

분쇄패각이 시멘트 모르타의 물성에 미치는 영향

Effects of Crushed Shells on the Physical Properties of Cement Mortar

김 지 현

정 철 우

이 재 용*

Kim, Ji-Hyun

Chung, Chul-Woo

Lee, Jae-Yong*

Department of Architectural Engineering, Pukyong National University, Nam-Gu, Busan, 608-739, Korea

Abstract

Approximately 240,000 tons of waste shells are produced annually in the south and west coast of South Korea. Some of these waste shells (oyster, cockle) are recycled as seeding collector and fertilizer, but most are dumped illegally near the coast. One of the alternative solutions that can economically utilize a large amount of these waste shells is to apply them to the production of construction materials. In this research, the basic physical properties of waste shells such as oyster, cockle, clam, manila clam were investigated, and were used to prepare cement mortar with a 25% replacement ratio of sand. According to the results, the 28 day compressive strength of cement mortar with cockle and manila clam shells was similar to that of plain cement mortar. The compressive strength decreased by about 18% when clam was used. However, the cement mortar with oyster shell showed about a 35% reduction in 28-day compressive strength, and two times the absorption capacity of plain cement mortar. The reduction in compressive strength and the increase in absorption capacity were mostly associated with the porous nature of the oyster shell.

Keywords : shell, crushed shell(oyster, cockle, clam, manila clam), mortar, waste recycling

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라의 경우 남해안과 서해안을 중심으로 여러 가지 패류(貝類)가 양식되고 있으며, 대표적인 예로 굴의 경우 국내 생산량의 90% 이상이 경남 통영, 거제 고성에서 생산되고 있다[1]. 국내에서 생산되는 패류로는 굴 외에도 꼬막, 대합, 바지락, 홍합 등이 있으며 다양한 방법으로 채취 후 가공되고 있다. 국내에서 생산되는 대부분의 패류들은 채취되는 부피에 비해 실제 가공되는 양이 매우 적다는 문제점을 가지고 있으며, 껍질(패각, 貝殼)로 인해 많은 폐기물이 발생하고 있다. 하지만 이러한 패각을 처

리하기 위한 명확한 기준이나 처리방법이 제시되어 있지 않아 인근해안에 적치하거나 단순 매립하는 등의 불법 투기가 심각한 실정이다.

이와 같은 문제점에 대한 방안으로 일부 남해안의 통영과 같은 지역에서는 굴패각을 재활용하여 토양비료나 가축사료를 생산하는 업체에게 사업비의 일부를 지원 하는 등 다양한 노력을 기울이고 있다[2,3]. 굴패각의 경우 다양한 노력에 힘입어 정부로부터 일부 처리비를 지원 받고 있는 시스템이 체계화 된 경우이며, 그 외 여러 종류의 패각류는 일반폐기물로 분류되어 가공업체가 고가의 처리비용을 지불하고서도 더 이상 활용할 방법이나 처리할 공간이 없는 상황이다. 하지만 굴패각은 투자금 대비 낮은 효율성과 패각을 재활용하여 생산한 제품에 대한 인식 부족으로 인한 소비 부진 등의 문제로 근본적인 문제 해결이 어려운 상황이다[4]. 이에 국내에서 발생하는 여러 가지 패각류를 대량으로 처리하여 재활용하기 위한 대책이 요구된다.

Received : November 28, 2013

Revision received : December 18, 2013

Accepted : December 30, 2013

* Corresponding author : Lee, Jae-Yong

[Tel: 82-51-629-6092, E-mail: jylee@pknu.ac.kr]

©2014 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

패각과 같이 대량으로 발생하는 폐기물을 소비할 수 있는 분야는 많지 않으나, 건설산업과 같이 투입되는 자원의 종류가 다양하고 소비량이 많은 분야에서는 활용 가치가 클 것으로 판단된다. 뿐만 아니라 최근 국내 건설산업의 경우 골재 등의 건설재료 수급부족으로 인해 많은 어려움을 겪고 있는 실정이므로, 패각류를 건설재료로 활용하는 방안이 제시된다면 폐기물 처리와 같은 환경적 문제와 건설재료 수급과 같은 경제적인 문제를 동시에 해결할 수 있을 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 패각류를 혼입한 시멘트 모르타르의 기초 물성을 살펴보고 나아가 콘크리트 활용 가능성을 평가하기 위한 기초 자료를 제시하고자 한다.

1.2 연구의 방법 및 범위

남해안을 중심으로 발생하는 패각으로 인한 여러 가지 문제점을 해결하기 위한 노력은 지금까지 지속적으로 이루어지고 있으며, 일부 국내에서도 굴패각을 건설재료로 활용하기 위한 다수의 연구[5,6,7]가 진행되어 왔다. 하지만 이는 패각류 중에서도 대표적인 굴과 꼬막에 국한된 것으로 보다 다양한 패각류를 적용하여 건설재료로 활용하기 위한 노력이 요구된다.

따라서 본 연구에서는 국내에서 발생하는 패각류 중에서 대표적인 4종류의 패각인 굴(oyster), 꼬막(cockle), 대합(clam), 바지락(manila clam)을 수거한 후, 비중 및 흡수율과 같은 물리적 성능을 측정하여 패각 자체의 기초적 물성을 확인하고자 한다. 또한 잔골재 무게의 25%를 패각으로 치환한 시멘트 모르타르의 기초물성 평가를 통해 패각의 혼입 사용 가능성을 파악하고, 나아가 건설재료로서의 적용 가능성을 평가하고자 한다.

2. 패각 처리현황과 문제점

2.1 국내 패각의 발생량과 처리현황

일반적으로 수확한 굴은 박신장(굴의 껍질을 제거하여 알과 분류 작업하는 곳)에서 알과 껍질을 분리하는 작업을 거치게 된다. 이 때 분리된 알은 별도로 가공하여 상품화하고 굴패각은 박신장 내부의 컨베이어 벨트를 통해 외부로 반출하여 분쇄 후 폐기물 처리 과정을 거치게 된다. 일부 파쇄된 굴패각은 이를 재활용하기 위한 비

료공장과 같은 외부 시설로 보내지기도 하나, 대부분의 경우 인근 해안에 적치되는 등 불법 투기되거나 매립되고 있다. Figure 1은 박신장 내부의 정경으로 양식하여 채취한 굴을 알과 껍질로 분류 작업하는 상황을 보여주며, Figure 2는 알과 분리된 껍질이 내부 컨베이어 벨트를 통해 외부파쇄기에서 파쇄될 때 사용되는 장비를 보여주고 있다.

매년 남해안 연안에서만 약 24만톤의 굴패각이 발생하고 있으며, 이 중 약 25%인 6만여톤 정도만이 굴 채묘종이나 폐화석비료로 재활용되고 있는 것으로 보고되었다 [5]. 이마저도 2011년 이후 패각을 원료로 한 비료 가공업체의 처리능력의 초과로 인해 사실상 중단된 상태이며, 패각비료의 소비 부진으로 인해 더 이상 패각의 반입조차 불가능한 실정이다. Table 1[2,3]은 2013년 통영시와 전라남도에서 굴패각과 꼬막의 연간 발생량과 처리량을 공식적으로 집계하여 나타낸 것이다. 국내 생산되는 패각이 굴과 꼬막 외에도 여러 가지 종류가 존재한다는 감안하면 실제 발생하는 패각의 양은 집계하기 어려울 정도로 예상된다.



Figure 1. The inside of an oyster plant



Figure 2. Image of shell crushing equipment

Table 1. The amount of waste shells and their disposal status

Area	Shells	Throughput(ton)			Open air storage (ton)	Total (ton)
		Seed collector	Fertilizer Feed	Etc.		
Tongyeong	Oyster	22,000	72,000	7,000	47,000	148,000
Jeollanam-do	Oyster	3,310	22,100	16,806	8,510	50,726
	Cockle	-	35,500	-	5,002	40,502

* Etc. : Illegal reclamation, Spraying of crushing shells

2.2 패각으로 인한 문제점

국내에서 발생하는 패각으로 인한 문제점은 재활용된

경우와 재활용되지 못한 경우로 구분하여 살펴볼 수 있다.

재활용된 패각은 일반적으로 Figure 3, 4와 같이 채모종이나 비료 및 가축사료로 활용되는데, 재활용화 되는 양은 패각 발생량의 25% 이하로 현저히 적으며 이것 또한 활성화 되지 못하고 있는 추세이다. 채모종으로 활용되는 패각은 일시적으로 발생하는 패각의 양을 다소 감소시킬 수는 있으나, 매년 새로운 채모종을 사용하게 되므로 결국 폐기물로 산출된다. 또한 패화석 비료의 경우 토질에 지속적으로 영양분을 공급하는 것이 아니라, 지반의 안정화를 주목적으로 하는 토질 개선재로 사용되므로 매년 사용되는 비료와는 달리 3년을 주기로 사용한다. 그러므로 비료의 소비량 또한 크지 않아 패각의 발생량을 다량으로 처리하기 위한 적극적인 대안으로는 제한적일 수밖에 없다.

따라서 패각이 토질 개선제로 사용되는 비료나 사료용으로 활용되는 경우, 투자비용에 비해 재활용 효율이 낮고 소비량 부진으로 인해 생산성이 낮다는 비판을 받고 있는 실정이다. 패각의 과잉공급량에 비해 소비량이 낮아 보니 비료 및 사료 생산업체의 처리 능력은 한계에 이르렀으며, 생산업체 사업장 내부에 무단으로 야적되어 있는 경우가 대부분인 것으로 조사되고 있다. 2013년 현재 통영시 소재 패각처리 생산업체 내에 미처리된 패각의 누적 적재량은 약 108,000ton인 것으로 집계되고 있다[2].



Figure 3. Seed collector used in the oyster bed



Figure 4. Fertilizer made of recycled oyster shell

그 외에 재활용되지 못한 각종 패각류들은 Figure 5, 6과 같이 패각 처리 가공업체의 사업장 내부나 인근 해안에 무단으로 야적되고 있다. 매립지의 포화상태로 인해 불법 매립 및 투기된 패각들이 적치되어, 패각들이 포함된 염분과 유기물로 인해 토양이 오염되고 악취 및 미관상의 문제로 인해 각종 민원이 발생하고 있다. 뿐만 아니라 누출수로 인한 해양오염까지 발생하고 있어 경제적 환경적 대안이 시급히 요구된다.



Figure 5. Open storage yard



Figure 6. Open air storage at coastal area located at the fertilizer plant

3. 실험 계획 및 방법

3.1 실험계획

본 연구에서는 국내에서 생산되는 대표적인 패각 4종류(굴, 꼬막, 대합, 바지락)를 선정하여 이를 대상으로 비중 측정 및 화학적 성분 분석과 같은 패각 자체의 기초 물성을 측정하였다. 그리고 분쇄한 패각을 시멘트 모르타르에 혼합한 후 흡수율과 압축강도를 측정하여 그 적용성을 평가하였다.

Table 2는 본 연구의 주요 실험인자 및 수준을 나타낸 것으로 물시멘트비(W/C)는 35%, 시멘트와 잔골재의 혼합비는 1:3으로 설정하였다. 그리고 시멘트 모르타르에 혼합한 패각은 ISO 6274(concrete-Sieve analysis of aggregates)에 의거하여 조립율을 2.6으로 고정하였으며, 혼합량은 잔골재 무게비의 25%를 치환하였다.

Table 2. Factors and level of the experiment

Factors	Level
W/C(%)	35
C : S	1 : 3
Shell replacement (S×%)	25
Shells	Oyster, Cockle, Clam, Manila clam

3.2 사용재료 및 시험체 제작

본 연구의 시험체 제작에 있어 잔골재는 KS L ISO 679 (methods of testing cements-Determination of strength) 기준에 준하는 표준사(비중 2.6g/cm³)를 사용하였으며, 시멘트는 (주)한일시멘트사의 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

패각은 국내에서 대량 생산되는 굴, 꼬막, 대합, 바지락의 4종류를 사용하였으며, 굴패각의 경우 가공공장 주변으로 대량 발생하는 특징을 가지고 있으므로 통영시 광도

면 일대의 해안가에 적치된 것을 채취하였다. 그 외 꼬막, 대합, 바지락의 경우 수산시장 일대를 중심으로 패각이 발생하므로 부산 자갈치시장과 남천해변시장 일대에서 수거하였다.

수거한 패각(굴 제외)은 2회 세척 후 자연건조(48hr)한 후 잔골재 표준입도분포곡선에 맞게 입도를 조절하였으며, 굴은 생산지에서 6개월 이상 야적되어 우수로 인해 자연 세척되었을 것으로 간주하여 별도의 세척과정을 거치지 않고 분쇄하였다.

패각류를 혼입한 시멘트 모르타의 성능을 측정하기 위한 시험체는 50mm×50mm×50mm의 큐브몰드를 제작한 후 28일간 25±1℃의 온도에서 기건양생하였다.

3.3 실험방법

패각류의 물리적인 성능을 확인하기 위한 실험으로 우선 비중과 흡수율(KS M 0602, KS F 2504)을 측정하였다. 그리고 굴패각의 화학적 성분을 분석하고 패각 내외부의 표면 형상을 확인하기 위해 XRF(X-ray fluorescence spectrometer, Shimadzu, Japan, XRF-1700), XRD(X-ray diffractometer, Rigaku, Japan, Ultima IV), SEM(Scanning electron microscope, Tescan, Czech, VEGA II LSU) 분석을 진행하였다.

또한 패각류를 혼입한 시멘트 모르타의 성능을 측정하기 위해 분쇄하여 입도조절한 패각류를 잔골재 무게의 25%를 혼입하여 시험체를 제작 하였으며, 이를 사용하여 KS L 5105에 따라 압축강도(UTM, Shimadzu, Japan, UH-F100A)와 흡수율을 측정하였다. 압축강도 측정은 제작된 시험체를 28일간 기건양생한 후, 기건상태에서 실시하였으며 하중재하속도는 3mm/min로 측정하였다. 흡수율은 시험체의 유효흡수율을 측정하였으며, 아래의 Eq.(1)에 의해 산정하였다.

$$Absorption (\%) = \frac{(Weight_{SSD} - Weight_{AD})(g)}{Weight_{OD}(g)} \times 100 \quad (1)$$

SSD: Saturated Surface Dry, AD: Air Dry, OD: Oven Dry

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 패각류의 기초물성

4.1.1 비중과 흡수율

패각류의 비중과 흡수율을 측정한 결과 Table 3과 같이 나타났다. 굴을 제외한 나머지 패각의 비중은 2.6~2.7g/cm³의 범위로 측정되었으며, 흡수율 또한 1.8~2.0%로 유사하게 측정되었다. 반면 굴의 경우, 비중은 다른 패각에 비해 절반인 1.358g/cm³로 측정되었고 흡수율은 9.4%로 다른 패각류에 비해 높게 측정되었다. 이를 고려해 종합적으로 고려해보면, 굴패각은 꼬막, 대합, 및 바지락의 패각보다 상대적으로 약한 다공질의 재질로 구성된 것으로 판단된다.

Table 3. Physical properties of waste shells

Shells Items	Oyster	Cockle	Clam	Manila clam
Specific gravity(g/cm ³)	1.358	2.743	2.690	2.697
Absorption(%)	9.44	2.02	1.85	2.48

4.1.2 XRF

XRF를 이용하여 패각류의 화학적 성분을 분석한 결과 Table 4와 같이 나타났다. 굴을 제외한 모든 패각에서 CaO 성분의 함량이 90% 이상인 것으로 나타났으며, 그 외 SiO₂ 및 Na₂O가 미량 함유되어 있는 것으로 나타났다.

굴의 경우에도 CaO 성분이 다량 함유(84%)되어 있는 것으로 측정되었으나, 다른 패각에 비해 10% 정도 낮은 함유량을 보이고 있다. 뿐만 아니라 다른 패각과는 다르게 굴의 경우에는 Cl 성분이 5.9% 정도 함유되어 있는 것으로 측정되었다. 그러나, 굴의 경우에도 염분의 함량을 제외하면, 다른 패각류와 마찬가지로 CaO 성분이 굴의 주요 구성성분임을 명확히 알 수 있다.

Table 4. Chemical compositions of various waste shells

Shells	Kinds					
	CaO	Na ₂ O	Cl/MnO	SiO ₂	SO ₃	
Oyster	94.9734	1.0125	-	1.8393	0.5283	
Cockle	95.9515	-	-	1.6848	0.6587	
Clam	92.7901	1.1309	/0.1378	3.0987	0.5925	
Manila clam	84.5974	5.9262	5.1563/	1.6319	1.1921	
Shells	Kinds					
	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	K ₂ O	SrO	
Oyster	0.4542	0.5815	0.1260	0.0939	0.3909	
Cockle	0.5836	0.5905	0.1003	0.0807	0.3500	
Clam	0.9850	0.6332	0.2282	0.1327	0.2708	
Manila clam	0.4529	0.3224	0.2947	0.2390	0.1872	

굴이 NaCl성분을 함유하고 있는 이유로는, 패각을 수거하여 분쇄하기 전에 꼬막, 대합, 바지락은 2번의 세척 과정을 거쳤으나, 굴의 경우 6개월 이상 외부에 야적되어 우수로 인한 자연 세척 과정을 거친 것으로 간주하여 별도의 세척과정을 거치지 않은데서 발생한 편차로 판단된다. 우수로 인해 자연적으로 굴패각 내외부 표면의 염분이 희석되었을 것으로 판단하였으나, 야적된 상태의 상부 표면 부분을 제외하고 내부에 적치되었던 굴패각은 표면의 염분이 그대로 건조되어 그대로 내부에 존재하게 된 것이 화학적 분석에서의 차이로 나타난 것으로 사료된다.

4.1.3 XRD

Figure 7, 8은 굴, 바지락, 꼬막과 대합의 XRD 분석 결과로 각 패각의 결정구조를 그래프로 나타낸 것이다. 앞 절의 XRF 결과를 고려하면 패각류는 칼슘계열의 화합물로 구성되어 있음을 알 수 있었다.

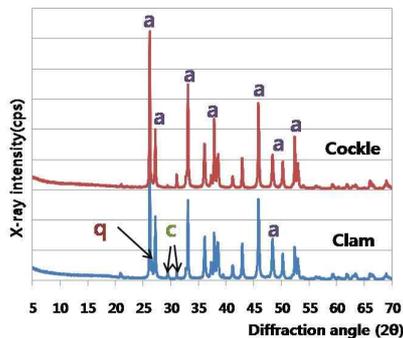


Figure 7. XRD patterns of Clam and Cockle; note that A indicates aragonite, C indicates calcite, and Q indicates quartz

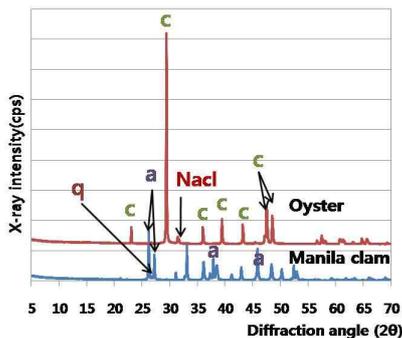


Figure 8. XRD patterns of Oyster and Manila Clam; note that A indicates aragonite, C indicates calcite, and Q indicates quartz

Figure 7 및 8에 나타난 XRD 데이터를 분석해 보면,

대합, 꼬막, 바지락의 경우 CaCO_3 의 결정상 중 Aragonite와 Calcite가 복합적으로 구성되어 있는 것으로 나타났으나, 대부분 Aragonite로 이루어져 있는 것을 알 수 있다. 그리고 미량의 Quartz(SiO_2)도 존재하고 있는 것으로 나타났다.

반면 굴의 경우 대부분 Calcite로 구성되어 있으며, 일부 Quartz와 NaCl도 포함되어 있는 것으로 나타났다. 전체적인 데이터를 고려해 보면, 실제 패각류를 이루고 있는 화학성분은 CaCO_3 로 동일하며, 그 결정구조만 Aragonite 혹은 Calcite의 형태로 차이를 보임을 알 수 있었다.

굴의 XRD 패턴에서 NaCl이 측정되었다는 것의 의미는 염분(소금: NaCl)이 결정화 된 상태로 굴패각 내부에 존재하고 있다는 것을 의미한다. XRF에서 도출된 화학적 성분 분석결과를 종합적으로 고려했을 때, 6개월간의 자연건조과정은 굴 내부에 존재하는 염분을 효과적으로 제거할 수 없으며, 실제 염분이 굴패각의 내부로 쉽게 침투할 수 있음을 의미한다.

4.1.4 SEM

패각의 내외부 표면의 형상 구조를 확인하기 위해 실시한 SEM 촬영결과는 Figure 9와 같다.

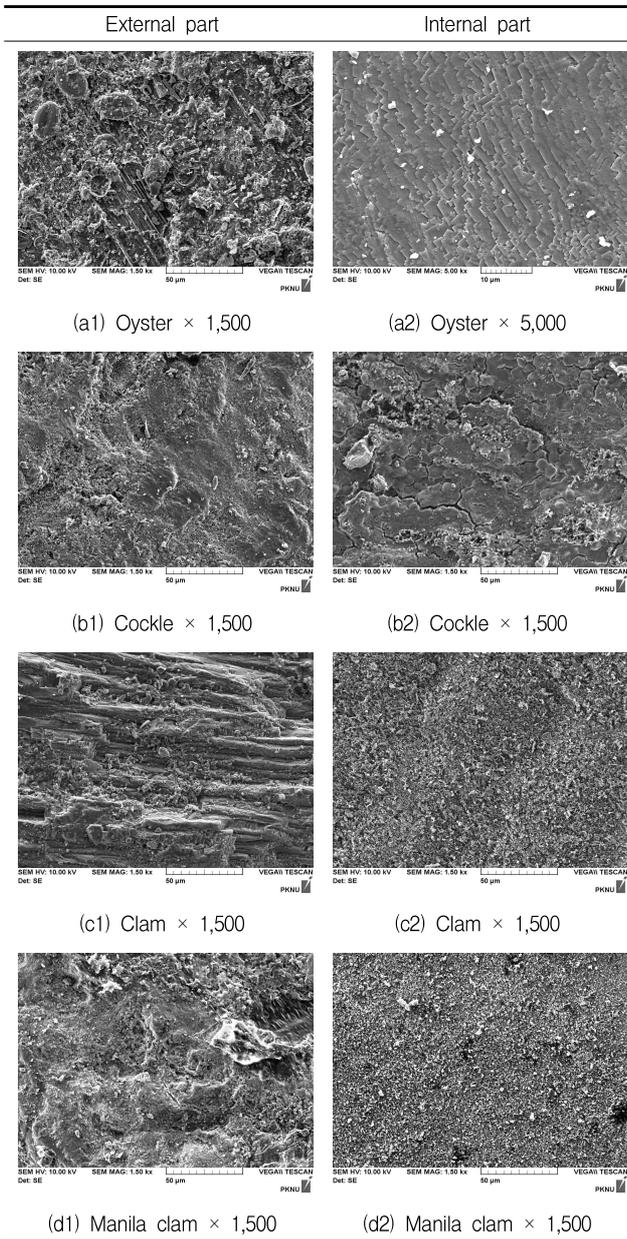
굴의 내외부 형상은 판상형 적층구조인 것으로 관찰되었으며, 얇은 박판 형태의 레이어가 겹겹이 포개져 있는 것을 확인할 수 있었다. 외부 표면에 촬영된 부착물들은 굴패각에 형성되어있던 따개비와 같은 기타 유기물인 것으로 판단된다. 대합의 외부 형상 또한 굴과 유사한 판상형 적층구조로 관찰되었다. 그러나 굴에 비해 적층된 레이어가 두꺼운 것을 확인할 수 있었으며, 이는 패각 자체의 강도와도 밀접한 연관성을 가지는 것으로 판단된다.

유사한 적층구조를 가지지만 굴의 경우 약한 충격에도 표면의 껍질층이 쉽게 부서지는 반면 대합의 경우 상대적으로 단단하여 표면층을 파괴하기 위해서는 많은 에너지가 요구되었다. 간단한 정성적 시험의 예시로, 굴을 제외한 여타 패각의 경우, 손으로 그 껍질을 부러뜨릴 수 없었고 망치로 강하게 충격을 주어야 표면이 깨어졌으나, 굴의 경우 여타 패각류와는 다르게 손으로 비교적 쉽게 껍질을 부러뜨릴 수 있었다. 굴이 다른 패각과는 다르게 높은 흡수율과 낮은 비중을 갖는 점을 함께 고려해 보면, 굴패각은 다른 패각류에 비해 상대적으로 약한 다공질의 재

질을 가지며, 이로 인해 골재로 사용될 경우 강도의 약화를 초래할 가능성이 높음을 알 수 있었다.

꼬막과 바지락의 경우, 결정구조는 대합과 같이 대부분 Aragonite로 구성되어 있으나 대합과 같은 판상형의 적층구조는 관찰되지 않았으며 미세구조상의 특이사항은 관찰되지 않았다. 또한 꼬막의 내부구조에서 발견되는 일부 균열은 SEM 촬영을 위한 시료 채취 작업과정(꼬막패각을 깨는 과정)에서 발생한 균열로 사료된다.

Figure 9. SEM images of various waste shells: oyster, clam, cockle, and manila clam



4.2 분쇄패각을 혼입한 시멘트 모르터의 물성

4.2.1 흡수율

Figure 10은 분쇄패각을 혼입한 시멘트 모르터의 흡수율과 패각 자체의 흡수율을 나타낸 것으로, 패각을 혼입하지 않은 Plain 시험체의 흡수율은 8.75%로 측정되었다.

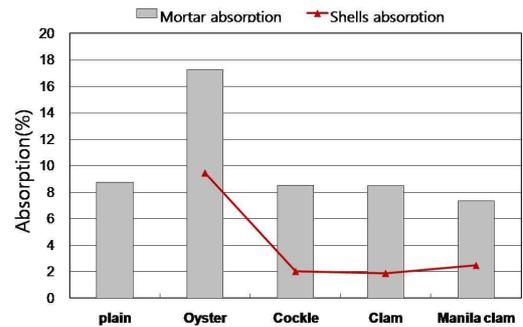


Figure 10. Absorption of mortar and shells

꼬막, 대합, 바지락을 혼입한 시멘트 모르터의 흡수율은 각 8.51%, 8.47%, 7.33%로 plain과 유사한 범위로 나타났다. 패각을 25% 혼입한 범위 내에서는 모르터의 흡수율이 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 반면 굴을 혼입한 모르터의 경우 흡수율이 17.23%로 측정되어, Plain과 다른 패각의 혼입 모르터에 비해 약 2배의 큰 흡수율을 가지는 것으로 나타났다. 이는 굴패각 자체가 다른 패각과는 다르게 내부의 무수히 많은 다공질로 인해 높은 흡수율(9.44%)을 가지기 때문에 굴패각을 혼입한 시멘트 모르터의 흡수율을 증가시킨 것으로 판단된다.

4.2.2 압축강도

Figure 11은 패각을 잔골재 질량대비 25% 혼입한 시멘트 모르터의 압축강도를 나타낸 것이다.

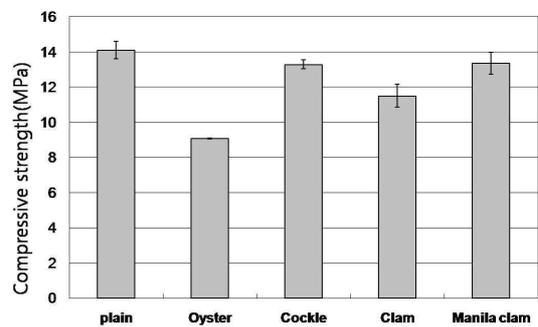


Figure 11. Compressive strength of mortar incorporating shells

Plain의 압축강도는 14.1MPa로 측정되었으며, 꼬막, 대합 바지락을 혼입한 경우 각 13.29MPa, 11.50MPa, 13.35MPa로 측정되었다. 대체적으로 패각류의 혼입이 압축강도의 저감을 가져오는 것을 알 수 있다.

그러나 꼬막과 바지락을 혼입한 시멘트 모르타의 경우 압축강도의 표준편차(Figure 11의 내부에서 에러바로 표시됨)가 plain 모르타의 압축강도의 편차범위에 거의 근접하는 것으로 나타났다. 대합을 모르타에 혼입하는 경우에는 압축강도가 바지락 및 꼬막을 혼입한 모르타보다도 낮게 나타났다. 그러나 Plain 대비 편차는 대략 18% 정도로 큰 강도의 저하는 발생하지 않는 것으로 측정되었다.

반면 굴패각을 혼입한 모르타의 압축강도는 9.08MPa로 Plain 대비 약 35%의 강도 저하가 발생한 것으로 나타났다. 시험체의 파괴형상 또한 Figure 12와 같이 모르타의 매트릭스가 쪼개지는 형태가 아니라, 모르타 자체가 바스러지는 형태를 보였다. 굴패각의 구조가 얇은 판상형으로 적층되어 있기 때문에 압축시 강한 응력을 받지 못하고, 많은 변형을 보이기 때문에 굴패각을 혼입한 모르타 또한 바스러지는 형태로 파괴가 일어난 것으로 판단되며, 약한 압축강도 또한 굴패각 자체의 약한 강도특성(저밀도 및 다공질)에 크게 영향을 받은 것으로 사료된다.

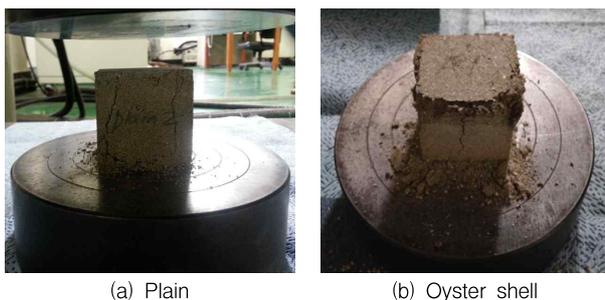


Figure 12. The failure of mortar sample with oyster shell and without

5. 결론

분쇄패각(굴, 꼬막, 대합, 바지락)의 물성을 측정하고 시멘트 모르타에 혼입 가능성을 분석한 결과는 다음과 같다.

- 1) 패각의 화학적 성분을 파악한 결과, 굴을 제외한 나머지 패각은 90% 이상이 CaO로 구성되어 있었다. 굴의 경우 CaO가 약 84%로 구성되어 있었으며, 일

부 NaCl도 포함되어 있었으나 이는 별도의 세척과정을 거치지 않은데서 기인한 것으로 사료된다.

- 2) XRD 분석시 굴의 경우 대부분 Calcite로 구성되어 있었으며, 그 외 나머지 패각은 Aragonite와 Calcite가 복합적으로 구성되어 있는 것으로 나타났다.
- 3) 패각을 시멘트 모르타에 혼입한 경우(잔골재 질량대비 25%) 꼬막 및 바지락의 경우 Plain 대비 압축강도와 흡수율 측정에서 큰 편차를 보이지 않았다. 대합을 혼입한 경우는 압축강도가 약 18%정도 저하되었으며, 굴패각을 혼입한 경우, 압축강도는 약 35% 저하되고 흡수율은 2배 증가하는 것으로 측정되었다. 굴패각이 낮은 압축강도를 보인 이유는 굴패각 자체가 얇은 판상형 적층구조로 이루어져 있고, 무수히 많은 다공질로 구성되어 있기 때문인 것으로 사료된다.
- 4) 굴을 제외한 패각을 25% 범위 내에서 시멘트 모르타에 혼입 적용하는 것은 가능할 것으로 판단되나, 굴패각의 경우 패각 자체의 강도 및 흡수율을 보완할 수 있는 추가적인 방안이 요구된다.
- 5) 시멘트 수화물과 패각의 계면형상은 확인하고 패각의 다양한 혼입비율을 적용하는 등 추가 실험이 진행된다면, 패각의 시멘트 혼입재료로서의 활용성을 기대해 볼 수 있을 것이다.

요약

굴과 꼬막과 같은 패각의 일부는 채묘종과 비료 등으로 재활용 되기도 하나, 대부분 인근 해안에 적치 되거나 불법 매립되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 패각의 기초 물성을 측정하고 패각을 시멘트 모르타에 혼입할 수 있는 가능성을 평가하고자 하였다. 그 결과 패각을 25% 혼입한 시멘트 모르타의 경우 흡수율과 압축강도가 Plain과 유사하게 측정되었다. 반면 굴패각을 25% 혼입한 경우 Plain에 비해 압축강도가 35% 저하되었으며, 흡수율은 2배로 증가하였다. 따라서 굴을 제외한 나머지 패각을 25% 범위 내에서 시멘트 모르타에 혼입하여 사용하는 것은 가능할 것으로 사료된다. 하지만 굴의 경우 다양한 혼입율을 적용한 추가 실험이 요구될 것으로 판단된다.

키워드 : 조개껍질, 분쇄패각(굴, 꼬막, 대합, 바지락),
모르터, 폐기물재활용

Acknowledgement

This research was supported by a grant(13RDRP-B066470) from Regional Development Research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

References

1. Korea Ocean Research & Development Institute, The Development of Special Concrete Mixed with Waste Oyster Shell I, Seoul Republic of Korea: Ministry of Oceans and Fisheries (ROK); 2000. 192 p.
2. Tongyeong-Si, Meeting Materials: A Field Survey on the Disposal Status of Waste Oyster Shells and Measures, Tongyeong (Korea): Tongyeong-Si Republic of Korea; 2013. 7 p.
3. Jeollanam-do, Meeting Materials: An Enforcement Situation on the Environment: Friendly Treatment Support Project of Waste Shell, Jeollanam (Korea): Jeollanam-do Republic of Korea; 2013. 2 p.
4. Heo JH, Seriousness about the Illegal dumping and reclamation of the Waste Oyster Shells in Tongyeong-Si [Internet]. Changwon Republic of Korea: Gyeongsang Goodnews, 2011 Feb. Available from: http://www.ksgoodnews.kr/sub_read.html?uid=34136
5. Eo SH, Hwang KH, Kim JG, Application of Oyster Shells as Aggregates for Concrete, Journal of the Korea Concrete Institute, 2002 Aug;14(4):540-8.
6. Yang EI, Lee ST, Kim HM, Shim JS, Long-Term Performance Evaluation of Concrete Utilizing Oyster Shell in Lieu of Fine Aggregate, Journal of the Korea Concrete Institute, 2003 Apr;15(2):280-7.
7. Yang EI, Yoon GL, Shim JS, Mechanical Characteristics of Concrete Blended with Oyster Shell, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, 2001 Nov;21(6):773-84.