APDL/UIDL을 이용한 동부스바 인발금형에 관한 연구

대진대학교

권혁홍, 이정로

(사) 한국소성가공학회 2001 년 제4회 압출 및 인발 심포지엄

APDL/UIDL을 이용한 동부스바 인발금형에 관한 연구

권혁홍* ·이정로**

A Study on the Copper Bus-bar Drawing Dies using APDL/UIDL

H.H. Kwon*, J.R. Lee**

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, to determine shrink fit value is analyzed by automatic shrink fit analysis program, APDL/UIDL language in a commercial FEM package, ANSYS, has been developed that enables optimal design of the dies taking into account the elastic deflections generated in shrink fitting the die inserts and that caused by the stresses generated in the process and by 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, Drawing die, Shrink fit, APDL/UIDL

1. 서 론

수배전반 등에 사용되는 동부스바는 원재료를 용해하여 주조 및 절단과정을 거쳐 동빌렛(copper billet)이 생성된다. 이러한 동빌렛을 가열(heating)하여 열간압출후 마무리공정으로 냉간압연 또는 인발성형[1]을 거쳐 기계적 성질, 화학성분, 도전율 등이 양호하고 품질이 균일하여 사용상 결함이 없는 완성품이 만들어 진다.

여기에서 주로 많이 사용되는 마무리공정인 인발성형 공정에서 사용되는 동부스바 인발금형에 관한 연구를 하고자 한다. 부스바의 인발 금형설계시 고려해야할 사항은 인발력 및 억지끼워박음에 의한 금형 형상의 변화이다. 실제로 현장에서 다이랜드의 변형에 의해 불량률이 매우 높게 나타나고 있다. 또한 억지끼워박음에 의해 이러한 변형을 어느 정도 보완할 수는 있지만 인발력에 의한 금형의 응력이 커질 경우 금형 인서트 설계를 소재의 물성치 및 억지끼워박음 공차량, 인발력을 고려하여 설계하여야 한다[2~5]. 이러한 금형의 설계는 매우 난해한 부분이며, 본 연구를 통하여 억지끼워박음 공차량과 인발력에 대한 금형랜드의 변형에 대하여 압입량 해석, 인

* 대진대 기계설계공학과

** 대진대 기계설계공학과 대학원

발성형 공정해석 및 금형응력 해석을 유한요소법을 이용하여 수행하고, 그 결과를 이용하여 부스바의 인발 금형을 설계하였다.

2. APDL/UIDL을 이용한 자동 간섭량 해석 프로그램 개발

각 보강링에 대한 압입량을 결정하기 위하여 상용 CAE 팩키지인 ANSYS에서 제공하는 프로그래밍 언어인 APDL/UIDL(ANSYS Parametric Design Language/User Interface Design Language)[6]을 사용하여 압입량 자동 해석 프로그램을 개발하여 각 보강링의 압입량을 결정하였다. ANSYS 툴바에 자동해석 프로그램을 연결함으로서 설계자는 유한요소법에 관련지식이 부족하더라도 메뉴 선택 및 물성치 입력만으로 압입량 해석을 수행할 수 있도록 하였다.

우선 해석의 실행속도를 감안하여 2차원 형상의 다이인서트부의 형상을 4가지로 분류하여 해석을 수행한 연후에 응력과 변형률을 파악한 뒤, 최적의 다이인서트 형상을 결정하게 되면 2차원 모델링 결과를 3차원 모델링으로 전환시켜 바로 3차원 해석을 수행하도록 되어 있다.

PREP: 보강링1의 안쪽 모서리를 3/4의 형태의 원으로 cutting했을 때의 형상해석

CMF : 보강링1과 초경의 모서리부분에 chamfer을 줄 때의 형상해석

CIRL: 보강링1과 초경의 모서리부분에 round를 줄 때의 형상해석

CURNT: 보강랑1과 인서트의 모서리부분이 서로 직각인 형상해석

Fig. 1과 2는 ANSYS에서 압입량 해석 프로그램을 실행한 툴바를 나타낸다.

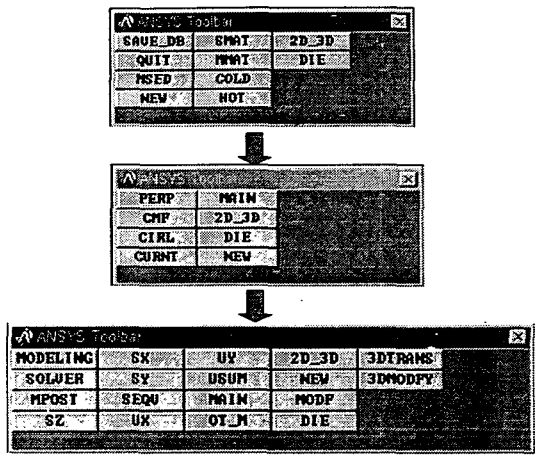


Fig. 1 Automatic shrink-fit analysis toolbar

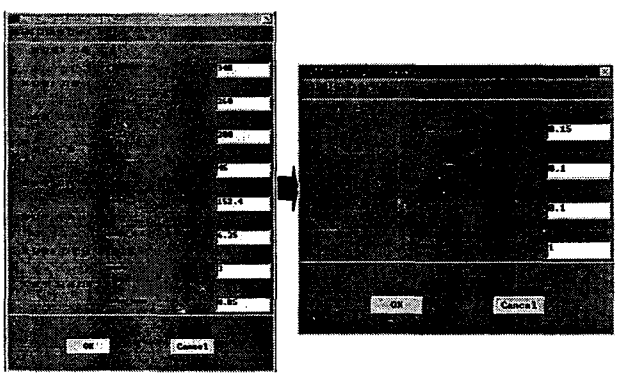


Fig. 2 Input window for model geometry

압입량 해석 프로그램은 부스바의 설계시 금형의 형상 및 재료의 물성치를 이용하여 2D 및 3D 유한 요소 모델을 생성하고 이를 이용하여 각 보강링의 압입량을 결정하는 프로그램이다.

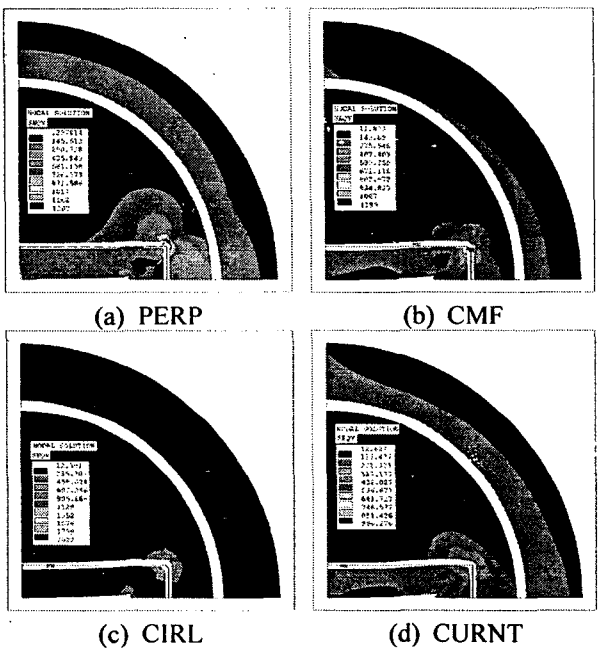
또한 압입량 결정 프로그램에서 생성된 유한요소 모델은 인발력에 의한 금형 변형 해석 및 압입량과 인발력이 모두 가해질 때의 금형 변형 해석에 그대로 사용된다. Table 1은 해석에 사용된 부스바의 재료 물성치이다. 압입량 해석 프로그램을 사용하여 해석한 부스바의 각 보강링에 대한 압입량은 Table 2와 같다. 0.1mm와 0.15mm는 1, 2차 압입 공차량을 나타내고, 다이인서트부의 4가지 형상에 따른 2차원 해석결과이다. 이들 중 가장 적합한 형상을 선택하여 3차원 모델링으로 바로 전환시켜 모델링한 후 3차원 해석을 수행하였다.

Table 1 Material input data used in the analysis

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

Table 2 Result of shrink fit analysis by use automatic shrink fit analysis program.

	1th ring	2th ring
압입량	0.1mm(dia)	0.15mm(dia)



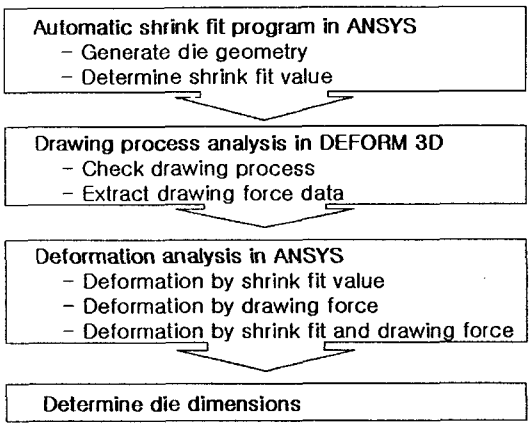
(a) PERP (b) CMF

(c) CIRL (d) CURNT

Fig. 3 Equivalent stresses on the various

3. 부스바의 인발성형 수치해석[7~10]

부스바의 냉간인발 성형공정 해석을 위하여 상용 유한요소해석 프로그램인 DEFORM 3D를, 금형의 응력 및 변형을 해석하기 위하여 ANSYS를 사용하였다. 정상상태의 해석을 DEFORM에서 수행하여 이들 결과데이터를 이용하여 금형에 걸리는 응력상태가 금형설계 자료로 중요하므로 금형의 응력해석을 ANSYS에서 다음과 같이 수행하였다.



해석에 사용된 부스바의 금형은 2중 보강링으로 구성되어 있으며 각 보강링에는 억지끼워박음 되어 있다. Fig. 4~6은 부스바의 인발금형 형상도면으로, 여기서 Fig. 4는 부스바 인발금형 형상의 평면도를 나타내고, Fig. 5, 6은 각각 부스바의 길이와 두께 방향으로의 정면도를 나타낸다.

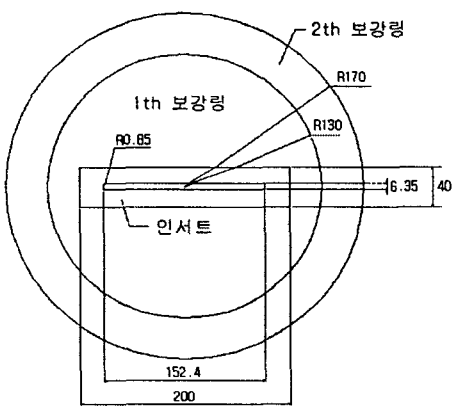


Fig. 4 Top drawing of Bus-bar

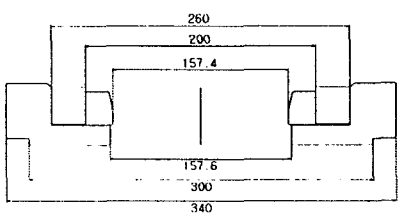


Fig. 5 Section drawing on the XZ of Bus-bar

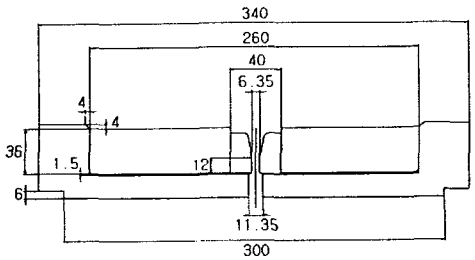


Fig. 6 Section drawing on the YZ of Bus-bar

3.1 수치해석 조건

해석을 원활히 하기 위하여 금형의 인서트를 쉘요소(shell element)를 사용하여 금형 랜드부를 유한요소 모델링하였으며 빌렛은 솔리드 모델링하였다. 또한 빌렛에 동일한 인발력을 적용시키기 위하여 빌렛의 하단에 가상의 shell을 생성하여 shell에 인발속도를 적용함으로써 유한요소 해석이 원활히 수행되도록 하였다. Fig. 7은 빌렛과 금형인서트부의 유한요소 모델이다. 강소성 유한요소법에 의한 시뮬레이션을 위하여 빌렛의 재료는 경질동부스바(KS C1100BB-H)를 사용하였으며, 압축시험 결과 재료의 유효응력과 유효변형률 관계식은 식 (1)과 같다.

$$\bar{\sigma} = 604.712\ \bar{\varepsilon}^{\,0.285}\ [\mathrm{MPa}] \qquad (1)$$

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

Iso-thermal 해석을 통하여 인발성형 공정해석을 하였으며 10 스텝(step) 간격으로 100스텝까지 인발 성형해석을 하였다. 해석결과 50 스텝에서 다이에 가하여 지는 응력이 가장 높았으며, 이 때 다이인서트에 작용하는 하중을 ANSYS의 압입량 해석 프로그램에서 생성한 3D 인서트 유한요소 모델에 보간(interpolate)하여 ANSYS에서의 금형 변형 해석에서 금형에 가해지는 인발력으로 사용하였다. Fig. 10은 인발 과정이 50 스텝까지 진행된 상태에서 3D 인서트 유한요소 모델에 인발력을 보간시킨 결과이다.

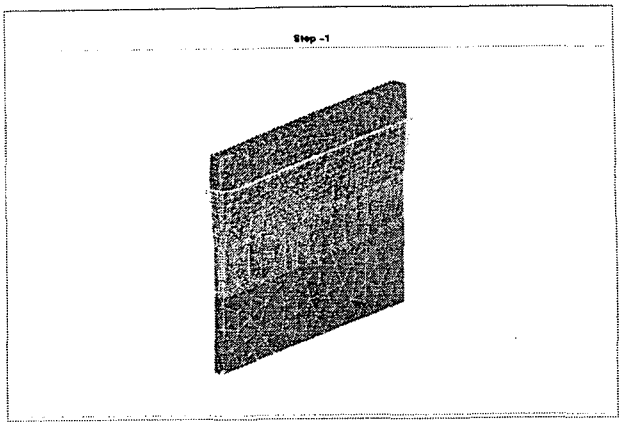


Fig. 7 Mesh of the DEFORM 3D

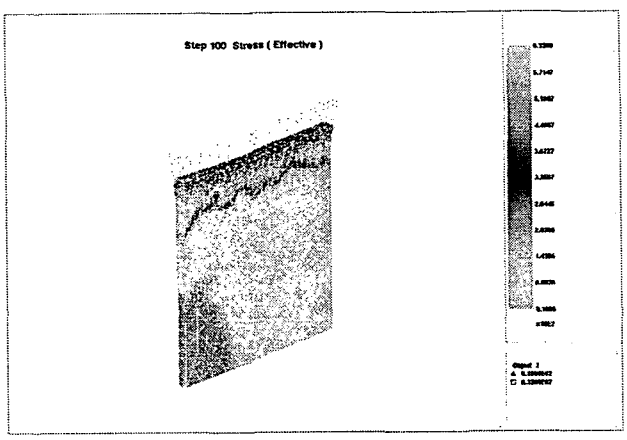


Fig. 8 Stress at step 100

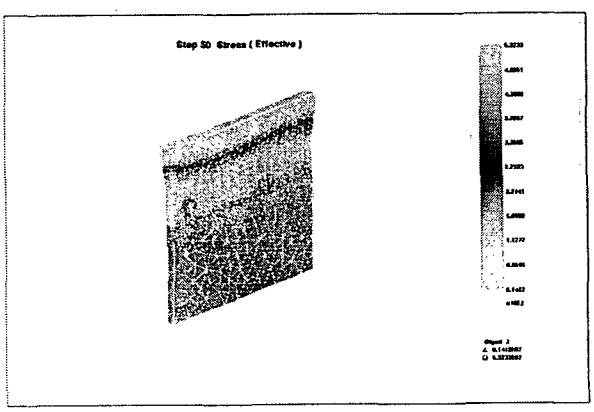


Fig. 9 Stress at step 50

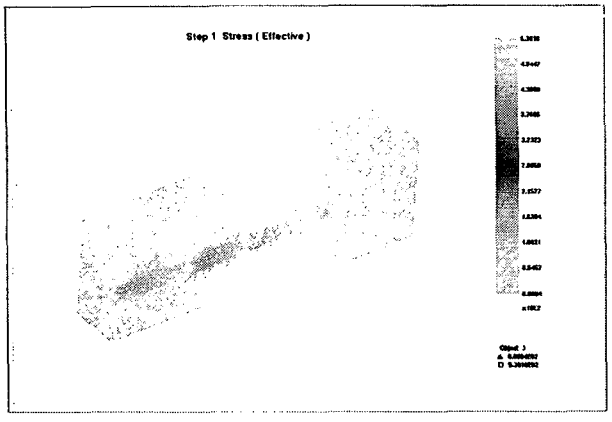


Fig. 10 Die stress at step 50

3.2 금형 변형량 해석

금형 변형량 해석을 수행하기 위하여 압입량 자동해석 프로그램에서 생성한 다이인서트, 제 1보강링, 제 2보강링으로 구성된 금형조립체의 1/4 유한요소 모델을 사용하였다. 억지끼워박음에 의한 다이랜드의 변형 및 인발력에 의한 다이 랜드의 변형, 그리고 이 두 힘이 같이 작용할 때의 변형에 대하여 각각 해석하였다. Fig. 11은 압입에 의한 금형 인서트 부분의 Uy 방향에 대한 변형 해석 결과이다. 압입에 의하여 압축력이 작용하여 (-) 방향으로 변형이 발생하였다.

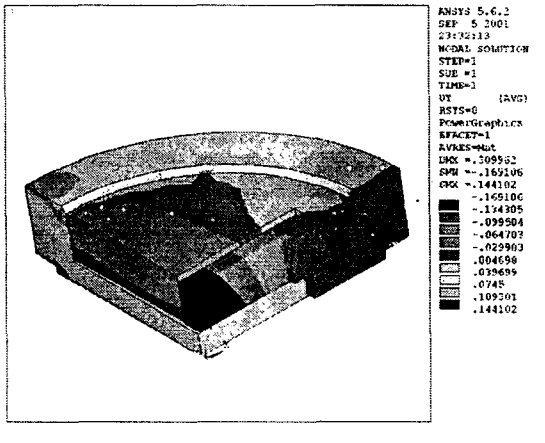


Fig. 11 Die deformation by Shrink fit

Fig. 12는 DEFORM 해석 결과에서 얻어진 인발력에 의해 다이랜드에 하중이 주어질 때 다이랜드의 변형 해석결과이다. 이때 압입량은 0인 상태이고 인발력에 의한 하중의 Uy 분력이 (+)이므로 다이랜드에 (+) 변형이 발생하였다.

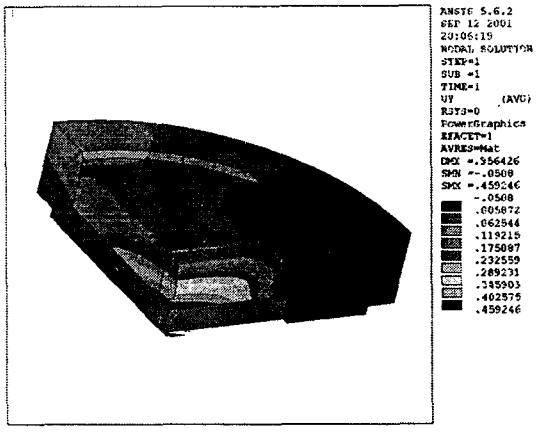


Fig. 12 Die displacement by Drawing force

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.

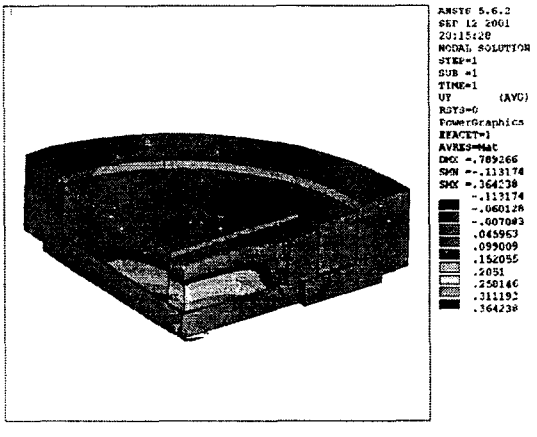


Fig. 13 Die displacement by Shrink fit and drawing force

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

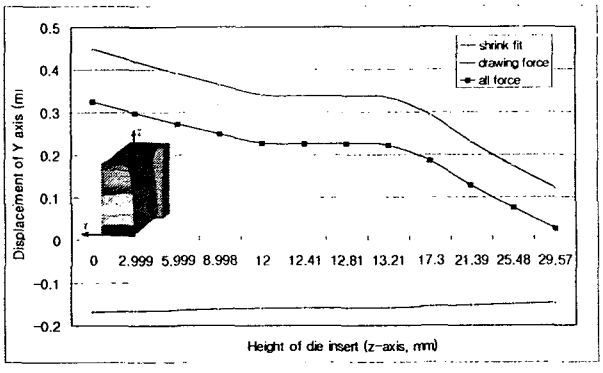


Fig. 14 Y-direction deformation of die-land compared with product dimension

제품 사이즈를 기준으로 하여 해석을 수행한 결과 다이 랜드의 심한 변형으로 인하여 정상적인 제품이 생산될 수 없을 것으로 예상되었으며, 따라서 인서트의 다이랜드를 변형량을 보정하여 재 설계함으로써 제품의 정밀도를 높여야 했다.

4. 변형량을 고려한 인발금형의 재설계

금형 변형해석 결과의 변형량을 고려하여 부스바 금형의 인서트 부분을 다시 설계하여 해석하였다. 금형랜드의 변형량 0.32mm에 대하여 금형랜드를 -Y축 방향으로 0.32mm를 더하여 설계하여 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 것에 대해 보정하여 모델링한 후 해석을 수행한 결과이다. 제품의 사이즈와 인발작업시 금형이 변형되는 변형량의 차이가 0.049mm로 공차량의 범위에 포함되는 제품치수에 따른 금형설계가 이뤄졌음을 알 수 있다.

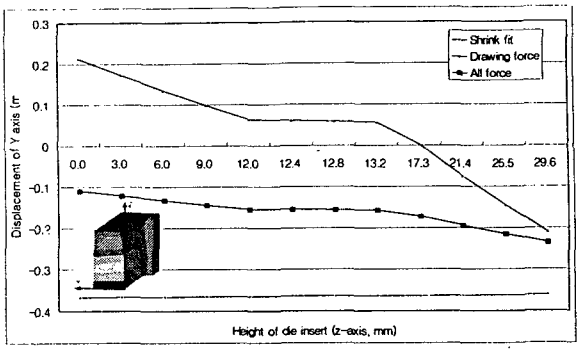


Fig. 15 Y-direction deformation of modified die-land

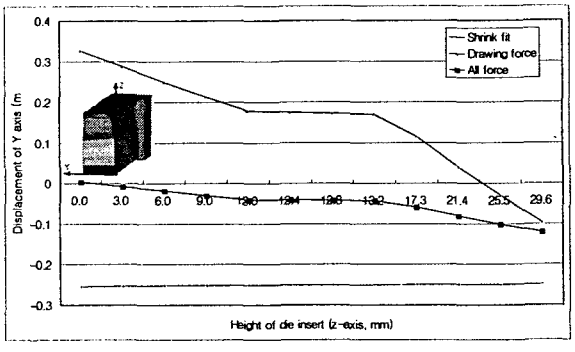
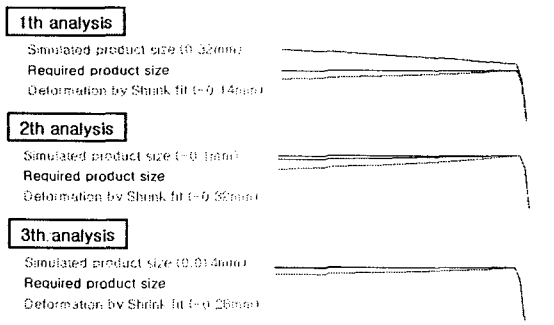


Fig. 16 Y-direction deformation of re-modified die-land

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 인발금형설계치수에 의해 제작된 동부스바의 인발 금형을 사용하여 공차범위내의 정밀도를 지닌 인발 제품의 제조가 가능하였다.



	1th analysis	2th analysis	3th analysis
Product size	+ 0.32mm	-0.1mm	+ 0.014mm

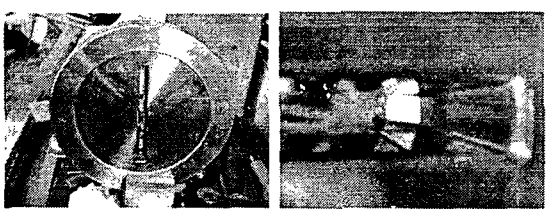


Fig. 17 Manufactured drawing die-set

5. 결 론

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 위하여 ANSYS에서 제공하는 APDL/UIDL 프로그래밍 언어를 사용하여 자동해석 프로그램을 개발함으로써 부스바 설계초기에 발생되는 압입량 결정을 설계현장에서 간단하게 해석하여 결정할 수 있게 하였다. 압입량과 인발력이 작용하는 상황을 유한요소 모델링하여 해석한 후, 이를 인서트의 설계 보정치수로 제공함으로서 금형 인서트의 변형에 의해 제품 사이즈의 불량이 일어나는 현상을 해결하였다.

보정된 부스바의 인발금형 설계치수에 의해 제작된 동부스바의 인발 금형을 사용하여 공차범위내의 정밀도를 지닌 우수한 인발제품을 생산하였으며, 금형수명 또한 향상됨을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 '2001년 산학연 컨소시엄'사업으로 지원되었습니다. 본 연구를 위해 지원해주신 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

(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, "Die Design on the Precision Cold Forging of Spur Gear", 한국공작기계학회 '98년도 추계학술대회 논문집, pp.242-247, 1998.11

(10) 권혁홍, 이정로, "Hexagonal 인서트용 열간압출 금형설계", 한국공작기계학회 2001년도 춘계학술대회논문집, pp.72-77, 2001.4