



레이저용접부 온도측정을 위한 적외선 온도측정장치의 개발에 관한 연구 (II) - 적외선 온도측정에서 제인자의 영향 -

이 목 영* · 김 재 웅**

*포항산업과학연구원 용접연구센터

**영남대학교 기계공학부

A Study of the Infrared Temperature Sensing System for Measuring Surface Temperature in Laser Welding(II) - Effect of the System Parameter on Infrared Temperature Measurement -

Mok-Young Lee* and Jae-Woong Kim**

*Welding Research Center, RIST, Pohang 790-330, Korea

**School of mechanical engineering, Yeungnam University, Kyongsan 712-749, Korea

Abstract

This study investigated the effect of the system parameters on penetration depth measurement using infrared temperature sensing system. The distance from focusing lens to detector was varied to diminish the error in measuring weld bead width. The effect of bead surface shape on measured surface temperature profile was evaluated using specimen heated by electric resistance. The measuring distance from laser beam was changed to optimize the measuring point. The results indicated that the monitoring device of surface temperature using infrared detector array was applicable to real time penetration depth control.

(Received July 6, 2001)

Key Words : Laser welding, Penetration depth, Surface temperature profile, Infrared temperature sensing, Optimum sensing point, Steel sheet

1. 서 론

레이저용접은 고밀도로 집중된 레이저빔을 소재에 조사하여 재료를 가열/용융시켜 결합하는 용융 용접의 일종이다. 빛에너지에서 열에너지로 변환되는 효율은 레이저의 파장, 재료의 종류 및 표면상태에 따라 달라진다. 일반적으로 레이저의 파장이 짧을수록 흡수율이 증가하며 동일한 파장의 레이저에서는 재료의 비저항이 높은 소재일수록 흡수율이 증가한다. 탄소강에 비하여 동 혹은 알루미늄 등의 흡수율은 낮으므로 이러한 소재를 용접하기 위하여는 상대적으로 에너지밀도가 높은 레이저가 필요하다¹⁾. 한편, 레이저 용접에서는 레이저 출력, 용접속도, 초점위치 등의 공정변수에 따라 용접부 품질이 결정²⁾된다. 레이저 출력과 용접속도는 입열량을 결정짓는 중요한 인자의 하나이며, 이들 요소는 서로 상반되는 효과를 나타낸다. 즉, 레이저 출력이 증

가하면 단위면적당 입력되는 에너지량이 증가하여 입열량이 증가하는데 반하여, 용접속도가 증가하면 단위면적당 조사되는 레이저빔의 유지시간이 감소하여 입열량이 감소된다³⁾. 따라서 우수한 용접부 품질을 확보하기 위하여는 이 2가지 요소의 적절한 선정이 필수적이다. 레이저 출력이 낮은 경우 느린 속도로 용접을 행해야 하는데, 이때는 모재로의 열전달량이 상대적으로 증가하여 소재의 열영향이 넓고, 열변형량이 증가한다. 반대로 레이저 출력이 높은 경우 빠른 속도로 용접을 수행하므로 소재의 열영향이 적고 열변형이 적지만, 레이저 스패터가 불안정하여 스패터 발생이 증가하므로 용접부 품질이 저하된다. 레이저빔의 초점위치는 재료에 입사되는 레이저빔의 크기를 결정짓는 요소로서 레이저 출력과 유사하게 단위면적당의 입열량에 영향을 미친다. 레이저 용접에서 초점위치는 레이저빔의 품질에 따라 다소 차이는 있으나, 소재의 표면을 기준으로 수 mm 가량의 여유를 갖는다⁴⁾.

레이저용접 공정변수의 변화에 따른 용접부 품질 평가법으로는 레이저빔의 반사량, 플라즈마 광량, 음향방출 및 용접부 표면으로부터 방사되는 적외선을 측정하는 방법 등이 있다. 이 가운데에서 적외선을 측정하는 방법은 광센서를 이용하여 고온의 용접부에서 방사되는 적외선을 측정하여 용접부 품질을 예측하는 것이다. Ramsey는 두께 1/8" 알루미늄합금의 GTA 용접에서 PbS 적외선 센서를 사용하여 용접공정변수에 따른 용접부 최고온도를 측정하였으며, scanning mirror를 이용하여 비드폭을 측정하였다⁵⁾. Farson은 1/8" AISI 1025 급 강판의 GTA 용접에서 Si 센서를 사용하여 용접공정변수에 대한 광신호의 세기를 측정하여 용접부 온도와의 상관관계를 구하였다⁶⁾. Nagarajan은 두께 1/4" AISI 1040급 강판의 GTA용접에서 적외선카메라를 이용하여 용접부 표면온도를 측정하여 용입깊이와의 관련성을 제시하였다⁷⁾. Kozono는 두께 2mm SUS 304의 GTA 용접에서 PbS 적외선 센서를 사용하여 용접부 표면온도와 이면비드폭의 관련성을 제시하였다⁸⁾.

Doong은 두께 2mm 가량의 AISI 1045 및 AISI 304급 강판의 레이저 용접에서 2개의 Si 광센서를 사용하여 냉각속도와 용접부 품질의 관련성을 제시하였다⁹⁾. 레이저 용접에서 용접부품질은 용접부 온도와 밀접한 관계를 갖고 있으나, 용접부온도는 레이저의 공정변수, 용접이음부의 상태 혹은 키홀의 안정도에 따라 크게 변화한다. 따라서 특정한 지점의 온도를 계측하여 용접부 품질을 판정하는 방법은 제한된 범위에서 용접부온도와 용접부품질의 상관성을 갖는다.

본 연구는 2점 이상의 용접부 온도를 동시에 계측하여 측정지점의 차이 및 용접부 온도변화에 따른 오차를 최소화하였으며, 특정한 수준의 온도폭을 계측하여 용접비드의 폭을 측정하였다. 전편에서는 레이저 용접부의 용입형상에 따른 표면온도분포의 관계를 연구하였다. 본 논문에서는 적외선 온도측정에 미치는 센서-렌즈 거리의 영향, 온도측정지점과 레이저 빔 사이의 최적거리 및 레이저 공정변수와 표면온도분포의 관련성에 대하여 고찰하였다.

2. 실험 방법

레이저 용접부 표면온도분포를 측정하기 위하여 적외선센서를 사용하였으며, 센서의 특성 및 장치의 구성은 전편에서 사용한 것과 동일한 것을 사용하였다.

레이저 용접부 비드폭 측정에서 측정정밀도를 향상시키기 위하여 센서와 렌즈사이의 거리 변화에 따른 적외선 온도측정시험을 수행하였다. 센서의 배치위치는 렌즈의 초점거리인 정초점위치를 기준으로 "0" 및 "-20"

mm이었다. 측정대상은 두께 0.5mm 및 폭 7.5mm 강판의 저항가열시편 및 두께 0.8mm 냉연강판의 레이저용접부 이다. 직류전류의 직접통전에 의한 저항 가열 시 온도는 사용된 적외선 센서가 반응하기 시작하는 700°C부터 소재강판의 용점이하인 1200°C 까지 가열시켰다. 이러한 측정결과를 레이저 용접시의 그것과 비교하였다.

용접부 표면형상에 따른 적외선 온도측정특성을 검토하기 위하여 두께 0.3mm 및 폭 5mm인 냉연강판을 30°로 굽힌후, 전술한 온도범위에서 저항가열하였다. 이러한 측정결과를 레이저 용접시의 온도분포형태와 비교하였다.

시험에 사용된 레이저는 전보와 마찬가지로 미국 PRC 사의 3kW급 CO₂레이저이었다. 용접부 산화방지 및 플라즈마를 불어내기 위하여 철강의 레이저 용접시 일반적으로 사용되는 불활성기체인 Ar을 사용하였다. 용접은 자동차용 강재로 주로 사용되는 두께 0.8mm 및 탄소 0.002%가량 첨가된 극저탄소냉연강판을 Bead-On-Plate 용접하였다. 용접시험 변수는 레이저 빔의 출력, 이송속도 등의 공정변수와 레이저빔의 중심과 측정지점의 거리 등이었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 센서-렌즈 거리의 영향

적외선 센서를 이용한 온도측정에서 시편으로부터 센서까지의 거리가 가까우며 측정하고자 하는 대상의 온도가 높은 경우에는 소자의 감광면적이 넓은 센서를 사용하여 직접측정이 가능하다. 그러나 이 경우에는 용융지로부터 발생하는 스패터 혹은 가스 등에 의하여 센서창이 오염되어 계측오차를 유발한다. 또한 용접헤드와 센서헤드사이의 간섭이 발생하므로 현실적으로 직접측정은 곤란하다. 따라서 광학렌즈를 사용하여 용접부에서 방사되는 적외선을 집속하여 광량을 측정하는데, 이 경우에 있어서 센서출력은 렌즈-센서 거리에 따라 변화하므로 센서출력은 실제의 온도에 맞게 보정하여야 한다. 전편에서 계측결과에 미치는 렌즈의 초점거리 즉, 측정지점-렌즈 거리의 영향에 대하여 고찰하였다.

Fig. 1은 저항가열한 시편의 표면에서 방사되는 적외선을 계측한 결과로서 적외선 집속을 위한 광학렌즈와 센서사이의 거리의 영향을 나타낸 것이다. 적외선 온도 측정대상은 전보와 동일한 두께 0.5mm 및 폭 7.5mm의 냉연강판이며, 직접통전에 의한 저항가열로 1100°C까지 가열시켰다. 초점거리의 편차가 "0" 즉, 정초점위치에 센서를 배치한 경우($\delta=0$) 현저한 반응을

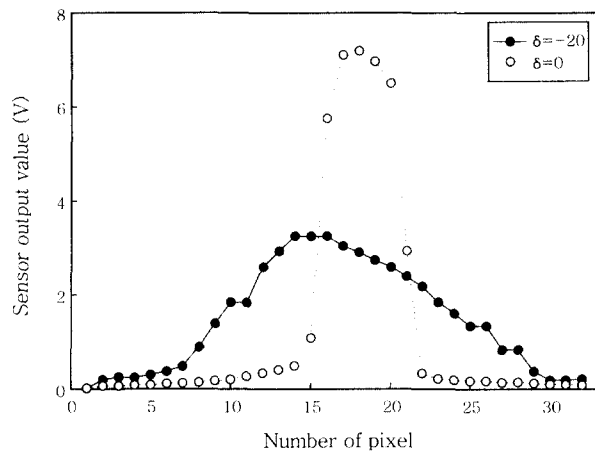


Fig. 1 Effect of the sensor to lens distance in electrical resistance heating

하는 센서의 픽셀수는 8개 가량이며 출력전압은 최대 7.2볼트이었다. 한편 초점거리의 편차가 "-20" 즉, 렌즈와 센서의 거리가 정초점위치보다 20mm 짧은 경우 ($\delta = -20$) 현저한 반응을 하는 센서의 픽셀수는 23개 가량이며 출력전압의 최대치는 3.25볼트 이었다. 출력전압의 최대값을 측정하기 위해서는 센서를 렌즈의 정초점위치에 배치하는 경우, 보다 높은 출력전압을 얻을 수 있으므로 상대적으로 낮은 측정오차를 나타낼 것이다. 반면, 용접부의 열영향부 폭과 같이 일정한 온도를 갖는 폭을 측정하기 위해서는 광량을 집중하기 위한 렌즈와 센서의 거리를 감소시켜 보다 넓은 범위의 온도를 측정하므로써 측정오차를 감소시킬 것으로 판단된다. Fig. 2는 여러온도에서 센서출력 최고값의 표준편차를 나타낸 것이다. 정초점위치($\delta = 0$)에서 센서출력의 편차는 온도가 증가함에 따라 증가하였다. 반면, 초점이 -20mm 가량 어긋난 경우($\delta = -20$) 센서출력의 편차는 적었으며, 대상시편 온도와의 관련성은 상대적으로 낮

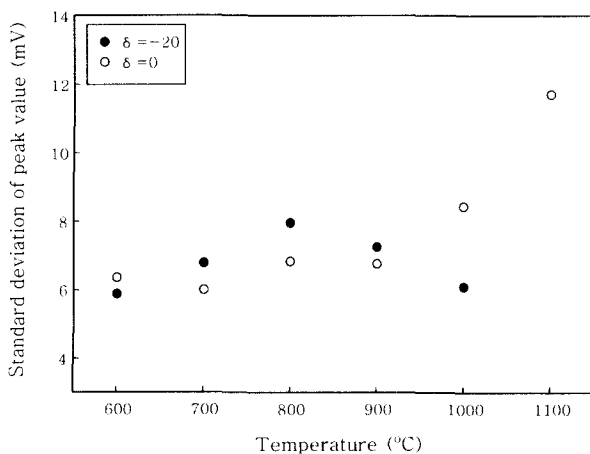


Fig. 2 Standard deviation of sensor output peak value at various temperatures.

은 것으로 보인다. 이러한 원인은 센서의 배치위치가 정초점인 경우 시편으로부터 방사된 빛이 집중되어 광량이 증가하였기 때문에 상대적으로 높은 편차를 보인 것으로 보인다.

직접통전에 의한 저항가열에 의하여 가열된 시편은 가열온도가 일정할 경우 표면에서 방사되는 적외선은 외란이 없는 안정한 상태를 유지한다. 그러나 레이저빔으로 소재를 용접하는 경우 레이저 키홀, 용융지 유동 혹은 플라즈마에 의한 발광 등에 의하여 용접부에서 방사되는 빛은 불안정한 것으로 알려졌다. Fig. 3은 소재강판 두께의 80% 가량 용입이 이루어진 경우 용접부에서 방사되는 적외선을 측정된 결과를 나타낸 것이다. 센서의 배열위치가 렌즈의 정초점위치인 경우 용접부 폭에 따른 센서출력의 변화는 매우 가파른 것을 보여주며, 센서출력의 최대전압은 7.2볼트 가량으로 높았다. 현저한 반응을 보이는 픽셀의 수는 4개로 저항가열한 폭 7.5mm 시편(8 픽셀)의 절반가량인 것으로 보아 레이저 용접에서 가열폭은 3mm 정도일 것으로 보였다. 한편, 센서가 렌즈의 정초점위치보다 20mm 짧은 위치에 배치된 경우 용접부 폭에 대한 센서출력의 변화는 완만하였으며, 센서출력의 최대전압은 0.7볼트 가량으로 매우 낮았다. 이 경우 현저한 반응을 보이는 픽셀의 수는 11개 가량으로 센서의 위치가 렌즈의 정초점위치인 경우와 유사하게 저항가열 한 시편(23 픽셀)의 절반가량이었다. Fig. 4 및 Fig. 5는 각각 $\delta = 0$ 및 -20인 경우 용접속도에 따른 적외선 센서출력전압의 최고값을 나타낸 것이다. Fig. 4는 센서가 렌즈의 정초점위치에 배열된 경우 레이저 용접부 표면에서 방사되는 적외선을 측정된 것이다. 센서출력 최고값의 평균은 용접속도 1.1m/min에서 7.2볼트이었으며, 용접속도가 증가에 따라 감소하여 용접속도 3.5 m/min에서는 0.8

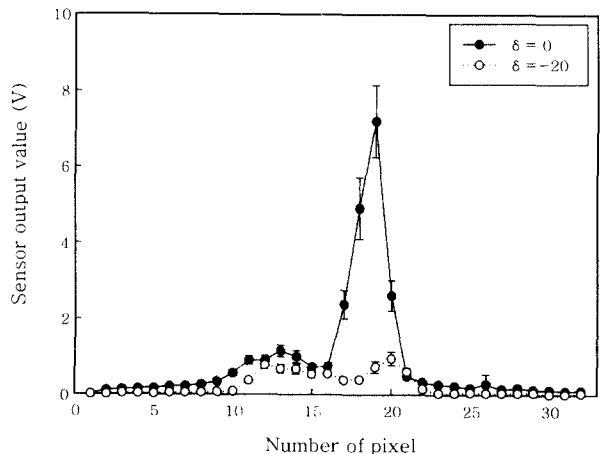


Fig. 3 Effect of the sensor to lens distance in laser welding

볼트 가량을 나타내었다. 한편, 센서출력 최고값의 편차는 0.1볼트 가량으로 용접속도와 관련성은 다소 적었다. 센서와 렌즈의 거리에 따라 편차가 차이가 나는 이유는 표준편차량이 센서 최대전압의 10% 정도인 것으로 보아 용접부에서 방사되는 적외선의 집속으로 인하여 센서 출력값의 수준자체가 변화하였기 때문이다. 용접속도가 증가함에 따라 감소하여 2.4m/min의 용접속도에서는 1.5볼트 가량을 나타내었다. 센서출력 최고값의 표준편차는 평균값과 유사하게 용접속도 1.1m/min에서 0.95볼트이었으며, 용접속도 증가에 반비례하여 2.4 m/min에서는 0.2볼트이었다. Fig. 5는 센서가 렌즈의 초점위치보다 20mm 짧은 거리에 배치된 경우 레이저 용접부 표면을 계측한 것이다. 센서출력 최고값의 평균치는 2.2m/min의 용접속도에서 1.1볼트 가량이었으며, 접속도가 증가함에 따라 감소하여 용접속도 3.5m/min에서는 0.8볼트 가량을 나타내었다. 한편,

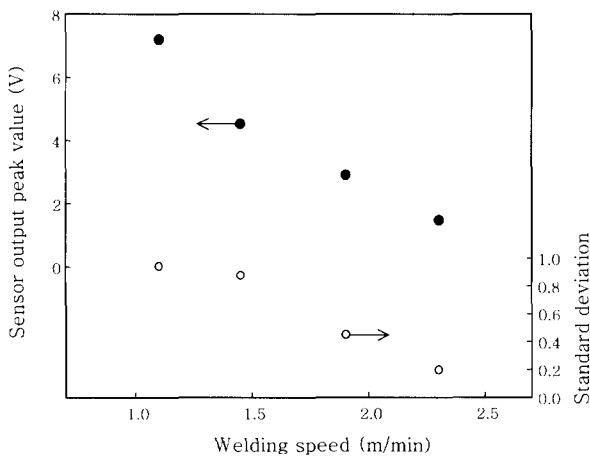


Fig. 4 Standard deviation of sensor output peak value at various welding speed in $\delta = 0\text{mm}$

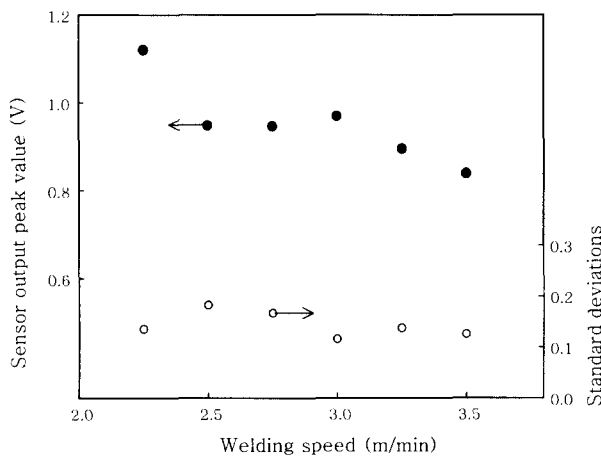


Fig. 5 Standard deviation of sensor output peak value at various welding speed in $\delta = -20\text{mm}$

센서출력 최고값의 편차는 0.1볼트 가량으로 용접속도와 관련성은 다소 적었다. 센서와 렌즈의 거리에 따라 편차가 차이가 나는 이유는 표준편차량이 센서 최대전압의 10% 정도인 것으로 보아 용접부에서 방사되는 적외선의 집속으로 인하여 센서 출력값의 수준자체가 변화하였기 때문이다.

3.2 온도분포형태에 미치는 용접부 표면 형상의 영향

레이저 용접시 용접 비드의 형태는 용접조건에 따라 변화한다. 표면비드(BOP) 용접의 경우 용접부의 상변태에 의한 체적팽창으로 비드는 표면으로 융기하며, 맞대기 이음에서는 맞댄부분의 밀착상태 혹은 용접조건에 따라 비드표면이 융기 혹은 함몰한다. 본 장에서는 적외선 온도측정에 미치는 용접부 표면형상의 영향을 검토하였다. Fig. 6은 두께 0.3mm 및 폭 5mm의 냉연강판을 1000°C로 저항가열한 시편의 온도를 측정하는 것이다. 시편표면이 평판형태(o)인 경우 센서출력의 최고값은 1.7볼트 가량이었으며, 현저한 반응을 보이는 픽셀의 수는 11개 가량이었다. 30°로 아래로 굽힌 경우 즉 "v" 형태(∇)일 때 센서출력의 최고값은 1.8볼트 가량이었으며, 그 반대(\square)의 경우는 2.0볼트 가량이었다. 여기에서 센서출력 최고값의 변화는 가열온도의 편차 및 시편과 렌즈사이의 거리변화 등에 의하여 변화되므로 의미를 지니지 못한다. 센서의 픽셀 위치에 따른 출력전압의 변화는 시편의 형태에 무관하게 거의 일정하였다. 이것은 레이저 용접부의 적외선온도측정에서 비드 표면의 형상은 표면온도분포에 영향을 거의 미치지 않을 것이라는 것을 보여준다.

Fig. 7은 용접속도 2.75m/min, 레이저빔의 출력

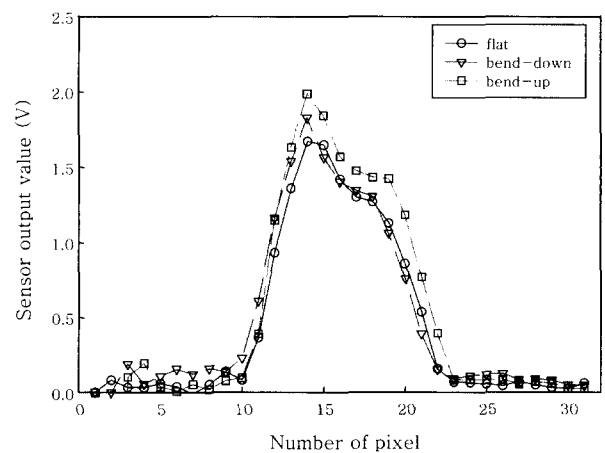


Fig. 6 Effect of specimen shape at surface temperature profile.

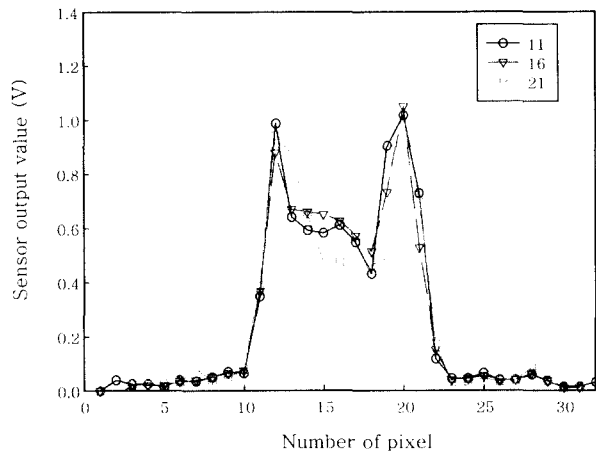


Fig. 7 Surface temperature shape change in laser welding

820W, 초점위치 $\delta=0$ 및 측정지점 +1mm 인 경우 시편위치에 따른 용접부 표면의 적외선온도측정결과를 나타낸 것으로, 용접시작 후 각각 11, 16 및 21번째의 데이터이다. 센서 출력전압의 최대값은 한쪽으로 고정되지 않고 양쪽에 나타나는 것으로 보아 용접부의 상태에 의한 것으로 보인다. 즉, 그래프에서 센서출력의 최대값은 양쪽으로 2곳에서 측정되었으며, 중앙의 출력전압은 상대적으로 낮은 값을 보였다. 좌우 센서출력의 최대값을 온도로 환산하면 790℃ 가량이었으며, 중앙 센서출력의 국부 최저치는 약 720℃이었다. 온도강하 좌우의 이러한 현상은 전보에서 서술한 바와 마찬가지로 용접비드표면의 열전도도가 극히 낮은 산화물층 및 집광렌즈의 광학특성에 기인하는 것으로 사료된다.

3.3 적외선 온도측정에 미치는 측정지점의 영향

전보에서 적외선 온도센서를 이용한 레이저 용접부의 표면 온도 측정에서는 키홀, 플라즈마 등의 외란을 최소화하기 위하여 냉각단계의 용접비드 표면 온도를 측정하는 것이 추천되었다. 용접부 표면온도와 이론적인 계산결과에서 보는 바와같이 비드표면의 온도는 용융지에서 멀어짐에 따라 급속히 감소하는데, 측정하고자 하는 대상의 온도가 낮은 경우는 측정이 곤란하다. 따라서 레이저 용접부의 표면온도분포를 이용하여 용입깊이를 정확히 예측하기 위해서는 최적의 측정지점선정이 요구된다. 전보의 계산결과에 따르면 최적의 측정지점은 레이저빔의 중심으로부터 1.0~2.0mm 지점인 것으로 나타났다. Fig. 8은 두께 0.8mm의 냉연강판 BOP 용접부의 표면온도분포를 용접진행방향(거리) 및 비드 폭방향(픽셀수)의 2차원으로 도시한 것이다. 용접조건

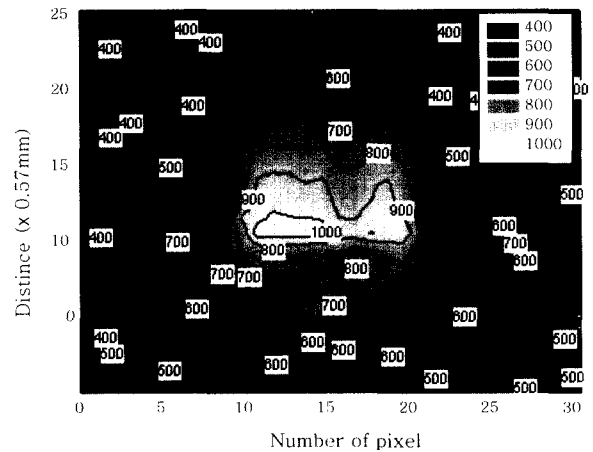


Fig. 8 Surface temperature profile of 2D at moving laser beam

은 레이저출력 820W, 용접속도 1m/min 및 초점위치 $\delta=0$ 이었으며, 레이저빔과 센서가 고정된 상태에서 시편을 이동시키면서 온도를 측정하였다. 용접부 표면온도분포는 Fig. 7에서와 유사하게 침투온도가 비드 양쪽에 형성되었다. 최고온도는 용접방향으로 11번째 지점이었으며, 용접진행방향 및 비드폭방향으로 온도구배를 나타냈다. 용접진행방향의 온도구배는 전방이 후방 즉 용접비드 보다 급격하였다. 전보의 해석결과에서는 레이저빔의 중심 즉, 키홀의 전방은 가열되지 않았으나, 측정결과에서는 키홀의 전방으로도 어느 정도의 가열이 이루어졌다. 이와같이 해석결과와 측정결과에 차이를 나타내는 이유는 레이저 용접부의 온도해석에서는 초기 조건의 판재온도를 상온으로 하였으며, 가열은 레이저빔의 흡수에 의해서만 이루어지는 것으로 가정하였기 때문이다. Fig. 8의 측정결과는 실제의 레이저 용접에서는 용접열이 모재로 전도되어 레이저빔이 조사되기 전에 어느 정도는 예열이 된다는 것을 보여준다. Fig. 9는 Fig. 8에서 특정 픽셀의 온도 즉 비드 폭방향 특정지점의 온도를 레이저빔의 중심으로부터 용접방향의 거리에 따라 나타낸 것이다. 그림에서 심볼의 설명 #14, #18 및 #21은 Fig. 7에서 픽셀의 번호를 의미하는 것으로 온도분포의 좌우 침투값 및 중앙의 최저온도를 나타낸다. 적외선 온도측정결과에서 키홀의 전방으로도 상당부분이 가열되었으며, 최고 가열온도는 1050도 가량이였다. 본 연구에서 사용한 적외선 센서로 측정이 가능한 유효온도의 한계값인 700도 이상으로 가열되는 지점은 키홀 전방 2.5mm 가량이였다. 한편 키홀 후방 즉 냉각단계의 용접비드 표면의 온도는 키홀에서부터의 거리가 멀어짐에 따라 감소하였다. 키홀의 후방으로 2mm 지점에서 온도감소속도가 일시적

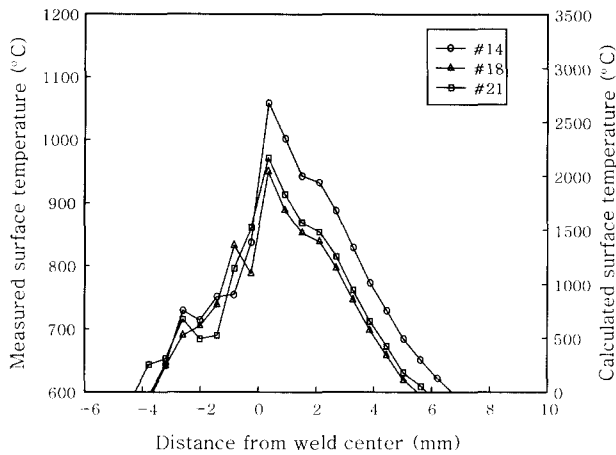


Fig. 9 Surface temperature distribution along the welding direction

으로 감소한 이유는 오스테나이트에서 페라이트로 상변태에 기인하는 것으로 거리의 차이는 있지만 해석결과와 유사한 경향을 보인다. 레이저용접에서 표면온도분포를 이용하여 용입깊이를 예측하는 경우 전술한 것과 같은 온도감소율이 일시적으로 감소하는 단계가 포함되면 결과의 신뢰도가 저하될 것으로 보인다. 측정지점 즉, 픽셀의 위치에 따라서 측정온도는 다소 차이가 있으나 온도분포의 형태는 유사하였다.

3.4 용접부 표면온도분포에 미치는 레이저출력 변동의 영향

레이저 용접에서 용접부의 크기는 소재의 치수가 균일한 경우, 재료가 흡수하는 레이저빔의 량에 따라 변화한다. 재료가 흡수하는 에너지는 재료의 표면에 조사되는 레이저빔의 세기 즉, 레이저출력에 좌우되며, 용

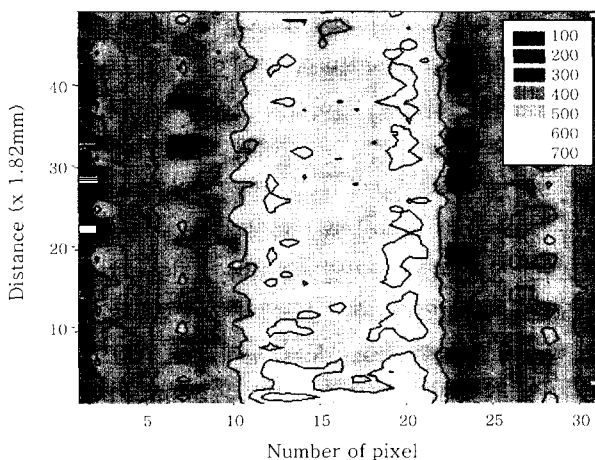


Fig. 10 Surface temperature profile of 2D in laser welding

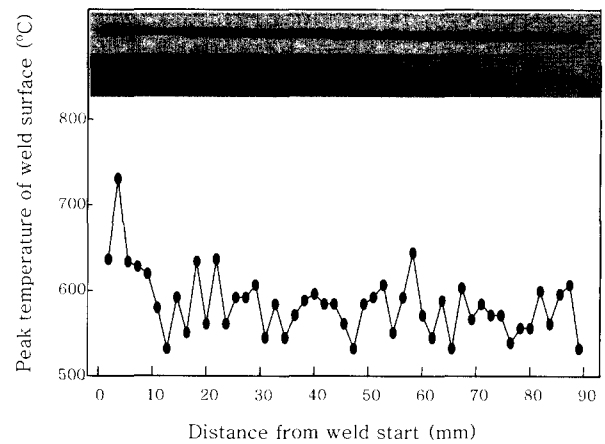


Fig. 11 Peak temperature change of laser welded surface

접속도변화, 기홀의 안정성 혹은 재료의 표면상태 등에 따라 변화되기도 한다. Fig. 10은 레이저출력 820W 및 용접속도 3m/min에서 초점위치는 재료표면에 위치한 경우 용접부 표면의 온도분포의 측정결과를 2차원적으로 나타낸 것이다. 온도계측지점은 레이저빔의 중심으로부터 후방 1.5mm 지점이었으며, y축은 용접진행방향으로의 거리이며 x축은 용접비드폭을 의미한다. 그림에서 용접비드의 폭은 10~22픽셀 가량이며, 용접시작점에서 1mm 부근의 온도가 가장 높았다. Fig. 11은 용접부 표면온도의 침투치를 용접진행방향으로의 거리에 따라 나타낸 것이며, 용접비드표면의 형태를 함께 도시하였다. 용접비드표면사진에서 위쪽과 아래쪽 사진은 각각 비드상부 및 하부를 나타낸 것이며, 측정지점과 용접거리는 거의 일치되었다. 상부비드표면의 사진에서 비드폭은 변화가 거의 없었으나, 하부비드표면의 사진에서는 용접거리에 따른 폭의 편차를 보여주었다. 용접비드표면의 온도분포에서도 용접거리에 따라 최고 200도 가량의 온도변화가 발생하였는데, 용접비드 표면의 온도는 하부비드의 폭과 잘 일치되는 것을 보여주었다. Photo 1은 Fig. 11에서 용접초기의 용접비드의 단면 광학조직으로, 용접시작점으로부터 12.5mm 가량의 거리를 나타낸 것이다. 사진에서 용접초기는 완전용입이 이루어졌으나, 용접이 진행됨에 따라 감소하여 용접시작점으로부터 10mm 부근에서는 소재 두께의 30% 가량 용입이 이루어졌다. 상기와 같이 용입



Photo 1 Cut view of laser weldment

깊이에 편차가 발생하는 이유는 완전용입과 부분용입의 임계조건에서 용접하는 경우 출력의 미세한 변화에 의해서도 용접부 키홀의 상태가 영향을 받기 때문이다. 따라서 두께가 얇은 소재 혹은 정확한 용입깊이를 요구하는 경우에는 용입깊이 측정에 의한 정확한 용입깊이 제어를 실시하여야 한다.

4. 결 론

두께 0.8mm 자동차용 냉연강판을 대상으로 용접부 표면온도측정을 이용한 용입깊이 예측에 미치는 제인자의 영향을 검토한 결과는 다음과 같다.

1) 용접부 표면에서 방사되는 적외선을 센서에 집속시키기 위한 렌즈와 센서의 거리변화에 의해 온도분포의 폭이 변화되었으며, 이것을 조절하면 용접비드 폭의 정확한 측정이 가능하였다.

2) 용접부 표면온도측정에서 용착금속의 상변태, 이음부상태 및 용접조건 등에 따른 용접비드 표면의 기하학적형상은 온도분포에 영향을 미치지 않았다.

3) 용접부 온도해석결과와는 달리 용접부 표면온도 측정에서는 키홀 전방이 가열되었으며, 이 부분의 온도를 측정하여 용입깊이를 제어하는 인자로 활용하는 경우 실시간 제어가 가능할 것으로 판단되었다.

4) 냉각단계의 용접부 표면온도는 상변태구간에서 온도감소율이 천이되었는데, 표면온도분포와 용입깊이의 상관성을 높이기 위해서는 이 구간은 피하는 것이 바람직하였다.

5) 완전용입과 부분용입의 임계조건에서는 미세한 레이저출력의 변화에 의해서도 용입깊이의 편차가 발생하였다. 적외선온도측정에 의한 용접부 표면온도는 이러한 용입깊이의 변화와 잘 일치되어 정확한 용입깊이 제어에 적용이 가능할 것으로 보였다.

참 고 문 헌

1. E.A.Metzbow: Absorption in the keyhole, ICALEO '97 Proceedings, 16-25

2. Y.H.Han: Laser beam processing technique(II), Journal of KWS, **8-4** (1990), 1-7 (in Korean)
3. J.D.Kim: High power CO₂ laser beam welding for low carbon steels, Journal of KWS, **7-4** (1990), 12-21 (in Korean)
4. K.C.Kim, K.H.Lee and M.Y.Lee: Laser weldability of sheet steels for tailored blank manufacturing(I), Journal of KWS, **16-1** (1998), 17-86 (in Korean)
5. P.W.Ramsey, J.J.Chyle, J.N.Kuhr, P.S.Myers, M. Weiss, W.Groth: Infrared temperature sensing systems for automatic fusion welding, Welding Journal, Aug.(1963), 337~346s
6. D.Farson, R.Richardson, X.Li: Infrared measurement of base metal temperature in gas tungsten arc welding, Welding Journal, Sep. (1998), 396~401s
7. S.Nagarajan, W.H.Chen, B.A.Chin: Infrared sensing for adaptive arc welding, Welding Journal, Nov. (1989), 462~466s
8. 小園裕三, 小倉 慧, 梶原良一, 小沼 昭: SUS 薄板低周波パルス TIG 溶接部の表面温度と裏波ビード幅の關係, 溶接學會誌, **52-1** (1983), 45~49 (in Japanese)
9. Duley, W.W., and Mao, Y.L.: Effect of surface condition on acoustic emission during welding of aluminium with CO₂ laser radiation, Journal of Physics, D-Applied Physics, **27-7** (1994), 1379-1383
10. P. Abels, S. Kaierle, E.W. Kreutz and R. Proprawe: Failure recognition in tailored blank welding by image processing, ICALEO '98 Proceedings, Section C, 103-112
11. Daniel Wildmann: On-line quality system assures highest production reliability of laser welded blanks, ICALEO '98 Proceedings, Section C, 198-207
12. Ji-Lian Doong, Ching-Shang Wu and Jiun-Ren Hwang: Infrared temperature sensing of laser welding, Int. J. Mach. Tools Manufact. **31-4** (1991), 607-616
13. L. Li, D.J. Brookfield and W.M. Steen: Plasma charge sensor for in-process, non-contact monitoring of the laser welding process, Meas. Sci. Technol., **7** (1996), 615-626
14. V.V.Semak, J.A. Hopkins, M.H. McCay, T.D. McCay: Weld pool oscillations in laser welding, ICALEO '95 Proceedings, 739-748