

## 디지털 제어를 이용한 알루미늄 아크 용접기의 기술현황

이 창 제<sup>\*,†</sup> · 김 유 찬<sup>\*</sup> · 김 종 도<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>BEST F.A 기술연구소

<sup>\*\*</sup>한국해양대학교 기관공학부

### Technology on Arc Welding Machine of Aluminum by Digital Control

Chang-Je LEE<sup>\*,†</sup>, Yu-Chan KIM<sup>\*</sup> and Jong-Do KIM<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>R&D Institute, BEST F.A, Changwon 641-290, Korea

<sup>\*\*</sup>Division of Marine Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

<sup>†</sup>Corresponding author : lab@bestfa.co.kr

#### Abstracts

Recently, welding technology of nonferrous metals which were difficult to implement by arc welder has become available through digitalization of arc welding machine. Among them, the welding quality improvement of aluminum welding is very noticeable. These results increase the arc stability by controlling arc current and voltage waveform precisely, and control wire feed speed by synchronizing with arc current which the feed rate of filler wire is controlled by a precise motor control of servomotor and not by a simple constant speed feeding. Not only through the hardware digitalization of arc welding machine but also through advance of software of arc welding, it became possible to implement a certain level of welding quality by a simple operation. These led to CMT welding process implementation which requires low heat input than current arc welding and highly increased the applicability of the aluminum welding.

Key Words : Aluminum, Digital, Arc stability, Inverter, Synergic line, CMT

#### 1. 서 론

최근들어 에너지 자원의 고갈과 지구온난화 등과 같은 환경문제로 친환경적인 제품의 개발 및 출시가 줄을 이고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 재사용이 가능한 재료를 사용하거나 에너지 소비 효율을 높이기 위한 각종 규제나 협약들이 전세계적으로 활발히 논의 및 실행되고 있다.

이러한 논점에서 가장 주목을 받고 있는 것은 널리 알려져 있고 사용되고 있는 알루미늄이다. 특히 알루미늄은 재사용이 가능한 경량소재로써 이미 오래전부터 다양한 분야에 사용되고 있으며 앞으로도 그 사용량이 증가할 것으로 예상된다<sup>1)</sup>.

그러나 알루미늄을 가공하는데 투입되는 에너지가 실제 사용시 절감되는 에너지보다 높다는 문제점 및 가공이 어렵다는 점 등으로 적용에 많은 어려움이 있다. 그 중에서도 알루미늄을 제품화하기 위한 용접공정은 알루미늄

작업공정 중에서도 가장 난이도가 높은 공정이다.

일반적으로 순알루미늄은 재료의 강도가 매우 약하여 합금형태로 사용되고 있는데 알루미늄 합금의 특성상 용접시 많은 문제점을 유발시킨다. 따라서 알루미늄 용접 시에는 정밀한 용접조건이 제어는 필수적이다<sup>2)</sup>.

특히 알루미늄 합금의 용접시에는 스파터 및 험핑비드, 열영향부의 열화 그리고 용접부의 균열 및 기공 등과 같은 다양한 결함이 매우 쉽게 나타나 용접조건을 선정하기가 매우 까다롭고 용접공정의 관리도 매우 세심하게 유지해야만 한다.

그러나 기존의 아크 용접기는 이러한 작업공정을 정밀하게 제어하는 것이 매우 곤란하여 용접시 많은 결함과 불량률이 유발되므로 알루미늄 용접은 숙련된 작업자와 매우 엄격한 공정관리가 반드시 요구되었다. 이 때문에 생산속도 저하 및 비용이 상승하여 알루미늄을 범용재료로 사용하기에는 곤란한 점이 많았다.

하지만 최근들어 용접기가 디지털화 되면서 용접조건을

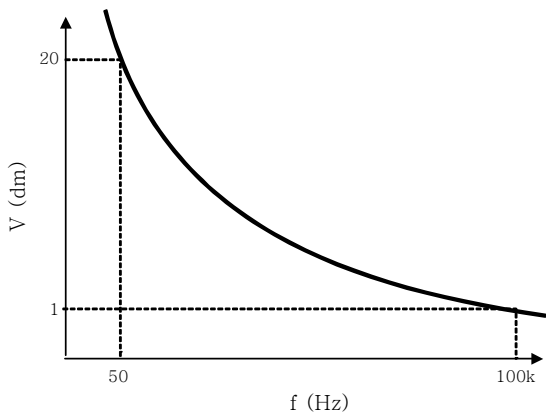
정밀하게 제어할 수 있게 되었다. 이러한 디지털화는 알루미늄 용접시 발생하는 각종 결함을 매우 효과적으로 제어하고 있다. 따라서 본보에서는 디지털 용접기의 알루미늄 용접기술에 대하여 기술하고자 한다<sup>3-5)</sup>.

## 2. 디지털 인버터 용접기

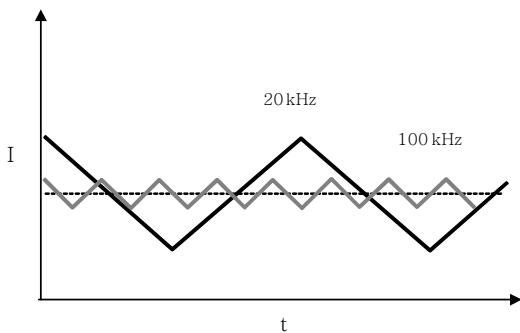
### 2.1 인버터 용접기의 특징

80년대부터 선보인 인버터(inverter) 용접기는 기존의 사이리스터(thyristor) 용접기와는 달리 단순히 교류를 직류로 변화하지 않고 1차 정류한 직류를 스위칭 소자를 이용하여 다시 고주파의 교류로 변환한 이후 다시 직류로 변환한다<sup>6-8)</sup>.

Fig. 1은 인버터 변압기의 2차 정류 주파수에 따른 변화를 나타낸 것으로 (a)의 그래프를 보면 2차 정류 주파수가 높아지면 변압기의 크기가 줄어드는 것을 알 수 있는데, 이에 따라 인버터 용접기는 2차 정류 주파수를 높여 기존의 용접기보다도 매우 작고 가볍게 만들어지고 있다. 또한 (b)에서 보듯이 변환 주파수가 높으면 높을수록 파형의 리플패턴(ripple patten)이 감소하여 용접



(a) Change of transformer volume as a function of transform frequency



(b) Ripple of waveform with frequency

**Fig. 1** Change of transformer volume and waveform on applying digital inverter

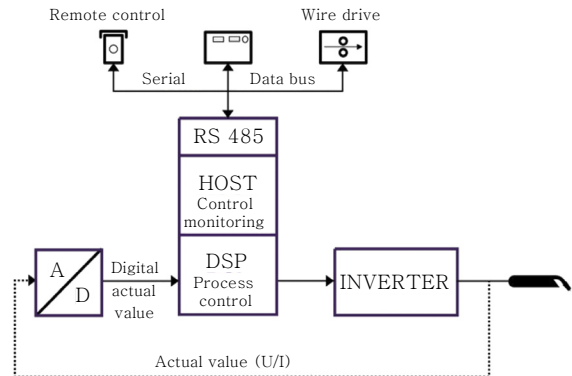
전류를 안정화시키므로 용접시 스파터와 같은 용접전류의 불안정에 의한 결함을 억제할 수 있다.

### 2.2 인버터 용접기의 디지털화

최근들어 아크 용접기는 단순히 전류를 직류로 변환하는데 그치지 않고 정밀한 용접제어를 위하여 Fig. 2와 같이 DSP(digital signal processor)를 내장하고 있다. 디지털화된 인버터 용접기는 용접을 위한 전용 소프트웨어를 탑재하고 용접시 전류 및 전압 등을 실시간으로 피드백(feedback) 받아 용접조건 및 현상의 변화를 DSP로 처리하여 인버터 및 송급장치 등을 최적의 상태로 제어한다. 따라서 높은 용접 재현성과 용접품질을 기대할 수 있게 되었다.

### 2.3 용접조건의 제어

용접기가 디지털화 되면서 나타난 가장 큰 변화는 매우 안정적인 아크를 얻을 수 있다는 것이다. Fig. 3에서와 같이 사이리스터 방식보다 디지털로 제어되는 인버터



**Fig. 2** A communications system of digital welding machine

Type	Thyristor	Inverter
Data		
Welding condition		
Waveform		

**Fig. 3** Welding condition by difference of power source of thyristor and inverter typea

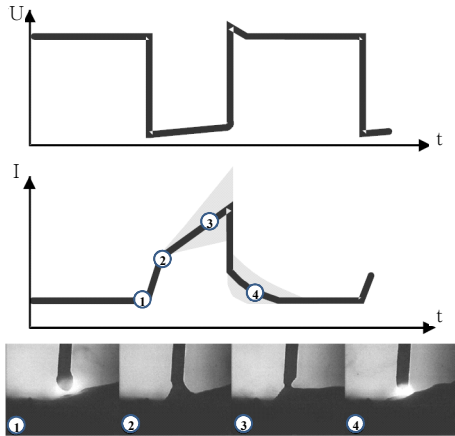


Fig. 4 Controllable short circuit transfer by digital inverter power source

방식의 아크가 보다 안정적인 상태로 용접을 하고 있는 것을 알 수 있다.

이는 이행모드(transfer mode)를 제어하는 부분에서도 차이를 보이는데, 특히 알루미늄 용접시 주로 사용되는 단락이행(short circuit transfer)시 매우 효과적이다. 일반적으로 단락이행시에는 단락(short circuit)발생시 급격히 상승하는 피크전류에 의한 스패터의 발생이 현저한데, 이를 Fig. 4와 같이 전압이 수직적화하는 ① 구간 이후 전류가 ③구간에서 급상승하지 않고 일정하게 피크를 유지한 이후 단락이 끝나는 ④구간에서 부스트 아크가 안정적으로 발생되도록 디지털로 제어하고 있다. 이러한 차이는 Fig. 5에서 보듯이 기존아크는 단락이행시 피크구간에서 전류값이 순간적으로 높아질 뿐만 아니라 단락에 따른 불안정한 전류의 흐름으로 아크가 불안정해지고 용융풀에서 스패터가 발생하게 된다. 그러나 디지털 제어방식은 단락에 관계없이 항상 일정한 전류파형을 유지하며 단락에 따른 피크전류를 상대적으로 낮게 제어하므로 아크의 안정성이 우수하고 단락시 스패터가 거의

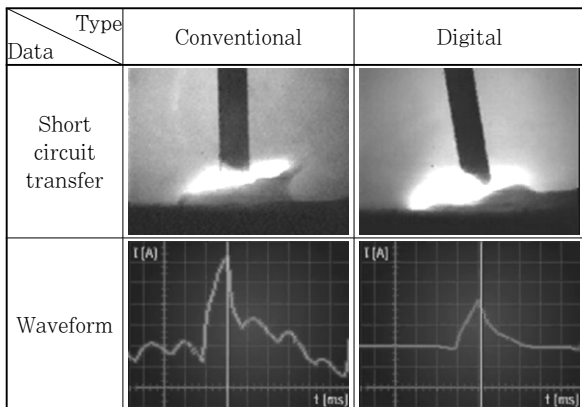


Fig. 5 Short circuit transfer by difference of power source of conventional and digital type

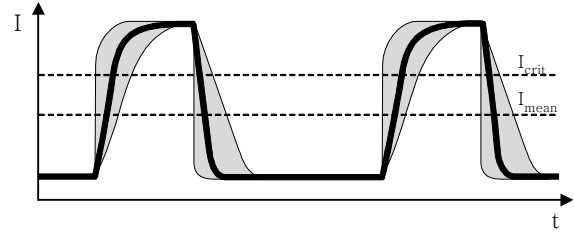


Fig. 6 Waveform in pulse welding

발생하지 않는다.

알루미늄 용접시 단락이행 다음으로 많이 쓰이는 기법은 펄스용접법이다. 펄스용접은 Fig. 6에서와 같이 기저전류가 흐르는 상태에서 펄스가 발생하는 구간에서 용적이행에 의해 용접을 하는 방법이다. 이 방법은 펄스시에만 모재에 입열이 가해지므로 평균전류가 낮아져 박판용접 등에 주로 적용되고 있으며, 입열관리가 중요한 알루미늄 용접에서는 기저전류를 약 30A 수준으로 제어해야만 안정된 아크를 보장할 수 있다. 그러나 한 펄스에서 하나의 용적만을 떨구는 것은 매우 어려운 일이다. 왜냐하면 용접시 용융풀과 아크는 끊임없이 움직이고 있어 단순히 펄스를 발생시키는 것만으로는 파형이 일정하게 유지되지 못하여 한 펄스당 하나의 용적이행을 일으키지 못해 원하는 목표를 달성할 수 없다.

그러나 디지털 용접기는 아크와 용융풀에 의해 변동되는 전류를 DSP로 처리하여 용접조건에 관계없이 항상 일정한 펄스가 형성되도록 전류를 피드백한다. 특히 알루미늄 용접시 기저전류를 낮게 유지하기 위해서는 아크 길이를 항상 일정하게 유지하는 것이 중요한데, 이를 위해서 와이어 송급속도를 전압과 동기시켜 송급속도를 제어함으로써 아크길이 변화에 따라 신속하게 송급속도가 조절됨으로써 낮은 기저전류를 유지할 수 있게 해준다. Fig. 7은 디지털 용접기로 한 펄스당 하나의 용적만을 형성하는 고속도 카메라 사진과 파형을 나타낸다.

## 2.4 아크의 점화 및 전용 프로그램

알루미늄 용접시 중요한 사항중 하나는 용접의 시작과 종료이다. 이는 최종적으로 생산되는 제품의 외관품질과 직접적으로 관련되기 때문인데, 특히 높은 열전도율과 낮은 용점에 기인한 알루미늄의 특징상 용접의 시작과 종료시 많은 스패터와 기공을 유발한다. 이를 제어하기 위한 방법중 하나로써 SFI(spatter free ignition)기술이 있다. SFI는 디지털화된 MIG 용접기에 적용된 아크 스타트 기법이다.

일반적으로 아크 스타트시에는 단락에 의해 약 500 ~ 700A에 달하는 높은 전류가 순간적으로 흘러 다량의

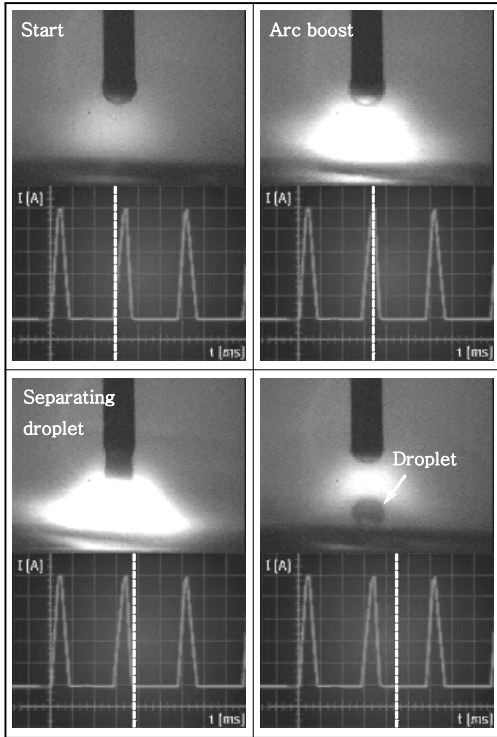


Fig. 7 Controlled droplet by digital welding machine

스패터를 유발한다. 때문에 비드외관 품질에 영향을 미쳐 제품을 불량으로 만드는 경우가 많다. 이는 용접와이어의 직경이 클수록 더 현저해지며 용접토치부의 소모성 부품의 수명을 단축시킨다.

이를 제어하기 위해서 용접전류 및 와이어의 송급운동을 제어해야 한다. Fig. 8에서 보듯이 우선 용접 스타트시 점화를 위해 와이어가 하강하여 모재와 단락이 일어나면 용접기는 전압을 감지하여 전류가 급상승하는 것을 방지하면서 동시에 와이어를 뒤로 후진시킨다. 이후 와이어가 일정거리에 도달하면 약 20~50A의 낮은 전류대에서 아크를 점화시킨 이후 본 용접을 실시한다. 이러한 아크 점화를 알루미늄 용접시 100%에 가까운 점화 재현성을 보여준다.

기존의 알루미늄 용접은 까다로운 용접조건으로 인하여 우수한 기량의 전문 용접사를 필요로 하였다. 그러나 용접기가 디지털화되면서 알루미늄을 위한 별도의 프로그램을 내장함으로써 간단한 조작만으로도 알루미늄 용접이 가능하게 되었다. Fig. 9는 대표적인 MIG 알루미늄 전용 스타트 프로그램이다. 그림에서 보듯이 알루미늄의 열전도율을 고려하여 시작전류를 높게 함으로써 Fig. 10과 같이 용착불량 없이 아크시작부를 형성할 수 있다. 또한 아크종료시에도 전류를 본 전류의 50%로 유지하여 크레이터(crater)부를 충진할 수 있도록 하고 있다.

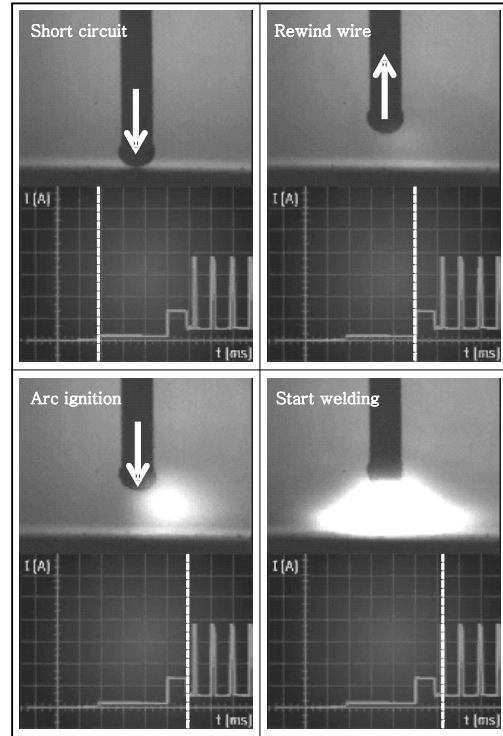


Fig. 8 Arc ignition depending on spatter free ignition

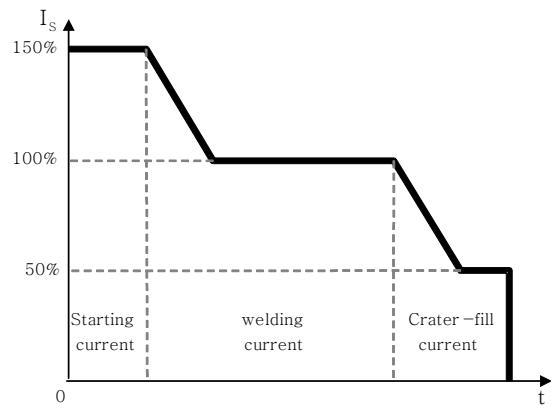


Fig. 9 Exclusive start program for MIG aluminium welding

알루미늄 용접시 미려한 시임을 얻거나 기공의 발생에 따른 용접품질이 문제시될 경우 사용되는 프로그램이 싱크로 펄스(synchro-pulse)이다. 싱크로 펄스는 DSP를 장착한 디지털 파워소스와 동기화된 와이어 송급장치가 달린 용접기에 적용된다. 이 프로그램의 가장 큰 특징은 펄스전류와 와이어 송급속도를 동기화하여 용접하는 것이다. Fig. 11에서 보듯이 본 용접구간에서 용접전류와 와이어 송급속도(dFd)가 동기화되어 펄스용접을 하게 된다. 이에 따라 용접전류가 인가될 때 와이어도 전진을 하고 비 인가시에는 송급속도를 늦추어 모재에 투입되는

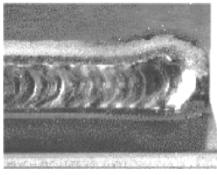
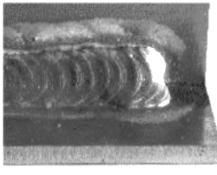
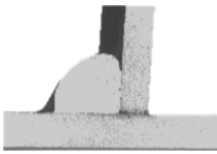
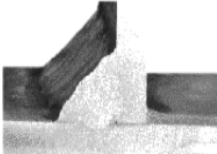
Type	Conventional	Start program
Bead appearance		
Cross section		

Fig. 10 Comparison of conventional start and start program

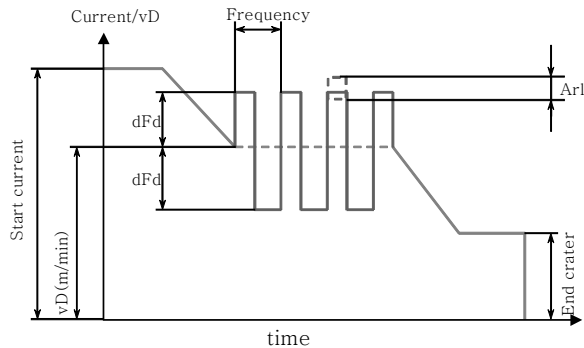


Fig. 11 Synchro-pulse program for aluminium welding



Fig. 12 Bead appearance of aluminium weldment by using synchro-pulse program

입열을 최소화함으로써 Fig. 12와 같이 미려한 물결무늬의 비드를 얻을 수 있다. 또한 낮은 입열로 용접금속 주위의 모재에서 수소 발생량이 감소하여 기공의 생성을 억제할 수 있다. Fig. 13은 Al6082의 4패스 용접시의 방사선 투과 사진을 나타낸 것이다. 사진에서 보듯이 기공 없이 용접된 것을 확인할 수 있다.

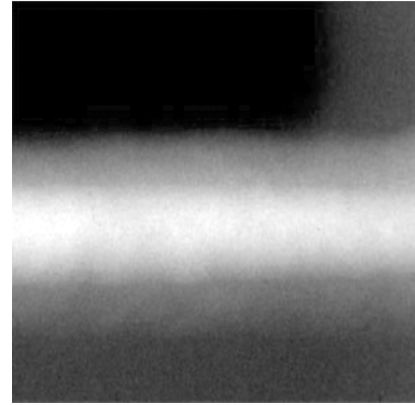


Fig. 13 Radiograph without porosity in 4-layers wilding of Al6082 of thickness 12mm

### 3. CMT 용접기

#### 3.1 CMT의 원리

MIG용접시 입열을 최소화하기위한 방법으로 단락이행에 이용한 숏아크(short arc)가 사용되고 있는데, 숏아크의 문제점은 단락시 아크방전에 의한 높은 전류의 발생으로 기대한 만큼의 입열을 제어하기가 쉽지 않다는 것이다.

이를 극복하기 위한 방법으로 CMT(cold metal transfer)가 개발되었다. CMT도 기본적으로는 숏아크이나 가장 큰 차이점은 Fig. 14에서 보듯이 단락시 와이어가 후진하여 강제적으로 단락을 종료하고 모재와 와이어 사이에서 아크를 부스트(boost)시킨다. 또한 단락구간에서도 전압을 낮게 유지하여 단락에 따른 과전류의 흐름도 제어한다. 이렇게 하면 높은 전류에 따른 아크의 발생이 모재와 와이어 사이에서만 발생하므로 모재에서 높은 단락전류가 흐르는 숏아크와는 달리 입열이 매우 낮게 된다<sup>9,10</sup>.

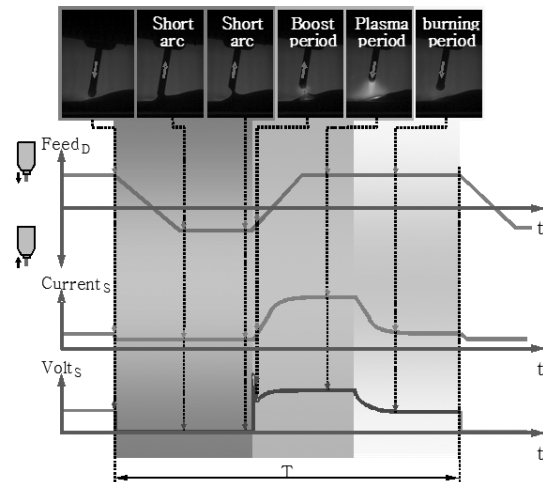


Fig. 14 Change of current, voltage and feeding rate in welding of CMT process

### 3.2 적용사례

CMT는 다양한 구조물에 아크용접을 적용할 수 있는 가능성을 열었는데, Fig. 15에서 보듯이 이중두께의 알루미늄 겹치기 CMT 용접의 일례를 나타낸 것이다. 사진에서와 같이 알루미늄 박판재와 후판재의 겹치기 용접은 판두께 차이에 따른 입열의 제어가 매우 곤란하여 다른 고가의 프로세스를 적용하였다. 그러나 CMT의 낮은 입열성능은 이러한 난조건에서도 극대화된 단락이행으로 모재에 입열을 최소화하면서 용접할 수 있게 되었다. Fig. 16은 판두께에 따른 CMT 용접부를 나타낸다. (a)는 3mm 두께의 알루미늄 판재를 겹치기 용접한 것인데 동일한 조건의 펄스 MIG 보다 약 50%나 빠른 속도로 용접할 수 있다. 또한 (b)는 0.3mm의 알루미늄 판재를 맞대기 용접한 것으로 MIG용접으로 가능할 수 있는 박판용접의 한계를 잘 보여주고 있다.

이러한 우수한 용접성능으로 Fig. 17과 같이 이미 헬리콥터의 외피 및 3겹 접합 플랜지 용접 그리고 알루미늄 자체의 용접 등에 적용되고 있다.

## 4. 결 론

최근까지 아크 용접기를 이용한 정밀용접에는 한계가 있다고 여겨져 왔으나, 용접기가 디지털화되면서 아크를 보다 정밀하고 재현성 높게 제어할 수 있게 되었다. 따라서 지금까지는 적용이 불가능했던 극박판재나 저입열 용접이 가능하게 되었으며, 알루미늄 용접의 품질을 높이

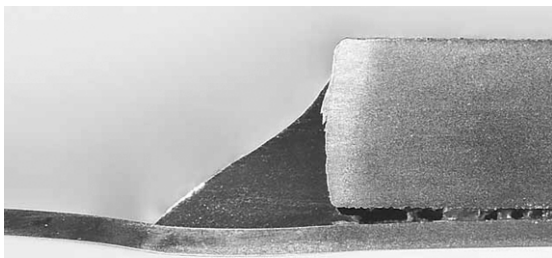


Fig. 15 Overlap welding of 0.8 and 4.0mm aluminium sheet by CMT

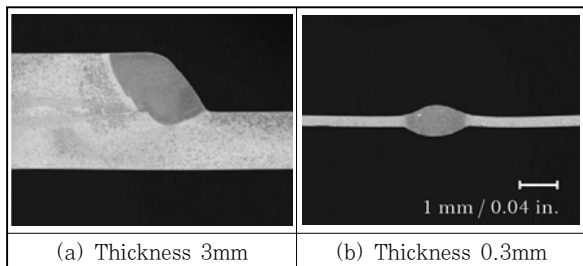
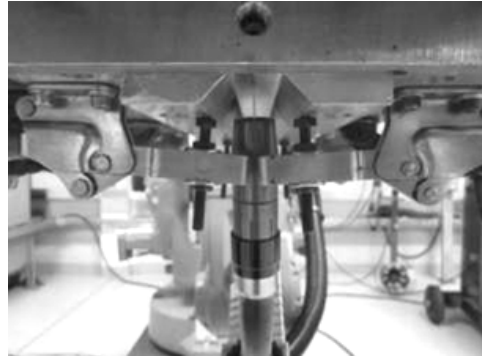
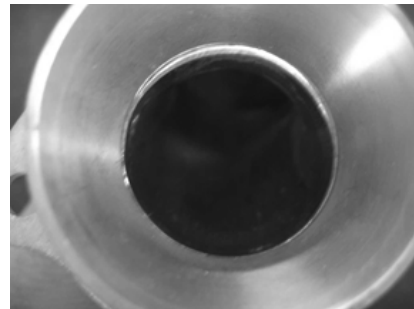


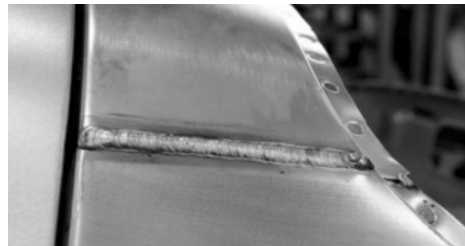
Fig. 16 Welding of thickness 3 and 0.3mm aluminium sheet by CMT



(a) Overhead butt welding without backing of 0.8mm Aluminium for helicopter out skin



(b) Laminated joint welding of 3 sheet joint(pipe, flange, coupling) for fuel supply line



(c) B-pillar to roof joint of premium sedans and spots cars

Fig. 17 Application example of aluminium welding by using CMT

는데 획기적인 역할을 하였다. 또한 디지털화된 아크 용접기는 재료별로 전용 소프트웨어를 탑재할 수 있어서 우수한 기량의 용접사가 부족한 현장 및 생산공정에서 초급 용접인력을 단기간에 고급인력으로 양성할 수 있어 빠른 시간내에 용접품질을 안정화시킬 수 있다는 장점이 있다.

특히 알루미늄과 같은 비철계 금속 및 합금의 용접시 우수한 용접품질 및 높은 용접속도를 유지할 수 있어 향후 다양한 분야로의 적용이 기대된다.

## 참 고 문 헌

1. H. T. Kim and S. C. Kil : Trends of Welding Technologies (Aluminium Structure), Journal of KWJS,

- 22-4(2004), 29-34 (in Korean)
2. H. C. Yoo and H. T. Kim : Recent Technological Tendency of Joining for Light Aluminium Alloy, Journal of KWJS, **29-3** (2004), 4-13 (in Korean)
  3. D. H. Woo, Y. M. Chae, S. W. Han, G. H. Choe, G. S. Han and G. W. Ahn : Design of Digital Controller for Thyristor Controlled Arc Welding Machine, Journal of KIPE, **3-2** (1998), 92-98 (in Korean)
  4. H. K. Kim and B. D. Park : Development of Digital DC-Arc Welding Machine, Journal of KSOE, **20-6** (2006), 18-23 (in Korean)
  5. S. Yamane : Current and Trend of Digital Power Welding Sources, Journal of Japan Light Metal Welding and Construction, **43-4**(2005), 1-5
  6. K. S. Harn : Characteristics of Inverter Type Arc Welding Power Source, Journal of KWS, **11-2** (1993), 21-26 (in Korean)
  7. Y. M. Chae, J. S. Gho, J. W. Kim, S. Y. Lee, H. R. Choi and G. H. Choe : A Study on Current Waveform Control and Performance Improvement for Inverter Arc Welding Machine, Journal of KIPE, **4-2**(1999), 129-137 (in Korean)
  8. Tosihiro Uezono and Hongjun Tong : Application to MIG Welding Using Welding Power Source Equipped with Digital Filtering Process, Journal of Japan Welding Society, **76-4**(2007), 243-246
  9. J. Feng, H. Zhang and P. He : The CMT Short-circuiting Metal Transfer Process and Its Use in Thin Aluminium Sheet Welding, Material & design, **30-5**(2009), 1850-1852
  10. K. Furukawa : New CMT Arc Welding Process - welding of steel to aluminium dissimilar metals and welding of super-thin aluminum sheets, Welding international, **20-6**(2006), 440-445



- 이창제
- 1977년생
- BEST F.A 기술연구소
- 레이저 정밀가공, 레이저 실시간 모니터링, 아크용접 공정
- e-mail : lab@bestfa.co.kr



- 김유찬
- 1961년생
- BEST F.A 기술연구소
- 아크용접 공정, 용접자동화
- e-mail : jimmy@bestfa.co.kr



- 김종도
- 1963년생
- 한국해양대학교 기관공학과
- 레이저 용접, 레이저 하이브리드 가공, 가공기술 자동화
- e-mail : jdkim@hhu.ac.kr