

산업폐기물(굴패각)을 혼입한 콘크리트의 장기성능 평가

Evaluation of Long-Term Performance of Concrete Blended with Industrial Waste(Oyster Shell)

김 학 모* 양 은 익** 이 성 태*** 정 용 일* 최 중 철*
Hak-Mo Kim Eun-Ik Yang Seong-Tae Yi Yong-Il Jeong Joong-Chul Choi

ABSTRACT

To evaluate the practical application of oyster shells as construction materials, an experimental study was performed. More specifically, the long-term mechanical properties and durability of concrete blended with oyster shells were investigated.

Test results indicate that long-term strength of concrete blended with 10% oyster shells is almost identical to that of normal concrete. However, the long-term strength of concrete blended with 20% oyster shells is appreciably lower than that of normal concrete. Thereby, concrete with higher oyster shell has the possibility giving a bad influence on the concrete long-term strength. Elastic modulus of concrete blended with crushed oyster shells decreases as the blending mixture ratio increases. Namely, the modulus is reduced by approximately 10~15% when oyster shells are blended up to 20% replacing the fine aggregate.

The drying shrinkage strain increases as the blending ratio increases. In addition, the existing model code of drying shrinkage does not coincide with the test results of this study. An adequate prediction equation needs to be developed. The utilization of oyster shells as the fine aggregate in concrete has an insignificant effect on freezing and thawing resistance, carbonation and sulfuric acid attack of concrete recycling. However, water permeability is considerably improved.

1. 서 론

최근 들어 산업폐기물 중의 하나인 굴패각을 대량으로 처리하기 위한 기본연구로서 굴패각을 콘크리트의 골재로 사용하려는 연구가 몇몇 연구자(양은익 외, 2001; 어석홍 외, 2001)에 의해 진행되어 왔다. 또한, 이를 사용한 콘크리트의 물리적, 화학적 특성은 물론 역학적, 시공적 특성을 검토한 결과, 그 활용성의 다양함이 보고 되고 있다. 그러나 기존의 연구는 단기 재령에 대한 결과에 국한되어 있으며 실제 적용을 위해서는 굴패각의 혼합에 따른 장기특성 및 내구성에 대한 다각적인 연구가 필요하다.

* 정회원, 강릉대학교 토목공학과 대학원생
** 정회원, 강릉대학교 토목공학과 조교수
*** 정회원, 한국전력기술(주) 토목기술처 차장

따라서, 본 연구에서는 분쇄한 골패각의 대체사용이 콘크리트의 장기역학적 특성 및 내구성에 미치는 영향을 정량적으로 검토하였다.

2. 실험 계획

2.1. 실험 개요 및 재료

골패각의 대체율에 따른 장기역학적 특성과 내구성을 파악하기 위하여 본 실험은 두 가지로 나뉘어 실시되었다. 즉, 장기역학적 특성을 검토하기 위해서는 장기압축강도, 탄성계수, 및 건조수축에 대한 시험을 실시하였고, 내구성을 검토하기 위해서는 동결융해, 탄산화, 화학침식 및 투수저항성에 대한 시험을 실시하였는데 실험의 변수 및 측정항목을 정리하여 나타내면 표 1, 2와 같다.

표 1 장기역학적 거동 특성 실험변수

항 목	내 용	상 세
압축강도	KS F 2405	7, 14, 28일, 2, 3, 6, 12개월
탄성계수	응력-변형률 곡선	14, 28일, 6, 12개월
건조수축	길이변화	항온(23±1℃), 항습(50±3%) 건조개시: 재령 7일

표 2 내구성 특성 실험변수

항 목	내 용	상 세
동결융해 저항성	KS F 2456	재령 별 동탄성계수 및 중량 변화
탄산화 저항성	탄산화 깊이	이산화탄소 농도: 10%
화학침식 저항성	중량감소율	황산: 5% 용액
투수 저항성	KS L 5105	경우 별 투수량

콘크리트의 제조를 위해 시멘트는 L사의 1종 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 강릉시 송정지역 모래(비중:2.58, 흡수율:1.64%, F.M.=2.98)를, 굵은골재는 강릉시 임곡석산 쇄석(비중:2.75, 흡수율:0.57%, Gmax=25mm)을 사용하였다. 분쇄한 골패각은 비중:2.48, 흡수율:2.9%, F.M.=2.8이었다. 한편, 골패각의 혼합에 따른 시공성 저하를 보상하기 위해서 J사의 AE제, 감수제, 및 고성능감수제를 용도에 따라 사용하였다.

2.2. 콘크리트 배합비

실험의 콘크리트 배합비는 목표 슬럼프를 10±1.5cm로, 공기량은 혼화제를 첨가하여 5.5±1.0%를 만족하도록 하였다. 실험에 사용한 배합을 정리하여 나타내면 표 3과 같다. 혼화제는 앞에서 언급한 바와 같이 골패각 대체율에 따라 적정량이 사용되었다. 이때, 설계기준강도는 280 kgf/cm²를 목표로 하였다.

표 3 콘크리트 배합비

배합 종류	w/c (%)	s/a (%)	단위량 (kg/m ³)			
			W	C	S	G
NNO	45	43	175	389	723	1021
OS10	45	43	175	389	651(70)	1021
OS20	45	40	175	389	538(130)	1075

()값은 골패각 대체 사용량임.

3. 장기역학적 특성

3.1. 장기재령 압축강도 및 탄성계수

표 4 장기재령에서의 압축거동 측정 결과

(단위:kgf/cm²)

대체율 \ 재령	압축강도							탄성계수 (×10 ⁵)			
	7일	14일	28일	2개월	3개월	6개월	1년	14일	28일	6개월	1년
0%	263	298	299	343	345	395	414	3.47	3.41	3.61	3.55
10%	258	293	297	325	345	372	400	3.04	3.18	3.40	3.20
20%	255	302	302	318	306	350	379	2.91	3.05	3.33	3.00

분쇄한 골패각을 잔골재의 대체재로 사용한 $\phi 100 \times 200$ mm 콘크리트 공시체의 실험결과를 정리하여 나타내면 표 4, 그림 1, 및 그림 2와 같다. 그림 1에는 측정된 실험결과 외에 압축강도를 예측하는데 사용되는 각 CODE (ACI Model, CEB-FIP Model)로부터의 예측결과도 함께 나타내었다.

표 4 및 그림 2의 결과에 따르면, 골패각의 잔골재로서의 대체가 콘크리트의 재령 28일까지의 압축강도에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 확인되었으나, 재령 28일 이후의 압축강도에는 영향이 있는 것으로 나타났다. 즉, 골패각의 대체율이 증가할수록 28일 이후의 압축강도 발현이 적은 것으로 나타났으며 골패각 대체율 0%, 10%, 20%에 대해 증가율이 각각 40%, 35%, 25%였다. 그러나, 압축강도가 골패각의 대체비율에 따라 비례적으로 변화하지는 않았다. 그림 1의 결과에 따르면, ACI와 CEB-FIP의 CODE로부터의 값은 서로 유사한 값을 예측하였으며 골패각 대체의 영향을 효과적으로 반영하지 않는 것으로 나타났다. 따라서, 산업폐기물을 대체 사용한 콘크리트의 장기재령 압축강도는 대체율을 고려한 모델식을 제안할 필요가 있을 것으로 판단된다. 한편, 지금까지의 결과에 따르면 골패각이 10% 대체된 경우와 20% 대체된 경우에 압축강도에 미치는 영향이 비례적이지 않으며, 일정한 한도 이상의 골패각 대체는 콘크리트의 장기재령 강도에 열화요인으로 작용할 수 있으므로 골패각을 대체할 수 있는 역학적 임계비율에 대한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

골패각을 다량 대체한 경우, 장기재령의 강도 저하는 콘크리트 속에 존재하는 골패각이 상대적으로 낮은 강도를 갖는 것으로 인한 응력 집

중의 효과 때문인 것으로 판단된다.

한편, 골패각의 대체에 따른 탄성계수의 저하는 대체율이 증가할수록 대체율에 거의 비례하여 저하하였으며 골패각 대체율 20%에서 탄성계수는 10~15% 범위에서 저하하였다.

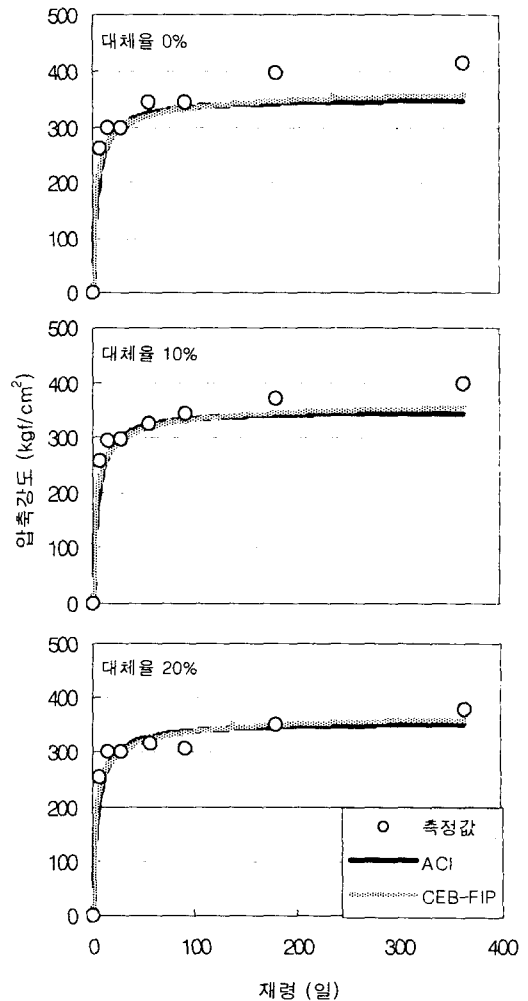


그림 1 골패각 혼합 콘크리트의 압축강도 변화

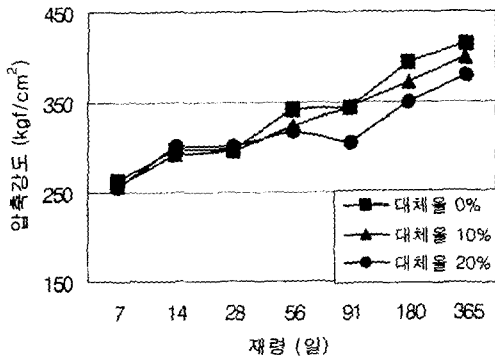


그림 2 굴폐각 혼합 콘크리트의 압축강도 비교

3.2. 굴폐각 혼합 콘크리트의 건조수축

굴폐각을 잔골재 대체재로 사용한 콘크리트의 건조수축 거동을 파악하기 위하여 각 실험변수에 대해 실시한 결과를 정리하여 나타내면 그림 3 및 4와 같다. 그림 3에서는 건조수축을 예측하는데 일반적으로 사용되는 각 CODE (ACI Model, CEB-FIP Model, BP Model)의 예측 결과를 함께 비교하였다. CODE Model에 사용된 배합인자 중 굴폐각의 체적분은 잔골재로 취급하였다.

그림 3에 따르면 각 CODE값은 CEB-FIP, ACI, 그리고 BP 순으로 점점 큰 값을 예측하였으며 특히 BP의 초기 예측값이 크게 나타났다. 실험결과와 예측값을 비교하여 보면 초기의 경향이 CEB-FIP의 예측값에 가장 근접하는 결과를 보였다.

한편, 그림 4는 굴폐각의 대체율이 증가할수록 건조수축이 증가함을 나타내고 있으며 건조수축량의 절대값은 물론 증가율도 크게 나타남을 보이고 있다.

함수식에 따르면 각각의 대체율에서 시간이 무한히 흘렀을 때의 최종수축율은 각각 456, 487, 581 μ 로 수렴하였다. 즉, 회귀분석을 이용한 건조수축률의 증가량을 살펴보면 대체율 10%는 7%, 대체율 20%는 28%의 증가량을 보이는 것을 알 수 있다. 이러한 건조수축의 증가는 굴폐각의 높은 흡수율 및 함유되어 있는 미립분의 영향 등에 기인한다고 판단된다.

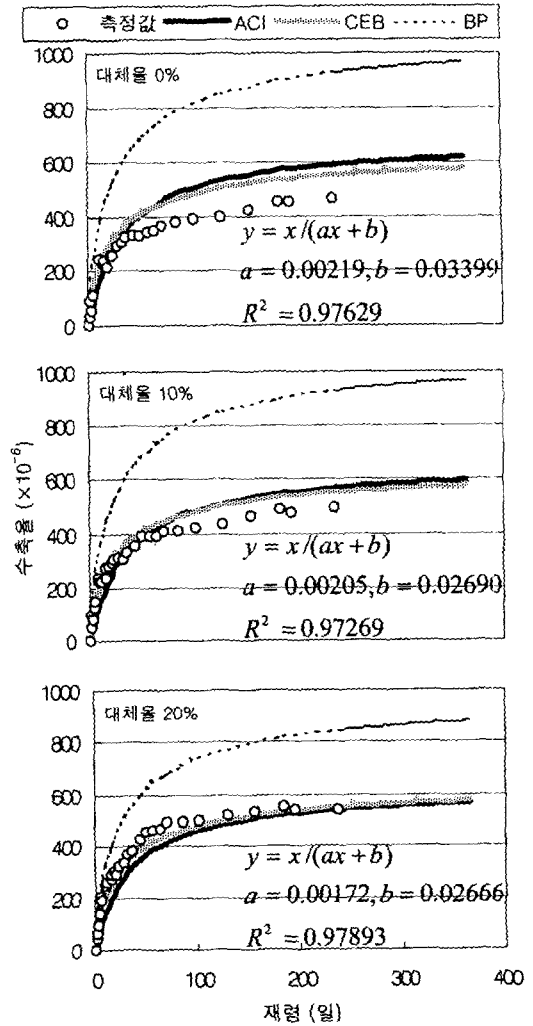


그림 3 건조수축 변형률 변화 특성

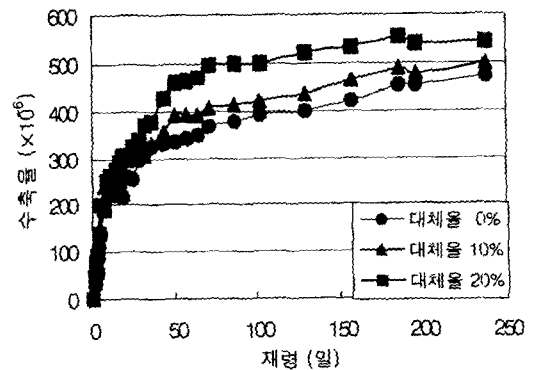


그림 4 건조수축 변형률 비교

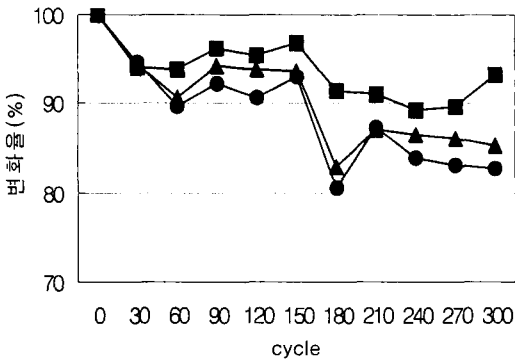
4. 내구성

4.1. 동결융해에 대한 저항성

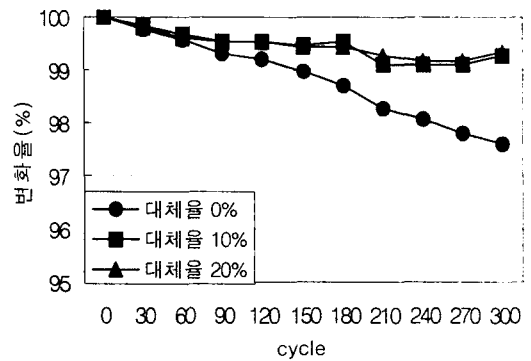
굴패각 대체율에 따른 동결융해의 비교 실험을 실시하였으며, 그 결과를 정리하면 그림 5의 (a), (b)와 같다.

그림 5에 따르면 동결융해 횟수가 증가할수록 굴패각 대체율에 관계없이 동탄성계수 및 중량이 저하하였으나 굴패각 대체가 동결융해 저항성에 나쁜 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다.

굴패각 대체율 별 내구성지수(DF)는 각각 82.7, 93.3, 85.4%로 측정되었다.



(a) 동탄성계수



(b) 중량

그림 5 동결융해에 대한 저항성 변화

4.2. 탄산화 및 화학침식에 대한 저항성

굴패각 대체율이 콘크리트의 탄산화 특성에 미치는 영향을 검토하기 위해 이산화탄소 10%의 환경에서 탄산화촉진 실험을 실시하고 해당 재령에서 할열인장파괴 시킨 후에 공시체의 파단면에 1% 페놀프탈레인-알콜 용액을 분무하여 변색된 부분의 깊이를 측정하였다. 실험결과는 5주까지의 결과가 수집되었으며 그 결과를 정리하여 나타내면 그림 6과 같다. 실험결과에 따르면 탄산화 재령이 증가할수록 탄산화 깊이는 커지는 것을 나타냈으며, 굴패각의 대체율에 관계없이 동일한 정도의 탄산화속도를 보였다. 즉, 탄산화속도에는 굴패각의 대체율이 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

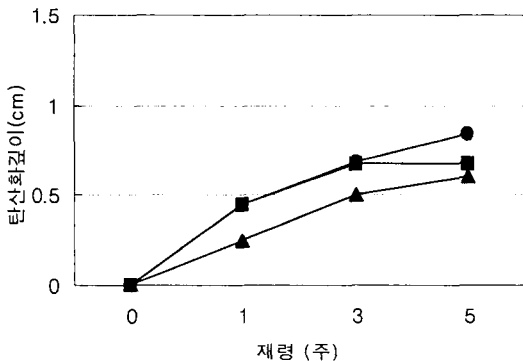


그림 6 굴패각 대체율에 따른 탄산화 깊이 변화

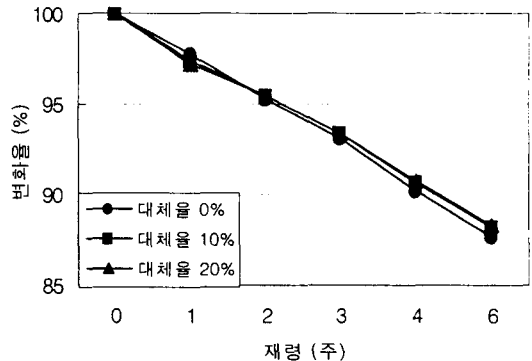


그림 7 화학침식에 대한 저항성 변화

골패각 대체에 따른 콘크리트의 화학 저항성 실험에서는 황산 5% 용액에 콘크리트 시험체를 침지시키고 재령 경과에 따른 중량변화를 측정하였다. 소요의 재령이 경과한 후에 공시체 표면의 상태는 침지 재령이 증가할수록 콘크리트의 침식이 점점 증가함을 나타내었다. 그러나 공시체 표면의 상태를 비교하여 살펴보면 골패각의 대체율에 따른 차이는 크지 않은 것으로 판단된다.

황산 침식에 의한 중량변화를 측정 재령에서 골패각 대체를 별로 비교하여 나타내면 그림 7과 같다.

그림 7에서 알 수 있는 바와 같이 골패각의 대체율에 따른 변화는 거의 보이지 않아 콘크리트의 화학적 침식 저항성은 골패각의 영향을 받지 않음을 확인하였다.

4.3. 투수에 대한 저항성

콘크리트의 내구성은 콘크리트 내부의 공극구조와 치밀성에 의해 크게 영향을 받으므로 본 연구에서는 이러한 특성을 비교하기 위해 골패각 대체율에 따른 투수저항성을 비교하였다. 그 결과를 정리하면 표 5와 같다.

표 5의 결과에 따르면 골패각의 잔골재 대체로 인하여 투수저항성이 크게 향상하는 결과를 보이고 있다. 대체율에 따른 투수비를 살펴보면 골패각을 대체한 콘크리트가 기준 콘크리트의 약 20% 정도로 골패각에 의해 투수저항성이 크게 개선되는 것을 보인다. 이러한 결과는 분쇄된 골패각에 다량 함유되어 있는 미립분과 건조된 골패각을 사용함에 기인하는 것으로 판단된다.

표 5 골패각 대체율 별 투수특성

대체율 (%)	초기중량 (g)	건조무게 (g)	투수무게 (g)	투수량 (g)	평균투수량 (g)	투수비
0	1530.98	1483.50	1486.11	2.61	2.845	-
	1510.27	1463.40	1466.48	3.08		
10	1478.78	1426.00	1426.52	0.52	0.640	0.22
	1474.24	1423.20	1423.96	0.76		
20	1353.61	1304.90	1305.34	0.44	0.525	0.185
	1350.59	1301.80	1302.41	0.61		

4. 결 론

- 1) 골패각의 대체가 재령 28일의 압축강도에는 영향을 미치지 않지만 일정한도 이상의 골패각을 대체한 경우, 장기재령에서의 강도증진이 감소되었다.
- 2) 골패각의 대체에 따른 탄성계수 저하는 대체율에 거의 비례적으로 저하하였으며 골패각의 대체율 20%에서 약 10~15% 저하하였다.
- 3) 골패각의 대체율이 증가할수록 건조수축 발생량은 증가하였으며 기존의 건조수축 모델식은 골패각의 증가에 따른 영향을 잘 반영하지 못하였고 이에 대한 예측식의 보정이 필요하다.
- 4) 잔골재의 일부를 골패각으로 대체하여도 콘크리트의 동결융해저항성, 탄산화 깊이, 및 황산용액 저항성에는 나쁜 영향을 미치지 않으며, 투수저항성은 오히려 크게 개선되었다.

참 고 문 헌

1. 양은익 외 3인(2001), "골패각의 콘크리트 잔골재의 활용성," 한국콘크리트학회 논문집, 제13권 1호, pp.501-506.
2. 어석홍 외 4인(2001), "콘크리트용 골재로써 골패각의 활용성에 관한 실험적 연구," 한국콘크리트학회 논문집, 제13권 1호, pp.507-512.