

## A comparison of fracture rate of artificial light-weight aggregates by various drying, breaking, and forming methods

Miyun Park<sup>†</sup>, Yootaek Kim, Ki-Gang Lee, Seunggu Kang and Jung-Hwan Kim

Department of Materials Engineering, Kyonggi University, Suwon 442-760, Korea

(Received November 22, 2004)

(Accepted February 3, 2005)

**Abstract** A sheet type of green body was made with the mixture of 60 wt% red clay, 20 wt% fly ash, and 20 wt% stone sludge. Indentations were made on the surfaces of sheets to investigate fracture rate of 1 to 5 mm artificial light-weight aggregates by various drying, breaking, and forming methods. Drying methods of green bodies were natural, electric oven, microwave, and fast drying by torch. Breaking methods of green bodies were ballmill I, ballmill II, free dropping in the box, and mechanical breaking with roller mill. The depth and width of indent on the surface of the sheet were varied and the thickness of green bodies was also changed to investigate effects of indentation on fracture rates. The highest fracture rate of 42 % among the various drying methods was obtained by microwave drying for 210 sec and the highest fracture rate of 65 % among the various breaking method was obtained by ballmill II method. In forming method, an yield of larger aggregates than  $\Phi = 5$  mm decreased and that of smaller aggregates than  $\Phi = 5$  mm increased with increasing depth of indentation (only in 3 mm thick green body) and with increasing thickness of green body. The size of aggregates was most homogeneous (by judging from the measurement of aspect ratio of 1 to 5 mm aggregates.) when 3 mm thick green body was rapidly dried by torch and was broken by ballmill II method.

**Key words** Artificial light-weight aggregates, Fracture rate, Indentation

## 건조법, 파쇄법, 성형법에 따른 인공경량골재의 파쇄율 비교

박지윤<sup>†</sup>, 김유탉, 이기강, 강승구, 김정환

경기대학교 재료공학과, 수원, 442-760

(2004년 11월 22일 접수)

(2005년 2월 3일 심사완료)

**요약** 적점토 60 wt%, 석탄회 20 wt%, 석분오니 20 wt%를 혼합하여 제작한 sheet 형태의 소지에 인덴트(indent)를 주고 건조방법, 파쇄방법, 성형방법을 변화시켜 1~5 mm 골재의 파쇄율을 알아보았다. 소지를 건조할 때 실내와 실외에서의 자연건조, 건조기건조, 마이크로웨이브(microwave)건조, 급속건조로 분류하여 비교실험 하였고, 파쇄방법은 볼밀 I 파쇄, 볼밀 II 파쇄, 낙하파쇄, 기계식 파쇄(롤러밀사용)법으로 변화를 주었다. 성형방법은 인덴트의 간격과 깊이를 변화시키면서 동시에 소지의 두께를 변화시켜 실험하였다. 건조방법에 의한 비교실험 결과는 210초까지 건조시킨 마이크로웨이브건조가 약 42 %로, 파쇄방법에서는 볼밀 II 파쇄법이 약 65 %로 가장 높은 파쇄율을 보였고, 성형방법에서는 인덴트의 깊이가 깊어질수록(3 mm의 소지에서만), 소지의 두께가 증가할수록 크기가  $\Phi = 5$  mm보다 큰 골재의 수율은 감소했고  $\Phi = 5$  mm 이하인 골재의 수율은 증가했다. 각각의 실험 후 파쇄 된 1~5 mm 골재의 aspect ratio를 비교해본 결과 3 mm 두께의 소지를 급속건조법에 의해 건조하고 볼밀 II법을 이용해 파쇄 한 경우 가장 균일한 골재의 모양으로 파쇄 되었음을 알 수 있었다.

### 1. 서 론

골재는 시멘트 콘크리트나 아스팔트 혼합물을 만들기 위해 이용되는 자갈, 쇄석, 모래 등과 같은 입상의 재료

를 지칭하는 것으로, 다양한 형태와 크기를 가지며 비중에 따라 경량골재(비중 2.2 이하), 일반골재, 중량골재(비중 4.0 이상)로 구분되며 현재 한국산업규격에 표시된 골재의 규격은 잔골재가 5 mm 이하이고 굵은 골재는 5~25 mm이다[1, 2]. 콘크리트 구조물의 규모는 경제 성장과 건축 기술의 발달에 의해 대형화, 고층화가 계속되고 있으나, 콘크리트는 강도에 비해 비중이 크기 때문에 구조물의 자중을 증대시키는 문제점을 갖고 있다. 따라

<sup>†</sup>Corresponding author  
Tel: +82-11-269-7160  
Fax: +82-31-257-8784  
E-mail: toggami@hanmail.net

서 콘크리트가 갖고 있는 이러한 결점을 개선함과 동시에 여러 우수한 성능을 부여하기 위하여 비중이 낮고 강도와 경도가 크며 생산가격이 저렴한 경량골재를 이용한 경량 콘크리트가 이용되고 있다[1, 3-9].

경량골재는 부석, 화산암, 질석 등과 같은 천연경량골재와 팽창점토, 팽창혈암, 슬래그, 석탄회 등을 열처리하여 제조되는 인공경량골재가 있다[2]. 천연경량골재는 흡수율이 크고, 강도가 약하여 어느 정도 강도를 요구하는 콘크리트 구조물에는 부적당할 뿐만 아니라 천연자원의 고갈, 자연환경의 보존과 유지를 위하여 점차 사용이 감소되고 있다. 인공경량골재는 원료로 사용되는 광물이 국내 전역에 분포되어 있으며 소성하면 800°C~1300°C 사이에서 발포하여 팽창하는 특성을 가진 것으로서 천연경량골재의 제한성과 국내 건설공사의 증가에 따른 건축비용 및 에너지 절감에 부응하는 재료로 부각되고 있다 [1, 2]. 우리나라에서는 세계 각국의 인공경량골재 개발의 급진전에도 불구하고 천연골재가 비교적 풍부하며, 인공경량골재의 원료가 되는 팽창점토와 팽창혈암 등의 부존 자원이 거의 없다는 등의 여건으로 인해 인공골재 시장의 기반조차 형성되어 있지 않은 실정이다[2]. 이러한 이유로 과거 일부 업체에서 인공경량골재 생산을 시도한 바 있으나 사업화에는 성공하지 못하였으며, 일부 경량 건축재 제조업체에서 비구조용 경량골재를 수입하여 쓰거나, ASEM 빌딩 등의 일부 고층건물에 대해서 고가의 수입 경량골재가 적용되는 등 전량 수입에 의존하고 있는 실정이다. 그러나 국내에서도 점차적으로 골재자원의 고갈 및 무분별한 골재채취로 인한 환경훼손에 대한 인식이 증가하고, 각종 건축?토목 구조물에 대한 인공 경량골재의 적용 필요성에 대한 인식이 높아지고 있어 각 분야에서 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[2]. 하지만 지금까지 인공경량 골재의 제조에 있어 sheet 형태로 제작된 소지의 건조방법, 파쇄방법, 성형방법에 따른 파쇄율의 변화에 대한 보고는 국내외적으로 찾아보기 어려우므로, 본 연구에서는 인공경량골재의 효율적인 생산을 위해 건조방법, 파쇄방법 그리고 성형방법에 따른 소지의 파쇄율을 잔골재인 1~5 mm 크기의 골재에 초점을 맞춰 비교, 고찰해 봄으로서 인공경량골재 제조시 필요로 하는 최적의 성형공정을 제시하고자 하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1. Sheet 형태 소지의 제작

적점토(S사) 60 wt%, 석분오니(경기도 남양의 석산) 20 wt%, 석탄회(S화력발전소) 20 wt%를 물(전체무게의 20%)과 함께 혼합한다. 반죽된 재료를 5마력의 진공도

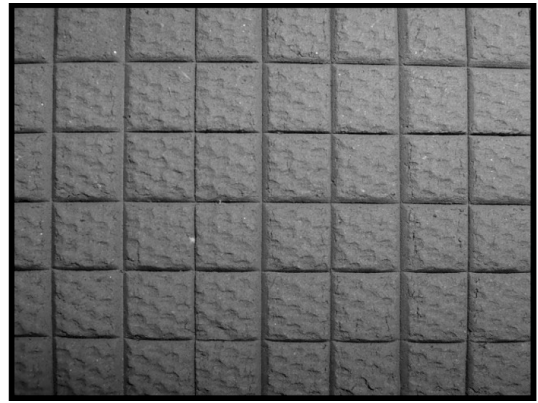


Fig. 1. Indent on the sheet.

런기에서 6 cm×20 cm×3 cm 크기로 뽑아내어  $\Phi$ 16 cm×65 cm 크기의 롤러가 달린 프레스기에서 실험에 필요한 각각의 두께로 가로×세로가 13 cm×22 cm 정도가 되도록 도판하고, 도판 된 sheet 위에 Fig. 1과 같이 인덴트(indent)를 준다.

여기서 성형체를 sheet 상으로 제조한 이유는 골재를 대량으로 성형할 때 적용할 수 있는 성형법이기 때문이며, sheet 상의 성형체에 균열(crack)의 시작(initiation)점을 제공하여 골재 제조과정에서 1~5 mm 크기의 균일한 성형체의 수율을 높이고자 성형체 표면에 인덴트를 가했다.

### 2.2. 골재 성형 및 파쇄율 비교

제작된 sheet 형태의 소지는 각각 자연건조, 건조기건조, 마이크로웨이브(microwave)건조, 급속건조로 분류하여 건조시켰다. 자연건조는 실내와 실외 모두 3일, 6일, 10일, 14일로 구분하여 실험하였는데 이때의 실내온도는 18~19°C, 실외온도는 14~15°C 정도였고, 건조기 건조는 약 100°C의 온도에서 24시간 건조하였다. 마이크로웨이브 건조법은 680 W·200 V의 조건에서 30초 간격으로 30~300초까지 변화시켜 진행 되었고, 급속건조법은 토치를 이용하여 10분간 표면을 건조하였다. 각 건조법에 따른 소지들의 건조율은 대부분 90% 이상이었으나 마이크로웨이브 건조법의 경우 120초 이상 건조시켰을 때부터 80% 이상의 건조율을 보였다.

건조된 소지들은 볼밀 I, 볼밀 II, 낙하, 롤러밀의 방법으로 파쇄실험 하였다. 여기서 볼밀 I 파쇄실험은 높이 24 cm, 지름 19 cm인 원기둥 모양의 볼밀통속에 인덴트를 가한 소지 1장만을 넣어 별도의 부속품을 부착하지 않은 채로 통을 가로로 눕혀 한 방향으로만 90 rpm의 속도로 30분 동안 회전시켜 진행되었고, 볼밀 II 파쇄실험은 Fig. 2와 같이 볼밀 I에서 사용된 것과 같은 볼밀 통속에 가로×세로가 18 cm×5 cm인 날개를 좌우로 2개

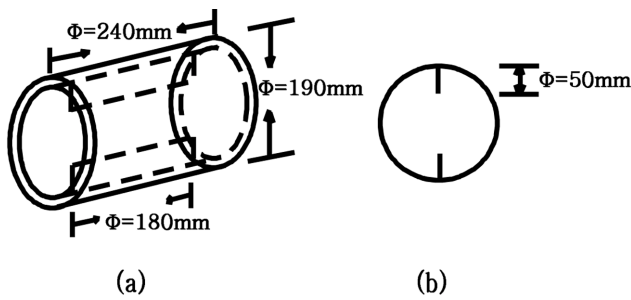


Fig. 2. Ballmill with two blades inside; (a) perspective view (b) cross-sectional view.

부착하여 같은 시간, 속도로 회전시켜 진행되었다. 또한 낙하 파쇄실험은 가로×세로×높이가 20 cm×10 cm×5 cm인 일반 종이상자에 인텐트 소지를 넣어 높이를 0.6 m에서 1.8 m까지 0.3 m 간격으로 증가시키면서 낙하시켜 파쇄하였고, 롤러밀 파쇄법은 Φ40 cm×90 cm의 롤러가 3 mm 간격으로 2개 장착 된 5.5 kW의 롤러밀 기계를 가동하여 두개의 롤러가 돌아갈 때 그 사이로 소지를 넣어 파쇄시키는 방법으로 진행되었다.

각각의 파쇄법으로 파쇄 된 소지는 4종류(No. 3.5, 12, 18, 40)의 체(sieve)로 체가름질하고, 그 중 No. 3.5(입경 5.6 mm)체와 No. 12(입경 1.7 mm)체의 사이에 포집된 골재의 수율을 Φ = 4 mm 골재의 파쇄율로 정의하였다. 골재의 평균 aspect ratio는 각 골재의 가장 긴 직경과 가장 짧은 직경을 이미지 어널라이저(image analyzer)로 측정 한 후 5개의 평균을 내어 구하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1. 건조방법에 따른 1~5 mm 골재 파쇄율

건조방법에 따른 골재 파쇄율의 실험에서는 파쇄법을 볼밀 I으로 고정하여 실험하였고, 그 결과는 Table 1과

Table 1  
Fracture rate (%) of 1~5 mm aggregates with drying method

Drying method	Natural drying		Fast drying		Oven drying		Microwave drying		
	[Day]	[Indoor]	[Outdoor]	[drying]	[drying]	[sec]	[rate]	[rate]	
Fracture rate (%)	3	5.38	4.12	7.16	9.55	3	0.65	60	0.097
						90	1.89		
	6	2.84	3.22			120	2.67	150	26.75
						180	21.04		
						210	42.10		
	10	2.20	4.27			240	24.94	270	16.51
						270	16.51		
						300	18.80		

같이 나타났다. 자연건조에서 실내와 실외, 건조일수 변화에 따른 큰 차이점은 없었고, 급속건조와 건조기 건조가 7.16 %, 9.55 %로 자연건조의 2~5 % 보다는 조금 더 좋은 파쇄율을 보였다. 또한 마이크로웨이브건조에서는 소지가 균일하게 건조되지 않았음에도 불구하고 210 초로 건조한 조건에서 42.10 %로 모든 건조법 중 가장 높은 파쇄율을 보였다. 이와 같은 결과는 소지의 불균일한 건조가 파쇄율 증진에는 오히려 효과가 있을 수 있다는 사실을 말해주고 있다.

#### 3.2. 파쇄방법에 따른 1~5 mm 골재 파쇄율

파쇄방법에 따른 골재 파쇄율의 실험에서는 건조방법을 건조기 건조로 고정하여 실험하였다. 그 결과는 Table 2에서 볼 수 있듯이 볼밀 II 파쇄가 65.33%로 가장 좋은 파쇄율을 보였고, 볼밀 I 파쇄방법에 비해 현격한 파쇄율의 향상을 보였다. 롤러밀 파쇄는 예상과는 달리 40.99 %로 볼밀 II 파쇄 보다는 낮은 파쇄율을 보였으며, 낙하 파쇄에서는 낙하높이가 높아질수록 파쇄율이 점차 높아졌으나 낙하 횟수가 증가할수록 오히려 감소하는 것을 볼 수 있는데 이것은 낙하횟수가 증가할수록 골재끼리 서로 더 많이 충돌하고 그로 인해 1 mm 이하의 세골재가 많이 형성되어 1~5 mm 사이의 골재가 감소한 것으로 사료된다. 따라서 1~5 mm 사이의 골재 파쇄 수율을 높이기 위해서는 전통적인 볼밀 파쇄법을 변형한 볼밀 II 파쇄법이 가장 바람직한 방안으로 제시될 수 있다.

#### 3.3. 성형방법에 따른 1~5 mm 골재 파쇄율

소지의 성형방법 즉 인텐트 깊이와 간격, 소지 두께의 변화에 따른 파쇄율을 알아보기 위해 건조법은 건조기 건조, 파쇄법은 롤러밀 파쇄로 고정시켜 실험하였다. 이렇게 건조법과 파쇄법을 고정한 이유는 타 방법에 비해

Table 2  
Fracture rate (%) of 1~5 mm aggregates with breaking method

Breaking method	Drop height (m)	Number of drops	Fracture rate (%)
Ball mill I			5.38
Ball mill II			65.33
Roller mill			40.99
Drops	0.6 (m)	[3 times]	16.98
		[5 times]	-
	0.9 (m)	[3 times]	18.11
		[5 times]	-
	1.2 (m)	[3 times]	24.52
		[5 times]	-
	1.5 (m)	[3 times]	28.28
		[5 times]	26.35
1.8 (m)	[3 times]	35.43	
	[5 times]	32.02	

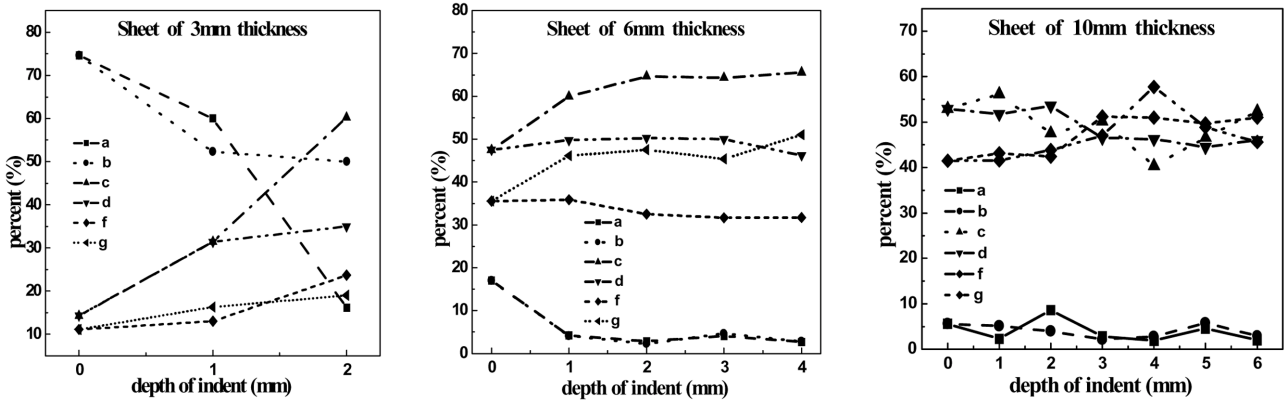


Fig. 3. Fracture rate with depth of indent (a) sheet of 3mm thickness, (b) sheet of 6 mm thickness, (c) sheet of 10mm thickness; a: > 5 mm aggregates with 4 mm indent width, b: > 5 mm aggregates with 20 mm indent width, c: 1~5 mm aggregates with 4 mm indent width, d: 1~5 mm aggregates with 20 mm indent width, e: < 1 mm aggregates with 4 mm indent width, f: < 1 mm aggregates with 20 mm indent width.

파쇄율은 떨어지나 실제 현장적용이 용이하기 때문이다.

Fig. 3은 두께가 각각 3 mm, 6 mm, 10 mm인 소지의 인덴트 깊이를 소지 두께의 0%~약 67%까지 변화시키고 인덴트의 간격도 4 mm와 20 mm로 변화시켰을 때의 골재 파쇄율을 나타낸 그래프로서 Fig. 3(a)를 보면 3 mm 두께의 소지는 인덴트 깊이가 깊어질수록 5 mm보다 큰 골재의 수율이 감소하고 5 mm 이하 골재의 수율이 증가하는 추세를 보이는 것을 알 수 있고, 인덴트 간격이 좁고 깊이가 깊어질수록 1~5 mm 골재의 수율이 급격히 좋아지는 것을 알 수 있다. Fig. 3(b)와 Fig. 3(c)의 6 mm와 10 mm 두께의 소지에서는 인덴트 깊이 차이에 따른 영향이 거의 없었으나 인덴트를 주었을 때와 주지 않았을 때의 차이는 감지되었다. 인덴트 깊이변화에 따른 큰 차이를 보이지 않는 이유는 롤러밀 파쇄 시, 간격이 3 mm인 두개의 롤러사이를 롤러간격보다 두께가 두꺼운 6 mm 소지나 10 mm 소지가 통과할 때 보다는 3 mm

소지가 통과할 때 적절한 롤러의 힘을 받을 수 있기 때문에 균열(crack)의 시작(initiation)과 전파(propagation)가 분명히 이루어진 것으로 사료된다. 따라서 롤러 간격보다 두꺼운 소지를 사용한 경우에는 인덴트 간격에 따른 차이점은 관찰할 수 없었기 때문에 인덴트의 깊이 및 간격에 따른 소지의 파쇄율 변화는 소지의 두께가 롤러 밀의 간격 이하로 유지될 때만 알아볼 수 있다는 결론을 얻을 수 있었다.

Fig. 4는 인덴트 깊이가 각각 0 mm, 1 mm, 2 mm 일 때 소지의 두께에 따른 골재 파쇄율을 나타낸 그래프로서 소지의 두께가 두꺼워 질수록 5 mm보다 큰 골재의 수율은 감소하고 5 mm 이하 골재의 수율은 증가하는 경향을 보인다. 이것은 Fig. 3(b)와 Fig. 3(c)에서 밀의 2개 그래프 즉 5 mm보다 큰 골재의 그래프가 다른 것에 비해 현저히 낮은 비율을 나타내는 것을 통해서도 볼 수가 있는데, 롤러의 간격보다 더 두꺼운 소지가 롤러 사

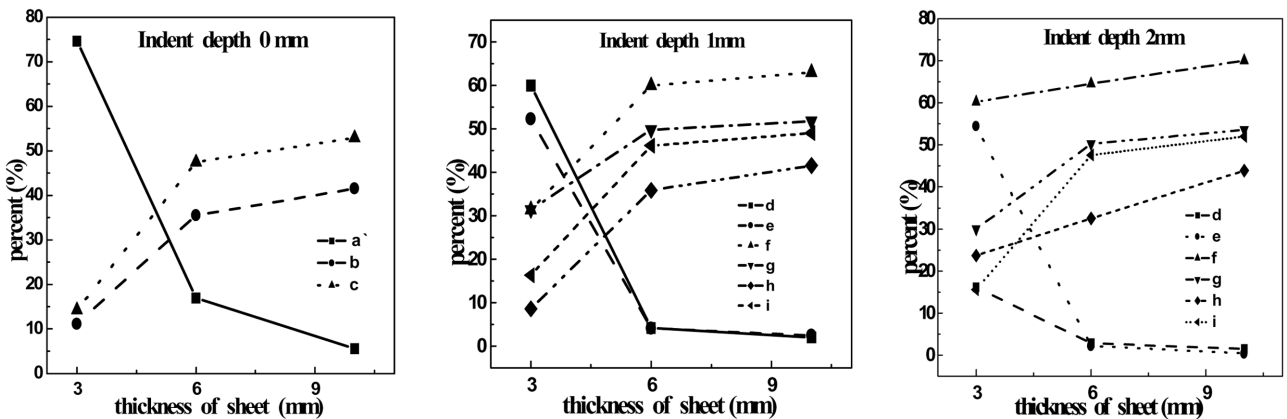


Fig. 4. Fracture rate with thickness of sheet (a) indent depth 0 mm, (b) indent depth 1 mm, (c) indent depth 2 mm; a: > 5 mm aggregates, b: < 1 mm aggregates, c: 1~5 mm aggregates, d: > 5 mm aggregates with 4 mm indent width, e: > 5 mm aggregates with 20 mm indent width, f: 1~5 mm aggregates with 4 mm indent width, g: 1~5 mm aggregates with 20 mm indent width, h: < 1 mm aggregates with 4 mm indent width, i: < 1 mm aggregates with 20 mm indent width.

Table 3  
Aspect ratio with drying method

Number of sample		1	2	3	4	5	average	standard deviation
Natural drying	[Indoor]	1.29	1.24	1.32	1.23	1.12	1.24	0.068
	[Outdoor]	1.06	1.05	1.22	1.65	1.47	1.29	0.236
Fast drying		1.17	1.06	1.25	1.11	1.11	1.14	0.065
Oven drying		1.11	1.10	1.06	1.36	1.15	1.16	0.106
Microwave drying		1.13	1.06	1.18	1.19	1.30	1.17	0.079

Table 4  
Aspect ratio with breaking method

Number of sample	1	2	3	4	5	average	standard deviation
Ball mill I	1.14	1.47	1.21	1.59	1.12	1.31	0.189
Ball mill II	1.15	1.28	1.09	1.10	1.18	1.16	0.068
Roller mill	1.05	1.19	1.93	1.23	1.86	1.45	0.367
Drops	1.33	1.50	1.17	1.37	1.11	1.30	0.141

이로 들어가게 될 때, 인덴트 모양대로 균열이 시작되더라도 끝까지 전파되기 어려우므로 결국에는 불균일한 방향으로 여러 잔 균열들이 형성되고 그것들이 전파되어 얇은 소지에 비해 5 mm 이하 골재의 수율이 증가하는 것으로 사료된다. 또한 3 mm 소지의 경우에는 인덴트를 가한 소지와 가하지 않은 소지의 수율 차이가 현격하게 나는 것을 알 수 있으므로 소지의 두께는 롤러의 간격 이하로 유지해야 하고 두꺼운 소지의 경우에는 인덴트의 깊이와 간격은 큰 영향이 없었기 때문에 균열의 시작만을 줄 수 있는 얇고 간격이 넓은 인덴트를 주는 것이 1~5 mm 골재 수율을 향상시킬 수 있다는 결론을 얻을 수 있었다.

#### 3.4. 1~5 mm 골재의 aspect ratio 비교

각 실험에 따라 어떤 방법으로 실험했을 때 1~5 mm 골재가 가장 균일한 모양으로 파쇄 되는지를 알아보기

Table 5  
Aspect ratio with thickness of sheet

Number of sample	1	2	3	4	5	average	standard deviation
3 mm	1.37	1.40	1.33	1.29	1.37	1.35	0.038
6 mm	1.32	1.56	1.44	1.28	1.21	1.36	0.124
10 mm	1.56	1.48	1.58	1.29	1.45	1.47	0.103

위해 건조방법, 파쇄방법, 소지의 두께 별로 1~5 mm 골재를 5개씩 골라 aspect ratio를 구하고 그 평균값을 산출해 보았다. 먼저, 건조방법에 따른 1~5 mm 골재의 aspect ratio는 급속건조 1.14, 건조기 건조 1.16, 마이크로웨이브건조 1.17, 실내건조 1.24, 실외건조 1.29로서 급속건조의 aspect ratio가 가장 작은 것으로 보아 소지를 자연에서 서서히 건조시키는 것보다는 고온의 열을 가해 단시간 내에 건조시킨 소지가 인덴트 모양대로 균일하게 파쇄 된 것을 알 수 있었다. 파쇄방법에 따른 1~5 mm 골재의 aspect ratio는 볼밀 II 파쇄 1.16, 낙하파쇄 1.30, 볼밀 I 파쇄 1.31, 롤러밀파쇄 1.45로서 볼밀 II 파쇄는 통속에 날개가 부착되어있어 통이 회전할 때 소지를 추가적으로 낙하시켜주는 효과가 있기 때문에 다른 파쇄법보다 균일하게 파쇄 된 것으로 사료된다. 반면에 롤러밀파쇄는 소지에 가해지는 두개의 롤러의 힘이 인덴트를 가한 부분 외의 잔 균열에도 무분별하게 가해지므로 파쇄 된 골재의 모양이 균일하지 않아 aspect ratio도 가장 큰 값을 나타내는 것으로 사료된다.

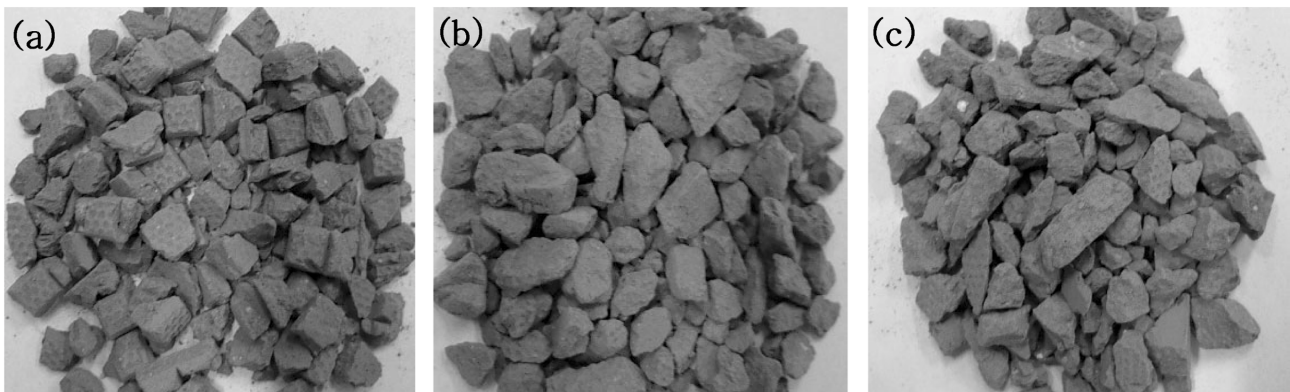


Fig. 5. 1~5 mm aggregates fractured from; (a) 3 mm thickness sheet, (b) 6 mm thickness sheet, (c) 10 mm thickness sheet.

두께변화에 따른 aspect ratio는 3 mm 두께의 소지가 1.35, 6 mm 소지가 1.36, 10 mm 소지가 1.47로서 Fig. 5의 (a)와 (b)에서도 볼 수 있듯이 3 mm 소지는 그 모양이 인덴트를 가해준대로 거의 균일하게 파쇄된 반면 6 mm 소지는 불균일하게 길쭉한 모양으로 파쇄된 것을 볼 수 있다. 이러한 결과들로 보아 소지의 두께가 두꺼워 질수록 인덴트 모양대로의 균열 전파가 잘 되지 않아 골재 모양이 인덴트를 가한 대로 파쇄 되지 않기 때문에 aspect ratio도 증가하는 것을 알 수가 있다. 그러므로 이 실험을 통해 급속건조법, 볼밀 II 파쇄법, 3 mm 두께 sheet의 경우에 가장 균일한 모양의 골재를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

인공경량골재의 효율적인 생산을 위해 sheet 형태의 소지를 제작한 후 건조법, 파쇄법, 성형법에 따른 파쇄율을 비교해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 건조법의 비교실험에서는 자연건조, 건조기건조, 마이크로웨이브(microwave)건조, 급속건조 중에서 마이크로웨이브건조가 소지가 균일하게 건조되지 않았음에도 불구하고 210초의 조건에서 42.10 %로 가장 높은 파쇄율을 보였다.

2) 파쇄법의 비교실험에서는 볼밀 I, 볼밀 II, 낙하실험, 롤러밀 파쇄 중에서 볼밀 II 파쇄가 65.33 %로 가장 좋은 파쇄율을 보였다. 특히 1~5 mm 사이의 골재 성형 수율을 높이기 위해서는 전통적인 볼밀 파쇄법을 변형한 볼밀 II 파쇄법이 가장 바람직한 방안으로 제시될 수 있다.

3) 소지의 성형방법에 따른 1~5 mm 골재 파쇄율을 알아보기 위해 인덴트(indent)의 깊이와 간격, 소지 두께를 변화시켜 실험한 결과 인덴트 깊이가 깊어질수록 두께 3 mm 소지의 5 mm 이하 골재의 수율은 점점 증가했으나 6 mm와 10 mm 두께의 소지에서는 인덴트 깊이에 따른 수율의 차이가 거의 없는 것으로 보아 인덴트의 깊이 및 간격에 따른 소지의 파쇄율 변화는 소지의 두께가 롤러밀의 간격 이하로 유지될 때만 나타난다는 결론을 얻을 수 있었다. 또한 소지의 두께가 두꺼워 질수록 5 mm보다 큰 골재의 수율은 감소하고 5 mm 이하 골재의 수율은 증가하는 경향을 보였으므로 소지의 두께는 롤러밀의 롤러 간격이하로 유지해야 하고 두꺼운 소지의 경우에는 인덴트의 깊이와 간격은 큰 영향이 없었기 때문에 균열(crack)의 시작(initiation)만을 줄 수 있는 얇고 간격이 넓은 인덴트를 주는 것이 1~5 mm 골재 수율을 향상시킬 수 있다는 결론을 얻을 수 있었다.

4) 건조방법, 파쇄방법, 소지의 두께 별로 1~5 mm 골재의 aspect ratio를 산출한 결과, 건조방법에 따라서는 급속건조한 시편의 aspect ratio가 1.14로 가장 작았고, 파쇄방법에 따라서는 볼밀 II 파쇄가 1.16으로 가장 작았으며, 소지의 두께에 따라서는 롤러밀 파쇄의 경우 3 mm 두께의 소지가 1.35로 가장 작았다.

#### 감사의 글

본 연구는 산업폐기물재활용기술개발사업단의 연구비(2D-A-1-1) 지원으로 수행되었기에, 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Y.M. Ko, N.W. Lee, J.W. Choi, H.C. Woo and H.G. Shin, "A study on development of lightweight aggregate using industrial wastewater sludge", *Journal of Korean Safety Society* 17(1) (2002).
- [2] Y.B. Chai, "Materials mineral of lightweight aggregates", *Mineral and Industry* 3(1) (1990).
- [3] T.Y. Lo, H.Z. Cui and Z.G. Li, "Influence of aggregate pre-wetting and fly ash on mechanical properties of lightweight concrete", *Waste Management* 24(4) (2004) 333.
- [4] M. Husem, "The effects of bond strengths between lightweight and ordinary aggregate-mortar, aggregate-cement paste of the mechanical properties of concrete", *Materials Science and Engineering A363* (2003) 152.
- [5] T.Y. Lo and H.Z. Cui, "Effect of porous lightweight aggregate of strength of concrete", *Materials Letters* 58 (2004) 916.
- [6] M. Gesoglu, T. Ozturan and E. Guneyisi, "Shrinkage cracking of lightweight concrete made with cold-bonded fly ash aggregate", *Cement & Concrete Research* 34(7) (2004) 1121.
- [7] M.N. Haque, H.A.I. Khaiat and O. Kayali, "Strength and durability of lightweight concrete", *Cement & Concrete Composites* 26 (2004) 307.
- [8] D. Sari and A.G. Pasamehmetoglu, "The effect of gradation and admixture on the pumice lightweight aggregate concrete", *Cement & Concrete Research* (2004) (to be published).
- [9] K.G. Babu and D.S. Babu, "Performance of fly ash concretes containing lightweight EPS aggregates", *Cement & Concrete Composites* 26 (2004) 605.
- [10] R. de Gennaro, P. Cappelletti, G. Cerri, M. de'Gennaro, M. Dondi and A. Langella, "Neapolitan yellow tuff as raw material for lightweight aggregates in lightweight structural concrete production", *Applied Clay Science* (2004) (to be published).