

기술 강좌

차체 경량화를 위한 용접기술

김 용·박기영·이경돈

Development of Welding Technologies for Lightweight Vehicle

Yong Kim, Ki-Young Park and Kyoung-Don Lee

1. 서론

최근 산업 발전으로 인한 배기가스 배출이 지구 온난화 및 환경 파괴의 주범으로 인식되면서 특히, 선진국을 중심으로 자동차 산업에서의 연비개선 노력이 경쟁적으로 이루어지고 있다. 환경 및 연비개선을 위한 방안으로 기존 철강차체에서는 차체 경량화를 통한 연비향상이 연구되고 있으며 한편으로는 친환경 전기자동차의 개발에도 많은 발전이 이루어지고 있다.

자동차 차체에 있어 경량화는 전체적인 구동 저항력을 감소시켜 동일 에너지에서도 더욱 많은 힘을 낼 수 있다. 또한 Fig. 1과 같이 자동차 중량을 10% 줄일 경우 가속도 및 제동능력의 향상 그리고 8%의 연비향상과 함께 배출가스가 감소되는 효과가 나타난다. 이와 같이 경량화의 중요성과 효과가 인식되면서 경량차체 제작을 위해 기존 철강차체에서도 알루미늄 합금(2004년 80kg/대 → 2012년 250kg/대 예상, 현대자동차) 등 비철금속과 신소재 등의 적용이 복합적으로 이루어지고 있으며, 특히 전기자동차 제작에 있어서는 100% 비철금속으로 차체개발이 진행되고 있다. 따라서 향후 자동차 차체를 구성하는 소재는 기존 철강재에서 알루미늄 및 마그네슘과 같이 비강도가 우수한 비철재료 그리고 플라스틱과 같은 신소재로의 많은 적용이 예상된다.

이와 같이 차체 경량화를 위한 많은 노력들이 이뤄지

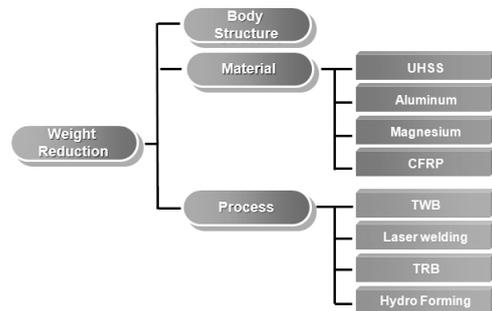


Fig. 2 차체 경량화 방안

고 있으며, 그 방법으로는 Fig. 2와 같이 크게 3가지로 구분될 수 있다. 첫 번째는 설계단계에서 부품형상이나 레이아웃 변경을 통한 차체구조의 최적화를 통한 경량화가 있으며 두 번째 방법은 기존 소재에서의 경량-고강도 소재로의 대체를 통한 경량화 달성이다. 마지막으로 차체 요소부품의 제조공정 변경을 통해 경량화를 달성하는 방법이 있으며, 이러한 방법들을 성공적으로 적용하기 위해서는 문제해결을 통한 생산기술의 현실화가 요구된다. 따라서 본 기술 강좌에서는 각각의 경량화 적용 방법과 그에 따라 해결되어야 되는 문제점에 대해 기술하고자 한다.

2. 차체구조 최적화

사람과 동물에도 뼈대가 있으며 건물을 지을 때 구조재가 있듯이, 자동차를 만들 때에도 가장 기본이 되는 골격인 바디(또는 새시)가 있다. 자동차는 이 바디를 중심으로 차체, 엔진, 변속기, 차축 등의 부품을 얹어 완성되며 현재 주로 생산되는 바디는 Fig. 3과 같이 크게 프레임 바디(Frame body)와 모노코크 바디(Monocoque body)로 구분할 수 있다. 두 개의 바디는 각기 장단점이 존재하며 자동차의 용도와 목적에 따라 선택되는데 현재 승용차의 대부분은 프레임과 바디를 일체형 구조로 한 모노코크 바디가 대부분이다.

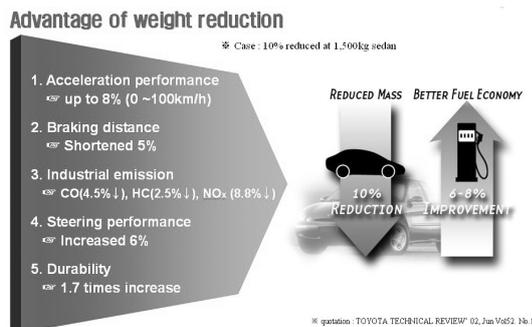


Fig. 1 중량저감에 따른 연비개선 효과

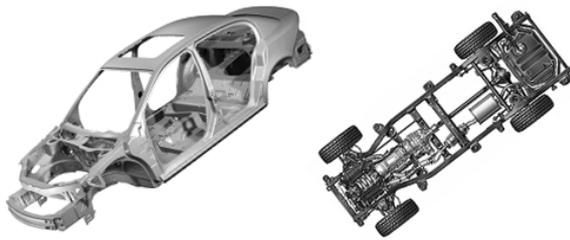


Fig. 3 모노코크 바디(좌)와 프레임 바디(우)

모노코크 바디는 프레임 바디에 비해 원가가 저렴하며 제조공정의 간소화로 생산성이 높다. 또한 차량의 무게가 가벼워 연비효율이 보다 우수한 장점이 있다. 반면에 프레임 바디에 비해 강성이 약하며 소음 및 진동이 그대로 운전자에게 전달되기 때문에 차체가 받는 힘을 고르게 분산하여 고른 강성을 유지하기 위한 설계기술이 요구된다.

최근에는 설계 및 해석기술의 발달로 인해 차체구조 최적화에 대한 연구개발이 많이 진행되고 있으며, 2000년대 초반 AUDI에서는 경량화 효과를 극대화하기 위해서 기존 스틸 소재를 알루미늄 합금으로 변경한 알루미늄 스페이스 프레임(Aluminum Space Frame)을 개발, 출시하였으며, 이에 따른 경량화 효과는 동급 차량 대비 약 100kg 정도로 알려져 있다.

3. 대체소재 변경

3.1 고강도강(Ultra High Strength Steel)

국제철강협회에 따르면 고강도강은 700MPa 이상의 인장강도를 갖는 강재를 의미하는데, 핫 스템핑 공법으로 제조된 고강도강 부품은 1,500MPa 이상의 강도를 나타내면서도 우수한 가공성과 연신율로 인해 미래 친환경 자동차의 연비와 안전성 향상을 위한 차세대 자동차용 강재로 부각되고 있다. 뿐만 아니라 우수한 성형성으로 인한 치수 정밀도가 기존강판 대비 90% 이상 향상되어 우수한 성형품질을 확보할 수 있는 장점도 있다.

반면 고강도강은 Fig. 4와 같이 용접성 측면에서 용접 열영향부(약 800~600°C 구간)의 연화(HAZ softening) 및 Al-Si 코팅층의 용접부 유입에 따른 강도저하와 같은 두 가지 문제점이 있다. 이에 많은 연구자들이 문제점을 인지하여 이를 해결하기 위한 갖가지 시도를 하고 있으며 실제 고강도강의 적용 비율 또한 급격히 증가되는 추세에 있다.

3.2 알루미늄

알루미늄은 경량화 대체 재료로서 가장 활발하게 연

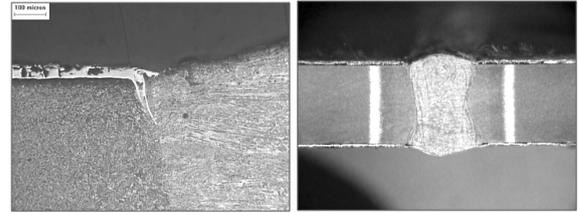


Fig. 4 고강도강 용접 시 대표적인 문제점

구되고 있는 소재로서 철의 1/3 수준의 비중 대비 90%의 강성을 갖는 특징이 있다. 이에 따라 차체 부품에서 알루미늄의 사용이 빠르게 증가되고 있으며 유럽과 일본을 중심으로 알루미늄 적용을 위한 연구개발이 활발히 진행 중이다.

그러나 알루미늄과 같은 비철 경량금속의 적용은 기존 스틸에 비해 성형 및 용접 공정변수 등에 대한 조절이 어려워 균열 발생이 쉽고, 가공 후 제품특성 변화가 크므로 성형 및 용접조건에 대한 공정을 도출하기가 매우 까다롭다. 표 1은 스틸과 대비한 알루미늄의 특성을 나타낸 것으로서 이와 같은 물리적 성질 차이로 인해 매우 까다로운 용접가공 특성을 갖게 된다. 열전도도와 응고 수축량이 크므로 용접 후 변형 및 고온균열에 취약할 뿐 아니라 수소가스 등을 흡수하여 용착금속에 기공 발생 및 품질/강도저하의 문제점이 있다. 뿐만 아니라 산화표면의 용점이 2,050°C 정도로 높아 고온의 집중된 열원이 필요하다.

3.3 마그네슘

마그네슘 합금은 밀도가 알루미늄 합금의 2/3, 철강의 1/5 수준으로 현재까지 개발된 합금 중 가장 낮은 밀도를 가지고 있으며 여타 경량 재료와 비교하여 손색이 없는 비강도 및 비탄성 계수를 갖고 있다. 이외에 진동, 충격, 전자 파동에 대한 흡진성이 탁월하고 전기, 열전도도, 가공성 및 고온에서의 피로, 충격 특성이 우수하여 자동차 뿐만 아니라, 항공기, 방위산업 및 일반 기계 등에 경량화 소재로서 사용이 증가되는 추세에 있다.

마그네슘 용접의 경우 대부분의 마그네슘 합금은 낮은 입열량과 빠른 속도로 용접되어질 수 있다. 그러나

표 1 알루미늄 합금의 물리적 성질

항 목	Steel	Aluminum	비 고
용융점(°C)	1,536	660	스틸 대비 저융점
고유저항(Ωm)	15.9	2.6	고전류 필요
전기전도도(%)	17	62	단시간, 고전류
선팽창률(×10 ⁻⁶ /°C)	11.7	24.1	큰 열변형
응고수축률(%)	1.4	6.8	용접 후 균열발생
열전도도(W/m°C)	38	220	단시간, 고전류

낮은 기화점(약 1,100℃)으로 인해 용접 시 다량의 스파터가 발생할 뿐만 아니라, 용접 후 변형이 심하며, 열영향부 연화로 인해 강도의 급격한 저하 현상이 나타난다. 또한 낮은 기화점 및 산소와의 빠른 친화력, 금속간 화합물 생성 등과 같이 용접에 제약을 주는 인자들이 많기 때문에 경량화 재료로 각광받는 소재임에도 불구하고 용접 문제로 적용이 매우 어려움에 있다.

3.4 CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic)

CFRP는 강도가 스틸의 4배 이상이며, 비중은 철의 1/4이기 때문에 F-1 등의 레이싱카 모노코크 차체 및 브레이크 등에 채용되고 있다. 또한 핸들, 각종 커버류, 탱크, 인스트러먼트 패널(Instrument Panel) 등 내/외장재가 주종을 이루는 일반 플라스틱 재료와는 달리 CFRP는 후드(Hood), 도어(Door), 트렁크리드(Trunk Lid), 루프(Roof) 등의 차체 부품에 이용될 수 있다. 그러나 성형의 어려움이나 높은 제조단가에 따른 코스트 때문에 일반 차에는 적용하기에는 현실적이지 않고, 일본에서도 엔진 후드에 한정적으로 채용되었을 뿐이다.

이처럼 CFRP가 우수한 소재임에도 불구하고, 현재 높은 제조비용으로 인하여 전 세계적으로 고부가가치 차량 및 컨셉트카에 한정적으로 적용되고 있다. 또한 CFRP로 제작된 부품은 용융접합이 아닌 구조용 접착제 또는 리벳 등의 기계적 접합만이 가능할 뿐 아니라 사용 중 손상에 따른 현실적인 보수 기술이 없는 상태이다. 이에 따라 구조용 접착제 개발을 통한 접합기술 개발이 일부 이루어지고 있으나 아직까지 국내에서는 접착제 응용기술에 대한 개발사례가 거의 없다.

4. 경량화 공정 적용

앞선 구조나 소재 변경을 통한 경량화와 함께 경량화 공정개발 부문에서도 국내외 많은 연구개발이 활발히 진행되고 있다. 우선 TWB(Tailor Welded Blank)

성형기술은 강도가 요구되는 구간에 이중소재 및 두께가 다른 소재를 맞춤재단 후 용접하여 일체형으로 성형하는 기술로서, 부분적인 고강도화 및 경량화가 가능할 뿐 아니라 생산공정 수 저감, 구조적 강성 향상 등의 장점으로 국내에서는 1990년대 후반부터 개발 및 도입되어 현재는 범퍼, 센터필러, 테일 게이트 등 많은 차체 부품에 적용되고 있다.

경량화 기술 중 하나인 레이저 용접의 경우 기존의 점용접을 대체하는 우수한 기술 중 하나로서 경량화 뿐 아니라 품질 등 많은 부분에서 이점이 있다. 일단 점용접 시 필요한 플랜지 면적의 감소를 통한 경량화가 가능하며 용접부의 접합강도 또한 40% 정도 향상된다. 또한 고가의 초기 투자비용에도 불구하고 러닝코스트 감소 및 생산성 향상, 작업공간 축소 등 많은 장점을 통해 국내외 많은 곳에서 레이저 용접의 도입을 위해 노력중이다.

한편 TRB(Tailor Rolled Blank)는 TWB 공정의 상위기술로서 압연 시 롤러의 유격에 변화를 주어 두께가 다른 소재를 생산하는 기술이다. 이에 따라 용접부 특성저하가 없는 이중두께 부품의 생산이 가능하여 원가절감, 경량화 구조에 높은 잠재력, 응력집중 완화 등 여러 장점이 있다. 이에 따라 유럽에서는 이미 일부 부품에 대해 개발을 완료한 상태에 있으나 국내에서는 아직 성형공정에 대한 기술 부족과 특허권 등의 문제로 많은 적용은 되지 않고 있다.

마지막으로 하이드로포밍(Hydro forming: 액압성형) 공정은 복잡한 형상의 자동차 부품을 만들 때, 여러 형태의 프레스로 따로 가공해 용접하지 않고 강판을 튜브 형태로 만들어 금형 내에서 고압으로 확관하여 원하는 형상으로 부품을 성형하는 방법으로 부품 일체화에 따른 공정단축과 비용절감, 경량화, 강도 및 강성증대, 재료 수율 및 치수정밀도 향상 등 여러 장점이 있으며, 국내에서도 이미 많은 연구가 진행되어 부품에 적용되고 있다.



- 김 용
- 1979년생
- 고등기술연구원 로봇/생산기술센터
- 용접가공
- e-mail : welding@iae.re.kr



- 이 경 돈
- 1957년생
- 고등기술연구원 로봇/생산기술센터
- 레이저 용접 및 자동차
- e-mail : kdlee@iae.re.kr



- 박 기 영
- 1962년생
- 고등기술연구원 로봇/생산기술센터
- 아크 및 레이저
- e-mail : young@iae.re.kr