

버링 가공을 이용한 자동차 요크 제품의 가공 공정 설계

김동진* · 김병민** · 김정근***

Process Design of Automobile Steering Yoke with Burring

D.J. Kim, B.M. Kim, and J.K. Kim

Abstract

The yoke is used for joining the mechanical element of a spider and shaft in the steering system of automobiles. Conventional yoke forming processes are too complicated such as 4 stages bending and forming. The weight of yoke is also heavy than other components. New process is necessary to reduce the product weight, to improve the strength and to reduce the costs. Process design for the manufacturing of a yoke, however, dependent on experience-based trial and error. Using the rigid-plastic finite element simulations, the processes were designed to reduce number of forming stages and to reduce its weight. To check the strength, the stress analyses are performed between conventional yoke and developed one.

Key Words : Steering Wheel, Yoke, Burring, Bending, Process Design, Stress Analysis

1. 서 론

최근 자동차 연비를 향상시키기 위하여 자동차 부품의 경량화가 요구되고 있다. 이러한 시대적 요구에 따라 관이나 빔 등을 이용한 하이드로 포밍(Hydro-forming) (1-2), 후판을 이용한 유동 조절 공정(Flow control forming) (3-4) 등에 대하여 많은 연구가 진행되고 있다. 새로운 제품의 생산을 위한 성형공정의 개발에 소요되는 시간과 비용을 줄이기 위하여, 실제의 금형, 소재의 유동, 금형 내의 충만도와 성형하중 등의 상세한 정보를

제공할 수 있는 기법들이 필요하다. 최근에는 컴퓨터와 수치기법의 발전으로 컴퓨터를 이용한 여러 가지 방법들이 성형 공정설계 및 금형설계에 활발히 이용되고 있다. 특히 유한요소 해석은 이와 같은 정보들을 상세히 제공할 수 있어 생산과정의 시행착오를 줄일 수 있다(5-6). 자동차의 조향 장치 (Steering system)는 운전석의 조향 핸들(Steering wheel)의 회전력을 차륜에 전달하여 자동차의 방향을 변경할 수 있는 장치로 클램프 요크(Clamp yoke), 연결축(Intermediate shaft), 스파이더(Spider), 베어링 등으로 구성되어 있다.

* 부산대학교 기계기술연구소

** 부산대학교 정밀정형 및 금형가공 연구센터

*** (주) 우성정밀

본 연구에서는 원가 절감 및 생산성 향상을 위하여 자동차 조향기의 클램프 요크를 냉간 단조로 성형하는 공정을 개발하고자 한다. 먼저 클램프 요크에 요구되는 설계 조건 및 기존 공정의 문제점을 분석한다. 이것을 바탕으로 경량화, 고강도화 및 생산성을 향상시킬 수 있는 새로운 공정을 설계하여 유한 요소 해석 및 실험을 통하여 이를 검증하였다.

2. 조향 장치의 클램프 요크

2.1 굽힘 가공에 의한 클램프 요크

기존 공정의 클램프 요크는 Fig.1와 같이 축과 연결되는 부분을 180°로 굽힘 가공한 후 나사의 체결부를 가공하였다. 클램프 요크를 축과 연결하여 볼트로 체결을 하게 될 때 최소 7개 이상의 나사산이 가공되어 있어야 조향 핸들의 회전력을 견딜 수 있다. 클램프 요크의 소재 두께는 6t이기 때문에 7개 이상의 나사산 가공이 불가능하다. 따라서 Fig.1와 같이 축과 연결되는 부분의 소재를 180°로 굽힘 가공하여 볼트 체결부의 두께를 두껍게 한 후 7개 이상의 나사산 가공을 가능하게 하였다.

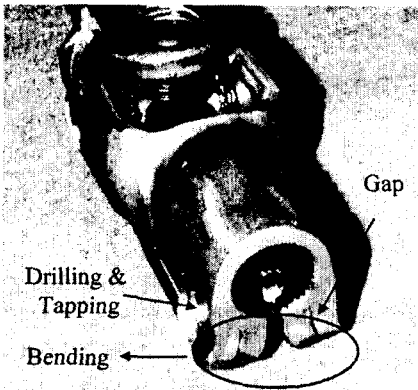


Fig. 1 Photograph of conventional yoke

기존의 클램프 요크 성형 공정은 먼저 두께 6t의 후판에서 제품의 형상을 블랭킹하고 나서 1차 성형한 후, U 굽힘, 45° 굽힘, R 굽힘, V 굽힘과 2차 성형으로, 전체 8공정을 거쳐서 제품이 성형 된다. 제품의 굽힘 각도가 거의 180°이기 때문에 굽힘부에서 크랙(Crack)이 발생하기 쉬우며, 굽힘부의 소재가 서로 밀착이 되지 않고 틈(Gap)이 생기기 때문에 드릴 작업 후 나사산 가공을 할 때, 미성형 나사부가 가공되어 볼트 체결 시 원하는 체결력이 나오지 않게 된다. 또한 과도한 굽힘 가공으로 인하여 굽힘부에서 탄성 회복이 발생하여 제품의 치수

정도가 떨어지게 된다. 그리고 제품의 두께가 달라질 경우 이러한 굽힘 가공으로 제품을 성형하는 것은 소재의 성형성의 한계로 인하여 제품 성형이 불가능하며, 굽힘 가공된 소재로 인하여 축과의 연결부 체적이 필요 이상으로 많아져서 소재 비용 및 제품의 중량이 증가하게 된다. 따라서 제품의 치수 정도를 향상시키고, 성형 공정수를 줄여서 생산성을 높여야 하며, 불완전 나사부의 성형을 방지하고, 제품의 중량을 감소시킬 수 있는 새로운 성형 공정이 필요하다.

2.2 버링 가공에 의한 클램프 요크

기존의 클램프 요크는 볼트 체결부에서 7개 이상의 나사산을 성형하기 위해서 굽힘 가공으로 소재의 두께를 두껍게 하였다. 따라서 나사산 가공을 위한 소재의 체적을 확보하기 위하여 버링(Burring) 공정으로 나사산 성형부를 성형하는 것으로 새로운 공정을 설계하여 기존의 성형 공정에서 굽힘 가공을 없앴다. 새롭게 설계된 성형 공정은 먼저 두께 6t 후판으로부터 소재를 블랭킹 한 후 일차 성형을 하였다. 그런 다음 버링 가공으로 나사산 가공부를 성형한 다음 이차 성형을 하여 클램프 요크를 성형하였다.

굽힘 공정 대신에 버링 가공으로 나사산 가공부를 성형하는 경우 기존의 제품에 비해 약 30% 정도 체적 감소가 예상되었고, 탄성 회복량의 감소로 인하여 제품의 치수 정밀도도 향상될 것으로 예상되었다. 또한 제품의 두께가 변경되더라도 버링으로 나사산 가공부를 성형하기 때문에 다양한 두께를 가진 요크 성형이 가능할 것으로 생각되었고, 버링 공정에 대한 자동화가 가능하여 생산성이 크게 향상될 것으로 예상되었다. 따라서 새롭게 설계된 클램프 요크를 성형하기 위하여 유한 요소 해석과 실험을 수행하였다.

3. 클램프 요크 성형 공정 해석

새롭게 설계된 클램프 요크의 성형 공정을 해석하기 위하여 상용 강소성 유한 요소 해석 프로그램인 DEFORM을 사용하였다. Fig.2에 1차 성형 후의 제품의 형상 및 유효변형을 분포를 나타내었다. 일차 성형 후 제품의 형상은 도면의 형상대로 성형 되었고, 소재 유효에는 아무런 문제가 없었다. 유효 변형을 분포를 보면 대체로 낮은 값을 나타내었고, 소재의 변형은 국부적으로만 발생하여 두께 방향에 따른 변형 정도는 크게 차이가 나지 않았다. 그리고 버링 가공부에서는 거의 변형이 이루어 지지 않았다. 따라서 탄성 회복에 의한 치수 정

도는 크게 문제가 되지 않을 것으로 생각되었다. 성형 하중은 약 140톤이 소요되었다. 설계된 공정으로 요크 제품을 성형하여 Fig.3에 나타내었다. 해석 결과와 마찬가지로 정확한 제품의 형상대로 성형 되었으며, 나사산 가공을 위한 버링 공정도 설계된 제품의 형상대로 성형 되었다. 따라서 개발된 성형 공정으로 클램프 요크를 성형하는 것이 가공 공수와 제품의 무게를 줄일 수 있는 새로운 공정으로 생각되었다.

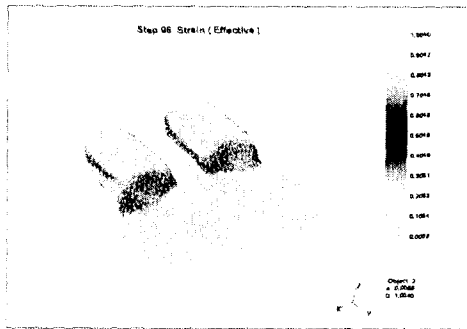


Fig. 2 Distribution of effective strain after 1st forming



Fig. 3 Photograph of developed yoke

4. 클램프 요크의 강도 해석

기존의 클램프 요크와 개발된 클램프 요크의 강도를 비교하기 위하여 상용 구조 해석 프로그램인 ANSYS를 사용하여 응력해석을 수행하였다. 클램프 요크에 요구되는 강도는 최대 비틀림 모멘트인 170Nm을 견뎌야 한다는 것이다.

유한요소 해석모델 모두 베어링과 스파이더 체결부는 축으로 모델링하고, 이 축에 170 Nm의 비틀림 모멘트를 작용시켰다. 그리고 연결축과 체결되는 곳에도 축을 연

결하여 실제와 같도록 모델링 하였다. 베어링 및 연결축은 클램프 요크에 완전 체결된 것으로 모델링 하여 이곳에서의 미끄럼은 고려하지 않았고, 연결축 들은 강체로 가정하여 이 축들의 변형이 요크 변형에 미치는 영향을 최소화하여, 클램프 요크가 변형하는 것을 해석하였다.

응력 해석 결과 기존의 벤딩 공정으로 성형한 요크의 경우 최대 응력값은 174MPa이었고 그 위치는 벤딩부와 스파이더 체결부가 만나는 곳에서 발생하였고, 버링 공정으로 성형한 요크의 경우 최대 응력값이 169MPa로 기존 공정으로 성형한 경우보다 약 3% 감소하였다. 두 경우 모두 소재의 항복 강도인 180MPa보다는 낮은 응력 분포를 나타내어서 제품에 요구되는 강도는 모두 만족하였다(Fig.4).

기존의 공정으로 성형된 클램프 요크와 새로이 개발된 공정으로 성형된 클램프 요크는 비슷한 응력 분포를 나타내었다. 이 것은 나사산의 가공부를 성형하기 위하여 굽힘 가공한 부분과 버링으로 가공한 부분을 제외하고는 두 제품 모두 같은 치수를 가지고 있어서이다. 즉 굽힘 공정을 버링 공정으로 대체하여 제품을 생산하여도 강도 상에는 큰 문제가 없다는 것이다. 그리고 개발된 요크의 최대 응력값이 낮은 이유는 스파이더에서 받은 비틀림 모멘트를 개발된 요크 제품은 전체적으로 받지만, 기존의 요크 제품은 스파이더 체결부에서만 받기 때문인 것으로 생각된다. 즉 벤딩으로 인하여 연결축과 체결부의 치수는 상대적으로 많이 두꺼워져서 스파이더 체결부에 비해 강성이 증가하여 상대적으로 강체처럼 변형하기 때문에 스파이더에 작용된 비틀림 모멘트를 작게 받아서이다. 이 것은 두 제품의 최대 변형량을 비교해 보면 알 수 있다. 기존의 요크 제품은 최대 변형량이 0.0290mm이지만 개발된 요크 제품은 0.0353mm로 약 18% 정도 증가하였다. 개발된 요크 제품은 연결축과 체결되는 부분도 약간 변형하여 전체적인 변형량을 증가시켰지만, 기존의 요크 제품은 연결축과 체결되는 부분의 변형이 상대적으로 감소하여 전체적인 변형량을 감소시켰다.

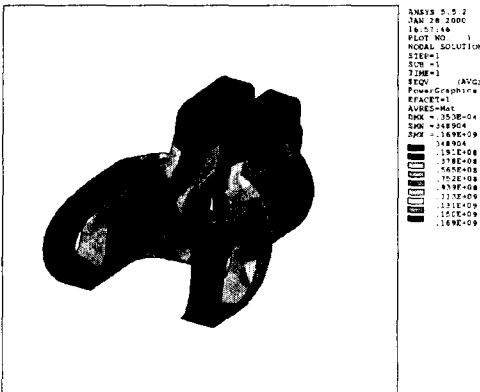
5. 결과 및 고찰

기존의 성형 공정과 개발된 성형 공정을 Table 1에 비교하였다. 기존의 공정에서 4번의 굽힘 공정을 한 번의 피어싱 공정과 한 번의 버링 공정으로 변경하였다. 굽힘 공정을 버링 공정으로 변경하였기 때문에 이송 장치에 의한 제품 이송이 원활하게 되어서 자동화에 의한 대량 생산이 가능하게 되었다.

두 제품의 체적을 비교해 보면 기존의 제품은 나사산 가공부 뿐만 아니라 연결축과 체결되는 부분도 모두 굽힘 가공되어 상대적으로 큰 체적을 가지지만, 개발된 요크 제품은 나사산 가공부를 국부적인 버링 가공으로 가공하였기 때문에 체적이 약 30% 감소하여 제품의 경량화가 가능하였다. 또한 강도도 기존 제품에 비해 향상되었다. 그러나 연결축 체결부의 치수 변화로 인하여 변형량은 다소 증가하였다. 그러나 변형량의 크기가 작고 모두 탄성 변형이기 때문에 큰 문제는 되지 않을 것으로 생각된다.



(a) Distribution of effective stress of conventional yoke



(b) Distribution of effective stress of developed yoke

Fig. 9 Distribution of effective stress of stress analyses

6. 결론

나사산 가공을 위해 굽힘 공정으로 클램프 요크를 성형하는 기존 공정의 단점들을 보완하기 위하여 새로운

성형 공정을 설계하였고 해석과 실험을 통하여 설계된 공정의 타당성을 검증하였다. 클램프 요크의 새로운 공정 설계를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 나사산 가공부를 위한 소재 두께를 버링 가공으로 성형하여 특정 부위의 치수를 확보하였기 때문에 제품의 무게를 줄일 수 있었다.
- (2) 나사산 가공부를 위한 소재 두께를 굽힘 가공하지 않고 버링 가공하여 성형하였기 때문에 성형 공정 수를 감소시켰다.
- (3) 나사산 가공부를 위한 소재 두께를 굽힘 가공으로 할 경우 굽힘 부분의 접합부가 완전히 밀착되지 않아 불완전 나사산이 성형 되지만, 버링 공정으로 성형할 경우 완전 나사산의 성형이 가능하였다.
- (4) 나사산 가공부를 위한 소재 두께를 버링 가공으로 국부적으로 성형하기 때문에 소재의 재질 및 두께가 다양한 제품을 성형할 수 있었다.
- (5) 나사산 가공부를 위한 소재 두께를 버링 가공으로 국부적으로 성형하기 때문에 탄성 회복을 최소화하여 제품의 치수 정밀도를 확보할 수 있었다.

Table 2 Comparison of two processes to make a clamp yoke

	Conventional yoke	Developed yoke	비고
1 st Process	Blanking	Blanking	
2 nd Process	Chamfering	Chamfering	
3 rd Process	1 st Forming	1 st Forming	
4 th Process	U - Bending	Piercing	공정 감소
5 th Process	45° - Bending	Burring	공정 감소
6 th Process	R - Bending		
7 th Process	V - Bending		
8 th Process	2 nd Forming	2 nd Forming	
Volume	2.8245E4	1.9634E4	30% 감소
Max. effective stress	174(MPa)	169(MPa)	2.9% 감소

참고 문헌

- (1) 오수익, 전병희, 1998, 한국소성가공학회, '98추계학술대회 논문집, pp.32~36.
- (2) M Ahmed, M. Hashimi, J. Mat. 1997, Proc. Tech., Vol. 64, pp.9~23.
- (3) T. Nakano, J. Mat. 1994, Proc. Tech., Vol.46, pp.201~226.
- (4) N. Ishinaga, J. Mat. 1997, Proc. Tech., Vol.71, pp.100~104.
- (5) 이진희, 강범수, 김병민, 이정환, 1994, 대한기계학회 논문집, 제18권, 제9호, pp.2234~2244.
- (6) B. S. Kang and S. Kobayashi, Int. J. 1991, Mach. Tools. Manu. Vol. 31, No. 1, pp.139~151.