

폐쇄단조용 복동링크유압식 다이세트의 개발

최상호¹·전병윤²·이민철³·박래훈²·엄재근²·전만수[#]

Development of a Double-Action Link-Type Hydraulic Die Set for Enclosed Die Forging

S. H. Choi, B. Y. Jun, M. C. Lee, R. H. Park, J. G. Eom, M. S. Joun

(Received May 24, 2006)

Abstract

The key technologies necessary to develop and utilize a double-action link-type hydraulic die set for the enclosed die forging are presented in this paper. Various die sets for the enclosed die forging are investigated and the technologies necessary to develop and to utilize a double-action link-type hydraulic die set are introduced in detail with emphasis on the mechanism of the die set and its kinematical behaviors, the force transmission mechanism, the criterion on the enclosed die forging and its application, the forming load prediction and the stress distribution of the link. A double-action link-type hydraulic die set is developed and it is applied to the enclosed die forging of a bevel gear.

Key Words : Net Shape Forming, Enclosed Die Forging, Double-Action Link Type Die Set

1. 서 론

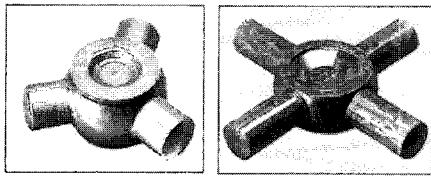
국내외의 산업계, 학계, 관련 연구기관 등에서는 기계부품소재산업의 대외경쟁력 향상을 위해 경량화 기술, 고품질화 기술, 생산성 향상 및 제조원가 절감 기술 등의 연구에 힘쓰고 있다. 이러한 노력의 일환으로 생산기술 측면에서는 절삭량을 최소화하고 생산 공정을 자동화함으로써 생산 비용을 줄이려는 시도가 지속되고 있다[1~7]. 특히 소재의 낭비를 줄이고 고품질을 유지하는 생산방법으로 정밀정형성형(Net shape forming) 또는 준정형성형(Near net shape forming) 기술이 각광을 받고 있다.

주로 냉간 및 온간성형에 적용되는 폐쇄단조(Enclosed die forging)는 정밀정형성형의 대표적인 예이다. 1970년대 일본에서 석유파동에 대응하기

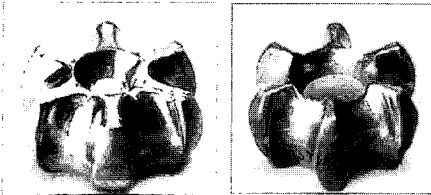
위하여 에너지 절약과 소재 회수율 향상 및 단조 공정 단축을 목적으로 소재로부터 완제품을 만들기 위한 최적의 공정을 연구하기 시작하였고, 이러한 연구의 결과로 1974년에 450톤 유압프레스를 활용한 폐쇄단조 시스템이 개발되어, 제품의 대량생산에 투입되기 시작하였다[1].

폐쇄단조기술의 목적은 절삭량의 최소화, 낮은 성형하중 및 에너지 절약, 공정의 자동화 등에 있다. 현재 폐쇄단조기술은 정밀정형단조의 핵심기술이며, 대표적인 단조품으로 스파이더, CV 조인트의 인너레이스, 베벨기어, 콘 클러치, 헬리컬 기어 등이 있다. Fig. 1은 대표적인 폐쇄단조품을 나타내고 있는데, 이와 같은 제품들을 정밀정형단조로 생산할 경우, 정밀도 및 강도 등의 품질 개선, 단조공정 단축, 단조품 내·외부 결함 방지 등의 장점이 있기 때문에 품질과 가격 경쟁력에서 유리하다.

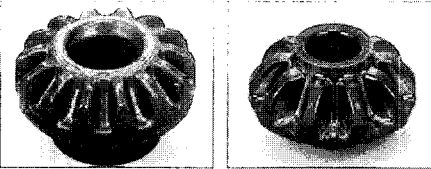
1. 광호정밀
2. 경상대학교 대학원 기계공학과
3. 경상대학교 2단계 BK21 첨단기계항공고급인력양성사업단
교신저자 : 경상대학교 기계항공공학부, 항공기부품기술연구소
E-mail : msjoun@gnu.ac.kr



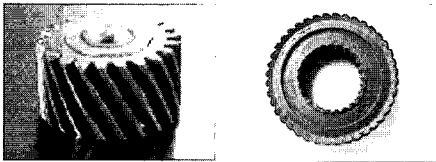
<Spider>



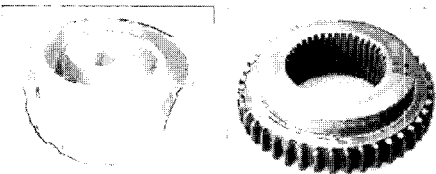
<CV Joint-inner race>



<Bevel gear>



<Helical gear>



<Scroll>

<Outer cone>

Fig. 1 Precision forgings, manufactured by the enclosed die forging[8]

폐쇄단조는 장비 의존도가 비교적 크다. 단조 장비 자체도 폐쇄단조에서 매우 중요한 비중을 차지한다. 폐쇄단조용 다이세트는 일반적으로 범용 다이세트에 비하여 부피가 크다. 그러므로 장비에 따라서는 장비의 최대하중 등에 적합한 크기의 다이세트의 장착이 불가능할 수도 있다. 단조 장비에 못지않게 폐쇄단조용 다이세트는 중요하다. 다이세트가 제품의 정도와 생산성에 미치는

영향이 매우 크기 때문이다. 우리나라는 폐쇄단조 분야에 있어 일본에 비하여 기술 수준이 현저히 떨어지는 상태에 있으며, 폐쇄단조의 발전을 위하여 폐쇄단조용 다이세트 관련 기술의 개발 및 보급형 시스템의 보급은 국내 단조산업의 발전에 필수적이다. 따라서 본 연구에서는 산학협력을 통하여 보급형 폐쇄단조용 복동링크식 다이세트를 개발함으로써 개념설계 및 엔지니어링 능력, 즉 독자적인 개발 능력을 확보하고자 한다.

2. 폐쇄단조와 다이세트

일반적으로 형단조 공정은 플래쉬(Flash)가 발생하여 소재의 회수율이 저조하고 제품의 정밀도 및 강도가 떨어지는 단점을 지니고 있다. 물론 밀폐형단조(Closed die forging without flash)에서는 플래쉬가 발생되지 않지만, 밀폐형단조는 근본적으로 작동원리 측면에서 폐쇄단조와 큰 차이가 있다. 형단조에서는 성형하중이 금형과 펀치 및 취출핀 등에 직접 가해지는 반면, 폐쇄단조에서는 폐쇄가 되고 난 이후 펀치 또는 취출핀에 의하여 성형하중이 부과된다. Fig. 2는 폐쇄단조를 개념적으로 나타낸 것이다. 폐쇄단조는 상금형과 하금형이 먼저 닫힌 후 폐쇄된 공간에 소재를 채워 넣어 제품으로 성형하기 때문에 근본적으로 플래쉬가 없고 후가공을 최소화시킨 정밀 단조품을 생산할 수 있는 장점이 있다. 반면, 시스템이 복잡하고 고가이며, 다이세트의 높이가 높기 때문에 일반단조기에 장착되어 사용이 불가능하므로 단조업체에서 관련 시스템의 도입이 쉽지 않다.

폐쇄단조용 다이세트는 폐쇄 상태를 유지하는데 필요한 하중, 즉 하중의 부가방법에 따라 현재 NICHIDAI 형과 KOMATSU 형의 2 가지 형태가 주로 사용되고 있다. Fig. 3은 전술한 2 가지 형태의 폐쇄단조용 다이세트의 개념도를 나타내고 있다.

NICHIDAI 형은 링크를 사용한 방식으로 시스템이 단순하며 강도 확보가 용이하고 다이세트의 평형도 확보가 양호하여 제품의 정밀도가 우수하다. 그리고 상사점에 영향을 받지 않고 셋팅이 용이하며 링크의 길이의 변동에 의해 상형과 하형의 속도비의 조절이 가능하다.

KOMATSU 형은 랙과 피니언을 사용한 방식으로 기어의 정도에 영향을 받으며, 상형과 하형의 속도비는 2:1로 일정하다. 그러나 KOMATSU 형

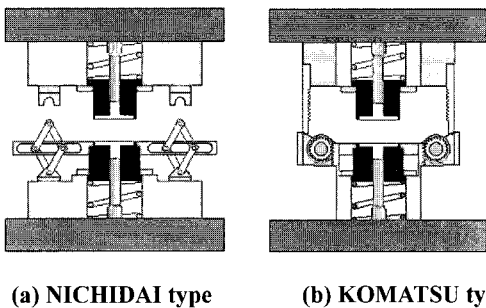
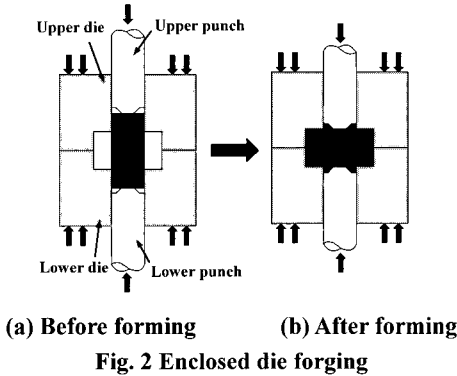


Fig. 3 Typical types of enclosed die forging die sets

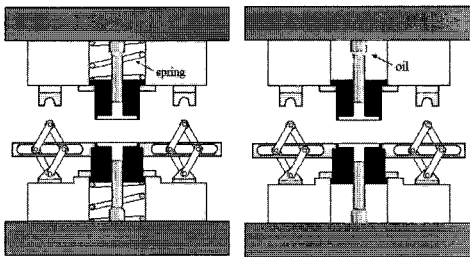


Fig. 4 Comparison of the link spring type with the link hydraulic type

은 가격과 성능 양면에서 NICHIDAI 형에 비하여 불리한 것으로 평가되고 있다.

폐쇄단조용 다이세트의 종류에는 폐쇄압을 유지하는 방식에 따라 Fig. 4에서 보는 바와 같이 링크스프링식과 링크유압식이 있으며, 작동방식에 따라 Fig. 5에서 보는 바와 같이 단동식과 복동식이 있다. 본 연구에서는 폐쇄하중의 변경이 용이하고 적용범위가 넓은 복동링크유압식 폐쇄단조용 다이세트를 개발 대상으로 하였다.

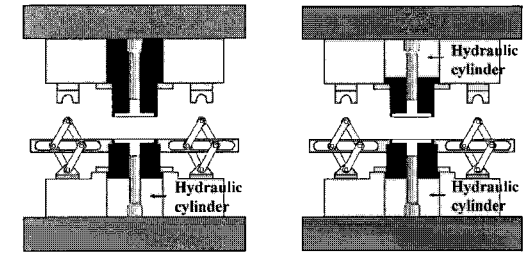


Fig. 5 Comparison of the single-action type with the double-action type

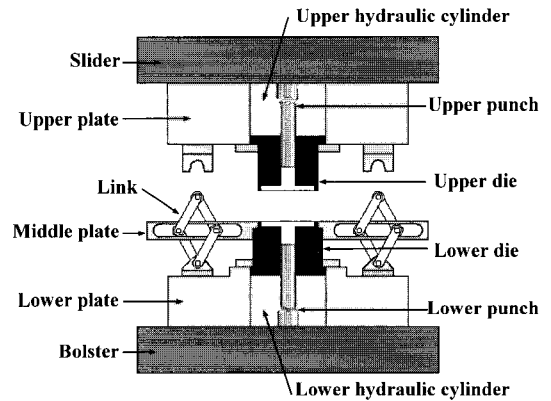


Fig. 6 Conceptual drawing of the enclosed die forging die set

Fig. 6은 복동링크유압식 폐쇄단조용 다이세트의 개념도와 각 구성품의 명칭을 나타낸 것이다. 폐쇄단조용 다이세트는 크게 상부, 중부, 하부 등으로 나눌 수 있다. 상부는 슬라이더(Slider), 상판(Upper plate), 상유압실린더(Upper hydraulic cylinder), 상금형 또는 상형(Upper die), 상편치(Upper punch) 등으로 구성되고, 중부는 중간판(Middle plate), 링크(Link)로 구성되며, 하부는 볼스터(Bolster), 하판(Lower plate), 하유압실린더(Lower hydraulic cylinder), 하금형 또는 하형(Lower die), 하편치(Upper punch) 등으로 구성되어 있다.

링크는 상부의 운동과 연계된 중간판의 운동과 이 운동에 필요한 힘을 전달한다. 상부와 하부의 유압실린더는 폐쇄 이전에는 금형과 다이세트 간의 상대운동을 방지하는데 필요한 하중 또는 성형하중을 지탱하며 상부와 하부의 금형이 폐쇄된 이후 폐쇄 상태를 유지하는데 필요한 하중, 즉 폐쇄하중을 지탱한다. 상하부 편치는 금형이 폐쇄된 후 소재를 밀폐된 금형 공간에 채움으로써 소재를 원하는 형상으로 성형하는 역할을 담당한다.

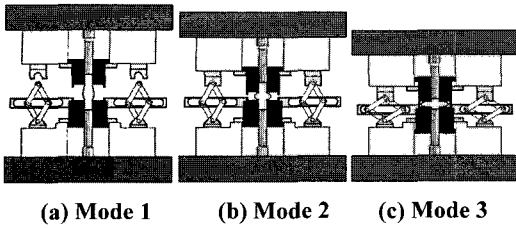


Fig. 7 Three different modes in the enclosed die forging

Fig. 7은 폐쇄단조에 필수적인 복동링크유압식 폐쇄단조용 다이세트의 작동 원리를 개념적으로 나타낸 것이다. 슬라이더가 하강하면, 먼저 상판과 링크가 접촉하게 된다. 이 때부터 상부와 링크 시스템에 의하여 부가된 속도로 상형과 하형이 닫힐 때까지 하강한다. 이 과정에서 소재는 변형을 받을 수도 있고, 변형을 받지 않을 수도 있다. 이 과정에서 받은 소성변형은 일반 단조의 변형과 동일하다. 일단 상형과 하형이 닫혀지면, 상형과 하형의 속도는 중간판의 속도와 동일하게 되며, 상형과 상편치 간의 상대운동이 발생하게 된다. 그 결과, 상하부의 편치가 상대운동에 의하여 소재에 성형하중을 가하게 된다. 이 때, 상형과 하형에 작용하는 분리력(Enclosed die separating force), 즉 상금형 하중과 하금형 하중은 유압에 의하여 지탱된다.

3. 폐쇄단조용 복동링크유압식 다이세트의 설계

3.1 모델 공정의 설정 및 분석

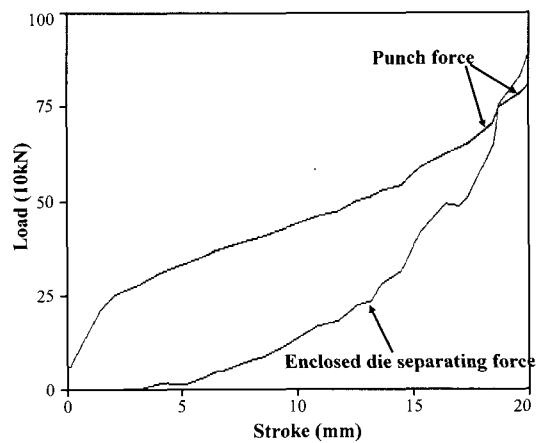
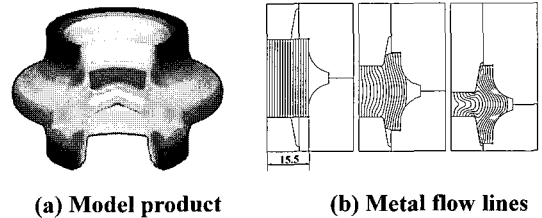
일반적으로 다이세트는 장비와 생산 제품에 따라 차이가 날 수밖에 없다. 폐쇄단조용 다이세트 역시 마찬가지다. 따라서 적용 대상 장비와 제품의 결정이 이루어져야 하고, 가급적 범용성이 높도록 선정되는 것이 바람직하다. 본 연구에서는 (사)경상대 수송기계부품기술혁신센터의 보유장비인 기계식 프레스를 적용 대상 장비로 선정하였으며, Fig. 8(a)에서 보는 바와 같이 최대 반경이 21.1mm 인 축대칭 제품을 적용 대상 제품으로 선정하였다. 프레스의 구체적인 사양은 Table 1 에서 보는 바와 같다. 프레스의 최대성형하중은 1000 톤이며, 폐쇄단조의 용이함을 위하여 행정(Stroke)이 범용장비에 비하여 다소 높게 설계되었다.

설계 정보를 획득하기 위하여 강소성 이론에 바탕을 두고 단조 공정 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션 조건은 다음과 같다.

- 재료의 종류와 크기: AISI 1020, 원형 봉재, 반경 15.5mm × 높이 29.0mm
- 마찰조건: 0.05
- 슬라이드 하강 속도: 1.0mm/sec
- 소재의 유동응력: $\bar{\sigma} = 750.0E^{0.2}$ MPa
- $a=125.12$ mm, $b=125.12$ mm, $l_1=144.48$ mm, $l_2=144.48$ mm, $D_U=20.00$ mm, $D_L=10.00$ mm (3.3 절 참조)

Table 1 Specifications of the press

Capacity	10000kN
Stroke	250 mm
Working speed	1800 mm/sec
Slide	900 mm × 900 mm
Bolster	1000 mm × 900 mm
Knockout capacity	500 kN
Knockout stroke	100 mm



(c) Forming load versus stroke
Fig. 8 Forging simulation results of the model process

Fig. 8에 해석 결과를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 금형과 편치 사이의 틈새가 있어

소재의 불연속이 발생할 가능성이 염려되었으나, Fig. 8(b)의 소성유동선도에서 그러한 현상은 예측되지 않았다. Fig. 8(c)에서 보는 바와 같이, 초기에는 폐쇄하중이 펀치 성형하중에 비하여 작게 작용하지만, 성형이 진행되면서 폐쇄하중이 급격하게 증가하는 현상을 나타내고 있다. 최대의 폐쇄하중은 상금형 분리력과 최대 펀치 하중이 각각 870kN과 760kN이다.

3.2 폐쇄단조조건과 성형하중 예측

관련 연구[9]에 의하면, Fig. 9(c)의 상태에서 링크에 작용하는 하중 와 성형하중은 각각 다음과 같으며,

$$F_L = F_{L_E} - F_{U_E} + F_{U_D} - F_{L_D} \quad (1)$$

$$F_P = F_{L_E} - F_{L_D} + F_{U_D} + F_{U_P} \quad (2)$$

폐쇄단조조건은 다음과 같다.

$$F_{L_E} - F_{L_D} \geq F_{U_E} - F_{U_D} \geq 0 \quad (3)$$

여기서 F_{U_D} 는 상금형 하중을, F_{U_P} 는 상펀치 하중을, F_{U_E} 는 상부 폐쇄하중을, F_{L_D} 는 하금형 하중을, F_{L_E} 는 하부 폐쇄하중을 의미한다.

성형하중을 최소화하기 위해서는 폐쇄하중의 최소화가 필수적이다. 식 (2)로부터 상부 폐쇄하중은 프레스 하중에 직접적으로 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 물론 제품이 상하대칭일 경우 식 (3)의 폐쇄단조조건을 유지하기 위하여 상부의 폐쇄하중은 하부의 폐쇄하중보다 크지 않아야 한다. 그러므로 하부 폐쇄하중의 최소화가 필수적이다. 따라서 상부와 하부의 최적 폐쇄하중은 각각 상금형과 하금형에 작용하는 하중, 즉 폐쇄분리력과 일치한다.

폐쇄하중의 발생원(Source)으로 유압을 사용할 경우, 유압시스템에서 허용하는 범위내에서 폐쇄압력을 조절함으로써 최적의 조건을 유지할 수 있다. 즉 단조가 완성되는 순간 링크에 최소의 하중이 작용하도록 할 수 있다. 반면, 폐쇄하중의 발생원으로 스프링을 사용할 경우 프레스에 작용하는 하중을 최소화할 수 없는 단점을 안고 있다. 실제 현장에서는 폐쇄압력을 최대로 둔 상태에서 폐쇄단조용 다이세트를 운전하는 경우가 흔하다. 그 이유는 폐쇄단조용 다이세트의 이론적 배경을 충분히 숙지하지 못한 상태에서 운용하기 때문이라고 판단된다. 일반적으로 재료의 성질과

윤활 등의 작업 조건에 따라 하중의 변동이 발생하므로 이를 고려하여 하부의 폐쇄하중을 하금형 하중의 120% 내외로 잡고 폐쇄단조조건을 감안하여 상부의 폐쇄하중을 상금형 하중의 110%로 잡는 것이 바람직하다고 사료된다. 예를들면, Fig. 8의 모델공정에서 상하대칭이고, 폐쇄분리력, 즉 상금형과 하금형에 작용하는 하중의 최대치가 약 870kN이므로 상부와 하부의 폐쇄하중을 각각 96kN과 105kN 내외로 설정하는 것이 바람직하다. 이 경우, 프레스가 가하는 성형하중은 Fig.9에서 보는 바와 같다.

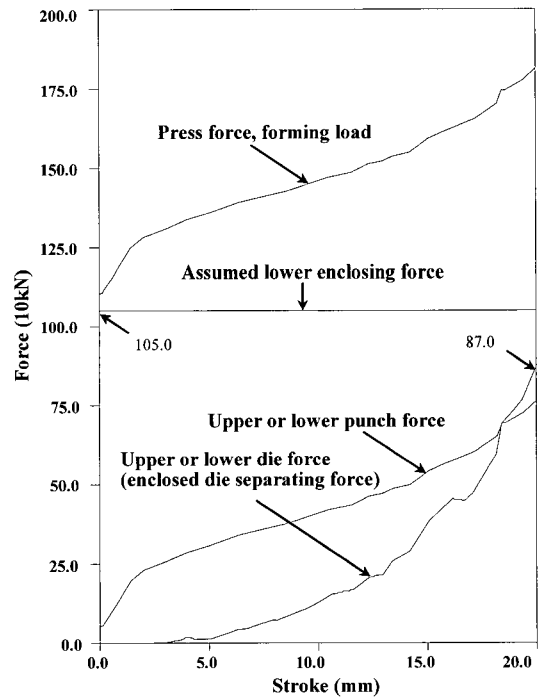


Fig. 9 Forming load

한편, 상하비대칭 단조품의 폐쇄단조공정에서 상부와 하부의 폐쇄하중을 다르게 설정하기 위한 방법으로 서로 다른 유압 장치를 상하 폐쇄 시스템에 사용하는 경우와 상하의 실린더 단면적을 다르게 설계하는 경우가 있다.

3.3 기구 설계 및 해석

Fig. 10은 링크시스템의 운동을 나타낸 것이다. 링크시스템은 4개의 연결부 즉, 레볼루트 조인트 (Revolute joint) 또는 핀연결부(Pin-connected joint) 와 4개의 링크로 구성되어 있다. 그림에서 연결부

U 는 상판 또는 슬라이더(Slider)에 연결되어 있으며, 연결부 L 은 중간판에 연결되어 있고, 연결부 B 는 하판 또는 볼스터(Bolster)에 연결되어 있다. 그림에서 보는 바와 같이 a 와 b 는 운동 개시 시점에서의 연결부간의 상대높이를 나타내고, D_U 와 D_L 은 운동 개시 이후 상형과 하형의 이동 거리를 각각 의미한다.

a , b , D_U , D_L 등의 관계는 다음과 같다[8].

$$D_L = \frac{(2a - D_U)}{2(a + b - D_U)} D_U \quad (4)$$

여기서 l_1 와 l_2 는 하부 링크와 상부 링크의 길이를 각각 의미한다.

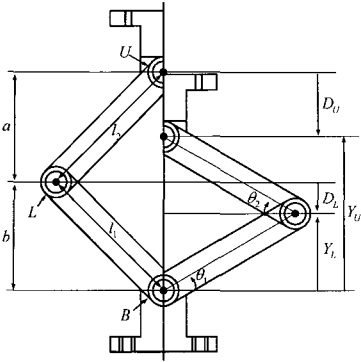


Fig.10 Mechanism of the link system

한편, 상형과 하형의 속도비는 다음 식으로 표현된다[10].

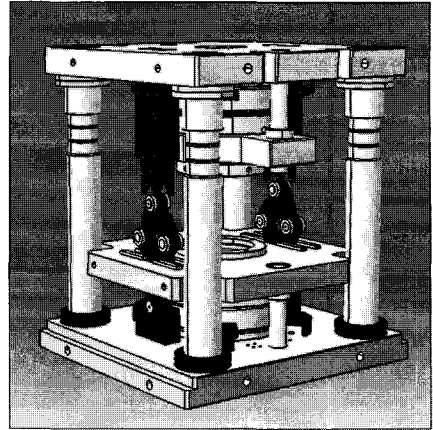
$$\frac{V_L}{V_U} = \frac{1}{2} + \frac{l_2^2 - l_1^2}{2Y_U^2} \quad (5)$$

이 식으로부터 만약 링크의 길이가 동일하면, 하금형의 속도는 상금형의 속도의 절반임을 알 수 있다. 그리고 상부 링크의 길이가 크면, 속도비는 증가하며, 하강할수록, 즉 상부의 높이가 작아질수록 속도비는 증가함을 알 수 있다. 반대로 하부 링크의 길이가 크면 속도비는 감소함을 알 수 있다.

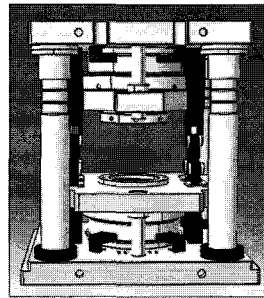
3.4 구조 설계와 링크의 구조해석

Fig. 11은 본 연구에서 개발한 폐쇄단조용 다이 세트틀을 나타낸 것이다.

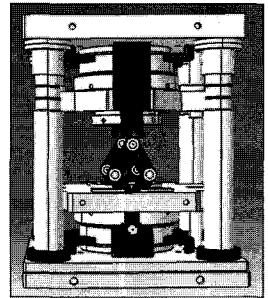
폐쇄단조용 다이세트에서 구조역학적으로 가장 취약한 부분은 링크시스템이다. 상판, 중간판, 하판 등 다른 부품들은 일반적으로 매우 두꺼운 소



(a) Bird's view



(b) Front view



(c) Side view

Fig.11 Three-dimensional model of the enclosed die forging die set

재를 사용하므로 구조역학적으로 안전하다.

링크 하중 F_L 을 다음 식으로 표현할 수 있다[8].

(i) Mode 1

$$F_L = 0 \quad (6)$$

(ii) Mode 2

$$F_L = F_{L_e} - F_{L_d} \quad (7)$$

(iii) Mode 3

$$F_L = F_{L_e} - F_{U_e} + F_{U_d} - F_{L_d} \quad (8)$$

여기서 F_{U_d} , F_{U_e} , F_{L_d} , F_{L_e} 는 각각 상금형 하중, 상부 폐쇄하중, 하금형 하중, 하부 폐쇄하중을 의미한다. 공정이 상하대칭일 경우, 식(8)로부터 폐쇄가 발생하면 링크 하중은 크지 않음을 알 수 있다. 상하대칭 공정에서 F_{U_d} 와 F_{L_d} 는 동일하며,

F_{L_e} 와 F_{U_e} 를 동일하게 설정하여도 식 (3)의 폐쇄 단조조건을 만족하므로 이론적으로는 성형이 가능하기 때문이다. 그러나 Mode 2일 경우, 즉 링크에 하중은 부과되었지만 폐쇄가 발생되지 않았을 경우에는 링크는 하부 폐쇄하중의 대부분을 지탱해야 한다. 따라서 링크에는 비교적 큰 하중이 작용하므로 링크는 구조적으로 취약하다. 링크에 작용하는 하중에 관련된 상세한 내용은 참고문헌 [11]으로 대신한다.

링크시스템의 구조해석을 위하여 링크시스템 부위를 접촉문제로 모델링하여 응력해석을 실시하였다. 사용된 S/W는 ABAQUS이다. Fig. 12는 링크시스템의 구조해석 결과를 나타내었다. 탄성계수와 포아송비는 각각 210GPa와 0.3으로 하였고, 경계조건으로 상부 핀의 양끝의 중심에 단위하중을 가하였으며 하부 핀의 y-방향의 변위를 구속하였다. 유한요소해석모델은 13722개의 절점과 56356개의 사면체요소로 구성되어 있다. 접촉면에서 마찰계수는 0.05로 간주하였다.

링크에 작용하는 유효응력의 분포를 Fig. 12에 나타내었다.

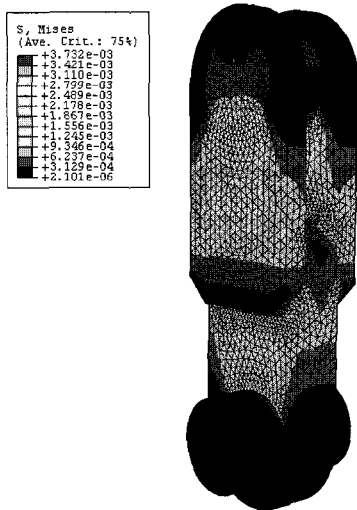


Fig. 12 Stress distribution of the link

단위하중이 가해졌을 때 최대유효응력은 3730Pa로 나타났는데, Fig. 12에서 보는 바와 같이 하단부의 연결 부위에서 압축응력에 의하여 발생함을 알 수 있다. 재료(SKD11)의 항복응력이 2500MPa 내외이므로 하나의 링크가 전달할 수 있는 최대

전달하중은 670kN이다. 일반적으로 산업현장에서는 상부 또는 상판이 링크에 닿을 때 링크가 약 60°기울어져 있게 설계하고 있으며, 폐쇄가 발생할 때 링크의 기울기가 50°이하가 되지 않도록 운용하고 있다. Fig. 9에서 보는 바와 같이 폐쇄가 발생하면, 링크 하중이 급격하게 떨어지므로 링크에는 큰 무리를 주지 않는다. 따라서 최악 조건으로 링크가 50°기울어져 있다고 하면, 해석에 사용된 모델로 전달할 수 있는 수직방향으로의 성형하중은 최대 510kN이며, 네 개의 링크가 사용될 경우 약 2000kN의 링크 하중을 전달할 수 있다.

3.5 유압 응용 및 제어 기술

설계기준 폐쇄하중은 최대 폐쇄하중에 안전계수를 고려하여 결정되어야 한다. 본 연구에서는 안전계수를 1.5로 간주하였다. 따라서 단조시뮬레이션 결과를 바탕으로 설계기준 폐쇄하중을 1350kN으로 설정하였다. 폐쇄단조용 다이세트와 유사한 장비의 유압은 25MPa를 넘지 않도록 설계하므로 본 연구에서도 현장의 경험을 반영하여 이를 최대 폐쇄압으로 결정하였다. 유압펌프의 토출량은 최대 분당생산량 40개를 기준으로 결정하였으며, 누유방지를 위하여 고온 고압용 씰(Seal)을 사용하였다. 습동 부위의 정밀도를 높이기 위하여 전해연마를 실시하였다.

Fig. 13은 유압시스템의 계통도이다. 컨트롤 패널에서 신호를 받아 유압장치가 작동하여 유압이 25MPa까지 올라가면 On/Off 스위치에 의해 작동을 멈추게 된다. 체크밸브는 유체를 한쪽 방향으로 자유롭게 흐르게 하고 반대 방향으로의 흐름을 차단하는 기능을 갖는 밸브로 유체의 압력을 유지하고 역류방지용으로 사용된다. 릴리프밸브는, 압력이 최고 사용범위를 초과할 때, 유체를 오일 탱크로 방출하여 설정 압력으로 유지시켜주는 안전밸브로 사용된다.

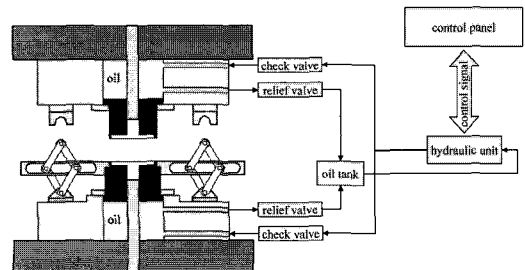
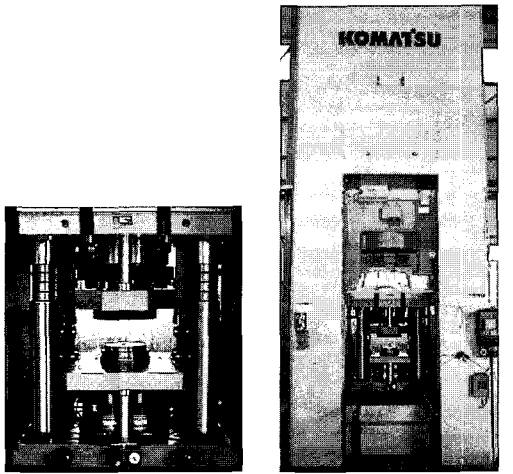


Fig.13 Schematic diagram of the hydraulic system



(a) Developed die set (b) A mechanical press with the die set

Fig.14 Developed enclosed forging die set

4. 다이세트의 응용

Fig. 14(a)는 본 과제에서 개발한 폐쇄단조용 다이세트를 나타내고 있으며, Fig. 14(b)는 폐쇄단조용 다이세트가 기계식 프레스에 장착된 상태를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 개발된 폐쇄다이세트는 보급형으로 개발되었으므로 외형이 선진국에서 개발한 것에 비하여 단순하다.

국산화 개발된 폐쇄단조용 복동링크유압식 다이세트는 정밀폐쇄단조품 생산에 성공적으로 사용되고 있다. Fig. 15에 개발된 다이세트로 생산한 주요 폐쇄단조품을 나타내었다.

5. 결론

본 논문에서는 폐쇄단조용 복동링크유압식 다이세트의 요소기술이 다이세트의 개발과 운용의 관점에서 종합적으로 제시되었다.

다이세트의 구조 및 기구학적 거동 특성, 하중 전달 현상, 폐쇄단조조건과 응용, 성형하중의 결정, 링크의 응력 분포 등이 소개되었으며, 특히 최적 시스템의 개발과 효율적 활용의 양면에서 폐쇄단조조건중의 중요성이 강조되었다.

제시된 각종 이론을 바탕으로 국내 실정에 적합한 간소형 폐쇄단조용 다이세트를 개발하여 베벨기어의 폐쇄단조에 성공적으로 적용하였다.

본 논문에서 제시된 각종 이론과 결과물은 향후

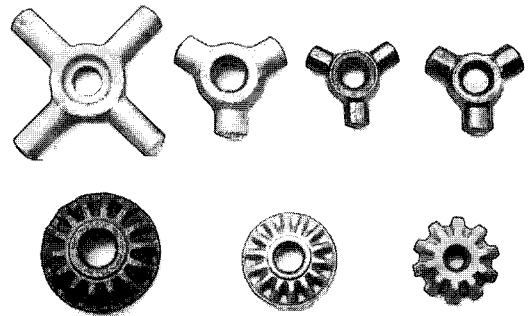


Fig.15 Forgings manufactured by the enclosed die forging with the developed die set

되어 있는 국내의 폐쇄단조의 기술 발전에 기여할 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 중소기업청의 중소기업 기술연구회 사업으로 실시되었으며, 관계기관 및 참여기업 관계자 여러분께 심심한 감사를 드립니다. 그리고 본 연구를 실시하는데 각종 기술적 자료와 정보를 제공해 준 일본의 NICHIDAI사와 H. Yoshimura 고문에게 심심한 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] H. Yoshimura, K. Tanaka, 2000, Precision forging of aluminum and steel, J. Mat. Proc. Tech., Vol. 98, pp. 196~204.
- [2] K. Siegert, M. Kammerer, Th. Keppler-Ott, D. Ringhand, 1997, Recent developments on high precision forging of aluminum and steel, J. Mat. Proc. Tech., Vol. 71, pp. 91~99.
- [3] E. Doege, R. Bohnsack, 2000, Closed die technologies for hot forging, J. Mat. Proc. Tech., Vol. 98, pp. 165~170.
- [4] 박종진, 이정환, 이영선, 1996, 베벨기어 폐쇄단조의 유한요소해석, 대한기계학회논문집(A), 제 20 권 제 8 호, pp. 2458~2467.
- [5] J. C. Choi, Y. Choi, 1999, Precision forging of spur gears with inside relief, Int. J. Math. Tools Manufact. Vol. 42, pp. 1214~1222.
- [6] A. G. Mamalis, D. E. Manolacos, A. K. Baldoukas,

- 1996, Simulation of the precision forging of bevel gears using implicit and explicit FE techniques, J. Mat. Proc. Tech., Vol. 57, pp. 164~171.
- [7] K. Kondo, K. Ohga, 1995, Precision cold die forging of a ring gear by divided flow method, Int. J. Mach. Tools Manufact., Vol. 35, pp. 1105~1113.
- [8] H. Yoshimura, 2005, 폐쇄단조에 있어서 형설계 및 성형사례, 세미나 자료.
- [9] 전병윤, 박래훈, 엄재근, 전만수, 2006, 복동링크유압식 다이세트를 이용한 폐쇄단조의 폐쇄단조조건, 한국소성가공학회 춘계학술대회, pp. 391~394.
- [10] 박래훈, 전병윤, 이민철, 전만수, 2006, 폐쇄단조용 복동링크식 다이세트의 기구학적 해석, 대한기계학회논문집(A), 제 30 권 제 10 호, 게재예정.
- [11] 엄재근, 전병윤, 전만수, 2006, 폐쇄단조용 복동링크유압식 다이세트의 링크에 작용하는 정역학적 해석과 구조해석, 한국정밀공학회 춘계학술대회, pp. 93~94.