creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

[UCI]I804:24011-200000266841
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2018년 8월

석사학위 논문

DC-AC 펄스 탄뎀 GMAW 공정의 평가

조선대학교 대학원

용접·접합과학공학과

강 상 훈

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

DC-AC 펄스 탄뎀 GAMW 공정의 평가

A Feasibility study for DC-AC Pulse Tandem Gas Metal Arc Welding Process

2018년 8월 24일

조선대학교 대학원
용접·접합과학공학과
강 상 훈

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

DC-AC 펄스 탄뎀 GAMW 공정의 평가

지도교수 방 희 선

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2018년 4월

조선대학교 대학원
용접·접합과학공학과
강 상 훈

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

강상훈의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 특임교수 방한서 (인)

위 원 조선대학교 조교수 송국현 (인)

위 원 조선대학교 교수 방희선 (인)

2018년 5월

조선대학교 대학원

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

CONTENTS

List of Figures ····· III
List of Tables ····· V
Abstract ····· VII

1장. 서론 ·····1
1.1 연구배경 및 목적 ····· 1
1.1.1 연구배경 ····· 1
1.1.2 연구목적 ····· 3

1.2 국내·외 기술 동향 ····· 5
1.2.1 탄뎀 GMAW의 기술 동향 ····· 5

1.3 가스메탈아크용접(GMAW) 특성 ····· 6
1.3.1 가스메탈아크용접 원리 ····· 6
1.3.2 가스메탈아크용접 특징 ····· 7

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2장. 연구 방법 ····· 8
2.1 연구 방법 ····· 8
2.2 실험방법 및 조건 ····· 9
2.2.1 사용 소재 ····· 9
2.2.2 실험장비 ····· 10
2.2.3 용접조건 ····· 11
2.2.4 용접 특성 평가 ····· 13
3장. DC - AC 펄스 탄뎀 GMAW 공정변수에 따른 용접 특성 ····· 15
3.1 와이어간 거리에 따른 용접 특성 ····· 15
3.1.1 와이어간 거리에 따른 아크 간섭현상 ····· 15
3.1.2 와이어간 거리에 따른 스패터 발생 ····· 18
3.1.3 와이어간 거리에 따른 용접성 평가 ····· 21
3.2 전류에 따른 용접 특성 ····· 22
3.2.1 선행 전류에 따른 스패터 발생 ····· 22
3.2.2 선행 전류에 따른 용접성 평가 ····· 24
3.2.3 후행 전류에 따른 스패터 발생 ····· 25
3.2.4 후행 전류에 따른 용접성 평가 ····· 25
4 장. DC 펄스 - AC 펄스 탄뎀 GMAW 공정변수별 용접

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

특성 ····· 28

4.1 전류에 따른 용접 특성 ····· 28
4.1.1 선행 전류에 따른 용접성 평가 ····· 28
4.1.2 후행 전류에 따른 용접성 평가 ····· 34

4.2 DC 정전압-AC 펄스, DC펄스-AC펄스, DC펄스-DC펄스 탄뎀 GMAW의 공정비교 평가 ····· 38
4.2.1 DC정전압-AC 펄스, DC펄스-AC펄스 비교 평가 ····· 38
4.2.2 DC펄스-AC펄스, DC펄스-DC 펄스 비교 평가 ····· 41

5장. 결론 ····· 46

참고문헌 ····· 47

List of Figures

Fig. 1.1 Rotating droplet ····· 3
Fig. 1.2 Waveforming of Fronius ····· 4
Fig. 1.3 Waveforming of CLOOS ····· 5
Fig. 1.4 Different tandem torch types ····· 6
Fig. 1.5 GMAW 원리 ····· 7
Fig. 2.1 Welding machine - P500L ····· 10

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 2.2 Welding machine - DW300 ····· 11
Fig. 2.3 Schematic diagram of experimental setup ····· 13
Fig. 3.1 Comparison of bead appearance according to the inter-wire distances ····· 16
Fig. 3.2 Arc interference and droplet phenomena with different inter-wire distances ····· 17
Fig. 3.3 Measured current-voltage waveform and high-speed camera images during the constant voltage DC-AC pulse tandem GMAW welding ····· 20
Fig. 3.4 Comparison of bead appearance according to the leading current ·· 23
Fig. 3.5 High-speed camera images for different leading currents ····· 24
Fig. 3.6 Comparison of bead appearance according to the trailing current 26
Fig. 3.7 High-speed camera images for different trailing currents ····· 27
Fig. 4.1 Comparison of bead appearance according to the leading current ·· 30
Fig. 4.2 Measured current-voltage waveform and high-speed camera images during the constant voltage DC pulse-AC pulse tandem GMAW welding ····· 31
Fig. 4.3 Measured current-voltage waveform and high-speed camera images during the constant voltage DC pulse-AC pulse tandem GMAW welding ····· 32
Fig. 4.4 Measured current-voltage waveform and high-speed camera images during the constant voltage DC pulse-AC pulse tandem GMAW welding ····· 33
Fig. 4.5 Comparison of bead appearance according to the trailing current 35
Fig. 4.6 Measured current-voltage waveform and high-speed camera images during the constant voltage DC pulse-AC pulse tandem GMAW welding ····· 36
Fig. 4.7 Measured current-voltage waveform and high-speed camera images during the constant voltage DC pulse-AC pulse tandem GMAW welding ····· 37
Fig. 4.8 Comparison of bead appearance according DC-AC pusle and DC pulse-AC pulse tandem GMAW ····· 40
Fig. 4.9 Comparison of bead appearance according DC pulse-AC pusle and DC pulse-AC pulse tandem GMAW ····· 43
Fig. 4.10 Comparison of cross-section according DC pulse-AC pusle and DC pulse-AC pulse tandem GMAW ····· 44
4.11 Comparison of heat-input according DC pulse-AC pusle and DC pulse-AC

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

pulse tandem GMAW ····· 45

List of Tables

Table. 2.1 Chemical composition and mechanical properties of weld wire ····· 9
Table. 2.2 Welding parameters used in the experiments ····· 12

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

Feasibility study for DC-AC Pulse Tandem Gas Metal Arc Welding Process

Sang Hoon Kang
Advisor : Prof. Bang, Hee-Seon, Ph.D.
CO-Advisor : Prof. Bang, Han-Sur, Ph.D.
Department of Welding and Joining Science Engineering,
Graduate School of Chosun University

Tandem gas metal arc(GMA) welding has been suggested to weld thick plates requiring high deposition rate,. Conventional tandem GMAW uses phased DC pulse to avoid arc interference between two wires.

In this study, to increase the cost efficiency, non-phased tandem GMAW were used DC or DC pulse as leading current, and AC pulse as trailing current. When DC is applied to leading current, the drop transfer has changed from projected to streaming transfer depending on the inter-wire distance, the magnitude of current and the magnitude of trailing current. During DC-AC pulse GMA welding, lots of spatter was generated because of short-circuiting by attractive force and droplet scattering by repulsive force resulted from streaming transfer.

In order to compensate the above disadvantages, performing the DC pulse as leading current leads to strong arc linearity because of the droplet transfer occurs at high peak current. Consequently, the stable droplet

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

transfer, which is hardly affected by arc interference, was accomplished with reduction of spatter generation.

Compared with the conventional DC pulse-DC pulse phased tandem GMAW, the amount of deposition was increased and there was no difference in penetration depth.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 1 장 서 론

1.1 연구배경 및 목적

1.1.1 연구배경

오늘날 국제 유가의 변동 폭은 생각보다 심하게 나타나고 있다. 2012년부터 2014년까지 최고 배럴당 최고 100$ 이상까지 가던 유가가 2016년경 최저 30$까지 내려간 적이 있고, 최근 2018년에는 배럴당 68$까지 올라왔다. 이렇듯 국제 유가는 해가 다르게 크게 변하고 있다. 이러한 유가 변동은 중공업 분야에 많은 영향을 끼친다. 유가의 가격은 원유 생산국 특히 중동지역의 건설경기와 산유국들의 원유 개발 즉 원유 시추선이나 해양 플랜트 그리고 원유 수송 등과 같은 제품의 생산량에 많은 영향을 끼치게 된다. 그래서 유가가 100$ 일 때, 많은 산유국이 세계중공업 시장에 많은 물량의 건설장비와 원유와 관련된 선박을 주문하였고, 중공업 분야는 호황을 맞이하게 된다. 그러나 2015년부터 유가가 급감함에 따라 주문해 놓았던 건설기계장비 원유 관련 제품들을 인도 기간을 연장하거나 손해를 보면서까지 수주를 취소하는 많은 사례가 발생하였다. 특히 국내 중공업들은 과거에는 저렴한 인건비를 활용하여 일본 중공업과 경쟁하여 세계 1~5위까지의 중공업 분야의 위치를 선점하게 되었다. 그러나 우리나라 임금의 상승이 이루어지게 되었고 중국의 중공업 회사들이 더 저렴한 인건비를 이용하여 많은 수주를 차지하게 되었다. 특히 2007년 세계 경제 위기를 겪게 되면서 저렴한 중국의 중공업 산업이 더욱 주목을 받게 되었고 우리나라 중공업 산업의 수주량을 추월하게 되었다. 그럼에 따라 우리나라의 중공업 분야는 기술력으로 이를 해결하려고 하였으나, 국제 유가의 하락 여파와 함께 기술력이 많이 필요한 유가에 관련된 장비의 수주를 내지 않게 되고, 이로 인해 현재까지 어려움을 겪고 있다.

위 같은 상황이 지속하는 상황에서 우리나라의 중공업 분야의 기업들은 생존을 위하여 제조원가의 절감과 생산성 향상을 통한 저가의 수주 전략이 필요하게 되었

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

다. 이러한 중공업 분야의 산업의 특성은 용접기술이 전체 생산공정의 90%를 차지하고 있다. 따라서 용접 생산성 향상을 통하여 제조원가를 낮추고, 저가의 수주를 만들어 낼 수 있다. 특히 아크 용접은 중공업 분야에서 많이 이용되고 있다. 하지만 기존에 사용하던 아크용접 방법으로는 생산성 향상의 한계에 부딪히게 되었다. 아크 용접으로 생산성 향상을 위해서는 대용착을 달성 해야 하는데, 대용착 달성을 위해서는 대전류를 인가하여야 하고 아크 용접에서 대전류를 인가하게 되면, 여러 가지 문제점이 발생하게 된다. 대전류 인가에 의한 문제점 중 하나는 회전이행이 발생한다는 것이다. 회전 이행이 발생하게 되면 Fig1.1에서 보는 것과 같이 아크가 불안정하고 불안정한 용접이행이 발생하는 문제점이 발생한다. 두 번째 문제점은 용착량 증가를 위해 용접 와이어의 직경을 증가 시키는 방법이 있다. 하지만 이러한 방법은 직경이 증가할수록 와이어의 강성에 의해 송급이 어려워 이 방법 또한 한계에 부딪히게 된다.

위와 같은 문제점을 완화하기 위하여 두 개의 와이어를 이용하여 아크 용접을 하는 탄뎀 용접시스템이 제안되었다. 탄뎀 용접을 이용하게 되면 두 개의 와이어를 이용하여 용접을 할 수 있기 때문에 입열량을 두 개로 분산시켜 용접을 하므로 소재에 입열량을 줄일 수 있기 때문에 고입열량에 관한 문제를 완화 할 수 있다. 또한 전류를 두 와이어로 분산하여 용접을 하므로 회전이행이 발생하는 전류를 인가하지 않아도 되기 때문에 용접성 또한 좋다는 장점이 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

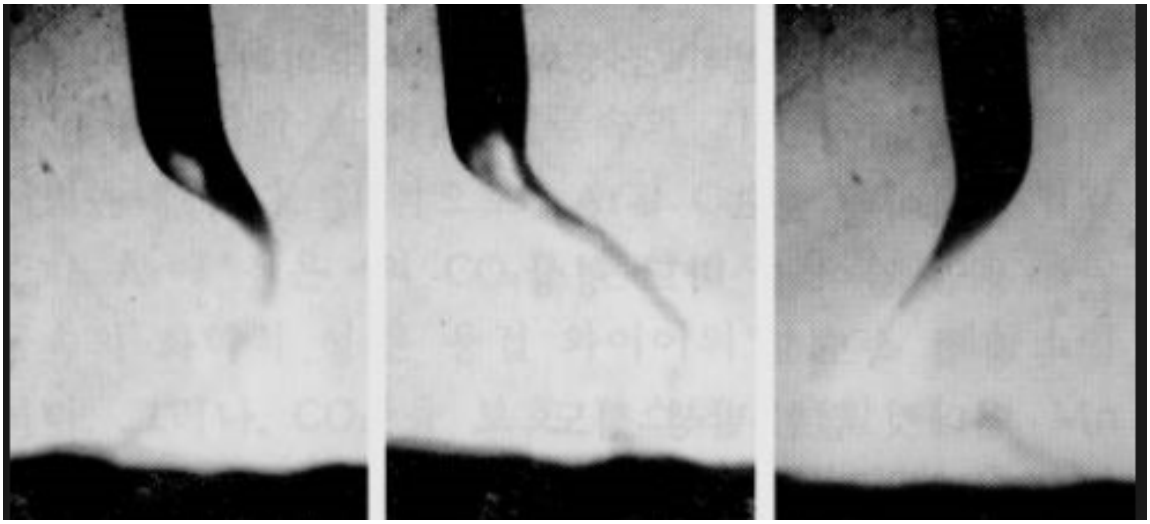


Fig. 1.1 Rotating droplet.

1.1.2 연구목적

아크 용접 공정의 생산성 향상을 위하여 탄뎀 시스템이 제안되었고, 많은 연구가 이루어졌다. 특히 DC 정전압 - DC 정전압 비동기 형을 이용한 연구와 DC 펄스 - DC 펄스 동기형 탄뎀 시스템은 많은 연구가 이루어졌다.[1-4] 하지만 DC 정전압 - DC 정전압 비동기형 시스템의 경우 아크 간섭이 심하게 일어나기 때문에 용접 조건 선정이 까다롭다는 단점을 가지고 있고 또한 DC 펄스 - DC 펄스 동기형 탄뎀 시스템은 아크 간섭을 줄이기 위하여 펄스 타이밍을 제어하는 시스템이 필요하기 때문에 시스템 장비 비용이 많이 든다는 단점이 있다.

특히 DC 펄스 - DC 펄스 동기형 탄뎀 시스템은 많은 개발이 이루어졌다. 오스트리아의 프로니우스社는 DC 펄스 - DC 펄스 동기화 탄뎀 시스템을 이용하여 피크 전류가 역 위상차로 용접이 되게 하는 시스템을 구축하여 아크 간섭을 최대한 억제하였고(Fig. 1.2), 일본의 CLOOS社의 경우 DC 펄스 - DC 펄스 동기화 탄뎀 시스템을 동기화지만 펄스 타이밍을 동 위상차로 맞추어 탄뎀 용접을 하는 시스템이 있다.(Fig. 1.3) 그러나 위 두 가지 회사들의 용접 동기화 시스템은 위에서 언급한

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

것과 같이 시스템 구축이 고가의 단점이라는 문제가 있다.

탄뎀 용접 시 꼭 동기화를 하지 않고 또한 더 많은 용착량 까지 확보 할 수 있는 DC - AC Pulse 용접에 관한 연구는 아직 많이 진행되지 않았다. DC - AC Pulse 비동기 형 탄뎀 시스템을 구축하기 위해서는 동기화 시스템이 필요하지 않고 단지 기존에 사용하던 DC 정전압 혹은 DC 펄스 용접기와 AC Pulse 용접기만 있다면 탄뎀 용접 시스템을 구성 할 수 있다. 특히 AC 펄스를 탄뎀 시스템에 이용하면 DC Pulse 보다 같은 전류에서 더 많은 용착량을 확보 할 수 있기 때문에, 많은 이점이 있을 것으로 보인다.[5] 그러나 비 동기형 용접이기 때문에 아크 간섭에 의한 많은 문제점이 발생한다. 이러한 아크 간섭에 의한 문제점들은 용접성에 어떻게 영향을 미치는지는 많은 연구가 이루어지지 않았다.

본 연구에서는 기존 탄뎀 동기형 용접 시스템보다 저가의 시스템 구현이 가능한 선행 DC 정전압 or DC 펄스로 용입을 확보하고 후행 AC 펄스를 이용하여 용착량을 확보하면서 용접성을 연구하고자 한다.

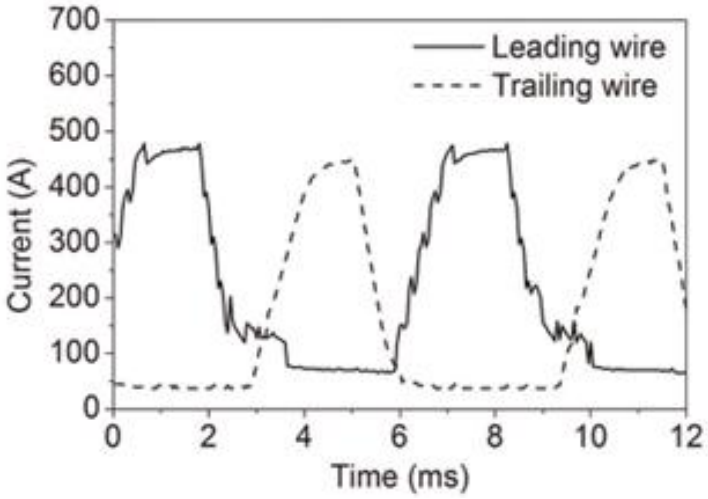


Fig. 1.2 Waveforming of Fronius.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

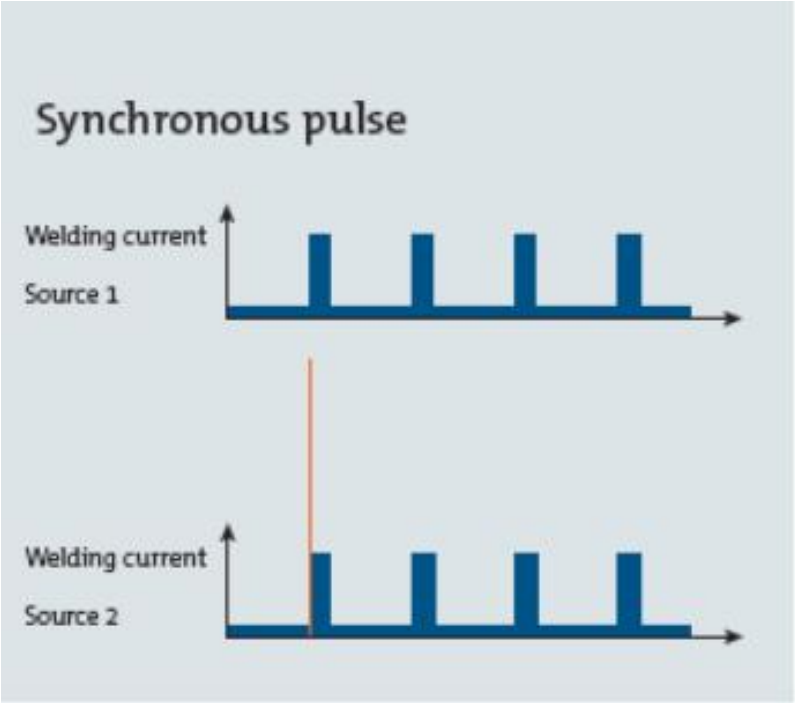


Fig. 1.3 Waveforming of CLOOS.

1.2 국내·외 기술 동향

1.2.1 탄뎀 GMAW 기술동향

탄뎀 GMAW 특히 DC 펄스 - DC펄스 용접에 많은 연구가 진행되었다. Fronius, CLOOS社의 경우 그림과 같이 토치의 간격 및 각도를 고정하는 타입의 토치를 제공하여 DC 펄스 - DC 펄스 파형을 동기화하여 아크 간섭을 최소화하여 안정적인 용접이행을 달성하는 초점을 두어 개발이 진행되었다. 하지만 최근 들어 스틸 와이

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

어를 이용하여 용접하는 경우, 선행 및 후행 파형을 동기화시키지 않아도 용접성을 확보할 수 있다는 보고가 되고 있다.[4]

AC 펄스를 탄뎀 GMAW에 이용하는 사례는 현재 SAW에서만 이용하고 있다. SAW 같은 경우 아크 간섭에 영향을 받지 않기 때문에 자유롭게 이용이 가능하다. 하지만 탄뎀 GMAW의 경우 AC 펄스를 탄뎀 GMAW에 적용하는 사례는 거의 이루어지지 않은 상황이다.[6,7]

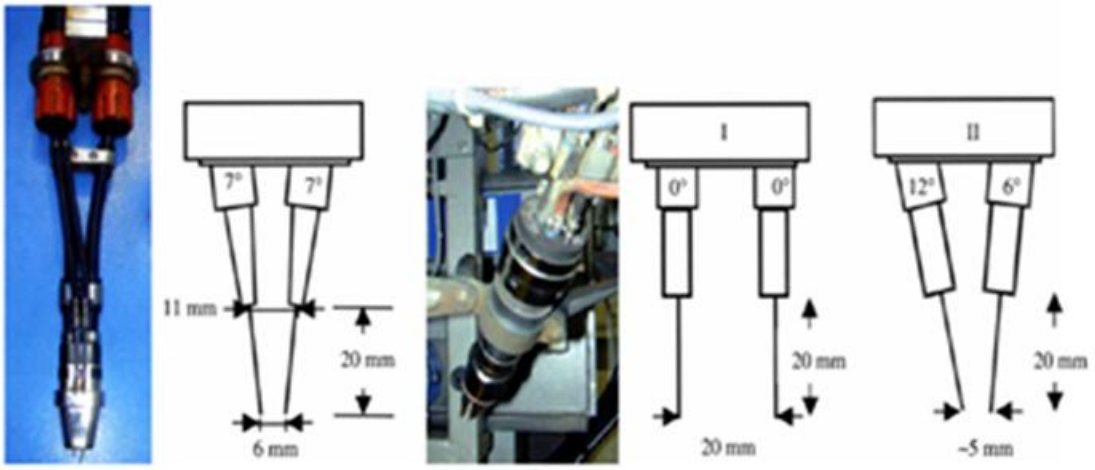


Fig. 1.4 Different tandem torch types.

1.3 GMAW의 특성

1.3.1 GMAW의 원리

GMAW(Gas Metal Arc Welding)은 소모성 전극인 와이어를 일정한 속도로 모재에 공급하는 동시에 와이어에 전류를 인가하여 와이어와 모재사이에 아크를 발생시키는 용접법 이다. GMA 용접은 그림에서와 같이 아크의 높은 열에 의해 와이어가 용융되고, 아크 기둥을 거쳐 용융풀로 용적이 이행하게 되며, 용융풀과 아크는 가스

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

노즐을 통하여 공급되는 보호 가스로 인해 주위의 대기로부터 보호된다. GMAW 공정은 공급되는 보호 가스의 종류에 따라 크게 세 종류로 분류할 수 있다. 첫째, Ar과 같은 불활성가스만을 사용하는 것을 MIG(Metal Inert Gas) 용접이라고 한다. 둘째, 순수한 탄산가스만을 사용하는 탄산가스 아크용접 또는 CO2 용접이라고 한다. 셋째, 탄산가스와 Ar가스를 혼합시켜 가스를 사용하는 것을 MAG(Metal Active Gas)용접이라고 한다.[8]

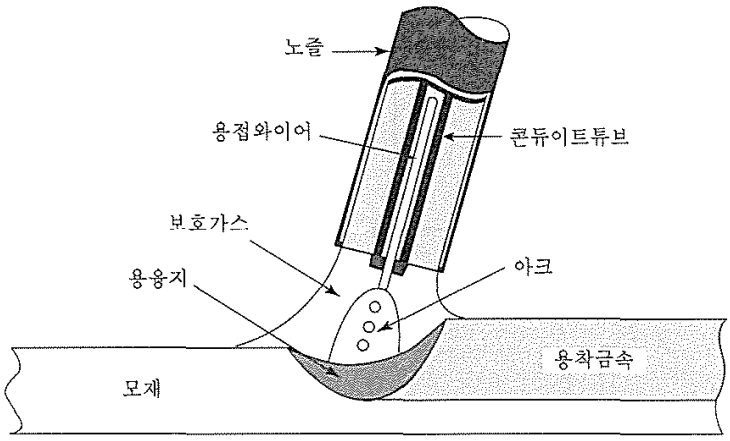


Fig. 1.5 GMAW 원리.

1.3.2 GMAW의 특징 [26]

- 용접봉을 갈아 끼우는 작업이 불필요하기 때문에 능률적이다.
- 슬래그가 없으므로 슬래그 제거 시간이 절약된다.
- 용접재료의 손실이 적으며 용착효율이 95% 이상이다. (SMAW: 약 60%)
- 전류밀도가 높기 때문에 용입이 크다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 2 장 연구 방법

2.1 연구 방법

1장. 서론
• 본 연구의 배경 및 목적 국내외 기술 동향 • GMAW(Gas metal arc welding) 원리

↓

2장. 실험 방법 및 조건
• 사용 소재 : SPCC 440, AWS A5.18 ER70S-3 • 용접 방법 : Tandem GMAW • 용접 조건 및 평가 방법에 대한 서술

↓

3장. DC - AC pusle 탄뎀 GMAW 공정변수별 용접 특성
• 와이어간 거리에 따른 용접 특성 고찰 • 선행 및 후행 와이어의 전류에 따른 용접 특성 고찰

↓

4장. DC 펄스 - AC 펄스 탄뎀 GMAW 공변수별 용접 특성
• 선행 및 후행 와이어의 전류에 따른 용접 특성 고찰 • DC - AC 펄스, DC 펄스 - AC 펄스 용접성 비교

↓

5장. 결론
• DC 펄스 - DC 펄스, DC 펄스 -AC 펄스 용접성 비교 • DC 펄스 - AC 펄스 탄뎀 GMAW의 결론

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

2.2 실험방법 및 조건

2.2.1 사용 소재

본 연구에서 사용한 용접 와이어는 GMAW에서 가장 많이 이용되는 KISWEL사의 KC-25M(AWS A5.18 ER70S-3) 1.2 mm를 이용하였다. 사용된 용접 와이어의 화학조성과 기계적 성질은 Table 2.1에 나타내었다. 모재는 Mild steel 판재를 이용하여 용접을 진행하였다. 모재의 경우 높은 전류를 인가하여도 용접이 가능한 12 mm 두께를 사용하였다. 보호가스는 Ar 80% + CO2 20% (25 L/min), Ar 90% + CO2 10%(25 L/min)의 보호 가스를 사용하였다.

Table. 2.1 Chemical composition and mechanical properties of weld wire

Chemical composition (%)				
C	Si	Mn	P	S
0.061	0.220	0.019	0.018	2.503

Mechanical properties		
Yield stress(MPa)	Tensile stress(MPa)	Elongation(%)
440	540	30

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2.2.2 실험장비

본 연구에서는 DC - AC Pulse 탄뎀 GMAW을 위하여 두 대의 용접기를 사용하였다. 용접기는 Daihen社(Fig. 2.1)의 P500L과 DW300(Fig (2.2)을 사용하였다. 아크 간섭 현상과 용융풀 유동의 관찰을 위하여 Photron社의 Mini UX50 초고속 카메라를 이용하였다고, 와이어 간 거리의 변화와 와이어 간 각도를 설정하기 위하여 설계한 지그를 사용하였다.

P500L용접기의 주요 사양은 정격 출력 전류(30~500 A), 정격 출력 전압 (12~45 V)를 사용 할 수 있고, 정격 사용률은 최대 80%이다. DW300용접기의 주요 사양은 정격 출력 전류 (30~300 A), 정격 출력 전압 (12~35 V)를 사용하며, 정격 사용률은 최대 80%이다.

P500L용접기를 선행 와이어에 연결하여 DC 정전압, DC 펄스 용접을 수행하였다. 탄뎀 GMAW에서는 대부분 용입 확보를 위하여 선행 와이어에 DC 전류를 인가하는 것으로 알려져 있다. DW300용접기는 후행 와이어에 연결하여 AC 펄스 용접을 수행하여 용착량 확보를 하였다.

Fig. 2.1 Welding machine - P500L.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 2.2 Welding machine - DW300.

2.2.3 용접조건

탄뎀 GMAW에서는 선행 및 후행 와이어의 전류 그리고 와이어간 거리(Inter-wire distance) 마지막으로 와이어간 각도(Inclination angle between two wires)가 용접성에 많은 영향을 미친다. 따라서 위의 변수에 따른 용접성을 평가하였다.

첫 번째로 와이어 간 각도의 설정은 탄뎀 GMAW에서 용융 풀의 유동에 영향을 많이 주는 것으로 알려져 있다. 대부분의 탄뎀 GMAW에서 선행보다는 후행 와이어에 의한 각도설정이 용융 풀의 유동을 억제해 좋은 용접비드를 얻을 수 있는 연구가 많이 보고가 되고 있다.[3] 따라서 토치 간 거리의 다양한 설정을 위하여 선행 13도 후행 13도 총 와이어 간 각도를 26도로 고정을 하여 실험을 진행하였다.

두 번째로 와이어간 거리의 설정은 탄뎀 GMAW에서 아크 간섭에 많은 영향을 준다는 보고가 많이 있다.[4] 하지만 이러한 연구는 대부분 후행 와이어에 DC 펄스를 이용하는 경우가 대부분 이다. 따라서 AC 펄스를 사용하였을 때에도 기존의 연구와 비교하여 아크 간섭이 심하게 일어나는지 그리고 극성이 역극성에서 정극성으로 바뀌였을 때 아크 간섭 현상에 어떠한 변화가 생기는지 관찰하기 위하여 와이

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

어 간 거리를 8~18 mm로 변수를 주어 실험을 진행하였다. Fig. 3.1은 용접토치의 구성을 나타냈다.

마지막으로, 선행 및 후행 와이어의 전류에 따라 아크 간섭 및 용융풀의 유동에 영향을 주기 때문에 선행 와이어의 전류를 250~350 A, 후행 와이어의 전류를 100~300 A까지 변화를 주면서 실험을 진행하였다.

실험 조건은 Table에서와 같이 정리를 하여 실험을 진행하였다.

Table. 2.2 Welding parameters used in the experiments

용접 변수	용접 조건	
와이어간 거리 (mm)	8~18	
용접전류 (A)	Leading current	250 ~ 350
	Trailing current	100 ~ 300
용접 전압 (V)	Leading current	26~39
	Trailing current	18.5~26
용접속도 (m/min)	1.6	
Contact tip에서 모재까지의 거리 (mm)	20	

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

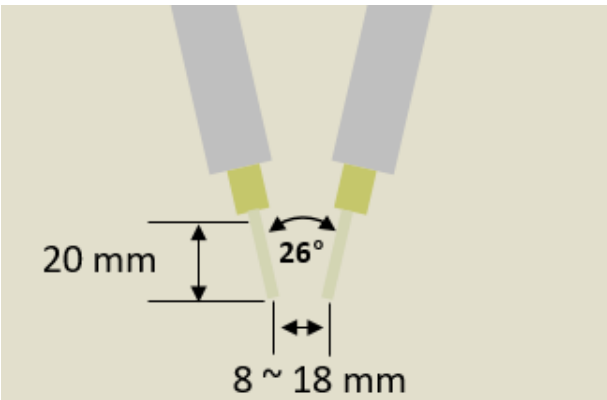


Fig. 2.3 Schematic diagram of experimental setup.

2.2.4 용접 특성 평가

(1) 용접부 외관 및 단면 분석

용접변수에 따른 탄뎀 GAMW 실험을 진행한 후, 조건별로 용접된 시험편을 육안으로 용접비드 형상 및 스패터를 관찰하였다.

(2) 초고속 카메라 촬영

실험을 진행하면서 동시에 초고속 카메라를 촬영하여 용접 변수에 따라 아크 간섭이 어떻게 변하는지 그리고 아크 간섭이 용접성에 미치는 영향, 그리고 용융 풀의 유동에 어떤 변화를 주어 용접성에 영향을 주는지 관찰하였다.

(3) 전류, 전압 측정

초고속 카메라 촬영과 함께 용접 중 전류와 전압을 동기화하여 측정, 이에 따라서 선행 및 후행 와이어의 전류 파형에 아크 간섭 및 용적 이행의 안정성을 관찰하였다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(4) 단면 분석

AC 펄스를 사용하게 되면 용입에 불리한 단점이 있기 때문에 이러한 용입의 확보가 충분히 됐는지 판단하기 위하여 용접부의 단면 분석을 통해 용입을 확인하였다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 3 장 DC 정전압 - AC 펄스 탄뎀 GMAW 공정변수별 용접 특성

3.1 와이어 간 거리에 따른 용접 특성

3.1.1 와이어 간 거리에 따른 아크간섭 현상

DC 정전압 - AC 펄스 GMAW의 용접 평가에서 첫 번째로, 아크 간 간섭 현상의 평가를 진행하였다. Fig. 3.1a를 보면 비드 외관에 많은 스패터가 발생한 것을 관찰할 수 있다. 이러한 이유는 Fig. 3.2a에서 보듯이 아크 간섭이 현상이 심하게 나타나 이로 인해 후행 와이어의 용적이행이 용융풀이 아닌 용접 비드 주변으로 날림이 발생한다. 이러한 용적 날림은 결국 스패터로 남게 된다. 그리고 선행과 후행이 서로 다른 극성일 때에는, 척력이 작용하여 선행 아크가 뒤로 밀려나는 것을 관찰 할 수 있다. 이러한 아크 간섭현상은 기존의 연구 결과와 같이 와이어 간 거리가 가까울수록 현상이 두드러지게 나타나고, 와이어 간 거리가 12 mm ~ 15 mm부터는 아크 간섭이 감소하는 것을 Fig. 3.2a에서 관찰할 수 있다. 와이어간 거리가 18 mm 일 때는 아크 간섭이 거의 일어나지 않는 것을 Fig. 3.2a에서 관찰 할 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

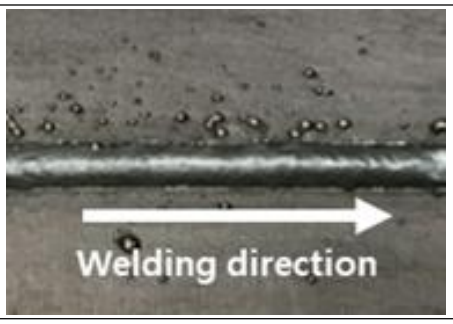
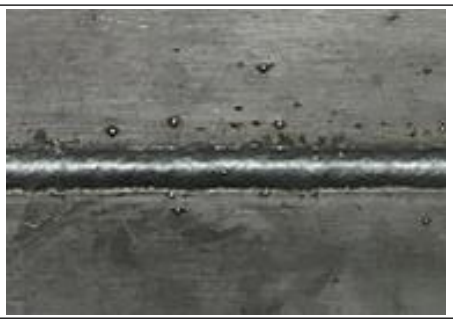
Inter-wire distance	Bead appearance
8 mm	
	(a)
12 mm	
	(b)
15 mm	
	(c)
18 mm	
	(d)

Fig. 3.1 Comparison of bead appearance according to the inter-wire distances.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

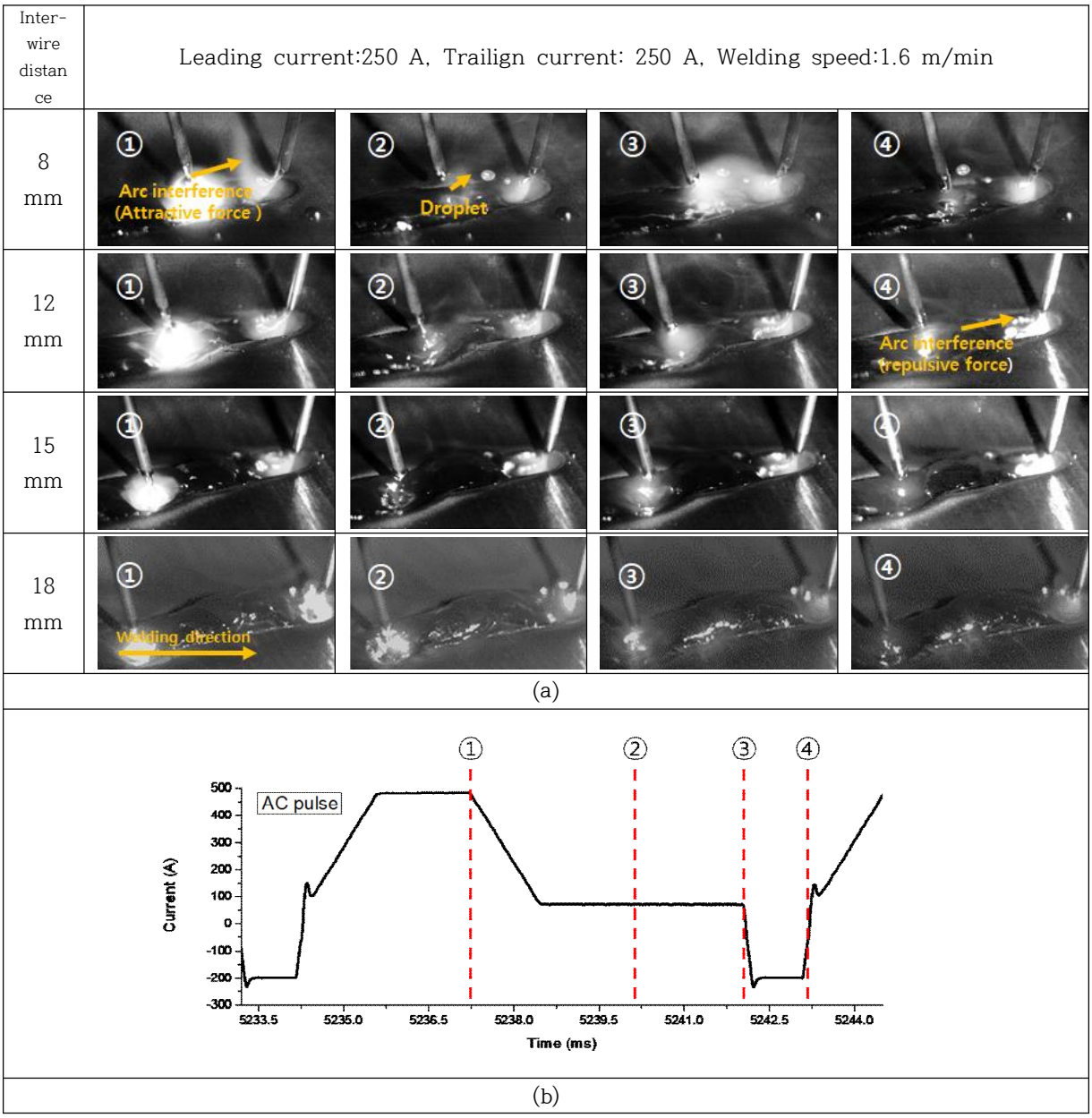


Fig. 3.2 Arc interference and droplet phenomena with different inter-wire distances.

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

3.1.2 와이어간 거리에 따른 스패터 발생

와이어간 거리에 따라 아크 간섭이 변화하게 되고 이러한 아크 간섭의 변화에 따라 용적 이행이 안정적이거나 불안하게 된다. 앞에서 언급한 것과 같이 선행 와이어와 후행 와이어의 극성이 같은 경우(Fig. 2.5c) 인력작용에 의해 심한 경우 용적이 완전히 이탈되어 용접비드 외관에 좋지 않은 영향을 끼치는 것을 Fig. 3.1을 통해 관찰 할 수 있다.

와이어 간 거리에 따라 선행인 DC 정전압에서 용적이행 모드가 바뀌는 것을 관찰할 수 있다. 실험에서는 선행 및 후행 와이어의 전류 조건을 동일하게 선정하고 와이어 거리만 변경하였다. 그러므로 선행 DC의 용적이행 모드는 전류 값이 같기 때문에 일정하여야 한다. 선행 실험으로 선행 DC 전정압에 250 A의 전류를 인가하여 용접 하는 경우 프로젝티드 이행이 발생하여 안정적인 용적 이행이 발생하는 것을 확인하였다. 그러나 Fig. 2.5를 관찰하면 스트리밍 이행으로 용적이행이 발생하는 것을 관찰 할 수 있다. 이는 후행 와이어의 입열에 의해 선행 와이어에 입열이 증가하여 프로젝티드 이행이 발생하던 용적이 스트리밍 이행으로 변환되는 것으로 보인다. 이러한 이행 모드의 변화는 Fi.g 2.4a에서 보는 것과 같이 프로젝티드 이행이 발생하는 와이어 거리(12 mm 이상)는 아크 간섭이 발생하여도 용적 날림이나 스패터가 발생하는 경우가 적지만, 스트리밍 이행으로 바뀌는 와이어 거리 (8 mm)에서는 스패터가 자주 발생하여 스패터가 증가함을 Fig. 3.1의 비드 외관을 통해 알 수 있다.

본 실험에서는 스패터가 발생하는 조건이 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째로 Fig. 2.5a일 때 후행 AC 펄스가 역극성일 때 선행 와이어의 전류와 같은 극성을 가지기 때문에 서로 인력이 작용하게 된다. 이러한 인력이 작용한 이후 그림 Fig. 2.5b에서 보듯이 용적이 용융 풀에 이행되지 않고 날림 현상이 발생하여 용접성에 악영향을 미친다. 두 번째로 Fig. 2.5c-f를 보게 되면 후행 전류가 정극성이 되어 선행 아크와 척력이 작용하는 조건이 발생하게 되는데, 이때 순간적으로 선행 와이어에서 용융된 와이어가 모재와 닿는 현상을 발견 할 수 있다. 이때 Fig. 2.5d

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

를 보면 순간적으로 단락이 일어나 아크가 약해지는 것을 볼수 있다. Fig. 2.5d-f의 그래프를 관찰하면 선행 전극의 전압이 순간적으로 낮아지며 단락되어 전류가 상승함을 볼 수 있다. 이러한 단락 현상에 의해 선행 와이어가 순간적으로 스패터를 발생 시킨다.

또한 위에서 언급한 용적 날림 현상과 스패터 발생 현상은 와이어간 거리가 가까울수록 선행 용적이행 모드가 스트리밍 이행 모드일 때 주로 발생 하는 것을 그림을 통해 관찰 할 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

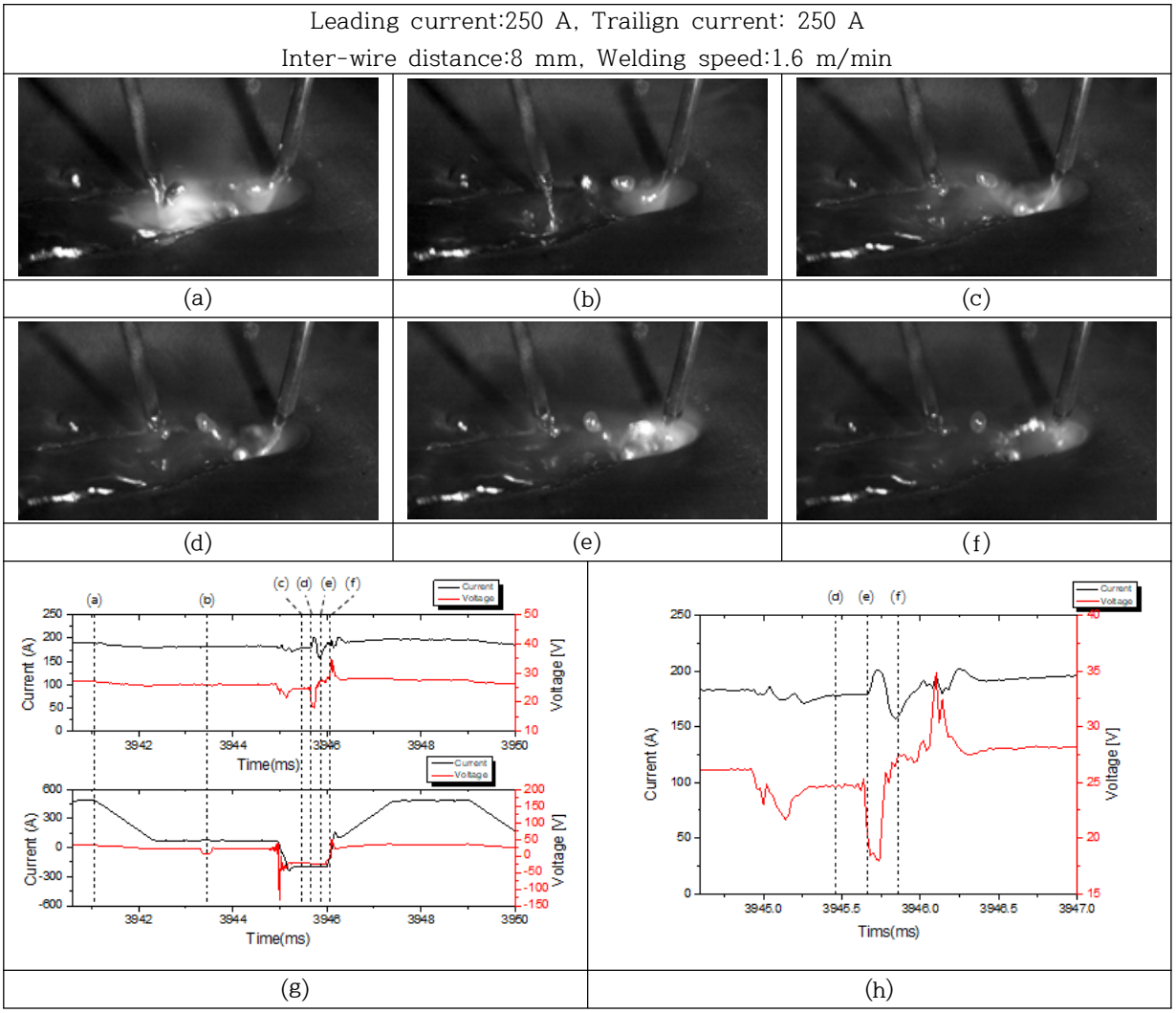


Fig. 3.3 Measured current-voltage waveform and high-speed camera images during the constant voltage DC-AC pulse tandem GMAW welding.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.1.3 와이어간 거리에 따른 용접성 평가

와이어 간 거리에 따라 아크 간섭, 선행 와이어인 DC 정전압의 용적 이행 모드의 변화(프로젝티드 이행 -> 스트리밍 이행)으로 인하여 용접성이 크게 달라짐을 결론을 내릴 수 있다. 특히 와이어 간 거리가 가까울수록(8 ㎜) 후행 와이어의 입열량이 선행 와이어의 입열량을 증가시켜 이행 모드를 프로젝티드 이행보다 스트리밍이 행이 자주 발생하는 경우를 만들어 용적 날림, 스패터 발생을 증가시키는 경향을 보인다. 이러한 스패터 발생 조건은 두 가지로 선행과 후행이 같은 극성일 때 서로 인력이 발생하여 선행 와이어의 용적 이행이 제대로 이루어지지 않고 용적이 날림 현상을 일으키고, 선행 와이어와 후행 와이어의 전극이 서로 반대일 경우 척력이 작용하여 선행 와이어의 용융된 용적이 용융 풀과 접촉하게 되어 단락 현상에 의해 스패터가 발생한다.

결론적으로 와이어 간 거리가 12 ㎜, 15 ㎜ 일 때 용접성이 좋은 결과를 보여 와이어 간 거리를 12 ㎜로 선정 하였다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.2 전류에 따른 용접 특성

3.2.1 선행 전류에 따른 스패터 발생

3.1의 결과에서 와이어 간 거리에 따라 이행 모드가 바뀌게 되고 이는 후행 와이어에서 발생한 입열이 선행 와이어의 입열을 주어 용적 이행 모드가 프로젝티드 이행과 스트리밍 이행 두 가지로 나타났다. 특히 스트리밍 이행이 발생하면 용적 날림 현상 및 단락 현상에 의한 스패터 발생이 증가함을 보았다. 따라서 선행 전류의 변화에 따라 용적 이행이 어떻게 변화하는지에 대해 알아보고 또한 용접 이행 모드의 변화에 따라 용접성이 확실히 바뀌는지 알아보기 위해 선행 전류는 프로젝티드 이행이 발생하는 250 A부터 350 A 까지 변수를 주었고 후행 전류의 값은 선행 전류 값의 31~50% 일 때 가장 안정적인 용접이 가능하다고 알려져 있다.[3] 본 연구에서는 후행 전류의 값을 선행 전류의 40%로 설정하여 100~140 A로 변수를 주면서 실험을 진행하였다.

Fig. 3.4에서 선행 전류의 증가에 따라 용접부 외관에 스패터 발생량이 증가하는 것을 관찰 할 수 있다. 이러한 이유는 전류가 250A(Fig. 3.5c) 일때 용적이행 모드가 프로젝티드 이행이 발생하여 아크 간섭이 발생하여도 용적 이행이 안정적인 것을 볼 수 있다. 그러나 선행 전류가 300A(Fig. 3.5b) 일 때 선행 와이어의 입열량이 증가하여 용적 이행모드가 프로젝티드 이행과 스트리밍 이행 모두 두 가지가 교차로 발생하여 스트리밍 이행시에는 3.12에서 언급 한것과 같이 용접성에 악영향을 미치고 프로젝티드 이행이 발생할 때는 안정적인 용적이행이 일어나는 것을 관찰 할 수 있다. 마지막으로 선행 와이어의 전류가 350A(Fig. 3.5a 일때 와이어에 가해지는 입열이 더 증가하여 이행 모드는 스트리밍 이행으로 완전히 바뀌게 된다. 이로 인해 아크 간섭에 의한 용적날림 그리고 단락에 의한 스패터 현상이 자주 발생하여 용접성에 악영향을 미친다. 또한 선행 전류의 증가에 따라 전자기력이 커지기 때문에 아크 간섭이 더 심하게 발생하여, 스패터 발생 현상을 증가시킨다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

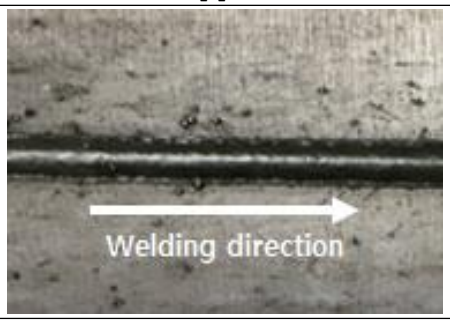
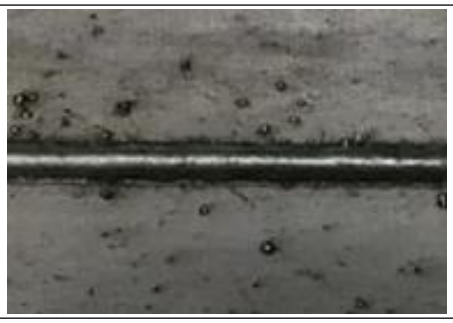
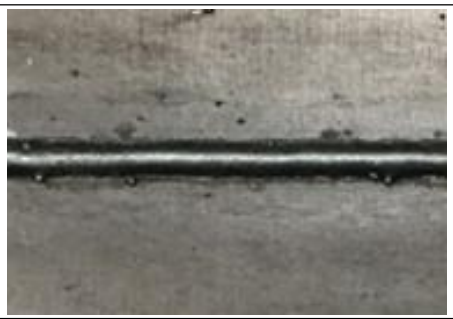
Current (A)	Bead appearance
Leading: 350 Trailing: 140	
	(a)
Leading: 300 Trailing: 120	
	(b)
Leading: 250 Trailing: 100	
	(c)

Fig. 3.4 Comparison of bead appearance according to the leading current.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

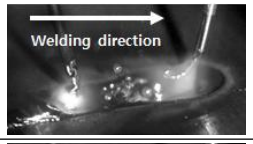
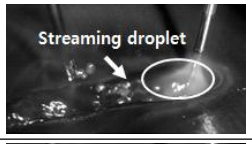
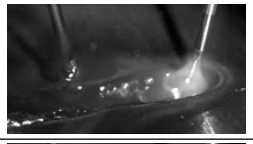
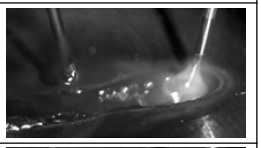
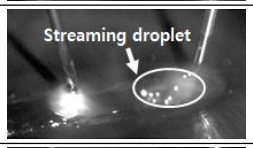
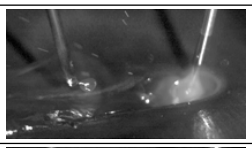
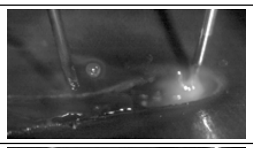
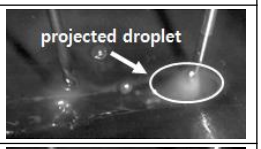
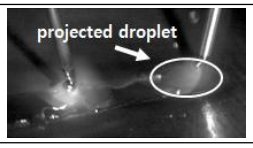
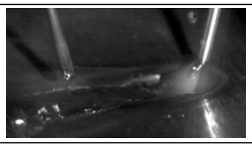
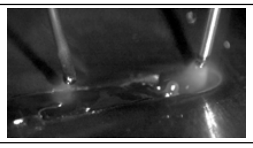
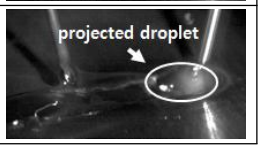
Current (A)	Inter-wire distance:12 mm, Welding speed:1.6 m/min			
Leading: 350 Trailing: 140 (a)				
Leading: 300 Trailing: 120 (b)				
Leading: 250 Trailing: 100 (c)				

Fig. 3.5 High-speed camera images for different leading currents.

3.2.2 선행 전류에 따른 용접성 평가

선행 와이어의 전류에 따라 선행 와이어에 가해지는 입열이 바뀌게 되어 용적 이행 모드가 바뀌게 되는데, 와이어 간 거리에 따른 평가결과와 같이 선행 와이어의 전류 증가 즉 선행 와이어에 가해지는 입열이 증가하면 용적 이행 모드를 변화시켜 용접성에 큰 영향이 미친다. 특히 이번 실험에서는 선행 와이어가 250 A 일 때 프로젝티드 이행이 발생하여, 안정적인 용적이행이 가능해져 좋은 용접비드 및 외관을 얻을 수 있었다. 그러나 300A 이상의 전류를 선행 와이어에 인가하게 되면, 용적 이행 모드가 스트리밍 이행으로 바뀌게 되어 용적 날림 현상과 스패터현상이 증가하게 된다. 결과적으로 용접성에 악영향을 주는 것으로 보인다. 따라서 DC정전압 - AC 펄스 탄뎀 GMAW에서는 선행 와이어의 용적이행이 프로젝티드 이행이 발생하여야 안정적인 용접성을 보인다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3.2.3 후행 전류에 따른 스패터 발생

DC정전압 - AC 펄스 탄뎀 GMAW마지막 평가 사항인 후행 와이어의 전류를 변화 주는 실험을 진행하였다. 선행 와이어의 전류가 250A 이하일 때 안정적인 용적이행이 발생하는 것을 결론을 내어서 선행 와이어의 전류 값은 250 A로 고정을 하고 후행 와이어의 전류를 100, 200, 300 A로 변수를 주면서 실험을 진행하였다. Fig. 3.6에서 관찰 할 수 있듯이 후행 전류가 증가함에 따라 용접비드 주변에 스패터가 많이 발생한 것을 관찰 할 수 있다.

후행 와이어의 전류가 100 A(Fig. 3.7a)일 때 선행 와이어의 용적 이행은 프로젝티드 이행이 발생하여 아크 간섭에 의한 용적 날림 및 단락 현상이 거의 일어나지 않아 스패터의 발생량이 적다. 그러나 후행 와이어의 전류가 200 A(Fig. 3.7b)일 때 선행 와이어의 용적 이행은 프로젝티드 이행과 스트리밍 이행을 교차하면서 발생하여 스트리밍 이행에 의한 용적 날림 및 단락 현상이 발생하여 스패터 증가량을 볼 수 있다. 마지막으로 후행 와이어의 전류가 300 A(Fig. 3.7c)가 되면 선행 와이어의 용적 이행이 스트리밍 이행으로 완전히 바뀌게 되어 스패터 발생량이 더 증가하게 된다.

3.2.4 후행 전류에 따른 용접성 평가

후행 전류의 증가에 따라 입열이 증가하게 된다. 이러한 입 열 증가는 선행 와이어의 입열에 영향을 준다. 즉 후행 와이어의 전류가 증가하게 되면 선행 와이어에 가해지는 입열이 증가하여 선행 와이어의 용적 이행을 바꾸고 이러한 용적 이행의 변화에 따라 아크 간섭현상에 의한 선행 와이어의 용적 날림 및 단락 현상이 발생하여 스패터 발생이 증가한다. DC 정전압 - AC 펄스 탄뎀 GMAW를 이용하는 경우 선행 와이어의 용적 이행이 크게 영향을 미치고 이에 따라 용접성에 큰 차이를 보이게 된다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

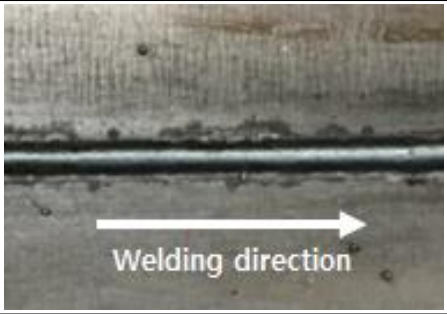
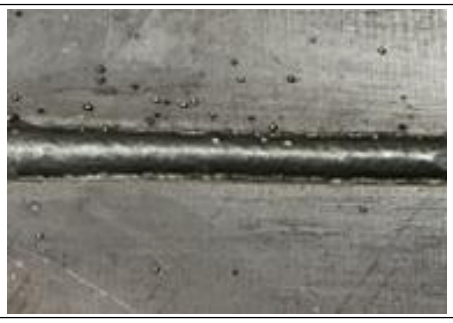
Inter-wire distance:12 mm, Welding speed:1.6 m/min	
Current (A)	Bead appearance
Leading: 250 Trailing: 100	
	(a)
Leading: 250 Trailing: 200	
	(b)
Leading: 250 Trailing: 300	
	(c)

Fig. 3.6 Comparison of bead appearance according to the trailing current.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

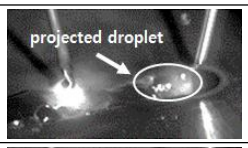
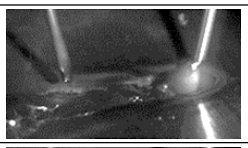
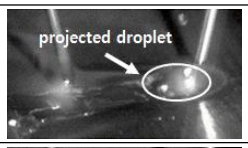
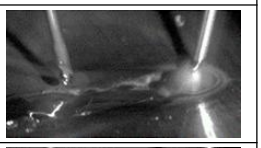
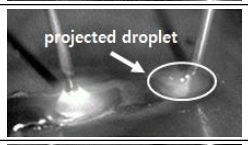
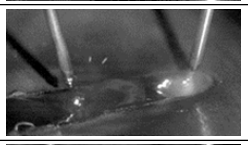
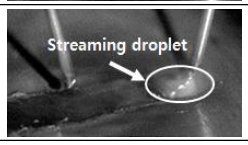
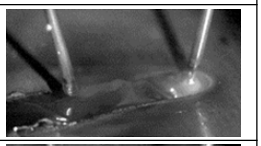
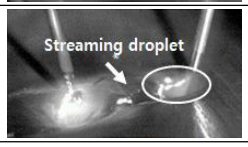
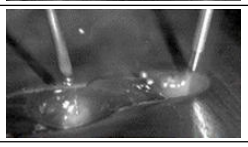
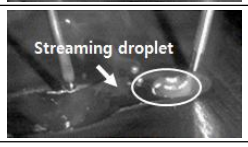
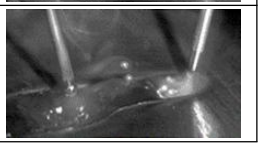
Trailing current (A)	Inter-wire distance:12 mm, Welding speed:1.6 m/min			
(a) 100				
(b) 200				
(c) 300				

Fig. 3.7 High-speed camera images for different trailing currents.

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

제 4 장 DC 펄스 - AC 펄스 탄뎀 GMAW 공정변수별 용접 특성

4.1 전류에 따른 용접 특성

4.1.1 선행 전류에 따른 용접성 평가

3장에서 선행 와이어를 DC 정전압로 이용했을 경우 선행 와이어의 이행 종류에 따라 용접성의 큰 차이를 보였다. 용적 이행이 프로젝티드 이행일 경우 가장 안정적인 용접이 가능했다. 대 용착량 달성을 위하여 높은 전류 대역을 이용하는 경우 용적 이행이 스트리밍 이행이 발생하면서 아크 간 간섭에 의한 스패터 발생량이 증가하면서 용접성에 악영향을 끼쳤다. 결국 선행을 DC 정전압을 이용하는 경우 용접 가능 범위가 상당히 한정적이고 그에 따라 대용착 달성에 제한적인 용접 조건을 이용할 수 있다.

선행 와이어에 용적 이행 모드에 영향을 받지 않고 ODOP(One Drop One Pulse)를 안정적으로 달성 할 수 있는 DC 펄스를 이용하여 용접성을 평가하고자 했다. 선행을 DC 정전압으로 이용했을 때와 비교 하기 위하여 와이어간 거리는 12 mm 로 고정을 하였고 선행 전류와 후행 전류를 조건을 동일하게 하여 용접성 평가를 진행하였다.

선행 전류는 선행을 DC 정전압으로 이용한 용접성과 비교 하기 위하여 250, 300, 350 A의 조건으로 수행을 평가하였다. 후행 전류도 3장의 실험과 동일 하게 100, 120, 140 A로 설정하여 아크 간섭 및 용적 이행 그리고 용융 풀의 유동을 관찰하였다. Fig. 4.1에서 관찰 할 수 있듯이 Leading current가 250, 300, 350로 증가하여도 모두 안정적인 용접 비드와 스패터가 거의 발생 하지 않을 것을 용접 비드 사진에서 관찰 할 수 있다. 스패터가 발생하지 않는 일어나는 이유를 알아보기 위하여 초고속 카메라 사진을 분석하였다. Fig. 4.2a를 보게 되면 후행 와이어의 전류가 역극성일 때 선행 와이어의 전류와 같은 극성이기 때문에 서로 인력이 작용

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

하게 된다. Fig. 4.2b일 때 아크 간섭이 생긴 후 용적 이행이 용융풀에 안정하게 이행 되는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 선행 와이어의 DC 펄스와 후행의 AC 펄스의 용적 이행이 peak 전류에서 이루어 지기 때문에 서로의 아크력에 의한 직진성이 강하기 때문에 용적 이행이 용융풀로 안정적으로 이행 되고 스패터가 발생하지 않는다. Fig. 4.2d~e일 때, 선행 와이어의 전류가 역극성에서 정극성으로 바뀌는 구간이고 선행 와이어와 반대의 극성을 가지기 때문에 이론상으로는 척력이 시작되는 구간이지만 선행 아크에 큰 영향력은 미치지 못해 용적 이행에 안정성은 그대로 유지된다. Fig. 4.2f를 관찰 하게 되면 후행 와이어의 전류가 정극성으로 선행 와이어와 반대의 극성을 가지고 있기 때문에 척력 작용이 가장 큰 곳이다 Fig. 4.2c와 비교하여 선행 아크에 척력 작용을 하지만 용접성에 크게 영향을 줄 정도의 아크 간섭은 발생하지 않는다. 이러한 이유는 후행 와이어의 peak 전류가 선행 와이어에 비해 작은 값을 가지고 있기 때문이다. 그리고 후행 와이어의 경우 정극성일 경우 와이어의 용융을 시키는 구간이기 때문에 아크 간섭과는 무관하다.

선행 전류를 300 A(Fig. 4.3), 350 (Fig. 4.4)로 증가시켰을 때에도 비슷한 경향을 보인다. 실험에서 수행한 선행 전류를 250 ~ 350 A로 바꾸어도 안정적인 용접 이행이 선행과 후행 와이어에서 모두 잘 일어나고 아크 간섭이 발생 하지만 안정적인 용접 비드 형성과 스패터 발생에는 영향을 주지는 못한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

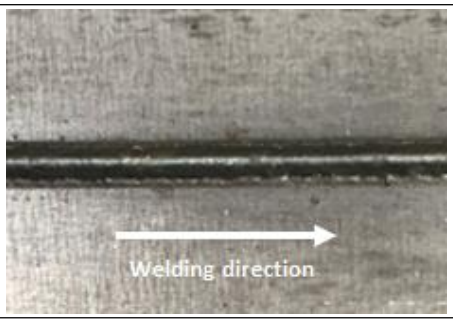
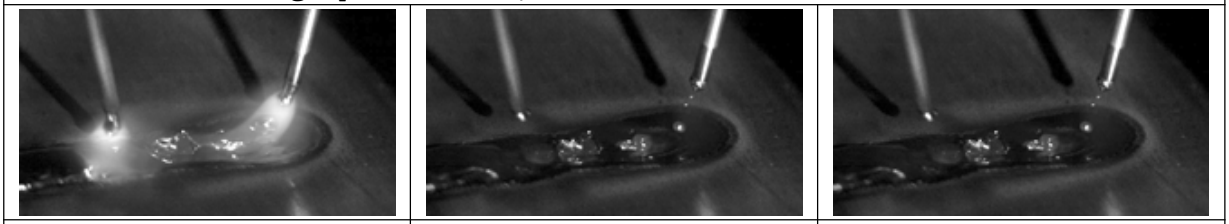
Welding speed: 1.6 m/min, Inter-wire distance: 12 mm	
Current (A)	Bead appearance
Leading: 250 Trailing: 100	
	(a)
Leading: 300 Trailing: 120	
	(b)
Leading: 350 Trailing: 140	
	(c)

Fig. 4.1 Comparison of bead appearance according to the leading current.

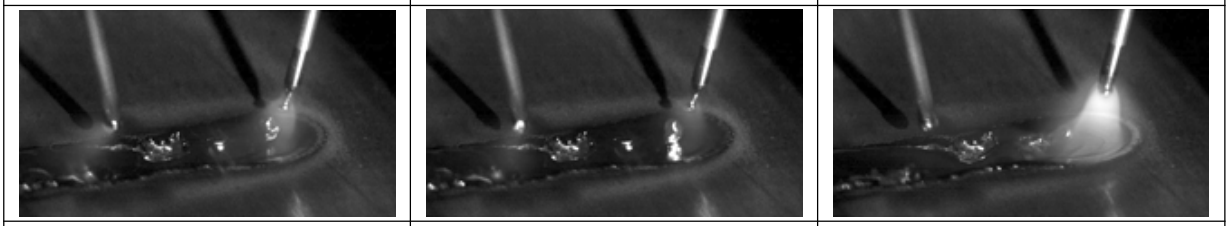
Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

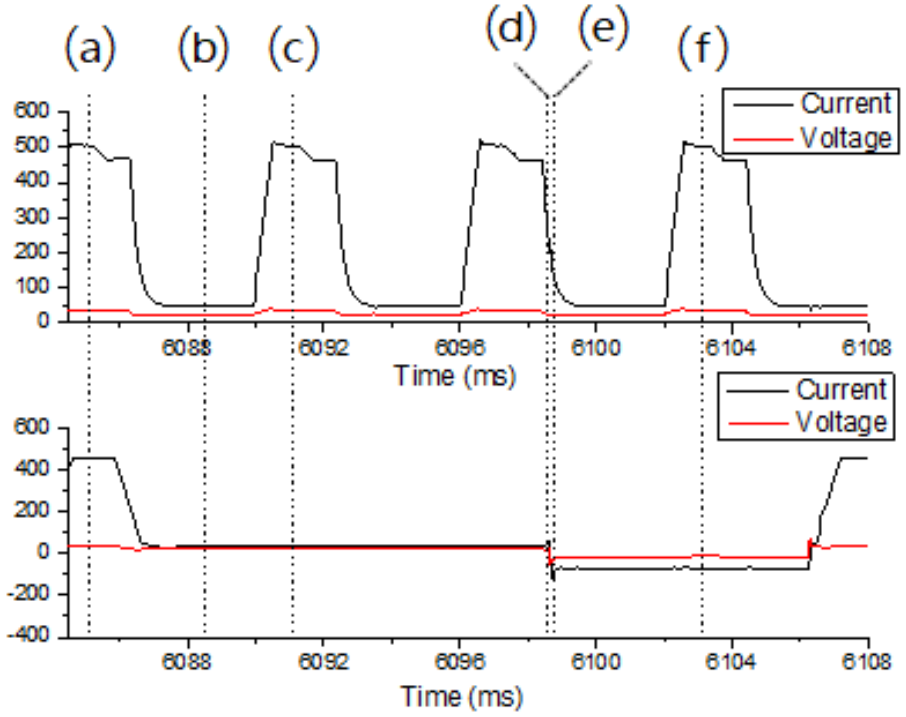
Welding speed: 1.6 m/min, Inter-wire distance: 12 mm



(a) (b) (c)



(d) (e) (f)



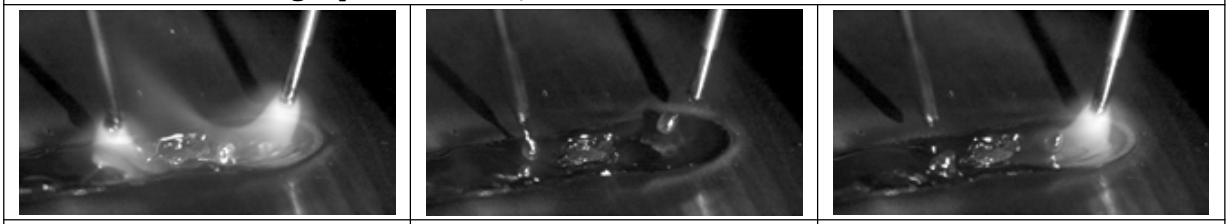
(g)

Fig. 4.2 Measured current-voltage waveform and high-speed camera images during the constant voltage DC pulse-AC pulse tandem GMAW welding. (Leading current: 250 A, Trailing current : 100 A)

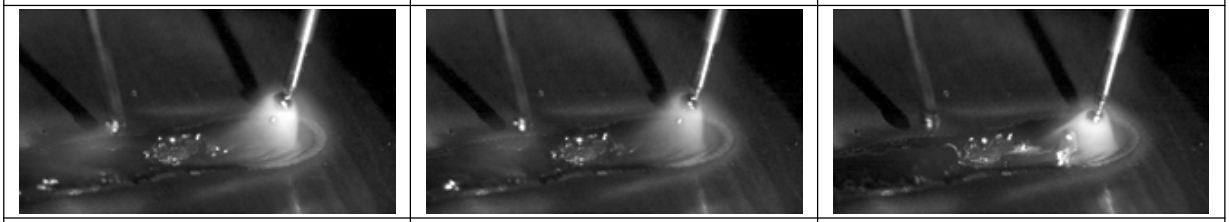
Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

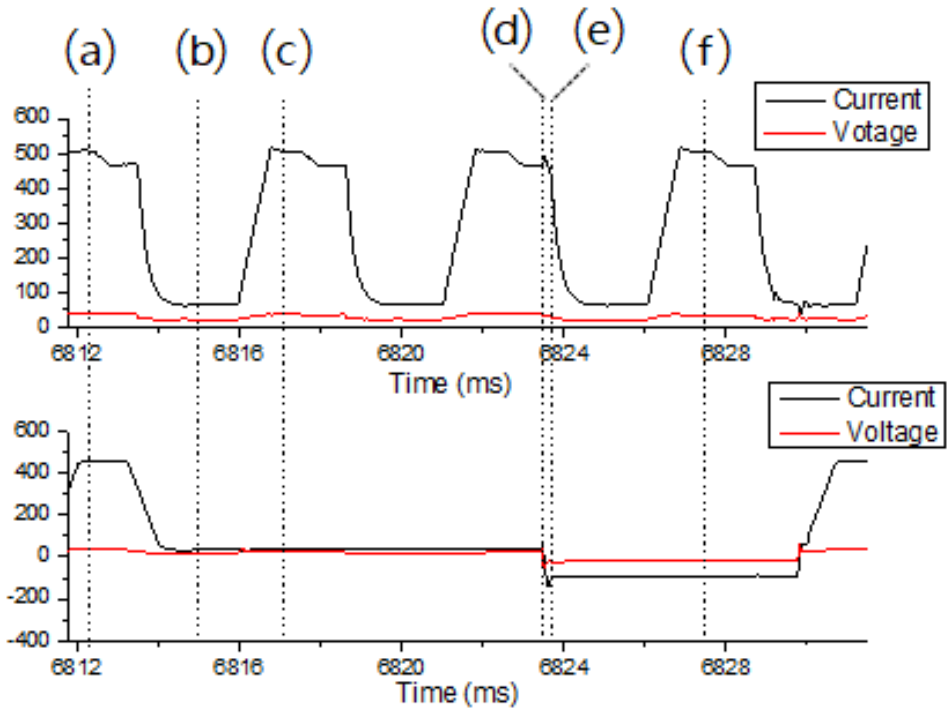
Welding speed: 1.6 m/min, Inter-wire distance: 12 mm



(a) (b) (c)



(d) (e) (f)



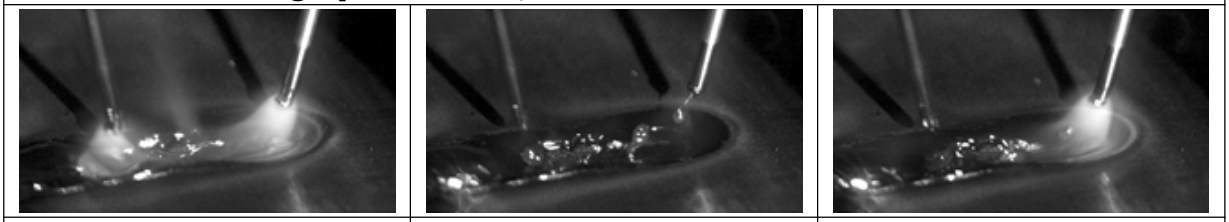
(g)

Fig. 4.3 Measured current-voltage waveform and high-speed camera images during the constant voltage DC pulse-AC pulse tandem GMAW welding. (Leading current: 300 A, Trailing current : 120 A)

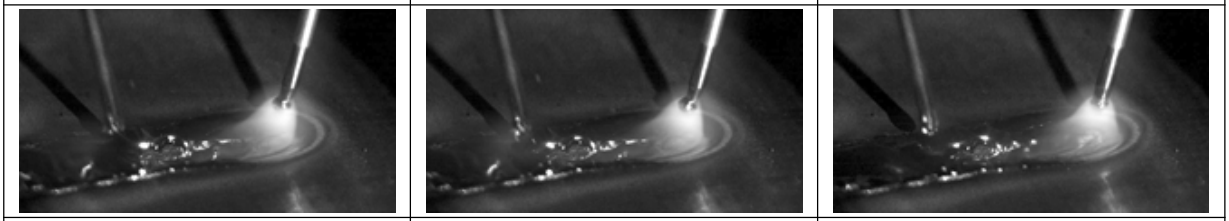
Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

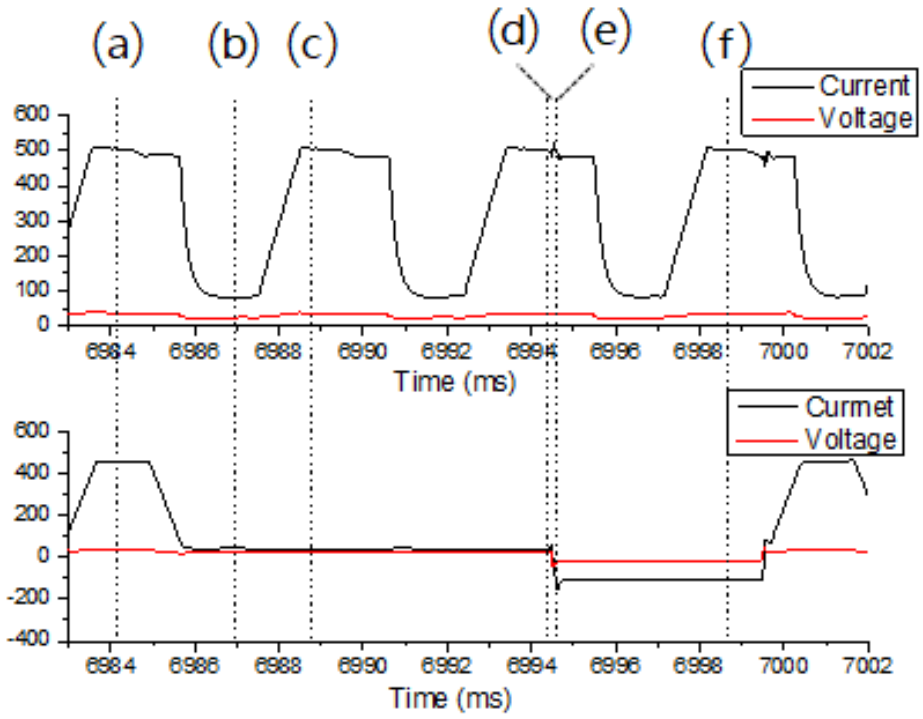
Welding speed: 1.6 m/min, Inter-wire distance: 12 mm



(a) (b) (c)



(d) (e) (f)



(g)

Fig. 4.4 Measured current-voltage waveform and high-speed camera images during the constant voltage DC pulse-AC pulse tandem GMAW welding. (Leading current: 350 A, Trailing current : 140 A)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

4.1.2 후행 전류에 따른 용접성 평가

후행 와이어의 전류 (AC 펄스)의 증가에 따라 용접성에 어떤 영향을 미치는지에 알아보기 위하여 선행 와이어의 전류 (DC 펄스)를 250 A로 고정하고 후행 와이어의 전류를 100, 200, 300 A로 증가시키면서 실험을 진행하였다. Fig. 4.5를 보게 되면 후행 전류가 증가하여도 좋은 용접 비드와 스패터도 거의 발생하지 않은 것을 볼 수 있다. 이러한 이유는 초고속 카메라를 통하여 관찰하였다. Fig. 4.6은 4.1.1의 결과와 같이 선행 및 후행이 역극성으로 같은 극성(인력)을 가질 때와 선행 와이어의 전류가 역극성이고 후행 와이어가 정극성의 반대의 극성을 가질 때 (척력)이 발생할 때 안정적인 용적 이행과 스패터 발생이 없는 것을 보았다. Fig. 4.7를 보게 되면 후행 와이어의 전류가 200 A,로 증가하여도 여전히 안정적인 용적 이행과 스패터가 발생하지 않는 것을 볼 수 있다. 마지막으로 후행 전류가 300 A로 증가하면 용접부 외관에서는 보이지 않던 스패터가 후행 와이어에서 한 번씩 발생 하는 것을 관찰할 수 있는데, 이는 두 와이어 사이의 융풀이 부풀어 올라 후행 와이어와 접촉하는 현상이 생겨 스패터가 한번씩 발생하는 것을 Fi.g 4.7에서 관찰 할 수 있다. 이는 T. Ueyama의 연구 결과와 비슷한 결과임을 볼 수 있다.[3]

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

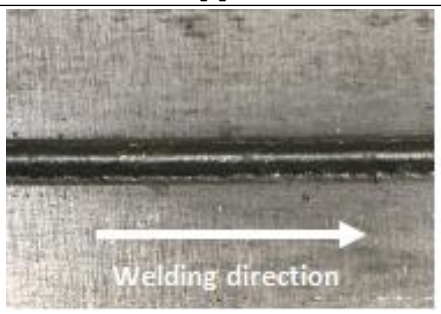
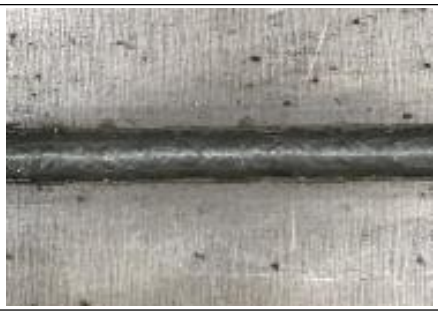
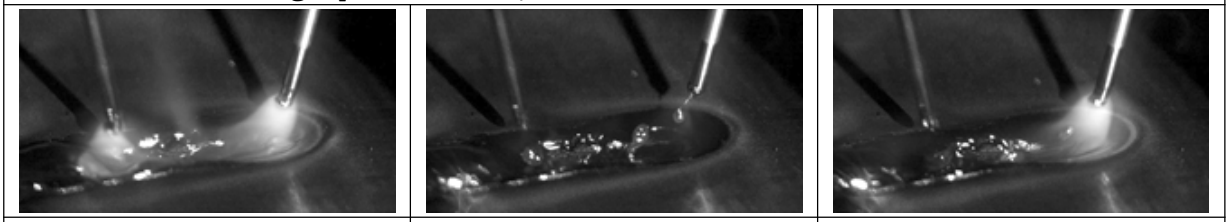
Welding speed: 1.6 m/min, Inter-wire distance: 12 mm	
Current(A)	Bead appearance
Leading: 250 Trailing: 100	
	(a)
Leading: 250 Trailing: 200	
	(b)
Leading: 250 Trailing: 300	
	(c)

Fig. 4.5 Comparison of bead appearance according to the trailing current.

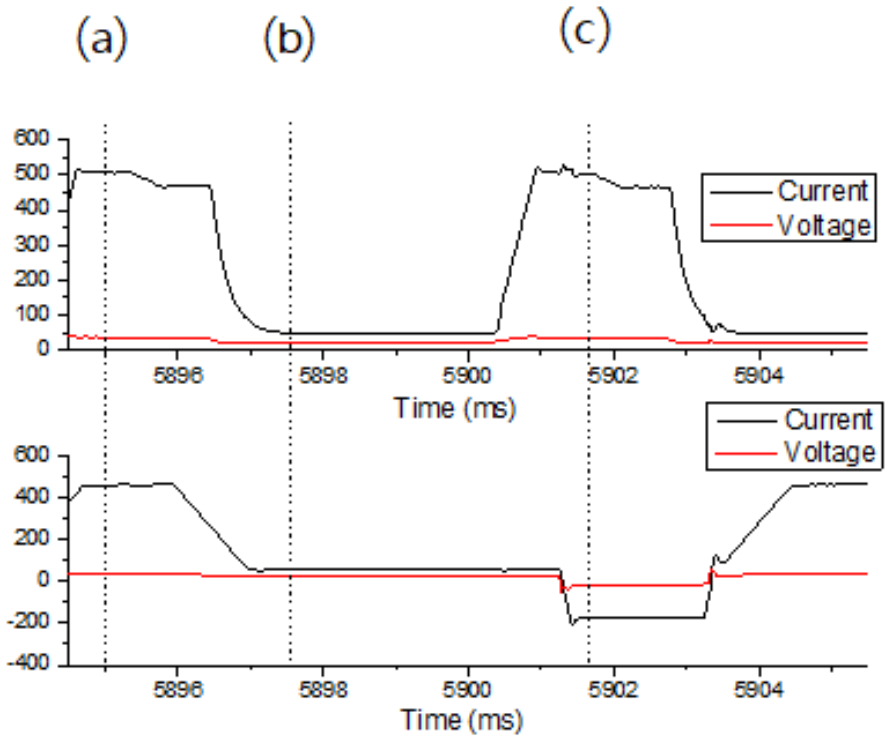
Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Welding speed: 1.6 m/min, Inter-wire distance: 12 mm



(a) (b) (c)



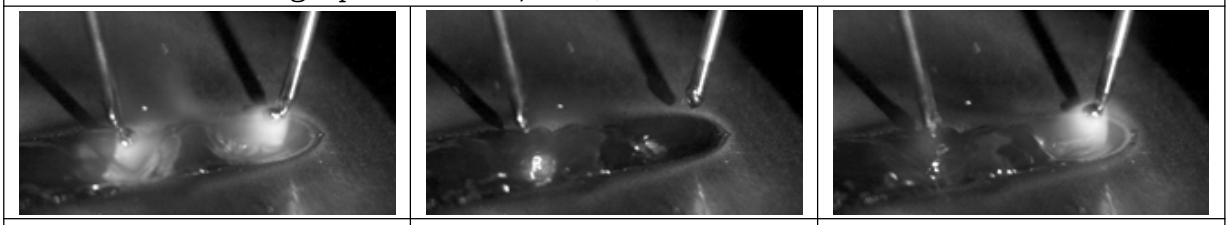
(d)

Fig. 4.6 Measured current-voltage waveform and high-speed camera images during the constant voltage DC pulse-AC pulse tandem GMAW welding. (Leading current: 250 A, Trailing current : 200 A)

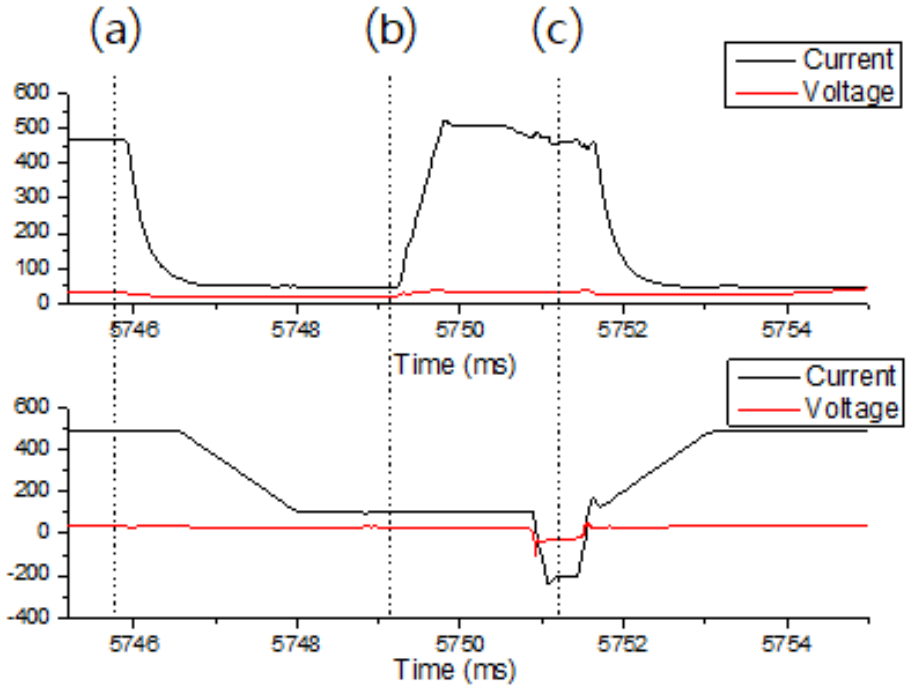
Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Welding speed: 1.6 m/min, Inter-wire distance: 12 mm



(a) (b) (c)



(d)

Fig. 4.7 Measured current-voltage waveform and high-speed camera images during the constant voltage DC pulse-AC pulse tandem GMAW welding. (Leading current: 250 A, Trailing current : 300 A)

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

4.2 DC 정전압-AC 펄스, DC 펄스-AC, DC 펄스-DC 펄스 탄뎀 GMAW 공정비교 평가

4.2.1 DC 정전압-AC 펄스, DC 펄스-AC 펄스 비교 평가

3장에서 실험되었던 선행이 DC 정전압과 DC 펄스와 용접성을 비교 평가하여 후행 와이어를 AC 펄스로 이용한 경우 어떠한 용접 전류 파형을 이용하는 것이 더 좋은 것인가에 대해서 평가하고자 한다.

Fig. 4.8은 선행 전류를 DC 정전압과 DC 펄스의 같은 전류 대역에서의 용접부 외관을 비교 평가한 것이다. DC 정전압인 경우 3장의 결과와 같이 250 A 이상인 경우 스트리밍 이행이 발생 빈도수가 증가하여 않좋은 용접성을 보이기 때문에, 250 A를 기준으로 비교 평가하였다. 선행을 DC 정전압으로 이용하였을 경우 Fig. 4.8a~c를 관찰하게 되면 선행 와이어의 전류가 가장 안정적인 250 A임에도 불구하고 스패터를 관찰할 수 있다. 하지만 선행 전류를 DC 펄스로 이용한 경우는 용접 비드에서 스패터가 거의 발생 하지 않은 것을 관찰 할 수 있다. 이러한 비교 평가는 후행 전류의 증가에 따라 더욱 차이를 보인다. Fig. 4.8 b를 보게되면 DC 정전압을 이용한 경우 후행 전류의 입열량 증가로 인한 선행 와이어의 용적 이행이 스트리밍 이행이 발생 하는 경우가 생기면서 선행과 후행이 같은 극성일 때 인력 작용에 의한 용적 날림 현상과 다른 극성을 가질 때의 척력 작용에 의한 단락 현상의 증가에 따른 스패터 발생량이 증가한다. Fig. 4.8e에서 보이는 것과 같이 선행을 DC 펄스로 이용한 경우 후행 와이어의 전류의 증가에 상관없이 여전히 스패터 발생량이 거의 없는 것을 관찰 할 수 있다. 마지막으로 후행 전류를 300 A로 증가키면 선행이 DC 정전압인 경우 선행 와이어의 용적 이행이 스트리밍 이행으로 바뀌면서 용적 날림 현상과 단락 현상 발생이 더욱 증가하게 되어 스패터의 발생량이 더욱 증가하지만(Fig. 4.8c), 선행이 DC 펄스인 경우 여전히 스패터 발생이 거의 없는 것을 볼 수 있다(Fig. 4.8f).

AC 펄스를 후행 와이어로 이용하여 탄뎀 GMAW를 이용하는 경우 선행이 DC 정전압

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

을 이용하게 되면 3장에서 보는 것과 같이 안정적인 용접 비드 형성의 조건 구간이 상당히 제한적인 것을 볼 수 있다. 이는 선행 DC 정전압인 경우 용적 이행이 프로젝티드 이행이 발생하는 조건에서 안정적인 용접이 가능했기 때문이다. 선행 와이어의 전류 증가 또는 후행 와이어의 전류 증가로 인한 선행 외어어에 가해지는 입열량 증가로 용적 이행이 스트리밍 이행이 발생하게 되면 선행 및 후행 와이어간 인력이 작용하는 경우 용적 날림 현상의 문제가 발생하게 되고 척력이 작용하는 경우 단락 현상이 발생하게 되어 스패터 증가로 인한 좋지 않은 용접 비드가 형성된다. 하지만 선행을 DC 펄스, 후행을 AC 펄스로 이용하는 경우 인력이 작용하는 전류 구간 및 척력이 작용하는 전류 구간에서도 아크 간섭이 심하지 않고 용적 이행인 ODOP가 이루어 지기 때문에 아크 간섭에 의한 용적 날림이나 단락현상에 의한 스패터 발생이 거의 발생하지 않게 된다. 이는 선행 와이어의 전류가 DC 펄스인 경우 후행 와이어의 AC 펄스의 용적 이행이 아크 직진성이 강한 피크 전류 대역에서 이루어지기 때문에 가능하다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

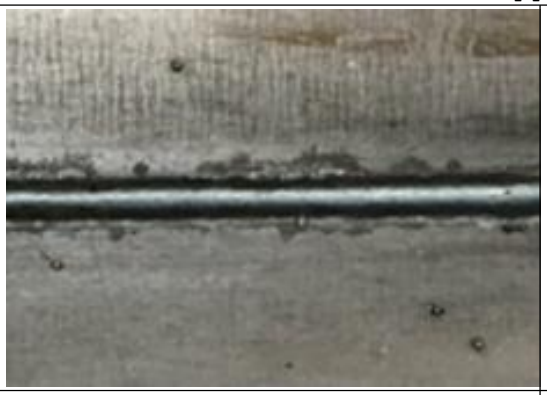
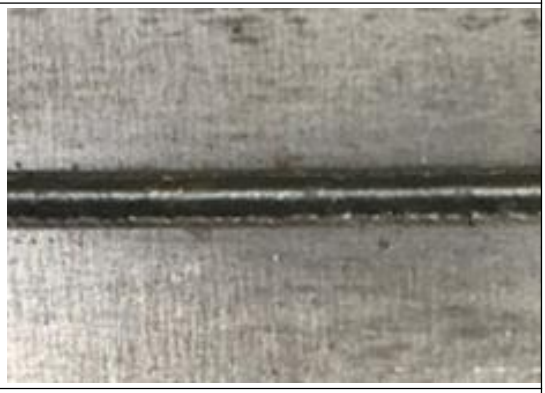
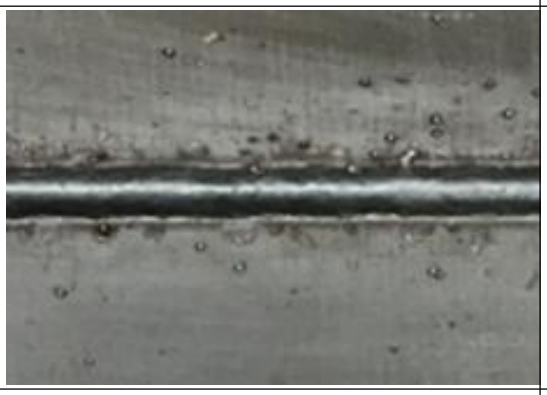
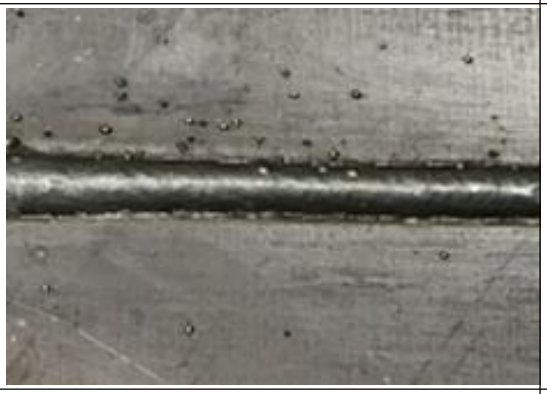
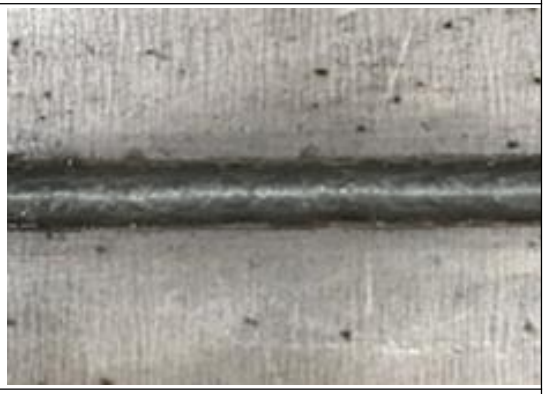
Welding speed: 1.6 m/min, Inter-wire distance: 12 mm		
Current (A)	DC 정전압-AC 펄스	DC 펄스-AC 펄스
	Bead appearance	
Leading: 250 Trailing: 100		
	(a)	(d)
Leading: 250 Trailing: 200		
	(b)	(e)
Leading: 250 Trailing: 300		
	(c)	(f)

Fig. 4.8 Comparison of bead appearance according DC-AC pusle and DC pulse-AC pulse tandem GMAW.

Collection @ chosun

조선대학교 CHOSUN UNIVERSITY

4.2.2 DC 펄스 - AC 펄스, DC 펄스 - DC 펄스비교 평가

기존 탄뎀 GMAW를 이용하는 경우 선행 및 후행을 DC 펄스로 사용하여 많은 연구가 이루어졌다. 이에 이번 연구에서 이용한 DC 펄스 - AC 펄스 탄뎀 GMAW가 기존 DC 펄스 - DC 펄스 GAMW와 비교해여 용입 및 용접 외관 비교로 충분히 이용 가능한 용접 프로세스 인지 비교해 보려 한다.

비교 평가를 위해 단위 길이당 용착량을 맞추기 위해 같은 용접 속도에서 선행 및 후행의 와이어 송급 속도를 같은 값으로 주어 실험을 하였다. Fig. 4.9에서 보듯이 비드 외관을 보게 되면, 후행 전류가 DC 펄스 이거나 AC 펄스인 경우 비슷한 용접 비드를 관찰 할 수 있다. 또한 스패터 발생량도 비슷한 경향을 보인다.

AC 펄스의 경우 와이어의 용융량을 늘리기 위하여 정극성을 한 번씩 이용하는 파형을 이용한다. 따라서 모재에 인가되는 입열량이 줄어들어 용입확보에는 좋지 않은 결과를 가져온다. [8] 따라서 DC 펄스 - DC 펄스 탄뎀 GMAW와 DC 펄스 - AC 펄스 GAMW의 용입량 비교를 위하여 Fig. 4.10같이 용접부 단면 사진을 관찰하였다. Fig. a,c를 비교하게 되면 용입량은 0.1 mm차이로 거의 차이가 발생하지 않는 것을 볼 수 있다. Fig. b,d 도 마찬 가지로 0.1 mm 의 차이를 보여 이는 기존의 탄뎀 방법과 이번 실험에서 후행 와이어의 전류를 AC 펄스로 이용한 경우의 용입의 차이는 없다고 볼 수 있다.

마지막으로 후행 와이어를 AC 펄스로 이용하면 같은 입열량에서 더 많은 용착량 확보를 할 수 있는지 확인하기 위하여 같은 와이어 송급 속도에서의 입열 계산을 하였다. 입열량 계산은 아래의 식과 같이하였다.

$$\frac{|A|\times|V|}{1000\times L} = \text{단위길이당입열량}\,(KJ/cm)$$

$$A = \text{용접전류},\ V = \text{용접전압},\ L = \text{용접길이}$$

위의 식에서 전류와 전압에 절대값을 이용하는 이유는 후행이 AC 펄스인 경우 전류, 전압이 정극성일 때 마이너스 값으로 측정되기 때문에 절대값을 이용하여 단위 길이당 입열량을 계산하였다. Fig. 4.11 후행 와이어의 전류를 AC 펄스로 이용

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

하는 경우 단위 길이당 같은 입열량에서 DC 펄스보다 최대 1.5 m/min의 와이어 송급 속도를 더 사용 할 수 있다. 이는 기존 DC 펄스 - DC 펄스 탄뎀 GMAW보다 DC 펄스 - AC 펄스 탄뎀 GMAW를 이용하게 되면 같은 모재에 같은 입열량을 주면서도 용착량은 증가시킬 수 있는 결과를 낼 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

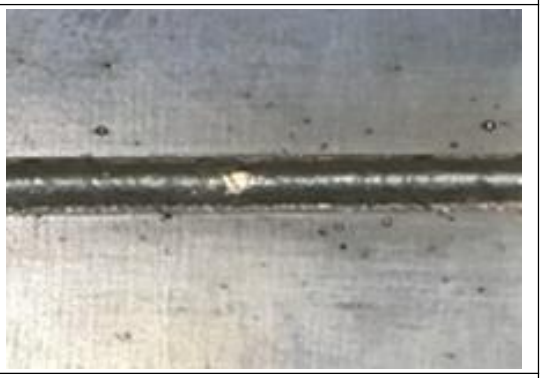
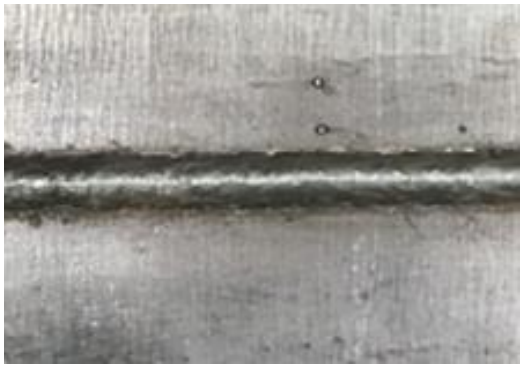
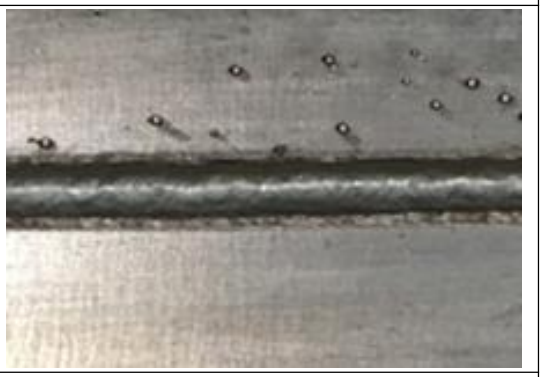
Welding speed: 1.6 m/min, Inter-wire distance: 12 mm		
Wire feeding speed (m/min)	DC 펄스-AC 펄스	DC 펄스-DC 펄스
	Bead appearance	
Leading: 10.8 m/min Trailing: 3.7 m/min		
	(a)	(d)
Leading: 10.8 m/min Trailing: 6.9 m/min		
	(b)	(e)
Leading: 10.8 m/min Trailing: 10.5 m/min		
	(c)	(f)

Fig. 4.9 Comparison of bead appearance according DC pulse-AC pusle and DC pulse-AC pulse tandem GMAW.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

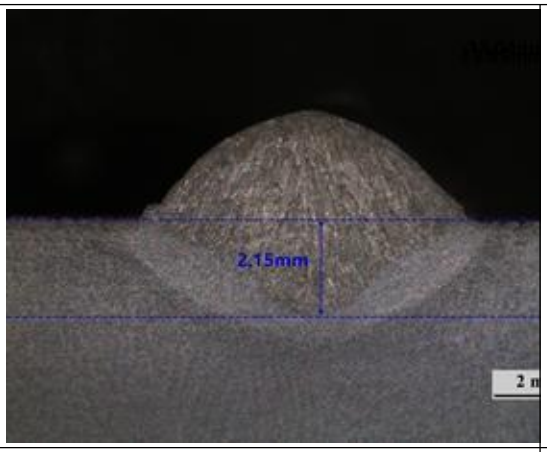
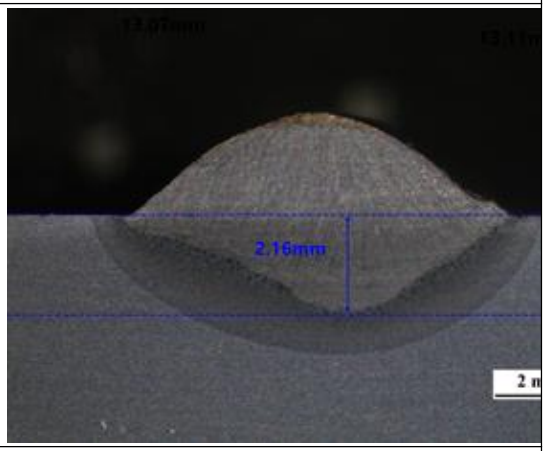
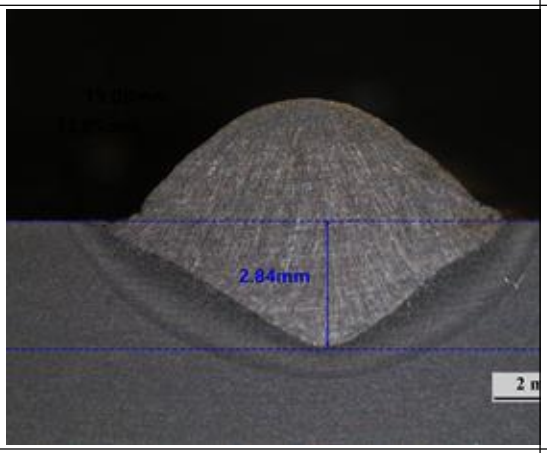
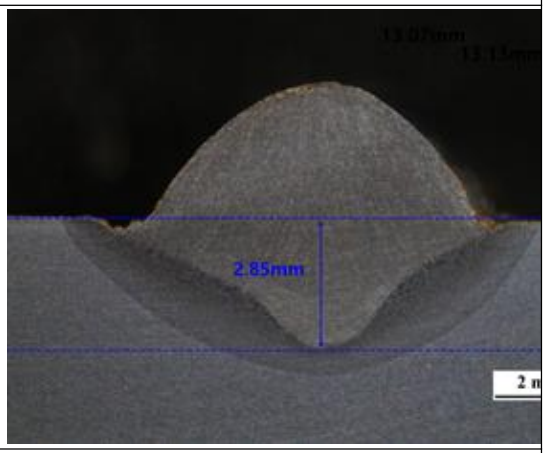
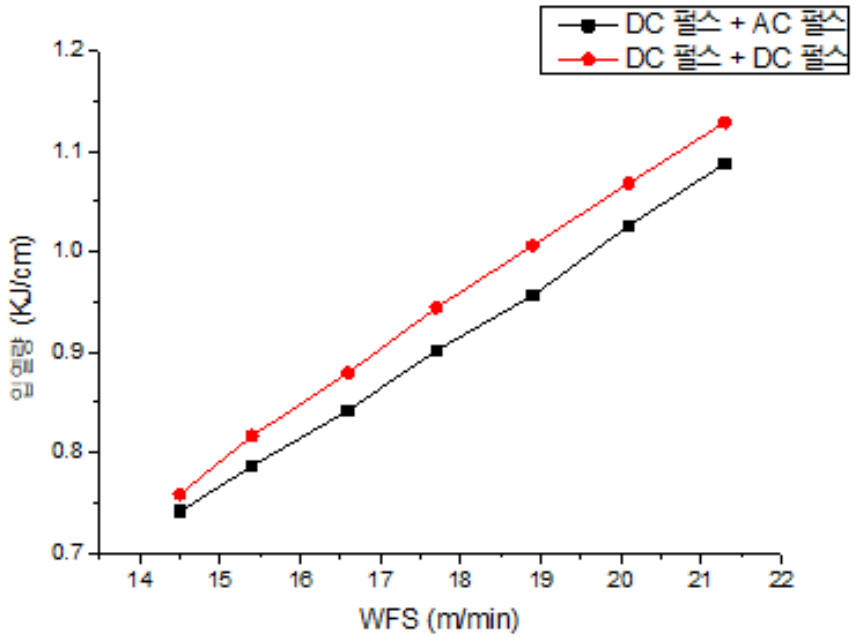
Welding speed: 1.6 m/min, Inter-wire distance: 12 mm		
Wire feeding speed (m/min)	DC 펄스-AC 펄스	DC 펄스-DC 펄스
	Cross-section	
Leading: 10.8 m/min Trailing: 6.9 m/min		
	(a)	(c)
Leading: 10.8 m/min Trailing: 10.5 m/min		
	(b)	(d)

Fig. 4.10 Comparison of cross-section according DC pulse-AC pusle and DC pulse-AC pulse tandem GMAW.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



4.11 Comparison of heat-input according DC pulse-AC pusle and DC pulse-AC pulse tandem GMAW.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 5 장 결 론

본 연구에서는 기존 탄뎀 GMAW에서 이용하지 않았던 AC 펄스를 비동기 형으로 사용하여 용접조건(선행 - DC 정전압 및 DC 펄스, 와이어 간 거리, 선행 및 후행 전류)에 따른 용접부를 평가하고 스패터 발생 거동을 관찰하여 그 특성을 고찰하였다. 또한 기존 탄뎀 GMAW 비동기 형과 용접부 외관, 용입량, 입열량을 비교하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 선행 정전압 DC용접과 후행을 AC 펄스 용접을 비동기 화 탄뎀 GMAW를 이용하는 경우 두 와이어 사이의 와이어 거리는 12 ~ 15 mm 일 때 가장 안정적인 용접이 가능했고 선행 와이어의 용적 이행이 프로젝티드 이행이 발생할 때 가장 안정적인 용접이 가능했다. 스트리밍 이행이 발생하는 경우 아크 간섭에 의한 용적 날림 현상과 단락 현상이 발생하여 스패터가 자주 발생하게 된다. 이는 용접사용 가능 범위가 선행 와이어의 용적 이행이 프로젝티드 이행이 발생하는 전류 대역으로 제한되는 단점이 있다.

2) 선행 DC 펄스와 후행을 AC 펄스 용접을 비동기 화 탄뎀 GMAW를 이용하는 경우 아크 간섭은 발생하지만, 용적 이행이 높은 전류 대에서 이루어지기 때문에 아크의 직진성이 강해 용적 날림이나 단락 현상이 선행 정전압 DC을 이용하는 경우에 비해 현저하게 감소한다. 이로 인한 사용 가능한 전류 대역이 폭이 넓다.

3) 본 실험에서 이용한 DC펄스-AC펄스 비동기 형과 기존에 많이 이용하는 DC펄스-DC펄스 비동기형의 용접 비드 외관 및 용입을 비교하여도 비슷한 용접성을 보인다. 그리고 같은 입열량에서 증가된 용착량을 달성 할 수 있다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

참고문헌

[1] T. Ueyama, T. Ohnawa, T. Uezono, M. Tanaka, M. Ushio and K. Nakata, Soluatuon of problems of arc interruption and stable arc length control in tandem pulsed GMA welding. Study of arc stability in tandem pulse GMA welding (Reprt 2), Welding International, 20-8, 2006, 602-611

[2] T. Ueyama, T. Ohnawa, M Tanaka and K. Nakata, Effect of welding current on high speed welding bead formation in tandem pulsed GMA welding prcess, Welding International, 20-4, 2006, 262-267

[3] T. Ueyama, T. Ohnawa, M. Tanaka and K. Nakata, Effects of torch configuration and welding current on weld bead formation in high speed tandem pulsed gas metal arc welding of steel sheets, Science and Technology of Welding and Joining, 10-6, 2005, 750-759

[4] V. Fershni and S. Matera, The synchronized tandem wire welding prcess applied to the welding of structural plates, Welding International, 23-8, 597-605

[5] H. J. Park, D. C. Kim, M. J. Kang and S. H. Rhee, The International Journal of Technology, 66(5-8), 2013, 867-875

[6] S. Tsushima and M. Kitamura, Tandem electrode AC-MIG welding-Development of AC-MIG welding process (Report 4), Welding International, 8-8, 1994, 599-605

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[7] D. V. Kiran, B. Basu and A. De, Influence of prcess variables on weld bead quality in two wire tandem submerged arc welding of HSLA steel, Journal Materials Processing Technology, 2012, 2041-2051

[8] 용접 · 접합편람, III 공정 및 열가공 (2007), 11-59 (in korea)

Collection @ chosun