

하이드로포밍 부품 적용 및 기술 개발 현황

서만석·김덕환

(현대자동차 롤링센터 금형기술개발팀)

Trends and Automotive Applications of Hydroforming

M. S. Suh and D. H. Kim

Abstract

Recently, design concepts of vehicle will have to consider the safety and economy of fuel consumption. The hydroforming technology has applied to increase strength, and to decrease weight, cost and part count. The hydroforming has been recognized as general technique in automotive industry. This paper deals with the trends of automotive application of hydroforming, new hydroforming technologies, facilities.

Key Words : Tubular Hydroforming, Sheet Hydroforming, Tailor Welded Tube, Conical Tube

고안전 경량차량에 관한 연구는 운전자의 안전성, 환경문제 및 에너지 절약에 관한 규제가 강화되고 있기 때문에 이러한 규제를 만족시키고 타 자동차사 보다 경쟁력을 갖추기 위해 전 세계 자동차사들이 앞다투어 수행하고 있다. 차체에 적용되고있는 하이드로포밍(Hydroforming), 용접 블랭크(Tailored Blank), 차체 레이저 용접, 알루미늄 및 마그네슘과 같은 경량 소재의 적용 기술 개발이 경량화를 위한 대표적인 기술 개발 사례들이다. 현재 용접 블랭크는 전세계 자동차사에서 거의 다 적용하고 있다. 현대자동차에서도 2006년이면 연간 800만매 이상의 용접 블랭크가 사용되어질 전망이다. 하이드로포밍 공법은 배기계관련 부품의 제작에 많이 사용되었으나, 1999년 이후 샤시 부품 제작에 많이 적용되었으며, 현재는 차체 부품 제작에 적용하기 위한 기술개발이 활발히 이루어지고 있다. 그리고, 하이드로포밍 공법은 알루미늄 스페이스 프레임(Space Frame) 제작 시 벤딩 소재의 정도를 높이는 방법으로도 많이 사용되고 있다. 이 논문에서는 하이드로포밍에 관한 일반적인 기술보다는 현재 하

이드로포밍에 관련된 신기술 개발 내용을 정리하고자 한다.

1. 서론

하이드로포밍은 크게 2가지로 나눌 수 있는데, 관재를 이용하여 성형하는 방법과 판재를 이용하여 성형하는 방법이 있다.

그림 1 에서 두가지 방법의 장단점 및 적용 가능한 부품을 정리해 보았다. 현재 관재 하이드로포밍 부품은 전세계 자동차사에서 가장 많이 사용하고 있는 추세이며, 그 적용 부품이 확대되고 있다.

초기에 하이드로포밍은 Exhaust Manifold와 같은 배기계 부품에 주로 적용되었으나, 점차 Engine Cradle을 비롯한 샤시 부품에 그 적용이 확대 되었다. 현재는 차체 부품으로 그 범위가 차츰 확대 되고 있다. 그러나, 판재 하이드로포밍(Sheet Hydroforming)은 후드, 루프 및 도어 패널에 일부 개발되어 있는 실정이다.

현재 하이드로포밍은 차체 설계부문에서 차체 경량화를 목적으로 사용되고 있으나, 생산 기술 측면에서는 부품수를 감소시켜서 조립 공정을 단순화 할 수 있으며, 조립 정도를 향상시킬 수 있는 효과가 있다. 관재를 이용한 하이드로포밍을 기존 프레스 공법과 비교해보면 그림 2와 같다.

프레스 성형공법은 하나의 완성품을 만들기 위하여 3~5공정이 필요하며, 성형된 부품을 조립하기 위해서 스폿(Spot)용접 또는 Co₂용접 방법을 사용한다. 또한 용접을 하기 위해 플랜지면이 있어야 하므로 조립 부품의 무게는 증가하게 된다. 그러나 하이드로포밍은 프레스성형과 같은 다수의 공정이 줄어들고 플랜지면이 불필요함에 따라 경량화 효과를 높일수 있다.

그림 3은 관재를 이용한 하이드로포밍 부품중 가장 많이 적용되고 있는 엔진 크래들(Engine Cradle)에 관하여 기존 프레스 공법과 하이드로포밍 공법을 비교한 것이다. 엔진 크래들은 하이드로포밍 공법을 사용했을 때, 가장 큰 효과가 있는 부품으로서, Opel 자동차는 엔진 크래들을 하이드로포밍 공법으로 개발하여, 금형비 60%, 부품비 20%, 무게 30%를 감소시킨 사례를 발표한 적이 있다. 현재 세계적으로는 하이드로포밍 부품이 널리 사용되어지고 있지만, 한국의 자동차에는 크게 적용되고 있지 않는 실정이다. 그림 4는 유럽에서 하이드로포밍 부품이 적용되고 있는 현황과 향후 적용될 추이를 예측한 결과이다. 아직까지는 배기계(Exhaust Manifold)에 적용이 많이 되고 있으며, 환경규제가 강화됨으로 지속적으로 증가할 것으로 보여진다. 또한, 현재는 주로 샤시 부품에 많이 적용되고 있으나, 향후 프레임류로 적용이 확대될 것으로 예상된다. 국내에서는 ㈜윤영이 하이드로포밍 부품을 대우 자동차에 공급하고 있으며 현대 자동차에서는 향후 신차에 적용하기 위하여 적극 검토하고 있다.

2. 하이드로포밍 소재 개발

현재 유럽에서는 하이드로포밍용 소재로서 구조부를 포함한 차체부품에는 ST14, ST37, QST E300, Fe P04 소재가 많이 사용되어지고 있다. 현대 자동차에서도 하이드로포밍에 관한 기술개발을 시작한지는 10년 가까이 된다. 베르나의 서브 프레임(Sub-Frame)을 시작차에 적용하여 테스트한 후 부터, 개발이 본격적으로 진행되었다. 초기 국내에는 관재 하이드로포밍을 하기에 적합한 소재가 없었기 때문에, 구조용 강관으로 사용하던 STKM 11A가 사용되었다.

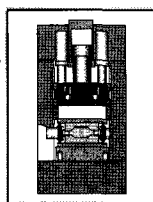
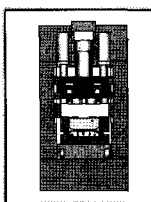
항목	Tubular Hydroforming	Sheet Hydroform
계략		
주요 공정	Pipe Cutting ↓ CNC반경 ↓ Preforming ↓ Hydroforming	Preforming (Forming방향과 반대로 유입을 가함) ↓ Hydroforming
중점	부품수 감소(금형비 감소)	금형투자비 절감
	재품정도향상	내면트(Dart)성 향상
	차체 경량화	제작시간 단축
단점	높은 초기 투자비	투자비(기존 유압 프레스 변경)
적용	설계 및 생산 기술 습득 요구됨	Process 변경(Laser Cut G요구)
부품	ENGINE CRADLE, SIDE MBR, RR AXLE	HOOD OTR, ROOF OTR, BR OTR, FENDER

그림 1 하이드로포밍 방법 비교

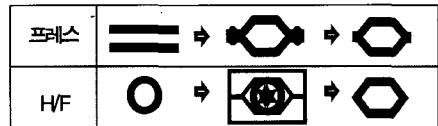


그림 2 하이드로포밍 방법 비교

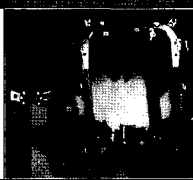
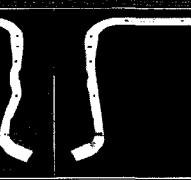
도식도		
외관	열세	양호
Part수	16	4
금형수	40 SET 이상	10 SET
용접변형	少	多
조립정도	저	고
재품률	고(60%)	고(90%이상)
조립공정수	多	少
감성	열세	우수
제품중량	열세	감소
원가절감 효과	열세	우수

그림 3 기존 공법과 하이드로포밍 비교

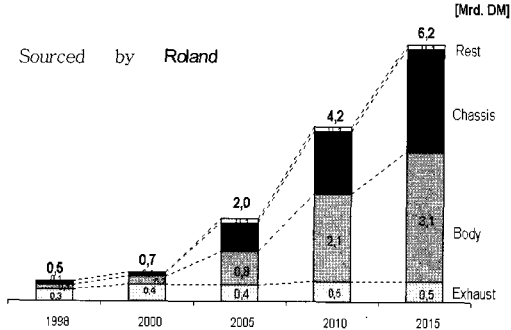


그림 4 유럽 자동차사의 하이드로포밍 부품 적용 현황 및 향후 추이

이 당시 기존 프레스 공법으로 제작하던 부품을 하이드로포밍 공법으로 변경하던 과도기 였기 때문에 전 세계적으로 균일 연신율을 20% 이상 요구하였다.

따라서 STKM 11A의 균일 연신율은 12~13%로서 지속적인 사용이 불가능하다고 판단하여, 관재 하이드로포밍에 적합한 소재 개발을 시작하였다. 국내에서는 자동차용 열연강판을 변형하여 용접성 및 성형성을 향상시킨 소재로 Ti첨가재 및 B첨가재가 대표적인 사례라 할 수 있다. 그림 5는 초기에 개발된 소재의 조직 사진을 보여 주고 있다. Ti 첨가재의 특징은 입도(Grain Size)가 조밀하고 연신율이 45%이상으로 성형성이 우수하였으나, 모재의 강도가 30kg급으로 38kg의 B첨가 재질보다 강도가 낮게 개발되었다. 현대 자동차의 하이드로포밍 공법을 사용하여 개발된 Bumper Back Beam의 소재는 Ti첨가 소재보다 연신율은 다소 낮지만, 강도를 높이기 위해 B 첨가 소재를 사용하여 개발하였다.

그후 HIV(Hydroforming Intensieve Vehicle) 및 NGV(New Generation Vehicle)을 개발하면서 자동차 강판으로 사용되고 있는 SAPH 38P 소재가 대량으로 적용되었다. 그 이유는 우선 자동차용 열연 강판은 기존 부품에 사용하고 있어 소재 변경에 대한 거부감이 적고 소재 구입이 쉬우며 연신율을 증가시키기 위하여 성분에서 부터 제조공정이 잘 관리되고 있기 때문이다. 현재 하이드로포밍 부품은 확관을 10~15% 미만으로 설계되도록 설계하는 것이 일반적이다. 최대 확관율을 줄임으로 소재에 대한 제약이 줄고, 불량률을 감소 시키며 생산성을 높일 수 있기 때문이다. 그림 6은 SAPH 38P소재를 이용하여 하이드로포밍 부품을 적용한 차체이다.

현재는 자동차용 열연 강판 이외에 차체용 고성형 냉연 강판및 고강도 강판을 이용하여 차체 부품을 하이드로포밍으로 성형하는 기술이 개발되고 있다. 두께가 얇

은 강판은 기존의 관재 제작시 사용되는 ERW용접은 사용할 수가 없고, 레이저 용접을 사용하여 제작하고 있다. 튜브 제작 방법은 그림 7과같이 프레스금형을 이용하는 방법과 롤을 이용하여 튜브를 제작하는 방법이 상용화되고 있는 대표적인 방법이라 말할 수 있다.

성형된 관재는 레이저 용접 방법으로 용접되어진다.

두께가 얇기 때문에 용접할 부위의 절단면의 형상 및 정도가 중요하다. 아래 그림 8의 용접 장비는 독일 Weill사의 박판 관재용접을 상용화하기 위하여 제작한 장비이다.

3. TWT(Tailor Welded Tube), Conical TWT 소재 개발

차체 부품중에는 특정 부위에 강성을 높이기 위해서 보강재를 삽입하여 제작하는 부품들이 많이 있다. 현재 프레스 부품들은 용접 블랭크(Tailor Welded Blank)로 많이 교체되어 적용되고 있다. 그런데 하이드로포밍으로 성형한다면 기존 관재로는 전체 두께가 증가하여 차체 중량을 증가시킬 수 있다. TWT(Tailor Welded Tube)는

항목	Ti 첨가재	B 첨가재
용접부		
열영향부		
모재		

그림 5 Ti첨가재 및 B첨가재 조직사진

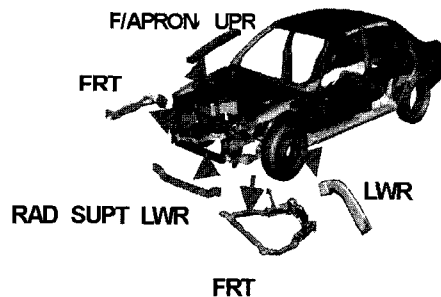
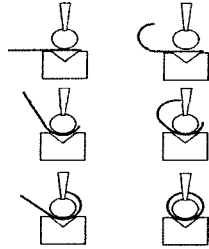


그림 6 현대자동차 HIV(Hydroforming Intensieve Vehicle)



터 필러(Center Pillar)가 있다. 센터 필러의 형상은 상단부와 하단부의 제품 단면 길이의 차이가 크다. 따라서 하이드로포밍으로 제작하기에 코니컬 형상의 관재를 사용하지 않으면 성형이 불가능하다. 그래서 그림 12처럼 관재를 제작하여 하이드로포밍을 실시하였다. 그림 13은 센터 필라를 제작하기 위해 제작된 관재로서 상단에 있는 것이 Conical TWT이며 하단에 있는 것이 Conical Tube이다.

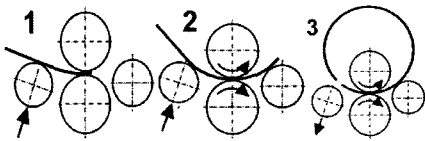


그림 7 박판 소재 관재 제작 방법

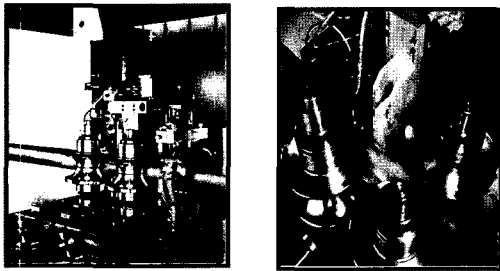


그림 8 박판 관재 레이저 용접

이러한 문제점들을 해결할 수 있는 방법으로 향후에 실용화 될 것으로 전망하고 있다. 따라서 현대 자동차에서는 선행연구 개발 개념으로 TWT에 관한 연구를 수행했으며 하이드로포밍 부품을 제작하여 시험차에 장착하여 실험하고 있다. TWT를 적용하기에 가장 적합한 부품으로는 프론트 사이드 멤버(Front Side Member)가 있다. 이 부품은 용접 블랭크가 적용된 부품으로서 하이드로포밍을 적용하기 위하여 제품형상을 일부 변경시키고 주변 부품도 변경시켰다. 그림 9는 프론트 사이드 멤버를 하이드로포밍으로 제작하기 위한 개념도이며, 그림 10은 하이드로포밍 전에 컴퓨터로 사전 해석한 결과이다.

그림 11은 하이드로포밍으로 TWT를 실제 성형한 사례를 보여주고 있다. TWT를 사용한 하이드로포밍은 용접부의 파단 및 얇은 두께부의 파단을 사전에 고려하여 설계해야 할 것으로 판단이 된다. 차체부품 중에는 동일 두께 동일외경으로 제작하기 어렵고 확관율과 두께가 동시에 고려되어야 할 부품이 있다. 대표적인 부품으로 센

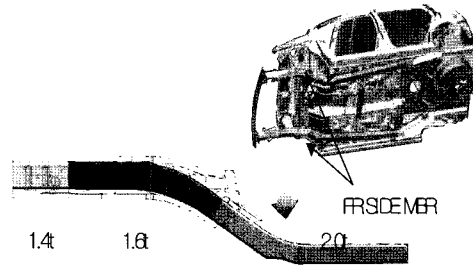


그림 9 Front Side Member TWT

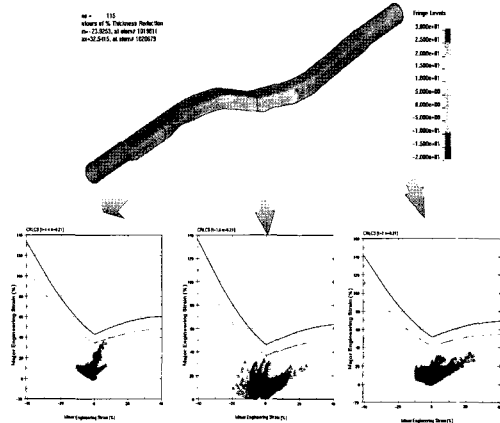


그림 10 Front Side Member TWT 성형 해석

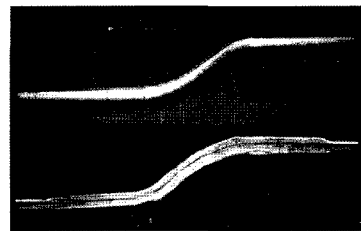


그림 11 Front Side Member TWT 및 성형품

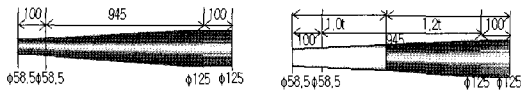


그림 12 Center Pillar 용 Conical Tube 및 Conical TWT



그림 13 Conical TWT 소재 및 Center Pillar 하이드로포밍

4. 금형 및 프레스 개발 추이

근래에는 하이드로포밍에 관한 기초 기술에 관한 연구를 비롯하여 장치에 관한 연구도 많이 하고 있다. 하이드로포밍 부품을 생산하기 위하여 대용량의 고압 발생장치(Intensifier)와 대형 유압 프레스가 필요하였다. 그리고 이 장비들은 단독 라인으로 설치되는 것이 보통이어서 기존 프레스 공법 대비 경제성 및 생산성에 관하여 많은 의문이 제기되어 왔다. 과거 국내에서 하이드로포밍 시 제품 제작을 위한 대형 고가의 하이드로포밍장비가 없어서 시제품의 제작이 불가능하였다.

현대 자동차에서는 하이드로포밍 공법으로 시제품을 개발하기 위하여 기존의 유압 프레스를 이용하고, 고압 발생 장치를 국내업체와 개발하여 하이드로포밍 시제품 제작용 장비를 보유하게 되었다. 사용할 수 있는 프레스 용량은 1500톤이며 현재 10여개 부품을 시제품으로 개발하여 차체를 제작하였다. 그러나 현대자동차에서 1차 개발한 시제품 제작용 하이드로포밍 장비로는 부품 제작에 제한이 있었다. 기존에 사용중인 유압 프레스는 프레스 금형 트라이 아웃(Try out)용으로 주로 사용하고 있기 때문이다. 그래서 1500톤 이상의 프레스 용량이 요구되는 부품을 성형하기 위해서 기존 프레스의 사양을 변경하지 않고, 하이드로포밍 부품을 성형하기 위해 그림 15 처럼 금형을 담은 후 클램프(Clamp)로 내부 압력을 지지해주는 하이드로포밍 금형을 설계하여 제작하는 방법을 시도하게 되었다. 그림 15(a)는 프런트 멤버(Front Member)를 하이드로포밍하기 위한 금형 구조도이며 그림 15(b)는 이를 바탕으로 제작한 금형으로 시제품을 하이드로포밍하는 장면이다.

하이드로포밍 프레스는 단독 고압프레스 장비에 자동

화 장비를 설치하여 라인 개념으로 꾸며지는 것이 일반적이다. 그림 16은 기존 하이드로포밍 장비와는 달리 프레스가 모듈화 되어 있으며 성형시 고압으로 금형을 지지하는 것이 아니라 프레스 구조물을 기계적으로 고정(Locking)시킴으로써 고압에 대한 반발력을 유지할수 있게 한 사례이다. 프레스가 간단하여 장비내에 자동화가 용이하도록 되어 있다.

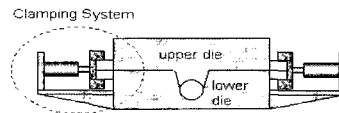
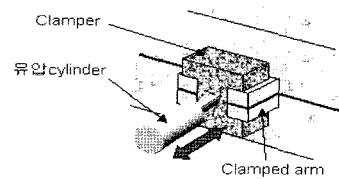
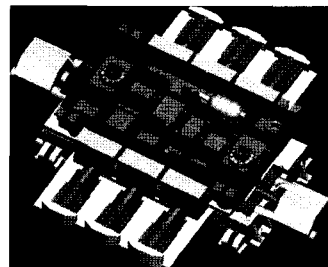


그림 14 Die Clamping Type 하이드로포밍



(a) 금형구조도



(b) 트라이 아웃 장면

그림 15 Die Clamping Type 하이드로포밍 금형도 및 실 금형



그림 16 Press Locking Type 하이드로포밍 장비

5. 판재 하이드로포밍(Sheet Hydroforming)

관재(Tube) 하이드로포밍 공법을 이용한 차체 부품은 현재 사용량이 많이 늘어나고 있다. 그러나 판재를 이용한 하이드로포밍 부품은 생산성 및 투자비 때문에 생산량이 크게 늘어나지 않고 있다. 판재 하이드로포밍은 그림 17과 같이 펀치(Punch)금형만으로 부품을 성형하는 기술로서 기존 프레스 금형 공법에서 다이측은 액압 탱크로 구성되어 있다. 금형 비용은 프레스 금형비용 보다 적게 소요되어 소량 생산 차종에 적합한 공법이다.

판재 하이드로포밍은 독일의 슈러(Schuler)사와 일본의 아미노(Amino)사에서 많은 기술을 갖고 있다. 그림 18은 후드(Hood) 및 루프(Roof)부품을 하이드로포밍으로 성형한 사례이다.

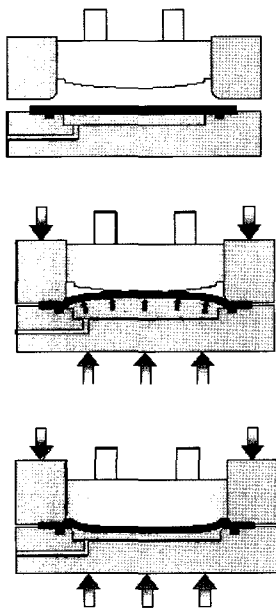
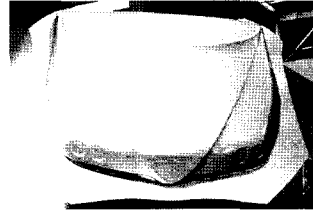
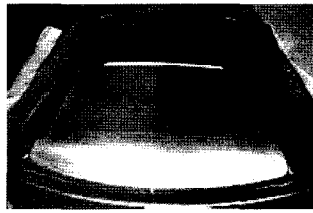


그림 17 판재 하이드로포밍 순서

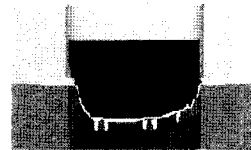


(a) Hood

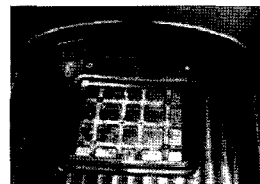


(b) Roof

그림 18 판재 하이드로포밍 부품



(a) 복합 성형 금형 구조



(b) 루프(Roof)용 복합 성형 금형

그림 19 판재 복합 하이드로포밍

판재 하이드로포밍은 제품 형상에서 최소 곡률을 갖는 부분이 유압 프레스의 용량 및 성형 가압력을 결정한다. 그래서 후드와 루프의 경우 제품의 형상도 크고 특정 부위에 곡률이 작기 때문에 실제 필요한 프레스 용량은 5000톤 이상을 요구하게 된다.

따라서 최근에는 제품의 최소 곡률을 성형하기 위해서 하이드로포밍 성형과 프레스 성형이 복합된 성형 공법(Combined Hydromechanical Manufacturing)을 적용하고 있다.

이 공법의 특징은 그림 18(b)의 루프 제작시 금형 재

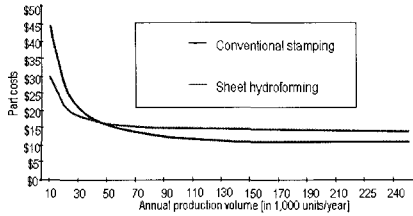


그림 20 기존 프레스 공법 과 판재 하이드로포밍 부품 제조 원가 비교

결력(closing Force)을 감소 시킨 것으로, 단순히 하이드로포밍만으로 제품을 성형할 때 200,000kN이었던 것을 복합 성형 공법을 사용하여 25,000kN으로 대폭 줄일 수 있다는 결과가 발표되었다.

판재 하이드로포밍은 기존 프레스 성형과 비교하여 보면 생산 라인을 새로 도입하는 것과 비교하여 연간 4만 부품 이하를 생산하는 경우에 경제적인 것으로 보고 되고 있다. 그 이유는 금형비를 절감할 수 있는 장점이 크기 때문이다.

6. 결 론

하이드로포밍은 차체 경량화를 위해 필수적으로 필요한 제조 공법이다. 하이드로포밍 부품을 적용하기 위해서는 기존 프레스 공법보다 우선 경제성이 있어야 하며 하이드로포밍으로 생산하기 위한 적합한 차체 구조 설계가 요구되어진다. 현재 하이드로포밍으로 제품을 생산하

기 위하여 서브 프레임을 생산할 경우 연간 30만개 이상의 부품을 생산하여야 경제성이 있는 것으로 검토되어지고 있다. 하이드로포밍을 위한 차체 설계 방안으로 신차 설계 시점에서 하이드로포밍 공법을 감안하여 설계하여야 적용이 쉬우며 기존 프레스 공법의 부품을 하이드로포밍 부품으로 변경하여 생산하는 데는 다소 문제점이 있다. 향후 하이드로포밍 부품은 국내외적으로 증가하는 추세에 있으며 성형 공법 및 장비에 관한 연구도 많이 수행되고 있어 하이드로포밍으로 생산되는 부품의 원가도 낮아질 전망이다.

참 고 문 헌

- (1) M. S. Suh "Applications and Trends of Sheet Materials for Autobody" The 7th Steel Symposium Development of Automotive Materials and Parts for Weight Reduction(2000), pp. 241~247.
- (2) HMC Technical Review, 2001, "A Study on the Product Design of Automotive Structure Component Using Advanced Hydroforming, J.Y. Lee, pp. 540~549.
- (3) Schuler Hydroforming Gmbh(獨) Technical Meeting Report (2002).
- (4) AP&T(獨) Technical Meeting Report (2002).
- (5) Weil engineering Gmbh (獨) Technical Meeting Report (2002).
- (6) Amino Corp.(日) Technical Meeting Report(2001).