

굴패각을 사용한 콘크리트 강도발현에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Strength Development of Concrete
Using of the Oyster Shells

구 해 식* 전 학 수**
Koo, Hae-Shik Jun, Hak-Su

Abstract

This is an experimental study on the properties and the strength development of concrete using of the oyster shells as a substitute fine aggregate of concrete. For this purpose, the fundamental experiments of the materials and the main factors on it were considered and then the workability and many kinds of strength about the specimens were also studied. As the experimental results, there were strength differences of less than 10% between concrete with oyster shells and normal and the most excellent grain size of oyster shells is 5.0mm and less with taking uniformly and the percentage of practicable substitution of them to fine aggregate about 30%. This paper also represents the relationship equations among many kinds of strength and elastic modulus of concrete with the oyster shells decreased with increase in proportion of oyster shells and curve of it is similar about the percentage of substitution of 10%.

요 지

본 연구는 남해안 연안에 방치되고 있는 굴패각을 세골재 크기의 5.0mm이하로 분쇄하여 실제 현장에서 사용가능한 세골재 대체재로 활용하여 굴패각을 사용한 콘크리트의 성질 및 제반 강도들에 대해 연구한 것이다. 이를 위해 기본 실험과 주요 변화 요인들에 대해 1,028개의 공시체 및 시험체를 제작·시험한 결과 굴패각을 사용한 콘크리트 제반 강도는 일반콘크리트 강도와 최대 10%정도 차이를 보였으며 세골재 대체재로서 우수한 굴패각 입도크기는 5.0mm이하를 균등하게 취한 경우로 약 30%까지는 대체 가능한 것으로 나타났다. 그리고 본 논문에서는 굴패각을 사용한 제반 콘크리트 강도상호 관계식들을 제시하였고 이의 탄성계수는 굴패각 대체율이 증가할수록 감소하였는데 대체율 10%까지는 거의 유사한 값을 보였다.

Keywords : Oyster Shell, Strength development, Percentage of substitution

핵심 용어 : 굴패각, 강도발현, 대체율

* 정희원, 경남대학교 건축학부 교수
** 정희원, 경남대학교 건축학부 박사수로

• 본 논문에 대한 토의를 2006년 10월 31일까지 학회로 보내 주시면 2007년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

1. 서 론

최근 우리나라 경제발전과 함께 건축물의 대형화, 고층화로 골재 수요의 급격한 팽창화를 가져오고 있는 반면 해양수산부 및 환경단체에서는 서해안 바다 모래 채취를 금지하여 건설공사 현장에서 잔골재 품귀현상을 도래하게 되고 이로부터 잔골재 대체재 개발 연구에 많은 관심을 가지게 되었다.

또한 우리나라 남해안 연안 지역에서는 굴양식어업이 해마다 증가 추세에 있으며 양식으로 발생하는 부산물인 굴폐각이 연간 24만여톤 이상 이르게 되었는데 이중 약 50%에 해당하는 12만톤 정도는 공유수면 매립 또는 굴채묘종과 폐각비료로 활용되는 반면 나머지 50%정도는 연안에 야적해 두거나 버려져 토양오염, 악취 등 주거환경에 악영향을 미쳐 환경오염의 주원인으로 인식되고 있다.

이러한 굴폐각의 주성분은 석회석과 동일하게 대부분 방해석구조의 탄산칼슘으로 되어 있지만 치밀질 암석상인 석회석과는 달리 매우 활성이 큰 미구조로 이루어져 있으므로 시멘트와의 수화반응과 부착성상의 어려움이 없을 것으로 판단되어 굴폐각을 적절한 크기로 분쇄한 후 입도를 조절하면 콘크리트 골재로서의 사용 가능성이 있을 것으로 보여진다.

그래서 본 연구에서는 기존의 연구가 굴폐각을 분쇄하여 혼화제 사용 여부⁽³⁾와 잔골재보다 굵은골재 중점⁽⁴⁾으로 사용하는 바와는 달리 굴폐각을 실제 현장에서 사용가능한 잔골재 대체재로 활용하여 굴폐각의 콘크리트 성질 및 제반 강도 특성을 연구하여 굴폐각 콘크리트의 실용성을 위한 기초자료를 제공하고 환경적 측면 및 자원 재활용 측면과 함께 굴폐각 처리에 일익을 담당하고자 한다.

2. 본 론

2.1 실험계획

굴폐각을 잔골재 대체재로 사용하기 위하여 집하장에서 수집한 굴폐각을 잔골재 크기의 5mm이하로 분

쇄하여 5.0mm, 3.0mm, 1.0mm 표준체를 각각 순차적으로 사용하여 입도크기를 분류하였다.

본 연구의 주요 변화 요인으로는 배합유형, 물시멘트비(W/C), 굴폐각 입도크기, 굴폐각의 대체율로 구분하며 이에 대해 배합유형을 3종류로, 물시멘트비(W/C)를 55, 60, 65%로, 굴폐각 입도크기를 3.0~5.0mm, 1.0~3.0mm, 1.0mm이하, 그리고 이를 모두 같은 양을 취한 5.0mm이하로 구분하여 굴폐각 대체율을 0%, 10%, 30%, 50%로 하여 기존의 일반콘크리트와 함께 굴폐각 콘크리트의 성질과 강도변화를 연구하였다.

여기서 굴폐각 콘크리트의 강도는 압축강도, 쪼갬인장강도, 부착강도 그리고 휨강도로 하고 압축강도는 재령 7일, 14일, 28일, 91일에 있어서, 인장강도는 재령 7일, 28일, 부착강도 및 휨강도는 재령 28일에만 대하여 강도변화를 연구하며 강도 상호관계 및 대체율에 대한 탄성계수 값을 조사·연구하였다.

2.2 사용재료

2.2.1 시멘트

본 실험에서 사용한 시멘트는 KSL 5201에 규정된 국내 S사의 제1종 보통 포틀랜드 시멘트로 시멘트의 화학적 성질 및 비중은 Table 1과 같다.

Table 1 시멘트의 화학적 성분 및 비중

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 굴폐각

잔골재는 경남 하동산 강모래로 전체 모래에서부터 이물질과 먼지를 완전 제거한 후 사용하였으며 굵은골재는 최대치수 19mm이하의 함안 석산의 화강암 쇄석을 물로 세척한 후 자연상태로 건조시켜 사용하였다. Table 2는 해당 골재의 물리적 성질을 나타낸 것이다.

굴폐각은 남해지역 해안에서 굴양식 부산물로 발생된 폐기 폐각을 채취하여 세척한 뒤 강력한 통풍으로

Table 2 골재의 물리적 성질

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

먼지를 제거하고 110±10℃ 건조로에서 24시간 건조시킨 후 분쇄하여 5.0mm, 3.0mm, 1.0mm 표준체를 각각 순차적으로 이용하여 입도크기를 분류하였다. Table 3은 사용한 골패각의 물리적 성질을 나타낸 것이다.

Table 3 골패각의 물리적 성질

입도크기	비중			흡수율 (%)	단위용적 중량(kg/m ³)	실적률 (%)
	절대 건조	표면건조 조포화	겉보기			
5.0~3.0mm	2.27	2.36	2.50	3.90	914.9	40.3
3.0~1.0mm	2.27	2.38	2.54	4.45	938.9	41.4
1.0mm이하	2.28	2.41	2.61	5.21	1050.7	46.1
평균	2.27	2.38	2.55	4.52	968.2	42.6

2.3 배합설계

배합설계에서 주요 변수는 배합유형, 물시멘트비, 골패각 입도크기 및 골패각 대체율로 하고 본 실험에서 사용한 배합설계표는 Table 4와 같다. 여기서 각 물시멘트비에 대해 물과 시멘트, 굵은골재 사용량은 일정하게 하고 골패각을 잔골재로 대체시킨 정도에 따라 이에 수반되는 제반 특성과 강도변화를 조사한다.

2.4 실험방법

본 실험의 배합에 있어서 골패각 건조상태를 표면건조상태로 하고 혼화제는 배합후 작업성 정도가 어려운 상태에 대해서만 사용하였다. 배합순서는 각 재료에 대해 먼저 사용량을 정확히 개량한 후 굵은골재, 잔골재, 골패각, 시멘트의 순으로 넣고 1분정도 고르게 건비빔한 후 필요량의 물을 추가하여 약 4~5분간 재료가 균질하게 배합될 수 있게 하였으며 KS F 2403 공시체 제작 및 양생방법 규정에 따라 제작 및 양생을 하였다. 그리고 혼합방법은 되풀이되는 골패각 사용량

Table 4 골패각 콘크리트 배합설계

W/C (%)	명 칭	골패각 대체율 (%)	단위중량(kg/m ³)					
			물	시멘트	골패각	모래	자갈	
60	A-60-n-0	0	268	446	0	759	1518	
		-1	10	268	446	76	681	1518
		-3	30	268	446	228	531	1518
55	B-55-n-0	0	268	446	380	379	1518	
		-1	10	184	335	76	681	1518
		-3	30	184	335	228	531	1518
60	B-60-n-0	0	201	335	0	759	1518	
		-1	10	201	335	76	681	1518
		-3	30	201	335	228	531	1518
65	B-65-n-0	0	201	335	380	379	1518	
		-1	10	218	335	76	681	1518
		-3	30	218	335	228	531	1518
60	C-60-n-0	0	218	335	0	759	1518	
		-1	10	134	223	76	681	1518
		-3	30	134	223	228	531	1518

* n: 골패각 입도크기, a:5.0~3.0mm, b:3.0~1.0mm, c:1.0mm이하

변경, 많은 공시체 수, 그리고 반복적인 공시체 제작 관계로 강제식 믹서기를 사용하지 않고 직접 손비빔으로 혼합하여 제작하였으며 손비빔시 측정된 물의 양이 유실되지 않도록 주의하면서 작업을 실시하였다. 여기서 사용한 공시체 크기는 횡강도에 있어서는 15cm×15cm×52cm의 각 1개씩을, 다른 강도에 대해서는 Φ 10cm×20cm으로 각각의 변수에 대해 3개씩을 기본으로 하고 재령 단계별을 고려하여 공시체를 제작한 후 지나친 건조에 따른 균열이 발생하지 않도록 자주 살수하여 실험실에서 자연건조상태로 양생하였다.

골패각 콘크리트의 슬럼프 측정은 KS F 2402 콘크리트의 슬럼프 시험방법에 의해 실시하였으며 슬럼프값이 거의 나타나지 않는 경우에는 AE 감수제를 사용하여 혼합한 뒤 동일 방법으로 다시 실험을 실시하였다.

공시체의 압축강도 시험은 KS F 2405 콘크리트의 압축강도 시험방법으로, 인장강도 시험은 KS F 2423 콘크리트의 인장강도 시험방법, 휨강도 시험은 KS F 2408 콘크리트의 휨강도 시험방법, 부착강도 시험은 KS F 2732 콘크리트 압축강도 추정을 위한 인발강도 시험방법에 준하여 강도시험을 실시하였다.

휨강도 시험은 3등분점 하중법으로 실험을 실시하였으며 부착강도 시험시 매입용 사용철근은 SD400 D10 이형철근으로 깊이 10cm를 정확하게 표시한 뒤 정위치에 두고 매설하였으며 최대인발강도 값은 철근이 콘크리트와의 슬립현상이 발생한 값으로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 작업성 특성

Table 5는 배합유형과 W/C, 입도크기별 골패각 대체율에 대한 슬럼프치를 나타낸 것이다. 여기서 골패각 함유량이 증가할수록 슬럼프값은 매우 감소하며 골재량에 비해 수량이 적은 W/C 55%의 경우와 상대적으로 골재량이 제일 많은 배합유형 C의 경우 그리고 대체율이 높은 50%에서의 슬럼프값은 배합유형 A를 제외하고는 거의 나타나지 않았다. 이것은 골패각을 많이 사용할수록 골패각이 배합수의 흡수량이 많아지고 Table 3으로부터 골패각 입도크기가 작으면 작을수록 흡수율이 커지기 때문에 공시체 표면이 조잡해지고 거칠어지는 관계로 밀실한 다짐상태가 요구되므로 골패각 콘크리트 제작시 골패각 흡수율 정도를 충분히 고려하여야 한다.

또한 동일 W/C에 있어서 배합유형별 슬럼프값의

Table 5 배합유형, W/C, 입도크기별 슬럼프값

배합유형	W/C (%)	입도 크기	골패각 대체율(%)			
			0	10	30	50
A	60	b	15.0	11.6	7.2	4.3
		d	15.0	12.0	7.2	0
B	55	b	0	0	0	-
		d	0	0	0	-
	60	a	4.8	4.3	0	0
		b	10.0	5.0	3.7	0
		c	10.0	8.3	6.4	0.4
		d	10.0	6.8	6.1	0
65	b	4.8	4.7	1.5	0	
	d	4.8	3.2	1.2	0.5	
C	60	b	0	0	0	0
		d	0	0	0	0

* a:5.0~3.0mm, b:3.0~1.0mm, c:1.0mm이하, d:5.0~1.0mm이하

변화는 골재량이 많을수록, 골패각 대체율이 높을수록 적어지며 동일 W/C에서의 입도크기별 슬럼프값은 입도크기가 작을수록 작업성이 우수하며 대체율이 증가함에 따라 거의 비례적으로 감소하는 양상을 보이고 골패각 대체시 입도크기별로 같은 양을 채취하여 사용한 d형의 슬럼프값도 동일한 입도크기의 슬럼프값과 유사하게 나타났다.

3.2 강도시험 특성

3.2.1 압축강도

Table 6은 배합유형별 강도시험 실시결과를 정리하여 나타낸 것이며 Photo 1은 골패각 대체율 정도에 대한 압축강도 파괴상태를 보여준다.

그리고 Fig. 1은 Table 6으로부터 배합유형과 W/C가 동일 조건의 입도크기 및 대체율별 재령에 대한 압축강도변화를 나타낸 것이다.

여기서 재령에 대한 압축강도 변화는 보통 대체율이 적을수록, 재령이 길수록 압축강도 변화는 증가하는데 골패각을 혼합하지 않은 경우 초기 7일 압축강도는 28일 강도의 63.0~71.7%정도에 반해 골패각을 혼합한 경우에는 53.9~71.9%정도로 강도발현은 비슷하나 발현범위가 더 넓게 나타났다. 그리고 재령 28일 및 91일 압축강도는 대체율 30%이내에는 모두 해당 기준배합 강도의 91.7%이상 발휘하였으며 재령 단계별 강도증가분 변화는 비례적 관계를 보이지 않고 있다.



Photo 1 골패각 대체율 정도에 대한 파괴상태 (W/C=60%, 대체율=10%, 30%, 50%)

Table 6 배합유형별 강도시험 결과 (MPa)

배합 부호	대체율 (%)	압축강도					조깅인장강도		휨강도	부착 강도	비고
		7일	14일	21일	28일	91일	7	28일			
A-60-b-0	0	19.32	20.03	22.15	24.06	24.20	1.92	2.09	6.33		
A-60-b-1	10	16.60	19.91	20.75	21.00	23.49	1.93	2.28	5.67		
A-60-b-3	30	15.02	17.72	17.83	19.31	19.50	1.86	2.20	5.07		
A-60-b-5	50	11.29	15.36	16.87	17.97	18.40	1.77	20.37			
A-60-d-0*	0	19.32	20.03	22.15	24.06	24.20	1.92	2.09	6.33*	1.35	
A-60-d-1	10	15.41	17.63	18.21	19.23	20.88	2.14	2.19	6.00	1.35	
A-60-d-3	30	13.58	13.67	15.60	16.13	17.38	1.57	1.81	4.67	1.14	
A-60-d-5	50	14.23	17.87	20.28	22.22	26.87**	1.94	1.87		0.99	
B-55-b-0	0	16.86	17.04	18.44	20.88	24.23	2.03	2.12	5.00		
B-55-b-1	10	14.28	16.28	18.16	18.70	18.71	1.85	2.53	4.67		
B-55-b-3	30	12.65	13.19	13.77	14.62	15.62	1.85	2.15	5.05		
B-55-b-31	30	10.70	12.31	12.48	15.70	17.23	1.67	2.13	4.93		혼화제:1.2%
B-55-b-32	30	8.95	9.13	9.66	17.57	22.66	1.71	2.04	3.67		혼화제:2.4%
B-55-d-0*	0	16.86	17.04	18.44	20.88	24.23	2.03	2.12	5.00*	1.25	
B-55-d-1	10	18.67	19.52	19.95	23.43	24.96	1.71	2.38	4.87	1.12	
B-55-d-3	30	13.62	13.73	13.73	14.92	15.45	1.85	2.38	4.27	0.77	
B-60-a-0	0	11.37	14.54	17.42	17.76	19.86	1.44	2.15	4.00	1.37	
B-60-a-1	10	10.70	16.64	17.08	17.72	18.90	1.58	2.07	4.60	1.25	
B-60-a-3	30	10.08	14.35	15.19	18.72	19.31	1.44	2.02	3.87	0.99	
B-60-a-5	50	11.78	15.92	18.06	18.29	18.31	1.43	2.00		0.96	
B-60-b-0	0	11.10	14.07	14.90	17.61	19.50	1.62	2.40	5.17	1.37*	
B-60-b-1	10	12.39	13.11	13.84	17.36	18.46	1.51	2.00	4.13	0.86	
B-60-b-3	30	12.31	13.05	14.61	16.64	20.90	1.15	2.09	3.87	0.85	
B-60-b-5	50	10.91	11.40	11.78	14.37	17.80	1.11	1.97	3.60	0.53	
B-60-c-0	0	12.39	13.45	15.13	17.27	22.07	1.53	2.08	5.47	1.37*	
B-60-c-1	10	11.08	14.24	14.24	16.30	17.85	1.47	1.92	4.80	1.10	
B-60-c-3	30	10.87	13.58	17.38	19.65	19.95	1.37	1.79	5.07	0.86	
B-60-c-5	50	11.33	12.93	13.60	17.06	19.95	1.19	1.69		0.33	
B-60-d-0	0	15.07	19.18	20.56	21.31	24.04	1.42	2.10	3.67	1.37*	
B-60-d-1	10	16.45	21.13	21.26	22.96	23.02	1.86	2.14	3.87	1.20	
B-60-d-3	30	13.33	14.15	16.36	19.54	21.75	1.59	2.03	4.53	1.10	
B-60-d-5	50	11.78	14.49	16.28	17.93	19.21	1.62	1.89		0.97	
B-65-b-0	0	13.14	13.43	13.69	16.96	17.06	1.86	2.00	3.93		
B-65-b-1	60	14.24	14.26	15.26	16.13	17.44	1.61	1.89	4.13		
B-65-b-3	40	13.16	13.28	13.37	13.86	14.11	1.55	1.89	3.87		
B-65-b-5	10	10.74	11.00	12.16	12.41	12.86	1.39	1.69	3.67		
B-65-d-0*	0	13.14	13.43	13.69	16.96	17.06	1.86	2.00	3.93*	1.15	
B-65-d-1	10	12.46	12.71	12.92	13.65	15.66	1.53	2.22	4.27	0.98	
B-65-d-3	30	9.72	10.78	12.82	13.45	13.94	1.35	2.09	3.67	0.77	
B-65-d-5	50	9.44	11.84	12.44	12.50	12.97	1.28	2.01		0.70	
C-60-b-0	0	4.73	6.28	6.81	10.57	12.39	1.40	1.78			혼화제:1.2%
C-60-b-1	10	8.91	9.68	10.87	12.58	13.62	1.27	1.55			"
C-60-b-3	30	4.07	5.88	6.43	6.55	7.34	1.01	1.10			"
C-60-d-0*	0	4.73	6.28	6.81	10.57	12.39	1.40	1.78	3.47	0.99	
C-60-d-1	10	5.73	6.58	6.77	7.96	8.83	0.93	1.42	2.87	0.22	
C-60-d-3	30	3.61	5.50	5.73	6.47	6.94	0.71	1.23	1.67	0.06	

* 실험한 데이터를 활용한 것

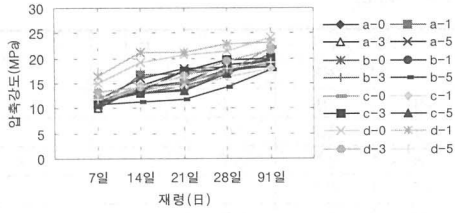
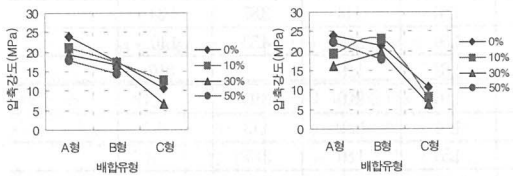


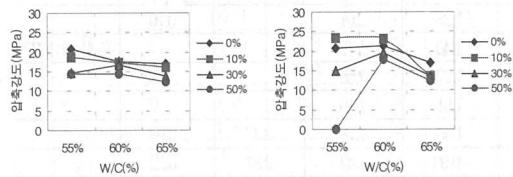
Fig. 1 입도크기별 재령에 대한 압축강도변화 (배합유형: B, W/C=60%)

Fig. 2~4는 배합유형과 W/C, 입도크기별 골재각 대체율에 대한 28일 압축강도 변화를 나타낸 것이다. Fig. 2와 3은 골재각 사용크기를 일정하게 하고 배합유형 또는 W/C에 대한 강도변화를 나타낸 것으로 이들의 주요인자는 각각 시멘트량과 수량의 변화이다. 여기서 배합유형의 시멘트 사용량이 제일 많은 A형과 W/C 55% 및 65%에서의 압축강도는 대체율 증가에 따라 감소하는데 W/C 60%의 경우 대체율 30% 이상에서 동일 조건의 기준배합 강도만큼 상회하게 나타났다. 이것은 혼합 대체한 분쇄된 골재각 상태가 완전 건조된 상태로 콘크리트 배합에 사용될 경우 적절한 배합관계를 이루면서 주변의 자유수를 골재각이 흡수하여 상대적으로 W/C가 감소하여 충전율과 결합력을 높여 밀실해지기 때문으로 판단된다. 한편 Fig. 2의 C형에서는 작업성이 없는 관계로 AE감수제를 사용하였으나 강도는 아주 미비하게 나타났다.



a) W/C=60%, 입도크기:3.0-1.0mm b) W/C=60%, 입도크기:5.0mm이하

Fig. 2 배합유형별 압축강도변화



a) 배합유형:B, 입도크기:3.0-1.0mm b) 배합유형:B, 입도크기:5.0mm이하

Fig. 3 W/C별 압축강도변화

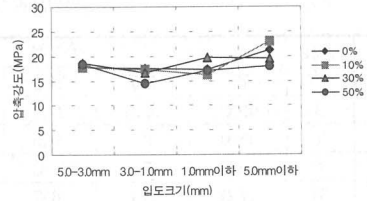


Fig. 4 입도크기별 압축강도변화 (배합유형: B, W/C=60%)

Fig. 4의 골재각 입도크기에 대한 압축강도 변화에 있어서 대체율 10%의 강도는 입도크기에 관계없이 기준배합 강도에 비해 최대 5.6%정도 떨어지며 대체율 30%에서는 입도크기 3.0~1.0mm경우 기준강도에 대해 5.5%정도 감소하는 반면 5.0~3.0mm 및 1.0mm이하에서는 기준강도 이상의 강도를 나타내었다. 이러한 결과로부터 전체 압축강도를 비교해 볼 때 균일 입도크기 5.0~3.0mm경우가 다른 경우의 입도크기보다 제일 높은 강도를 보이며 콘크리트 배합시 골재각 혼합량은 30%까지는 대체 가능한 것으로 보인다.

Fig. 5는 Table 6의 강도 실험치중 재령 7일 및 28일 압축강도 관계를 도식한 것으로 이를 회귀분석한 결과 다음과 같은 재령 7일로부터 재령 28일 압축강도를 추정 가능한 관계식을 구하였다.

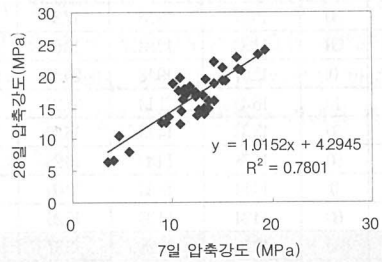


Fig. 5 재령 7일 및 28일 압축강도 관계

$$\sigma_{c, (28)} = 1.02 \sigma_{c, (7)} + 4.30 \quad (1)$$

여기서 $\sigma_{c, (28)}$: 28일 압축강도

$\sigma_{c, (7)}$: 7일 압축강도

식(1)은 골재각을 혼합한 콘크리트의 조기 판정을 위한 재령 28일 압축강도 추정식으로 Graf 식*의 콘

*) Graf의 압축강도 추정식 $\sigma_{(28)} = 1.35 \sigma_{(7)} + 35$

크리트의 압축강도 추정식보다 기율기값이 적어 다소 안정적으로 감소함을 알 수 있다.

3.2.2 인장강도

Fig. 6은 Table 6으로부터 전체 재령 28일 쪼갬 인장강도의 대체율 변화에 대한 것으로 Fig. 6으로부터 재령 7일 및 28일 인장강도는 각각 압축강도의 8.6~16.3%와 8.4~15.9%로 나타나고 초기 7일 인장강도는 골패각 혼합정도 여부에 관계없이 모두 평균 28일 강도의 79.0%정도를 나타내고 있다.

Fig. 7~9는 압축강도에서와 같이 배합유형과 W/C, 입도크기별 골패각 대체율에 대한 28일 인장강도 변화를 나타낸 것이다. Fig. 7~9로부터 골패각 사용량이 증가할수록 인장강도 크기는 감소하는 일반적인 성향을 보이는데 입도크기와 관계없이 배합유형 C형을 제외한 대체율 30%까지는 기본강도의 87%이상 나타내며 입도크기 3.0~1.0mm는 제일 낮은 인장강도를 보이는 1.0mm이하의 경우를 제외한 다른 입도크기와 유사한 강도를 나타내지만 약간 더 큰 인장강도를 보였다. 이러한 사실은 인장강도도 배합유형과 W/C, 골패각 사용량의 영향을 받는 것으로 판단되며 특히 입도크기 1.0mm이하의 경우 아주 작게 분쇄되었기 때문에 이에 대한 흡수율이 지대한 영향을 미친것으로 판단된다.

3.2.3 부착강도

Fig. 10은 정착길이 관계를 이용하여 배합유형과 W/C, 입도크기별 골패각 대체율에 대한 28일 부착강도 변화를 나타낸 것으로 부착강도 크기는 시멘트 사용량이 많을수록, 골패각 대체율이 적을수록 높은 부착강도를 나타내고 있다.

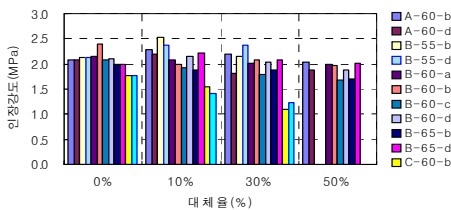
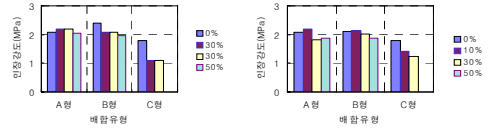
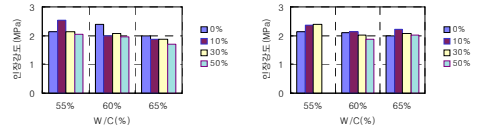


Fig. 6 대체율별 인장강도변화 (재령 28일)



a)W/C=60%,입도크기:3.0-1.0mm b)W/C=60%,입도크기:5.0mm이하

Fig. 7 배합유형별 인장강도변화



a)W/C=60%,입도크기:3.0-1.0mm b)W/C=60%,입도크기:5.0mm이하

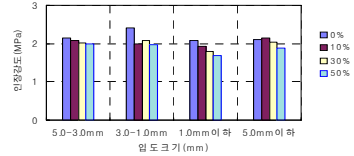


Fig. 9 입도크기별 인장강도변화 (배합유형: B, W/C=60%)

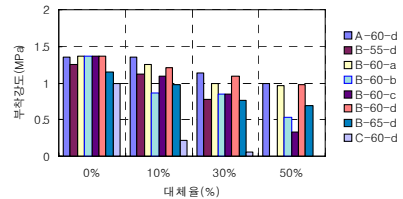


Fig. 10 대체율별 부착강도변화

그리고 입도크기가 균등하게 혼합된 5.0mm이하의 부착강도 크기는 대체율 30%까지 기본 부착강도의 81.0%이상으로 제일 우수하며 나타났다.

3.2.4 휨강도

Fig. 11은 Table 6으로부터 배합유형과 W/C, 입도크기별 골패각 대체율에 대한 28일 휨강도 변화를 나타낸 것이다.

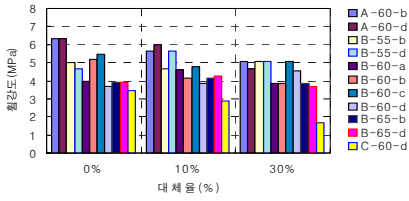


Fig. 11 대체율별 휨강도 변화

여기서 휨강도 크기는 W/C가 적을수록, 골재량이 많을수록, 골패각 대체율이 적을수록 높은 휨강도를 나타내며 입도크기가 제일 작은 1.0mm이하의 경우 제일 우수한 휨강도 크기를 보이는데 이의 대체율 10% 및 30%에서는 각각 기본 휨강도의 80.0% 및 74.8%로 나타났다. 그리고 균등한 입도크기의 5.0 mm이하의 휨강도는 대체율의 변화에 대해서도 거의 기본강도와 유사한 강도를 내었다.

3.2.5 강도상호간의 상관관계

본 연구에 있어서 실험한 전체 데이터를 이용하여 강도상호간의 관계를 연구한 결과 압축에 대한 인장강도, 휨에 대한 인장강도, 압축에 대한 부착강도, 휨에 대한 부착강도의 값은 골패각을 사용하지 않은 기준강도의 평균값은 각각 11.99%, 45.95%, 7.19%, 28.36%정도이고 골패각을 사용한 경우의 평균값은 13.18%, 48.76%, 5.94%, 23.59%정도로 골패각 콘크리트의 압축 및 휨에 대한 인장강도가 기준강도의 값보다 6~10%정도 약간 더 우수하나 부착강도는 82.63~83.17%로 성능이 감소함을 보이는데 이로부터 골패각을 사용하면 골패각을 사용하지 않은 것보다 인장강도는 우수하지만 부착강도는 다소 떨어짐을 알 수 있다. Fig. 12~15은 Table 7의 강도시험 결과로부터 골패각 콘크리트의 압축 및 인장, 그리고 휨과 인장, 압축과 부착, 휨과 부착 사이의 상호관계를 관련 측정치 모두를 이용하여 회귀분석한 결과 각각 다음과 같은 관계식을 구하였다.

$$f_{sp} = 0.6585 f_{ck}^{0.3964} \quad (2)$$

$$f_{sp} = 1.0937 f_b^{0.4255} \quad (3)$$

$$u_a = 0.0103 f_{ck}^{1.5988} \quad (4)$$

$$u_a = 0.0415 f_b^{2.1657} \quad (5)$$

여기서 f_{ck} : 압축강도, f_b : 쪼갬인장강도

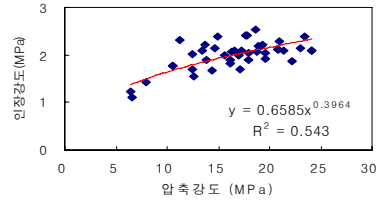


Fig. 12 압축강도 및 인장강도와의 관계(재령 28일)

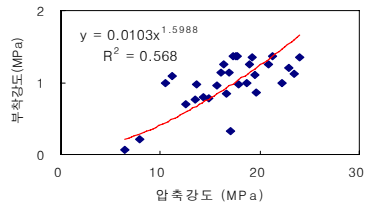
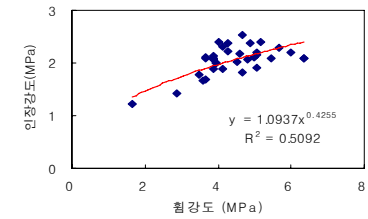


Fig. 14 압축강도 및 부착강도와의 관계

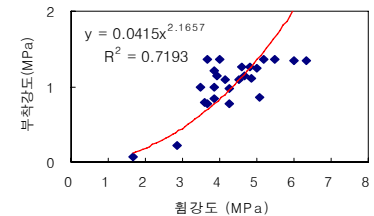


Fig. 15 휨강도 및 부착강도와의 관계

Table 7. W/C 및 대체율별 탄성계수

대체율(%) W/C(%)	0	10	30	50
55	0.0384	0.0139	0.0132	-
60	0.0227	0.0170	0.0193	0.0079
65	0.0412	0.0128	0.0655	0.0151

이러한 관계식들로부터 유용한 골패각 콘크리트의 압축강도 및 인장강도 그리고 압축강도 및 부착강도 관계를 안전측의 오차를 고려하여 각각 다음과 같이 단순화할 수 있다.

$$f_{sp} = 0.66 f_{ck}^{0.4} \quad (6)$$

$$u_a = 0.010 f_{ck}^{1.6} \quad (7)$$

3.2.6 탄성계수

Fig. 16은 W/C별 골패각의 혼입 정도가 콘크리트 탄성계수에 미치는 영향을 알아보기 위해 재령 28일 공시체에 하중 및 변형을 측정하여 Table 7은 각 하중-변위곡선의 최대하중의 1/2을 취하여 골패각 콘크리트의 탄성계수를 구한 값을 나타낸 것이다.

Fig. 16으로부터 일반적으로 골패각 혼입율이 증가할수록 골패각 콘크리트의 탄성계수는 감소함을 보이고 있는데 이것은 골패각의 탄성계수가 골재의 탄성계수에 비해 작기 때문에 나타난 결과로 판단된다. 본 실험결과에 의하면 골패각을 잔골재의 10%로 대체했을 경우 탄성계수는 W/C에 크게 관계없이 거의 유사한 값을 보이며 50%를 대체할 경우 급격히 떨어져 실용성이 없지만 30%까지 대체 사용한 경우의 탄성계수는 약 17%정도 저하함을 보이는데 이에 대한 연구는 더욱 더 진전되어야 할 것이다.

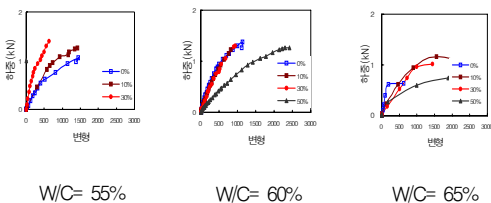


Fig. 16 W/C 및 대체율별 하중-변형곡선

4. 결론

본 연구에 있어서 골패각을 분쇄하여 입도크기별로 사용한 골패각 콘크리트 강도발현에 대한 실험적 연구를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 분쇄한 골패각 입도크기가 작을수록, 골패각 대체율이 증가할수록, 물시멘트비가 작을수록 작업성과 강도발현에 미치는 영향은 증가하는데 이의 주요 요인은 골패각 입도크기별에 대한 흡수를 때문이다.
- 2) 물시멘트비 60%전후에서 골패각 콘크리트의 압축 및 인장강도는 대체율 30%정도에서, 그리고 휨 및 부착강도는 대체율 10%에서 각 기준강도에 대해 최대 10%정도 차이를 보이고 있다.
- 3) 실험한 강도들을 모두 분석한 결과 분쇄한 골패각을 잔골재 대체제로서 우수한 골패각 입도크기는 잔골재 해당 크기를 균등하게 취한 5.0mm이하이며 잔골재 대체율의 정도는 약 30%까지 가능하다.
- 4) 실험결과 분석으로부터 안전측의 오차를 고려한 골패각 콘크리트 강도상호 관계식은 다음과 같다.
 - 압축강도 및 인장강도 $f_{sp} = 0.66 f_{ck}^{0.4}$
 - 압축강도 및 부착강도 $u_a = 0.010 f_{ck}^{1.6}$
- 5) 골패각을 혼입한 콘크리트의 탄성계수는 골패각 대체율이 증가할수록 감소하는데 이것은 골패각의 탄성계수가 골재의 탄성계수보다 작기 때문이며 대체율 10%까지는 거의 유사한 값을 보인다.

감사의 글

본 연구는 2005학년도 경남대학교 학술진흥연구비 지원에 의하여 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 구해식, 전학수, 안용덕, “골패각 콘크리트의 기본특성에 관한 연구”, 한국구조물진단학회 지, 제9권 3호, 2005. 7. pp.169~177.
2. 김정섭, 김광섭, 김판선, “고막 패각의 콘크리트 잔골재로 재활용 방안에 관한 연구”, 한국건축시공학회 논문집, 제4권 1호, 2004. 3. pp.141~146.

-
3. 어석홍, 황규한, 김정규, "콘크리트용 골재로써 굴패각의 활용", 한국콘크리트학회 논문집, 제14권 4호, 2002. 8. pp.540~548.
 4. 양은익, 윤길림, 심재설, "굴패각을 혼합한 콘크리트의 역학적 특성조사", 대한토목학회논문집, 제21권 6-A호, 2001. 11. pp.773~784.
 5. Falade, F., "An Investigation of Periwinkle Shells as Coarse Aggregate in Concrete", Building and Environment, Vol.30, No.4, pp.573~577, 1995.
 6. Okafor, F. O., "An Investigation on the Use of Superplasticizer in Palm Kernel Shells Aggregate Concrete", Cement and Concrete Research, Vol.21, pp.551~557, 1991.
 7. Okpala. D. C., "Palm Kernel Shells as a Lightweight Aggregate in Concrete", Building and Environment, Vol.25, No.4, pp.291~296, 1990.
 8. Neville, "Properties of Concrete", 3rd Edition, Pitman publishing Limited, London, 1981.

급행 (접수일자 : 2006년 4월 48일)