

소각재와 폐오일을 첨가한 인공 경량골재의 발포기구

권용준 · 김정환 · 강승구 · 이기강 · 김유택

경기대학교 재료공학과

I. 서론

전세계적으로 급속한 산업발전과 인류문명의 발달에 따른 생산활동의 다양화로 인하여 각종 환경오염물질의 종류가 계속 증가하고 있으며, 발생량 또한 급증하고 있는 추세이다. 최근 우리 나라에서도 환경오염 문제에 대한 관심이 고조되면서 폐기물의 처리, 처분문제가 심각하게 대두되고 있다.¹⁾ 따라서 폐기물을 원료로 하여 인공경량골재를 제조함으로써 폐기물을 합리적으로 처분함과 동시에 유용한 자원으로 활용할 수 있다.

인공 경량골재 및 건축자재는 1917년 셰일(shale)을 가열 팽창시켜 경량골재를 제조한 최초의 특허를 시작으로 1930년경부터는 구주 각국에서 팽창성 점토, 셰일, 석탄회 및 광재 등을 이용한 제품들이 본격적으로 상품화되기 시작하였다.²⁾

구조물의 경량화 또는 단열을 위하여 선진국에서는 인공 경량골재를 이용한 경량콘크리트 사용이 크게 증가하는 추세이다. 그러나 선진국에서 생산되는 경량골재는 주로 점토 또는 부산물 자원화 목적으로 fly ash를 원료로 하여 제조되고 있다.³⁾

본 연구에서는 소각재와 폐오일을 원료로 사용한 인공 경량골재의 발포현상 및 용융상 형성을 비교·검토하여 인공 경량골재에 관한 연구의 기초를 마련하고자 하였다.

II. 실험재료 및 방법

1. 실험재료

적점토, 소각재(쓰레기 소각장 비산재), 로터리 진공펌프 폐오일을 실험재료로 선정하였으며, 원료들은 모두 전처리의 과정 없이 그대로 사용하였다. 적점토는 SiO_2 와 Al_2O_3 가 주성분이며 소각재는 CaO가 주성분 이었다. 각 원료의 화학조성은 Table 1에 제시하였다.

2. 실험방법

적점토와 소각재는 습식으로 혼합하였으며, 폐오일의 경우는 적점토와 소각재 혼합물의 수분을 제거한 후 건식 혼합하였다.

적점토와 소각재가 잘 혼합되게 하기 위하여 1시간 동안 불밀을 한 후 $425 \mu\text{m}$ 표준망체를 통과시킨 현탁액을 1시간동안 교반하였다. 로터리 진공펌프와 공극이 $25 \mu\text{m}$ 인 필터지를 사용하여 혼합물의 함수율을 20 % 내외로 조절하였다. 혼합물에 폐오일을 첨가한 후 잘 섞은 다음 직경 10 mm 내외의 구형 시편을 제작하였다.

이렇게 제작된 시편은 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ 의 건조기에서 48시간 동안 건조한 다음 전기로에서 소성 하였다. 소성은 각각의 소성온도인 1100, 1150, 1200, 1250 $^\circ\text{C}$ 에서 직접 시편을 투입하여 10분 동안 소성과정을 거친 후 공기중에서 냉각하는 방법으로 수행하였다.

비중측정은 KSL 3114의 비중측정 방법에 따라서 측정하였다.⁴⁾

Table 1. Composition of raw materials.

(Unit : wt%)

Composition	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	C	SO ₃	L.O.I.	Total
Clay	64.82	17.67	7.22	0.19	0.70	0.22	1.83	1.07	0.08	-	-	6.20	100.00
Ash	2.65	0.51	0.66	56.80	0.69	4.47	0.07	3.26	0.15	5.52	5.78	19.44	100.00

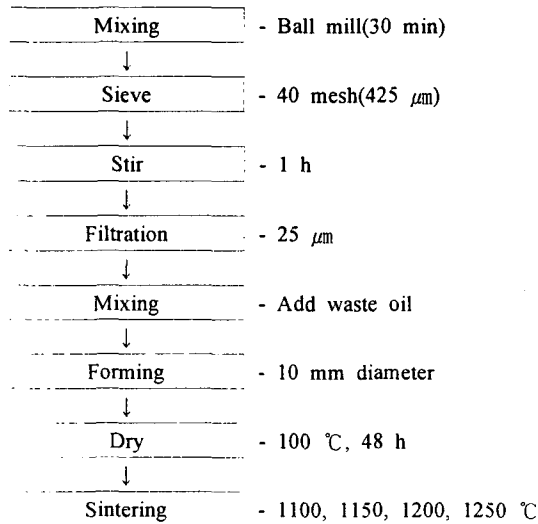


Fig. 1. Experimental procedures.

III. 결과 및 고찰

1. 폐오일 첨가의 영향

폐오일이 인공골재의 경량화에 미치는 영향을 알아보기 위하여 적점토 90 wt%, 소각재 10 wt%로 각각 고정시키고, 폐오일의 첨가량을 시편 총중량의 0.0~3.0 wt%로 변화시키면서 실험을 수행하였다.

1) 폐오일의 첨가에 따른 경량골재 형상의 변화

폐오일을 첨가하지 않은 경우 소성온도 1150 °C까지 발포현상을 보이지 않다가 1200 °C에서 골재 내부에 발포 시작단계로 보여지는 crack이 관찰되었으며, 1250 °C에서는 골재 표면에 용융상이 형성되면서 내부는 발포에 의한 기공이 형성되었다.

폐오일을 0.2 wt% 첨가한 시편은 폐오일을 첨가하지 않은 시편과 형상이 같으나, 0.5~2.0 wt%까지 첨가량이 증가함에 따라 발포현상이 심해졌으며, 2.0 wt% 이상 폐오일을 첨가한 경우 발포현상에 더 이상 큰 변화를 보이지 않았다. 폐오일 0.5 wt% 이상 첨가한 시편은 1100 °C와 1150 °C에서 골재 내부에 crack이 형성되었고, 1200 °C에서는 골재 내부의 급격한 발포로 인해 큰 기공이 형성됨과 동시에 골재 외부는 골재의 팽창으로 인하여 갈라지는 현상을 볼 수 있었다. 1250 °C에서는 기공이 더욱더 커지며 골재 표면에 용융상이 형성되었다.

폐오일에 의한 골재 발포 기구는 첫 번째 단계에서는 소성 초기 급속 가열에 의한 가연성 물질의 연소로부터 발생된 가스가 골재 내부에 기공을 형성하고, 또한 급격한 열충격에 의해 수없이 많은 micro-crack을 형성한다. 중간단계에서는 시편 외부에 용액이 형성되고 내부에서 발생된 가스가 포집되어 골재의 부피가 실질적으로 늘어나며, 마지막 단계에서는 외부 용액이 완전히 유리화되어 치밀한 외부 표피조직을 형성하며 내부에서는 기공이 합쳐져 거대 기공이 형성되는 것으로 판단된다.

2) 폐오일 첨가에 따른 비중변화

Fig. 2를 보면 소성온도가 증가함에 따라 인공골재의 비중이 감소함을 알 수 있다.

폐오일 첨가량이 증가할수록 골재의 비중은 낮아지는 경향을 보였다. 또한 소성온도가 높아질수록 골재의 비중값도 낮아지는 경향을 보였다. 이는 폐오일이 발포제로서 작용하였고, 소성온도가 높을수록 용융상 형성이 증가하며 발포된 기체를 골재 내부에 포집하여 큰 기공을 형성한 것으로 보인다.

2. 소각재 첨가의 영향

소각재가 인공 경량골재의 발포성 및 소성온도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 폐오일의 첨가량을 2 wt%로 고정시키고, 소각재의 첨가량을 0~30 wt%까지 변화시키면서 실험을 수행하였다.

1) 소각재 첨가에 따른 경량골재 형상의 변화

적점토와 폐오일만으로 구성된 시편은 모든 소성온도 영역에서 폐오일의 연소로 인하여 내부가 쉽게 변하며, 1150 °C 이상의 온도에서는 소성중 시편이 파괴되는 현상을 볼 수 있었다. 소각재를 10 wt% 이상 첨가한 시편에서는 소성중 시편이 파괴되는 현상을 볼 수 없었다. 이렇게 시편이 소성중 파괴되는 현상은 시편 내부의 부피팽창력이 용융상 형성에 의한 소성수축응력에 비하여 너무 크기 때문에⁵⁾ 이를 견디지 못하여 발생된다고 여겨진다. 따라서 시편의 파괴현상을 없애기 위해서는 용융상의 제어가 필수적이다. 이러한 용융상의 제어는 소각재의 함유량과 소성온도를 조절하여 가능하였다.

소각재를 10 wt% 첨가한 시편의 경우 1200 °C에서 급격한 발포를 한 후, 1250 °C에서 표면에 용융상이 형성되었다. 소각재의 첨가량이 10~30 wt%로 증가함에 따라 내부에 더 많은 발포와 함께 표면에 더 많은 용융상이 형성되었다. 소각재의 첨가량이 증가함에 따라 표면에 더 많은 용융상이 형성된 원인은 용제의 역할을 해주는 CaO 성분에 의한 것이라 생각된다. 소각재를 20 wt% 이상 첨가한 시편들에서는 소성온도 1200 °C에서부터 표면에 과도한 용융상이 형성되기 시작하였다.

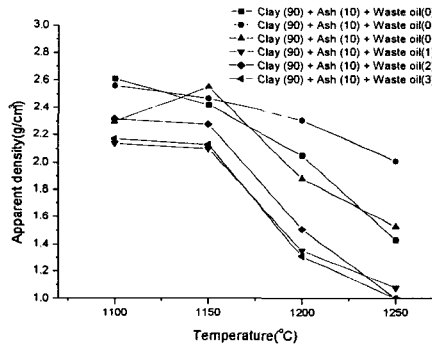


Fig. 2. Apparent density vs. temperature at various waste oil contents.

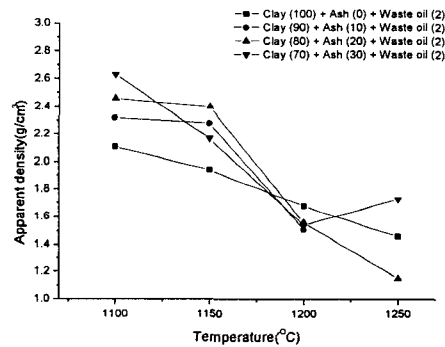


Fig. 3. Apparent density vs. temperature at various ash contents.

2) 소각재 첨가에 따른 비중변화

Fig. 3에서는 소각재 함유량 변화에 따른 겉보기 비중 변화를 보여주고 있다. 1100 °C에서는 소각재 함유량이 높아질수록 비중이 높았으나 온도가 증가할수록 시편 조성에 따라 다양한 비중 변화를 보였다. 이는 Fig. 4에서와 같이 기체발포에 의한 bloating 현상과 용융상 형성이 온도 증가에 따라 서로 다른 경향을 보여 bloating rate이 포화되는 부근(Fig. 4에서 화살표로 표기)에서 내부 팽창력과 소성수축력의 역진현상 때문에 다양한 비중값을 보이는 것으로 판단된다. 따라서 과도한 소각재의 함유는 과량의 용융상 형성으로 인해 소성수축력이 강해지기 때문에 골재의 경량화에 도움이 되지 않았다.

Fig. 3의 그래프는 1100~1250 °C의 소성온도에서 시편의 내부 발포 및 외부 용융상 형성 정도를 육안 관찰에 의한 상대비율로 도시한 것이다.

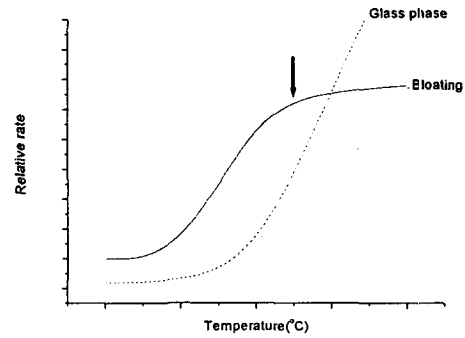


Fig. 4. Schematic diagram of bloating formation and glass phase rate vs. temperature.

IV. 결론

소각재와 폐오일을 이용한 인공 경량골재의 발포성 및 용융상 형성에 관한 실험을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 인공 경량골재의 발포 과정은 먼저 발포의 시작 단계에서 내부의 가스에 의한 micro-crack이 형성되고, 용제 형성과 함께 급격한 가스의 발포에 의한 부피팽창이 일어나며, 최종적으로 표면 및 내부에 치밀한 소결상이 형성된 것으로 판단된다.

둘째, 소성중 시편이 파괴되는 것을 없애기 위해서는 용융상을 형성하는 조성과 소성온도의 제어가 필요하다.

셋째, 폐오일을 0.5 wt% 이상 첨가시 골재의 발포에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

넷째, 소각재를 10 wt% 첨가하고 소성온도를 1200 °C로 하는 것이 골재의 발포 및 표면의 용융상 제어에 최적조건이었다.

참고문헌

- 1) 배성우, 한소영, 이범재, 권영배, "생활폐기물 소각장 Fly Ash의 시멘트 고형화 특성", 한국폐기물학회지, 제16권, 제1호, pp.67~72 (1999)
- 2) 신대용, 강상규, "저급점토를 이용한 다공성 세라믹스 제조", J. of Korean Ceramic Soc. Vol. 35, No. 6, pp.575~582 (1998)
- 3) 오준성, 장복기, 임용무, "Red Mud를 원료로 한 경량골재의 제조", 한국폐기물학회지, 제15권, 제1호, pp.16~23 (1998)
- 4) 朴應極, 窯業學基礎實驗, 韓國窯業學會, pp.57~60 (1985)
- 5) 장복기, 오준성, "하수슬러지 연소재로 부터 경량골재 제조", 한국폐기물학회, 제12권, 제1호, pp. 1~8 (1995)