

굴패각을 혼입한 모르타르 혼합토의 강도특성 연구

Strength Characteristics of Mortar Mixture Soil with Oystershell

윤길림 ^{*1}	Yoon, Gil-Lim	김병탁 ^{*2}	Kim, Byung-Tak
김준형 ^{*3}	Kim, Jun-Hyung	채영수 ^{*4}	Chae, Young-Su
서승남 ^{*5}	Seo, Seung-Nam	심재설 ^{*5}	Shim, Jae-Seol

Abstract

Several laboratory tests including compressive strength tests were performed to investigate the characteristics of soil mortar blended with crushed oystershell which is treated as waste material and disposed of illegally at coastal oyster farm site. The soil mortar specimens were prepared for the experiments in terms of varying blending ratio of cement, water, sand and oystershell. Experimental results show that specimens mixed up to 40% of dosages of oystershell instead of sand do not reduce the compressive strength of soil mortar as much as that of normal cement mortar. Also, it was found that blending of an oystershell did not reduce the 28-day compressive strength of soil mortar. Based on laboratory test results, the waste crushed oystershells blended with sand and cement were judged as promising reusable construction materials.

요지

연안역 굴양식장에서 발생하여 폐기물로 분류되어 불법으로 버려지는 굴패각을 파쇄하여 혼합한 모르타르 혼합토의 특성을 규명하고자 압축강도 시험을 포함한 다양한 실내시험을 수행하였다. 압축강도시험을 위하여 준비한 모르타르 공시체는 시멘트, 물, 모래 및 굴패각을 다양한 배합비로 혼합하여 제작하였다. 강도시험결과에 따르면 분쇄한 굴패각의 비율이 최대 모래중량의 40%까지 혼합한 경우에도 굴패각을 섞지 않은 일반 모르타르 혼합토에 비하여 압축강도가 크게 감소하지 않았다. 본 연구에서 수행한 압축강도시험을 분석한 결과, 다양한 크기로 파쇄한 굴패각을 적절한 혼합비의 모래 및 시멘트와 배합하여 사용한다면 건설재료로서의 재활용 가능성이 충분한 것으로 판단되었다.

Keywords : Compressive strength, Mixture soil, Oyster shell, Recycling, Waste materials

1. 서론

남해 청정 해역을 중심으로 한 수산 양식업은 근해를 거점으로 이루어지는 고소득 사업으로 평가받고 있다. 이들 양식업 중 패류 양식은 굴 생산을 주종으로 하고

있어 경제적인 측면에서 주목할 만하다. 그러나 생산 기술 및 경제적인 면에서의 장점은 인정되지만 굴패각 형태의 폐기물 발생량의 관점에서는 많은 문제점을 안고 있다. 남해안의 굴패각 공해는 거제군 둔덕/하청 동부면 일대의 패각 공유수면투기와 불법매립이 대표적

*1 정회원, 한국해양연구원, 연안항만공학연구본부 선임연구원
*2 정회원, 한국해양연구원, 연안항만공학연구본부 Post-Doc 연구원
*3 정회원, 수원대학교 대학원 토목공학과 석사졸업
*4 정회원, 수원대학교 공과대학 토목공학과 교수
*5 한국해양연구원, 연안항만공학연구본부 책임연구원

이라고 할 수 있다. 폐기된 굴폐각류는 폐각류에 부착된 육질의 영향으로 악취 원인이 되며 이러한 악취발생의 원인을 제공하는 미생물들은 염분 등을 분해시켜 NH₃, H₂S, Amine과 같은 냄새를 발생시킬 것이기 때문에 폐기 상태로 장시간 방치할 경우에 하치장의 악취 원인이 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해, 최근 정부주도아래 재정예산을 투자하여 갈습공장 및 비료공장 등이 건설되어 굴폐각의 재활용을 증가시키려는 노력이 시도되고 있으나 투자비용에 비해 처리효율이 문제시되고 있어서 굴폐각의 적절한 대량처리를 위한 새로운 해결방안의 제시가 시급한 실정이라 할 수 있다.

일본에서는 굴폐각을 이용한 건설자재로서의 활용방안이 1980년대 초반부터 시행되어 오고 있다. 주요 연구 사례는 이시마키항에서 발생하는 굴폐각을 이용하여 굴폐각재의 역학적 특성, 노상재(채움재, 매립재)의 수정 CBR값에 대한 연구, 굴폐각의 가공법에 대하여 그대로 사용하는 방법과 파쇄하여 사용하는 방법, 그리고 파쇄된 굴폐각을 다른 입상재료와 혼합하여 사용하는 방법에 대한 보고가 있었다. 그리고 다른 입상재료와 혼합하여 사용하는 방법으로는 1991년과 1992년에 부식되지 않은 조개껍질과 다양한 입경으로 부순조개, 부순조개와 모래를 다양한 비율로 혼합한 실험을 수행하였다(Hashidate et al., 1994). 1992년에 Ishinomaki 항의 방파제 하부 연약 점토층의 개량에 81개의 모래다짐말뚝에 조개껍질을 모래와 혼합하여 재활용을 시도하였고 최근에는 부순 조개껍질과 혼합한 준설햄토의 투수와 압밀 특성을 물리실험과 수치해석방법으로 연구하였다(이기호외 3인, 1998).

국내의 건설시장에 있어서는 건설재료의 부족 현상이 날로 심각한 문제점으로 대두되고 있으며 특히 양호한 모래의 확보 문제는 향후의 건설시장 규모를 고려할 때 해결해야만 하는 필수 과제이므로 우리 현실에 적합하고 실용적인 대안 개발의 하나로서 굴폐각을 건설재료의 대체재료로써 재활용하고자 하는 연구가 필요한 실정이다. 이에 본 연구는 산업폐기물로 지정되어 있는

굴폐각을 건설재료로써 재활용 가능성을 파악하는 연구의 일환으로 압축강도 시험을 수행하였다. 본 연구에서 사용한 굴폐각은 다양한 입도를 갖도록 일정한 크기로 파쇄한 재료를 이용하였다. 그리고, 굴폐각을 시멘트와 모래와 혼합한 모르타르 혼합토의 압축강도 특성을 다양한 굴폐각 혼입율과 시멘트 혼입율에 대하여 파악하였으며, 모르타르 자체 압축강도와 비교하여 모르타르 혼합토의 압축강도가 급격히 감소하는 굴폐각의 한계 혼입율을 제안하였다.

2. 국내의 굴폐각의 발생 현황 및 염분함유량

굴양식은 국내 전체 생산량의 90% 이상을 통영, 거제, 고성 지역을 중심으로 구성되어 있으며 이에 대한 부산물로 발생하는 굴폐각은 통영지역의 굴수확식 양식수산업 협동조합의 1997년도 보도자료에 따르면 연간 28만톤이 발생하는 것으로 집계되고 있다. 경상남도의 굴폐각 발생과 재활용 현황을 요약하면 표 1과 같다. 1993년 거제시와 통영시 기준으로 327,528톤의 굴폐각의 폐기물이 발생하여 재활용 비율은 30%정도에 그치고 있으며 70%이상이 폐기되는 실정이다. 이러한 관점에서 굴폐각의 재활용 방법을 모색하고 재활용 개발이 시급한 실정이다.

굴폐각을 건설재료로서 사용하는 경우에, 특히 콘크리트에 혼입 하고자 할 때는 굴폐각에 포함되어 있는 염분의 양을 정량적으로 평가하고 이를 근거로 콘크리트에 포함되는 굴폐각의 혼입량을 제한할 필요가 있다. 굴폐각에 포함되어 있는 염분은 관련 규정(해양수산부 1999)에서 정하고 있는 염화물 이온(Cl⁻)의 양을 굴폐각 전체 중량에 대한 비율로 검토한 결과 0.35%인 것으로 나타났다. 이것을 염화물 이온의 규정치에 해당하는 0.3kgf/m³으로 환산할 경우, 1m³당 굴폐각을 85.7kgf 이하로 사용해야 하는 것으로 계산된다. 따라서 콘크리트의 잔골재의 양을 700kgf/m³~800kgf/m³이라고 가정할 때, 콘크리트 구조물의 염해를 방지하기 위해서는 굴폐

표 1. 연도별 굴 폐각 발생 및 재활용 현황 (경상남도 자료, 1991)

(단위: ton)

연도	면적 (ha)	굴폐각 발생량	재활용				폐기량
			굴 종묘	김포자 배양	기타(비료 등)	계	
1991	5,224	247,744	74,323	1,250	1,000	76,573	171,171
1992	5,224	241,912	72,573	1,250	1,000	74,823	167,088
1993	5,224	327,528	98,258	1,250	1,000	100,508	227,020

각의 혼입률을 잔골재의 10% 이하로 사용해야 하며, 구 입자의 승인이 있을 경우 20% 이하까지 잔골재의 대체 재료로써 혼합할 수 있는 것으로 판단된다.

3. 사용 골패각의 기본 물리적 특성

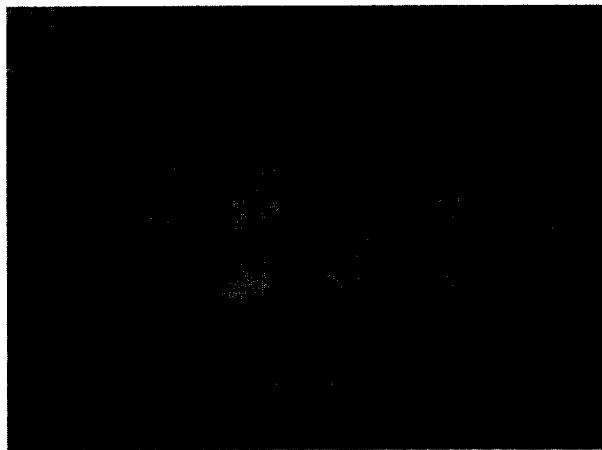
골패각의 물리적 특성을 고찰하기 위하여 4가지 형태로 파쇄된 골패각을 대상으로 비중시험, 입도분포시험, 함수비시험, 최대·최소 건조단위중량시험을 실시하였

다. 각 시험결과들을 요약하면 표 2와 같다. 그리고 사진 1(a)~(d)는 4가지 형태로 파쇄한 최대입경이 각각 다른 골패각을 보여주고 있다.

파쇄된 각각의 골패각에 대하여 비중시험은 KS F2302 규정에 따라서 실시하였으나, 시료 #1과 #2의 경우, 최대입경의 크기가 크기 때문에 용량 500ml의 메스플라스크를 이용하여 측정하였고, 시료 #3과 #4에 대해서는 용량 100ml의 피크노미터를 사용하였다. 비중시험결과, 골패각의 비중은 파쇄 정도에 따라서 다르게 나타났으며,

표 2. 각 골패각 시료의 물리적 특성치

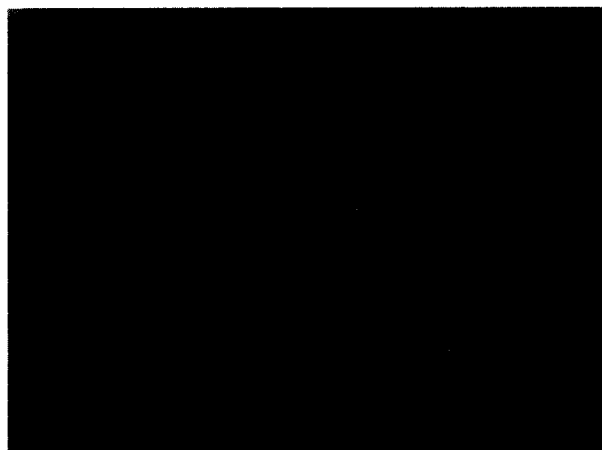
시료 번호	Gs	자 연 함수비(%)	최대입경 (mm)	D ₁₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₆₀ (mm)	# 200 통과중량율 (%)	최대 건조 단위중량 (g/cm ³)	최소 건조 단위중량 (g/cm ³)
시료 #1	2.35	6.5	20.0	2	3.7	6.1	3.19	0.95	0.71
시료 #2	2.37	7.6	10.0	1.9	2.8	4.1	5.08	0.96	0.71
시료 #3	2.45	7.7	4.75	-	0.95	1.40	15.36	0.96	0.71
시료 #4	2.47	11.1	-	-	0.12	0.44	25.88	1.08	0.81



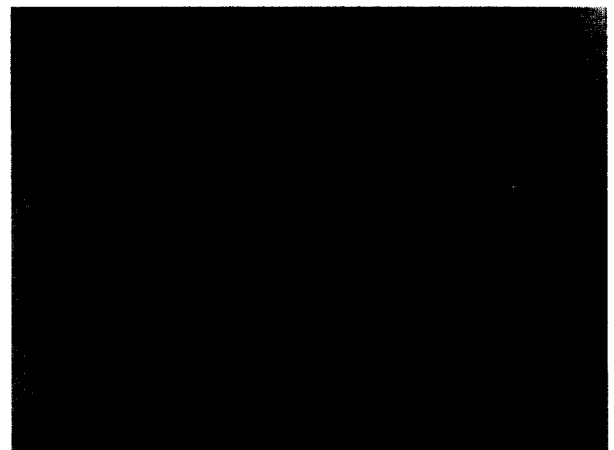
(a) 시료 #1



(b) 시료 #2



(c) 시료 #3



(d) 시료 #4

사진 1. 각기 다른 최대입경을 갖는 골패각

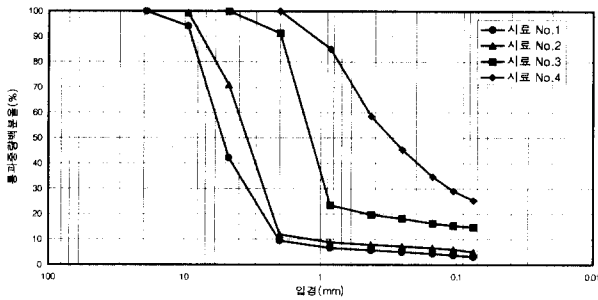


그림 1. 사용한 골패각들의 입도분포 곡선

파쇄 정도가 클수록, 즉 입경이 작아질수록 골패각의 비중은 주성분인 탄산칼슘의 비중 2.71에 접근하는 것으로 나타났다. 그러나 일반적인 파쇄상태에서 골패각은 비중이 2.35~2.47의 범위로 모래에 비해 가벼운 재료임을 알 수 있었다.

4. 모르타르 혼합토의 제작 및 압축강도 실험

골패각을 이용하여 건설재료로 활용하는 경우, 시멘트와 골패각의 상호작용에 의해 발생하는 강도감소의 가장 중요한 요소는 골패각의 혼입비율로 판단된다. 골패각을 모래와 혼합한 뒤에 시멘트 고화재와 교반하여 연약지반 개량재로 사용할 수 있는가를 검토하고자 일정한 크기로 파쇄한 골패각과 모래를 5가지의 비율로 혼합하여 혼합토(골패각+모래)를 만들고 혼합토에 시멘트와 물을 혼합 교반하여 모르타르 공시체를 제작한 뒤, 골패각 혼입비율에 대한 압축강도가 변화하는 정도를 규명하는 실험을 수행했다. 본 연구의 압축강도시험에는 시료 #3의 골패각을 사용하였다. 그리고 골패각과 혼합된 모래는 화성군 용주사 근처의 야적장에서 채취한

시료로서 자연함수비가 9.3%, 비중 2.64, 조립율 2.51, 그리고 4 번째를 통과한 SP 시료를 사용하였다. 모르타르 혼합토의 물/시멘트(W/C) 비는 모두 1.0으로 하였으며, 시멘트와 혼합토의 비는 1:5(배합 A)와 1:10(배합 B)으로 달리하여 제작하였다. 본 연구를 위하여 혼합토 배합시, 물함수비(W/C)를 1.0으로 한 것은 파쇄 골패각이 자체적인 수분 흡수력이 비교적 크기 때문에 이를 고려하여 통상적으로 콘크리트 배합시 사용하는 0.5~0.7보다 다소 높은 값으로 시료를 준비하였다. 혼합토의 골패각과 모래의 배합비율을 배합 A와 배합 B에 대하여 각각 다시 5가지 경우로 나누어서 배합하였으며 상세한 배합 내용은 표 3에 요약하였다.

일축압축강도 실험은 공시체의 크기가 $\phi 50\text{mm} \times 100\text{mm}$ 인 몰드를 이용하여 KS F 2314의 방법에 의거 수행하였다. 모르타르 양생기간에 따른 압축강도의 특성을 파악하기 위하여 재령 7일, 14일, 21일, 28일에 대한 모르타르의 일축압축강도시험을 실시하였다. 시험순서는 배합비율로 배합한 시료를 몰드에서 1일 양생을 시키고 수중에서 각각 6일, 13일, 20일, 27일을 양생시킨 후, 최대 3ton의 하중을 측정할 수 있는 시험 장비를 이용하여 변형률제어방식으로 1mm/min의 속도로 일축 압축강도를 측정하였다.

5. 모르타르 혼합토의 압축강도 특성 분석

건설재료로 많이 이용되고 있는 모래 대응으로 일정 비율의 골패각을 이용한 모르타르 혼합토의 사용성 판단을 위한 일축압축강도 시험결과는 표 4에 정리하여 나타내었다. 표 4의 결과는 시멘트와 혼합토의 비율을 2가

표 3. 모르타르 혼합토의 배합비율

배합 형식	시멘트와 혼합토의 배합비(%)	골패각 비율, α (%)	물 (kgf/m ³)	시멘트 (kgf/m ³)	혼합토(kgf/m ³)	
					골패각	모래
A type	1 : 5 (20')	0	311	311	0	1,556
		20	308	308	308	1,233
		40	306	306	611	917
		60	303	303	908	606
		80	300	300	1,200	300
B type	1 : 10 (10')	0	196	196	0	1,958
		20	194	194	387	1,548
		40	191	191	765	1,148
		60	189	189	1,135	757
		80	187	187	1,497	374

* 혼합토에 대한 시멘트의 중량비율로서, 1:5인 경우는 20%(=1/5), 1:10인 경우는 10%(=1/10)

표 4. 모르타르 혼합토의 양생기간(재령)별 압축강도 (kgf/cm²)

배합 형식		A type					B type				
굴폐각 비율, α (%)		0	20	40	60	80	0	20	40	60	80
양 생 기 간	7일	19.5	16.7	12.9	6.5	3.9	7.3	8.6	6.1	3.9	1.3
		20.6	15.4	13.8	5.9	3.4	7.8	9.0	6.5	3.4	1.7
		20.8	18.6	14.4	6.9	3.5	10.3	6.9	6.9	2.2	1.3
	14일	53.2	38.7	15.0	8.7	7.4	10.8	10.9	10.3	4.8	1.7
		44.8	37.9	13.6	8.6	7.8	13.1	10.3	8.6	3.9	2.6
		52.5	41.3	15.4	9.8	7.0	11.2	11.2	10.0	4.0	2.2
	21일	55.8	46.4	13.8	12.2	9.3	13.0	11.4	10.0	5.9	2.6
		57.4	49.6	13.6	11.7	7.6	12.7	10.8	9.8	4.3	2.6
		61.5	45.6	16.2	13.0	7.8	10.8	10.1	10.7	4.3	2.2
	28일	59.5	47.7	15.1	12.6	10.0	14.8	11.1	13.3	8.2	3.4
		62.8	50.0	16.0	12.1	11.2	13.4	13.0	12.3	9.3	3.4
		54.9	49.7	15.6	12.2	7.2	11.9	14.2	12.9	9.6	3.1

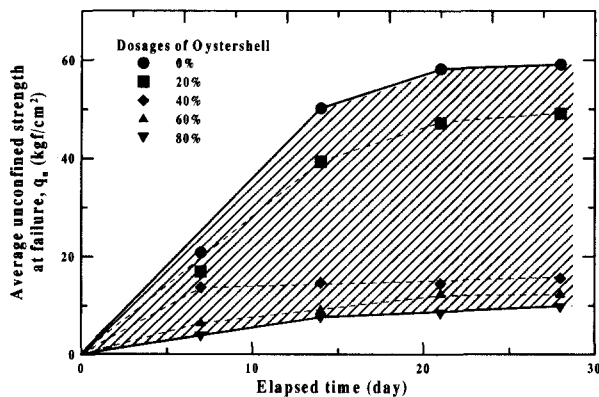
지로 그리고 모래와 굴폐각의 비율을 5가지로 달리하여 재령 7일, 14일, 21일, 28일에 대하여 각각 3회의 시험을 수행한 결과들이다. 이는 시험결과의 신뢰성을 높이기 위함이다. 시멘트와 혼합토 비율이 1:5의 경우(배합 A) 인 경우에 일축압축강도는 10kgf/cm² ~ 60kgf/cm²의 넓은 범위의 강도를 가졌다. 그리고, 시멘트와 혼합토 비율이 1:10의 경우(배합 B)의 압축강도는 3kgf/cm² ~ 14kgf/cm²로서 배합 A에 비하여 상대적으로 좁은 범위의 결과로 나타났다.

5.1 시멘트와 혼합토 비율의 영향

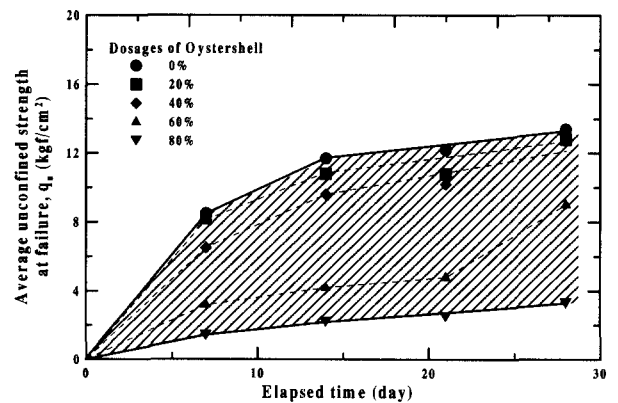
각 배합방법에서 굴폐각 혼입율에 따른 모르타르 혼합토의 압축강도 발생범위를 나타내면 그림 2와 같다. 그림 2에는 각 조건들에 대한 실험결과들의 평균값을 정

리하여 도시한 것이다. 그림에서와 같이, 첨가된 시멘트 량이 많은 배합 A의 경우가 배합 B의 경우보다 광범위한 일축압축강도를 나타내고 있다. 이는 시멘트 량에 따른 고결화 작용에 기인하여 발생하는 것으로 사료된다.

모르타르 혼합토의 양생 재령에 따른 압축강도의 변화를 각 굴폐각 혼입율에서의 시멘트 : 혼합토의 비율을 달리한 배합 A의 경우와 배합 B의 경우에 대하여 나타내면 그림 3과 같다. 그림에서는 각 재령에 대하여 3회의 실험을 실시한 결과들에 대한 평균값과 표준편차의 범위를 함께 도시하였다. 그림 3-(a)에서와 같이, 혼합토에 굴폐각을 혼입하지 않은 경우에서, 시멘트 : 혼합토의 비율이 1:5인 경우(배합 A)에 재령이 증가함에 따라 압축강도가 급격히 증가하면서 재령 21일 이상에서는 압축강도의 증가는 거의 나타나지 않았다. 그리고, 시멘트 : 혼합토의 비율이 1:10인 경우 (배합 B)에는 재령의

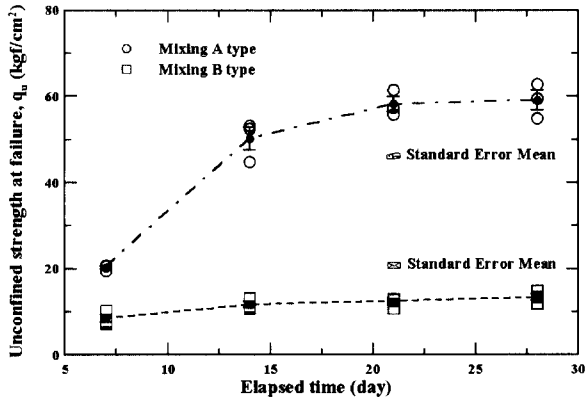


(a) 배합 A의 경우

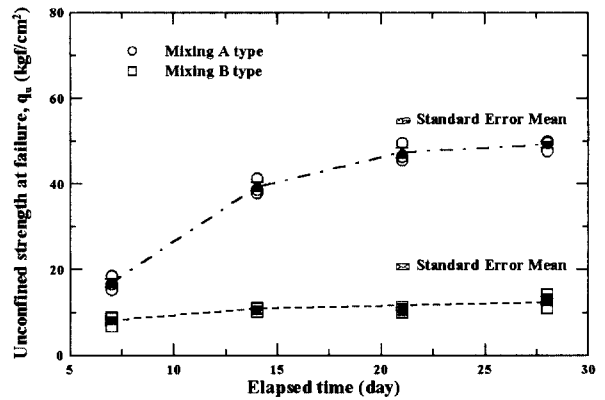


(b) 배합 B의 경우

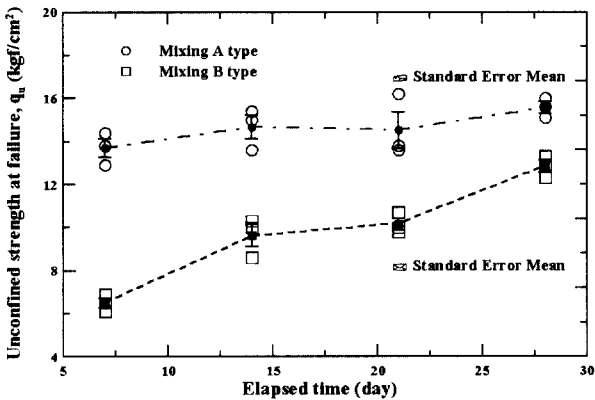
그림 2. 각 배합방법에서 굴폐각 혼입율에 따른 재령별 압축강도의 발생범위



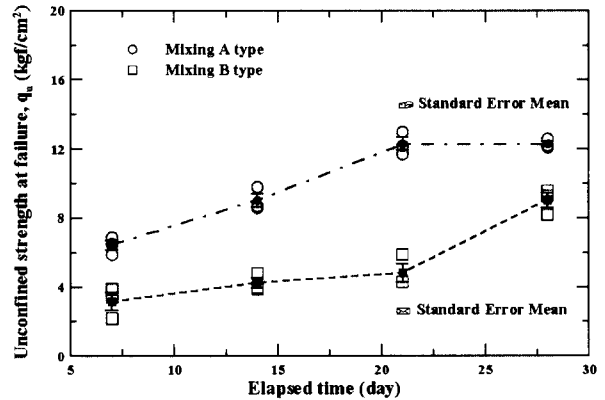
(a) 굴패각 혼입율 0%인 경우



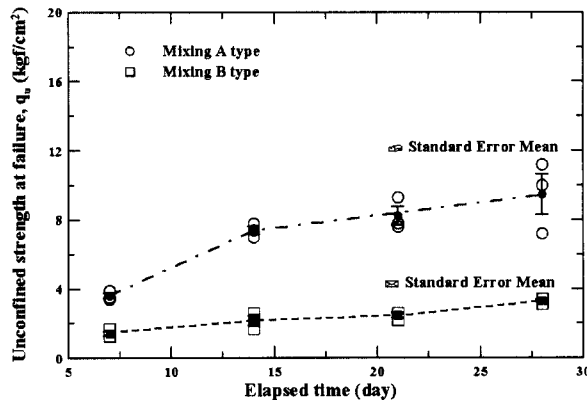
(b) 굴패각 혼입율 20%인 경우



(c) 굴패각 혼입율 40%인 경우



(d) 굴패각 혼입율 60%인 경우



(e) 굴패각 혼입율 80%인 경우

그림 3. 각 굴패각 혼입율에서의 재령별 압축강도의 변화에 대한 시멘트와 혼합토 비율의 영향

증가에 대한 압축강도의 증가는 배합 A의 경우에 비하여 상당히 적게 나타나고 있다.

그림 3-(b)~(e)에서와 같이, 혼합토에 일정비율의 굴패각을 혼입한 경우에서도 시멘트 : 혼합토의 비율에 무관하게 전반적으로 굴패각을 혼입하지 않은 경우의 재령에 따른 압축강도의 증가양상과 유사하게 재령의 증가에 대하여 압축강도가 증가하는 것으로 나타났다. 그리고, 배합 A의 경우에서, 재령에 따른 압축강도의 증가

는 재령 7일~21일 사이에서 급격하게 나타났으며, 혼합토에 굴패각을 혼입하지 않은 경우에서와 같이 재령 21일 이상에서는 압축강도의 증가는 거의 나타나지 않았다. 특히, 배합 B의 경우에는 굴패각 혼입율 40%와 60%에서 재령 21일과 28일 사이의 압축강도가 다른 굴패각 혼입율의 경우에 비하여 급격히 증가하고 있다.

재령 28일에서 배합 B의 경우를 기준으로 시멘트의 혼합율이 2배 증가함에 따른 평균 압축강도의 비($q_{u(A-type)}/$

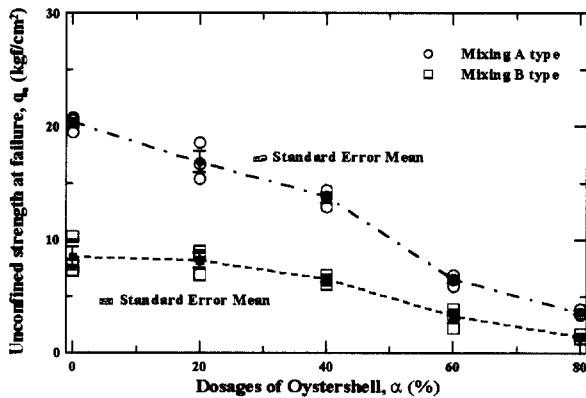
$q_{u(B-type)}$)는 각 굴패각 혼입율(α)에 따라 각각 4.5($\alpha=0\%$), 4.1($\alpha=20\%$), 1.2($\alpha=40\%$), 1.4($\alpha=60\%$), 2.9($\alpha=80\%$)로 나타나, 굴패각 혼입율이 증가함에 따라 $q_{u(A-type)}/q_{u(B-type)}$ 는 감소하다가 굴패각 혼입율 40%를 지나서 증가하는 결과를 보여주고 있다.

5.2 혼합토의 굴패각 혼입율의 영향

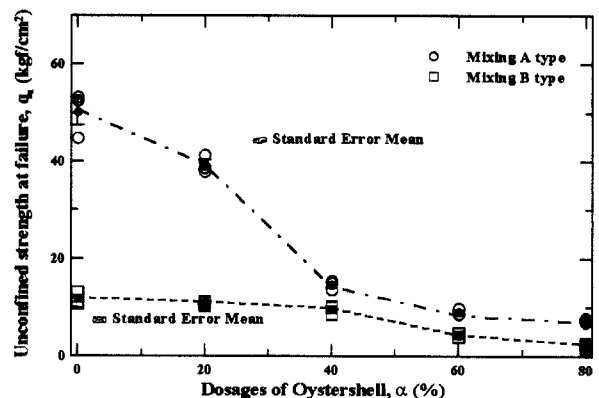
혼합토에 대한 굴패각의 혼입율에 따른 압축강도의 변화를 각 배합방법(배합 A와 배합 B)과 모르타르 혼합토의 양생기간을 달리한 경우에 대하여 정리하면 그림 4와 같다. 그림에서는 각 재령에 대하여 3회의 실험을 실시한 결과들에 대한 평균값과 표준편차의 범위를 함께 도시하였다. 그림에서와 같이, 전반적으로 굴패각의 혼입율 α 가 증가함에 따라 압축강도는 감소하여 나타나며, 특히 시멘트 : 혼합토의 비율이 1:10인 경우에는 1:5인 경우보다도 굴패각 혼입율 증가에 따른 압축강도의 감소성은 작게 나타나고 있음을 알 수 있다.

그림 4(a)에서와 같이, 모르타르 혼합토의 재령이 7일인 경우에는, 배합 A의 경우, 굴패각 혼입율이 증가와 압축강도의 감소는 거의 선형적인 관계를 보여주고 있다. 하지만, 그림 4(b)~(d)에서와 같이, 배합 A의 경우, 모르타르 혼합토의 재령이 14일 이상으로 이루어지는 경우에는 굴패각 혼입율이 20%와 40% 사이에서 압축강도의 급격한 감소를 나타내고 있으며, 압축강도의 감소비는 0.63~0.68 정도였다. 그리고, 굴패각 혼입율이 40% 이상으로 증가하는 경우에는 압축강도의 감소는 거의 일어나지 않고 있다. 배합 B의 경우, 굴패각 혼입율의 증가에 따른 압축강도의 급격한 감소현상은 배합 A의 경우와는 달리 조금 높은 40%와 60%의 굴패각 혼입율 사이에서 나타나고 있다.

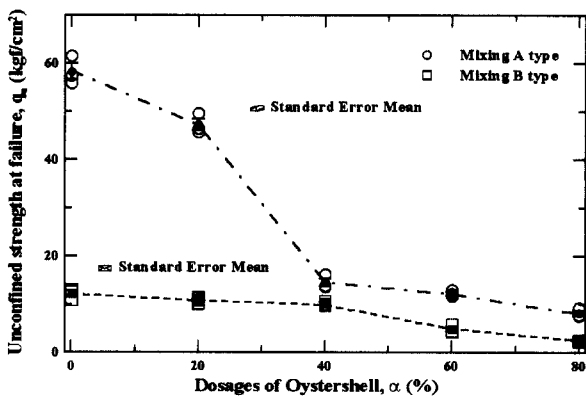
또한, 배합 A의 경우와 배합 B의 경우에서 굴패각 혼입율에 따른 압축강도의 차이는 재령이 증가할수록 그리고 굴패각의 혼입율이 증가할수록, 특히 40% 이상의 굴패각 혼입율 이상에서 감소하여, 재령 28일인 경우, 굴패각 혼입율 40% 이상에서 배합 A의 경우가 배합 B



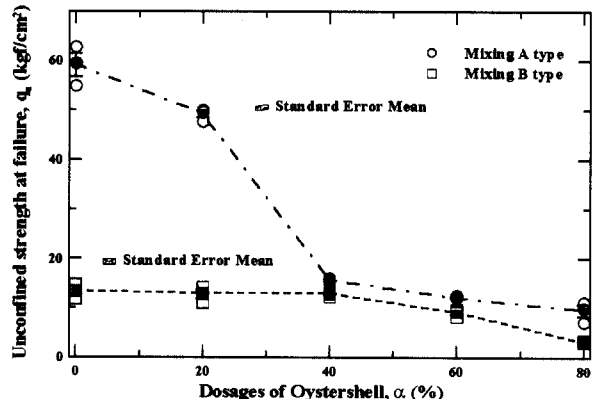
(a) 재령 7일인 경우



(b) 재령 14일인 경우



(c) 재령 21일인 경우



(d) 재령 28일인 경우

그림 4. 각 양생기간에서 압축강도의 변화에 대한 굴패각 혼입율의 영향

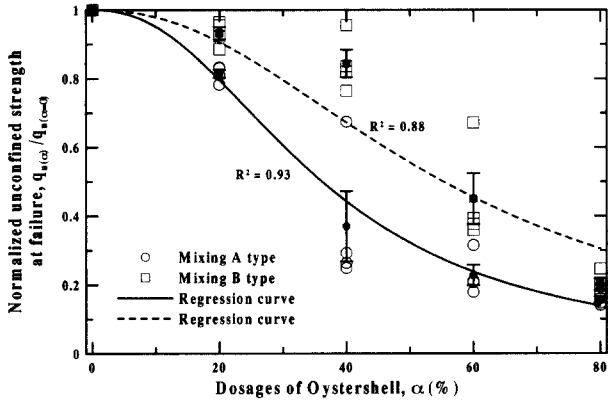


그림 5. 각 배합방법에 따른 굴패각 혼입율과 정규화된 압축강도의 관계

의 경우보다 압축강도가 약 50% 크게 나타났다.

이상과 같이, 모르타르 혼합토의 압축강도는 양생기간에 무관하게 굴패각의 혼입율의 증가에 의존하여 감소하고 있으며, 모르타르 혼합토의 시멘트 : 혼합토의 비율에 따라 압축강도의 감소양상이 다르게 나타나고 있다. 이에 본 연구에서는, W/C 비가 1.0인 경우, 굴패각 혼입율에 근거하는 모르타르 혼합토의 압축강도를 추정할 수 있는 경험식을 제안하고자 그림 4의 결과들을 각 재령과 배합방법에서 각 굴패각 혼입율에 해당하는 압축강도 ($q_{u(\alpha)}$)를 굴패각 혼입율이 0%인 모르타르의 압축강도 ($q_{u(\alpha=0)}$)로 정규화하였으며, 그 결과는 그림 5와 같다. 그림에는 정규화된 결과들에 대한 평균값과 표준편차의 범위를 함께 도시하였다.

그림에서와 같이, 배합 A의 경우에는 회귀분석식이 정규화된 결과들의 평균값에 거의 근접하여 회귀분석 되었으며, 얻어진 경험식의 결정계수 (R^2)는 0.93이다. 그러나, 배합 B의 경우에는 굴패각 혼입율 40%와 80%에 대한 압축강도의 정규화 결과에 크게 근접하지 못하였으며, 회귀분석 되어 얻어진 경험식의 결정계수 (R^2)는 0.88이다. 본 연구결과에서 구한 굴패각을 재활용한 모르타르 혼합토에 대한 압축강도 비와 굴패각 혼입율의 관계는 다음의 식과 같이 정의할 수 있다.

배합 A인 경우 (시멘트 : 혼합토의 비율 = 1 : 5)

$$q_{u(\alpha)}/q_{u(\alpha=0)} = \frac{1}{1 + 0.00026 \times \alpha^{2.30}} \quad (1)$$

배합 B인 경우 (시멘트 : 혼합토의 비율 = 1 : 10)

$$q_{u(\alpha)}/q_{u(\alpha=0)} = \frac{1}{1 + 0.00013 \times \alpha^{2.23}} \quad (2)$$

따라서, 모르타르 혼합토에서 시멘트 : 혼합토의 비율이 1:10인 경우에는 굴패각 혼입율 40% 까지 그리고

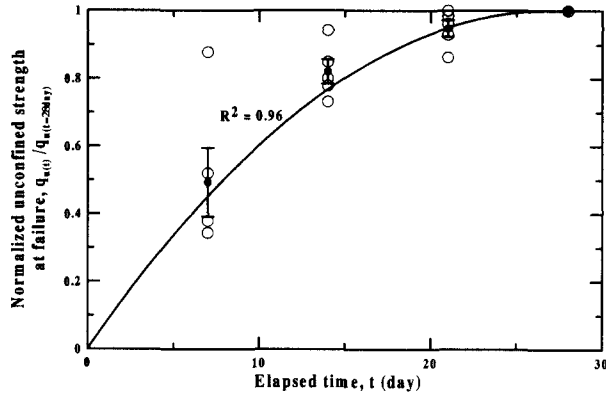
시멘트 : 혼합토의 비율이 1:5인 경우에는 굴패각 혼입율 20% 까지는 모르타르 혼합토의 압축강도가 모르타르의 압축강도에 비하여 최대 약 20% 감소하고 있다. 이는 압축강도 측면에서는 불합리한 측면이 없지 않지만, 큰 기초지반의 지지력을 요구하지 않는 경우에는 육상 건설재료로서 많은 비중을 차지하고 있는 현실에서 자원의 고갈이 우려되는 모래의 대체재료로서 사용 가능성을 보여주는 결과로 사료된다.

5.3 압축강도 발현속도 특성

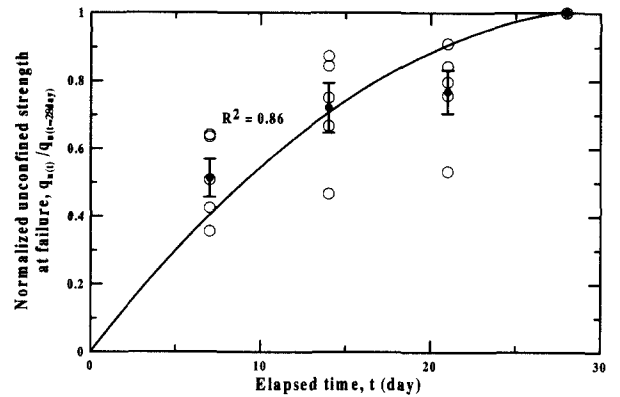
굴패각을 혼합한 모르타르의 초기 재령강도와 장기 재령강도의 관계를 활용하고자 할 경우에는 굴패각의 혼입율에 따른 강도발현 특성을 사전에 검토하고 고려할 필요가 있다. 따라서, 본 연구에서는 모르타르 혼합토의 압축강도 발현속도를 파악하기 위하여 각 재령의 압축강도를 재령 28일의 압축강도로 정규화하여 재령에 대하여 나타내었으며 그림 6과 같다. 그림에는 각 굴패각 혼입율에 대한 평균값과 표준편차의 범위를 함께 도시하였다.

그림에서와 같이, 배합 A의 경우에서 굴패각 혼입율 40%의 모르타르 압축강도의 발현이 상대적으로 크게 나타나고 있다. 굴패각 혼입율이 0%인 모르타르의 압축강도 발현속도와 각 굴패각 혼입율에 대한 압축강도의 평균 발현속도는 거의 비슷한 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 그리고, 재령 7일의 평균 압축강도가 재령 28일 강도의 약 50% 정도 낮은 강도의 발현속도를 보이고 있지만, 재령 14일의 평균 압축강도는 재령 28일 강도의 약 80%로 증가하였다. 이는 콘크리트의 특성 중에 하나인 초기강도의 빠른 발현속도보다는 다소 늦은 결과이다. 그러나, 배합 A의 경우보다 낮은 비율의 시멘트가 혼합된 모르타르 혼합토인 배합 B의 경우에는 각 굴패각 혼입율에 대한 압축강도의 평균 발현속도가 굴패각 혼입율이 0%인 모르타르의 압축강도 발현속도보다 낮은 결과를 보여주고 있다. 그리고, 재령 7일의 평균 압축강도가 재령 28일 강도의 약 50% 정도 낮은 강도의 발현속도를 보이고 있지만, 재령 14일의 평균 압축강도는 재령 28일 강도의 약 70% 정도로 배합 A의 경우보다 작게 나타났다.

본 연구의 결과들에 근거하여 검토한 결과, 재령(t) - 정규화된 압축강도의 비($q_{u(t)}/q_{u(t=28일)}$) 관계를 회귀분석을 통하여 구할 수 있으며, 이를 정리하면 다음의 식과 같다.



(a) 배합 A인 경우



(b) 배합 B인 경우

그림 6. 모르타르 혼합토의 압축강도 발현속도 비교

배합 A인 경우(시멘트와 혼합토의 비율 = 1 : 5)

$$q_{u(t)}/q_{u(t=28day)} = 0.074 t - 0.00137 t^2 \quad (3)$$

배합 B인 경우(시멘트와 혼합토의 비율 = 1 : 10)

$$q_{u(t)}/q_{u(t=28day)} = 0.065 t - 0.00104 t^2 \quad (4)$$

식 (3)과 (4)의 회귀분석 식과 실험결과와의 결정계수 (R^2)는 각각 0.96과 0.86으로 결정되었다.

6. 결론 및 제언

본 연구에서는 국내 남해안 지역의 연근해 굴 양식장에서 무단 폐기되거나 농업용 비료나 가축용 사료로 재가공에 지나지 않던 굴패각의 처리 및 활용방법을 한 차원 발전시켜 건설재료로서의 대규모 재활용 가능성을 파악하고자 연구를 수행했다. 다양한 비율로 모래 및 시멘트에 혼합한 굴패각의 모르타르 혼합토에 대하여 압축강도시험을 수행하여 얻은 연구결과는 다음과 같다.

- (1) 재령별 굴패각 혼입율에 따른 압축강도의 발생범위는 혼합토에 대한 시멘트 비율이 20%인 경우에서 10 kgf/cm² ~ 60kgf/cm² 정도로 광범위하게 발생하였다.
- (2) 시멘트와 혼합토의 비율의 영향을 검토한 결과, 재령 28일에서 배합 B의 경우를 기준으로 시멘트의 혼입율이 2배 증가함에 따른 평균 압축강도의 비 ($q_{u(A-type)}/q_{u(B-type)}$)는 각 굴패각 혼입율(α)에 따라 각각 4.5($\alpha=0\%$), 4.1($\alpha=20\%$), 1.2($\alpha=40\%$), 1.4($\alpha=60\%$), 2.9($\alpha=80\%$)로 굴패각 혼입율 20% 정도까지는 모르타르의 변화와 거의 동일하게 나타났다.
- (3) 굴패각 혼입율의 증가에 따른 압축강도의 감소양상은 배합방법에 따라 달리 나타났다. 즉, 혼합토에 대

한 시멘트의 혼입율이 20%인 경우에는 굴패각 혼입율 20%~40% 사이에서 그리고 혼합토에 대한 시멘트의 혼입율이 10%인 경우에는 굴패각 혼입율 40%~60% 사이에서 급격히 압축강도가 감소하였다. 따라서, 압축강도 측면에서 적절한 굴패각 혼입율은 20%(배합 A의 경우)와 40%(배합 B인 경우) 정도로서 모르타르 혼합토의 압축강도가 모르타르 자체의 압축강도와 큰 차이가 없는 실험결과를 얻었다.

- (4) 배합 A의 경우에서, 재령 14일의 평균 압축강도는 재령 28일 강도의 약 80%로 증가하고 있으며, 모르타르의 압축강도 발현속도와 거의 비슷하다. 그러나, 배합의 B의 경우는 모르타르의 압축강도 발현속도보다 낮은 시험결과를 얻었다.
- (5) 실제 건설현장에서 적용 가능하도록 굴패각 혼입율 및 강도발현속도에 따른 모르타르 혼합토의 압축강도를 추정할 수 있는 설계 경험식들을 제안하였다.

본 연구결과는 거제도 일대에서 발생하는 굴패각을 항만구조물인 방파제, 안벽 및 호안 등의 시공시, 뒷채움재나 연약지반 개량재로 사용하면 건설재료로서 대규모 재활용할 수 있는 기초 근거자료를 일축압축강도 측면에서 제시한 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2000년 3월부터 한국해양연구원에서 수행 중인 해양수산부 국책과제 “굴패각 혼입 특수콘크리트 및 건설재료개발”의 일부 연구결과임을 밝히며, 본 연구가 가능하도록 재정적 지원을 해주신 해양수산부 항만국 기술안전과 담당자들께 감사의 뜻을 전합니다.

참 고 문 헌

1. 강지훈, 김진혁, 이희철(1996) "굴패각으로부터 고급 침강성 탄산칼슘의 제조 공정개발에 관한 연구", 한국폐기물학회지, 제12권, 제2호, pp.320~327.
2. 경상남도(1991), 굴패각 처리대책.
3. 대한토목학회(1996), 콘크리트 표준시방서.
4. 신남철(2000), "산성토양개량제로서의 패각의 사용효과", 한국폐기물학회지, 제16권, 제2호, pp.774~780.
5. 통영시 어업생산과(1999), 굴패각 처리대책 회의 자료, pp.13.
6. 한국공업표준협회(1999), 한국공업규격(KS).
7. 해양수산부(1999), 굴패각처리 대책회의 자료, pp.8.
8. Y. Miyaji, T. Okamura(2000), "Geo-material properties of wasted oystershell - sand mixture and its application as material for sand compaction pile", Proc. of Coastal Geotechnical Engineering in Practice, Balkema, Rotterdam, pp.675~680.
9. 運輸省 第2港灣建設局(1992), 石卷港建設資材活用調査報告書(1991年), pp.61.
10. 李基豪, 風間基機, 柳澤宋司, 大根田秀明(1998), "カキ殻, 粘土の飽和混合土の壓密特性", 第34回 日本地盤工學研究發表會, pp.423~424.
11. 橋立洋一 外 3人(1993), "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.
12. 小林正直 外 1人(1994), "カキ殻混り砂の工學的特性", 第30回 日本土質工學研究發表會, pp.733~734.

(접수일자 2001. 4. 9)