

PAS부품의 공정개선에 관한 연구

윤대영* · 유태곤* · 황병복*

(2000년 1월 10일 접수)

A Study on the Improvement of Forming Process of Power Assisted Steering Part

D. Y. Yoon, T. K. Ryou and B. B. Hwang

Abstract

The conventional and new forging processes of the power steering worm blank are analyzed by the rigid-plastic finite element method. The conventional process contains three stages such as indentation, extrusion and upsetting, which was designed by a forming equipment expert. Process conditions such as reduction in area, semi-die angle and upsetting ratio are considered to prevent internal or geometrical defects. The results of simulation of the conventional forging process are summarized in terms of deformation patterns, load-stroke relationships and die pressures for each forming operation. Based on the simulation results of the current three-stage, the power steering worm blank forging process for improving the conventional process sequence is designed. Die pressures and forming loads of proposed process are within limit value which is proposed by experts and the proposed process is found to be proper for manufacturing the power steering worm blank.

Key Words : Power Steering Worm Blank, Indentation, Extrusion, Upsetting, Die Pressure

1. 서론

고도의 성형성과 고강도가 요구되는 제품을 저렴한 비용으로 대량생산하여 경제적 우수성을 가지는 냉간단조(cold forging)는 재료의 기계적 성질을 향상시킬 수 있고, 치수의 정밀도를 높일 수 있으며, 후가공을 절감할 수 있고, 표면상태를 향상시킬 수 있는 장점이 있기 때

문에 자동차부품을 비롯하여 선박, 항공기 및 각종 기계 부품의 생산에 이용되고 있다.⁽¹⁾ 냉간단조의 대표적인 성형공정으로 압출, 업셋팅 또는 헤딩(heading), 코이닝(coining), 아이어닝(ironing)과 스웨이징(swaging) 등을 들 수 있다.⁽²⁾ 압출공정은 소재의 유동방향이 펀치의 방향과 같은 전방압출(foward extrusion), 소재의 유동방향이 펀치의 방향과 반대인 후방압출(backward-extrusion)

* 인하대학교 자동차공학과

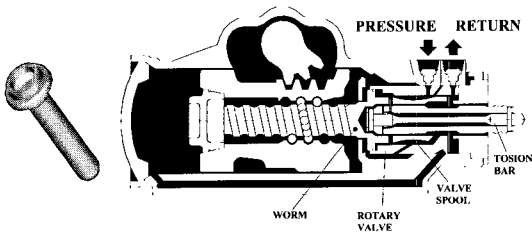


Fig. 1 A power steering worm blank(left) and an example of PAS system(right)⁽⁵⁾

소재의 유동이 펀치의 방향과 수직인 레이디얼압출(radial extrusion)로 크게 분류할 수 있다.^(2,3) 엽셋팅은 일반적으로 와이어(wire)나 로드블랭크(rod blank)의 일부분을 최초의 단면보다 크게 만들기 위한 공정으로 볼트나 리벳을 생산하는데 주로 사용된다.⁽⁴⁾

Fig.1은 본 논문의 연구대상인 파워스티어링 블랭크(power steering worm blank)와 조향보조시스템⁽⁵⁾의 예로써 우측 그림의 중앙부에 보이는 부품이 파워스티어링 휠이다. 조향휠의 회전시 회전저항이 증가하면 토션바(torsion bar)의 회전으로 제어밸브(control valve)의 상대적인 각도가 변화하고 유압펌프로부터 유체가 유입되어 조향휠의 조향운동을 돕게 된다. 주로 트럭이나 버스와 같은 대형차에 많이 이용되며 최근 소형차에서도 응용되어 그 용도를 넓혀가고 있다.⁽⁵⁾

단조부품의 성형은 한번의 공정으로 최종제품을 생산할 수 없는 경우가 많으며 공정 중 크랙이나 내부결함이 없는 성형 공정을 설계하기란 쉽지 않다. 따라서 이러한 결함을 막고 시행착오를 줄이기 위해 이론적인 해석을

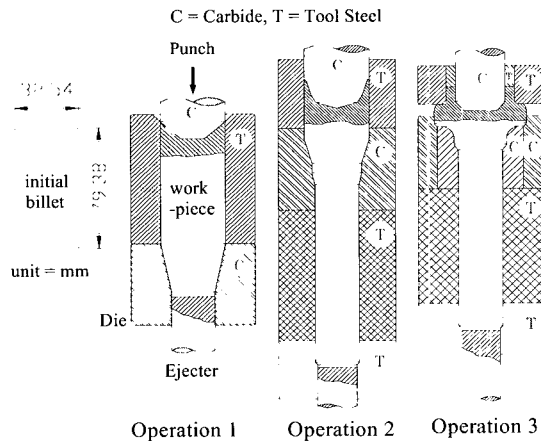


Fig. 2 Conventional method for producing a power steering worm blank

통해 보다 개선된 공정을 설계하는 것이 필요하다. 일반적으로 성형 공정은 풍부한 경험과 비용이 많이 드는 시행착오에 의해 결정되고, 이러한 전통적인 공정설계 방법은 컴퓨터를 이용한 모의실험에 의한 설계 방식으로 전환되어 가는 것이 세계적인 추세이다.^(6~8)

따라서, 본 논문에서는 기존의 파워스티어링휠블랭크 성형공정을 유한요소법을 이용한 모의실험을 통하여 각 공정단계에서의 내부 변형의 정도 및 금속유동에 의한 형상변화, 부분 충만도, 제품 내부 및 자유경계면에서의 결함 발생 여부, 성형하중, 그리고 다이 및 펀치에 가해지는 압력분포 등을 계산하여 이를 토대로 기존 프레스의 하중능력 범위 안에서 결함 없이 제품을 가공할 수 있는 새로운 공정을 제시하고자 한다.

2. 기존의 제작방법

Fig. 2는 프레스 장비전문가에 의해 제시된 3단계 파워스티어링 휠 블랭크의 제작공정으로, 각 공정에서의 성형체의 형상을 보여준다. 파워스티어링 휠 블랭크의 성형 공정은 압입(indentation), 압출(extrusion), 헤딩(heading)의 세 공정으로 이루어져 있다.⁽⁴⁾

첫 번째 공정은 압입 공정으로, 제품의 동심도(concentricity)를 향상시키고 두 번째 공정에서 펀치가 큰 힘을 받게 되는데 이때 펀치에 가해지는 압력을 경감시켜 공구수명을 연장시키기 위하여 필요하다. 하단부를 경사지게 한 이유는 두 번째 공정에서 전방압출이 잘 이루어지도록 한 것이다. 두 번째 공정은 압출 공정으로 주로 제품하부에 대한 성형이 이루어진다. 주요 변형형태는 전방압출이며 일부분 후방압출이 일어나는 복합된 형태이다. 세 번째 공정은 주로 제품 상부의 성형이 이루어지는 헤딩 작업으로 제품의 최종 형상이 완성된다. 최종제품의 허용공차 이내의 정밀한 성형품을 만들기 위하여 하부금형에 곡면으로 처리된 부분이 있는데, 이는 부품의 윗부분 성형시 금형의 플랜지 부분을 잘 채울 수 있도록 하기 위함이다. Fig. 3은 단조가공이 완료된 후 기계가공 된 부품의 형상을 보여준다.

3. 기존공정의 해석

3.1 해석조건 및 방법

파워스티어링 휠 블랭크는 초기빌렛이 어니얼링된 직경 32.54mm, 높이 79.38mm인 AISI 5120 강재를 사용하며, 800tonf 호칭능력의 2-point 크랭크프레스가 이용되

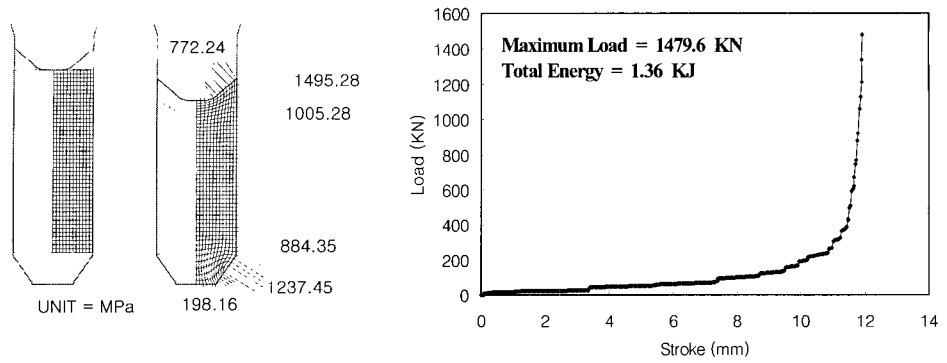


Fig. 5 Deformation patterns, die pressure distributions and load-stroke relationship for the first step operation

논문에서는 일반적으로 많이 사용되고 있는 SKD11을 금형재료로 가정하였고, 금형의 보호를 위해 전문가에 의해 제시된 최대압력은 4000MPa 미만이어야 하며,⁽¹³⁾ 본 논문에서 해석된 결과는 모두 그 범위 안에 있다.

Fig 6에서 볼 수 있는 것처럼 두 번째 공정의 주요 변형형태는 전방압출이며 소재의 윗부분에서 후방압출이 일부분 일어나는 복합압출이다. 재료의 변형은 주로 펀치의 경사진 부분과 금형의 측면을 중심으로 일어나며, 최대 유효 변형률은 3.60이다. 펀치에 작용하는 압력은 펀치의 경사진 부분에서 압력이 급격히 증가하여 최대 1956.76MPa에 이르며, 금형에서는 펀치와 금형이 접촉하는 금형 상부에서 최대 3161.28MPa이 작용한다. 금형 하부에는 다른 부분보다 압력이 상당히 작게 작용하여 414.54 MPa을 나타낸다.

과워스티어링휠 블랭크 제작의 마지막 공정은 헤딩공정으로 제품의 윗부분이 주로 성형된다. Fig. 7의 왼쪽

은 해석의 결과로 얻어진 격자의 모양과 다이압의 분포를 나타내고 있다. 펀치가 하강하여 제품의 최종형상을 만드는 공정으로서 펀치의 각진 부분에서 최대 유효변형률은 3.74이다. 다이압 분포를 살펴보면 앞 공정에 비하여 대체적으로 작은 압력이 금형 및 펀치에 작용한다. 펀치의 가운데 부분에서 최대 534.19MPa의 압력이 작용하며, 금형에서는 제품의 귀 부분이 시작되는 금형 상부에서 최대 500.39MPa의 압력이 작용한다.

Fig. 5~Fig. 7에 기존의 각 공정에 대한 행정-하중 선도가 나타나 있다. 첫 번째 공정에서의 최대하중과 소요에너지는 1479.6kN, 1.36kJ, 두 번째 공정에서는 2510kN, 10.57kJ 그리고 세 번째 공정에서의 최대하중과 소요에너지는 862.86kN, 3.49kJ을 나타내고 있다. Fig. 5와 Fig. 6의 행정-하중 선도에서 볼 수 있는 것처럼, 공정의 마지막 부분에서 하중이 급격히 증가하는 이유는 첫 번째와 두 번째 공정이 밀폐단조이기 때문이며, 시물

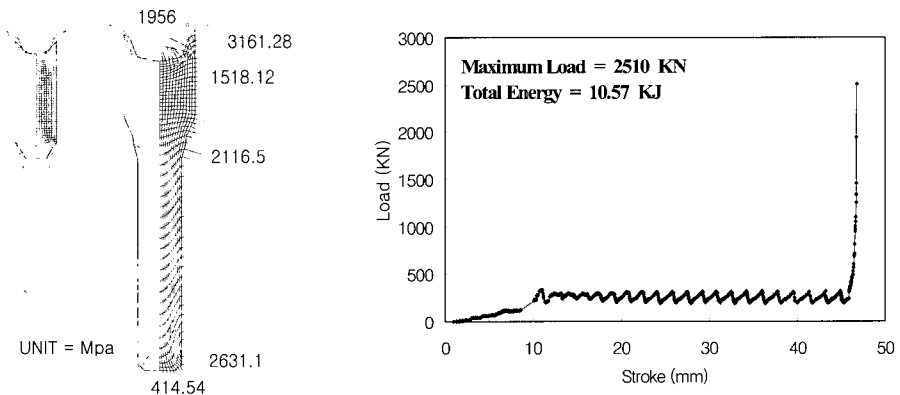


Fig. 6 Deformation patterns, die pressure distributions and load-stroke relationship for the second step operation

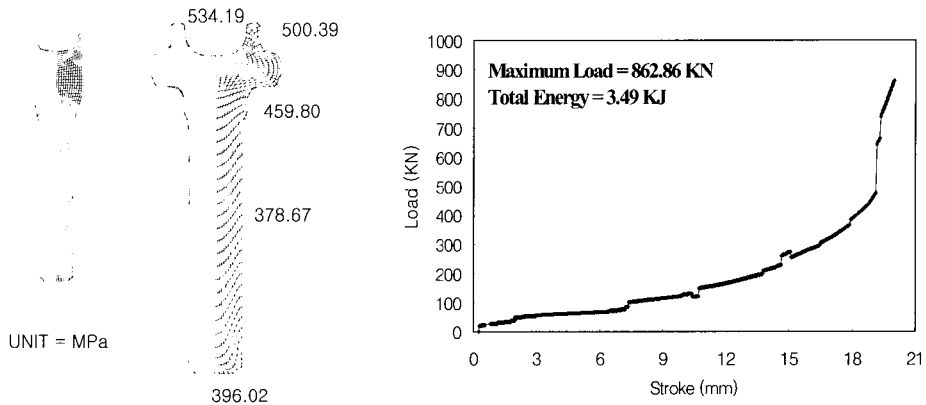


Fig. 7 Deformation patterns, die pressure distributions and load-stroke relationship for the third step operation

레이션 상에서 첫 번째와 두 번째 공정의 최대하중은 모든 경계점들이 편치와 다이에 닿는 순간에 얻어진다.

4. 새로운 공정설계

4.1 설계기준

기존의 공정을 개선시키기 위하여 새로운 공정을 시도할 때 기존의 공정에 비하여 제작공정이 간단하여야 하고 금형의 설계, 초기소재의 선정, 공정조건 및 장비의 선택, 가공시간과 같이 많은 분야를 고려해야 한다.

본 논문에서는 공정 수를 줄이는데 주안점을 두어 크게 두 가지의 새로운 공정방법을 제안하였다. 적절한 초기소재를 사용하여 단공정으로 작업이 이루어지는 방법 1과 기존의 두 번째 공정에서 두 번에 걸쳐 일어나는 전방압출을 한번으로 줄이고 기존의 첫 번째 공정과 혼합하여 총 두 번의 공정으로 이루어지는 방법 2를 채택하여 공정 수를 줄일 수 있었다. 공정을 줄임으로써 생산시간의 단축과 금형의 수가 기존의 방법보다 줄어들게 되어 금형의 비용이 적게 들것으로 본다.

4.2 초기 소재의 선정 및 해석조건

새로운 공정 1에서는 제품의 2단 중 아랫단에 맞는 소재와 최종제품의 하단부와 크기가 같은 소재를 선정하여 단공정으로 모의실험을 수행하였으며, 새로운 공정 2에서는 제품의 2단중 아랫단에 맞는 소재를 선정하여 모의실험을 수행하였다. 각각의 성형조건은 Table 2와 Table 3에 정리하여 나타내었다.

Table 3에서 볼 수 있는 것처럼 새로운 공정2의 첫 번째 공정에서 내부결합의 발생을 방지하기 위해 주어진 단면감소율(32.2%)에 대해 안전한 범위 내의 압출각을

선택(20°)하여 해석을 수행하였으며⁽⁴⁾(그림4 참조), 새로운 공정2의 세 번째 공정인 업셋팅에 대한 좌굴 판단 기준으로서 소재의 지름 대 업셋팅 길이의 비는 1.33으로 전문가에 의해 제시된 2.0을 초과하지 않으므로⁽⁴⁾ 해석에 사용되었다.

Table 2 Forming conditions for the proposed process 1

	Case 1	Case 2	
Initial Billet	d : 24.68mm h : 115.57mm	d : 22.10mm h : 175.26mm	
Operation	Forward and Radial Extrusion	Radial Extrusion	
Forming Condition	R=19%	1st pass	s/d = 0.94 h _{st} = 42.6mm
		2nd pass	s/d = 0.30 h _{st} = 14.9mm

d = Billet Diameter, h = Billet Height, s = Gap Height
R = Reduction in Area, h_{st} = Punch Stroke

Table 3 Forming conditions for the proposed process 2

	Operation	Forming Condition
1st pass	Forward Extrusion	R = 32.3%, θ = 20°
2nd pass	Heading	s = 1.33

R = Reduction in Area, θ = Semi-Die Angle
s = Upsetting Ratio

5. 새로운 공정의 해석

5.1 새로운 공정 1

제안된 공정1에서는 두 가지의 초기 소재를 가지고 단공정으로 시물레이션을 수행하였다.

첫 번째 방법(case 1)에서는 직경 24.68mm, 높이가 115.57mm인 초기빌렛을 이용하여 개방형 금형을 사용하여 성형된다. 이번 공정은 Fig. 8에서 볼 수 있듯이 전방 압출과 레이디얼 압출이 동시에 일어나는 변형형태를 보이고 있다. 성형조건은 단면감소율이 19%로써 전문가에 의해 제시된 성형한계 내에 존재하고 있다.⁽¹⁾ 그러나 시물레이션 상에서 공정 초기에는 약간의 레이디얼 압출이 발생하면서 순조롭게 전방압출이 이루어지나 펀치가 일정거리에 도달하면서부터 더 이상 전방압출은 일어나지 않고 레이디얼 압출만이 발생한다.

두 번째 방법(case 2)에서는 최종제품의 하단 치수와 같은 직경이 22.10mm, 높이가 175.26mm인 초기빌렛을 이용하여 Fig. 9에서 볼 수 있듯이 개방형 금형을 사용하여 성형된다. Fig. 9는 초기빌렛의 격자구성과 공정이 끝난 후 소재의 변형, 다이압 분포 그리고 행정-하중 선도를 나타내고 있다. 본 공정은 재료의 유동이 펀치 운동방향과 수직인 2단계로 구성된 레이디얼 압출이며, 상부 펀치만이 하부로 이동하므로 재료의 유동이 하부로 치우치는 비대칭성을 보인다. 이러한 비대칭성에 영향을 주는 것은 다이코너반경이며, 다이코너반경이 클수록 비대칭성은 감소한다.⁽³⁾

펀치의 직경 대 길이 비는 2.62로써 전문가에 의해 제시된 3을 초과하지 않아 좌굴의 영향이 없다.⁽⁴⁾ 펀치의 각진 부분에서 변형이 심하게 이루어지며, 최대 유효변형률은 5.10이다. 다이압 분포를 살펴보면 기존의 성형

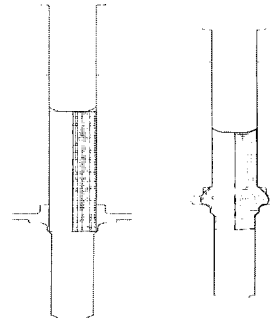


Fig. 8 Undesired metal flow by a certain initial billet (proposed process 1 : case 1)

공정에 비해 대체적으로 작은 압력이 금형 및 펀치에 작용한다. 최대 다이압은 펀치의 가운데 부분에서 791.15MPa의 압력이 작용한다. 공정 중 최대 하중은 497.65kN, 소요에너지는 13.7kJ이다.

5.2 새로운 공정 2

새로운 공정 2에서는 기존의 3단계의 성형공정을 2단계로 공정 수를 줄여 시물레이션을 수행하였으며 해석한 결과는 다음과 같다.

Fig. 10는 첫 번째 공정인 압출에 대한 시물레이션의 초기상태와 격자구성, 시물레이션이 완료된 후의 다이압 분포와 행정-하중 선도를 나타낸다. 초기빌렛은 직경 26.29mm, 높이 121.67mm이고 밀폐된 금형을 사용하여 성형된다. 이번 공정은 기존 제작방법의 두 번째 공정과 유사한 공정으로 기존의 공정은 다단압출에 의해 성형이 이루어지지만 새로운 공정에서는 초기소재를 하부금형의 중간단에 맞춰 설계하였기 때문에 한 번의 전방압출만이 이루어진다. 펀치와 금형이 만나는 코너 부근, 금형의 측

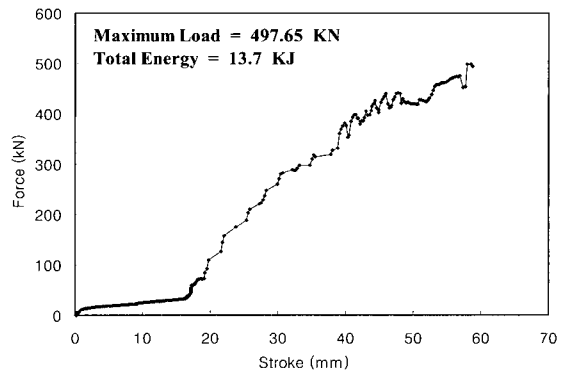
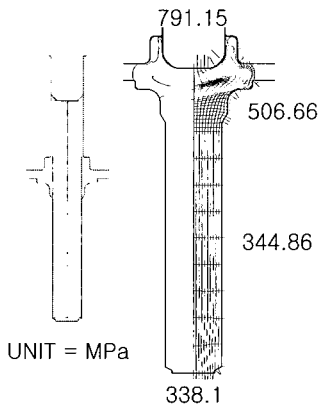


Fig. 9 Deformation patterns, die pressure distributions and load-stroke relationships for the proposed process 1 (case 2)

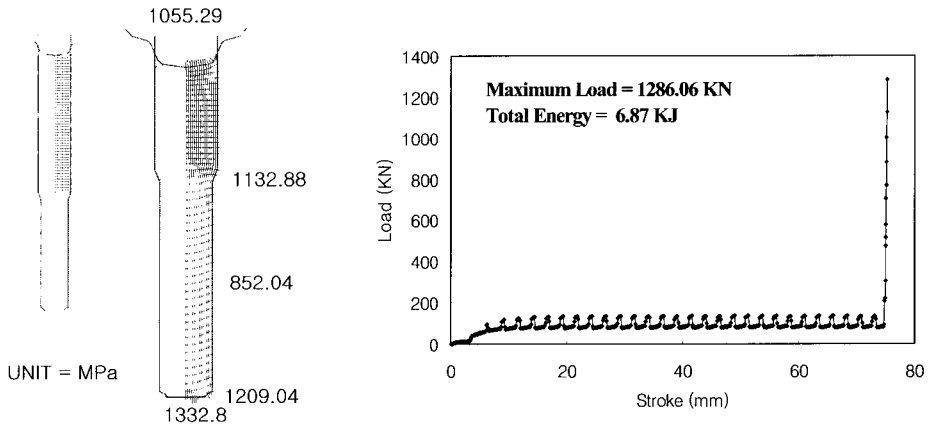


Fig. 10 Deformation patterns, die pressure distributions and load-stroke relationships for the first step operation in the proposed process 2

면 그리고 하부급형의 모서리 부분을 중심으로 변형이 일어나며, 최대 유효변형률은 1.68이다. 급형의 벽면에 작용하는 압력은 전체적으로 약 850MPa로 고르게 분포하고 있다. 최대 압력이 작용하는 곳은 급형의 하단부분으로 약 1332.8MPa의 값을 나타내고 있다. 공정 중 최대 하중은 1286.06kN이고 소요된 에너지는 6.87kJ이다.

Fig. 11은 새로운 공정에서 파워스티어링휠 블랭크의 머리 부분을 성형하는 헤딩공정을 나타내고 있으며 개방형 단조이다. Fig. 11은 시뮬레이션의 초기상태와 격자구성, 시뮬레이션이 완료된 후의 다이압 분포와 행정-하중 선도를 나타낸다. 펀치의 각진 부분에서 변형이 심하게 발생하고 있으며, 최대 유효변형률은 4.39이다. 다이압

분포는 급형의 벽면과 하단부를 따라 약 575.96MPa에서 628.32MPa의 고른 압력이 작용한다. 성형의 대부분이 이루어지는 상단부에서 큰 다이압의 분포를 보이고 있으며 최대 다이압은 펀치의 가운데 부분에서 771.12MPa의 압력이 작용한다. 공정 중 최대 하중은 1717.34kN, 소요에너지는 7.9kJ이다.

5.3 새로운 공정의 결과

기존의 파워스티어링휠 블랭크 성형 공정은 3단계에 걸쳐 성형이 이루어지는데 반해 새로운 공정 1에서는 단 공정으로, 새로운 공정 2에서는 2단계 공정으로 성형이 이루어지므로 제품의 제작시간을 줄일 수 있을 것으로

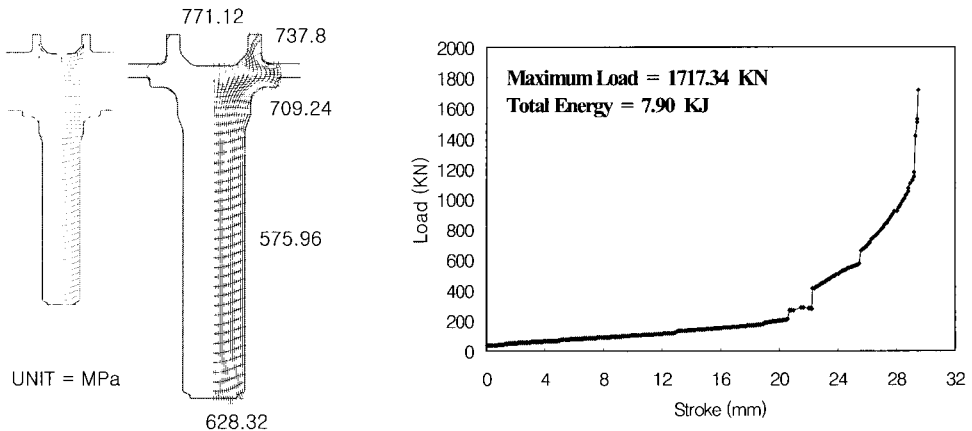


Fig. 11 Deformation patterns, die pressure distributions and load-stroke relationships for the second step operation in the proposed process 2

후 기

Table 4 The comparison data between proposed processes and conventional one

	Conventional process	Proposed processes	
		method 1	method 2
No. operation	3	1	2
Max. load (KN)	2510	497.65	1717.34
Forming energy(kJ)	10.57	13.7	7.9
Press capacity (ton)	800	-	-
Process time	long	short	medium
Machine cost	medium	low	medium

판단된다. 최대 하중 면에 있어서도 새로운 공정 모두가 기존의 공정보다 작게 나왔다. Table 4에 기존 공정과 새로운 공정의 두 가지 방안에 대한 모의실험결과를 정리하여 나타내었다.

6. 결 론

본 논문은 파워스티어링휠 블랭크의 제작에 있어 기존의 성형 공정과 제안된 성형 공정에 대하여 모의실험을 수행하였으며 제안된 공정의 적합성을 판단하였다. 두 가지의 공정에 대해 모의실험을 통하여 얻은 결과는 다음과 같다.

(1) 기존 3단계로 이루어지는 파워스티어링휠 블랭크의 성형공정을 해석하고, 단조 공정의 성형 한계 값을 고려하여 단공정 또는 2단계 공정으로 이루어진 새로운 파워스티어링휠 블랭크 단조 공정을 설계하였다.

(2) 새로운 공정은 기존의 공정보다 공정 수가 줄어 파워스티어링휠 블랭크의 제작시 제작시간이 단축되며, 금형의 수를 줄일 수 있어 금형 비와 장비의 가격, 장비 유지비 면에서 유리할 것으로 판단된다.

(3) 새로운 공정의 하중이 기존 공정의 하중 보다 작아 펀치와 금형의 수명 면에서 유리하며, 기존에 사용되던 프레스의 하중보다 더 적은 하중 용량의 프레스를 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

(4) 펀치의 이동방향에 대하여 재료의 이동이 펀치의 수직방향으로도 발생하고 펀치 방향으로도 발생하는 복합성형의 경우 재료의 유동은 수직방향으로 보다 잘 이루어진다는 사실을 알 수 있다.

본 결과는 1999년 정보통신부 정보통신 우수시범학교 지원사업 및 인하대학교 교내 연구비 지원으로 수행하였음.

참 고 문 헌

- (1) K. Sevenler, P. S. Raghupathi and T. Altan, 1987, "Forming-sequence Design for Multistage Cold Forging", Elsevier Science Publishers, pp. 121~135.
- (2) S. Kobayashi, S. I. Oh and T. Altan, 1989, "Metal Forming and the Finite-Element Method", Oxford University Press, NewYork, pp. 32~39.
- (3) J. A. Pale and T. Altan, 1989, "Development of Equipment and Capabilities for Investigation of the Multi-Action Forming of Complex Parts", Engineering Reserch Center for Net Shape Manufacturing, Ohio State University, ERC/NSM-B-89-28, pp. 8~13.
- (4) American Society for Metals, 1975, "Source Book on Cold Forming", ASM Engineering Bookshelf, United States of America, pp. 4~5, pp.227~228, p. 249.
- (5) Crouse and Anglin, 1993, "Automatic Mechanics", 10th Edition, McGrow-Hill, NewYork, pp. 675~682.
- (6) S. K. Biswas and W. A. Knight, 1974, Computer-Aided Design of Axisymmetric Hot Forging Dies", Proc. 15th Int. MTDR Conf., p. 135.
- (7) The Engineering Committee Division II and Small Products Industrial Fasteners Institute, 1984, "Cold formed parts yield impressive cost benefits", Manufacturing Eng., 93(5), pp. 43~48.
- (8) G. B. Yu and T. A. Dean, 1985, "A Practical Computer-Aided Approach to Mould Design for Axisymmetric Forging Die Cavities", Int. J. Mach. Tool Des. Res. Vol. 25, p. 1.
- (9) Air Force Materials Laboratory, 1973, "Forging Equipment, Materials and Practices", MCIC, Columbus, Ohio, p.164.
- (10) Y. S. Choi and J. H. Lee, 1997, "A Study of Preventing Chevron Crack in Cold Extrusion",

- J. of the Korean Society for Technology of Plasticity, Vol. 6, No. 3, pp. 221~226.
- (11) C. H. Lee and S. Kobayashi, 1973, "New Solutions to Rigid-Plastic Deformation Problems Using a Matrix Method", J. Eng. Ind., Trans. ASME, Vol. 95, p. 865.
- (12) S. I. Oh, G. D. Lahoti and T. Altan, 1981, "ALPID - A General Purpose FEM Program for Metal Forming", Proceedings of NAMRC IX, Pennsylvania State University.
- (13) T. Huziyoshi, 1989, "Die & Moulding", Daily Technology Press, Tokyo, Japan, pp. 446~447.