

논문

# In계 저융점합금의 닥터 블레이드 테이프캐스팅

윤기병<sup>†</sup>

인천대학교 나노바이오공학과

## Doctor Blade Tape Casting of In-based Low Melting Point Alloy

Ki-Byoung Youn<sup>†</sup>

Department of Nano-bio Engineering, Incheon University, Incheon 406-772, Korea

### Abstract

Tape casting is an important forming operation used to prepare flat sheets in the various industries. In this study, Doctor Blade casting of In-based low melting point alloy was carried out. The purpose of this investigation was to determine the possibility of applying the Doctor Blade tape casting process to the manufacture of low melting point alloy sheets that can be used as thermal fusible parts of battery safety systems. In-based molten alloy that has a melting point of 95°C was produced; its viscosity was measured at various temperatures. The molten alloy was used as a slip in the caster of the Doctor Blade tape casting system. The effects of the molten alloy temperatures and carrier speeds on the produced sheet shape were observed. For the casting conditions of 1.5 cm slip height, 120°C slip temperature, 0.05 mm blade gap and 60 m/min. carrier speed, an In-based alloy thin tape well shaped with 0.16 mm uniform thickness was continuously produced.

**Key words:** In-based alloy, Tape casting, Viscosity, Carrier speed

### 1. 서 론

이차전지의 충전 또는 과부하에 의한 전지폭발의 위험을 방지하기 위하여 일정온도 이상으로 전지가 가열되면 전원이 차단되는 기능을 갖는 온도퓨즈시스템이 사용되고 있다. 현재 전자기기용에 주로 사용되고 있는 온도퓨즈시스템은 한쌍의 금속단자 사이에 저융점합금 박판을 접속시키고 그 위에 소량의 용제를 덮은 후 부도체막으로 봉합시킨 구조를 갖는다. 따라서, 일정온도 이상에서 저융점합금은 용제와 반응하여 용락되어 전류를 차단시켜 더 이상의 온도상승을 막아 전지폭발이 방지된다. 100°C 정도의 온도에서 용락되어 전원을 차단하는 기능을 갖는 합금으로는 In계 저융점합금이 사용되고 있으며, 용락의 기능이나 전지회로의 저항을 고려하여 휴대폰용 이차전지 온도퓨즈시스템에서는 0.15 mm ± 0.01 mm 두께의 박판이 사용되고 있다[1-3]. 이러한 박판소재의 제조에는

용융합금소재를 잉코트로 만들어 여러차례의 압출, 인발, 압연공정을 거쳐 환상화하는 가공공정을 사용하고 있다. 이러한 가공공정은 냉각, 가열을 반복해야하는 여러단계의 공정을 거쳐야 하고 회수율도 낮은 단점이 있어 공정의 단순화가 필요하며, 또한 온도퓨즈시스템 제조공정의 연속성과 생산성 향상을 위해서도 박판화공정의 개선이 필요하다. 닥터 블레이드 테이프캐스팅공정은 세라믹, 종이, 플라스틱 등 여러 산업분야에서 박판화공정으로 적용되고 있다[4,5]. 특히, Howatt가 이 기술을 세라믹박판 제조에 적용시킨 첫 보고[6] 후에 부도체, 유전체, 다층세라믹기판 등의 수 많은 세라믹박판의 제조에 널리 사용되고 있는 기술로써 넓은 면적의 얇고 평평한 고용점소재부품을 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다. 현재까지 많은 소재의 테이프캐스팅 기술에 관한 연구 및 산업분야에 적용이 보고되어 왔지만 금속이나 합금소재에 적용하여 박판화를 시도한 사례는 보고되고 있지 않다. 테이프캐스팅에

Received: Aug. 28, 2014 ; Revised: Oct. 11, 2014 ; Accepted: Jun. 30, 2015  
<sup>†</sup>Corresponding author: Ki-Byoung Youn (Incheon Univ.)  
Tel: +82-32-835-8275, Fax: +82-32-835-0723  
E-mail: kbyoun@incheon.ac.kr

Journal of Korea Foundry Society  
2015. Vol. 35 No. 3, pp. 062-066  
<http://dx.doi.org/10.7777/jkfs.2015.35.3.062>  
pISSN 1598-706X / eISSN 2288-8381

© Korea Foundry Society, All rights reserved.  
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

적용되는 슬립의 적절한 점도범위는 슬립의 유동성을 고려할 때 500~6,000 mPa·s 정도이나[4] 일반적으로 용융금속의 점도는 용점보다 높은 온도에서 1~10 mPa·s 정도로 매우 낮아 용융금속을 슬립으로 사용하여 테이프캐스팅하기가 어렵다. 그러나 용융금속을 테이프캐스팅 블레이드 아래로 통과시키면 용융금속의 온도가 용점부근으로 냉각되면서 금속표면의 점도가 급격히 증가되므로 형상이 유지된 박판으로 응고될 수 있는 가능성이 있다. 용융금속은 표면장력이 크고, 특히, In계 저융점합금은 용점이 100°C 정도로 낮으므로 용융합금슬립의 온도를 적절히 선택하여 블레이드 아래로 통과시켜 냉각과정에서 점도를 제어하면 테이프 형태의 박판을 연속적으로 제조할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서는 In계 저융점용융합금에 닥터 블레이드 테이프캐스팅공정을 적용하여 휴대용용 이차전지 온도퓨즈시스템에 사용되는 0.15 mm ± 0.01 mm 두께의 박판소재를 연속적으로 생산할 수 있는 박판화 가공공정을 시도하여 그 가능성을 확인하고자 하였다.

## 2. 실험 장치 및 실험 방법

### 2.1 실험장치

본 실험에 제작, 사용된 닥터 블레이드 테이프캐스팅장치는 합금용해로, 용융합금저장소, 캐스터 및 캐리어로 구성되었다(Fig. 1). 합금용해로도가니는 내부직경 52 mm, 높이 105 mm, 두께 4 mm의 티타늄도가니가 사용되었으며 도가니 상부덮개에는 기계적교반기, Ar가스 및 열전대 주입구, 원료소재 장입구가 설치되었다. 용해로 아래에는 용해로에서 배출된 용융합금을 슬립으로 사용하기에 적절한 온도로 냉각하고, 테이프캐스팅 작업 시 캐스터 내의 슬립높이를 일정하게 유지할 수 있도록 용융합금을 보충, 투입하기 위하여 용융합금저장소를 설치하였다. 캐스터는 내부용량 150 ml의 사각형구조(내부단면은 사다리꼴)의 스테인레스로 제작되었으며, 캐스터 외부벽면에는 슬립의 온도를 일정하게 유지할 수 있도록 가열판이 부착되었다. 캐스터 상부덮개에는 Ar가스 및 열전대 주입구가 설치되었으며 캐스터 배출구에는 블레이드간격을 정밀

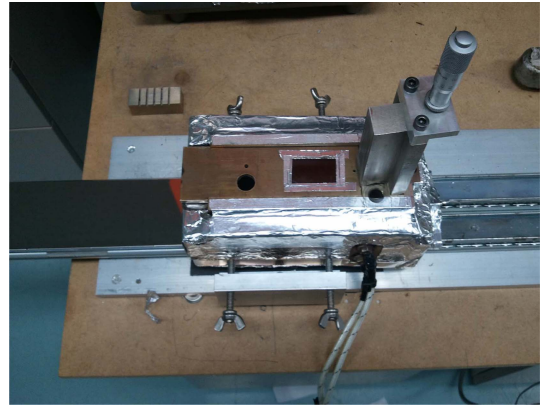


Fig. 2. Doctor blade caster.

Table 1. Metals used to produce sample alloy.

Metals	Reagents
In	STREM CHEMICAL 99.9%
Bi	KANTO CHEMICAL Extra Pure
Sn	JUNSEI CHEMICAL Extra Pure
Zn	STREM CHEMICAL 99.99%

하게 조절할 수 있는 마이크로미터가 부착된 닥터 블레이드를 설치하였다(Fig. 2). 테이프캐스팅 캐리어로는 폭 60 mm, 길이 3,000 mm, 두께 0.4 mm의 스테인레스판 양끝을 레이저용접한 벨트를 제작, 사용하였으며 구동모터로 구동시켜 연속적인 캐스팅이 가능하도록 하였다.

### 2.2 실험방법

괴상의 원소재금속들(Table 1) 합금조성으로 혼합하여 용해로도가니에 장입하고 4 l/min의 유량속도로 Ar가스를 10분간 취입한 후 600°C까지 교반하면서 가열하고 4시간 유지하여 균질한 용융합금을 형성한 후 용해로배출구를 통하여 용융합금저장소로 배출하였다. 용융합금저장소에서 용융합금의 온도를 150°C로 냉각시켜 캐스터 내로 주입하고 캐스팅에 적절한 온도로 유지한 후 닥터 블레이드를 열고 캐리어를 이동시키면서 테이프캐스팅을 시작하였다. 세라믹도가니 안에 일정온도로 가열, 유지된 용융합금의 점도는 LVDV-E 점도계(Brookfield사, 점도측정범위 15cp ~ 2Mcp)를 사용하여 측정하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 용융합금 제조

전자기기보호용 온도퓨즈에는 100°C 전후의 융점을 갖는 In-Bi-Sn 합금 또는 In-Bi-Sn-Zn 합금이 주로 사용되고 있다[1-3]. Table 2는 테이프캐스팅 실험에 사용된 In계 저융점합

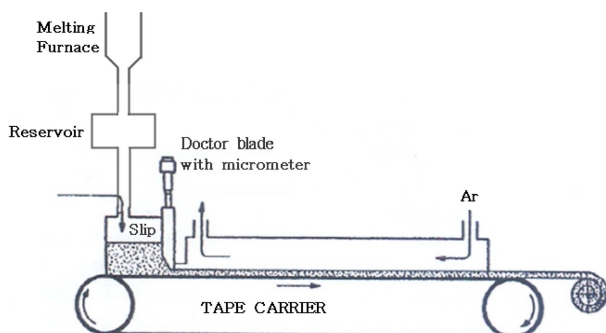


Fig. 1. Schematic view of tape casting apparatus.

Table 2. Composition of the sample.

Element	In	Bi	Sn	Zn
wt%	44.5	21.0	32.5	2.0

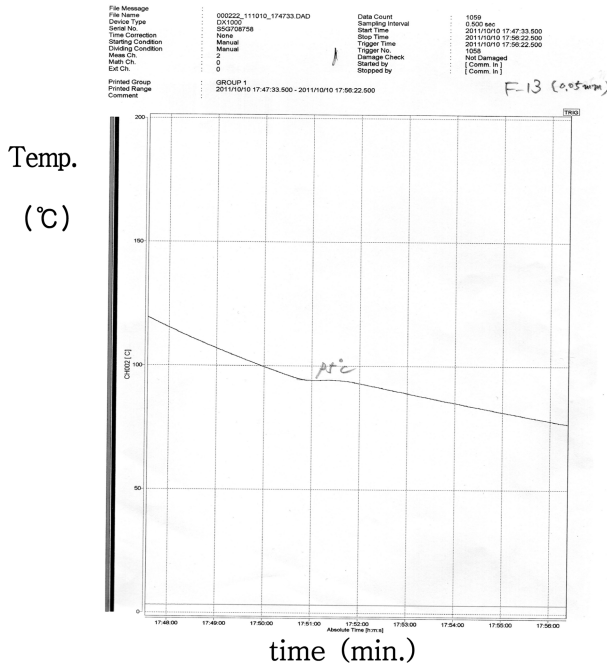


Fig. 3. Cooling curve of the sample.

금의 조성을 나타내고 있다.

Fig. 3은 원료소재금속들의 혼합물을 Ar분위기의 합금용해로에서 600°C까지 교반하면서 가열하고 4시간 유지하여 제조한 균질한 용융합금의 냉각곡선을 보이고 있으며 합금의 융점은 95°C로 측정되었다.

### 3.2 용융합금의 점도

테이프캐스팅공정에서 균일한 형상과 두께의 테이프를 얻기 위해서는 적절한 슬립점도의 선택이 필요하다. 일반적으로 용융금속의 점도는 온도에 따라 지수함적으로 변화되므로 용융금속을 슬립으로 하여 테이프캐스팅하기 위해서는 온도에 따른 점도변화를 조사할 필요가 있다. Fig. 4는 본 실험에서 사용된 용융합금의 온도에 따른 점도변화를 측정한 결과를 보이고 있다. 그림에서 보는바와 같이, 130°C에서 용융합금의 점도는 30cp 정도로 측정되었으며 105°C까지는 온도가 낮아질수록 점도는 서서히 증가하고 있으나 100°C 이하의 온도에서는 급격한 증가를 보여 98°C에서는 600cp, 융점 직상의 온도 96°C에서는 8,000cp에 도달하고 있음이 관찰되었다. 세라믹슬립의 테이프캐스팅에 적절한 슬립의 점도가 500cp~6,000cp임을 감안하면 용융합금을 슬립으로 하여 테이프캐스팅 할 때 슬립온도는 96°C~98°C가 적절할 것으로 생각된다. 그러나 용융합금슬립의 경우는 세라믹슬립의 경우와는 달

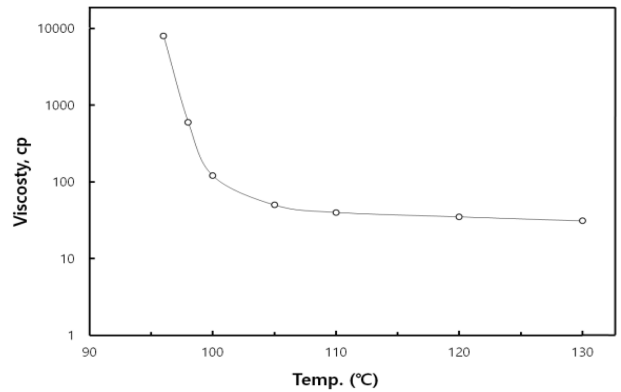


Fig. 4. Viscosity of the In-based molten alloy as a function of temperature.

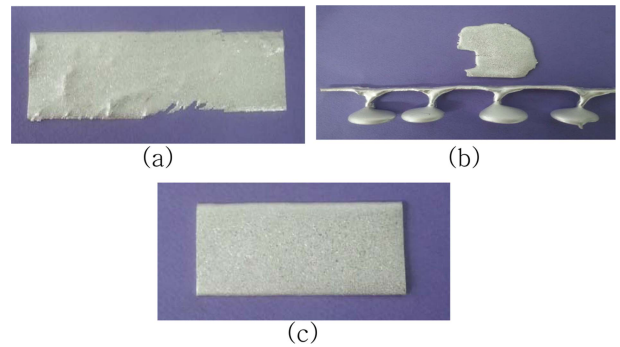


Fig. 5. Tape casting products shapes at various casting temperatures. (a: 105°C, b: 140°C, c: 120°C).

리 캐스터에서 슬립이 배출되는 순간부터 냉각이 일어나 온도가 낮아지고 특히, 형성되는 용융합금 표면의 온도는 급격히 냉각되어 점도는 매우 크게 증가될 수 있다. 따라서, 이러한 냉각효과를 고려하면 용융합금슬립의 온도는 96°C~98°C보다 높아야 된다.

테이프캐스팅 시 형성되는 테이프의 형상, 두께 등에 영향을 미치는 주요인자는 캐스터 내의 용융합금 슬립온도 및 높이 (질량), 블레이드간격, 캐리어이동속도 등이다. 이러한 인자들 중에서 용융합금 슬립온도는 슬립의 점도를 결정하고 테이프캐스팅의 가능성 여부를 결정짓는 가장 중요한 인자이므로 테이프캐스팅에 적절한 온도를 알아보기 위하여 캐스터 내의 용융합금높이를 1.5 cm (200 g), 블레이드간격을 0.05 mm, 캐리어이동속도 60 cm/min.로 고정하여 테이프캐스팅 예비실험을 수행하였다. 예비실험에서 캐스터 내 용융합금슬립의 온도가 105°C 미만의 낮은 온도에서는 용융합금의 유동성이 낮아 형성되는 테이프의 표면이 거칠고 균일한 형상의 테이프를 얻기 어려운 결과를 확인하였다(Fig. 5a). 또한, 140°C 이상의 용융합금 슬립온도에서는 슬립의 유동성이 매우 크고 슬립흐름량이 많아져 캐리어 밖으로 슬립이 흘러넘쳐 테이프 형성이 어려운 결과가 관찰되었으며(Fig. 5b),

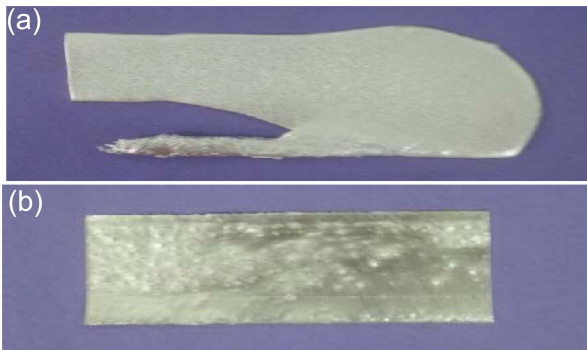


Fig. 6. Tape casting products shapes at various carrier speeds. (a: 20 cm/min., b: 100 cm/min.).



Fig. 7. Continuous and uniform thickness thin tape well shaped. (carrier speeds, a: 42 cm/min., b: 60 cm/min., c: 75 cm/min.).

120°C 전후의 온도에서 용융합금슬립은 테이프캐스팅에 적절한 유동성을 가지며 균일한 형태의 테이프가 형성됨을 알 수 있었다(Fig. 5c).

### 3.3 캐리어이동속도

닥터 블레이드 테이프캐스팅 시 블레이드 아래로 배출되는 슬립에는 슬립배출압력과 캐리어 이동에 의한 힘이 슬립진행 방향으로 작용하고, 반대방향으로는 블레이드마찰력과 슬립마

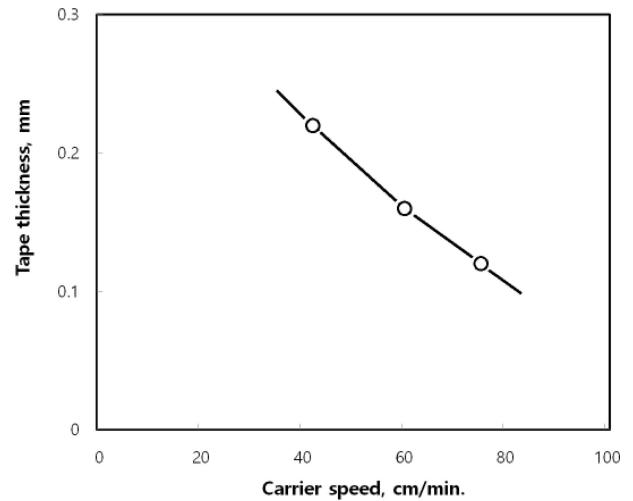
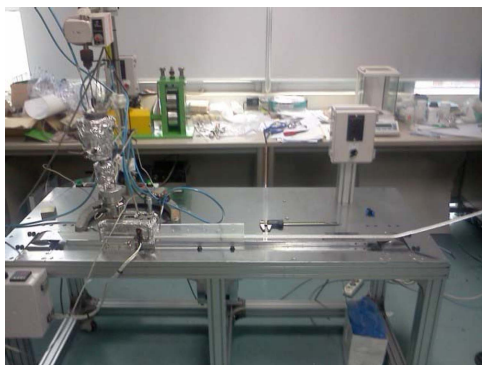


Fig. 8. Tape thicknesses obtained experimentally as a function of carrier speed.

찰력의 힘이 작용하여 슬립흐름량 및 흐름특성이 결정된다. 이러한 힘들의 크기는 슬립의 점도, 캐스터 내의 슬립량(높이), 블레이드간격 및 형상, 캐리어이동속도 등의 캐스팅조건에 따라 영향을 받는다. 캐리어이동속도를 제외한 다른 조건들은 테이프캐스팅공정 중에서는 고정되어지므로 제조되는 테이프 두께는 캐리어이동속도의 변화에 따라 결정된다. 또한, 캐리어이동속도는 테이프캐스팅공정의 생산속도와 직결되며 테이프 형상에도 영향을 미치는 중요한 인자가 된다. 용융합금의 온도를 120°C, 캐스터 내의 슬립높이를 1.5 cm, 블레이드간격을 0.05 mm로 고정하였을 때 캐리어이동속도가 얻어지는 테이프 두께에 미치는 영향을 조사한 결과, 캐리어이동속도가 20 cm/min. 이하로 낮을 때에는 슬립흐름량이 많고 welling 현상이 심하여 균일한 형상의 테이프가 형성되지 못하였으며 (Fig. 6a), 100 cm/min. 이상의 속도에서는 슬립 흐름량이 적고 테이프의 냉각이 빠르게 진행되어 균일한 형상의 테이프가 형성되지 못함이 관찰되었다(Fig. 6b). 캐리어이동속도가 42 cm/min. ~ 75 cm/min. 범위에서 균일한 두께와 형상을 갖



(a)



(b)

Fig. 9. Continuous doctor blade tape casting procedure of In-based alloy (a) and the tape product (b).

는 테이프 형성이 관찰되었으며(Fig. 7), 42 cm/min., 60 cm/min., 75 cm/min.의 이동속도에서 각각 0.22 mm, 0.16 mm 및 0.12 mm 두께의 테이프를 얻을 수 있었다(Fig. 8).

이러한 실험결과로부터 휴대폰 이차전지 온도퓨즈시스템에 사용되는 0.16 mm 두께의 In계 합금박판 제조에 적절한 캐리어이동속도는 슬립온도 120°C, 슬립높이 1.5 cm, 블레이드 간격 0.05 mm의 캐스팅조건에서 60 cm/min. 임을 알 수 있었다. Fig. 9는 이러한 공정조건에서 In계 저융점합금의 연속적인 테이프캐스팅 과정과 얻어진 테이프 산물의 모습을 보여주고 있다.

#### 4. 결 론

본 실험을 통하여 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 세라믹, 종이, 플라스틱 등의 여러 산업분야에서 박판가공공정으로 사용되는 닥터 블레이드 테이프캐스팅공정은 In계 저융점합금의 박판공정으로 적용이 가능함을 확인하였다.
- 2) 95°C의 용점을 갖는 In계 저융점합금의 테이프캐스팅에 적절한 용융합금슬립의 온도는 120°C 정도이었다.
- 3) 용융합금슬립의 높이 1.5 cm, 슬립온도 120°C, 블레이드간격 0.05 mm, 캐리어이동속도 60 cm/min.의 테이프캐스팅

조건에서 휴대폰 이차전지 온도퓨즈시스템에 사용될 수 있는 0.16 mm 두께의 In계 저융점합금박판을 얻을 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 인천대학교 2013년도 교내학술연구에 의한 것으로 이에 감사드린다.

#### References

- [1] Patent US 20050083166, Matsushita, "Element for thermal fuse, thermal fuse and battery including the same" (2003).
- [2] Patent US 20070024407, Matsushita, "Temperature fuse element, temperature fuse and battery using the same" (2004).
- [3] Patent US 7038569, Uchihashi Estec, "Alloy type thermal fuse and fuse element" (2003).
- [4] Richard E. Mistler and E.R. Twiname, The American Ceramic Society, Wester Ville, OH, "Tape casting theory and practice" (2000) 127-158.
- [5] Fukura, I. and Hirao, T. "Production processes for ceramics", Academic Press, Tokyo (1989) 65-81.
- [6] G.N. Howatt, R.G. Breckenridge and J.M. Brownlow, J. Am. Ceram. Soc., "Fabrication of thin ceramic sheets for capacitors", **30**(8) (1947) 237-242.