

## 유동제어 성형기술을 이용한 허브제품의 냉간단조 공정설계

박종남\*, 김동환\*\*, 김병민\*\*

### Process Design of Cold Forged Hub by Flow Control Forming Technique

Jong Nam Park\*, Dong Hwan Kim\*\*, and Byung Min Kim\*\*

#### ABSTRACT

This paper suggests the new technology to control metal flow in order to reduce the number of preforming and the machining for the cold forged product with complex geometry. This technology is the combined forming that consists of bulk and sheet forming with double action dies. To analyze the process, finite element simulation has been performed. The proposed technology is applied to hub model that is part of air conditioner clutch. The purpose of this study is to investigate the material flow of hub through the relative-velocity control of punch and mandrel using the flow control forming technique.

**Key Words** : Flow control forming(유동제어 성형), Metal flow(금속 유동), Double action dies(복동식 다이스), Hub clutch(허브 클러치), Combined forming(복합 성형)

#### 1. 서론

일반적으로 냉간 단조로 성형 되는 최종 제품은 두께가 각 부에 따라 다른 복잡한 형상이 많다. 이러한 복잡한 형상의 제품은 한단계의 성형 공정에 의해 생산되는 것이 아니라 예비 성형공정을 거치는 다단계 성형공정에 의해 수행되어야 한다. 그러나 냉간 단조 공정에 있어서 예비성형체의 설계는 실제 현장에서 대부분의 경험적 지식이나 설계자의 직관과 실험에 의한 많은 시행착오를 거치므로 공정설계에 많은 시간이 소요되고 제품 단가의 상승을 초래한다. 또한 복잡한 형상 제품의 경

우 소성 성형공정 이외에도 기계가공이 필요하다. 제품의 생산에 있어서 이러한 기계가공은 제품의 생산성 저하 및 단가 상승에 영향을 미친다. 따라서 최근의 소성 가공에 있어서 정형(net shape) 가공을 위한 고정도의 성형으로 소성 가공 후 기계가공을 최소화하는 것이 요구되고 있다. 이러한 요구를 만족하기 위해서는 소재 유동을 정확히 파악하고 그 유동을 제어할 수 있는 방법이 필요하다.<sup>(1-3)</sup>

본 연구에서는 실제 현장에서 생산되는 자동차 에어컨 클러치에 조립되어 사용하는 허브 제품에 대하여 유동제어성형공법(Flow Control Forming:

2001년 12월 6일 접수

\* 부산대학교 대학원 정밀기계공학과

\*\* 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구소



로 많이 사용되는 플라스틱인(성분: CaCo3, MgCo3)을 성형 해석 및 실험을 위해 적용하였다. 해석은 강소성 유한요소법을 이용하였으며, 성형해석을 위한 플라스틱의 유동 응력식은 아래 식(1)과 같다.

$$\bar{\sigma} = 0.224\bar{\epsilon}^{-0.117} \text{ (MPa)} \quad (1)$$

소재와 금형의 접촉면은 탈크 파우더로 윤활처리를 하여 링 압축실험 결과인 마찰상수  $m = 0.1$ 로 해석을 수행하였다.<sup>(7)</sup> 성형해석에는 상용 유한요소 코드인 DEFORM-2D를 이용하였다.<sup>(8)</sup>

#### 4.2 모델재료와 실제재료의 상사식 유도

실제 단조공정과 모델재료 실험이 상사성을 이루기 위해서는 소성영역에서 응력과 변형을 관계식이 서로 유사해야 한다. 또한 재료와 금형사이의 마찰조건이 거의 같아야 한다. 차원해석의  $\pi$ -이론을 이용한 근사 상사이론으로부터 실제재료의 성형하중  $F_R$ 은 아래 식(2)와 같이 나타낼 수 있으며 임의의 높이 감소율에 대한 모델재료의 성형하중  $F_M$ 이 주어지면 그때의 실제재료의 성형하중을 얻을 수 있다.<sup>(9)</sup>

$$F_R = F_M \left( \frac{H_R}{H_M} \right)^2 \left( \frac{K_R \bar{\epsilon}_a^{n_R}}{K_M \bar{\epsilon}_a^{n_M}} \right) \quad (2)$$

where,  $H_R$ : Blank height (real material)

$H_M$ : Blank height (model material)

$K_R, K_M$ : Plastic coefficient of real and model material

$n_R, n_M$ : Strain-hardening exponent of real and model material

$\bar{\epsilon}_a$ : Strain

Table 1. Design conditions of the first drawing

Standard value Design value	Max. relative blank thickness( $t/D \times 100$ ): 2.0(mm)
Minimum blank dia.(D)	160(mm)
Drawing ratio (dP/D)	0.5
Punch dia.(dp)	80(mm)
Die radius (rd)	20(mm)
Clearance	3.47(mm)

#### 4.3 성형가능성 및 기존 공정의 해석

먼저 판재 가공으로의 성형 가능성을 검토하였다. 본 제품에 대하여 딥 드로잉 가공시 제품 플랜지 부의 두께가 가장 얇으므로 한계 두께 3.2t를 기준으로 하여 제품의 형상에 가장 가까운 드로잉 가공을 위한 최초 딥 드로잉 설계치를 구하여 Table 1에 나타냈다.

Table 1에서의 설계치는 블랭크 두께에 대한 지름의 비인 상대 블랭크 두께의 최대치(2.0mm)를 기준으로 하여 최소의 블랭크 직경을 계산하고 이때의 가능한 드로잉률을 선정하였다. 다이 부의 곡률은 Kaczmarek의 실험식인 식(3)에 근거하여 계산하였으며, 또한 계산된 값을 기준으로 하여 클리어런스를 산정하였다.<sup>(10)</sup>

$$r_d = 0.8\sqrt{(D - d_p)t} \quad (3)$$

여기서 최소 블랭크 직경  $\phi 160\text{mm}$ 로 부터 플랜지 외경  $\phi 85\text{mm}$ 와 제품의 최소 내경  $\phi 13\text{mm}$ 까지 드로잉 성형을 하기 위해서는 여러 번의 재 드로잉과 역 드로잉을 거쳐야 함을 알 수 있었다. 따라서 본 제품에서는 일반적인 판재 성형 법인 드로잉 공정으로는 한계가 있음을 알 수 있었다.

다음으로 본 제품의 기존의 성형법인 일반적인 단조 성형공법을 알아보았다. 기존의 성형 공정은 한 단계의 성형 공정으로 최종 단조 형상으로서의 성형이 불가능하기 때문에 크게 다음의 순서로 행해졌다. 먼저 초기소재의 절단 후 예비 성형체를 성형하고 열처리 공정을 거친 후 최종 단조성형을 한 다음 내경과 외경의 치수와 형상을 위한 기계 가공과 트리밍 공정을 거쳐 최종 제품의 형상으로 성형을 하였다.<sup>(11)</sup>

Fig. 3에는 기존공정의 해석시 최종 단조도면을 나타냈다. Fig. 4에는 기존 공정에서 최적의 초기소재를 이용한 시뮬레이션 결과 재료유동의 접침(folding) 현상이나 미충만(unfilling)의 문제가 발생하기 때문에 예비성형이 필요함을 알 수 있다. 이러한 문제는 본 제품의 경우 형상이 복잡하고 특히 일반단조 공정으로서의 성형시 업세팅과 압출공정이 동시에 이루어지며 성형의 후반부에서는 압출되는 부분의 급격한 단면적 감소에 따른 유동의 제한에 기인한다. 따라서 본 제품의 성형에 있어서 기존의 성형 방법에 비해 공정수 감소와 기계가공을 없애기 위해서는 새로운 성형법의 도입

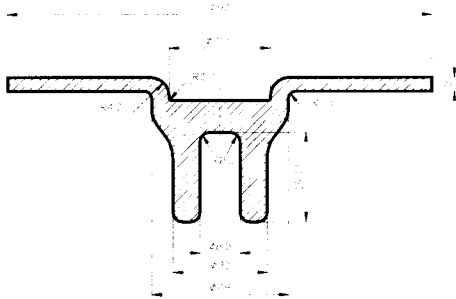


Fig. 3 Schematic drawing of forged section geometry

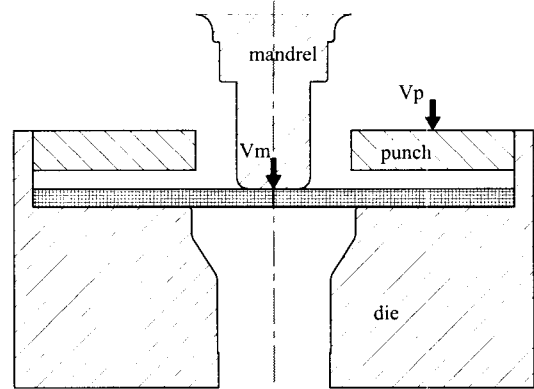


Fig. 5 Schematic drawing of blank and die

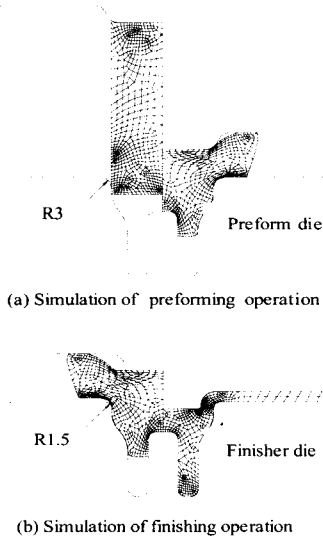


Fig. 4 Deformed mesh, folding formation and unfilled cavity of forging process

이 필요하며, 이것은 소재의 유동제어를 통한 성형공법으로 해결이 가능하다.

### 5. 유동제어에 의한 공정설계

성형해석시 소성유동을 제어하기 위하여 금형의 구조를 변경하였다. 기존의 상부금형을 맨드렐과 펀치 두 개의 금형으로 변경하고 각각의 속도를 달리하여 성형해석을 수행하였다.

초기 소재의 형상은 성형과정 중에 하중의 증가를 유발하고 소재 유동을 제한하는 전방압출 형태의 공정을 없애기 위해 두꺼운 판재를 사용하여

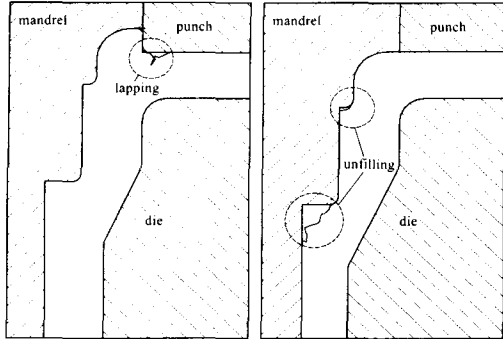
맨드렐에 의한 뒷 드로잉 공정과 펀치에 의한 일 반단조 공법인 업세팅 공정을 복합하였다. Fig. 5 에 금형의 형상과 소재의 형상을 나타내었다. 맨드렐과 펀치의 속도는 펀치의 속도에 대한 맨드렐의 속도비를 상대 속도비로 식(4)와 같이 정의하고 상대 속도비를 조정하여 해석을 수행하였다.

$$\frac{V_m}{V_p} = RVR(\text{Relative velocity ratio}) \quad (4)$$

where,  $V_m$  : Mandrel velocity  
 $V_p$  : Punch velocity

먼저, 상대 속도비가 10 일 경우에는 펀치에 의한 소재의 유동량에 비해 맨드렐에 의한 소재의 유동량이 상대적으로 적어 성형 초기에 소재가 맨드렐의 상하로 전·후방 압출의 형식으로 되고 맨드렐과 펀치의 행정거리의 비에 비해 맨드렐의 속도가 상대적으로 작아 펀치의 행정이 먼저 끝나게 된다.

따라서 허브의 플랜지 부위는 데드메탈(dead metal) 영역이 형성되고 초기에 후방 압출되었던 부분이 맨드렐에 의해 전방 압출되면서 이 영역과의 속도차이에 의해 Fig. 6(a)와 같은 유동결합의 일종인 래핑(lapping) 현상이 나타났다. 따라서 상대 속도비가 증가된 30 으로 하여 성형해석을 수행하였다. 이 경우에는 성형의 초기에는 원활한 금속 유동을 보였지만 상대 속도비 10 의 경우와는 반대로 맨드렐의 행정이 끝난 후 펀치의 행정이 계속되어 성형의 후반부에서는 펀치에 의한 전방 압출 성형이 이루어지므로 소재가 Fig. 6(b)와 같이 미충만 영역이 발생되어졌다. 따라서 상대



(a) Lapping (RVR: 10) (b) Unfilling (RVR: 30)

Fig. 6 Defect of forging product with inappropriate relative velocity differences

속도비는 각 성형 행정이 동시에 완료될 수 있는 속도비가 금속의 유동을 원활하게 할 수 있는 가장 적절한 속도 비임을 예측할 수 있었다.

위 두 가지 성형해석 결과로부터 맨드릴과 펀치의 성형 행정이 동시에 완료될 수 있는 상대 속도비는 27.4 임을 이등분법으로 확인하고 성형해석을 수행하였다. 이 경우에는 속도비가 10, 30 인 경우에 비해 유동이 원활하게 이루어져 원만한 성형이 이루어 졌지만 최종 단계에서는 펀치에 의한 소재의 유동량에 비해 맨드릴에 의한 유동량이 상대적으로 작아 Fig. 6(b)와 같은 미충만 영역이 일부 나타났었다. 이것은 하부금형의 끝 단부가 완전 개방형으로 되어 있어 맨드릴에 의해 유동되는 소재 끝부분이 아래로 모두 유동되기 때문으로 판단된다. 따라서 끝 단부를 밀폐함으로써 이 문제는 해결할 수 있을 것으로 생각된다. 또한 최종 단조공정 후에 허브의 높이를 맞추기 위해 기계가공이 필요함으로 맨드릴과 펀치의 속도비 제어로 유동을 제어하는 것에 기준을 둔 새로운 방법의 공정이 필요함을 알 수 있었다. 따라서 상대 속도비를 달리한 다음 두 가지 경우를 토대로 하여 공정수 및 재료의 손실을 줄이는 방향으로 공정설계를 하고 해석을 수행하였다.

### 5.1 밀폐성형의 경우

먼저 초기 소재의 형상을 최종공정에서 기계가공을 없애기 위해 중공형의 후판을 사용하였고, 또한 플랜지 외경 부로 소재 충만이 이루어 질 때의 급격한 하중 증가를 방지하기 위해 제품의

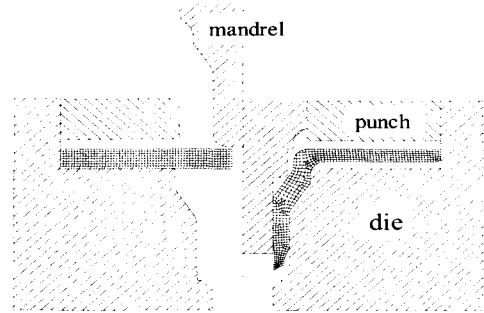


Fig. 7 Schematic drawing of blank and closed die

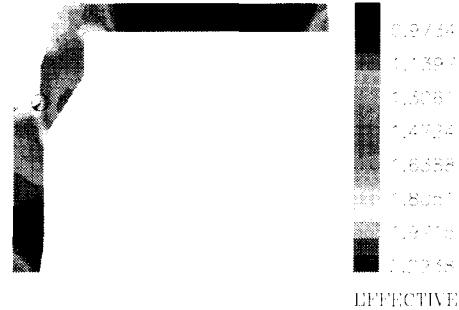


Fig. 8 Distribution of effective strain for closed die forging

외경에 비해 작게 하였다. 소재의 손실량을 줄이고 맨드릴과 펀치의 속도차이에 의한 넥킹 현상 방지 및 최종 피어싱 공정에서 펀치와 금형설계 등의 문제를 해결하기 위해 성형도중에 닥 드로잉 공정을 버링 공정으로 변경하였다. 이때 소재의 내경은 버링 한계와 초기 소재의 블랭킹 가공한계를 고려하여 선정하였다.<sup>(12)</sup>

금형의 형상도 성형의 최종단계에서 맨드릴과 펀치에 의한 소재 유동량의 차이로 발생하는 미충만의 문제를 해결하기 위해 밀폐식으로 변경하였다. Fig. 7에 소재의 형상과 금형 구조를 나타내었다. 소재의 체적과 제품의 체적을 동일하게 하여 완전 밀폐형식의 성형해석을 수행하였다.

상대 속도비는 맨드릴과 펀치의 행정이 동시에 완료되는 18 로 하였다. 해석 결과 전반적으로 소재의 유동은 원활히 이루어졌지만 금형의 체적을 완전하게 충만 시키기 위해서는 약 0.57 톤의 큰 성형 하중이 요구되었다. Fig. 8 은 유효변형율 분포를 나타내었다. 유효변형율 분포는 최대 값이 2.29 로 큰 하중을 받지 않는 플랜지 부위를 제외

하고 비교적 균일한 분포를 나타내었으며 연성 파괴 값은 제품의 최하단 부에서 최대값 1.05 를 가지는 높은 값을 나타내었다. 따라서 하중과 연성 파괴 값을 줄이기 위해 초기 소재의 형상을 변경하고 금형 외경부에 플래시와 동일한 효과를 주는 간극이 필요하였다.

**5.2 금형간극을 가지는 성형의 경우**

초기 소재의 경우 버링 한계와 블랭킹 한계를 동시에 고려하여 선정하였고 초기 소재 체적을 일정하게 하여 각 소재 두께 및 금형간극 높이를 변화시키면서 성형해석을 수행하였다. Fig. 9 은 이 경우의 소재와 금형의 구조를 나타내고 있다.

해석결과는 Table 2 와 같으며, 펀치 하중은 소재의 두께가 두꺼운 조건에서 약 0.446 톤의 최대하중이 발생하고, 가장 얇은 두께인 5mm 에서 약 0.370 톤의 최소하중이 작용되었다. 또한 금형 간

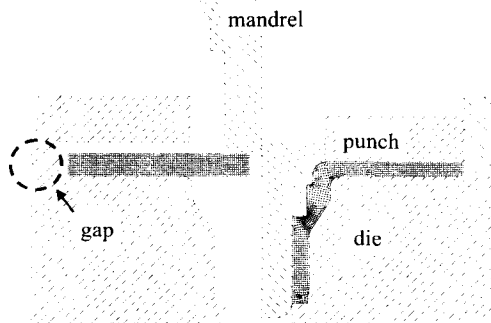


Fig. 9 Schematic drawing of blank and die gap

Table 2. Comparison of maximum load, relative velocity ratio for each forming process

Blank thickness/ inner dia, (mm)	Gap height (mm)	Max. Punch load (tons)	Relative vel. ratio	Material loss (%)
5/5	0.7	0.398	21.55	11.1
	0.8	0.394		
	0.9	0.385		
	1.0	0.370		
6/6	0.7	0.415	14.02	11.4
	0.8	0.408		
7/7	0.5	0.446	10.52	11.9
	0.6	0.432		

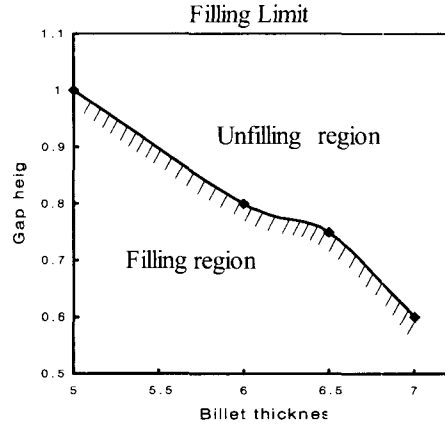


Fig. 10 Filling limit for different gap height

극의 높이가 커지고 재료의 두께가 커질 수록 소재의 손실이 증가하므로 적절한 소재의 두께와 금형 간극의 높이 선정이 필요하다. Fig. 10 은 소재 두께에 따른 금형 간극부 높이의 한계를 나타내며 초기 소재의 두께는 얇을 수록 성형성이 좋음을 알 수 있다. 그러나 버링 한계와 초기 소재가 제품 플래시부의 외경보다 커질 수 없음을 고려하면 최적의 소재 높이는 5mm 임을 알 수 있었다.

**6. 모델재료 실험**

**6.1 금형 및 시편 제작**

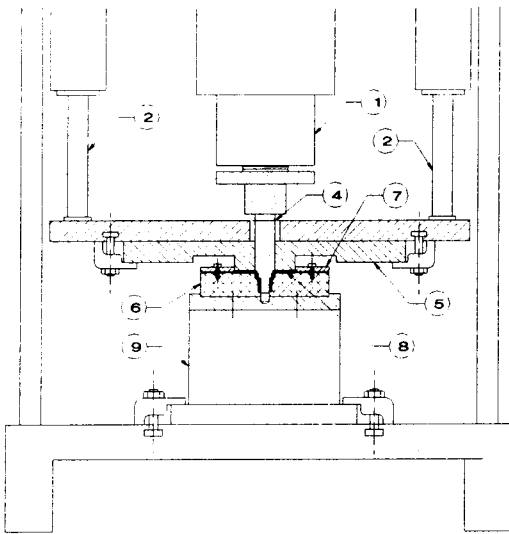
복동식 유압프레스를 이용해 허브 제품을 실험하기 위해 구성된 프레스 및 금형의 개략적인 구조는 Fig. 11 과 같다. 실험에 사용된 모델재료는 플라스틱인 이 재료는 상온에서의 유동 특성이 강과 매우 유사하여 각종 가공법의 모델재료로써 널리 이용되고 있다.<sup>(13)</sup> 시편은 플라스틱을 잘 혼합하여 만들었으며, 특히 균일한 시편을 만들기 위해 시편 제작용 치구를 제작하여 이용하였다. 초기 시편은 세가지 종류로 구성하였으며, 세부 치수는 Table 3 과 같다.

**6.2 실험방법**

실험은 허브 모델재료의 성형성과 유동형태를 관찰하기 위해 5.2 절의 금형간극을 가지는 성형의 경우와 동일한 구조로 하여 펀치와 맨드릴의 상대 속도비와 금형의 간극 높이를 변화시키면서 수행하였다. 먼저 금형의 간극 높이를 일정하게 유지

Table 3. Dimension of initial blank

Blank type	Inner dia. (mm)	Outer dia. (mm)	Thickness (mm)
1	φ5	φ77.41	5
2	φ6	φ70.77	6
3	φ7	φ65.66	7



5	Punch	SS41	-		
4	Mandrel	SM45C	9	Dummy	Al6061
3	Slide frame	-	8	Product	Plasticine
2	Punch cylinder	-	7	Gap Plate	SM45C
1	Mandrel cylinder	-	6	Lower die	SS41
No.	Part name	Material	No.	Part name	Material

Fig. 11 Schematic drawing of double-action press and die set

하고 상대 속도비를 증가시키면서 제품 성형상태 등을 관찰하였고, 반대로, 일정한 속도비에서 금형의 간극 높이를 변화시키면서 동일한 방법으로 실험을 병행하였다. 금형의 간극 높이는 0.1mm 용강재 shim(shim)을 여러 개 겹쳐서 사용하였다.

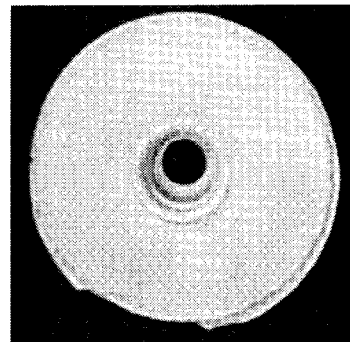
### 6.3 실험결과 및 고찰

#### 6.3.1 상대 속도비 변화

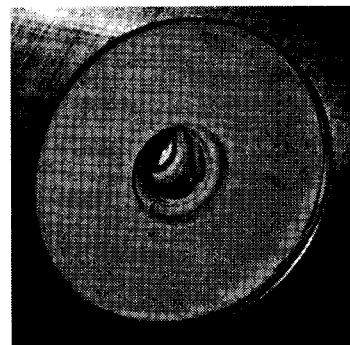
초기소재 두께가 5mm 인 경우에서, 펀치와 맨드렐이 동시에 성형 완료되는 최적의 속도비는 1:20 이며, 이때의 제품 성형상태는 양호하였다(Fig. 12(a)). 상대속도비가 1:18 인 조건에서는 펀치가 맨드렐에 비해 약 1 초 먼저 성형 완료되었으나

제품 성형상태는 양호하였다. 이것은 펀치에 의해 압축력을 받은 플랜지 끝 부위 소재가 금형 간극 양이 적은(0.5mm) 틈으로 원활히 빠져 나가지 못해 어느 일정 순간에 유동흐름이 정지되고 이때의 유동량이 모두 제품 몸체로 흘러 들어와 동시 성형조건과 같은 현상이 발생되어 나타난 것으로 판단된다.

상대속도비가 1:16 및 1:24 조건에서는 금형간극 양에 관계없이 속도차에 의한 미 충만 및 겹침 현상(Fig. 12(b))이 발생되었다. 다음으로 초기소재 두께가 6mm 인 경우에는, 상대속도비가 1:12 및 1:14 조건에서 모두 양호한 제품 형상을 얻었다. 여기서 최적의 상대속도비는 동시 성형이 완료된 1:14 이며, 펀치가 맨드렐에 비해 약 1 초 먼저 성형 완료된 1:12 조건에서는 앞의 조건과 동일하게 금형간극 양(0.6mm)에 따른 소재유동의 일시적인 정지현상으로 인해 나타난 원인으로 볼 수 있다.



(a) Sound metal flow of product

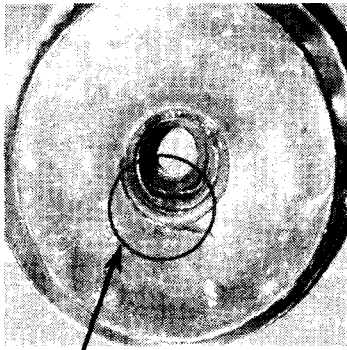


(b) Folding defect of product in die

Fig. 12 Final products with (a) sound metal flow; and (b) folding defect

Table. 4 Model material experiment results for hub product to each blank

Exper. condition		RVR (punch: mandrel)	Max. punch load (tons)	Forged product shape	Remark	Exper. condition		RVR (punch: mandrel)	Max. punch load (tons)	Forged product shape	Remark
Blank type	Gap height (mm)					Blank type	Gap height (mm)				
Type1	1.0	1:16	0.37	Unfilling		Type1	0.6	1:12	0.42	Good	
	0.5	1:18	0.40	Good			0.5	1:14	0.42	Good	
	0.6	1:20	0.40	Good	Fig.12 (a)		0.7	1:15	0.41	Unfilling	
	0.7	1:24	0.39	Folding	Fig.12 (b)		0.5	1:70	0.44	Folding	Fig.13(a)
	0.8	1:30	0.38	Tearing			0.8	1:80	0.43	Unfilling	Fig.13(b)
Type2	1.0	1:10	0.39	Unfilling		Type2	0.6	1:10	0.44	Good	



Folding defect

(a) Folding defect (inner step part)

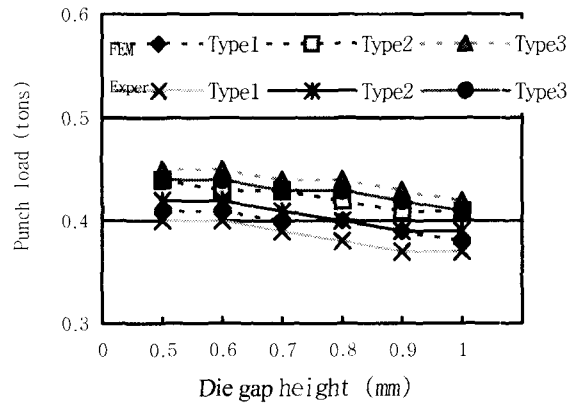
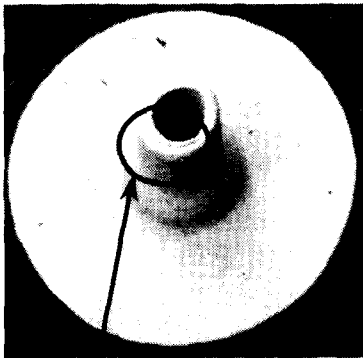


Fig. 14 Comparison of theoretical and experimental load for die gap height



Unfilling defect

(b) Unfilling defect (end part)

Fig. 13 Defect type of final product

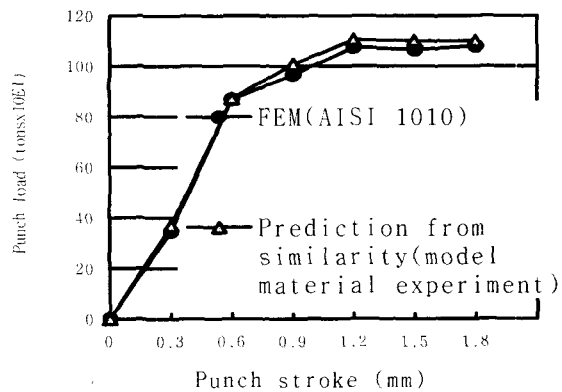


Fig. 15 Prediction of punch load for real material



초기소재 두께가 가장 두꺼운 7mm 인 조건에서는, 펀치와 맨드렐이 동시에 성형 완료된 상대속도비 1:10 조건에서만 제품 성형상태가 양호하였다. 위 세가지 조건에서 상대속도비가 펀치와 맨드렐이 동시에 성형 완료되는 최적의 상대속도비의 약 두 배가 되는 조건에서는 모두 제품이 찢어진 현상이 발생되었다. 따라서 상대속도비가 최적의 상대속도비의 약 두 배 이상에서 실험하는 조건은 본 허브 제품 실험조건에서는 적절하지 않음을 알 수 있었다. 또한 상대속도비가 각각 최적값인 1:20, 1:14, 및 1:10 의 조건은 Table 2 에서 제시한 이론 해석결과와도 잘 일치한다.

결국 본 제품의 최적의 성형조건은 이론해석 결과와 같이 펀치와 맨드렐의 성형이 동시에 이루어지는 상대속도비이다.

### 6.3.2 금형의 간극 높이 변화

초기소재 두께가 5mm 인 경우에는, 금형간극에 따른 제품 성형상태가 일정한 분포로 나타나지 않았다. 그러나 두께가 상대적으로 두꺼운 6mm 및 7mm 조건에서는 초기소재 두께에 따른 금형간극 높이의 이론 한계치를 대부분 만족하였으나 일부 조건에서는 불완전 결합이 발생하였다. 즉 초기소재 두께가 두꺼운 7mm 경우와 금형 간극 높이가 적은 0.5mm 조건에서는 상대속도비가 적은 상태에서도 Fig. 13(a)와 같이 제품 끝부위의 소재 상태는 충만하였으나 내부 단부위가 겹침 현상이 발생되었다. 이것은 두꺼운 소재는 맨드렐에 의해 소재 중간부위는 아래방향으로 일정하게 유동된 반면 플랜지 외곽 부위는 금형간극 높이가 가장 적은 간극으로 빠져 나감에 따라 소재 유동시 방해받게 되고 상대적으로 플랜시 양이 적게된다. 따라서 맨드렐 성형이 끝나기 전에 이미 제품 끝부분은 소재가 차게 되고 계속된 맨드렐 하강에 따라 맨드렐과 직접 접촉하고 있는 내부 단부위가 강제로 압축력을 받아 뭉그러진 것으로 볼 수 있다. 반대로 간극이 큰 0.8mm 조건에서는 플랜지 부위의 소재가 간극으로 유출되는 양이 많아 소재 손실량이 많게 됨에 따라 제품의 끝부위가 미충만하게 되었다(Fig. 13(b)). 따라서 제품 끝부위 소재 충만상태는 금형 간극 높이 양에 의해 대부분 결정되어지며 이는 이론해석 결과와 잘 일치함을 알 수 있었다.

하중분포는 Fig.14 와 같이 세가지 조건 모두 금

형간극 높이가 클 수록 감소한 반면, 상대속도비는 하중변화에 큰 영향을 미치지 않았다. 이것은 Table 2 의 이론해석치와도 일치한다. 따라서 최적의 상대속도비인 1:20, 1:14, 및 1:10 의 조건에서 제품의 성형상태는 양호하였으며, 하중값도 유사하게 나타났다. 또한 초기소재 두께가 가장 얇은 5mm 조건에서 하중값이 가장 작게 나타나 최적의 조건임을 알 수 있었다. 실험결과는 Table 4 에 정리하였다.

실제 소재의 성형하중값은 최적의 성형조건인 초기소재 두께 5mm, 금형 간극양이 0.6mm 상태에서 모델재료 실험을 실시하여 그 값을 예측하였다. Fig. 15 와 같이 모델재료로 예측한 값은 유한요소 해석값 보다 다소 높게 나타났으나 서로 유사한 경향을 보였고 하중값은 성형 중간부에서 약 1103.5 톤으로 나타났다.

## 7. 결론

허브제품은 예비성형을 거쳐 최종 단조품을 제작 후 마무리 기계 가공을 통하여 최종 제품을 생산하였다. 그러나 펀치와 맨드렐을 동시에 구동하는 복동식 성형공법을 통해 소재 유동을 제어하는 방법으로서 판재 성형법과 단조 공법을 적용한 복합성형기법으로 기계가공을 없애고 공정 수를 줄일 수 있는 공법을 설계하고 모델실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 본 연구에서 고려한 복동식 성형조건에서 최적의 성형조건은 초기소재 두께가 5mm 에서 금형의 간극 양이 중간 값인 0.6mm 이다.
- (2) 프레스 한 행정으로 제품 성형을 위해서는 금형에 간극을 부여한 방법이 가장 적합하였다.
- (3) 펀치와 맨드렐의 상대속도는 각각의 성형이 동시에 완료될 수 있는 속도비가 소재의 유동 결합과 미충만의 문제를 해결할 수 있는 최적의 속도비임을 알 수 있었다.
- (4) 실재료의 성형하중은 모델재료 실험에 의한 성형하중을 상사시켜 구하고 유한요소해석과 비교한 결과 최대하중은 약 1100 톤 정도였다.
- (5) 펀치와 맨드렐을 동시에 구동하는 복동식 성형공법으로 유동제어 성형기술의 가능성을 해석 및 실험을 통하여 확인하였고, 향후 복잡한 제품 성형에의 활용이 기대된다.

## 후 기

본 연구는 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터를 통한 한국과학재단 우수 연구센터 지원금에 의한 것입니다.

and Numerical Modeling of Metal Forming Process," Advanced Technology of Plasticity, Vol. I , pp. 29-36, 1987.

## 참고문헌

1. Sun Sheng, Luan Yi Guo, "A die forging design approach for controlling metal flow way and its application in practice," Int. J. Mach. Tools & Manufacture Vol. 34, No. 2, pp. 161-167, 1994.
2. Altan T., R. allen miller, " Design for Forming and other Near Net Shape Manufacturing Processes," Annals of the CIRP Vol .39, pp. 609-620, 1990.
3. H. Ou, R. Balendra " Preform design for forging of aerofoil sections using FE simulation," J. Mat. Proc. Tech., No. 80-81, pp. 144-148, 1998.
4. T. Nakano, "Modern applications of complex forming and multi-action forming in cold forging," J. Mat. Proc. Tech., No. 46, pp. 201-226, 1994.
5. N. Ishinaga, "An advanced press design for cold forging," J. Mat. Proc. Tech., No. 71, pp. 100-104, 997.
6. Kozo Osakada, Xin Wang and Shinji Hanami, "Forward - Backward Extrusion with Axially Drive Container," JSTP, Vol. 37 No. 30, pp. 1154-1179.
7. 박근, 신민철, 양동열, 조종래, 김종수, " 모델 재료와 SLA 시금형을 이용한 터빈 블레이드 열간 단조 공정의 모사실험 " 한국소성가공학회 논문집, 제 4 권 제 4 호, pp. 335-344, 1995.
8. "DEFORM user's manual V4.1," 1995, Scientific technologies corporation
9. 김영호, 배원병, 이종헌, "MMT 를 이용한 Al-7075 열간 압축단조의 가공하중 예측," 한국소성가공학회지, 제 2 권, 제 3 호, 통권 제 4 호, pp. 37~50, 1993.
10. 이하성, 금형설계, 성안당, 1981.
11. 고대철, 김병민, 최재찬, 오세욱, "허브 냉간 단조품의 설계," 대한기계학회 논문집. 제 20 권 제 11 호, pp. 3387-3397, 1996.
12. 김세환 외, 프레스 금형설계 자료집, 대광서림, pp. 358, 1988.
13. T. Wanheimand J. Danckert, "Combined Physical