

논문

알루미늄 캔 스크랩의 고품위 재활용을 위한 발포금속의 제조

하원[†] · 김세광* · 김영직

성균관대학교 신소재공학과

*한국생산기술연구원 신소재본부 나노소재팀

Fabrication of Aluminum Foams for High Profit Recycling of Aluminum Can Scraps

Won Ha[†], Shae-Kwang Kim*, and Young-Jig Kim

Dept. of Advanced Materials Engineering, Sungkyunkwan University

*Nano Material Team, Advanced Material Center, KITECH

Abstract

The main emphasis of this study is to optimize the process variables for manufacturing aluminum foam materials by direct foaming of remelted aluminum scraps. Aluminum foams were fabricated from two different raw materials, pure aluminum and used beverage cans. For both cases, TiH_2 was used as a foaming agent. Calcium was added as a thickener for the foaming of pure aluminum and no thickener was added for that of used beverage cans because the pre-existing oxides of the used beverage cans are used as a thickener. Calcium and TiH_2 content varies from 0.5 wt.% to 2.0 wt.% and from 0.5 wt.% to 1.5 wt.%, respectively. The processing conditions, such as the effect of calcium on the melt viscosity, foaming temperature, and the optimum amount of the foaming agent with regard to the melt viscosity were discussed.

Key words : Aluminum, Foam metal, High profit recycling, Melt route foaming, Used beverage cans.

(Received July 10, 2005; Accepted August 30, 2005)

1. 서 론

1987년 일명 브룬틀란트 보고서로 알려진 “Our Common Future”가 출간되어 전 세계적으로 널리 알려지게 된 “환경적으로 건전하며 지속가능한 발전, ESSD (Environmentally Sound and Sustainable Development)”의 개념을 바탕으로 자원의 이용, 투자의 방향, 기술의 발전, 제도의 변화 등이 지속적으로 이루어지고 있다[1]. 재료공학 분야에서도 지속가능한 발전의 개념을 도입하여, 환경친화적 재료·공정의 개발 및 개선, 재료·공정의 환경영향평가, 부품의 재사용(Reuse) 및 재활용(Recycling) 등에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다. 이러한 연구 분야 중 국내의 부족한 에너지 및 부존자원, 심각한 폐기물 처리문제 등을 고려해 볼 때, 가장 중요하면서도 단기간에 큰 가시적 성과를 기대할 수 있는 부분은 부품의 재활용이며, 이에 대한 연구가 시급한 실정이다.

일반적으로 재활용이라 함은 사용 후 폐기되어진 부품 또는 재료에 일정한 처리를 가하여 사용전과 동일하거나 비슷한 수준의 제품을 재생산하는 일련의 공정을 의미하며, 이는 전통적인 의미의 closed-loop recycling을 뜻한다. 반면 open-loop recycling은 재활용을 위한 일정한 처리의 목적이 사용전과 동

일하거나 비슷한 수준의 제품이 아닌, 새로운 용도의 제품 또는 사용 전보다 우수한 성능의 제품을 생산하는 것으로서 고품위 재활용(high profit recycling)이라 한다. 알루미늄 캔 스크랩의 재활용은 재활용 역사상 가장 성공적인 재활용 사례로 평가받고 있으며, 2002년을 기준으로 전체 캔 생산량의 50% 이상이 캔으로서 재활용되고 있다. 알루미늄 캔 스크랩의 재활용에 필요한 에너지는 보크사이트 원광석으로부터 1차 지금을 생산하는데 필요한 에너지의 1/20에 불과하며, 1차 지금 생산 설비에 비하여 비교적 저렴한 투자로 동일한 수준의 제품을 얻을 수 있으므로 경제적, 환경적으로 대단히 유용하다[2,3]. 현재 알루미늄 캔 스크랩의 재활용은 대부분 closed-loop로 이루어지고 있으나, 재활용률이 대단히 높은 알루미늄 캔을 open-loop의 고품위 재활용 방식으로 처리할 경우 저가의 원료를 사용하여 고부가가치의 상품을 제조할 수 있다.

발포금속은 고체상(알루미늄 등)과 기체상(수소, 공기 등)이 공존하는 복합구조의 특성으로 인하여 경량성, 충격흡수성, 내열성, 방열성, 흡음성 등 우수한 기계적, 물리적 특성을 보유하고 있고, 각종 건축자재, 경량화 차체, 우주항공 및 군사재료 등 많은 분야에 적용되고 있다[4]. 발포금속은 폐포형(closed cell)과 개포형(open cell)의 두 가지 형태로 분류할 수 있으며,

[†]E-mail : hawon74@empal.com

제조방법의 용이성, 적용분야, 생산성 등을 고려할 때 폐포형 발포금속의 사용이 지속적으로 증대될 것으로 예상된다. 폐포형 발포금속의 제조방법 중 가격측면, 생산성 측면에서 비교우위에 있는 용탕발포방식은 현재 일본의 신강강선공업주식회사와 캐나다의 CYMAT사에서 개발, 제품 생산 중에 있으며, 이 중 신강강선공업주식회사의 제품이 셀의 등방성으로 인한 고른 기계적 특성, 저렴한 설비투자비 등 장점을 갖고 있다. 신강강선공업의 알루미늄 발포금속은 알루미늄 용탕에 증점제로서 칼슘을 첨가하여 용탕의 점도를 증가시키고, 발포제로서 TiH₂를 첨가하여 용탕 중에 기포를 발생시킨 후 응고시킨다. 발생된 기포의 상승 및 외부로의 유출을 방지하고, 기포를 구형으로 유지시키는 역할을 하는 것은 신강강선공업의 경우 CaO, CYMAT의 경우 SiC 또는 Al₂O₃이며, 발포공정에 있어서 가장 핵심적인 부분이다[5-7].

본 연구에서는 알루미늄 캔 스크랩의 표면에 이미 존재하는 알루미늄 산화물을 기포의 상승 억제 및 기포 안정화제로서 이용하고자 한다. 전체적인 발포공정은 신강강선공업의 생산방식에 기반을 두고 있으나, 칼슘이나 SiC 또는 Al₂O₃ 등의 추가적인 증점·기포 안정화제 없이 알루미늄 캔 스크랩 용탕 중에 TiH₂ 만을 투입하여 고기능성 폐포형 알루미늄 발포금속 제조가능성을 확인하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1 용융금속의 점도측정

발포제로부터 생성된 수소기포가 용탕외부로 유출되지 않고 용탕 내부에서 안정화되어 셀을 이루도록 하기 위해서는 용탕이 적절한 점도를 유지해야 한다. 신강강선공업 알루미늄 발포금속의 생산 시 적절한 점도는 용탕온도 680°C, 칼슘함량 1.0~1.5wt.%인 경우에 확보되므로, 알루미늄 캔 스크랩 용탕의 점도를 측정하고 그 값을 알루미늄-칼슘(0~2wt.%) 용탕의 점도와 비교하였다. 점도측정에 사용된 합금의 양과 측정온도는 각각 200 g, 680°C이다. 합금 점도측정에 사용된 고온점도계는 Scarle-type 고온 점도계이며, Fig. 1에 나타내었다. Torque meter(Ono sokki, SS-005)에 연결된 graphite cylinder는 graphite crucible과 4mm의 간격을 유지하고 300rpm의 속도로 회전하며, crucible과 cylinder 사이에서 용탕의 회전으로 인해 발생하는 힘, torque를 측정한다. 측정된 torque는 digital torque converter(Ono sokki TS-2600)에 의해 변환되며, PC에 연속적으로 저장된다. Graphite crucible은 cylinder의 회전 시에도 정확한 위치와 고른 온도분포를 확보하기 위해 steel supporter 내부에 위치시켰다. 용탕의 온도 측정 시 열전대로 인하여 용탕의 흐름이 방해받지 않게 하기 위해 graphite crucible 내부에 열전대를 삽입하여 측정하였으며, 열전대와 용탕과의 간격은 2 mm이다. 측정된 torque는 다음의 식을 이용하여 점도로 환산하였다.

Graphite cylinder 측면에 가해진 torque:

$$T_s = \frac{\pi^2 r^3 \eta h N}{15a} \quad (1)$$

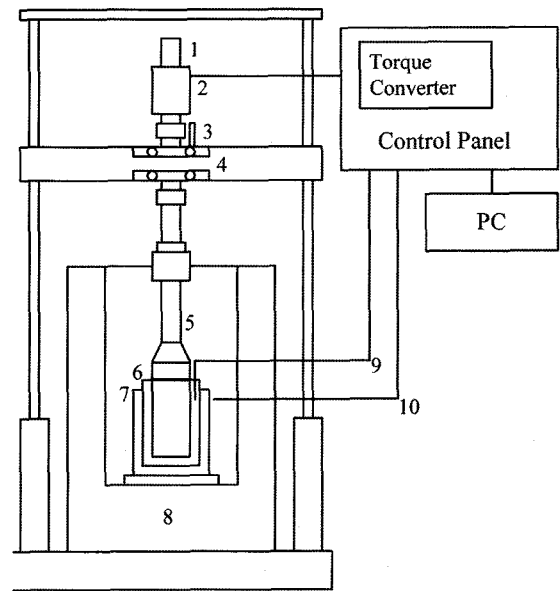


Fig. 1. Schematic illustration of the high-temperature viscometer system used (1) AC servo motor (2) torque meter (3) magnetic pickup and teeth wheel (4) bearings (5) stirrer (6) graphite crucible (7) steel supporter (8) furnace (9) thermocouple 1 (10) thermocouple 2.

Graphite cylinder 하부면에 가해진 torque:

$$T_b = \frac{\eta \pi^2 N r^4}{60b} \quad (2)$$

Cylinder 전체 면에 가해진 torque, Tt=Ts+Tb이며, 환산된 점도는

$$\eta = \frac{15T_t}{\pi^2 r^3 N \left(\frac{r}{4b} + \frac{h}{a} \right)} \quad (3)$$

r = graphite cylinder 반경(0.026 m)

N = cylinder 회전 rpm(300 rpm)

a = cylinder와 crucible 측면 간격(0.004 m)

b = cylinder와 crucible 하부면 간격(0.005 m)

h = 용탕의 높이(0.1 m)

2.2 알루미늄-칼슘 합금, 알루미늄 캔 스크랩 발포금속의 제조 및 분석

알루미늄 캔 용탕의 직접 발포에 앞서서, 순 알루미늄(ALCAN, 99.9%)과 칼슘(Junsei Chemical, 99.5%), TiH₂(Sejong Materials, 325mesh)를 이용하여 용탕발포방식의 최적조건을 확인하였다. 약 1 kg의 순 알루미늄을 Al₂O₃로 코팅된 steel crucible에 장입하여 670, 680, 690°C에서 각각 용융시켰다. 0.5~2.0wt.%의 칼슘을 용탕에 투입하고 500 rpm으로 15분 동안 교반하여 용탕의 점도를 상승시킨 후, 용탕 교반 속도를 1,000 rpm으로 상승시켜 0.5~1.5 wt.%의 TiH₂를 투입하였다. 도가니는 용탕의 충분한 발포를 위하여 로 내부에 1~5분 동안 위치시켰으며, 발포 후 water spray로 즉시 냉각시켰다.

다. 알루미늄 캔 스크랩을 이용한 발포의 경우, 500°C에서 10분간 탈라커처리(delacquering)를 행한 스크랩을 냉간압착하여 원재료로서 사용하였다. 약 1 kg의 압착 스크랩을 Al_2O_3 로 코팅된 steel crucible에 장입하여 670, 680°C에서 각각 용융시켰다. 칼슘 등의 증점제는 추가로 투입되지 않았으며, 스크랩 표면의 산화물을 용탕내로 고르게 분산시키기 위하여 용탕을 500rpm의 속도로 5~18분간 교반시켰다. 이후의 발포제 투입, 발포, 응고과정은 알루미늄-칼슘 합금 발포 공정과 동일하다. 제조된 발포금속은 발포체의 밀도측정 후 종단면을 절단하여 셀의 형상, 분포, 크기, 용융금속의 drainage 관찰, 셀 표면의 산화물 성분분석 등을 OLYMPUS PME3 광학현미경과 PHILIPS XL30 SEM-EDS로 행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 용융금속의 점도측정 결과

Fig. 2에 알루미늄-칼슘(0, 0.5, 1, 2wt.%)합금과 알루미늄 캔 스크랩 용탕의 점도측정결과를 나타내었다. 알루미늄-칼슘 합금의 경우 칼슘 함량의 증가와 측정시간의 증가에 따라 용탕의 점도가 증가하였다. 칼슘은 고온의 알루미늄 용탕에 첨가되어질 경우 높은 산소와의 친화력으로 인하여 우선 산화되어 첨가된 칼슘의 대부분이 CaO를 형성하며, 일부는 $CaAl_2O_4$ 를 형성하여 혼입되므로 용탕의 점도를 증가시킨다[6]. 또한 측정 시간이 길어짐에 따라 알루미늄의 산화가 진행되어 용탕의 점도가 증가하게 된다. 스크랩의 경우 측정 초기에 매우 급격한 점도의 증가가 관찰되었으며, 약 1,500초 이후부터 안정적인 값을 보였다. 측정 초기 급격한 점도상승에 대한 정확한 원인은 확인할 수 없으나 측정에 사용된 원재료가 500°C에서 10분간 탈라커 처리된 후 냉간 압착된 재료임을 감안할 때 스크랩 표면의 산화물에 의한 것으로 보인다. 즉, 측정에 사용된 graphite cylinder는 정확한 점도의 측정을 위해 매우 낮은 표면조도를 갖도록 제작된 것으로 회전 시 용탕의 교반효과가 거의 없다. 스크랩은 냉간 압착되어있는 상태이므로 산화물의 층과 층이 겹쳐있고, 교반효과가 없는 graphite cylinder는 산화물을 용탕내로 고르게 분산시킬 수 없다. 따라서 용탕내로 고르게 분산되지 못하고 응집된 상태의 산화물은 graphite cylinder의 회전에 저항하며 용탕의 점도는 실제 점도와 달리 높게 측정되는 것으로 판단된다. 점도 측정치가 안정되는 1,500초 이상의 점도결과에서 알 수 있듯이 스크랩 용탕의 점도는 순 알루미늄, 알루미늄-칼슘 합금보다 높다. 신강강선공업 발포금속 제조 시 첨가되는 칼슘의 양이 1.0~1.5wt.%임을 고려할 때 알루미늄 캔 스크랩의 점도는 발포 공정 시 수소기포의 상승을 억제하고 셀을 안정화 시키는데 충분한 것으로 판단된다. 또한 필요에 따라 추가적인 순 알루미늄의 첨가로 점도변화가 가능하다.

3.2 알루미늄-칼슘 합금 발포금속의 구조

Fig. 3에 칼슘 첨가량에 따른 발포양상의 변화를 알루미늄-칼슘 합금 발포금속의 종단면을 통해 나타내었다. 모든 발포금속은 1.0wt.%의 TiH_2 로 발포되었으며, 발포온도는 680°C,

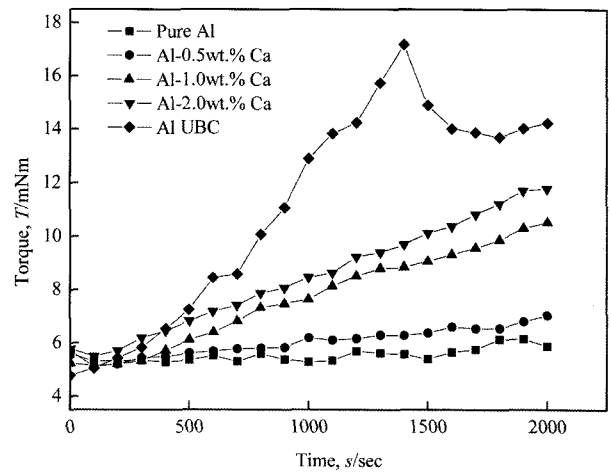


Fig. 2. Torques of the molten samples sheared at 300 rpm at 680°C.

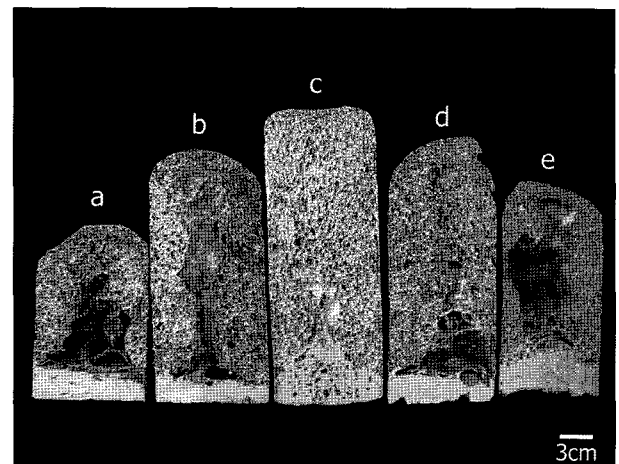


Fig. 3. Foamed structures of Al-Ca alloys baked at 680°C (a) Al-0.5wt%Ca-1.0wt% TiH_2 , (b) Al-1.0wt%Ca-1.0wt% TiH_2 , (c) Al-1.2wt%Ca-1.0wt% TiH_2 , (d) Al-1.5wt%Ca-1.0wt% TiH_2 , (e) Al-2.0wt%Ca-1.0wt% TiH_2 .

발포시간은 5분이다. 그림에서 a는 Al-0.5wt.%Ca, b는 Al-1.0wt.%Ca, c는 Al-1.2wt.%Ca, d는 Al-1.5wt.%Ca, e는 Al-2.0wt.%Ca 합금이다. 발포에 의한 부피 팽창률이 가장 높은 것은 Al-1.2wt.%Ca 합금으로서 약 554%이며, d, b, e, a의 순서로 각각 488%, 469%, 393%, 322%이다. 칼슘의 양이 상대적으로 적은 a의 경우 용탕의 점도가 낮으므로 투입된 TiH_2 가 용이하게 용탕 내부로 유입되는 것을 관찰할 수 있었으나, 점도가 낮은 용탕은 기포의 상승을 효과적으로 억제하지 못하여 TiH_2 투입 직후 상당량의 수소기포가 용탕 외부로 다시 유출되어 발화하는 것을 관찰할 수 있었다. 칼슘의 양이 상대적으로 많은 e의 경우 용탕의 높은 점도로 인하여 투입된 TiH_2 의 용탕 내부 유입이 상대적으로 용이하지 못한 것을 관찰할 수 있었으며, 용탕 내부로의 유입 전에 일부 TiH_2 가 발화되는 것을 확인하였다. 적정 점도에 보다 근접한 b, d의 경우 a, e보다 상기와 같은 경향이 덜하였으나 부피 팽창률이 c보다 상대적으로 낮으며 내부에 큰 기공이 존재하는 것을 알 수 있다. 부피 팽창률이 가장 높은 c의 경우 내부의 셀 형상

이 다른 조건에 비하여 균일하고 응고가 가장 늦게 진행되는 시료 중앙부의 기공 크기가 상대적으로 작으며, TiH₂ 혼입의 용이성, 발포 시 수소가스의 용탕 외부 유출 등의 경향이 a, b, d, e에 비하여 우수하였다. 발포 시 증력에 의해 발생하는 metal drainage가 a~e의 모든 시료에 대해 관찰되었다. c의 경우는 다른 시료와 달리 metal drainage 부분에서도 기포가 관찰되어 상대적으로 우수한 발포양상을 보였다. 본 실험에서는 metal drainage의 발생을 최소화 시키고자 교반자의 위치를 도가니 하부에서 1 cm의 간격을 두고 위치시켰으며, 교반자의 위치, 교반속도 등 교반 조건이 동일한 상태에서 상대적으로 c 시료의 metal drainage가 타 시료보다 우수한 발포양상을 보인 것은 적정 Ca 첨가량에 기인한 것으로 판단된다.

Fig. 4는 Al-1.2wt.%Ca합금에 TiH₂의 첨가량을 변화시킨 발포체의 종단면이다. 발포온도는 680°C, 응고시간은 5분으로 동일하다. a는 0.5wt.%의 TiH₂로 발포된 시료, b, c는 각각 1.0wt.%와 1.5wt.%이다. 발포체의 양이 적은 a의 경우 부피 팽창률이 가장 낮았으며 내부에 존재하는 셀의 개별 크기가 상대적으로 작은 반면, 발포체의 양이 1.5wt.%로 많은 c의 경우 내부에 존재하는 셀의 개별 크기가 상대적으로 큰 것을 확인할 수 있다. 시료 c의 발포 공정 중 TiH₂가 투입된 직후 상당량의 수소가스가 용탕외부로 유출되어 발화되는 것이 관찰되었으며, 이후 용탕의 팽창 중에도 상당량의 수소가스가 용탕 내부로부터 배출되어 발화되면서 발포체가 붕괴되는 현상이 관찰되었다. 반복 실험 중에도 TiH₂ 첨가량이 많은 시료 c의 경우 발포 시 과도한 수소가스 발생으로 인하여 발포체의 팽창-붕괴가 2회 또는 3회 반복되는 것이 관찰되었다.

Fig. 5에 Al-Ca(0.5~2.0wt.%)TiH₂(0.5~1.5wt.%) 시료의 밀도를 나타내었다. 발포체의 밀도, 내부 셀의 형상, 최종 응고 부분의 기공 등을 고려할 때 Al-1.2wt.%Ca- 1.0wt.%TiH₂ 시료가 가장 적합한 발포조성임을 확인할 수 있다.

3.3 알루미늄 캔 스크랩 발포금속의 구조

알루미늄-칼슘 발포금속의 제조 조건 최적화를 통해 도출된

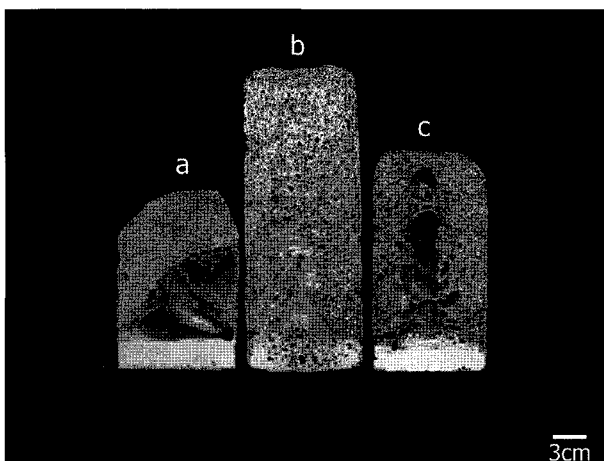


Fig. 4. Foamed structures of Al-Ca alloys baked at 680°C (a) Al-1.2wt.%Ca-0.5wt.%TiH₂, (b) Al-1.2wt.%Ca-1.0wt.%TiH₂, (c) Al-1.2wt.%Ca-1.5wt.%TiH₂.

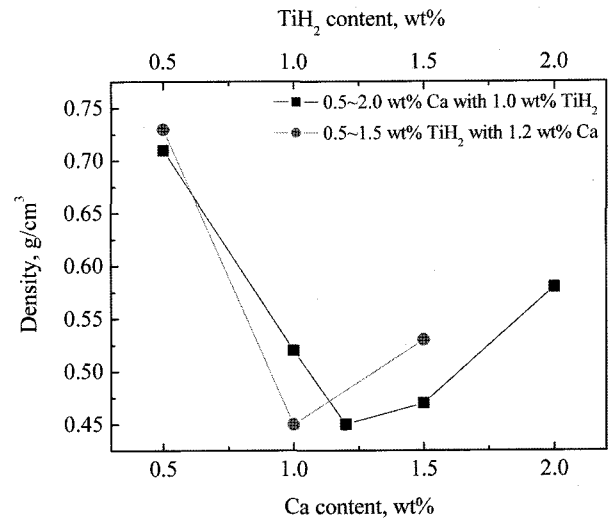


Fig. 5. Density variation of Al-Ca foams with Ca or TiH₂ contents.

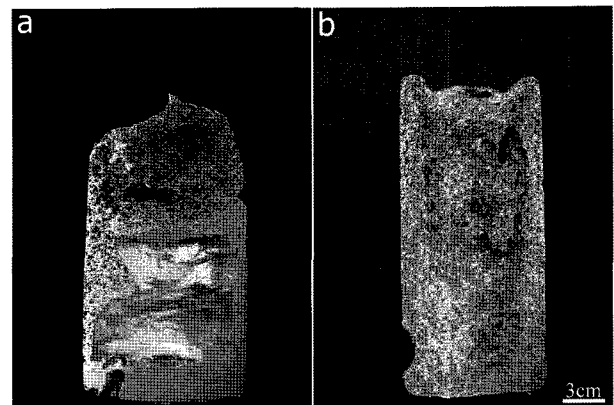


Fig. 6. Foamed structures of aluminum can scraps (a) Al scrap-1.0wt%TiH₂ at 680°C (oxide dispersing time of 5 minutes), (b) Al scrap-1.0wt%TiH₂ at 670°C(oxide dispersing time of 18 minutes)

조건을 바탕으로 알루미늄 캔 스크랩 발포금속을 제조하였다. 캔 스크랩의 modulus(surface area to volume ratio)는 50.39 cm⁻¹이며 알루미늄-칼슘 발포금속의 발포경향을 기초로 하여 TiH₂의 양은 1.0 wt.%로 고정하였다. Fig. 6에 알루미늄 캔 스크랩 발포금속의 종단면을 나타내었다. 스크랩의 산화물 분산을 위해 5분간 500 rpm으로 교반을 행한 후 680°C에서 발포된 시료 a의 경우 내부에 대단히 큰 기공이 있으며, 상부 셀의 형상이 대단히 불규칙한 것을 확인할 수 있다. TiH₂로부터 발생된 수소가스가 각각의 셀을 이루지 못하고 하나의 큰 기공으로 합체된 것은 용탕 내부에 존재하는 산화물이 셀 안정화제로서 작용하지 못하였기 때문이다[8]. 용탕의 점도를 상승시키고 스크랩의 산화물이 용탕 내부로 고르게 분산되어 셀 안정화제로서 작용할 수 있도록 하기 위해 시료 b의 경우 발포온도는 670°C로 낮추고 산화물 분산시간을 18분으로 증가시켰다. 셀의 분포 측면에서는, 응고가 가장 늦게 이루어지는 시료 중앙부분에 약간의 기공이 존재하지만 시료 상부와 하부 모두 작은 셀을 보이고 있으며, 시료의 가장 하단부에도 metal

drainage 없이 고르게 발포된 양상을 보이고 있다. 그러나 개별 셀의 크기와 형상은 Al-Ca 발포금속에 비하여 불규칙하며 구형화되지 못한 형상을 보이고 있다. Prakash 등의 연구에 의하면 Al-SiC 발포금속의 경우 최적의 발포조건은 입자의 크기와 부피 분율에 따라 변화하며, SiC 입자크기가 약 1~30 μm , 입자 부피 분율이 약 5~14%일 때 가장 우수한 발포체를 획득한 것으로 보고 되었다[9]. 본 연구에서 사용된 원재료는 합금의 경우 Mg이 약 4.5% 첨가된 5182 알루미늄 합금이고, 셀 안정화제는 캔 스크랩 표면에 존재하는 Al_2O_3 이므로 Prakash의 발포조건과 직접 비교는 불가능 하지만, 용탕 내 입자의 셀 안정화 기구, 입자의 크기와 형상 등을 고려해 볼 때 간접비교가 가능하다. Fig. 7(a)에 셀 내부표면에 존재하는 산화물들, (b)에 needle-like 산화물 입자, (c)에 산화물 EDX 분석결과를 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 셀의 내부표면에는 용탕과 젖지 않은 산화물 입자들이 존재하며, 그 크기는 약 30~50 μm 정도로서 prakash가 보고한 안정한 발포범위를 초과한다. 또한 형상은 구형이 아닌 plate 또는 needle-like이며 용탕과 젖지 않은 상태로 존재하므로 점도 측정과 발포 시에 점도의 상승에는 기여하지만, 실제적으로 발포 공정 중 발생하는 수소가스 기포를 안정화시켜 구형의 셀을 만드는 데는 기여하지 못한다. 시료 b가 시료 상부와 하부에 균일하게 셀이 형성되었으나, 각각의 셀 형상이 고르지 못한 것도, 용탕과 젖지 않은 불규칙한 형상의 산화물이 용탕 전체의 점도를 상승시켜 수소가스가 용탕외부로 배출되는 것은 방지하였으나, 각각의 수소가스 기포를 안정화시키기에는 산화물의 크기가 크고, 그 형상이 불규칙한 형상이며, 용탕과 완전히 젖지 않았기 때문인 것으로 판단된다. 스크랩 표면의 산화물은 알루미늄 캔 표면에 존재하는 것이므로, 필름 형태로서 존재한다. 필름 형태의 산화물이 파괴되어 구형을 이루고, 구형의 산화물 입자들이 용탕 내부로 고르게 분산되어 용탕과 젖기 위해서는 강한 교반력과 장시간의 교반이 필요할 것으로 판단된다.

4. 결 론

알루미늄 캔 스크랩의 고품위 재활용을 통한 발포금속의 제조가능성을 확인하고자 알루미늄-칼슘-TiH₂ 발포금속을 제조하여 최적 발포조건을 도출하였으며, 이를 기반으로 알루미늄 캔 스크랩-TiH₂ 발포금속을 제조하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Searle-type 고온점도계를 사용하여 점도를 측정할 결과, 알루미늄 캔 스크랩의 점도는 상용화된 신강강선공업의 발포금속 제조 시 요구되는 점도보다 높은 점도를 나타내었으며, 추가적인 합금 첨가로 용탕점도의 변화가 가능하다.
- 2) 알루미늄-칼슘-TiH₂ 발포금속 제조에 있어서의 최적 조건은 칼슘함량 1.2wt.%, TiH₂ 함량 1.0wt.%, 발포온도 680°C이며, 이 조건으로 제조된 알루미늄 발포금속의 부피 팽창률은 554%, 밀도는 0.45g/cm³이었다.
- 3) 알루미늄 캔 스크랩 발포금속의 제조는 추가적인 증점제의 투입 없이 이루어졌으며, 최적 발포온도는 670°C, TiH₂ 함량은 1.0wt.%이었다.
- 4) 알루미늄 캔 스크랩 발포금속의 내부 구조는 전체적으로

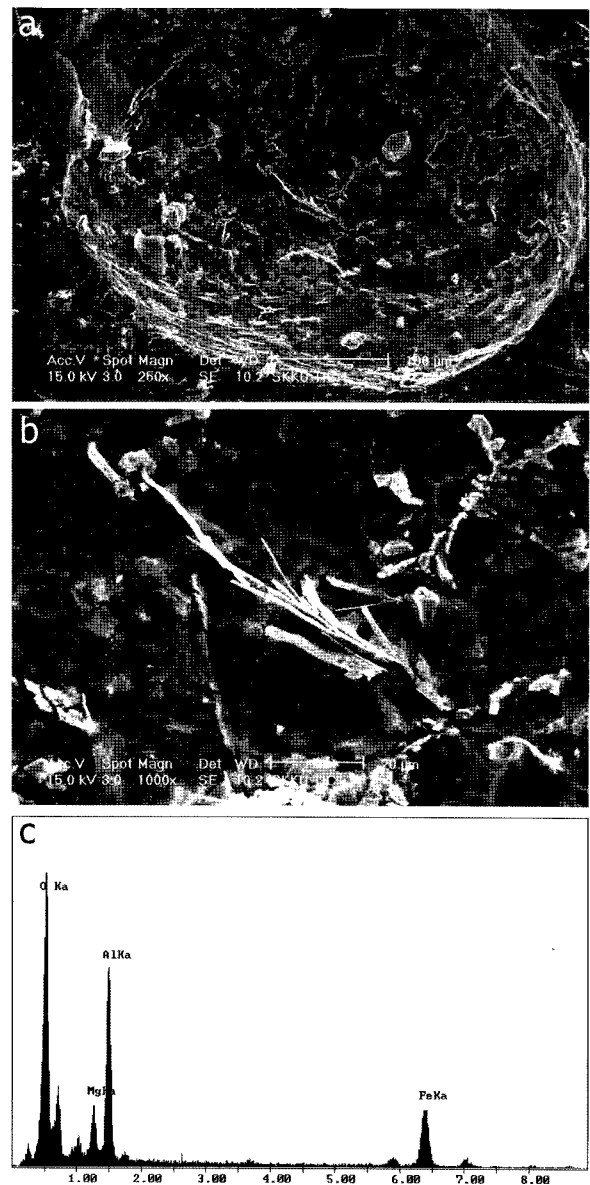


Fig. 7. Non-wetted broken oxide particles (a) cell surface (b) needle-like oxide particle and (c) EDX result of needle-like oxide particle.

균일한 발포를 이루었으나 개별 셀의 형상이 구형화되지 못하고 불규칙하였으며, 이는 스크랩 표면에 존재하는 산화물이 적절한 크기 및 형상으로 파괴되지 못한 것, 파괴된 산화물이 용탕 내로 고르게 분산되지 못한 것, 용탕과 충분히 젖지 않은 산화물이 수소기포를 안정화시키기 못한 것에 기인한 것으로 판단된다.

5) 산화물의 고른 파괴, 분산, 젖음을 도모하기 위하여 교반 시간 또는 교반속도의 증가와 같은 증점공정의 변화가 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] D. D. Chiras : Environmental Science, Jones and Bartlett

- Publishers (2001).
- [2] J. R. Davis : ASM Specialty Handbook : Aluminum and Aluminum Alloys (1994).
 - [3] G. E. Totten and D. S. Mackenzie : Handbook of Aluminum, Marcel Dekker 2 (2003).
 - [4] L. J. Gibson and M. F. Ashby : Cellular Solid, Cambridge University Press (1997).
 - [5] E. Maine and M. F. Ashby : Adv. Eng. Mater., "Cost Estimation and the Viability of the Metal Foams", 2(4) (2000) 205-209.
 - [6] C. Körner and R. F. Singer : Adv. Eng. Mater., "Processing of Metal Foams - Challenges and Opportunities", 2(4) (2000) 59-165.
 - [7] T. Miyoshi, M. Itoh, S. Akiyama and A. Kitahara : Adv. Eng. Mater., "ALPORAS Aluminum Foam : Production Process, Properties, and Applications", 2(4) (2000) 179-183.
 - [8] S. W. Ip, Y. Wang and J. M. Toguri : "Aluminum Foam Stabilization by Solid Particles", 38(1) (1999) 81-92.
 - [9] O. Prakash, H. Sang and J. D. Embury : Mater. Sci. Eng. A, "Structure and Properties of Al-SiC Foam", A199 (1995) 195-203.