

가변직경을 갖는 자동차용 카울크로스바의 복합인발공정 개발

김홍석^{1#}, 윤재웅¹

Development of Combined Drawing Process for Automotive Cowl Cross Bar with Variable Diameters

H. S. Kim, J. W. Youn

Abstract

Cowl cross bar, a component of automotive cockpit module, has been manufactured by using welding processes of several tube parts with different diameters. However, in order to reduce costs and increase the quality, it is required to develop a new production method to manufacture the cowl cross bar as one-piece. In this study, therefore, eliminating the welding process, tube drawing process which is one of metal forming processes was designed by using combined drawing technique. In addition, the selectable range of area reduction ratio was defined as a design guideline and the designed process sequence was verified by finite element analysis.

Key Words : Cross Bar, Combined Drawing Technique, Process Sequence Design

1. 서론

카울크로스바(Cowl Cross Bar)는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 자동차 각뿔 모듈(Cockpit Module)의 주요 구성품으로서, 차체의 좌, 우방향의 비틀림이나 휘어짐을 방지하고 강성을 높이기 위하여 쓰이는 골격이라 할 수 있다. 이는 전장, 공조 및 기능성부품이 장착되는 안내면을 제공하고 충돌시 탑승자 보호를 하기 위하여 구조강도를 유지해 주는 차체의 주요 프레임이다.

일반적으로 카울크로스바는 소음, 진동, 이음(NVH : Noise, Vibration, Harshness) 개선을 위해 단순한 튜브의 일체 구조에서 출발하였으나 최근에는 기능부품수가 증가하고 이에 따른 중량의 증가를 개선하기 위해 직경이 변하거나 혹은 직경이 다른 두 튜브의 축 중심이 다른 편심형 튜브 등의 가변구조형 크로스바로 설계가 변경되고 있

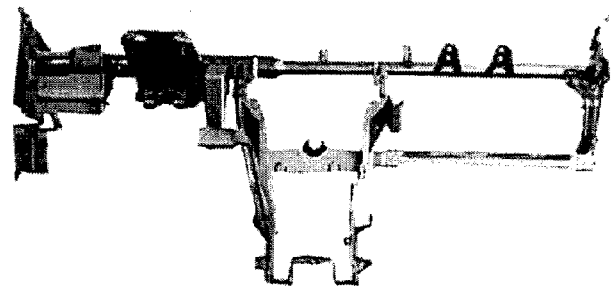


Fig. 1 An example of cowl cross bar assembly

다[1]. 그러나, 성형방법에 있어서 기존의 일체형 튜브의 경우에는 튜브를 구부리기 위한 굽힘(Bending) 공정만으로도 기본 공정은 마무리 될 수 있었으나, 가변구조형 크로스바의 경우에는 두 개 이상의 직경이 다른 튜브가 연결되어야 하므로 기존 공정에 비해 까다로운 공법의 적용이 요구된다. 또한, 용접이라는 추가의 공정이 필요하여 생산성이 나빠지고 원가의 상승요인도 발생하

1. 대구대학교 자동차·산업·기계공학부
교신저자: 대구대학교 자동차·산업·기계공학부,
E-mail: kimkong@daegu.ac.kr

게 된다. 따라서, 가급적이면 원가 상승 및 품질 저하의 요인으로 작용하는 용접 공정을 채용하지 않고도 제품을 생산할 수 있는 일체형 성형공정의 개발이 필요하다[2].

따라서, 본 연구에서는 인발(Drawing) 공정의 채용을 통하여 카울크로스바의 생산 원가 절감 및 제품 품질의 향상을 위한 일체형 성형공정을 설계하고자 한다. 본 제품의 경우 튜브의 직경이 크고, 두께가 비교적 얇기 때문에 일반적인 인발 공정의 적용은 어려운 것으로 판단되며, 대구경부 대비 소구경부의 직경 감소가 상당히 크기 때문에 다단계 공정이 요구되리라 판단된다. 따라서, 이러한 다단계 공정의 설계를 위하여 공정설계 규칙을 적용한 1 차 설계 후 수치해석을 통한 검증을 수행하고자 한다.

2. 제품분석 및 공정구상

2.1 단공정 단순인발

본 연구에서 개발을 목표로 하는 제품의 요구 제원을 Fig. 2에 나타내었다. 그림에 나타낸 바와 같이 대구경부의 직경과 두께는 각각 60.5mm와 2.0mm이며, 소구경부의 직경과 두께는 각각 38.0mm와 1.8mm이다

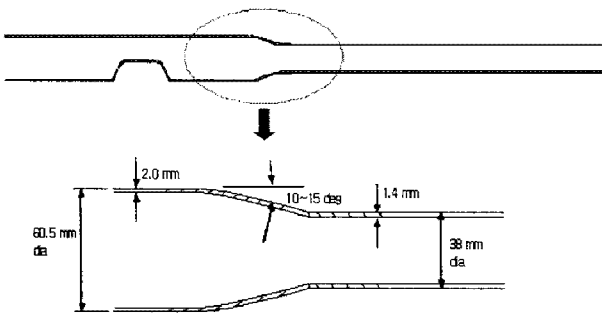


Fig. 2 The required geometrical specification of cowl cross bar

본 제품에 대한 단공정 인발공정의 적용가능성 검토를 위해 DEFORM- 2D 를 이용한 CAE 해석을 수행하였다. 공정의 사전검토이므로 일반 인발성형의 예비단계인 구부성형은 별도로 해석하지 않고 가상 형상을 적용하였다. 공정의 축대칭성을 고려하여 1/2 모델을 사용하였는데, 원소재의 길

이는 500mm 로서 실제 제품에 비해 짧은데, 이는 인발공정의 진행이 초기 성형단계를 넘어서면 정상상태(Steady State)로 진행되기 때문에 1m 가 넘는 성형부 전부를 해석할 필요가 없기 때문이다. 또한, 그림에 나타낸 바와 같이 소재의 하단부는 1 차 구부성형이 완료된 가상 형상을 사용하였으며, 인발력은 구부에 하방향 변위경계 조건을 적용함으로써 수치적으로 모사하였다. 또한, 본 제품의 경우 단순히 직경을 줄이는 자유인발(Free Drawing)이 아니라 직경과 두께를 모두 감소시켜야 하기 때문에 튜브 내부에 두께 제어를 위한 별도의 펀치를 작동시키는 플러그 인발(Plug Drawing) 공법[3-4]을 채용해야 하기 때문에 상측 금형으로서 플러그 요소를 삽입하였다. 본 제품에 사용된 소재는 저탄소강 계열의 AISI-1008 로서 소재의 물성치는 해석 소프트웨어인 DEFORM-2D 에 내장되어 있는 데이터베이스 자료를 사용하였다.

Fig. 3 에 CAE 해석을 통하여 얻은 인발공정의 변형형상을 나타내었다. 플러그 전진 및 정지 시까지는 별다른 문제가 없이 성형이 진행되지만 플러그 정지 직후 금형 하단부에서 연성파괴(Ductile Fracture)에 의한 찢어짐이 발생하는 것으로 예측되었다. 따라서, 본 제품의 경우 단공정의 단순인발로는 성형이 어려울 것으로 판단하였다.

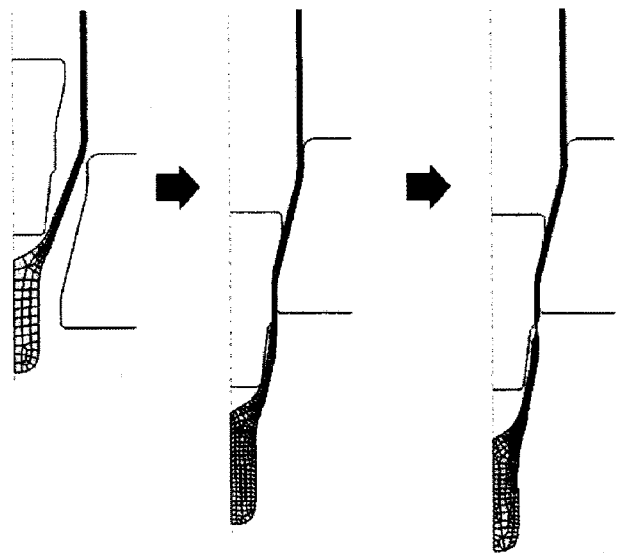


Fig. 3 Deformed geometry of 1 stage drawing process with ductile fracture

2.2 복합인발공법

전절에서 고찰한 바와 같이 본 제품의 경우 원소재 형상과 비교하여 과도한 지름과 두께의 감소가 요구되기 때문에 단일 인발 공정으로는 원하는 형상을 얻을 수 없음을 알 수 있었다. 따라서, 본 연구에서는 Fig. 4에 나타낸 개략도와 같이 원소재의 후방에 인장력과는 별도의 압축력을 추가하여 성형부의 소재가 인장과 압축의 복합하중을 받을 수 있도록 공정을 수정하였다.

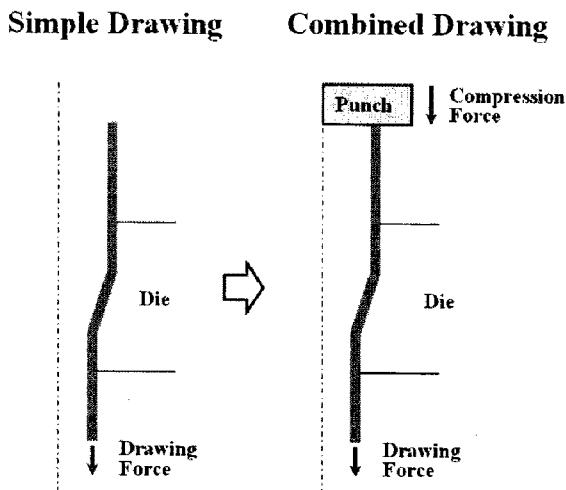


Fig. 4 The schematic diagram of combined drawing process

2.3 공정분할

본 연구에서 개발을 목표로 하고 있는 카울크로스바의 경우 단면감소율이 44.3%에 달하는 가혹한 성형조건이기 때문에 1 단계 공정으로는 성형이 불가능하다고 판단하였다. 이러한 경우 금속소재의 소성가공에서는 성형공정을 여러 단계로 나누어 다단계 단조공정(Multi-stage Forging Process)을 구성하는 것이 일반적이다[5]. 따라서, 본 연구에서는 제품 성형을 위한 접근법으로 공정을 2 단계로 분할하여 각 단계의 단면감소율을 적절하게 감소시키는 방법을 고찰하였다.

3. 공정 설계 및 검증

성형공정을 2 단계로 나누어 배치함으로써 각 단계의 단면감소율을 설계 한계치 이하로 설정할

수 있다. 일반적으로 2 단계 성형에서는 최종 제품의 정밀도 및 동심도 확보를 위하여 2 차 성형에서의 성형량을 최소화시키는 것이 일반적인데, 본 연구에서는 다단계 공정의 성형 가능성 파악을 위하여 Table 1에 나타낸 바와 같이 단면감소율을 1 차와 2 차 성형에 균등 분배하였다. 특히, 두께의 경우 1 차 공정에서 초기 두께 2.0mm에서 1.9mm로 감소시켰는데, 플러그를 사용하지 않는 자유 인발(Free Drawing)의 경우 파이프 직경 감소에 따른 두께의 증가가 수반된다. 따라서, 1 차 성형에서 자유 인발을 수행할 경우 직경을 대폭 감소시키더라도 두께의 증가 때문에 2 차 성형에서 단면감소율이 증가하게 되므로 적절한 단면감소율의 분배가 이루어지지 않는다. 결국, 1 차 성형에서도 두께의 제어가 이루어져야 하는데, 원소재 두께 2.0mm에서 최종 1.8mm까지의 두께 변화를 50%씩 반영하여 1 차 성형에서 두께를 1.9mm로 제어하고자 하였다. 이 경우 1 차 성형에서 성형 후의 외경이 47.7mm일 때, 1 차 성형과 2 차 성형의 단면감소율은 각각 25.6%와 25.1%로 균등 배분될 수 있다.

Table 1 Process variables for 2 stage combined drawing process

No.	OD ¹⁾ (mm)	Th ²⁾ (mm)	RA ³⁾ (%)
Workpiece	60.5	2.0	
Proc. 1	47.7	1.9	25.6
Proc. 2	38.0	1.8	25.1

1) OD: Outer diameter of pipe / 2) Th: Thickness of pipe

3) RA: Area reduction ratio

2 단계 복합인발공정의 변형 형상을 Fig. 5에 나타내었는데, 인발 지그, 플러그의 이동 속도는 제작 예정인 유압식 전용성형기의 사양을 고려하여 25mm/sec로 설정하였다. 또한, 복합압출 시 후방 펀치의 인가하중은 1 차 및 2 차 성형에서 각각 40 kN과 30 kN을 적용하였다. 그림에 나타낸 바와 같이 설계된 2 단계 복합인발 공법을 적용하여 각 단계의 성형에서 연성파괴가 발생하지 않음을 예측할 수 있었다. 그러나, 후방 펀치의 인가하중이 적절히 조절되지 않을 경우 소재 측의 좌굴이나 인발측의 연성파괴가 발생함을 고찰할 수 있었다.

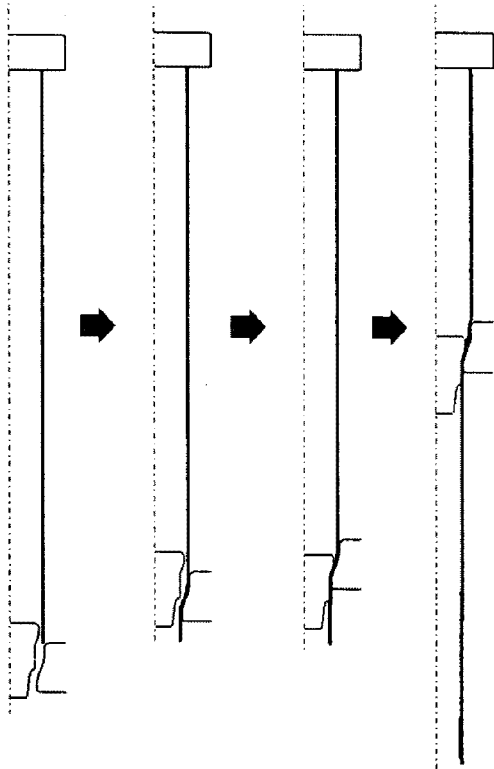


Fig. 5(a) Deformed shape of preform stage

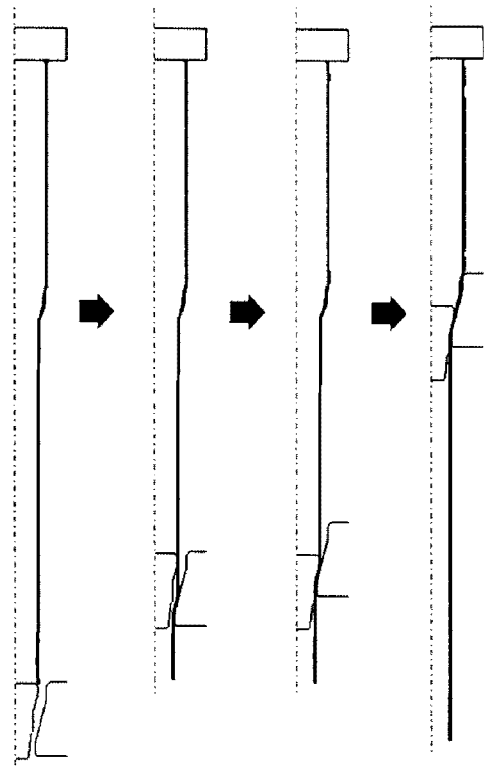


Fig. 5(b) Deformed shape of final stage

4. 결론

본 연구에서는 자동차의 카울크로스바에 일체형 성형을 위한 복합형 인발공정을 설계하였으며, 유한요소해석을 이용하여 설계 공정을 검토하였다. 이러한 일련의 연구를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 본 제품의 경우 초기 소재인 파이프의 직경과 두께가 각각 60.5mm, 2.0mm 이고 성형 후 직경과 두께는 각각 38.0mm, 1.8mm 로서 단면감소율이 44.3%에 달하기 때문에 1 단계 공정으로는 성형이 어렵다.

(2) 과도한 단면감소율을 완화시키기 위하여 본 제품의 경우 2 단계로 성형 공정을 분할하는 것이 바람직하다.

(3) 단순히 인장력만을 가하는 일반 인발보다는 후방에서 원소재에 압축력을 가하는 복합인발 공법을 적용할 경우 단순인발공정에 비해 높은 단면감소율을 얻을 수 있다.

(4) 상기 복합인발공법 및 공정분할을 통하여 카울크로스바에 대한 일체형 소성가공공정을 설계하였으며, CAE 해석을 통하여 설계된 공정이 타당함을 입증하였다.

참고 문헌

- [1] 정익진, 홍인표, 송상래, 2005, COWL X-BAR 중량 및 N.V.H 성능 개선을 위한 설계 인자 연구, 한국자동차공학회 추계학술대회논문집, pp. 1051-1055.
- [2] 엄인섭, 나상목, 김윤규, 김효섭, 박두수, 2007, 자동차 Cowl Cross Bar Hydroforming 적용 최적화 연구, 대한기회학회 추계학술대회 논문집, pp. 13~18.
- [3] K. Swiatkowski, R. Hatalak, 2004, Study of the new floating-plug drawing process of thin-walled tubes, J. Mater. Proc. Technol., pp. 105-114.
- [4] S. W. Kim, Y. N. Kwon, Y. S. Lee, J. H. Lee, 2007, Design of mandrel in tube drawing process for automotive steering input shaft, J. Mater. Proc. Technol., pp. 182-186.
- [5] National Machinery Company, "National Forging Talks", Tiffin, Ohio, 1981.