

〈논 문〉

Valve-Spring Retainer의 성형공정개선에 관한 연구

오현석* · 황병복* · 이호용**

(1996년 2월 5일 접수)

A Study on the Improvement of Forming Processes of Valve-Spring Retainer

Hyun-Seok Oh, Ho-Yong Lee and Beong-Bok Hwang

Abstract

The conventional five-stage forming processes of the valve-spring retainer are simulated using the rigid-plastic finite element method. As a design criterion, the improved process should satisfy the maximum forging load during processes within the loading limit of the available press and should not induce any geometrical defects. Hollow bars are recommended as initial billets to skip the heading and piercing processes. Through various simulations, it is found out that the one stage process results in less forging loads and better strain distributions.

Key Words : Design Criterion(설계기준), Maximum Forging Load(최대가공하중), Heading(헤딩), Piercing, Rigid-Plastic FEM(강소성 유한요소법), valve-spring retainer(밸브 스프링 리테이너)

1. 서 론

단조는 대변형이 가능하여 복잡하고 정밀한 형상의 가공에 많이 적용되고 있다. 또한 단조 후에는 단류선 방향으로 기계적 성질이 향상되므로 자동차 부품, 항공기 엔진 부품과 같이 높은 신뢰도가 요구되는 핵심 부품의 가공에 적합하다. 또한 단조와 같은 소성가공은 초기 투자비용이 크지만 다른 가공공정에 비하여 생산성이 높기 때문에 대량생산에 적합하다. 다만 초기의 공정설계 단계에서 시행착오를 줄여야 초기 투자비용을 절감하고 생산성을 높일 수 있으므로 공정설계에 관한 많은 연구들이 행해졌다⁽¹⁻³⁾. 단조공정에서의 공정설계는 필요한 공정순서의 결정, 금형 설계, 예비성형체 설계, 초기 소재선정, 공정조건 및 장비의 선택과 같이 많

은 분야를 포함하고 있다. 더욱이 복잡한 형상의 부품은 여러 가지 공정이 합쳐진 다단계 공정으로 이루어져 있어 공정설계에 많은 어려움이 따른다.

과거에는 단조공정의 이론적 해석을 위하여 초등해법(Slab법), 상계해법, 미끄럼선장법 등이 이용되었으나 근래에는 컴퓨터를 이용한 간단한 해석이 시도되었다. 최근에는 컴퓨터의 비약적인 발전에 힘입어 유한요소법(FEM)이나 상계요소법(UBET)에 의한 해석이 일반화되어 김현영⁽⁴⁾ 등은 열간형 단조공정의 해석에 강소성 유한요소법을 적용하였으며 김영호⁽⁵⁾ 등은 상계요소법을 이용하여 축대칭 단조공정에서 최적의 초기 소재 및 예비성형체를 설계하는 프로그램을 개발하였다.

한편 Lange와 Du⁽⁶⁾는 축대칭 부품들의 가공공정을 설계하는 방법을 소개하였는데, 이 방법은 완성된 부품의 형상에서 비교적 간단한 초기의 형상을 유추해 내는 것이다. 이것은 Knowledge-based 방식으로서 고전적 의미의 컴퓨터 원용설계라 할 수 있다. 또 다른 공정설계의 예로서 AI-Sened⁽⁷⁾ 등은

*인하대학교 공과대학 자동화공학과

**동국대학교 공과대학 기계공학과

헤드포밍공정을 유한요소법으로 해석하여 4개의 가공단계에 대한 최적의 형상과 치수를 구하였다. Kang⁽⁸⁾은 같은 공정을 유한요소법에 의한 후방추적기법을 이용하여 좌굴과 표면균열 등이 없는 2단계의 성형공정을 제안하였다. 그리고 3차원의 복잡한 형상을 가진 가공물에 대한 예비성형체의 설계에서는 유한요소법을 이용한 전방 및 후방추적기법이 많이 사용되었다^(9,10,11).

유한요소법은 다른 수치해법에 비하여 적용이 일반적이고 응력이나 변형률의 분포를 쉽게 구할 수 있으며, 공정에 영향을 미치는 여러 가지 인자들을 고려할 수 있는 장점을 가지고 있다. 다만 유효한 시뮬레이션 결과를 얻기 위해서는 소재의 물성과 마찰 등의 접촉 경계조건이 신뢰할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 강소성유한요소법을 이용하여 valve-spring retainer의 제작공정설계를 시도하였다.

자동차 부품중의 하나인 valve-spring retainer는 자동차엔진의 밸브에 반드시 들어가는 부품으로 수요가 매우 많으며, 밸브스프링을 밸브스템(valve stem)으로 부터 일정거리 유지하게 하며, 밸브스템의 가이드 역할을 한다. 또한 운전중 스프링의 위 부분을 보호하여 깨끗하게 유지해 주고, 스프링의 좌우요동을 줄여 주는 역할을 한다. 따라서 밸브스템이 들어가는 valve-spring retainer의 내면 가이드와 스프링이 놓여 있는 단의 제작시 가장 중요하게 고려해야 할 부분이다.

5단계로 생산되는 기존의 valve-spring retainer의 제작공정을 단계별로 해석하고, 이를 토대로 초기 소재의 형상을 바꾸어 새로운 공정에 대한 해석을 시도하여 주어진 프레스의 하중능력 범위 안에서 결함없이 제품을 가공할 수 있는 방법을 제안하였다.

2. Valve-Spring Retainer 제작 공정의 해석

2.1 해석조건

기존 공정에서는 지름이 19.05 mm, 길이 14.224 mm의 빌렛을 사용하였다. 또한 재료와 금형 사이의 윤활상태는 75%로 가정하고, 마찰계수를 0.2로 하였다.⁽¹²⁾ 새로 시도된 공정에서는 기존 공정과 같은 형상의 금형과 내측 하단에 곡률을 준 두 종류의 금형을 사용하여 밀폐형과 개방형으로 각각 시도하여 보았다. 모서리의 반경이 크면 실제 제작이 쉽고 사용 중에 피로(fatigue)로 인한 균열을 피할 수 있기 때문에 모서리의 반경을 크게하여 해석하였다.

2.2 기존 5단계 공정의 해석

자동차 부품중의 하나인 valve-spring retainer는 AISI 1008 강으로 만들어지고, 해석에 사용된 재료의 유동응력과 유효변형률의 관계식은 다음과 같다⁽¹³⁾.

$$\bar{\sigma} = 423.9\bar{\epsilon}^{0.24} [MPa]$$

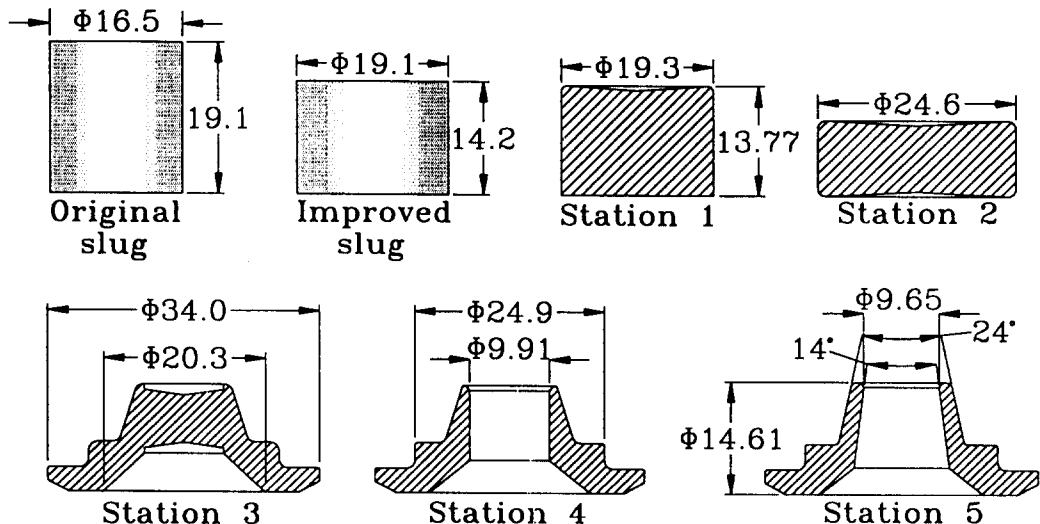


Fig. 1 Production of a valve-spring retainer in five operations.

Fig. 1은 초기 소재의 형상과 기존의 5단계 제작 공정을 보여준다. 초기 소재의 형상은 지름 14.224 mm, 길이 19.05 mm의 빌렛으로 되어 있으나 이 크기의 빌렛으로 표면균열 없이 생산하기 위해서는 비용이 많이 드는 냉간 헤딩작업이 필요하다. 빌렛의 크기를 19.05 mm, 길이 14.224 mm로 바꾸어 주면 헤딩비율을 줄일 수 있어, 결함이 없는 제품을 경제적으로 제작할 수 있다. 그러나, 여전히 공정수가 5단계로써 많은 편이고, 시간이 많이 소요되며, 피어싱으로 버려지는 재료의 양이 많다. 또한 3단계 공정에서는 모서리 부분을 채우는데 어려움이 있으며, 4단계 공정에서는 피어싱을 해야 하는데 이것은 많은 시간을 요할 뿐만 아니라 재료의 손실이 크다. 특히 내측 하단의 각진 부분에서는

운전중 피로(fatigue)로 인하여 균열이 일어나고 있다. 이와 같은 기존 5단계의 가공공정을 단계별로 해석한 결과는 다음과 같다.

초기 빌렛을 평면금형에 올려놓고, 약간 볼록하게 각진 금형으로 인덴테이션을 하는 작업으로 기존의 5단계 공정중 첫 번째 공정의 해석결과가 Fig. 2에 나와 있다. 유효변형률은 빌렛의 내부로 갈수록 커지고, 상금형의 각진 부분에서 최대변형률이 나타난다. 최대 편치하중은 0.36tonf이고, 행정거리는 1.07 mm이다. 전반적으로 편치하중은 행정거리에 비례하여 증가함을 알 수 있다.

Fig. 3에서는 첫 공정의 상금형과 정대칭한 하금형으로 가공하는 공정으로 두번째 공정의 해석결과를 보여주고 있다. 이러한 공정이 필요한 이유는

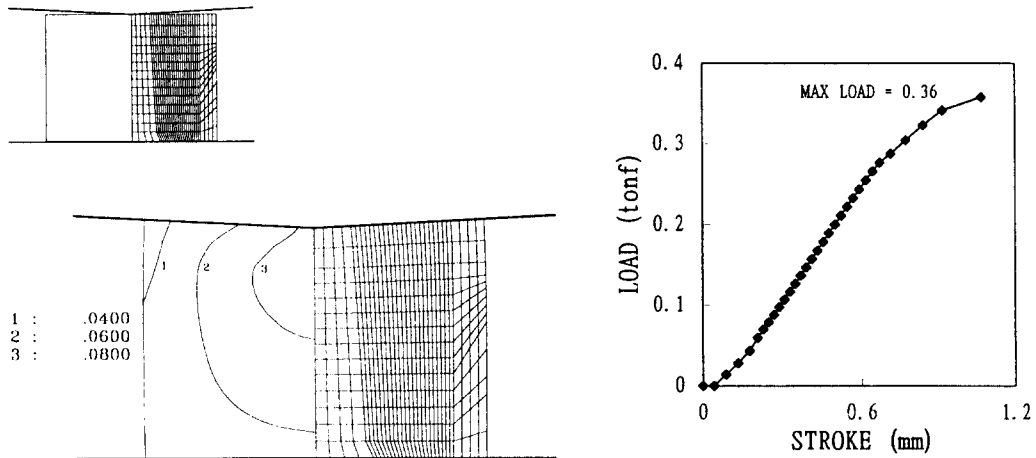


Fig. 2 Deformation patterns and load-stroke relationships for the first step operation.

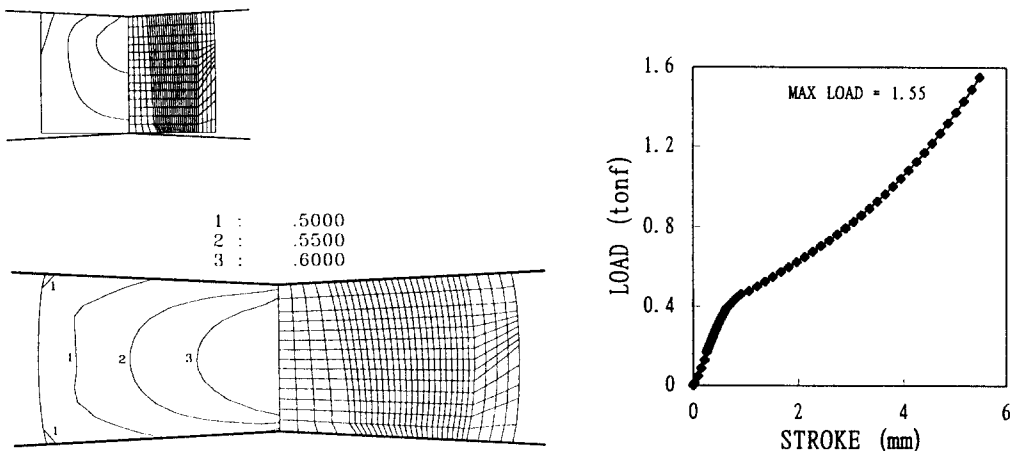


Fig. 3 Deformation patterns and load-stroke relationships for the second step operation.

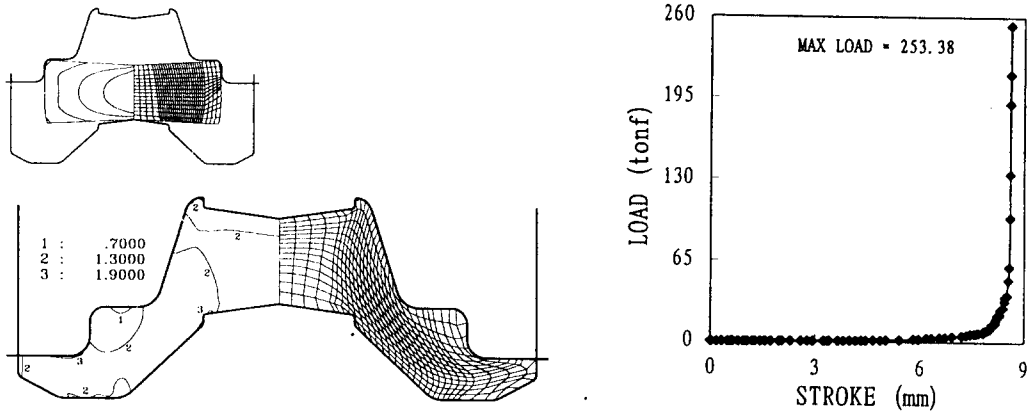


Fig. 4 Deformation patterns and load-stroke relationships for the third step operation.

다음 공정에서의 단조작업을 쉽게 하기 위해서이다. 유효변형률은 전단계의 해석결과에서와 마찬가지로 빌렛의 내부로 갈수록 커지고, 금형이 정대칭하므로 변형률 분포도 상하 대칭이다. 가공중 최대 펀치하중은 1.55tonf이고, 행정거리는 5.48 mm이다. 이 공정에서도 펀치하중과 행정거리는 비례관계임을 알 수 있다. 이 공정에서 가공시 주의할 것은 지름을 24.64 mm에 맞추어야 한다는 점이다. 그 이유는 지름을 정확한 치수에 맞추면 다음 단계에서 센터링 문제가 해결되나, 만약에 그 치수보다 크면 금형의 구조상 가공시 재료에 심한 굽힘 현상으로 균열이 일어날 수 있고, 작으면 센터링이 잘 되지 않는다.

Fig. 4는 세번째 공정의 해석결과를 나타낸다. 빌렛의 유동이 위쪽과 양옆으로 동시에 일어나며, 구석진 부분을 채우기가 어려운 공정이다. 뿐만 아니라 펀치하중은 전체 공정중 이 공정에서 최대가 된다. 최대 펀치하중은 253.38tonf이고 행정거리는 8.6 mm이다. 초기 행정에서의 펀치하중은 전반적으로 일정하게 증가하고 10tonf이하이다. 그러나 밀폐형 단조이기 때문에 끝 부분에서는 펀치하중이

아주 심하게 증가함을 알 수 있다. 변형은 전반적으로 고른 것으로 보이며, 모서리 부분에서 변형이 심한 것으로 나타났다. 가공 중에 소재의 중앙부분에서 벤딩에 의한 균열이 일어날 수 있다. 이 공정에서는 가장 끝단의 외경을 34.04 mm에 맞추고, 플랜지 안쪽의 내경을 20.32 mm로 맞추어야 한다.

Fig. 5는 피어싱을 하면서 가운데 단의 외경을 24.9 mm로 맞추고 모서리를 더 예리하게 만드는 작업을 하는 네번째 공정의 해석결과를 보여주고 있다. 피어싱을 통하여 세번째 공정에서 생긴 균열부를 제거할 수 있으나, 피어싱작업에 많은 시간이 필요하다. 변형이 가장 심한 곳은 외측 상단의 모서리 부분에서 일어났다.

Fig. 6은 피어싱한 부품의 내면에 7°의 경사각을 주고 valve-spring retainer의 전체 높이를 14.6 mm로 맞추는 마지막 공정의 해석결과를 보여주고 있다. 최대 펀치하중은 107.89tonf이고, 행정거리는 7.43 mm이다. 이 공정은 세번째 공정과 마찬가지로 밀폐형 단조이기 때문에 행정의 끝 부분에서만 하중이 심하게 증가한다. 변형은 전단계와 비슷하나, 외측 상단의 모서리 부분에서 주로 변형이 일어남을 알 수 있다.

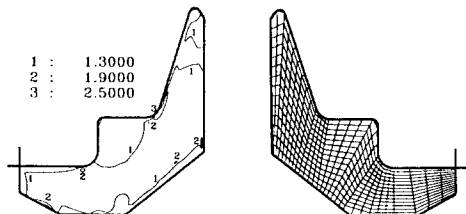


Fig. 5 Deformation patterns and load-stroke relationships for the fourth step operation.

2.3 기존공정에 대한 고찰

기존공정에서 첫번째 공정은 센터링을 하기 위한 공정이고, 두번째 공정은 세번째 공정에서 작업하기 쉽도록 단조비를 줄여 주는 공정으로 외경이 24.638 mm가 되도록 충분히 성형한다. 그러나 외경이 24.638 mm보다 크게 되면 굽힘이 심하게 일어나고, 작게 되면 센터링이 되지 않아 금형에 소

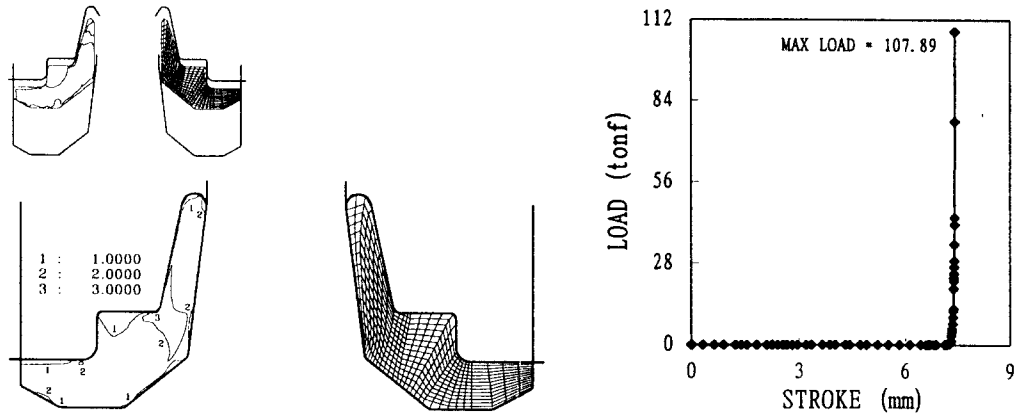


Fig. 6 Deformation patterns and load-stroke relationships for the final step operation.

재를 투입시 문제가 생긴다. 부품의 대체적인 형상은 세번째 공정에서 이루어지며, 따라서 공정중 대부분의 변형이 이 공정에서 일어난다. 세번째 공정에서 주의할 점은 굽힘에 의한 표면균열이 발생될 수 있다는 점이다. 네번째 공정에서는 전 공정에서 생긴 균열부를 피어싱을 통하여 제거하고, 마지막 공정에서는 피어싱한 면에 일정한 경사각을 주는 공정이다.

마지막 공정의 그림을 보면 첫번째 단과 두번째 단 사이 모서리 부분의 변형률분포가 비교적 크게 나타났음을 알 수 있다. Valve-Spring Retainer은 4100~4600rpm으로 200시간 사용후 또는 26,000, 000 사이클 후에 대부분 플랜지 부분이 깨지는 실험결과가 나와 있다⁽¹⁴⁾. 이 모서리 부분의 변형률

분포를 새로 시도되는 공정에서는 개선시켜야 한다.

새로 시도되는 공정에서는 기존 공정과는 달리 피어싱을 하여 버려지는 부분이 없어야 하며, 초기 빌렛의 크기를 잘 선정하여 단조비가 기존공정과 비교하여 같거나 작게 하여야 한다. 굽힘에 의한 균열도 일어나지 않아야 하고, 최대 펀치 하중도 기존공정에 비하여 작아야 한다.

3. 개선된 제작 공정

3.1 초기 소재의 선정

단조공정에서의 공정설계는 필요한 공정의 결정, 금형 설계, 초기 소재선정, 공정조건 및 장비의 선

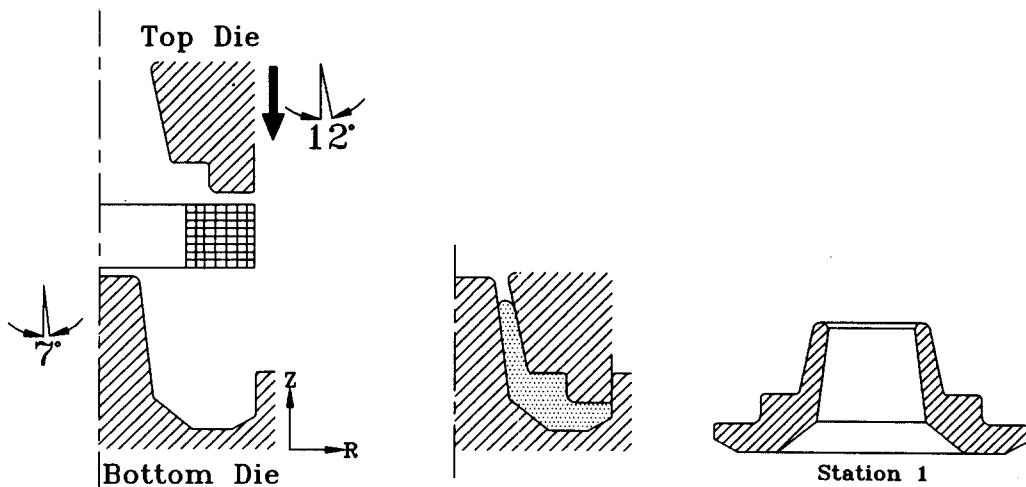


Fig. 7 A possible one-step forging process.

택과 같이 많은 분야를 포함하고 있다. 이들 중 가장 중요한 것 중 하나가 초기 소재의 선정이다. 기존의 5단계 제작공정은 피어싱을 포함하므로 이 공정을 생략하기 위하여 Fig. 7과 같이 빌렛에 단순히 구멍을 내거나, 상업용으로 생산되는 살두께가 두꺼운 파이프를 쓸 수 있다. 기존의 방법에 비하여 공정 중간단계에서 시간을 많이 절약할 수 있고 제품에 결함을 줄 수 있는 피어싱을 하지 않기 때문에, 품질향상뿐만 아니라 공정수도 줄여 생산시간의 단축효과를 볼 수 있다. 파이프를 사용하는 것에 의한 약간의 단가상승 문제는 있지만 금형의 수가 기존의 방법으로는 8개인데, 시도된 새로운 공정에서는 수가 줄어 금형의 비용이 적게 들고, 금형의 모형 또한 기존보다 훨씬 간단하여 제작하기 매우 쉽다. 또한, 기존의 방법에서는 피어싱으로 버려지는 재료의 양이 많으나, 파이프와 같은 형상의 재료를 사용하게 되면 재료절감의 효과도 있다. 단공정에 의한 공정에서 초기빌렛은 센터링 문제를 해결하기 위하여 파이프의 외경은 항상 하 금형의 외경과 거의 같으면서 약간의 공차를 두어 만들어야 하며, 특히 파이프의 절단 과정에서는 고정도로 수평을 유지시키는 것이 필요하다.

3.2 설계기준 및 고려사항

새로운 공정을 시도할 때 고려해야 할 사항을 열거하면 우선 기존공정에 비하여 공정수가 줄어야 하고, 초기 빌렛은 일반적으로 널리 사용되어 구하기 쉬운 재료여야 한다. 가공 중에 버려지는 재료의 양이 적어야 하며, 가공시간이 줄어들어야 한다. 그리고 금형의 수도 줄어야 하고, 금형의 형상도 단순하여 제작하기 쉬워야 한다. 또한 기존공정

에 비하여 하중, 변형량 등이 적어야 하고, 제품에 결함이 없어야 한다. 이러한 기준을 토대로 새로운 공정을 시도하여 보았다.

개선된 공정에서 사용되는 초기 빌렛으로는 파이프를 사용하는 것이 유용할 것으로 생각된다. 파이프를 사용할 때 지름 및 파이프 살두께에 비하여 높이가 너무 높으면 가공 중에 좌굴이 일어날 가능성이 있고, 높이 감소율이 크면 소재의 배럴링 부분에서 표면균열이 발생할 가능성이 있다. 초기 빌렛을 선정할 때 좌굴과 균열이 발생할 가능성이 있는 파이프는 제외시켜야 한다. Table 1은 시중에서 쉽게 구할 수 있는 파이프중 좌굴이 일어나지 않고 사용 가능한 파이프들을 보여주고 있다.

앞서도 설명되었지만 가공에서 주의할 것은 업셋팅시 소재(블랭크)의 높이 L이 너무 높으면 좌굴을 일으키는 경우가 있어 일반적으로 1회 업셋팅시 높이와 지름(L/D)의 비율이 2.5(평균)~2.8(최고)보다 작은 상태에서 가공 되어야 한다⁽¹⁵⁾. 이와 같은 붕에 대한 좌굴의 기준을 파이프에 적용하였다.

배럴링은 금형-소재간 접촉면에서의 마찰에 의하여 발생되고, 업셋팅시 나타나는 균열에 큰 영향을 준다. 균열이 45°방향으로 발생하느냐 수직으로 발생하느냐는 배럴링된 표면에서의 축방향 응력 σ_z 의 부호에 따라 결정된다. 이 응력이 압축응력이면, 균열은 45°방향으로 생기고, 인장응력이면 길이방향으로 생긴다. 재료의 노치에 대한 민감성이 높을수록 표면결함은 균열에 의한 파괴로 발전되어 결과에 영향을 준다. 전형적인 표면결함으로는 길이방향 자국, 일련의 이물질, 전 단계에서의 재료의 가공 시에 생긴 표면 검침 등을 들 수 있다⁽¹⁶⁾. 참고문헌⁽¹⁷⁾에 의하면 붕에 적용가능한 균열에 대한

Table 1 Commercially available pipes.

class and outer diameter	wall thickness	5.5	5.8	6.0	6.2	6.5	6.8	7.0	7.1	7.5	7.8	8.0	8.2	8.5	9.0
	Cold	25							○	○					
30					○	○	○	○	○						
32				○	○	○	○	○	○	○	○	○			
34		○		○	○	○	○	○	○	●	○	○	○		●
Hot	34	○	○	○	○										

(● : Pipes that are used in simulation)

자료들은 파이프에도 동일하게 적용될 수 있거나, 파이프가 균열에 대하여는 같은 조건에서 봉보다 더 안전하기 때문에 봉에 적용한 수치 등을 파이프에 적용하였다.

3.3 단공정의 해석

Fig. 8과 같이 초기 빌렛을 외경이 34 mm, 살두께가 7.5 mm, 높이가 6.1 mm인 파이프를 사용하여 그림과 같이 밀폐형 금형을 사용하여 단공정에

의한 시뮬레이션을 시도하여 보았다. 주요 변형은 모서리 부분에서 일어났고, 변형이 가장 심한 곳은 빌렛이 금형의 모서리 부분을 타고 올라가는 외측 상단의 중간부위에서 일어났다. 그리고 금형 내측 각진 부분에서 전단변형이 심하게 일어났다. 최대 펀치하중은 106.48tonf이고, 행정거리는 4.59 mm이다. 그림의 하중-행정 곡선을 보면 A점 전에는 빌렛의 내경 상단이 자유롭게 유동을 하였으나, A점을 지나서부터 상금형과 접하게 되어 하중이 급

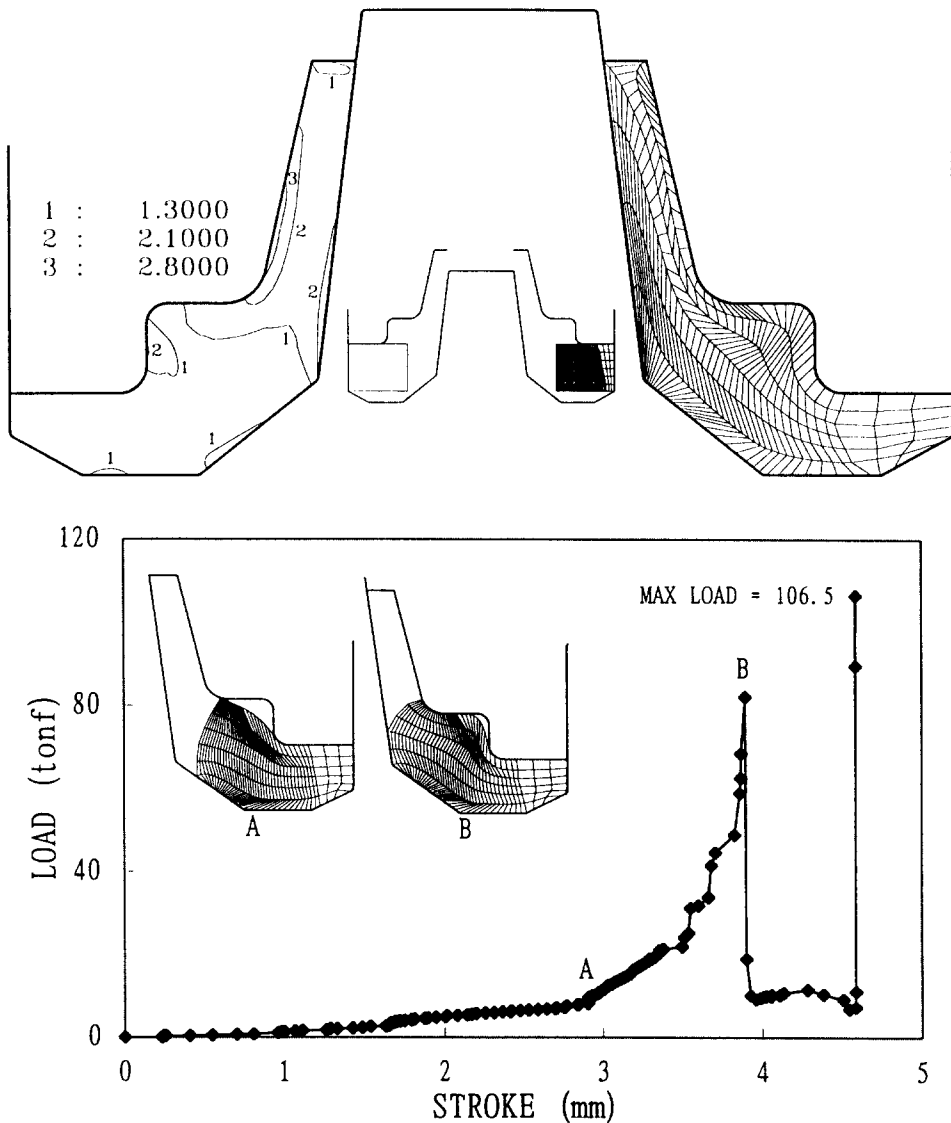


Fig. 8 Deformation patterns and load-stroke relationships for one-step forging process (slanting surface).

격히 증가한다. 그리고 B점에 도달했을 때는 빌렛의 외측이 금형과 거의 모두 접촉을 하여 밀폐형 단조처럼 하중이 증가하나, 상금형의 두 번째 단을 지나가면서 다시 유동이 원활해져 많은 폭으로 떨어졌다. 그리고 다시 행정의 끝 부분에서 하중이 큰 폭으로 증가하였다.

Fig. 9는 초기 빌렛으로 위와 같은 외경이 34 mm, 살두께가 7.5 mm, 높이가 6.48 mm인 파이프를 사용하였고, 금형 내측의 각진 부분을 곡선으로 바꿔 주어 시뮬레이션을 한 결과를 나타내고 있다.

주요 변형은 Fig. 8과 같이 모서리부분과 외측 상단의 중간부위에서 심하게 일어났으나, 금형의 내측에는 전단이 일어나지 않아서 변형이 적게 일어났다. 최대 편치하중은 108.89tonf이고, 행정거리는 4.85 mm이다. 하중-행정 곡선을 보면 A점 전에는 빌렛의 내경 상단이 자유롭게 유동을 하여 하중이 적은 폭으로 일정하게 증가하였으나, A점을 지나서부터 상금형과 접하게 되어 하중이 큰 폭

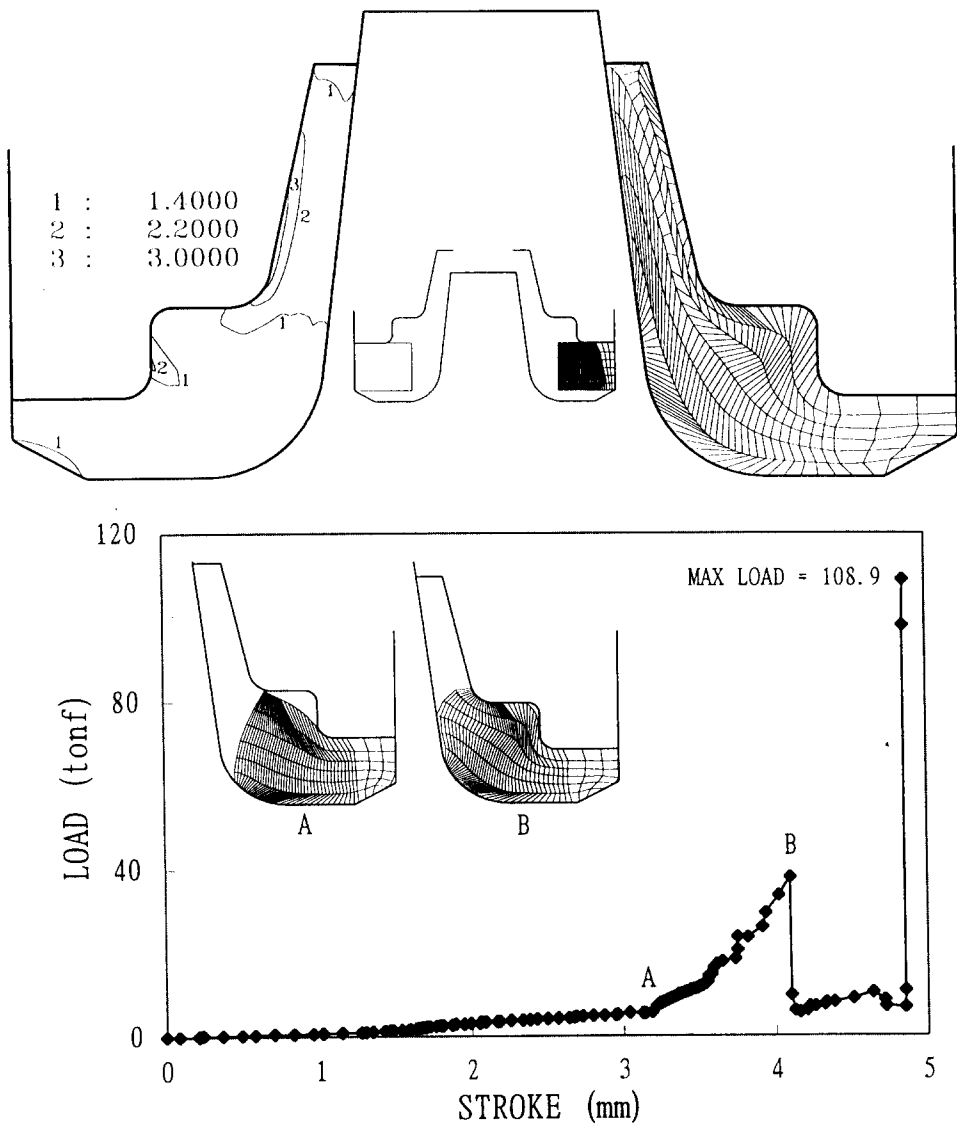


Fig. 9 Deformation patterns and load-stroke relationships for one-step forging process(curved surface).

으로 B점까지 증가하였다. 그러나 Fig. 8과 같이 각이 진 하금형을 사용하였을 때와 비교하면 하중이 반 이하로 줄어들었다. 그리고 행정의 끝 부분에서 하중이 큰 폭으로 다시 증가하였다.

Fig. 10은 초기 빌렛으로 외경이 34 mm, 살두께가 9 mm, 높이가 5.4 mm인 파이프를 사용하여 개방형 금형에서 시뮬레이션을 한 결과이다. 그림과 같이 시뮬레이션 초기에 빌렛하단 중앙부에 굽힘이 일어나 균열이 생길 가능성이 높다는 것을 알 수

있다. 변형률분포는 첫번째 단 모서리에서 크게 일어났음을 볼 수 있다. 펀치하중은 개방형 금형을 사용했기 때문에 행정의 끝 부분에서 급격히 증가하지는 않았으나, 실제 최대 펀치하중이라고 생각할 수 있는 하중이 98tonf으로 밀폐형 금형을 사용하여 시뮬레이션 했을 때 보다 동일한 행정에서 크게 나왔다. 이는 전에 비하여 초기 빌렛의 높이가 작고, 살두께가 커서 하중이 크게 나온 것으로 해석된다.

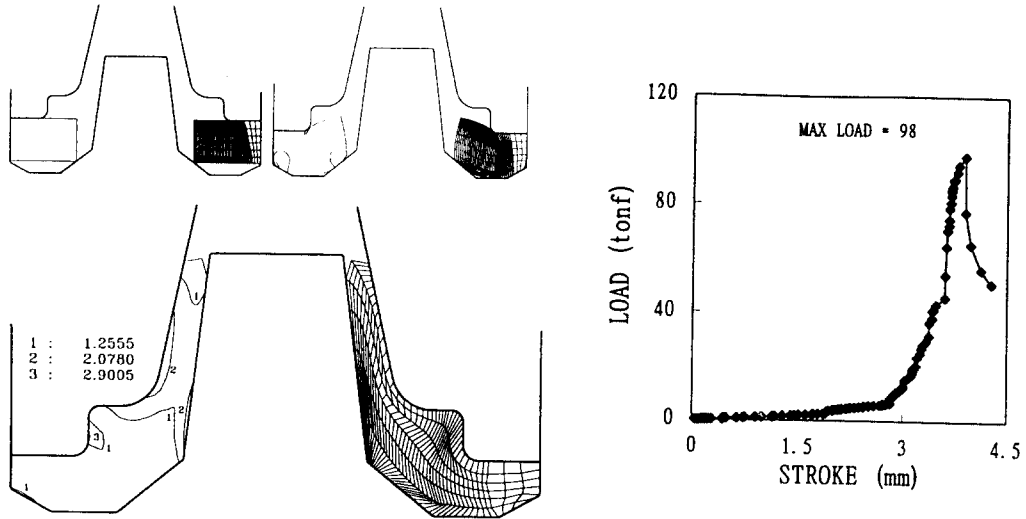


Fig. 10 Deformation patterns and load-stroke relationships for one-step forging process (slanting surface, open die).

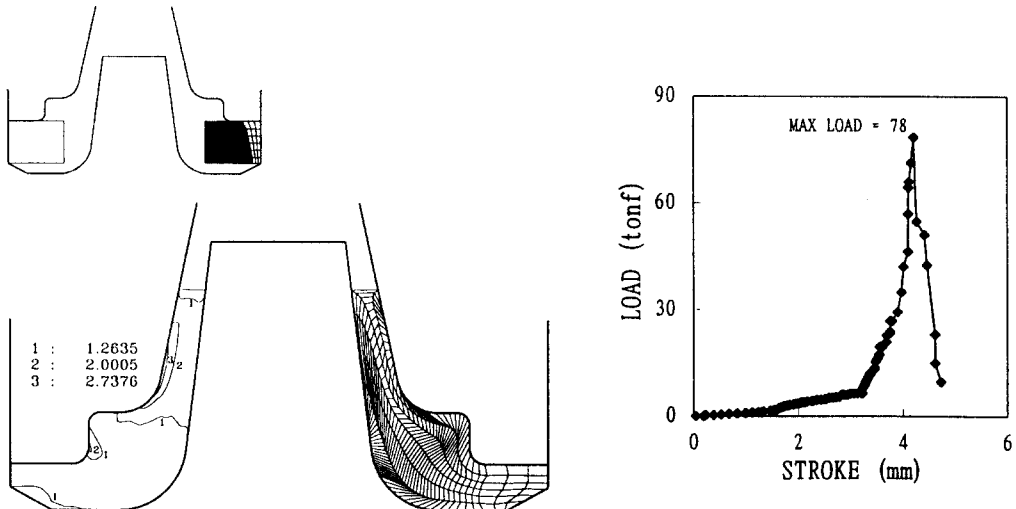


Fig. 11 Deformation patterns and load-stroke relationships for one-step forging process (curved surface, open die).

Table 2 The comparison between possible one-step processes and conventional one

process comparison	conventional process	one-step forging process			
		closed die		open die	
		S,D34,T7.5	C,D34,T7.5	S,D34,T9	S,D34,T7.5
max. punch load (tonf)	253.38	106.48	108.89	98	78
effective strain	3.0000	2.8000	3.0000	2.9005	2.7376
number of operation	5	1	1	1	1
number of die	8	2	2	2	2
die shape	complicated	simple	simple	simple	simple
material waste	much	none	none	none	none
process time	long	short	short	short	short
possibility of crack by bending	much	less	less	much	less
possibility of fracture by fatigue	much	much	less	much	less

▶ Shape of Die [S : slanting surface, C : curved surface]

▶ Pipe [D : outer diameter(mm), T : wall thickness(mm)]

Fig. 11은 초기 빌렛으로 외경이 34 mm, 살두께가 7.5 mm, 높이가 6.48 mm인 파이프를 사용하여 금형 하단의 내측에 곡률을 준 개방형 금형을 사용하여 시뮬레이션을 하였다. 이와 같은 소재를 사용할 경우 빌렛 하단 중앙부에 벤딩이 크게 일어나지 않음을 알 수 있다. 변형률 분포는 앞 공정과 비교하여 거의 비슷함을 볼 수 있다. 최대 편치 하중도 78tonf로 제일 작게 나타났다. Table 2에서 기존 공정과 단공정의 해석결과를 비교하였다.

4. 결론 및 향후과제

강소성 유한요소법을 이용하여 valve-spring retainer의 기존의 생산공정에 대하여 유효변형률과 변형형태, 행정과 하중과의 관계를 해석하였다. 개선된 공정을 제안하기 위하여 초기 소재의 형상을 바꾸었으며 이에 대한 해석결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 기존의 5단계 생산공정은 최대 편치하중이 253.4 (tonf)이며 네번째 피어싱공정에서 많은 시간이 소요되며 결함이 발생할 확률도 크다.

(2) 기존의 생산공정은 여러 단계를 거치므로 전 단계의 치수정밀도가 좋아야 후단계의 공정이 결함

없이 이루어질 수 있다.

(3) 피어싱을 없애기 위하여 초기 소재의 형상을 파이프형으로 바꾸고 밀폐단조를 한 결과 최대 편치하중이 106.5 (tonf)으로 기존 공정에 비하여 많이 줄었다. 개방형 금형을 사용했을 때는 78 (tonf)로 줄었다.

(4) 금형 내측의 각진 부분을 곡선으로 바꾸면 코너부를 채우는 하중이 많이 감소하나 행정 끝 부분에서의 최대 하중은 비슷하였다.

(5) 첫번째 단 모서리 부분의 변형률도 기존공정에 비하면 전반적으로 줄어 들었다.

이상과 같은 결과들은 향후 플라스틱과 같은 모델 재료를 사용한 실험에 의하여 검증할 예정이며, 실제로 valve-spring retainer가 사용 중에 부과되는 하중을 해석하여 보다 낮은 제작공정을 설계할 예정이다.

참고문헌

- (1) S. K. Biswas and W. A. Knight, "Computer-Aided Design of Axisymmetric Hot Forging Dies," Proc. 15th Int. MTDR Conf., p. 135, 1974.
- (2) N. Akgerman and T. Altan, "Recent Develop-

- ments in Computer-Aided Design of Forging Processes," SME Technical Paper, No. 72-110, April, 1972.
- (3) G. B. Yu and T. A. Dean, "A practical computer-aided approach to mould design for axisymmetric forging die cavities," Int. J. Mach. Tool Des. Res., Vol. 25, p. 1, 1985.
- (4) 김현영, 김재중, 김낙수, "단조하중감소를 위한 열간 형단조 해석, " 대한기계학회 논문집, 제17권, 제12호, pp. 2970~2981, 1993.
- (5) 김영호, 배원병, 이종현, 김진훈, 김현영, "UBET를 이용한 축대칭 단조공정에서의 최적 설계에 관한 연구", 대한기계학회 논문집 제18권, 제5호, pp1117~1125, 1994
- (6) K. Lange and G. Du, "A formal approach to designing forming sequences for cold forging," Proceedings of NAMRC, p. 17, 1989.
- (7) A. A. K. Al-Sened, P. Hartley, C. E. N. Sturges and G. W. Rowe, "Finite element analysis of a five stage cold heading process," J. Mech. Working Tech., Vol. 14, p. 225, 1987.
- (8) B. S. Kang, "Process sequence design in a heading process," J. Materials Processing Technology, Vol. 27, p. 213, 1991.
- (9) B. S. Kang, N. S. Kim and S. Kobayashi, "Computer-aided preform design in forging of an airfoil section blade," Int. J. Mach. Tools and Manufacture, Vol. 30 No. 1, p. 43, 1990.
- (10) N. S. Kim and S. Kobayashi, "Preform design in H-shaped cross sectional axisymmetric forging by the finite element method," Int. J. Mach. Tools and Manufacture, Vol. 30, p. 243, 1990
- (11) B. S. Kang and S. Kobayashi, "Preform design in ring rolling by the three dimensional finite element method," Int. J. Mach. Tools and Manufacture, Vol. 31, p. 139, 1991.
- (12) 이동녕, "소성가공학, " 문운당, p. 128, 1994.
- (13) Air Force Material Laboratory, "Forming Equipment, Materials, and Practices," Metals and Ceramics Information Center, p. 164, 1973.
- (14) Metals Handbook, Failure Analysis and Prevention, American Society for Metals, 8th ed., Vol. 10, p. 3, 1975.
- (15) 조웅식, "프레스 금형설계기술, " 기전연구사, p. 349, 1994.
- (16) 김낙수, 임용택, 진종태 공역, "공업재료 가공학, " 반도출판사, 2판, p. 292, 1994.
- (17) S. Kobayashi, A. H. Shabaik, C. H. Lee, "Analytical Prediction of Defects Occurrence in Simple and Complex Forgings," TECHNICAL REPORT AFML-TR-69-148, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio 45433, JULY, 1969