

## 동부스바 인발 금형설계

권혁홍\*, 이정로<sup>+</sup>

(논문접수일 2001. 12. 10, 심사완료일 2002. 7. 9)

### Die Design of Drawing for the Copper Bus-bar

Hyuk-Hong Kwon\*, Jung-Ro Lee<sup>+</sup>

#### Abstract

Copper bus-bar is made by drawing process and used in many part of industry. When design drawing die for copper bus-bar, design factor is focused on the deformation of die-land by drawing force and shrink fit. In this paper it is analyzed to determine shrink fit value by shrink fit analysis program which is used with APDL/UIDL language in a commercial FEM package, ANSYS. The shrink fit analysis has been developed that enables optimal design of the dies taking into account the elastic deflections. Elastic deflection is generated in shrink fitting the die inserts and that caused by the stresses generated using DEFORM software for drawing process analysis. This data can be processed as load input data for a finite element die-stress analysis. Process simulation and stress analysis are thus combined during the drawing die design. The stress analysis of the dies is used to determine optimized dimension of die-land.

**Key Words :** Copper Bus-bar(동부스바), Drawing Die(인발금형), Shrink Fit(역지끼워박음)

#### 1. 서론

수배전반 등에 사용되는 동부스바는 원재료를 용해하여 주조 및 절단과정을 거쳐 동빌렛(copper billet)이 생성된다. 이러한 동빌렛을 가열(heating)하여 열간압출후 마무리 공정으로 냉간압연 또는 인발성형<sup>(1)</sup>을 거쳐 기계적 성질, 화학성분, 도전율 등이 양호하고 품질이 균일하여 사용상

결함이 없는 완성품이 만들어진다.

본 연구에서는 주로 많이 사용되는 마무리공정인 인발성형 공정에서 사용되는 동부스바 인발금형에 관한 연구를 하고자 한다. 부스바의 인발 금형설계시 고려해야할 사항은 인발력 및 역지끼워박음에 의한 금형 형상의 변화이다. 실제로 현장에서 다이랜드의 변형에 의해 불량률이 매우 높게 나타나고 있다. 다이랜드의 변형은 역지끼워박음에

\* 주저자, 대전대학교 기계설계공학과 (hhkwon@daejin.ac.kr)

주소: 경기도 포천군 포천읍 선단리 산11-1번지, Tel: 031-539-1972

+ 대전대학교 대학원 기계설계공학과



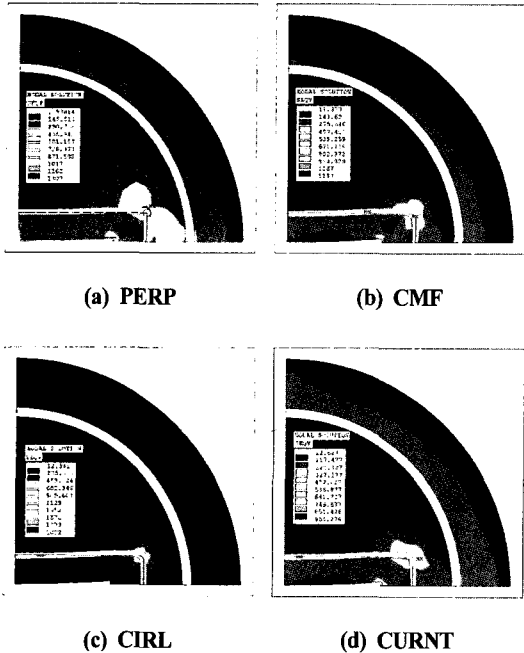


Fig. 3 Equivalent stresses on the various dies

Table 2 Material input data used in the analysis

| Material             | insert | 1st ring | 2nd ring |
|----------------------|--------|----------|----------|
|                      | WC     | SCM4     | SM45C    |
| Young's modulus(GPa) | 450    | 204      | 205      |
| Poisson ratio        | 0.2    | 0.3      | 0.3      |

Table 3 Interference values used in automatic shrink fit analysis program

|                    | 1st ring   | 2nd ring    |
|--------------------|------------|-------------|
| Interference value | 0.1mm(dia) | 0.15mm(dia) |

### 3. 부스바의 인발성형 수치해석<sup>(7~10)</sup>

부스바의 냉간인발 성형공정 해석과 응력 및 변형해석에 유한요소해석 프로그램인 DEFORM 3D와 ANSYS를 사용하였다. 정상상태의 해석을 DEFORM에서 수행하였고 해석결과를 이용하여 금형의 응력해석을 ANSYS에서 Fig. 4와 같이 수행하였다.

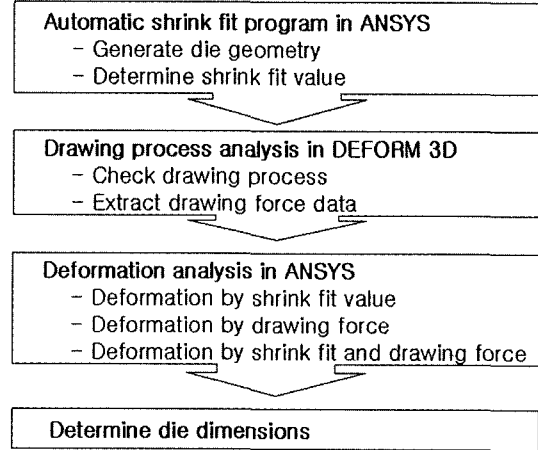


Fig. 4 Analysis procedure for bus-bar dies

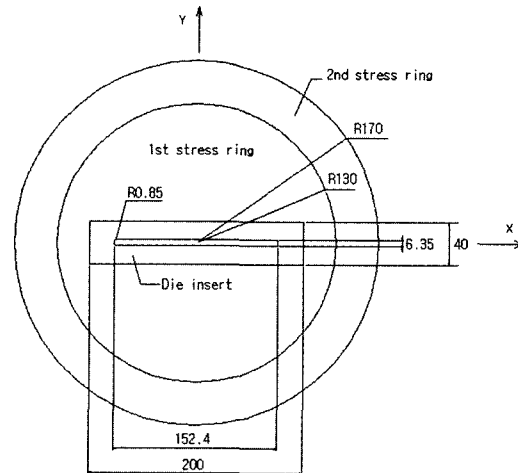


Fig. 5 Top drawing of bus-bar dies

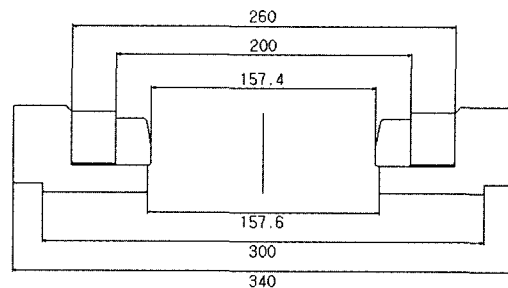


Fig. 6 XZ section drawing of bus-bar dies

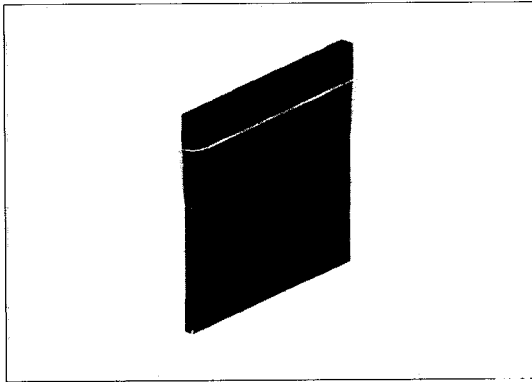


Fig. 8 Mesh model of the billet and bus-bar drawing die

해석에 사용된 부스바의 금형은 2중 보강링으로 구성되어 있으며 각 보강링에는 억지끼워박음 되어 있다. Fig. 5는 부스바 인발금형 형상의 평면도를 나타내고, Fig. 6과 7은 각각 부스바의 XZ, YZ 평면의 단면도를 나타낸다.

### 3.1 수치해석 조건

해석을 원활히 하기 위하여 금형의 인서트를 셸요소(shell element)를 사용하여 금형 랜드부를 유한요소 모델링하였으며 빌렛은 솔리드요소를 사용하여 모델링하였다. 또한 빌렛에 동일한 인발력을 적용시키기 위하여 빌렛의 하단에 가상의 shell을 생성하여 shell에 인발속도를 적용하였다. Fig. 8은 빌렛과 금형인서트부의 유한요소 모델이다. 강소성 유한요소법에 의한 시뮬레이션을 위하여 빌렛의 재료는 경질 동부스바(KS C1100BB-H)를 사용하였으며, 압축 시험으로 얻은 재료의 유효응력과 유효변형률 관계식은 식(1)과 같다.

$$\bar{\sigma} = 604.712 \bar{\epsilon}^{0.285} \quad [\text{MPa}] \quad (1)$$

빌렛과 인서트부의 마찰계수는 0.2로 설정하였으며 이것은 실제 공정에서 사용하는 윤활제를 고려한 값이다.

등온(iso-thermal)해석을 통하여 인발성형 공정해석을 하였으며 10 스텝(step) 간격으로 100스텝까지 인발 성형해석을 하였다. Fig. 9에서와 같이 해석결과 50 스텝에서 다이에 가해지는 응력이 가장 높았다. 이 단계에서 다이인서트에 작용하는 하중을 ANSYS의 압입량 해석 프로그램에서 생성한 3D 인서트 유한요소 모델에 보간하여 적용하였으며, 금형강도 해석시 금형에 가해지는 인발력으로 사용하

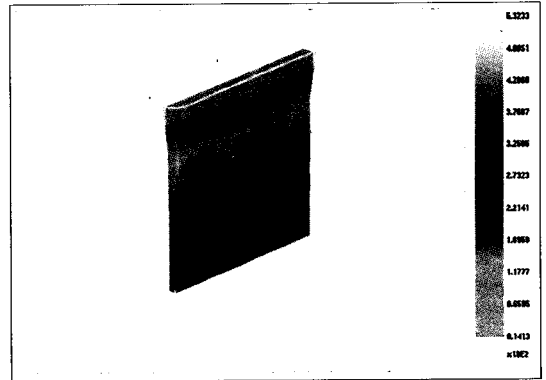


Fig. 9 Effective stress of billet

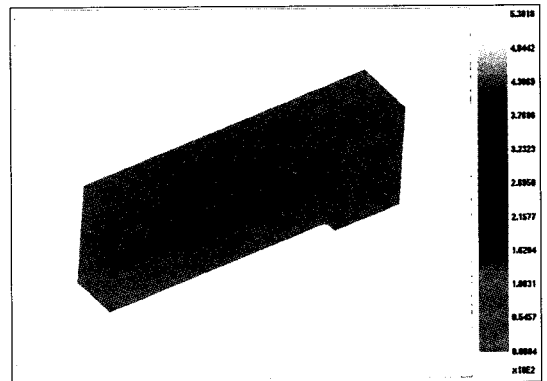


Fig. 10 Effective stress of die

였다. Fig. 10은 인발 과정이 50 스텝까지 진행된 상태에서 3D 인서트 유한요소 모델에 인발력을 보간하여 적용시킨 결과이다.

### 3.2 금형 변형량 해석

금형 변형량 해석을 수행하기 위해 압입량 해석 프로그램에서 생성한 다이인서트와 제 1 보강링, 제 2 보강링으로 구성된 금형조립체의 1/4 유한요소 모델을 사용하였다. 억지 끼워박음에 의한 다이랜드의 변형 및 인발력에 의한 다이랜드의 변형, 그리고 이 두 힘이 같이 작용할 때의 변형에 대하여 각각 해석하였다. Fig. 11은 압입에 의한 금형 인서트 부분의 횡방향(Uy 방향)에 대한 변형 해석 결과이다. 압입에 의한 압축력이 작용하여 다이인서트의 중간부분에서 중심방향으로 크라운변형이 발생하였다.

Fig. 12는 DEFORM-3D 해석 결과에서 얻어진 인발력

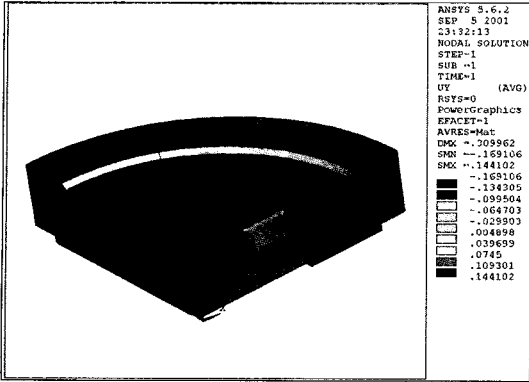


Fig. 11 Die deformation by shrink fit

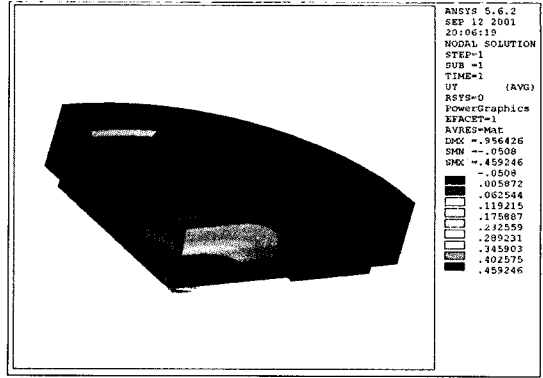


Fig. 12 Die displacement by drawing force

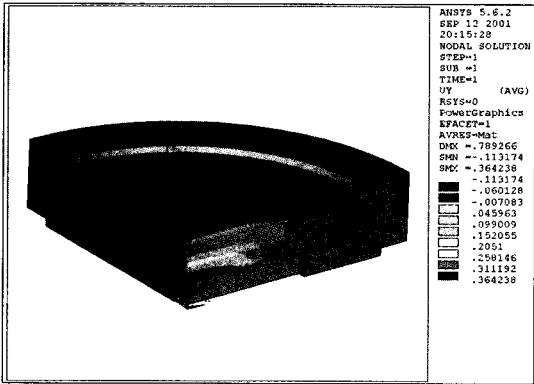


Fig. 13 Die displacement by shrink fit and drawing force

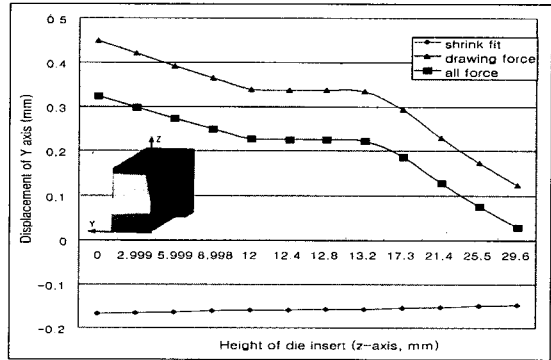


Fig. 14 Y-direction deformation of die-land compared with product dimension

에 의해 다이랜드에 하중이 주어질 때 다이랜드의 변형 해석결과이다. 이때 압입량은 0인 상태이고 인발력에 의한 하중의 Uy 방향의 변형량이 양의 값이므로 다이랜드가 팽창하는 것을 알 수 있다.

Fig. 13은 억지끼워박음과 인발하중이 동시에 적용된 해석결과이다. 인발하중과 압입량에 의하여 다이랜드의 변형은 상쇄되어야 하나 인발하중이 억지끼워박음에 의한 압축력보다 크게 작용하여 인서트의 다이랜드 부분이 Y축 방향으로 인장이 되는 결과가 나타났다.

Fig. 14에서 각각의 하중이 작용할 때의 금형 인서트의 랜드부분의 변형량을 알 수 있다. 모든 하중이 주어졌을 때 길이방향으로의 중간부의 다이랜드가 0.32mm 팽창되는 것을 알 수 있다.

제품 사이즈를 기준으로 하여 해석을 수행한 결과 다이랜드의 심한 변형으로 인하여 정상적인 제품이 생산될 수

없을 것으로 예상되었으며, 따라서 인서트의 다이 랜드의 변형량을 보정하여 재 설계함으로써 제품의 정밀도를 높였다.

#### 4. 변형량을 고려한 인발금형의 재설계

금형 변형해석 결과의 변형량을 고려하여 부스바 금형의 인서트 부분을 다시 설계하여 해석하였다. 금형랜드의 변형량 0.32mm에 대하여 금형랜드를 반대방향으로 0.32mm를 보정한 후 해석하였으며 이에 대한 해석 결과가 Fig 15이다. 이 그림에서 금형랜드가 요구되는 제품 사이즈보다 0.1mm 적게 설계되었음을 알 수 있다.

Fig. 16은 다이랜드가 0.1mm 적게 설계된 것을 보정하여 모델링한 후 해석을 수행한 결과이다. 제품의 사이즈와 인발작업시 금형이 변형되는 변형량의 차이가 0.049mm로 공차량의 범위에 포함되는 제품치수에 맞는 금형설계가 이

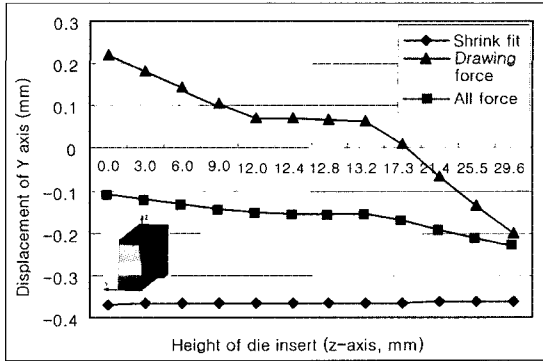


Fig. 15 Y-direction deformation of modified die-land

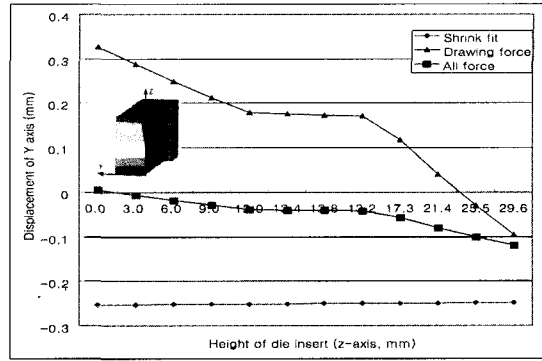


Fig. 16 Y-direction deformation of re-modified die-land

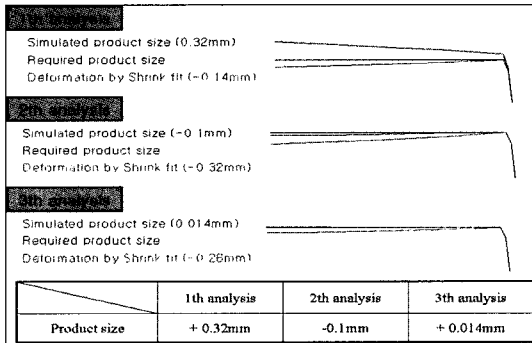


Fig. 17 Modified sizes by process sequence

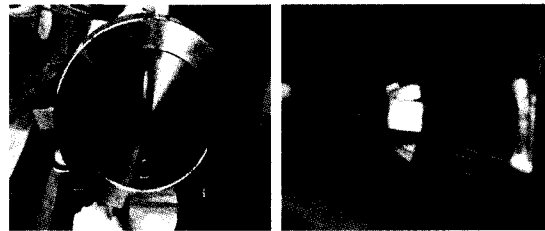


Fig. 18 Manufactured drawing die-set

뤼졌음을 알 수 있다.

부스바의 기하학적 형상의 특성상 Uy 방향에 대한 변형이 지배적이다. 보강링이 인서트에 가하는 압입량에 의하여 금형의 인서트는 압축되어 랜드부에 (-) Uy 방향으로 수축이 일어났으며 인발 작업이 진행중인 상태에서는 소재가 금형에 가하는 힘에 의하여 금형랜드는 (+) Uy 방향으로 팽창되었다. Fig. 17은 해석한 후 보정된 부스바의 인발금형 설계치수를 나타내었고, 결정된 치수에 의해 제작된 동부스바의 인발금형(Fig. 18)을 사용하여 냉간인발된 동부스바는 공차범위내의 정밀도를 지닌 인발제품을 나타낸다.

위하여 ANSYS에서 제공하는 APDL/UIDL 프로그래밍 언어를 사용하여 자동해석 프로그램을 개발함으로써 부스바 설계초기에 발생하는 압입량 결정을 설계현장에서 간단하게 결정할 수 있게 하였다. 압입량과 인발력이 작용하는 상황을 유한요소 모델링하여 해석한 후, 이를 인서트의 설계보정치수로 제공함으로써 금형 인서트의 변형에 의해 제품사이즈의 불량이라는 현상을 해결하였다.

보정된 부스바의 인발금형 설계치수에 의해 제작된 동부스바의 인발 금형을 사용하여 공차범위내의 정밀도를 지닌 우수한 인발제품을 생산하였다.

## 5. 결론

동부스바 제작을 위한 인발 금형의 변형에 대한 연구에서 금형에 인발력이 작용할 때 인발력에 의한 금형의 변형이 제품의 정밀도를 저하시키는 현상에 대하여 압입량 및 다이랜드의 설계 변화를 통하여 해결하였다. 압입량을 결정하기

## 참고 문헌

- (1) Altan T, Oh SI, Gegal HL, "Metal Forming: Fundamental and Applications," ASM, 1983.
- (2) Doege E, Bohnsack R, and Romanowski C, "Tool technologies for near net shape forgings," *International*

- Conference on Forging and related Technology (ICFT 98)*, pp. 311~322, 1998.
- (3) Guyoncourt D, Huang HC, and Piller R, "Housing of Ceramic Die Inserts for Aluminum Extrusion," *Proc. 6th International Aluminum Extrusion Technology Seminar*, Chicago, USA, Vol. 2, pp. 133~139, 1996.
- (4) Knoerr M, Lange K, and Altan T, "Fatigue failure of cold forging tooling: causes and possible solutions through fatigue analysis," *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 46, pp. 57~71, 1994.
- (5) Nagao Y, Knoerr M, and Altan T, "Improvement of tool life in cold forging of complex automotive parts," *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 46, pp. 73~85, 1994.
- (6) ANSYS Inc., "Guide to ANSYS User Programmable Features, Release 5.6," <http://www.ansys.com>, 1994.
- (7) Takahashi S, Brebbia CA, "Forging die stress analysis using boundary element method," *Advanced Technology of Plasticity*, Vol. 1, pp. 203~210, 1990.
- (8) Kwon HH, Bramley AN, "A development of ceramic inserts for closed die forging tools," *Annals of the CIRP*, Vol. 49/1, 173~176, 2000.
- (9) 권혁홍, 진황민, 김형섭, "평기어의 정밀 냉간단조 금형설계", 한국공작기계학회 '98년도 추계학술대회 논문집, pp. 242~247, 1998. 11.
- (10) 권혁홍, 이정로, "Hexagonal 인서트용 열간압출 금형설계", 한국공작기계학회 2001년도 춘계학술대회논문집, pp. 72~77, 2001. 4.