

자동차 자동변속기용 소재의 레이저 용접특성 평가

김 철 희 · 안 영 남

Laser Weldability of Carbon Steels for Automotive Auto-transmission Parts

Cheolhee Kim and Young-Nam Ahn

1. 서 론

세계적인 에너지 및 환경 문제에 대응하기 위하여 고 연비/친환경 자동차의 비중이 급격히 증가하고 있다. 자동차의 연비를 향상시키기 위하여 엔진성능 향상, 고강도소재 및 경량소재의 적용 확대, 파워트레인 모듈의 고효율화 등이 진행되고 있다. 자동차의 변속기는 엔진의 발생 동력을 전달하는 파워트레인의 가장 핵심적인 부품으로 변속기의 효율 향상은 연비향상에 직결된다. 이를 위해 고단 자동변속기의 개발이 활발하며 적용소재 또한 고강도화되는 추세에 있다.

변속기 부품의 경우 고강도, 고내구성 및 높은 치수 정밀도를 요구하므로 용접 후 변형을 저감하기 위하여 전자빔 용접이 적용되어 왔으나 진공 중에서 용접이 이루어지는 전자빔의 낮은 생산성을 극복하기 위하여 레이저 용접도 활발히 적용되고 있는 추세에 있다.

2005년 기준으로 북미지역에서만 100대 가량의 CO₂ 레이저를 이용한 파워트레인 용접시스템이 전 자동차에서 적용 중에 있으며¹⁾, 파이버 레이저와 디스크 레이저와 같은 고회도 레이저 사용 시 전자빔과 유사하거나 우수한 비드 폭 및 용접속도 달성이 가능하여 고회도 레이저 적용에 대한 검토도 활발하다^{2,3)}. 본 연구에서는 변속기 핵심부품인 허브 브레이크, 애널리스 기어 등에 사용되는 SAPH 열연강판과 SPCC 냉연 강판에 대하여 CO₂ 레이저, 파이버 레이저, 디스크 레이저를 각각 적용하여 레이저 용접특성을 평가하였다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에 적용한 소재는 440MPa급 열연강재인 SAPH440과 일반 냉연강판인 SPCC를 이용하였으며 두께는 각각 2.3mm와 2.6mm이다.

실험에 사용한 CO₂ 레이저는 미러를 통해 전송되어 250mm 초점거리를 가지고 모재에 조사되었으며 빔의

최소 직경은 0.4mm로 측정되었다. 파이버 레이저는 200 μ m의 광파이버를 통해 전송되어 초점거리 300mm 광학계를 통해 모재에 조사되었으며 이 때 빔의 최소 직경은 0.36mm로 측정되었다. 디스크레이저의 경우 200 μ m의 광파이버를 통해 전송되어 초점거리 220mm 광학계를 통해 모재에 조사되었으며 이 때 빔의 최소 직경은 0.25mm로 측정되었다. 실험에서 레이저 모두 출력은 3kW로 고정된 상태에서 평가를 수행하였다.

각 레이저를 이용하여 맞대기 용접을 수행하였으며, 보호가스 공급을 하지 않는 경우와 보호가스로 아르곤 및 헬륨을 각각 20 l/min으로 공급하는 경우에 대해 용접특성을 평가하였다. 작업 특성을 평가하기 위하여 맞대기 용접부의 갭 및 좌우 시험편의 높이 단차에 대한 대응력을 평가하였다.

CO₂ 레이저와 디스크레이저의 경우 모재 표면에 초점을 두고 실험을 수행한 반면 파이버레이저의 경우 스팩터 발생으로 초점을 모재 표면에서 레이저 조사 반대 방향으로 3mm로 설정하였다.

용접속도는 각 조건에서 완전용입이 달성되는 속도로 선정하였으며, 용접성의 평가는 표면 및 이면 비드의 형상과 X선 투과를 통한 기공 평가, 인장시험을 통해 수행하였다.

3. 실험결과

3.1 레이저 및 보호가스별 용접특성

SAPH440 강판과 SPCC 강판의 맞대기 용접부에서 레이저 및 보호가스별로 완전용입이 달성되는 용접속도 조건에서 용접을 수행한 결과는 각각 Fig. 1과 Fig. 2와 같다.

사용된 SAPH 강판의 경우 SPCC에 비해 두께가 얇기 때문에 더 빠른 속도에서 완전용입 달성이 가능하였다.

CO₂ 레이저의 경우 헬륨을 보호가스로 사용한 경우


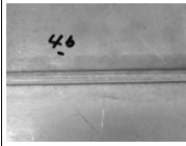
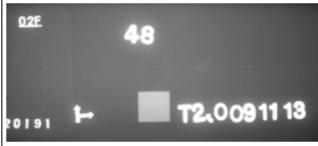
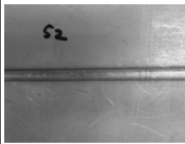
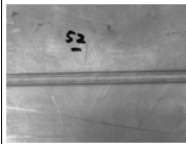
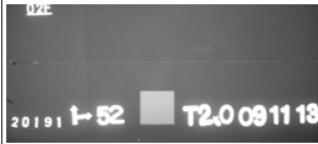

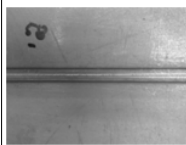
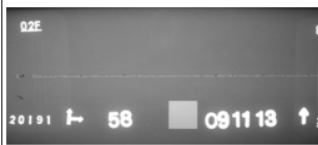


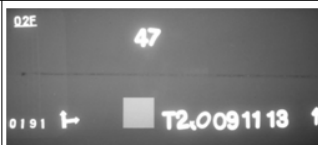
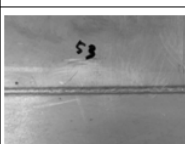

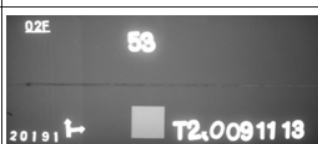


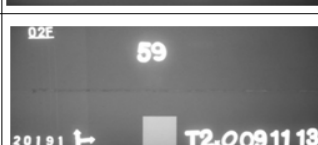


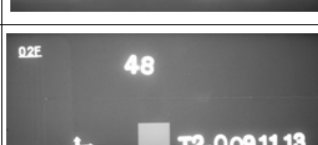

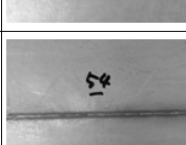
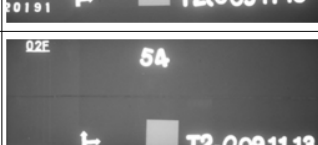


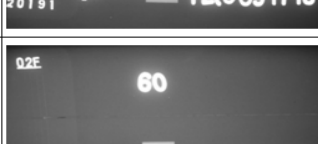
	Shielding	Welding speed	Bead surface	Back bead	X-ray inspection	Comment
CO ₂ laser	Ar	1.4m/min				
	He	1.5m/min				
	No	1.4m/min				porosity
Fiber laser	Ar	4.5m/min				
	He	4.0m/min				
	No	3.0m/min				
Disk laser	Ar	4.0m/min				
	He	4.2m/min				
	No	4.0m/min				

Fig. 1 Laser weldability test results for SAPH400 steel sheets

양호한 용접비드 형성이 가능하였으나 아르곤을 보호가스로 이용하거나 보호가스를 사용하지 않는 경우에는 언더필, 블로우 홀, 기공 등의 결함이 발견되었다.

파이버레이저와 디스크레이저를 이용한 경우에는 CO₂ 레이저를 이용한 경우에 비하여 상당히 빠른 속도에서 완전용입 달성이 가능하였다. 그러나 파장대가 비

슷한 2가지 종류의 고휘도 레이저에서 보호가스별 특성은 상당히 다른 것을 확인할 수 있다. 파이버 레이저의 경우 아르곤을 보호가스로 이용할 경우 가장 빠른 용접속도가 가능하였으나 헬륨을 보호가스로 이용하거나 보호가스를 이용하지 않는 경우에는 상대적으로 느린 용접속도를 보여주었다. 디스크레이저의 경우 아르곤을


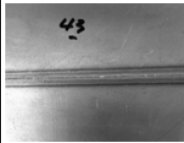
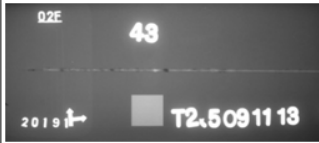
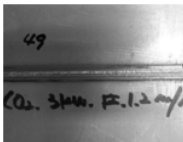

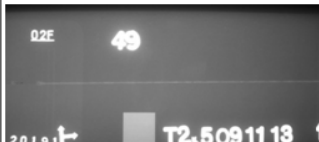
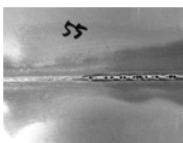

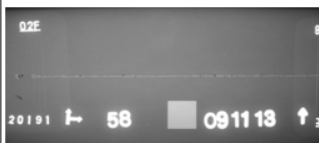
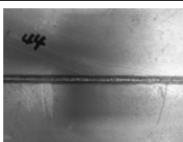

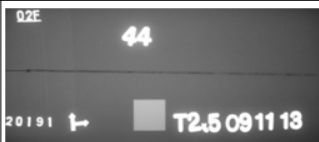
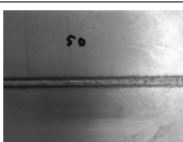
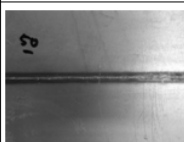
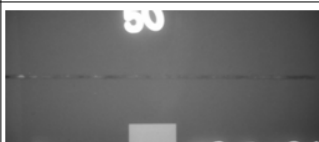
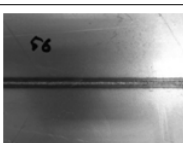

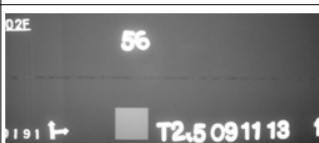
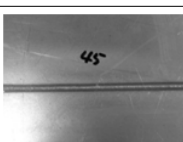
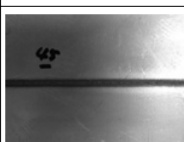
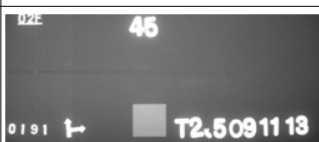
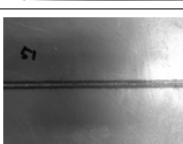

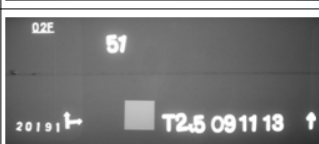


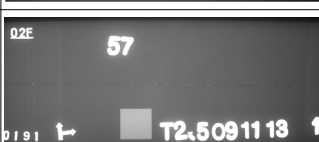
	Shielding	Welding speed	Bead surface	Back bead	X-ray inspection	Comment
CO ₂ laser	Ar	1.1m/min				underfill
	He	1.2m/min				
	No	1.0m/min				blowhole
Fiber laser	Ar	4.0m/min				
	He	2.8m/min				
	No	2.8m/min				
Disk laser	Ar	3.5m/min				
	He	3.8m/min				
	No	3.5m/min				

Fig. 2 Laser weldability test results for SPCC steel sheets

보호가스로 이용할 경우 가장 빠른 용접속도가 가능하였고 다른 보호가스조건에서도 거의 유사한 용접속도 확보가 가능하다. 이는 Fig. 3과 같이 알루미늄 합금에 대한 플라즈마 특성평가에서 파이버 레이저의 레이저 유기 플라즈마의 발생 및 레이저-플라즈마간의 상호반응이 Nd:YAG 레이저와 상당히 다르며 오히려 패턴에서 CO₂ 레이저와 유사하다는 참고문헌²⁾의 결과와 관련

이 있는 것으로 추정되나 관련 후속 연구를 통해 규명이 필요한 것으로 사료된다.

실험결과를 바탕으로 3kW 출력에서 각 소재에 대해 Table 1과 같이 인장시험편 제작을 위한 용접조건을 도출하였다.

디스크레이저의 경우 최대용접속도를 가지는 조건은 아르곤을 보호가스를 이용한 경우이었지만 보호가스를

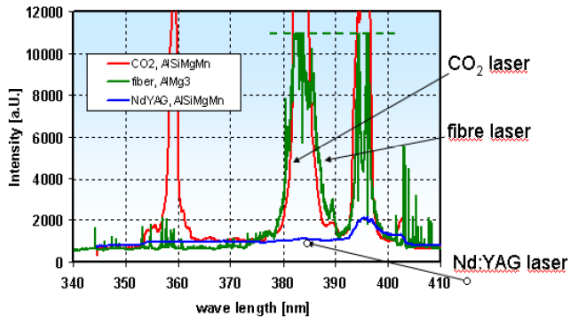


Fig. 3 Plasma spectroscopy of welding with different laser sources. The fiber laser shows plasma excitation lines comparable to the CO₂ laser in contrast to Nd:YAG laser results²⁾

Table 1 Selected welding conditions for tensile tests

	Laser	Welding speed (m/min)	Focal position (mm)	Shielding gas
SAPH440 2.3t	CO ₂	1.4	0	He
	Fiber	4.5	-3	Ar
	Disk	4.0	0	No
SPCC 2.6t	CO ₂	1.2	0	He
	Fiber	4.0	-3	Ar
	Disk	3.5	0	No

Table 2 Tensile test results

Material	Laser	Tensile strength (MPa)	Failure
SAPH440 2.3t	CO ₂	448.9	Base metal
	Fiber	429.8	Base metal
	Disk	429.6	Base metal
SPCC 2.6t	CO ₂	298.7	Base metal
	Fiber	289.8	Base metal
	Disk	284.5	Base metal

이용하지 않는 경우에도 거의 유사한 용접성 및 용접속도의 확보가 가능하므로 보호가스를 사용하지 않고 인장시험편을 제작하였다.

KS B0801 규격에 따라 제작한 인장시험편을 인장시험결과 Table 2와 같이 선정한 6개의 조건에서 모두 모재에서 파단되어 양호한 용접부강도를 가짐을 확인하였다.

3.2 겹 및 높이 단차 대응력평가

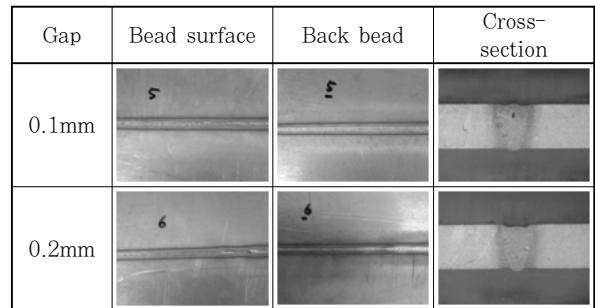
맞대기 용접부에 존재할 수 있는 겹에 대한 각 공정의 특성을 파악하기 위하여 0.1mm, 0.2mm, 0.3mm 겹을 조성하고 Table 1의 용접조건을 이용하여 용접을 수행하였다.

겹이 0.3mm인 경우에는 레이저 빔의 직경에 비하여 겹이 과도하므로 용접이 이루어지지 않았으며 각 소재별로 겹이 0.1mm와 0.2mm일 때 비드의 표면, 이면 및 단면을 Fig. 4와 5에 나타내었다.

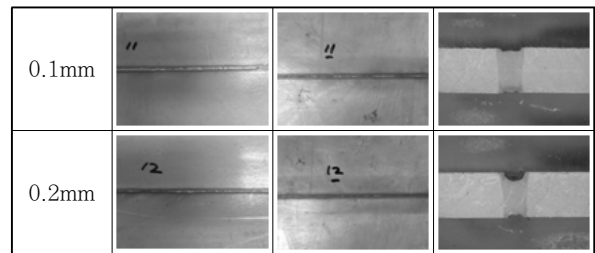
실험에 사용한 레이저 빔의 직경이 레이저별로 조금씩 상이함에도 불구하고 거의 유사한 겹 대응력을 보여 주었으며 겹이 0.2mm인 경우에는 언더필이 발생함을 확인할 수 있다.

그러나 Fig. 5와 6의 모든 조건에 대하여 인장시험을 수행한 결과 파단이 모재에서 일어나기 때문에 정적 인장강도상에서는 충분한 강도를 가짐을 확인하였다.

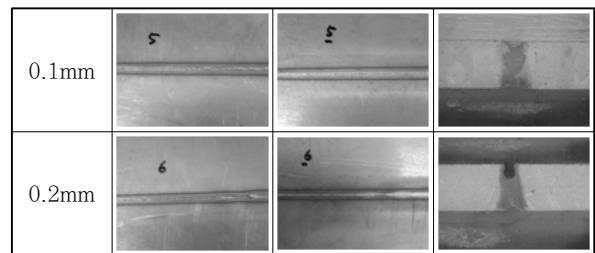
맞대기 용접부의 좌우 단차에 대한 대응력을 평가하기 위하여 0.2mm, 0.4mm, 0.6mm 단차를 조성하고



(a) CO₂ laser

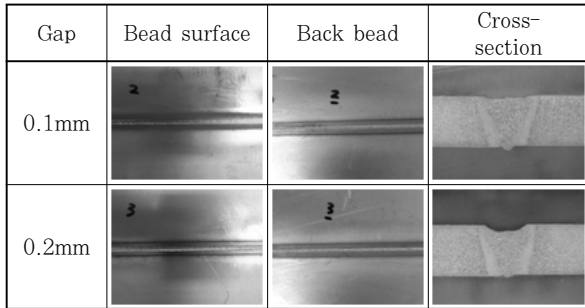


(b) Fiber laser

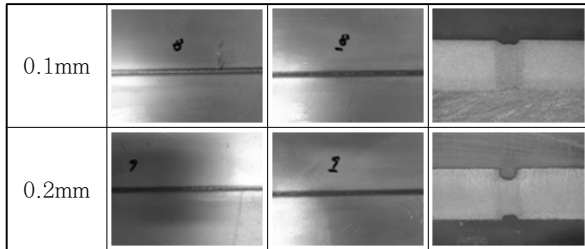


(c) Disk laser

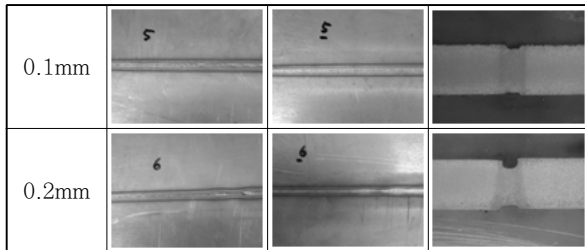
Fig. 4 Gap bridging ability test results for SAPH400 steel sheets



(a) CO₂ laser



(b) Fiber laser



(c) Disk laser

Fig. 5 Gap bridging ability test results for SPCC steel sheets

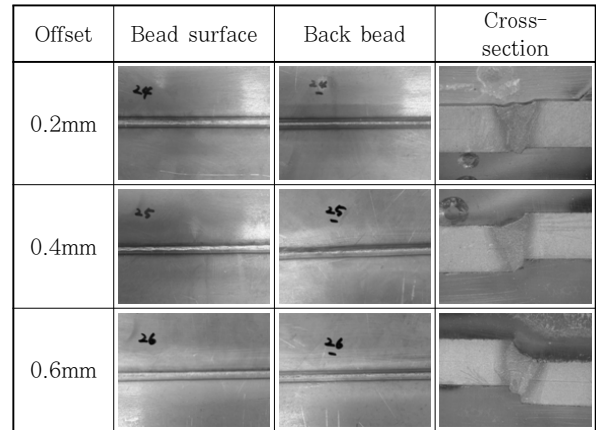
맞대기 용접을 수행하였다. 겹대응력 평가에서와 같이 레이저에 따른 영향이 크지 않는 것으로 판단하여 CO₂ 레이저만을 적용하였으며 이때 각 소재별 용접조건은 Table 1에서 선정된 조건을 이용하였다.

Fig. 6에서 확인할 수 있는 것과 같이 0.6mm까지의 좌우단차에 대해서 양호한 비드 형상을 가지고 있었으며 인장시험을 수행한 결과에서도 모재 파단이 발생하여 충분한 정적 인장강도를 가짐을 확인하였다.

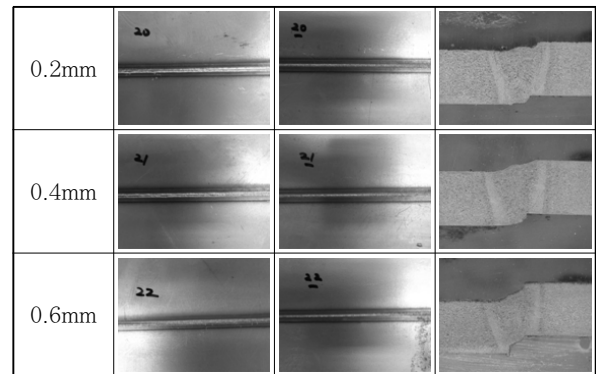
현재 자동변속기 부품의 경우 공차관리가 엄격히 이루어지고 있는 것에 비해 0.2mm 겹과 0.6mm 좌우단차와 같이 가혹한 조건에서도 양호한 용접부 형성이 가능하므로 레이저 용접적용 시 충분한 겹 및 좌우단차 대응이 가능한 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 실험에서는 자동차 자동변속기 소재인 SAPH440 열연강판과 SPCC 일반 냉연강판에 대한 레이저 맞대기 용접 특성을 평가하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.



(a) SAPH440



(b) SPCC

Fig. 6 Offset bridging test results for CO₂ laser welding

(1) CO₂ 레이저용접 시 헬륨을 보호가스로 사용할 경우 양호한 비드를 얻을 수 있었으나 아르곤 보호가스 분위기나 보호가스를 사용하지 않은 경우에는 비드표면 불균일 및 기공, 블로우 홀 등이 관찰되었다.

(2) 파이버레이저와 디스크 레이저 용접 시 아르곤, 헬륨 보호가스 분위기나 보호가스를 사용하지 않는 경우 모두 결함이 없는 양호한 표면비드를 얻을 수 있었다.

(3) 아르곤 보호가스와 파이버레이저를 적용한 경우가 가장 높은 용접속도에서 완전용입 달성이 가능하였으나 파이버 레이저의 경우 보호가스별 완전용입 달성 용접속도의 차이가 크게 나타났다. 디스크레이저의 경우 보호가스 없이도 빠른 용접속도와 용접품질 달성이 가능하였다.

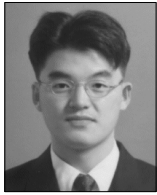
(4) CO₂레이저와 헬륨 보호가스, 파이버레이저와 아르곤 보호가스, 디스크레이저와 보호가스없음에 대해 인장시험을 수행한 결과 모두 모재에서 파단이 발생하는 양호한 용접 강도가 확인되었다.

(5) 각각 선정된 조건으로 겹과 좌우단차에 대한 실험을 수행한 결과 0.6mm 좌우단차에서도 비드 표면 및 결함이 발생하지 않았으며 인장강도도 충분하였다.

갭 대응력 평가 결과 0.2mm이내의 갭에 대해서는 용접부 형상 및 강도를 만족하였으나 0.3mm에서는 양호한 비드 형성이 불가능하였다.

참 고 문 헌

1. S. Ream: North American Automotive Laser Applications - Today and Tomorrow, European Automotive Laser Application, 2005
2. E. Beyer, B. Brenner, A. Klotzbach and S. Nowotny: Laser Macro Processing - Today and Tomorrow, Proceedings of the 4th International Congress on Laser Advanced Materials Processing(LAMP), 2006, Paper No. 35
3. D. Havrilla and R. Brockmann: The Third Generation of Disk Lasers: A New Benchmark for Industrial Solid State Lasers, Journal of KWJS, **27-4** (2009), 362-369



- 김철희
- 1973년생
- 한국생산기술연구원 용접·접합연구부
- 용접공정해석 및 자동화
- e-mail: chkim@kitech.re.kr



- 안영남
- 1982년생
- 한국생산기술연구원 용접·접합연구부
- 용접시공 및 공정최적화
- e-mail : dksdudsk@kitech.re.kr