

파쇄 및 분쇄를 통한 굴 패각의 입도분포와 회수율에 관한 연구

A Study on Particle-Size Distribution and Collect Rate of the Oyster Shells as Breaking and Crushing

정의인¹ · 김봉주^{2*}Ui-In Jung¹ · Bong-Joo Kim^{2*}

(Received October 14, 2017 / Revised December 4, 2017 / Accepted December 11, 2017)

The purpose of the present study was to examine the method of physically processing oyster shells for use as raw material(aggregate) through experimentation. The results of the experiment found that the adequate particle size of the pulverized oyster shells should be smaller than 10mm due to their shape. Also, after considering various particle size distributions and residual rates by particle size, the study found the cutter mill to be the most suitable tool for pulverizing oyster shells. The use of a cutter mill resulted in recovery rates of 97.3%, 98.2%, and 98.9% for inner screens of 8mm, 12mm, and 20mm respectively, revealing how the increase of screen size results in slightly higher recovery rates. The experiment involving the difference between the inner screen of the cutter mill and the speed of the inverter shows that a smaller screen size and a faster inverter speed result in a lower fineness modulus, while a rise in inverter speed for an identical screen made possible the material recovery of a much lower range of particle sizes.

키워드 : 굴 패각, 골재화, 회수율, 입도분포, 파·분쇄

Keywords : Oyster shell, Aggregate, Collect rate, Particle-size distribution, Breaking and crushing

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

굴 패각은 우리나라의 서해안과 남해안 지역에서 굴 양식을 통해 발생된다. 일반적으로 1kg의 알굴의 생산에 6.7kg의 굴 패각이 발생하는 것으로 조사되었으며, 2015년 한 해에만 약 15만 톤의 굴 패각이 발생된 것으로 조사되었다(Jung et al, 2016). 이러한



Fig. 1. A yard of oyster shell

굴 패각은 폐기물관리법 시행규칙 제4조의2의제1항 폐기물의 종류별 세부분류 별표 4에 의해 사업장일반폐기물 중 식물성잔재물로 분류되어 톤 당 12만 원 이상 처리비용을 부담해야 처리가 가능하다.

2009년에는 어업민들의 이러한 부담을 경감하기 위해 정부와 지방자치단체 공동으로 굴 패각의 처리와 관련한 지원을 실시했음에도 불구하고 Fig. 1과 같이 여전히 많은 양이 방치되고 있는 실정이다(Lee et al, 2009). 이와 같은 문제 해결을 위해서 화학분야, 재료분야, 건축분야 등에 소성을 통한 적용이나 미생물 포집과 수질 개선 등의 방향으로 다양한 연구가 이루어졌으나, 실질적인 처리방안이 되지 못하고 있다(Lee et al, 2001; Yoon et al, 2001; Yoon et al, 2004; Koo et al, 2006; Bak et al, 2003). 또한 2014년 이러한 다양한 연구의 일환으로 굴 패각을 일정한 조건으로 분쇄하고 가공하여 기초공사의 일부에 잡석처럼 사용하는 방안이 환경부고시(2014-105호)의 폐기물재활용 용도 및 방법에 관한 규정으로 추가 제정되어 매립되고 있다. 그러나 주로 공용수면을 대상으

* Corresponding author E-mail: bingma@kongju.ac.kr

¹공주대학교 건축공학과 (Department of Architectural Engineering, Kongju National University, Chungcheongnam-do, 31080, Korea)

²공주대학교 건축학부 (Department of Architectural, Kongju National University, Chungcheongnam-do, 31080, Korea)

로 하기 때문에 널리 활용되고 있지 못하는 상황이다.

Yoon et al.(2001)의 연구결과에 의하면 굴 패각은 경량이며 모래와 비슷한 전단강도특성을 나타내고 있고, 파쇄 특성을 입도분포 조건으로 고찰할 때 현실적인 하중조건에서는 파쇄가 크게 발생하지 않아, 건설재대로 매우 유용한 적용이 가능할 것으로 판단하였다. 또한 굴 패각은 Lee et al.(2009)의 연구에서 92% 이상이 탄산칼슘 성분으로 이루어져 있음을 알 수 있다. 칼슘은 마그네슘과 함께 내화보드의 원료로 사용되는 재료이며, 따라서 이를 활용한 건축용 2차 제품에 적용이 가능할 것으로 예상된다.

따라서 본 연구에서는 이러한 굴 패각을 원료(골재화)로 활용하기 위한 물리적인 가공방법에 관한 것을 실험을 통해 검토하고자 하였다. 이를 통해 굴 패각을 골재로 활용한 2차 제품 개발 및 건축 재료로 활용하기 위한 기초적인 자료를 제공하고자 한다.

2. 실험

굴 패각은 남해안과 일부 서해안 지역에서 굴 양식을 통해 성묘가 되었을 때, 알굴을 채취한 뒤 배출된다. 양식된 굴의 출하는 대부분의 경우 굴의 껍질을 제거한 뒤 알굴만 판매하고 있기 때문에 굴 집하장 주변은 막대한 양의 굴 패각이 야적되어 있다.

실험인자 및 수준의 선정을 위해 기존 문헌 검토를 바탕으로 적절한 파쇄 및 분쇄장비를 검토하여 각각의 특성에 대해 분석하



Fig. 2. Open storage oyster shell and material preparation



Fig. 3. Drying and sieve analysis test

고, 이를 바탕으로 실험계획을 수립하였다.

1차 실험으로 파쇄 및 분쇄장비의 특성과 성능에 따른 굴 패각의 잔류율과 회수율 등 가공특성 검토를 통해 적정 장비를 선정하였으며, 추가적으로 선정된 장비에 대해 가동조건을 달리 하여 골재로 활용하기 위한 최적의 제조조건을 검토하였다.

2.1 재료의 준비

본 실험에는 통영지역 굴 집하장 주변의 굴 패각 재활용 업체를 방문하여 야적되어 있는 굴 패각을 사용하였다. 정밀한 실험을 위해 수거된 굴 패각을 Figs. 2와 3 같이 수차례 세척하여 이물질과 불순물, 염분 등을 제거한 상태에서 $100 \pm 5^\circ\text{C}$ 조건의 건조로에서 중량의 변화가 없을 때까지 건조한 뒤, 일정량을 선정된 장비에 투입하여 파·분쇄를 실시하였다. 배출된 산물을 수거하여 KS F 2502에 의한 체가름을 실시하였으며, 그에 따른 잔류율과 조립률을 검토하였다.

2.2 파쇄 및 분쇄기의 종류 및 특징

파쇄 및 분쇄기의 경우 암석이나 페콘크리트 등을 파·분쇄하는 것을 말하며 분쇄하는 힘에는 압력, 충격, 마찰, 전단 등이 대표적이다. 파쇄기의 경우 일반적으로는 최대의 크기에서는 상당한 힘을 가하면서도, 입자가 작아지게 될 경우엔 힘이 가해지지 않는 경우도 발생하며, 필요 이상의 작은 입자들이 과분쇄 되는 경우에는 선별작업에 지장을 주는 원인이 되기도 한다.

파·분쇄의 경우, 발생하는 산물 크기와 작업기구에 따라 파쇄와 분쇄로 구분된다. 또한 파쇄를 나누는 기준으로 1차 파쇄인 조

Table 1. Types and characteristics of crusher

Type of crusher	Manufacturing methods	Crush level	Particle size(mm)
Jaw crusher	Compression	Breaking	500~15
Gyratory crusher			200~50
Cone crusher		Crushing	100~10
Crushing rolls	20~10		
Impact crusher	Impact		30 >
Hammer crusher			20 >
Cutter mill	Impact	Crushing	10 >
Hammer mill			20 >
Ball mill	Impact, Friction	Fine grinding	1 >
Rod mill			1 >
Roller mill	Friction		1 >
Jet mill	Impact, Friction	Micronize	0.01 >

쇄와 2차 파쇄인 증쇄로 구분되기도 한다.

Table 1은 파쇄 및 분쇄기의 종류와 그에 따라 발생하는 산물의 입도를 나타낸다(Kim 2011).

2.2.1 죠 크러셔

죠 크러셔는 고정된 죠와 가동되는 죠로 나누어져 두 개의 판 가운데 광물을 집어넣고 턱과 같이 움직여 파쇄하는 장비로 100mm이상의 큰 덩어리를 분쇄하는 것이 가능하다(Fig. 4).

2.2.2 해머 밀

해머 밀은 고속으로 회전하는 스윙 해머의 충격과 라이너에 의한 충돌효과에 의하여 분쇄되는 고속의 장치로 입도의 조정은 내

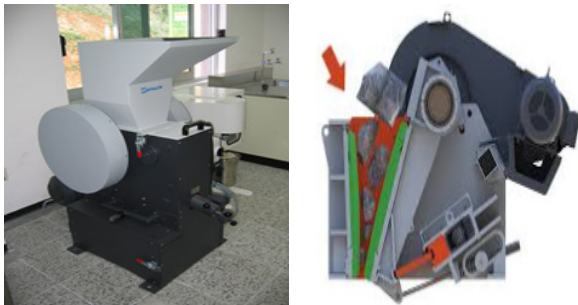


Fig. 4. Jaw crusher

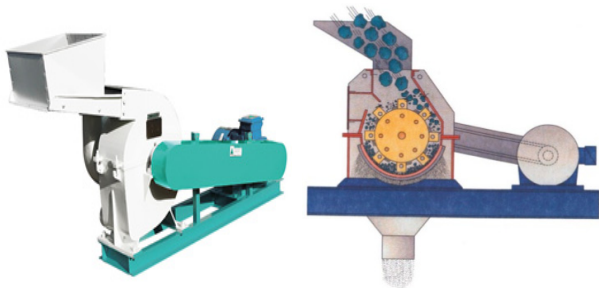


Fig. 5. Hammer mill

부의 스크린으로 적용할 수 있어 미분쇄까지 적용이 가능하다. 투입원료가 과대할 경우 사전 조쇄작업이 필요하다(Fig. 5).

2.2.3 커터 밀

(로터리)커터 밀의 경우 고속으로 회전하거나, 커팅하는 날이 내부에 설치되고 광물을 투입하였을 때 하부에 거치되는 스크린을 통해 배출되는 분쇄방식이다. 거의 투입과 동시에 광물이 배출되는 신속한 분쇄가 가능하지만, 단단한 광물에 지속적으로 사용할 경우 날의 손상을 초래할 수 있기에 단단한 광물에는 적합하지 않다(Fig. 6).

2.2.4 롤 밀

롤 밀은 2~3개가량 수평으로 놓인 롤러 사이의 미세한 간극으로 광물을 통과시켜 투입시료의 균질화에 적용하는 장비이다. 분쇄속도가 빠르고 광물에 압력과 전단력을 가해 분쇄와 분산효과를 가하는 방식이다(Fig. 7).

2.2.5 볼 밀

볼 밀은 보통 원통 형태로 구슬과 같은 볼(일반적으로 금속 재질)을 원통내부에 투입하고 동시에 광물을 투입하여 원통의 회전 및 내부의 마찰과 충격력에 의해 분쇄되는 방식이다. 건식과 습식이 모두 가능하며, 초미분쇄까지 적용이 가능하지만, 그에 따른 시간소요가 발생된다(Fig. 8).



Fig. 7. Crushing rolls

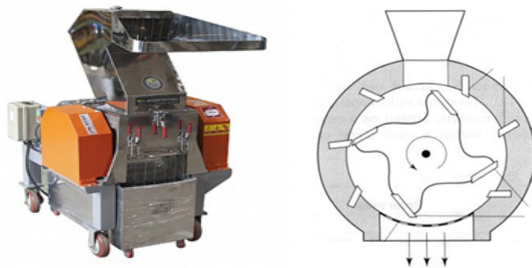


Fig. 6. Rotary cutter mill

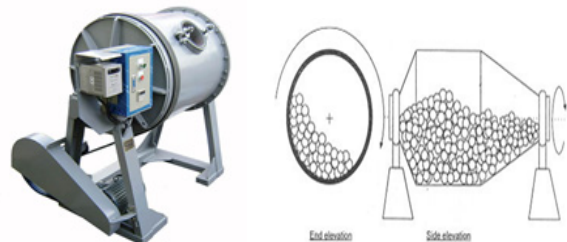


Fig. 8. Ball mill

2.3.1 실험개요

2.3.1.1 측정항목

실험을 위해 계량한 중량과 파쇄 및 분쇄 장비를 통과한 골 패각 중량의 비교를 통해 각 장비에 대한 회수율을 측정하였다. 또한 앞서 언급한대로 입도분석(체가름 시험)을 통해 0.15~10mm까지의 입도에서의 잔류율을 측정하여 모르타르용 잔골재로 활용할 수 있는 적정 장비를 선정하고자 하였다(Table 2).

2.3.1.2 인자 및 수준

골 패각의 물리적 가공을 위해 파·분쇄기 목록 작성과 상기에 기술한 장비를 선정하였다. 선정기준은 파·분쇄되는 방식과 용도, 산물의 입도를 고려하여 선정하였고, 장비의 특성에 따른 인자와 수준을 선정하였다. Table 3은 파쇄 및 분쇄기 선정을 위한 1차 실험의 실험인자와 수준을 나타낸다.

2.3.2 실험결과

2.3.2.1 죠 크러셔

죠 크러셔 실험결과 Fig. 9와 같이 많은 양의 투입에도 99% 이

상의 높은 회수율을 나타냈으며, 5mm 이상에서 50% 이상이 잔류하는 것으로 나타났다. 그러나 많은 양이 10mm 이상으로 가공될 경우, 골 패각의 편평하고 세장한 특성상 굵은 골재와 잔골재 모두 적용이 어려울 것으로 판단되었으며, 죠 크러셔의 가동시간을 고려할 때, 분쇄효율은 다소 낮은 것으로 판단된다.

2.3.2.2 해머 밀

해머 밀은 앞서 언급한 것과 같이 입자가 클 경우, 사전 조쇄작업이 필요한 것으로, 죠 크러셔를 통해 사전 분쇄작업을 실시하였

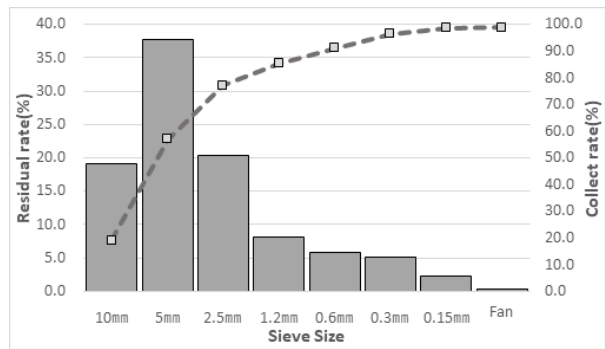


Fig. 9. Crushing result of jaw crusher

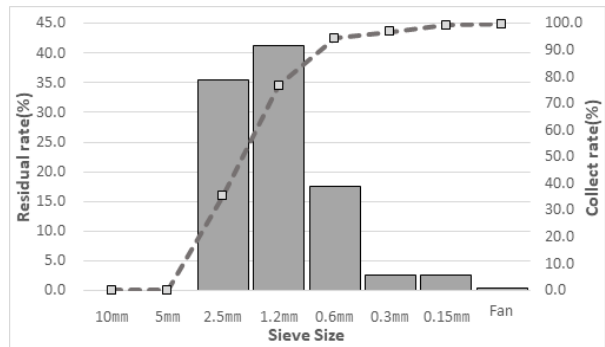


Fig. 10. Crushing result of jaw crusher and hammer mill

Table 2. Measurement items

Equipment	item
Jaw crusher, Jaw crusher+Hammer mill, Cutter mill, Crushing rolls, Ball mill	Collect rate Residual rate

Table 3. Experiment factor and level

Equipment	Factors	Levels
Jaw crusher	Uptime(min)	120
Jaw crusher+Hammer mill	Uptime(min)	120
Cutter mill	Screen size(mm)	8, 12, 20
Crushing rolls	Input order	1, 2
Ball mill	Uptime(min)	15

Table 4. Experiment result

Equipment	Input(g)	Residual rate(%)								Collect rate (%)	loss(%)
		10mm	5mm	2.5mm	1.2mm	0.6mm	0.3mm	0.15mm	Fan		
Jaw crusher	10,648.0	19.1	37.8	20.3	8.1	5.9	5.2	2.3	0.3	99.1	0.9
Jaw crusher+Hammer mill	9836.9	0.0	0.0	35.5	41.3	17.6	2.5	2.5	0.3	96.7	3.3
Cutter mill(8mm)	4,322.0	0	1.1	32.6	27.1	24.7	9.5	1.8	0.5	97.3	2.7
Cutter mill(12mm)	4,976.0	0	11.4	34.2	20.8	15.8	11.9	3.5	0.6	98.2	1.8
Cutter mill(20mm)	5,266.0	10.9	37.7	22.5	11.9	8.2	5.2	1.8	0.7	98.9	1.1
Crushing rolls 1st	3,353.0	34.0	25.9	16.2	10.2	7.1	4.1	1.7	0.6	99.8	0.2
Crushing rolls 2nd	3,343.5	10.9	26.9	27.3	10.6	8.3	5.8	3.3	0.6	93.7	6.3
Ball mill	2,013.2	Non-applicable								-	-

으며, 이후 해머 밀을 통하여 실험한 결과, Fig. 10과 같이 10mm와 5mm의 입도는 없었으며, 2.5mm와 1.2mm에서 70% 이상이 잔류하는 것으로 나타났다. 실험대상 장비의 회수율 결과로 볼 때, 두 번째 낮은 회수율로 나타나 반복하여 투입하거나, 여러 분쇄과정을 거치게 될 경우 회수율이 낮아지는 것으로 판단되며, 조 크러셔와 해머 밀을 조합하여 분쇄하는 경우, 가동시간만 4시간으로 효율적 측면에서 적합하지 않은 것으로 판단된다.

2.3.2.3 커터 밀

실험결과 커터 밀 내부 스크린 사이즈가 커질수록 97.3%에서 98.9%로 회수율이 다소 향상되는 것으로 나타났다.

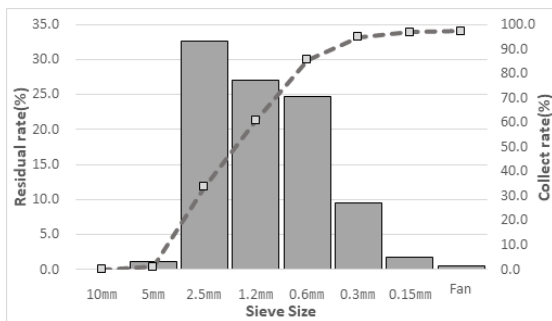


Fig. 11. Crushing result of cutter mill(8mm)

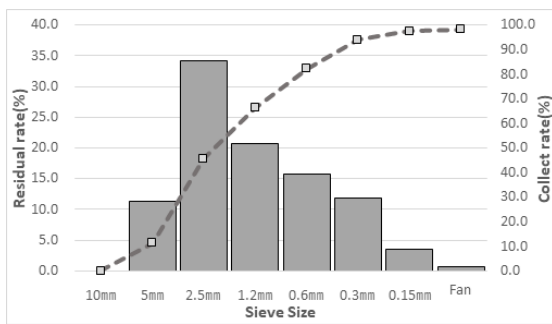


Fig. 12. Crushing result of cutter mill(12mm)

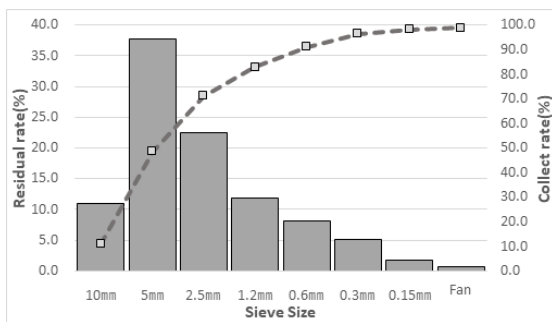


Fig. 13. Crushing result of cutter mill(20mm)

그러나 커터 밀 내부의 스크린사이즈가 커짐에 따라 잔류하는 입도의 크기도 높아짐을 알 수 있으며, Fig. 11의 8mm 스크린의 경우, 5mm 이상의 입도범위는 거의 존재하지 않았으며, 2.5, 1.2, 0.6mm의 입도범위가 대부분인 것으로 나타났다.

Fig. 12의 12mm 스크린의 경우, 5, 2.5, 1.2mm의 입도범위에서 66.4%로 나타나 비교적 다양한 입도범위에서 분쇄가 이루어졌음을 알 수 있다.

마지막으로 20mm 스크린의 경우 Fig. 13과 같이 앞선 경우와 다르게 10mm이상의 입도가 나타났으며, 5mm이상의 입도범위에서 절반에 가까운 분포를 나타냈다.

커터 밀의 경우 투입과 동시에 회수되는 방식으로 효율이 우수한 것으로 판단되며, 실험결과 회수율도 최소 97% 이상으로 양호한 것으로 판단된다. 또한 실험결과와 입도분포로 볼 때 8mm 혹은 12mm의 스크린을 적용하는 것이 다양한 입도를 가공하는데 유리할 것으로 판단된다.

2.3.2.4 롤 밀

롤 밀의 경우 1차 실험에서 99.8%가 회수되어 회수율 측면에서 가장 우수하였으며, 커터 밀과 마찬가지로 투입 후, 바로 회수되는 방식으로 효율측면에서는 우수하였으나, 2차 투입 후에 회수율이

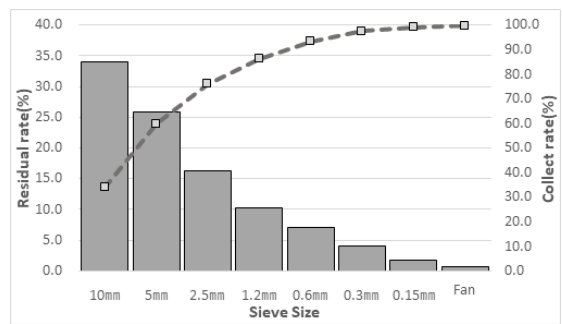


Fig. 14. Crushing result of crushing rolls 1st

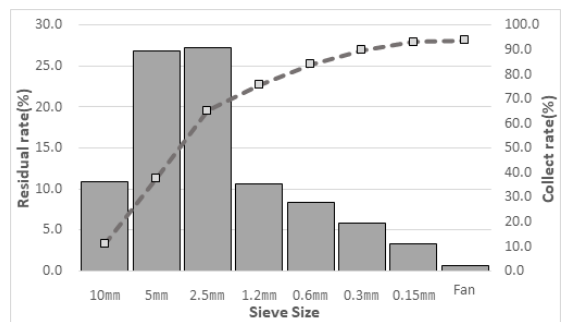


Fig. 15. Crushing result of crushing rolls 2nd



Fig. 16. Crushing result of ball mill

급격히 떨어졌으며, 굴 패각의 편평한 형상에 의해 실제 분쇄는 거의 이루어지지 않아 굴 패각의 분쇄에는 적합하지 않은 것으로 판단된다(Figs. 14, 15).

2.3.2.5 볼 밀

볼 밀의 경우, 15분이라는 소요시간에 비해 분쇄되는 형상이 일정하지 않고 불규칙한 분포를 나타내고 있었으며, 대부분 분쇄가 되지 않은 것을 알 수 있었다. 그리고 가동시간을 30분 이상으로 할 경우, 대부분 0.6mm 이하로 미분쇄 되어 골재 적용을 위한 분쇄 장비로는 적합하지 않은 것으로 판단된다(Fig. 16).

2.3.3 분쇄장비 선정결과

굴 패각을 골재로 활용하기 위해 분쇄를 통한 장비 선정에 관한 실험결과 굴 패각의 편평한 형상에 의해 10mm 이상이 될 경우, 골재사용에는 적합하지 않은 것으로 판단된다.

따라서 가동시간에 따른 분쇄효율과 재료의 회수율, 분쇄이후 발생하는 입도의 분포 등을 고려할 때, 굴 패각의 분쇄를 위해서는 커터 밀의 적용이 적합할 것으로 판단된다. 또한, 잔류율로 나타난 실험결과로 판단할 때, 굴 패각을 잔골재로 사용하기 위해서는 8mm와 12mm의 스크린의 적용이 적합할 것으로 예상된다. 그러나 앞선 실험결과로 알 수 있듯이 커터 밀 내부 스크린의 차이만으로도 입도분포가 변화되는 것으로 나타나 내부 스크린과 추가적으로 인버터에 의한 속도조절에 따라 나타나는 입도별 잔류율에 대해서도 검토가 필요할 것으로 판단된다.

3. 커터 밀 운전조건별 잔류 및 조립률 평가실험

3.1 실험계획

1차 실험을 통해 굴 패각의 분쇄 및 물리적 가공에 적합한 장비로 커터 밀을 선정하였으며, 선정된 장비의 파쇄 조건에 따라 발생하는 굴 패각의 회수율과 입도별 분포 및 조립률을 검토하였다.

Table 5. Experiment factor and level

Equipment	Factor	Level	Measurement Item
Cutter mill	Screen size(mm)	8, 12, 15	- Particle-size - Fineness modulus (KS F 2502)
	Inverter speed(%)	30, 50, 70, 90	

Table 5는 실험을 위한 인자 및 수준을 나타낸다.

3.2 실험결과

실험결과 입도분포의 경우 잔골재의 입도분포 곡선을 크게 벗어나는 구간이 발생되었다. 커터 밀에 의해 강제적인 분쇄로 인한 차이와 투입되는 굴 패각의 사이즈 및 형상의 차이에 의한 것으로 판단된다. 따라서 입도분포곡선을 일반화하여 적용하기는 어려울 것으로 판단된다.

커터 밀의 인버터 속도에 대한 조립률의 경우, 8mm 스크린의 경우 4.52에서 3.95로 낮아지는 것을 알 수 있었으며, 12mm 스크린에서는 5.07에서 4.52로 15mm의 스크린에서는 5.27에서 4.85로 낮아짐을 알 수 있었다. 따라서 인버터 속도 증가에 따라 조립률 값은 낮아지는 것을 알 수 있었으며, 스크린 사이즈가 커질수록 상대적으로 굵은 입자의 분포가 증가함에 따라 조립률도 높아지는

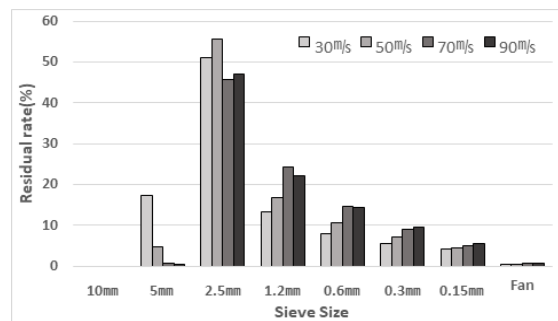


Fig. 17. Cutter mill of screen size 8mm

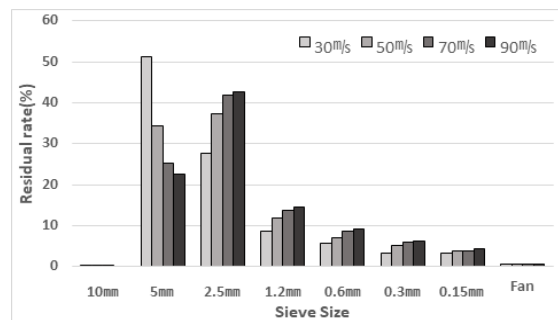


Fig. 18. Cutter mill of screen size 12mm

Table 6. Experiment result

Screen size(mm)	Inverter speed(%)	Residual rate(%)								Collect rate (%)	loss(%)
		10mm	5mm	2.5mm	1.2mm	0.6mm	0.3mm	0.15mm	Fan		
8	30	0.0	17.4	51.2	13.3	8.0	5.5	4.1	0.5	99.8	0.2
	50	0.0	4.9	55.7	16.7	10.6	7.2	4.4	0.6	99.7	0.3
	70	0.0	0.6	45.8	24.2	14.6	9.1	5.1	0.6	99.9	0.1
	90	0.0	0.5	47.1	22.2	14.4	9.5	5.6	0.8	99.9	0.1
12	30	0.1	51.2	27.5	8.7	5.6	3.2	3.2	0.5	99.2	0.8
	50	0.0	34.3	37.2	11.9	7.2	5.2	3.7	0.5	99.8	0.2
	70	0.0	25.4	41.9	13.8	8.6	6.0	3.8	0.6	99.8	0.2
	90	0.0	22.6	42.8	14.6	9.1	6.3	4.2	0.5	99.8	0.2
15	30	2.0	57.2	24.9	6.3	3.9	2.8	2.4	0.4	99.9	0.1
	50	0.9	48.9	30.3	8.1	4.9	3.5	2.8	0.5	99.9	0.1
	70	0.4	42.3	32.9	10.3	6.3	4.2	3.1	0.6	99.8	0.2
	90	0.7	38.3	34.5	11.2	6.8	4.6	3.4	0.5	99.9	0.1

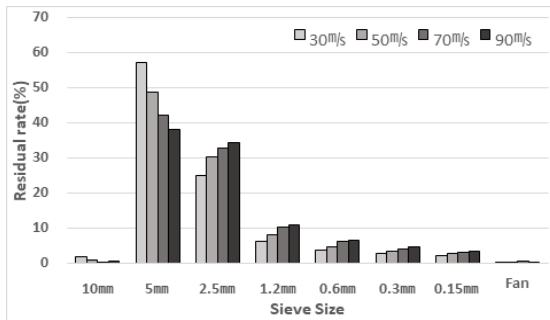


Fig. 19. Cutter mill of screen size 15mm

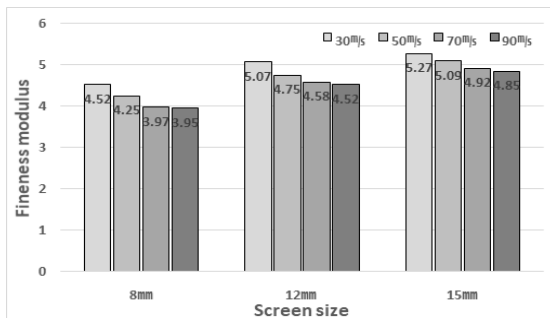


Fig. 20. Fineness modulus

것으로 판단된다(Fig. 20).

4. 결론

본 연구에서는 굴 패각을 골재로 활용하기 위한 분쇄 및 파쇄 장비 선정과 실험으로 선정된 장비를 통해 실험조건에서 발생하는

굴 패각의 회수율 및 입도분포(조립률)를 연구하였다. 이를 기반으로 굴 패각의 골재 활용과 2차 제품 적용을 위한 기초자료를 제공하고자 하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 굴 패각의 형상을 고려한 골재 활용을 위해서는 굴 패각의 분쇄 크기는 10mm 이상이 될 경우 적합하지 않을 것으로 판단된다. 따라서 실험결과에서 5mm 이상의 잔류율이 50%이상으로 나타난 롤 밀의 경우, 적용이 적합하지 않은 것으로 판단되며, 2.5mm 이상의 잔류율이 77% 이상으로 나타난 쇼 크러셔와 71% 이상으로 나타난 커터 밀 스크린 20mm의 적용도 다양한 입도의 활용측면에서 적합하지 않을 것으로 판단된다.
2. 굴 패각은 100mm 이상의 입자가 큰 상태가 존재하지 않고 편평, 세장한 형태로 발생되어 쇼 크러셔와, 해머 밀, 롤 밀 등의 적용은 가동시간에 따른 효율을 고려할 때, 적합하지 않은 것으로 판단되며 커터 밀의 경우 사전실험을 통해 나타난 것과 같이 투입재료의 회수율이 95% 이상으로 손실률이 낮고 재료투입과 동시에 회수되어, 굴 패각의 분쇄에 적합한 장비로 판단된다.
3. 선정 장비인 커터 밀에 의한 분쇄의 경우 입도분포곡선을 적용할 때, 잔골재의 기준을 벗어나는 구간이 발생하는 것을 알 수 있었으며, 투입되는 재료의 크기 및 형상에 의해서도 입도분포의 범위는 달라질 수 있어, 입도분포의 적용을 일반화하여 적용하기는 어려울 것으로 판단된다.
4. 실험결과로 분석할 때, 후속되는 실험의 원활한 진행(재료의 공급)을 위해 적용할 수 있는 굴 패각 골재의 입도범위는 5~2.5mm, 2.5~1.2mm, 1.2~0.6mm, 0.6mm 이하가 적합할 것으로 판단된다.

5. 커터 밀 내부에 설치되는 스크린의 크기가 작을수록, 인버터의 속도가 빠를수록 조립률은 낮아지는 것으로 나타났으며, 동일한 스크린에서 인버터 속도의 상승은 더욱 낮은 입도범위의 재료 회수가 가능한 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2015년 중소기업청 혁신형 중소기업개발과제 “굴 패각 등의 산업폐기물을 활용한 고온화재용 칼슘내화보드 개발사업”(과제번호: S2315866)의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

Bak, Y.C., Cho, K.J., Kim, S.B. (2003). Reaction characteristics of calcium-based adsorbents for bulk separation of CO₂ in high-temperature, Journal of Environmental Engineering Research, **25(5)**, 595–601 [In Korean].

Jung, U.I., Kim, B.J., Kim, J.M. (2016). “A study on strength properties of mortar using LFS binder and oyster shell as fine aggregate,” Proceedings of Journal of the Korean Recycled Construction Resource Institute, **58(1)**, 69–72 [In Korean].

Kim, H.S. (2011). A Study on the Quality Improvement of Recycled Fine Aggregate using Neutralization and Low Speed Wet Abraser, Ph.D Thesis, Kongju National University [In Korean].

Koo, H.S., Jun, H.S. (2006). An experimental study on the strength development of concrete using of the oyster shells, Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, **10(5)**, 137–146 [In Korean].

Lee, H.S., Park, D.W., Woo, D.S. (2009). A study on physico-chemical and calcination processed characteristic of oyster shell, Journal of Academia-Industrial Technology, **10(12)**, 3971–3976 [In Korean].

Lee, S.H., Kim, H.J., Jung, Y.C., Bae, S.G. (2001). A study on the properties of cement mortar with modified oyster shell powder, Journal of the Korean Ceramic Society, **38(3)**, 231–237 [In Korean].

Yoon, G.L., Chae, K.S., Yoo, H.K. (2004). Experimental investigation on oyster shell-sand mixtures, KSCE Journal of Civil Engineering, **24(5C)**, 283–288 [In Korean].

Yoon, G.L., Kwon, O.S., Im, Y.J., Yang, E.I. (2001). Engineering characteristics of waste oyster shell for recycling, KSCE Journal of Civil Engineering, **21(4C)**, 421–431 [In Korean].

파쇄 및 분쇄를 통한 굴 패각의 입도분포와 회수율에 관한 연구

본 연구에서는 굴 패각을 원료(골재)로 활용하기 위한 물리적인 가공방법에 관한 것을 실험을 통해 검토하고자 하였다. 실험결과 굴 패각의 형상에 의해 분쇄된 굴 패각의 적정 입도는 10mm 보다 작아야 될 것으로 판단된다. 또한 가동시간과 회수율, 각 입도별 잔류율과 다양한 입도분포를 고려할 때 굴 패각의 분쇄에는 커터 밀이 적합한 것으로 나타났다. 커터 밀의 경우, 8mm의 내부 스크린을 적용할 때, 회수율은 97.3% 12mm를 적용할 때, 98.2%, 20mm일 때, 98.9%로 나타나 스크린 사이즈가 커짐에 따라 회수율은 다소 증가되는 것으로 나타났다. 커터 밀의 내부 스크린과 인버터의 속도 차이에 의한 실험결과 스크린의 크기가 작을수록, 인버터의 속도가 빠를수록 조립률은 낮아지는 것으로 나타났으며, 동일한 스크린에서 인버터 속도의 상승은 더욱 낮은 입도범위의 재료 회수가 가능한 것으로 나타났다.