

# 자동차용 강판의 레이저하이브리드 용접강도에 관한 연구

## A study of Laser Hybrid Welding Strength of the thin steel plate for the Automotive parts

(주)성우하이텍 기술연구소 김중섭, 정태현, 이문용

### I. 서론

레이저 용접이 차체 및 부품 접합공정에 사용되기 시작한 것은 근래의 일이지만, 아직은 광범위하게 적용되는 단계는 아니다. 레이저용접 적용을 위한 첫 번째 난관은 제품의 특성상 겹치기 용접형태가 많은데 판재사이의 갭 제어가 아주 어렵다는 것이다. 갭이 크면 용락(burn-through)이 발생하기도 하며 심지어 접합이 되지 않기도 한다. 두 번째 난관은 아연도금강의 경우인데 두 판재간 갭이 없으면 아연이 기화되면서 블로우 홀이 생성된다. 하이브리드 용접은 이러한 문제들을 해결하기 위한 접합기술이다. 레이저용접보다 더 큰 갭을 가진 판재의 겹치기 용접이 가능하며, 더 작은 레이저 열원으로 용접속도는 레이저용접 속도와 거의 동일하면서 겹치기 용접에서 더 나은 용접품질을 얻을 수 있다. 따라서 자동차 부품 조립 시 이상적인 공정이라 할 수 있다.<sup>1)</sup>

일본 등 선진국 자동차 업계는 자동화가 쉬운 Nd:YAG-MIG 하이브리드 용접을 고려하고 있고, 레이저와 아크를 동 축으로 하는 장비 개발, 적용성, 용접조건 확립, 용접부의 평가 등의 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 최근 들어 국내에서도 기업체 및 연구소에서 연구가 활발히 진행되고 있다.

본 연구에서는 Nd:YAG - MIG 하이브리드 용접장치를 이용하여 용접부의 비교 강도 평가를 통해 자동차용 강판용접 시 충분한 접합 강도를 확보하기 위한 기초 데이터를 제시하고자 한다.

### II. 실험방법

#### 1. 실험장치의 구성

본 용접실험에 사용한 레이저는 Trumpf사의 4.0kW Nd:YAG레이저이며, 빔 헤드는 ABB 로봇에 설치하였다. 하이브리드 용접용 헤드는 Fronius 사의 Laser-MIG/MAG 일체형 시스템을 사용하였으며 아크열원으로는 TransPulse Synergic 5000 MIG 용접기를 사용하였다.

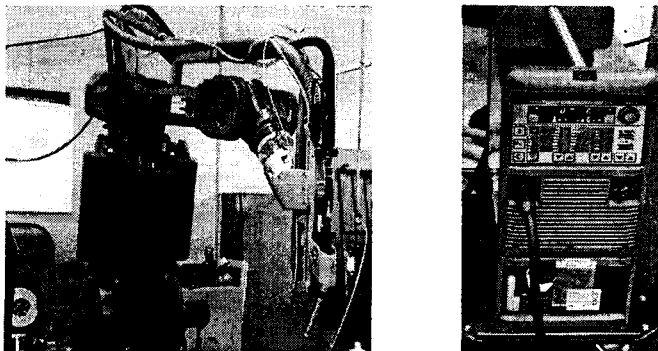


Fig. 1 Laser hybrid welding head and MIG welding machine

## 2. 실험재료

실험에 사용된 소재는 고연성, 고강도 강판인 SPRC 45E 1.2t이다. 소재의 화학적 조성 및 기계적 성질은 Table. 1과 같다.

Table. 1 Chemical compositions and mechanical properties of SPRC 45E

C(wt.%)	Si(wt.%)	Mn(wt.%)	P(wt.%)	YS(kgf/mm <sup>2</sup> )	TS(kgf/mm <sup>2</sup> )	EL(%)
0.10	0.30	0.10	0.015	32.8	44.9	34.6

하이브리드 용접 시 겹치기 용접부의 허용 갭은  $\leq 0.5\text{mm}$ 이며, 양호한 용접을 위해 간격을 최소화하여 용접을 실시하였다.

사용된 와이어는 YGW 12  $\phi 1.0$ 로 연강 및 고장력강의 용접에 사용되는 와이어이며 화학적 조성 및 기계적 성질은 Table. 2와 같다.

Table. 2 Chemical compositions and mechanical properties of wire

C(wt.%)	Mn(wt.%)	Si(wt.%)	S(wt.%)	P(wt.%)	Cu(wt.%)	Other	YS(kgf/mm <sup>2</sup> )	TS(kgf/mm <sup>2</sup> )	EL(%)
0.06-0.15	1.4-1.85	0.8-1.15	0.035max	0.025max	0.5max	0.5max	48	57	30

## 3. 시편 제작 및 시험방법

통상의 점용접 인장전단 및 인장시험은 KS규격의 '점용접 이음의 인장전단시험 방법(KS B 0851)' 과 '점용접 이음의 인장 시험 방법(KS B 0852)' 에 따라 이루어지고 있다. 따라서, 레이저 하이브리드 용접부 강도 평가도 KS B 0851, 0852에 준하여 시편을 제작하였다. (Fig. 2, Fig. 3)

시편의 용접조건은 Table. 3과 같다.

Table. 3 Spot welding and laser hybrid welding conditions

Cycle	가압력	Current	Laser power	Welding speed	Wire feeding rate	Shielding gas	Voltage	Current
15Hz	350kgf	10.5kA	3,500W	2.4m/min	3.0m/min	95%Ar+5%CO <sub>2</sub> (12ℓ/min)	16.4V	73A

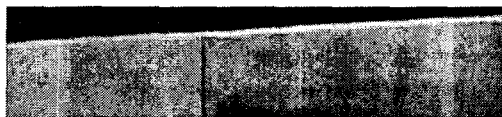
레이저 하이브리드 시편은 용접 길이 20, 25, 30, 35mm의 인장전단 및 인장 시험용으로 각각 준비하였다.



(a) Spot welding



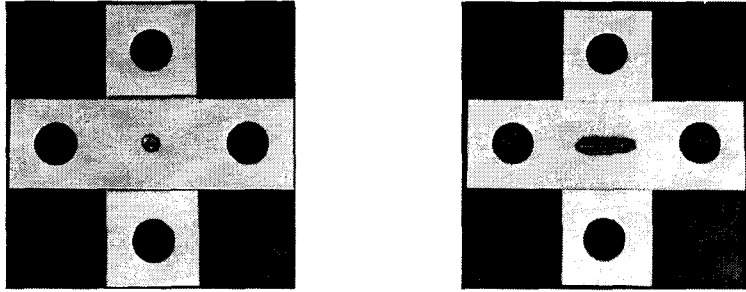
(b) Laser hybrid welding(lateral)



(c) Laser hybrid welding (longitudinal)

Fig. 2 Specimens for tension shear test by over lap joint

하지만, 현실적으로 작용력이 용접방향과 수직으로 존재하는 경우는 거의 존재하지 않는다. 점용접의 경우는 용융부가 원형으로 작용력의 방향에 무관하지만, 레이저 용접의 경우는 그렇지 못하다. 따라서 본 연구에서는 용접방향과 작용력과의 방향을 일치된 시편을 제작하여 인장전단 시험을 실시하였다.



(a) Spot welding (b) Laser hybrid welding  
Fig. 3 Specimens for tensile test by over lap joint

### III. 결과 및 고찰

레이저 하이브리드 용접부 인장전단시험은 Fig. 2의 (b)와 같은 형상으로 용접부 길이 20, 25, 30, 35mm 4종 각 10개의 시편을 제작하여 시험을 수행한 결과 용접부의 인장전단 최대하중은 용접 길이가 길어질수록 증가하였다.(Fig. 4)

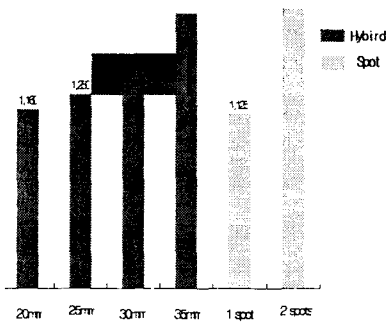


Fig. 4 The load graph of tension shear test result from lateral specimens

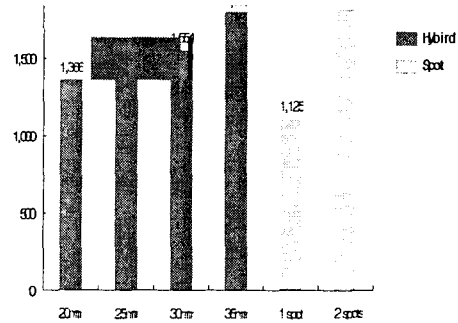


Fig. 5 The load graph of tension shear test result from longitudinal specimens

파단면을 확인해 보면 접합부의 형상은 레이저 용접과 하이브리드 용접의 경우 거의 유사함을 확인할 수 있었다. 즉, 하이브리드 용접의 경우 겹치기 용접 시 겹 보상 효과는 있지만 접합부의 용접강도를 크게 할 수 있는 용융부의 폭을 넓히는 효과는 없는 것으로 보였다. 또한 용융부 면적대비 하중을 비교해 보면 통상 점용접부의 용융부 면적은 23.8mm<sup>2</sup> (φ5.5 기준)이며, 하이브리드 용접부의 용융폭은 1mm이므로 20mm 스티치인 경우 면적은 작지만 강도는 점용접과 동등 수준이었으며, 25mm 이상인 경우는 6% 이상 증가하였다.

용접방향과 작용력과의 방향을 일치된 시편의 시험결과는 길이증가에 따라 하중이 증가하는 것은 동일하였으나, 수직한 시편면(lateral specimen)에 비해 하중이 15% 이상 (35mm 제외) 증가하였다.

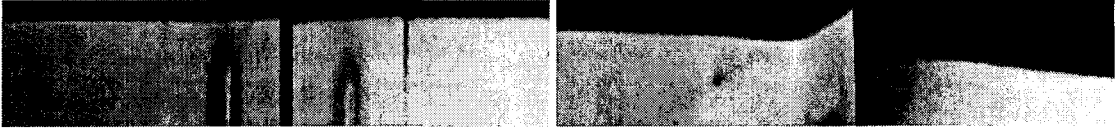


Fig. 6 The specimens for the laser hybrid (lateral and longitudinal)

Fig. 6의 시험 후 파단 외관을 관찰하였을 경우에 작용력에 수직인 시편(lateral specimen)의 경우는 모재의 파손 없이 용접부에서 전단되며 급격하게 파단이 이루어졌다. 즉 이것은 강력한 외력이 작용하였을 경우 임의의 한계점을 넘을 경우 용접부의 붕괴가 급격하게 이루어지고 이는 승객의 안전을 저해하는 요인으로 작용하게 된다. 반면 평행한 시편(longitudinal specimen)의 경우는 용접부가 아닌 열영향부에서 시작하여 모재로 전파되므로 안전성 측면에서 높은 신뢰성을 얻을 수 있다.

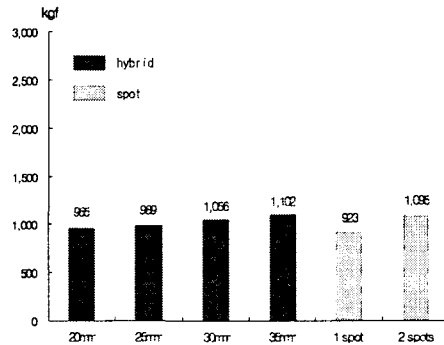


Fig. 7 The load graph of tension test result by KS B 0852

KS B 0852 규격에 따른 인장시험 시편의 시험결과 레이저 하이브리드 시편은 20mm 이상의 경우 점용접에 비해 약 5%의 하중이 증가하였으나, 길이 증가에 대한 효과는 미미하였다. 즉 시험의 특성상 용접의 길이에 따른 성능 판단을 위한 변별력이 없어 판단의 유효성을 높이기 위해 레이저용접(또는 레이저 하이브리드용접)만을 위한 시편을 고안/제작(Fig. 8) 후 시험결과 Fig. 9와 같이 용접 길이에 대한 하중의 변별력을 가질 수 있었다.

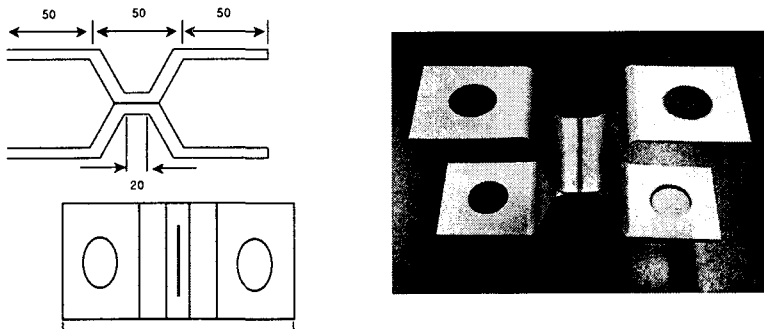


Fig. 8 Schematic diagram and picture for the individual specimen

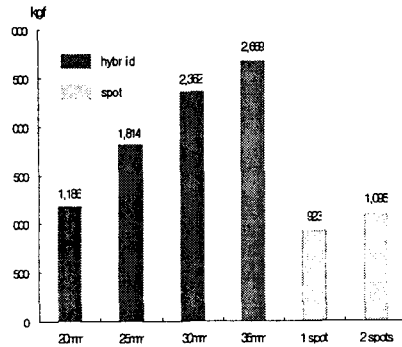


Fig. 8 The load graph of tension shear test result from individual specimen

#### IV. 결론

본 연구에서는 최근 국내에서 활발히 연구진행 중인 레이저 하이브리드 용접을 자동차용 강판에 적용하였을 경우 용접부 강도의 신뢰성 평가를 위한 시험법을 소개하고, 점용접과의 시험결과를 비교함으로써 자동차 차체 제작에 있어 하이브리드 용접을 적용할 경우 유용하게 이용할 수 있는 시험 방법을 제시하고자 하였다. 또한 이러한 실험을 통해 최적의 용접 길이를 제공함으로써 용접에 대한 기초 데이터로 사용코자 하였다. 아래는 본 연구에 대한 요약이다.

- (1) 레이저 하이브리드 용접은 기존의 점용접에 비해 최소 5% 이상의 정적 성능이 향상되었다.
- (2) 레이저 및 하이브리드 용접부는 작용력에 대한 방향성을 가지며 작용력과 동일 방향일 경우 최대의 용접강도를 가진다.
- (3) 레이저 및 하이브리드 용접부는 외부 작용력 대해서 방향성을 띄므로 용접부를 통상적인 한일자(-) 타입이 아닌 다방향에 대응할 수 있는 \, S, W형 등의 다양한 형태의 패턴 연구가 필요하다.
- (4) 레이저 및 하이브리드 용접부의 신뢰성 평가를 위한 KS B 0852 인장시험 시 용접 길이의 강성 변별력을 높이기 위한 시편을 고려하여야 한다.
- (5) 신뢰성 평가 결과 점용접 1점에 대한 레이저 하이브리드 용접부 길이는 최소 20mm 이상이어야 한다.

#### V. 참고문헌

1. Moriaki Ono et al : Development of laser-arc hybrid welding, NKK Technical review No. 66, pp. 8-12 (2002)
2. A. Kitagawa et al : Strength of laser welded thick plate lap joint, Science and Technology of Welding and Joining, Vol 7, pp. 197-203 (2002)
3. 이목영, 임태훈: 레이저-아크 하이브리드 용접기술(4), Journal of KWS. Vol. 22. No. 1. February, pp.7~9 (2004)
4. 고승기, 백태현, 나의균: 자동차용 박판용접부의 응력해석 및 용접특이성 평가에 관한 연구, pp. 21~24
5. 한국산업규격 '점용접 이음의 인장 전단 시험 방법(KS B 0851)'
6. 한국산업규격 '점용접 이음의 인장 시험 방법(KS B 0852)'