

## 스캐너를 이용한 AZ31 극박판재와 AZ91D 다이캐스팅 프레임의 고속레이저용접

이목영<sup>\*,\*</sup>, 서민홍<sup>\*\*</sup><sup>\*</sup>포항산업과학연구원 시스템솔루션연구센터, <sup>\*\*</sup>포스코 송도PAC

## Fast laser welding with scanner on the joint between AZ31 thin sheet and die-casted AZ91D frame for smart phone application

Mok-Young Lee<sup>\*,\*</sup>, Min-Hong Seo<sup>\*\*</sup><sup>\*</sup>Research Institute of Industrial Science & Technology, System Solution Research Center, <sup>\*\*</sup>POSCO, Songdo PAC

## Abstract

High welding speed and narrow weld seam are favorable for welding of magnesium alloy. Magnesium alloy is recommended for the smart frame because it has several advantages such as low density, high thermal conductivity, EMI shielding capability and good cast ability. This study is for the assembly welding of the magnesium smart frame with high productivity, good performance and low cost. The window for battery on AZ91D frame produced by die-casting was prepared by CNC machining. Corresponding AZ31 blank of 0.2mm thickness was prepared by die-blanking cut. All system set was fixed at the stationary bed but the laser beam was manipulated by scanner up-to 1,000mm/s speed. The weld joint between AZ31 sheet and AZ91D frame was welded by fiber laser on 850~1,000W output power. The joint showed penetration enough but some humping bead. The distortion by the weld heat was almost free because of the quick dissipation of the heat by small beam size and fast welding. Consequently, the thinner magnesium foil was assembled successfully to the magnesium frame of mobile phone.

**Keywords:** AZ31, AZ91D, laser welding(레이저 용접), scanner optics(스캐너), smart phone frame(스마트폰 프레임)

## 1. 서론

최근 스마트폰의 추세는 휴대가 용이하고 화면이 큰 것을 선호하는 경향이다. 이를 위해서는 가볍고 얇으면서도 강성이 충분한 프레임이 사용되어야 하는데, 마그네슘합금은 이러한 요구조건을 모두 충족한다. 마그네슘의 밀도는  $1.738\text{g/cm}^3$ 으로 상용 금속중에서 가장 가볍고, 열전도도는  $110\text{W/m}\cdot\text{K}$  및 전기전도도는 19% IACS으로 플라스틱에 비해 월등히 높다<sup>1</sup>.

한국의 마그네슘 소비량은 세계 5위인데, 알루미늄합금용 및 탈황제로 사용되는 순마그네슘 뿐만 아니라 합금용 마그네슘 수요도 꾸준히 증가하여 왔다. 그러나 기술의 성숙단계에 진입한 것으로 전망되는 휴대폰 시장에서 지속되는 원가경쟁에 의해 마그네슘 부품이 알루미늄, 철강, 플라

스틱 등 저가의 타 소재로 대체(갤럭시S4에서 마그네슘이 적용된 브라켓이 갤럭시S5에는 알루미늄이 적용)되어 마그네슘의 수요는 감소되고 있는 상황이다<sup>2</sup>.

스마트폰의 프레임은 저가의 플라스틱 사출재가 적용되어 왔으나, CPU의 연산속도 증가에 따른 발열을 발산시키기 위하여 주조성이 우수한 마그네슘합금을 적용하고 있다. 최근에는 배터리 배치 부위의 격벽이 없는 형태로 제조된 프레임에 0.2mm 이하의 알루미늄 극박판재를 접착하여 스마트폰의 두께를 줄이고 있다. 그러나 마그네슘 다이캐스팅 프레임에 알루미늄 극박판재를 접착하기 위해서는 수작업에 따른 높은 공정비용이 발생한다.

본 연구는 마그네슘 다이캐스팅 프레임에 마그네슘 극박판재를 접합하기 위한 것으로, 빔품질이 우수한 최신의 레이저 및 스캐너 광학계를 이용하여 생산속도가 빠르고, 접합부 성능이 우수하며, 제조비용이 낮은 프레임 제조기술을 개발하고자 하였다.

투고일 : 2015년 3월 16일 심사완료일 : 2015년 3월 24일

계재승인일 : 2015년 3월 26일

교신저자 : 이목영 ✉ accelee@rist.re.kr

## 2. 실험방법

실험에 사용된 판재는 twin roll casting에 의하여 박판주조 된 마그네슘합금판재를 열간압연에 의하여 0.2mm까지 압연한 것이다. 프레임은 다이캐스팅에 의하여 제조된 마그네슘합금 AZ91D 이다. 사용된 소재의 화학조성 및 물성을 각각 Table 1과 Table 2에 나타내었다.

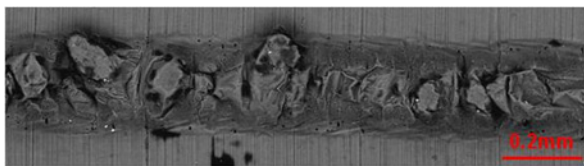
**Table 1** Chemical composition of the materials

	Al	Zn	Mn	Si	Cu	Fe	Ni	Be
AZ31	3.07	0.82	0.29	0.027	0.0016	0.0043	0.0029	0.0008
AZ91D	8.1 - 9.3	0.4 - 1.0	0.13 - 0.35	<0.30	<0.10	-	<0.01	-

마그네슘 판재의 레이저 용접은 파장 1030nm 및 빔품질 4mm-mrad의 disk laser (TruDisk 6001)를 사용하였으며, 레이저 빔의 이송 및 집속은 초점 거리 255mm, 배율 1.7:1 및 최대이송속도 1,000mm/s의 3차원 스캐너(PFO33)를 사용하였다. 레이저 발진기에서 스캐너로 빔의 전송은 직경100 $\mu$ m의 광섬유로 전송하였다. Table 3에 실험에 사용된 레이저 및 광학계의 개략적인 사양을 나타내었다. 레이저 용접시 스패터에 의한 스캐너 광학계를 보호하기 위하여 압축공기 cross-jet을 사용하였으며, 용접부 보호가스는 사용하지 않았다.

**Table 2** Properties of the materials

	Electrical conductivity at 20°C, MS/m	EMI shielding effectiveness, dB
AZ31	10(18.5%IACS)	~100
AZ91D	7.1(10.1%IACS)	~100
	Thermal Conductivity at 100°C, W/m · K	Specific Heat Capacity, J/kg-K
AZ31	110	1040
AZ91D	78	1050



**Fig. 1** Bead appearance of AZ31 laser weld on the laser beam moving speed 500mm/s.

**Table 3** Specifications of laser and optics

Parameter		Specification
Laser	Model	TruDisk 6001
	Wavelength	1030nm
	Maximum output power	6,000W
Focusing optics	Model	PFO 33
	Focal length	255mm
	Collimation length	150mm
	Magnification ratio	1.7:1
	Beam diameter at focus	0.17mm
Beam delivery	Maximum speed	1,000mm/s
	Core diameter	100 $\mu$ m
	Connector type	LLK
Welding parameters	Movement	Flying optics
	Shielding gas	None
	Focal position	0mm
Machine		ATX 400

용접부 단면의 미세조직을 관찰하기 위하여 입도 #2000의 사포 및 1 $\mu$ m의 다이아몬드 혼합액으로 최종 연마를 하고, 4.2g 피크린산, 10ml 아세트산, 70ml 에탄올 및 10ml 증류수의 혼합액을 사용하여 부식시켰다. 용접부 단면은 광학현미경 및 전자현미경으로 관찰하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 레이저 스캐너 용접의 용접부 형성

광섬유 직경 100 $\mu$ m의 디스크레이저 및 스캐너 광학계에 의한 마그네슘합금의 용접부 형성 거동을 알아보기 위하여 두께 2.0mm의 AZ31 판재를 레이저 출력 400W로 BOP(Bead-On Plate)용접하였다. 스캐너 광학계는 반사경 각도를 변화시켜 시편 표면에서 레이저 빔의 움직임을 제어하는데, Fig. 1은 시편 표면에서 레이저 빔의 선속도 500mm/s에서 용접부 외관을 나타낸 것이다. 빔품질이 우수한 레이저빔을 사용하여 용접을 하는 경우, 용접부가 매우 작기 때문에 육안으로는 그 차이를 구별하기 어려우므로 전자현미경을 사용하여 관찰하였다. 용접비드의 외관이 불균일하였는데, 그 원인은 열용량 및 표면장력이 작은 마그네슘합금 고유의 특성에 기인하는 것으로 판단된다.

마그네슘합금 용접부의 미세조직은 용접공정에

따라 변화되는데, 레이저 용접부는 급열 및 급냉에 의하여 열영향부가 작고 결정립이 미세하여 강도가 모재와 유사한 수준으로 알려졌다. Fig. 2는 두께 2.0mm AZ31 합금을 최대출력 6kW 용량의 디스크레이저 및 스캐너광학계를 사용하여 500mm/s의 속도로 BOP 용접한 비드의 단면형태를 나타낸 것이다. 기존의 아크용접부와는 달리 용융선이 명확하였으며, 레이저 빔의 이송속도 변화에 따라 용입깊이가 현저하게 변화하였다. 키홀 형태의 용접부에서 일반적으로 관찰되는 키홀 저면의 기공은 관찰되지 않았으며, 용접부 응고 수축시 발생하는 고온균열도 관찰되지 않았다. 그러나 빠른 용접속도에 의한 용접부의 급냉에 의하여 상대적으로 언더컷이 형성되었다.

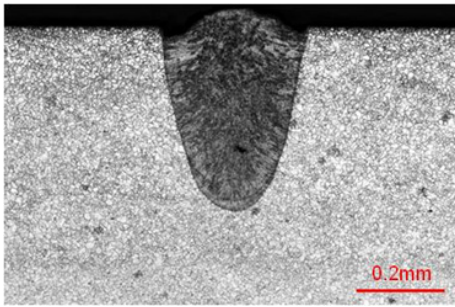


Fig. 2 Cross sectional views of AZ31 laser weld at travel speed 500mm/s.

Fig. 3은 레이저 빔의 선속도 변화에 따른 용입깊이, 비드폭, 용접부 덧살의 높이 및 언더컷 등 비드 형상의 변화를 나타낸 것이다. 레이저 빔의 이송속도 300mm/s 미만의 용접조건에서는 용입이 깊고 비드폭이 넓었으며, 특히 용융금속의 불규칙한 유동의 결과로 용입깊이 및 비드폭의 변동이 심하게 형성되었다. 이송속도가 증가하는 경우 단위면적당 조사되는 레이저빔의 조사시간이 짧아지므로 결과적으로 소재로의 입열량이 감소하여 용입깊이가 감소한다. 이송속도 300mm/s에서 용입깊이는 약 0.62mm이었으며, 속도 증가에 반비례하여 연속적으로 감소하였다. 비드폭은 이송속도 300mm/s에서 0.35mm가량이었으며, 이송속도 증가에 반비례하여 선형적으로 감소하였다. 비드폭이 레이저 빔의 직경(0.17mm) 보다도 큰 이유는 키홀 내부의 플라즈마 및 용융금속의 온도가 마그네슘의 용점보다 높기 때문에 용접부의 열이 모재쪽으로 전달되어 용융경계선이 이동하였기 때문이다. 레이저 빔의 이송속도에 따른 비드 폭의 감소율은 용입깊이

의 감소율에 비하여 상대적으로 작았다. 한편, 비드 덧살의 높이(reinforcement)는 비정상적으로 용융금속의 유동이 격렬한 레이저 빔 이송속도 200mm/s 이하의 용접조건을 제외하고는 0.05mm가량으로 매우 작고 변동이 거의 없었다. 언더컷은 모든 시험 조건에서 매우 작았으며, 용접속도가 빠른 경우 0.02-0.035mm 가량이었다.

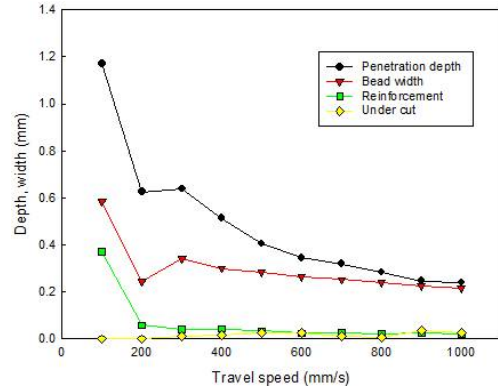


Fig. 3 Penetration depth, bead width, reinforcement and under-cut variations on the travel speed change of the laser beam.

Fig. 4는 두께 2.0mm AZ31 마그네슘합금을 레이저 출력 400W 및 레이저 빔 이송속도 500mm/s의 조건에서 BOP 용접한 시편의 단면미세조직을 나타낸 것이다. 급속 가열 및 냉각에 의하여 용융선이 거의 직선형태를 보였는데, 결정립이 부분적으로 용융되어 용융선이 결정립 내부를 관통하여 일직선으로 형성되었다. 용융선 근처에서는 용접부 중앙방향으로 원주형의 수지상조직(columnar dendrite)으로 응고한 주조조직을 보이고, 용접비드 내부에서는 등축정(equiaxed grain) 형상의 주조조직을 형성하였다. 또한 Mg-Al 금속간 화합물인  $\beta$ 상은 결정립계에 주로 형성되고, 결정립 내부에서는 정출되지 않았다.

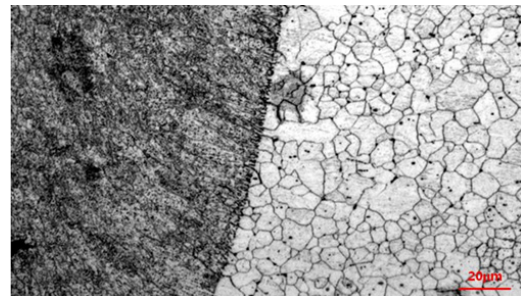
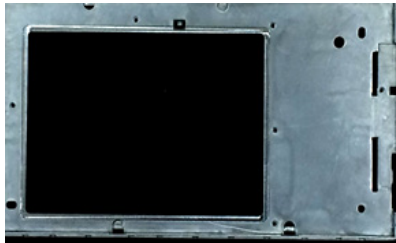


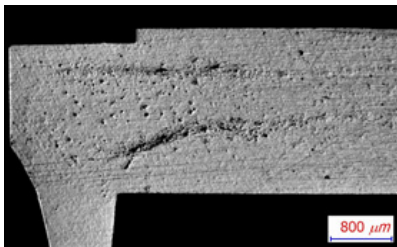
Fig. 4 Microstructures of AZ31 laser weld at travel speed 500mm/s.

### 3.2 스마트폰 프레임의 조립 용접

스마트폰 미들 프레임의 한면에는 display가 장착되고 다른 한면에는 기관 및 각종 부품이 조립되는데 배터리의 면적이 절반가량을 차지한다. 미들 프레임에 마그네슘 박판을 용접하기 위하여 프레임의 배터리 장착부위를 48mm × 68mm 크기로 기계 가공하여 제거하였다(Fig. 5). Fig. 6은 프레임의 기계 가공된 부위의 단면 형태를 나타낸 것으로 표면에서 0.2mm 깊이를 절삭 가공하였다. 가공시 틀에 의하여 가해지는 압력으로 인하여 절삭 가공면과 프레임 표면은 완전하게 평행하지는 않았다. 그러나 실제 적용을 위해서는 다이캐스팅 금형에 의하여 판재 용접위치의 요철을 형성하는 것이 바람직하며, 그 경우에는 마그네슘 극박판재의 설치면과 프레임 표면의 평행도가 개선될 것으로 예상된다.



(a) machined window



(b) cross sectional view of machine edge

**Fig. 5** Battery cover to be weld of smart phone middle frame.

스마트폰 미들 프레임의 배터리 커버 부위를 덮기 위한 소재는 두께 0.2mm의 AZ31 마그네슘 합금판재이며, 펀치와 금형을 이용한 die-blanking으로 가공하였다. Fig. 6에 나타낸 것과 같이 블랭크의 치수는 50mm × 70mm이었으며, 균일한 용접을 위하여 코너에는 R4의 곡률을 형성하였다. Die-blanking으로 판재를 가공하는 경우 절단면의 품질이 우수할 뿐만 아니라 항상 동일하고 정확한 치수가 유지되므로 반복용접에 매우 유리하다. 가령 시각센서를 이용하여 용접선을 추출하는 경우 용접부 형태 및 치수는 항상 동일하고

좌표 및 각도만 결정하면 된다.

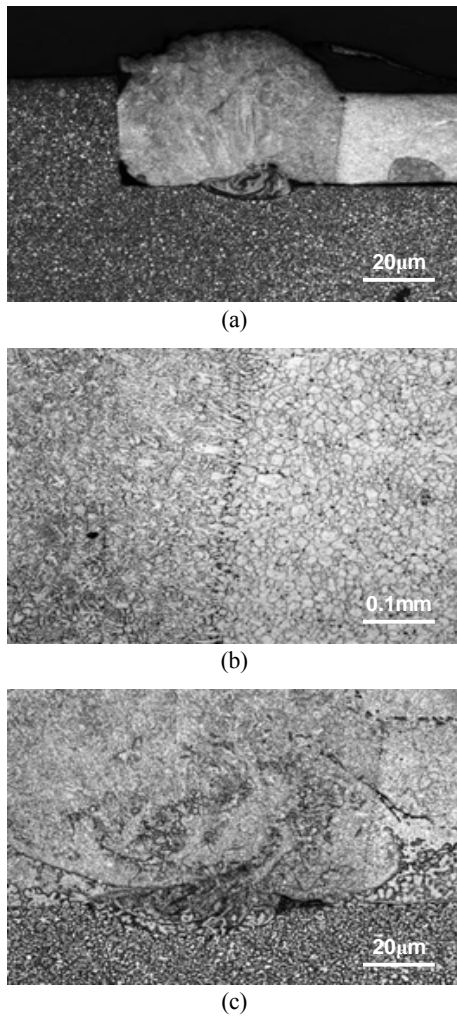


**Fig. 6** AZ31 blank.

극박판재를 레이저 용접하기 위해서는 피용접재의 이음부 간극을 엄밀하게 유지하여야 한다. 일반적으로 맞대기 용접에서 이음부 간극은 레이저 빔 직경의 30% 이내로 유지하여야 하는데, 본 실험에 사용된 판재의 두께가 0.2mm 이므로 이음부 간극은 0.06mm 이내이어야 한다. 그러나 양산라인에서 두께 0.2mm의 사각판재를 이처럼 정밀하게 밀착하여 조립하는 것은 거의 불가능하므로, 본 연구에서는 겹치기 혹은 겹치기-모서리(lap edge) 이음형태를 선정하였다. 이 경우에도 프레임의 표면과 판재사이의 간극은 0.06mm 이내를 유지하여야 한다. 이를 위하여 일반 로타리 진공펌프를 이용한 진공흡입 수단을 사용하였는데, 판재를 견고하고 간극이 거의 없도록 고정 가능하였다. 또한 지그 표면과 마그네슘 극박판재의 표면조도에 따라 누설이 발생하여 이때의 공기 흐름에 의한 판재냉각으로 변형이 없는 조립용접이 가능하였다.

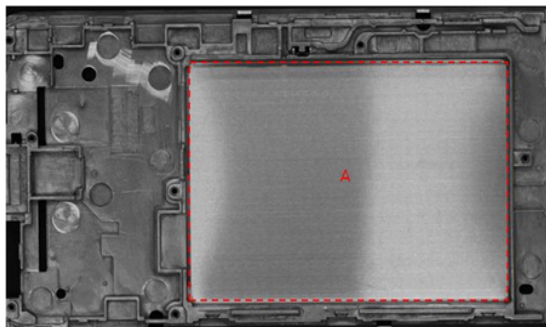
Fig. 7은 레이저 출력 900W 및 레이저 빔 이송속도 1,000mm/s에서 용접한 프레임의 용접부를 나타낸 것이다. (a)의 저배율 사진에서 0.1mm 가량의 용접비드 덧살이 형성되었다. (b)는 두께 0.2mm의 AZ31 압연판재의 용융선 주위를 나타낸 것으로 Fig. 4의 BOP 용접부와 유사한 미세조직을 보였다. (c)는 AZ91D 다이캐스팅 프레임의 용접선 주위를 나타낸 것으로 AZ91D 다이캐스팅 프레임의 미세조직은 상대적으로 많이 첨가된 알루미늄에 의하여 다량의 β상이 형성되어 AZ31 압연판재와 뚜렷하게 구별되었다. 용접비드에서 AZ91D의 혼입은 매우 적었으며, 실제 접합이 이루어진 유효면적은 용접부 면적에 비하여 매우 작았다.





**Fig. 7** (a) Cross sectional view of weld and microstructures of (b) HAZ of AZ31 thin sheet and (c) HAZ of AZ91D die casted frame on laser weld at 900W laser power and 1,000mm/s travel speed.

Fig. 8은 본 연구에서 조립 용접된 마그네슘 스마트폰 프레임을 나타낸 것으로 중앙에 상대적으로 밝은 부분(A)이 두께 0.2mm AZ31 압연 판재이다.



**Fig. 8** Assembled frame of smart phone with laser and scanner optics.

## 4. 결론

최신의 레이저 및 스캐너 광학계를 이용한 스마트폰 미들 프레임의 조립용접기술에 관한 연구 결과는 다음과 같다.

- 1) 빔품질이 우수한 최신의 레이저 발전기 및 스캐너 광학계를 이용하여 마그네슘합금에 대하여 BOP 용접을 실시하였다. 레이저 빔의 선속도에 반비례하여 비드폭 및 용입깊이가 감소하였는데, 용입깊이의 감소율이 상대적으로 컸다. 레이저 출력 400W 및 레이저 이송속도 500mm/s에서 용입깊이 및 비드폭은 각각 0.41mm 및 0.32mm 가량이었다.
- 2) 고속 레이저 용접에서 용융선이 뚜렷하고 거의 직선이었으며, 열영향부는 구별하기 곤란하였다. 고속용접에도 기공, 균열 등 용접부 내부결함이 거의 없는 건전한 용접부를 형성하였다.
- 3) 두께 0.2mm 마그네슘 극박판재를 다이블랭킹으로 가공하고, 진공흡입지그를 사용하여 프레임에 고정하고, 레이저 스캐너 용접으로 조립용접을 하였다. 용접속도는 1,000mm/s이었으며, 빠른 용접속도 및 공기냉각에 의하여 변형이 없었고, 판재의 접합강도는  $9.33 \pm 3.57 \text{kgf}$  이었다.
- 4) 본 기술을 적용하여 마그네슘 다이캐스팅 프레임과 극박판재의 조립용접에 의한 프레임의 양산제도가 가능할 것으로 예상되었다.

## 참고문헌

- 1) 한국철강신문 “마그네슘합금의 기초 및 응용” 2004.11.26
- 2) 신광선 “한국마그네슘연구조합 창립 10주년 마그네슘 심포지움”, 2014.11.19.
- 3) 환경부 ‘차기(2016~2020년) 자동차 평균 온실가스·연비 기준(안)’, 2014.09.05
- 4) 이목영, 장웅성, 윤병현, 김숙환, 최상운; 마그네슘 부품제조를 위한 용접기술, 재료마당 20권 5호 (2007년) pp. 35-40.
- 5) 이목영; 마그네슘 부품제조를 위한 용접기술, RIST 연구논문, 26권 2호 (2012년) pp. 80-86.
- 6) X. Cao, M. Jahazi, J.P. Immariageon, W. Wallace; A review of laser welding techniques for magnesium

- alloys, *Journal of Materials Processing Technology* 171 (2006) pp. 188-204.
- 7) S.H. CHOWDHURY, D.L. CHEN, S.D. BHOLE, E. POWIDAJKO, D.C. WECKMAN, and Y. ZHOU; Fiber Laser Welded AZ31 Magnesium Alloy: The Effect of Welding Speed on Microstructure and Mechanical Properties, *METALLURGICAL AND MATERIALS TRANSACTIONS A, VOLUME 43A, JUNE (2012)* pp. 2133-2147.
  - 8) Klaus F. Kleine, William J. Fox, Ken G. Watkins; *MICRO WELDING WITH PULSED SINGLE MODE FIBER LASERS, ICALEO 2004.*
  - 9) Xiaodong Na “Laser welding” 2010, pp. 47-76.