

강철재 약협의 공정해석 및 성형공정 개선에 관한 연구

장동환* · 유태곤** · 황병복***

(2001년 3월 7일 접수)

A Study on the Analysis and Improvement of Forming Processes of a Steel Shell Body

D. H. Jang, T. K. Ryou and B. B. Hwang

Abstract

The conventional and new forming processes of a steel shell body are analyzed by the rigid-plastic finite element method. The conventional process contains five forming stages such as bending, drawing, ironing, heading and sizing, which was designed by a forming equipment expert. The results of simulation of the conventional forming process are summarized in terms of deformation patterns and load-stroke relationships for each forming operation. Based on the simulation results of the current five-stage, the shell body forming process including backward extrusion is designed for improving the conventional process sequence. Forming loads of the proposed process are within the limit value, which is proposed by experts and the proposed process is found to be proper for manufacturing steel shell body.

Key Words : Shell Body, Finite Element Method, Backward Extrusion, Process Planning

1. 서론

고도의 성형성과 고강도가 요구되는 제품을 저렴한 비용으로 대량생산하여 경제적으로 우수성을 가지고 있는 냉간단조는 재료의 기계적 성질을 향상시킬 수 있고, 치수의 정밀도를 높일 수 있으며, 표면상태를 향상시킬 수 있는 장점이 있기 때문에 자동차부품을 비롯하여 선박, 항공기 및 각종 기계부품의 생산에 이용되고 있다⁽¹⁾. 냉간단조에 의한 부품성형은 일반적으로 단일 공정으로 이루어지는 것이 아니라 초기의 단순한 형태의 소재를

보다 복잡하면서도 결함이 없는 제품으로 만들기 위하여 여러 번의 예비 성형공정을 거치는 다단계 성형공정으로 이루어진다. 따라서 냉간단조 공정설계의 가장 중요한 사항은 예비성형 공정수 및 각 공정의 예비성형체 형상이다.

공정설계는 원하는 부품 형상을 가장 경제적으로 생산할 수 있는 방법을 찾는 데 그 목적이 있다. 이를 위하여 적절한 가공공정의 선택과 가공순서의 결정, 예비형상의 설계, 가공조건의 결정 및 가공장비의 선정 등이 공정설계에서 고려되어야 한다. 그러나 대부분의 소성가

* 인하대학교 자동화공학과 박사과정
** 인하대학교 자동화공학과 석사과정
*** 인하대학교 자동화공학과 부교수

공에서 공정의 수를 줄여서 생산성을 향상시킬 수 있는 공정설계가 절실히 필요하나 아직까지는 기술자의 경험이나 실험, 또는 간단한 해석에 의존하고 있는 실정이다⁽²⁻⁵⁾. 그러나, 최근에는 이러한 전통적인 공정설계 방법이 컴퓨터를 이용한 모의실험에 의한 설계방식으로 점차 전환되어 가고 있는 것이 세계적인 추세이다^(6,7).

컴퓨터를 이용한 공정설계 및 설계방법은 크게 유한요소법에 의한 해석방법과 전문가시스템을 이용한 방법이 있다. 전문가 시스템을 이용한 공정설계 방법은 현장 경험이 거의 없는 초보자라도 숙련된 기술자와 동등한 결과의 공정설계가 가능하다는 잇점을 가지고 있다. 그러나, 재료유동이나 응력, 소성변형률, 내부결함, 불완전한 금형 충전성 및 연성파괴등을 예측할 수 없는 단점이 있다. 반면에 유한요소법을 이용한 모의실험에 의한 해석방법은 적은 계산시간으로도 정확한 결과를 얻을 수 있으며, 공정설계에서 필요한 재료의 유동 양상이나 응력분포등의 데이터를 비교적 쉽게 얻을 수 있는 장점이 있다⁽⁸⁾. 특히 강소성 유한요소법은 Lee와 Kobayash⁽⁹⁾가 변분 원리에 입각한 행렬법을 수식화한 이후 응력의 오차가 누적되지 않으며 계산시간을 줄일 수 있어 단조나 압출 같은 소성변형문제에 많이 이용되고 있다.

본 논문에서는 강철재 약협의 기존 공정에 대하여 강소성 유한요소법 코드로 되어있는 ALPID (Analysis of Large Plastic Incremental Deformation)⁽¹⁰⁾ 프로그램을 이용하여 모의실험을 수행하였다. 이를 통하여 각각의 공정에 대한 소재의 유동, 유효변형률과 하중등에 관한 자료를 얻을 수 있었다. 이와 같은 기존공정의 해석결과를 통하여 성형한계 범위 내에서 새로운 공정을 설계하고 해석하여 기존공정과 비교하였다.

2. 기존 제작공정의 해석

2.1 강철재 약협의 용도와 제작방법

약협은 포탄의 탄피를 의미하며 내부에 추진장약과 뇌관을 설치하여 탄두를 발사하는 역할을 한다. Fig. 1은 탄약이 장전된 포신 몸체의 단면을 보여 주고 있다. 그림에서와 같이 포신 몸체는 크게 약실부(cartridge chamber)와 강선부(barrel)로 나누어져 있으며, 이 안에서 탄두(warhead)는 가스의 압력에 의하여 전방으로 움직인다. 탄두와 약협의 연결부분은 크리핑 또는 접착제로 연결되어 있으며, 약협은 그 안에 추진장약을 포함하여 그 밑면에 뇌관이 삽입되어있다. 발사 시 약협은 연소된 가스가 포미로 누출되지 않도록 약실 벽에 밀착되어 밀폐작용을 한다. 이와같은 약협들은 대부분 황동이

나 강철을 재료로 드로잉(drawing)가공에 의하여 생산된다⁽¹¹⁾. 본 논문에서 해석 대상으로 삼고 있는 강철재 약협은 구경 120mm 이상의 공포탄 또는 산탄류의 탄피로서 근래에는 발사 후 연소되는 소진탄피(combustible case)의 베이스로 주로 사용되고 있다⁽¹¹⁾.

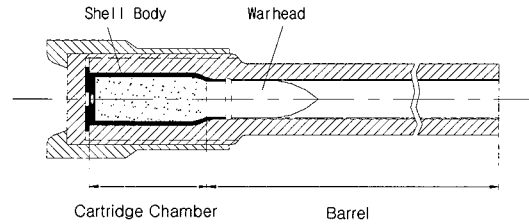


Fig. 1 The cross section of a loaded ordnance

Fig. 2는 프레스 장비 전문가에 의해 설계된 강철재 약협의 초기 소재의 형상과 각 공정에서의 예비성형체의 형상이다. 그림에서와 같이 전통적인 제작방법은 굽힘(bending), 드로잉(drawing), 아이어닝(ironing), 헤딩(heading), 사이징(sizing)의 다섯단계의 공정으로 이루어진다. 첫번째 굽힘공정과 네번째 헤딩공정후 연속되는 드로잉공정으로 인해 변형이 크기 때문에 횡방향 크랙을 피하고 소재에 연성을 되찾아 주기 위하여 각각 풀림처리를 한다.

본 공정에서는 직경 197mm, 두께 19mm의 압연된 강재의 블랭크를 사용하며, 3500tonf 유압프레스가 이용되고, 윤활제로는 비누(soap agent)를 사용하여 생산한다.

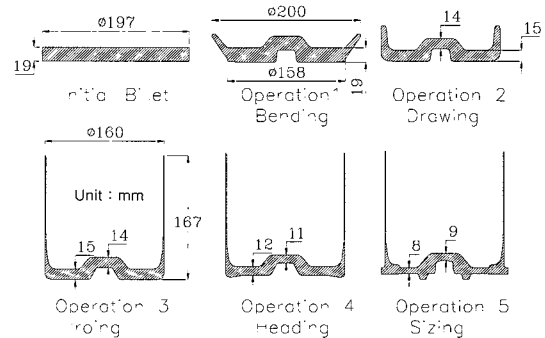


Fig. 2 Conventional method for producing a steel shell body

2.2 해석조건 및 방법

강철재 약협의 성형공정에서는 탄성변형이 소성변형에 비해 무시할 수 있을 정도로 작기 때문에 모의실험의

효율을 높이기 위하여 강소성 유한요소법을 사용하였다⁽¹²⁾. 소재는 등방성 경화의 성질을 지니고 있다고 가정하고 이러한 가정들이 해의 정확도에는 큰 영향을 미치지 않는다고 보았다⁽¹³⁾. 해석에 사용된 소재는 실제 사용되어지고 있는 소재(high grade killed steel of GRADE 11)와 탄소함유량을 기준으로 화학적 조성이 가장 비슷한 AISI 1010 강재로 가정하였으며⁽¹⁴⁾, 마찰조건은 마찰인자(friction factor)를 사용하였다. 드로잉 공정과 아이어닝 공정에서는 펀치의 마찰인자 값을 0.15로 금형의 마찰인자는 0.05로 가정하였다. 그 이외의 공정에서는 펀치와 금형의 마찰인자를 모두 0.05로 동일하게 적용하였다⁽¹²⁾. 이러한 이유는 일반적으로 펀치의 마찰을 크게 하고 금형의 마찰을 작게 하여 드로잉 공정의 효율을 높이기 위해서 이며 실제의 공정에서도 이와 유사한 상황에서 작업이 이루어 진다⁽¹⁵⁾. 해석에 사용된 AISI 1010 강재의 유동응력 ($\bar{\sigma}$)과 변형률 ($\bar{\epsilon}$)의 관계식은 Power law에 따라 다음 식 (1)과 같다⁽¹⁴⁾.

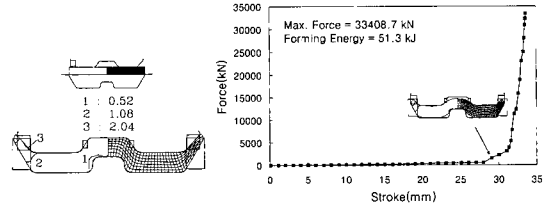
$$\bar{\sigma} = 715.20 \bar{\epsilon}^{0.22} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (1)$$

2.3 해석결과

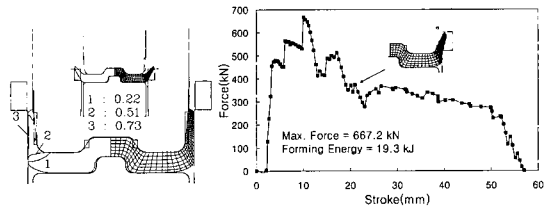
앞서 서술한 조건하에서 기존의 제작방법에 따른 강철제 약협의 성형공정에 대하여 각 공정별로 유한요소해석을 하였다. 모의실험에 의하여 얻어진 결과를 통하여 소재의 유동경향, 금형충만정도, 유효변형률 분포 및 각 공정별로 성형에 따른 하중과의 관계 등에 관한 자료를 얻었다. 이를 바탕으로 관련 자료를 통하여 공정설계 기준에 관한 다른 여러 가지 정보를 얻었다.

Fig. 3은 모의실험에 의한 각 공정에서의 재료의 형상 변화와 변형률분포, 그리고 행정-하중과의 관계 등을 보여주고 있다. 각각의 그림에서 왼쪽 상단은 공정의 초기 소재와 금형 및 공구의 모양이고, 하단은 공정이 끝났을 때의 소재의 변형된 형상과 유한요소 격자의 상태 및 유효변형률 분포를 나타낸다.

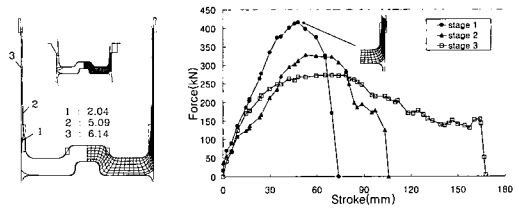
Fig. 3(a)에서 볼 수 있는 것처럼 첫 번째 굽힘 공정에서는 펀치를 중심으로 소재의 중심부와 바깥쪽의 굽힘 가공이 일어나는 부분에서 심한 변형이 일어나며, 최대 유효변형률은 바깥쪽 굽힘부위에서 2.04로 나타났다. 하중순도에서는 소재가 어느 정도 굽힘이 이루어진 후, 소재의 양끝부분에서 약간의 압출이 일어나면서 하중이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. 최대하중과 성형에너지는 각각 33408.7 kN, 51.3 kJ이며, 기존 다섯 단계의 공정 중 가장 높은 하중을 보이고 있다.



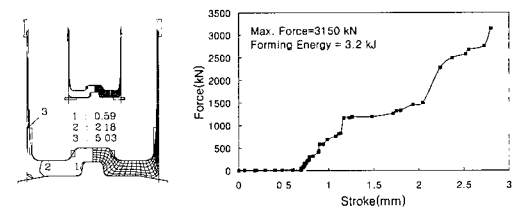
(a) bending



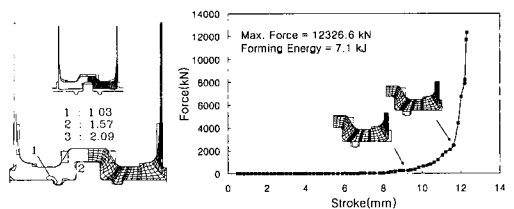
(b) drawing



(c) ironing



(d) heading



(e) sizing

Fig. 3 Deformation patterns and load-stroke relationships for the conventional process

두 번째 공정은 드로잉 공정으로 다음 단계의 아이어닝 공정이 원활히 이루어질 수 있도록 소재의 바깥쪽 부분을 수직으로 성형하는 공정이다. 첫 번째 공정후 연성을 부여하기 위하여 풀림처리를 하였기 때문에 새로운 격자를 구성하여 시뮬레이션을 수행하였다. Fig. 3(b)에서 볼 수 있는 것처럼 변형이 주로 펀치 코너 부분과 금형의 벽면을 따라 크게 나타나며, 최대 유효변형률은 0.73이다. 일반적으로 드로잉 공정에서는 펀치코너반경과 펀치노즈반경 등이 소재의 국부적인 두께 감소에 영향을 주는 것으로 알려져 있다⁽¹⁶⁾. 본 드로잉 공정 해석 결과 펀치 코너 부분에서 두께가 감소하였으며, 이러한 두께 감소 현상은 이후 공정 설계시 중요한 자료로 사용될 수 있다. 하중선도에서는 드로잉 되는 소재의 바깥쪽 부분이 수직에 가까워지면서 일정한 하중을 보이다가 공정 후반부에 이르러 급격히 감소함을 알 수 있다. 최대 하중과 성형에너지는 각각 667.2 kN, 19.3 kJ이며, 앞 단계의 굽힘 공정에 비해 상당히 작은 값을 나타내고 있다.

Fig. 3(c)에서 볼 수 있는 것처럼 기존 공정의 세 번째 공정인 아이어닝 공정은 펀치가 금형의 측벽을 따라 두께를 얇게 하면서 원하는 높이로 성형하는 가공법이다. 본 공정에 의해 측벽의 두께는 성형전 5mm에서 공정이 완료된 후 1.5mm로 얇아진다. 따라서 벽두께감소율이 약 70%로 전문가들이 제시한 40%를 초과하기 때문에 3 단계에 걸쳐 성형이 이루어져 있다⁽¹⁷⁾. 즉 실제 공정에서는 측벽의 두께가 각 단계별로 3.5mm, 2.45mm, 1.5mm로 감소하여 약 30%의 두께감소율 범위내에서 공정이 진행된다. 아이어닝 공정의 특성상 제품의 바닥부분은 일정한 두께로 유지되므로, 변형은 주로 금형벽면을 따라 발생되며, 최대 유효변형률은 각각의 단계에서 1.69, 3.50, 6.14로 급격히 증가하고 있다. 그러나, 드로잉 공정과 마찬가지로 최대 하중은 매우 작게 나타내는데 이것은 공정 전반에 걸쳐 소재 유동량이 상대적으로 적기 때문이다. 아이어닝 공정 중 최대 하중은 첫 번째 단계로 415.9 kN이다.

네 번째 공정은 헤딩 공정으로 다음 단계의 사이징 공정이 원활하게 이루어질 수 있도록 제품 하부의 바깥쪽 부분을 약간 돌출 되게 만드는 공정이다. Fig. 3(d)에서 볼 수 있는 것처럼 변형은 주로 제품의 하단부에서 일어나며, 최대 유효변형률은 5.03이고, 최대하중과 성형 에너지는 각각 3150 kN, 3.2 kJ이다.

Fig. 3(e)는 기존 제작공정의 마지막 공정인 사이징 작업으로 제품 하부의 성형이 이루어지면서 제품의 최종 형상이 완성된다. 본 공정에서도 보다 높은 치수정확도를 위해 네번째 헤딩공정후 풀림처리를 했다. 변형은 주

로 펀치의 모서리부분에서 발생되며, 최대 유효변형률은 2.09이다. 하중선도에서는 소재가 펀치와 금형의 빈 공간을 채우면서 하중이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있으며, 공정 중 최대하중과 성형에너지는 각각 12326 kN, 7.1 kJ이다.

3. 새로운 공정설계

3.1 설계기준 및 제안된 공정

앞서 언급했듯이 냉간단조에서의 공정설계는 최적의 생산공정이 될 수 있도록 최종제품의 형상과 치수에 알맞게 효율적인 공정순서와 공정수를 결정하는 작업이다⁽¹⁸⁾. 이때 기존의 공정을 개선시키기 위하여 새로운 공정을 설계할 때 다음의 사항을 고려해야 한다. 첫째, 기존의 공정에 비하여 제작공정이 간단하여야 한다. 둘째, 초기 빌렛은 시중에서 쉽게 구할 수 있는 재료여야 한다. 셋째, 재료에 결함이 없어야 한다. 넷째, 가공시간이 줄어들어야 한다. 이러한 설계조건 중에서 본 논문에서 중요하게 고려한 사항은 공정 수의 감소이며, 따라서, 기존의 5단계 공정으로부터 공정 수를 감소시키기 위한 새로운 공정을 설계하였다.

기존 공정에서 두 번째 공정인 드로잉 공정에 의해 펀치코너 부분의 소재 두께가 감소하였으며, 이후 제품 하부의 바깥쪽 부분을 채울 수 있는 헤딩 공정이 필요하였다. 따라서, 제품 하부의 두께를 일정하게 유지하면서 공정수를 줄일 수 있는 새로운 공정을 검토하였다. 이에 따라 기존의 헤딩 공정을 생략하고, 굽힘과 드로잉 공정을 후방압출로 대체하여 총 3단계로 이루어지는 새로운 공정을 제안한다. Fig. 4는 본 논문에서 새롭게 제안된 3 단계 공정에 대한 초기 소재의 형상과 각 공정에서의 예

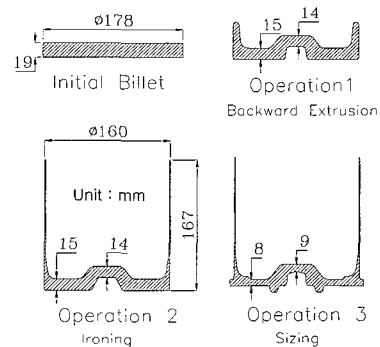


Fig. 4 Initial billet and process sequence for the proposed process

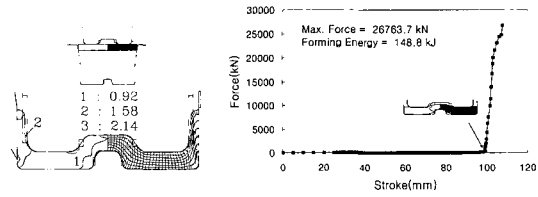
비성형체의 형상을 보여주고 있다. 그림에서 보는바와 같이 새롭게 제안된 공정은 후방압출(backward extrusion), 아이어닝, 사이징의 3단계 공정으로 이루어져 있다. 첫번째 후방압출 공정과 두 번째 아이어닝 공정후 소재의 유동이 크기 때문에 각각 풀림처리를 한다. 초기 블랭크는 전단 가공의 한계를 고려하여⁽¹⁹⁾ 직경 178mm, 두께 19mm의 AISI 1010 강재를 사용했으며, 블랭크의 크기는 압출된 제품의 부피로부터 계산하였다.

3.2 새로운 공정의 해석

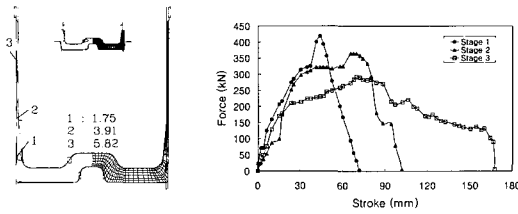
강철제 약협의 성형공정으로 새롭게 제안된 세단계의 공정을 기존공정과 같은 해석조건으로 강소성 유한요소법을 이용하여 모의실험 하였다. 해석된 결과를 통하여 기존공정과 비교할 수 있는 자료를 마련할 수 있었다.

Fig. 5는 새롭게 제안된 공정에 대해 각 단계별 모의 실험에 의한 재료의 형상변화, 변형을 분포, 행정-하중 등의 관계를 나타낸 것이다. Fig. 5(a)는 새로운 공정중 첫 번째 공정인 후방압출 공정을 나타낸다. 그림에서 볼 수 있는 것처럼 주로 제품의 립(rib) 부분에서 변형이 일어나며, 최대 유효변형률은 2.14이다. 제안된 공정에 대해 성형중 발생하는 재료의 결함 여부를 검토하기 위하여 두가지 압출조건을 고려하였다. 본 공정에서 압출비는 4.2로 일반적인 강의 한계 압출비 5.0 이내에 있었다⁽¹⁴⁾. 압출되는 립 두께는 10mm이며, 전문가들에 의해 제시된 초기빌렛의 단면적에 대한 강의 압출 가능한 최소 립 두께인 3.175mm보다 크다⁽¹⁴⁾. 따라서 두가지 성형조건 모두 성형한계 범위내에 있으므로 결함없는 성형이 가능하리라 본다. 행정-하중 선도에서는 소재가 금형의 아래 부분으로 유동할 때까지 하중의 변화가 없다가 압출이 일어나는 시점에서 급격한 하중의 증가를 보이고 있다. 공정 중 발생하는 최대하중과 성형 에너지는 각각 26763.7 kN, 148.8 kJ 이며, 제안된 3단계 공정중 가장 높은 하중값을 보이고 있다.

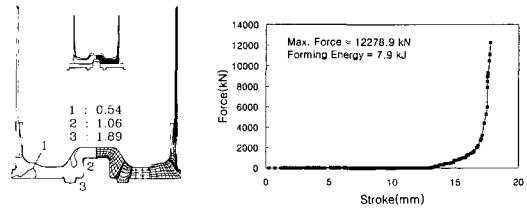
Fig. 5(b)는 제안된 공정의 두 번째 공정인 아이어닝 공정에 의한 최종형상과 각 단계에서의 행정-하중의 관계를 나타낸 것이다. 첫번째 후방압출공정후 가공경화에 의해 상실된 연성을 되찾기 위해서 풀림처리 하였기 때문에 새롭게 격자를 구성한 후 시뮬레이션을 수행하였다. 본 공정 역시 기존의 아이어닝 공정과 동일하게 3단계에 걸쳐 이루어진다. 최대 유효변형률은 각각의 단계에서 1.45, 3.20, 5.82로 기존 공정에 비해 약간 작은 값을 나타냈으나 전체적인 변형 형태는 유사하다. 아이어닝 공정 중 최대 하중은 첫 번째 단계에서 419.1 kN 이다.



(a) backward extrusion



(b) ironing



(c) sizing

Fig. 5 Deformation patterns and load-stroke relations for the proposed process

Fig. 5(c)는 제안된 공정의 마지막 단계인 사이징 공정에 대한 그림이다. 두번째 아이어닝 공정후 풀림처리를 하였으며 본 공정 역시 변형률 분포는 기존 공정의 최종 공정단계와 유사한 경향을 보이고 있다. 최대유효 변형률은 1.89로 기존 공정에 비해 약간 작게 나타났다. 최대 하중과 성형 에너지는 각각 12278.9 kN, 7.9 kJ 이다.

3.3 기존공정과 비교

강철제 약협의 제작을 위하여 기존의 성형공정이 5단계에 걸쳐 걸쳐 가공이 되는데 비하여, 새롭게 제안된 공정은 3단계 가공공정으로 제작할 수 있도록 하였다. 공정수가 줄어들어 따라서 금형수의 감소로 장비의 비용면에서 보다 유리할 것으로 생각된다. 공정시간 역시 기존 공정에 비하여 줄어들 것으로 보인다. 최대하중면에서는 제안된 공정이 기존 공정에 비해 약 20%가 감소하였다. 따라서

제안된 공정으로 기존에 사용되던 프레스보다 더 적은 용량의 프레스로도 성형이 가능할 것으로 판단된다. 전체 공정중 소요된 성형에너지는 제안된 공정이 기존 공정에 비해 약간 크게 나타났다. Table 1에서 기존 공정과 새롭게 제안된 공정의 해석 결과를 비교하였다.

Table 1 The comparison data between proposed process and conventional one

	Conventional Process	Proposed Process
No. operation	5	3
Max. load(kN)	33408.7	26763.7
Consumed Energy(kJ)	157.9	229.6
Annealing	after 1st and 4th	after 1st and 2nd
Process time	long	short
Machine cost	medium	low

4. 결 론

본 논문은 강철제 약협의 기존 성형공정과 새롭게 제안된 성형공정에 대해 강소성 유한요소법을 이용하여 모의실험을 수행하였으며, 해석된 결과는 다음과 같다.

(1) 기존 5단계로 이루어지는 강철제 약협의 성형공정을 해석하고, 성형 한계값을 고려하여 3단계로 이루어지는 새로운 성형공정을 설계하였다.

(2) 새로운 공정은 기존의 공정보다 공정 수가 줄어 제작시간이 단축되며, 금형비와 장비의 유지비 면에서 유리하다.

(3) 새로운 공정의 최대하중이 기존 공정보다 작아 편치와 금형의 수명면에서 유리하며, 생산성이 향상될 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 인하대학교의 R.A. 연구비 지원에 의하여 수행되었음을 밝힙니다.

참 고 문 헌

(1) K. Sevenler, P. S. Raghupathi, T. Altan, 1987,

"Forming-Sequence Design for Multistage Cold Forging", Elsevier Science Publishers B.V., pp. 121~135.

(2) G.D. Lahoti, T.L. Subramanian and T. Altan, 1978, "Development of Computerized Mathematical Model for the Hot/Cold Nosing of Shells," Technical Report ARSCD CR-78019 to U.S Army Research and Development Command, Sept.

(3) Y. Mihara and W. Johnson, 1977, "Crop loss; front and back end deformation during slab and bloom rolling," Metallurgy and Metal Forming, Vol. 44, p. 332.

(4) U. Stahlberg, J. Soderberg and A. Wallero, 1981, "Overlap at the back and front ends in slab ingot rolling," Int. J. Mech. Sci., Vol 23, pp. 243~252.

(5) H. Gloeckl and K. Lange, 1983, "Computer-aided design of blanks for deep drawing of irregular-shaped components," Proceedings of 11th NAMRC, p. 243.

(6) Biswas and W.A. Knight, 1974, "Computer-aided Design of Axisymmetric Hot Forging Dies," Proc. 15th Int. MTDR Conf., p. 135.

(7) Akerman and T. Altan, 1972, "Recent Developments in Computer-aided Design of Firing Process," SME Technical Paper, No. 72-110, April.

(8) K. Osakada, G. B. Yang, T. Nakamura and K. Mori, 1990, "Expert system for cold-forging process based on FEM Simulation", Annals of the CIRP, Vol. 39, No. 1, pp. 249~252.

(9) C. H. Lee, S. Kobayashi, 1973, "New solutions to rigid-plastic deformation problems using a matrix method," J. Eng. Ind. Trans. ASME 95, p. 865.

(10) S. I. Oh, G. D. Lahoti and T. Altan, 1981, "ALPID - A General Purpose FEM Program for Metal Forming", Proceedings of NAMRC IX, State College, Pennsylvania.

(11) 이홍주, 1993, "병기 공학", 청문각, pp. 1~22.

(12) B.B. Hwang, 1999, "A Process Sequence Design on the Forming Process of Disk-Brake Piston," Metals and Materials, Vol. 5, No. 1, pp. 85~92.

(13) 황상무, 전만수, 류성용, 문호근, 1994, "POSFORM-단조공정 해석 및 설계용 CAE시스템", 한국소성가공학회 추계학술대회 논문집, pp. 95~104.

(14) Air Force Materials Laboratory, 1973, "Forging

- Equipment, Materials, and Practices", Metals and Ceramics Information Center, p. 164, p. 371.
- (15) S. Kobayashi, S.I. Oh and T. Altan, "Metal forming and the finite element method", Oxford University Press, p. 32.
- (16) Hill, R., 1950, "The mathematical Theory of Plasticity", Oxford University Press, London.
- (17) 교본명, 유시형, 1976, "프레스 드로잉", 대광서림, p. 173.
- (18) K.Osakada, G. B. Yang, 1991, "Neural networks for process planning of cold forging", Annals of the CIRP, Vol. 40, pp. 243~246.
- (19) 박승언, 한윤희, 김세환, 2001, "프레스 가공 데이터 북", 기전연구소, pp. 19~22.