

# 굴패각의 콘크리트 잔골재로의 활용성

## Applicability of Oyster Shell to Concrete Ingredients

양 은 익\*      손 명 수\*\*      김 학 모\*\*\*      정 용 일\*\*\*  
Yang, Eun Ik    Shon, Myung Soo    Kim, Hak Mo    Jeong Yong Il

### ABSTRACT

An experimental study was carried out to investigate recycling of an oyster shell, which is disposed in open-dumped way at coastal oyster factory area. For this purpose, the chemical component and reaction of oyster shell with cement paste was examined. And, the characteristics of hardened concrete was quantitatively investigated in terms of fineness modulus and blending rate of the crushed oyster shell. Test results show that interaction between oyster shell and cement paste was not occurred and the crushed oyster shell can be used as the fine aggregate of concrete. And it is found that blending of an oyster shell caused not to reduce the 28 day compressive strength of concrete. Elastic modulus of the concrete blended with crushed oyster shells decreases with increases the blending rate which the modulus reduced about 10% when oyster shells is blended up to the 20% of the sand substitution,

### 1. 서론

우리나라 남해 및 일부 서해 연안의 굴양식사업으로 인해 발생하는 굴패각(거제시와 통영시 일대의 경우 약30만톤/년)은 현재 굴 채묘 및 비료 등으로 일정량이 재활용되고 있기는 하지만 재활용 가능량의 양적 한계 및 처리시의 집하장 확보, 굴패각의 농토 살포 후 토질응결, 해양 미생물 및 경제성 등의 문제점이 거론되어 재활용의 활성화가 지연되고 있다. 따라서 대부분의 굴패각은 재활용되지 않고 매립하거나 주변에 불법으로 적재하는 형식으로 처리되고 있는 실정이다. 굴패각을 매립 또는 적재할 경우, 매립지의 확보곤란은 물론 매립에 따른 매립지 처리와 누출수에 의한 환경피해 및 환경오염의 근원지가 되고 있으며, 주변 적재의 경우는 심각한 악취와 오염으로 위생과 주거환경에 지대한 악영향을 미쳐 지역 주민의 민원이 계속적으로 발생하고 있다.

토목공사에 굴패각을 활용하기 위한 연구의 예로써, 일본의 경우 연약 지반 개량제, 샌드 파일재로서 활용하고자하는 연구가 추진된 바 있으며<sup>1),2)</sup> 그 가능성이 제시되기도 하였다. 그러나 실용적인 단계에는 이르지 못하였으며 추가적인 연구가 확산되지 않은 실정이다.

따라서 본 연구에서는 분쇄한 굴패각을 콘크리트의 잔골재 대체재료로써 활용할 수 있는 가능성을 제시하기 위하여 굴패각의 화학적 반응성 및 혼입율에 따른 콘크리트의 역학적 특성을 비교하였다.

\* 정회원, 강릉대학교 토목공학과 조교수  
\*\* 정회원, 동양시멘트 중앙연구소 대리  
\*\*\* 정회원, 강릉대학교 토목공학과 대학원생

## 2. 실험 계획

### 2.1 실험 개요

실험은 크게 2종류로 구분하였는데 그 하나는 골패각의 구성성분 및 시멘트와의 반응성 여부에 대한 화학적 특성을 평가하는 것이고 다른 하나는 골패각 혼입에 따른 굳은 콘크리트(Hardened Concrete)의 역학적 특성 변화 파악을 목적으로 하고 있다.

골패각의 화학적 특성을 검토하기 위한 실험에서는 골패각의 XRF분석과 시멘트와의 반응을 검토하기 위한 XRD비교실험 및 SEM 사진촬영을 실시하였다. 이때 사용한 시료로는 w/c 비가 50%인 모르터를 사용하였다. 골패각 혼입 콘크리트의 역학적 특성을 검토하는 실험에서는 골패각 혼입율의 한계로써 골패각에 포함되어 있는 염화물 이온량이 콘크리트 관련 규정(0.3 kg/m<sup>3</sup>)을 만족하도록<sup>3)</sup> 골패각의 성분조사 결과를 근거하여 10%를 상한 혼입율로 정하였으나 예외 규정으로 0.6 kg/m<sup>3</sup> 까지 혼입이 가능한 경우를 상정하여 20%에 대한 비교 실험도 포함하였다. 골패각의 혼입에 따른 콘크리트 역학적 특성을 파악하기 위한 실험의 변수는 표 1과 같다.

표 1 실험변수

실험변수	내용	비고
골패각 종류	Type A (조립율:2.7) Type B (조립율:2.1)	-
골패각 혼입율	0, 5, 10, 20 %	잔골재 내할 혼입
혼화제 첨가 유무	AE감수제 투여 여부	시멘트 중량의 0.3%
콘크리트 재령	3, 7, 28 일	-

### 2.2 사용 재료 및 콘크리트 배합비

콘크리트 제조를 위해 시멘트는 D사의 1종 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 연곡하천 육사(비중:2.61, 흡수율:0.81%, F.M.=3.44)를 굵은골재는 진고개산 쇄석(비중:2.74, 흡수율: 0.60%, Gmax=25mm)을 사용하였다. 한편 콘크리트에 혼입하는 골패각은 탄산칼슘이 주성분이며 수%의 유기물을 포함하는 것으로써 조크러쉬를 사용하여 5mm체를 통과하도록 분쇄하였으며 원활한 분쇄를 위하여 110±10℃ 건조로에서 24시간 건조시킨 후 실시하였다. 사용한 골패각의 물리적 특성치는 표 2와 같다.

표 2 사용 골패각의 물리적 특성치

골패각 종류	비중	흡수율 (%)	조립율
Type A	2.39	4.40	2.7
Type B			2.1

표 3 콘크리트 배합비

w/c (%)	s/a (%)	W (kg/m <sup>3</sup> )	C (kg/m <sup>3</sup> )	S (kg/m <sup>3</sup> )	G (kg/m <sup>3</sup> )	Ad. (%)
45	43	180	400	725.2	1001.6	-

### 2.3 콘크리트 배합비

골패각의 혼입에 따른 콘크리트 특성의 변화를 조사하기 위하여 실시하는 실험의 콘크리트 배합비는 기준배합의 목표 슬럼프를 8±1cm로, 공기량은 혼화제를 첨가한 경우에 5±1%를 만족하는 기준으로 하여 표 3과 같이 결정하였다. 표 3의 배합비는 해양 콘크리트의 내구성 확보를 위해 요구되는 w/c의 기준치<sup>3),4)</sup>를 만족하는 배합이며, 설계기준강도 300 kg/cm<sup>2</sup>를 목표로 하였다.

## 3. 골패각의 화학적 특성

### 3.1 골패각의 성분분석

골패각을 구성하고 있는 주성분을 조사하기 위하여 통영지역의 골패각 박신장에서 골패각 시료를 채취한 후 XRF 시험(X선 형광분광분석)을 실시하였다. XRF 시험을 실시하기 위해 골패각은 100℃ 건조로에서 24시간 건조시킨 후에 필요한 시료를 분쇄하여 제작하였다. X선 형광분광분석 결과를 나타내면 표 4와 같다. 표 4에 따르면 각 구성성분의 중량비를 항목별로 알 수 있다. 그러나 표에 제시

한 바와 같이 가열로 인한 CO<sub>2</sub> 와 유기물의 손실로 인하여 전체 손실분에 대한 구성 물질을 판단하기 위해서는 이에 대한 별도의 시험이 필요한 것으로 판단되었다. 한편 직접적인 탄산칼슘(CaCO<sub>3</sub>)의 중량을 표 4로부터 알 수는 없지만 탄산칼슘의 구성 분자식을 사용하면 간접적인 탄산칼슘의 중량을 알 수 있으므로 다음과 같은 방법으로 탄산칼슘의 중량을 구하였다.

표 4 골패각의 XRF 시험 결과 (단위 : 중량 %)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O
2.00	0.50	0.20	51.06	0.51	0.60	0.06
Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SrO	Ig. loss*	-
0.58	0.02	0.02	0.18	0.09	44.16	-

\* 시료의 가열로 인한 손실분으로 CO<sub>2</sub> 와 유기물을 포함

$$\begin{aligned}
 \text{탄산칼슘 중량비(\%)} &= \frac{\text{CaCO}_3 \text{ 분자중량}}{\text{CaO 분자중량}} \times \text{CaO 중량비(\%)} \\
 &= \frac{100}{56} \times 51.06 \dots\dots\dots (1) \\
 &= 91.18(\%)
 \end{aligned}$$

계산된 탄산칼슘의 중량비율이 기존의 골조합 자료의 구성성분 비율(탄산칼슘 비율=86%)에 비해 다소 큰 값을 나타내는 것은 골패각에 포함되는 수분을 이 실험에서는 건조로에서 제외시키고 분석한 것에 기인하는 것으로 판단된다.

### 3.2 골패각과 시멘트의 반응성

골패각의 성분분석 결과에서 조사한 바와 같이 골패각은 대부분의 탄산칼슘과 소량의 광물성분 및 유기물질을 포함하고 있다. 따라서 이와 같은 골패각을 콘크리트의 혼합재료로써 투입할 경우 골패각의 탄산칼슘 성분 등이 시멘트와의 사이에서 이상응결 또는 이상반응을 일으킬 수 있는지에 대한 평가가 선행되어야 할 것으로 판단하였다. 이를 위해 골패각과 시멘트의 이상반응 여부를 조사하는 방법으로 XRD(X선 회절분석) 비교시험을 실시하였으며 골패각과 시멘트 수화물과의 경계면에 대한 전자현미경 촬영(SEM)을 실시하였다.

XRD(X선 회절분석) 비교시험을 위해 표 5와 같은 시료를 준비하였으며 각각의 시료에 대한 XRD 결과를 정리하였다.

표 5 XRD 시험을 위한 시료 종류

시료 종류	내용	비고
shell	골패각 만으로 제작한 시료	
opc-7	일반 시멘트를 사용하여 제작한 모르터를 7일간 양생하여 만든 시료	w/c = 50 %
s10-7	골패각을 모래의 10% 대체하여 제작한 모르터를 7일간 양생하여 만든 시료	w/c = 50 %

표 5에 나타난 시료를 사용하여 측정된 XRD 결과를 그림 1에 나타내었다. 특히 그림 1은 각 시료의 결과를 비교하기 위하여 각 결과를 함께 제시하였다.

그림 1에서 알 수 있는 바와 같이 시멘트와 골패각의 혼합에 따른 이상 반응 또는 새로운 물질의 생성은 보이지 않았으며 시멘트 수화 생성물에 의한 물질과 골패각의 물질이 서로 독립적으로 검출되는 것으로 나타났다. 즉 콘크리트에 골패각을 혼입하여도 시멘트의 수화생성물에는 영향을 미치지 않는 것으로 판단되며 골패각의 입자는 채움재로써의 역할만을 수행하는 것으로 판단된다.

이와 같은 현상을 시각적으로 확인하기 위하여, w/c=50%인 페이스트에 골패각을 시멘트 중량의 10%를 포함시킨 시료의 재령 7일에서의 시멘트 수화물과 골패각 입자 경계면에 대한 SEM 사진을 촬

영하였으며 그 결과를 사진 1에 나타내었다. 사진으로부터 알 수 있는 것처럼 침상구조의 시멘트 수화물과 표면이 매끄러운 굴패각의 입자는 독립적으로 존재하였으며 이상반응의 징후는 보이지 않았다.

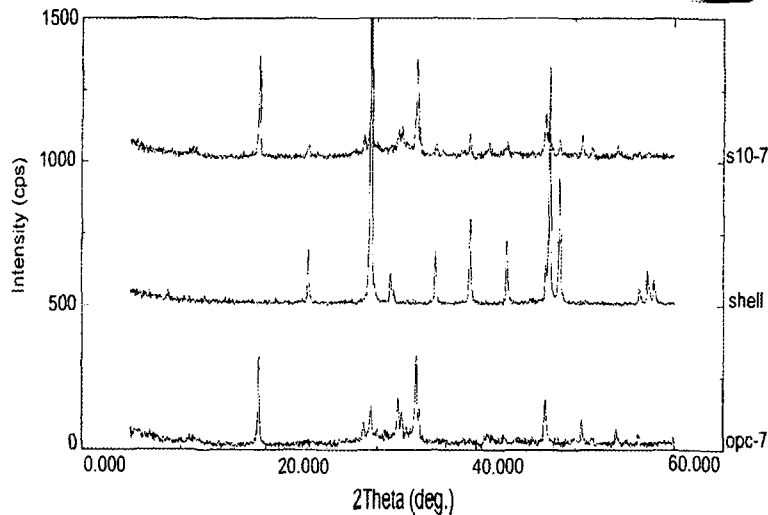


그림 1 XRD 분석 결과 비교

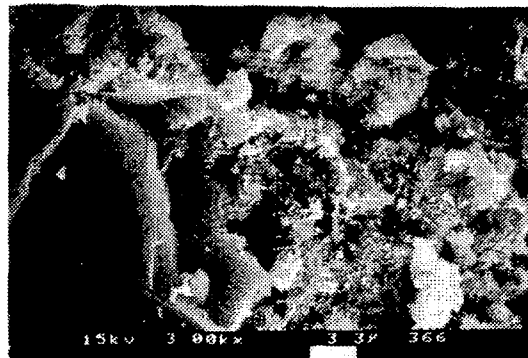


사진 1 시멘트 수화물과 굴패각 입자 경계면에 대한 SEM사진

이러한 결과들을 종합하여 볼 때, 굴패각을 콘크리트의 혼화재료로서 활용하여도 화학적인 이상반응이나 새로운 물질의 형성은 없는 것으로 판단되며 굴패각의 성분은 콘크리트의 내부에 무반응의 물질로써 존재하는 것으로 사료된다. 따라서 굴패각의 혼화재료로서의 활용은 화학적 반응의 측면에서는 문제가 없는 것으로 판단된다.

#### 4. 굴패각 혼입 콘크리트의 역학적 특성

##### 4.1 압축강도 특성

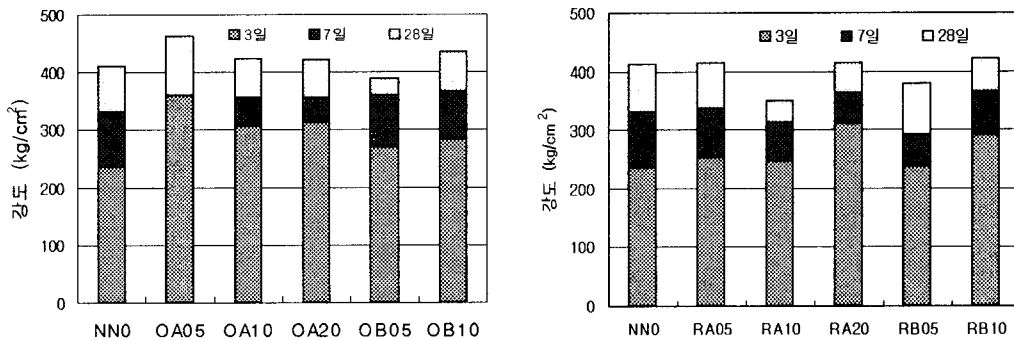
굴패각의 종류, 혼입율 및 시공성 개선을 위한 AE감수제 첨가여부에 따른 콘크리트 압축강도를 그림 2에 나타내었다. 먼저, 그림 2(a)를 살펴보면, 굴패각을 혼입한 콘크리트의 초기재령에서의 압축강도는 굴패각을 혼입하지 않은 기준 콘크리트(NN0)에 비해 모두 높은 강도를 나타내었으며 Type B의 굴패각을 5% 혼입한 배합(OB05)의 경우를 제외하고는 재령 28일에서의 압축강도도 높은 발현상태를

보였다. 특히 초기재령에서의 압축강도는 굴폐각의 혼입율이 증가할수록 압축강도가 증가하는 경향을 보였으나 재령이 경과할수록 이와 같은 경향은 점차 사라지며 굴폐각의 종류 및 혼입율에 따른 차이가 감소하여 기준 배합 콘크리트의 압축강도에 점점 근접하는 결과를 보이는 것으로 나타났다.

이와 같은 결과는 혼입되는 굴폐각의 상태가 분쇄를 위해 완전히 건조된 상태였기 때문에 콘크리트 배합에 혼입될 경우 주변의 배합수를 굴폐각이 흡수하기 때문에 발생하는 것으로 상대적 w/c 비의 감소에 의해 초기의 압축강도가 굴폐각의 종류에 관계없이 혼입율이 증가할수록 증가하는 것으로 판단된다. 그러나 굴폐각이 혼입될 경우 굳은 콘크리트의 내부에서는 굴폐각이 존재하는 부분이 결합부위로써 존재할 가능성이 있기 때문에 재령이 경과할수록 굴폐각을 혼입한 콘크리트의 압축강도는 기준 배합 콘크리트의 압축강도에 근접하는 것으로 사료된다. 특히 이러한 검토결과 중에서 장기재령에 따른 굴폐각 혼입 콘크리트의 강도 특성을 검토하여 명확히 판단할 필요가 있을 것으로 생각된다.

한편, AE감수제를 첨가한 경우의 압축강도 발현을 나타낸 그림 2(b)를 살펴보면 앞에서 언급한 굴폐각의 혼입율에 따른 초기 강도의 증가 효과와 AE감수제의 공기연행의 효과가 복합되는 결과를 보였다. 즉, AE감수제의 동일량 첨가로 콘크리트의 배합의 연행 공극이 증가한 RA05, RA10 및 RB05 배합의 경우는 압축강도의 발현이 다른 배합에 비해 크게 저하하는 것을 알 수 있다. 이 결과는 공기량이 크게 측정된 RA10과 RB05에서 현저하였으며 공기량의 증가가 압축강도의 저하에 영향을 미친 것으로 판단된다.

따라서 실험 결과를 종합하여 볼 때, 굴폐각의 혼입으로 인한 콘크리트의 압축강도는 재령 28일까지의 측정에서는 기준배합에 비해 저하하지 않는 것으로 판단되며, AE감수제의 첨가로 인한 압축강도의 저하는 배합의 공기량과 관련된 것으로 AE감수제의 첨가로 인한 굴폐각과의 이상 반응성이나 강도저하의 우려는 없는 것으로 판단되었다.



(a) 혼화제 무첨가 경우 (b) 혼화제 첨가 경우  
그림 2 굴폐각의 혼입에 따른 압축강도 변화

#### 4.2 탄성계수 특성

탄성계수는 콘크리트의 역학적 특성 중 하나로써 구조물의 처짐, 장기재령 특성 및 콘크리트의 건전성을 나타내는 요인의 하나로써 콘크리트의 배합에 사용되는 각종 재료의 특성과 콘크리트의 강도에 크게 의존하는 것으로 알려져 있다. 따라서 굴폐각의 혼입이 콘크리트 탄성계수에 어떠한 영향을 미치는지를 평가하기 위해 재령 28일의 압축강도 측정시에 압축탄성계수를 함께 측정하였으며 그 결과를 나타내면 그림 3과 같다. 그림 3은 굴폐각의 종류, 혼입율 및 혼화제의 첨가 유무에 따라 콘크리트의 탄성계수가 변화하는 결과를 보이고 있다.

그림 3에서 알 수 있는 바와 같이 굴폐각의 종류에 관계없이 굴폐각의 혼입율이 증가할수록 콘크리트의 탄성계수가 감소함을 나타내었다. 이것은 사용되는 잔골재의 탄성계수가 혼입되는 굴폐각의 탄성

계수에 비해 크기 때문에 잔골재를 골패각으로 대체하면 할수록 탄성계수가 작아짐을 나타내고 있다. 실험 결과에 따르면 골패각을 잔골재의 20% 대체한 경우 탄성계수가 약 10% 저하하였음을 보였다.

한편 배합에 AE감수제와 같은 혼화제를 첨가한 경우에는 연행 공극의 발생으로 압축강도가 저하함은 물론 탄성계수의 저하에도 크게 기여하므로 그 효과가 뚜렷하게 나타났음을 알 수 있다. 그러나 과도한 골패각의 혼입으로 된 비빔이 된 배합에서는 일정량의 혼화제로는 그 성능을 충분히 발휘하지 못하기 때문에 AE감수제를 사용하였다 하더라도 압축강도의 결과에서와 마찬가지로 혼화제가 탄성계수에 미치는 영향은 보이지 않았다.

골패각 혼입 콘크리트의 압축강도에 대한 탄성계수의 변화특성을 비교하기 위하여 그림 4와 같이 압축강도-탄성계수의 관계를 나타내었으며 콘크리트 구조설계기준(한국콘크리트학회, 2000)에서 제안하는 압축강도-탄성계수의 관계식을 함께 표현하였다. 그림 4에서 알 수 있는 바와 같이 혼화제의 첨가 유무에 관계없이 실험에서 측정된 탄성계수는 제안된 식에 비해 큰 값을 보였으며 콘크리트 구조설계기준에서 압축강도로부터 탄성계수를 예측하는 제안식이 안전측임을 보였다.

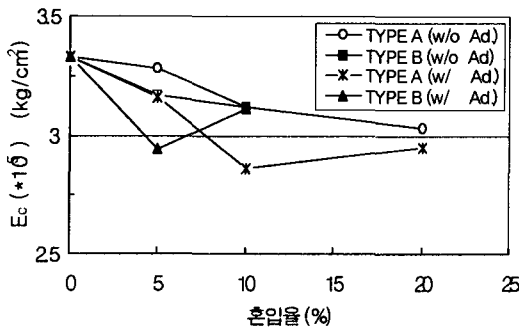


그림 3 골패각 혼입에 따른 탄성계수 변화

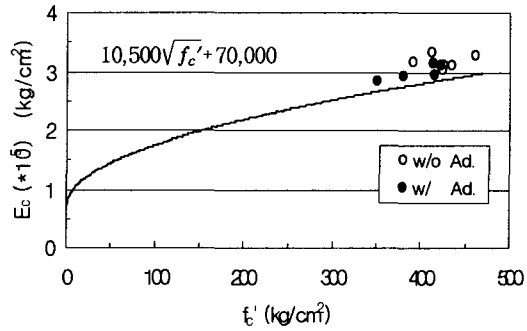


그림 4 압축강도-탄성계수 관계

## 5. 결론

- 1) 골패각과 시멘트와의 화학적 이상반응은 일어나지 않았으며 콘크리트에 포함되는 분쇄 골패각은 잔골재의 대체재로써 활용 가능성을 보였다.
- 2) 분쇄한 골패각을 콘크리트에 혼입한 콘크리트의 재령 28일 압축강도는 골패각을 포함하지 않은 콘크리트의 압축강도 정도이거나 약간 상회하였으며 골패각이 콘크리트의 초기재령강도를 저하시키는 요인으로 작용하지 않는 것으로 판단된다.
- 3) 골패각을 혼입한 콘크리트의 탄성계수는 골패각 혼입율을 증가시킬수록 감소하였으며 이것은 골패각의 탄성계수가 잔골재의 것보다 작기 때문이며 골패각 20% 혼입에 탄성계수가 약 10% 감소하였다.

## 감사의 글

본 논문은 한국해양연구원의 지원에 의한 연구이며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- 1) 橋立洋一 外 3人, “カキ殻混り砂の工學的特性について”, 第29回 日本土質工學研究發表會, pp.869-872, 1993
- 2) 李基豪, 風間基機, 柳澤宋司, 大根田秀明, “カキ殻, 粘土の飽和混合土の壓密特性”, 第33回 日本地盤工學研究發表會, pp.423-424, 1998
- 3) 한국콘크리트학회, “콘크리트 구조설계기준·해설”, pp.413, 2000
- 4) ACI Committee 201, “Guide to Durable Concrete”, ACI Manual of Concrete Practice, part1, ACI 201, pp.39, 1992