

# 하이드로포밍용 열연강재의 레이저 용접성 및 기계적 특성

## Laser weldability and mechanical behavior of hot rolled steels for hydroforming applications

이원범\*, 이종봉\*\*

\* 포스코 기술연구소 자동차가공연구그룹

\*\* 포스코 기술연구소 용접연구팀

**ABSTRACT** The laser welding and its analysis of thin-sheet carbon steels were carried out with high power CO<sub>2</sub>laser. Bead on plate welding of thin sheet was examined to investigate the effect of weld variables of laser welding, and to obtain optimum welding condition. Butt-welding was also carried out to show the effect of gap on the laser weldability of thin sheet. At high welding speed, the partial penetration was obtained by low heat input. Otherwise, porosity was formed in the bead at low weld speed because of too many heat input. The maximum gap tolerance on laser welding was observed to be about 0.2mm. This gap size has good relationship with beam size of laser spot(about 0.3mm). The formability of welded sheet was about 80% value of base metal and the gap size has not affected on the formability, although weld quality is dependent on the gap size.

### 1. 서 론

hydroforming 기술은 최근에 세계적인 차체 경량화 추세에 따라 차체 설계 및 생산기술 측면에서 활발히 적용되고 있다. 이는 전세계의 철강회사를 중심으로한 초경량차체 개발(Ultra Light Steel Automotive Body) project에 있어서 TWB, Hydroforming 기술과 같은 신기술이 소개되고부터 더욱 활발히 자동차 회사를 중심으로 연구가 진행되고 있다.

이에 따라 본 연구에서는 hydroforming용 강재의 레이저 용접 특성들을 살펴보고용접 결합에 미치는 여러 인자에 대해 고찰하고자 하였다. 이를 위해 hydroforming tube용 강재와 기존 강재간의 레이저 용접부 품질 특성을 비교, 분석하였으며 용접부 품질에 가장 큰 영향을 미치는 gap의 변화에 따른 용접 특성의 변화를 관찰하였다.

### 2. 실험 방법

본실험에 사용된 소재는 현강재SAPH370, SAPH440 강재이며 시험 강재의 두께는 2.3mm로

고정하여 시험을 행하였다. 본 실험에서는 자동차용 열연강재의 용접 특성을 분석하고 적정 레이저 용접조건을 도출하기 위해 BOP(Bead On Plate) 용접시험을 행하였으며 BOP 용접시험 결과를 바탕으로 용접품질에 미치는 gap의 영향을 평가하였다.

한편, 레이저 용접된 시험재의 성형성을 평가하기 위해 레이저 출력은 6kW, 초점위치 0mm로 고정하여 gap을 0.05mm 간격으로 변화시켜가며, gap의 변화가 성형성에 미치는 영향을 조사하였다. 성형성은 Limited Dome Height(LDH) 시험방법으로 평가하였으며 최고 하중은 30ton, punch speed는 200mm/min으로 고정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 BOP 레이저 용접

BOP 레이저 용접 시험은 자동차용 열연강재에 대해 용접속도를 변화시켜 가며 시험을 행하였다. 그림 1은 그 한 예로써, 2.3mm 두께의 SAPH370강재의 용접속도에 따른 레이저 용접 특성을 관찰하기 위한 BOP 시험 결과이다. 용접속도 1m/min에서는 과다 입열량에 의해 내부에 큰

기공이 형성되어 있었으며, 1.5m/min-2.5m/min에서는 기공 등과 같은 결함의 형성은 관찰되지 않았으나 비드폭이 넓게 나타나 있었다. 한편, 용접속도 3~7m/min에서는 키홀 용접이 안정적으로 이루어져 적절한 비드가 형성되어 있었으며, 그 이상의 용접속도에서는 부분 용입(partial penetration)이 관찰되었다. 한편 SAPH 440강재의 BOP 시험 결과 SAPH370 강재와 매우 유사한 양상을 가지는 것으로 확인되었다.

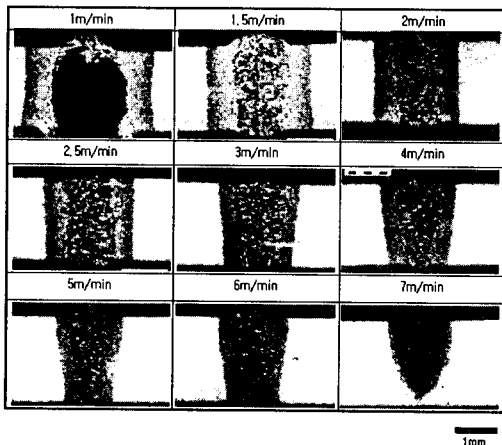


Fig. 1 - Variation of bead shape after laser welding with a various welding speed on SAPH370 steels.

그림 2는 SAPH370강재의 용접속도에 대한 비드의 경도 분포를 보여주고 있다. 경도 분포 분석결과 용접속도의 변화에 따른 비드폭의 변화는 크게 나타나지 않았으나 최고 경도값의 변화는 크게 나타난 것으로 확인되었다. 즉, 시험조건 중 용접속도가 낮은 경우에는 약 260Hv의 경도값을 가졌으며, 용접속도가 빨라질수록 최고 경도값은 증가하여 용접속도 7m/min에서는 최고 경도값이 약 330Hv에 이르는 것으로 확인되었다.

### 3.2 Gap opening 시험

그림 3은 gap opening 시험에 대한 단면 관찰의 예로 SAPH370 강재의 결과를 보여주고 있다. 그림에서 보듯이 gap opening 시험은 BOP 시험과는 다르게 gap의 정도에 따라 비드의 형상이 변화한다는 것을 알 수 있다. 즉, gap이 넓어질수록 용융되는 양이 적어짐에 따라 비드의 높이가 줄어들고 있으며 gap이 0.4mm 이상인 경우에는 넓

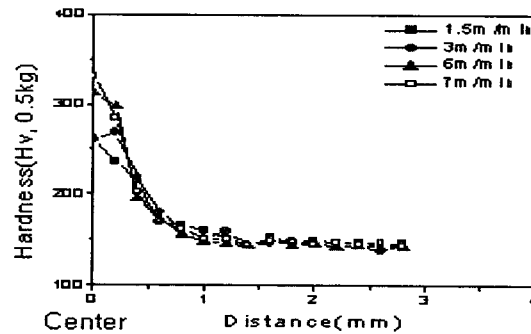


Fig. 2 - Hardness distribution after laser welding with various welding speed on SAPH370 steels.

어진 gap에 의해 충분히 gap이 채워지지 못한 상태에서 기공이 형성되었다는 것을 알 수 있다. 이러한 경향은 이번 시험에 사용된 SAPH440, A 강재에서도 비슷하게 나타났다. 이 결과를 바탕으로 각각의 강재의 용접속도와 gap의 변화에 따른 적정 용접속도 및 gap의 허용도를 조사한 결과, 허용 gap 크기는 용접속도에 상관없이 약 0.2mm의 정도인 것으로 관찰되었다.

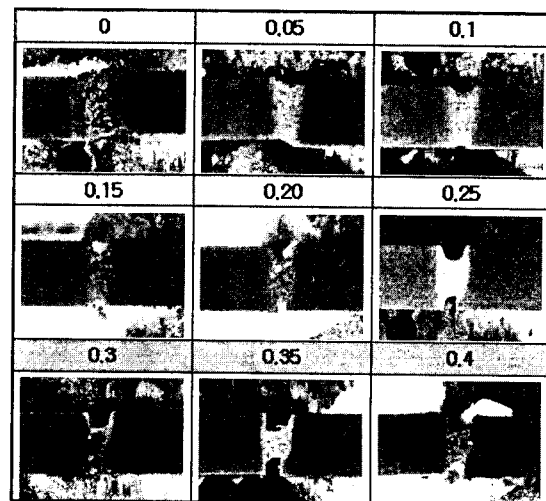


Fig. 3 - Variation of bead shape after gap opening test on SAPH370 steels. This laser welding was performed with 6kW laser power and 5m/min welding speed.

### 3.3 Gap과 성형성

Gap의 변화는 레이저 용접의 품질을 결정하는 중요한 요소로, gap opening 시험에서 나타난 바와 같이 gap의 변화에 따라 비드의 형상이 변하게 되며 결함의 원인으로 발생하게 된다. 즉 이러한 결과로 gap의 변화는 용접부를 포함한 강재의 성형성에도 직접적인 영향을 주게 된다.

그림 4는 여러 강재강재의 gap 변화에 따른 LDH값의 변화를 보여주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 SAPH370 강재의 경우에는 gap이 0.25mm까지는 모재의 약 80% 성형성을 보여주고 있으며 그 이상의gap에서는 성형성이 현저하게 감소되었음을 관찰할 수 있었다. 즉 이것은 gap의 증가로 용접부에 결함이 발생하여 용접부에서 파괴가 일어났으며, 이에 따라 충분한 성형성이 확보되지 않음을 의미한다. 한편 SAPH 440 강재는 SAPH370 강재에 비해 높은 강도와 낮은 연신율을 가지고 있으며 그림4(b)에서 보듯이 용접을 한 후에도 모재에 비해 약 70%의 낮은 성형값을 보여주는 것으로 나타났다.

### 4. 결 론

- 1) BOP 레이저 용접시험 결과 2.3mm의 두께를 갖는 강재에 대해서 6kW 레이저 빔에 의한 레이저 용접시 적정 용접속도는 3~5m/min인 것으로 확인되었다.
- 2) 용접속도가 빠를수록 비드폭은 작아지며 경도값은 높게 나타났다. 그리고 고강도강일수록 용접시 높은 경도값을 갖는 것으로 나타나 고강도강의 용접에서는 용접속도에 의한 최고 경도값의 조절이 필요하다.
- 3) Gap opening 시험결과 용접속도가 느려질수록 용입량은 증가하게 된다. 그러나, gap의 한계도를 결정하는 가장 중요한 요인은 레이저 빔이며 한계 gap은 약 0.2mm로 나타났다.
- 4) 성형성에 미치는 gap의 영향을 살펴본 결과, 0.2mm gap 이하에서는 gap의 크기와 관계없이 일정한 성형성을 갖는 것으로 나타났다.

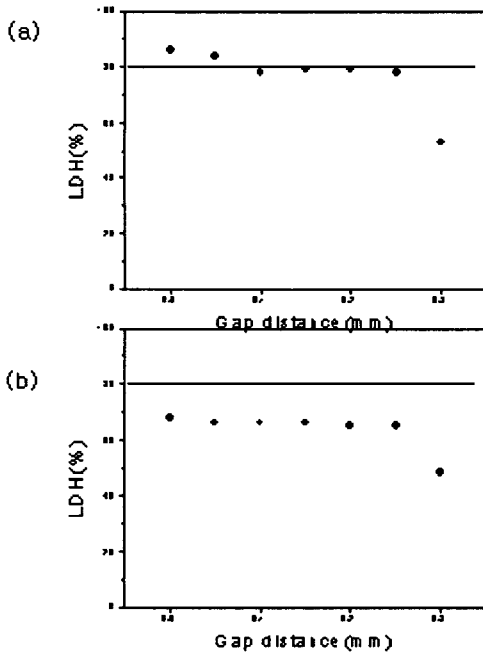


Fig. 4 - LDH test results of (a) SAPH370 steels, (b) SAPH440 steels and A steels with various gap size.

### 참고문헌

1. I. Miyamoto, H. Maruo, Weld. International, 10(6), pp. 448-453
2. J.C. Ion, A.S. Salminen and Z. Sun, Weld. J, (1996) 75:225S
3. 권재욱, 이경돈, Advance (1997) pp. 28
4. A.W. Astrop, Machinery & production engineering, 23 (1974) pp. 99
5. W.Johnson and A.G. Mamailis, Welding & Metal fabrication, 47 (1979) pp. 375
6. D.I. Chang, R. Nees and M. Morin. SAE, 960804, pp. 713
7. F. Dohmann and C. Hartl, J. Mater. Processing Tech. 60 (1996) pp. 669
8. G. Morphy, SAE, 970373, pp. 341