

Correlation to the Physical Properties of Green and Sintered Body of Artificial Lightweight Aggregate with the Pelletizing Variables

Young Min Wie[†] and Ki Gang Lee

Department of Materials Engineering, Kyonggi University, Suwon 443-760, Korea
(Received August 18, 2007; Accepted September 19, 2007)

펠레타이저 공정변수와 인공경량골재의 성형체와 소성체 물성과의 상관관계

위영민[†] · 이기강

경기대학교 재료공학과

(2007년 8월 18일 접수; 2007년 9월 19일 승인)

ABSTRACT

For the manufacturing lightweight fine aggregate, clay and waste material was formed by pelletizer. The fine aggregate of 1-5 mm diameter was formed by diameter 76 cm pelletizer disc. Pelletization variables were : (1) pelletizer disc angle, (2) speed of revolution of pelletizer, (3) added pelletization time. Green and sintered aggregate were measured specific gravity, absorption rate and average size. The optimum condition were found that the pelletization variables were angle at 70°, speed of revolution of pelletizer at 23.2 rpm, and water/solid ratio at 1/5. At these conditions, it was formed that fine aggregate green whose average size was 2.0~3.35 mm. Specific gravity and average size are increased with low angle of disc and fast revolution speed of disc. Specific gravity and average size were not distinctly influenced by added pelletization time. Sintered aggregate was distinctly influenced by properties of green.

Key words : Artificial lightweight fine aggregate, Pelletizer, Various of processing

1. 서 론

현재 전 세계적으로 환경오염이 심화되면서 환경오염 방지에 대한 관심도가 높아지고 있다. 이에 따라 각종 폐기물의 적절한 처리 및 재활용 기술에 대한 연구가 활발하게 진행되고 환경관련 산업도 크게 활성화 되고 있다. 고상폐기물을 처리하는 방법에는 매립, 소각, 재활용등이 있는데 좁은 국토에서 폐기물을 매립하는 것에는 한계가 있고, 폐기물의 매립은 지하수오염등 2차적인 오염을 야기시킬 가능성 또한 있다. 비용 역시 점차 상승하여 폐기물의 처리에는 적합하지 않은 방법이다. 소각은 폐기물의 소각을 통하여 폐기물의 부피를 크게 줄일 수 있다는 장점이 있지만 최종적으로 비산재와 바닥재 등의 2차 폐기물이 발생하기 때문에 선진 각국에서는 폐기물을 재활용 하는 기술을 앞 다투어 연구 하고 있다. 특히 이들 폐기물 중에는 비산재와 바닥재, 폐백토, 석분오니등 무기계 폐기물들이 다량 존재 하는데 이러한 폐기물들은 점토계 화합물들로 세라믹 원료로의 재활용이 유망하며, 그러한 이유로 구미와 일본의 경우 최근 석탄회와, 각종 슬

러지를 이용한 인공경량골재가 상용화되고 있다.

펠레타이징 성형법은 인공경량골재의 제조를 위하여 현재 널리 사용되고 있는 성형법이다. 펠레타이징 성형법은 미세한 분말에 수분을 일정량 분사하여 입자를 성장시켜서 큰 입자를 만드는 성형방법으로 이 방법을 사용하게 되면 성형체는 구형으로 성형되고 입도 또한 상대적으로 균일하게 얻을 수 있는 장점이 있다. 펠레타이저를 이용하여 성형을 실시할 때 몇 가지 변수에 의하여 골재의 물성이 결정되게 되는데 그것은 고체입자의 투입량, 수분의 투입량 그리고 디스크의 각도, 회전속도, 성형시간등의 영향을 받아 시편의 물성이 결정되게 된다. 펠레타이저에 대한 이론은 1958년부터 시작하여 그동안 심도 있는 연구가 이루어져 왔고, 1990년 Kim²⁾은 접촉계수와 성형체의 입도에 대하여 수식으로 정의하여 어느 정도 이론이 적립된 상태이며 K.I. Harikrishnan³⁾ 등이 석탄회를 이용하여 펠레타이저의 변수에 따른 Fly ash 골재의 물성변화에 대하여 연구하였고, 석탄회를 이용하여 골재를 제조하는 연구가 지속적으로 진행되고 있다.

하지만, 이들 연구는 펠레타이저를 이용하여 조골재를 성형하는데 초점이 맞추어져 있고, 최근 모래의 고갈에 따라 많은 수요가 예상되는 인공경량골재의 성형에 대한 연구는 미미한 실정이다. 그리고 점토를 기본으로 하

[†]Corresponding author : Young Min Wie
E-mail : supreme00@kyonggi.ac.kr
Tel : +82-31-249-9773 Fax : +82-31-244-6300

여 폐기물의 첨가에 따른 인공경량골재의 성형체와 소결체의 물성에 관한 연구는 이루어지지 않았으며, 국내의 펠레타이저를 이용한 세골재 성형에 대한 연구는 거의 전무한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 점토를 기본으로 하여 폐기물을 첨가한 인공경량골재의 제조 시 성형공정 변수에 따른 세골재의 물성변화를 관찰하여, 펠레타이저의 공정변수들이 세골재의 성형체의 물성에 미치는 영향을 알아보았다. 이를 통하여 펠레타이저를 사용하여 성형한 인공경량세골재의 최적성형조건을 확립하였다. 또한 각각의 조건에서 얻어진 성형체를 소결하여 소결체와 성형체의 물성간의 상관관계를 알아보았다.

2. 실험 방법

2.1. 재료

본 실험에서는 적점토와 석분슬러지 및 폐백토를 사용하여 골재를 성형하였다. 적점토는 충청남도에서 C사에서 일반 적벽돌 제조 시 사용되는 점토를 사용하였다. 그리고 석분 슬러지는 부순 모래의 제조 시 발생하는 슬러지로 쇄석의 제조 시 건조중량의 약 20~30% 발생하며 연간 약 300만톤의 석분슬러지가 발생한다. 석분슬러지는 Si와 Al을 주성분으로 하며 그 결정상은 장석류와 유사하게 나타났다. 폐백토는 유류 흡착제로 사용된 후 폐기된 것으로 벤토나이트에 기름성분이 첨가된 형태로 감열감량이 48.4%나 되는 특징이 있다. 본 실험에 사용된 원료들의 화학적 조성을 Table 1에 나타내었다.

2.2. 실험변수설정

Kim²⁾ 등은 흑연을 성형할 때 펠레타이저의 변수들에 따른 입경의 변화를 다음과 같은 식으로 나타냈다.

$$R = \sqrt{DtZ} \tag{1}$$

$$D = 0.560 \times 10^{-3} (W/F)^{3.90} N^{1.50} \tag{2}$$

- R: Average size of pellets [mm]
- D: adhesion coefficient [cm²/min]
- N: disk speed [rpm]
- F: solid feed ratio [g/min]
- W: water feed ratio [cc/min]
- t: time
- Z: density coefficient

이 식에서 입경은 디스크 내부에 성형되는 시간과 접착계수 등이 증가함에 따라 증가하게 된다.(1) 그리고 접착계수는 디스크의 회전속도와 물과 원료 투입비율의 함수로 회전속도를 상승시키면 D가 커지고 W/F를 상승시키면 역시 D가 상승하게 된다.(2)

Table 1. Composition of Raw Materials

	Clay	Waste White Clay(WWC)	Stone Sludge(SS)
SiO ₂	64.8	41.9	66.7
Al ₂ O ₃	17.7	5.4	14.9
Fe ₂ O ₃	7.2	1.7	2.3
CaO	0.2	0.3	2.0
MgO	0.7	0.7	1.1
Na ₂ O	0.2	0.3	3.8
K ₂ O	1.8	0.6	5.2
TiO ₂	1.0	0.7	0.3
P ₂ O ₅	0.1	0.1	0.1
Ig-Loss	6.3	48.4	3.6

이것은 조립을 형성함에 있어서 입도와 각각의 변수들의 관계를 잘 나타내고 있으며, 위의 관계식과 조건을 이용하여 성형체의 입도 등 변수를 쉽게 조절 할 수 있다. 그리고 K.I. Harikrishnan³⁾ 등은 석탄회를 원료로 하여 57cm의 디스크형 펠레타이저를 이용하여 55°의 각도에서 수분함량 25 wt%, 디스크 속도 30 rpm, 성형시간을 15분으로 하여 약 10mm 직경의 골재를 얻었다고 하였다. K.I. Harikrishnan이 실험으로 펠레타이저를 이용하여 조골재를 성형하는 조건을 알 수 있으며, 본 연구에서 목표로 하는 세골재 영역의 성형체를 제조하기 위해서는 변수들의 조정이 필요하였다. 따라서 본 실험에서는 5mm 이하의 세골재를 성형하기 위하여 반지름이 75cm인 디스크형 펠레타이저를 이용하여 디스크의 각도를 65~72.5°, 디스크의 속도를 16~24 rpm, 추가성형시간을 0~5분으로 조절하여 실험하였다.

2.3. 시험편제조 및 측정

적점토를 기본으로 하여 폐기물을 재활용한 인공경량세골재의 펠레타이저의 공정변수에 따라서 성형된 세골재의 물성의 변화를 보기위하여 본 실험에서는 다음과 같이 실험을 진행하였다. 기본적으로 적점토의 성형변수에 따른 물성변화를 관찰하기 위하여 적점토를 사용하였고, 실질적으로 폐기물을 재활용 하였을 때 변수에 따른 경향의 변화를 관찰하기 위하여 점토, 석분슬러지, 폐백토를 6:3:1의 비율로 혼합(이하 CSW조성)하여 실험하였다. 사용된 원료는 100°C에서 24h 건조한 후 pin mill을 실시 180 μm 이하로 분쇄하여 사용하였다. 그리고 실험에 사용된 조성에서 두 가지 조성의 가소성 차이를 살펴보기 위하여 KS F 2303의 실험법을 통하여 두 가지 조성의 가소성 차이를 측정 하였다. 이를 Table 2에 나타내었다. M. Dondi⁶⁾에 따르면 압출성형 시 가소성이 좋은 원료를 사용하여야 하며 이것은 PI지수가 10~35의 범위에서 적합하다고 하였다. CSW조성의 가소성은 8.5로 이에 미치지

Table 2. PI of Mixture

	Liquid limit	Plastic limit	PI
Clay	37.71	20.79	16.91
Clay+SS+WWC (CSW)	31.43	22.93	8.5

못하여 압출성형에 부적절함을 알 수 있다. 하지만 펠레타이저를 이용한 방법은 기존 석탄회를 이용한 골재의 성형에 널리 쓰이고 있으며, 가소성이 크지 않을 경우 오히려 입자의 성장이 빠르게 일어나지 않아 세골재의 성형에 유리한 장점이 있다. 디스크 직경 75 cm의 펠레타이저를 이용하여 기울기를 65~72.5°로, 디스크의 회전속도를 16~23.2 rpm으로 조절하고 원료와 물을 5:1의 비율로 투입하여 펠레타이저를 연속작업으로 작동시켜 원료가 성형되어 배출되는 시편을 취하였다. 그리고 일부 배출된 시편을 이용하여 디스크내부에 원료와 물의 주입이 없이 디스크에서 0~5 min 추가성형을 하였다. 그리고 성형이 완료된 골재를 100°C에서 24시간 건조시킨 후 건조된 골재의 비중, 흡수율, 평균입경 등을 측정하였고, 이때 골재의 비중은 KS L 3114 내화벽돌의 겉보기 기공률 흡수율 및 비중측정법에 의해 등유를 사용하여 비중, 흡수율을 측정하였다. 건조된 골재를 1150°C로 유지된 튜브로에 장입하여 15분간 유지한 후 공기 중에 급냉 하는 급속소결을 한 후 비중, 흡수율(KSF 2503)을 측정하였으며, 성형체와 소결체의 미세구조를 Cam Scope (Sometch DCS 105, Korea)를 이용하여 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 평균입경

펠레타이저 디스크의 각도가 낮을수록 회전속도가 클수록 그리고 성형시간이 길수록 성형되는 골재의 평균입경은 커지는 것으로 나타났다. 그리고 디스크의 각도가 입도에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 성형시간이 길어질수록 평균입경이 상승하긴 하지만 큰 영향

은 없는 것으로 나타났다.(Fig. 1)

최초 입자의 생성과 성장과정은 다음과 같다. 원료와 물을 지속적으로 투입하면 최초 원료입자가 seed입자를 형성하게 되고, 이러한 seed입자들의 표면에 수분이 공급되어 원료가 seed와 모세관 힘에 의하여 응집하게 된다. 이러한 과정을 거치며 입자가 성장하게 되는데, 실험결과 펠레타이저로 성형한 골재의 입도(Fig. 1-(a))는 디스크의 각도에 가장 큰 영향을 받는 것으로 나타났으며, 디스크 각도가 72.5°일 때 평균입경이 적점토는 4 mm 적점토와 폐기물혼합물은 2.5 mm 정도이며 65°일 때는 적점토 7.9 mm, CSW조성은 5.9 mm로 나타났다. 그리고 회전속도가 증가할수록 입경이 증가하는 것으로 나타났는데 디스크 각도를 70°로 고정시킨 상태에서 16 rpm에서 적점토 원료 골재의 평균 입경은 3.7 mm, 23.2 rpm에서는 4 mm의 평균입경을 나타냈다. CSW조성의 경우 16 rpm에서는 2.3 mm, 23.2 rpm에서는 3.5 mm로 나타났다. 두 조성의 입경차이는 가소성의 차이로 설명할 수 있다. 일반적으로 가소성이 커지면 입자와 입자 사이에 작용하는 모세관 힘이 증가하는데 이 때문에 입자의 성장이 유리하게 된다. 이러한 실험 결과는 석탄회와 Kaolinite, Bentonite를 이용하여 실험한 R. Manikandan⁷⁾의 결과와 상통한다. R. Manikandan은 비가소성 석탄회에 가소성 물질인 Kaolinite, Bentonite를 첨가하여 성형을 실시하였을 때 펠레타이징 성형이 가능하게 되었다고 하였다. 굵은 입도의 석탄회는 모세관의 관로가 잘 발달되지 못하므로 모세관 힘이 거의 존재하지 않아 가소성 첨가제를 첨가하지 않으면 성형되지 않는다. 하지만 가소성 첨가제를 첨가하면 판상의 미분인 Kaolinite나 Bentonite가 석탄회와 혼합되어 모세관의 관로가 잘 발달하게 되어 성형 가능해지는 것으로 이번 실험 결과의 적점토와 CSW조성의 평균입경차이를 설명하여 준다. 두 가지 조성 모두 펠레타이저 디스크의 각도가 낮아질수록, 디스크의 회전속도가 커질수록 입경은 커지는 경향을 나타내고 있다. 이러한 차이가 생기는 이유는 식 (1)과 (2)를 종합해 보면 디스크의 각도가

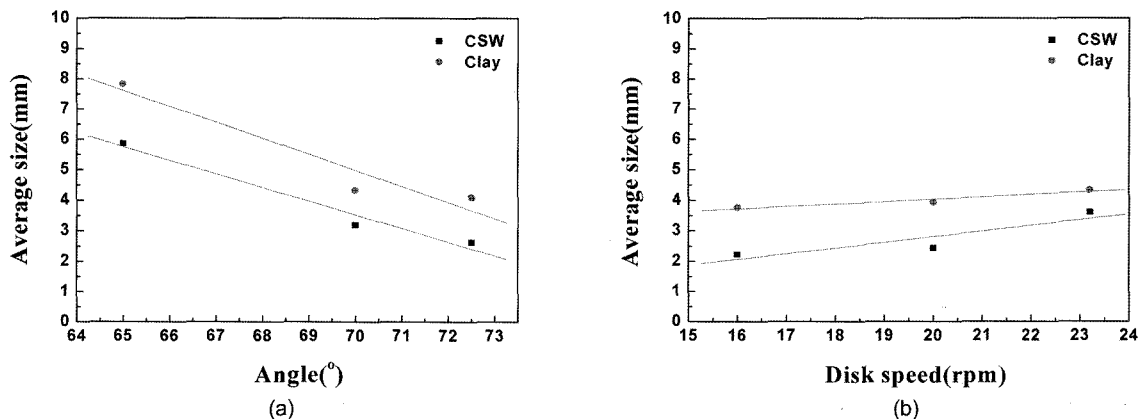


Fig. 1. The change of average size of green aggregate due to pelletizer variables (a) angle, (b) disk speed.

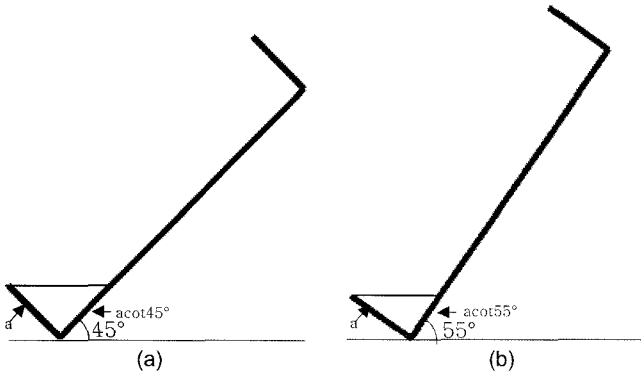


Fig. 2. Schematic representation of pelletizer disk (a) at disk angle 45°, (b) at disk angle 55°.

낮아지면 성형되는 시간이 증가하게 되고, 회전속도가 상승하게 되면 D가 증가하게 되어 결국에는 더 각도가 낮을수록 회전속도가 높을수록 더욱더 큰 입도를 갖는 성형체를 얻을 수 있다. 각도에 따른 성형체의 입경차이는 각도에 따른 디스크내부의 수용가능 원료량의 차이에 의해서도 설명이 가능하다. 원료가 디스크에 차서 배출된다고 가정했을 때 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있다. 이 때 원료가 차는 부분의 단면적은 $1/2a^2\cot\theta$ 이며 각도가 작아질수록 $\cot\theta$ 값이 작아져 단면적이 증가하게 되고 단면적의 증가함에 따라 원료가 차있는 공간의 부피도 증가하게 되는데 면적의 증가에 비하여 더 큰 증가폭을 갖는다. 디스크 내부의 원료가 차있는 공간의 부피증가는 체류 시

간의 증가를 야기 시키는데 체류시간의 증가는 곧 입자 성장 시간의 증가이고 이에 따라 각도가 낮아지면 입자 성장 시간의 증가로 인하여 성형된 골재의 입경이 증가하게 된다.

3.2. 비중, 흡수율

펠레타이저 디스크의 각도가 낮을수록 회전속도가 클수록 성형시간이 길수록 따라 성형되는 골재의 비중은 커지고 흡수율은 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.(Fig. 3) 펠레타이저의 회전속도를 16~23.2 rpm으로 조절 하였을 때 적점토의 경우 회전속도가 작을 때 최소 1.6에서 클 때 최대 2.0정도 까지 CSW조성은 최소 1.4에서부터 1.8까지 비중이 증가하는 것을 볼 수 있다. 흡수율은 디스크의 회전속도를 16~23.2 rpm까지 조절하였을 때 적점토의 경우 최대 40 wt%에서 최소 13 wt%정도로 작아지고, 폐기물이 혼합된 원료는 36 wt%에서 16 wt%정도까지 흡수율이 낮아졌다. 이것은 디스크의 각도가 낮을수록 골재의 회전반경이 커지고 더 많은 양의 원료가 디스크에 체류하기 때문에 상대적으로 더 많은 시간을 디스크 내부에 머물게 되어 나타나는 현상으로 디스크 내부에 머물며 회전체에 작용하는 원심력의 영향을 더 장시간받기 때문인 것으로 사료 된다. 또 펠레타이저 디스크의 회전속도가 상승할수록 비중은 크게 상승하는 것으로 나타났다. 이것은 디스크의 회전속도가 상승할수록 골재가 받는 원심력이 상승하여 생긴 현상으로 사료되며 디스크의 각도상승에 따른

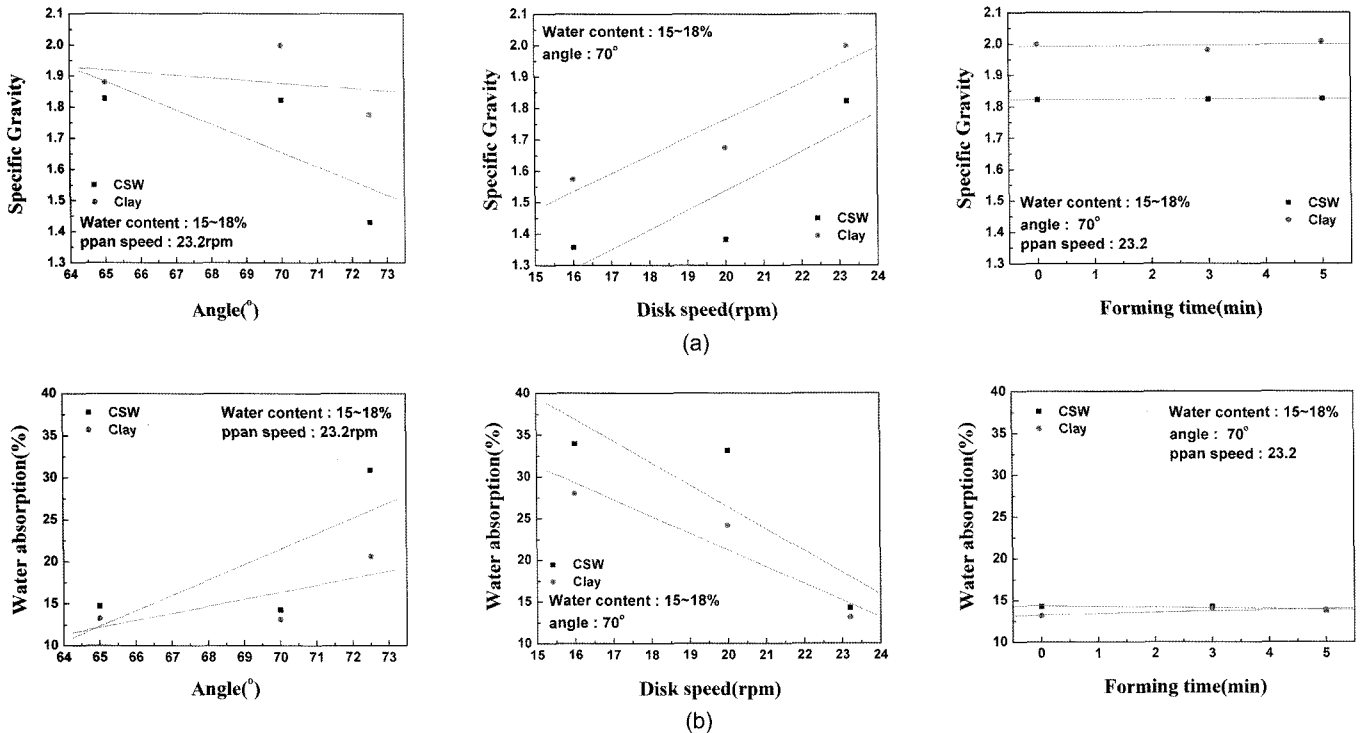


Fig. 3. The changes of specific gravity and water absorption of green aggregate due to pelletizing variables (a) specific gravity (b) water absorption.

비중의 증가와 다른 점은 디스크 각도를 낮출 경우 장시간 디스크 안에서 머물며 더욱 치밀한 골재를 만들지만 디스크 회전속도의 상승은 원심력 자체를 강하게 해주고 이것 역시 골재의 디스크 내부 회전 반경을 크게 하여 주는 효과가 있어서 생기는 현상으로 사료된다. 그리고 추가 성형시간은 골재의 비중에 거의 영향을 미치지 않았는데 이것은 K.I. Harikrishnan³⁾이 실험한 결과와 매우 흡사하게 나타났다. 또 적점토 100% 조성과 CSW조성을 이용하여 성형한 골재들의 물성을 비교해보면 CSW조성의 비중은 적점토를 이용하여 성형한 골재에 비하여 더 낮게 흡수율은 더 높게 나타났다. 이것은 적점토와 CSW조성의 가소성 차이에서 찾을 수 있는데 Table 2를 보면 적점토의 PI는 16.91인데 반하여 적점토에 폐기물을 혼합한 원료의 PI는 8.5에 그치는 것을 알 수 있는데, 이와 같은 수치는 CSW조성의 가소성이 적점토에 비하여 크게 떨어지는 것을 보여주고 있다. 가소성은 미분원료의 성형에 있어서 매우 중요한 요소로 가소성이 크면 소량의 수분으로도 강한 모세관 힘이 입자 간에 작용하게 되어 치밀하고 결합력이 강한 성형체가 만들어지게 된다. CSW조성은 가소성이 좋은 적점토에 비가소성 폐기물이 첨가됨으로써 가소성이 떨어지고 그로 인하여 그만큼 골재의 치밀화가 어렵고 강도도 저하되게 된다. 이러한 특성으로 인하여 CSW조성의 경우 입자의 성장이 어렵고 성형체의 강도가 낮아 성형체를 제조하기가 어렵지만 실제로 펠레타이저를 이용하여 석탄회와 같은 가소성이 없는 원료와 적절한 바인더를 이용하여 골재를 성형한 연구가 많이 이루어 졌고 본 실험에서 목표로 하고 있는 세골재의 성형은 가소성의 영향이 상대적으로 조골재보다 적어서 세골재의 성형에 큰 문제가 되지 않았다.

공정변수에 따른 물성의 변화 경향은 적점토와 CSW조성이 일치하는 것으로 나타났다. 이것은 원료의 물성에 따라 최종적으로 제조되는 골재의 물성이 결정되지만 공정변수에 따른 변화경향은 일치하는 것을 나타낸다. 따라서 공정 변수의 변화는 입자의 가소성에 상관없이 같은 영향을 미치는 것으로 가소성과 상관없이 치밀한 성형체의 제조를 원할 때에는 디스크의 회전속도는 높이고 디스크의 각도는 낮추는 쪽으로 공정변수를 이동하여야 한다. 인공경량골재에서 높은 흡수율은 경량콘크리트의 제조 시 작업성에 문제가 생기며 되도록 낮은 흡수율을 갖는 것이 유리하다. 따라서 경량골재를 성형할 때 가능한 성형체는 비중이 높고 흡수율이 낮게 성형이 되어야 하며, 본 실험에서 치밀하며 2.0~3.35 mm 입도의 세골재를 얻을 수 있는 조건은 수분/원료 1/5, 각도 70°, 디스크속도 24 rpm의 조건이다.

3.3. 골재의 소결 후 비중, 흡수율

CSW조성으로 제조한 인공경량세골재를 얻기 위해서 성

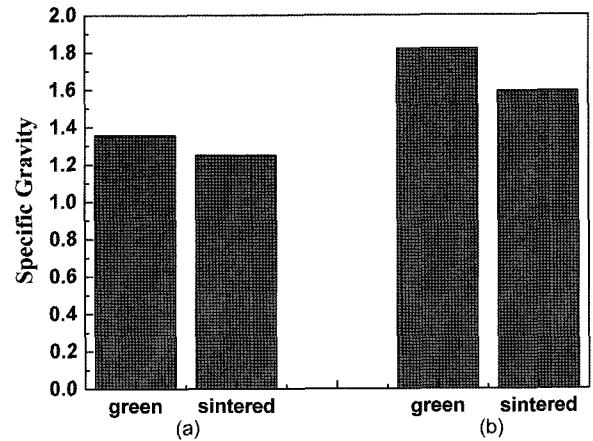


Fig. 4. The change of specific gravity (a) loose green aggregate(70°, 16 rpm, 0 min), (b) dense green aggregate(70°, 23.2 rpm, 5 min).

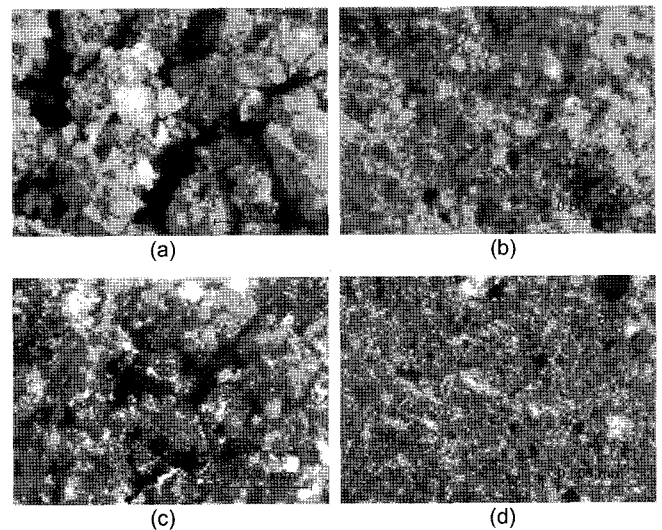


Fig. 5. Cam scope image of clay + wastes aggregate (a)loose green (70°, 16 rpm, 0 min), (b)dense green (70°, 23.2 rpm, 5 min), (c)loose sintered aggregate (70°, 16 rpm, 0 min), (d)dense sintered aggregate (70°, 23.2 rpm, 5 min).

형체를 튜브로를 이용하여 1150°C에서 급속소결 한 결과 소성체의 비중은 성형체의 비중보다 낮게 나타났으며, 성형체의 비중이 높은 골재가 더 큰 폭으로 비중 변화가 일어났다.(Fig. 4) 이것은 성형체의 물성이 소성 후의 물성에 영향을 미친다는 의미로 성형체를 치밀하게 제조하지 않을 시 인공경량골재의 발포메커니즘에 따라 발포가 어렵다는 것을 의미하며, Fig. 5에서는 치밀하지 못한 성형체(angle 70°, disk speed 16 rpm)와 치밀한 성형체(angle 70°, disk speed 23.2 rpm)의 두 가지 조건에 따른 성형체와 소결체의 Cam scope image를 나타내었는데 성형체의 기본적인 물성이 소성체에 이어지는 것을 보여주고 있다. 성형체의 비중과 비교하였을 때 소성체의 비중이 낮아지는 것을 볼 수 있는데, 세라믹의 고온 소결 시 소결 후 비중

은 높아지는 것이 정상이나 소결 후 비중이 낮아진 이유는 점토와 혼합한 폐기물들 때문으로 석분오니와 폐백토가 골재의 발포에 관여하여 골재의 비중을 낮추는 것이다. C. M. Riley⁵⁾에 의하여 발포 된 골재의 발포메커니즘을 보면 골재의 발포는 단히 표면의 소지에 내부가스가 발생하여 내부에 폐기공을 생성하여 생기는 것이다. 본 실험에 사용된 폐기물 중 석분오니는 장식 계열 광물이 다량 함유되어 있어 소지내부에서 액상을 형성하는 역할을 하여, 소지의 치밀화를 촉진시켜 소지의 표면이 단히게 한다. 소지의 표면이 단히게 되면서 Bentonite에 기름 성분이 첨가 된 폐백토에서 기름이 연소되어 발생한 CO 가스가 내부에 갇히며 환원분위기가 형성된다. 환원분위 기에서 Fe_2O_3 가 Fe_3O_4 로 환원 되며 O_2 가스가 생성되어 내부에 기공을 형성하게 된다. 이러한 이유로 실험된 조성에서 소결이 이루어지지 않고 발포가 이루어지게 된다. 이때 치밀하지 못한 성형체는 골재의 표면이 단히기 어렵기 때문에 상대적으로 큰 비중의 성형체에 비하여 더 많은 가스를 포집하지 못하게 되고, 비중 저하가 어렵게 된다. 이러한 이유로 비중이 높은 성형체가 더 비중감소가 크고, 발포에 더 유리하게 된다. 따라서 급속소결 법을 이용한 인공경량골재 제조 시 성형체의 비중은 최종 소결체의 비중에 크게 영향을 미치며, 골재를 발포시키기 위해서는 치밀한 성형체의 제조가 필수적이다.

4. 결 론

펠레타이저를 이용하여 인공경량골재를 제조하고 기계의 변수에 따른 3가지의 성형체조공정변수에 따른 성형체와 소결체의 물성변화를 관찰한 결과는 다음과 같다. 성형체의 비중은 디스크의 회전속도에 가장 영향을 많이 받으며 디스크의 속도가 빨라질수록 성형체의 비중은 커진다. 이것은 펠레타이징 성형 시 적당량의 수분이 존재할 때 디스크의 회전속도가 빠를수록 원심력이 커져서 생기는 현상으로 사료된다. 성형체의 입도는 디스크의 각도에 크게 의존하며 70° 이상으로 디스크를 기울이면 1 mm 이하의 골재도 제조할 수 있으나 성형된 골재의 품질이 낮아질 위험성이 있다. 디스크 스피드 23.2 rpm, 디스크 각도 70° , 추가성형시간 0 min의 공정조건으로 비중 1.8이상의 평균입도 2~3 mm의 치밀한 인공 경량 세골재를 제조할 수 있었다.

각 성형 조건별 성형체의 소성 후 물성은 성형체의 물성 경향과 일치 하는 것으로 나타났다. 성형체에서 더 높은 비중을 나타내는 성형체가 소결체에서도 높은 비중을 나타낸다. 성형체와 소결체의 비중과 흡수율의 차이를 관찰했을 때 성형체의 비중이 높을 때 성형체와 소결체의 비중차이가 더 큰 것으로 나타났으며, 이것은 성형체의 물성은 최종골재의 소결과 발포에 있어서 중요한 역할을

미치는 것으로 사료된다.

Acknowledgement

본 연구는 자원재활용사업단의 연구비(3D-1-1)에 의해 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

REFERENCES

1. Ki Gang Lee and Jung Hwan Kim, "Manufacturing of Construction Material using Inorganic Dust II : Artificial Lightweight Aggregate," *Ceramist* **6** [3] 35-42 (2003).
2. Dong-Kwon Kim, Jung-Min Lee, and Bo-Sung Rhee, "A Study on the Growth of Balls in a Disk Granulator," *Hwahak Konghak* **29** [2] (1991).
3. K.I. Harikrishnan and K. Ramamurthy, "Influence of Pelletization Process on the Properties of Fly Ash Aggregates," *Waste Management* **26** 846-52 (2006).
4. Gohan Baykal and Ata Guhan Doen, "Utilization of Fly Ash by Pelletization Process; Theory, Application Areas and Research Results," *Resources Conservation and Recycling* **30** [1] 59-77 (2000).
5. C. M. Riley, "Relation of Chemical Properties to the Bloating of Clay," *J. Am. Ceram. Soc.*, **34** 121-28 (1951).
6. M. Dondi, G. Guarini, M. Raimondo, and I. Venturi, "Orimulsion Fly Ash in Clay Bricks - Part 2 : Technological of Clay/Ash Mixtures," *J. of European Ceram. Soc.*, **22** 1737-47 (2002).
7. R. Manikandan and K. Ramamurthy "Influence of Fineness of Fly Ash on the Aggregate Pelletization Process," *Cement & Concrete Composites*, **29** 456-64 (2007).
8. Jaroslave, S.R.B. and Ruzickova, Z., "Pelletization of Fines," Elsevier, New York, 1998.
9. Zhang, M.H. and Gjorv, O.E., "Characteristics of Lightweight Aggregates for High-strength Concrete," *ACI Materials J.*, **88** 150-57.
10. Harikrishnan KI and Ramamurthy K, "Study of Parameters Influencing the Properties of Sintered Fly Ash Aggregates," *J. Solid Waste Tech Manage*, **30** 136-42 (2004).
11. Ramamurthy K and Harikrishnan KI, "Influence of Binders on Properties of Sintered Fly Ash Aggregate," *Cement & Concrete Composites*, **28** 33-38 (2006).
12. Bhattacharjee U and Kandpal TC "Potential of Fly Ash Utilization in India," *Energy*, **27** 151-66 (2002).
13. Chen-Chiu Tsai, Kuen-Sheng Wang, and Ing-Jia Chiou "Effect of SiO_2 - Al_2O_3 -Flux Ratio Change on The Bloating Characteristics of Lightweight Aggregate Material Produced from Recycled Sewage Sludge," *J. Hazardous Materials*, **B134** 87-93 (2006).
14. Wasserman R. and Benthur A., "Effect of Lightweight Fly Ash Aggregate Microstructure on The Strength of Concrete," *Cement and Concrete Research*, **27** 525-37.
15. Kawatra SK and Ripke SJ, "Developing and Understanding the Bentonite Fiver Forming Mechanism," *Miner Eng*, **14** 647-59 (2001).