

레이저 가공과 구조경량화 설계

한유희 · R. Andreas Matzeit

Laser Material Processing and Their Application for Light Structure

You-Hee Han · R. Andreas Matzeit



- 한유희 (한국기계연구원 레이저가공실)
- 1952년생
- 레이저가공기술, 레이저가공시스템 설계기술에 관심이 있다.

1. 머리말

레이저 가공은 60년대 초기 레이저가 기술적으로 가능해진 후 기초 연구단계를 거쳐 산업에 활용되면서 활기를 띠기 시작하였다.

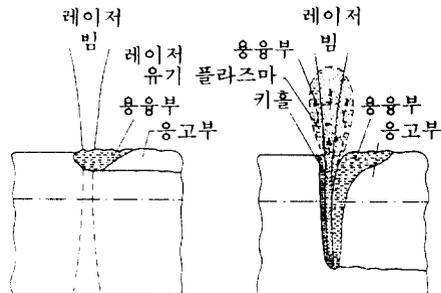
레이저 가공의 대표적인 것으로 절단을 꼽을 수 있으며 박판절단의 경우 레이저는 이미 산업현장에서 굳건히 그 자리를 차지하고 있다. 레이저 용접의 경우에는 절단과 달리 기술적 문제점 등으로 인해 활용도가 낮은 편이나 점차 그 중요성이 인식되고 있고 따라서 용접이 안고 있는 기술적 문제점을 해결하려는 연구개발과 기술적 시도가 활발히 추진되고 있다. 레이저 용접은 무엇보다도 자동화를 통해서만 활용이 가능하고 또한 이로써 타 용접방법보다 경제적 우위를 점하게 된다. 따라서 용접을 이용한 대량생산품의 대표적인 자동차 제조에 레이저 용접을 활용하고자 하는 노력은 레이저 개발 이후 끊임 없이 계속되었다.

레이저 용접의 활용이유는 이미 언급된 경제성외에도 경량화를 꼽을 수 있다.

본고에서는 레이저 가공중 용접을 중심으로 구조물의 경량화 실례를 들어 방법을 제시하고, 이를 바탕으로 향후 폭넓게 적용될 수 있다는 가능성을 제시하고자 한다.

2. 레이저 용접의 원리 및 용접용 레이저

레이저 빔은 거울 또는 렌즈로 가공물에 수렴된다. 표면에 흡수된 빔은 열에너지로



(a) 열전도 용접

(b) 심용접

그림 1 레이저 용접의 원리

표 1 자동차 산업에서 가공용 레이저의 용도

레이저 및 가공기	연구 및 개발	생 산
CO ₂ -Laser/ Gantry 5축/ Robot/ 2차원 가공	Body 절단 및 용접, 표면처리, Recycling Process	Bottom Plate, AI-표면경화, Gear box, Transmission Part 용접, Body 용접, 엔진부품
Nd: YAG-Laser/ Robot/ Optical Fibre	Body 절단 및 용접 Marking	AI 절단, ABS Part 용접, Marking

변환되어 국부적인 가열이 되고 응용되기에 이른다. 물체내부로 열이 전달됨에 따라 용융부위가 확장되며 출력의 강도(intensity)가 클 경우($>10^6$ W/cm²) 물질의 기화/승화로 인한 Key hole이 형성되어 재료 내부 깊숙히 에너지를 전달하게 된다(그림 1). Key hole은 Vapor capillary로서 CO₂ 레이저의 경우 직경은 약 0.2~1mm에 달한다. Key hole의 생성으로 용접의 효율은 급격히 증대되고 용접부 폭에 비해 깊이가 깊은 레이저 용접 특유의 심용입(deep penetration)이 가능해진다.

CO₂ 레이저와 Nd: YAG 레이저가 있다. CO₂ 레이저는 효율이 높고(15~20%) 대출력(상용으로 25kW까지)을 낼 수 있으므로 현재 가장 많이 사용되고 있다. 그러나 빔을 가공물까지 이송하기 위해서는 Mirror를 사용해야 하므로 빔 전송에 기술적, 경제적 배려가 따른다. 이에 비해 Nd: YAG 레이저는 파장이 CO₂ 레이저 파장의 1/10인 1.06 μm이므로 광섬유를 이용해 빔을 전송할 수 있는 장점을 갖고 있다. 효율면에서는 1~3%이며 현재 최고 3kW까지 상용화가 되었다. 광섬유를 이용하므로 Robot을 이용하여 3차원 가공을 비교적 어려움없이 구현할 수 있다. 최근 Diode Pumped Nd: YAG 레이저가 경쟁적으로 개발됨에 따라 향후 Nd: YAG 레이저의 폭넓은 활용이 기대된다.⁽¹⁾

각 레이저의 자동차 산업에서의 활용분야

및 용도는 표 1에 정리되어 있다.

3. 레이저 용접의 특성

레이저 용접의 특성은 아래와 같이 요약될 수 있다.

- 비접촉식이다. 따라서 박판용접시 기계적 변형을 주지 않는다.
- 입열량이 적은 관계로 열변형이 적다.
- 고강도 열원이므로 물리적 성질이 상이한 금속의 접합(예: 구리+철)이 가능하다.
- Joint 형상이 비교적 단순하다.
- 속도가 빠르다. (기존 용접에 비해 5~10배)

4. Resistance Spot 용접과 레이저 용접의 비교

Resistance Spot 용접(이하 Spot 용접)은 강판을 겹친 상태에서 2개의 전극으로 힘을 가하고 통전하여 이때 발생하는 저항열을 이용하여 접합하는 일종의 압접 Process이다. 입열량이 적으므로 박판 구조물 용접에 적합하고 자동화가 용이해 일찍부터 자동차 산업에 활용되었다.

그림 2는 자동차에 활용되는 Spot 용접을 응용한 구조물들을 보여주고 있다. 특징적인 것으로는 Box 형태가 많은 점이다.

레이저 용접에 활용되는 Joint 형상은 그

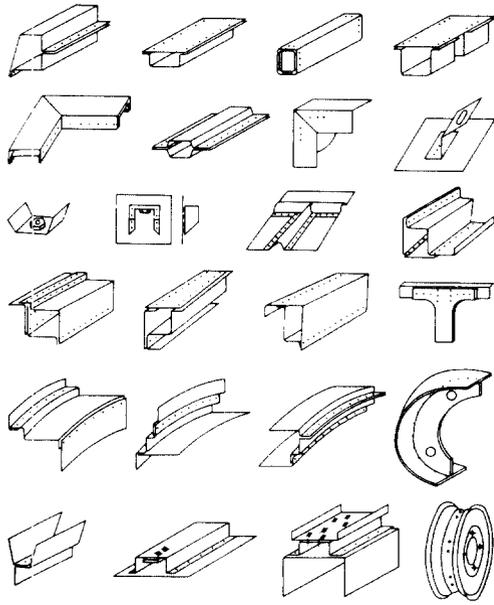


그림 2 점용접으로 제조되는 자동차 구조용 파트

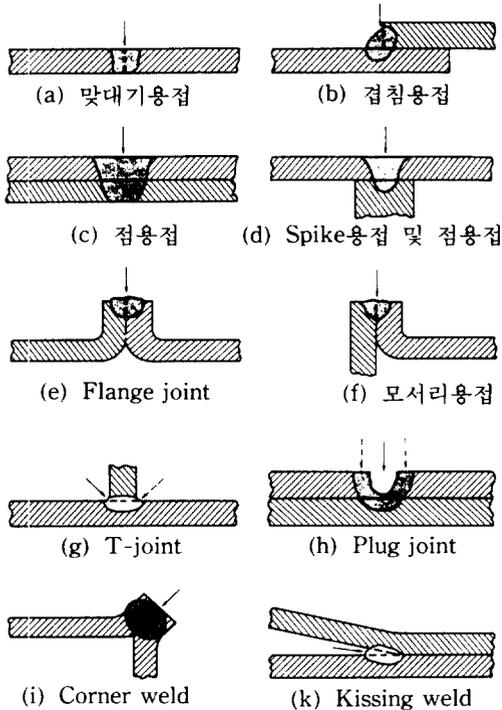


그림 3 Joint design for laser beam welds on sheet metal

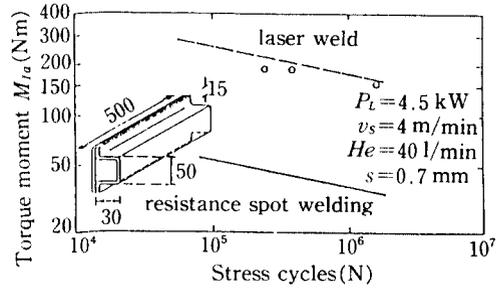


그림 4 점용접과 레이저 용접된 Box 구조의 비틀림 강도 비교

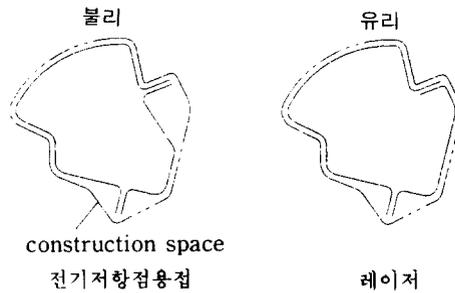


그림 5 Construction space 비교

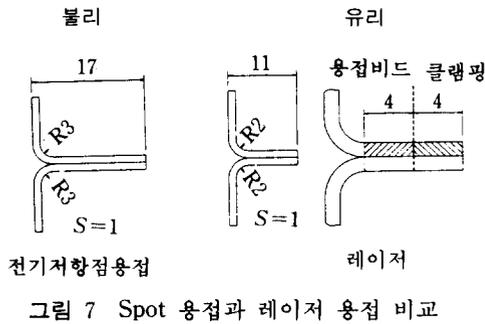
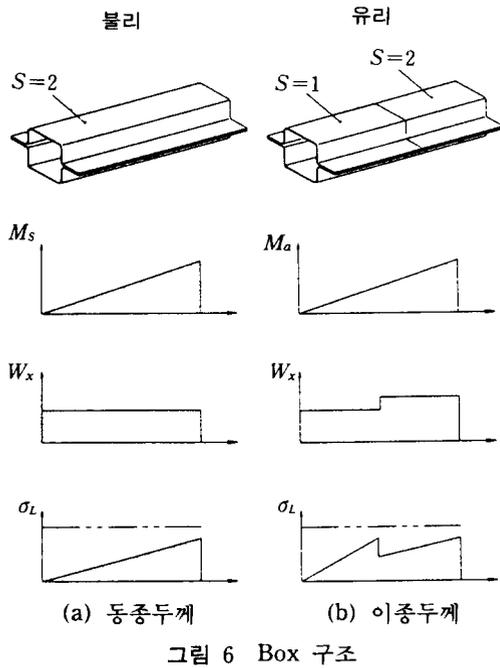
림 3에 예시되어 있다. Spot 용접과 달리한 방향에서 용접이 가능하며 전극이 없으므로 겹침(overlap)에 넓은 면적이 필요하지 않다. 또한 레이저 용접에서는 Spot 용접과 달리 일정간격을 띄우지 않고 전주용접을 하므로 sealing 효과와 강성의 향상을 얻을 수 있다.

그림 4는 레이저로 용접된 Box 구조와 Spot 용접된 것과의 비틀림 강도를 비교한 것이다. 단순한 미틀림 강도만 관찰할 경우 레이저 용접된 구조물이 약 5배 높은 피로강도를 보임을 알 수 있다.⁽³⁾

그림 5에서는 레이저로 용접된 구조재는 Spot 용접된 것에 비해 동일한 construction space에서 높은 강성과 외관상 미려함을 갖을 수 있음을 보여주고 있다.

5. 경량화를 위한 레이저 용접

앞에서 설명한 바와 같이 기존의 Spot 용



접외에 레이저 용접을 응용함으로써 높은 강도와 형상구성의 다양함을 추구할 수 있음을 알게 되었다.

그림 6에서 a는 두께 2mm의 강판을 절곡한 후 상하부를 용접한 것이며 b는 1mm와 2mm 강판을 레이저로 맞대기 용접한 후 절곡하여 제작한 것이다. 각 구조물에 주어진 모멘트가 걸릴 경우 허용응력(σ_L) 이하의 응력이 걸림을 알 수 있다. 주어진 조건을 만족시키면서 b의 경우 a보다 무게가 25% 가볍게 설계되었다.

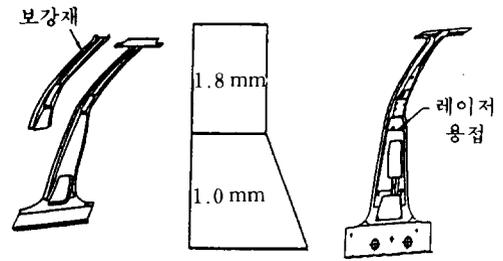
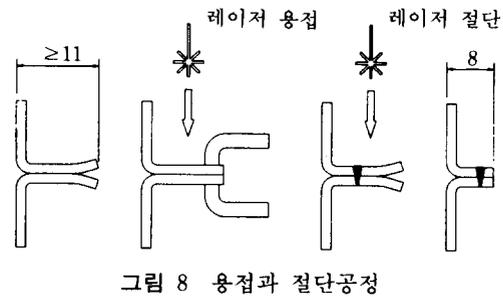


그림 7은 그림 6의 Box 구조생산에서 Spot 용접과 레이저 용접시 Clamping에 필요한 면적을 비교한 것으로 레이저의 경우 폭이 약 6mm 적음을 알 수 있고 그림 8에서 보이듯이 용접후 불필요한 부위를 절단할 수 있어 더욱 적은 폭으로 할 수 있다.

레이저 용접후 단순한 소성가공은 그림 8에서 보듯이 가능했고 보다 복잡한 형상도 이러한 원리를 응용하여 실현하고자 노력해 왔다. 그림 9는 Cadillac center pillar를 레이저 용접을 응용하여 개선한 것을 보여주고 있다. 원래 center pillar는 상부가 폭이 좁은 관계로 보강을 한 형태로 생산해 왔으나 레이저를 이용하여 상부 1.8mm 하부 1.0mm 철판을 서로 레이저로 용접한 후 forming을 함으로써 경량화, 소재절감, 부피감소 등의 효과를 얻게되었다.⁽⁴⁾

6. 레이저 용접 적합설계 예 -승용차 Rear Axle

그림 10은 VW와 Audi에서 개발된 승용차

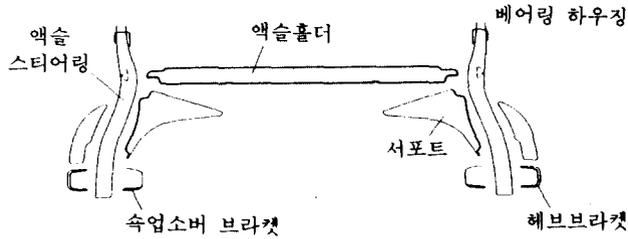


그림 10 CO₂ 용접 구조의 Rear Axle (VW, Audi)

용 Rear Axle(이후 RA)을 보여준다. 상기 RA는 동적 특성이 우수하고, 용접구조물(주로 CO₂-Arc Welding)이므로 생산단가도 저렴하다.

그러나 설계와 생산기술을 복합적으로 고려하여 분석해 볼때 다음과 같은 취약점이 있다.

○ 필렛 용접으로 주로 구성되어 있어 동적 하중에 견딜 수 있도록 결합이 없는 용접관리가 쉽지않다.

다음과 같은 결합의 원인이 있을 수 있다.

- 용접부 사전준비
- 조립공차
- 조립시 위치 공차
- 용접시 보호가스 문제

○ 용접후 비파괴 검사가 용이하지 않고 결과도 신뢰성이 낮다.

○ Axle holder와 Support간에는 현격한 강성의 격차가 있어 전환부(transition)에서 Notch 효과가 있을 수 있다.

○ 1방향 필렛 용접부는 동적하중에서 상당히 불리하다.

○ 부품수가 과다하므로 공정이 복잡하고 따라서 품질의 안정성이 낮다.

○ 용접 방법상 변형에 대한 관리가 필요하며, 높은 정밀도를 기대할 수 없다.

위와 같은 취약점들은 레이저 용접을 사용할 때 경감될 수 있다. 우선 최소한 변형문제는 레이저 용접 특성상 해결될 것이다. 레이저로 용접하기 위해서는 그림 3에 예시된 Joint 형상들을 활용할 수 있도록 기존의 설

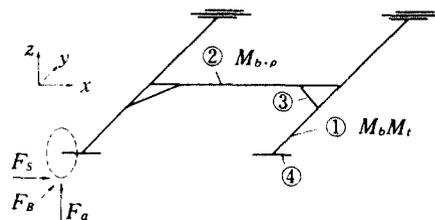


그림 11 Rear Axle의 기능 선도

*) F_a : 지지력, F_s : 편향력, F_b : 제동력, M_b : 굽힘 모멘트, M_t : 비틀모멘트, ρ : 회전각

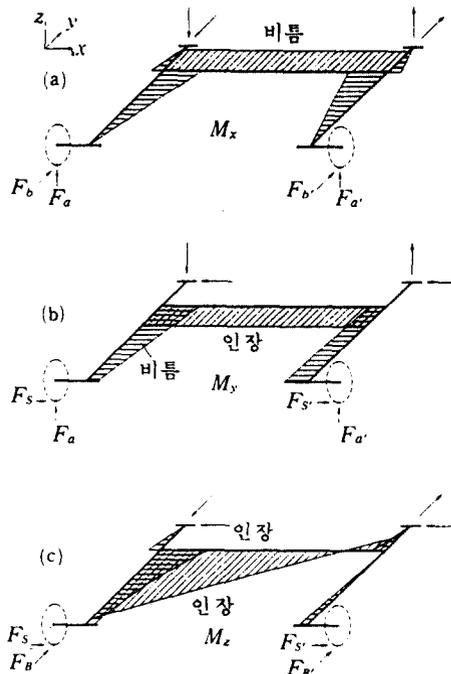


그림 12 부하별 응력 분포

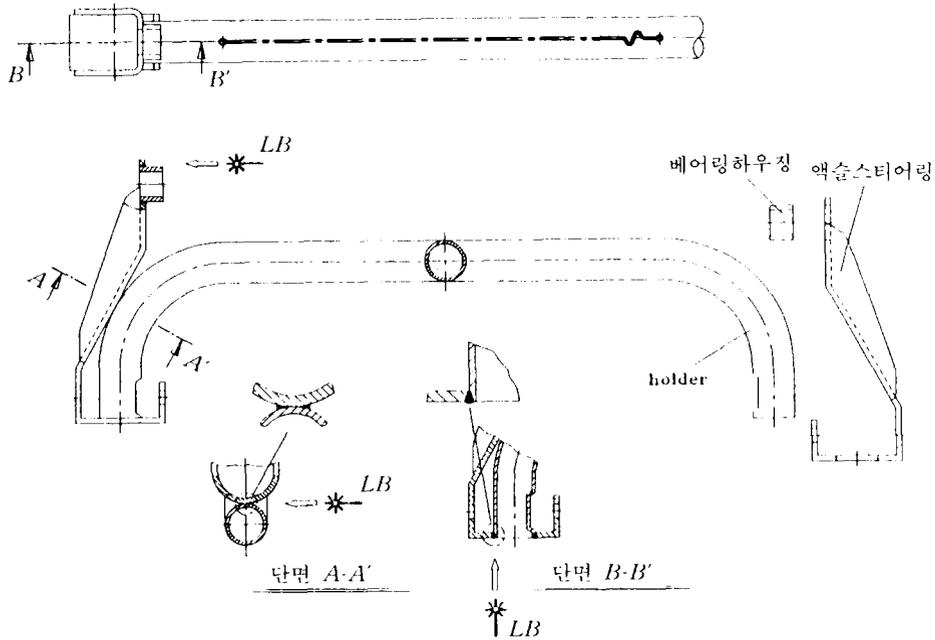


그림 13 레이저 용접 적합설계의 예 (LB : 레이저 빔)

계를 수정해야 한다.

그림 11은 RA의 선도를 보여준다. 각 요소의 기능은 지면 관계상 생략하겠다. 그림 12는 외부에서 바퀴를 통해 RA에 전달되는 힘에 대하여 RA의 요소에 작용되는 응력을 정성적으로 나타낸 것이다. 가장 높은 응력이 걸리는 곳은 Axle holder, Support 그리고 Aub bracket에 이르는 Axle Steering이다. 이러한 요소들을 한 몸체로 구성하여 개선한 것이 그림 13에 나타나 있다. 그림 13의 RA는 레이저 용접에 적합하도록 설계된 것이며 부품의 수는 그림 10의 경우 7개인 반면 3개이므로 관리면에서도 간편하게 되었다.

7. 맺음말

레이저의 가공의 특성을 응용하여 구조물의 경량화 방안에 대해 예를 들어 제시하였

다. 이같은 경량화 시도는 이제 막 걸음마 단계에 있으며 앞으로 보다 광범위한 응용과 이를 뒷받침하는 기술의 개발이 이루어질 것으로 사료된다.

이종두께를 응용하기 위해서는 우선 정확한 구조물의 해석으로 두께차이에서 오는 접합부의 응력집중에 대한 문제, 이종두께 철판을 소성가공하기 위한 금형설계문제, 또한 이들을 용접하기 위한 용접제반문제 등이 앞으로 집중적으로 연구되어야 할 과제라고 사료된다.

참고문헌

- (1) Herziger, G., 1990, "Lasersysteme und Derem Zukünftige Entwicklung für dem Automobilbau," 2nd, Int. Application Forum 90, 15/16 Nov. Bremem Germany, pp. 15~21.

- (2) Neumann, A., 1986, "Schweißtechnisches Handbuch für Konstrukteure Teilz Maschinen-und Fahrzeugbau. DVS-Verlag Düsseldorf Germany, p. 367.
- (3) Imhoff, R., et al, 1990, Car Body Welding with Laser Radiation. LASER 89, Springer-Verlag Berlin, pp. 651~654.
- (4) Roessler, D. M., et al, 1992, Laser Material Processing in General Motors Corporation. 25th ISATA, Florence, Italy 1st~5th, pp. 37~51. ■