

Side Member 관재 하이드로포밍 성형해석

박재현* · 최이천* · 오영근*

Forming Analysis on the Tubular Hydroforming of Side Member

J. H. Park, Y. C. Choi, and Y. G. Oh

Abstract

In recent years, hydroforming technology has been one of the most important technology in automotive industry in the points of weight saving, cost reduction and quality improvement. However, compared with traditional metal forming technology, hydroforming has much fewer information in experience and empirical knowledge. But we don't have any sufficient time and money to produce hydroforming products using real blank directly. Therefore Simulation is essential in hydroforming technology developement. In this paper, we simulate the side member as the tubular hydroforming technology. The manufacturing process of side member consists of pre_bending, pre_forming, and hydroforming of a thin tube. Variables such as internal pressure, end feeding, and tool geometry are optimized to improve the forming safety. And we simulate side member according to several lubricant conditions. From those simulations, we find that strain distributions can be reduced well by internal pressure and end feeding control, and lubrication is the most important thing in hydroforming process.

Key Words : Hydroforming, Simulation, Internal pressure, End feeding, Lubricant condition

1. 서 론

하이드로포밍(Hydroforming)은 판재(sheet)나 관재(tube)를 수압을 이용하여 다이 캐비티(die cavity) 내에서 원하는 형상으로 성형하는 기술이다. 이 공법은 사용되는 블랭크(blank) 종류에 따라서 판재 하이드로포밍과 관재 하이드로포밍으로 나뉜다. 하이드로포밍 공법이 소개된 것은 20세기 초 이지만, 주요 기술적인 발전은 1980년대 이후에 이루어졌다.⁽¹⁾ 최근에는 관재 하이드로

포밍이 자동차 회사에서 가장 관심을 갖는 사항으로 부각되고 있다.⁽²⁻⁶⁾ 관재 하이드로포밍은 자동차 body-in-white 부품 중 폐구간을 요하는 structural/frame member에 가장 적합하므로 혁신적인 공간을 요하는 프레임 구조를 실현하는데 필수적이다. 하이드로포밍 공법은 고강도를 요하는 부품, 공정단축을 요하는 부품, 경량화를 요하는 부품에 용이하다. 일반적인 박판성형공법으로는 수 차례의 스탬핑과 그에 따른 부품의 용접이 수반되어야 하는 부품을, 하이드로포밍 공법으로는 단 하나

* 기아자동차 생기개발팀

의 다이로써 복잡한 형상의 부품제작이 가능하다. 이렇게 함으로써, 많은 부품수를 감소할 수 있고, 점용접과 같은 공정수도 감소시킬 수 있다. 부품수와 공정수를 감소하여 얻을 수 있는 가장 직접적인 장점은 - 물론 스탬핑 금형에 비해서 하이드로포밍 다이가 비싸다는 것을 고려해야지만 - 성형과 조립에 소요되는 비용을 절감할 수 있다는 것이다. 또 하이드로포밍 공법은 제품의 고강도와 경량화를 동시에 만족시킬 수 있고, 치수 정밀도를 높일 수 있으며, 소재 수율면에서도 기존 박판성형에 비해 우수한 효과를 얻을 수 있다. 그러나 하이드로포밍 공법을 적용하려면 새로운 공정과 금형설계가 불가피하다. 자동차 산업에서 body engineer는 기존의 박판성형공법에 익숙하다. 이 분야는 수 십년에 걸쳐서 많은 경험들이 "trial-and-error" method⁽⁷⁾를 통해서 축적되어 왔고 또한 이러한 경험들을 바탕으로 지난 수 년에 걸쳐 유한요소법을 통한 박판성형해석 소프트웨어가 급속도로 발달하여 실제 프레스성형성 판단에 활발히 이용되고 있다.⁽⁸⁻¹⁰⁾ 이에 비해서 하이드로포밍 공법의 경우 최근에서야 관심사항으로 부각되어 공법이나 금형설계에 이용할만한 실험적 지식이나 노하우는 매우 한정되어있다. 게다가, 최근에 이르러 기존의 박판성형해석 소프트웨어에서 하이드로포밍 공법을 시뮬레이션 할 수 있도록 개선된 실정이다. 하이드로포밍 공법에서는 "trial-and-error" method에 의해서 공법을 설정하고 최적화하기에는 너무나 많은 비용과 시간이 소요된다. 그러므로 하이드로포밍 부품과 연관된 개발기간과 비용을 절감하기 위해서 하이드로포밍 공법을 수치적으로 시뮬레이션하는 것이 더욱 절실하다. 이에 본 연구에서는 기존의 프레스성형 후 용접으로 제작하던 RV-Car 프레임의 Side Member를 하이드로포밍 공법으로 전환하는 일환으로 성형해석을 통하여 공법적용 가능성을 검토하고자 한다.

2. 분할프레임 및 공정설계

2.1 분할프레임

Fig. 1은 RV-Car에 현재 사용되는 프레임의 Side Member 형상이다. 초기 블랭크를 Fig. 1의 단면과 같이 C자형 부품으로 프레스 성형한 후 이를 용접하여 폐단면을 형성한다. 이러한 구조는 프레스 성형시 대형 프레스가 요구되고 용접시 열변형이 심하여 제품개발에 많은 어려움을 겪고 있다. 반면 일체형 Side Member를 전반부와 후반부로 나누어 각각 성형한 후 용접하는 분할 프레임 구조의 개발이 선진국에서는 활발히 진행되고 있다. 분할프레임을 적용하면 Pick-Up, SUV, 및 VAN등

다양한 차종의 변화에 대응할 수 있고, 따라서 하나의 제품으로 다수의 차종에 적용할 수 있으며, 필요한 부위를 최적화하여 국부적 강도보강이 용이하고 블랭크 소재 수율을 향상할 수 있다. 본 연구에서는 분할프레임 구조에서 Side Member 전반부의 폐구간을 하이드로포밍으로 설계하여 경량화 및 충돌성능을 높이고자 한다. Fig. 1의 점선은 Side Member 중 고강도를 요하고 다차종의 공용화를 꾀할 수 있으며 비교적 양호한 성형성을 기대할 수 있는 부분으로 하이드로포밍 공법 적용 부분이다.



Fig. 1 Side Member of a RV Car and Hydroformed Part(Dot Ellipses)

2.2 공정설계

RV-Car의 한 부품인 프레임의 Side Member를 하이드로포밍 공법으로 적용하기 위한 공정을 다음과 같이 설계하였다. 초기 소재를 Pre_Bending한 후, Pre_Forming 공정을 통해 소재가 하이드로포밍 다이에 삽입되고 적절한 성형 단면을 형성하도록 하였다. 이후 Pre-Forming한 소재를 하이드로포밍 다이에 위치시킨 후 유체를 유입시키면서 적절히 피딩(Feeding)하여 하이드로포밍 성형한다. 관재 하이드로포밍 공정은 Fig. 2에 도시하였다.

성형해석에 사용된 관재는 길이 2020(mm), 외경 ϕ 114.3(mm), 두께 2.6(mm)인 SAPH40강으로 소재특성은 Table 1과 같다.

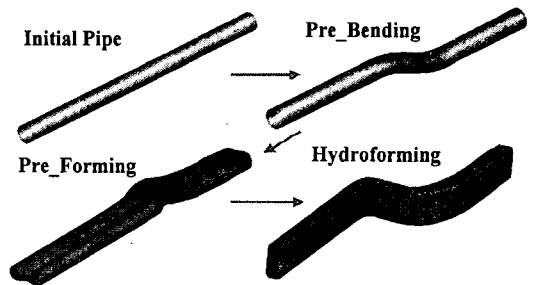


Fig. 2 Hydroforming processes

Table 1 Mechanical properties of applied specimen

	Material Property				n
	TS(kg/mm ²)	YS(kg/mm ²)	EL(%)	EU(%)	
SAPH40	42.92	37.77	39.6	20.63	0.192

3. 하이드로포밍 성형해석

3.1 Pre_Bending

Pre_Bending은 Multi-Bending을 고려하여 다이밴딩(Die_Bending)으로 설계하였다. 다이밴딩은 밴딩 다이를 제작해야 하는 부담이 있으나, 성형성과 생산성의 증대를 모색할 수 있다. Pre_Bending 금형은 Fig. 3과 같다 그림에서 좌측 상형과 하형은 고정되어 있고 우측 상형과 하형이 동시에 하강하면서 Multi-Bending한다.



Fig. 3 Pre_Bending Tool

Pre_Bending 해석결과는 Fig. 4와 같다. strain은 5% 미만으로 매우 양호하고 Section A-A에서 보듯이 우측 상형이 하강하면서 초기 파이프 단면인 원의 형상에서 약간 벗어났으나 비교적 양호하다.

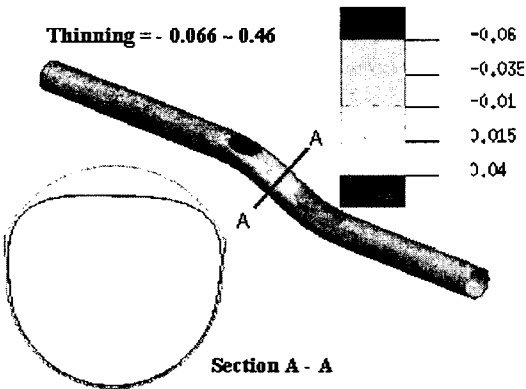


Fig. 4 Results of Strain Distribution and Section in Pre_Bending

3.2 Pre_Forming

Pre_Forming 금형은 Fig. 5와 같다. Pre_Forming 금형도 다이밴딩으로 설계하였다. Pre_Bending한 단품을 Pre_Forming 금형에 안착시킨 후 좌측 하형을 고정시키고 좌측상형이 하강한다. 이 후 우측 상형이 우측 하형과 접촉하도록 하강하고 다시 우측 상형과 하형이 접촉한 채로 하강하여 좌측 하형에 접촉하여 Pre_Forming 성형완료 한다. 이렇게 성형하여, 하이드로포밍 다이에 안착되도록 하며 확관이 유리한 단면을 형성할 수 있다.

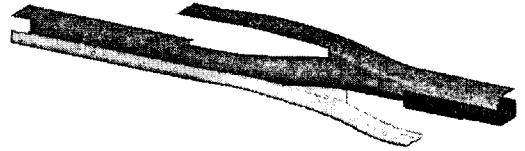


Fig. 5 Pre_Forming Tool

Pre_Forming 성형해석결과는 Fig. 6과 같다. 이 결과는 Pre_Bending strain 정보를 포함하며 strain은 6% 미만으로 Pre_Forming에 의한 strain 변화는 그다지 크지 않다. Section B-B에서 보듯이 하이드로포밍 공정에서 확관시 유리한 단면형상을 얻을 수 있다.

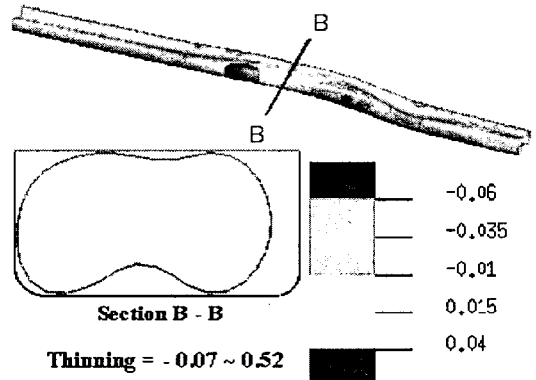


Fig. 6 Results of Strain Distribution and Section in Pre_Forming

3.3 하이드로포밍

하이드로포밍 금형은 Fig. 7과 같다. 그림에서 하이드로포밍 다이 양 끝에 Axial Feeder를 설치하여 이를 통해 유체를 삽입하고 소재를 피딩(Feeding)한다. 유체의 압력곡선은 Fig. 8에서 보듯이 일정구간에서 유체가 관내에 유입되면서 약간 확관되도록 약 20MPa로 유지한 후 150MPa 까지 압력을 증가하여 완전히 확관되도록 압력조절을 하였다. 20MPa로 유지되는 구간에서 서서히 axial feeder를 이용하여 소재를 피딩시키고 150MPa까지 급격히 압력이 증가되는 구간에서 피딩양을 더욱 증가하여 확관부에서의 strain의 증가를 억제하여 크랙을 예방하였다. 하이드로포밍시에 원활한 피딩을 위하여 원활하다는 가정하에서 마찰계수를 0.05로 설정하였다. Fig. 8는 압력-피딩조건을 나타낸다.

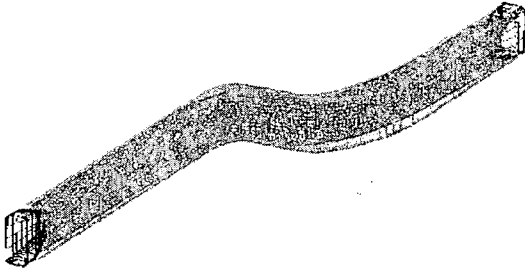


Fig. 7 Hydroforming Tool

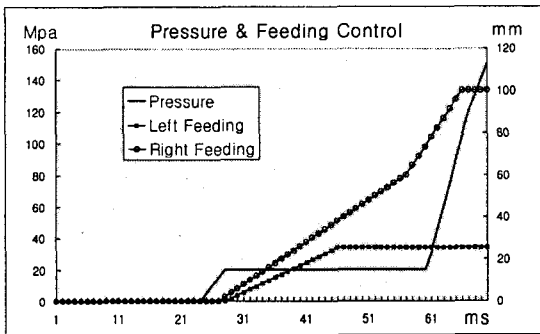


Fig. 8 Internal Pressure and End Feeding control

하이드로포밍 성형해석 결과는 Fig. 9과 같다. strain이 약 30%이내로 양호하나 양 끝단에서 40%가 넘게 두께가 증가하였는데, 이는 확관이 거의 완료된 시점에서 Feeding이 일어난 결과로 하이드로포밍 성형 후에 양 끝단을 절단하여 해결할 수 있다. 30%에 달하는 strain 분포를 보이는 부분은 확관률이 큰 굴곡부위이고 이 부위를 제외하면 약 20% 미만의 strain 분포를 보이고 있다.

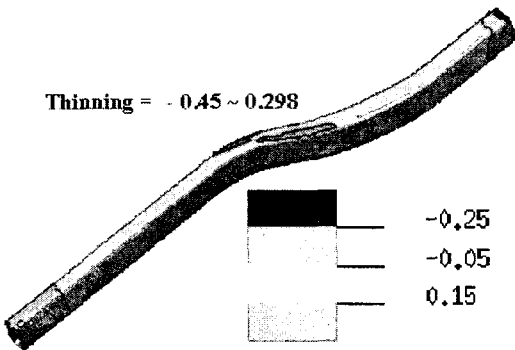


Fig. 9 Result of Strain Distribution in Hydroforming

Fig. 10은 소재에 대한 FLD선도와 10% 안전율을 고려한 FLD선도에 따른 하이드로포밍 성형해석 Membrane

Strain 분포를 나타낸다. 국부적으로 10% 안전율을 고려한 영역을 초과하는 곳도 있으나 비교적 성형 안전 영역에 strain이 분포되어있다.

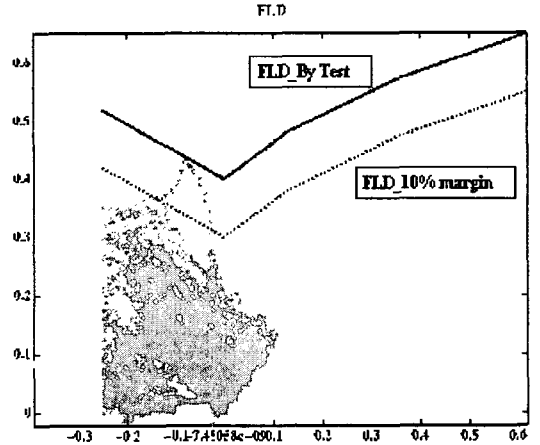


Fig. 10 FLD Curves and Membrane Strain Distribution

3.4 마찰조건에 따른 하이드로포밍 성형해석 비교
 윤활 조건에 따른 성형해석 결과를 Table 2에서 보여준다. 하이드로포밍 성형시에 윤활은 피딩을 보다 원활하게 하여 확관시에 strain을 감소시키는 작용을 한다. 따라서 윤활 조건에 따라 현격한 결과차를 야기할 수 있다. 본 연구에 사용된 성형해석 상용 프로그램인 PAMSTAMP의 경우 윤활 조절은 마찰계수에 따라 결정되며, 완전윤활의 경우 0.03으로 설정하고 무윤활의 경우 0.15로 설정한다. 이에 본 연구에서 마찰계수를 0.03, 0.05, 0.07, 0.1로 해석하여 비교하였다. 마찰계수에 따른 최대 Thinning 해석결과를 Table 2에서 보여준다.

Table 2 Maxium thinning rates according to four friction coefficients

Friction coefficient	0.03	0.05	0.07	0.1
Thinning	0.197	0.298	0.296	0.372

4. 결론

RV-Car의 Side Member를 하이드로포밍 공법으로 전환하기 위한 공정검토의 일환으로 행한 성형해석의 결과는 다음과 같다.

(1) Pre_Bending 성형단계에서 상형이 하강하며 하형

의 Tool과 접촉하는 과정에서 초기 소재가 완벽한 원형을 유지하지 못하지만 원형에 크게 벗어나지 않으므로 Pre_Bending에 합당한 결과를 얻을 수 있었다.

(2) 하이드로포밍 다이에 소재를 안착시키고 확관에 유리한 단면이 되도록 Pre_Forming 성형단계를 적용하였다.

(3) 하이드로포밍 성형단계에서는 유압과 피딩의 적절한 조절로 우수한 확관율과 성형성을 확보할 수 있었다.

(4) 해석상 윤활과 관련된 마찰계수에 따라 매우 큰 결과차이를 보였다. 따라서 마찰계수의 설정이 매우 중요한 것으로 사료된다. 그러나 윤활조건은 실제 Trial을 통해서 알 수 있는 사항이므로 향후 하이드로포밍 공법 적용에 가장 결정적인 요인으로 예상된다.

참 고 문 헌

(1) Mason, M., 1993, "Hydroform Tubes for Automotive Body Structure Applications", SAE Technical Paper No. 930575.
 (2) Shah, S. and Bruggemann, C., 1994, "Tube Hydroforming-Process Capability and Production Applications." Proceeding of Body Assembly & Manufacturing, IBEC '94, pp. 26~30.
 (3) Ni, C. M., 1994, "Stamping and Hydroforming Process Simulations with a 3D Finite Element Code", SAE Technical Paper No. 940753.
 (4) Chang, D. I., Nees, R. and Morin, M., 1996, "Application of Hydroforming Technology for

Exhaust Manifolds.", SAE Technical Paper No. 960804.

(5) Potter, L., 1996, "Hydroforming Applications.", Proceedings of Body Assembly & Manufacturing Conf., IBEC '96, pp. 102~108.
 (6) Vanker, R. W., Singh, K., Atkinson, C. J., Viviano, J. and Horton, F. A., 1996, "High Pressure Hydroforming Process : Application to Radiator Support.", Proceedings of Body Assembly & Manufacturing Conf., IBEC '96, pp. 118~120.
 (7) Keeler, S. P., 1990, "Fifty Years of Sheet Metal Formability - Has Science Replaced Art?", SAE Technical Paper No. 900513.
 (8) Guida, M., Li, X., Messina, A. and Strona, P. P., 1994, "Industrial Integrated Methodology for Deep Drawing Process Optimization by Numerical Simulation.", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 45, pp. 323~328.
 (9) Li, X. and Messina, A., 1995, "Advanced Information Technology Implimentation in Car Body Engineering at Fiat : From Standalone Application towards Integration.", Proceedings of Advanced Technologies & Processes Conf., IBEC '95, pp. 21~28.
 (10) NUMISHEET '96 Proceedings, 1996, " Numerical Simulation of 3-D Sheet Metal Forming Processes - Verification of Simulations with Experiments.", edited by Lee, J. K., Kinzel, G. L. and Wagoner, R. H., Dearborn, USA.