特輯 : 레이저 가공

자동차 산업에서의 레이저 용접

서 정* · 한 유 희**

Laser Welding in Automotive Industry

J. Suh* and Y.H. Han**

1. 서 론

1969년에 General Motors사가 생산라인에 CO_2 레이저를 활용하기 시작함으로써 자동차 산업에 레이저가 응용되는 계기가 마련되었다. 그 이후로 레이저는 재료가공 기구로서 급속히 발전하여 현재는 세계적으로 약 3000여대가 자동차 산업에 투입되고 있다[1]. (Fig. 1) 레이저의 지역적인 분포(Fig. 2)를 보면

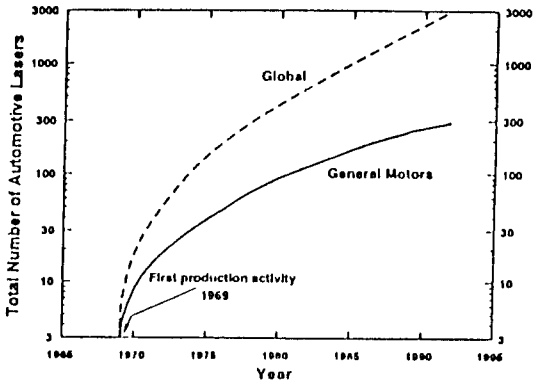


Fig. 1 Growth in the total number (broken curve) of lasers installed for automotive materials processing. The solid curve shows the corresponding number of lasers in General Motors Coporation since their initial adoption in 1969.

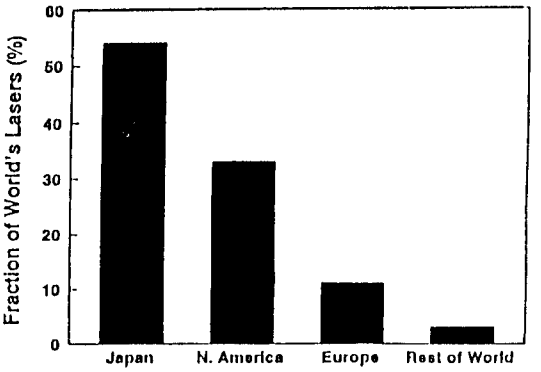


Fig. 2 Distribution of lasers used to automotive materials processing, by geographic region.

일본과 북미에서 약 85%를 점유하고 있으며 주로 절단과 용접분야에 집중적으로 사용되고 있다.(Fig. 3)

레이저 용접은 용융 접합 범주에 속하며 고밀도 레이저 빔이 집속되어 용접물에 흡수되고 열로 변환되어 용융이 일어난다. 레이저 빔은 전자파로서 레이저 광원과 물체사이에 기계적 또는 전기적 접촉이 없으며 kW급의 레이저가 출현하면서 부터 레이저 용접의 중요성이 부각되기 시작했다. 레이저 용접에서는 용접속도가 크며, 용입깊이가 깊으며, 열에 의한 변형이 작으며, 어느 분위기에서도 용접이 가능하며 유연성을 갖고 있을 뿐만 아니라 같은 장비로 절단 및 표면처리 등을 할 수 있다는 특성으로

* 비회원, 한국기계연구원 레이저가공연구그룹
** 정회원, 한국기계연구원 레이저가공연구그룹

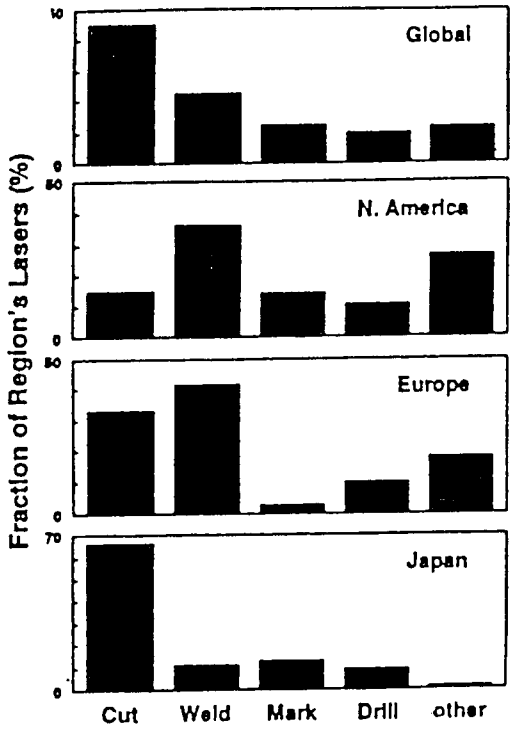


Fig. 3 The fraction of the lasers in a geographic region which are devoted to given application.

인해 산업고도화에 따라 점차 그 중요성이 확대되고 있다. 따라서, 자동차 생산기술의 선진화 대열에서 일본, 미국 등에 뒤지지 않기 위해서는 한국 자동차 업계에서도 레이저의 도입 및 그 응용기술에 대한 관심을 갖고 투자를 해야 할 것이라고 하겠다.

본고에서는 자동차 산업에서의 레이저 용접에 대한 세계적인 현황들을 분석 정리해 봄으로서 국내 자동차 산업에서 레이저 용접을 활용하기 위한 핵심 기술 및 연구방향 등을 검토해 보고자 하며, 이에 병행하여 KIMM 레이저 가공연구그룹에서의 레이저 용접 연구현황을 간략하게 소개하고자 한다.

2. 선진국 자동차 산업에서의 레이저 용접의 응용

자동차 산업에서의 레이저 용접 분야에 관한 자료들은 여러 문헌들에서 쉽게 찾아 볼 수 있을 정도로 많으나 레이저 용접의 응용분야는 대략적으로 부품 용접, 차체용 강판용접 (Body Sheet Metal Welding), Tailored Blank 용접으로 분류할 수 있다. 우선 각 분야의 중요한 응용 예들을 조사해 보기로 하자.

2.1 자동차 부품의 레이저 용접

Harrison Radiator Division (Dayton, OH)은 1978년에 Air Conditioner Compressor Clutch를 레이저로 용접하기 위하여 Fig. 4와 같이 설계하였다. 개발된 조립품은 박판을 이용함으로서 무게를 50%로 줄일 수 있었으며, 이는 레이저 용접에서는 국부적으로 열을 가할 수 있으므로 박판의 뒤틀림을 방지할 수 있고 매우 좁은 부분에도 레이저가 도달할 수 있다는 장점을 응용했기 때문이다.

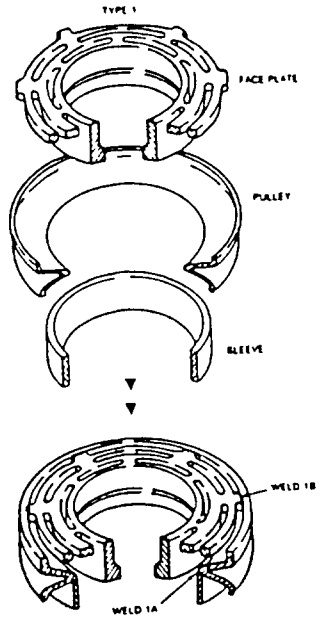


Fig. 4 Components of an air-conditioner compressor drive pulley assembly, specifically designed by Harrison Radiator Division to be laser welded.

GM의 Hydramatic Division은 1978년 기어들의 용접을 위해 레이저를 사용하기 시작했으며, 아마도 Transmission 부품의 생산라인에 레이저를 응용한 첫 시도라고 할 수 있다. Ford사는 Overdrive Tranmission에서 Sun-gear-and-shell 조립품을 용접하

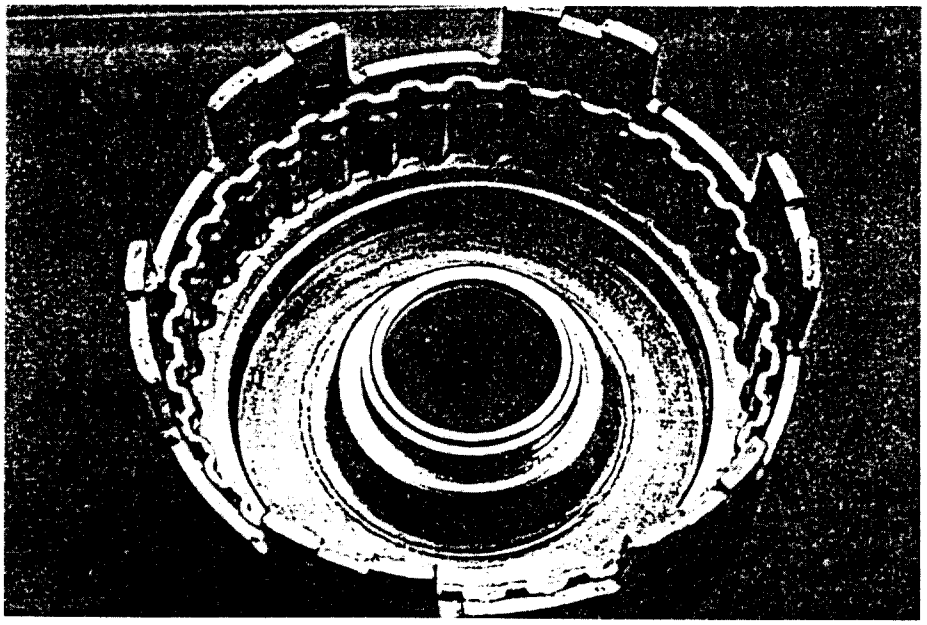
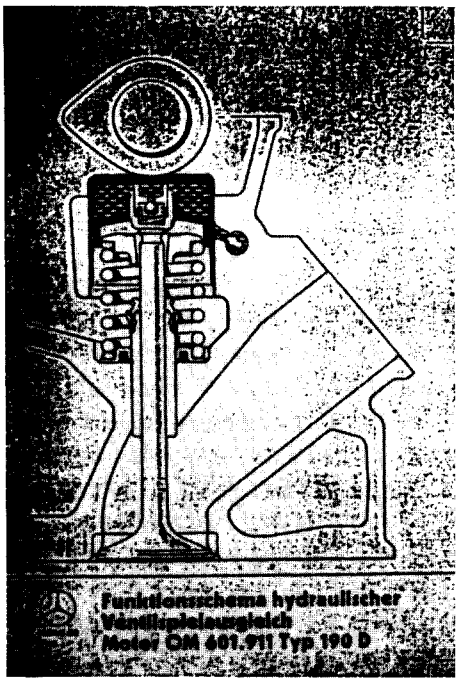


Fig. 5 Laser welding of automatic transmission component.(Ford)



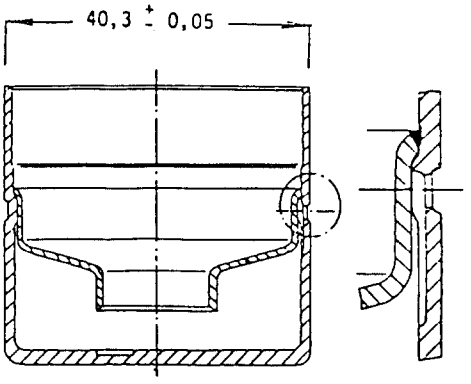


Fig. 6 Laser welding of hydro−tapet. (Mercedes Benz)

기 위하여 전자빔 대신에 레이저를 1984년 사용하기 시작하였다[2].(Fig. 5 참조) 전자빔 용접장치를 CO_2 레이저로 대체함으로서 설비비의 반감 및 생산성 2배의 효과를 보았다. 그후 전자빔과 레이저는 경쟁관계를 유지해 왔으나 현재 미국에서는 레이저가 현저하게 사용되는 경향을 보인다. 이는 높은 uptime (보통 97%)과 수 kW급 레이저 용접시스템에 의해 제공되는 유연성에 기인된다고 할 수 있다.

Mercedes Benz사에서는 1984년 부터 승용차용 Diesel Engine의 Hydro Tapet을 레이저 용접하여 양산하기 시작했다. Hydro Tapet의 기능 및 제원은 Fig. 6에 나타나 있다. 개발과정에서 검토된 용접방법은 Brazing 법, 전자빔 용접, 레이저 용접이었으며 검토결과 Brazing 법에서는 Brazing Flux가 Oil Hole을 막는 경우가 발생하여 불량을 초래하므로 제외되었다. 전자빔 용접은 용접부가 좁고 변형이 작았고 레이저 용접도 유사한 결과를 보였다. 그러나 레이저 용접은 진공 Chamber가 필요없고, 2 Station 작업이 가능하므로 레이저 용접을 선호하게 되었다.

Fig. 7은 Renault사의 Safrane Car의 Transmission Shaft를 나타내고 있다. 변형의 최소 및 후가공 불필요, 생산라인에 연계 가능성, 기능에 적합한 기계적 성질 보장이 가능한 용접법의 선정을 위하여 전자빔과 레이저가 검토되었다. 전자빔 용접의 경우에는 진공 Chamber의 오염 및 이로인한 청결작업시의

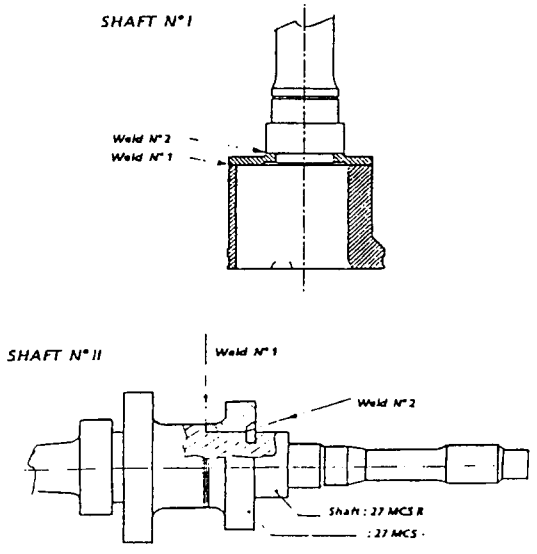


Fig. 7 Laser welding of shaft for Safrane Car. (Renault)

생산 중단 및 시간과다, 자화로 인한 품질 저하 등이 발생하여 레이저 용접을 선정하여 실험한 결과 100개/시간 의 생산이 가능하였으며, 2000시간의 작업 후에도 이상이 나타나지 않았다[3].

이상에서 언급한 예들 외에 Precombustion Chamber, Plant Gear Housing, Voith Hydrodamp Flywheel 등 레이저 용접이 응용되는 자동차 부품은 상당히 많으며 점차적으로 레이저 용접 시스템의 고출력화 및 자동화 기술의 발전과 더불어 레이저 용접 부품의 수는 더욱 더 늘어날 전망이다.

2.2 차체용 강판의 레이저 용접

자동차 차체구조물로 사용되는 표면처리강판은 주로 북미 등에서 제설용 염화칼슘에 대한 방청의 목적으로 개발되었으나, 최근에는 산성비 등 대기환경에 대한 대책으로 표면처리의 역활이 이루어지고 있으며 그 수요도 날로 다양화되면서 증가하고 있다. 이 중에서 아연도금강판은 우수한 내구성과 값이 싸며 내부식성이 강하므로 자동차 산업, 강판 제조업뿐만아니라 가전제품에도 많이 사용되는 재료이다.

아연계 도금물질은 방청이라는 의미에서는 최적인 반면, 상대적으로 용접성을 약화시키는 요인으로 작용하여 생산현장에서 문제 해결에 어려움을 겪고 있다. 특히, 겹치기 용접(Lap Welding)시에 발생되는 문제는 겹쳐진 부분의 아연도금층에서의 아연증기(Zinc Vapor)의 발생이며, 아연의 증발온도(900℃)가 강판의 용융온도(1500℃)보다 낮으므로 먼저 발생한 아연증기가 용접비드의 연속성을 저해시킨다. 기존의 저항용접(Reisitance Seam Welding)에 의한 아연도금강판의 용접에서는 도금층의 높은 표면저항이 과열(Over－heating)이나 Spatter의 원인이 되며[4~5] Arc 용접에서는 증발된 아연증기가 전극의 수명을 감소하게 한다.[6] 전자빔 용접(Electron Beam Welding)에서는 아연증기의 발생으로 진공상태를 유지하기 어려우며, 진공을 일정하게 유지하기 위한 추가적인 장치가 요구된다. 따라서, 아연도금강판의 용접을 위해 레이저 용접법이 연구되고 있으며[7~9], 강판의 절단/용접에 레이저를 많이 사용해 본 자동차 산업체에서는 아연도금강판의 레이저 용접에 지대한 관심을 갖고 있다.

Hem Flange (Fig. 8)의 용접구조는 강성이 요구되는 데 사용되며 주로 자동차의 Door, Hood, Tailgate

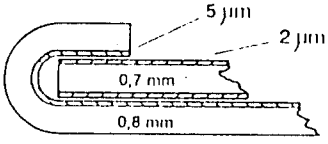


Fig. 8 Hem flange with ZnNi coatings (Adam Opel AG)

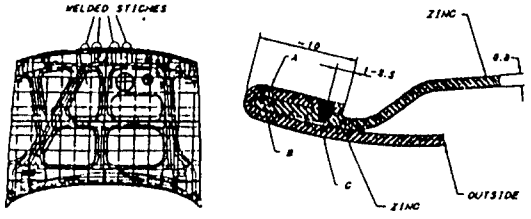


Fig. 9 Laser welded car hood and section (Robomatic GmbH)

등에 쓰인다[10]. 용접은 기존의 Spot 용접이 사용되나 용접시의 Indentation 이 발생하며 이는 외관상의 품질저하 요인이 될 뿐 아니라 후가공시의 비용이 과다(100% 수작업)해 지는 단점이 있다. 이러한 문제점은 Fig. 9와 같이 레이저 용접으로 보완될 수 있다[11]. 실제로 레이저 용접은 비접촉식이며, 한부분에서 투과용접이 가능하고 열영향부와 열변형이 적으며 용접용 물림 플랜지(Pinch Flange)의 크기와 중량이 감소된다. 예를들어 40m의 Pinch Flange를 따라 800 Spot 용접을 하는 자동차 차체를 레이저 용접으로 하는 경우 넓은 Flange가 필요하지 않으며 무게가 40kg까지 절약할 수 있다[12]고 보고되었다.

Fig. 10은 Linden의 Chevrolet Corsica/Beretta 모델의 레이저 용접된 Roof Ditch－joint 구조이다[13]. Steel Roof와 양쪽의 Galvanized Steel 판넬을 레이저 용접한 것이며, 양쪽의 Ditch Joint를 동시에 Lap Wel-

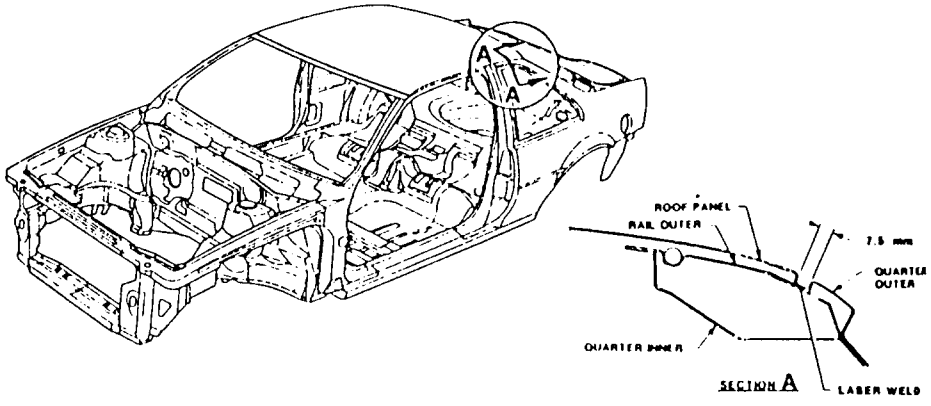


Fig. 10 Roof ditch－joint structure, laser welded by C－P－C at Linden, NJ, in the first such production－line operation.

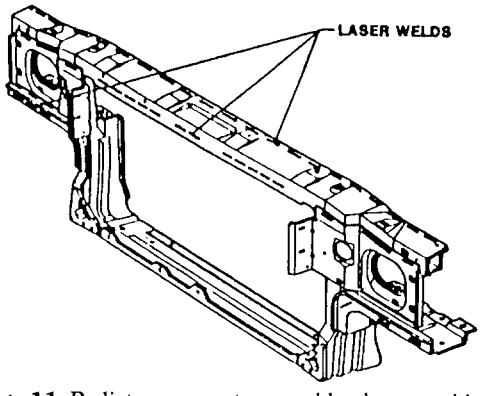


Fig. 11 Radiator support assembly, laser welded by C－P－C at Willow Run, Michigan

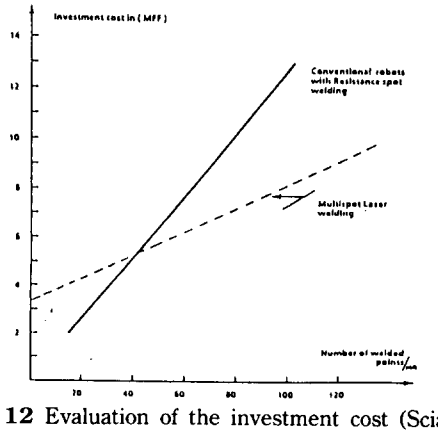


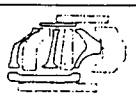
Fig. 12 Evaluation of the investment cost (Sciaky Industries)

ding 하기 위해 2.5kW급 CO_2 레이저가 장치된 Gantry Type Robot을 사용하였다. Fig. 11은 레이저 용접된 Radiator Support Assembly이다. 여기서는 저항 Spot 용접시의 설계를 변경하지 않고 바로 레이저 용접한 경우이다. 기존의 Spot 용접에서 55점을 하였으나, 레이저의 경우 45박음으로 가능하였다[14]. France의 Sciaky Industries는 차체용접시에 기존의 저항 점용접과 레이저 점용접의 경제성을 비교해 보았다[15]. Fig. 12에 나타난 바와 같이 40 Spot Weld/min 이상의 경우 레이저 점용접이 훨씬 경제적임을 알 수 있다.

2.3 Tailored Blank 레이저 용접

자동차 차체는 300개를 넘는 크고 작은 타출된 판금속 (Stamped Sheet Metal)로 구성되어 있다. 1대의 자동차 모델에 사용되는 부품을 성형하기 위한 타출 금형은 350개 정도 필요하다. 따라서, 프레스 성형된 자동차 부품들을 용접하여 조립하는 자동차 차체(Body Panel) 제조공정에 있어서 둘 이상의 부품들을 일체화(One Sheet Type)하여 프레스 작업을 하는 것이 생산성 및 정밀도 향상을 위해서 유효한 방법으로 알려져 있다. 기존의 방법에서 자동차 옆판넬을 분할형태(Individual Type)와 일체화된 형태로 제작했을 때의 비교를 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Comarison of conventional side member panels

Compared item		Divided type		One-sheet type	
Schematics					
Comparison	Appearance	×	bad	○	good
	Number of dies	×	20 dies	○	4 dies
	Accuracy	×	low	○	high
	Material yield	○	high (65%)	×	low (40%)
	Material flexibility	○	selectable	×	fixed

(○ : 장점 X : 단점)[16,17] 두 형태는 서로 상반되는 장점을 가지고 있으며, 한장으로 일체화된 형태에서는 강도, 강성, 내부식성 등의 차체 각부의 다른 요구성능에 따른 판 두께, 재질 등의 변경 요구조건에 대응할 수 없으므로 원료에 대한 제품의 비율이 저하되고 경비의 상승을 가져오게 한다. 따라서, 분할형태와 일체화형태의 장점만을 선별하려고 하면 Fig. 13과 같은 공정이 고려될 수 있다.

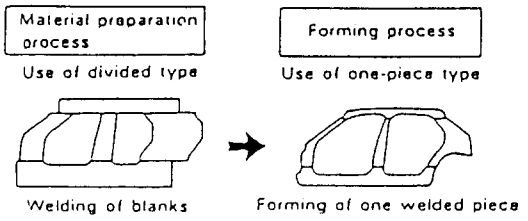


Fig. 13 Developed technology

Fig. 13은 일본 도요다 자동차 회사에서 개발한 재질, 판 두께가 다른 재료들을 용접하여 성형공정에서 일체화로 가공하는 방법이다[16,17]. 자동차 차체용 프레스 소재로서 결합소재를 사용하는 경우에는 용접부의 형상이 가능한 균일하고 모재의 판 두께와 비슷해야 하며, 용접부의 열변형이 적어야 하며, 강도 및 성형성이 모재와 비슷해야 하며, 용접 생산성이 높아야 한다. 이러한 요구조건들을 만족하는 용접방법은 기존의 Seam 용접 또는 TIG용접[18] 등에서는 어렵다고 보고되고 있다.

Fig. 13의 방법으로 제작된 구성품들이 Table 2에 나타나 있으며 재료비의 절감을 얻을 수 있다. 옆판넬의 좀더 상세한 형태가 Fig. 14에 나타나 있다. 여기서는 차량 각부의 방청 성능의 요구에 따라 아연코팅의 양이 20−60 g/m²의 다른 아연도금강판들을

Table 2 Application of actual component

	Part name	Shape of sheet
A	Reinforcement of sun-roof	Material yield improvement 40% — 80% Weld line SGACD 1.6t
B	Inner part of cowl	Material yield improvement 60% — 70% Weld line SGACD 0.8t
C	Panel of side member	Material yield improvement 40% — 65% Weld line SGMCF. SPCC 1.0t. 0.8t

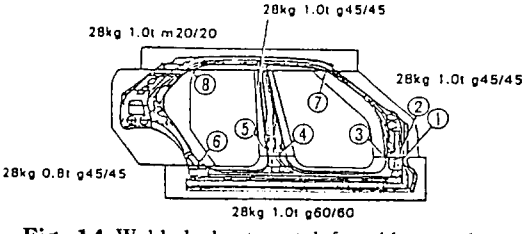


Fig. 14 Welded sheet metal for side member

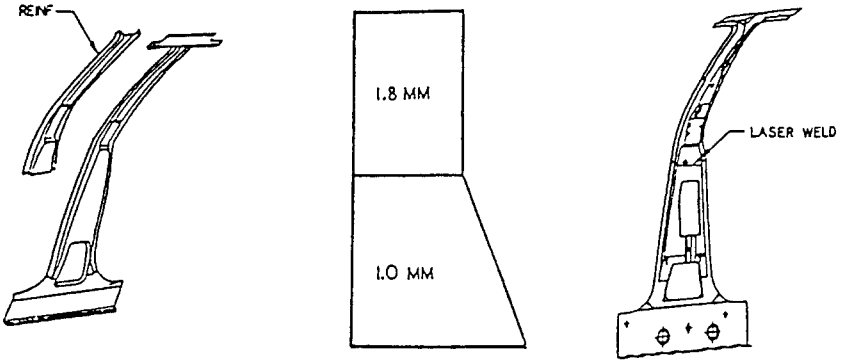


Fig. 15 Cadillac center pillar formed from a laser welded tailored blank

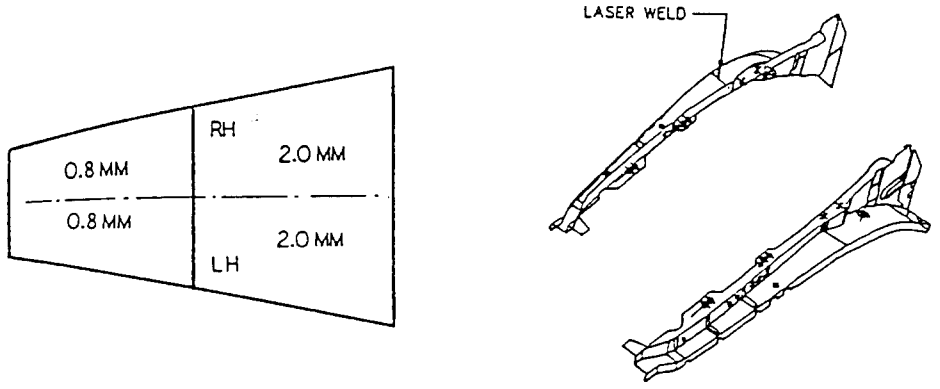


Fig. 16 Cadillac motor compartment rail made from laser welded tailored blank.

사용하고 강도 성능에 따라 판두께가 0.8 및 1.0mm의 강판을 사용한 결과이다.

GM사는 레이저 용접된 Blank를 Cadillac Seville의 Center Pillar에 적용하였다. 기존의 설계는 보강재를 Spot 용접하여 판넬에 부착하는 방식을 채택하고 있으나, 새로운 설계에서는 (Fig. 15) 두께가 다른 강판을 레이저 용접하여 성형함으로서 0.7kg정도의 중량감소를 꾀할 수 있었다. 이와 유사한 예가 Fig. 16에 나타나 있다.

3. 레이저 용접에서의 제반문제들

2절에서 언급한 자동차 산업에서의 레이저 용접의 응용을 위해서는 용접기술 및 시스템 개발 그리고 신뢰성평가에 대한 연구가 필요하다고 하겠다.

레이저 용접의 원리는 Fig. 17에 나타나 있다. 거울 또는 렌즈에 의해 가공재료에 집속된 레이저 빔은 물체표면에서 일부 흡수된다. 흡수된 빔은 열에너지로 변환되어 국부적인 가열이 일어나게 되어 용융에 이르게 된다.(Conduction Welding) 이때 물체 내부로 열이 전달되어 용융된 부위가 확장되며 용융부위 즉 용접단면 형상은 열전도도의 영향을 받는다. 출력의 밀도(Intensity)가 상대적으로 클 경우에는 물질의 기화/승화로 인한 Key Hole이 형성되며 Key Hole의 형상은 레이저 빔과 기타 공정변수(용접속도, 초점의 위치 등)에 의해 결정된다.(Deep Penetration Welding). Key Hole의 직경은 CO_2 레이저의 경우 대략

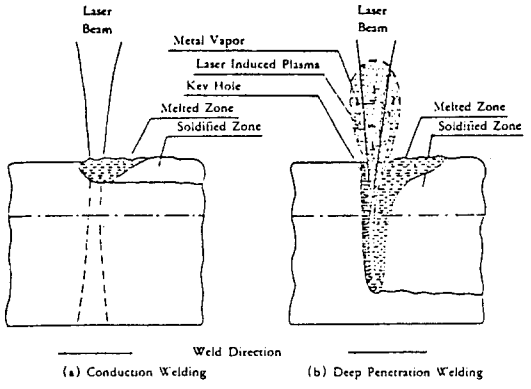


Fig. 17 Principle of laser beam welding

0.2－1mm에 달한다. 이러한 Key Hole이 형성됨에 따라 용입깊이가 폭에 비해 커지며 이때 Key Hole의 주위는 용융상태의 금속으로 둘러 싸여 있게 된다. 기화/승화시의 압력으로 Key Hole은 열린상태에서 용접방향으로 하나의 관(Vapor Capillary)처럼 이동한다.

레이저 용접부를 판단하는 근거로는 용접결함과 조직상태 그리고 용접부 형상(용접깊이, 용접단면형상)을 들 수 있다. 이들은 많은 변수들의 영향을 받게 되는데 변수들은 레이저 변수, 공정변수, 그리고 용접재료로 크게 구분된다. 레이저 변수로는 레이저 출력, 초점반경, 빔 모드, 발산각 등이 있으며, 공정변수로는 용접속도, 플라즈마 제어용 가스, 초점위치가 있으며, 용접재료에 있어서는 재료의 특성(열전도율, 흡수율, 증발열), 용접이음부의 준비 상태(이음부 단면상태, 표면상태), 용접이음부 형상이 중요한 인자가 된다. 레이저 용접의 한계는 변수들이 많은 관계로 아직 연구가 진행중이므로 뚜렷이 규정할 수는 없으나, 재료에 따라 얼마만큼의 좋은 용접성을 갖고 있는가는 각 재료에 대한 연구를 수행되거나 발표된 결과에 의존하는 경우가 많다.

자동차 산업에서 구조부품들의 기존의 Spot 용접 대신 레이저 용접을 사용하게 되는 이유로는 강도와 동적 하중저항의 증가에 있으며[19] Filler Wire를 사용한 경우 파괴인성을 높히기 위한 미세조직의 변경이 가능[20]하기 때문이다. 한편, 기존의 용접방법으로 용접이 힘든 재료인 아연도금강판, 알루미늄, 구리 등의 금속의 용접을 위해 레이저 용접을 사용하는 연구결과가 많이 발표되고 있으나 현장적용을 위해서는 좀더 개량되어져야 할 필요가 있다.

2.2절에서 언급한 바와 같이 자동차에 사용되는 아연 도금강판의 겹치기 용접(Lap Welding)시에 발생되는 문제는 겹쳐진 부분의 아연도금층에서의 아연증기(Zinc Vapor)의 발생이다. 따라서, 아연도금강판의 겹치기 용접에서는 아연증기가 빠져 나갈 수 있도록 Gap을 만들어 주는 것이 중요하다. 이에 대한 용접현상을 고려하면 Fig. 18로 설명되어 질 수 있다. 그러나 실제 현장에 적용하기 위해서는 Gap의 정확한 조정이 필요하다. 최근에는 이러한 문제점을 해결하는 방안으로 Pulse 레이저를 이용하는 방법과 CW 레이저를 이용하는 경우에도 Shielding Gas를 적당히 조정하여 해결하는 방안이 모색중이며 이에 대한 결과가 발표되고 있다.

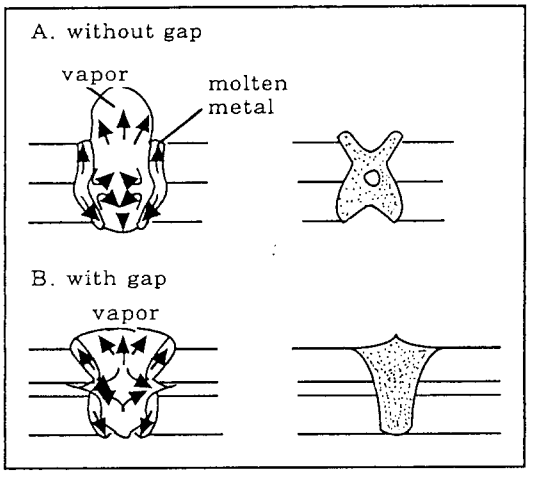


Fig. 18 A gap between the sheet is necessary when welding with cw laser beam to give the vapor an alternative escape route during welding.

알루미늄 합금은 경량재료이며, 높은 비강도와 열전도율, 저온에서의 양호한 특성을 가지고 있으므로 항공기, 자동차 부품 또는 압력용기 등에 널리 사용된다. 특히, 환경안전 대책이 요구되는 현실에서 생자원, 생에너지, 자원리사이클이라는 면에서 유리한 알루미늄 합금을 사용한 구조물 또는 장치의 중요성이 급격하게 부상되고 있다. 알루미늄 합금의 특성중에서 높은 전기전도율은 기존의 저항 Spot 용접을 어렵게 하고 있으며[21,22] 높은 표면반사율과 열전도율에 의해 고출력밀도의 용접 열원이 필요하다. 이러한 열원으로서 레이저 빔과 전자빔이 대표적이라 할 수 있다. 전자빔 용접시에 알루미늄 합금에 전자빔이 방사되면 X－ray가 방출되며 최적의 용접을

위해서는 진공 Chamber가 사용되어야 하므로 용접 시편의 크기가 제한되고 생산성이 떨어지게 된다. 레이저 용접은 어떤 분위기에서도 용접이 가능하기 때문에 용접시편의 크기에 제약이 없으므로 전자빔 보다는 효율적이라 할 수 있다. 레이저 용접에는 CO_2 레이저와 Nd : YAG 레이저가 주로 사용된다. Nd : YAG 레이저는 광섬유를 사용하여 빔의 전송이 가능하므로 로보트를 이용한 자동화가 쉽게 될 수 있다는 장점이 있으나, 현재 상용화된 장치의 출력제한에 의해 일반적으로 용접속도가 낮다 (<2m/min). 최근에 Jones 등[23]은 CO_2 레이저를 사용하여 두께 2-6mm 인 알루미늄 합금(5000, 6000계열)의 맞대기 용접에서 6-9m/min 의 용접속도에서의 용접성을 조사하였다. Matsumura 등[24]은 CO_2 레이저를 사용하여 1000-7000계열의 알루미늄 합금의 비드형상, Penetration, 기공 등에 대해 보고하고 있다.

실험실에서 획득된 최적공정 변수들을 생산라인에 적용시키기 위해서 극복해야 할 여러 문제점이 있을 수 있다. 예를 들어 Fig.19(a)와 같이 Automatic Transmission Gear Unit와 부품을 생산하기 위한 레이저 용접시스템을 고려해 보자. 용접부위에 따라 용접위치, 용접선의 갯수들이 다르게 되어 있다. 경제적인 면을 고려하면 1대의 레이저로 여러 부분을 용접할 수 있는 시스템(Multi-station System)을 구성하는 것이 중요하다고 할 수 있다. 이 경우, 우선적으로 빔 전송기술 (Beam Delivery Technique)이 요구되어진다. 발진기와 작업위치와의 거리가 멀어지고 또한 달라지게 되므로 유효초점거리, 빔 직경, 반사경의 흡수율 등이 변화게 된다. 이러한 변수들을 해결하는 한 방법으로 광학계의 뒤틀림과 흡수율을 고려한 레이저 빔 전파식을 이용하는 방법이 있을 수 있다[25,26]. Fig. 19(a)의 용접을 위해 가장 적절한 시스템은 Fig. 19(b)와 같이 구성되어 질 수 있다.

생산라인에서 Tailored Blank 용접소재는 프레스 성형 공정으로 연속되어 지게 된다. 즉, 둘이상의 소재를 레이저 용접에 의해 결합한 프레스 소재를 일체로 하여 프레스 성형하는 용접 및 소성가공의 복합방법을 개발하기 위해서는 이종두께, 이종재료의 용접 및 성형성 평가가 이루어져야 한다. 자동차 옆판넬을 생산하는 레이저 용접시스템은 Fig.20과 같이

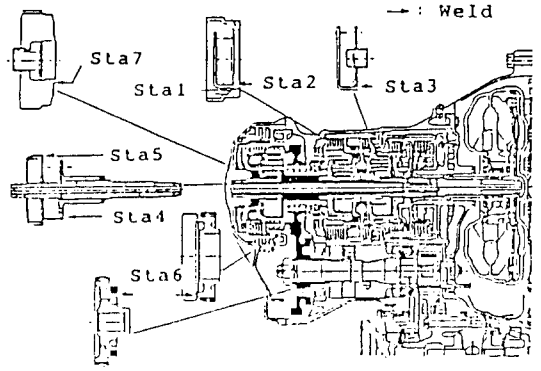


Fig. 19(a) Automatic transmission gear unit.

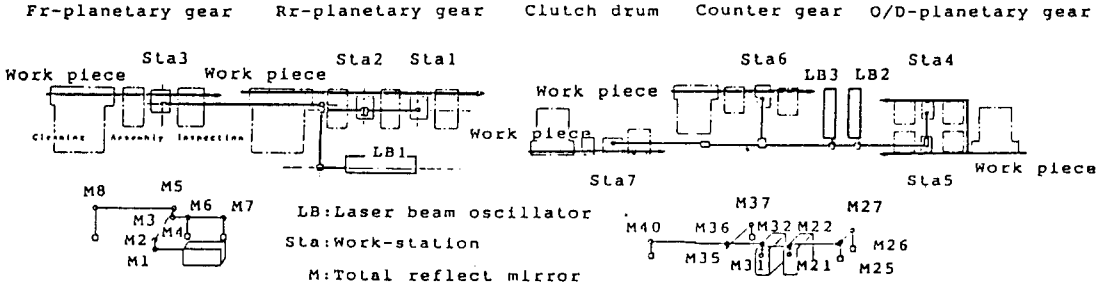


Fig. 19(b) System layout to weld the automatic transmmission gear unit in Fig. 19(a).

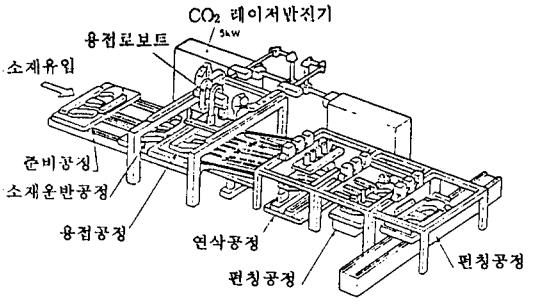


Fig. 20 Mass production system for automative side panel.

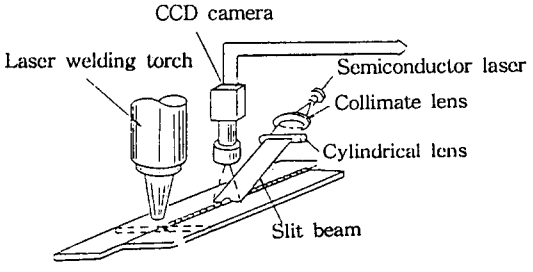


Fig. 21 Bead shape inspection unit

6공정으로 이루어 질 수 있다. 이에 부가하여 용접성 평가를 위한 In-process 시스템이 Fig. 21에 나타나 있으며, 고속화상처리에 의해 용접비드 형상을 측정하고 용접품질을 검사할 수 있다. 생산라인에서 성형성 평가를 하는 것은 소재의 소요가 많으므로, 실험실에서 성형성 평가가 우선적으로 행해지는 것이 바람직하다. 이에 사용되는 방법으로는 Olsen Cup Test법과 Erichsen Cup Test 법이 있다[27].

2절에서 언급한 자동차 산업에서의 레이저 용접의 응용을 위해서 필요한 용접기술 및 시스템 개발 그리고 신뢰성평가에 대한 일반적인 사항에 대해서 간략하게 언급해 보았다. 실제로 레이저 용접의 현장 적용을 위해서는 보다 심도깊은 연구가 수행되어져야 할 것이나 대부분의 경우 용접대상에 따라 연구방법의 차이점이 있으므로 생산공정에 맞추어 생산라인의 설계에 중점을 두고 연구해야 할 것이다.

4. 기계연에서의 레이저 용접기술 개발 현황

4.1 아연도금강판의 겹치기 용접 연구

레이저를 이용한 아연도금강판의 겹치기 용접에서 고려되어야 할 사항은 시편두께, 도금층 두께, 판사이의 간격(Gap Size), 레이저 빔 출력, 용접속도, 빔 초점의 위치, 보조가스, 가스량 등이며 이러한 변수들의 복합적인 영향을 모두 고려하기에는 무리가 있다. 따라서, 본 연구에서는 자동차에 널리 사용되는 아연도금강판에 대한 기초실험에서 Ar가스량과 빔 초점의 위치를 일정하게 결정하고 레이저 빔 출력, 용접속도, 간격의 3가지 주요변수의 변화에 따른 겹

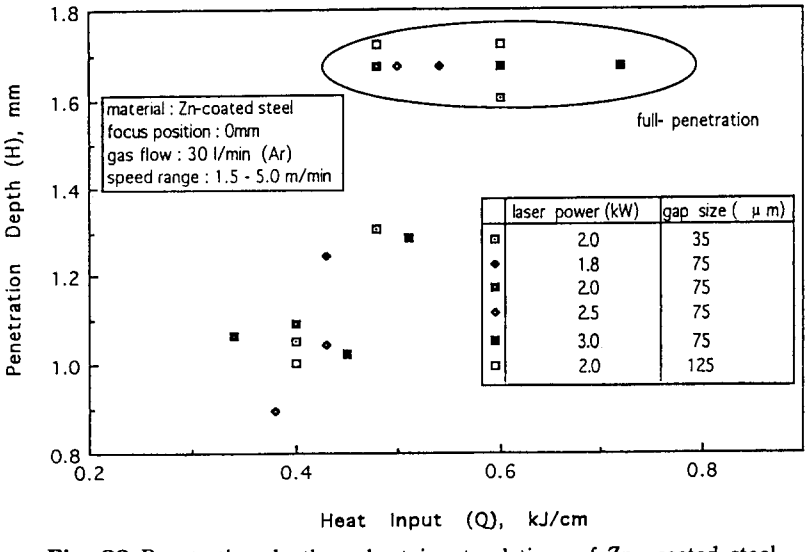


Fig. 22 Penetration depth vs heat input relations of Zn-coated steel.

치기 용접의 실험 및 기계적 특성평가를 통하여 최적용접조건을 조사하였다.

한 예로 Fig. 22와 같이 레이저 빔 출력이 1.8kW 이상일 때, Q〈0.48kJ/cm의 경우에 있어서는 비드의 침투깊이 H는 레이저 빔 출력과 Gap의 크기에 무관하게 Q에 거의 선형적이며, Q≥0.48kJ/cm인 경우에는 완전침투가 일어남을 알 수 있었다. 또한, 비드폭 및 세장비도 Q≥0.48kJ/cm 인 경우 거의 일정하게 유지됨을 알 수 있었다. 본 연구에서는 Laser Power ≥1.8kW, Heat Input Q≥0.48 kJ/cm, Gap size : 75 - 125μm인 경우 비드의 외관 및 단면형상이 양호한 용접결과를 얻을 수 있었다.

겹치기 용접된 시편들의 인장실험으로 부터 용접부위에서는 거의 변형이 일어나지 않았으며, 파단은 모두 용접부위에서 벗어난 모재로 부터 일어났다. 즉 용접부위의 기계적 접합조건은 완전함을 알 수 있었으며, 용접조건에 관계없이 모재의 파괴강도와 거의 일치하는 인장파괴강도값을 보여주었다.

본 연구에서 수행한 레이저를 이용한 아연도금강판의 겹치기 용접실험결과로 부터 최적용접조건의 도출이 가능하였다. 실제 현장에 적용을 위해서는 Gap의 정확한 조정이 큰 문제점으로 남아 있으며, 이러한 문제를 해결하기 위해서는 가능한한 Gap을 사용하지 않는 용접조건의 도출이 중요하리라 사료된다. 본 연구의 실험에서는 Gap이 없는 경우 불완전한 용접결과를 나타내고 있으나, 이 부분에 대한 좀더 연구를 수행하면 좋은 결과를 얻을 수 있으리라 기대된다. 앞으로 이부분에 대한 연구가 집중적으로 수행되어 질 것이다.

4.2 알루미늄 합금의 겹치기 용접 연구

본 연구는 자동차 Bonnet 용 알루미늄 합금의 Hemming부를 용접하기 위한 기초연구에 관한 것이다. 기존의 저항 점용접에 의해서는 외부 판넬에 Spot Indentation 이 남게 되므로 그라인딩과 같은 공정을 추가하여야 한다. 레이저 용접법은 오직 한면에 레이저 빔을 조사하므로서 비드의 침투깊이를 조절할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 CO_2 레이저를 사용하여 알루미늄 합금의 겹치기 용접성에 대하여 조사하였다.

실험에 사용한 재료는 외국 A, B, C로 부터 구입한 2000, 5000, 6000계열의 알루미늄 합금들이다. 즉,

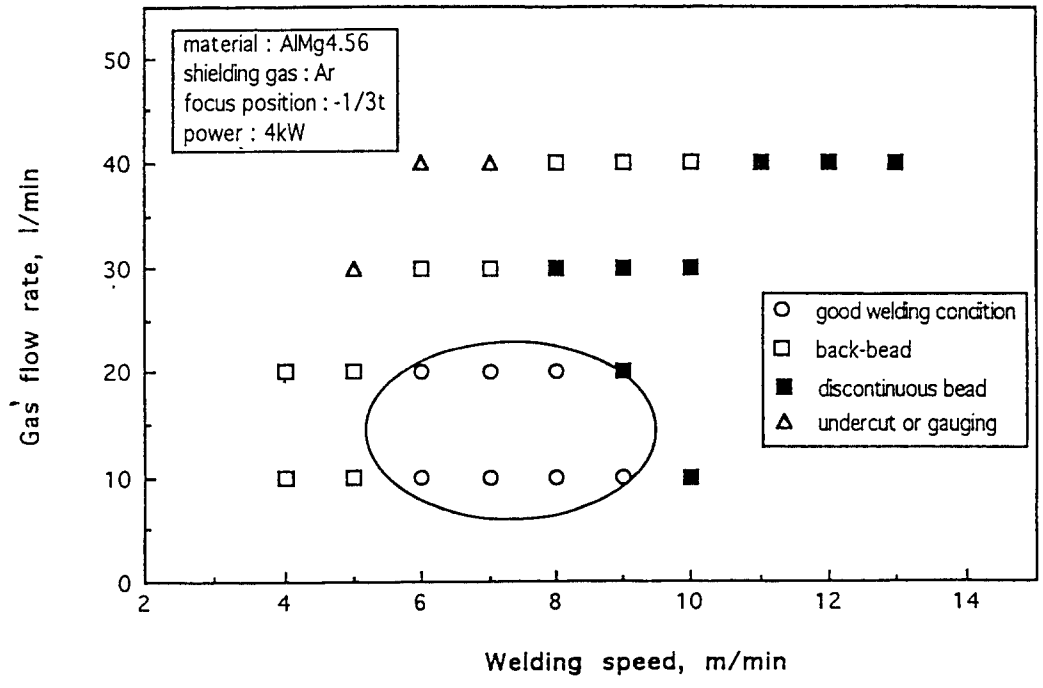


Fig. 23(a) Gas flow vs welding speed relations of AlMg4.56.

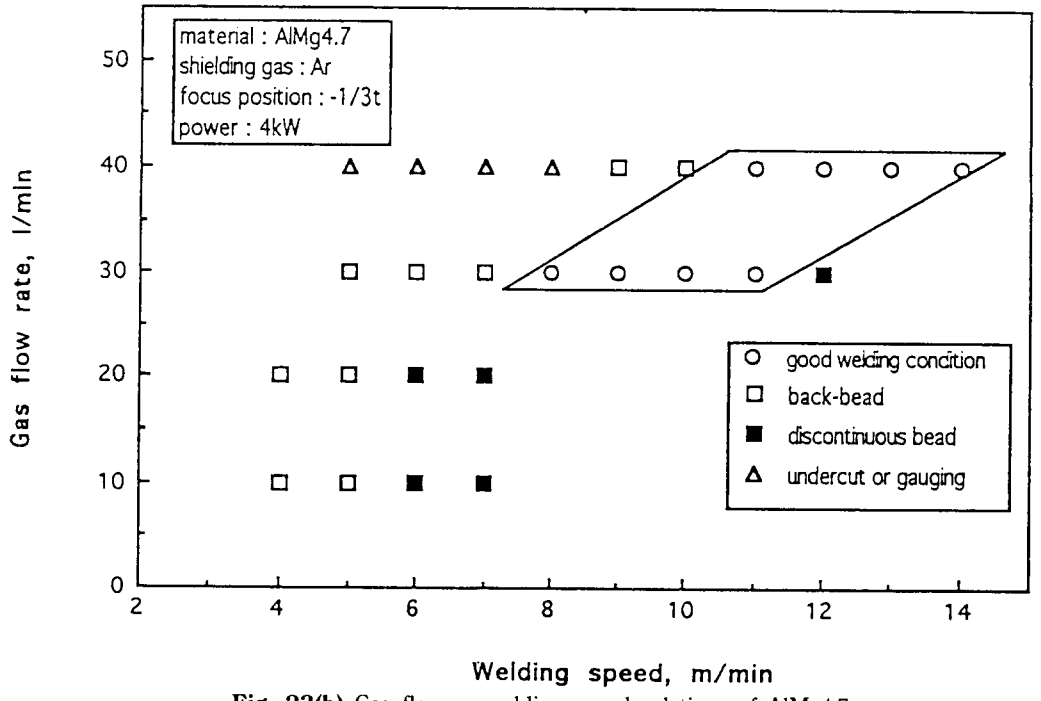


Fig. 23(b) Gas flow vs welding speed relations of AlMg4.7.

5000계열의 합금은 AlMg4.56, AlMg4.7, AlMg5.1, AlMg5.6의 4종이며 2000계열 합금은 AlMg0.38Cu0.9, 6000계열 합금은 AlMg0.75Si0.9 이다.

Fig. 23(a)와 (b)는 레이저 빔 출력 4kW 일때 용접속도와 Ar 가스량에 따른 AlMg4.56, AlMg4.7 의 용접결과를 각각 나타낸다. AlMg4.56에서는 Ar 이 10 l/min 에서 용접속도 9m/min 까지 양호한 용접비드를 얻을 수 있음을 알 수 있었다. AlMg4,7 의 경우 양호한 용접비드를 얻기 위해서는 AlMg4.56 의 경우 보다 더 많은 가스량 즉 30 l/min 이상이 필요함을 알 수 있었다.

2000계열 합금 AlMg 0.38 Cu0.9와 6000계열 합금 AlMg0.75si0.9은 5000계열의 용접조건에서는 용접이 이루어지지 않았다. 5000계열에 비해 Mg의 양이 적으므로 용접이 어려움을 알 수 있다. 즉 Mg는 Al 보다 용융점이 낮으므로 용접부위의 용융이 쉽게 일어나게 한다. 또한, 2000계열과 6000계열은 5000계열에 비해 Al 보다 융점이 낮은 Zn을 많이 함유하고 있으므로 Zn 증기에 의해 플라즈마의 발생이 저해된다고 추측할 수 있다.

앞으로 미시적인 용접현상을 규명하고 합금성분들이 레이저 용접에 미치는 영향들에 대해서 연구를 수행하고자 한다.

4.3 이종두께 금속의 용접 연구

본 연구에서는 이종두께 재료의 레이저 용접성을 조사하기 위하여 다른 두께를 갖는 아연도금강판 및 냉연강판의 맞대기 시편을 제작하여 레이저 용접 기초실험을 행하였다. 이러한 기초실험에 의해 제작된 시편에 대해 Erichsen Cup Test를 행하였다. 또한, 실제 생산현장에 적용하기 위하여 실제 현장의 금형에 필요한 정도의 큰 이종두께 용접판을 제작하여 프레스 성형을 행하여 실험실 기준의 실험결과의 현장 적용성을 조사하였다.

실험에 사용한 재료는 자동차 차체 판넬로 사용되는 4종류의 아연도금강판 (두께 0.8mm, 1.6mm, 1.8 mm, 2mm) 과 냉연강판 (두께 1.2mm) 이다. 기초실험을 위한 맞대기 용접시편의 규격은 길이 100mm, 폭 50mm 이다. 실제 금형에 사용하기 위한 맞대기 용접 판재는 길이 330mm × 폭 550mm × 두께 2 mm, 길이 720mm × 폭 218mm × 두께 1,8mm, 길이 330mm × 폭 550mm × 두께 1.6 mm 의 아연도

Fig. 24 Formability of welded plate (dissimilar material with different thickness)

금강판재와 길이 330mm × 폭 550 mm × 두께 1.2 mm, 길이 720mm × 폭 218mm × 두께 1.2mm 의 냉연강판재이다.

Fig. 24는 이종두께, 이종금속의 용접시편을 현장에서 500ton 프레스 성형한 결과이다. 양호한 용접-성형 결과를 보여주고 있다. 앞으로 실제 현장에서의 성형성 평가 결과와 실험실에서의 Erichsen Cup Test 결과를 비교검토 및 In-process 용접평가 장치를 부가한 시스템 구성에 대한 연구를 수행코자 한다.

5. 결 언

이상에서 자동차 산업에서의 레이저 용접에 대한 세계적인 현황들을 분석 정리해 보고 국내 자동차 산업에서 레이저 용접을 활용하기 위한 핵심기술 및 연구방향 등을 검토해 보았다. KIMM 레이저 가공 연구그룹에서는 이 분야에 대해 지대한 관심을 갖고 현재 연구를 수행하고 있으며 자동차 산업에서의 레이저 용접 응용을 위한 건의를 해본다면 다음과 같이 요약할 수 있다고 하겠다.

(1) 최근 공해문제 해결차원에서 연비가 높은 자동차를 생산하는 문제에서 자동차의 경량화가 대두되고 있으며, 이를 위해서는 종래의 강철 대신 알루미늄 합금을 사용하는 방법, 설계 최적화를 통한 경량화, 기존의 Spot 용접 대신 레이저 용접을 선택하여 고강도 구조를 통한 경량화 등이 있다고 하겠다.

(2) 세계적인 레이저 용접시스템의 자동차 산업으로의 배치 경향은 충분히 크며, 개발추세를 고려해 볼 때, 레이저 발진기 자체의 개발에 착수하는 것은 오히려 시간적 기술적 격차를 더욱 크게 하므로 주변장치나 응용시스템, 응용기술의 개발 등에 주력해야 할 것이다. 또한, 레이저 용접 및 시스템 개발을 위해서는 기계, 전기전자, 재료금속, 물리 등의 분야의 전문인력이 필요하므로 이러한 인력수급 대책을 적극적으로 마련해야 할 것이다.

(3) 현재 레이저 시스템의 가격이 비싸므로 설비투자를 꺼리는 경우가 있으나 레이저 용접시스템을 사용함으로 발생할 수 있는 이익을 충분히 계상하여 정리해 볼 필요가 있다. 특히 외국의 경우에서 성공적으로 적용한 사례들을 적극적으로 입수하여 기술이전의 시도 등을 추구해야 할 것이다. 외국의 연구수준은 충분한 재원, 인력, 장비의 도움으로 우리와의 격차가 점점 커지고 있음을 인식할 때 물론 우리로서는 한국실정에 맞도록 연구를 하고 있으나 공동연구의 방법을 통한 첨단기술의 습득, 또한 이를 위한 전문분야 인력의 Training 형태로의 교환하는 방법 등이 고려될 수 있다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. D.M. Roessler : "Update on Laser Processing in the Automotive Industry," Intl. Conf. on Lasers '91, San Diego, 9－13 Dec. 1991, paper WF.5
2. Anon. : "Ford Buys Laser System for Transmission Welding," Industrial Laser Review 6, #1 (June), p. 24, (1991)
3. E. DElord and G. Sayegh : "Laser Welding Production of Transmission Shafts for the Automobile Industry," 25th ISATA Symposium, No. 921004, Florence Italy 1－5 June, 1992
4. N.T. Williams and W. Waddell : "High Speed Resistance Seam Welding of Uncoated and Coated Steels," Technical Steel Research Commission of the European Communications, Report No. EUR 1150 EN, (1988)
5. E.A. Anderau and J. Opprecht : "Resistance Seam Welding of Coated Steel Sheets," Proc. Conf. Sheet Metal Welding, Detroit, Michigan USA. American Welding Society 2501 N.W. 7th St. Miami, Florida 33125 USA. Paper No. 18 pp. 1－20, (Oct. Nov. 1984)
6. E.N. Gregory : "Arc Welding of Galvanized Steel," Sheet Metal Industries, Vol. 45, No. 495, pp. 501－507, (July 1968)
7. J. Heyden, K. Nisson, and C. Magnusson : "Laser Welding of Zinc Coated Steel," Industrial Laser Annual Handbook, pp. 161－167, (1990)
8. R. Akhter, W.M. Steen, and K.G. Watkins : "Welding of Zinc－Coated Steel with a Laser and Properties of the Weldment," J. of Laser Appl., Vol. 3, No. 2, pp. 9－20, (1991)
9. C. Bagger, I. Miyamoto, F. Olsen, and H. Maruo : "Process Behaviour during High Power CO_2 Laser Welding of Zinc Coated Steel," Proc. LAMP '92, Nagnoka, pp. 553－558, (June 1992)
10. T. Eimérmann : "Hem Flange Laser Welding,". 25th ISATA Symposium, No. 921089, Florence Italy 1－5 June, 1992
11. Z. Abermen : "Doors and Hoods Laser Welding Replace Gluing or Spot Welding," 25th ISATA Symposium, No. 921025, Florence Italy 1－5 June, 1992
12. F.A. DiPietro : "Robotic Laser Welding System," Proc. 21st ISATA Symposium, No. 89504, Wiesbaden, 6－10 Nov. 1989

13. N.M. Uddin, E. Berardi, R.C. Ducharme, D.A. Salada and J.J. Speranza : "A Five-Axis Robotic Laser and Vision Integrated On-Line Welding System," Proc. SPIE Conf. on Laser Processing, Quebec City, Canada, 3-6 June, 1986, pp. 260-264
14. Anon : "Why General Motors is Investing in Laser Beam Welding," Welding Journal 70, #10 (Oct.) p. 85 (1991)
15. G. Sayegh : "Technical and Economical Anaysis of Multispot Laser Welding in Carbody Assembly," 25th ISATA Symposium, No. 921003, Florence Italy 1-5 June, 1992
16. K. Ikemoto, Y. Niimi, and T. Iwai : "Application of Laser Welding for Automatic Body Panels," Journal of JWS, Vol. 10, No. 1, pp. 196-201, (1992)
17. K. Ikemoto, H. Sugiura, K. Azuma, K. Arima, and T. Takasago : "Press Forming of Laser Welded Blank," Journal of JSTP, Vol. 32, No. 370, pp. 1383-1390, (1991)
18. K. Yasuda, T. Jimma, and T. Onzawa : "Formability of Butt Welded Stainless Steel Thin Sheet," Journal of JWS, Vol.2, No. 3, pp. 161-166 (1984)
19. R. Nuss : "Lasermaterialbearbeitung mit CO2-Hochletstungslasern bis 25kW Strahlausg-ansleistung," wt Werkstattstechnik Vol 81 No.9 pp. 521-524, 1991
20. I.J. Stares, R.L. Apps, J.H.P.C. Megaw and J. Spurrier : "Improved Microstructures and Impact Toughness of Laser Welds in a Pressure Vessel Steel," Metals Construction March, (1987)
21. R.C. Macmaster : "Trip-Life Studies in the Spot Welding of 5052 Al Alloys," Welding Journal, Vol. 36, pp. 235s-239s, (1957)
22. R.A. Chihoski : "Variation in Aluminum Spot Welds," Welding Journal, Vol. 49, pp. 567s-578s, (1970)
23. I. Jones, S. Riches, J.W. Yoon, and E.R. Wallach : "CO_2 Laser Welding of Aluminum Alloys," Proc. LAMP '92, Nagnoka, pp. 523-528, (June 1992)
24. H. Matsumura, T. Orihashi, S. Nakayama, S. Koga, M. Inuzuka, Y. Nakazawa, and H. Nagatani : "CO_2 Laser Welding Characteristics of Various Aluminum Alloys," Proc. LAMP '92, Nagnoka, pp. 529-533, (June 1992)
25. K. Mikane : "Application of Laser Welding System," IIW annual meeting, Helsinki, 1989
26. H. Kgelnik : "Laser Beam and Resonators," Applied Optics, Vol. 5, (1989)
27. "Standard Test Method for Ball Punch Deformation of Metallic Sheet Material," ASTM Standard E643-84