

자동차용 강판의 레이저 용접 플랫폼기술

김철희[✉], 강민정, 안영남

한국생산기술연구원 용접접합연구그룹

Laser welding technology platform for automotive industry

Cheolhee Kim[✉], Minjung Kang and Young-nam Ahn

1Advanced Welding & Joining R&D Group, Korea institute of industrial technology

Abstract

Manufacturing technology platform for automotive and mobile industries has been constructed since 2009, for the platform technology project funded by ministry of knowledge and economics. Technology platform in laser welding has also been developed for automotive steel sheets with a strength up to 1GPa. Laser welding technology platform will provide welding characteristics for various laser sources, steel plates and welding conditions. This article shortly explains outline of laser welding technology platform and partially introduces the developed laser welding data base.

Keywords: Laser welding, Steel sheet, Automotive, Platform technology

1. 서론

국내 생산기반기술은 소재를 부품으로 가공하는 기술을 총칭하면서 주조, 금형, 열처리, 표면처리, 소성가공, 용접기술 등 6대 기술로 분류된다. 생산기반 기술은 소재와 부품의 중간 혹은 부품과 완제품의 중간 공정에 해당하거나 생산기계, 생산설비에 체화되어 있는 기술 산업으로 산업 전반에 걸쳐 기반성이 높으며 중소기업 집중형의 특징을 가지고 있다. 제조업의 부품 및 제품의 생산성과 품질 경쟁력을 좌우하는 핵심기술이지만 짧은 기간내에 기술력 확보가 어려운 자본기술 집약 산업이기도 하다. 또한 공정기술 중심이며 현장 경험 기술에 의존적이며 표준화 및 지식화가 매우 어렵다는 특징을 가지고 있지만 기반공통기술의 성격을 가지고 있어 하나의 제품을 위해 개발된 생산기반기술이 다른 미래유망 산업과 주력산업에 파급되어 동반 육성을 통해 최대의 시너지효과를 낼 수 있다는 장점을 가지고 있다.¹

제조업 선진국인 일본에서는 디지털 마이스터프로젝트를 통하여 가공전반에 대응하는 기능의 기술화에 관한 연구개발을 수행하고, 설계와 제조를 지원

하는 어플리케이션을 위한 일명 제품만들기(모노츠크리) 플랫폼의 연구개발을 2001년부터 수행한 바 있다.² 이 모노츠크리 플랫폼에서는 아크용접, 레이저용접, 레이저 절단 등 주요 15개 가공기술을 데이터베이스(DB)화하고 이를 접근할 수 있는 시스템으로서 제품만들기 플랫폼으로서 제안하여 구축된 가공기술을 다수의 일본내 기업에 파급하고자하였다.

국내에서도 지식경제부 주도로 2009년부터 플랫폼기술개발사업을 추진하면서 시범적으로 생산기반 기술에 대한 플랫폼기술을 개발하고 있으며, 자동차 및 모바일 부품을 위한 생산기반기술 DB화 및 플랫폼을 구축하여 표준화 및 지식화가 어려웠던 생산기반기술을 체계적으로 시스템화하려는 과제가 진행되고 있다.

용접분야에서는 자동차 차체의 조립에 대표적으로 이용되는 저항점용접, 아크용접, 레이저용접에 대하여 DB를 구축하고 있으며, 이중 레이저용접관련 데이터베이스 구축현황을 본 보고에서 소개하고자 한다.

2. 레이저용접기술 DB구축 개요

자동차산업에 레이저 용접을 적용하기 위해 다양한 자동차용 강재에 대한 용접성을 평가되었다.³⁻⁵

투고일: 2011년 2월 23일 심사완료일: 2011년 3월 11일

게재승인일: 2011년 3월 14일

교신저자: 김철희 ✉ chkim@kitech.re.kr

Table 1 Steel sheets used

Year	Coating	Material	Thickness (mm)
2009	CR	SPRC440	1.0
	Zn	SGARC270	1.0
		SGARC340 SGARC440	0.7, 1.0, 1.4
2010	CR	CR590DP	1.0, 1.4
		CR590TRIP	1.0
		CR780DP	1.0, 1.4
	Zn	GA590DP GI780DP	1.0, 1.4 1.0
2011	CR	CR980	1.0
		SPFC1180	1.0, 1.6
	Zn	GI980DP GA1180DP	1.0, 1.4 1.0

생산기술 플랫폼내에서 자동차용 강재의 레이저 용접기술 DB화를 위하여 270MPa급 일반강종부터 1180MPa급 고강도강까지 다양한 소재를 대상으로 레이저용접을 수행하고 있다. 각 년도별 적용 강종은 Table 1과 같다.

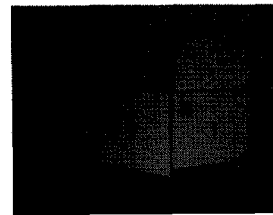
소재는 차체용으로 이용되는 1.4mm두께 이하를 주로 대상으로 하였으며, 레이저에 따른 용접특성, 보호가스에 따른 레이저 용접특성, 비도금-비도금 동종강판의 레이저 용접특성, 도금-도금 동종강판 레이저 용접특성, 이종강도강판 레이저 용접특성, 이종두께 레이저 용접특성, 하이브리드 레이저 용접 특성을 DB화하였다.

실험에 사용된 레이저는 총 3가지로서 디스크 레이저, 파이버 레이저 그리고 하이브리드 용접 실험을 위한 CO₂ 레이저이다. 용접속도, 초점, 갭 등을 변화하여가며 실험을 수행하였으며 시편은 겹치기형태로 제작되었다. 실험을 통해 얻은 용접시편은 마이크로현미경을 통해 비드외관을 관찰 하였으며, 단면관찰을 위해 2%-나이탈 용액을 사용하여 에칭하였다. 용접부의 물성을 평가하기 위하여 인장실험과 비커스 경도실험을 실시하였다.

3. 레이저 용접기술 DB구축 사례

구축된 레이저용접기술 DB 중 1차년도 구축된 440MPa급 소재의 레이저소스에 따른 용접특성, 보호가스에 따른 레이저 용접특성과 2차년도 구축된 780MPa급 소재의 비도금-비도금 동종강판의 레이저 용접특성, 도금-도금 동종강판 레이저 용접특성, 이종강도강판 레이저 용접특성, 이종두께 레이저 용접 특성, 하이브리드 레이저 용접특성을 아래와 같이

예시하였다.



(a) Disk laser



(b) Fiber laser



(c) CO₂ laser

Fig. 1 Laser welding systems.

3.1 레이저소스에 따른 용접특성

비도금강재인 SPRC440, 1.0t 동일소재를 대상으로 레이저소스를 바꾸어가며 용접 실험을 수행하여 실험결과를 Fig. 2와 3에 나타내었다. 실험에 사용된 레이저는 최대출력 4kW급 디스크레이저와 최대출력 3kW급 파이버레이저이다. 디스크레이저 용접 시 사용된 파이버직경, 광학계의 초점거리, 레이저빔의 크기는 200 μ m, 220mm, 0.25mm이며 파이버레이저용접 시 사용된 파이버직경, 광학계의 초점거리, 레이저빔의 크기는 200 μ m, 300mm, 0.36mm이다. 공정변수는 용접속도, 초점위치, 갭으로 선정하여 레이저의 용접성을 비교하여 나타내었다.

디스크레이저와 파이버레이저 모두에서 스파터 발생은 크게 나타나지 않았으며 디스크 레이저를 사용한 경우 언더필이 파이버 레이저에 비해 적었다. 용접속도가 빨라짐에 따라 계면폭이 좁아지며 갭이 0.3mm인 경우 두 레이저 모두 불완전 용입이 나타났다. 초점거리위치 변화에 따른 용접성은 사용된 빔 크기가 큰 파이버 레이저가 보다 양호한 것으로 판단된다.

Welding speed (m/min)	Focal position (mm)	Gap (mm)	Front bead	Back bead	Cross-section
6.5	0	0			
7.5					
8.5					

(a) Welding speed

Welding speed (m/min)	Focal position (mm)	Gap (mm)	Front bead	Back bead	Cross-section
7.5	0	0			
		0.1			
		0.2			
		0.3			

(b) Gap

Welding speed (m/min)	Focal position (mm)	Gap (mm)	Front bead	Back bead	Cross-section
7.5	-2	0			
	-1				
	0				
	1				
	2				

(c) Focal position

Fig. 2 Disk laser welding of SPRC440 for various welding conditions.

Welding speed (m/min)	Focal position (mm)	Gap (mm)	Front bead	Back bead	Cross-section
5.5	0	0			
6.5					
7.5					

(a) Welding speed

Welding speed (m/min)	Focal position (mm)	Gap (mm)	Front bead	Back bead	Cross-section
6.5	0	0			
		0.1			
		0.2			
		0.3			N/A

(b) Gap

Welding speed (m/min)	Focal position (mm)	Gap (mm)	Front bead	Back bead	Cross-section
6.5	-2	0			
	-1				
	0				
	1				
	2				

(c) Focal position

Fig. 3 Fiber laser welding of SPRC440 for various welding conditions.

3.2 보호가스에 따른 레이저 용접특성

비도금강재인 SPRC440, 1.0t 동일소재를 대상으로 보호가스의 영향을 알아보기 위해 아르곤 가스를 공급하였을 때와 가스를 공급하지 않을 때를 비교하여 Fig. 4에 나타내었다. 선행연구를 통해서 완전용입이 일어나는 최대용접속도 조건에서의 비드 표면과 단면을 분석하였으며 용접부의 경도를 측정하여 Fig. 5에 나타내었다. 레이저 출력은 3kW로 고정하였으며 초점위치와 갭을 0mm로 고정하여 진행하였다.

Laser	Shielding	Welding speed (m/min)	Front bead	Back bead	Cross-section
Disk	No	7.5			
	Ar	7.5			
Fiber	No	6.5			
	Ar	6.5			

Fig. 4 Laser welding of SPRC440 for different shielding conditions.

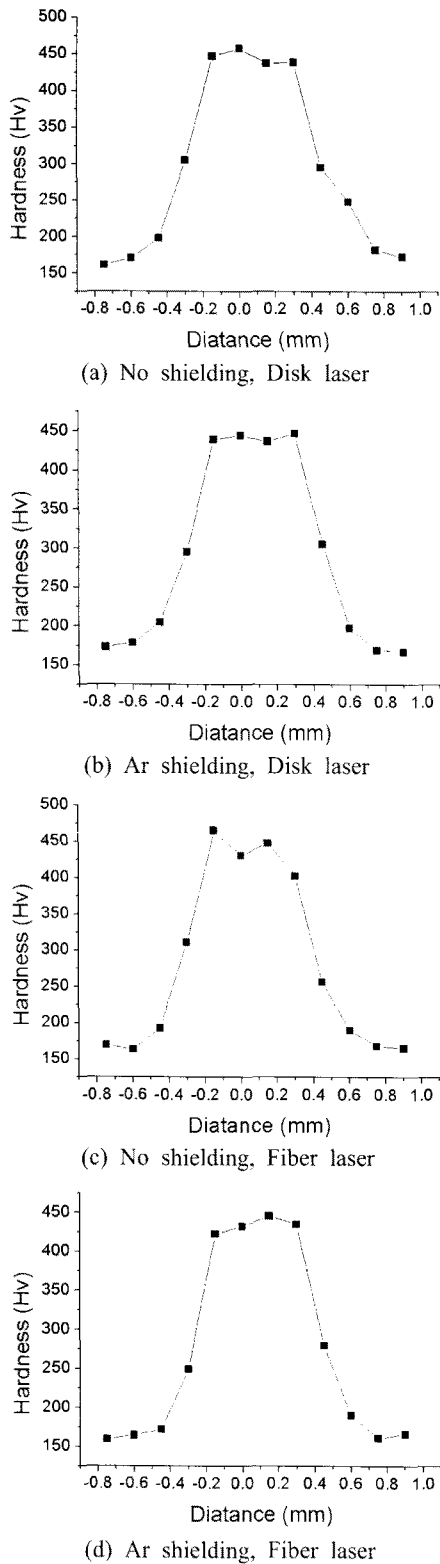


Fig. 5 Hardness profiles for different shielding conditions.

완전용입은 보호가스의 유무에 상관없이 동일한 속도에서 나타났으며 파이버 레이저의 빔 직경이 큰 관계로 완전용입이 디스크 레이저보다 낮은 속

도에서 발생하였다. 파단은 계면에서 발생하였으며 낮은 용접속도로 인해 넓은 계면 면적을 가지는 파이버 레이저를 사용하여 용접한 시편이 디스크 레이저를 사용하여 용접한 시편에 비해 강도가 약 30% 높게 나타났다. 하지만 보호가스를 사용하는 경우 사용하지 않은 경우보다 계면적이 넓어졌으나 비드외관이나 강도, 경도에는 큰 영향을 미치지 못하였다. 경도는 용접부에서 가장 높게 나타났다.

3.3 비도금 동종강판의 레이저 용접특성

비도금 강재인 CR590DP, 1.0t 동일소재를 대상으로 레이저 용접 실험을 수행하여 실험결과를 Fig. 6에 나타내었다. 실험변수는 용접속도, 갭, 초점거리를 선정하여 진행하였으며 실험에 사용한 레이저는 디스크 레이저로서 빔 조사위치에서의 빔 직경은 0.54mm로 측정되었다.

Welding speed (m/min)	Focal position (mm)	Gap (mm)	Front bead	Back bead	Cross-section
4.5	0	0			
5.5					
6.5					

(a) Welding speed

Welding speed (m/min)	Focal position (mm)	Gap (mm)	Front bead	Back bead	Cross-section
5.5	0	0			
		0.1			
		0.2			
		0.3			

(b) Gap

Welding speed (m/min)	Focal position (mm)	Gap (mm)	Front bead	Back bead	Cross-section
5.5	-2	0			
	-1				
	0				
	1				
	2				

(c) Focal position

Fig. 6 Laser welding of CR590DP (1mm) for various welding conditions.

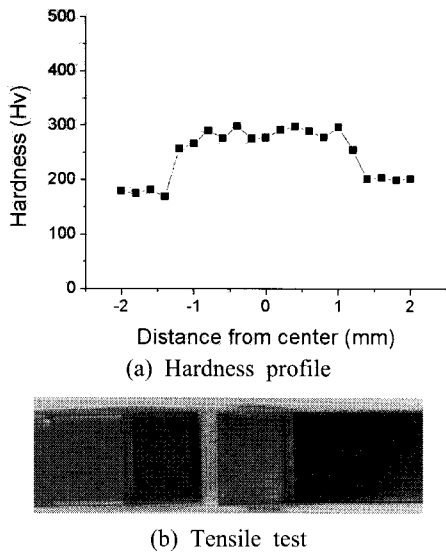


Fig. 7 Mechanical tests of laser weldment for CR590DP (1mm).

용접속도에 따라 강재에 가해지는 입열이 달라지면서 용접속도가 느려지는 경우, 계면의 폭이 증가 및 언더컷 발생이 관찰되었다. CR590DP의 경우 갭이 0.3mm의 경우까지 대응이 가능한 것으로 판단이 되며 초점거리의 영향은 크게 받지 않았다.

Fig. 7에 선행실험을 통해 적정용접조건으로 선택한 용접출력 4kW, 용접속도 5.5m/min, 초점거리 0mm, 갭 0mm 조건에서의 인장실험과 경도실험 결과를 나타내었다. 인장강도 값은 평균 530 N/mm로서 파단은 그림과 같이 계면에서 일어났으며 용접부의 경도가 제일 높게 측정되었다.

3.4 도금 동종강판의 레이저 용접특성

도금 강재를 대상으로 1mm 두께의 GI780DP 소재에 대한 레이저 용접 실험결과를 Fig. 8에 나타내었다. 실험변수는 용접속도, 갭, 초점거리로 선정하여 하였으며 0.54mm의 빔직경을 가진 디스크 레이저를 사용하였다.

용접속도가 빨라짐에 따라 부분용입이 발생하였으며 계면 면적이 좁아졌다. 또한, 초점거리 변화에 따라 부분용입이 발생하기도 하였다. 갭이 커짐에 따라 언더필이 심하게 발생하지만 0.3mm 까지 갭대응이 가능한 것으로 판단된다.

선행실험을 통해 적정용접조건으로 판단되는 출력 4kW, 용접속도 5.5m/min, 초점거리 0mm, 갭 0.1mm 조건에서 인장시편을 제작하였으며 그때의 인장강도 값은 평균 670N/mm로서 파단은 Fig. 9 과 같이 열영향부에서 일어났다. 경도실험 결과 용

접부의 경도가 제일 높게 측정되었으며, 다소의 열영향부가 존재하는 것으로 사료된다.

Welding speed (m/min)	Focal position (mm)	Gap (mm)	Front bead	Back bead	Cross-section
4.5	0	0.1			
5.5					
6.5					

(a) Welding speed

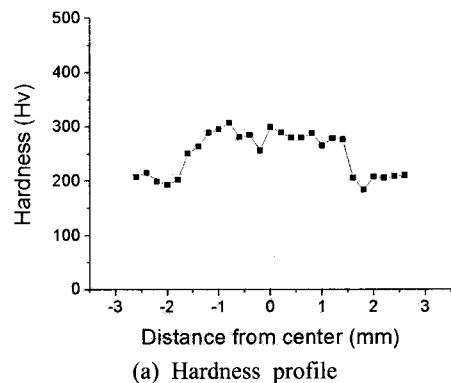
Welding speed (m/min)	Focal position (mm)	Gap (mm)	Front bead	Back bead	Cross-section
5.5	0	0			
		0.1			
		0.2			
		0.3			

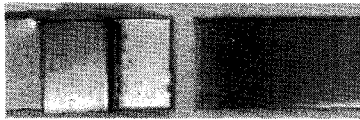
(b) Gap

Welding speed (m/min)	Focal position (mm)	Gap (mm)	Front bead	Back bead	Cross-section
5.5	-2	0.1			
	-1				
	0				
	1				
	2				

(c) Focal position

Fig. 8 Laser welding of GI780DP (1mm) for various welding conditions.





(b) Tensile test

Fig. 9 Mechanical tests of laser weldment for GI780 DP (1mm).

Welding speed (m/min)	Focal position (mm)	Gap (mm)	Front bead	Back bead	Cross-section
5.0	0	0			
6.0					
7.0					

(a) Welding speed

Welding speed (m/min)	Focal position (mm)	Gap (mm)	Front bead	Back bead	Cross-section
6.0	0	0			
		0.1			
		0.2			
		0.3			

(b) Gap

Fig. 10 Laser welding of CR590DP and CR780DP for various welding conditions.

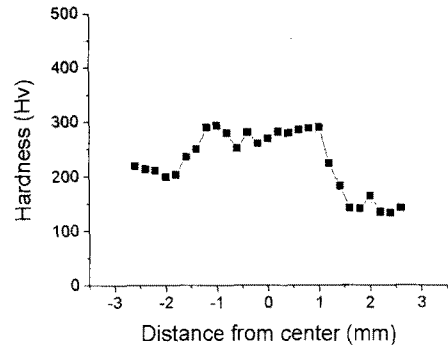
3.5 이중강도 강판의 레이저 용접특성

비도금 강재인 CR590DP, 1.0t와 CR780DP, 1.0t를 사용하여 이중강도 강판의 용접실험을 수행하여 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 실험변수로 용접속도와 갭을 선정하여 진행하였으며 낮은 강도의 소재를 위에 위치시키고 용접하였다.

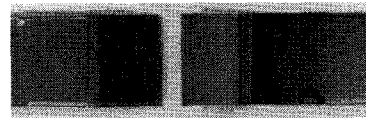
용접속도가 느려짐에 따라 언더필이 심해지는 현상이 나타나며 갭이 0.3mm인 경우 백비드가 균일하게 발생하지 않았다. 적정용접조건으로 선정한 출력 4kW, 용접속도 6m/min, 초점거리 0mm, 갭 0mm 조건으로 제작한 시편을 인장실험을 한 결과 계면파단이 발생하였다. 인장강도 값은 평균 570N/mm로 측정되었으며 Fig. 11과 같이 용접부의 경도가 제일 높게 측정되었다.

3.6 이중두께 강판의 레이저 용접특성

비도금 강재인 CR780DP, 1.0t와 CR780DP, 1.4t를 대상으로 이중두께 강판의 레이저 용접결과를



(a) Hardness profile



(b) Tensile test

Fig. 11 Mechanical tests of laser weldment for CR590DP and GI780DP.

Welding speed (m/min)	Focal position (mm)	Gap (mm)	Front bead	Back bead	Cross-section
3.5	0	0			
4.5					
5.5					

(a) Welding speed

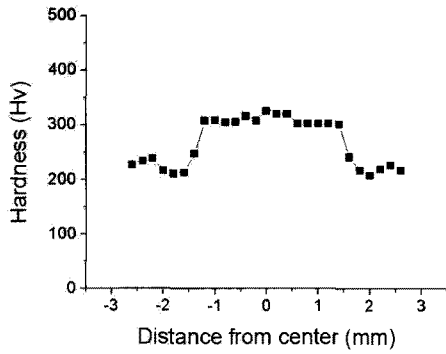
Welding speed (m/min)	Focal position (mm)	Gap (mm)	Front bead	Back bead	Cross-section
4.5 mpm	0 mm	0 mm			
		0.1 mm			
		0.2 mm			
		0.3 mm			

(b) Gap

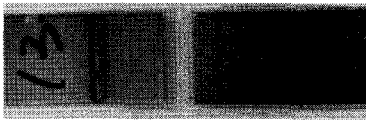
Fig. 12 Laser welding of CR780DP with dissimilar thickness, 1.0mm and 1.4mm.

Fig. 12에 나타내었다. 실험변수는 용접속도와 갭을 선정하여 진행하였으며 두꺼운 소재를 위에 위치시키고 용접하였다.

용접속도가 느려지면 언더필이 발생하고, 빨라지면 부분용입이 발생하였으며, 갭이 커짐에 따라 언더필이 심하게 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 적정용접조건으로 선정한 용접출력 4kW, 용접속도 4.5m/min, 초점거리 0mm, 갭 0mm 조건에서의 이중



(a) Hardness profile



(b) Tensile test

Fig. 13 Mechanical tests of laser weldment for CR780DP with dissimilar thickness, 1.0mm and 1.4mm.

두께 강판의 레이저 용접시편을 인장시험한 결과 계면파단이 발생하였으며, 인장강도의 값은 평균 520N/mm으로 앞서 나타난 590MPa 비도금강재의 레이저 용접부의 인장강도와 유사하게 나타났다. Fig. 13과 같이 열영향부에서 연화역의 존재가 확인된다.

3.7 하이브리드 레이저 용접특성

도금 강재인 GI780DP 소재를 대상으로 하이브리드 용접을 수행하였다. CO₂ 레이저의 출력은 3kW로 고정하였으며 실험변수는 용접속도, 용접전류/전압으로 선정하였다. 시편은 필릿형상으로 제작하였으며 하이브리드 레이저 용접실험에 사용된 고정용접조건을 Table 2에 나타내었다.

Table 2 Laser-arc hybrid welding condition

Type	CO ₂ Laser + Arc
Focal length	250mm
Spot diameter	0.4mm
Power	3kW
CTWD	15mm
Laser-Arc dis.	2mm
Shielding gas	He 70%, Ar 18%, CO ₂ 12%
Gas flow rate	30ℓ/min

Fig. 14와 같이 용접속도가 적정 용접속도에 비해 늦어진 경우 과용입에 의한 비드 처짐현상이 발생

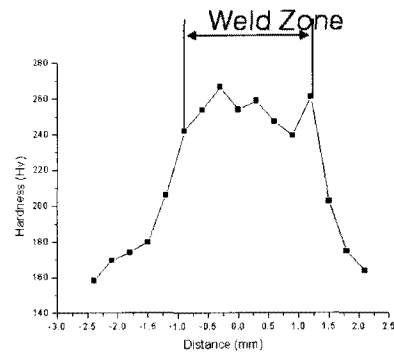
Welding speed (m/min)	Arc Current (A)	Arc voltage (V)	Wire feeding speed (m/min)	Front bead	Back bead	Cross-section
1.0	80	15.4	1.9			
2.0						
3.0						

(a) Welding speed

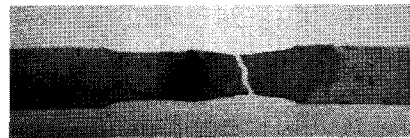
Welding speed (m/min)	Arc Current (A)	Arc voltage (V)	Wire feeding speed (m/min)	Front bead	Back bead	Cross-section
2.0	60	15.0	1.4			
	70	15.2	1.6			
	80	15.4	1.9			
	90	15.6	2.1			
	100	15.8	2.3			

(b) Gap

Fig. 14 Laser-arc hybrid welding of GI780DP for various welding conditions.



(a) Hardness profile



(b) Tensile test

Fig. 15 Mechanical tests of laser-arc hybrid weldment for GI780DP.

하였으며 전류가 낮은 경우 와이어피딩 부족으로 용접비드가 충분히 확보되지 못하였다. 특히 전류가 100A인 경우 용락이 발생하며 용접품질이 급격히 하락하였다.

GI780DP 강판을 적정용접조건에서 하이브리드

용접하여 인장실험을 한 결과 Fig. 15와 같이 모재 파단이 발생하여 건전한 용접부를 형성하였음을 확인하였다.

4. 결 론

아직 국내에서 적용이 많지 않은 레이저용접분야에 대하여 자동차용 강재의 레이저 용접기술 DB 구축을 위한 실험이 수행되었으며 향후 1GPa 이상의 강재를 사용하여 진행될 예정이다. 레이저에 따른 용접특성, 보호가스에 따른 레이저 용접특성, 비도금-비도금 동종강판의 레이저 용접특성, 도금-도금 동종강판 레이저 용접특성, 이중강도강판 레이저 용접특성, 이중두께 레이저 용접특성, 하이브리드 레이저 용접특성 등에 관한 강도별 두께별 데이터베이스의 정보화가 진행되고 있으며, 2011년 중반 홈페이지인 www.root-tech.kr을 통해 국내 관련기업에 공개예정에 있다.

참고문헌

- 1) 2006 산업기술로드맵, 생산기반산업, 한국산업기술재단, 2007.
- 2) K. Mori, "Digital Manufacturing Research Center," 한국정밀공학회 2005년도 춘계학술대회 논문집, pp.23-28, 2005.
- 3) J. Choi, M. Kang, J. Cho and C. Kim, "Laser Welding Characteristics of Ultra High Strength Steel for Automotive Application," J. Kor. Soc. Weld. Join., Vol. 27, No. 5, pp. 471-474, 2009.
- 4) C. Kim and Y. Ahn, "Laser Weldability of Carbon Steels for Automotive Auto-transmission Parts," J. Kor. Soc. Weld. Join., Vol. 28, No. 3, pp. 237-242, 2010.
- 5) J. Choi, J. Kim, S. Shin, C. Kim and S. Rhee, "A Study on Laser Welding Characteristics of 1500MPa Grade Ultra High Strength Steel for Automotive Application," Kor. J. Laser Proc. Technol., Vol. 13, No. 3, pp. 19-26, 2010.