

콘크리트용 골재로써 굴패각의 활용성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Use of Oyster Shells as Aggregate in concrete

어 석 홍* 황 규 한** 최 덕 진** 박 영 규** 홍 기 호**
Eo, Seok Hong Hwang, Kyu Han Choi, Duck Jin Park, Young Kyu Hong, Kee Ho

ABSTRACT

An investigation into using Oyster Shells partially or wholly as aggregate in concrete is reported. The proportion of shells was varied with ratios of 10, 30, 50 and 100% by volume of fine and coarse aggregate. Two water/cement ratios of 0.45, 0.55 were considered and air-entraining superplasticizer was used to improve concrete workability.

Two strength properties (compressive and flexural) were considered. Strength tests were carried out at the ages of 1, 3, 7, 14 and 28 days. The variations of workability, weight and density of the specimens with different proportions of Oyster Shells were also studied.

Results showed that compressive and flexural strengths decreased with increase in proportion of Oyster Shells to aggregate in the reference mixes. The workability of concrete batches decreased with increase in the proportion of Oyster Shells in the mixes. The same trend was observed with density and weight of the specimens.

1. 서 론

현재 굴 주산지역인 경남 통영, 거제, 고성군 연안 일대에는 연간 약 24만톤의 굴패각이 발생하고 있다. 경상남도의 통계에 따르면 약6만톤이 굴채묘종과 패각비료 등으로 재활용되고 있으며, 약 6만톤은 공유수면 매립에 사용되고 있다고 한다. 따라서 전체의 50%에 달하는 약 12만톤 정도가 미처리되어 주변연안에 야적되어 있는 실정으로 미관상뿐만 아니라 여러 가지 환경오염의 요인이 되고 있다.

굴패각의 성분은 탄산칼슘(93.68%)과 석고 및 기타(6.3%)로 이루어져 있어 시멘트와의 수화반응과 부착성상에는 별 문제가 없을 것으로 판단되며, 적절히 분쇄하여 입도를 조절하면 콘크리트용 골재로써의 사용이 가능할 것으로 보인다. 특히 자연골재에 비하여 경량인 점과 제조된 콘크리트 표면의 연마 등을 통하여 굴패각의 자연광택을 창출할 경우 외관이 아름다운 건축용 경량콘크리트판 등의 제조가 가능할 것이다. 그러나 굴패각의 형상과 표면조직으로 볼 때 흡수율이 클 것으로 판단되어 콘크리

* 정회원, 창원대학교 토목공학과 부교수

** 정회원, 창원대학교 토목공학과 석사과정

트의 작업성 등에 좋지 않은 영향을 미칠 것도 함께 예상된다.

따라서, 본 연구에서는 현재 대량으로 방치되고 있는 골패각의 공학적 성질을 분석하고 건설자재로의 효율적 사용방안을 검토하여 콘크리트용 골재로써의 활용성에 대한 실험적 연구를 수행 하고자 한다.

2. 실험 연구

2.1 실험 계획

본 연구에서는 수거된 골패각을 다양하게 분쇄하여 입도분포 및 입형을 여러 가지 수준으로 제조한다. 이렇게 만들어진 골패각 분쇄물의 첨가량을 조절하여 콘크리트를 다양한 배합으로 제조하고, 경화전에 슬럼프 시험을 하여 작업성을 검토하고, 경화후의 역학적 특성 즉, 압축강도 및 휨강도를 검토한다. 작업성 문제를 고려하여 물-시멘트비를 0.45, 0.55로 정하였으며 골패각 치환율의 증가시 예상되는 작업성 저하문제를 고려하여 AE 감수제(NEXCO prime-AS)를 사용하였다. 실험변수를 정리하면 표 1 과 같다.

표 1. 실험변수

실험 요인		실험 수준	
배합사항	골재 대체율	5	0, 10, 30, 50, 100% (자갈) 0, 10, 30, 50% (모래)
	입도별 분류	4	5~10, 10~13, 19~25mm (자갈 대체시) 5mm 이하 (모래 대체시)
	혼화제 혼입율	1	W/C가 55% 일 때 AE 감수제 (0.3%)
실험사항	경화전	2	슬럼프, 단위용적중량
	경화후	3	압축강도(1, 3, 7, 14, 28일) 휨강도(7일) 중량

2.2 사용재료

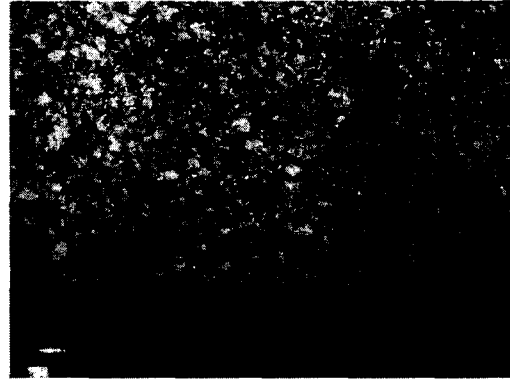
본 실험의 사용재료로 시멘트는 국내산 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하고, 골재로써 잔골재는 경남 칠서 낙동강에서 채취한 강모래를, 자갈은 부순돌을 사용하였다. 골패각은 경남 충무 해안가에서 채취하였다. 표 2는 사용된 골재의 일반적 물성실험 결과를 나타낸다. 골패각은 비중이 1.61로 일반 골재의 약 70% 정도이며 흡수량은 9.2%로 매우 큰 값을 보여주고 있음을 알 수 있다. 그림 1은 골재 대체시 사용된 분쇄된 골패각의 입도전경을 나타낸다. 그림 1에서 a)는 10~25mm 정도의 크기로써 굵은골재 대체시 사용된 골패각이며, b)는 잔골재 대체시 사용된 골패각이다.

표 2. 물성 실험결과

골재 종류	잔골재	굵은골재	O.S
비 중	2.59	2.67	1.85
흡수량(%)	1.61	0.41	9.2
단위용적중량 (kg/cm^3)	1434	1603	577
실적률(%)	55.4	60.2	31.4



a) 10~25mm 정도로 분쇄된 골패각



b) 5mm이하로 분쇄된 골패각

그림 1. 골패각 입도 사진

2.3 실험방법

비빔에 사용된 믹서는 50리터의 강제식 믹서이며 비빔은 재료를 굵은골재, 잔골재, 시멘트, 골패각 순으로 투입하여 1분간 건비빔 한 다음, 물과 혼화제를 동시에 첨가하여 4분간 추가로 혼합한 후 콘크리트를 제조하였다. 압축강도 시험용 공시체는 $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ 몰드를 사용하여 KS F 2405에 따라 몰드를 3층으로 나누어 각 층을 25회씩 붓다짐하여 제작하였다. 휨강도는 $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ 빔몰드를 사용하여 진동다짐하여 제작하였다. 공시체는 제작 후 24시간 성형한 후 탈형하였으며 파괴시험시의 재령까지 수중양생하였다. 압축강도 실험은 KS F 2405의 콘크리트의 압축강도 시험 방법에 따라 3개의 공시체를 기본으로 실시하였으며, 슬럼프 실험은 KS F 2402에 따라 비빔 즉시 실시하였다. 휨강도 실험은 3등분점재하(third point loading)에 의하여 2개의 공시체를 기본으로 실시하였다. 실험에 사용된 기기는 200톤 용량의 U.T.M(Tinius Olsen Testing Machine) 이다. 압축강도 시험전에 공시체는 캠핑처리를 하였으며 강도의 측정은 재령 1, 3, 7, 14, 28일에 실시하였고 실험결과는 각각 공시체의 평균값으로 하였다.

표 3 콘크리트 배합표

2.4 배합설계

콘크리트의 골재로써 골패각의 대체 사용성에 대한 연구로서 기본 배합 강도가 180, 260 kgf/cm^2 에 이르도록 배합설계를 하였다. 골패각의 골재대체율은 체적비로 10, 30, 50, 100%로 각각 배합하였다. 굵은골재 대체시 골패각의 입도 크기는 5~10, 10~13, 19~25mm로 각각 나누어 배합하였다. 한편, 잔골재 대체시 골패각은 입도크기를 5mm이하로 분쇄하여 배합하였다. 잔골재 대체시 작업성 및 부착성을 고려하여 50%까지만 대체하였다. 실험에 사용된 배합표는 표 3과 같다.

O.S함유량 (%)	W/C (%)	S/a (%)	단위량 (kg/cm^3)					첨가량(C×%)	
			W	C	S	G	O.S	AE	감수제
0	45	41	175	383	734	1085	-	-	
			193	350	797	1000	-	-	
	55	45	193	350	797	1000	-	-	
10	45	41	175	383	734	977	75.2	-	
			193	350	797	900	69.3	0.3	
	55	45	193	350	726	1000	50	-	
30	45	41	175	383	734	754	229	-	
			193	350	797	691	214	0.3	
	55	45	193	350	567	1000	164	-	
50	45	41	175	383	734	543	376	-	
			193	350	797	500	347	0.3	
	55	45	193	350	398	1000	283	-	
100	45	41	175	383	734	-	752	-	
			193	350	797	-	694	0.3	
	55	45	193	350	-	1000	566	-	

3. 실험 결과 및 분석

3.1 작업성

굴패각의 함유량에 따른 슬럼프 측정 결과는 그림 2와 같다. a)에서 자갈 대체시 굴패각 함유량이 증가 할수록 슬럼프값은 급격히 감소하는 결과를 보였다. 특히, 굴패각이 최대 50, 100%일 경우에는 슬럼프값이 없을 정도로 감소하는 결과를 보인 반면, 모래 대체시 굴패각 함유량이 10%일 경우, 슬럼프값이 약간 감소하지만 30, 50%일 경우, 갑자기 증가함을 보여준다. 100%일 경우, 타설이 힘들 정도로 재료분리 현상이 발생하고 슬럼프값을 측정할 수가 없었다. 이와 같은 현상은 시멘트풀과 굴패각의 결합력이 떨어지고 골재사이의 간극을 채우지 못한 결과로 사료된다. b)의 그림은 자갈 30% 대체시 굴패각의 입도에 따른 슬럼프 측정 결과로써 슬럼프 값에 큰 차이가 나타나지 않았다.

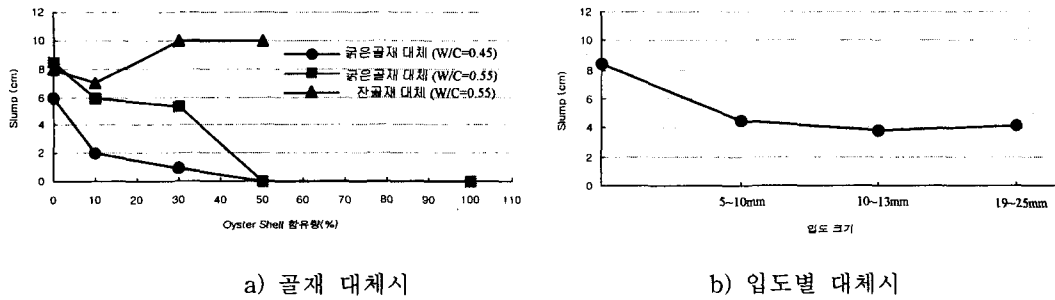


그림 2. 굴패각 함유량에 따른 슬럼프값(cm)

3.2 경화전 단위용적중량 및 경화후의 중량

굴패각의 함유량에 따른 단위용적중량 및 중량을 실험한 결과는 그림 3과 같다. 일반적으로 굳지않은 경량콘크리트의 단위용적중량은 $2.0 t/m^3$ 이하 이다. 실험 결과 보통콘크리트일 경우는 $2.2 t/m^3$ 이고 10, 30%의 굴패각 함유량의 단위용적중량은 2.09, 2.01 t/m^3 이다. 따라서 중량감소의 효과는 크지 않다는 결론을 얻었다. 50, 100%가 되었을 경우, 단위용적중량이 경량콘크리트의 조건을 만족시키지만 이 결과로 경량콘크리트의 효과를 기대하기란 어렵다.

굵은골재 대체시 굴패각 함유량에 따른 경화콘크리트의 중량시험 결과는 그림에서 보듯이 굴패각의 함유량이 증가할수록 감소하는 것을 알 수 있다. 자갈과 굴패각의 비중은 표 2에서와 같이 각각 2.67, 1.61이나 배합상 체적비로 대체되었기 때문에 중량의 감소효과는 그다지 크지 않은 것으로 나타났다.

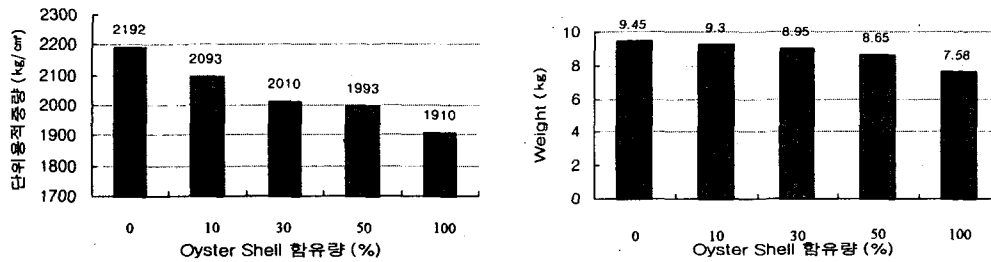


그림 3. 굴패각 함유량에 따른 단위용적중량 및 중량

3.3 강도특성

그림 4는 혼화제를 첨가하지 않은 굴패각 대체시의 재령 7일의 압축강도 및 휨강도를 나타낸 것이다. 압축강도 및 휨강도는 굴패각 대체율이 증가할수록 감소한다는 것을 알 수 있다. 굴패각 대체율이 증가함에 따라 압축강도가 최대 60%까지 감소하는 것으로 나타났다. 휨강도 또한 굴패각 대체율이 증가할수록 감소하는 경향을 보였으나 강도감소율이 압축강도의 경우보다 작은 것으로 나타났다. 그림에서 보면 잔골재 대체시가 굵은골재 대체시 보다 강도가 10~20% 정도 더 큰 값을 보인다.

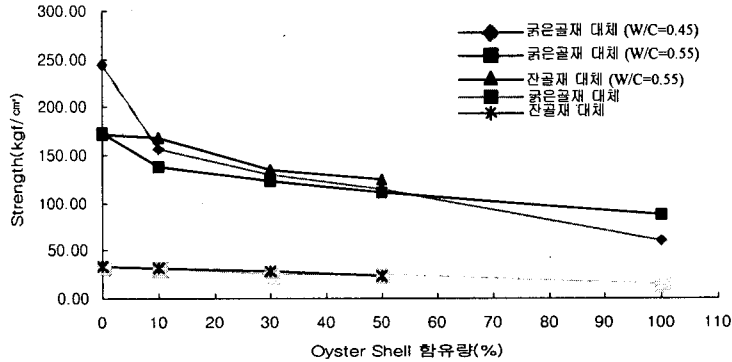


그림 4. 재령 7일의 압축강도 및 휨강도

그림 5는 굴패각의 자갈에 대한 대체율이 30%일 때, 입도분포에 따른 압축강도 및 휨강도 그래프이다. 입도크기가 19mm 이상이 되면 압축강도 및 휨강도가 급격히 감소함을 알 수 있다. 이 결과 굴패각 대체시 입도분포는 최대 19mm 이하로 분쇄하여 골재로 사용하는 것이 적당하다는 결과를 얻을 수 있다.

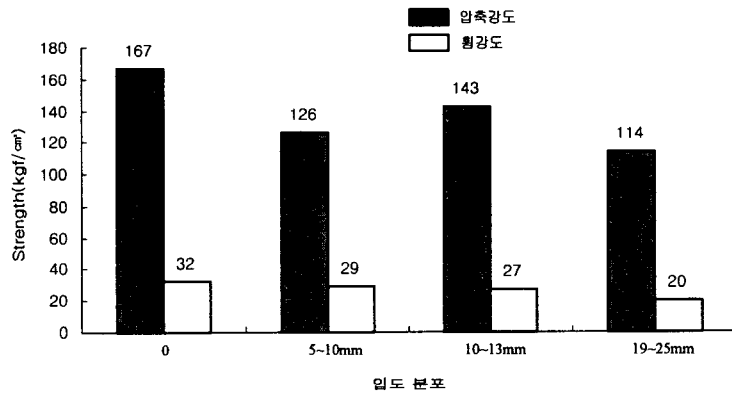


그림 5. 굵은골재 대체시 굴패각의 입도분포에 따른 압축강도 및 휨강도

그림 6은 10~13mm 굴패각 입도를 사용한 혼화제를 첨가한 경우 콘크리트의 재령에 따른 굵은골재 대체시 압축강도 발현정도를 나타낸다. 재령 7일까지는 강도증가현상이 굴패각의 대체율에 상관없이 전체적으로 급격히 상승하는 것으로 나타났으며, 재령 14일 실험결과, 대체율 10, 30%일 때의 압축강도는 근사한 값을 보이며 이 때 압축강도는 기준콘크리트의 약 75% 정도이다. 재령에 따른 전체적인

그래프의 기울기를 보면 굴폐각함유율이 50%까지는 콘크리트의 강도증가율이 기준콘크리트와 비슷한 경향을 보여주고 있다.

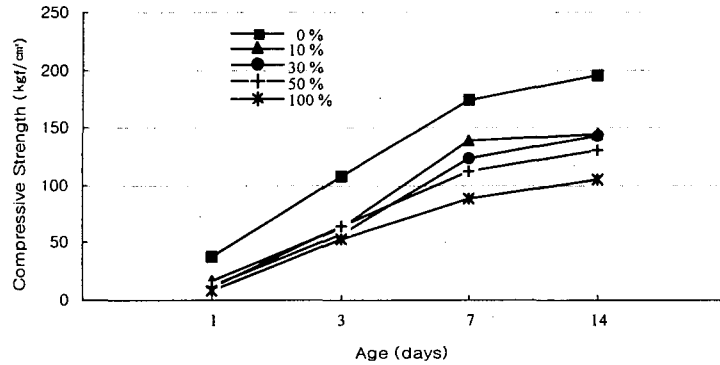


그림 6. 재령에 따른 압축강도

4. 결 론

굴폐각을 이용한 골재대체성에 대한 연구 결과는 다음과 같다.

- (1) 굴폐각의 함유량이 증가할수록 압축강도 및 휨강도는 감소하며, 워커빌리티와 밀도를 감소시키는 결과를 나타낸다.
- (2) 굵은골재 대체시 굴폐각의 함유량이 50%미만일 경우에는 경량콘크리트 효과를 볼 수 없으나 50% 이상일 경우에는 경량콘크리트화가 가능하다. 그러나 50% 이상이 되면 강도가 급격히 감소하므로 이에 대한 추가적인 연구가 이루어 져야 한다.
- (3) 잔골재 대체시 굵은골재 대체보다 다소 큰 강도를 나타낸다. 이 경우 30% 이내로 대체한다면 강도감소가 20% 정도로 콘크리트블록으로 충분히 사용가능할 것으로 본다. 굴폐각의 함유량은 골재의 결합력 및 작업성을 고려하여 최대 50% 이내로 한다.
- (4) 굵은골재 대체시 굴폐각의 분쇄는 최대 19mm를 넘지 않도록 하는 것이 강도 및 작업성 측면에서 합리적인 것으로 판단된다.

위와 같이 굴폐각의 골재대체시 활용성에 대한 연구 결과, 굴폐각의 함유량이 다량일 경우 강도 및 결합력, 작업성 등에 문제가 제기되었지만 더 많은 실험과 연구로 이러한 문제점을 해결한다면 충분히 골재로써 사용이 가능할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. F. Falade, "An Investigation of Periwinkle Shells as Coarse Aggregate in concrete", Building and Environment. Vol. 30, No. 4. pp. 573~577, 1995.
2. D. C. Okpala, "Palm Kernel Shell as a Lightweight Aggregate in Concrete", Building and Environment. Vol. 25, No. 4. pp. 291~296, 1990.
3. Fidelis O. Okafor, "An Investigation on The use of Superplasticizer in Palm Kernel Shell Aggregate Concrete", Cement and Concrete Research. Vol. 21, pp.551~557, 1991.