

# Nd:YAG 레이저를 통한 SIDE PANEL 의 3 겹 겹치기

## 레이저 용접

현대 자동차 주식회사 차체 기술 계획팀 장인성, 서보신, 권태용

Laser welding is an important technology in the assembly of automotive. In this paper, Nd:YAG laser welding of applications for auto body assembly will be introduced. This paper will describe characteristics of the CW Nd:YAG laser lap-joint welding, and laser welding of specific configurations for a Zinc-coated steel. Experimental results indicated that the weld quality of auto body assembly using the CW Nd:YAG laser welding technology.

### 1. 서론

자동차산업에 있어서 Nd:YAG 레이저를 통한 차체 부분의 용접은 차체 경도의 향상뿐 아니라, 차체의 중량 감소를 통한 경량화에 지대한 영향을 미친다. 또한 레이저 용접은 접합 형태에 있어서 연속적인 용접형태를 가능하게 하므로써 사이드 판재의 비틀림 경도를 약 30%의 성능 개선을 유도 하며<sup>1)</sup>, 이로 인한 경량화 정도의 향상을 가져온다. 빔의 유입이 광 화이버를 통하여 가능하며 이 장점은 레이저의 용접 탄력성에 매우 유용하도록 작용한다. 비접촉을 통한 레이저 용접은 자유로운 위치변경의 가능성을 제시한다. 자유로운 위치 변경의 가능성은 다만 로봇과 가공 헤드 또는 누름 장치에 의하여 제한된다. 종래의 저항용접에 비하여 레이저 용접은 얇은 판넬을 제공하며, 레이저 빔의 높은 에너지 밀도는 고속의 용접 속도와 높은 생산성을 제공하며, 동시에 낮은 열 유입을 통하여 적절한 열 확산과 적은 내부응력을 형성케 한다<sup>2)</sup>. 또한 진동부하에 있어서 현존의 저항용접보다 높은 강도와 경도를 갖는 것을 알 수 있다. 또한 용접 비드의 안정적인 형성을 위하여 정확한 간격을 가능하게 하는 Tool 개발도 동시에 진행되었다.

위에 열거한 다수의 장점에도 불구하고 레이저 용접은 여러 인자들에 의하여 영향을 받으며 특히 용융강판에 있어서 각 플랜지 사이의 간격과 평면도 형태 그리고 플랜지의 설계 형태등에 의하여 지대한 영향을 받는 것을 관찰할 수 있었다.

3 겹 겹치기 용접은 2 층의 간격으로 인하여 우수 자동차 업체에서도 어려움의 한계성을 제시한 바 있다. 본 연구에서는 3 겹 겹치기 용접의 시편 유형과 용접 속도에 의한 용접 상태 또한 플랜지 끝 단부로부터의 최적 거리와 인장 시험에 대하여 고찰 되었다.

## 2. 실험방법

### 2.1 레이저 용접의 재료 및 실험 조건

본 연구를 위하여 3 종류의 용융도금강판 SGARC35 60/60(1.2t), SGARC35 60/60(1.4t), SGACEN F30/F60(0.7t) 이 사용되었으며, Side Panel 은 현존의 3 겹 상태로 실험을 실시 하였다. 사용된 레이저는 HAAS 사의 CW HL4006D(4kW)를 사용했으며, 빔은 모재에 수직으로 용사되며, 직경은 1:1 비율에 의한 0.6mm 의 지름을 갖는다. 이 연구에서는 되도록 높은 용접 속도를 위하여 적은 초점 직경을 갖도록 했다. focallength 는 용접 스페타와 기름의 증발에 대처키 위하여 가능한 멀리( $f=200\text{mm}$ ) 격리되도록 하였다. 시간 경과에 따른 Nd:YAG 레이저 빔의 안정성과 품질은 25 mm mrad 을 갖는다. 프로세스 안정성과 속도에 있어서 Nd:YAG 레이저는 CO<sub>2</sub> 에 비교하여 높은 값을 갖는 것을 알 수 있다<sup>3)</sup>.

용접의 형태로서 20mm 의 Stitch 길이로 용접을 한 후 30mm 를 이동하여 다시 용접 을 시도하였다. 차후 인장시험을 위하여 100mm × 330mm 의 철판을 사용하였다.

### 2.2 3 겹 겹치기 용접

2 층의 간격으로 인한 3 겹 겹치기 용접의 입지적 조건의 문제점을 해결하기 위해서 여러 형태의 용접 형태를 Fig. 1 에서 시도 하였다. 모든 시편의 간격은 클램프에 의하여 0 Gap 상태로 용접을 실시 하였다. 용융강판의 두께는 상부 판재 1.2mm 중간 판재 1.4mm 와 하부 판재 0.7mm 로 구성되어 있으며 모든 판재는 양면 도금 강판이다. 각 용접 형태의 실험 변수들을 아래의 table 1 에 열거 하였다.

Table 1: 레이저 출력과 속도에 의한 용접 형태의 변수.

용접 형태	a	b	c	D
출력[ kW]	4	4	4	4
속도[m/s]	0.03	0.045	0.05-0.07	0.05-0.1

### 2.3 3 겹 겹치기 용접에 있어서의 속도별 BEAD 변화와 최적 용접위치 선정

속도별 Bead 의 상태를 측정하기 위하여 레이저의 동일 출력( $P=4 \text{ kW}$ )으로 실험을 실시 하였으며 용접 속도( $v$ )는 0.01m/s-0.05m/s 로 각 속도에 있어서의 경향을 시각적 관점에서 고찰 하였다. 겹치기 용접에 있어서 3 겹 모두 용융 아연 도금강판의 기본적 재질 조건을 통하여 거의 0 Gap 상태에서의 아연증기의 직접적인 동향과 상부 판재의 비드 형상(길이, 깊이, 함몰정도, 폭, 증기 폭발), 용접 질함 동시에 레이저 용접에 직접적인 영향을 미치는 로봇의 동특성에 대한 관찰도 함께 이루어 질 수 있다.

플렌지 끝 단으로 부더의 최적 용접 위치를 선정하기 위하여 위의 동일한 용융 강판과 출력 ( $P=4\text{kW}$ )을 사용하였으며, 플렌지 단부로부터 1.5, 3, 5, 7mm 의 거리에서 레이저 용접을 실시 하였다. 판정은 상부 판재의 Bead 형상에 의하여 정의 하였다. 아연 증기 상태의 동향과 함께

Bead 형상이 구체적으로 논의 되었다. 열거한 사항들은 레이저의 밀도와 함께 그 에너지 분포를 통한 모재 내에서의 내부열의 확산과 그로 인한 내부응력 즉 잔류응력의 영향들을 볼 수 있었다. 또한 6축 로봇을 통하여 용접 경로와 재현정확성을 확인할 수 있었다. 차체의 설계 응력에 바탕을 둔 진동 강도의 실질적인 값은 직접적으로 비드의 위험한 부분에 발생하는 모든 응력 원소들이 관찰되어야 한다. 이들의 응력 정도를 알아보기 위하여 인장, 굽힘 또는 비틀림 시험에 의하여 유도되며 이 실험에서는 인장 시험을 통하여 점 용접과 함께 레이저 용접을 실시 하였으며 두 값을 비교하여 분석 하였다.

### 3. 실험 결과

Nd:YAG 에 의한 3 겹의 겹치기 용접에 있어서의 용접 형태를 Fig. 1 에서 나타내고 있다.

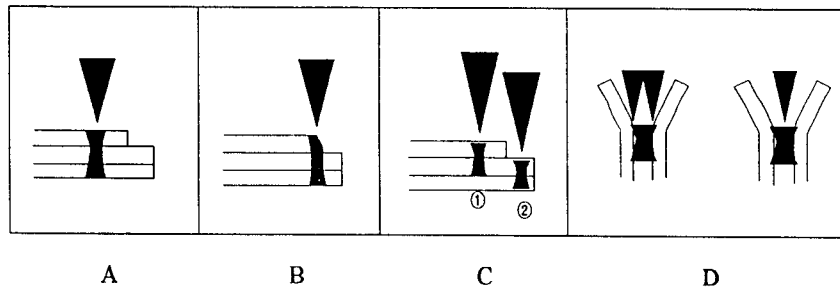


Fig. 1: 용접 형태에 의한 3 겹 용접의 겹치기 형태

A 방식에 의한 3 겹 겹치기 용접에 있어서 상기 플랜지의 용접 형태는 비드 형성에 있어서 매우 양호한 형태를 형성했다. 상부 판재와 하부 판재 두께의 차이가 거의 2 배인 상태에서 최적 변수의 선정에 어려움이 있었으나 반복되는 변수 선정을 통하여 양호한 비드를 얻어낼 수 있었다. 고 밀도 에너지 분포에 의해 아연 증기의 증발이 발생에도 불구하고 판재 내부에서의 적절한 열 확산과 이상적인 내부 응력의 형성을 볼 수 있었다. 또한 이상적인 비드 폭과 함께 길이와 깊이 그리고 아연증기 가스의 배출도 적절한 비드 형성에 적은 영향을 나타냈다.

아연 증기의 적절한 배출을 위한 상부 판재 끝 부위에서의 용접형태 B 는 판재 끝 부위의 에너지 집중을 통하여 불규칙적인 비드 형성과 함께 증기 가스의 외부 유출에도 큰 영향을 주지 못했다. 또한 판재 단부 상의 레이저 초점의 오차 발생시 과도한 용접 불량 현상과 함께 현저한 강도 저하를 가져온다. 초점 조정 위치 편차를 통하여 용접 비드의 재현성에 많은 어려움과 그로 인한 용접 불량을 나타냈다.

3 겹 상태에 있어서의 2 겹 용접 C 는 1 위치에 있어서 레이저 빔의 미 투과 현상은 아연 증기의 판재 내부 내에서의 잔류를 통하여 용접 지점 주위로의 기공 형성을 초래 하였으며 그로 인한 용접 불량을 초래 하였다.

뜸새 용접에 의한 용접 형태 D 는 티칭의 어려움과 상부와 하부 판재의 2 중 용접은 모재에 있어서의 과도한 열 영향부를 형성 하였으며, 이로 인해 판재 내에서의 무리한 열 확산과 함께 심각한 판재 변형과 용접 불량을 초래 하였다. D 형태에 있어서 레이저의 출력과 속도에 의한 적절한 변수를 찾을 수 가 없었다.

용접 속도가 비드 형상에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 0.01m/s 에서 0.05m/s 까지의 속도별 비드 형태를 Fig.2 에서 나타내었다.






속도[m/s]	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05
비드형태					

Fig.2: 용접 속도가 비드 형상에 미치는 영향 (GA1.2t+GA1.4t+GA0.7t)

3 겹 아연 도금 강판의 맞대기 용접에 있어서 저속의 용접 과정은 레이저 빔의 용입량을 증가시키며 그로 인한 비드 폭의 확장 현상을 현저하게 볼 수 있었다. 저속( $V=0.01\text{m/s}$ )의 용접은 모재 내부에서의 열확산에 긍정적인 작용을 통하여 아연 가스 폭발의 현상을 최소화 할 수 있었다. 그러나 레이저 적용의 경제성 문제와 양산 적용을 위한 C/Time 에 부정적인 역할을 한다. 고속의 용접 속도를 가능케하는 레이저 용접은 자동차 산업계의 경제성을 제시하는 중요한 항목으로서 레이저 출력이 높으면 높을수록 용접속도의 향상을 가져온다<sup>4)</sup>.

용접속도 0.03m/s 에 있어서는 안정적인 내부 응력의 확산을 통하여 3 겹 용융도금강판에 있어서 최상의 용접 비드를 형성했다. Fig.2 에서 보듯 용접 속도의 향상은 레이저 빔의 출력 감소와 그로 인한 하부 판재의 불충분한 비드 형태를 유발 시키며 아연 가스의 증발 현상에 바람직하지 못한 영향을 줌으로서 비드의 기공현상 증대를 가져왔다.

Fig. 3 에서는 동일출력( $p=4\text{kW}$ )에 의한 플랜지 단부로부터의 최적 용접 위치(X)를 확인할 수 있다.


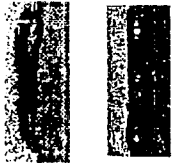



X (mm)	1.5	3	5	6
				

Fig. 3: 플랜지 단부로부터의 최적 용접 조건 선정

0.6mm 의 레이저 빔 직경의 레이저 용접은  $X=1.5\text{mm}$  에서 용융물의 흘러내림 현상이 현저히 발생 했으며,  $X=3\text{mm}$  부터 용접 비드의 이상적인 형상을 나타내고있다.

이는 플랜지 단부의 용접 비드와 함께 용접 범위에 있어서의 내부열의 배출 경로에 원인을 찾

을 수 있다. 즉 플랜지 단부에 가까우면 가까울수록 모재의 용접 부위 주변에 불충분한 열 유도 가능성이 형성되며, 이를 통한 열 유도 막힘 현상이 발생된다. 심각한 경우에 있어서는 열 유도 막힘 현상을 통한 열 역학적인 내부 응력이 발생하여 비드의 파괴 현상이 발생하게 된다. 이 실험의 결과로 X=3mm 로부터 최적의 용접 비드 형상을 관찰할 수 있었다. 레이저 용접에 의한 기공 형성 빈도는 기존의 용접 방식보다 높게 생기는데, 이는 “용접 비드의 깊이/ 용접 비드의 폭”의 관계에 있어서 현저한 차이와 동시에 고온으로 인한 짧은 용융 시간 및 냉각시간이 용융 풀에 있어서의 가스 방출을 저해 한 것으로 사료된다. 일반적으로 이 문제는 아연도금 강판에 있어서 심각하게 발생한다.

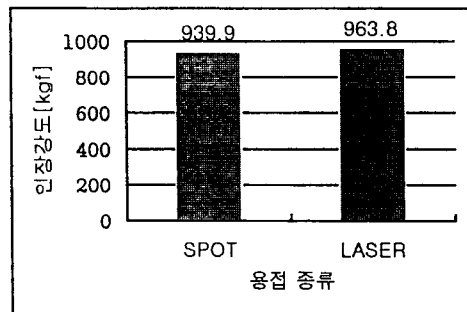


Fig.4: 용접 방식에 따른 연속적 비드의 경도 모습

레이저 용접에 의해 가능케 된 연속적인 직선 형태의 비드 형상은 점 용접에 비하여 상대적으로 높은 강도 값을 보여 주고 있다(Fig.4). 종합적인 결과로 레이저 용접은 점 용접에 비교하여 15-30%의 강도 향상을 볼 수 있었다.

#### 4. 결론

1. 주어진 강판(GA1.2t+GA1.4t+GA0.7t)에 있어서는 3 겹 겹치기 용접에 있어서 0.03m/s 의 변수가 아연 증기 발생과 내부 응력 형성에 이상적인 조건을 나타냈다.
2. 레이저 용접을 산업에 적용하기 위하여는 현저한 용접 판재 두께 차이에 의한 용접의 어려움을 설계 변경을 통하여 개선해야 한다.
3. 3 겹 겹치기 용접은 2 층의 간격 발생에 의해 용접 깊이가 전체 판재 두께보다 커야 하므로 향후 산업에 있어서 레이저 용접을 2 겹 용접으로 현실화 하는 문제가 남아 있다.
4. 모재 내에서의 긍정적인 열 확산과 아연 가스의 증발 현상이 본 연구에서는 0.03m/s 에서 최상으로 나타났다.
5. 플랜지 끝 단에서의 최적 용접 위치는 3mm 로 부터 이상적인 비드 형상을 보여 주었으며 이는 충분한 단부를 통한 열 분포 막힘 현상을 피할 수 있었기 때문이다.
6. Crashtest 에 있어서 레이저 용접은 점 용접에 비하여 경도 및 강도에 있어서 보다 향상된 값을 보였다. 이를 통하여 Side Panel 용접에 있어서 용접 수를 줄일 수 있는 방안을 마련

할 수 있다.

7. 레이저 용접은 판재에 있어서 좁은 간격의 절대적인 유지와 정확한 위치 선정을 요구한다. 판재 간격의 최대 허용치는 레이저 빔의 초점 직경과 용접 비드의 선택된 영역 등을 말할 수 있다.
8. 아연 도금 강판에 있어서 고속의 용접 속도와 높은 에너지 밀도로 순식간에 아연이 가스화 되며 그로 인해 응고되는 용융 풀에 가스 기공을 형성한다. 그러므로 정확한 용접 감시 장치와 함께 용접 비드 표면의 절대적인 밀봉이 요구된다.

### 참고문헌

1. Prof. Dr.-Ing. A. Neumann, in Chemnitz and Prof. Dr.-Ing. A. Hobbacher, Wilhelmshaven, Schweißen and Schneiden, 50 vol. 50 p.431-448 (1998).
2. D. Radj, R. Koller, U. Dilthey, O. Buxbaum, Laserschweißgerechtes Konstruieren in Stuttgart (1993).
3. Bartel, W. u. a.: Influence of beam quality when welding with Nd:YAG-Lasers and CO<sub>2</sub>-Lasers. Conference on Lasers in Material Processing, Laser '97, Muenchen, Juni 1997.
4. Hendricks, M.. Qualitätsuntersuchungen an Laserstrahlschweißverbindung un-, niedrig- und hochlegiertes Stähle. Diss. Aachen 1991.