

# Al-Zn-Mg-(Sc) 합금의 고온가공성에 미치는 Sc 함량의 영향

김진호<sup>1</sup> · 김정한<sup>1</sup> · 염종택<sup>1</sup> · 이동근<sup>1</sup> · 박노광<sup>1</sup>

## Effect of Scandium Content on The Hot Extrusion of Al-Zn-Mg-(Sc) Alloy

Jin ho Kim<sup>1</sup>, Jeoung Han Kim<sup>1</sup>, Jong Taek Yeom<sup>1</sup>, Dong-Geun Lee<sup>1</sup>, Nho Kwang Park<sup>1</sup>

### Abstract

The effects of scandium content and extrusion parameters on Al-Zn-Mg-(Sc) alloys were examined. Three kinds of Al-Zn-Mg-(Sc) alloys with up to 0.30 wt.% Sc were prepared. The compression test was conducted to investigate the microstructure evolution during hot deformation. Despite of microstructural differences in the alloys, deformation behaviors were very similar. After extrusion at 350°C with the ram speed of 15mm/sec, AA7075 showed a moderate surface quality compared with other Sc containing alloys, which was attributed to low flow stresses. AA7075 showed coarse-grained bands in surface region. With the ram speed of 1.5mm/sec at 350°C, the surface quality of the alloys was sound due to low friction stresses and deformation heating. As the Sc content increased, tensile strengths and elongations at room temperature improved.

**Key Words** : Al<sub>3</sub>Sc, Aluminum alloy, Isothermal extrusion, Scandium, Recrystallization

### 1. 서론

천이금속은 조직미세화와 변형된 미세조직의 안정화를 강화하기 위해 금속주조의 합금 성분으로 이용된다. 특히 Sc는 구조용 경량재료로 사용되는 알루미늄 합금에 첨가되는 원소로서 고온에서의 Al<sub>3</sub>Sc 석출물을 형성시켜 결정립도를 미세하게 하고, 기계적 성질의 향상에도 우수한 효과를 가지고 있다[1,2].

Sc를 첨가한 Al 합금의 대부분은 항공기 부품, 스포츠 장비 등의 상업적인 분야에 사용되지만 Sc의 높은 비용으로 인해 광범위한 적용을 할 수 없었다. 따라서, 소량의 Sc 함량으로 최대의 기계적 향상을 도모하기 위해 많은 노력이 기울어져 왔으며, 이를 위해 Al<sub>3</sub>Sc 입자의 석출거동과 재결정에 미치는 영향이 연구되었다[3].

한편 압출공정은 복잡한 단면형상을 가지는 봉이나, 튜브의 제조에 일반적으로 응용되나 형상에 따른 불균일 변형이 유발될 수 있다는 단점이 있다. 또한 기계적, 야금학적 특징을 가짐으로 표면 균열과 재결정이 일어날 가능성을 포함할 수 있다[4]. Sc 첨가가 이러한 결함을 막을 수 있을 것으로 기대되지만, 자세한 메커니즘은 아직 알려지지 않았다. 뿐만 아니라 Al 합금내의 Sc 함량에 따른 압출성과 표면에서의 결함과 지연되는 재결정의 효과는 잘 알려지지 않고 있다. 본 연구에서는 고온압출성과 미세조직발달에 대한 Sc 효과를 이해하기 위한 실험을 수행하였고 이를 위해 0.11wt%, 0.30wt% Sc 첨가된 Al-Zn-Mg-(Sc) 합금들을 사용하였다.

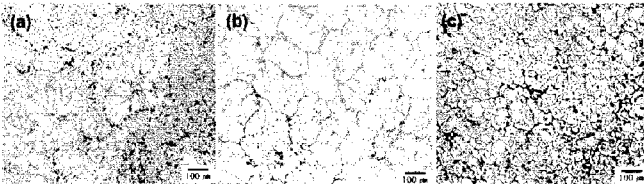
1. 한국기계연구원, 재료기술연구소/소재성형센터

## 2. 실험 방법

본 연구를 위해 3 종류의 Al-Zn-Mg-(Sc)합금들을 준비하였다. 압출을 위한 주조빌렛은 0.11wt%, 0.30wt% Sc 를 함유한 모합금으로부터 용해되어 Air-Slip Continuous Casting 법으로 제조되었으며 AA7075 를 비롯한 Sc 첨가 Al 합금의 화학 조성은 표 1 과 같다. 그림 1 은 AA7075 와 균질화 처리된 Sc 첨가 Al 원소재합금 의 미세조직을 보여주고 있다.

**Table 1 Chemical composition of experimental alloys.**

Alloy	Zn	Mg	Cu	Mn	Cr	Ti	Zr	Sc
AA7075	6.3	2.4	0.44	0.33	0.001	0.03	0.10	-
0.11	6.0	2.8	0.42	0.29	<0.01	0.04	0.11	0.11
0.30	6.6	2.7	0.46	0.30	0.002	0.03	0.08	0.30



**Fig. 1 As-received microstructure of Al-Zn-Mg-Sc (a) AA7075, (b) 0.11%Sc, (c) 0.30%Sc.**

소재의 고온물성을 평가하기 위해 열간가공재 현시현미경을 사용하여 고온압축 실험을 수행하였다. 시편은 직경 8mm, 높이 12mm 의 원통형 시편을 사용하였고 잉곳의 동일 위치에서 길이방향으로 가공되었다. 시험 온도는 330°C, 480°C 이었으며 변형속도는 10/sec, 10<sup>-2</sup>/sec 의 두 조건이었다. 변형 후 시편들은 급속 냉각되었으며 압축축에 평행으로 절단하여 미세조직을 관찰하였다. 고온압축실험을 하기 위해 800 톤 프레스를 사용하였다. 빌렛 사이즈는 직경 50mm, 높이 50mm 이었고, 빌렛과 컨테이너를 3 시간 동안 밴드히터로 가열시킨 후 빌렛과 컨테이너 각 부위에 열전대를 삽입해 등온(350°C) 유지 후 압출을 실행하였다. 이때 압출속도와 압출비는 각각 15mm/sec 와 17:1 이었다. 압출재의 미세조직을 보기 위해 480°C에서 2 시간 균질화한후 120°C에서 24 시간 동안 시효처리하였다.

## 3. 결과 및 고찰

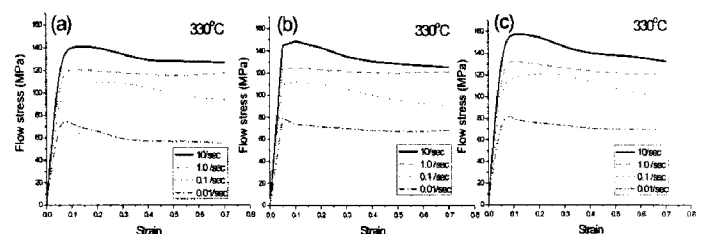
### 3.1 미세조직 변화

Sc 첨가한 합금들의 결정립크기를 측정하기 위하여 잉곳의 중심과 윗부분의 수평, 수직면을 구분해서 측정하였다. 3 개의 원소재합금의 결정립 크기를 표 2 에서 나타내고 있다. 0.11%Sc 첨가 합금은 수지상의 미세조직을 보였고, 이는 AA7075 합금과 유사하였다. 이와 반대로 0.30%Sc 첨가 합금에선 수지상 조직 없이 완전한 등축정 조직과 조밀한 미세조직을 나타내었다.

**Table 2 Grain size distribution of the three alloys.**

Alloy	Center region(μm)		Top region(μm)	
	Parallel section	Perpendicular section	Parallel section	Perpendicular section
AA7075	106	82	114	93
0.11%Sc	115	92	113	94
0.30%Sc	43	37	42	42

그림 2 은 고온압축시험을 통해 얻어진 3 개의 합금의 유동곡선을 나타낸다. 상당한 미세조직의 차이에도 불구하고, 유동거동은 유사했다. 0.30%Sc 합금의 최고응력은 330°C에서 다른 합금들보다 5~9% 높았지만, 430°C이상에서의 세 합금의 유동곡선은 매우 비슷했다. 압축시험 후 미세조직관찰을 위해 480°C에서 2 시간 균질화한 후 120°C에서 24 시간 시효처리를 하였다. 그림 3 은 변형속도 10sec<sup>-1</sup> 와 330°C에서 압축한 시편들의 미세조직을 나타내었다. AA7075 의 미세조직은 부분적인 재결정과 굴곡진 결정립 경계를 보이는데 이는 재결정의 효과로 보여진다. 한편 0.11%Sc, 0.30%Sc 첨가 합금에선 재결정이 되지 않았다. 그 이유는 Al<sub>3</sub>Sc 석출물이 결정립계에서의 전위의 재결정화를 지연시키기 때문이라 생각한다. 또한 압축에 수직인 방향으로 결정립이 늘어나고 유동연화 거동을 보였다.



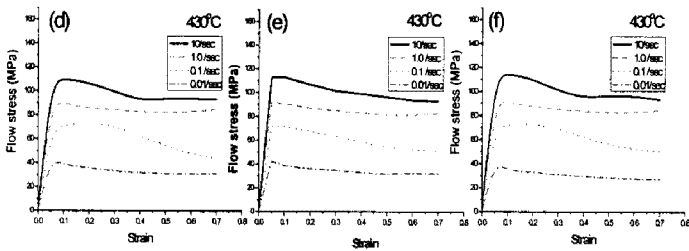


Fig. 2 Stress-strain curves of the three alloys (a, d) AA7075, (b,e) 0.11%Sc, and (c,f) 0.30% obtained from hot compression tests at 330 °C(a,b,c) and 430 °C(d,e,f).

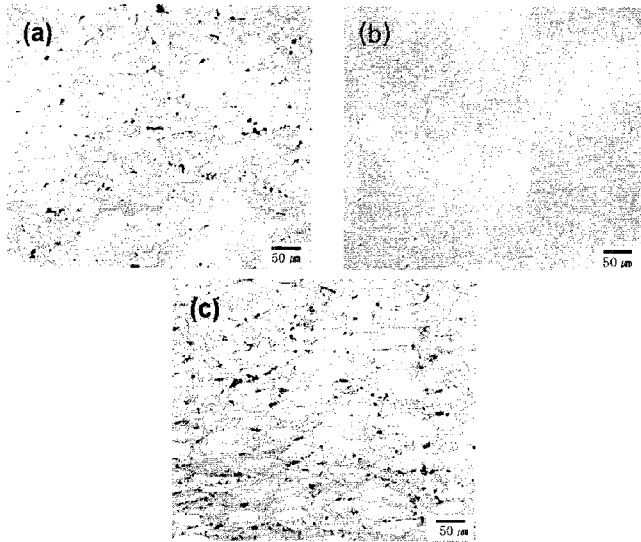


Fig. 3 Microstructures developed in the specimens hot compressed to 0.6 strain level at 330°C and 10sec<sup>1</sup> followed by subsequent heat treatment: (a) AA7075, (b) 0.11%Sc, and (c) 0.30%Sc.

### 3.2 고온압출

그림 4 는 15mm/sec 램속도와 350 °C에서 실제압출후의 압출품의 표면상태와 미세조직을 보여주고 있다. 높은 램속도에서 생긴 마찰응력과 변형열 때문에 압출품 모두에서 표면결함이 생겼다. 하지만 AA7075 압출품은 다른 합금들과 비교하여 온전한 표면상태를 보이는 것을 확인할 수 있다. 이것은 AA7075 가 더 낮은 변형열에서 보다 낮은 유동응력을 가졌기 때문이라 생각된다. 하지만 미세조직에선 AA7075 압출품 외곽부위에 조대결정립이 생겼다. Sc 첨가합금 또한 높은 변형량 때문에 표면 끝 부위에 결함을 가지지만 AA7075와는 다르게 조밀한 결정립이 분포하고 있는 것을 볼 수 있다. 이것은 Al<sub>3</sub>Sc 입자들이 조밀하고, 균일한 결정립크기는 생성할 수 있지만

압출품에 대해선 나쁜 영향을 미치지 때문이라 생각된다[5].

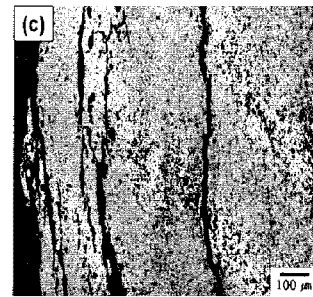
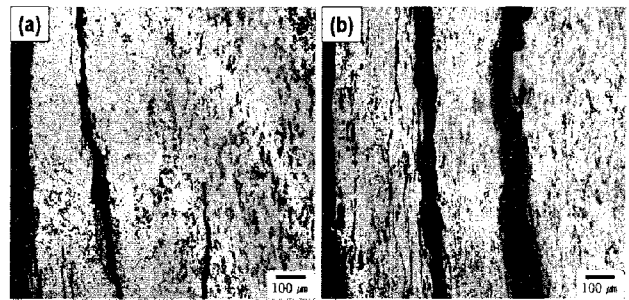
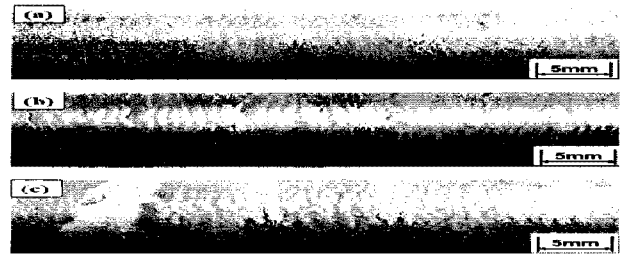


Fig. 4 Surface condition and Microstructure of bar extruded in a press at 350°C with 15mm/sec ram speed: (a) AA7075, (b) 0.11wt Sc, and (c) 0.30 wt.% Sc.

그림 5 는 해석프로그램인 Deform-2D 를 이용한 압출시의 변형량의 분포를 나타내었다. 최대변형량이 3.3 까지 나타났는데 이는 다이 사이의 마찰면에서 국부변형과 높은 변형량 때문이었다.

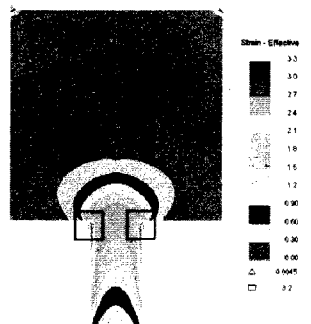
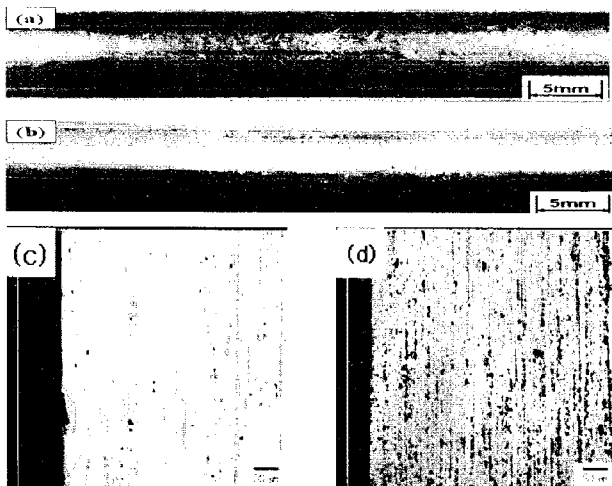


Fig. 5 Strain distribution of a bar extruded at 350°C with a ram speed of 15mm/sec.

압출품 표면 향상을 위해서 1.5mm/sec 의 낮은 램속도에서 AA7075 와 0.30wt%Sc 두 개의 합금에 대하여 압출실험을 하였다. 그림 6 a,b 는 압출후의 표면상태를 보여주고 있다. 두 합금 모두 건전한 표면 상태를 보이고 있다. 낮은 램속도로 인해 표면온도가 급상승하지 않았고, 그리고 소재강도가 다이마찰에 대한 영향을 최소한으로 받았기 때문이라 생각된다. 두 가지 시료의 내부 미세조직은 크게 다르게 나타났다. 그림 6 c,d 는 480°C에서 2 시간 균질화처리 후 120°C에서 24 시간동안 시효 처리를 한 후의 표면부의 미세조직을 보여주고 있다. AA7075 합금은 표면부에 조대하고 길게 연신된 재결정조직을 보이는 반면 0.30wt%Sc 합금은 조밀하고 균일하게 연신된 조직을 보이고 있다.



**Fig. 6 Surface condition and Microstructure of bar extruded in a press at 350°C with 1.5mm/sec ram speed: Macrostructure of (a) AA7075 and (b) 0.30 wt.% Sc, and Microstructure of (c) AA7075 and (d) 0.30 wt.% Sc.**

표 3 은 15mm/sec 에서 압출된 세 합금에 대한 기계적 특성을 나타내고 있다. 여기서 0.30wt%Sc 합금이 AA7075 합금보다 인장, 항복강도 각각에서 15~25%정도 높은 것과 연신율 또한 소폭 증가했다는 것을 알 수 있다.

**Table 3 Tensile properties at room temperature.**

Alloy	UTS (MPa)	Y.S. (MPa)	Elongation (%)
AA7075	402	251	11.6
0.11%Sc	449	301	11.7
0.30%Sc	463	314	12.2

## 4. 결론

Al-Zn-Mg-(Sc)합금 Sc 함량과 압출변수들의 영향을 조사해보았다. 그 결과로 Sc 첨가합금들은 AA7075 합금보다 균일하고 미세한 결정립을 보였다. 또한 고온압축실험 결과로 330°C에서의 유동응력도 높게 나왔음을 알 수 있었다. 하지만 430°C에선 세 합금 모두 비슷한 유동곡선을 나타냈다. 또한, Sc 첨가 합금은  $Al_3Sc$ 의 증가로 인해 재결정이 지연된다는 것을 알 수 있었다. 실제 압출실험 후  $Al_3Sc$  입자들이 첨가의 증가에 따라 균일한 결정립 크기는 생성할 수 있지만 압출품에 대해선 나쁜 영향을 미치는 것을 알수있다. 또한 인장, 항복강도와 연신율 또한 증가됨을 알 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부 지방기술혁신사업(RT104-01-03) 지원으로 수행되었음

## 참 고 문 헌

- [1] S. Lee, A. Utsunomiya, H. Akamatsu, K. Neishi, M. Furukawa, Z. Horita, T. G. Langdon, 2002, Influence of scandium and zirconium on grain stability and superplastic ductilities in ultrafine-grained Al-Mg alloys, *Acta Mater.*, 50(3), 553-563
- [2] Røyst, J. & Ryum, N. (2005) Scandium in aluminum alloys. *Inter. Mater. Review.* 50, pp. 19-44.
- [3] Jones, M.J. & Humphreys, F.J.(2003) Interaction of recrystallization and precipitation: The effect of  $Al_3Sc$  on the recrystallization behavior of deformed aluminium. *Acta Mater.* 51, pp. 1330-1336
- [4] Sheppard, T., Tunnicliffe, P.J. & Patterson, S.J. (1982) Direct and indirect extrusion of a high strength aerospace alloy (AA7075). *J. Mech. Work. Tech.* 6, pp. 313-331.
- [5] Tadashi, A., Nobutaka, S. & Yasuhiro, M. (2000) The effect of scandium on the as-homogenized microstructure of 5083 alloy for extrusion. *Master. Sci. Eng.* 280A, pp. 139-145