

# 레이저빔에 의한 자동차용 저탄소강판의 Lap Joint Welding에서 Bead 형상에 대한 용접변수영향 연구

## A Study on the Effect of Welding Variables for Weld Bead Morphology in the Lap Joint Welding of the Automotive Low Carbon Steel Sheet by Laser Beam

연세대학교 금속공학과 고태호, 김도훈  
대우 고등기술연구원 이경돈

### I. 서론

자동차 차체 조립 공법으로서의 레이저 용접은 1980년 초 Volvo사에서 처음 양산적용을 시도한 이후 선진 자동차 메이커들의 중요 관심사가 되어왔다. 기존의 점용접은 변형이 적고 생산성이 높아 자동차 용접공정의 대부분을 차지하고 있으나, 이것은 불연속 용접법이며 용접부의 양면에 압흔을 생성시키는 단점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 대체하는 수단으로 레이저 용접이 거론되고 있고, 실제 선진 자동차 메이커의 경우 생산 공정에 레이저 용접을 적용하고 있으나, 일부 공정에 국한되어 있는 실정이다.

이와 같이 레이저 빔이 용접 에너지로서의 우월성을 가지고 있음에도 불구하고, 일반 자동차공업에서 확대적용의 속도가 늦어지는 이유는 실제 양산 라인에서 피용접물의 효율적인 제어 기술 개발이라는 문제와 공정의 최적화를 위한 레이저 용접의 조건을 잡기 위해서는 여러 가지의 변수를 복합적으로 고려해야 하는 문제점이 있기 때문이다.

이에 본 연구에서는 자동차 차체 조립 공법으로서의 레이저 용접을 실제 산업 현장에 적용하기 위한 기초연구로서 0.9mm 두께의 자동차용 저탄소강판을 Lap Joint 레이저 용접한 후, 판과 판 사이의 gap size, scanning speed, defocusing, power의 4가지 인자가 용접 bead 형상에 미치는 영향을 central composite design에 따라 실험한 후, 반응표면분석(response surface analysis, RSM)을 실시하여 분석하였다.

### II. 실험방법

본 실험에 사용된 시편은 자동차용 극저탄소강판으로서 0.9mm 두께의 강판을 사용하였다. 시편은 용접 후 제작될 test시편의 규격을 고려하여 300mm×90mm의 크기로 절단하였고, 용접은 겹침용접(lap joint welding)으로 용가재(filler metal)를 사용하지 않은 자생용접 (autogeneous welding)을 행하였다.

용접시 시편의 장축과 변형방지를 위하여 공기압력에 의해 작동되는 JIG를 사용하였으며, 생성되는 플라즈마와 증발기체를 제거하고 용접부의 산화를 방지하기 위해 보조가스를 beam spot으로부터 거리 10mm, 높이 8mm에 nozzle의 끝이 위치하도록 하여, 시편과 45° 정도의 각도로 불어넣어 주었다. 또한 두 시편간의 겹침 용접간격을 조정하기 위하여 0.05mm와 0.10mm의 스테인레스 박판을 사용하였다.

### III. 결과 및 고찰

레이저 용접시 조절가능한 변수들은 laser power, scanning speed, defocusing, lap joint welding시 gap size, shielding gas의 종류 및 유량, beam-head의 tilting 각도 등 매우 많다. 이들 제어가능한 인자들을 효율적으로 제어하고, 이들 인자들이 용접 bead 형상에 미치는 영향

을 분석하기 위해 central composite design을 통해 실험한 후 반응표면분석을 실시하였다.

먼저 (1) 실험인자들의 적절한 범위설정을 위하여 통상적인 실험방법에 따라 예비실험을 수행하였다. (2) 이러한 예비실험을 거쳐 실험변수와 그 범위를 설정한 후(Table. 1), (3) design matrix(Table. 2)를 만들어 matrix에 따라 실험을 수행하여 (4) 실험에 따른 response(Fig. 1)를 기록하였다. 또, 인장시험을 통해 용접이 잘 되었나를 평가하였다. 그리고나서, (5) 수학적 모델을 확립하여 (6) 다항식의 coefficient를 계산하고 그 유의성을 평가한 후 (7) 인자들의 main effects와 significant interaction effects의 유의성을 판단하고 2차, 3차 contour graph를 plot하여 인자들이 공정에 미치는 영향을 분석하였다.

그 결과, bead의 penetration 깊이(P)는 주로 gap size와 laser power가 가장 유의함이 나타났고, 그 밖에도 gap size-defocusing, gap size-scan speed의 교호작용도 유의한 것으로 나타났다. width(W)는 gap size가 가장 유의하였고, 그 외에도 laser power와 gap size-laser power의 교호작용이 유의하였다. undercut 깊이(U)는 scan speed가 가장 유의하였고, laser power, gap size-defocusing, defocusing-laser power도 유의함을 알 수 있었다.

그리고, 인장시험 결과 한 시편을 제외한 모든 시편에서 모재쪽에 파단이 일어나므로 용접이 잘 수행되어 접합이 양호함을 알 수 있었다.

#### IV. 결론

자동차용 저탄소강판의 lap joint laser welding을 실시하여 그 용접 bead 형상에 대한 각 용접변수의 영향을 반응표면분석을 통해 해석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. central composite design을 통한 반응표면분석법은 response에 미치는 각 용접변수의 영향을 해석하는데 효과적으로 적용될 수 있었다. 또한 response에 대한 각 변수들의 교호작용을 보여주는 contour graph 작성에도 적용되었다.
2. 반응표면분석 결과 bead 형상에 가장 큰 영향을 주는 변수는 다음과 같았다.
  - penetration 깊이(P): gap size, laser power
  - width 길이(W): gap size
  - undercut(U): scan speed, laser power
3. 인장시험 결과 한 시편을 제외한 모든 시편에서 용접이 양호함을 알 수 있었다.

#### V. 참고문헌

1. V.Gunaraj, N.Murugan; Journal of Materials Processing Technology 88 (1999) p266-275
2. 김도훈: 레이저가공학, 경문사, p 256-279, (1996)
3. Montgomery: Design and Analysis of Experiments, p575-610, (1996)
4. 변진귀 외; 한국레이저가공학회지 vol.3 no.1 (2000.4)
5. 김원훈; 대한용접학회지 제15권 제6호 (1997.12)
6. L.Mannik, S.K.Brown; Journal of Laser application, summer 1990 p22-25

Fig.1 Weld Bead Configuration

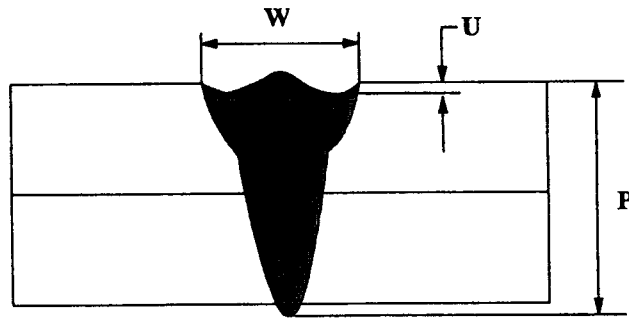


Table. 1 Process Parameters and Their Levels

Parameters	Units	Notation	Levels				
			-2	-1	0	+1	+2
Gap Size	mm	G	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20
Scanning Speed	m/min	SS	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
Defocusing	mm	D	+0.25	0.00	-0.25	-0.50	-0.75
Laser Power	kW	P	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0

Table.2 Design Matrix

Order	G	SS	D	P	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>
1	0.05	2.5	0.00	2.5	-1	-1	-1	-1
2	0.15	2.5	0.00	2.5	+1	-1	-1	-1
3	0.05	3.5	0.00	2.5	-1	+1	-1	-1
4	0.15	3.5	0.00	2.5	+1	+1	-1	-1
5	0.05	2.5	-0.50	2.5	-1	-1	+1	-1
6	0.15	2.5	-0.50	2.5	+1	-1	+1	-1
7	0.05	3.5	-0.50	2.5	-1	+1	+1	-1
8	0.15	3.5	-0.50	2.5	+1	+1	+1	-1
9	0.05	2.5	0.00	3.5	-1	-1	-1	+1
10	0.15	2.5	0.00	3.5	+1	-1	-1	+1
11	0.05	3.5	0.00	3.5	-1	+1	-1	+1
12	0.15	3.5	0.00	3.5	+1	+1	-1	+1
13	0.05	2.5	-0.50	3.5	-1	-1	+1	+1
14	0.15	2.5	-0.50	3.5	+1	-1	+1	+1
15	0.05	3.5	-0.50	3.5	-1	+1	+1	+1
16	0.15	3.5	-0.50	3.5	+1	+1	+1	+1
17	0.20	3.0	-0.25	3.0	+2	0	0	0
18	0.00	3.0	-0.25	3.0	-2	0	0	0
19	0.10	4.0	-0.25	3.0	0	+2	0	0
20	0.10	2.0	-0.25	3.0	0	-2	0	0
21	0.10	3.0	-0.75	3.0	0	0	+2	0
22	0.10	3.0	+0.25	3.0	0	0	-2	0
23	0.10	3.0	-0.25	4.0	0	0	0	+2
24	0.10	3.0	-0.25	2.0	0	0	0	-2
25	0.10	3.0	-0.25	3.0	0	0	0	0
26	0.10	3.0	-0.25	3.0	0	0	0	0
27	0.10	3.0	-0.25	3.0	0	0	0	0
28	0.10	3.0	-0.25	3.0	0	0	0	0
29	0.10	3.0	-0.25	3.0	0	0	0	0
30	0.10	3.0	-0.25	3.0	0	0	0	0

$$X_i = \frac{2[2X - (X_{\max} + X_{\min})]}{(X_{\max} - X_{\min})}$$

(X<sub>i</sub> : coded value of a variable X)