

축대칭 열간 강단조의 블락커 설계 시스템 개발

김대영* · 박종진*

(1998년 3월 6일 접수)

Development of a Blocker Design System for Axisymmetric Hot Steel Forging

Dae Young Kim and Jong Jin Park

Abstract

In hot forging, the blocker is a transient shape between the buster and the finisher. In general, as the finisher shape becomes complicated, the blocker design becomes quite difficult. In the present study, an expert system is developed for the blocker die design of axisymmetric hot steel forging. It is a rule based system written in Fortran and AutoLISP, operating on a personal computer. In this paper, the major rules considered in the system are summarized and several blockers designed by the system are discussed with results of rigid viscoplastic finite element analysis.

Key Words : Blocker Die Design(블락커 금형설계), Expert System(전문가 시스템), Hot Forging(열간단조) Steel Forging(강단조), Rigid Viscoplastic Finite Element Method(강소성 유한요소법)

1. 서 론

단조는 금형을 사용하여 간단한 형상의 소재를 소성변형시켜 비교적 복잡한 형상으로 변형시키는 기술이다. 단조품의 최종형상과 치수는 기계가공품의 형상과 치수를 기본으로 하여 설계하는데 이를 피니셔(finisher)라고 한다. 초기소재의 형상은 여러번의 단조공정을 거쳐 피니셔형상으로 성형된다. 초기형상에서 피니셔형상으로 변형되는데 소요되는 단조공정은 일반적으로 형상이 복잡할수록 증가하는데 보통 버스터(buster)와 블락커(blocker)로 구분된다. 버스터에서는 소재를 비교적 크게 압축하여 가열중 표면에 발생한 스케일을 제거하고, 적절한 단조비를 적용하여 소재 내의 결함을 제거하고 결정립의 크기를 제

어한다. 블락커에서는 버스터된 소재를 피니셔형상에 가깝도록 단조하여 피니셔공정을 원활하게 한다. 피니셔에서는 블락커된 소재를 피니셔로 성형한다. 따라서 일반적으로 버스터 금형은 간단한 형상을 띠는 반면에 피니셔 금형은 기계가공품 설계로부터 구하여지므로 복잡한 형상을 띠게 된다. 블락커 설계시에는 여러 인자를 고려하여야 하며 경우에 따라서는 두 개이상의 블락커 공정이 필요할 때로 있다.⁽¹⁾ 단조공정 및 금형설계는 대부분 숙련된 금형설계 전문가들에 의하여 이루어진다. 하지만 블락커 금형을 설계하는 것은 특히 어려워 오랜 경험을 가진 전문가들도 여러 번의 시행착오를 거쳐야 한다.

본 연구에서는 축대칭 열간 강 단조의 블락커 설계를 위한 전문가 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 최근에 개발

* 홍익대학교 기계공학과

된 피니셔 설계 시스템과 연계되어 열간 단조 공정설계 시스템으로 개발되었다. 현장 경험, 문헌 자료와 FEM 해석 등을 통하여 블락커 설계에 대한 데이터베이스를 구축하였고, FORTRAN, AutoLISP 언어를 사용하여 전문가 시스템을 구축하였고, DOS와 Windows AutoCAD 환경에서 사용할 수 있도록 하였다.

2. 블락커 설계

블락커 설계를 위해서 경험적인 법칙들을 추출하거나 전문가 시스템을 구축하려는 여러 가지 연구가 수행되었다. H형 단면을 가진 축대칭 제품에 대해 Bruchanov등⁽²⁾은 펠렛 반지름과 블락커의 넓이와 높이 등의 설계기준을 정량적으로 제시하였고 Chamouard⁽³⁾는 축대칭 블락커의 코너 반지름에 대하여 설계범위와 원호의 지수함수로써 립-웹 유형의 블락커 형상일부를 정의하였다. Subramanian등⁽⁴⁾은 축대칭 피니셔의 단면을 L형상으로 나누고 기하학적 변수에 정해진 계수를 곱하여 블락커의 L형상을 얻은 후, 이들을 다시 결합하여 블락커의 단면을 구하였다. Biswas등⁽⁵⁾은 Chamouard에 의해 제안된 지수함수 곡선을 사용하여 축대칭 단조의 블락커 반지름을 결정하였다. Park등⁽⁶⁾은 유한요소법을 이용한 역추적법을 제안하였으며, Hwang등⁽⁷⁾은 이 역추적법을 응용하여 블락커를 설계하였다. Kim등⁽⁸⁾은 이 방법을 H형상의 단면을 갖는 축대칭 형상의 단조에 적용하여 블락커를 설계하였고, Kang등⁽⁹⁾은 airfoil section blade 단조의 블락커 설계에 적용하였다. Vemuri등^(10,13)은 지식베이스 시스템을 사용하여 블락커 설계를 자동화하였다. Osman등⁽¹¹⁾은 블락커 설계방법으로 UBET를 이용하여 최적화된 속도장의 방향을 반대로 하는 역추적 방법을 제시하였다. 윤성만⁽¹²⁾은 피니셔의 형상을 Fourier 급수 형태로 전개한 후 높은 주파수 영역을 지역 통과 필터를 사용하여 제거하는 방법으로 3차원 형상에 대한 블락커 설계를 수행하였다.

본 연구에서는 형상변화율(SF: Shape Factor)과 부피변화율(VF: Volume Factor) 개념을 도입하고 경험법칙을 기본으로 추출한 블락커 룰을 적용하여 블락커 설계 지식베이스 시스템을 개발하였다. 형상변화율은 형분리선에 대한 형상평균높이의 적용비로 정의되며, 부피변화율은 피니셔체적에 대한 블락커체적의 비로써 정의된다. 그리고 본 시스템으로 구해진 블락커 설계에 대하여 강점소성 유한요소해석을 수행하여 타당성을 분석하였다. 본 연구에서 수립된 블락커 설계 룰은 다음과 같다.⁽¹⁴⁾

2.1 단면 폭(section width)

단조 공정 중에는 수평방향으로의 소재 유동이 있으므로 블락커의 단면 폭은 피니셔보다 작아야 한다. 만약 피니셔와 블락커의 폭이 같다면 플래쉬의 양이 매우 많을 것이다.

일반적으로 강의 단조에서는 블락커의 형상을 결정하는데 있어 먼저 피니셔에서 단면 폭을 감소시킨다. Table 1은 피니셔 단면 폭과 질량에 대한 블락커의 단면폭 감소량 데이터를 나타낸다.

Table 1 Reduction of blocker section width for finisher section width and weight

finisher section width	finisher weight	reduction
below 10"		1/32"
above 10"	above 10 lb	1/25"
	above 20 lb	1/16"

2.2 드래프트 각(draft angle)

드래프트 각은 립의 높이 대 폭의 비와 이젝터의 유무에 의해 결정된다. 일반적으로 블락커의 드래프트 각은 피니셔 경우보다 1~2° 크다. 그러나 지나친 마찰력이 작용할 때는 피니셔 드래프트 각과 같은 크기를 갖는 경우도 있다. 자연 드래프트(natural draft)는 수정할 필요가 없다. 즉 피니셔의 드래프트 각이 10° 이상인 경우 수정하지 않아도 좋다. 일반적인 드래프트 각은 1, 3, 5, 7, 10°인데 해머 단조에서는 높고 가는 부분을 제외하고는 공정수가 증가할수록 드래프트 각이 증가한다. 따라서 가능하다면, 블락커에서는 외측 드래프트에서는 1~2°, 내측 드래프트에 대해서는 2~3°가 더해져야 한다. Table 2는 블락커 드래프트 각에 대한 데이터이다.

Table 2 Draft angle for blocker

for steel	press		hammer	
	external	internal	external	internal
height < 1.25"	5°	7°	7°	10°
height > 1.25"	7°	7° (10°)	10°	10°

2.3 코너 반경(corner radius)

블락커에서는 가능하다면 큰 코너 반경을 사용해야 한다.

작은 코너 반경은 립 부분을 채우기 어렵게 하고 금형마모를 유발한다. 금형파괴를 방지하기 위하여 립의 끝부분에서는 큰 반경을 사용하는 것이 좋다. 이때 사용되는 코너 반경은 다음과 같다.⁽¹³⁾

$$r = \frac{w}{\tan(45^\circ - 0.5d_1) + \tan(45^\circ - 0.5d_2)}$$


여기서, r = full corner radius

w = rib width

$d1, d2$ = draft angle

일반적으로 사용되는 블라커 코너 반경은 Table 3과 같다.

Table 3 Corner radius for blocker

	steel	titanium
corners numbered 1	same as finisher radius	same as
corners numbered 2	3 times	3 times
other corners	2 times	3 times

2.4 립 두께(rib width)

블라커 립의 두께는 피니셔보다 보통 작게 설계하는데 그 이유는 첫째, 피니셔 금형공간에 블라커 소재가 잘 충전할 수 있게 하기 위해서이며 둘째, 작업 중 금형마모에 의해 블라커 립의 두께가 두꺼워 질 수 있으므로 이를 보완하기 위함이다. 또한 블라커와 피니셔의 폭이 매우 비슷하다면 "skin down" 현상이 발생하게 되는데 이는 이는 경우에 따라 접합결함으로 발전된다. Table 4는 피니셔 립 두께에 대한 블라커 립 두께 감소량에 대한 데이터이다.

Table 4 Reduction of blocker rib width for finisher rib width

finisher rib width(W)	reduction
1/8" < W < 1/4"	1/100" each side
1/4" < W < 3.8"	1/50" each side
3/8" < W	1/32" each side

2.5 필렛반경(fillet radius)

필렛반경은 드래프트 각, 립의 높이 대 폭의 비, 웹의 테이퍼 각, 웹의 중앙으로부터의 거리 등과 깊은 관련이 있다. 중앙에 위치한 립과 보스의 필렛은 가장자리에 위치한 립의 필렛보다 약 25% 작아야 한다. 기계식 프레스의 경우 필렛반경은 립 높이의 1/2이 요구된다. 본 연구에서는 Table 5와 같이 Bruchanov와 Rebelski⁽³⁾가 제안한 필렛 반경을 사용하였다. 여기서 R_b 는 블라커 필렛반경, R_f 는 피니셔 필렛반경을 의미한다.

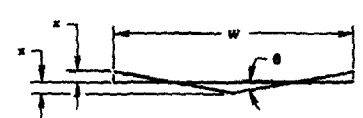
Table 5 Fillet radius for blocker

$R_b = R_f + C$	
depth of cavity(h; mm)	C(mm)
$h < 10$	2
$10 < h < 25$	3
$25 < h < 50$	4
$50 < h$	5

2.6 웹의 두께와 웹의 형상(web thickness and web shape)

블라커 웹의 두께는 피니셔 웹의 두께보다 두껍게 설계되며 이에 따른 체적균형을 고려해야 한다. 소재는 플래쉬 방향으로 유동하므로 립 방향으로의 충진을 용이하게 하기 위해서는 웹이 Table 6과 같이 중심으로부터 테이퍼진 형상이 유리하다. 이 때의 테이퍼 각은 웹의 폭과 두께의 비에 의해 결정되며 일반적으로 3~5°가 사용된다.

Table 6 Web taper for blocker

	
web width(w) vs web thickness(t) ratio	taper angle
$3 < w/t < 8$	3° taper
$8 < w/t < 15$	5° taper
$15 < w/t$	10° taper

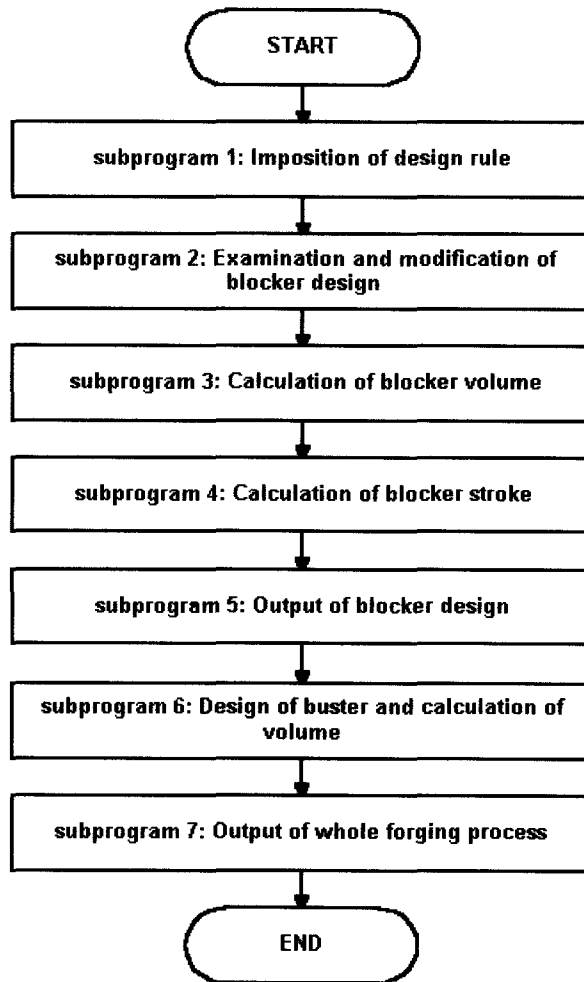


Fig. 1 Structure of the blocker design system

3. 블락커 설계 전문가 시스템

본 시스템은 축대칭 열간단조시 블락커 설계를 자동으로 수행하는 기능을 가지고 있으며 Fig.1과 같이 7개의 부 프로그램으로 구성되어 있다. 부 프로그램 1에서는 파팅라인을 기준으로 피니셔 상부굽형 깊이, 하부굽형 깊이까지의 평균 높이를 구하고 사용자가 입력한 형상변화율(SF)을 적용하여 블락커 립의 높이와 웹의 두께를 결정하고 각각에 대한 블락커 물을 적용한다. 부 프로그램 2에서는 블락커 롤 적용으로 인하여 코너-코너, 필렛-코너, 필렛-필렛이 겹치는 오류의 발생여부를 검토하고 수정한다. 부 프로그램 3에서는 블락커의 상부다이, 하부다이를 이

동시켜 블락커 체적을 피니셔 체적에 체적변화율(VF)를 적용시킨 값과 동일하게 조절한다. VF가 100일 때 블락커 체적은 피니셔의 체적과 피니셔 플래쉬 체적을 합한 값과 동일하게 된다. 사용자가 VF를 조절하여 블락커 체적을 조절할 수 있게 하였다. 피니셔 립의 높이 대 두께 비가 높을수록 립 부분의 성형이 어려워지는데 이는 블락커 형상을 변화시키거나 블락커 체적을 증가시켜 완벽하게 충전되게 할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 축대칭 형상을 대상으로 하므로 체적계산은 블락커의 형상을 함수화하고 미세한 사각단면요소로 나눈 후, 각각 원통의 체적을 계산하고 적분하는 방법을 사용하였다. 부 프로그램 4는 피니셔 공정시 다이스트록을 계산하는 프로그램이며 피니

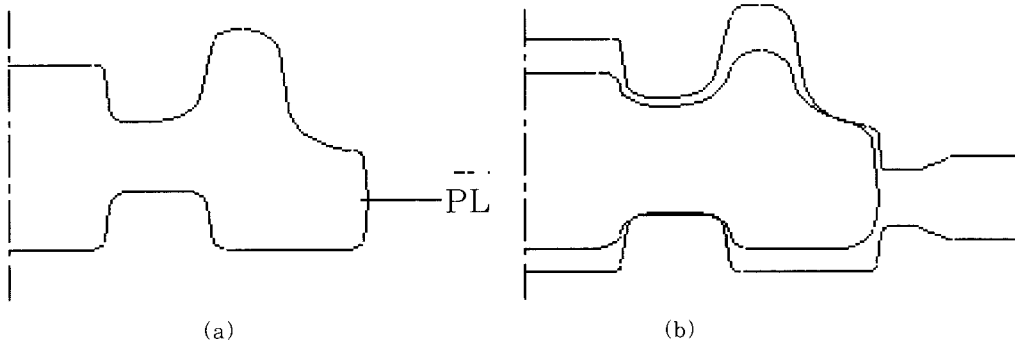


Fig. 2 Example of a finisher : (a) finisher, (b) blocker in the finisher dies

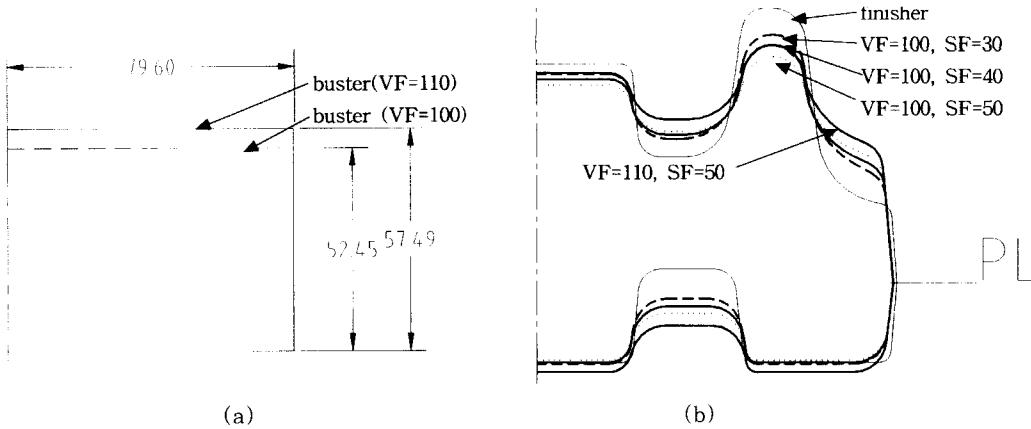


Fig. 3 Preforms designed by different combinations of VF and SF (a) busters, (b) bolckers

서 금형이 블락커와 접촉하는 부분을 알 수 있게 피니셔 금형을 이동시킨다. 부 프로그램 5는 블락커 설계 결과를 AutoCAD 상에 출력시키는 프로그램으로 AutoLISP으로 구성하였다. 부 프로그램 6은 사용자가 원하는 버스터와 초기소재의 지름을 입력하면 이를 바탕으로 하여 버스터와 초기소재의 높이를 계산하는 기능을 수행하고 부 프로그램 7에서는 기계가공 도면으로부터 초기소재까지의 전체적인 공정설계를 출력시키는 기능을 수행한다.

4. 블락커 설계의 검증

본 연구를 통하여 설계된 블락커의 타당성을 검증하기 위하여 Fig. 2의 피니셔를 대상으로 여섯가지 블락커를 설계하고 이에 대한 유한요소해석을 수행하였다. 소재와 금형의 온도는 각각 1000℃와 200℃이고 소재는 AISI 4340이다. 유한요소해석은 상용 프로그램인 DEFORM

을 사용하였으며 비등온조건으로 수행하였다. Fig. 3에 다섯가지의 VF와 SF의 조합으로 설계된 블락커가 도시되어있다. Fig. 4는 이 다섯가지 블락커를 피니셔 단조한 경우와 블락커없이 피니셔금형을 사용한 경우에 대한 유한요소해석 결과이다. (a)는 VF=100, SF=50을 사용한 경우이며, (b)는 VF=100 그리고 블락커를 사용하지 않은 경우이다. 두 경우 모두 립 부분에 미충진이 발생하는 것을 볼 수 있다. (c)는 VF=110, SF=50을 사용한 경우이며, (d)는 VF=110 그리고 블락커를 사용하지 않은 경우이다. 왔다. 두 경우 모두 완벽한 성형이 되지만 플래쉬로 빠져나오는 소재의 양이 매우 많은 것을 알 수 있다. 따라서 플래쉬로의 소재 손실, 금형마모와 단조하중을 최소화하고 립의 완벽한 충진을 위하여 (e)는 VF=100, SF=30 그리고 (f)는 VF=100, SF=40으로 설계한 경우이다. 그림에 나타난 바와 같이 플래쉬로 나가는 양이 매우 작고 립 부분에도 완벽한 충진이 되어 블락커

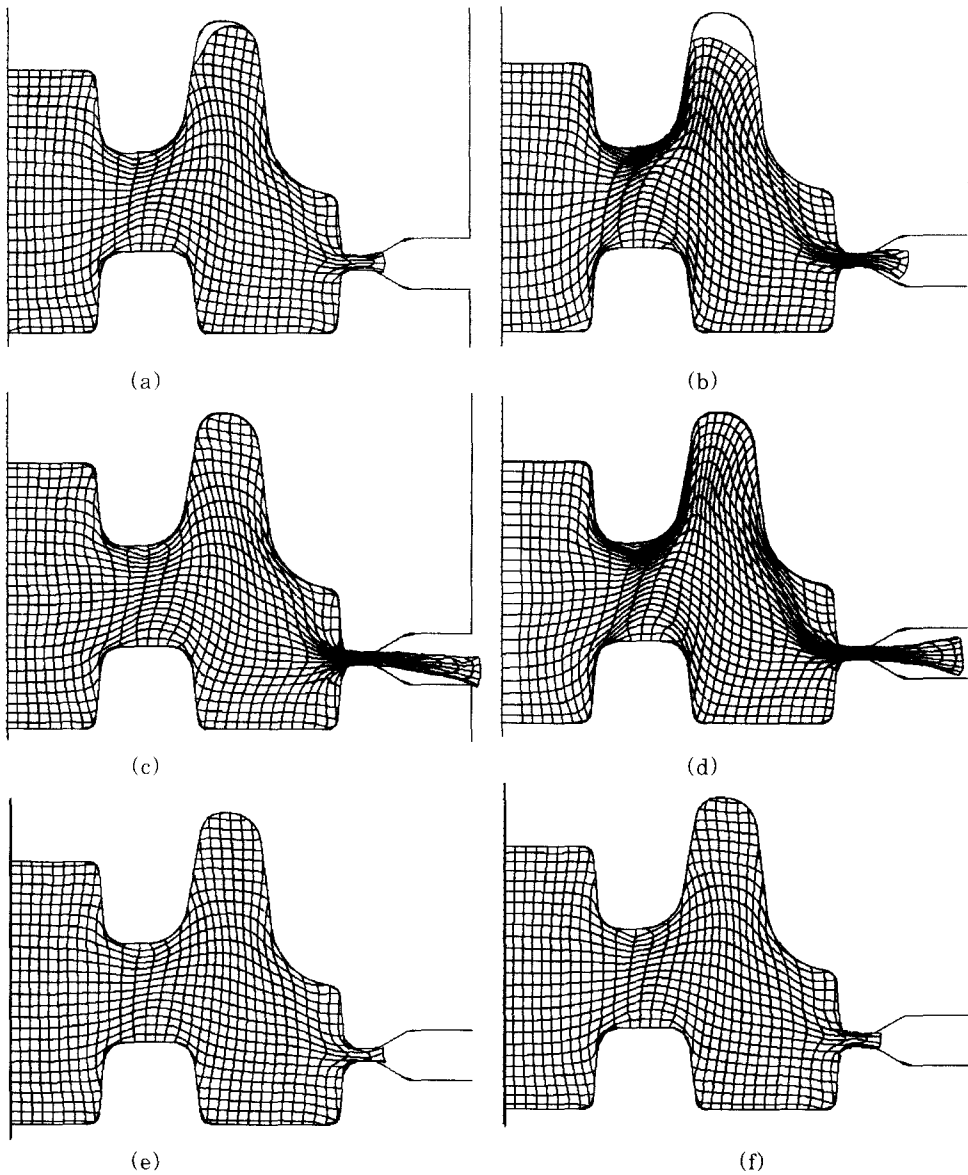


Fig. 4 Predicted flow behaviors by FEM simulations for 6 different cases :
 (a) VF=100, SF=50, (b) VF=100, no blocker, (c) VF=110, SF=50
 (d) VF=110 no blocker, (e) VF=100, SF=30, (f) VF=100, VF=40

설계가 성공적으로 수행된 것을 알 수 있다. 각 경우의 하중곡선을 Fig. 5에 비교하였다. (a)와 (b)에서는 립 부분에 미충진이 발생하여 약 6~7MN으로 낮게 나타났다. (c)와 (d)에서는 과도한 플래쉬 성형으로 인하여 하중이 매우 높아 약 20MN에 이르는 것을 알 수 있다. (e)와 (f)에서는 약 16MN으로 작은 하중으로 성

형이 가능하며 손실되는 소재의 양도 작은 것으로 나타나 최적의 공정임을 알 수 있다. Fig. 6에는 전체적인 열간단조 공정설계를 출력시킨 결과를 나타내었다. 또한 이상의 결과로부터 본 연구에서 개발한 자동공정설계 시스템과 유한요소해석을 연계하면 블라커 설계를 용이하게 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

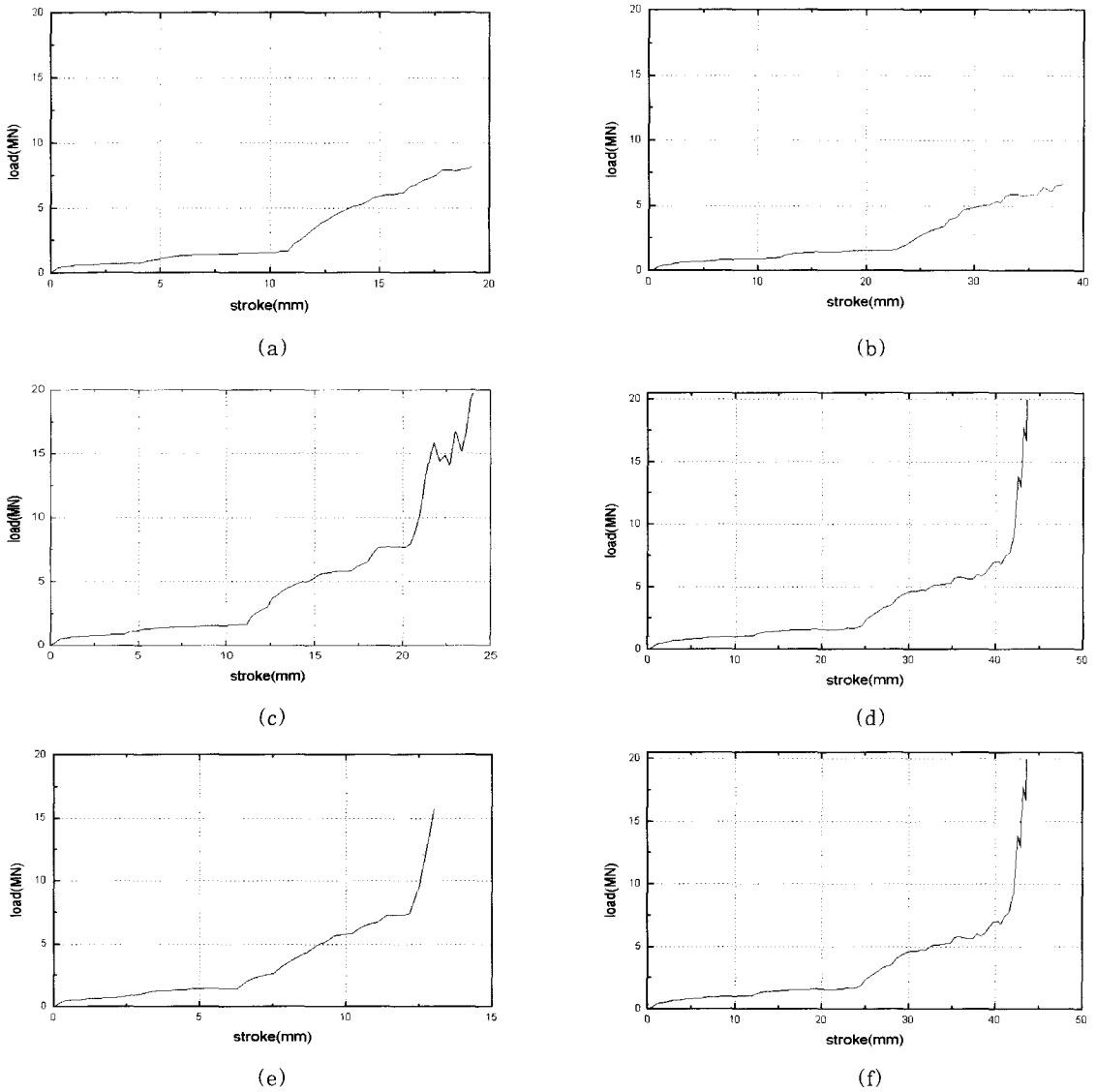


Fig. 5 Predicted load vs stroke curves by FEM simulations for 6 different cases :
 (a) VF=100, SF=50, (b) VF=100, no blocker, (c) VF=110, SF=50
 (d) VF=110 no blocker, (e) VF=100, SF=30, (f) VF=100, VF=40

5. 결론

본 연구에서는 강의 축대칭 열간단조시 블라커 설계를 자동으로 수행하는 전문가 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 피니셔 도면을 기초로 하여 체적 변화율과 형상 변화율을 적용하고 블라커 룰을 사용하여 블라커 설계를 수행한다. 블라커 설계 룰은 현장경험자의 조건과

문헌조사를 통하여 수합하였고, 블라커 룰 적용시 발생하는 오류들을 시스템에서 자동으로 판단하여 수정할 수 있게 하였다. 유한요소해석을 통하여 검토한 결과 형상변화율을 조절하여 완벽한 블라커 설계를 수행할 수 있었다. 본 시스템의 실용성을 향상시키기 위해서는 많은 현장도면에 적용하고 비교하는 과정을 거쳐야 할 것이다.

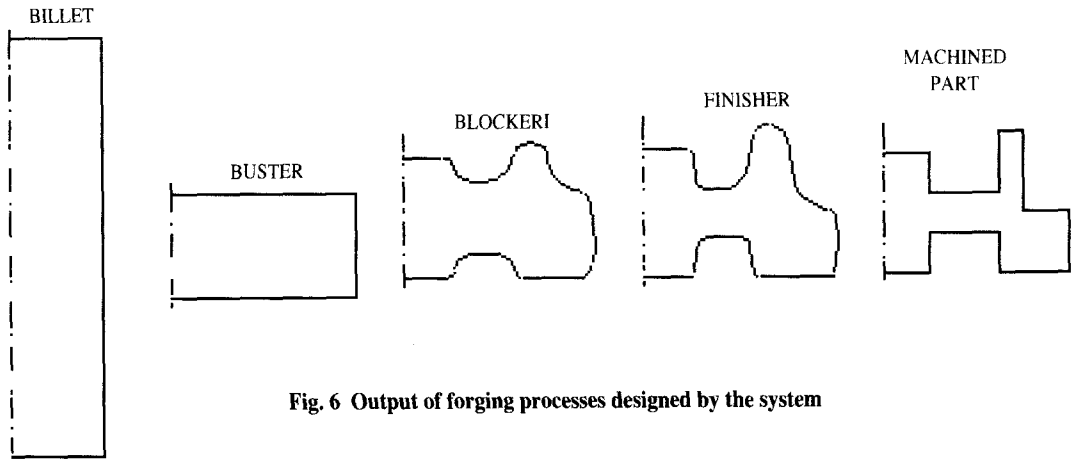


Fig. 6 Output of forging processes designed by the system

참고문헌

- (1) Yu, G. B. and Dean, T. A., 1985, "A Practical Computer-Aided Approach to Mold Design for Axisymmetric Forging Die Cavities", *Int. J. Mach. Tool Des. Res.*, Vol. 25, pp. 1~13.
- (2) Bruchanov, A. N. and Rebelski, A. V., 1955, "Closed-Die Forging and Warm Forging", German Translation from Russian, Verlag Technik, Berlin.
- (3) Chamouard, A., 1968, "General Technology of Forging", (in French), Estampage, Forge et Boulonnerie, p. 43.
- (4) Subramanian, T. L. et al., 1977, Application of Computer-Aided Design and Manufacturing to Precision Isothermal Forging of Titanium Alloys, Tech. Report AFML-TR-77-108, Air Force Material Labs., USA.
- (5) Biswas, S. K. and Knight, W., 1976, "Towards an Integrated Design and Production System for Hot Forging Dies", *Proc. 3rd Int. Conf. on Production Research*, Amherst.
- (6) Park, J. J., Rebelo, N., and Kobayshi, S., 1983, "A New Approach to Preform Design in Metal Forming with the Finite Element Method", *Int. J. Mach. Tool Des. Res.*, Vol. 23, No. 1, pp. 71~79.
- (7) Hwang, S. M., and Kobayshi, S., 1986, "Preform Design in Disk Forging", *Int. J. Mach. Tool Des. Res.*, Vol. 26, pp. 231~243.
- (8) Kim, N. and Kobayshi, S., 1989, "Preform Design in H-shaped Cross Sectional Axisymmetric Forging by the FEM", *Int. J. Mach. Tools Manuf.*
- (9) Kang, B. S., Kim, N. and Kobayshi, S., 1989, "Computer-Aided Preform Design in Forging of an Airfoil Section Blade", *Int. J. Mach. Tools Manuf.*
- (10) Vemuri, K. R., Oh, S. I. and Altan, T., 1989, "BID-A Knowledge-Based System to Automate Blocker Design", *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, Vol. 29, p. 505.
- (11) Osman, F. H. and Bramley, A. N., 1984, "Forging and Preform Design Using UBET", *Advanced Tech. of Plasticity*, Vol. 1, pp. 563~568.
- (12) 윤성만, 1996, 지역 통과 필터를 이용한 열간 형단조의 3차원 예비성형용 금형자동설계, 서울대학교 박사 학위논문.
- (13) Vemuri, K. R., Sevenler, K., Raghupathi, P. S., Oh, S. I. and Altan, T., 1987, Rules and Guidelines for Design Blocker/Preform Dies in Closed Die Forging with and without Flash, The National Science Foundation, Final Report, BATTELE.
- (14) Drabing, G. L., 1996, Guide to Die Making for Multiple Impression Closed-Die Drop Forging, Bulletin 157-1-7.