

고막 貝殼의 콘크리트 잔골재로 재활용 방안에 관한 연구

A Study Properties of concrete Recycling Cockle Shells as Fine Aggregate

김정섭*

Kim, Jeong-sup

김광섭**

Kim, kwang-sup

김판선***

Kim, Pan-Sun

Abstract

- 1) 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.
Comparing compressive strength between no-mixed Specimens and Specimens of containing Cockle shells, Specimens containing Cockle shells showed higher strength in 60 days and 90 days of age, and as ark Cockle is contained and age is elapsed, compressive strength is also increased. In addition, estimation of compressive strength by reactive hardness in concrete using Cockle shells as aggregate shows low reliability.
- 2) As a result of experimenting compressive strength after heating, Specimens containing Cockle shells and non-mixed Specimens showed similar strength at 200℃, but compressive strength was lowered as content of Cockle shells increased at over 400℃ and heating temperature was higher. It is because Cockle shells was fired by heat and then its adhesion and bonding capacity were lost.
- 3) To sum up the above experimental results, it is found that using splitted Cockle shells as aggregate for concrete by 10%~20% 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

Keywords : Fine Aggregate, Cockle Shells

1. 서 론

1.1 연구의 배경

우리나라의 경제발전과 구조물의 대형화, 고층화 추세에 따른 대량수요로 인하여 골재의 사용량이 급격하게 확대되었다. 또한 우리나라에서는 강모래와 강자갈 같은 천연골재가 고갈되어가는 실정이다. 그 해결책으로 바다모래와 쇠석의 사용이 현저하게 증가하였다.

이로 인한 각종 산업폐기물 혹은 부산물을 건설재료로 활용하고자 하는 노력이 여러 학문분야에서 다각도로 진행되어 왔다. 화력발전소에서 발생하는 비산재, 즉 플라이에쉬를 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 페타이어, 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, 폐기물 매립장이 절대적으로 부족한 국내 실정이다. 이로 인해 고막 패각이 연안 일대에 대량으로 폐기되어 환경 오염의 한 원인이 되고 있다. 본 연구에서는 고막 패각을 인위적으로 분쇄하여 콘크리트용 골재로 대체 사용함으로써 콘크리트의 역학적 특성 및 내구성에 미치는 영향을 평가하기 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

고막패각은 물리적, 화학적 성질이 잔골재와 다르므로 혼

* 정회원, 조선대학교 건축학부 교수, 공학박사

** 정회원, 조선대학교 대학원 박사수료

*** 정회원, 조선대학교 대학원 박사과정

※ 위 논문은 2003학년도 조선대학교 학술연구비의 지원을 받아 연구되었음.

입량에 따른 압축강도, 쪼갬 인장강도, 내화도를 알아보기 위하여 고막패각 혼입률을 5%, 10%, 15%, 20%로 실험을 계획하였다.

2.2 사용재료

1) 시멘트

본 실험에 사용한 시멘트는 S사의 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 시멘트의 화학적 성분 및 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1. 시멘트의 화학적 성분 및 비중

구분	화 학 성 분 (%)							비중
	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) 잔골재 및 고막 패각

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

또한 고막패각은 분쇄하여 최대치수 5mm이하를 사용하였으며 고막패각의 물리적, 화학적 성질은 표3, 표4와 같다.

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

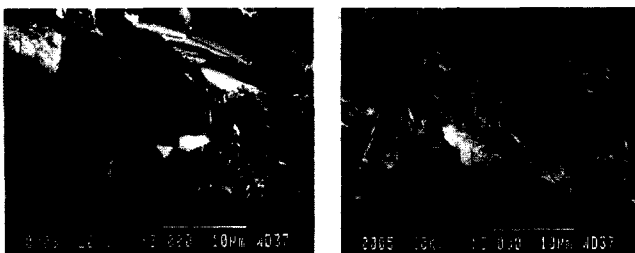
표 3. 고막패각의 물리적 성질

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

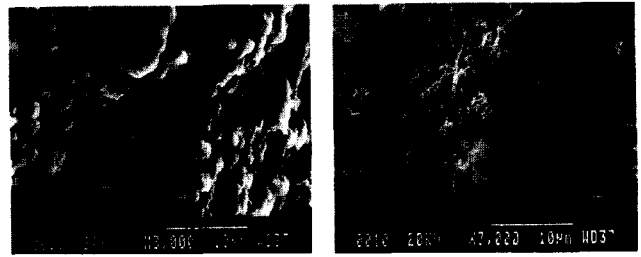
구분	화 학 성 분 (%)				
	Ca	Si	Fe	N	Al
고막패각	81.30	13.65	3.16	1.88	0.01

사진 1. 고막패각을 함유한 공시체 내부 SEM 사진



(a) 함유한 공시체 5%

(b) 함유한 공시체 10%



(c) 함유한 공시체 15%

(d) 함유한 공시체 20%

3) 굵은골재

굵은골재는 KS F 2502의 규정에 따라 깐자갈을 사용하였으며, 굵은골재의 물리적인 성질은 표 5와 같다.

표 5. 굵은골재의 물리적 성질

골재종류	단위용적중량 (kg/m ³)	표건비중	흡수율 (%)	조립율 (F.M)
굵은골재	1,550	2.67	1.24	6.83

2.3 배합계획

시험체에 사용된 콘크리트는 설계기준강도 24MPa(240kgf/cm²) 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.

동시에 KS F 2405(콘크리트 압축강도 시험 방법)의 규격에 따라 원주형 시험체를 제작하여 재령별 압축강도를 측정하였으며 콘크리트 배합표는 표 6와 같다.

표 6. 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 : 패각 혼입량

3. 실험 방법 및 결과

3.1 실험방법

본 실험에 사용한 파괴 실험기기는 만능구조실험기(U.T.M), 비파괴 측정기기는 초음파속도 측정기(PUNDIT), 반발경도측정기(Schmidt hammer), 내화도 실험기 등을 사용하였다. 또한 비파괴 압축강도의 산정식은 일본건축학회식(반발

경도법 : $f_{cur}=7.3R_0+100$, 초음파속도법 : $f_{cup}=215V_p-620$ 을 적용하였다.

3.2 실험결과

1) 콘크리트 압축강도 실험결과

본 실험은 사용된 공시체의 파괴 압축강도, 비파괴 압축강도 값은 표 7~10, 그림 1~3 같다.

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

무혼입 시험체와 고막 패각 혼입률 20% 시험체를 비교하였을 때 고막패각 혼입률 20%의 시험체가 재령 28일에는 4.7%, 재령 90일에는 약 36.67%정도 압축강도 값이 높게 나타났다.

반발경도법을 이용한 압축강도 실험에서 압축강도 값이 가장 높게 추정된 시험체는 재령 28일에는 고막 패각 혼입률 5% 시험체가 32.89MPa, 재령 60일에는 혼입률 10%의 시험체가 35.21MPa, 재령 90일에는 무혼입시험체가 39.4MPa로 나타났다. 고막 패각 함유 시험체 모두 재령이 경과할수록 증가하였다.

무혼입 시험체와 고막 패각 혼입률 20% 시험체를 비교하였을 때 추정 압축강도가 고막 패각 혼입률 20% 시험체가 재령 28일의 경우 약 4.09% 정도 높게 나타났으나, 재령 90일의 경우 무혼입 시험체가 약 6.83% 정도 높게 나타났다.

초음파속도법을 이용한 압축강도 실험에서 추정 압축강도 값이 가장 높게 측정된 시험체는 재령 28일에는 고막 패각 시험체는 혼입률 10% 시험체로 27.4MPa, 재령 60일에는 혼입률 20% 시험체로 28.7MPa, 재령 90일에는 혼입률 20% 시험체로 30.3MPa로 나타났으며 고막 패각 함유 시험체 모두 재령이 경과할수록 추정 압축강도가 증가하였다.

무혼입 시험체와 고막 패각 혼입률 20% 시험체를 비교하였을 때 재령 28일의 경우 7.08%, 재령 90일의 경우 23.39% 정도 추정 압축강도 값이 높게 나타났다.

표 7. 공시체의 재령 7일 압축강도 실험결과

시험체명	L (cm)	T (μsec)	V _p (km/sec)	f _{cup} (MPa)	R _o	f _{cur} (MPa)	f _c (MPa)
C0-7-1	20.03	49.65	4.034	24.3	34.20	23.6	21.8
C0-7-2	19.95	49.80	4.006	23.7	31.95	22.7	21.6
C0-7-3	19.95	49.60	4.022	24.0	31.45	22.1	22.3
C5-7-1	20.00	49.90	4.008	23.7	30.94	21.4	20.9
C5-7-2	20.00	50.10	3.992	23.4	30.00	20.2	22.8
C5-7-3	20.00	49.90	4.008	23.7	31.95	22.7	21.3
C10-7-1	20.01	48.40	4.134	26.4	32.30	23.1	21.4
C10-7-2	19.97	48.50	4.118	26.0	32.20	23.0	20.6
C10-7-3	19.95	48.90	4.080	25.2	32.30	23.1	22.6
C15-7-1	19.96	48.60	4.107	25.8	29.00	18.9	20.4
C15-7-2	19.94	48.70	4.094	25.5	29.00	18.9	20.4

C15-7-3	19.94	48.80	4.086	25.4	33.35	24.4	22.1
C20-7-1	19.99	48.50	4.122	26.1	33.37	24.5	21.1
C20-7-2	19.99	48.80	4.096	25.6	32.05	22.8	21.5
C20-7-3	19.99	49.10	4.071	25.1	32.00	22.8	21.1

주) ● f_{cup} : 초음파속도를 이용한 추정압축강도

● f_{cur} : 반발도를 이용한 추정압축강도

● f_c : 콘크리트 파괴압축강도 ● T : 전파시간

● V_p : 초음파 속도 ● R_o : 반발경도

표 8. 공시체의 재령 28일 압축강도 실험결과

시험체명	L (cm)	T (μsec)	V _p (km/sec)	f _{cup} (MPa)	R _o	f _{cur} (MPa)	f _c (MPa)
28-0-1	19.97	49.45	4.038	24.4	39.80	32.7	23.2
28-0-2	20.00	49.70	4.024	24.1	39.45	32.3	23.4
28-0-3	19.98	49.60	4.028	24.1	39.65	32.5	23.7
C5-28-1	19.95	49.90	3.998	23.5	39.85	32.8	22.7
C5-28-2	19.97	49.80	4.010	23.8	40.95	34.2	22.4
C5-28-3	19.95	49.80	4.006	23.7	39.00	32.7	22.6
C10-28-1	19.91	47.40	4.174	27.8	39.45	32.3	23.6
C10-28-2	19.96	48.10	4.099	26.7	39.05	31.8	23.2
C10-28-3	20.00	47.70	4.115	27.6	39.35	32.1	22.4
C15-28-1	19.97	48.60	4.109	25.9	38.40	30.9	24.2
C15-28-2	19.94	48.70	4.094	25.5	39.40	32.2	25.0
C15-28-3	19.93	48.60	4.101	25.7	40.45	33.5	24.9
C20-28-1	20.00	48.65	4.107	25.8	38.55	31.1	24.3
C20-28-2	19.96	48.65	4.049	25.6	39.60	32.4	24.1
C20-28-3	20.00	48.65	4.065	25.8	39.00	31.7	25.2

표 9. 공시체의 재령 60일 압축강도 실험결과

시험체명	L (cm)	T (μsec)	V _p (km/sec)	f _{cup} (MPa)	R _o	f _{cur} (MPa)	f _c (MPa)
C0-60-1	19.96	48.20	4.141	26.5	41.80	35.3	24.1
C0-60-2	20.00	49.45	4.044	24.5	43.60	37.6	23.4
C0-60-3	19.98	50.95	3.921	21.9	42.80	36.5	23.8
C5-60-1	20.00	48.90	4.090	25.5	41.40	34.8	22.8
C5-60-2	19.99	49.40	4.130	24.5	41.05	34.3	23.4
C5-60-3	20.00	50.10	4.158	23.4	42.80	36.5	22.9
C10-60-1	19.97	46.95	4.253	28.9	41.10	34.3	25.3
C10-60-2	20.00	47.50	4.211	28.0	41.80	35.3	25.8
C10-60-3	20.00	48.40	4.132	26.3	42.60	36.3	25.7
C15-60-1	19.95	46.85	4.258	29.0	42.05	35.6	26.9
C15-60-2	20.00	47.70	4.193	27.6	39.05	31.8	26.3
C15-60-3	20.00	48.90	4.090	29.1	41.90	35.4	26.5
C20-60-1	20.00	47.05	4.251	28.8	42.20	35.7	26.8
C20-60-2	19.97	47.70	4.187	27.5	41.25	33.3	26.9
C20-60-3	19.95	46.45	4.295	29.8	41.3	34.6	26.4

표 10. 공시체의 재령 90일 압축강도 실험결과

시험체명	L (cm)	T (μsec)	V _p (km/sec)	f _{cup} (MPa)	R _o	f _{cur} (MPa)	f _c (MPa)
C0-90-1	20.00	49.20	4.090	24.9	40.85	39.1	23.7
C0-90-2	19.96	49.70	4.094	23.9	43.00	40.6	24.3
C0-90-3	19.98	49.40	4.045	24.5	40.10	38.5	24.0
C5-90-1	19.97	49.10	4.038	25.0	40.50	38.8	23.4
C5-90-2	19.94	49.40	4.094	24.3	39.55	38.1	23.8
C5-90-3	20.00	49.30	4.036	24.8	39.75	38.3	23.9
C10-90-1	20.00	47.20	3.976	28.6	39.45	38.1	27.2
C10-90-2	19.97	47.30	3.984	28.2	38.50	38.1	27.5
C10-90-3	20.00	47.20	3.964	28.6	39.40	38.0	28.0
C15-90-1	19.93	46.80	4.022	29.0	38.30	37.3	32.1
C15-90-2	20.00	46.90	3.937	29.1	37.40	36.6	33.6
C15-90-3	19.90	46.20	3.964	30.0	39.65	38.2	31.9
C20-90-1	19.96	46.30	4.311	30.1	37.70	36.8	32.4
C20-90-2	19.95	46.20	4.318	30.3	37.10	36.4	33.1
C20-90-3	19.98	46.20	4.325	30.4	37.55	36.7	32.8

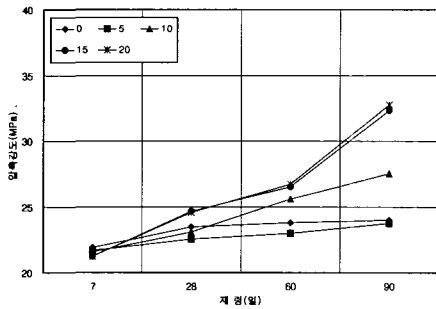


그림 1. 고막패각 혼입량에 따른 재령별 파괴 압축강도

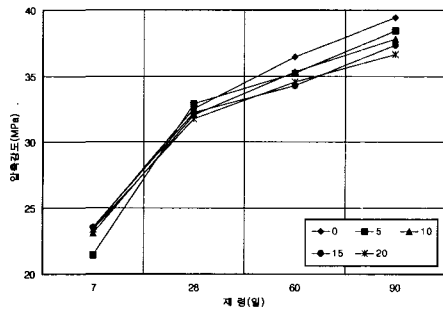


그림 2. 반발경도법에 의한 재령별 압축강도

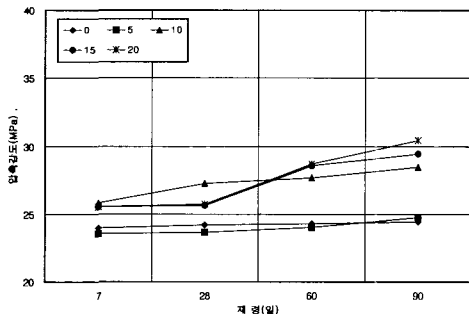


그림 3. 초음파속도법에 의한 재령별 추정 압축강도

2) 콘크리트 쪼갠 인장강도 실험결과

본 실험은 무혼입 시험체와 고막패각 시험체의 쪼갠인장강도 값을 표 11에 나타내었고 재령에 따른 쪼갠 인장강도는 그림 4와 같다.

쪼갠인장강도 실험결과, 값이 가장 높게 측정된 고막 패각 시험체는 혼입률 15% 시험체로 재령 28일 인장강도 11.1MPa, 재령 60일에는 13.2MPa로 18.92% 증가하였으며 고막 패각 시험체 모두 재령 28일에 비해 인장강도가 증가하였다.

무혼입 시험체와 고막패각 혼입률 20% 시험체를 비교하였을 때 고막 패각 혼입률 20% 시험체가 재령 28일의 경우 9%, 재령 28일의 경우 9%, 재령 60일의 경우 11.65% 쪼갠 인장강도 값이 높게 나타났다.

표 11. 공시체의 쪼갠 인장강도 실험결과

시험체명	재령 7일 (MPa)	재령 28일 (MPa)	재령 60일 (MPa)
C0-1	8.50	9.79	9.38
C0-2	8.46	9.31	10.84
C0-3	10.63	11.04	10.75
C5-1	6.84	8.56	11.38
C5-2	11.71	9.53	8.25
C5-3	13.19	12.63	11.46
C10-1	8.84	9.21	14.38
C10-2	9.09	9.59	11.63
C10-3	7.88	12.63	12.75
C15-1	9.90	9.21	15.00
C15-2	8.69	9.59	13.88
C15-3	8.50	9.21	10.75
C20-1	9.94	11.81	8.50
C20-2	9.94	9.00	13.50
C20-3	9.94	11.81	14.38

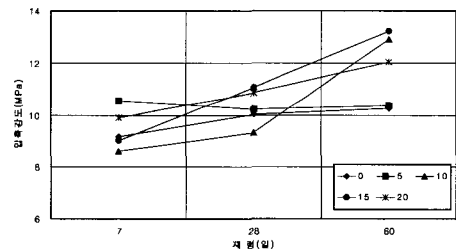


그림 4. 고막패각 혼입량에 따른 쪼갠 인장강도

3) 콘크리트 내화도 실험 결과

고막 패각 시험체와 무혼입 시험체를 재령 28일과 재령 60일이 경과한 다음 각각의 혼입률 별로 200℃, 400℃, 600℃의 온도로 공시체를 30분간 가열한 후 만능구조실험기를 이용한 온도별 압축강도 실험 결과, 고막패각 무혼입 시험체가 재령

및 온도별 압축강도가 가장 높게 나타났다. 고막패각의 혼입률이 많을수록 온도가 높을수록 압축강도는 저하하는 것으로 나타났으며 내화도 실험후 공시체의 표면 변색의 변화는 온도가 높아질수록 밝은 회색으로 변화하였다.

또한 가열 온도 200℃에서 무혼입 시험체와 고막 패각 혼입률 20%의 시험체를 비교하였을 때 재령 28일의 경우 무혼입 시험체는 22.2MPa, 고막 패각 혼입률 20%의 시험체는 21.2MPa로 무혼입 시험체의 압축강도가 4.72%정도 높게 나타났으며, 재령 60일의 경우 무혼입 시험체는 22.3MPa, 고막 패각 혼입률 20%의 시험체는 19.8MPa로 무혼입 시험체가 약 12.63% 높게 나타났다.

가열 온도 400℃에서 무혼입 시험체와 고막 패각 혼입률 20%의 시험체를 비교하였을 경우, 재령 28일의 경우 무혼입 시험체는 18.53MPa, 고막 패각 혼입률 20%의 시험체는 14.7MPa로 무혼입 시험체의 압축강도가 26.05% 정도 높게 나타났으며 재령 60일의 경우 무혼입 시험체는 19.1MPa, 고막 패각 혼입률 20%의 시험체는 15.1MPa로 무혼입 시험체가 약 26.49% 높게 나타났다.

가열 온도 600℃에서 무혼입 시험체와 고막 패각 혼입률 20%의 시험체를 비교하였을 때 재령 28일의 경우 무혼입 시험체는 11.6MPa, 고막 패각 혼입률 20%의 시험체는 8.1MPa로 무혼입 시험체의 압축강도가 약 43.21% 높게 나타났으며 재령 60일의 경우 무혼입 시험체는 10.3MPa, 고막 패각 혼입률 20%의 시험체는 6.6MPa로 무혼입 시험체가 56.06%정도 높게 나타났다.

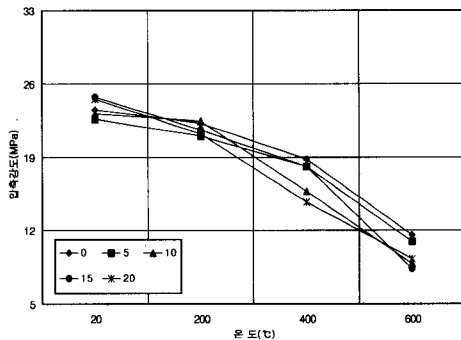


그림 5. 내화도 실험에 의한 재령28일 파괴 압축강도

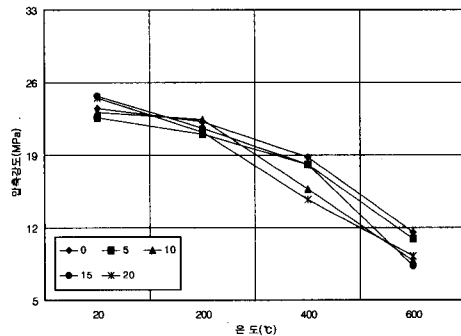


그림 6. 내화도 실험에 의한 재령 60일 파괴 압축강도

표 12. 공시체의 내화도 실험결과

시험체명	재령 7일 (MPa)	재령 28일 (MPa)	재령 60일 (MPa)
C0-1	8.50	9.79	9.38
C0-2	8.46	9.31	10.84
C0-3	10.63	11.04	10.75
C5-1	6.84	8.56	11.38
C5-2	11.71	9.53	8.25
C5-3	13.19	12.63	11.46
C10-1	8.84	9.21	14.38
C10-2	9.09	9.59	11.63
C10-3	7.88	12.63	12.75
C15-1	9.90	9.21	15.00
C15-2	8.69	9.59	13.88
C15-3	8.50	9.21	10.75
C20-1	9.94	11.81	8.50
C20-2	9.94	9.00	13.50
C20-3	9.94	11.81	14.38

4. 결론

고막 패각을 함유한 공시체를 제작하여 파괴 압축강도 실험과 비파괴 압축강도실험(반발경도법, 초음파속도법), 쪼갬 인장강도, 내화도 등의 재료 실험을 통해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 파괴 압축강도 실험 결과, 고막 패각 혼입률 15%~20% 시험체가 무혼입시험체보다 재령 60일 이후에는 압축강도가 증가하는 것으로 나타났다.
- 2) 반발경도 압축강도 실험 결과, 고막 패각 혼입 시험체가 무혼입 시험체보다 압축강도가 유사하거나 다소 감소하는 것으로 추정되었다.
- 3) 초음파속도 압축강도 실험 결과, 고막 패각 혼입률 10%이상 시험체가 무혼입 시험체보다 압축강도가 증가하는 것으로 나타났다. 또한 재령7일 압축강도로부터 재령90일 압축강도 까지에서 유사한 증가를 나타내었다.
- 4) 쪼갬 인장강도 실험 결과, 고막 패각 혼입률 10%이상 시험체가 무혼입 시험체보다 인장강도가 증가하는 것으로 나타났다.
- 5) 가열후 압축강도 실험 결과, 200℃에서 가열후 압축강도는 고막 패각 혼입률 시험체와 무혼입 시험체는 유사하였으나 400℃, 600℃ 가열 후 실험에서는 고막 패각 혼입률이 증가할수록 압축강도가 저하하는 것으로 나타났다.
- 6) 각종 실험결과를 종합한바, 분쇄한 고막 패각을 콘크리트용

잔골재로 10%~20%까지 치환하여 사용하여도 일반 잔골재를 사용한 콘크리트와 거의 동일하거나 높은 압축강도 및 전단강도를 갖는 것으로 나타나 콘크리트의 대체 잔골재로 활용성이 있다고 사료된다.

추후 분쇄한 고막패각을 콘크리트용 대체 잔골재로 사용할 경우의 내구성, 시공성, 경제성 등에 관한 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 김정섭외 4인, “콘크리트 응력 추정에 따른 초음파속도와 반발경도의 상쇄효과에 관한 실험적 연구”, 대한건축학회논문집 제12권 11호, pp. 201~210, 1996. 11.
2. 양은익외 2인, “굴패각을 혼입한 콘크리트의 역학적 특성 조사”, 대한토목학회 논문집, 제21권, 6-A호, pp. 773~784, 2001. 11.