

## 방열판 직접압출 공정의 유한요소해석

이정민\*·김병민\*\*·조형호\*\*\*

### FE Analysis of Extrusion Process for Heat sink

J.M. Lee, B.M. Kim, H.H. Jo

#### Abstract

Porthole die extrusion is the method which put the billet in the container and push it between die hole by ram. This method make it possible that product manufacture which have complex shape of area with excellent induction of area, in addition that this is economical. So this method is used as the basic manufacturing method of many industrial materials.

The subject of this research is the forming technology development of heat sink which is being produced by extrusion process in my country. Flow condition of extrusion for heat sink, and metal flow of billet in the die are estimated by the means of rigid-plasticity finite element method.

**Key Words** : Heatsink, Finite Element Analysis, Metal flow, Extrusion Load

#### 1. 서론

직접압출법은 빌렛을 컨테이너에 넣고 램에 의해서 다이 홀사이로 밀어내는 방식으로 우수한 단면감소율로 복잡한 단면형상을 가진 제품 생산이 가능하며 경제적으로 수많은 공업재료의 가공방법으로 널리 쓰이고 있다. 이 방식에서는 무윤활 방식으로 요구되는 표면형상이나 제품단면 형상을 달성할 수 있지만 압출의 진행에 따라 빌렛이 컨테이너 내부를 이동할 때 발생하는 컨테이너와 빌렛간의 커다란 마찰저항에 의해 빌렛 외주부의 유동이 중심부보다 지체되는 경향이 있으므로 압출재의 균일성이란 점에서는 문제가 있다.

직접압출 공정의 유한요소 해석에 대한 연구는

이전부터 많이 진행되어 왔으며 근래에는 비정상상태의 유한요소 해석을 통하여 압출비, 베어링 길이, 다이 반각, 다이 형상 등의 설계 변수나 초기 빌렛온도, 압출속도 등의 공정변수에 따른 소재 유동이나 금형의 변형예측까지 일부 수행되고 있다.[1]

본 연구에서는 국내에서 직접압출법으로 생산중인 방열판의 성형기술 개발에 대한 연구를 수행하였다. 강소성 유한요소해석[2]을 이용하여 방열판 직접압출 공정의 가공 소요력과 유동 양상등을 평가하였다. 이를 바탕으로 다이의 변형 양상을 분석하고, 최적의 다이 형상을 재설계하였다. 그리고 해석결과를 실제 압출기에서 생산된 제품과 비교하여 본 압출공정 해석에 사용된 유한요소 해석

\* 부산대학교 정밀기계공학과

\*\* 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구소

\*\*\* 한국생산기술원 신소재본부 나노소재팀

및 설계의 타당성을 검증하였다.

## 2. 방열판 직접압출 공정의 유한요소 해석

### 2.1 방열판 직접 압출을 위한 금형형상

Fig.1은 방열판의 단면형상을 나타낸 것이다. 알루미늄 방열판 제품은 방열판의 두께가 1.4mm이하이고 부품의 특성상 방열량은 방열기의 표면에 비례하기 때문에 구조적으로 다수의 핀을 가진 형태로 설계된다. 따라서, 작은 두께의 제품 제조가 어렵고, 특히 완전한 수직 방향으로 방열핀이 성형이 되지 않으면 제품의 성능이 저하되기 때문에 방열판은 직접압출법으로 제조하기 어려운 많은 조건을 가지고 있다.

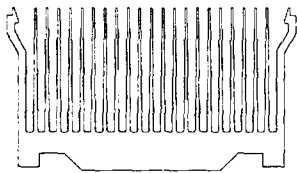


Fig. 1 figure of heat sink section

Fig. 2는 방열판 직접압출 공정에 사용한 금형의 형상을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이, 금형은 크게 초기 빌렛이 장착되는 컨테이너와 제품이 빠져나오기 전에 빌렛의 유동을 제어하는 립, 그리고 최종적으로 제품을 성형하는 다이 베어링으로 구성되어 있다.

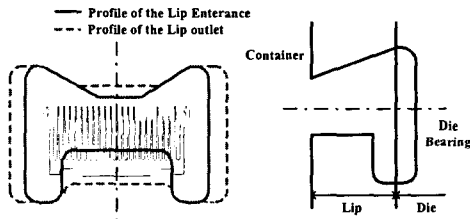


Fig. 2 Construction of dies for heat sink

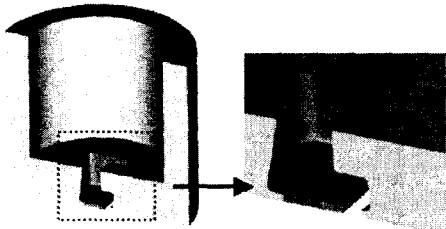


Fig. 3 3D Modeling of heat sink die

Fig 3은 방열판 직접압출 공정의 해석을 위한 3차원 모델링 형상을 나타낸 것이다. 모델링은 I-DEAS 9.0을 이용하였으며 해석의 편의를 위하여 금형을 구성하는 각 부품을 조합된 하나의 구조로 모델링을 수행하였다.[3]

### 2.2 유한요소 해석조건

해석 모델인 방열판 직접압출 공정해석은 최종 제품의 형상을 고려하여 1/2단면만을 취하여 수행하였다. 다이와 빌렛 초기온도는 각각 475℃와 430℃로 설정하였다. 빌렛의 재료는 실제현장에서 사용되는 Al1100을 사용하였고, 금형은 일반적인 열간 공구강인 AISI H13(SKD61)을 사용하였다. 성형해석 시, 소재는 열연성 모델로, 금형은 전부 변형을 수반하지 않는 강체로 설정하였다. 마찰상수는 무윤활의 열간 압출시 일반적으로 사용되는 0.6[4]으로 가정하였다. 유한요소 격자는 사면체 격자를 이용하였으며, 해석 시간 및 정도를 고려하여 빌렛은 변형이 심한 부분을 선별하여 상대적으로 많은 격자를 생성하였으며, 금형의 경우 빌렛과의 열전달을 고려하여 빌렛과 직접적으로 접촉하는 부위에 많은 격자를 생성하였다. Fig. 4에 성형해석을 위한 빌렛과 다이의 유한요소격자를 나타내었다. 그리고 Table .1에 전반적인 공정조건을 나타내었다. 성형해석은 빌렛이 최종형상을 만들기 위해 다이베어링을 빠져나오기 시작하는 단계까지 수행하였다.

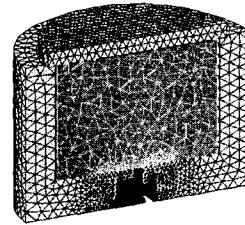


Fig. 4 Initial mesh system for FE Analysis

본 연구에서는 가공소요력 및 소재의 유동양상 등을 평가하기 위해 소성가공해석 전용 프로그램인 DEFORM 3D[5]를 사용하였다.

Table 1 Extrusion condition for heat sink

Extrusion conditions	Value
Material of tools	SKD61
Material of billet	Al1100

Initial temperature of tools(°C)	475
Initial temperature of billet(°C)	450
Punch velocity(mm/s)	15
Dimension of billet(mm)	∅214×h156
Temperature of environment(°C)	20
Friction factor(m)	0.6

### 3. 유한요소 해석 결과

#### 3.1 압출하중

이상의 압출조건으로 방열판 생산을 위한 직접압출 공정에 대한 유한요소 해석 결과는 다음과 같다.

Fig. 5은 압출이 진행됨에 따라서 펀치가 받는 하중을 유한요소 해석으로 얻은 결과이다. 결과에서 이번 방열판 직접압출 공정은 크게 세단계로 나누어 질 수 있다. (a)는 초기 빌렛이 컨테이너를 채우는 과정이며 하중이 거의 일정하다., (b)는 립으로 유입된 빌렛이 립을 채우는 단계이다. (c)는 빌렛이 다이 베어링을 빠져나오기 직전이며 하중은 최고점에 이르게 된다.[6]

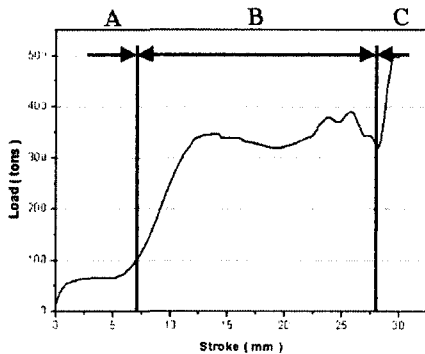


Fig. 5 Load-stroke curve

#### 3.2 소재의 성형과정과 유동양상

Fig. 5에 펀치의 스트로크 변화에 대한 소재의 성형과정을 나타내었다.

(a) (b) (c) (d)

Fig. 6 Metal flow at each stage

Fig. 6(a)(b)는 펀치에 의해 가압된 빌렛이 립부위로 유입되는 단계이며 Fig. 6(c)는 다이 바닥에 닿아 압출 방향으로 유동이 구속된 빌렛이 립을 채우는 단계이며

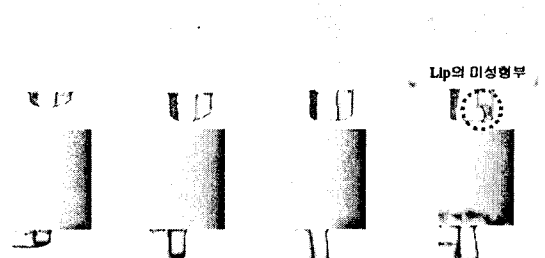


Fig. 6(d)는 최종적으로 다이 베어링을 빠져나오기 시작하는 단계이다. 그림에서 알 수 있듯이 빌렛이 완전히 립부위를 성형하기 이전에 다이 베어링 부위를 빠져나가는 것을 확인 할 수 있다.[7]

Fig. 7에 다이 베어링 부위 빌렛의 변형률 속도 분포를 나타낸 것이다. 균일하지 않은 변형률 속도분포는 제품의 건전성 및 치수 불량률의 원인이 된다. 그림에서 알 수 있듯이 최대 변형률 속도 발생부위는 방열판 치형 중앙부 바로 옆 치형에서 발생한다.

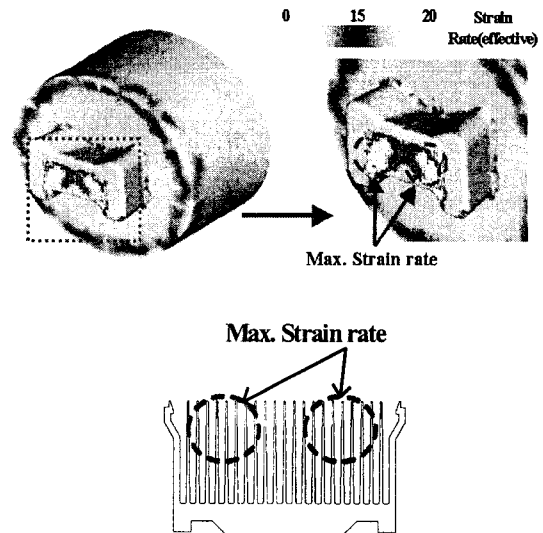
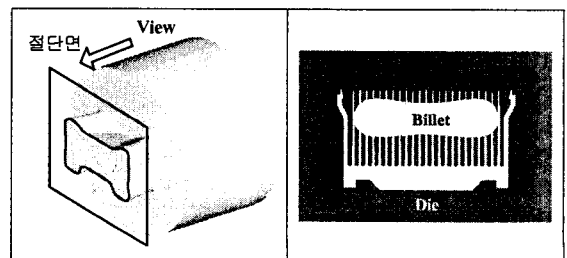


Fig. 7 Distribution of effective strain rate



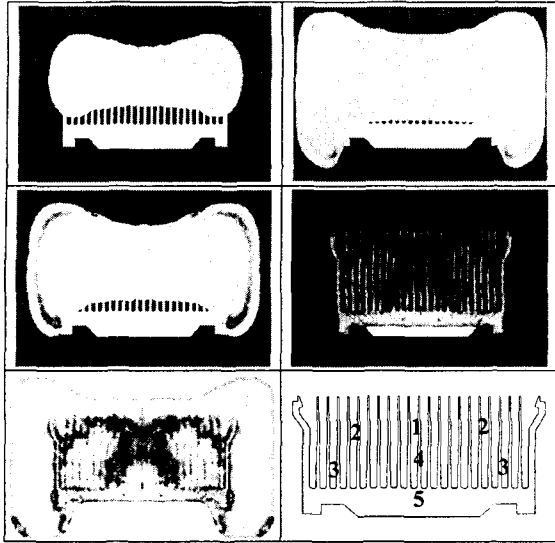


Fig. 8 Metal flow in the bottom of die

소재의 유동양상을 더욱 명확히 판단하기 위해 Fig. 8에 빌렛이 다이 바닥부위를 충전하는 과정을 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 소재는 1부위에 가장 먼저 닿는다. 그러나 1의 치형은 성형되기에 높은 변형에너지가 요구되므로 나머지 2,3,4,5부위로 순서대로 이동하며 방열판의 치형을 충전하게 된다. 이같은 소재유동 순서로 인해 결국 다이는 Fig. 9에서처럼 치형의 중앙부는 가운데로 향하고 양 끝 부위는 밖으로 향하는 변형양상을 나타낸다.

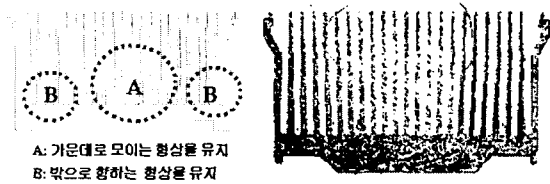


Fig. 9 shape of heat sink after process

### 3.3 방열판 치형 변형에 대한 대책

기존의 다이 형상에 의한 가공은 Fig. 6에서 보듯이 Lib의 미성형부가 생기게 된다. 따라서, 이러한 문제점을 해결하기 위해서, 적절한 다이의 재설계가 요구된다.

(a) (b)

Fig. 9 Redesign of heat sink die

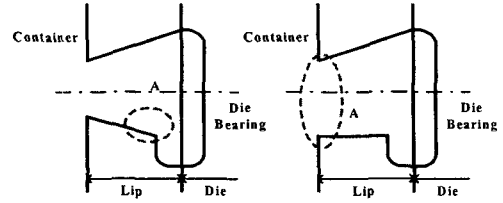


Fig. 9(a)는 A부에 경사를 주어 Lip 내의 소재 유동 구속을 완화시켜 다이 베어링 부에 닿는 소재의 순서를 균일하게 하여 재료의 유동을 균일하게 가져 갈 수 있다. Fig. 9(b)는 Lip 입구(A)를 전체적으로 확대시켜 Lip 내의 소재 변형 에너지를 완화시키기 위한 방법이다. 이와 같은 다이의 재설계를 통해 방열판 치형 변형에 대한 문제점을 해결할 수 있을 것이다.

## 4. 결론

본 연구에서는 유한요소법을 이용한 방열판 직접압출공정해석을 수행하여, 소재의 가공소요력 및 유동양상 등을 평가하였다. 그리고 소재의 유동순서가 제품에 미치는 영향등을 파악하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 립으로 유입된 빌렛은 압출방향으로 유동이 구속되어 속도가 현저히 감소하게 된다. 그리고 유동이 구속된 빌렛은 립부위를 채우게 된다. 그러나 완전한 립부위의 성형이 일어나기 전에 빌렛은 다이 베어링 부를 빠져나오게 된다.
- (2) 균일하지 않은 변형률 속도분포는 제품의 건정성과 치수 정밀도에 좋지 않은 영향을 끼친다.
- (3) 다이 베어링부위에서 소재의 유동순서를 파악하기 위하여 바닥부위의 충전과정을 살펴본 결과 높은 변형에너지가 요구되는 부위에서는 낮은 변형에너지가 요구되는 방향으로 소재의 일부가 이동하게 된다.
- (4) 소재의 일정치 않은 유동순서로 인해 다이의 치형이 중앙부는 가운데로 향하고 양끝부위는 밖으로 향하는 변형양상을 나타나게 된다.
- (5) Lib 부위의 다이 재설계를 통해 방열판 치형부의 재료의 미성형에 대한 문제를 해결할 수 있다.

## 참 고 문 헌

- (1) Inagaki Toshiyuki, Murakami Gatoshi, 2001 "Effect of Entry Porthole Shape Extrusion Pressure and Dimensional accuracy of Extruded Pipes at Hollow Die Extrusion," Journal of the JSTP, Vol. 42, No. 482,
- (2) H.G.Mooi, A.J. Den Bakker, K.E. Nilsen F. Huetink, 1996, "Simulation of Aluminium Extrusion by means of the Finite Element Method(FEM), in Proc. 6th Int. Al. Extr. Technol. Seminar, Chicago, pp. 67-73
- (3) Lee Jung Min, Lee Sang Gon, Kim Byung Min, Jo Hyung Ho, Jo Hoon, 2002, "Die Sress and Process Analysis for Condenser Tube Extrusion by using Porthole Die," Proceedings of 2002 Spring Symposium of the KSPE, pp. 1030-1033,
- (4) Kobayashi, S., Oh, S. I., Altan, T.,1989, "Metal forming and The Finite-Element Method," Oxford Univ. Press.,
- (5) "DEFORMTM-3D," SFTC, 1995
- (6) Murakami Satoshi, Takatsuji Norio, Tokizawa Mitsugu, Murotani Kazuo, Matsuki Kenji and Hashimoto Kiyoharu, 1996, "Inside Diameter accuracy of Extruded Pipes by Porthole Die," Journal of the FSTP, Vol. 37, No. 423
- (7) Jo Hyung Ho, Lee Sang Gon, Lee Sun Bong, Kim Byung Min, 2001 "Prediction of Welding Pressure in the Non Steady State Porthole Die Al7003 Tubes," Journal of the KSPE, Vol. 18, No. 7, pp. 179-185,