

용접판재 유압성형을 이용한 자동차 서브프레임의 트리아아웃과 금형설계

신용승* · 김현영* · 전병희** · 오수익*** · 박병철**** · 이우식****

Prototype Tryout and Die Design for Automotive Subframe using Welded Blank Hydroforming

Y. S. Shin, H. Y. Kim, B. H. Jeon, S. I. Oh, B. C. Park and W. S. Lee

Abstract

Welded blank hydroforming technology is applied to an automotive subframe which has been manufactured by stamping and welding processes. Blank shape and die system is suggested on the basis of finite element analyses. Various defects, especially wrinkling problems in the area of sudden section change, are investigated, analyzed and tried out. The blank shape and the die system are modified to get the sound welded blank hydroformed subframe.

Key Words : Welded Blank Hydroforming, Wrinkling, Subframe

1. 서 론

환경 문제에 대한 관심이 높아지면서 그 영향이 자동차 산업으로까지 미쳐, 자동차 경량화로 인한 연비향상, 배기가스 저감 등의 많은 연구가 진행되어 왔으며, 소비자의 안전도 욕구증가로 인한 고안전·초경량차체 개발 연구가 현재 전세계적으로 활발히 진행되고 있다. 유압성형(hydroforming)기술은 이와 같은 필요조건을 만족시키기 위해서 도입된 신기술로 유압을 이용하여 관재(tube)와 판재(sheet)를 다이 캐비티(die cavity) 내에서 원하는 형상으로 성형하는 기술이다. 유압성형기술은 사용되는 블랭크(blank)의 종류에 따라 관재유압성형(tube hydroforming)

과 판재유압성형(sheet hydroforming)으로 나눌 수 있으며, 이를 다시 세분하면 Table 1과 같다.

Table 1. Classification of hydroforming

Tube-hydroforming	<ul style="list-style-type: none"> ● Low pressure - hydroforming ● High pressure - hydroforming ● Sequenced pressure-hydroforming
Sheet-hydroforming	<ul style="list-style-type: none"> ● Aquadraw forming ● Welded blank- hydroforming ● Flexforming

* 강원대학교 기계메카트로닉스공학부
 ** 인덕대학 기계설계과
 *** 서울대학교 기계항공공학부
 **** (주) 화신

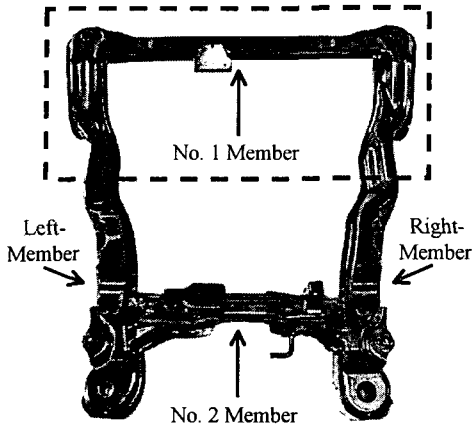


Fig. 1 Configuration of subframe

유압성형기술은 1920년대 처음 보고되었으며 1940년대 후반에서 1950년대 초에 걸쳐 소량생산에 적합한 기술로 개발되었다. 그후 본격적인 연구는 1980년대 이후에 이루어 졌으며, 자동차 산업에 적용되기 시작한 것은 비교적 최근의 일이다⁽¹⁾.

판재유압성형기술에 관한 연구로 Wang⁽²⁾은 유압벌지성형(integrated hydro-bulge forming)기술을 적용한 구형용기생산에 관한 연구를 수행하였고, Zhang 등⁽³⁾은 하이드로메카니컬 딥드로잉(hydrmechanical deep drawing)에 관한 연구를 수행했고, Robbert⁽⁴⁾은 용접판재(welded blank)와 비용접판재(non-welded blank)를 사용한 유압성형공정의 성형한계에 관한 연구를 수행하였으며, 국내에서는 김현영 등⁽⁵⁾에 의하여 판재와 용접판재의 유압성형성 비교에 대한 연구가 수행되었다.

본 연구에서는 Fig. 1과 같이 복잡한 형상을 가진 자동차 서브프레임(subframe)에 용접판재 유압성형기술을 적용하기 위하여 유압성형용 금형을 제작, 성형 트라이아웃을 수행하였으며, 유압성형시 제품에 발생하는 주름에 대하여 발생원인을 분석한 뒤 주름을 억제할 수 있는 금형설계 방안에 관한 연구를 수행하였다.

2. 용접판재유압성형의 문제점과 대책

용접판재유압성형이란 동일한 치수의 두 판재를 상·하로 겹친 뒤 레이저용접을 한 다음제작된 용접판재를 상·하금형 사이에 위치시키고, 유압시스템이 연결된 뒤 유체주입과 동시에 두 판재 사이에서 발생하는 유압으로

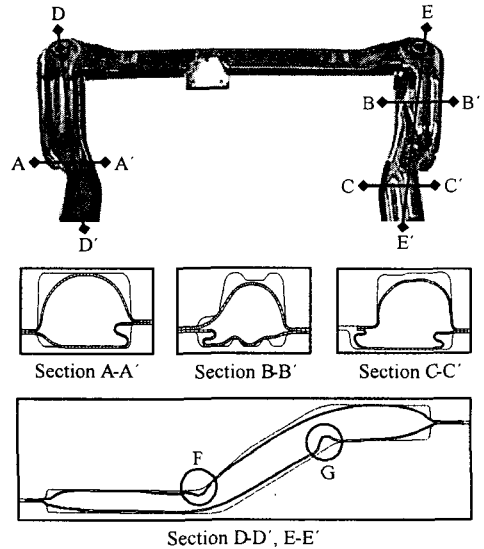


Fig. 2 Wrinkling for welded blank hydroforming

성형하는 방법이다. 이때 두 판재의 재료와 두께는 서로 같게 또는 각각 달리할 수 있다.

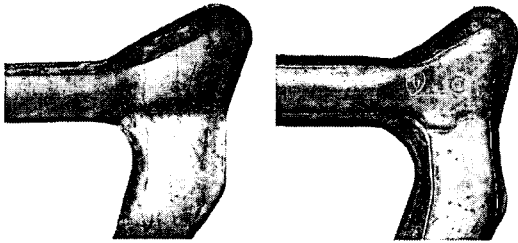
그러나 용접판재유압성형공정에서는 두 판재를 용접으로 고정했기 때문에 유압 발생시 두 판재가 동시에 금형 캐비티로 유입되므로 Fig. 2의 A-A', B-B', C-C' 단면과 같이 금형 분할면을 기준으로 상·하형 금형의 내부 깊이가 서로 인하여 상·하 용접판재 각각의 유입량이 서로 다르게 되어 주름이 발생할 수 있고, D-D', E-E' 단면과 같이 금형 분할면의 단차가 클 경우 금형 분할면보다 상·하형 금형의 곡률 반경이 작게 되어 성형시 주름이 발생할 수 있다.

A-A', B-B', C-C' 단면과 같이 금형 내부 깊이 차이로 인하여 발생한 주름은 금형의 분할면을 이동하여 상·하 용접판재의 유입량을 조절함으로써 주름 발생을 제거할 수 있으며, D-D', E-E' 단면과 같이 금형 분할면의 큰 단차에 의해 발생한 주름은 블랭크 홀더력을 조절을 통하여 주름발생을 최소화 할 수 있음을 선행 연구에서 보였다⁽⁶⁾. 그러나 용접판재유압성형에 있어서 금형 형상 단차에 의한 주름 발생을 근본적으로 제거할 수는 없었다. 또한 시제품의 현장 트라이아웃에 있어 성형공정 동안 블랭크 홀더력을 조절하는 것이 현실적으로 어려웠다. 따라서 본 연구에서는 단면 D-D', E-E'에 발생한 주름을 제거하기 위하여 주름발생 부위의 금형 곡률을 변경함으로써 금형 단차에 의한 영향을 최소화하였다.

3. 성형 트라이아웃과 금형설계

자동차 서브프레임에 용접판재유압성형 기술을 적용하기 위한 1차 시제품 트라이아웃 결과 Fig. 2의 F, G와 같이 금형 단차에 의해 휘어지는 곳에서 주름이 발생하였다. 이것은 Fig. 3과 같이 금형 단차 및 형상에 의해 초기 바인더랩(binder wrap) 상태에서 블랭크에 심한 꺾임이 발생하였고, 유압성형이 진행되는 동안 초기에 발생한 꺾임을 극복하지 못하여 주름이 발생하였다. 따라서 블랭크의 심한 꺾임 현상을 제거하고 주름 발생을 억제 위하여 본 연구에서는 금형의 단차는 그대로 유지한 상태에서 주름 발생부위의 금형 곡률을 변경하였다.

Fig. 4는 금형 곡률 결정을 위한 유한요소 해석 결과이다. 유한요소 해석은 사각관 형상의 간이모델을 이용하였으며, 금형 단차 높이를 132mm로 유지하고 곡률 반경을 50mm 단위로 변화시켜 주름이 발생하지 않는 최소 반경을 구하였다. 해석결과 곡률 반경이 약 400 mm에서 주름이 거의 사라졌다. 그러나 실제품에서는 단면 형상이 복잡하고 그 크기가 일정하지 않기 때문에 해석



(a) binder wrap (b) hydroforming

Fig. 3 Deformed shapes after binder wrap and hydroforming

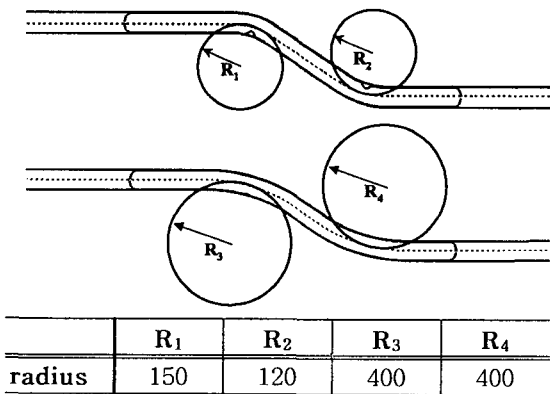


Fig. 4 The results of FE analysis to determine die curvature

결과 보다 큰 곡률 반경이 요구되어진다.

Fig. 5는 금형 곡률 반경을 420mm로 수정한 후 트라이아웃을 수행한 결과이다. 트라이아웃시 최대 성형 압력은 1000bar(100MPa)이다. 금형 수정 후 Fig. 4의 A, B 부분에서 주름을 완전히 제거 할 수는 없었지만 많이 줄어들었음을 볼 수 있다. 주름은 서브프레임의 “ㄱ”자로 휘어지는 안쪽 부분에서 주로 발생하였으며 바깥쪽 부분은 주름이 거의 제거되었다. A, B 부분의 주름 발생 원인을 살펴보면 Fig. 6에서와 같이 성형과정동안 C, D 방

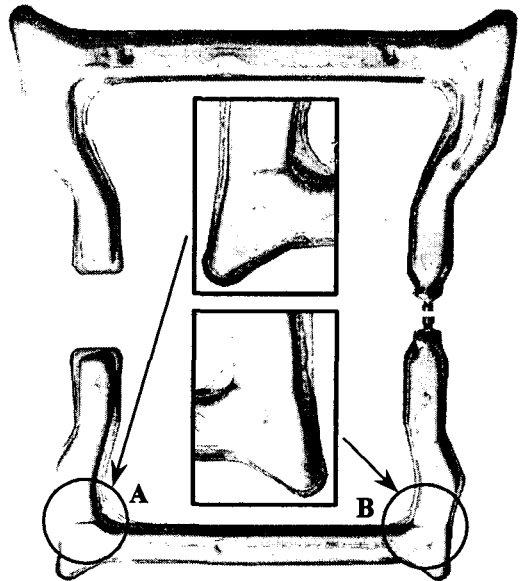


Fig. 5 Hydroforming results after modification of die

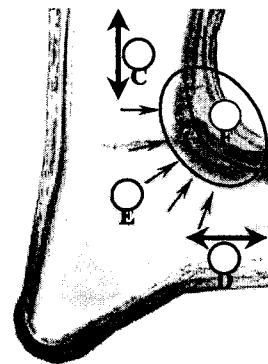


Fig. 6 Detailed view for wrinkled area

향으로는 블랭크의 이동이 없고 주로 E와 같은 방향으로 블랭크가 이동하게 되어 안쪽 부분으로의 살물림 현상이 나타나게 된다. 따라서 F 부분의 반경을 크게 하여 살물림을 분산시킬 수 있도록 금형 수정이 요구된다. 또한 금형의 유입부 곡률 반경을 크게 하여 성형공정동안 소재의 유입을 증가시킨다.

4. 결 론

본 연구에서는 용접판재 유압성형공정에서 발생하는 문제점과 대책에 대하여 연구하였으며, 자동차용 서브프레임에 용접판재 유압성형공정을 적용하여 성형 트라이아웃시 발생된 주름의 발생원인을 분석하고 주름을 억제할 수 있는 금형 설계 방안에 대하여 연구를 수행하였다. 이상의 연구 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 용접판재 유압성형시 주름 발생은 금형분할면을 기준으로 금형 내부 깊이 차에 의한 원인과 금형 단차에 의한 원인이 있다.
- (2) 금형내부 깊이 차에 의한 주름은 금형 분할면의 이동으로 제거할 수 있으며, 금형 단차에 의한 주름은 주름 발생부위의 곡률을 크게 함으로써 제어할 수 있다.
- (3) 용접판재 유압성형에 있어서 초기에 발생한 판재의 꺾임은 최종성형후의 주름 발생의 원인이 된다.
- (4) 금형 분할면을 기준으로 금형 단차가 큰 제품에는 용접판재 유압성형이 적당하지 않다.

참 고 문 헌

- (1) Hannibal, T. A. and Dieffenbac, J. R., 1998, "Hydroformed Structural Elements An Economics Evaluation of The Technology", SAE Technical paper series, No. 980435, pp.161~165.
- (2) Wang, Z. R., 1999, "Numerical Simulation of Some New Integrated Hydroforming Process", Advanced Technology of Plasticity, Vol.II, Proceedings of the 6th ICTP, pp.1253~1260.
- (3) Zang, S. H., Kang, D. C., Lang, L. H., Danckert, J. and Nielsen, K. B., 1999, "Finite Element Analysis of Hydromechanical Deep Drawing", Numisheet'99, pp.463~466.
- (4) Robbert, S., 1999, "Process Limits for The Hydroforming of Sheet Metal Pairs", Advanced Technology of Plasticity, Vol.II, Proceedings of the 6th ICTP, pp.1261~1266.
- (5) 김현영, 신용승, 홍춘기, 전병희, 오수익, 2001, "자동차 엔진마운트 브래킷의 판재 및 용접판재 유압성형에 대한 성형해석", 한국소성가공학회지 제10권 제1호, pp.3~14.
- (6) 김현영, 신용승, 홍춘기, 전병희, 오수익, 2000, "자동차 서브프레임 용접판재 유압성형시 주름발생 원인분석과 금형설계", 한국소성가공학회 2000추계학술대회 논문집, pp.153~157.