研究論文

테일러드 블랭크용 박판 강재의 레이저 용접성 (II)
-이음 형상이 용접성에 미치는 영향-

김 기 철* · 이 기 호** · 이 목 영*

Laser Weldability of Sheet Steels for Tailored Blank Manufacturing (II)
- Effect of Joint Configuration -

K. C. Kim*, K. H. Lee** and M. Y. Lee*

Key Words : Laser welding, Thin gage sheet steel, Coated steel, Joint alignment, Tailored blank welding

Abstract

In this paper, the laser weldability of thin gage steels for automobile application is discussed. Welding was carried out with a high power carbon dioxide laser system, and the laser energy was concentrated through a plano-convex lens. Test results showed that the joint gap in the butt welding proved to be one of the critical conditions for an acceptable weld. In the case where the ratio of the gap clearance to the material thickness was slightly bigger than optimal value, the weld strength was reduced showing weld metal fracture. It was possible to obtain a weld penetration ratio of 0.91 when the vertical offset ratio was controlled to be 0.4 or smaller. Results also demonstrated that the weld strength of the lap joint was influenced by travel speed. At the travel speeds lower than 37mm/s, the weld strength indicated higher value than that of class A recommendation strength of a resistance spot weld based on the KS code. It was clear that the complicated effect of specimen alignment should be considered so as to make a sound weld with high integrity when the laser process was applied to the long weld line.

※ 1997년 12월 11일 접수
* 정회원, 포항산업과학연구원 접합가공연구팀
** 정회원, 전 포항산업과학연구원 접합가공연구팀

1. 서 론

자동차 기술과 관련하여 차체의 경량화는 매우 중요한 개발 항목이므로 많은 분야에서 이 목표를 달성하기 위한 연구를 수행하고 있다. 그 중에는 사용되는 철강 소재를 고장력화함으로써 두께와 함께 무게를 줄이려는 시도[1~3]가 있다. 그러나, 강재의 인장 강도를 높이는 것만으로는 곧 경량화의 한계에 부딪히게 된다. 문헌에 의하면 현재의 기술과 재료의 개발로 경량화할 수 있는 비율은 2.2%에 불과하지만, 새로운 재료와 기술을 도입할 경우에는 23.3%의 경량화가 가능한 것으로 보고[4] 되고 있다. 또, 차체 경량화를 위한 기술적 중요도를 보인 예에 의하면 접합기술의 개선을 통해서 얻는 경량화 효과는 경량 재료의 개발 보다 더 높은 것으로 나타나 있다. 이러한 사실은 자동차 제작 공정에서 용접의 대부분이 저항 점 용접에 의존하고 있는 것과도 무관하지 않으며, 재료의 실수율과 접합부 안전성 측면에서 불이익이 있음을 대변하는 것이다. 레이저 용접은 그러한 관점에서 매우 중요도가 높은 접합 기술로, ULSAB 프로젝트에서 레이저를 이용하는 테일러드 블랭크 기술을 크게 강조하는 이유[5~10]의 하나이다.

테일러드 블랭크의 제조에서는 무엇보다도 건전한 용접부를 얻어야 하는데, 그러한 목적을 달성하기 위하여 용접 공정의 정확한 해석 및 적정화가 이루어 져야 한다. 용접 이음 조건의 한계를 구하는 것도 그러한 과정의 하나이며, 용접선 길이가 길고 그 용접부 전체에서 기계적 강도를 저해할 정도의 결함이 없어야 하는 블랭크 용접에서는 가장 중요한 요소 기술이다. 그러나, 용접 조건의 허용값에 관한 영향을 다룬 연구 결과의 대부분은 시험재의 크기가 극히 작거나[11] 비교적 소형을 대상으로 실시된 것들[12~16]로서 현장 상황에 적합한 결과라고는 하기 힘들다.

본 연구는 이러한 기술적 환경과 기존 연구 결과의 제한점을 감안하여, 차체용 블랭크 제조에서 레이저 용접을 적용할 경우에 직면하는 이음부 정렬 조건의 한계 정의를 목적으로 실시된 것이다. 장거리 용접성은 그러한 목적을 달성 위한 요소 기술의 하나이며, 레이저 용접의 실차 적용에서 빼놓을 수 없는 부분이다. 또, 본 실험에서는 레이저 겹치기 용접부의 기계적 강도를 저항 점용접 강도 기준과 비교하여 검토함으로써 차체 조립 과정에서의 레이저 용접 적용 기반을 다지고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1 시험재

Table 1은 본 실험에서 사용된 소재들의 조성과 인장강도, 두께 및 압연 후처리 유무를 나타내고 있다. 즉, 시험재 1과 2는 자동차 차체용으로 가장 중요한 극저 및 저탄소 강재들로써 높은 성형성이 요구되는 재료이다. 시험재 3과 4는 전술한 것들과 유사한 용도의 소재이지만, 높은 인장 강도를 나타내는 것이며, 시험재 5와 6은 보강용으로 중요한 후물 고장력강이다. 한편, 시험재 7과 8은 전기아연도금 소재의 표면에 후처리를 실시한 것이며, 시험재 9는 아연도금 소재였다.

Table 1. Chemical and physical properties of test materials

Steel	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	UTS (MPa)	Thick. (mm)	Surface condition
1	0.0029	0.002	0.072	0.011	0.008	0.010	0.011	301	0.85	-
2	0.038	-	0.185	0.009	0.007	0.008	0.012	360	0.8	-
3	0.044	0.002	0.480	0.099	0.007	0.009	0.009	453	0.8	-
4	0.038	0.004	0.516	0.085	0.012	0.019	0.015	423	1.0	-
5	0.084	0.474	1.50	0.019	0.007	0.031	0.032	561	1.2	-
6	0.079	0.488	1.50	0.016	0.007	0.024	0.028	592	1.4	-
7	0.003	-	0.131	0.009	0.005	0.009	0.014	320	0.8	EG+AFP
8	0.0038	0.002	0.070	0.010	0.006	0.011	0.018	303	1.0	EG+CHR
9	0.0022	-	0.127	0.016	0.005	0.010	0.009	292	0.8	GI

2.2 시험재 용접

용접은 CO_2 레이저 장치를 이용하였다. 용접 이음부의 형태는 실제의 차체 용접에 대응하기 위하여 맞대기 용접과 겹치기 용접을 주로 사용하였으나 이종 두께에 대한 용접 특성도 검토하였다. 맞대기 용접에서 간극의 영향을 검토하기 위하여는 용접할 두 재료의 양 끝 간격을 서로 다르게 설정하는 방법이 있으나[12], 본 실험에서는 미리 설정된 간극이 용접 과정에서 미세 변화를 보이는 경우가 많기 때문에 양 끝 모두에 동일한 간극을 부여한 상태에서 용접을 실시하였다. 맞대기 간극 이외의 공정 변수로는 이음부 절단 조건, 단차 및 용접 속도 등이었다.

2.3 용접부 특성의 평가

용접을 마친 시험재는 용접선 방향으로 5등분하고 그 각각을 소정의 크기로 절단 및 가공하여 미세조직 시험과 인장시험을 실시 하였다. 또, 차체 생산 공정에서 점 용접의 일부를 레이저 용접으로 대치하려는 시도[13~18]에 대응하기 위하여 레이저 겹치기 용접부의 특성을 점 용접부의 특성과 비교하는 실험도 실시하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 맞대기 간극이 용접성에 미치는 영향

레이저 용접은 에너지의 집속경이 작기 때문에 피용접물을 건전하게 접합시키기 위하여 용접 이음부의 설계가 중요하며 맞대기 용접시 간극의 허용범위도 소재 두께의 15% 정도로 알려져 있다[11~19]. Fig. 1은 맞대기 간극이 용접부 강도에 미치는 영향을 알아본 것으로, 본 실험에서 사용된 소재 특성의 평균에 해당하는 인장강도 423MPa 및 두께 1.0mm의 시험재 4에대한 용접부 성질을 대표로 제시 하였다. 그림에 의하면, 맞대기 간극을 부여하지 않았거나 이 간극의 두께에 대한 비 즉, s/t_0가 0.15 이내의 구간에서 용접부 강도비 즉, σ_w/σ_0는 0.98 이상을 보이고 있었다. 이것은 용접부를 포함한 모재가 실질적으로 모재와 동일한 정도의 강도를 나타내고 있다는 해석을 할 수가 있었으나, s/t_0가 0.20인 조건에서는 용접부의 강도 분포가 비교적 넓었다.

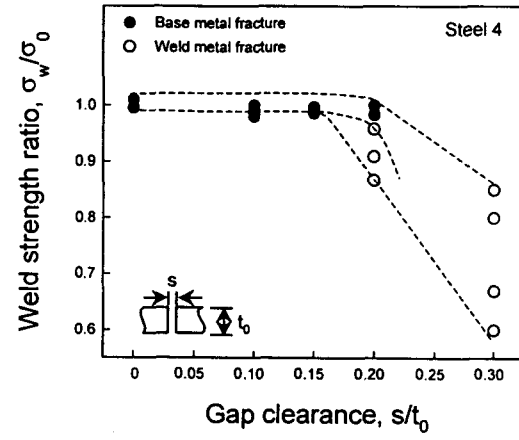

Fig. 1 Effect of gap clearance on the weld strength ratio

이 영역의 실험 결과를 자세히 살펴보면, 용접부 특성에 따라서 강도의 분포가 2 영역으로 나뉘어 진다는 사실을 발견할 수가 있었다. 도표에서 검은 점으로 표시된 부분은 높은 용접부 강도와 함께 단면 검사 결과 건전한 용접부를 보였던 부분으로 용접부 파단을 일으키지 않았다. 그러나, 흰 점들은 용접부 파단을 일으킨 실험 결과로 용접 금속 내에 기공 또는 언더 컷과 같은 용접 결함을 내포하고 있어서, σ_w/σ_0값을 85%까지 낮추며 그 산포도 또한 넓은 부분이다. 이러한 결과는 다른 보고[20,21]와 일치하는 것으로 최적 간극 설정의 기초가 되는 실험 결과로 판단된다.

s/t_0를 0.30으로 더욱 넓혔을 경우에는 σ_w/σ_0의 하락과 동시에 그 분포도 매우 넓어서 사실상 용접부로서의 의미를 부여할 수 없었다. 이러한 s/t_0는 기계적 성질 뿐만 아니라, Fig. 2에서 보이는 바와 같이 용입 깊이비에도 큰 영향을 주고 있는데, 여기에서 용입 깊이의 비(d/t_0)를 사용한 이유는 사용되는 소재의 두께 차이에 의한 혼란을 피하기 위함이다. 이 실험 결과에 따르면, s/t_0를 0으로 관리하였을 때, d/t_0의 평균 값은 0.96이었으나 산포 영역은 0.92-1.01 범위였다. 이렇게 간극이 없는 상태에서 용접을 실시하여도 d/t_0가 1.0이 되지 않는 것은 비드 표면이 미세한 파동을 이루기 때문에 발생되는 부위별 측정치의 차이와 비록 정밀 절단을 행한 다음 용접 전 주의 깊게 고정된 시험재라고 하더라도 약간의 어긋남이 존재하였던 것이 원인

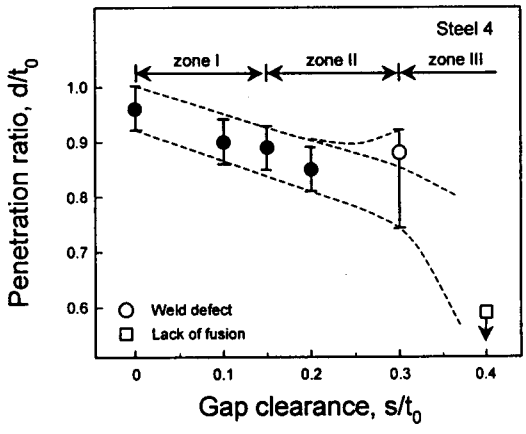

Fig. 2 Correlation between gap clearance and penetration ratio

으로 생각된다. Fig. 2의 결과는 Fig. 1에서와 같이 0.20의 s/t_0 조건에서도 용입 깊이의 산포도가 크지 않았는데, 이와같은 것은 용접부의 모양을 고려할 때 본 실험의 영역에서는 약간의 결함이 존재하더라도 기계적 특성이 크게 저하하지는 않음을 알 수 있다. 한편, s/t_0를 0.40으로 설정한 조건에서는 용접부가 거의 형성되지 않았다. 따라서, 용접부 형상만으로 이 실험 결과를 정리하면 완전한 용접부가 얻어지는 영역(zone I), 비교적 건전한 용접부를 얻을 수 있으나 결함 발생 확률이 있는 영역(zone II) 및 용접부가 형성은 되지만 많은 결함을 내포하고 있어서 용접으로서의 의미가 없거나 용접이 전혀 이루어 지지않는 영역(zone III)으로 구분되었다.

Fig. 3은 s/t_0를 0에서 0.5까지 변화 시키면서 용접 실험을 행한 결과 중, 용접성 판정의 중요한 경계점인 s/t_0=0.2와 0.3 조건의 비드 단면 사진을 보여주고 있다. 앞에서도 언급되었듯이 s/t_0=0.2 조건은 용접 과정의 미소한 여건 변화에 따라서 건전한 용접부를 형성시키기도 하고 그렇지 않은 경우도 있는데, 사진(a)는 양호한 용접부의 예를 제시한 것이다. s/t_0=0.3의 간극 조건에서는 사진(b)에 보인바와 같이 대부분 용접 결함을 가지고 있었는데 이 사진은 내부 기포가 있는 용접부의 예이지만, 경우에 따라서는 비드의 상, 하부에 언더 컷 결함도 있었다. 이음부의 간극 관리는 절단면이 매우 이상적인 경우에 용이한 것 처럼 보이지만, 실제로는 엄격한 절단 품질의 관리에도 불구하고 진직도, 직각도 및 절단의 마지막 단계에서 발생하는 소성

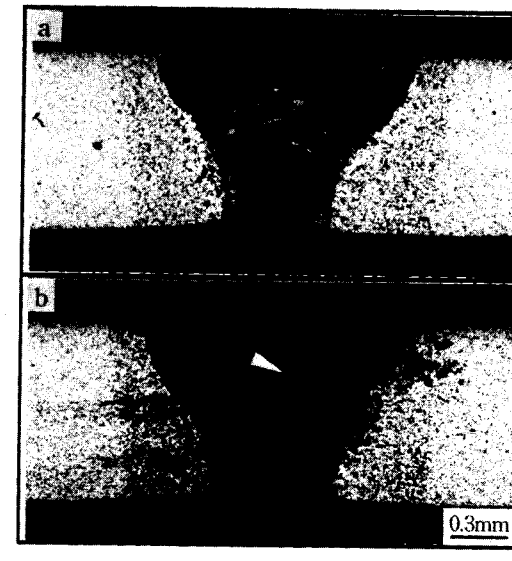

Fig. 3 Effect of gap clearance (s/t_0) on weld microstructure
a: s/t_0 = 0.2, b: s/t_0 = 0.3

변형(burr)를 완벽하게 제어하기가 어려웠다.

Fig. 4는 그러한 경우, 용접 공정 변수의 적절한 활용으로 배제할 수 있는 가능성을 제시한 결과로서, 시험재 7(a와 b)과 시험재 9(c와 d)를 용접할 때의 간극을 각각의 소재에 대하여 s/t_0=0.2와 0으로 설정한 예이다. 이 때, 용접 속도를 각각 43mm/s(a), 57mm/s(b), 57mm/s(c) 및 64mm/s(d)로 다르게 한 결과, (a)의 경우(s/t_0=0.2)는 완전한 용접부를 만들고 있었다. 그러나, 동일한 조건에서 용접 속도만 약 30% 높인 결과 Fig. 4의 (b)에서 알 수 있는 바와같이 용합 불량이 발생하였다. 한편, Fig. 4의 (c)와 (d)는 맞대기 간극이 없는 조건에서 용접된 것으로, (c)는 한계 속도 이내에서 용접이 이루어진 것으로 용접 상태가 완전하다. (d)는 용접 속도를 한계값 이상으로 높인 예로서 최초 용융부에 해당하는 시험재의 표면은 약간의 용접이 이루어지고 있으나, 그 아래 부분은 용입 불량 상태였다. 이 경우, 시험재의 아래 부분에는 0.1mm 이상의 미용융 간극이 존재하고 있었는데 이것은 절단 조건의 미소 변화에 따른 직각도 불량이 원인으로, 표면에서는 s/t_0=0의 조건을 만족하였지만 하부에는 약간의 간극이 존재하고 있었기 때문이다.

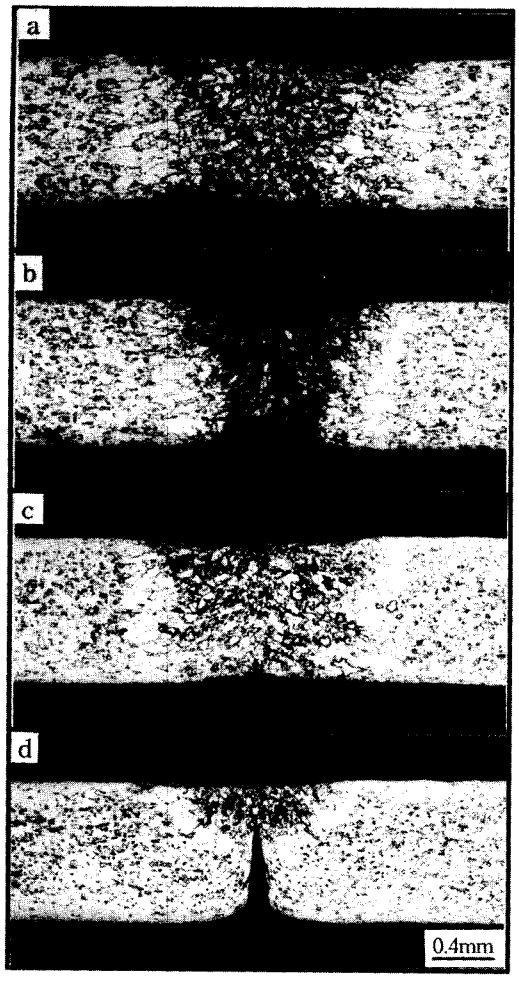

Fig. 4 Effect of welding conditions on the weld formation ; s/t_0 of 0.2, travel speeds of 43mm/s (a) and 57mm/s (b), and s/t_0 of 0, travel speeds of 57mm/s (c) and 64mm/s (d)

용접 이음부의 절단과 관련하여 Fig. 5는 통상의 절단면 (a), 정밀 절단면 (b) 및 레이저 절단면 (c)을 비교하고 있다. (a)는 순수한 전단력으로 절단이 이루어지기 때문에 절단 장치의 칼날 제어 폭을 좁혀도 극저 탄소 고 성형성 박판 강재는 많은 양의 변형을 일으키며[22], 탄소량이 다소 높은 시험재 3도 사진 (a)와 같이 절단 개시점과 종료점 다같이 소성 변형량이 크다. (b)와 같은 정밀 절단은 테일러드 블랭크의 용접에서 빼놓을 수 없는 방법으로 인정되고 있으나, 설비 투자비와 관련된

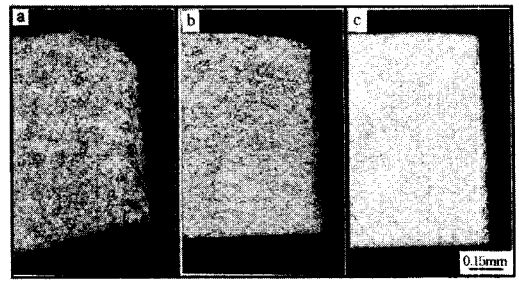

Fig. 5 Macroscopic view of typical cut cross-sections by conventional shear (a), precision cutter (b) and laser (c)

생산 원가의 상승이 문제시 되어 절단면의 예민성을 억제하려는 시도[23,24]와 함께 향후 중요한 연구의 항목으로 사료된다. 이러한 관점에서, 본 연구에서는 레이저 절단의 활용을 검토하였는데, Fig. 5의 (c)는 그 예로서 박판이기 때문에 절단면 직각도는 양호하지만, 절단 표면의 줄무니[25]와 산화물이 용접성 영향을 미칠 것으로 생각되었다.

Fig. 6은 절단 방법이 용접 비드의 표면 품질에 미치는 영향을 조사한 결과이다. 이 실험에는 시험재 5 및 6 을 이용하였는데 그 이유는 본 실험에서 사용된 재료 중, 레이저 절단의 적용이 용이한 두께였기 때문이다. 용접조건은 레이저 절단면 끼리 조합되어 용접이 이루어진 경우 (a), 한 쪽은 레이저 절단면, 그리고 다른 한 쪽은 정밀 절단면인 경우 (b)와 정밀 절단면끼리 용접이 이루어진 경우 (c)로 나누어 실시 하였다. 그 결과, 정밀 절단면끼리 용접된 경우에는 비드 전체가 양호하였고 두 절단면이 혼합된 경우에는 비드의 흐름이 약간 불규칙하고 표면에서의 비드처짐도 관찰 되었다. 이에 반하여 레이저 절단면끼리 용접된 경우에는 비

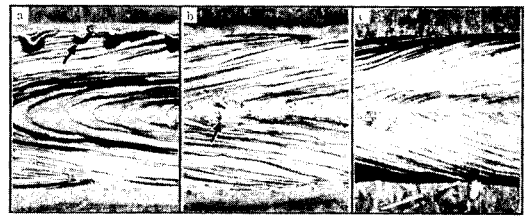

Fig. 6 Surface appearance of laser welds showing slag formation at the fusion line (a) and the weld center (b)

드의 가장자리가 불규칙하고 처짐도 컸다. 레이저 절단면에서 이러한 현상이 관찰된 주요 원인은 앞에서도 언급하였듯이 절단면에 존재하는 줄 무니의 영향으로 실질적인 $s/t_0=0$ 조건을 이루지 못하였던 것으로 판단된다. 또, 이 시험재의 용접부 표면에는 사진에서 화살표로 지적된 바와같은 산화물 슬래그도 관찰 되었고, 그 경향은 두 시험재에서 모두 비슷하게 나타났다.

3.2 단차의 영향

Fig. 7은 맞대기 용접시 이음부의 두께 방향 어긋남 즉, 단차가 용접 품질에 미치는 영향을 조사한 실험 결과이다. 단차를 부여한 시험편에서는 간극이 없는 상태로 용접을 행하여도 그림에 제시되어 있는 바와같이 용접 과정에서 용융 금속의 처짐이 발생하기 때문에 용접부 기계적 강도의 하락을 수반하게된다. 본 실험에서는 이러한 점을 고려하여 응고 높이, 즉 최소 접합 높이(d)를 용접부라고 정의하고 부여된 단차의 비(h/t_0)와 관련시켜 해석하였다. 실험 결과에 의하면 h/t_0를 0.2로 부여한 조건에서 용입비(d/t_0)는 0.97로 사실상 매우 건전한 용접부를 이루고 이었으며, $h/t_0=0.4$로 증가시킨 경우에는 d/t_0도 완만한 감소를 보여 0.91을 나타내었다. 그러나, h/t_0를 0.6으로 조금 더 높인 실험 조건에서는 d/t_0값이 급격하게 감소하였다. 한편, h/t_0를 더욱 높인 실험 조건에서는 오히려 완만한 기울기의 d/t_0 하락을 보임으로써 단차의 영향에 대한 용접부 크기의 한계 영역이 $0.4<h/t_0<0.6$ 구간 존재함을 알 수 있었다. 따라서, 맞대기 용접에서 확보되어야 할 용접부 최소 크기를 소재 두께의 80%로 설정하는 것[26]과 동일한 개념으로 단차의 크기를 정의하여 본다면, 본 실험 조건에서 허용 범위의 상한은 $h/t_0=0.4$ 또는 약간 큰 값이 가능할 것으로 판정된다. 이상의 실험 결과들은 맞대기 간극의 관리를 철저히 한 경우($s/t_0=0$)인데 실험 과정에서 어느정도의 간극이 존재한 경우에는 거의 용접이 이루어지지 않는 것을 확인할 수 있었다. 그러므로, 맞대기 용접에서는 단차의 영향 검토에 앞서 간극 관리가 선행되어야 할 것으로 사료되었다.

이렇게 단차를 부여한 용접부 시험편의 기계적 특성에 관한 실험 결과는 Fig. 8에 제시되어 있다. 이 그림에서는 단차(h/t_0)가 모재에 대한 용접부의 인장강도의 비(σ_w/σ_0)에 미치는 영향과 그 때의 연신율 거동을 동시에 나타내고 있다. 또, 각각의 인장강도 측정 위치에는 용입비(d/t_0)도 병기하므로서 그들 사이의 상관성을 표현 하였다. 이 결과에 의하면, Fig. 7의 결과와 유사하게 $h/t_0<0.4$인 조건에서는 σ_w/σ_0의 변화가 거의 없었고 시험 후 파단 형태도 용접부를 벗어난 모재 파단이었다. 또, 이 영역에서는 연신율의 하락도 경미하여 $h/t_0=0.4$ 조건에서 $\varepsilon/\varepsilon_0$의 평균치는 0.95를 보였다. 이것은 단차의 증가에 따라 용접부의 형태가 어느 정도 일그러지고 있었음에도 용접부 강도에 미치는 영향은

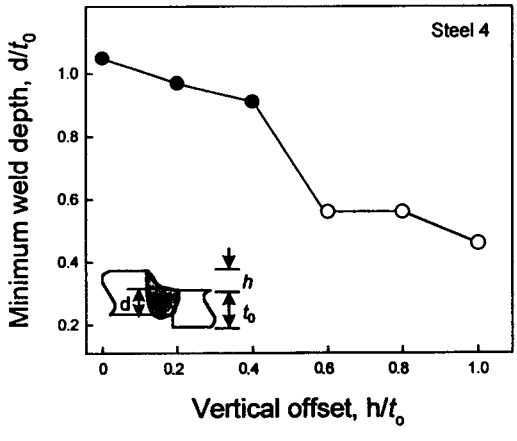

Fig. 7 Effect of vertical offset on minimum weld depth

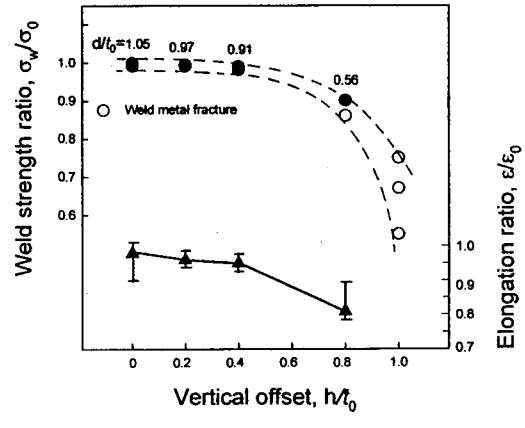

Fig. 8 Effect of vertical offset on the tensile properties

크지않음을 나타내는 것이다. 이러한 이유는 용접 금속부에 급냉 조직이 형성되어 용접부 경도를 높였던 것에 기인하는 것으로 생각되었다. h/t_0>0.6인 조건에서는 용접부의 강도와 연신율이 다같이 큰 폭으로 감소하고 있어서 부적절한 이음 조건이었음을 나타내고 있다. 그러나, 이러한 실험 결과에도 불구하고 실제로 단차의 영향은 용접부 인장강도 및 인장 연신율에서 보다 오히려 성형 과정에서 발생하는 문제가 더 크기 때문에 본 실험에서 얻어진값 이상의 엄격한 h/t_0 관리가 필요할 것으로 사료된다.

그것은 Fig. 9에서 보여주는 용접부 단면 형태에 의하여도 쉽게 유추할 수가 있다. 먼저, 사진의 (a)와 (b)는 각각 h/t_0=0.2 및 0.4인 시험편의 예를 보인 것으로 용접부의 형성은 매우 안정적이었다.

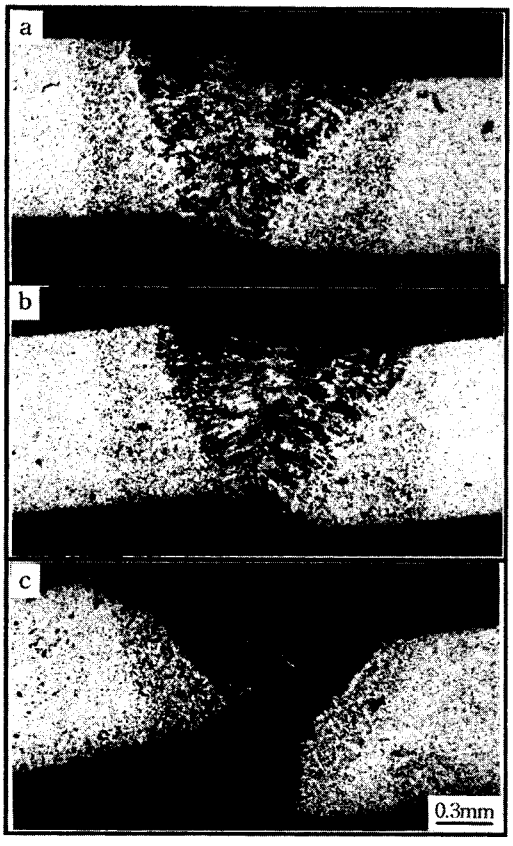

Fig. 9 Effect of vertical offset on weld formation (a) 0.2mm, (b) 0.4mm, (c) 0.8mm

h/t_0=0.8(그림의 c)에서도 용접부는 형성되었는데, 이러한 현상은 용접선 바로 위에서 수직으로 레이저 빔이 조사되어 용접 초기의 용융물이 아래로 흘러내리면서 용접부를 형성하였기 때문이다. 한편, h/t_0=0.4에서는 용접부의 일그러짐이 크고 두 재료가 심하게 어긋나 있어서 성형 가공시 용접부는 한계 이상의 변형력을 받을 것이므로 용접부 파단과 함께 성형장치의 손상 가능성도 높다.

3.3 겹치기 용접부의 특성

레이저를 이용한 겹치기 용접은 차체 용접에서 중요시되는 또 하나의 이음 형태이다. 기존의 점 용접은 변형이 적고 생산성이 높기 때문에 자동차 생산 용접 공정의 대부분을 차지하고 있으나, 이것은 불연속 용접법이며 용접부의 양면에 압흔을 생성시킨다. 이러한 문제점을 대체하는 수단으로서 레이저 용접법이 거론되고 있는데, 이 때 레이저 용접부의 강도는 최소한 점 용접부와 동등하여야 한다.

Fig. 10은 시험재 2를 이용하여 겹치기 용접을 실시함에 있어서 용접 속도에 따른 용접부 인장전단 하중과 겹치기 위치에서의 접합 면적을 구한 결과이다. 용접 속도 37mm/s 이하의 조건에서는 모든 용접부가 완전 용입을 보였으나, 속도가 증가함에 따라서 겹치기 이음부에서의 접합 면적은 감소하고 있었다. 또, 이 그림에서는 점 용접 규격에

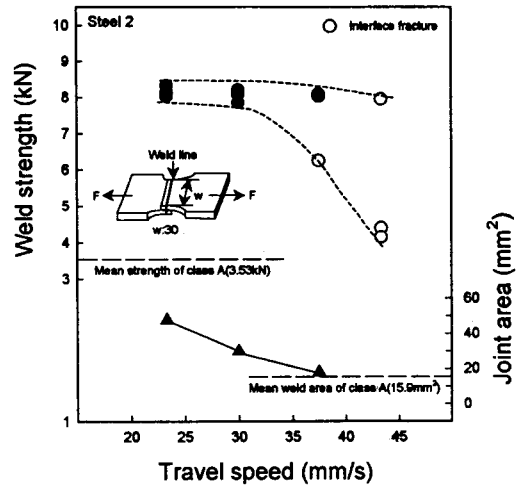

Fig. 10 Effect of travel speed on the weld strength

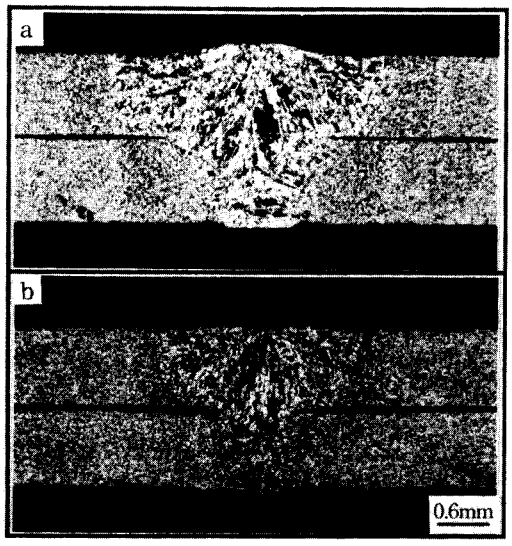

Fig. 11 Cross-sectional view of lap weld with travel speed of 23mm/s (a) and 37mm/s (b)

서 정하고 있는 등급별 용접부 평균 인장전단 하중의 요구치를 나타내어 레이저 용접부의 특성과 비교 하였다. 실험 결과에 의하면 용접 속도의 증가에 따라 용접부의 인장전단 하중은 점차 감소하였으나, 시험 후 모재 파단이 일어나지 않은 시험편에서도 거의 모두 점 용접부의 A급 평균 요구 강도 이상을 보이고 있었다. 한편, 계면 파단 시험편에서는 A급 강도 이상을 보임에도 불구하고 용접 속도의 증가와 함께 급격한 기계적 성질의 하락을 나타내고 있었다. 도표의 아래에는 각 조건에서 겹치기 이음부의 단면적을 제시고 있는데, 용접 속도는 용접부 단면적에 비교적 크게 영향을 미치고 있어서 인장전단 하중 변화와는 대조적이었다. Fig. 11은 겹치기 용접부의 단면 조직을 나타낸 것으로 용접 속도 증가에 따라 겹치기 위치에서의 용접부 폭이 감소하는 모습과 함께 낮은 용접 속도에서 지나치게 넓어진 표면 비드를 보여주고 있다.

3.4 초점위치 벗어남의 영향

용접할 위치에서 집속 빔이 멀어지는 정도를 관리하는 기준은 집속경의 크기, 용접 속도 및 소재의 두께등이 영향을 미친다[12]. Fig. 12는 시험재 4를 이용하여 43mm/s의 속도로 용접을 실시한 경우 용입 형상의 예를 보인 것이다. 용접선에 정확

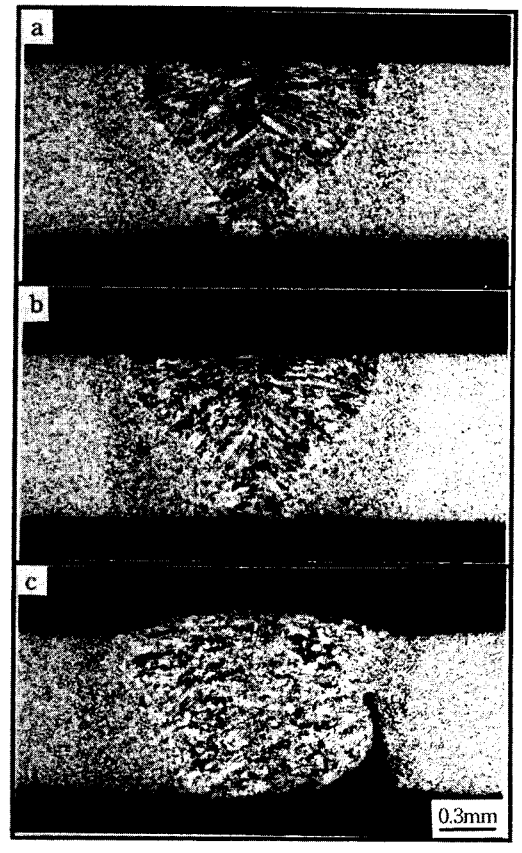

Fig. 12 Effect of welding line deviation on weld formation showing exactly aligned (a), 0.25mm (b) and 0.70 (c) deviated weld

히 집속광을 입사시킨 경우 (a)와 0.25mm 벗어나게 설정한 경우 (b)는 정상적인 용접부가 얻어졌으나, 0.7mm 벗어난 조건 (c)에서는 용입불량을 일으키고 있다.

Fig. 13은 두께 0.85mm의 극저탄소 강재 (시험재 1)와 두께 1.2mm의 고장력강 (시험재 5)를 이용하여 이종 재료에 대한 초점위치 벗어남의 영향을 조사한 것이다. 사진에서 (a)는 두꺼운 시험재 쪽으로 0.2mm 어긋나게 집속점을 맞춘 경우이고, (b)는 좀 더 멀어진 0.4mm를 벗어나게 설정한 용접부의 단면이다.

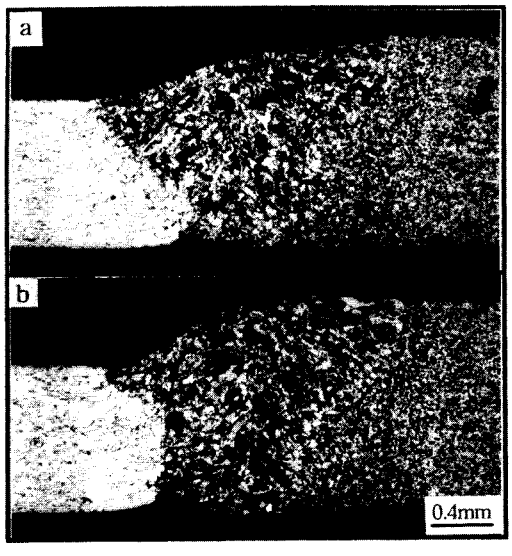

Fig. 13 Effect of welding line deviation on weld formation (a) 0.2mm and (b) 0.4mm

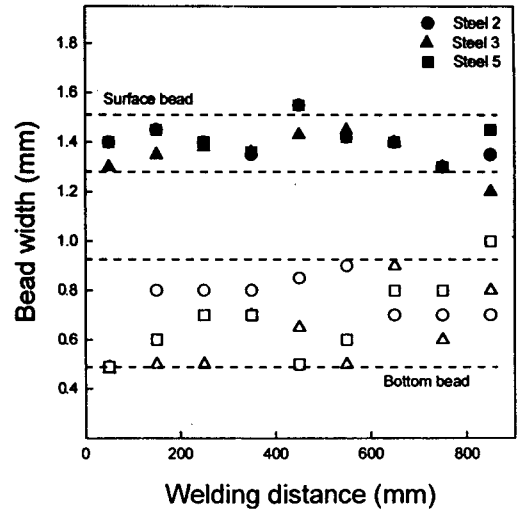

Fig. 14 Bead width change along to the welding distance

3.5 장거리 용접

테일러드 블랭크용의 박판 소재는 크기가 다양하며 용접선 길이 또한 일정하지 않다. 전술한 바와같이 레이저 용접에서 이음부 관리의 허용 범위는 비교적 좁고 또 용접부의 형성에 매우 민감하게 작용하는데 이러한 효과는 용접선의 길이가 증가할수록 커진다. Fig. 14는 용접선 길이 850mm를 레이저 용접함에 있어서 용접 길이 방향의 품질 변화를 조사한 것이다. 실험 결과에 의하면, 용접선 전 길이에 걸쳐서 상부 비드의 크기는 변동이 거의 없으나, 하부 비드의 폭 변화량은 상부 비드의 약 2배 정도 크게 나타났다. 또, 이 실험 결과는 비드 형성 특성이 소재의 인장강도나 두께 차이와는 관련이 없음을 알려준다. 그러나, 용접부의 단면을 조사한 별도의 실험에 의하면, 전체적으로는 완전 용입 조건으로 용접이 이루어졌음에도 불구하고 부분적으로 하부 비드의 위치 벗어남 현상이 관찰 되는 곳이 있었다. 그러한 부분에서도 레이저 맞대기 용접의 경우는 초기 간극이 거의 없기 때문에 용접부 건전성을 육안으로는 확인하기 곤란하였다.

본 실험에서 하부 비드의 이탈 현상은 고정 장치의 강성이 충분하지 않았던 것으로 판명은 되었으나, 그 밖에도 열변형, 소재의 평탄도와 용접 장치 구동계의 신뢰성이 각종 용접 이음 조건들(즉, 비드 천이현상, 초점위치 벗어남, 단차, 이음부 간극등)의 변화와 유사한 효과를 복합적으로 나타낼 가능성이 높음을 알 수 있었다.

4. 결 론

두께 0.8~1.4mm 및 인장강도 301~592MPa를 나타내는 차체용 박판 강재를 이용하여 레이저 용접을 실시할 때 용접 이음 조건이 용접성에 미치는 영향을 검토하여 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 맞대기 용접에서 간극의 넓이가 적정 범위 이내였던 조건에서는 용입비와 용접부 인장 특성 모두 모재와 거의 유사한 값을 나타내고 있었다. 그러나, 간극비가 0.2를 초과하는 조건에서는 비드의 형태는 양호한 것 같이 보였지만, 용접부에서 파단이 발생하는 경우도 있었으며 그 때의 기계적 특성은 크게 변화된 값을 나타내었다.

2) 단차비(h/t_0)를 0.2 이내로 유지할 때는 0.97 이상의 용입비(d/t_0)를 보이며 h/t_0=0.4인 조건에서도 d/t_0=0.91로 그다지 큰 영향이 없으나, $0.4<h/t_0<0.6$ 구간에서는 급격한 d/t_0의 감소를 보여 h/t_0 값의 한계 영역이 존재함을 알 수 있었다. 한편, 이 때의 용접부 기계적 특성도 유사한 경향을 나타냈는

데, $h/t_0<0.4$인 용접 조건에서 용접부의 강도비, σ_w/σ_0는 평균 0.91 이상이었으나 연신율의 경우는 다소 큰 하락을 관찰 할 수 있어서 성형 과정에서의 주의가 필요한 것으로 사료되었다.

3) 겹치기용접 실험 결과, 용접 속도 37mm/s 이내의 조건에서, 계면 파단이 일어나지 않은 시험편에서는 저항 점 용접부 A급 평균 요구 강도 이상을 나타내었다. 그러나, 고속 영역에서는 비드 폭 감소로 인하여 용접부 강도 또한 급격히 감소하는 경향을 보였다. 한편, 용접부의 단면적은 저항 점 용접에서 요구하는 단면적 보다 큰 값을 보이고 있어서 용접부의 강도와 면적을 고려할 때, 차체 조립 공정에서 레이저 단속 용접법의 적용이 가능함을 알 수 있었다.

4) 긴 용접선을 접합하여야 할 경우에는 시험재 고정장치의 강성과 정밀도를 포함하여 절단면, 열변형 및 단차의 영향등이 복합적으로 작용하여 용접 조건을 변화시킬 수 있었다. 그 결과, 용접선 위치에 따라서 불균일 비드의 형성 또는 융합 불량이 발생하였으나, 육안으로는 쉽게 탐지되지 않으므로 특별한 관리가 요망되었다.

참 고 문 헌

1. W. Prange, C. Schneider, U. Jaroni : Tailored blanks-production procedures and the behavior of the welded parts, IBEC-95 (1995), 91-95
2. B. Irving : Building tomorrow's automobiles, Weld. Jour., 74-8 (1995), 29-34
3. H. Matsui : State of the art and subjects of reducing automobile weight, 6th International Welding Symposium, Nagoya, November (1996), 287-292
4. 上田幸雄 : 輕量化構造 · 材料とその接合技術, 溶接學會 (1995)
5. V. Hoeven, K. Rubben, F. Lambert, I. Rycke: Tailored blanks-a key technology for light weight steel auto body structures, Proc. of IASTA, 96NM156 (1996), 177-185
6. W. Prange : Tailored blanks-production procedures and the behavior of the welded parts, ULSAB Seminar, Seoul, April (1997)
7. Porsche Engineering Service: Technical report for ULSAB technical committee and consortium meeting, June (1996)
8. B. Y. Yang, M. F. Shi, H. Sadrnia, F. Lin: Structural performance of tailor welded sheet steels, SAE Technical Paper Series 95036 (1995)
9. J. Eggersgluss, G. Krohert, J. Drube : Welding of thin sheet metals, Proc., of SPIE Vol. 1022 (1988) 38-42
10. J. K. Baysore: Laser blank welding, IBEC 94, (1994) 60-61
11. 김재도 : 저탄소강의 고출력 CO_2 레이저 빔 용접, 대한용접학회지, 7-4 (1989), 12-21
12. K. C. Kim, K. H. Lee, E. P. Yoon : Effect of welding parameters on weld quality of laser welded structural steels, Jour. for the JOM, 4-1 (1992), 29-34
13. 서정, 한유희, 윤충섭, 방세윤 : 아연도금 강판의 CW CO_2 레이저용접 및 성형성, 대한용접학회지, 13-1 (1995), 145-155
14. 김기철, 이기호, 윤의박: 레이저를 이용한 자동차 구조용강의 맞대기 용접 특성, 대한금속학회지, 30-7 (1992), 848-853
15. 이희석, 배동호 : 박판의 CO_2 레이저빔 용접과 소재접합 일체 성형 연구, 대한용접학회지, 15-2 (1997), 54-63
16. 서정, 한유희, 김정오, 이영신 : 이종두께 강판의 CO_2 레이저 용접 및 성형성, 대한용접학회지, 14-1 (1996), 82-91
17. 小野守章, 樺澤眞事, 大村雅紀 : 薄鋼板レ-ザ重ね溶接繼手强度特性, 溶接學會論文集, 14-3 (1996), 586-591
18. L. Hanicke : Laser technology within the Volvo Car Corporation, Proc. 5th Int. Conf. Lasers in Manufacturing (1988), 97-115
19. C. D awes : Laser welding, McGraw-Hill Inc., New York (1992), 124-128
20. A. J. Selige, W. Prange : Production and usage of laser beam welded sheet metal, SAE Technocal Paper 870413
21. 김기철, 이기호, 이목영 : 테일러드 블랭크용 박판 강재의 레이저 용접성(I), 대한용접학회

지, 16-1 (1998), 77-87
22. 김기철, 이기호, 이목영 : RIST 95A105 (1996), 102-123
23. W. Prange, C. Schneider, A. J. Selige : Application of laser beam welded sheet metal, SAE Technical Paper 890853
24. D. Wildmann, W. Urech, E. Freuler : Successful quality assurance in manufacturing tailored blanks under industrial production conditions, Soudronic AG Technical Report (1997)
25. A. Ivarson, J. Powell, L. Ohlsson, C. Magnusson : Optimisation of the laser cutting process for thin section stainless steels, ICALEO-91 (1991), 211-220
26. 池本公一, 新美友治, 岩井孝雄 : 自動車ボデ-パネルのレ-ザ溶接, 溶接學會論文集, 10-1 (1992), 196-201