

박판페어를 이용한 하이드로포밍 공정의 수치적 및 실험적 해석

김태정* · 양동열* · 한수식** · 남재복** · 진영술**

Numerical and Experimental Analysis of Hydroforming Process of Sheet Metal Pairs

T. J. Kim, D. Y. Yang, S. S. Han, J. B. Nam and Y. S. Jin

Abstract

Hydroforming process has become an effective manufacturing process because it can be adaptable to forming of complex structural components. Tube hydroforming has been successfully developed in the real industrial field by many researchers. However, there still remains the constraint about shape which can be manufactured by tube hydroforming. In order to improve this constraint of shape and formability of conventional sheet metal forming, hydroforming process of sheet metal pairs becomes an important technology. In the present work, the finite element analysis of hydroforming process of sheet metal pairs is presented. After basic study about experimental parameters based on numerical analysis, hydroforming process of sheet metal pairs is developed, which uses hydraulic pressure as a main forming source.

Key Words : Hydroforming, Sheet Metal Pairs, Pressure Forming, Sheet Metal Forming

1. 서 론

박판 성형 공정을 통해 만들어지는 다양한 산업 제품들의 경량화와 강도 개선이 중요한 요구 사항이 되면서 기존 공정의 성형성(formability)을 뛰어 넘는 획기적인 성형 공정의 개발이 시급한 실정이다. 박판을 성형하는 기존의 공정에서 복잡한 형상을 직접 펀치에 의해 성형할 경우, 접촉이 발생하는 국부적인 영역에 변형이 집중되는 현상이 발생하여 기계적 강도의 저하를 초래하였다. 또한 이러한 이유에서 제품을 개별 성형한 후, 용접 등의 접합을 통해 조립하게 되어 공정이 복잡해지고, 제

품이 무거워지는 단점을 초래하였다.

이러한 낮은 성형성과 복잡한 공정 및 경량화의 문제점을 개선하고자 많은 연구가 이루어지고 있으며, 최근 하이드로포밍 공정(hydroforming process)을 박판 성형 공정에 적용하고자 하는 연구가 진행되고 있다[1-5]. 하이드로포밍 공정과 같이 유압을 이용하여 성형하게 되면, 성형력(forming force)이 균등히 분배되어 변형의 집중화 현상을 막을 수 있다. 이로 인해 성형 깊이가 큰 제품을 성형할 수 있으며, 잔류 응력의 최소화 및 두께 변형을 균일하게 할 수 있는 장점이 있다.

* 한국과학기술원 기계공학과
** POSCO 기술연구소 박판연구그룹

2. 박판페어의 하이드로포밍 공정

박판페어를 이용한 하이드로포밍 공정은 fig. 1과 같다. 그림에서와 같이 두장의 박판을 상하부 금형 사이에 놓은 후, 상하부 금형에 높은 블랭크 홀딩력을 가하여 압력이 새지 않게 조절한다. 유압 펌프에 의한 고압의 유체를 두 박판사이에 가하게 되면, 금형과 접촉이 발생할 때까지 박판은 변형하게 된다. 본 공정에서는 두 박판사이에서 압력 누수가 발생하지 않도록 특수한 밀폐시스템이 요구되며, 성형된 두 박판을 결합할 수 있는 결합 공정이 필요하다. 본 공정은 박판 페어를 성형하므로 단일 공정으로 상하부 제품을 동시에 성형할 수 있어 성형 설비의 중복 투자를 방지할 수 있고, 높은 압력에 의한 균일 변형을 유도하므로 성형 제품의 기계적 성질이 개선된다. 이러한 결과는 많은 연구가 진행된 튜브 하이드로포밍(tube hydroforming) 공정을 통해 잘 알려져 있으며, 성형원리는 본 공정과 유사하다. 하지만 튜브 하이드로포밍 공정은 관 형상의 제품에만 적용될 수 있으므로 응용할 수 있는 제품에는 한계가 있다.

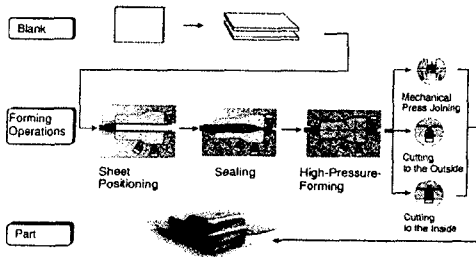


Fig. 1 Schematic diagram of hydroforming process of sheet metal pair[2]

하이드로포밍 공정을 설계하기 위해서는 성형에 필요한 적정 내부 압력과 재료의 유동과 주름 발생들의 결합을 고려한 적절한 블랭크 홀딩력(blankholding force)이 중요하다. 이는 제품의 형상과 재료의 두께 및 재질에 따라 많은 영향을 받으므로 이에 관한 설계 인자 결정이 필요하다.

3. 하이드로포밍 공정의 수치적 해석

앞에서 언급하였듯이 하이드로포밍 공정의 설계를 위해서 필요한 인자를 결정하기 위해서, 사각형 컵 형상의 제품에 대해서 수치적 해석을 수행하였다. 해석은 탄소 성 셀요소(FORMSYS-Sheet)를 이용한 내연적 적분 방

법(implicit time integratin scheme)을 이용하였으며, 압력은 해석의 수렴성을 고려하여 일정 속도로 서서히 증가시키면서 해석을 수행하였다. fig. 2는 해석에 사용된 금형의 형상을 나타내고 있다.

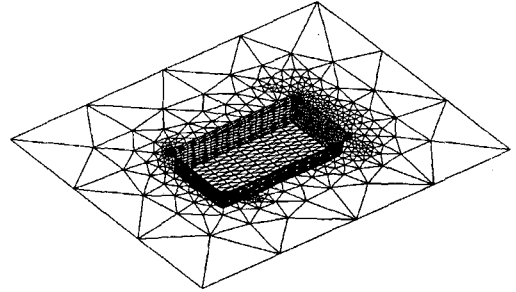


Fig. 2 Tool for numerical analysis of hydroforming of rectangular cup

해석에 사용된 재료의 물성과 변수는 아래의 Table 1과 같다.

Table 1 Material properties and analysis parameters

Material	Steel(DDQ Grade, 1.0t)
Flow curve	$\sigma = 475.48(0.0043 + \epsilon)^{0.126}$
R-value	$R_0=1.69, R_{45}=1.49, R_{90}=2.13$
Friction coef.	0.1
Blankholding force	10ton

성형 압력을 150bar까지 증가시켜 해석한 결과를 fig. 3에 나타내었다. 이러한 해석 결과를 바탕으로 구성할 하이드로포밍 공정의 기본 설계 사양(specification)을 아래 Table 2와 같이 결정하였다.

Table 2 Specification of hydraulic pump system

capacity of flow	1.0 liter
max. pressure	400 bar

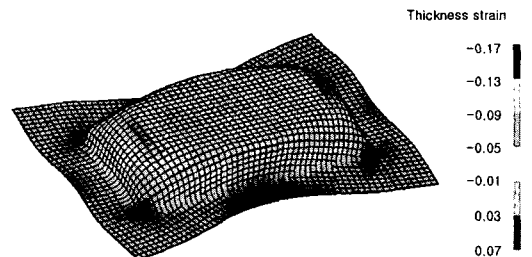


Fig. 3 Thickness strain of rectangular cup at the pressure of 150 bar

4. 하이드로포밍 공정의 설계 및 실험

앞의 해석 결과를 바탕으로 결정된 장치 사양으로 하이드로포밍 공정을 개발하였다. 박판 페어의 하이드로포밍 공정의 장점중의 하나인 동시 성형의 특성을 살려, 상하부 금형의 형상을 달리 설계하였다. 하부의 형상은 2단으로 구성된 오일팬(oil-pan)형상으로 구성하였고, 상부의 형상은 앞의 수치적 해석에 이용된 형상과 일치하는 사각형 컵 형상으로 구성하였다. 이에 대한 금형의 형상을 fig. 4에 표시하였다.

상하부 금형을 일반적인 소성 가공에 사용되는 프레스(press)에 장착하였으며 상부 램(ram)에 의해 충분한 블랭크 홀딩력을 가한다. 또한, 성형을 위한 고압의 압력은 독립적인 유압 유니트인 유압 펌프(pump)에서 조절할 수 있으며, 박판 페어의 밀폐를 위해서 두 박판 사이에 실리콘 등의 탄성체(elastic member)를 이용하였다.

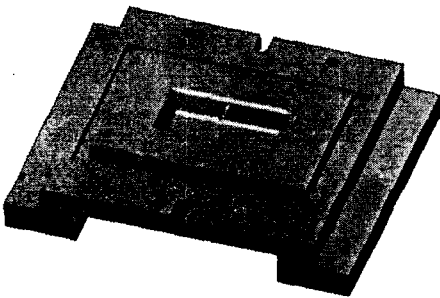


Fig. 4 (a) Upper die (rectangular cup) for hydroforming of sheet metal pair

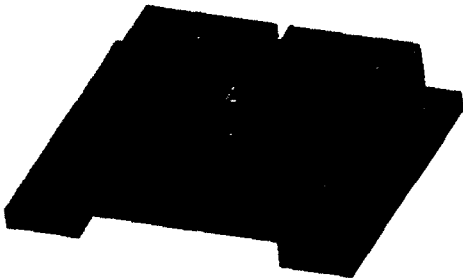


Fig. 4 (b) Lower die (oil pan) for hydroforming of sheet metal pair

구성된 하이드로포밍 성형 시스템에 다양한 두께 및 다양한 종류의 강판을 이용하여 실험을 수행하였으며, fig. 5에 두께 1.0mm의 딥드로잉용 강판(DDQ)을 배치한

후 성형압력을 200bar까지 가한 제품을 나타내었다.

성형 압력이 200bar를 넘게 되면 오일팬 형상의 깊은 단의 모서리에서 터짐(bursting)이 발생하였다. 이는 실제 금형에 적용한 곡률 반경이 작아 재료의 유입이 많이 제한되었기 때문으로 판단된다. 이러한 현상은 제품의 형상과 재료의 두께 및 재질에 따라 발생할 수 있는 경향이 다르다. 뿐만 아니라 부가된 블랭크 홀딩력과 내부 압력에 따라 성형의 정도가 다르므로 선정된 제품에 대한 성형 한계 곡선을 구할 필요가 있다. 일반적으로 박판 페어의 하이드로포밍 공정에서 적용되는 적정 성형 압력과 블랭크 홀딩력의 범위는 각각 50-200bar, 40-120ton으로 알려져 있다[3].

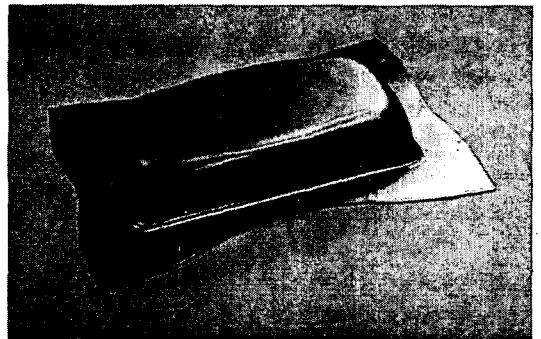


Fig. 5 (a) Deformed parts of rectangular cup by hydroforming process of sheet metal pair at 200 bar

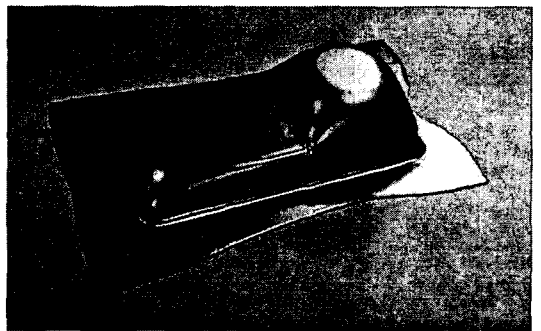


Fig. 5 (b) Deformed parts of oil pan by hydroforming process of sheet metal pair at 200 bar

박판페어의 하이드로포밍 공정으로 성형된 제품의 두께 변형을 분포를 살펴보기 위하여 사각형 컵 제품에 대해서 장축(major axis) 방향으로의 두께 변형률을 측정하여 fig. 6에 표시하였다.

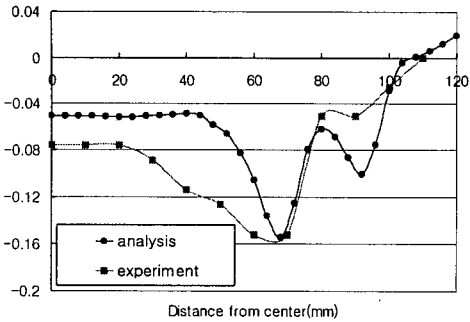


Fig. 6 Thickness strain along the major axis of rectangular cup

Fig. 6에서 볼 수 있는 바와 같이 기존의 컵 드로잉 공정에서는 거의 발생하지 않는 중앙부의 변형이 유도되었으며 이로 인해 두께 변형률의 분포가 전체적으로 균일해 진 것을 볼 수 있다.

박판 페어 사이의 완전한 밀폐를 위하여 블랭크 홀딩력을 크게 하면, 재료의 유입이 제한되므로 성형성이 떨어질 수 있다. 그러므로 재료의 드로우-인을 극대화하면서 밀폐의 효과를 거두기 위해서는 밀폐 시스템에 탄성체 등과 같은 압력에 적용할 수 있는 요소가 필요하다.

5. 결론

다양하고 복잡한 박판 제품을 성형하기 위하여 많은 공정이 개발되고 있는 가운데, 제품의 경량화 및 고강도화를 위하여 강판 및 알루미늄 재료에 대해 하이드로포밍 공정이 적용, 개발되고 있다. 박판 페어를 동시에 성형하면서 기존의 성형 공정보다는 성형성이 뛰어난 박판 페어의 하이드로포밍 공정을 개발하기 위한 과정에서, 설계에 필요한 인자를 결정하기 위해 일반적으로 널리 이용되고 있는 수치적인 접근을 통해 제품의 형상은 물론 압력 유니트의 사양을 결정하였다.

해석 결과를 바탕으로 제품의 형상을 결정하고 압력 시스템과 밀폐 시스템의 설계를 통해 박판 페어의 하이드로포밍 공정을 개발하였다. 이렇게 구성된 성형 시스템을 이용하여 박판 페어의 하이드로포밍 성형 실험을 다양하게 수행하여 본 공정의 특성을 파악하였다. 향후에는 실제 생산되고 있는 제품에 적용하여 본 공정의 생산성을 평가하고 성형성을 더욱 더 개선시킬 수 있는 노력이 필요하다.

참고 문헌

- (1) W.Leitermann, K.-H. von Zengen, P.Dick, 1999, "Innovative forming technologies for space frames", *Advanced Technology of Plasticity*, Vol. II, p. 1165-1170.
- (2) D.Schmoeckel, C. Hielscher, M.Prier, 1999, "Developments and perspectives of internal high-pressure forming of hollow sections", *Advanced Technology of Plasticity*, Vol. II, p. 1171-1182.
- (3) P.Hein, M.Geiger, 1999, "Advanced process control strategies for the hydroforming of sheet metal pairs", *Advanced Technology of Plasticity*, Vol. II, p. 1267-1272.
- (4) K.Siegert, M.Haussermann, B.Losch, R.Rieger, 2000, "Recent development in hydroforming technology", *Journal of Materials Processing Technology*, p. 251-258.
- (5) Y.C.Chang, L.P.Lei and B.S.Kang, 2001, "Finite element analysis of hydroforming process for sheet metal pairs", *Simulation of Materials Processing(Proceeding of NUMIFORM)*, p. 873-877.