

복합 공법 적용 알루미늄 서브프레임 개발

김종철¹*, 권태우¹, 박병철¹, 장계원², 이우식²

Development of Aluminum Subframe for Automobile using Hybrid Process

J. C. Kim, T. W. Kwon, B. C. Park, G. W. Jang and W. S. Lee

Abstract

The aluminum Subframe for automobile was developed using hybrid process, i.e. extruforming and press forming. To achieve a 30 % weight reduction compared with convensional steel subframe keeping satisfactory performance, the design of cross-section of extrusion part was initiated, then forming simulation was performed and the final design was determined. In addition, we tried to estiblish proper aluminum welding conditions for good penetration depth and few pore defect, finally the prototype of aluminum subframe was assembled using MIG welding method.

Key Words : Aluminum Hybrid Subframe, Extruforming Process, Aluminum MIG Welding

1. 서 론

최근 지구환경보호와 에너지 절감 및 자동차 운동성능 향상의 관점에서 차량 부품의 경량화 필요성은 주지의 사실이며, 선진 자동차 업체를 비롯해 국내에서도 경량화를 위해 다각적인 노력을 경주하고 있다. 경량화 방안으로는 고강도화를 통한 부품의 박육화, 설계능력의 향상에 의한 경량 부품 최적 설계, 그리고 선진 공법을 적용한 부품의 통합화 등의 다양한 기술들이 연구 및 채용되고 있으며, 적용 대상으로는 차량의 차체와 현가 부품 등이 주를 이루고 있다.

자동차 현가 부품은 차량의 승차감 및 외부 충돌에 의한 안전성 확보 그리고 주행 차량의 조정 안정성을 담당하는 주요 보안 부품으로써, 현재 다른 부품에 비해 경량화가 느리게 진행되고 있는 실정이다. 반면 현가 부품의 경량화는 차체를 비롯한 sprung mass 의 경량화에 비해 연비 향상 측면에서 약 2 ~ 3 배의 효과를 얻을 수 있기 때

문에 이 부품에 대한 경량화 요구는 지속적으로 증대되고 있는 실정이다.

이러한 경량화 요구에 부합하고자 여러 선진 부품 업체에서는 점차적으로 현가 부품, 특히 서브프레임형 현가부품(이하 서브프레임이라 명함)에 알루미늄 합금을 적용하려는 연구가 활발히 진행 중이며, 일부 해외 차종에서는 양산되고 있는 실정이다. 자동차 현가계 부품의 개발 동향을 살펴보면 개발 초기에는 주조 또는 판재 성형과 같은 단일 공법으로 제작하였으나, 최근에는 성형 기술의 발전으로 인해 경량화 효과를 극대화함과 동시에 안정성과 경제성을 고려한 다양한 제조 공법이 적용된 복합 공법 알루미늄 서브프레임(Aluminum Hybrid Subframe)이 개발되고 있다.

최근 적용되는 복합성형공법으로는 너산의 Skyline 에 적용한 하이드로포밍과 판재 성형 복합 공법의 적용, BMW 530i 와 745i 의 경우 전륜 서브프레임에는 알루미늄 압출성형과 판재 및 주조재의 복합 적용 그리고 후륜 서브프레임에 하이드

1. 화신기술연구소

2. 현대모비스

* 김종철: 화신기술연구소, E-mail: hsd339@chol.com

로포밍과 중공주조공법 등이 적용되고 있으며, 각 자동차 완성업체 마다 고유의 복합 공법을 적용한 연구 개발이 진행되고 있다.

이와 같이 경량 자동차 서브프레임 개발 요구에 대해 본 연구에서는 공정비가 저렴하고 생산성이 우수하며, 동시에 단면설계의 자유도가 높은 장점을 가진 압출성형과 판재 성형의 복합공법을 적용한 알루미늄 서브프레임을 개발하고자 하였다.

2. 알루미늄 서브프레임 제품 설계

2.1 압출재 단면 설계 및 제품 설계

알루미늄 서브프레임 부품의 설계를 위하여 우선 압출재가 적용된 Front Member 와 Rear Member 의 압출 단면 설계 방안에 대해 최적 설계 Design Rule 을 확립하고자 하였다. 기존의 Steel 사양으로 설계된 Front Member 와 Rear Member 의 경우 단면 변화 폭이 크질 않아 압출재의 적용이 가능한 것으로 판단이 되었으며, 반면 Side Member 의 경우 상하 및 좌우 단면 변화 폭이 크고 또한 압출재의 경우 초기 압출시 결정된 단면형상에서 단면 폭의 자유도가 크지 않으므로 알루미늄 판재 성형 공법을 적용하여 서브프레임 설계를 실시하였다. 압출재의 단면 설계를 위하여 Steel 사양의 중심부 단면폭을 기준으로 설계를 하였으며, 경량화 효과를 극대화 하기 위하여 압출재의 두께가 얇은 리브 형태로 압출재 설계의 방향을 설정하였다. 여러 단면 설계안 중에서 경량화 효과와 강성 면에서 유리한 설계안을 단면 설계의 기준으로 설정하여 제품 설계를 실시한 후 성형해석을 실시하였다. 해석 결과 리브 형태의 압출재의 경우 압출성이 현저히 떨어지며, 두께가 얇은 리브 구조로 되어 있어 압출시 상하 두께 편차가 발생하였고, 또한 압출 성형성도 불리한 것으로 나타났다. 이러한 해석 결과를 바탕으로 경량화 측면에서는 불리하지만, 단면 형상의 압출성 및 압출 후 제품 성형성이 우수한 2 차 제품 설계를 실시하였다. 그림 1 에 최종 압출재의 단면 형상을 나타내었다. 이와 더불어 압출 성형 공법과 판재 성형 공법이 복합된 알루미늄 서브프레임의 제품 설계 형상을 나타내었다.

	Steel Press Subframe	Aluminum Hybrid Subframe
제품 형상		
단면 형상		
중량 (kg)	15.0	11.5

Fig. 1. Comparison of shape and cross-section between steel and aluminum subframe.

2.2 구조해석

본 해석에서의 경계조건은 Bush Pipe 전체와 Hard Point 전체를 RBE2 로 연결하였고, Mount Hard Point 에 123 자유도를 구속하였다. 표 1 에서는 Steel 사양 대비 알루미늄 서브프레임의 구조해석 결과값을 나타내었다. 표 1 에서와 같이 3 가지 응력조건 하에서 알루미늄 설계사양이 steel 설계사양보다 낮은 응력분포를 보이고 있으며, 이는 알루미늄 서브프레임 압출재의 단면 형상 변경과 단면의 제품 두께 및 모서리부의 두께를 상당히 높여주어 Side Member 와 용접되는 부분에서의 단면적을 크게 하여 강성을 보장하여 주었기 때문이라고 판단된다. 동시에 고유진동수 해석결과를 보여주고 있으며, 해석 결과 알루미늄 설계사양은 Steel 사양보다 약 20%정도 높은 고유진동수를 나타내며, 이는 알루미늄 서브프레임의 장점인 NVH 특성 향상을 잘 표현해 주는 결과라 할 수 있다.

Table 1. Comparison of natural frequency and maximum stress between steel and Al Subframe.

구분		Steel	Al
고유진동수 (free-free) [Hz]	1st	126.0	145.0
	2nd	220.7	261.2
	3rd	244.2	301.4
응력값 (von-mises) [kgf/mm2]	1G Braking	29.7	23.6
	1G Cornering	41.7	16.6
	3G Bumping	39.9	13.7

3. 알루미늄 판재 성형

3.1 성형성 평가

본 연구에서 적용한 알루미늄 소재는 비열처리 합금인 A5083 이며, 소재의 인장 시험으로부터 얻어진 기계적 성질을 표 2 에 나타내었다. 장출 성형성에 관여하는 가공경화지수는 일반 강판 보다 다소 높아 균일 변형 능력이 우수하며, 재료의 드로잉성에 관여하는 소성이방성 계수는 강판에 비해 낮아 딥드로잉성이 부족할 것으로 예상된다. 그리고 보다 정확한 판재의 파단을 예측하기 위해서는 성형한계도(FLD)의 평가가 요구된다. 따라서 알루미늄용 FLD 금형을 제작하였으며, 평가 시험을 실시하였다. 그림 2 에 알루미늄 판재의 성형한계도 평가용 시험 장비 및 시험 결과를 나타내었다. 시험 결과 FLD_0 값이 0.28 로 강판에 비해서는 다소 떨어지지만 대체로 양호한 성형성을 가지는 것으로 나타났다.

Table 1 Tensile properties of A5083 alloy.

	σ_y (MPa)	UTS(MPa)	ϵ	n	R
0	139	319	21.5	0.33	0.63
45	125	301	24.8	0.33	1.00
90	127	306	22.1	0.33	0.65
Ave.	130	308	22.7	0.33	0.82

3.2 성형해석 및 단품 제작

일반적으로 알루미늄은 드로잉시 파단의 발생 가능성이 대단히 증가하기 때문에 금형은 단순 포밍 모드로 선정되었으며, 알루미늄 판재의 성형에 영향을 미치는 금형의 코너 반경, 성형속도, 소재물성, 마찰계수 등의 영향을 고려하여 해석을 수행하였다.

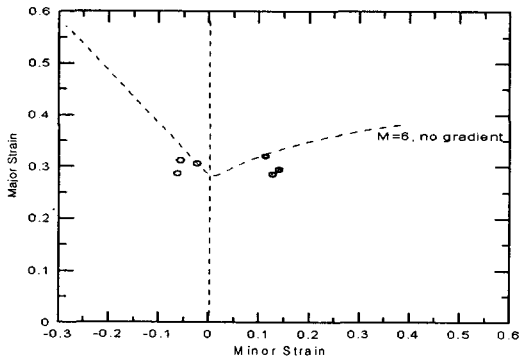


Fig. 2. FLD curve of A5083 plate.

본 연구에서는 알루미늄 서브프레임의 Side Member 부품을 판재 성형 공법으로 적용하고자 하며 해석에 사용된 금형 형상과 해석 결과를 그림 3 에 나타내었다. 상형 및 하형 판넬의 경우 초기 금형에서 성형시 각각 4 부분에서 파단과 1 부분에서의 주름발생이 예상되었다. 이러한 파단 및 주름은 제품의 형상이 급격히 변화하는 부분과 드로잉 모드로 성형되는 부분에서 발생하였으며, 이러한 파단 및 주름을 줄이기 위해 제품의 형상을 수정하여 문제를 해결하였다.

성형해석 결과를 바탕으로 성형성 평가를 위한 금형을 제작하였으며 Press Stamping 공법을 이용하여 성형성 평가 시험을 실시하였다. 일반적인 Steel 판재의 성형과는 다르게 알루미늄의 성형성은 성형속도에 영향을 받으므로 유압프레스의 사용이 필수적이라 하겠다.

성형성 평가 결과 초기에는 주름의 발생은 없었으나 파단 부위가 발생하였다. 파단은 주로 블랭크(blank)의 끝단부에서 시작하여 제품형상 안으로 전파되었다. 이러한 파단을 방지하고자 성형속도 제어 및 윤활제 도포 등의 공정변수를 변화시켰으며, 그 결과 양호한 제품을 얻을 수 있었다.

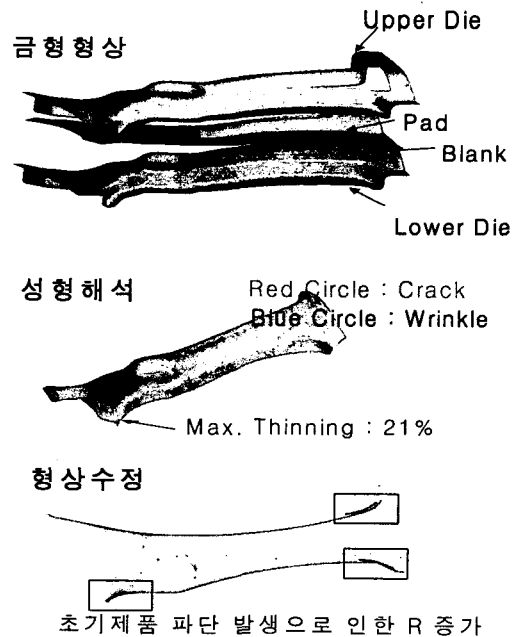


Fig. 3. Schematic diagram of press forming process and the result of forming simulation for side members.

4. 알루미늄 용접

3.1 용접조건 설정

알루미늄의 용접은 강과는 달리 알루미늄의 고유 열적 물리적 특성으로 인하여 다소 복잡한 양상을 나타낸다. 특히 알루미늄의 합금계별 열적 특성 및 기계적 특성이 상이하며, 동시에 용접후 기계적 특성 변화 또한 크므로 제품 설계시 용접을 고려한 합금 선택이 상당히 중요하다[1]. 본 연구에서는 판재용 합금으로 비열처리형 합금인 A5083 을 선정했으며, 압출재로는 압출특성을 고려한 A6082 를 채택하였다.

먼저 적절한 용접조건을 선정하기 위한 방안으로 해외 양산품에 대한 벤치마킹을 실시하였고, 용접부의 비드 형상과 용입 깊이 등을 본 연구에서 제작한 시편과 비교 분석하여 적절한 용접조건을 예측하였다. 개략적인 용접 예측 조건을 바탕으로 합금별 용접 조건을 실험계획법에 따라 설정하여 실험한 후, 최적 용접 조건을 도출하였다. 특히 이중 합금 즉 A5083 과 A6082 합금간의 열전도도 차로 인해 용입량과 용입 깊이의 비대칭이 발생하였으며[2], 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로 용접 팁의 위치와 용접 전류 및 아크 전압 등을 변화시켜 적정 조건을 도출하였다.

한편 알루미늄 합금의 MIG 용접시 발생하는 주 용접불량은 기공과 균열 그리고 불충분한 용입과 계제물의 혼입 등이 있다[3]. 그 중 가장 문제시 되는 결함은 기공의 발생이며 그 영향도 상당히 심각하다. 기공발생의 직접적인 원인은 수소이므로 수소의 공급원을 적절히 차단함으로써 기공의 문제를 방지할 수 있다. 본 연구에서는 수소 공급원의 차단 방안으로 모재의 용접전처리와 산화피막 제거에 따른 기공 발생율을 조사하였으며, 동시에 용접 전처리에서 세척액의 종류에 대해서도 평가하여 최종적으로 기공발생율이 가장 낮은 조건을 도출하였다.

3.2 시제품 용접

일련의 실험을 통한 알루미늄의 용접조건을 기본으로 하여 시제품 제작을 실시하였다. 시제품 용접에 있어서는 기본적인 용접변수와 더불어 용접자세와 티칭 조건에 대해서도 용접 품질에 상당한 영향을 미치게 된다. 본 연구에서는 알루미늄 전용 로봇으로 용접 전류와 속도에 대한 편차

를 최소화하였으며, 동시에 다양한 티칭 조건에서 얻은 시제품의 용접부 비드 형상과 용입 깊이 등을 평가하여 적정 조건을 찾고자 하였다. 그림 4에서는 본 연구에서 시제품 제작을 위한 용접 지그와 용접과정 및 시제품 형상을 보여주고 있다.

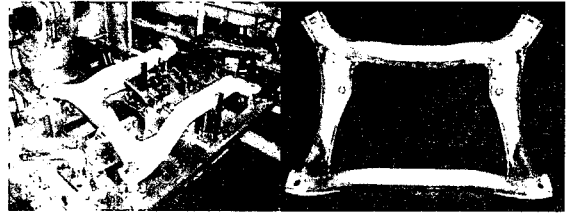


Fig. 4. Configurations of welding jig and prototype.

4. 결론

본 연구에서는 압출성형과 판재 성형의 복합 공법을 적용하여 알루미늄 서브프레임을 개발하고자 하였다. 일반 강제 대비 경량화 30% 이상을 목표로 압출재의 단면 설계를 시작으로 제품설계와 성형해석 그리고 구조해석을 거쳐 최적 설계를 도출하였으며, 판재 부품에 대해서는 적용합금의 성형 특성을 분석하고 성형해석을 수행하여 적정 제품을 설계 수정하였다. 그리고 각 단품에 대해서는 알루미늄 MIG 용접을 통해 조립하여 최종 시제품을 제작하였다.

후 기

본 연구는 산업자원부에서 시행한 부품·소재기술개발사업으로 진행된 결과이며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] N.R. Mandal, 2002, Aluminum Welding, Woodhead Publishing Limited, Cambridge England, pp. 1 ~ 19.
- [2] T. Luijendijk, 2000, Welding of dissimilar aluminum alloys, J. Mat. Processing Technology 103, pp. 29~35.
- [3] 윤광희, 한용섭, 1994, 알루미늄 합금의 GMAW 용접, 한국용접학회, 제 12 권, 1 호, pp. 16~27.