

방열판 직접압출공정의 성형성 향상에 관한 연구

이정민* · 김병민** · 강충길***

(2004년 2월 17일 접수)

A Study on Improvement of Extrudability for Extrusion Process of Heat Sink

J. M. Lee, B. M. Kim and C. G. Kang

Abstract

At present, the design of extrusion dies and operation in extrusion companies are primarily based on trial and error. The experience of the die designer, the press operator and the die corrector determine the performance of the extrusion die and the efficiency of the process. In order to produce defect-free products of desirable quality in terms of strength, surface quality and geometrical dimensions, it is important to obtain more knowledge of the processes that occur during extrusion. Recently, to reduce the costs of designing and manufacturing of extrusion dies, and to ensure the quality of the extruded products, numerical simulation for extrusion processes such as FEM (finite element method) is applied increasingly and becomes a very important tool for the design and development of new products. However, most of the studies about FE simulation have been accomplished for simple geometry and low extrusion ratio in the filed of steady metal flow conditions. The extruded products of Al alloy in industrial practice involve complicated sectional geometry. This study was designed to reduce the time of die design and manufacturing in the extrusion process using FEM simulation. FEM simulations of extrusion process were performed in non-steady states conditions by changing weld plate included in extrusion die set. Product which was employed in this study is heat sink that has been used in the parts of heat exchanger of electric circuits. It is generally applied for aluminum or its alloys due to heat efficiency and easy production of complicated shapes, and manufactured by extrusion process. The simulated results showed that weld plate shape in extrusion dies influences metal flow and dimensional accuracy of products.

Key Words : Heat Sink, Extrusion, Weld Plate, Stress Analysis

1. 서 론

압출다이 및 다이를 둘러싼 공구의 설계는 압출가공에 있어서 압출재의 품질을 결정하는 가장 중요한 인자 중에 하나이다. 기존의 다이설계는 설계자와 수정자(압출기 운용자 포함)와의 일상적

인 관찰을 반복하고 경험과 데이터 축적, 그리고 양자간의 피드백⁽¹⁾에 의해 결정되어 왔다.

그러나 오늘날 압출산업은 제품에 대한 리드타임(Lead time)이 단축되고 소재비의 상승과 작업환경의 악화로 인한 숙련 기술자의 부족 및 다품종 소량 생산 등의 문제점을 극복하기 위해 설계 및

* 부산대학교 정밀기계공학과 대학원
** 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구소
*** 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구소

제작시간 감축과 생산공정단축을 통하여 비용절감에 주력하고 있다. 따라서 압출 다이 설계와 제작의 시행착오와 가공시간 및 제작비등을 최소화하기 위해 이론해석을 바탕으로 하는 컴퓨터 시뮬레이션 방법이 모색되고 있다.

최근 실제 금형을 제작하기 전에 최적의 금형 설계 및 공정변수를 얻기 위한 유한요소법 등의 수치해석방법으로 금형설계에 필요한 좀더 구체적인 정보를 얻을 수 있게 되었다.⁽²⁻⁶⁾ 그러나 연구의 대부분이 평면변형 및 축대칭 문제 또는 비정상상태 3 차원 압출을 통한 압출결함에 대한 문제가 대부분이어서 실제 현장에서 생산되는 제품에 대한 적용은 어려운 실정이다.

방열판(Heat sink)은 전자제품의 전자회로 동작시 부품의 고열로 인한 파손, 오작동 등을 방지하기 위해 열을 분산, 공냉시키는 기능을 하는 제품으로써 현재 직접압출법에 의해 생산되고 있다. 열교환기 부품의 방열량은 부품의 표면적에 비례하기 때문에 구조적으로 얇은 두께를 가지며 다수의 핀 형태로 설계된다. 또한 핀이 완전히 수직하게 성형되지 않으면 제품성능이 저하되기 때문에 직접압출법으로 제조하기 어려운 조건들을 가지고 있다.

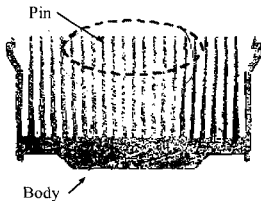


Fig. 1 Defect of extrusion for heat sink

방열판 직접압출공정에서 가장 일반적인 결함은 Fig. 1에서와 같이 압출 중 다이 변형으로 인해 발생하는 부채꼴 형상의 제품 치수오차이다. 이러한 압출결함의 원인은 일반적으로 다이 내부의 불균일한 소재 유동에 의한 것으로 판단되지만 정확한 발생원인 지점을 찾아내기는 어려운 실정이다. 실제 현장에서는 시압출과 다이 수정을 반복적으로 수행하여 압출결함을 해소하고 있지만 이러한 과정들은 생산시간 및 제품 단가를 상승시키는 주원인이 되고 있다.

본 연구에서는 실제 현장에서 적용되고 있는 방열판에 대한 비정상상태 압출공정해석을 수행하여 가공소요력 및 소재 유동양상을 파악하고

압출결함의 원인을 분석하였다. 또한 다이의 재설계를 통하여 기존의 다이 설계안과 비교, 검토하였다. 이러한 일련의 연구과정은 압출다이 설계 및 제작시간, 수정작업의 감소로 인한 생산공정의 단축과 압출품 향상에 기여할 것으로 사료된다.

2. 방열판 직접압출공정의 유한요소해석

2.1 방열판 압출을 위한 다이 세트

알루미늄 방열판의 경우, 열교환기 제품의 특성상, 동이나 알루미늄과 같이 열효율이 우수한 재료들이 사용되면 또한 공기측과의 전열면적 향상을 위해 빗살모양의 얇은 벽 두께로 설계된다. Fig. 2는 본 연구에 사용될 방열판의 단면형상 및 치수를 나타낸 것이다.

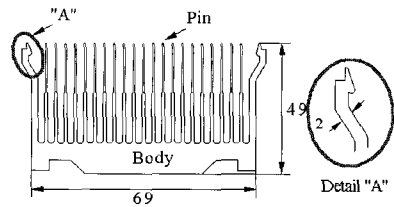


Fig. 2 Section of heat sink

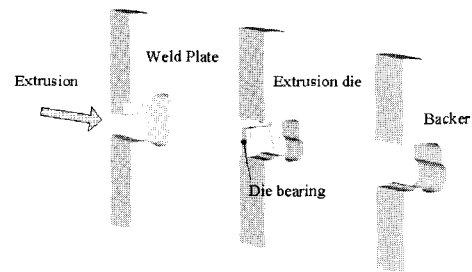
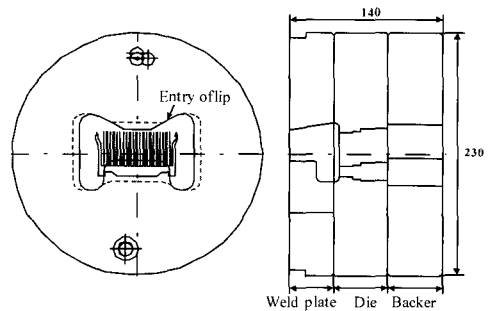


Fig. 3 Constructions of die set and 3D model for heat sink

Fig. 3은 방열판 직접압출 공정에 사용한 압출다이 세트와 3D 모델을 나타낸 것이다. 다이 세트는 크게 초기 컨테이너에서 빌렛이 장착되어 다이를 빠져 나오기전 빌렛의 유동을 제어하는 웰드 플레이트(Weld plate)와 최종 제품을 성형하는 다이, 다이의 강성을 확보하기 위한 베커(backer)로 구성되어 있다.

일반적으로 평다이를 이용한 직접압출에서는 빌렛과 빌렛의 접합성 향상과 다이 수정의 용이성 및 소성 유동의 균일성 확보를 위해 웰드 플레이트를 사용하는데, 방열판 직접압출공정에서는 이러한 웰드플레이트의 설계를 통하여 다이 내부의 균일한 소성유동을 확보하는 것이 무엇보다 중요하다.

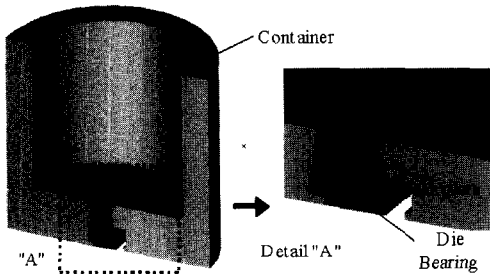


Fig. 4 3D Model of die set for FE simulation of extrusion process

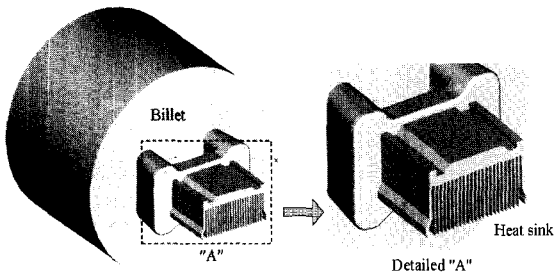


Fig. 5 Heat sink geometry associated with the die set from Fig. 3

Fig. 4는 방열판 직접압출공정의 해석을 위한 3차원 모델링 형상을 나타낸 것이다. 해석의 편의를 위해 컨테이너 립, 다이를 하나의 구조로 모델링하였다. Fig. 5는 방열판 다이 형상에 따른 빌렛의 변형과정을 나타낸 것이다.

2.2 방열판 직접압출공정 해석조건

해석은 최종제품의 형상을 고려하여 1/2 단면만을 취하여 수행하였다, 다이와 빌렛의 초기 온도는 각각 475℃와 430℃로 설정하였다. 빌렛의 재료는 실제 현장에서 사용되는 Al 1100을 적용하였고 다이는 일반적인 열간 공구강인 AISI H13(SKD61)을 적용하였다. 성형해석 시 소재는 열연성모델로, 다이는 전부 변형을 수반하지 않는 강체로 설정하였다. 마찰상수(m)은 무윤활의 열간 압출 시 일반적으로 사용되는 0.6으로 가정하였다. Fig. 6에 압출공정 해석을 위한 빌렛과 다이의 유한요소 격자를 나타내었다. 또한 Table 1에 전반적인 해석조건을 나타내었다.

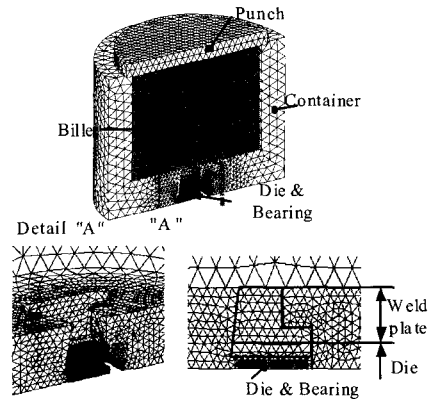


Fig. 6 Initial mesh system for FE analysis

압출공정 해석은 빌렛이 다이 베어링 부를 빠져 나가지기 직전까지 수행하였으며, 소성가공 전용해석 프로그램인 DEFORM 3D⁽⁷⁾를 이용하였다.

Table 1 Extrusion condition for heat sink

Extrusion condition	Value
Material of tools	AISI H13
Material of billet	Al 1100
Initial temp. of tools	475
Initial temp. of billet	450
Ram velocity	15
Dimension of billet	Φ 214× h156
Temp. of environment	20
Friction factor (m)	0.6

3. 방열판 직접압출공정 해석결과

3.1 압출하중

Fig. 7은 압출공정 해석결과, 하중-스트로크 곡선을 나타낸 것이다. 압출공정은 크게 세단계로 구분되어질 수 있다. Fig. 7(a)는 초기 빌렛이 램에 의해 업셋팅되어 컨테이너 내부를 채우는 과정으로 하중은 약간 상승하게 된다. Fig. 7(b)는 웰드 플레이트로 유입된 빌렛이 웰드 플레이트를 채우는 단계로 하중이 급격히 상승하다가 소재를 채우는 동안 일정하게 유지된다. Fig. 7(c)는 빌렛이 다이 베어링을 빠져 나오기 직전으로 하중은 다시 급격히 상승하여 최고점에 이르게 된다.

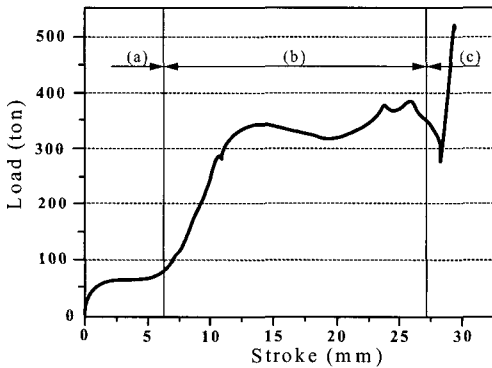


Fig. 7 Load - strike curve

3.2 소재의 성형과정 및 유동양상

Fig. 8은 램의 스트로크 변화에 따른 소재의 성형과정을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 스트로크 28.27mm에서, 웰드 플레이트로 유입된 소재가 내부를 완전히 충전하지 못하고 일부 다이 베어링 부로 빠져나가는 것을 확인할 수 있다.

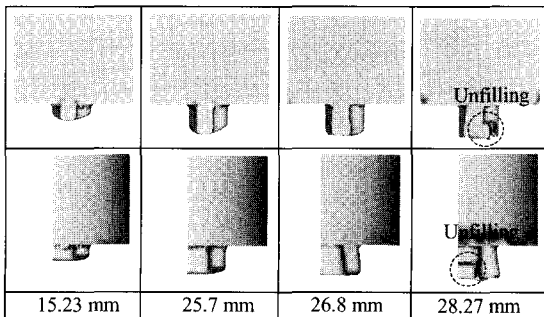


Fig. 8 Metal flow according to variation of ram stroke

소재의 유동양상을 좀더 명확히 관찰하기 위해, Fig. 9에 다이 베어링 부에서 스트로크 변화에 따른 소재의 성형과정을 변형률 속도분포로 나타내었다. 소재는 방열판 핀 중앙부에 가장 먼저 닿지만 웰드 플레이트 형상에 의해 소재 유동이 제한되면서 방열판 바디부분을 완전히 충전하지 못하고 다이 베어링 부를 빠져 나간다. Fig. 9(f)에 나타낸 것처럼 소재의 변형률 속도분포가 핀의 중앙부를 제외한 양 옆에 집중되어 있는 것을 확인할 수 있다. 이러한 불균일한 소재유동은 방열판의 건전성 및 치수 불량률의 원인이 되는 것으로 판단된다.

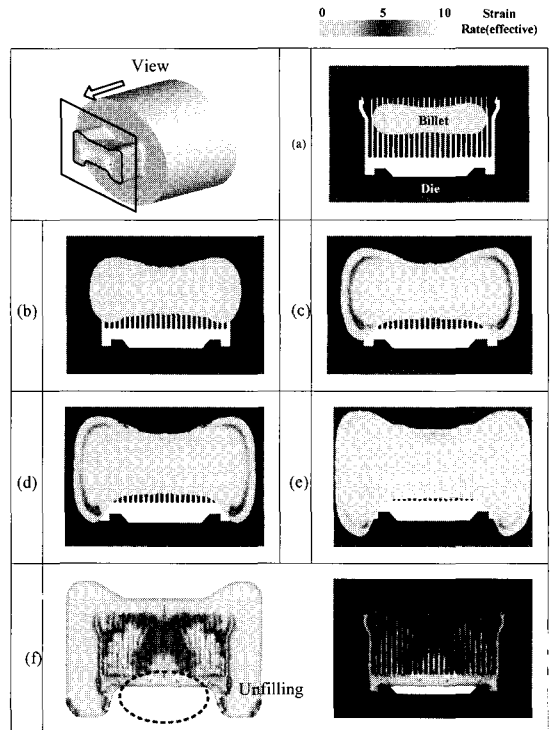


Fig. 9 Distribution of strain rate of material according to variation of ram stroke in the bottom of die

3.3 압출결함의 원인 및 대책

Fig. 10은 Fig. 8과 9의 소재 유동 양상을 도식적으로 나타낸 것이다. 그림과 같이 웰드 플레이트로 유입된 소재(①)는 다이 베어링(②)에 가장 먼저 닿는다. 그러나 소재는 Fig. 10 "B"에 의해 소재 유동이 제한되면서 상대적으로 낮은 변형에너지 소요되는 핀의 양 옆(③, ④)으로 이동하게

된다. 이때 소재의 일부는 핀 중앙부의 양 옆(②, ③)을 충전하고 일부는 Fig. 10 "A"의 미성형부를 충전하게 되는데 이러한 소재 충전차이에 의해 ②, ③위치의 핀들이 가운데로 향하는 변형을 일으킨다.

Fig. 1에서의 압출결함이 부채꼴 형상을 나타내는 원인은 핀의 상단부의 간격이 벌어진 것이 아니라 핀의 하단부, 실제 바다와 접촉부분의 핀들이 가운데로 향하기 때문이다. 압출결함을 일으킨 방열판을 자세히 살펴보면 상단부의 핀 사이의 간격은 서로 일정하지만 오히려 중앙 하단부 핀들의 간격이 서로 좁혀져 있는 것을 확인할 수 있다. 결국 웰드 플레이트 내부의 불균일한 소성유동이 방열판의 압출결함을 유발하는 것으로 판단할 수 있다.

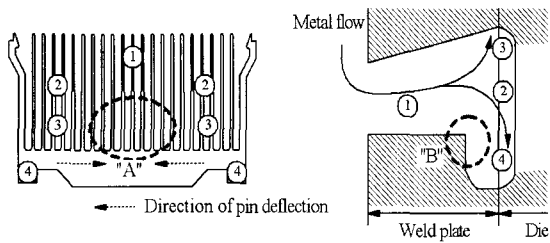
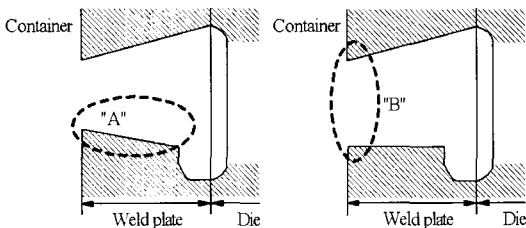


Fig. 10 Sequence of metal flow in lip and die bearing

기존의 다이를 이용한 방열판 직접압출은 Fig. 8과 9에서 보듯이 웰드 플레이트 내부에 미성형부가 발생하여 부적절한 것으로 나타났다. 일반적으로 평다이에서 웰드 플레이트 사용은 압출결함 발생 시 수정의 용이성을 확보하기 위해 설치된다. 그러므로 본 연구에서는 웰드 플레이트 수정을 통한 두개의 다이 재설계안을 Fig. 11에 제시하였다.



(a) (b)
Fig. 11 Redesigns of die

먼저 Fig. 11(a)와 같이 "A"부에 경사를 주어 웰드 플레이트내의 소재유동 구속을 완화시켜 다이 베어링 부에 닿는 소재의 순서를 균일하게 가져가는 방법과 Fig. 11(b)에서처럼 웰드 플레이트 입구를 전체적으로 확대시켜 소재의 변형에너지를 완화시키는 방법이 있다. 본 연구에서는 Fig. 11(a)의 방법을 이용하여 웰드 플레이트를 재설계한 후 압출공정해석을 수행하였다.

4. 웰드 플레이트 재설계를 통한 직접압출 공정해석

4.1 압출공정 해석 조건

Fig. 12는 재설계된 웰드 플레이트 형상을 나타낸 것이다. 립 입구의 치수 및 전체적인 다이 치수는 기존 다이와 동일하게 유지하고 웰드 플레이트 내부(Fig. 11 "A")가 수직이었던 것을 10° 경사를 주어 재설계하였다. 재설계된 다이의 직접압출공정해석 조건은 앞선 해석조건과 동일하게 설정하였다.

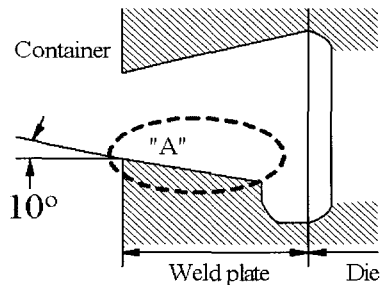


Fig. 12 Redesigned die

15.33 mm	26.2 mm	26.92 mm	28.59 mm

Fig. 13 Metal flow of redesigned die according to variation of ram stroke

4.2 압출공정 해석결과

Fig. 13은 재설계된 다이에 대한 스트로크에 따른 소재의 성형과정을 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 기존 다이(Fig. 8)에서 발생되었던 소재의 미충전부가 웰드 플레이트 수정을 통해 상당부분 개선된 것을 확인할 수 있다.

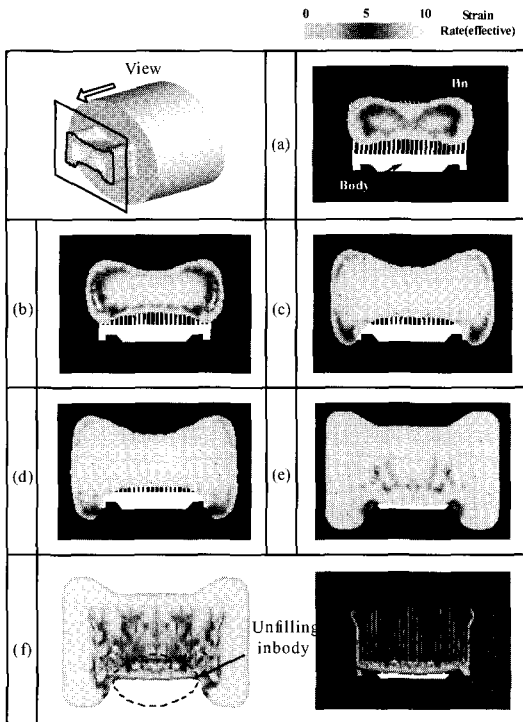


Fig. 14 Distribution of strain rate of material for redesigned die according to variation of ram stroke in the bottom of die

Fig. 14는 Fig. 9과 동일한 위치에서 소재의 성형과정을 변형률 속도분포로 나타낸 것이다. 초기 소재가 다이 베어링 부에 닿는 위치 및 전체적인 성형과정은 기존 다이(Fig. 9)와 비슷하지만 압출이 진행되면서 핀 바디 부분에 소재의 유동성이 향상되어 소재 유입량이 약간 증가한 것을 확인할 수 있다. 다이 바닥(Fig. 14(f))에서의 변형률 속도분포 또한 기존 다이는 핀 양 옆에 집중되어 있는 것에 반해, 재설계된 다이는 전체적으로 고른 분포를 가지며 상대적은 낮은 변형률 속도 값을 나타내고 있다. 변형률 속도가 높다는 것은 그만큼 소재의 유동이 빠르다는 것을 의미한다. 동일한 소재에 대해 유동 속도가 빠를 경우, 소재

내부 변형 에너지가 크게 작용하여 다이에 작용하는 성형압력 또한 커지기 된다. 이러한 변형률 속도분포차는 재설계된 다이가 기존 다이에 비해 압출도중 발생하는 다이 변형량이 작다는 것을 의미한다.⁽⁸⁻⁹⁾

5. 압출다이 강도해석

다이의 강도해석은 소재가 Fig. 9와 14의 (f) 위치에 있을 때에 대해 수행하였다. Fig. 15는 다이 강도해석 시 경계조건을 나타낸 것이다. 실제 압출공정을 고려하여 금형의 하단부는 변위가 없는 것으로 가정하여 X, Y, Z축 모두 구속시켰으며 역시 축대칭을 고려하여 1/2대칭 단면에는 수직방향의 변위(X)를 구속시켰다. 하중 경계조건은 성형해석에서 구한 소재의 성형압력을 다이의 각 절점에 부여되는 하중으로 보간하여 해석을 수행하였다.

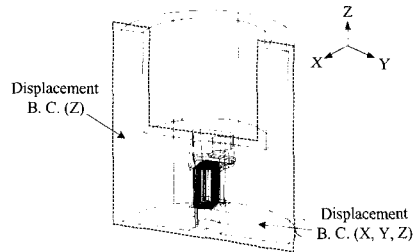


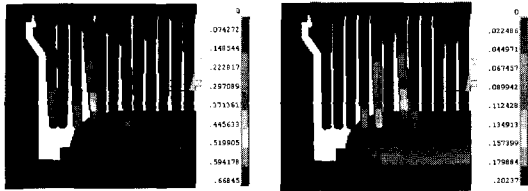
Fig. 15 Boundary condition for stress analysis

5.1 강도해석결과

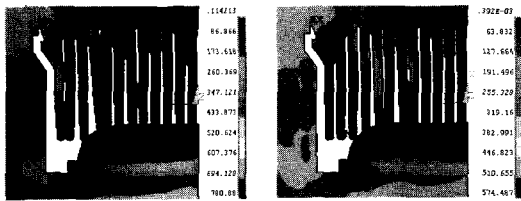
Fig. 16은 강도해석 결과, 기존 다이와 재설계 다이에 대한 다이 베어링 부의 변위분포를 나타낸 것이다. 다이의 전체적인 변형 양상은 Fig. 1의 방열판 압출결과와 일치하는 것으로 나타났다. 기존 다이와 재설계 다이의 최대 변형량은 각각 “A” 부위에서 0.668mm, 0.202mm로 기존 다이가 크게 나타났다. 이러한 원인은 앞선 해석결과에서 설명하였듯이, 기존 다이는 소재의 충전이 양 옆의 핀에 집중된 반면, 재설계 다이는 소재의 충전이 전체적으로 고르게 분포되기 때문이다. 최대 변형 발생부위 또한 기존 다이는 핀의 양 끝으로 치우쳐져 있는 반면, 재설계 다이는 핀의 중앙에 가까이 위치해 있다.

Fig. 17은 기존 다이와 재설계 다이의 유효응력 분포를 나타낸 것이다. 최대유효응력 값은 기존

다이가 780MPa, 재설계 다이가 574MPa로 나타났다. 이는 기존 다이의 소재유동속도가 재설계 다이의 유동속도보다 더 빠르므로, 다이 베어링의 성형 압력 또한 크게 작용하기 때문이다.



(a) existing die (b) redesigned die
Fig. 16 Displacements of die bearing



(a) existing die (b) redesigned die
Fig. 17 Effective stresses of die bearing

6. 결론

본 연구에서는 유한요소해석을 이용하여 현재 국내업체에서 생산 중인 방열판의 압출결함 발생 원인을 분석하고 성형성 향상을 위한 다이 설계안을 제시하였다. 또한 재설계안에 대한 압출공해석 및 강도해석을 수행하여 재설계안 및 유한요소해석의 유효성을 증명하였다. 이상의 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 기존 압출 다이에서의 방열판 압출결함의 원인은 웰드 플레이트 형상에 의해 내부 소재 유동이 구속되면서 방열판 핀의 중앙보다 양 옆에서 먼저 소재 충전이 일어나기 때문이다.

(2) 방열판의 부채꼴 형상결함은 핀의 상단부가 변형되어 발생하는 것이 아니라 방열판 하단 중앙부의 바다와 접촉한 핀들의 간격이 좁혀져 발생하는 것이다.

(3) 압출공정 해석 및 강도해석 결과, 실제 압출 결함과 일치함을 보였고 다이 재설계를 통하여

기존 다이보다 소재 성형성이 향상되었다는 것을 검증하였다. 본 연구에서 수행된 일련의 유한요소 해석 과정들은 실제 현장에서 다이 설계 및 제작, 수정에 소요되는 시간을 단축시키고 제품의 품질 향상에 기여하였다.

참 고 문 헌

- (1) Kurt Laue, Helmut Stenger, 1976, "Extrusion", American Society for metals.
- (2) C. H. Lee and D. Y. Yang., 2001, "The Analytical Consideration for Several Design Parameters of Flat-Die Extrusion Process", Transaction of Material Processing Vol. 10, No. 7, pp. 551~557.
- (3) Y. T. Kim, K. Ikeda and T. Murakami., 1999, "Measurement of Pressure Distribution on Dies in Porthole Die Extrusion," Journal of JILM, Vol. 49, pp. 296~301.
- (4) K. Iwata, K. Osakada and S. Fujino., 1972, "Analysis of hydrostatic extrusion by the finite element method", Trans. ASME, J. of Eng. for Ind., may, pp. 697~703.
- (5) E. H. Lee, R. L. Mallet and W. H. Yang., 1997, "Stress and deformation analysis of the metal extrusion process", Comp. Meth. In Appl. Mech. Eng., Vol. 10, pp. 339~353.
- (6) O. C. Zienkiewicz, P. C. Jain and E. Onate., 1978, "Flow of solids during forming and extrusion : some aspects of numerical solutions", Int. J. Solids Structures, Vol. 14, pp. 15~38.
- (7) 1995, "DEFORMTM-3D", SFTC.
- (8) Y. S. Kang and D. Y. Yang., 1995, "Rigid-viscoplastic finite element analysis of hot square die extrusion of complicated profiles with flow guides and lands by arbitrary Lagrangian-Eulerian formulation", Proc. 5th NUMIFORM, Ithaca, New-York, pp. 869~874.
- (9) Noris Tadatsuji, Mitsugu Tokiawa, Satoshi Murakami, Kazuo Murotani, Kenji Matsuki and Kazuhiro Yuasa, 1996, "Effects of Shapes on Welding Strength of Extruded Pipe by Porthole Die", Journal of the JSTP, Vol. 37, No. 428.