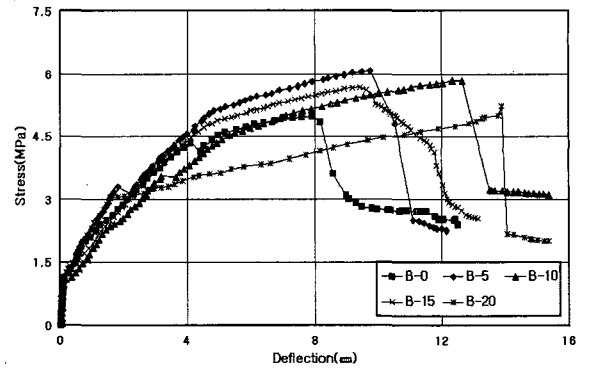
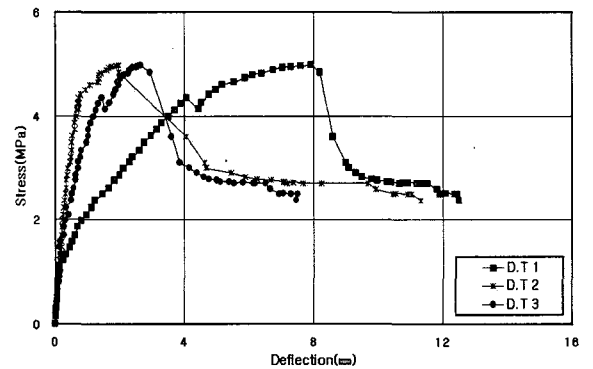
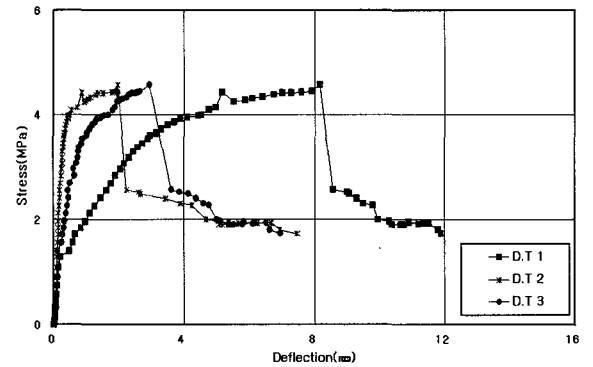


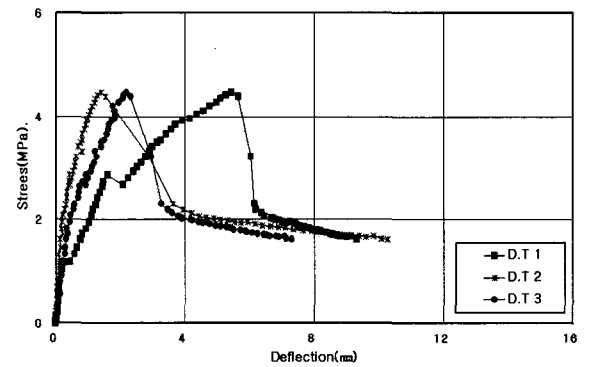
그림 5. 무혼입시험체와 고막패각이 혼입된 시험체의 응력-변위 곡선



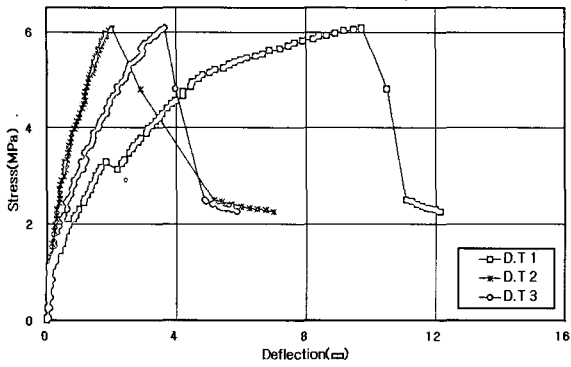
(a) B-0-1



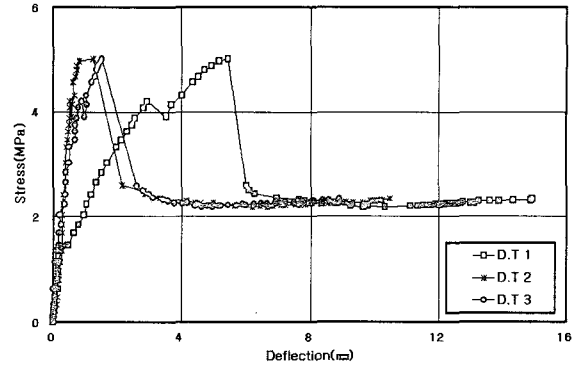
(b) B-0-2



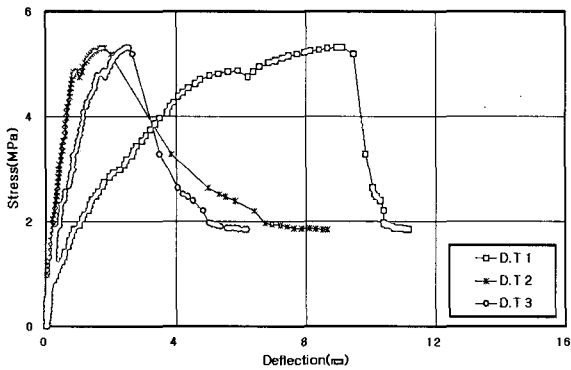
(c) B-5-1



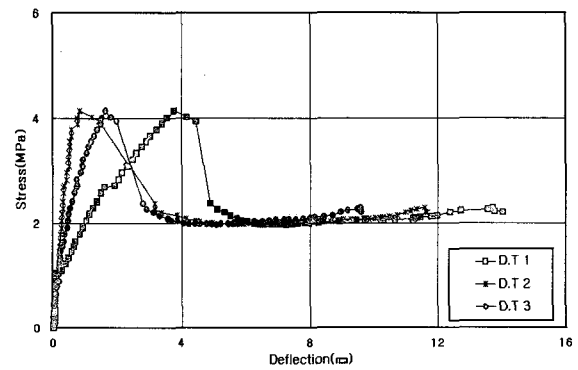
(d) B-10-2



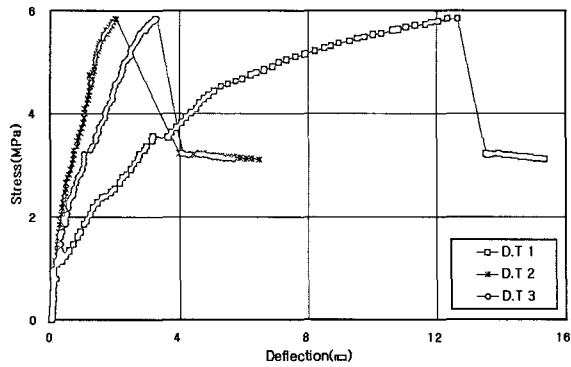
(h) B-15-2



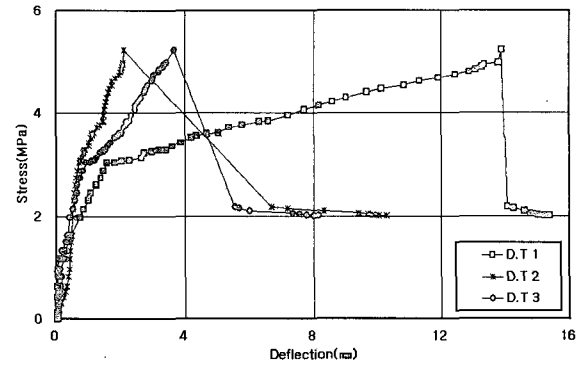
(e) B-10-1



(i) B-20-1

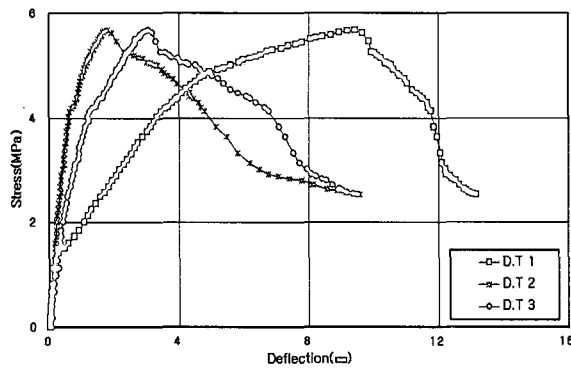


(f) B-5-2



(j) B-20-2

그림 6. 시험체별 응력-변위 곡선



(g) B-15-1

시험체별 실험결과, 초기 균열 응력은 1.92MPa로 무혼입 시험체가, 항복강도는 4.83MPa 최대강도는 5.58MPa로 나타났으며, 고막 패각 혼입율 20% 시험체를 제외한 5%~15%까지의 시험체는 무혼입 시험체보다 초기균열응력, 항복강도, 최대강도가 높게 나타났다.

3.3 부재의 거동 및 연성 능력

철근콘크리트 부재나 구조물의 설계 시 사용되는 연성이나 취성의 개념은 그림 7과 같은 하중-변위 곡선으로부터 잘 알 수 있다. 그림 6의 응력-변위 곡선을 통해 알 수 있듯이, 최대 전단응력이 작용하는 구간에 설치된 D.T2를 볼때 전단 거동에 의한 취성파괴 거동을 알 수 있다.

표 9. 시험체의 전단내력 증가율 및 연성계수

시험체명	항복강도						최대강도						연성계수	
	강도 (MPa)	평균 (MPa)	처짐 (mm)	평균 (mm)	실험값/기준값	평균	강도 (MPa)	평균 (MPa)	처짐 (mm)	평균 (mm)	실험값/기준값	평균	μ_{max}	평균
B-0-1	4.35	4.23	4.08	4.42	1.03	1.00	4.98	4.78	7.92	8.05	1.04	1.00	1.94	1.83
B-0-2	4.16		4.76		0.97		4.58		8.18		0.96		1.72	
B-5-1	3.32	4.31	2.90	4.27	0.79	1.02	4.45	5.26	5.44	7.59	0.93	1.10	1.88	1.81
B-5-2	5.30		5.64		1.25		6.07		9.74		1.27		1.73	
B-10-1	4.74	4.83	5.60	6.61	1.12	1.14	5.32	5.58	9.14	10.89	1.11	1.17	1.63	1.65
B-10-2	4.92		7.62		1.16		5.85		12.64		1.22		1.66	
B-15-1	4.88	4.54	2.92	3.93	1.15	1.07	5.67	5.34	5.42	7.42	1.19	1.12	1.91	1.85
B-15-2	4.21		2.92		0.99		4.99		5.42		1.04		1.78	
B-20-1	2.82	3.39	2.04	4.63	0.67	0.81	4.14	4.57	3.78	8.78	0.87	0.96	1.85	1.88
B-20-2	3.96		7.22		0.94		4.99		13.78		1.04		1.91	

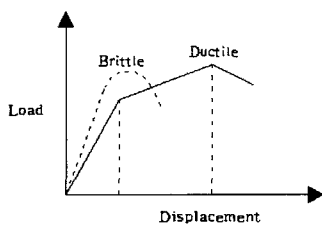


그림 7. 연성 및 취성거동

보는 전단 및 휨에 대해 동시에 저항하는 특성을 갖는 부재로서, 부재의 연성을 평가하기 위해서 부재 항복시의 처짐을 기준으로 하여 부재 파괴시의 처짐을 비율적으로 나타낸다. 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.

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

δ_{max} : 최대하중에 대응하는 변위

δ_y : 부재항복시의 변위

μ_{max} : 최대하중시의 연성계수

시험체의 연성계수에서 무혼입 시험체는 1.83, 고막 패각 혼입률 5% 시험체는 1.81, 혼입률 10% 시험체는 1.65, 혼입률 15% 시험체는 1.85, 혼입률 20% 시험체는 1.88로 고막 패각 혼입률에 따른 시험체의 연성계수는 유사한 것으로 나타났다.

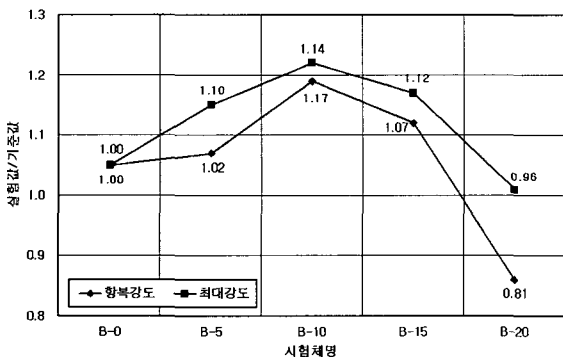


그림 8. 전단시험체의 내력증가율

시험체의 내력 증가율은 항복강도와 최대강도 모두 고막 패각 혼입률 10% 시험체가 높게 나타났으며 고막패각 혼입률 20% 시험체가 내력 증가율이 가장 낮게 나타났다. 시험체의 내력 증가율과 연성계수는 표 9 및 그림 7, 8 같다.

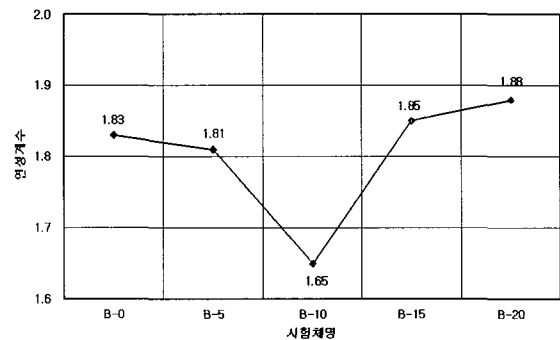


그림 9. 전단시험체의 연성능력

4. 결 론

본 연구는 고막패각을 콘크리트용 대체 잔골재로 사용하기 위한 고막패각 혼입률(0%, 5%, 10%, 15%, 20%) 철근 콘크리트보의 전단실험을 통하여 고막패각이 철근콘크리트에 미치는 재료 및 구조적인 특성을 파악하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 압축강도 실험결과, 고막패각 혼입률 15%, 20% 시험체가 무혼입 시험체보다 재량이 증가할수록 압축강도는 증가하는 것으로 나타났다. 무혼입 시험체와 고막패각 혼입 시험체의 압축강도를 비교한 바, 고막 패각 혼입 시험체가 채령 60일, 90일에서 높게 나타나 고막 패각의 일정량 혼입과 재량이 경과함에 따라 압축강도가 증가할 것으로 사료된다.
- 2) 철근콘크리트 보의 전단실험결과, 시험체의 연성계수는 무혼입 시험체를 기준으로 볼때, 고막패각 혼입 시험체의 연성계수가 유사한 것으로 나타났다. 또한 시험체의 내력·증가율은 항복강도와 최대강도 모두 고막 패각 혼입 시험체가 다소 높거나 유사한 것으로 나타났다.

- 3) 공시체의 압축강도실험과 철근콘크리트의 전단실험을 통하여 고막패각 혼입률 10%~15%까지 일반 잔골재와 치환하여 사용하여도 일반잔골재를 사용한 콘크리트와 거의 동일하거나 높은 압축강도 및 전단강도를 갖는 것으로 나타나 콘크리트 잔골재로 활용성이 있다고 판단된다. 추후 분쇄한 고막패각을 콘크리트용 잔골재로 사용할 경우의 내구성, 시공성, 경제성 등에 관한 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 김정섭 외 4인, “패각류가 함유된 철근콘크리트 보의 내력 및 거동에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 논문집 제 20권 1호, pp. 67~74, 2004. 01
2. 김우석 외 4인, “경량 콘크리트 보의 전단내력에 관한 연구”, 대한건축학회논문집, 제18권 5호, pp19~28, 2002. 05.
3. 양은익 외 2인, “골패각을 혼입한 콘크리트의 역학적 특성 조사”, 대한토목학회 논문집, 제21권, 6-A호, pp. 773~784, 2001. 11.
4. 김학모 외 4인, “산업폐기물(골패각)을 혼입한 콘크리트의 장기성능 평가”, 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제14권 2호, pp. 227~232, 2002.
5. 어석홍 외 2인, “콘크리트용 골재로서 골패각의 활용”, 한국콘크리트학회 논문집, 제14권 4호, pp. 540~548, 2002. 08.