

알루미늄 드로스를 이용한 無機 發泡材 제조

朴帝信 · *朴馨圭 · 張大圭

韓國地質資源研究院 資源活用研究部

Preparation of Formed Ceramic materials by Recycling of Aluminium Dross

Je-Shin Park, *Hyung-Kyu Park and Tae-Kyu Jang

Minerals and Materials Processing Division

Korea Institute of Geoscience, Mining and Materials, Taejoen 305-350

요 약

알루미늄 드로스과 장석을 이용하여 무기발포재의 제조 가능성을 검토하여 폐기물인 알루미늄 드로스의 재활용 및 자원화의 다양성을 제시하기 위한 실험을 행하였다. 소성한 발포재의 경우 장석은 소성온도에서 용해되어 비정질상으로 전이하고 드로스 중의 성분들이 Spinel($MgAl_2O_4$)을 형성한다. 장석 55 wt%, 드로스 40 wt%, 벤토나이트 5 wt% 시료의 경우 소성온도 1220°C에서 소성시간이 증가할수록 밀도는 0.91에서 0.65까지 감소하고, 흡수율은 약 2.5에서 1.7%의 범위의 값을 나타냈다. 1220°C에서 30분 소성할 경우 굽힘강도는 10.8 MPa이며, 열전도도는 0.34 W/m·K로서 최대치를 나타냈다.

ABSTRACT

Recycling of aluminum dross is a significant issue in domestic aluminum industry. In this study, formed ceramic materials were prepared using aluminum dross mixed with feldspar powders to investigate its application as industrial materials and utilization of aluminum dross. In the prepared sample, feldspar was melted at the sintered temperature, and its phase was transformed into amorphous, and spinel ($MgAl_2O_4$) phase in the dross was remained clearly. Density of the test specimen increased from 0.91 to 0.65 gr/cm^3 and water absorbance decreased from 2.5 to 1.7% with increasing of sintered time at the sintered temperature 1220°C with composition of feldspar 55 wt%, dross 40wt% and bentonite 5 wt%. At the same experimental conditions, bending strength of the test specimen was 10.8 MPa, and heat conductivity was 0.34 W/m·K with sintered time 30 minutes.

Key words: Formed ceramic materials, aluminum dross, feldspar

1. 서 론

급격한 산업 및 생활의 발달로 인하여 폐기물의 발생이 급격하게 증가되고 있으며, 또한 폐기물에 의한 환경오염이 큰 사회적인 문제로 대두되고 있다. 특히 산업체에서 발생하는 폐기물의 재활용 및 자원화에 대한 관심이 확대되어 이에 대한 연구가 계속되고 있는 실정이다. 알루미늄 지금 또는 스크랩을 이용하여 판, 봉 등 가공품을 생산하고있는 국내의 알루미늄 용해업체에서

발생되고 있는 드로스는 연간 약 2만여톤 정도로서¹⁾ 이에 대한 처리대책 마련이 시급한 실정이다. 현재는 재활용에 의한 잔류 알루미늄을 회수하고 나머지는 매립하고 있는 실정에 있다. 하지만 이들 알루미늄 드로스는 주성분인 알루미나(Al_2O_3)가 80%이상 함유되어 있어 재활용 및 자원화의 관점에서는 매우 유용한 폐기물이다. 한편 이들 폐기물을 대량으로 재활용하기 위해서는 건자재용으로서의 사용이 가장 현실성이 있는데, 그 중에서 세라믹 경량 벽돌은 일반 벽돌과는 달리 세라믹원료와 기포로 구성하도록 제조 가공된 경량 발포재의 일종으로 세라믹 골격 내에 형성된 미세한 기공으로 인

* 2001년 7월 1일 접수, 2001년 7월 25일 수리

* E-mail: parkhk@kigam.re.kr

하여 특히 경량성, 단열성에 있어서 우수한 기능을 발현하게 되어 각종 상업용 로제 및 건축용 자재로서 각광받고 있는 부가가치 높은 신소재제품이다. 하지만 현재의 무기발포 건자재의 경우 주로 발포유리²⁾등의 국내에서 공급이 어려운 원료를 이용하여 만들어지고 있으며, 이들 유리발포 제품은 사용온도범위가 유리의 연화점 이하이어야 하는 점과 강도가 낮은 단점을 지니고 있으며, 또한 유리발포재를 비롯한 발포재들은 주원료의 자체반응에 의한 발포가 아닌 카본, PVA³⁾등의 발포를 위한 가연물질을 첨가하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 알루미늄 드로스와 대표적인 국내 비금속 광물의 하나인 장석을 이용하여 가연 첨가물이 필요없는 발포성 무기물의 형성 가능성을 검토하여 알루미늄 드로스의 재활용 및 자원화의 다양성을 제시하고자 한다.

2. 실험방법

알루미늄 드로스 및 장석을 이용한 발포세라믹 타일의 제조 모식도를 Fig. 1에 나타내었다. 제조공정은 먼저 장석을 드로스와 혼합하는데, 이때 점결력을 향상시키기 위하여 벤토나이트를 첨가하였다. 혼합원료는 상온에서 약 2000 psi의 압력으로 압분하여 약 1200°C 이상의 온도에서 소성하였다. 제조된 시편의 분석은 X선 회절 장치(D/max IIA, Rigaku)를 사용하여 원료분말의 상 분석 및 소성 시편의 결정상을 분석하였다. 시편의 겔보기밀도는 아르키메데스법을 사용하여 5개 시편의 값을 평균하여 구하였다. 또한 굽힘강도 열전도도, 흡수도 등은 KS규격(KS F 4419-2001)에 의거 건자재 시험원에 의뢰하여 평가하였다.

3. 원료분말

본 실험에서 사용된 장석 및 드로스 원료분말의 조성 분석 결과를 Table 1에 나타내었다. 장석의 경우는 부여소재(주)의 미분쇄 처리한 시료를 사용하였는데, 본 실험의 경우 반응성 및 장석의 용융을 촉진하기 위하여

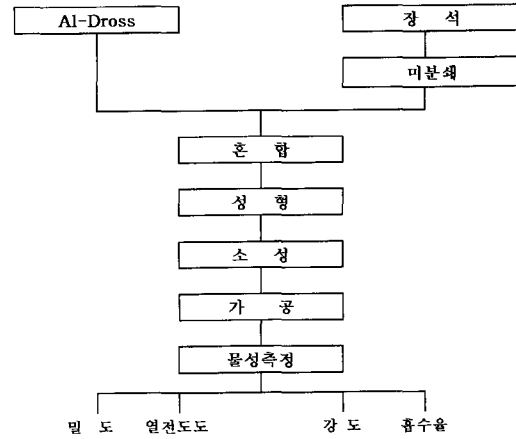


Fig. 1. Preparation process of formed ceramic materials by recycling of aluminium Dross.

장석의 평균입도(d₅₀)를 약10 μm이하로 미분쇄하여 사용하였다. 드로스의 경우 알루미늄 드로스에서 금속알루미늄을 알칼리 수용액에 의하여 분리회수하는 공정을 거친 잔사이며, 평균입도는 약10 μm정도이며, 900°C에서 건조공정을 거친 후 사용하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 소성에 의한 상변화

Fig. 2은 본 실험에 사용한 장석 및 드로스 혼합분말과 1250°C에서 소성한 발포세라믹의 XRD분석 결과를 나타내고 있다. 소성한 발포재의 경우 장석성분은 소성 온도에서 거의 용해되기 때문에 비정질상으로 전이하고 드로스 중의 성분들이 Spinel(MgAl₂O₄)을 형성하고 있다는 것을 알 수 있었다. 이러한 상변화를 통하여 장석의 일반 비용용 소결과 달리 용융에 의한 분말 입자간의 취성이 제거, 비정질상의 형성으로 인한 계면취성의 최소화, 비정질 기지상중의 Spinel상의 분산에 의한 강화 등으로 인하여 발포재이면서도 고강도를 나타내게 하는 원인이 된다고 추측된다.

Table 1. Chemical composition of aluminum dross and feldspar

성분 (wt%)	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	Ig-loss
장석	73.2	15.5	0.06	0.35	0.01	6.90	3.35	-	-	0.61
드로스	1.45	84.46	0.64	0.48	10.0	1.15	0.03	0.78	0.02	-

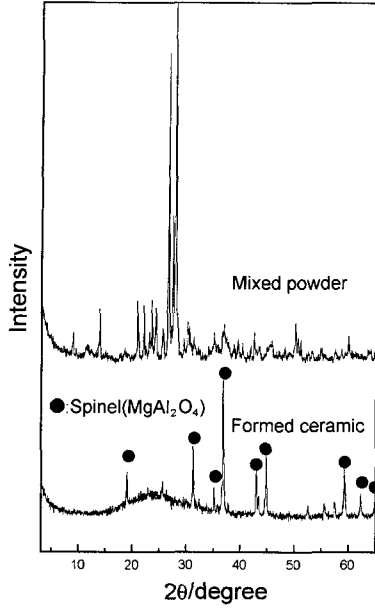


Fig. 2. XRD patterns of mixed powder and sintered formed material

4.2. 조성 및 소성조건 변화에 의한 영향

본 실험에서는 드로스 및 장석의 조성변화와 bentonite 첨가여부, 소성온도, 소성시간의 변화에 따른 밀도의 변

Table 2. Density of formed sample according to variations of composition, temperature and time

조 성 (wt%)			온도 (°C)	시간 (min)	밀도 (g/cm ³)
드로스	장석	Bentonite			
20	80	-	1240	60	1.100
40	60	-	1250	180	0.619
	50	10	1240	180	0.596
50	40	20	1240	60	0.584
	50	-	1240	180	0.561
55	40	10	1240	180	0.619
	40	5	1240	60	0.595
	40	5	1250	30	0.571
	40	5	1240	30	0.691
	40	5	1230	30	0.870
	40	5	1220	30	0.936
40	5	1210	30	1.054	

화를 조사하였으며, 그 결과를 Table 2에 나타내었다. 장석의 양이 80 wt% 이상이 되면 밀도는 1.0 이상이 되며 소성온도가 상승하고 소성 시간이 길어지면 밀도는 감소하였다. 따라서 발포재의 강도 및 흡수율을 고려하

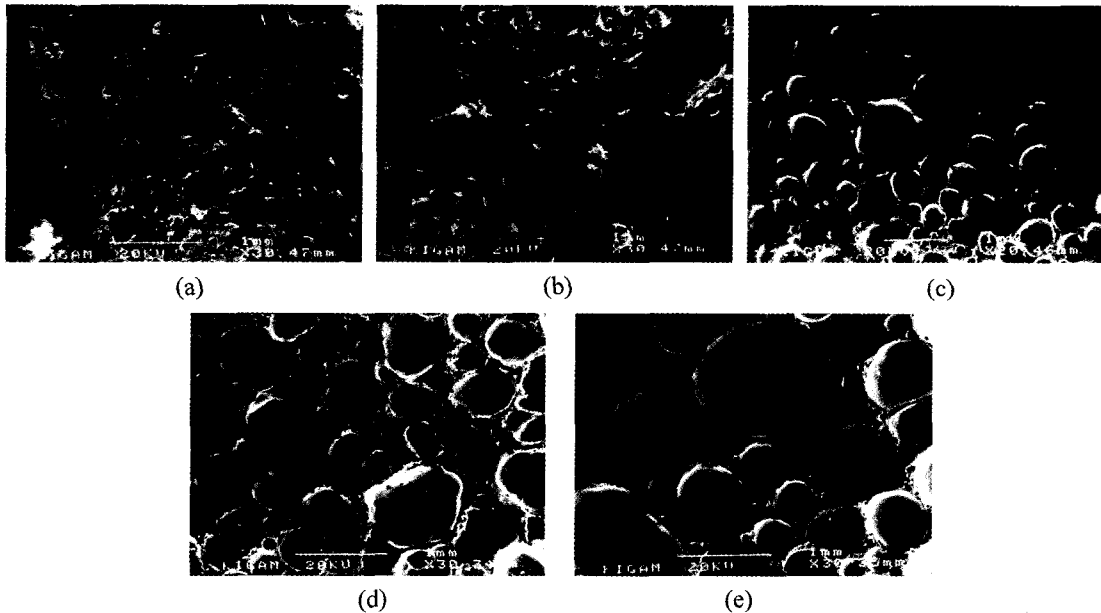


Photo 1. Variation of microstructure of the product according to the temperature of (a)1210°C, (b)1220°C, (c)1230°C, (d)1240°C and (e)1250°C

면 장식의 양을 증가시키는 것이 바람직하지만, 열전도도 및 드로스의 대량 처리의 측면에서는 드로스양을 증가시키는 것이 타당하다고 생각되어진다. 또한 동일 표면적일 경우 기포의 크기가 작을수록 강도 및 기타물성이 좋아질 것으로 추측된다. 따라서 소성조건은 온도가 낮고 소성시간이 길수록 고강도, 낮은 흡수율과 낮은 열전도도의 발포재로서의 특징이 발현될 수 있을 것으로 생각된다. Photo. 1 은 소성온도에 따른 발포재의 미세구조를 나타내고 있다. 소성온도가 1220°C이하에서는 기포발생이 불균일하지만 그 이상의 온도에서는 구형의 기포가 발생하고 있다는 것을 알 수 있다. 미세조직에서 알 수 있듯이 작은 기포들이 합쳐져서 큰 기포로 성장하고 있으며, 큰 기포들의 사이에는 작은 기포들이 존재하고 있고, 소성온도가 상승함에 따라서 기포의 크기도 성장하고 있다. 한편 1220°C에서 소성한 발포재도 겉보기 비중이 0.94을 나타냈으나, 1210°C에서 소성한 경우는 기포가 성장하기에 불충분한 온도 및 시간이기 때문에 비중도 1.10이며, 미세구조에서도 기포가 매우 불균일하게 생성되어 있다는 것을 알 수 있다. 한편 1230°C에서 소성한 경우 기포가 거의 완전한 형태의 구형을 형성하게 되는데, 기포의 직경을 약 0.6 mm이며, 1240°C에서는 0.8 mm, 1250°C에서는 1.1 mm로 성장하고 있는 것을 알 수 있다.

4.3. 소성시간에 따른 특성변화

위의 소성온도에서 기포가 완전히 성장하기 직전의 온도인 1220°C로 고정하고 소성시간을 변화 시켰을 때의 밀도, 굽힘강도, 흡수율, 열전도도 등을 측정하였다. 즉, 기포의 성장속도를 최대한 억제하여 기포의 표면적은 일정하게 하고 기포의 수를 증가시킴으로써 강도 및 기타물성을 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다.

Table 3 은 1220°C에서 소성시간을 변화시켰을 때의

Table 3. Density and water absorbance of formed sample according to the sintering time at 1220°C

조 성 (wt%)			온도 (°C)	시간 (min)	밀도 (g/cm ³)	흡수율 (%)
도로스	장식	Bentonite				
55	40	5	1220	30	0.910	2.5
				60	0.784	1.7
				90	0.729	2.3
				120	0.693	1.9
				180	0.653	1.7

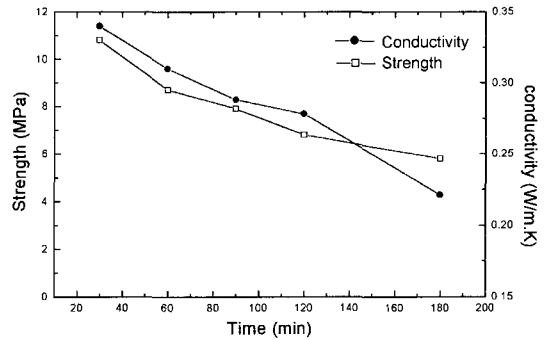


Fig. 3. Effects of the sintering time on bending strength and heat conductivity of formed samples.

밀도 및 흡수율 변화를 나타내고 있다. 이 결과로부터 알 수 있듯이 소성시간이 증가할수록 밀도는 0.91에서 0.65까지 감소하는데, 이는 시간이 경과함에 따라서 생성 기포수가 증가하기 때문으로 생각되며, 본 소성 조건에서 온도는 1220°C로 저온에서 소성 하였기 때문에 용융상태의 유동성이 비교적 낮을 것으로 추측되므로 기포의 성장 보다 생성이 반응을 주도하여 밀도를 저하시킨 것으로 판단된다. 한편 흡수율의 경우 특별한 경향을 나타내지는 않았는데, 약 2.5에서 1.7%의 범위의 값을 나타내었다. 위의 미세구조 관찰에서 알 수 있듯이 발생한 기포는 내부에서 화학적 반응에 의한 가스성분의 방출에 의한 결과로 보인다. 이로 인하여 기포 그 자체는 닫힌기포를 형성하고 있고 기포간의 기지물결은 장식의 용융에 의하여 이루어져 있기 때문에 발포재의 내부까지 수분이 침투하기 불가능하여 흡수율이 대단히 낮은 것으로 판단된다.

Fig. 3 은 1220°C에서 소성시간의 변화에 의한 굽힘강도와 열전도도의 변화를 나타낸 것이다. 이 결과에서 알 수 있듯이 소성시간이 증가할수록 기포의 크기는 커져서 겉보기 밀도가 감소하게 되며 그 영향으로 강도는 감소하며, 닫힌기포를 형성하기 때문에 열전도도도 감소하게 된다고 생각된다. 굽힘강도는 1220°C에서 30분 소성할 경우 10.8 MPa이며, 열전도도는 0.34 W/m·K 로서 최대치를 나타내었다. 소성시간이 증가한 180분에서는 굽힘강도 5.8 MPa, 열전도도 0.22 W/m·K까지 감소한다.

Photo 2 는 소성온도 1220°C에서 소성시간에 따른 발포재의 미세구조의 변화를 나타내고 있다. 소성시간이 증가할수록 기포도 성장하고 있다는 것을 알 수 있는데, 30분 소성한 경우는 거의 완전한 구형의 기포로

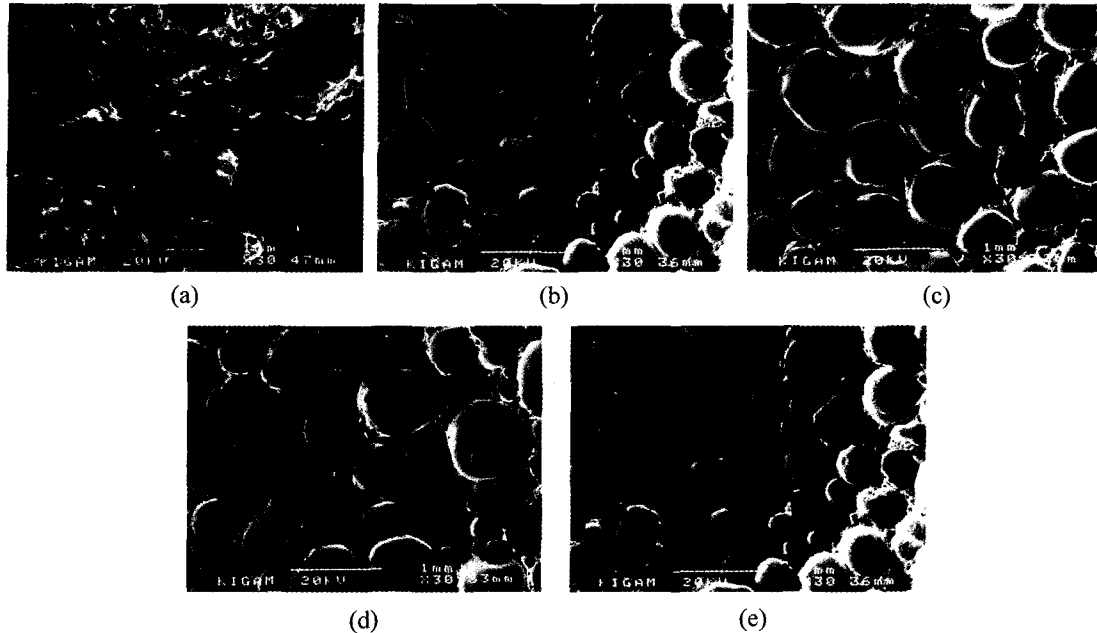


Photo 2. Variation of microstructure of formed samples according to the time at 1220, (a) 30 min, (b) 60 min, (c) 90 min, (d) 120 min and (e) 180 min

성장하지 못하고 있는데, 이는 장석성분이 충분히 용해되지 못하였기 때문으로 생각된다. 한편 소성시간이 60분이 되면 기포는 거의 완전한 구형을 형성하게 되는데, 기포의 직경은 약 0.6 mm 정도로 성장하고 있다. 소성시간 90분의 경우 기포의 직경이 약 0.8 mm, 120분에서는 0.9 mm, 180 분에서는 1.2 mm으로 성장하게 된다.

5. 결 론

알루미늄 드로스와 비금속 광물인 장석을 이용한 발포재 제조를 위한 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 소성한 발포재의 경우 장석성분은 소성온도에서 용해되어 비정질상으로 전이하고 드로스 중의 성분들이 Spinel($MgAl_2O_4$)을 형성한다는 것을 알 수 있었다.
2. 장석 55 wt%, 드로스 40 wt%, 벤토나이트 5 wt%의 조성에서 1210°C 및 1220°C, 30분 소성한 경우는 기포가 성장하기에 불충분한 온도 및 시간이기 때문에 비중도 1.10 및 0.94이지만, 1230°C에서 소성한 경우 기포의 직경은 약 0.6 mm이며,

1240°C에서는 0.8 mm, 1250°C에서는 1.1 mm로 성장하였다. 1220°C에서 30분 소성할 경우 굽힘강도는 10.8 MPa이며, 열전도도는 0.3399 W/m·K로서 최대치를 나타냈다.

3. 본 연구에서 제조된 발포재는 방수, 보온, 내열, 고비강도 등의 특징을 나타내고 있으며, 원료수급이 용이하고 제조 공정이 간단하기 때문에 건축용 자재, 내화재 등에 널리 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부의 “산업폐기물 재활용 기술개발 사업”의 일환으로 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. “리사이클링 백서”, 한국리사이클링 학회, p116 (1999).
2. 현부성 : “폐유리를 원료로한 전자재 개발”, 세라미스트, 제2권 제1호, 22-26 (1999).
3. C. M. Riley : “Relation of Chemical Properties to the Bloating of Clays”, J.Am. Ceram Soc., 34,121 (1951).



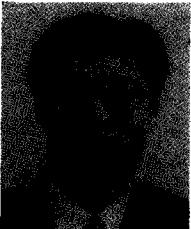
朴 帝 信

- 전북대 금속공학과 학사
- 전북대 금속공학과 석사
- 일본 동북대 재료물성전공 박사
- 현재 한국지질자원연구원 자원활용 연구부



朴 馨 圭

- 서울대 금속공학과 학사
- 서울대 금속공학과 석사
- 서울대 금속공학과 박사
- 현재 한국지질자원연구원 자원활용 연구부



張 大 圭

- 국민대 금속공학과 학사
- 충남대 금속공학과 석사
- 충남대 금속공학과 박사
- 현재 한국지질자원연구원 자원활용 연구부