

잔골재로 고막 패각을 사용한 철근콘크리트 보의 휨 거동에 관한 연구

A Study on Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beam Using Cockle Shells as Fine Aggregate

김 정 섭*

Kim, Jeong-Sup

조 철 희**

Cho, Cheol-Hee

김 광 섭**

Kim, Kang-Sup

Abstract

As a result of compressive strength experiment, rupture compressive strength showed more increases in specimens of 15% and 20% of Cockle shells in those of non-mixture. The specimen which was used general aggregate showed the highest value and ductility capacity was getting decreased as the amount of cockle shell was getting increased in the ductility capacity of specimen. We might conclude that the reason of the yield strength's decline was the lack of the bond strength which was caused by the amount of cockle shell.

요 지

압축강도 실험결과, 고막패각 혼입량 15%와 20% 시험체가 무혼입 시험체보다 증가하는 것으로 나타났다. 시험체의 연성능력은 일반 잔골재를 사용한 시험체가 가장 높았으며, 고막패각의 혼입량이 많을수록 연성능력은 낮게 나타났고, 고막패각 혼입량이 많을수록 낮은 하중에서 초기균열이 발생하여 하중의 증가로 인하여 부재의 처짐 속도가 빨라지는 것으로 나타났다. 이는 고막패각의 혼입량에 따라 부착력이 부족하여, 이후 항복내력이 상대적으로 증가하지 못한 것으로 판단된다.

Keywords : Fine Aggregate, Cockle Shells, Flexural Behavior

핵심 용어 : 잔골재, 고막패각, 휨 거동

* 정회원, 조선대학교 건축학부 교수, 공학박사

** 정회원, 조선대학교 박사과정 수료,

E-mail : yonggari2002@hanmail.net 062-230-7146

•본 논문에 대한 토의를 2004년 12월 31일까지 학회로 보내주
시면 2005년 4월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

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 고갈되어가는 실정이다. 이에 대한 해결책으로 바다모래와 쇄석의 사용이 현저하게 증가하였다. 이로 인한 각종 산업폐기물 혹은 부산물을 건설재료로 활용하고자 하는 노력이 여러 학문분야에서 다각도로 진행되어 왔다.

최근들어 부산물 중의 하나인 굴 및 고막 폐각을 콘크리트의 잔골재로 사용하려는 연구가 일부에서 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 재료시험에 국한되어 있으며 실제 적용을 위해서는 굴 및 고막 폐각의 콘크리트 골재 혼합에 따른 내구성에 대한 다각적인 연구가 필요하다.

1.2 연구의 목적

콘크리트의 천연골재가 점점 고갈되어가고 있고, 산업폐기물의 증가에 따른 매립장이 절대적으로 부족한 실정이다. 그리고 고막 폐각이 연안 일대에 대량으로 폐기되어 환경 오염의 한 원인이 되고 있다. 본 연구에서는 고막 폐각을 인위적으로 분쇄하여 철근 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

부재 시험체는 고막폐각 혼입률을 5%, 10%, 15%, 20%로 철근콘크리트보를 혼입률별 2개씩 제작하여 구조적

내력 및 거동에 관하여 실험을 하였다. 실험은 압축강도시험과 부재실험으로 구분하여 실시한다. 압축강도시험은 부재실험에 사용된 재료인 고막폐각의 재료적인 물성을 시험하기 위하여 $\psi 100\text{mm} \times 200\text{mm}$ 원주형 공시체를 제작 하였다. 압축강도시험은 100tonf의 만능구조시험기를 이용하여 KS규격에 의하여 실시한다. 부재실험에서는 기준 시험체를 완전 파괴될때까지 가력후, 최대 내력을 파악하여 기준 시험체의 최대내력으로 결정한다.

2.2 시험체 설계

부재시험체는 극한강도설계법으로 동일하게 설계하며, 시험체의 크기는 Fig. 1과 같이 $150\text{mm}(b) \times 250\text{mm}(D) \times 2100\text{mm}(L)$ 로 제작한다.

시험체에 사용된 철근은 SD300을 사용하여 상부에 2-D10, 하부 2-D13을 배근하였고, 스테럽은 D10@100을 배근하여 피복두께는 30mm로 한다.

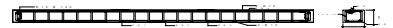


Fig. 1 시험체 배근도

철근은 조립전에 스트레인이게지를 부착하고, 철근 양끝에는 충분한 길이의 Hook를 만들어 콘크리트와 철근간의 부착강도가 저하되지 않도록 하였다.

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

시험체는 28일 이상 양생 후 실험실로 운반하여 거푸집 떼어내기 후 이물질을 제거하고, 표면에는 균열의 위치 및 하중 등 진행상황의 파악이 용이하도록 백색페인트를 칠하여 10cm간격으로 격자를 그렸다.

2.3 사용재료

2.3.1 시멘트

본 실험에 사용된 시멘트는 KS L 5201(포틀랜드 시

멘트)에 규정된 S사 제품을 사용하였고, 시멘트의 화학적 성분 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

Table 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	SC ₃	Ig. loss	
보 통 포틀랜드 시멘트	21.9	6.59	2.81	60.12	3.32	2.11	2.58	3.15

2.3.2 잔골재

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

Table 2 잔골재의 물리적 성질

골재 종류	최대 치수(mm)	비중	흡수율 (%)	조립율 (F.M)	단위용적 중량(kg m ³)
잔골재	5	2.61	1.05	2.69	1,653

2.3.3 굵은골재

굵은골재는 KS F 2502(골재의 체가름 실험 방법)의 규정에 적합한 갠자갈을 사용하였으며 굵은골재의 물리적 성질은 Table 3과 같다.

Table 3 굵은골재의 물리적 성질

골재 종류	최대 치수(mm)	비중	흡수율 (%)	조립율 (F.M)	단위용적 중량(kg m ³)
굵은골재	20	2.67	1.24	6.83	1,550

2.3.4 고막패각

고막패각은 분쇄하여 최대치수 5mm 이하를 사용하였으며, 고막패각의 물리적 성질은 다음 Table 4와 같다.

Table 4 고막패각의 물리적 성질

골재 종류	최대 치수(mm)	비중	흡수율 (%)	조립율 (F.M)	단위용적 중량(kg m ³)
고막패각	5	2.69	2.57	3.19	1,870

고막패각의 화학적 성질은 Table 5와 같다.

Table 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



(a) 혼입한 공시체 10%



(b) 혼입한 공시체 20%

Photo 1 고막패각을 혼입한 공시체 내부 SEM

2.3.5 철근

시험체에 사용된 철근은 SD300의 이형철근을 사용하였으며, 각각 3개씩 시험편을 KS B 0802(금속재료 인장시험방법)에 따라 시험을 실시하였다. 철근 3개의 평균재료시험 결과는 Table 6과 같이 나타났으며, KS D 3405(철근콘크리트용 봉강)의 규준에 모두 적합하였다.

Table 6 철근의 성질

철근 종류	단면적 (cm ²)	항복강도 (N/mm ²)	인장강도 (N/mm ²)	연신율 (%)
D10	0.72	388.0	545.5	28.2
D13	1.27	387.3	551.2	28.6

2.4 배합계획

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

Table 7 콘크리트 배합표

시험체 종류	물시멘트비 (%)	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) ● ○ : ●), 5, 10, 15, 20 : (%)

2.5 실험방법

본 실험은 재령 30일이 경과한후 Fig. 2와 같이 만능구조시험기가 설치된 실험실에서 실시하였다. 단순 지지 상태로 시험체를 설치하고 2개의 집중하중을 작용하여 시험체가 완전파괴 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 크기로 하중 제어방식으로 가력하였으며, 항복 이후에는 변위 2mm마다 데이터를 측정하는 변위 제어방식으로 실시하였다. 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 12cm 폭의 각형 철강을 설치하여 실험하였다.

우측 가력점 하부 1개소, 중앙부 1개소, 그리고 우측 지점으로부터 30cm 떨어진 지점 1개소에 LVDT (Linear Vertical Displacement Transducer, 변위계이지, 이하 D.T)를 설치하여 가력 단계에 따른 시험체의 변위를 측정하였다. 철근의 변형은 Strain Gage를 Fig. 2와 같이 철근에 부착하여 변위 측정과 동일한 하중 단계에 따라 측정하였다. 모든 측정기기의 측정 데이터는 Date Logger에 연결하여 수집하였으며, 개인용 컴퓨터를 이용하여 변환 처리하였다.

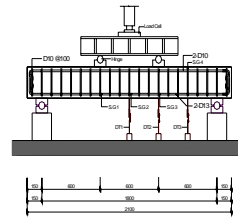


Fig. 2 가력 장치 및 측정장치

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 실험 결과

3.1.1 압축강도 실험결과

파괴 압축강도 실험에서, 압축강도 값이 가장 높게 측정된 시험체는 재령 28일에는 고막폐각 혼입률 20% 시험체로 27.5MPa, 재령 90일에는 혼입률 20%의 시험체가 32.8MPa로 나타났으며 고막폐각 혼입 시험체 모두 재령이 경과할수록 증가하였다.

Table 8 공시체의 재령별 압축강도 실험결과

시험체명	7 일 (MPa)	28 일 (MPa)	60 일 (MPa)	90 일 (MPa)
C0	21.9	23.5	23.8	24.0
C5	21.7	22.6	23.0	23.7
C10	21.5	23.1	25.6	27.5
C15	21.2	24.7	26.5	32.3
C20	21.2	24.5	26.7	32.8

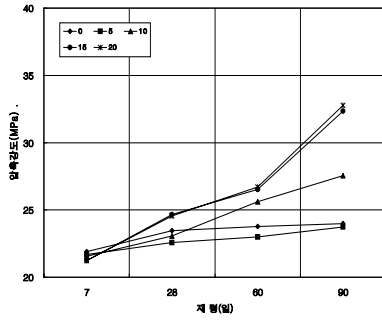


Fig. 3 고막패각 혼입량에 따른 재령별 파괴 압축강도

3.1.2 부재 시험체의 실험결과

각 시험체별 부재 실험 결과, 초기 균열 응력은 1.09 MPa, 항복응력은 2.51MPa, 최대응력은 3.23MPa로 무혼입 시험체가 가장 높게 나타났으며 고막 패각 시험체의 경우 5% 시험체가 가장 높게 나타났다. 고막패각의 혼입률이 많을수록 시험체의 응력은 낮게 나타났다. 힘 시험체의 실험결과는 Table 9 및 Fig. 4와 같다.

Table 9 힘 시험체의 실험결과

시험체명	초기균열응력		항복응력		최대응력	
	σ_{cr} (MPa)	δ_{cr} (mm)	σ_y (MPa)	ϵ_y (mm)	σ_{max} (MPa)	δ_{max} (mm)
B-0-1	1.04	1.22	2.54	3.72	3.34	2010
B-0-2	1.15	1.34	2.48	3.12	3.13	1815
B-5-1	0.83	0.72	2.56	4.32	3.26	1912
B-5-2	1.31	2.08	2.39	4.26	3.07	2336
B-10-1	0.97	1.70	2.27	5.68	3.02	2679
B-10-2	1.11	1.24	2.40	6.04	3.12	2782
B-15-1	1.03	1.02	2.27	5.10	2.85	2401
B-15-2	0.89	1.22	2.26	5.82	2.89	2445
B-20-1	0.73	1.02	2.08	5.02	2.91	2466
B-20-2	0.77	0.98	2.19	5.98	2.76	2316

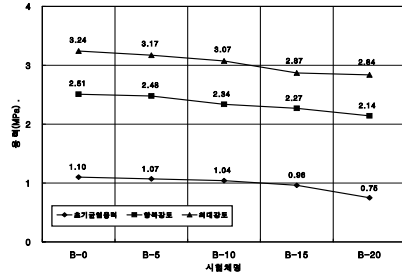
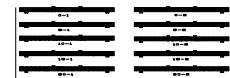


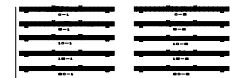
Fig. 4 힘 시험체의 실험결과

3.2 시험체의 균열 및 파괴형태

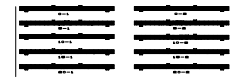
초기균열은 부재의 중앙하부에서 상부로 수직균열이 발생하였으며, 재하 하중의 증가에 따라 부재의 상부로 수직균열이 증대되었다.



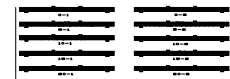
(a) B-0-1



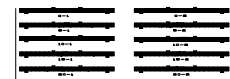
(b) B-0-2



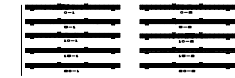
(c) B-5-1



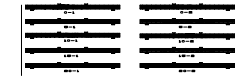
(d) B-5-2



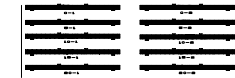
(e) B-10-1



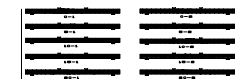
(f) B-10-2



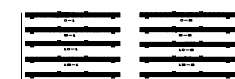
(g) B-15-1



(h) B-15-2

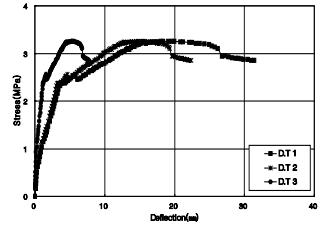


(i) B-20-1

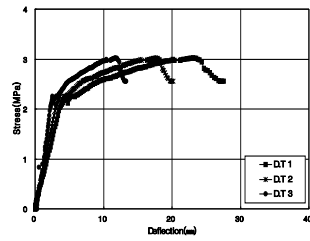


(j) B-20-2

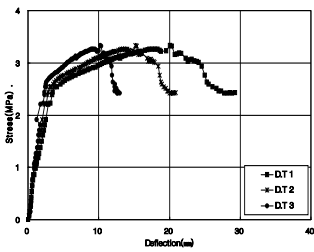
Fig. 5 시험체의 균열도



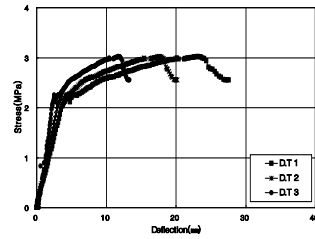
(c) B-5-1



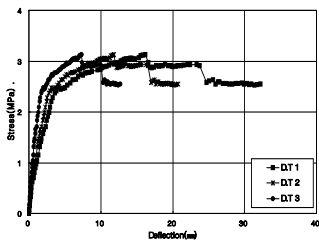
(d) B-5-2



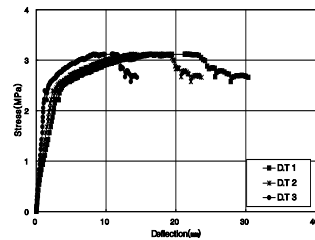
(a) B-0-1



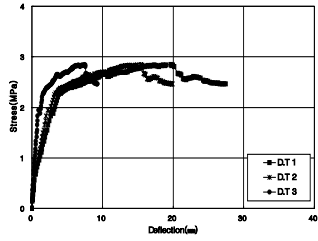
(e) B-10-1



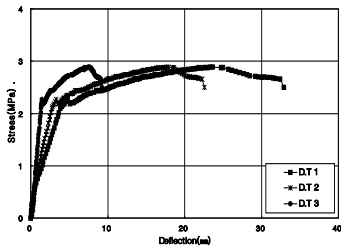
(b) B-0-2



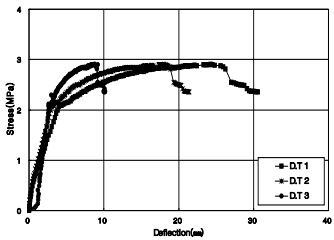
(f) B-10-2



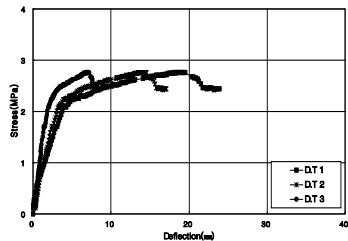
(g) B-15-1



(h) B-15-2



(i) B-20-1



(j) B-20-2

Fig. 6 휨 시험체의 응력-변위 곡선

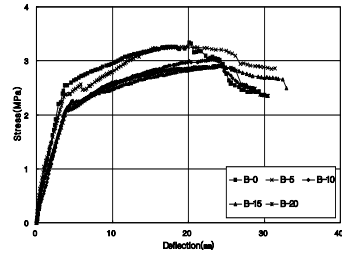


Fig. 7 무혼입 시험체와 고막 폐각의 함유된 시험체의 응력-변위 곡선

3.3 부재의 거동 및 연성 능력

철근콘크리트 부재나 구조물의 설계 시 사용되는 연성이나 취성의 개념은 Fig. 8과 같은 하중-변위 곡선으로부터 잘 알 수 있다. 보는 전단 및 휨에 대해 동시에 저항하는 특성을 갖는 부재로서, 부재의 연성을 평가하기 위해서 부재 항복시의 처짐을 기준으로 하여 부재 파괴시의 처짐을 비율적으로 나타낸다.

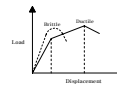


Fig. 8 연성 및 취성거동

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

Table 10 시험체의 휨 내력 증가율 및 연성계수

시험체명	항복 강도						최대 강도						연성계수	
	가도 (MPa)	평균 (MPa)	치진 (mm)	평균 (mm)	실험값/기준값	평균	가도 (MPa)	평균 (MPa)	치진 (mm)	평균 (mm)	실험값/기준값	평균	μ_{max}	평균
B-0-1	2.54	2.51	3.72	3.42	1.01	1.00	3.34	3.23	20.10	18.15	1.03	1.00	5.40	5.30
B-0-2	2.48		3.12		0.99		16.20		0.97		5.19			
B-5-1	2.56	2.48	4.32	4.29	1.02	0.98	3.26	3.16	19.12	21.24	1.00	0.98	4.43	4.96
B-5-2	2.39		4.26		0.95		23.36		0.95		5.48			
B-10-1	2.27	2.34	5.68	5.36	0.91	0.94	3.02	3.07	26.72	27.31	0.94	0.96	4.71	4.66
B-10-2	2.40		6.04		0.96		27.82		0.97		4.61			
B-15-1	2.27	2.27	5.10	4.46	0.91	0.91	2.85	2.87	24.01	24.23	0.88	0.89	4.71	4.46
B-15-2	2.26		5.82		0.90		24.45		0.89		4.20			
B-20-1	2.08	2.14	5.02	4.40	0.83	0.85	2.91	2.84	24.66	23.91	0.90	0.88	4.91	4.39
B-20-2	2.19		5.98		0.87		23.16		0.86		3.87			

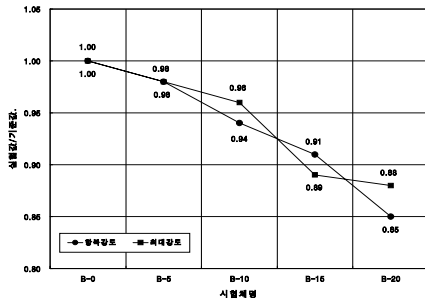


Fig. 9 휨 시험체의 내력증가율

시험체의 연성계수에서 무혼입 시험체는 5.30, 고막 폐각 혼입량 5% 시험체는 4.96, 혼입량 10% 시험체는 4.66, 혼입량 15% 시험체는 4.46, 혼입유량 20% 시험체는 4.39로 무혼입 시험체의 연성계수가 가장 높게 나타났다. 무혼입 시험체와 고막 폐각 혼입량 5% 시험체를 비교하였때, 무혼입 시험체가 고막 폐각 혼입량 5%보다 연성계수가 약 6.85%정도 높게 나타났다. 시험체의 내력 증가율은 항복강도와 최대강도 모두 무혼입 시험체가 높게 나타났으며 고막 폐각의 혼입량이 많을수록 내력 증가율은 낮게 나타났다. 시험체의 내력증가율과 연성계수는 Table 10 및 Fig. 9~10과 같다.

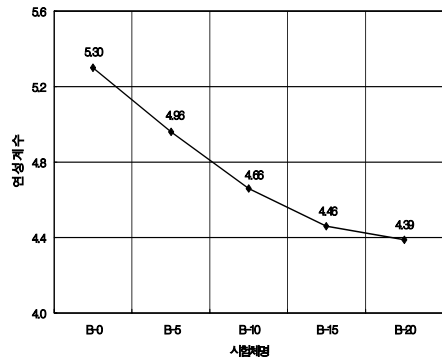


Fig. 10 휨 시험체의 연성능력

4. 결론

본 연구는 고막폐각을 콘크리트용 대체 잔골재로 사용하기 위한 고막폐각 혼입률(0%, 5%, 10%, 15%, 20%) 철근 콘크리트보의 휨 실험과 공시체 압축강도 실험을 통하여 고막폐각이 철근콘크리트에 미치는 재료 및 구조적인 특성을 파악하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 압축강도 실험결과, 고막폐각 혼입률 15%, 20% 시험체가 무혼입 시험체보다 재령이 증가할수록 압축강도는 증가하는 것으로 나타났다.

무혼입 시험체와 고막폐각 혼입 시험체의 압축강도를 비교한바, 고막 폐각 혼입 시험체가 재령 60

일, 90일에서 높게 나타났다. 이는 고막 폐각의 흡수율이 높고 조립율이 잔골재보다 큰 특성으로 고막 폐각의 혼입과 재령이 경과함에 따라 압축강도가 증가할 것으로 사료된다.

2) 초기균열응력 및 항복응력, 최대응력은 일반 잔골재를 사용한 실험체가 고막폐각을 혼입한 실험체보다 높고, 고막폐각 혼입량이 많을수록 최대하중은 낮게 나타났다.

3) 시험체의 연성능력은 일반 잔골재를 사용한 시험체가 가장 높았으며, 고막폐각의 혼입량이 많을수록 연성능력은 낮게 나타났다. 고막폐각 혼입량이 많을수록 낮은 하중에서 초기균열이 발생하여 하중의 증가로 인하여 부재의 처짐 속도가 빨라지는 것으로 나타났다.

이는 고막폐각의 혼입량에 따라 부착력이 부족하여, 이후 항복내력이 상대적으로 증가하지 못한 것으로 판단된다

4) 각종 실험 결과를 종합한바, 고막폐각을 혼입한 휨 시험체의 연성능력 부족에 대해 구조설계시 이를 고려하면 콘크리트용 잔골재로 고막 폐각 혼입률 20%까지는 활용 가능성이 있을 것으로 사료된다. 추후 분쇄한 고막 폐각을 콘크리트용 대체 잔골재로 사용을 위한 내구성, 시공성, 경제성 등에 관한 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2003학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

참 고 문 헌

1. 김정섭외 4인, “콘크리트용 잔골재로서 고막 폐각의 활용성에 관한 연구”, 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문 제 24권 1호, pp. 211~214, 2004. 04
2. 김정섭외 4인, “폐각류가 함유된 철근콘크리트 보의 내력 및 거동에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회 논문집 제 20권 1호, pp. 67~74, 2004. 01
3. 양은익외 2인, “골폐각을 혼입한 콘크리트의 역학적 특성 조사”, 대한토목학회 논문집, 제21권, 6-A호, pp. 773~784, 2001. 11.
4. 김학모외 4인, “산업폐기물(골폐각)을 혼입한 콘크리트의 장기성능 평가”, 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제14권 2호, pp. 227~232, 2002.
5. 어석홍외 2인, “콘크리트용 골재로서 골폐각의 활용”, 한국콘크리트학회 논문집, 제14권 4호, pp. 540~548, 2002. 08.

(접수일자 : 2004년 7월 26일) (급행)