

## 적외선센서를 이용한 CO<sub>2</sub> 레이저 용접부 표면온도 계측에 관한 연구(2) A study of infrared surface temperature measurement on CO<sub>2</sub> laser welding(2)

이목영\*, 김재웅\*\*

\* (재) 포항산업과학연구원 용접센터

\*\* 영남대학교 기계공학부

### 1. 서 론

레이저용접은 대부분의 소재를 고품질로 접합하는 것이 가능하지만, 단위 용접길이당 비용이 매우 높은 고비용 용접공정이다. 따라서 레이저용접에서는 고비용의 단점을 상쇄시킬 수 있을 정도의 우수한 용접품질이 유지되어야 하므로 용접부 품질의 관리가 무엇보다도 중요하다.

레이저용접에서 레이저 공정에 관련 있는 모니터링대상은 플라즈마발광, 용융지온도, 레이저빔의 반사 및 음향방출신호 등이다. Miyamoto and Mori는포도다이오드를 사용하여 플라즈마 플룸의 상태를 측정하여 완전용입을 판정<sup>1)</sup>하였다. Houlot은weld pool에서 방사되는 적외선을 측정하여 용접부 결함발생과의 관련성<sup>2)</sup>을 밝혔다. Chang은 재료의 표면에서 반사되는 레이저 빔을 측정하여 용접상태를 판정<sup>3)</sup>하였다. Duley and Mao는 재료의 표면상태에 따른 acoustic emission의 특성<sup>4)</sup>을 조사하였다. 상기의 방법들은 주위의 환경에 영향을 많이 받거나, 용접부품질

과의 상관성이 제한적이다.

따라서 용접부 품질을 예측하기 위하여, 1차원 배열 적외선센서를 사용하여 용접부 표면온도분포를 비접촉식으로 측정하여 용접부 형상을 실시간으로 예측하고자 하였다. 전 보에서는 적외선 온도측정시스템 구성 및 성능 평가를 하였으며, 본 연구에서는 자동차용 강판을 대상으로 레이저 용접을 수행한 후 용입깊이와 표면온도의 특징점의 관련성을 알아보았다.

### 2. 사용재료 및 실험방법

레이저 용접부 표면온도분포는 적외선 감지장치를 이용하여 측정하였다. 사용된 적외선 감지장치의 분광학적 특성은 900~1,700nm 파장범위의 근적외선에 대해 반응하는 Ge 배열센서를 사용하였다.

온도측정장치의 구성은 Fig. 1에 나타낸 것과 같이 Cu반사경으로 빛을 굴절시켜 레이저헤드와 온도측정장치의 간섭을 방지하였으며, 렌즈의 앞

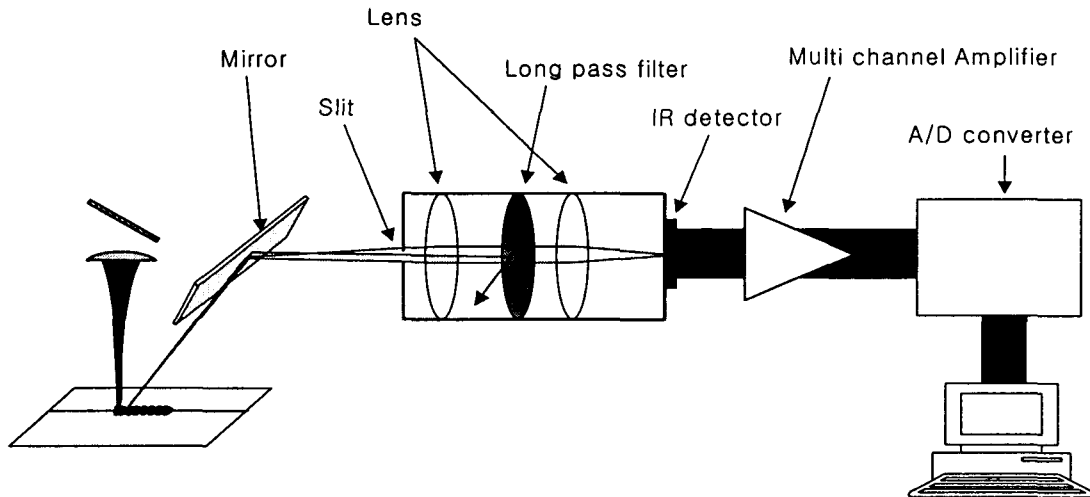


Figure 1 Sketch of the surface temperature measurement system

부분에 slit을 설치하여 측정영역 이외의 부분에서 방사되는 빛을 차단하였다. 이러한 빛을 렌즈로 집속시켜 적외선 센서에 조사되게 하였다. 렌즈 사이에 850nm 이상의 장파장빛만을 통과시키는 필터를 사용하여 레이저플라즈마에 의한 영향을 방지하였다. 적외선 센서의 신호는 Pre-amplifier으로 증폭시킨후, A/D 변환하여 컴퓨터로 계측하였다.<sup>(5)</sup>

### 3. 실험결과 및 고찰

레이저빔의 출력 및 용접속도는 용접에 필요한 에너지를 결정짓는 공정변수이며, 이들은 서로 종속적인 관계에 있다. 레이저 용접에서 입열량(Q)은 다음의 식과 같이 레이저 출력과 용접속도에 의하여 결정되는 용접변수이다.

$$Q = \eta \frac{P_L}{v} \text{ (J/mm)} \text{ --}$$

여기서  $\eta$ 는 레이저빔의 흡수효율로 1.0을 적용하였으며,  $P_L$ 는 레이저 출력 (W),  $v$ 는 용접속도 (mm/s) 이다.

소재의 화학성분이 동일한 경우 효율은 일정하므로 입열량은 용입깊이, 비드폭 등의 용접부 형상과 관련성이 큰 변수이다. 그림 2는 입열량에 따른 용입깊이의 변화를 나타낸 것이다. 입열량이 적은 경우 입열량 증가에 따라 용입깊이는 지수함수적으로 증가하였다. 그러나 10 J/mm 이상의 입열량에서는 증가가 완만하였으며, 소재 강판의 두께에 해당하는 1.2mm에 포화되었다.

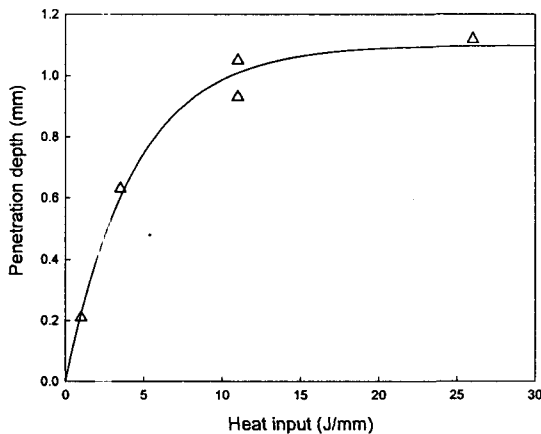


Figure 2 Relationship between heat input and penetration depth of 1.2mm thick cold rolled steel sheets

레이저용접부 표면 온도분포를 측정하기 위하여 시편과 온도측정장치를 동시에 이송시키면서 온도를 측정하였다, 실험에 사용한 소재는 두께 1.2mm의 냉연강판이었다. 그림 3은 용접속도 33mm/s에서 레이저 출력에 따른 용접부 표면온도분포를 나타낸 것이다. 그림에서 좌측의 붉은색 부분이 용융지 혹은 키홀에 해당하는 부분이며, 우측이 용접비드가 형성된 부분이다. 온도분포는 용접선을 중심으로 좌우 대칭으로 형성되었다. 용접선 전, 후 측, 용융지 전방 과 후방은 레이저 출력에 따라 다른 양상을 보였다. 레이저 출력이 낮은 1000W에서 용융지 전/후방은 대칭을 이루고 있다. 이것은 레이저 용접에서 열 전달에 의하여 용접부 전방이 상당히 높은 온도로 예열된다는 것을 의미한다. 레이저 출력이 증가하는 경우 위와 같은 용접부 전방의 예열 온도 및 거리가 증가하였다. 용접비드의 냉각속도는 레이저 출력이 증가함에 따라 급격히 늦어져 용융지를 중심으로 전/후방의 온도분포는 비대칭

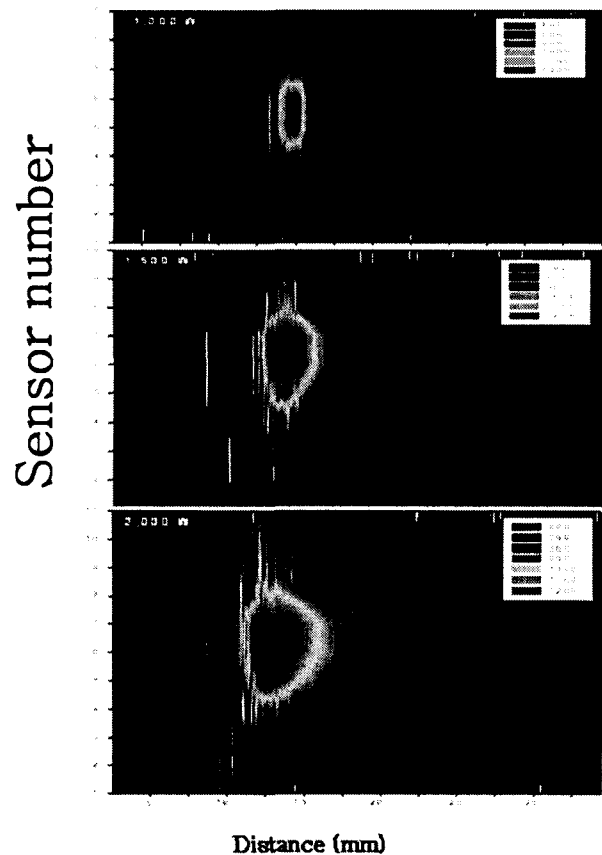


Figure 3 Surface temperature profile according to laser power at (a) 1000W, (b) 1500W and (c) 2000W

으로 형성되었다. 한편 용융지 혹은 키홀의 위치로 추정되는 1200K 이상으로 가열된 영역에서는 잡음성분의 불연속적인 온도의 침투치가 다량 계측되었다. 용접부 온도를 계측하여 용접부 형태를 예측하고자 할 때, 용융지 혹은 키홀의 근접부위에서 온도를 측정하면 이러한 잡음이 영향을 미칠 것으로 판단된다.

용접부 표면온도와 비드 형상의 관계를 알아보기 위하여 용접부 단면조직실험을 행하여 용접부 표면온도와 비드 크기의 관련성을 조사하였다. 그림 4는 용접부 표면온도의 최대치와 용입깊이의 관계를 나타낸 것이다. 용접부 표면온도의 최고온도변화율은 용융지로부터의 거리에 따라 변화가 거의 없었다. 측정위치에 관계없이 표면 최고온도와 용입깊이는 선형관계를 나타내었다.

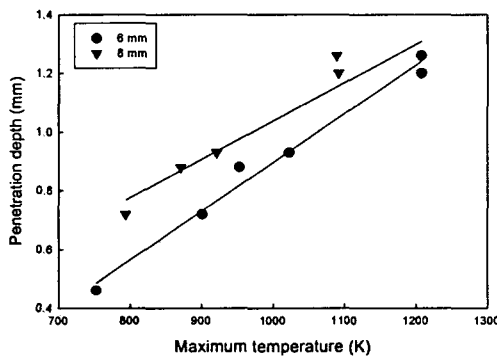


Figure 4 Relationship between penetration depth and maximum temperature

그림에서 용입깊이는 표면의 최고온도가 증가함에 따라 일차함수의 형태로 증가하므로 다음 식 (6.1)과 같은 형태로 회귀분석하였다.

$$d = y_0 + aT$$

여기서  $d_0$ 는 세로축의 절편에 해당하며,  $a$ 는 상수이다. 실험 데이터를 회귀분석한 결과는 표 1과 같다. 용접부 표면 최고온도 대비 용입깊이의 변화율  $a$ 는 레이저빔으로부터 거리가 가까운 6mm의 경우 0.0017이었는데 이것은 비드표면의 최고온도변화 100K에 대하여 용입깊이는 0.17mm가 변화한다는 것을 의미한다. 온도 측정위치가 레이저빔으로부터 8mm 후방인 경우  $a$ 는 0.0013으로 6mm에 비하여 작았다. 그러나 최고온도 100K에 대하여 용입깊이 차이는

0.04mm로 측정위치에 따른 차이는 크지 않았다. 측정위치에 따른 용입깊이와 표면 최고온도의 상관성은 측정지점 6mm가 우수하였다.

Table 1 Regression results for the relationship between penetration depth and maximum temperature

	a	$y_0$	$R^2$
6 mm	0.0017	-0.7644	0.9851
8 mm	0.0013	-0.2672	0.8856

#### 4. 결 론

두께 1.2mm 자동차용 냉연강판을 대상으로 용접부 표면온도와 용접부형상의 관련성을 알아보았다. 용접부 표면온도와 용입깊이는 연관성이 매우 큰 것으로 보여 레이저 용접에서 용접품질관리에 유용하며, 용입깊이를 일정하게 유지하기 위한 제어인자로 활용이 가능할 것으로 판단되었다.

#### 참고문헌

1. Miyamoto and K. Mori; Development of in-process monitoring system for laser welding, ICALEO '95 Proceedings, 759-767
2. Maurice Houlot and Enrique Nava-Rdiger; Integration of real time quality control systems in a welding process, ICALEO '95 Proceedings, 563-572
3. Dale U. Chang; Real-Time laser weld quality monitoring system, ICALEO '95 Proceedings, 1128-1137
4. Duley, W.W., and Mao, Y.L.; Effect of surface condition on acoustic emission during welding of aluminium with CO<sub>2</sub> laser radiation, Journal of Physics, D-Applied Physics. 27-7 (1994), 1379-1383
5. 이목영, 김재웅, 김기철 : 적외선센서를 이용한 CO<sub>2</sub> 레이저 용접부 표면온도 계측에 관한 연구, 2003년도 대한용접학회 추계발표대회초록집