

## 자동차 자동변속기 부품의 레이저 용접 적용

안영남\* · 김철희\*<sup>†</sup>

\*한국생산기술연구원 용접·접합연구그룹

### Laser Welding of Automotive Transmission Components

Young-Nam Ahn\* and Cheolhee Kim\*<sup>†</sup>

\*Welding & Joining Research Group, KITECH, Incheon 406-840, Korea

<sup>†</sup>Corresponding author : chkim@kitech.re.kr

(Received November 29, 2011 ; Revised December 12, 2011 ; Accepted December 16, 2011)

#### Abstract

In this research, laser welding of automotive transmission components was investigated to replace electron beam welding which is normally conducted under vacuum condition. Fiber laser welding was applied to the automotive transmission components - hub clutch and annulus gear. In the component welding, the laser welding parameters were optimized to eliminate spatters and the end crater. By applying laser welding to the transmission parts, the process time could be reduced up to 70% compared with the current electron beam welding process.

Key Words : Automotive transmission, Laser, Welding, Electron beam welding, Parameter optimization

을 적용하여 적용성을 평가한 결과를 소개하고자 한다.

#### 1. 서 론

레이저 용접은 고밀도 에너지빔을 이용하는 용접방법으로 레이저 빔을 재료표면에 조사하면 매우 빠른 시간 내에 에너지가 재료에 흡수되고 용융열로 변환되어 용융과 응고가 매우 빠르게 진행되는 고품위 용접방법이다.

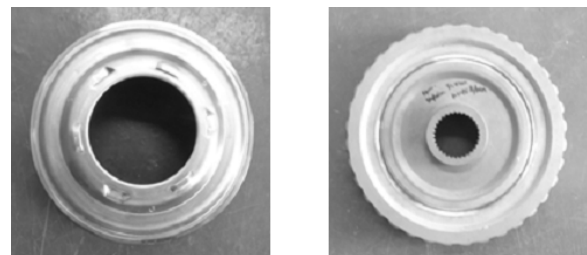
자동차의 변속기는 엔진의 발생동력을 전달하는 부품으로 변속기의 효율 향상만으로도 10%이상의 연비향상이 가능한 고연비 자동차개발의 핵심부품이다. 자동차 변속기 부품의 경우 아직 국내에서 전자빔용접이 주로 이용되고 있으나 생산성이 높은 레이저 용접을 적용하려는 시도가 활발하다<sup>1-3)</sup>.

저자는 기존 기술보고를 통하여 자동변속기 부품 중 애널러스 기어와 허브클러치 부품에 레이저 용접을 적용하기 위해 CO<sub>2</sub>, 디스크, 파이버레이저를 이용하여 적용소재의 레이저 용접성을 평가하여 소개하였는데<sup>4)</sup>, 본 기술논문에서는 이 중 파이버레이저를 이용하여 실 부품인 애널러스 기어(Annulus gear)와 허브클러치 어셈블리(Hub clutch assembly)부품에 레이저 용접

#### 2. 실험장치 및 방법

본 실험에 적용한 부품은 Fig. 1과 같이 SPCC강과 SCR 420HB강이 조합된 애널러스 기어와 SPFH590강과 SAPF440강이 조합된 허브 클러치 어셈블리 부품이다. 각 부품의 반지름은 애널러스 기어의 경우 134mm이며 허브 클러치 부품의 경우 112mm이고, 각 소재별 화학 조성을 Table 1에 나타낸다.

실험에 사용된 레이저는 최대출력 3kW급인 파이버



(a) Annulus gear

(b) Hub clutch assembly

Fig. 1 Powertrain components

**Table 1** Properties of base materials

	C	Si	Mn	P	S	Fe
SPCC	0.0974	0.01	0.238	0.0132	0.005	Bal.
SAPH440	0.0956	0.011	0.685	0.0106	0.050	Bal.
SPFH590	0.09	0.1	0.39	0.009	0.002	Bal.
SCR420 HB	C	Si	Mn	P	S	Cu
	0.022	0.026	0.089	0.0013	0.004	0.015
	Ni	Cr	B	Nb	Fe	
	0.007	0.122	0.0002	0.0023	Bal.	



(a) (b)

**Fig. 2** Experimental apparatus: (a) Fiber laser, (b) Laser welding system

레이저를 이용하였다. 200 $\mu$ m의 광파이버를 통해 전송되어 초점거리 300mm 광학계를 통해 모재에 조사되었으며 이 때 빔의 최소 직경은 0.36mm로 측정되었다. Fig. 2와 같이 턴테이블을 이용하여 레이저 광학계를 고정하고 부품을 회전시키면서 용접을 수행하였고, 노즐을 이용하여 표면에 Ar 20 l/min의 유량을 공급하였다.

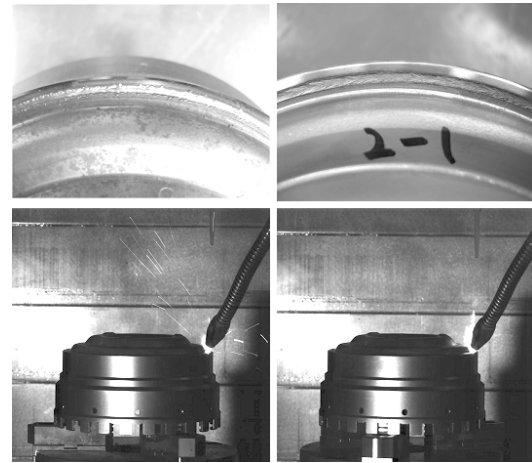
요구하는 허용 규격은 애널리시스 기어의 경우 용입깊이는 1.8mm 이상, 표면의 비드폭은 2.0mm 이내, 비드높이는 0.5mm 이내, 좌우 단차는 0.15mm로 규정하고 있다. 허브 클러치 부품의 경우 허용 용입깊이는 2.1mm ~ 2.3mm이며 그 외의 규정은 애널리시스 기어와 동일하다.

용접성의 평가는 표면 및 이면 비드의 외관형상과 단면검사, 비커스 경도시험, 토크시험 그리고 용접시간(cycle time)을 측정하여 전자빔 용접과 레이저용접과의 공정능력을 비교 분석하였다.

### 3. 실험결과

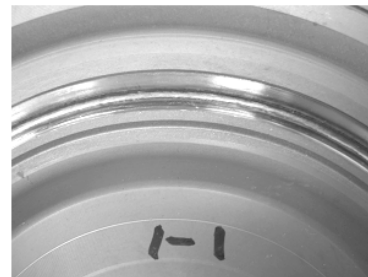
#### 3.1 스파터 저감 조건의 도출

판재 적용 평가에서 도출된 조건을 기반으로 애널리시스 기어부품에 대해 레이저 출력 3kW, 용접속도 3m/min, 레이저 빔의 초점을 부품의 표면에 위치시키는 용접조건으로 레이저 용접을 수행한 결과는 Fig.



(a) (b)

**Fig. 3** Spatter generation during laser welding of annulus gear : (a) Laser power: 3kW, Focal position: 0mm, (b) Laser power: 2.5kW, Focal position: -13mm



**Fig. 4** Laser-welded hub clutch assembly

3(a)와 같다. 이 조건에서는 스파터가 심하게 발생하였으며 이는 판재 실험에서 동종 소재가 이용되었으나 실제 부품에서는 이종 소재가 이용되어 용접성이 판재실험과 다르게 나타난 것으로 사료된다. 스파터발생의 원인인 에너지 밀도를 낮추기 위해 레이저출력을 2.5kW로 낮추고, 초점 위치를 레이저 조사 반대방향으로 13mm로 변경하여 용접을 수행하였으며 그 결과는 Fig. 3(b)에 나타낸다. 허브클러치 어셈블리의 경우에도 동일한 용접조건으로 용접을 수행하여 Fig. 4에 나타내며, 수정된 조건에서는 두 부품 모두 스파터가 저감되어 부품에 스파터가 부착되지 않았다.

#### 3.2 엔드부의 크레이터 제거

용접에서 크레이터란 용접의 비드 종단부에서 용융지가 그대로 응고함으로써 생기게 되는 움푹 패인 형상을 말한다. 이 부분은 블로우홀 등이 완전히 제거되지 않은 상태로 급랭될 수 있기 때문에 내부에 결함이 잔존

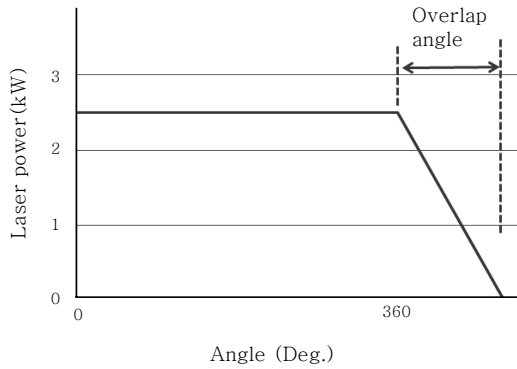


Fig. 5 Laser output power profile for crater elimination

하기 쉽고 균열의 발생기점이 될 수 있어 아크용접에서는 용접을 끝내기 직전 전류를 줄인 상태에서 잠시 아크를 지속시켜 크레이터를 채워준다<sup>5)</sup>. 용접속도가 빠른 레이저 용접에서는 끝부분에서 출력을 점차적으로 줄여주는 램핑다운(Ramping down)을 이용하여 크레이터를 제거하는 것이 바람직하다. 실험에서는 턴테이블이 1회전 이후 오버랩 각도를 주면서 램핑 다운을 하였으며 Fig. 5는 크레이터 제거를 위한 출력의 램핑다운을 개략적으로 보여준다. 이를 통해 원형으로 용접이 수행되는 용접부에서 용접 시작점과 끝점에서 발생하는 불균일한 비드 형성을 방지하고자 하였다.

램핑 다운에 따른 크레이터 거동을 관찰하기 위하여 Table 2와 같은 6개의 오버랩 조건으로 2.6mm 두께의 SPCC 소재에 반경 134mm의 원을 모사하면서 비드용접을 수행하였다. 용접 후 시험편의 크레이터부분의 높이를 비접촉 3차원 형상측정기를 이용하여 측정하였으며, 비드 표면 형상과 크레이터의 높이는 각각 Fig. 6과 Fig. 7과 같다. 0도와 5도의 오버랩 각도에서는 크레이터부의 비드 높이가 모재보다 낮았으며 10도 이상에서는 충분한 오버랩이 수행되어 비드 균일성이 확보되므로 크레이터부의 비드 높이가 모재와 유사하거나 높은 것을 알 수 있다.

3.3 레이저 용접부 평가

3.1절과 3.2절에서 선정한 공정조건을 이용하여 용접한 애널러스기어와 허브클러치 어셈블리에 대해 단면 검사를 수행하여 Fig. 8에 나타내었다. 제품의 규격이 요구하는 비드 높이, 용입깊이, 비드 폭 그리고 좌우단차를 만족하였으며, 전자빔 용접의 경우 진공에서 용접이 이루어지기 때문에 로딩과 언로딩을 제외하고 진공 + 용접시간은 약 22~25초가 소요됨에 비해 레이저 용

No.	overlap time (ms)	overlap angle (°)	overlap length (mm)
1	0	0	0
2	35	5	1.8
3	70	10	3.5
4	105	15	5.3
5	140	20	7
6	175	25	8.8

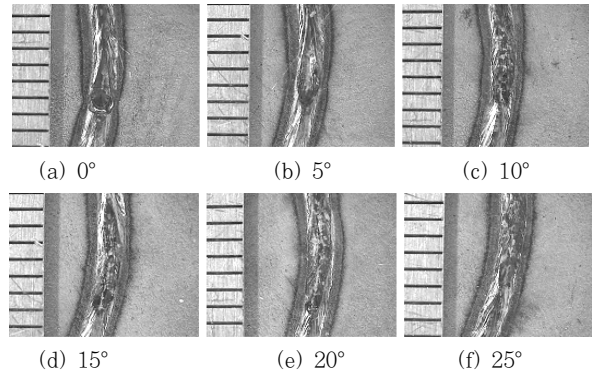


Fig. 6 Bead appearances according to various overlap angles

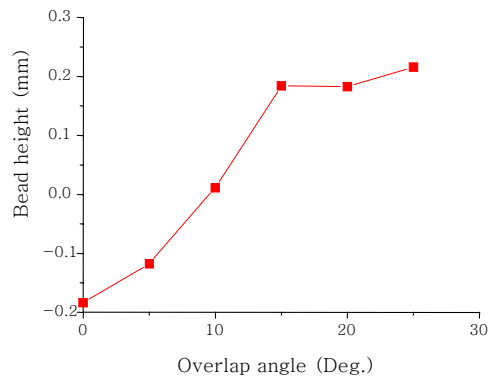


Fig. 7 Measured bead height at crater

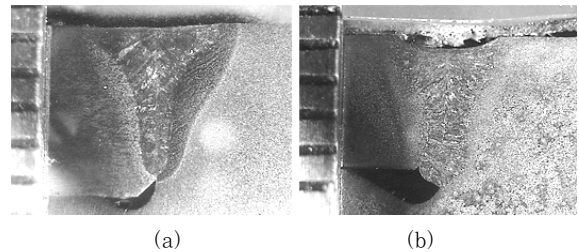
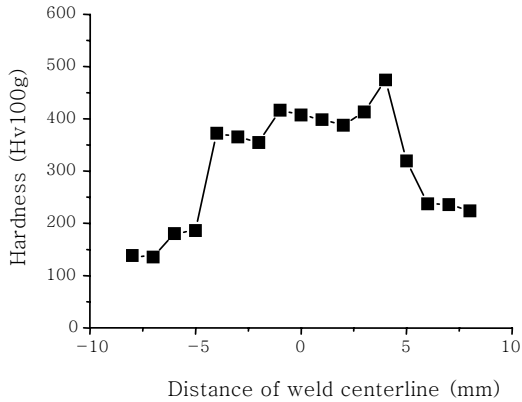


Fig. 8 Cross-sections: (a) annulus gear, (b) hub clutch assembly

접은 진공이 필요 없기 때문에 순수 용접시간은 약 5~7초가 소요됨으로 전자빔 용접과 레이저 용접의 공정능력을 비교해보면 약 70% 이상의 공정속도가 향상



**Fig. 9** Vickers hardness profile for annulus gear part

이 기대된다. 허브 클러치 어셈블리 부품에 대한 토크 측정 결과 요구 강도가 50.5kgf·m 이상인데 반해 레이저 용접의 경우 약 240kgf·m의 강도를 보여 충분한 강도를 가짐을 확인하였다. 애널러스 기어의 경우는 용접부의 강도보다 부품의 강도가 낮아 토크 평가가 불가능하여 Fig. 9와 같이 비커스 경도시험을 수행하였다.

애널러스기어의 경우 SPCC강과 SCR420HB강이 사용되는데 SPCC 모재의 경우 약 135Hv의 경도값을 나타내었고 SCR420HB 모재의 경우 약 240Hv를 나타내었다. 용접부의 경우는 약 400Hv의 값을 보여 강도상 문제가 없을 것으로 판단된다.

## 4. 결 론

본 실험에서는 자동차 자동변속기 부품인 애널러스 기어와 허브 클러치 어셈블리 부품에 대해 레이저 용접을 적용하였다. 레이저 용접에 비해 낮은 생산성을 가지는 전자빔 용접을 대체하기 위한 레이저 용접을 적용할 경우 공정시간을 약 70% 이상 향상시킴으로 생산성이 향상될 것으로 기대되며 용접부 품질평가에서도 전자빔 용접과 동등하거나 그 이상의 결과를 얻을 수 있었다.

## 참 고 문 헌

1. S. Ream : North American Automotive Laser Applications - Today and Tomorrow, Proceedings of 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, **19-2** (2001), 362-369
4. C. Kim and Y.-N. Ahn : Laser Weldability of Carbon Steels for Automotive Auto-Transmission Parts, Journal of KWJS, **28-3** (2010), 237-242 (in Korean)
5. 대한용접학회편 : 용접·접합용어사전, 2001, 281 (in Korean)