

하이드로포밍 기술을 이용한 자동차 샤시 부품 개발

이동화* · 서창희* · 이우식* · 박병철*

Development of Automotive Chassis Parts Using the Hydroforming Technology

D. H. Lee, C. H. Suh, W. S. Lee and B. C. Park

Abstract

In the present study, front lower arm and engine cradle which are automotive chassis parts were developed using the hydroforming technology. For systematic establishment of parts development process, material properties of tube were reflected at the start of design and problems of initial design drawing were solved by forming analysis. Design and manufacturing technology of hydroforming die were established and the relationship between internal pressure and feeding stroke was studied during try-out. Durability and buckling strength of hydroformed parts were estimated.

Key Words : Hydroforming, Lower Arm, Engine Cradle, Forming Limit Diagram, CAE Analysis, Die Design, Durability Test, Buckling Test

1. 서 론

오늘날 자동차에 대한 요구는 외관, 주행 성능, 승차감, 안전성, 연비 및 환경문제 등 다양한 면으로 확대되고 있다. 이에 대응하여 미국, 일본, 유럽 등의 선진 자동차 업계에서는 경쟁력 확보를 위하여 고안전 차체의 설계, 경량화 등의 신기술 개발에 계속 박차를 가하고 있는데 하이드로포밍(hydroforming), 레이저 용접 판재(Tailor Welded Blank : TWB), 경량 알루미늄 차체 개발 등이 그 대표적인 예이다. 최근 몇 년간 하이드로포밍 기술은 선진국을 중심으로 널리 사용되기 시작하고 있으며, 많은 발전을 거듭하고 있다⁽¹⁾. 우리 나라에서도 최근 몇 년간 하이드로포밍 기술에 대한 연구개발에 지

속적인 관심이 고조되고 있다.

하이드로포밍 기술은 종래의 프레스 성형방식과는 완전히 다른 개념으로 원형 강관의 안쪽에서 수압을 가함으로 강관을 팽창 성형하여 원하는 모양의 차체 골격을 제작하는 방식이며 기존의 프레스 제품에서 얻을 수 없었던 차체 강성의 증가, 제조 공정 및 부품수 감소, 금형의 절감 등의 다양한 이점이 있다. 따라서 lower arm, subframe, cross member, pillar류 등 자동차의 바디(body) 및 샤시(chassis) 부품에 주로 적용되어 자동차의 경량화 및 성능 향상에 기여하고 있다⁽²⁾.

하이드로포밍 기술은 제품설계, 공정설계 기술로 나뉘어질 수가 있으며 공정설계에도 Bending, Pre-Forming, Hydroforming, Piercing등의 다양한 분야가 있으며 이에

* (주) 화신 기술연구소

대한 국내의 연구와 경험이 아직 미흡한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 하이드로포밍을 활용한 부품개발과 성형기술의 체계적인 정립을 위해 subframe 및 lower arm의 제품 설계, 구조 및 성형해석, 공정설계, 제품 try out 등을 수행하였다.

2. 본 론

2.1 제품 설계

하이드로포밍 공법은 기존 프레스성형 공법과는 많은 차이가 있으며, 하이드로포밍 공법으로 성형이 가능하도록 설계가 이루어져야 한다. 당사에서 개발된 Subframe의 경우, subframe의 front부는 하이드로포밍 공법을 적용하였으며, rear부는 프레스 공법을 적용하여 볼트로 체결한 분리형 subframe을 개발하였다. 이러한 형태의 Subframe은 차량의 정비성의 향상과 하이드로포밍 성형성의 확보 차원에서 장점이 있다. 그리고 전체적인 확관율은 10% 미만을 유지하도록 설계하였다. lower arm의 경우는 제품의 생산성을 높이기 위해 LH/RH 일체형으로 구성된 것을 하나의 공정에서 함께 생산되도록 설계하였다. Fig. 1은 설계된 제품의 형상을 나타내었으며 사용된 pipe소재는 SAPH38P이고, 사양은 subframe의 경우 $\varnothing 69$, 2.0t, lower arm의 경우 $\varnothing 54$, 2.6t이다.



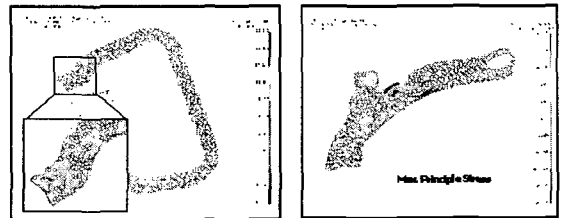
(a) Subframe (b) Lower arm
Fig. 1 Hydroforming Designed 3D Model

2.2 CAE Analysis

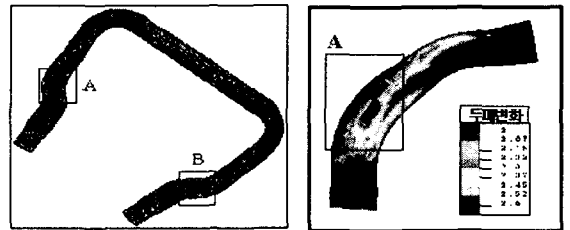
하이드로포밍 공법이 적용 가능한 형상으로 설계된 subframe 및 lower arm의 구조강도를 알아보기 위해 NASTRAN을 사용하여 구조해석을 실시하였다. 제품의 구조해석을 위해 소재의 확관에 따른 제품의 thinning현상을 먼저 고려하였으며, 이 결과를 토대로 제품의 두께 편차를 위치별로 달리 적용하여 구조해석을 실시하였고, 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. Subframe은 기능적인 특성상 front부에서는 큰 하중의 집중을 볼 수 없었으며, Lower arm이 체결되는 부위인 볼팅 연결부에 응력이 집중되었고, 이 부분에 대한 보강을 실시하였다. Lower arm의 구조 해석 결과, 최대 응력의 발생 지점과

응력값의 크기가 기존 프레스폼 설계에서와 유사하였다.

제품의 성형성을 검토하기 위해 성형해석을 Bending, Preforming, Hydroforming의 순으로 수행하였다. Fig. 3은 성형해석 결과를 나타내며 해석결과 subframe과 lower arm 모두에서 bending이 심한 부분(A, B)에서 파단의 발생이 예상되어졌다. 일반적으로 시작품 제작시는 안정적인 조건 확보를 위해 계산된 FLD값 보다 낮은 값을 적용하여 성형한계 기준치로 사용하였다. 계산 결과, 파단의 발생을 억제하기 위해 확관을 및 제품 모서리의 곡률 등을 고려하여 재설계를 실시하여 이러한 문제점들을 다소 완화될 수 있도록 설계 변경을 실시하였다.



(a) Subframe (b) Lower arm
Fig. 2 Structural analysis of developed parts



(a) Subframe (b) Lower arm
Fig. 3 Forming analysis of developed parts

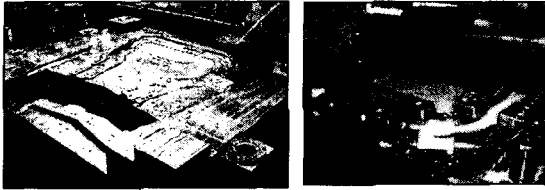
그리고, 실제 성형 try out시 tube 내압과 feeding량과 같은 성형 공정 인자를 적절히 조절하여 성형시 문제가 예상되는 부위의 결함을 조절하는 공법을 병행하였다.

2.3 금형 설계 및 제작

하이드로포밍 공정의 특성상 고압의 물을 이용하므로 공정 try out시 발생할 제반 문제점들을 금형의 설계에서부터 적극 고려하였다. 특히 제품의 thinning현상을 최소화시키기 위하여 제품의 feeding부에서 축방향의 feeding을 용이하도록 하기 위하여 feeding punch부의 형상, feeding 축의 중심선 정렬 등을 고려하여 설계를 행하였다. 그리고 팽창된 파이프의 금형내 짓눌림 현상을 최대한 억제하기 위하여 steel block을 설치하였다. 이러한

block들은 초기 팽창시 금형 형상부 밖으로의 팽창을 최대한 억제시키는 역할을 담당한다.

금형의 재질은 S45C를 사용하였으며 내부 표면은 마찰 계수를 최소화하기 위하여 Cr도금을 실시하였다. Fig. 4는 제작된 금형의 형상을 나타낸다.

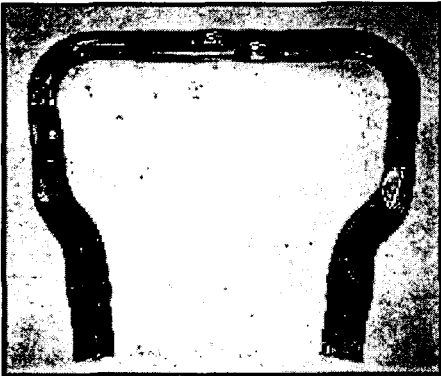


(a) Subframe (b) Lower arm

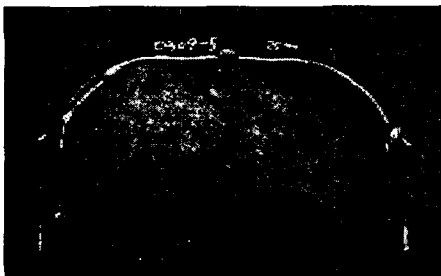
Fig. 4 Manufactured Hydroforming dies

2.4 제품 Try Out

단면적이 큰 subframe의 경우는 유압프레스의 용량이 커져야 함으로 5000ton의 대용량 프레스를 사용하였으며, lower arm의 경우는 2500ton 프레스를 사용하여 try out을 실시하였다.



(a) Subframe



(b) Lower arm

Fig. 5 Developed Hydroforming parts

하이드로포밍 공정시 중요한 공정변수인 내부압력과 axial feeding양을 조절하면서 최적의 성형 조건을 선정하여 try out을 실행하였다. Try out시 형상이 급격히 변화되는 부위와 bending된 부분에서 내압이 상승시 간헐적으로 발생하는 burst 현상은 내부 압력과 axial feeding양을 적절히 조절하면서 최적의 성형조건을 찾아 burst를 방지하였다. 또한, burst 부위에 테프론 tape이나 윤활을 시켜주어 Die 내부 마찰력을 최소한으로 낮추어 주기도 하였으며, Fig. 5에서는 제작된 시작품의 형상을 나타내었다.

2.5 조립 및 시험

하이드로포밍으로 성형된 파이프 subframe의 경우 front부와 rear부분을 볼트로 결합한 후 각종 브라켓 (bracket)들을 용접하였으며, lower arm의 경우는 성형된 파이프에 브라켓들을 용접하여 제품을 완성하였다. Fig. 6에 각종 브라켓들이 용접된 최종 subframe의 형상을 나타내었다.

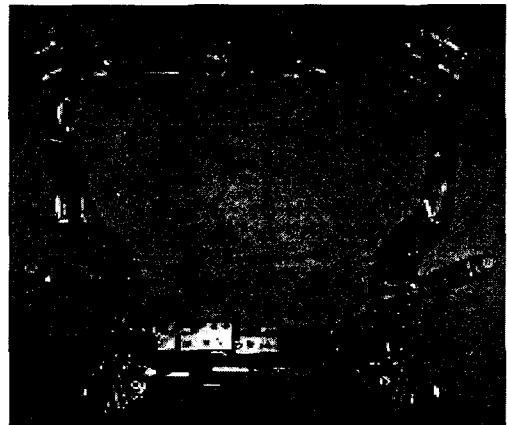


Fig. 6 Assembled subframe



Fig. 7 Fatigue durability test of lower arm

각각의 부품들은 좌굴 시험과 내구 시험을 실시하여 양산 중인 프레스 성형 제품들과 그 실험치를 비교 검증하였다. Subframe 내구 시험 결과는 프레스품과 유사한 수명을 나타내었다. Lower arm은 좌굴 시험 결과, 좌굴이 기존 프레스 타입의 좌굴 부위와 유사한 부분과 값을 나타내었다. 내구 시험 Sett'g 사진을 Fig. 7에 나타내었으며 내구 수명은 양산품의 시험 규격을 만족하였다.

3. 결 론

하이드로포밍 공법을 실제 제품의 양산에 적용하기 위해 제품 생산시의 문제점을 예상하고 생산 공정 기술을 축적하기 위하여 시작품을 제작하는 과정을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 하이드로포밍용 제품을 설계시 그 성형성을 고려하여 설계하여야 하며 성형 해석과의 연계를 통해 최적의 설계안을 도출하였다.

(2) 제품의 try out시에 예상되지 못한 파괴가 발생하였으며 이러한 문제들은 내부 압력과 feeding양 등의 성형 공정 변수를 조절하며 적절한 윤활을 적용함으로 해결되었다.

(3) 제품의 좌굴 강도 및 내구 시험 결과, 기존의 양산품과 유사한 결과를 나타내었다.

참 고 문 헌

- (1) F, Dohmann and C. Hartl, 1996, "Hydroforming - A method to manufacture lightweight parts", Journal of materials processing technology, Vol. 60, pp. 669~676.
- (2) 1st International hydroforming congress, 1997. Nov 4~5, Bochum, Germany.
- (3) Gary Morphy, 1999, "Design flexibility for hydroformed automotive structural parts", SAE technical paper, 1999-01-0422.
- (4) Longwu Wu and Yong Yu, 1996, "Computer simulation of forming automotive structural parts by hydroforming process", Proceedings of NUMISHEET'96, pp. 324~329.
- (5) Xia, Z.C., 2000, "Burstion for tubular hydroforming", SAE paper #2000-01-0770, in SAE SP-1536, pp. 41~47.