

# 선급강재의 레이저 용접특성에 관한 기초실험

- HYBRID 용접시 LASER-ARC거리 변화에 따른 용입특성 변화에 관한 실험

방한서\* · 주성민\* · 김영표\* · 김형\* · 片山 隼二\*\*

\*조선대학교 선박해양공학과

\*\*오사카대학교 접합기술연구소

## Basic Welding Characteristics by Nd-YAG Laser Beam on AH32

HAN-SUR BANG\*, SUNG-MIN JOO\*, YOUNG-PYO KIM\*, HYUNG-KIM\*, AND SEIJI KATAYAMA\*\*

\*Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chosun University

\*\*Joining and Welding Research Institute, Osaka University

KEY WORDS : Hybrid welding, Nd-YAG laser, X-ray penetration, Vickers Hardness

**ABSTRACT** : As the state of the art in recent years Laser-Arc Hybrid welding is tried actively because of its various economical and technical advantages. In this study, melting tendencies according to the variation of laser-arc distance are investigated in case of YAG laser-TIG Hybrid welding process of AH32 ship structural steel. Nd-YAG laser with a laser beam power of 3KW is used and varied laser-arc distance 0mm to 10mm with fixing the TIG current as 100A. There is certain distance between laser and TIG elecrod to improve welding heat input and also increase the penetration.

### 1. 서 론

하이브리드용접은 용접열원으로 전통적인 아크열원과 레이저빔을 복합적으로 사용하는 용접법이며, 포괄적인 의미로는 복수개의 서로 다른 열원을 이용하여 각각의 용접법이 지닌 단점을 상호 보완함으로써 우수한 결과를 이끌어내는 접합법이라고 할 수 있다.

하이브리드 용접법은 비교적 최근에 개발된 프로세스이지만 탁월한 용입특성으로 인하여 현재 국내외적으로 가장 활발히 연구가 이루어지고 있는 분야중의 하나이다.

본고에서는 선급강재중 하나인 AH32를 모재로 하고 TIG에 의한 전류를 Nd-YAG 레이저빔과 복합적으로 작용시키는 하이브리드 용접을 수행하였다. 고체레이저와 아크를 열원으로 이용한 AH32강재에 대한 하이브리드 용접가능성을 테스트하고자 하였고 특히 레이저중심과 아크 중심간의 거리가 변화함에 따라 달라지는 용입특성을 알아보고자 하였다.

### 2. 실험내용 및 방법

실험에 사용한 시편은 두께 6mm의 조선용 강판(AH32)이며 3kw의 Nd-YAG레이저용접기와 TIG용접 토치를 조립하여 용접헤드를 구성하고, 레이저 표면에 초점을 맞추어 비드 온플레이트 용접을 하였다. 차폐가스로는 100%의 아르곤가

스를 사용하였으며 유량은 분당 10리터로 하였다. 용접속도는 분당 1.5미터의 속도로 용접용 다관절 로봇에 의해 하이브리드용접 헤드를 이송하여 용접하였다. 용접하기 직전 시편표면의 산화막을 제거하고 표면을 아세톤액으로 세정한 후 용접을 실시하였다.

각 시편의 용접조건은 Table 1과 같으며 실험내용은 크게 두가지로 나뉜다. 즉 하이브리드 용접에서 본 실험에서와 같이 헤드가 동축으로 배치되어 있지 않는 경우, 레이저빔과 티그팁의 배열은 용접선상위에 일렬로 배치되어 레이저빔이 후행(b)으로 배치될 수 있는 경우가 있고 반대로 선행(a)으로 배치되는 경우가 있을 수 있다. 두 경우에서 각각 Fig.1과 같이 레이저빔과 티그팁과의 거리  $l$ 을 0mm에서부터 10mm까지 차이를 두면서 용접시의 용입특성을 살펴보고, 각 경우의 방사선투과사진으로 결합의 산발정도와 발생유무를 살펴보았다. 마지막으로 레이저단독으로 용접을 한 경우와 티그단독으로 용접한 경우 그리고 하이브리드용접으로 용접한 경우의 경도분포를 알아보고 각 용접법간의 차이점을 살펴보고자 하였다

Table 1에서 TIG>YAG의 기호는 티그선행 레이저후행의 하이브리드시편을 의미하며 YAG>TIG의 기호는 레이저선행 티그후행의 하이브리드시편을 의미한다. 아라비아숫자의 시편번호앞에 붙은 L기호는 레이저단독시편이며 H는 하이브리드용접한 시편 그리고 T는 티그단독용접한 시편이며 모든 시편은 출력3kw, 전류100A의 조건으로 용접하였다.

Table 1 Welding condition

	No. of specimen	Laser-Arc distance(mm)	Arc current	Welding velocity
TIG>YAG	L1	-	-	1.5m/min
	L2	-	-	1.5m/min
	H3	0	100A	1.5m/min
	H4	2		1.5m/min
	H5	4		1.5m/min
	H6	6		1.5m/min
	H7	8		1.5m/min
	H8	10		1.5m/min
	H9	0		200A
	T10	-	100A	1.5m/min
	T11	-	200A	1.5m/min

	No. of specimen	Laser-Arc distance(mm)	Arc current	Welding velocity
YAG>TIG	H12	0	100A	1.5m/min
	H13	2		1.5m/min
	H14	4		1.5m/min
	H15	6		1.5m/min
	H16	8		1.5m/min
	H17	0	200A	1.5m/min
	T18	-	200A	1.5m/min
	T19	-	100A	1.5m/min

		No. of specimen	Laser-Arc distance(mm)	Arc current	Welding velocity
Oxide film	YAG>	H19	0	100A	1.5m/min
	TIG	H20	2	100A	1.5m/min
	TIG>	H21	2	100A	1.5m/min
	YAG	H22	0	100A	1.5m/min
TIG>YAG		H23	0	100A	0.6m/min 10mm/sec
YAG>TIG		H24	0	100A	0.6m/min 10mm/sec
		H25	0	100A	1.2m/min 20mm/sec
		H26	0	100A	0.9m/min 15mm/sec
		H27	0	100A	0.3m/min 5mm/sec
		H28	0	100A	0.45m/min 7.5mm/sec
		H29	0	100A	0.36m/min 6mm/sec

부가적인 실험으로 산화막을 제거하지 않은 시편에 대해 레이저-아크간격 0mm와 2mm의 경우 용입비를 비교하였으며 레이저선행으로 헤드를 고정된 후에 레이저 출력과 전류크기를 동일하게 유지한 상태에서 용접속도를 점차 저하시킴으로 해

서 주어진 시편의 완전 용입을 시도하여 보았다.

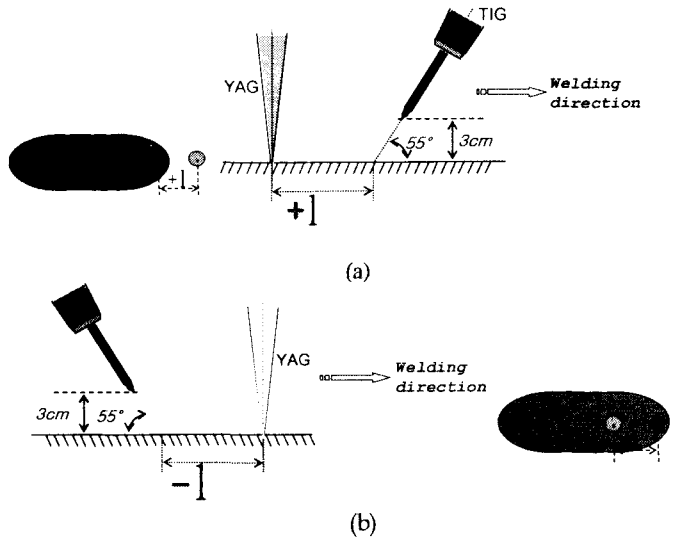


Fig.1 Schematic diagram of welding procedure

### 3. 결과 및 고찰

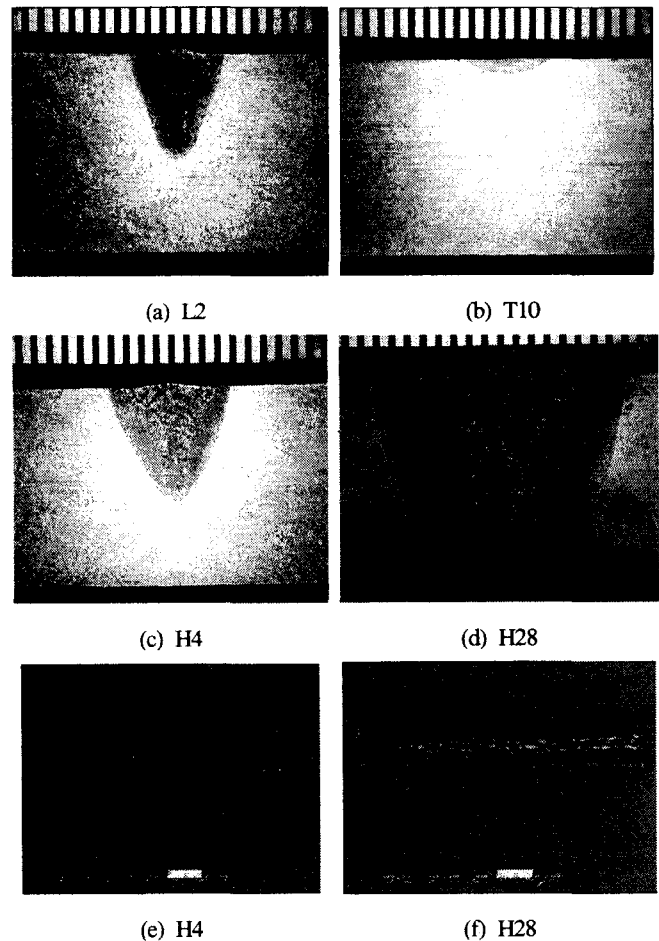


Photo.1 Macrosection and x-ray penetrated photo of specimen

Table 1과 같은 조건으로 용접한 시편은 모두 방사선투과사

진으로 내부 결합유무를 확인하였으며 단면을 절단하고 연마한 후에 5%의 HNO<sub>3</sub> 용액으로 만든 nital 부식액으로 에칭하였다.

Photo.1에 결과들 중 일부를 나타내었으며 방사선투과사진의 경우 레이저가 선행인지 후행인지에 상관없이 전체 용접장에 걸쳐 원형 기공이 발생하였다. 기공은 용융부 전체에 걸쳐 분포하지 않고 레이저빔에 의해 용융된 비드의 중심부에만 발생하여 분포하고 있다. 티그 용접의 경우를 제외한 모든 시편에서 많은 개수의 기공의 발생이 관찰되었는데, 본 실험에서의 시편과 실험조건인 경우 레이저 용접 시편과 하이브리드 용접 시편간의 기공의 발생정도는 증감이 뚜렷이 관찰되지 않으며 거의 동일한 양상의 기공이 발생하였고 기공의 크기는 매우 미세하여 0.2mm이하의 기공이 대부분을 차지하고 있다. 그러나 용접속도가 저속으로 될수록 기공의 크기와 양이 매우 증가하여 KS B 0845의 강 용접부의 방사선 투과검사 및 등급분류방법에 의해 결합등급을 평가할 경우 3~4급에 해당되는 결과를 나타냈다.

Photo. 1에서와 같이 (a)의 레이저용접시편은 높은 용입비의 심용접단면을 볼 수가 있고 (b)의 티그용접시편의 경우 표면의 미소량만 용융시키는 낮은 용입비특성을 볼 수 있으며 (c)의 하이브리드 용접의 경우 용융지의 크기가 크게 확대되어 있는 모습을 볼 수 있다. 그러나 용입깊이를 결정짓는 것은 레이저의 출력이며 여기에 아크전류가 첨가되는 하이브리드용접의 경우에는 용입깊이의 증가보다 용융지의 전체적인크기와 용융폭의 증가가 더 뚜렷하고 전류를 증가하였을 경우에도 이러한 경향이 유지되는 것을 관찰 할 수 있었다.

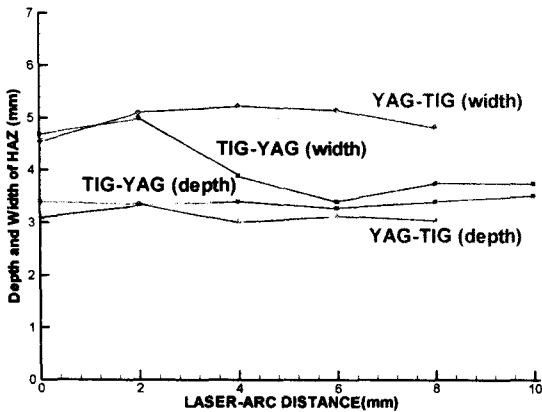


Fig.2 Effect of TIG-YAG distance ( $l$ ) on penetration depth and width

Fig.2는 레이저-아크 길이변화에 따른 용입비 변화를 레이저 선행인 경우와 아크 선행인 경우에 대하여 정리한 결과로 레이저-아크 거리가 증가할수록 용입깊이의 변화보다는 용입폭의 변화가 두드러지며 아크와 레이저중심이 일치한 경우보다 전후방으로 2mm 정도 간격이 있는 경우 용융지가 최대가 되는 것을 보여주고 있다. 즉 아크중심과 레이저빔중심이 일치하는 경우보다 어느 정도 거리를 두고 분리되어 있는 경우가 모재

를 발열시키는데 유리하다는 것을 알 수 있다. 하지만 당 실험의 경우 그러한 경향이 나타날 뿐 증가크기는 작은 편이다.

하이브리드 용접의 경우 레이저 중심과 아크가 일치하지 않고 어느 정도 간격을 유지한 상태에서 주어진 용접속도에 따라 용접이 이루어질 때, 아크는 아크대로 용융지를 형성하고 레이저빔은 레이저빔대로 용융지를 형성하여 용접이 이루어지는 것이 아니라 레이저빔의 고밀도로 집적된 에너지에 의해 키폴이 발생하여 깊이가 큰 용융지가 생기고 형성된 용융지 쪽으로 전류가 휘어져 키폴 안으로 빨려 들어가게 된다. 아크 중심과 레이저중심이 일치하는 경우보다 간격이 떨어졌을 때 더 좋은 용입특성을 보이는 이유는 레이저빔에 의해 발생한 플라즈마가 아크의 후방으로의 산란을 막아주는 작용을 하는 등의 어떠한 원인으로 인하여 이러한 전류의 유입이 간격이 떨어져 있을 때 더욱 향상되기 때문이라 추측되며 간격이 일정 거리이상 증가할수록 다시 전류의 유입효율이 떨어지기 때문에 용입 특성이 다시 감소하는 것으로 사료된다.

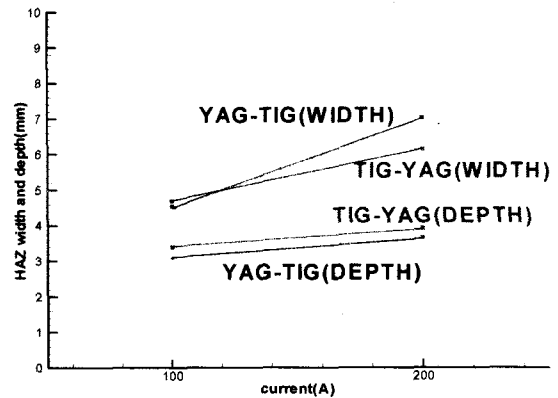


Fig.3 Effect of welding current on penetration depth

Fig.3은 아크전류증가시의 용입깊이와 용입폭변화로 티그선행이나 레이저선행의 경우모두 유사하게 전류증가에 따라 폭이나 깊이가 모두 증가하고있는 것을 보여주고 있으며 특히 전류증가는 깊이보다 용융폭의 증가에 보다 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

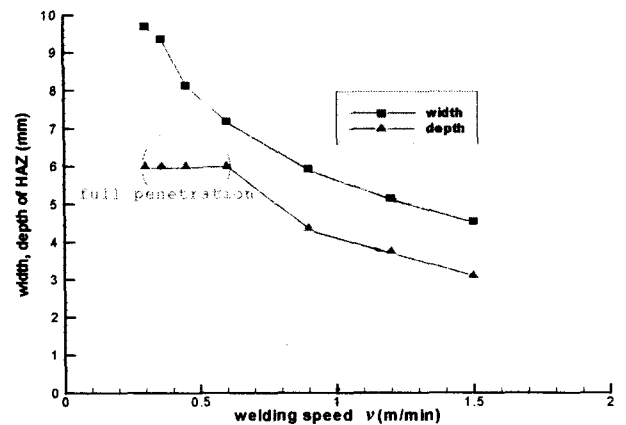


Fig.4 welding speed vs. penetration depth

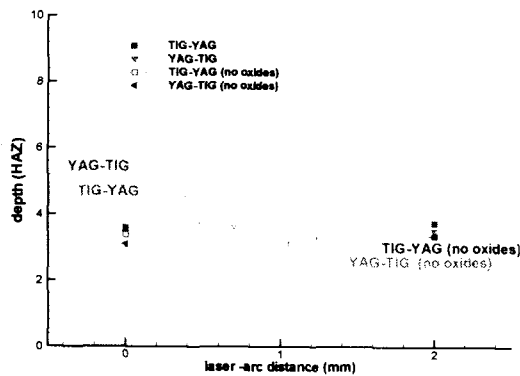
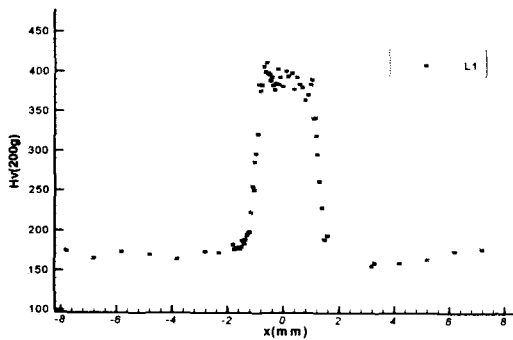


Fig.5 Effect of oxide film on penetration depth

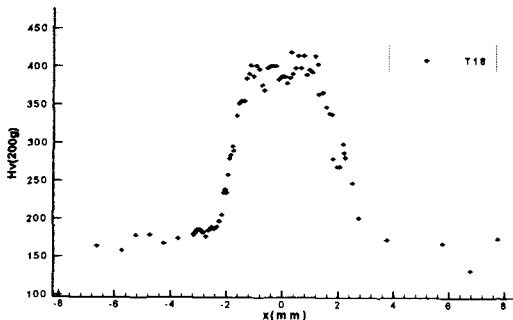
Fig. 4는 용접속도에 따른 용입비곡선으로 분당 0.6미터의 속도부터 완전용입이 이루어졌으며 용접속도증가와 용입깊이나 폭의 관계는 반비례하고 있다

Fig5는 모재의 산화막을 제거하지 않고 용접한 경우인데 용입깊이에 있어서 산화막이 있는경우와 없는경우에 큰 차이가 발생하고 있지 않다.

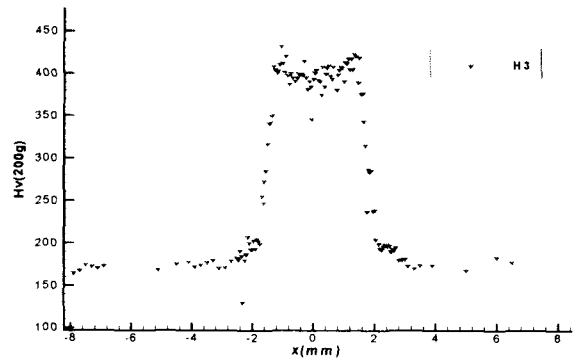
Fig6은 비커스경도 시험결과이다. 하이브리드 용접과 레이저용접과의 경도분포에서 최대값에서는 차이를 발견할 수 없었다. 레이저용접의 빠른 냉각속도에 의해 높게 형성된 경도값이 하이브리드 용접에서는 최대 경도값이 감소하는 경향을 보이는 경우도 있으나 본 실험의 경우는 아크전류가 크지 않은 관계로 급냉이 충분히 저지되지 못하여 경도값에서 차이가 거의 나지 않은 것으로 사료된다.



(a) Laser welding



(b) TIG welding



(c) Hybrid welding

Fig.6 Distribution of Vickers Hardness

## 5. 결론

이상과 같은 연구에서 얻어진 결과는 아래와 같다.

1) 레이저열원과 아크열원을 복합하여 모재에 투입함으로써 각각의 용접방법에 의한 것보다 용입특성이 향상되었다.

2) 하이브리드 용접에서 모재로의 입열 효율이 최대가 되는 아크팁 선단과 레이저빔이 중첩간의 이격거리가 존재하는 것을 알 수 있었으며, 레이저선행의 경우와 아크선행의 경우에서 이격간격에 따른 최대 용입비는 본 실험의 경우에서 뚜렷한 차이는 발견 할 수 없었지만 레이저 선행의 경우에 좀더 좋은 용입비를 얻을 수 있었다.

3) 모든 시편에서는 미세한 크기이지만 용접장 전체에 걸쳐 기공이 발생하였으며 용접속도가 늦어질수록 기공의 발생량과 크기가 증가하였다.

4) 산화막을 제거하지 않고 용접을 한 경우의 용입깊이나 기공발생정도가 산화막을 제거한 경우와 거의 동일하게 나타났다.

## 후 기

본 연구는 2002년도 두뇌한국 21사업에 의하여 지원되었으며, 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- S. KATAYAMA, N. SETO, M. MIZUTANI and A. MATSUNAWA "Keyhole Dynamics and Porosity Formation during Laser Welding" Proc. of the 7th Int. Welding Symposium, JWS, Kobe, Nov. 20-22, 2001, 555-560.
- S. KATAYAMA and A. MATSUNAWA "Microfocused X-ray

- Transmission Real-Time Observation of Laser Welding Phenomena" J. of the Japan Welding Society, 70-6, (2001), 635-640. (in Japanese)
- Prof.Dr.Ulrich Diltthey, "Laser Arc Hybrid Welding-an Overview", IIW Doc. No. XII-1706-02, Copenhagen, (2002, 6).
- E. Beyer, B. Brenner, R. Poprawe: "Hybrid laser welding Techniques for enhanced welding efficiency", Proc. of ICALEO'96, Section D 157-166.
- W. M. Steen: "Arc augmented laser processing of materials", J. Appl. Phys. 51(1980), pp. 5636-5641.
- U. Diltthey, F.Lueder, A.Wieschemann: "Process-technical investigations on hybrid technology", Proc. of 6ème Colloque International sur le Soudage et Fusion par Faisceaux d'Electrons et Laser, 15 19 Jun,

---

2003년 5월 10일 원고 접수

2003년 5월 10일 최종 수정본 채택