



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](#)

공학석사 학위논문

초고용착속도를 얻기 위한
Super-MAG 프로세스 개발에 관한 연구



2016년 2월

부경대학교 대학원

신소재시스템 공학과

김민우

공학석사 학위논문

초고용착속도를 얻기 위한
Super-MAG 프로세스 개발에 관한 연구

지도교수 조 상 명

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.



2016년 2월

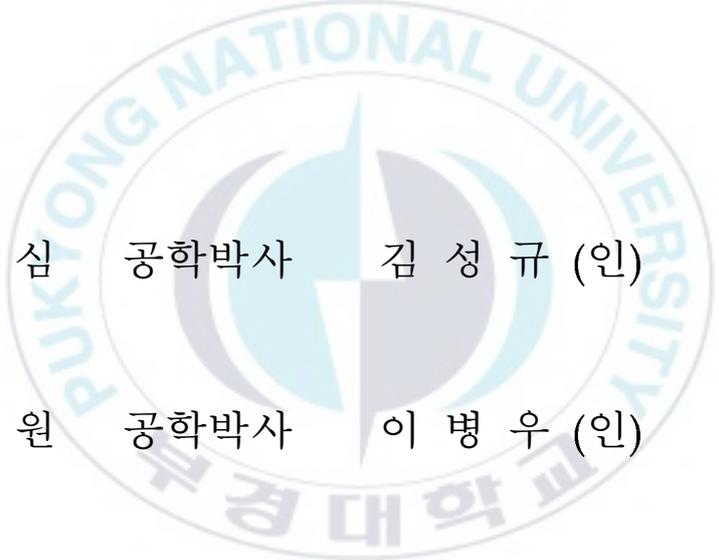
부 경 대 학 교 대 학 원

신소재시스템 공학과

김 민 우

김민우의 공학석사 학위논문으로 인준함

2016년 2월



주 심 공학박사 김 성 규 (인)
위 원 공학박사 이 병 우 (인)
위 원 공학박사 조 상 명 (인)

목 차

Abstract	iii
제 1 장 서 론	1
1.1 연구 배경 및 필요성	1
1.2 연구 목적 및 개요	2
제 2 장 이론적 배경	3
2.1 MAG 용접의 원리 및 장·단점	3
2.2 용적의 이행	5
2.2.1 용적에 작용하는 힘	5
2.2.2 용적이행 모드의 분류	7
2.3 Pulse 용접	9
2.3.1 Pulse energy 정의	11
2.3.2 Comparative arc length 정의	12
2.4 용착단면적의 정의	13
2.5 입열량의 정의	14
2.6 오실레이션용접의 정의	15
2.7 비드 블록 정도의 정의	16
제 3 장 MAG 아크에 송급하는 Filler Wire와 Filler C-Strip 비교실험.....	17
3.1 서언	17
3.2 Parameter 결정	17
3.3 Filler Wire 전방 및 후방 송급 실험	19
3.3.1 실험 재료	19
3.3.2 실험 방법	20
3.3.3 실험 결과 및 고찰	22
3.4 Filler C-Strip 전방 및 후방 송급 실험	26
3.4.1 실험 재료	26
3.4.2 실험 방법	27
3.4.3 실험 결과 및 고찰	29
3.5 Super-MAG 용접의 정의	33
3.6 결론	34

제 4 장 Super-MAG 용접에 의한 기초실험	35
4.1 서언	35
4.2 Super-MAG 용접에서 전류에 따른 Filler C-Strip 송급속도 변경 실험	36
4.2.1 실험 방법	36
4.2.2 실험 결과	38
4.2.3 고찰	45
4.3 결론	52
제 5 장 Super-MAG 용접에 의한 Fillet 용접 적용 실험	53
5.1 서 언	53
5.2 용착속도 21kg/hr에서 용접속도에 따른 Fillet MAG 용접 현상 관찰	54
5.2.1 실험 방법	54
5.2.2 실험 결과	55
5.2.3 고찰	58
5.3 비드 외관 향상을 위한 Fillet MAG 용접 진압 변경 실험	60
5.3.1 실험 방법	60
5.3.2 실험 결과	61
5.3.3 고찰	64
5.4 결론	66
제 6 장 결론	67
참고문헌	68
학위과정 중 주요 학술지 게재 및 발표논문과 특허	69
감사의 글	71

A Study on Super-MAG Process Development for Ultra-high Deposition Rate

Min-Woo, Kim

*Dept. of Materials System Engineering,
The Graduate School, Pukyong National University*

Abstracts

In recent years, it focused on cost reduction through improved welding productivity in order to improve cost competitiveness in the manufacturing sector. Therefore, the groove design changes to increase productivity and high deposition rate process such as applying various methods have been tried.

The welded to excessively high current in order to improve productivity in the workplace. In the work environment, which cause excessive spatter caused by such a strong emitter flammable materials are commonly used easily lead to fires.

Thus, TIG and GMAW Spray Transfer to prefer in the manufacturing sector. But, it is difficult to spot low productivity limitations apply.

So, it is necessary to develop a new welding process in the area GMAW Spray Transfer is less spatter is produced during the arc welding.

Key Words : GMAW, Filler Wire, Deposited Metal, Strip, Heat input,
Super-MAG, Fillet, 1F

제 1 장 서론

1.1 연구배경 및 필요성

최근 제조업 분야(건설 중장비, 자동차, 조선 및 플랜트)에서 가격 경쟁력을 향상시키기 위해 용접 생산성 향상을 통한 원가 절감에 초점을 두고 있다. 이에 생산성을 높이기 위해 용접 그루브 설계 변경이나 고용착 프로세스 적용 등 다양한 방법들이 시도되고 있다.

한편, 고용착 GMAW의 적용에 있어서 650A 이상의 높은 전류를 사용하면 전자기력이 커져 심한 로테이트 이행을 유발하게 되고 이로 인해 아크 불안정과 과도한 스파터가 발생한다.

현업에서는 생산성 향상을 위해 무리하게 높은 전류로 용접을 진행하는데 이때 과도한 스파터로 인화성이 강한 재료들이 많이 사용되는 작업환경에서 쉽게 화재로 이어져 인명피해가 생기거나, 완제품 출시 전 도장단계에서 스파터 제거를 해야 하는 추가 작업으로 이어지는 등 과도한 스파터는 제품의 전체 작업시간 증가로 이어져 원가 상승으로 이어지게 된다.

이에 제조업 분야에서 스파터가 없는 TIG나 GMAW의 Spray Transfer 영역을 선호하게 되는데 생산성이 낮은 한계점에 부딪혀 현장적용에 무리가 있는 실정이었다.

따라서 아크 용접 중 스파터가 적게 튀는 GMAW Spray Transfer 영역에서 새로운 용접공정을 통해 스파터가 없고 낮은 전류 영역대에서 높은 생산성을 얻는 방법에 관한 연구가 필요하다.

1.2 연구 목적 및 개요

본 연구의 목적은 고용착 속도와 스패터 감소 및 낮은 입열량비의 용접부를 얻기 위해 기존의 GMAW 아크에 C형 용가재를 삽입하는 Super-MAG 용접 프로세스를 개발하는 것이다.

이를 위해 평판위에서 기존 $\varnothing 1.6$ Wire GMAW 아크에 $\varnothing 1.2$ Wire와 C-Strip을 추가적으로 전방 및 후방으로 송급하여 비드외관, 횡단면, 동영상으로 아크안정성을 판단하였다.

또한 C-Strip의 송급속도를 0cpm에서 700cpm으로 변경하면서 얻어지는 최대용착속도를 계측하였고, 현장적용가능성을 확인하기 위해 21kg/hr의 용착속도로 Fillet 용접을 실시하여 그 현상을 관찰하였다.



제 2 장 이론적 배경

2.1 GMAW(Gas Metal Arc Welding)의 원리 및 장·단점

GMAW(Gas Metal Arc Welding)는 소모전극을 사용하는 방법으로서 용가재로 작용하는 와이어를 일정한 속도로 용융지에 송급하면서 전류를 통하여 와이어와 모재 사이에서 아크가 발생하도록 하는 용접법이다. Fig. 2.1에서와 같이 연속적으로 송급되는 와이어는 높은 아크열에 의해 용융되어 아크 기둥을 거쳐 용융지로 이행되게 되며, 아크 기둥과 용융부위는 가스노즐을 통해 공급되는 보호가스(Shielding gas)에 의해 주위의 대기로부터 보호된다.¹⁾

이 용접 법은 사용되는 보호가스의 종류에 따라 분류되고 있는데, Ar과 같은 불활성가스를 사용하는 경우를 MIG(Metal Inert Gas)용접, 순수 탄산가스만을 사용하는 경우를 CO₂용접, 탄산가스와 Ar가스를 혼합하여 사용하는 경우를 MAG(Metal Active Gas)용접이라 한다.

이 용접 법은 비교적 세경(0.9~1.6mm)의 전극와이어를 사용하므로 대전류 밀도가 가능하게 되어 용착속도가 높고, 용접 로봇이나 자동화기기를 사용하여 용접 자동화가 비교적 용이하므로 용접 생산성을 높일 수 있다.

본 연구에서는 80%Ar과 20%CO₂를 사용하는 MAG용접을 사용하였다.

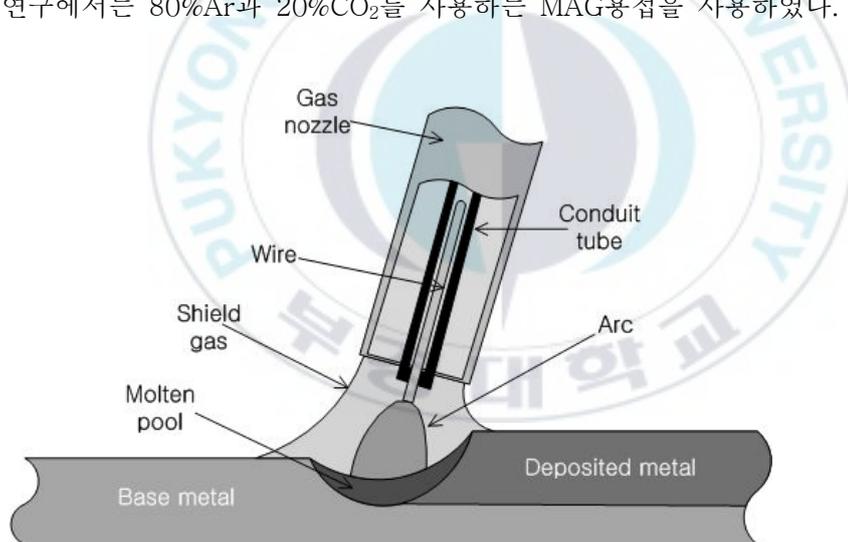


Fig. 2.1 Schematic of gas metal arc welding

GMAW의 전류 밀도는 SMAW에 비해 6배 정도 높기 때문에 용착속도를 증가시킬 수 있다. 또한, 로봇이나 자동화기기 등을 사용하여 용접 자동화가 비교적 용이한 것도 용접 생산성을 높이는 요인 중의 하나이다.

그러나 SMAW에 비해서 장비가 다소 복잡하고 고가이며, CO₂ 용접의 경우에는 스패터가 다량 발생하는 단점이 있다. 스패터가 모재 표면에 부착하면 품질 저하와 외관 손상이 발생할 수 있고, 노즐에 부착하여 보호가스의 공급을 방해할 수 있다. Table 2.1은 SMAW와 비교하여 GMAW의 장·단점을 나타낸 표이다.

Table 2.1 GMAW의 장·단점

장점	단점
<ul style="list-style-type: none"> - 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 깊다. 	<ul style="list-style-type: none"> - 용접장비가 무거워서 이동하기 곤란하고, 구조가 복잡하고 고장율이 높으며 가격이 비싸다. - 용접 토치가 용접부에 접근하기 곤란한 조건에서는 용접이 불가능하다. - 바람이 부는 옥외에서는 보호가스가 보호역할을 충분히 하지 못하므로 방풍막을 설치하여야 한다.

2.2 용적의 이행

용적 이행이란 소모성 전극을 이용한 아크용접에서 용융된 금속이 용융풀로 이행하는 현상을 말한다. 용적이행은 넓은 의미로써 용융금속의 이행뿐만 아니라, 스패터와 같은 불필요한 이행까지도 포함한다. 용적이행은 용접재료, 보호 가스, 용접조건 등에 따라 여러 가지 모드가 발생하며²⁾, 이는 전술한 용접 변수들의 변화에 따라 와이어 선단의 용적에 작용하는 힘들의 크기와 방향이 변화하기 때문이다.

2.2.1 용적에 작용하는 힘

용적에는 Fig. 2.2에 나타난 바와 같이 중력(F_G , Gravitational force), 표면장력(F_r , Surface tension), 전자기력(F_{em} , Electromagnetic force) 및 항력(F_P , Plasma drag force)의 4가지 힘이 작용한다³⁾.

Fig. 2.3는 용접전류가 이들 힘의 크기와 방향에 미치는 영향을 보여주며, 표면장력과 중력은 전류의 영향을 받지 않지만, 전자기력과 항력은 전류의 크기에 따라 큰 영향을 받는다. 특히, 전자기력은 용접전류의 자승에 비례하기 때문에 250A 이상의 고전류 영역에서는 가장 큰 힘이 된다. 저 전류 영역에서는 표면장력과 중력이 큰 힘으로 작용하지만, 고전류 영역에서는 전자기력이 주도적인 역할을 하기 때문에 용적이행은 용접전류에 따라 이행 모드가 변화한다.

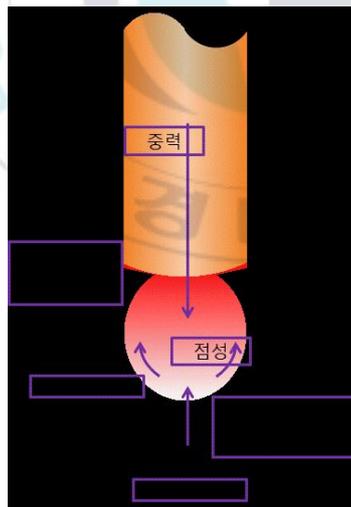


Fig. 2.2 용적에 작용하는 힘

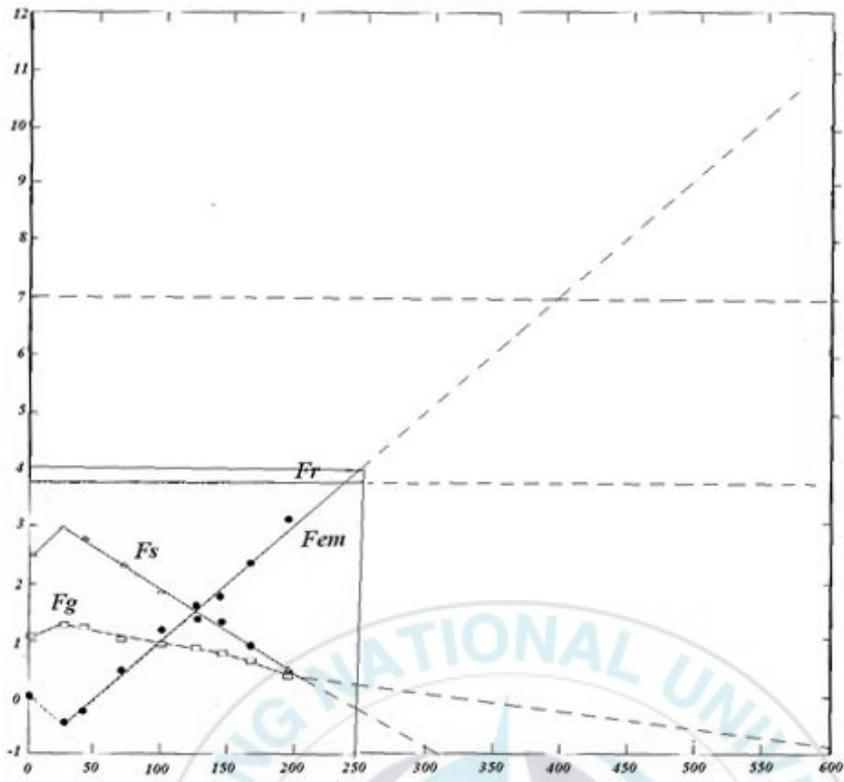


Fig. 2.3 전류변화에 따라 용적에 작용하는 힘($10^{-3}N$)들의 변화

2.2.2 용적이행 모드의 분류

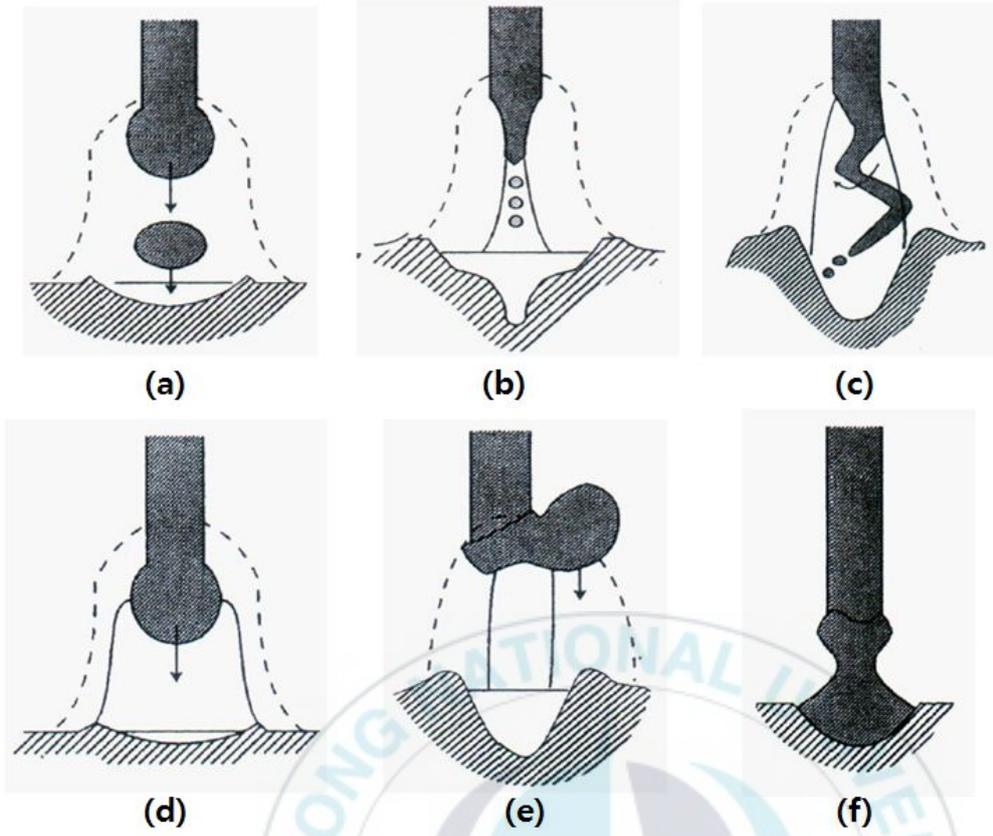
국제용접학회(IIW)에서는 용가재가 아크열에 의해 용융되어 용융풀로 이행하는 모든 형태의 모드를 Table 2.2와 같이 분류하고 있으며, Fig. 2.4는 이들 이행 모드를 보여주고 있다^{3, 4)}. 여기서는 GMAW에서 나타나는 이행 모드에 대해서만 설명한다.

GMAW에서 용융금속이 이행하는 모드는 크게 자유비행 모드(Free flight mode)와 단락이행 모드(Short circuit mode)의 2가지로 분류한다. 자유비행 모드는 와이어 선단에서 생성된 용적이 와이어로부터 이탈되어 금속방울 상태로 아크 기둥을 거쳐 용융풀로 이행하는 형태이다. 자유비행 모드는 이행되는 용적의 크기에 따라 입상용적 모드(Globular mode)와 스프레이 모드(Spray mode)로 구분한다. 스프레이 모드는 용적의 형상과 크기에 따라 프로젝트 모드, 스트리밍 모드 및 회전 모드로 세분화 한다.

본 연구에서는 이행 모드 중 스패터가 발생량이 적고, 아크가 안정적이며 소음도 적은 스프레이 모드에서 프로젝트 모드와 스트리밍 모드의 영역에서 용접을 실시하였다.

Table 2.2 IIW에 의한 용적이행의 분류

이행 형태명(transfer type)	나타나는 용접법	적용
1. 자유이행(free flight)	중대전류 FCAW	
1.1 입상용적(globule)이행		
(1) 낙하(drop)이행	저전류 GMAW	사용안함
(2) 반발(repel)이행	중대전류 CO ₂ 용접	굵은 스패터 발생
1.2 스프레이(spray)이행		
(1) 프로젝트(project)이행	중간전류 MAG, MIG	스패터 소량, 펄스 GMAW에 적용
(2) 스트리밍(streaming)이행	중대전류 MAG, MIG	중대전류 영역에서 다소 적용
(3) 회전(rotating)이행	대전류 MAG, MIG	적용 안함
1.3 폭발이행	SMAW	



(a) 프로젝트 이행, (b) 스트리밍 이행, (c) 회전이행, (d) 낙하이행,
 (e) 반발이행, (f) 단락이행

Fig 2.4 Various type of metal transfer in GMAW

2.3 Pulse 용접

GMAW 용접에서 Pulse를 사용하는 이유는 CW(Continuous Welding)용접에 비해서 상대적으로 낮은 전류에서 안정적인 스프레이 이행을 가능하게 할 수 있다는 장점이 있다. 또한 펄스 스프레이 이행은 용융풀 냉각 효과가 있다.⁵⁾

낮은 전류 영역에서는 와이어가 용융풀과 접촉하는 단락이 발생하고, 단락을 해소하기 위하여 상대적으로 높은 피크전류가 발생되고 아크 재점호시, 다량의 스파터가 발생(Fig. 2.5)하기 때문에, 단락이 일어나지 않는 스프레이 이행의 구현이 아주 중요하다. 펄스 용접에서 가장 이상적인 이행의 One Pulse, One Drop⁶⁾ 즉 1개의 펄스주기에서 1개의 용적이 모재로 이행되는 것이다. (Fig.2.6)

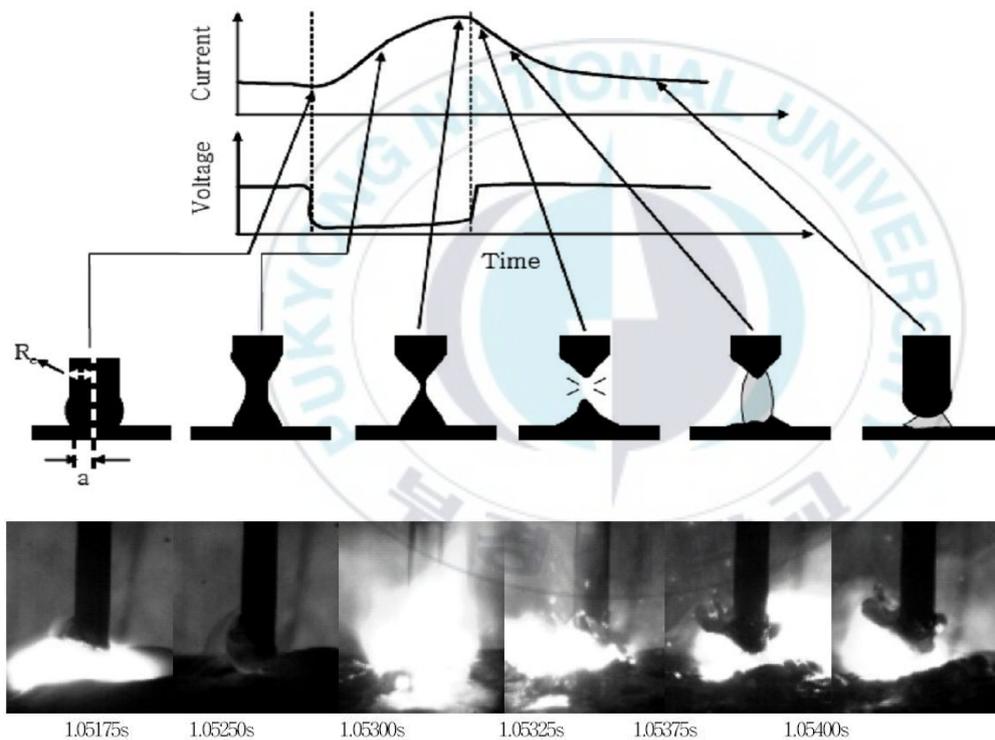


Fig. 2.5 Schematic of Short circuit and Arc reignition spatter

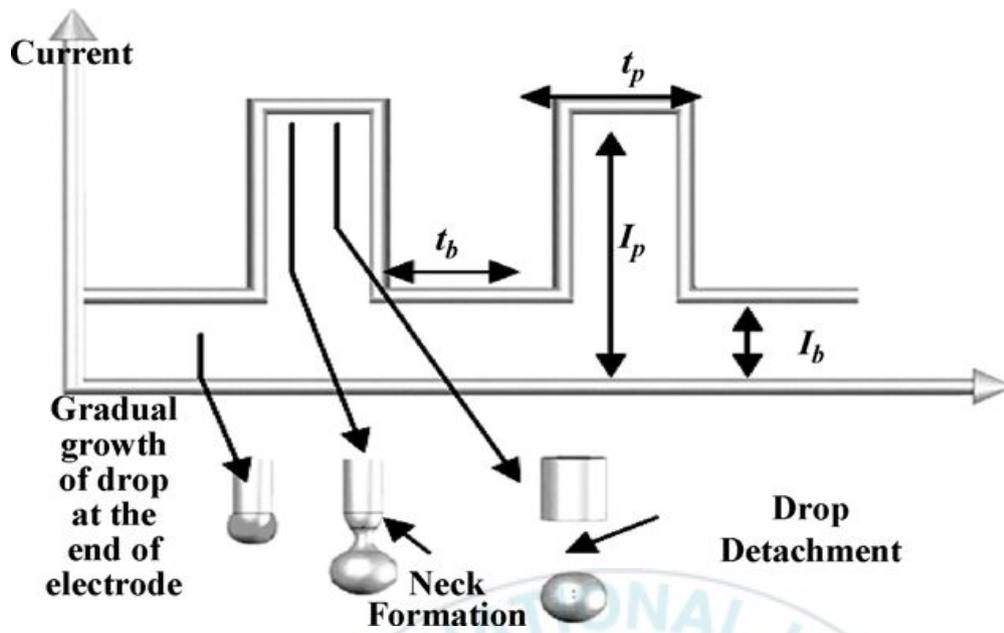
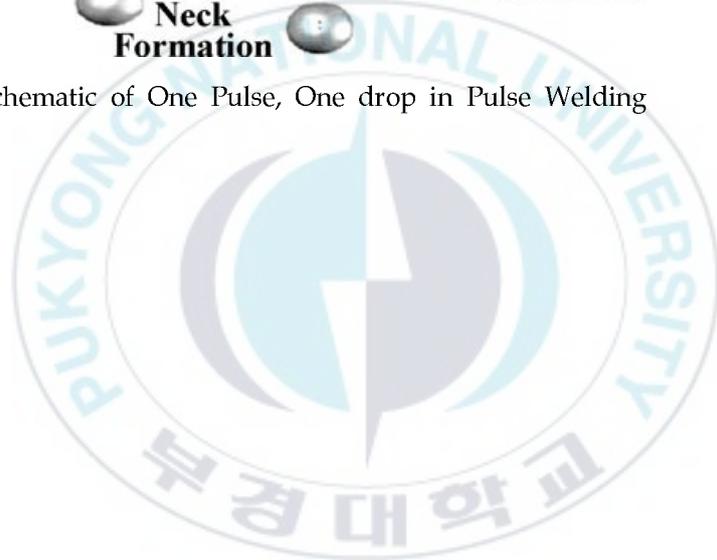


Fig. 2.6 Schematic of One Pulse, One drop in Pulse Welding



2.3.1 Pulse energy 정의

RPC (Relative Peak Current)는 Fronius 용접기 펄스파형 전류 및 펄스시간의 상대적 크기를 제어하는 pulse parameter로서, -5~+5사이의 값을 가진다.

Pulse Energy를 +5쪽으로 증가 시키면 펄스파형 전류의 크기와 펄스시간이 상대적으로 커지게 되고, -5쪽으로 감소시키면 펄스파형 전류 및 펄스시간의 크기가 상대적으로 작아지는 경향을 가진다.

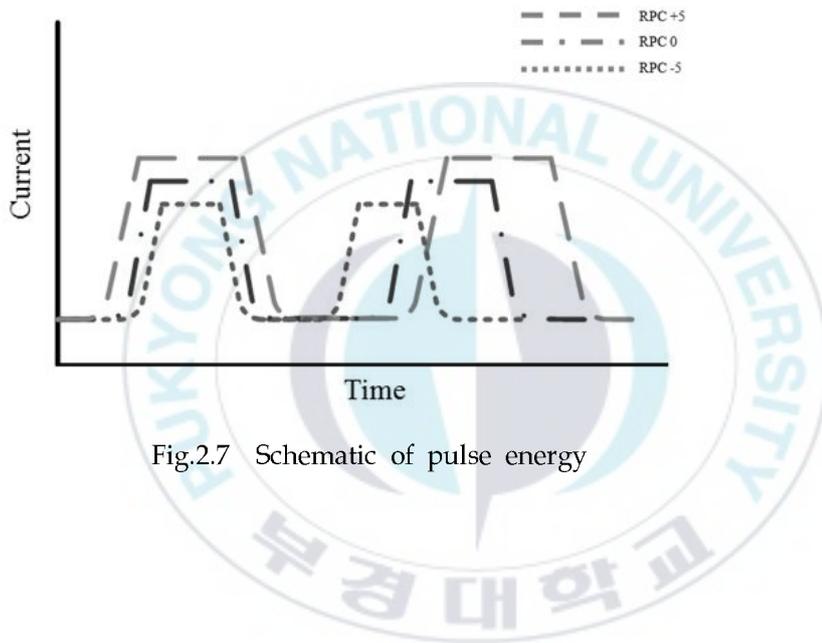


Fig.2.7 Schematic of pulse energy

2.3.2 Comparative arc length (상대적 아크길이) 정의

ALC (Arc Length Correlation)은 Fronius 용접기 아크길이를 제어하는 pulse parameter로서, $-30 \sim +30$ 사이의 값을 가진다. Comparative arc length를 $+30$ 쪽으로 증가 시키면 아크길이는 상대적으로 커지게 되고, -30 쪽으로 감소시키면 아크길이는 상대적으로 작아지는 경향을 가진다.

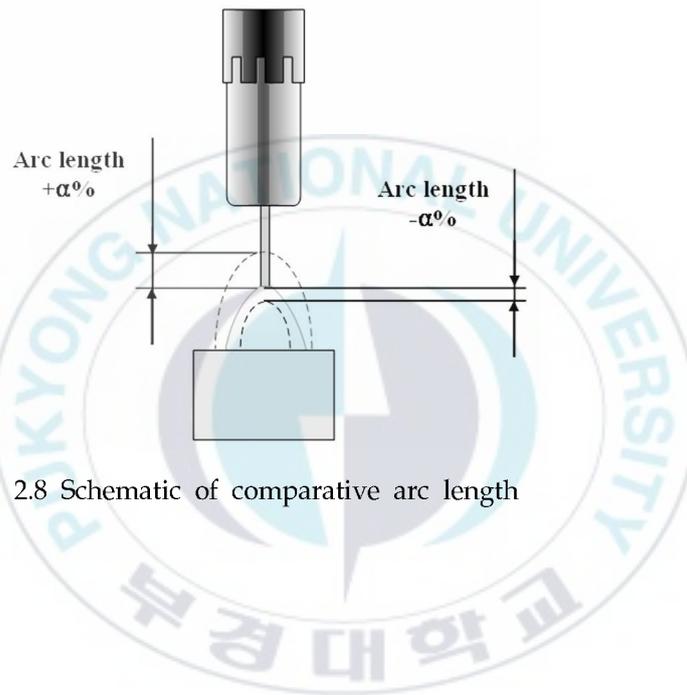


Fig. 2.8 Schematic of comparative arc length

2.4 용착단면적의 정의

용착단면적은 와이어의 용착에 의해서만 발생하는 단면적으로 실질적인 와이어의 공급량이 된다. GMAW에서 용착 단면적이 크면 클수록 와이어 공급량이 많아지고 따라서 전류는 높아지므로 입열량은 높아지게 된다. 입열량이 일정 이상 되면 박판에선 용락 발생의 위험, 후판에선 고온균열의 위험이 있고, 일정 이하가 되면 박판 및 후판 둘 다 용입 부족이 될 수 있다.

용착단면적은 아래의 식으로 구할 수 있다.

$$\text{용착단면적} = \frac{\text{와이어 송급속도} \times \text{와이어 단면적}}{\text{용접속도}} \dots\dots\dots(2.1)$$

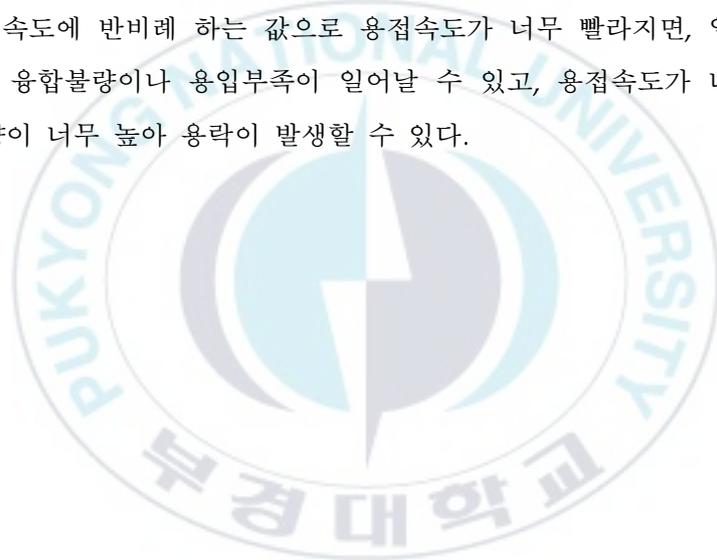


2.5 입열량의 정의

입열량(Heat input)은 용접 시에 외부로부터 용접부에 가해지는 열량을 말하며, 용접 입열(welding heat input)이라고도 한다. 아크 용접에서는 아크가 용접비드의 단위길이(1mm)당 발생하는 전기적 열에너지 $Q(\text{J/mm})$ 로 나타낸다. 아크전압 $E(\text{V})$, 아크 전류 $I(\text{A})$, 용접속도 $v(\text{mm/s})$ 일 때 입열량 (Q)은 아래의 식으로 나타낸다.

$$Q = \frac{EI}{v} \dots\dots\dots(2.2)$$

입열량은 용접속도에 반비례 하는 값으로 용접속도가 너무 빨라지면, 입열량이 너무 낮아 용합불량이나 용입부족이 일어날 수 있고, 용접속도가 너무 느려지면, 입열량이 너무 높아 용락이 발생할 수 있다.



2.6 오실레이션 용접의 정의

Fig. 2.9 은 오실레이션 용접의 정의를 나타내었다. 오실레이션이란 토치가 용접방향과 수직 방향으로 일정한 주기를 가지고 토치가 이동하는 것이다.

토치가 용접방향과 수직 방향으로 이동하는 거리를 오실레이션 폭으로 정의하였다.

토치가 용접방향과 수직방향으로 이동하는 주기가 1초 동안 발생한 횟수를 오실레이션 주파수로 정의 하였다.

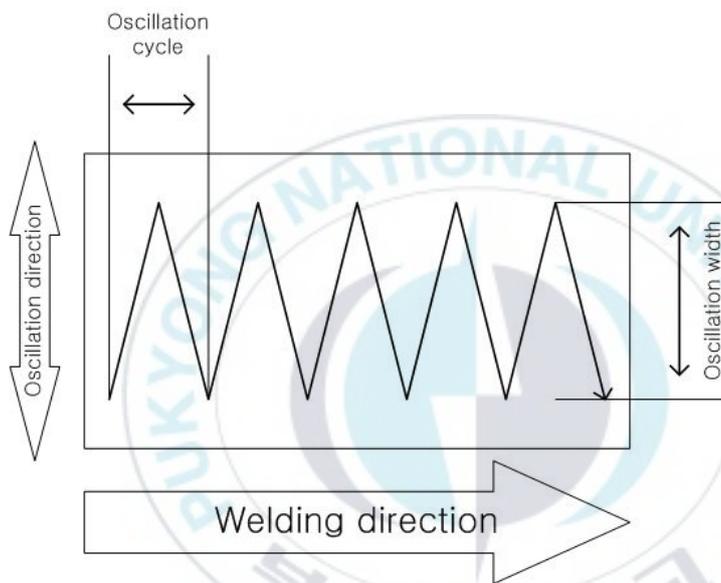


Fig. 2.9 Definition of oscillation welding

2.7 비드 블록 정도의 정의

Fig. 2.10 은 비드 블록 정도의 정의를 나타내었다. 비드 블록 정도란 용접을 진행 한 후 비드의 블록하거나 오목한 정도가 품질 판단에 막대한 영향을 끼치는데 이를 수치화 하고 비드 블록 정도를 제시하여 판단의 타당성을 나타낸다.

비드 블록 정도는 다음과 같은 식으로 나타내고 비드 블록 정도의 판정기준은 Normalized Bead Convexity가 0.1 이하인 Bead는 양호라고 판단하였다.

$$\text{Normalized Bead Convexity} = \frac{TD_w + TD_f}{2 \times \text{Bead Width}} \dots\dots\dots(2.3)$$

TD_w = Toe Depth of Web
 TD_f = Toe Depth of Flange

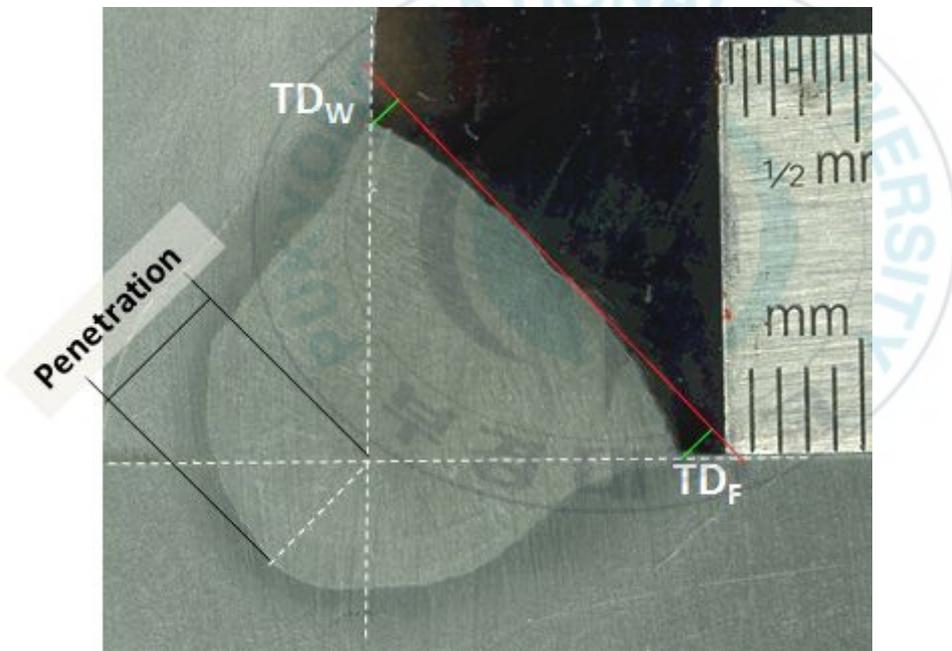


Fig. 2.10 Definition of Bead Convexity

제 3 장 MAG아크에 공급하는 Filler Wire와 C-Strip의 비교실험

3.1 서언

본 연구에서는 GMAW의 용착속도를 7.1kg/hr로 동일하게 하고 전방 및 후방에서 추가적으로 Filler인 Wire와 C-Strip을 1.6kg/hr의 동일한 용착속도로 공급하여 과형 및 비드외관, 동영상을 통해 아크안정성을 판단하고 비교하였다.

3.2 Parameter 결정

본 연구에서는 기존의 GMAW 아크에 추가적인 Filler를 넣는 프로세스로서 연구 시작 전 GMAW의 다양한 변수 중 핵심적인 다섯 가지 변수를 선택하여 적용하였고 Fig. 3.1은 이를 나타낸다.

첫 번째 변수로서 Shield gas⁷⁾는 Ar 100%, CO₂ 100%, Ar 80%+CO₂ 20% 중 Spray Transfer를 안정적으로 시키는 Ar 80% + CO₂ 20%를 택하였고, 두 번째 변수로서 Transfer mode⁸⁾는 Short Circuit Transfer, Spray Transfer, Globular Transfer 중 아크가 가장 안정적인 Spray Transfer를 택하였고, 세 번째 변수로서 Weld Mode는 Continuous Wave, Pulse 중 Peak Current와 Base Current를 높은 주파수를 통해 아크 경직성이 상대적으로 좋은 Pulse를 택하였다. 네 번째 변수로는 $\varnothing 1.2$, $\varnothing 1.4$, $\varnothing 1.6$ ⁹⁾의 와이어 직경 중 아크 경직성이 우수하고, 추가적인 용가재를 더 잘 녹이기 위해 Halmoy 식¹⁰⁾에 근거하여 아크 발열량이 큰 $\varnothing 1.6$ 을 택하였다. 마지막으로 Arc Length는 Voltage를 근거로 용접기에 셋팅되어있는 기준값에서 +, 기준값, - 중 용가재로 인해 Arc Length가 +가 되는 방향 즉, Voltage가 증가하는 방향으로 택하였다.



Fig. 3.1 Parameter selection

3.3 Filler Wire 전방 및 후방 송급 실험

3.3.1 실험 재료

본 연구에서 모재는 두께 15mm SS400 탄소강 평판을 사용하였으며 Filler Wire는 $\varnothing 1.2$ ZO-26을 사용하였다. 모재의 조성 및 Wire의 화학 성분 및 기계적 성질은 Table 3.1, 3.2에 나타내었다.

Table 3.1 Chemical composition of base metal

	wt.%							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
Mild steel	0.155	0.163	0.455	0.0071	0.009	0.019	0.0101	0.0006

Table 3.2 Chemical composition & Mechanical property of ZO-26

wt.%					
C	Si	Mn	P	S	Ti
0.06	0.80	1.53	0.014	0.010	0.18

	항복강도(MPa)	인장강도(MPa)	연신율(%)	충격인성(J) -20℃
AWS A5.18	Min. 400	Min. 480	Min. 22	
EN ISO 14341-B	Min. 390	490 ~ 670	Min. 18	≥ 27
일례	490	570	30	110
	520	590	31	120

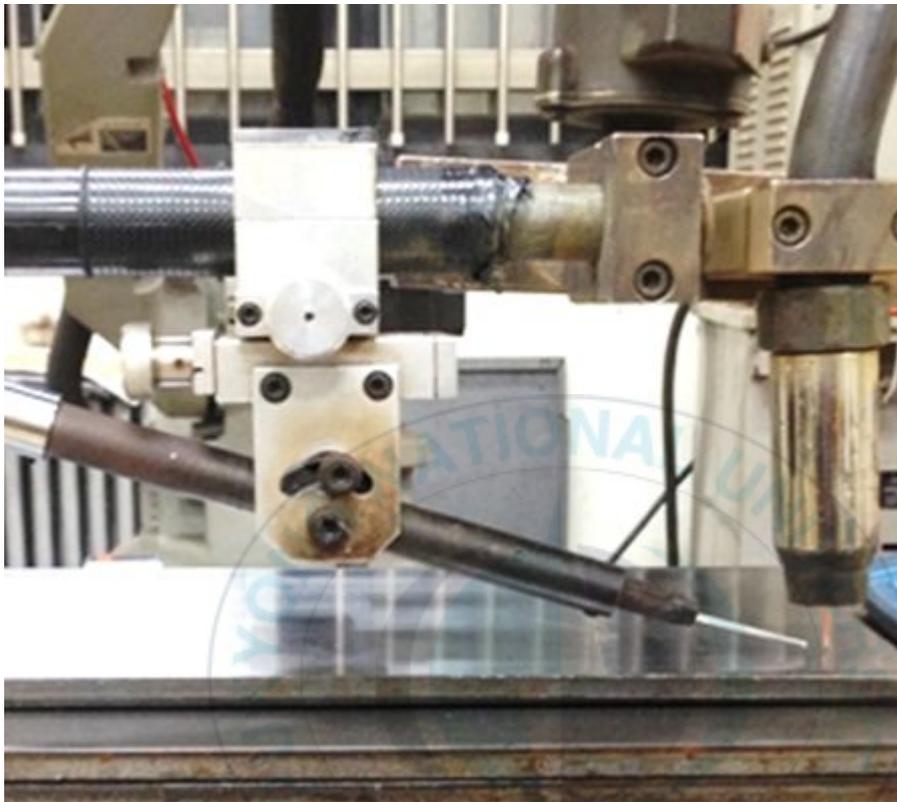
3.3.2 실험 방법

Table 3.3은 Filler Wire의 용접조건을 나타내었다. 실험에서 용접 전원은 Fronius TPS-7200을 사용하였다. 실험 구성은 Fig. 3.2에 나타내었다.

Table 3.3 Welding condition & Filler Wire condition

Fixed	Power source	Fronius TPS-7200	
	Wire	SM-1N(Ø1.6)	
	Mode	Pulse	
	Base metal	SS400	
	Current(A)	400	
	Voltage(V)	35	
	Feeding speed(cpm)	750	
	Welding speed(cpm)	50	
	Shield gas & flow rate(L/min)	Ar 80%+CO ₂ 20%, 25	
	CTWD (mm)	20	
	Melting rate(kg/hr)	7.1	
Fixed	Wire	ZO-26(Ø1.2)	
	Feeding speed(cpm)	300	
	Melting rate(kg/hr)	1.6	
Varied	Feeding direction	Front	Back

Fig. 3.2 Filler Wire feeding



3.3.3 실험 결과 및 고찰

Table 3.4, Table 3.5, Table 3.6은 각각 Only GMAW, Front feeding, Back feeding의 파형과 비드외관이고, Fig. 3.3, Fig. 3.4는 Front feeding과 Back feeding의 용접중인 사진이다.

Table 3.4 Waveform & Bead appearance(Only GMAW)

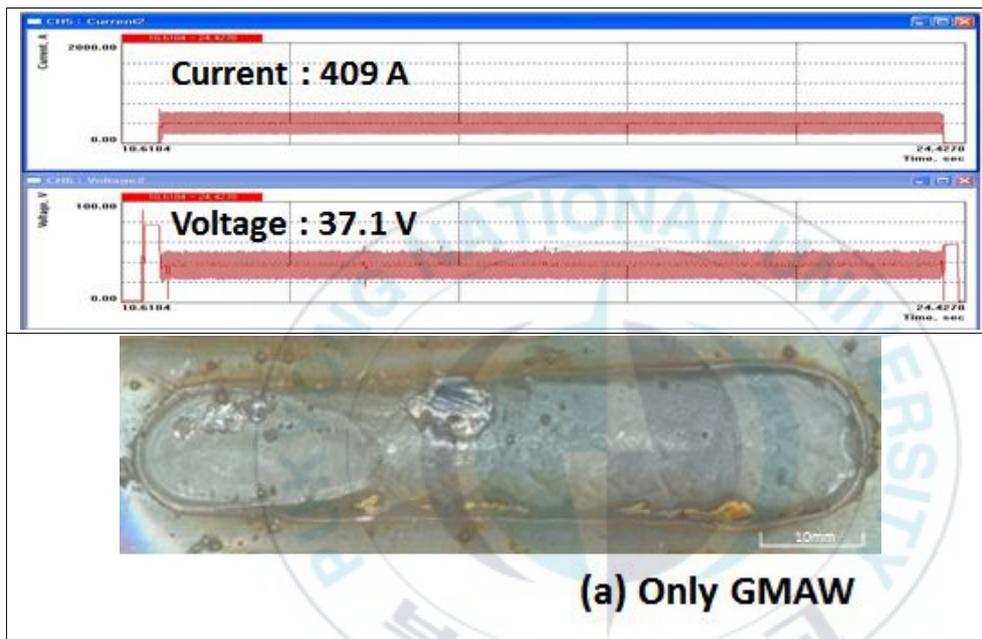


Table 3.5 Waveform & Bead appearance(Front feeding)

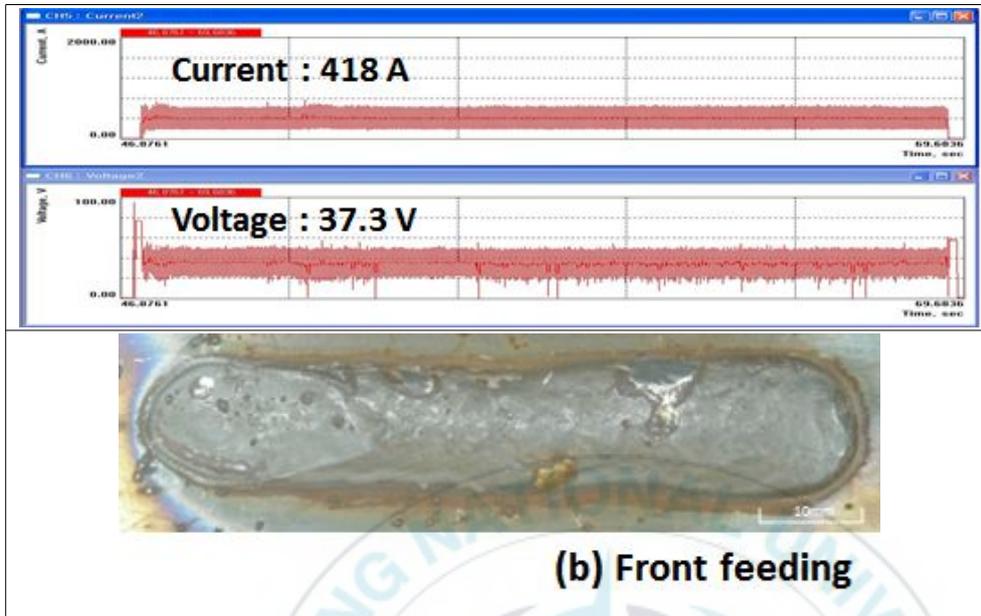


Fig. 3.3 Filler wire Front feeding(Welding direction Right -> Left)



Table 3.6 Waveform & Bead appearance(Back feeding)

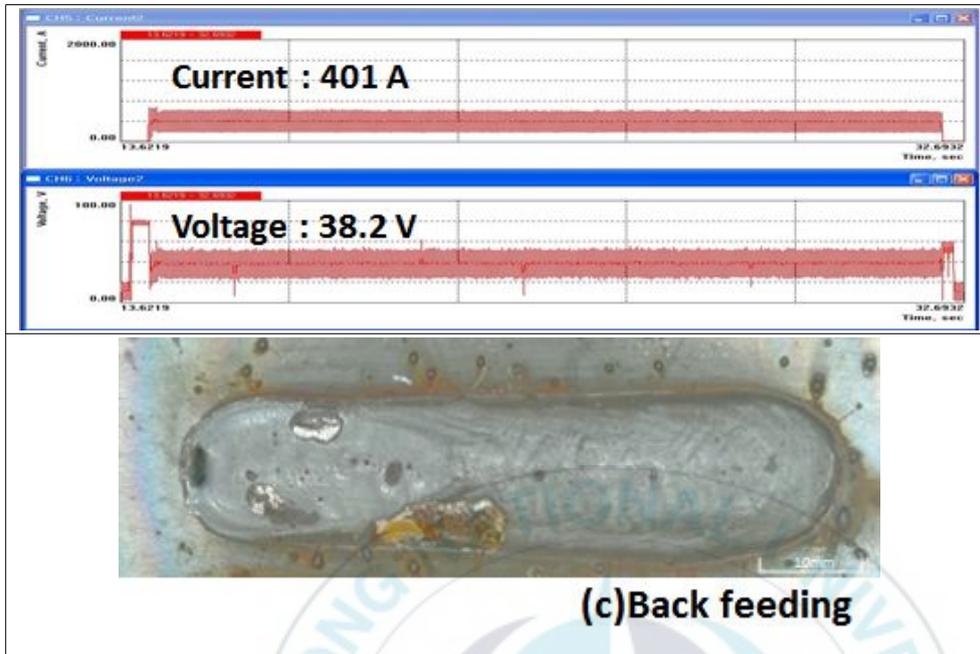


Fig. 3.4 Filler wire Back feeding(Welding direction Left -> Right)



∅ 1.2 Filler Wire 전방 및 후방 송급 실험 결과 다음과 같이 고찰하였다.

1) ∅ 1.2 Filler Wire 전방 및 후방 송급 실험 결과, 전방 및 후방 둘 다 Filler Wire가 Arc가 발생하는 GMAW의 Wire 전극 끝에 도달하여 Spray Transfer에 영향을 주어 스패터가 많이 튀었고 이는 Table 3.5와 Table 3.6의 비드외관에서 관찰 할 수 있다. 또한 Table 3.4의 Only GMAW의 전압파형에 비해 Table 3.5 및 Table 3.6의 전방 및 후방 송급 실험에서 전압파형이 상대적으로 불안정한 것으로 보이고 또한 Fig. 3.3 및 Fig. 3.4의 용접 진행 중 사진으로 아크의 크기가 변하면서 불안정한 용접이 되는 것을 관찰 할 수 있었다.

2) ∅ 1.2 Filler Wire의 경우 용착속도 1.6kg/hr의 수준 일 때, 300cpm의 빠른 송급속도로 인해 불안정한 낙하이행 및 순간적으로 GMAW의 용적과 단락하는 현상이 관찰 되었다.



3.4 Filler C-Strip 전방 및 후방 송급 실험

3.4.1 실험 재료

본 연구에서 모재는 두께 15mm SS400 탄소강 평판을 사용하였으며 Filler C-Strip은 6.7mm² 단면적의 SAW Wire KD-43을 성형하여 사용하였다. 모재의 조성 및 C-Strip의 화학 성분 및 기계적 성질은 Table 3.7, 3.8에 나타내었다.

Table 3.7 Chemical composition of base metal

	wt.%							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
Mild steel	0.155	0.163	0.455	0.0071	0.009	0.019	0.0101	0.0006

Table 3.8 Chemical composition & Mechanical property of KD-43

	wt.%				
	C	Si	Mn	P	S
	0.04	0.80	1.65	0.022	0.012

규격	항복강도(MPa)	인장강도(MPa)	연신율(%)	충격인성(J) -18℃
A5.17 : F7A0-EM13K	560	610	28	70

3.4.2 실험 방법

Table 3.9는 Filler C-Strip의 용접조건을 나타내었다. 실험에서 용접 전원은 Fronius TPS-7200을 사용하였다. 실험 구성은 Fig. 3.5에 나타내었다.

Table 3.9 Welding condition & Filler C-Strip condition

Fixed	Power source	Fronius TPS-7200	
	Wire	SM-1N(Ø1.6)	
	Mode	Pulse	
	Base metal	SS400	
	Current(A)	400	
	Voltage(V)	35	
	Feeding speed(cpm)	750	
	Welding speed(cpm)	50	
	Shield gas & flow rate(L/min)	Ar 80%+CO ₂ 20%, 25	
	CTWD (mm)	20	
	Melting rate(kg/hr)	7.1	
Fixed	C-Strip	6.7 mm ²	
	Feeding speed(cpm)	50	
	Melting rate(kg/hr)	1.6	
Varied	Feed direction	전방	후방

Fig. 3.5 Filler C-Strip feeding



3.4.3 실험 결과 및 고찰

Table 3.10, Table 3.11, Table 3.12는 각각 Only GMAW, Front feeding, Back feeding의 파형과 비드외관이고, Fig. 3.6, Fig. 3.7은 Front feeding과 Back feeding의 용접중인 사진이다.

Table 3.10 Waveform & Bead appearance(Only GMAW)

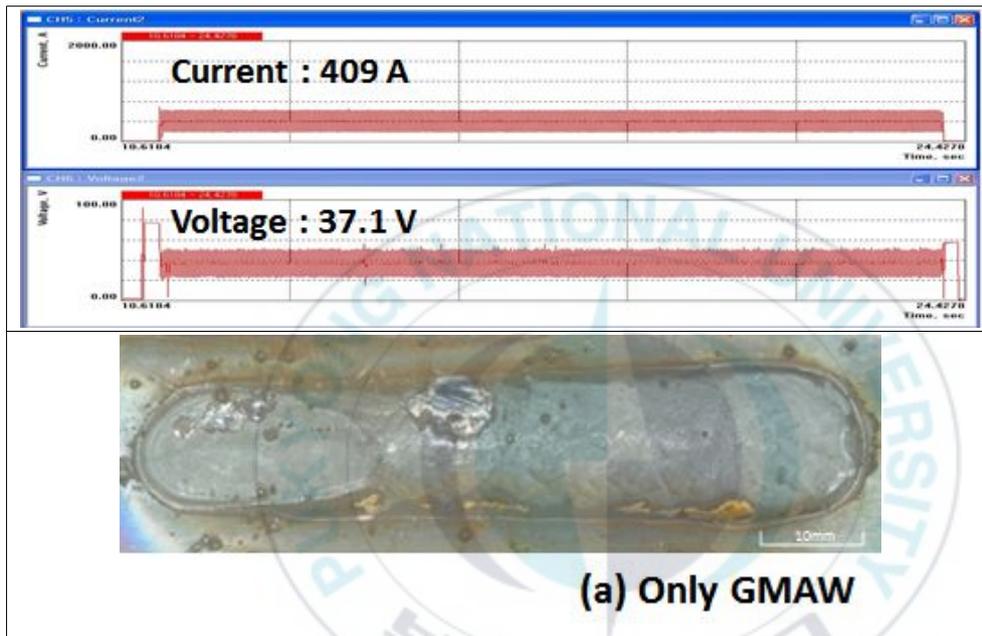


Table 3.11 Waveform & Bead appearance(Front feeding)

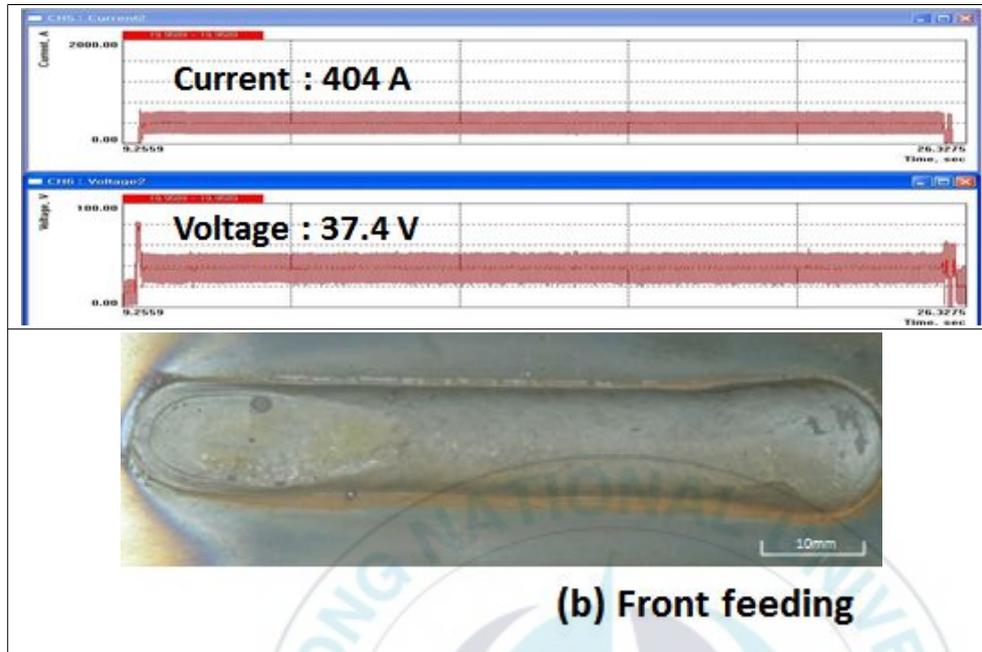


Fig. 3.6 Filler C-Strip Front feeding(Welding direction Right -> Left)



Table 3.12 Waveform & Bead appearance(Back feeding)

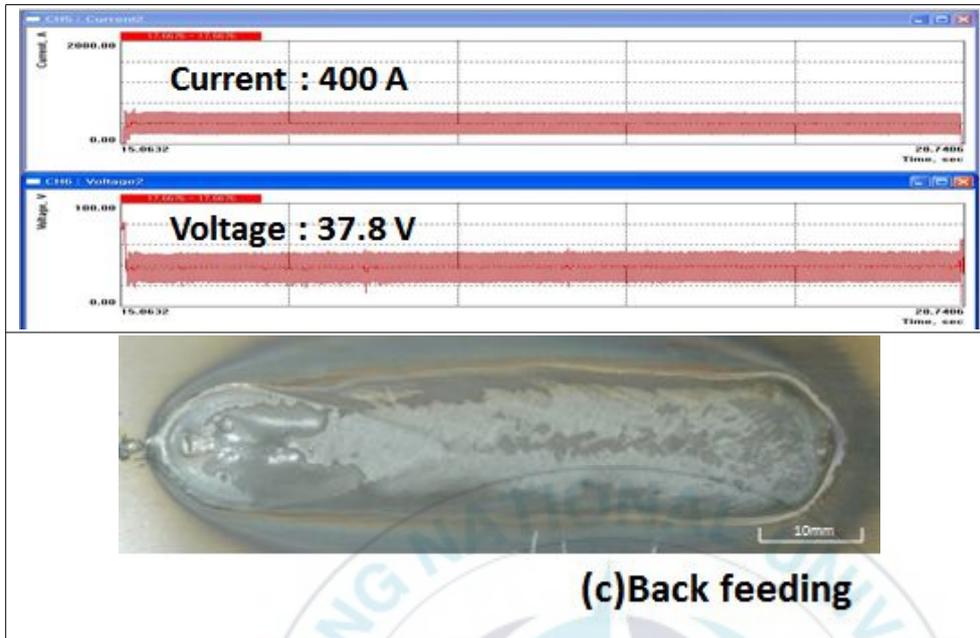
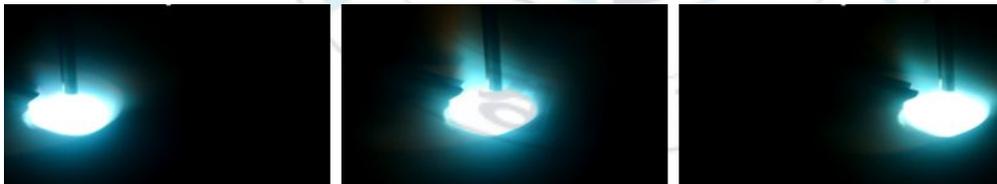
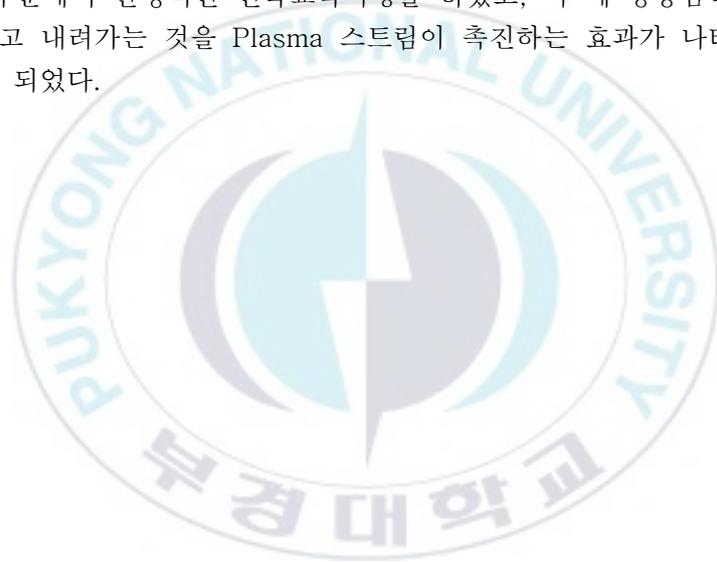


Fig. 3.7 Filler C-Strip Back feeding(Welding direction Left -> Right)



Filler C-Strip 전방 및 후방 송급 실험 결과 다음과 같이 고찰하였다.

- 1) Filler C-Strip 전방 및 후방 송급 실험 결과, 전방 및 후방 둘 다 Filler C-Strip은 Arc의 걸 테두리에서 완전히 용융되어 안정적으로 용융풀로 흡수되는 것을 관찰 할 수 있었고, 이는 Fig. 3.6과 Fig. 3.7에서 육안으로 확인할 수 있었다.
- 2) Table 3.11 및 Table 3.12의 비드외관을 보면, C-Strip이 Arc에 직접적인 영향을 주지 않아 안정적으로 비드외관을 형성하는 것을 확인하였고, 전압과형에서도 Table 3.10의 Only GMAW의 전압과형과 비슷한 형태의 안정적인 전압과형을 나타내었다.
- 3) Filler C-Strip의 경우 Strip 양쪽 윗부분의 용융금속이 Strip의 단면을 타고 내려가 아랫부분에서 안정적인 연속교락이행을 하였고, 이 때 용융금속이 Strip 단면을 타고 내려가는 것을 Plasma 스트림이 촉진하는 효과가 나타나 안정적인 용접이 되었다.



3.5 Super-MAG 용접의 정의

Fig. 3.8은 Super-MAG 용접의 모식도를 나타내었다. Super-MAG 용접이란, 소모성 전극을 가지는 GMAW 아크에 Filler C-Strip를 추가적으로 넣어 안정적인 용적이행모드에서 높은 용착속도를 가지는 공정이다.

기존의 GMAW에서 용착속도를 올려감에 따라 다양한 용적 이행모드가 관찰되는데 고전류영역에서의 로테이트 이행은 심각한 스패터와 불안정한 아크가 발생한다. 반면에 Super-MAG의 경우 GMAW와의 용착속도 대비 낮은 전류 영역으로 적은 스패터를 생성하고, 많은 용착량으로 인해 충분한 용융풀의 형성으로 High speed & High current welding에서 험핑비드 및 언더컷을 방지할 수 있다.

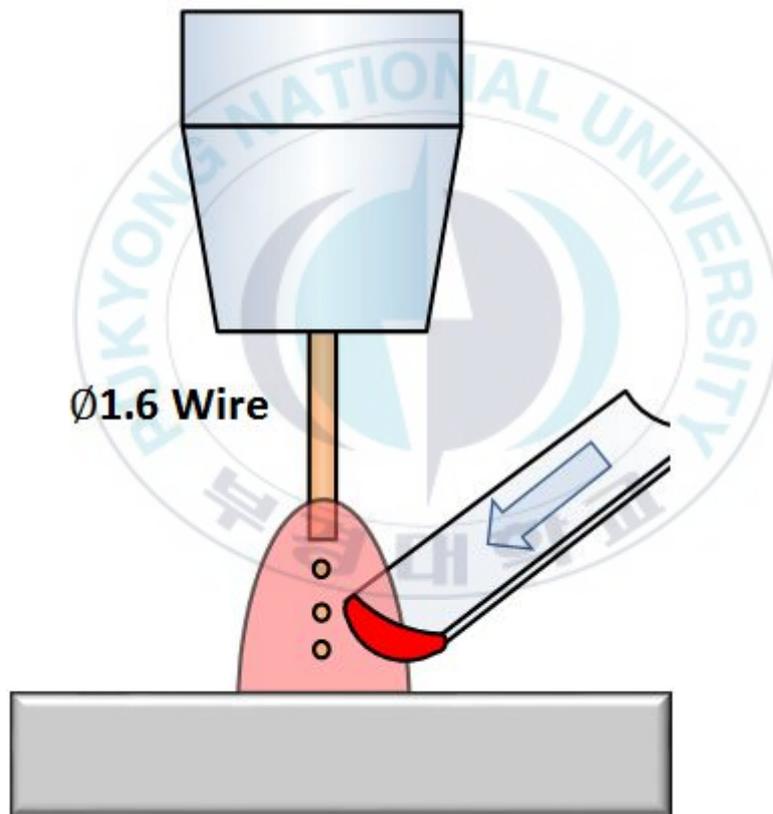


Fig. 3.8 Schematic of Super-Mag

3.6 결론

MAG아크에 송급하는 Filler Wire 및 Filler C-Strip의 전방 및 후방 실험 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) \varnothing 1.2 Filler Wire 전방 및 후방 송급 실험 결과, 전방 및 후방 둘 다 Filler Wire가 Arc가 발생하는 전극의 Wire에 가까이 도달하여 이행모드에 영향을 주어 스패터가 많이 튀는 불안정한 용접이 되는 것을 관찰 할 수 있었다. 또한 300cpm의 빠른 송급속도로 인해 불안정한 낙하이행이 관찰 되었다.

2) Filler C-Strip 전방 및 후방 송급 실험 결과, 전방 및 후방 둘 다 Filler C-Strip은 Arc의 걸 테두리 부분에서 완전히 용융되어 안정적으로 용융풀로 흡수되는 것을 관찰 할 수 있었다. Filler C-Strip의 경우 Strip 양쪽 윗부분의 용융금속이 Strip의 단면을 타고 내려가 아랫부분에서 안정적인 연속교락 이행을 하였고, 이 때 용융금속이 Strip 단면을 타고 내려가는 것을 Plasma 스트립이 촉진하는 효과가 나타나 안정적인 용접이 되었다.

3) \varnothing 1.2 Filler Wire 및 C-Strip을 전방 및 후방 송급 실험 한 결과, 상대적으로 Filler C-Strip이 Filler Wire에 비해 기존 GMAW의 용적 이행이 안정적이고 스패터가 작게 튀는 걸 관찰 할 수 있었다. 이는 플라즈마 기둥인 Arc를 하나의 열원이라고 봤을 때, Arc의 전체 표면에 대한 Filler Wire 및 Filler C-Strip의 비표면적은 폭이 큰 C-Strip이 크고 따라서 Filler C-Strip은 더 큰 열을 받게 되므로 Filler Wire 보다 Arc의 중심부분이 아닌 걸 테두리부분에서 용융하게 되어 전체적인 Arc안정성은 Filler C-Strip이 우수하다고 판단된다.

제 4 장 Super-MAG 용접에 의한 기초 실험

4.1 서언

본 연구는 GMAW의 용착속도를 각각 8kg/hr(450A), 11.5kg/hr(550A), 15.4kg/hr(650A)로 고정하여, Filler C-Strip을 전방송급으로 송급속도를 최소 0cpm에서 최대 700cpm까지 100cpm씩 올라가면서 각 용착속도별(전류별) 한계용착속도를 파형 및 비드외관, 횡단면을 통해 확인하였다.



4.2 Super-MAG 용접에서 전류에 따른 Filler C-Strip 송급속도 변경 실험

4.2.1 실험 방법

Table 4.1 및 4.2는 Super-MAG의 용접조건을 나타내었다. 실험에서 용접 전원은 Fronius TPS-7200을 사용하였다. 실험 구성은 Fig. 4.1에 나타내었다.

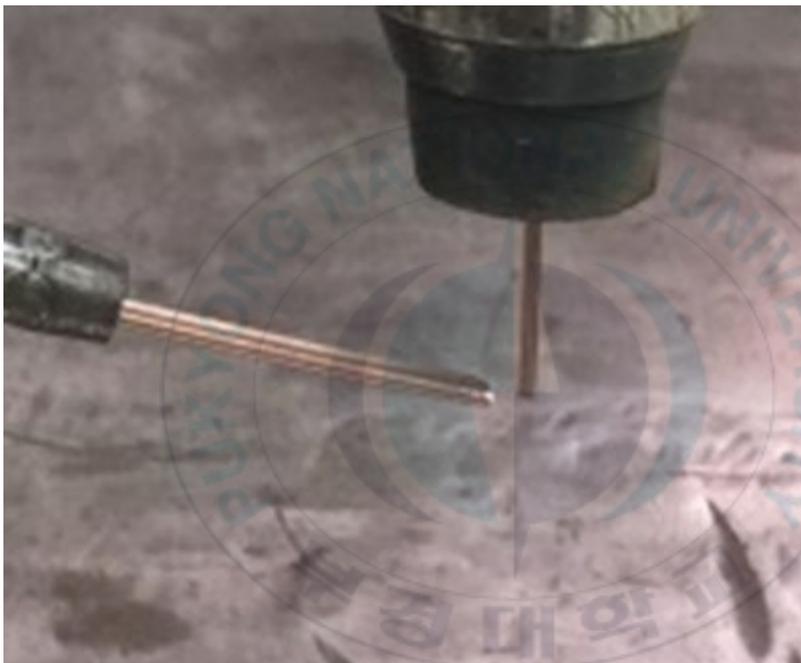
Table 4.1 Welding condition

Fixed	Power source	Fronius TPS-7200		
	Mode	Pulse		
	Current(A)	450	550	650
	Feeding speed(cpm)	850	1220	1640
	Melting rate(kg/hr)	8	11.5	15.4
	Voltage(V)	35	39	43
	Base metal	SS400		
	Wire	SM-1N(Ø1.6)		
	Welding speed(cpm)	50		
	Shield gas & flow rate(L/min)	Ar 80%+CO₂ 20% & 25		
	CTWD (mm)	25		

Table 4.2 Filler C-Strip condition

Fixed	C-Strip	6.7 mm ²						
	Feed direction	Front						
Varied	Feeding speed(cpm)	100	200	300	400	500	600	700
	Melting rate(kg/hr)	3.1	6.3	9.4	12.5	15.7	18.8	21.9

Fig. 4.1 Super-MAG



4.2.2 실험 결과

Table 4.3 ~ 4.13은 각각 용착속도 8kg/hr(450A), 11.5kg/hr(550A), 15.4kg/hr(650A)에 Filler C-Strip을 0cpm부터 700cpm 까지 진방 송급하여 얻은 파형 및 비드외관, 횡단면이다. Table 4.14는 그 결과 데이터를 정리한 표이다.

Table 4.3 Waveform, Bead appearance & Cross section



Table 4.4 Waveform, Bead appearance & Cross section

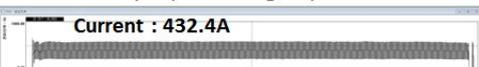
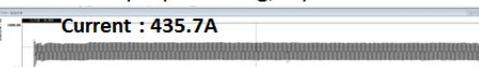
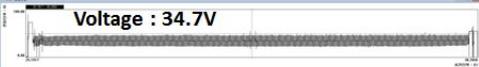
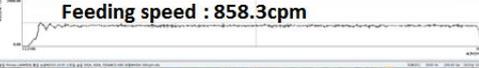
450A – 200cpm(8 + 6.3 kg/hr)	450A – 300cpm(8 + 9.4 kg/hr)
 Current : 432.4A	 Current : 435.7A
 Voltage : 34.7V	 Voltage : 34.7V
 Feeding speed : 859.5cpm	 Feeding speed : 858.3cpm
	
 <p> 평균 용입 : 4.54mm 최대 용입 : 5.23mm 표준편차 : 0.52mm </p>	 <p> 평균 용입 : 3mm 최대 용입 : 3.45mm 표준편차 : 0.34mm </p>

Table 4.5 Waveform, Bead appearance & Cross section

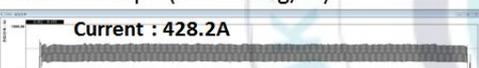
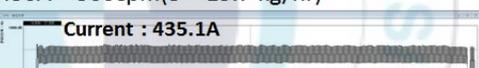
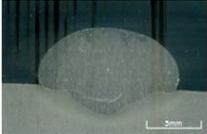
450A – 400cpm(8 + 12.5 kg/hr)	450A – 500cpm(8 + 15.7 kg/hr)
 Current : 428.2A	 Current : 435.1A
 Voltage : 34.5V	 Voltage : 34.7V
 Feeding speed : 858.9cpm	 Feeding speed : 856.9cpm
	
 <p> 평균 용입 : 2.5mm 최대 용입 : 3.05mm 표준편차 : 0.43mm </p>	 <p> 평균 용입 : 3.83mm 최대 용입 : 4.68mm 표준편차 : 0.7mm </p>

Table 4.6 Waveform, Bead appearance & Cross section

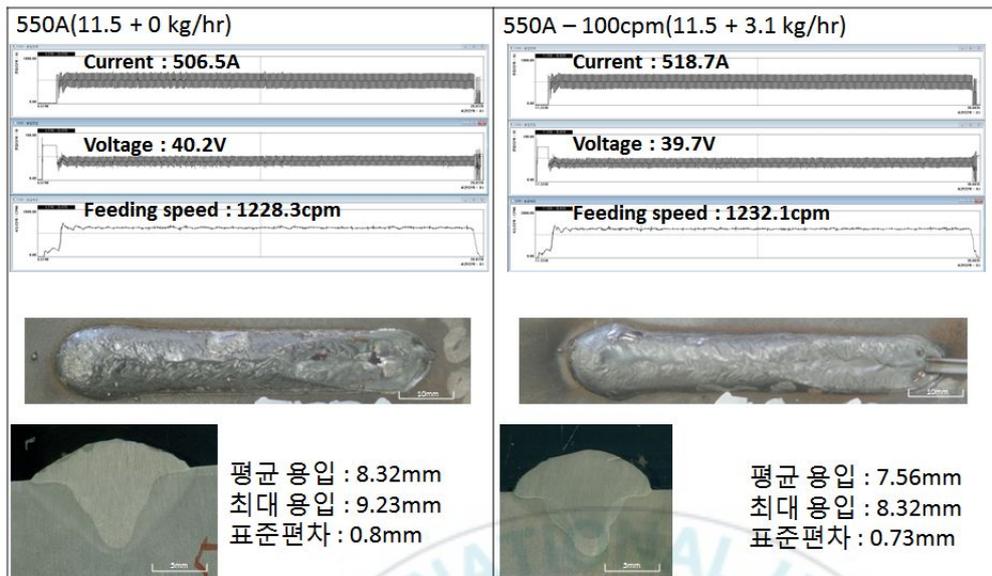


Table 4.7 Waveform, Bead appearance & Cross section



Table 4.8 Waveform, Bead appearance & Cross section

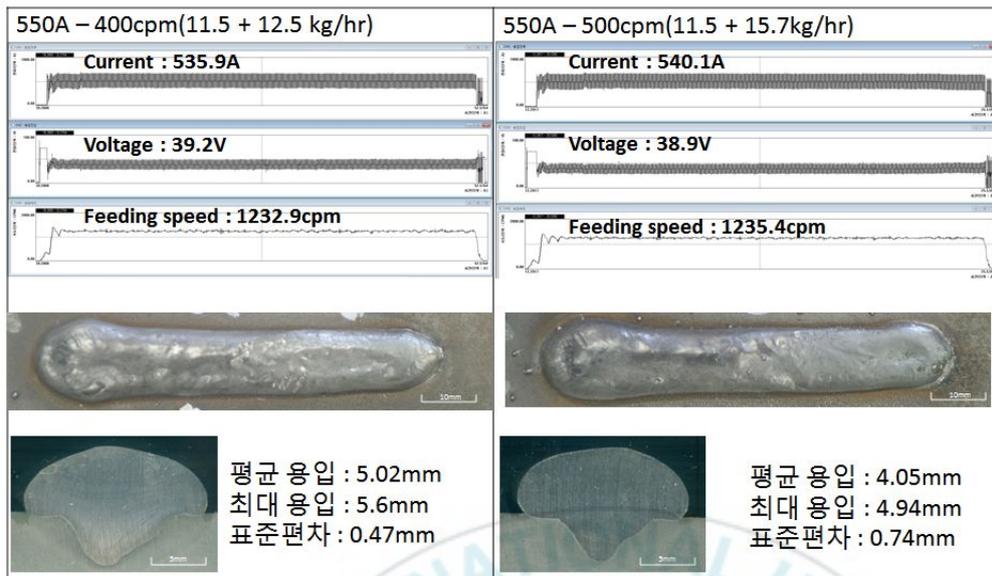


Table 4.9 Waveform, Bead appearance & Cross section

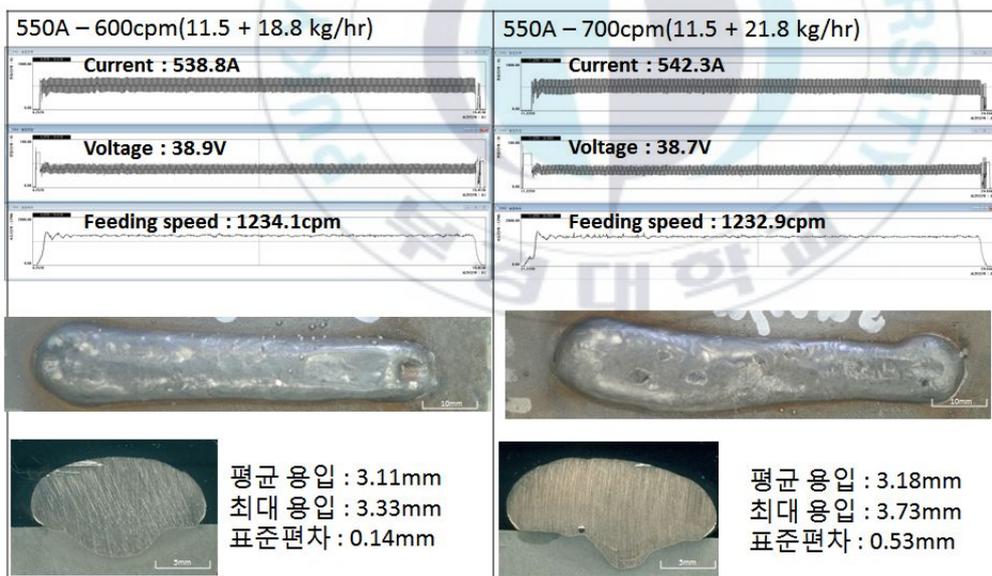


Table 4.10 Waveform, Bead appearance & Cross section

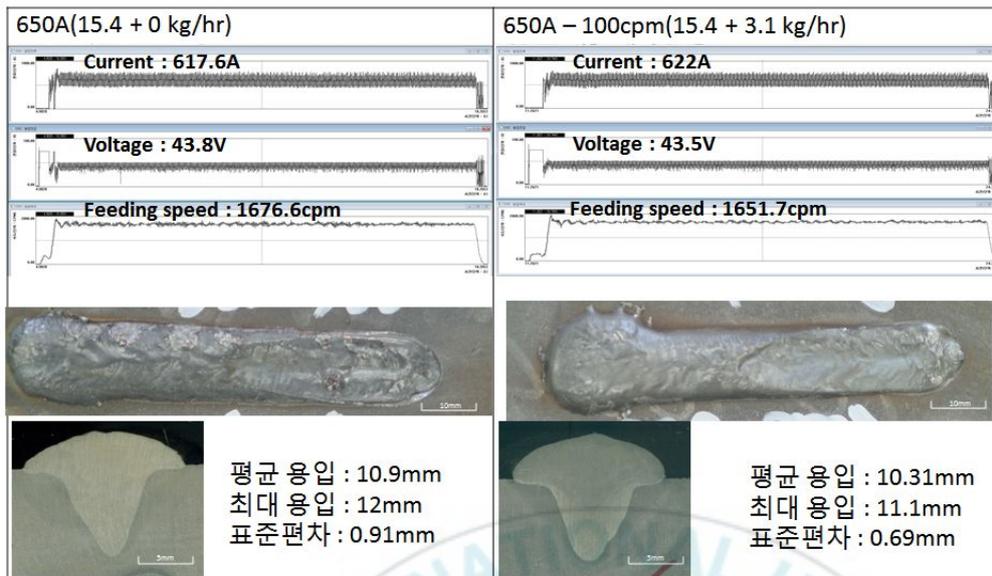


Table 4.11 Waveform, Bead appearance & Cross section



Table 4.12 Waveform, Bead appearance & Cross section



Table 4.13 Waveform, Bead appearance & Cross section

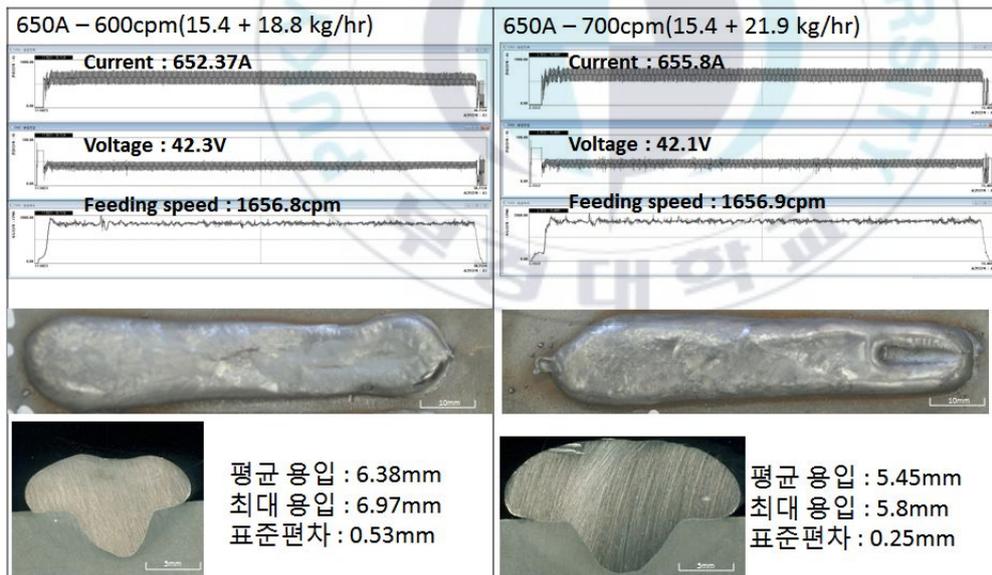


Table 4.14 전류와 Strip 송급속도에 따른 용착속도,
입열량비, 평균용입 및 최대용입

	용착속도	입열량비	-2	-1	0	1	2	평균용입	표준편차	최대용입
450	8 kg/hr	49.18 J/mm ³	5.32	6.55	6.96	6.55	5.60	6.20	0.63	6.96
4-1	11.1 kg/hr	35.47 J/mm ³	4.37	5.03	5.23	4.85	3.50	4.60	0.62	5.23
4-2	14.3 kg/hr	27.74 J/mm ³	4.25	4.75	5.23	4.75	3.70	4.54	0.52	5.23
4-3	17.4 kg/hr	22.78 J/mm ³	2.65	3.20	3.45	3.15	2.55	3.00	0.34	3.45
4-4	20.5 kg/hr	19.32 J/mm ³	2.40	2.75	3.05	2.55	1.75	2.50	0.43	3.05
4-5	23.7 kg/hr	16.77 J/mm ³	2.80	4.00	4.68	4.40	3.25	3.83	0.70	4.68
550	11.5 kg/hr	47.72 J/mm ³	7.60	8.85	9.23	8.75	7.15	8.32	0.80	9.23
5-1	14.6 kg/hr	37.60 J/mm ³	7.35	8.10	8.32	7.80	6.25	7.56	0.73	8.32
5-2	17.8 kg/hr	31.02 J/mm ³	6.20	6.95	7.34	6.85	5.70	6.61	0.58	7.34
5-3	20.9 kg/hr	26.40 J/mm ³	5.30	6.35	6.65	6.30	5.30	5.98	0.57	6.65
5-4	24 kg/hr	22.98 J/mm ³	4.60	5.35	5.60	5.20	4.35	5.02	0.47	5.60
5-5	27.2 kg/hr	20.34 J/mm ³	3.50	4.58	4.94	4.32	2.90	4.05	0.74	4.94
5-6	30.3 kg/hr	18.25 J/mm ³	3.05	3.15	3.33	3.10	2.90	3.11	0.14	3.33
5-7	33.4 kg/hr	16.54 J/mm ³	2.20	3.40	3.73	3.50	3.05	3.18	0.53	3.73
650	15.4 kg/hr	46.97 J/mm ³	9.98	11.45	12.00	11.40	9.65	10.90	0.91	12.00
6-1	18.5 kg/hr	39.13 J/mm ³	9.70	10.75	11.10	10.70	9.30	10.31	0.69	11.10
6-2	21.7 kg/hr	33.54 J/mm ³	7.30	10.80	11.30	10.60	7.80	9.56	1.66	11.30
6-3	24.8 kg/hr	29.34 J/mm ³	7.60	10.40	10.90	10.45	8.05	9.48	1.37	10.90
6-4	27.9 kg/hr	26.08 J/mm ³	6.40	8.80	9.37	8.70	7.60	8.17	1.06	9.37
6-5	31.1 kg/hr	23.47 J/mm ³	6.13	7.83	8.47	7.88	6.68	7.40	0.86	8.47
6-6	34.2 kg/hr	21.33 J/mm ³	6.20	6.75	6.97	6.55	5.45	6.38	0.53	6.97
6-7	37.3 kg/hr	19.56 J/mm ³	5.08	5.55	5.80	5.55	5.25	5.45	0.25	5.80



4.2.3 고찰

Fig. 4.2는 Filler C-Strip의 용착속도에 대한 Super-MAG의 각 전류영역대 별 최대 용착속도를 실험 데이터를 기반으로 그래프로 나타낸 것이다. Fig. 4.2에서 기존 $\varnothing 1.6$ Wire의 GMAW 최대용착속도 740A에서 20.4kg/hr 이다.

Super-MAG 실험을 통해 450A에서는 최대 23.7kg/hr, 550A에서는 최대 33.4kg/hr, 650A에서는 최대 37.3kg/hr의 용착속도를 얻을 수 있었다.

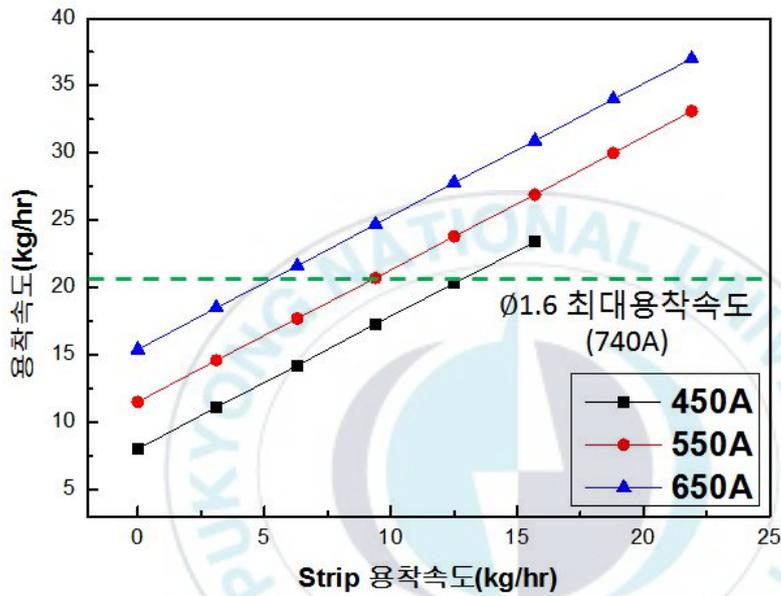


Fig. 4.2 Filler C-Strip 용착속도에 따른 전류 때 별 Total 용착속도

Fig. 4.3 ~ 5는 Filler C-Strip 용착속도에 따른 450A, 550A, 650A일 때 각각의 입열량비를 그래프로 나타내었다.

Fig. 4.3에서 전류가 450A일 때 Filler C-Strip 송급속도가 0cpm일 경우, 입열량비는 $49.18\text{J}/\text{mm}^3$ 이고 Filler C-Strip의 송급속도가 500cpm까지 100cpm으로 증가함에 따라 용착단면적이 증가하여 입열량비는 $16.77\text{J}/\text{mm}^3$ 까지 순차적으로 감소하는 경향을 보였다.

Fig. 4.4에서 전류가 550A일 때 Filler C-Strip 송급속도가 0cpm일 경우, 입열량비는 $47.72\text{J}/\text{mm}^3$ 이고 Filler C-Strip의 송급속도가 700cpm까지 100cpm으로 증가함에 따라 용착단면적이 증가하여 입열량비는 $16.54\text{J}/\text{mm}^3$ 까지 순차적으로 감소하는 경향을 보였다.

Fig. 4.5에서 전류가 650A일 때 Filler C-Strip 송급속도가 0cpm일 경우, 입열량비는 $46.97\text{J}/\text{mm}^3$ 이고 Filler C-Strip의 송급속도가 700cpm까지 100cpm으로 증가함에 따라 용착단면적이 증가하여 입열량비는 $19.56\text{J}/\text{mm}^3$ 까지 순차적으로 감소하는 경향을 보였다.

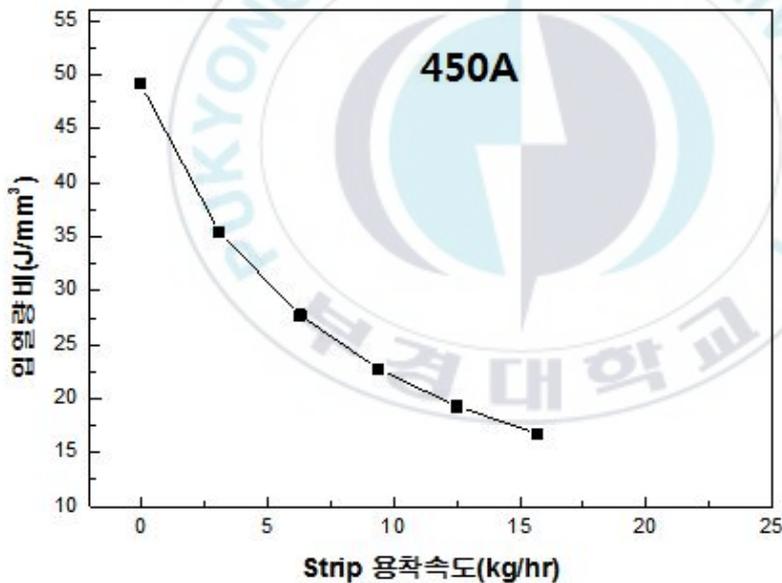


Fig. 4.3 Filler C-Strip 용착속도에 따른 전류 450A 일 때 입열량비

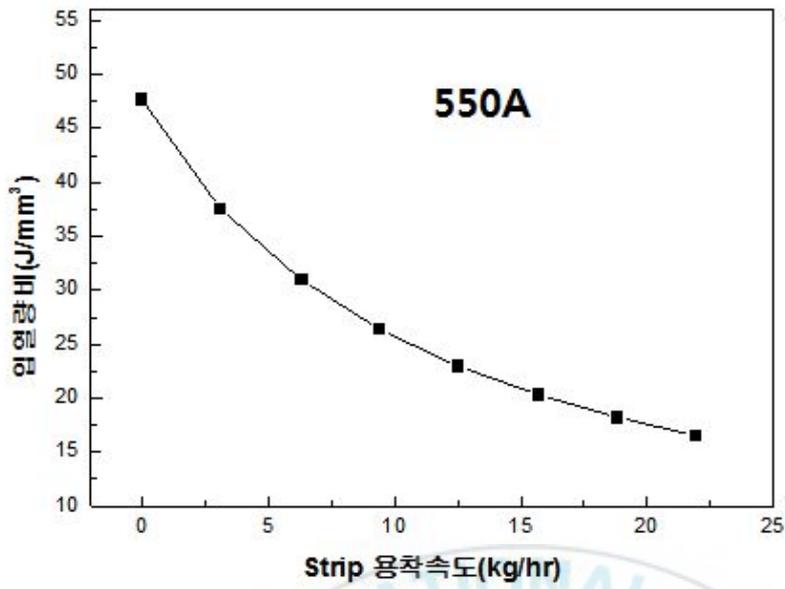


Fig. 4.4 Filler C-Strip 용작속도에 따른 전류 550A 일 때 입열량비

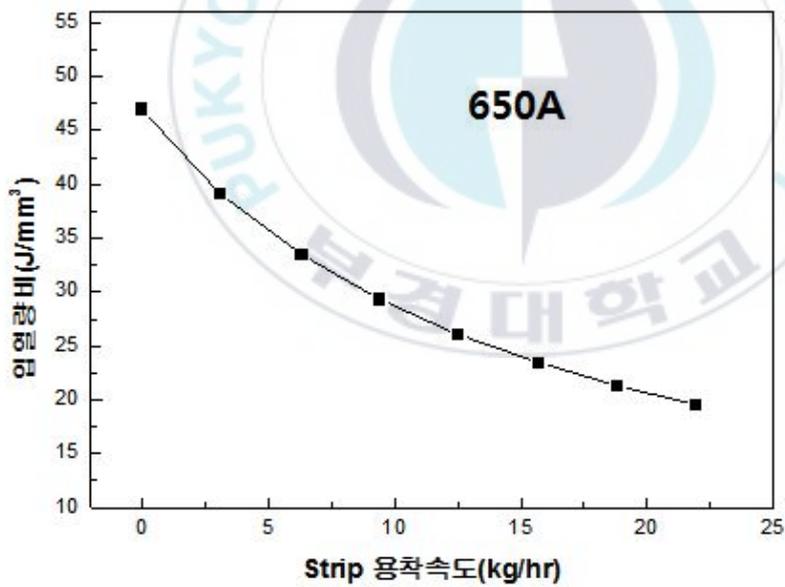


Fig. 4.5 Filler C-Strip 용작속도에 따른 전류 650A 일 때 입열량비

Fig. 4.6 ~ 4.8은 각각의 전류 영역 내에서 Filler C-Strip 용착속도에 따른 평균, 최대 용입을 그래프로 나타내었다.

Fig. 4.6에서 전류가 450A일 때 Filler C-Strip 송급속도가 0cpm일 경우, 평균용입은 6.2mm이고 최대용입은 6.96mm였다. Filler C-Strip의 송급속도가 500cpm까지 100cpm으로 증가함에 따라 용착량이 증가하고 아크를 직·간접적으로 막아주는 C-Strip의 송급속도가 증가하여 평균 및 최대용입은 감소하는 경향을 보였고 500cpm의 경우 평균용입은 3.83mm이고 최대용입은 4.68mm이었다. 직선회귀분석을 한 결과 평균 용입의 R-Square값은 0.92, 최대 용입의 R-Square값은 0.91로 C-Strip의 송급속도가 증가함에 따라 평균과 최대용입은 직선적으로 감소하는 경향을 보였다.

Fig. 4.7에서 전류가 550A일 때 Filler C-Strip 송급속도가 0cpm일 경우, 평균용입은 8.32mm이고 최대용입은 9.23mm였다. Filler C-Strip의 송급속도가 700cpm까지 100cpm으로 증가함에 따라 용착량이 증가하고 아크를 직·간접적으로 막아주는 C-Strip의 송급속도가 증가하여 평균 및 최대용입은 감소하는 경향을 보였고 700cpm의 경우 평균용입은 3.18mm이고 최대용입은 3.73mm이었다. 직선회귀분석을 한 결과 평균 용입의 R-Square값은 0.99, 최대 용입의 R-Square값은 0.99로 C-Strip의 송급속도가 증가함에 따라 평균과 최대용입은 직선적으로 감소하는 경향을 보였다.

Fig. 4.8에서 전류가 650A일 때 Filler C-Strip 송급속도가 0cpm일 경우, 평균용입은 10.9mm이고 최대용입은 12mm였다. Filler C-Strip의 송급속도가 700cpm까지 100cpm으로 증가함에 따라 용착량이 증가하고 아크를 직·간접적으로 막아주는 C-Strip의 송급속도가 증가하여 평균 및 최대용입은 감소하는 경향을 보였고 700cpm의 경우 평균용입은 5.45mm이고 최대용입은 5.8mm이었다. 직선회귀분석을 한 결과 평균 용입의 R-Square값은 0.96, 최대 용입의 R-Square값은 0.89로 C-Strip의 송급속도가 증가함에 따라 평균과 최대용입은 직선적으로 감소하는 경향을 보였다.

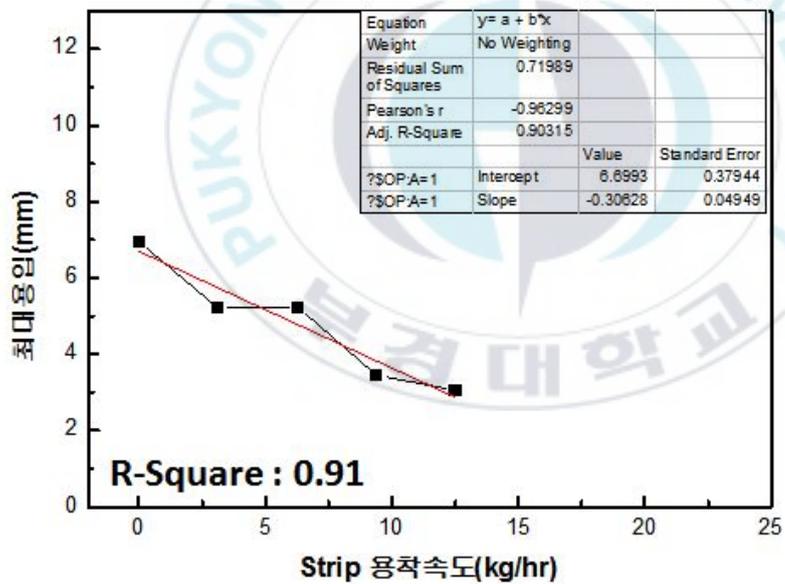
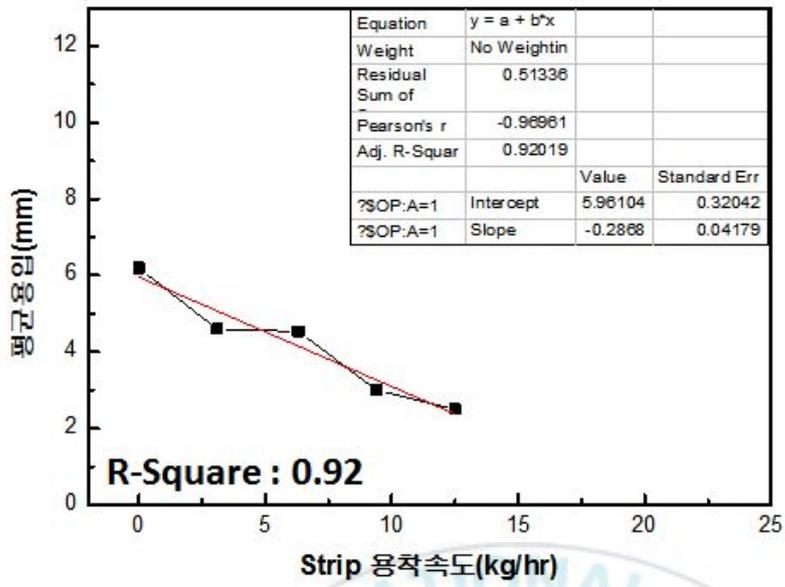


Fig. 4.6 Filler C-Strip 용착속도에 따른 전류 450A 일 때 평균, 최대 용입

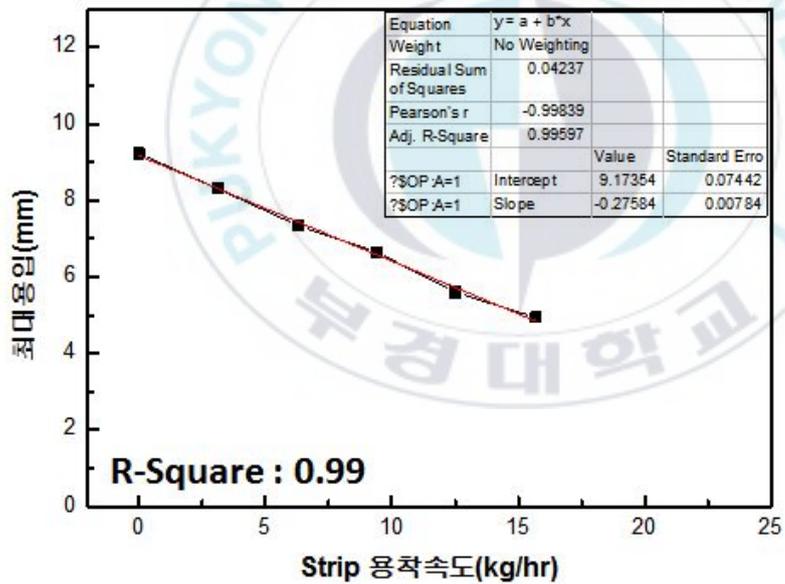
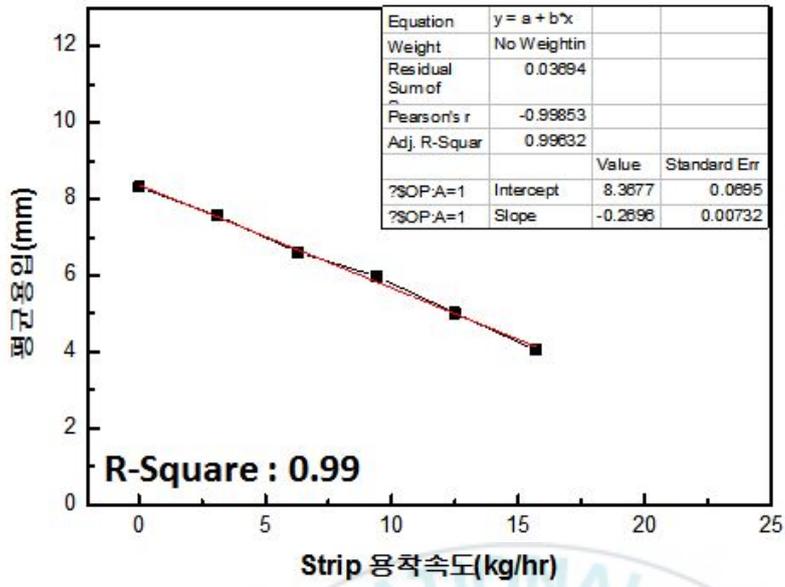


Fig. 4.7 Filler C-Strip 용착속도에 따른 전류 550A 일 때 평균, 최대 용입

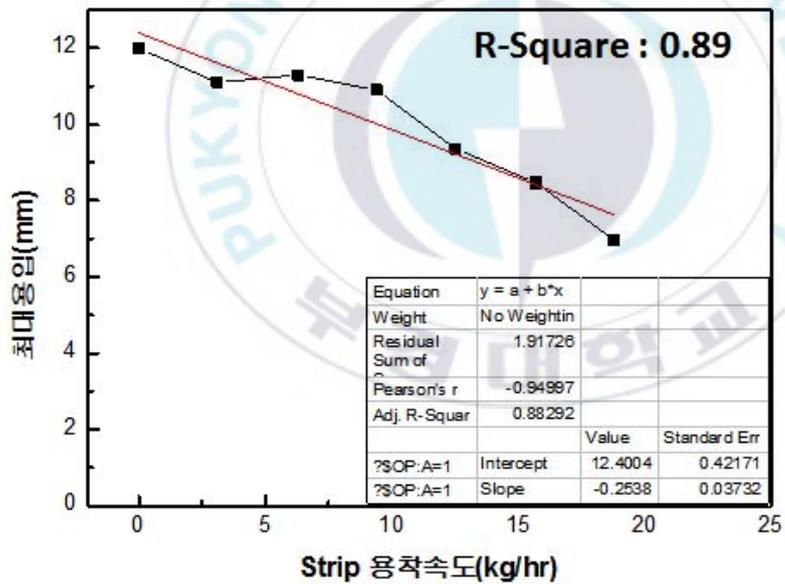
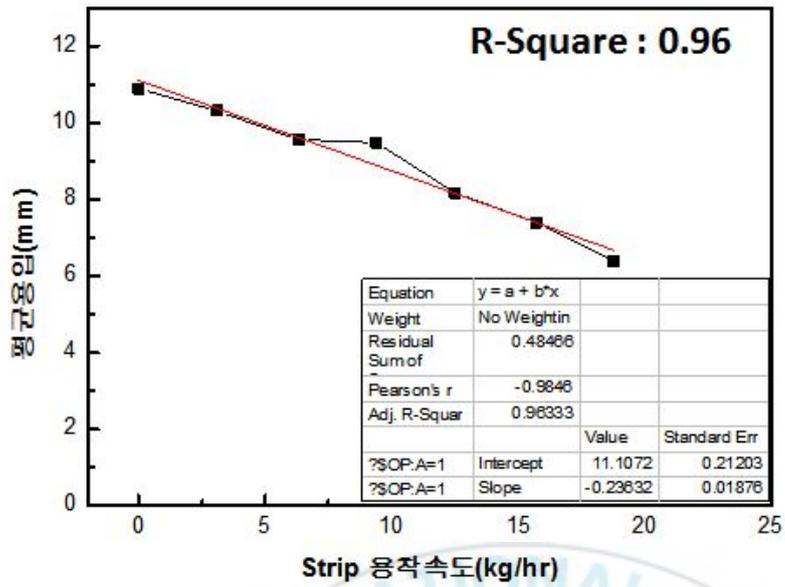


Fig. 4.8 Filler C-Strip 용착속도에 따른 전류 650A 일 때 평균, 최대 용입

4.3 결론

Super-MAG용접에서 전류에 따른 Filler C-Strip 송급속도 변경실험 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) GMAW 전류 450A, 550A, 650A에 따라 Filler C-Strip을 송급하여 용착량과 용입을 확인하였을 때, 450A는 용착속도 20.5kg/hr, 550A는 27.2kg/hr, 650A는 34.2kg/hr까지 스패터 없이 안정적으로 용융되었고 각각 최대 용착속도는 450A에서 23.7kg/hr, 550A에서 33.4kg/hr, 650A에서 37.3kg/hr의 용착속도를 얻을 수 있었다.

2) 각 전류에 따라 Filler C-Strip의 용착속도가 안정적인 범위에서는 용착속도의 증가에 따라 입열량비가 감소하고 용입의 평균과 최대치는 직선적으로 감소하는 경향을 보였다.



제 5장 Super-MAG 용접에 의한 Fillet 용접 적용 실험

5.1 서언

본 연구에서는 Super-MAG 용접 공정의 Fillet 용접 적용 실험에 관해 기초 적용실험을 하였다. 용착속도는 21kg/hr 고정 하여 용접속도를 40cpm에서 150cpm까지 10cpm으로 올라가며 실험을 진행하였다.

용접의 합불 판정은 비드외관, 횡단면, 각장, 비드 볼록 정도를 통해 하였다.



5.2 용착속도 21kg/hr에서 용접속도에 따른 Fillet MAG 용접 현상 관찰

5.2.1 실험 방법

Table 5.1은 Super-MAG의 용접조건을 나타내었다. 실험에서 용접 전원은 Fronius TPS-7200을 사용하였다. 모식도는 Fig. 5.1에 나타내었다.

Table 5.1 Welding condition

Power source	Fronius TPS-7200, Pulse												
Shield gas(30l/min)	Ar-20%CO ₂												
CTWD(mm)	25												
Melting rate(kg/hr)	21												
Wire feed rate(cpm)	1240												
Current(A)	570												
Voltage(V)	38												
Welding speed(cpm)	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	
Oscillation width(mm)	2.4	2.8	3.2	3.6	4	4.6	5.2	6	7	8.4	10.2	12.8	
Deposited metal area(mm ²)	30	32.1	34.6	37.4	40.8	44.9	49.9	56.2	64.2	74.9	89.9	112.3	
Heat Input(kJ/mm)	3.2	2.6	2.2	1.9	1.6	1.4	1.3	1.2	1.1	1.0	0.9	0.9	

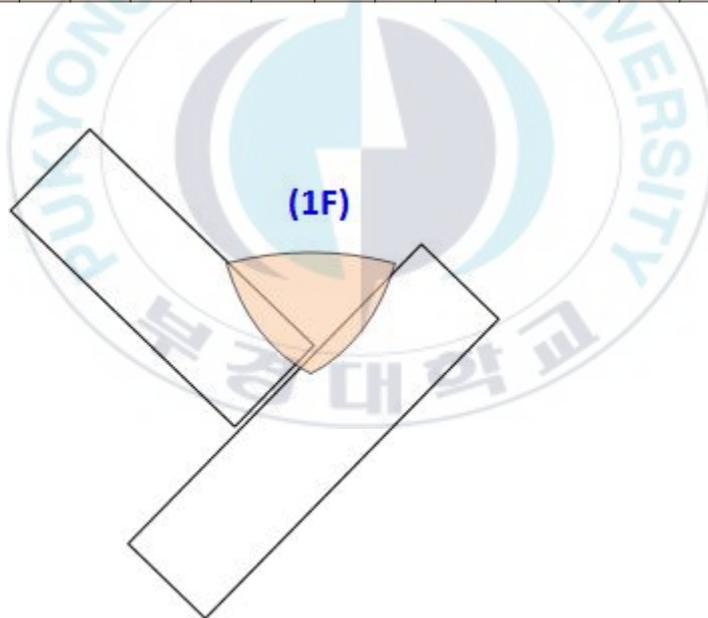


Fig 5.1 Fillet weld - 1F

5.2.2 실험결과

Table 5.2 ~ 5.4는 용접속도 40cpm부터 150cpm까지 10cpm씩 올라가면서 용접하여 얻은 비드외관과 횡단면이다. Table 5.5는 실험 결과를 정리한 데이터 표이다.

Table 5.2 Bead appearance and cross section area by welding speed
(Welding speed 40~70cpm)

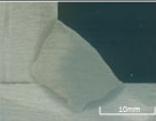
Welding speed (cpm)	Bead appearance	Cross section area
40		
50		
60		
70		

Table 5.3 Bead appearance and cross section area by welding speed
(Welding speed 80~110cpm)

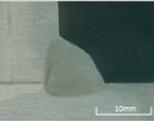
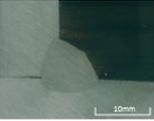
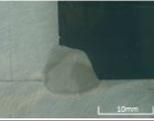
Welding speed (cpm)	Bead appearance	Cross section area
80		
90		
100		
110		

Table 5.4 Bead appearance and cross section area by welding speed
(Welding speed 110~150cpm)

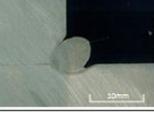
Welding speed (cpm)	Bead appearance	Cross section area
120		
130		
140		
150		

Table 5.5 Result date

Welding speed (cpm)	Current (A)	Voltage (V)	Leg length (mm)	Bead width (mm)	Penetration (mm)	Normalized Bead convexity	Heat Input (kJ/mm)	Remark
40	571.9	36.9	13.3	18.8	3.2	0.05	3.25	Good
50	562.3	37.5	11.5	16.3	2.6	0.10	2.60	Good
60	578	36.5	10.4	14.7	4.0	0.11	2.17	Good
70	574.4	36.7	9.9	14.0	2.7	0.12	1.86	Good
80	577.5	36.6	9.5	13.4	2.6	0.12	1.62	Good
90	546.7	38.4	7.8	11.0	3.8	0.16	1.44	Good
100	551.6	38.2	7.4	10.5	2.5	0.22	1.30	Good
110	546.7	38.4	6.3	8.9	2.5	0.27	1.18	Good
120	552.2	38	6.7	9.5	2.8	0.23	1.08	Good
130	557.5	37.8	6.4	9.0	2.2	0.23	1.00	Good
140	556.2	38	-		2.1	-	0.93	Undercut
150	550.9	38.3	-		2.0	-	0.87	Undercut



5.2.3 고찰

Fig. 5.2는 용접속도에 따른 각장을 그래프로 나타내었다. 21kg/hr의 동일한 용착속도에서 용접속도가 증가함에 따라 용착단면적이 감소하여 전체 각장은 감소하였다.

이때 용접속도 40cpm에서 각장은 13.3mm에서 언더컷이 없는 건전한 비드 외관을 가지는 용접속도 130cpm에서 각장은 6.4mm로 최대각장 13mm에서 최소각장 6mm까지 만족하는 것을 확인하였다.

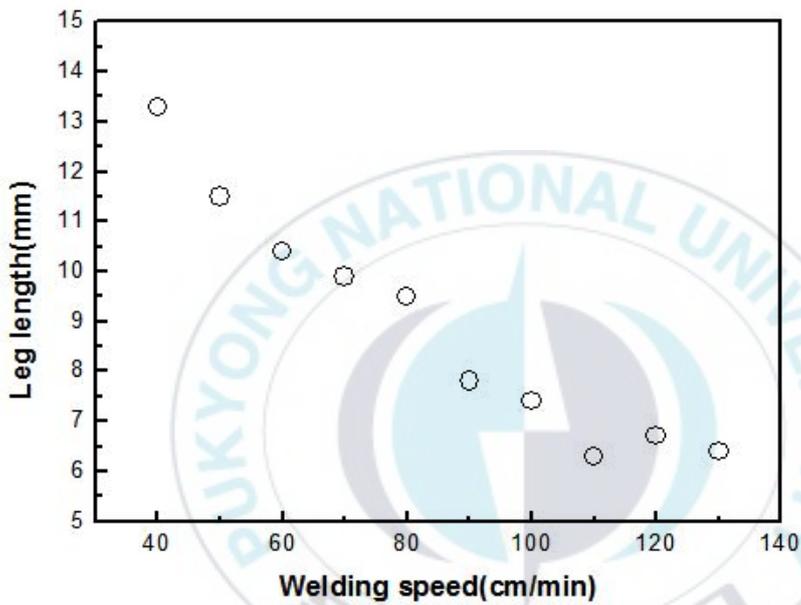


Fig. 5.2 Leg length by welding speed

Fig. 5.3은 용접속도에 따른 비드 볼록 정도를 그래프로 나타내었다. 21kg/hr의 동일한 용착속도에서 용접속도가 증가함에 따라 용착단면적은 감소하여 비드의 크기는 줄었지만 빠른 용접속도로 인한 냉각속도 향상과 오실레이션 미실시로 인해 비드 퍼짐이 양호하지 못하여 비드 볼록 정도는 용접속도 40cpm, 50cpm의 범위에서만 만족하였다.

따라서, 용접속도가 증가함에 따라 각장은 감소, 비드 볼록 정도는 증가하는 경향을 보였다.

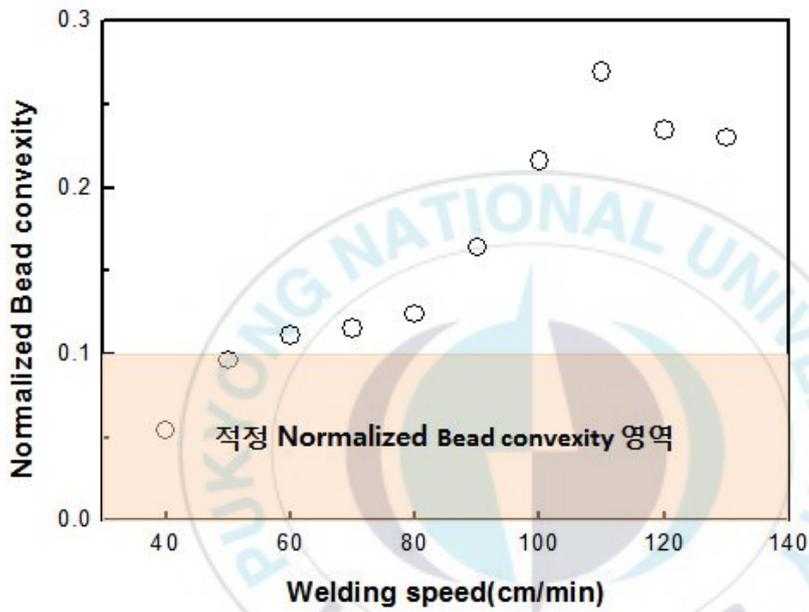


Fig. 5.3 Normalized Bead convexity by welding speed

5.3 비드 외관 향상을 위한 Fillet MAG 용접 전압 변경 실험

5.3.1 실험 방법

Table 5.6은 비드 외관 향상을 위한 Fillet MAG 용접 전압 변경 실험에서 용접조건을 나타내었다. 용접속도는 50cpm, 100cpm, 150cpm으로 정하였고 각각 전압을 3가지로 나누어 39V~41V로 실험을 진행하였다.

Table 5.6 Welding condition

Power source	Fronius TPS-7200, Pulse								
Shield gas(30l/min)	Ar-20%CO ₂								
CTWD(mm)	25								
Melting rate(kg/hr)	21								
Wire feed rate(cpm)	1240								
Current(A)	570								
Welding speed(cpm)	50			100			150		
Deposited metal area(mm ²)	92.4			46.2			30.8		
Heat Input(kJ/mm)	2.60			1.30			0.87		
Voltage(V)	39	40	41	39	40	41	39	40	41

5.3.2 실험결과

Table 5.7 ~ 5.9는 각각 용접속도 50cpm, 100cpm, 150cpm일 때, 전압 39V~41V로 세팅하여 실험을 진행하여 얻은 비드외관과 횡단면이다. Table 5.10은 실험 결과를 정리한 데이터 표이다.

Table 5.7 Bead appearance and cross section area by ALC
(Welding speed 50cpm)

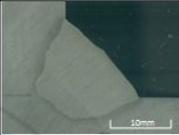
Welding speed (cpm)	전압 (V)	Bead appearance	Cross section area
50	39		
	40		
	41		

Table 5.8 Bead appearance and cross section area by ALC
(Welding speed 100cpm)

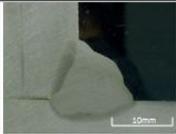
Welding speed (cpm)	전압 (V)	Bead appearance	Cross section area
100	39		
	40		
	41		

Table 5.9 Bead appearance and cross section area by ALC
(Welding speed 150cpm)

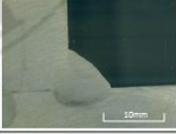
Welding speed (cpm)	전압 (V)	Bead appearance	Cross section area
150	39		
	40		
	41		

Table 5.10 Result date

Welding speed (cpm)	Voltage (V)	Current (A)	Leg length (mm)		Bead width (mm)	Penetration (mm)	Normalized Bead convexity
			Vertical	Horizontal			
50	39	584.1	14.3	13.2	19.4	4.6	0.07
	40	606.9	12.2	13.4	18.1	4.4	0.06
	41	612.5	15.5	13.8	20.7	3.2	0.03
100	39	589.4	10.8	9.5	14.4	5.0	0.14
	40	600.2	11.1	10.0	14.9	3.7	0.09
	41	604.1	11.6	10.5	15.6	3.6	0.05
150	39	597.5	9.4	9.1	13.1	2.7	0.10
	40	601.2	9.2	9.2	13.0	2.7	0.08
	41	602.9	9.3	8.3	12.4	3.9	0.12



5.3.3 고찰

Fig. 5.4는 용접속도에 따른 각장을 그래프로 나타내었다. 21kg/hr의 동일한 용착속도에서 용접속도가 증가함에 따라 용착단면적이 감소하여 전체 각장은 감소하였다.

이때 용접속도 150cpm의 41V에서는 Table 5.9의 횡단면에서도 확인 할 수 있듯이 41V의 높은 전압과 빠른 용접속도로 인해 용접결함인 기공이 생성되었다. 이외 50cpm, 100cpm의 39V~41V와 150cpm의 39V, 40V에서는 건전한 비드를 형성하는 것을 확인 할 수 있었다.

전압이 증가함에 따라 각장은 직선적으로 증가하여, 용접속도가 빠르더라도 전압조절을 통해 비드 볼록 정도가 0.1 이하인 건전한 비드가 형성하는 것을 확인 할 수 있었다.

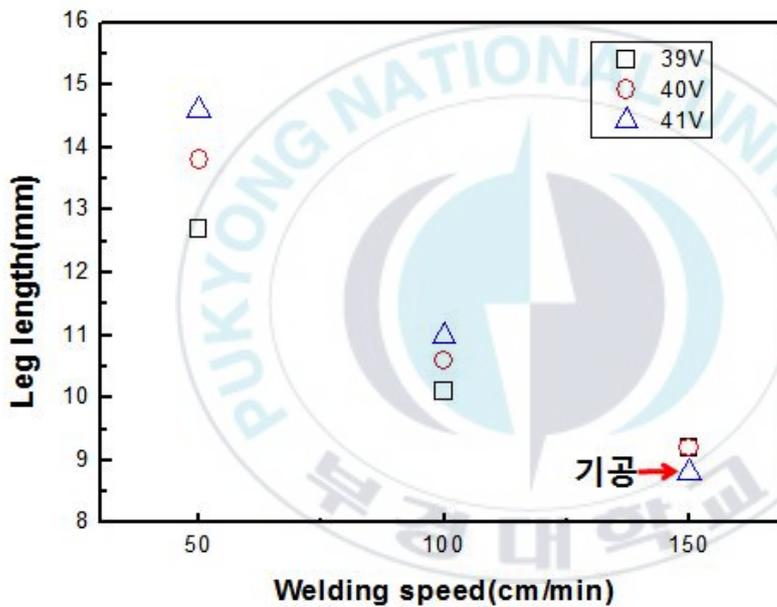


Fig. 5.4 Leg length by welding speed

Fig. 5.5는 용접속도에 따른 비드 볼록 정도를 그래프로 나타내었다. 21kg/hr의 동일한 용착속도에서 각각의 용접속도에서 전압이 증가함에 따라 비드 볼록 정도는 감소하여 0.1이하의 건전한 비드를 형성하는 것을 확인 할 수 있었다.

이때 각각의 용접속도에서 비드 볼록 정도 0.1 이하가 되는 전압조건은 50cpm의 경우 39V, 40V, 41V의 모든 전압 조건이고, 100cpm의 경우 40V, 41V, 150cpm의 경우 40V 이하에서 비드 볼록 정도의 양호한 수준인 것으로 확인 되었다.

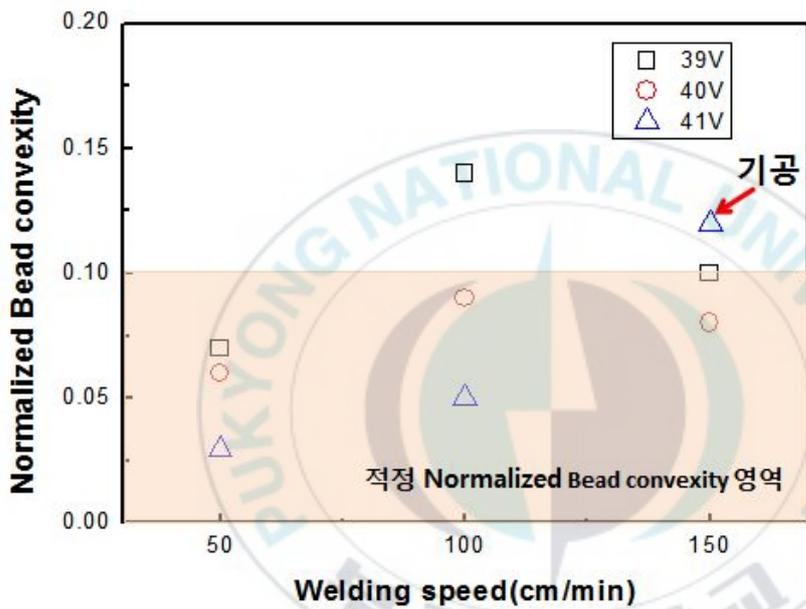
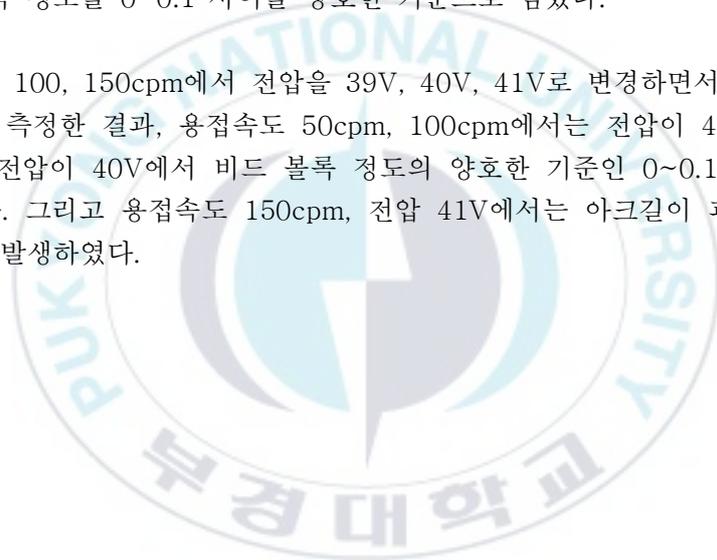


Fig. 5.5 Bead convexity by welding speed

5.4 결론

Super-MAG 용접에 의한 Fillet 용접 적용 실험을 한 결과 다음과 같았다.

- 1) \varnothing 1.6 Wire GMAW 600A(용착속도 11.5kg/hr)의 아크에 Filler C-Strip(용착속도 9.5kg/hr)를 송급하여 1F 자세에서 용착속도 21kg/hr의 Super-MAG 용접을 진행 한 결과 스패터가 상당히 적게 발생하였고, 안정적인 용입이 형성되었다.
- 2) 상기의 프로세스를 적용하여 전압을 40V로 하면 용접속도 150cpm의 고속 용접에서도 안정적인 비드외관과 용입이 얻어졌다.
- 3) Fillet 용접에서 비드의 불룩하거나 오목한 정도가 품질 판단에 막대한 영향을 끼치는데 이를 수치화 하고 비드 불룩 정도를 제시하였다. 판단의 타당성으로 비드 불룩 정도를 0~0.1 사이를 양호한 기준으로 삼았다.
- 4) 용접속도 50, 100, 150cpm에서 전압을 39V, 40V, 41V로 변경하면서 비드 불룩 정도를 측정한 결과, 용접속도 50cpm, 100cpm에서는 전압이 41V, 150cpm에서는 전압이 40V에서 비드 불룩 정도의 양호한 기준인 0~0.1 사이를 만족하였다. 그리고 용접속도 150cpm, 전압 41V에서는 아크길이 과대로 인해 기공이 발생하였다.



제 6장 결론

본 연구에서는 GMAW의 생산성을 높일 때, 높은 전류로 인한 로테이트 이행으로 과도한 스패터와 아크 불안정을 해결하며 동시에 높은 용착속도를 가지는 새로운 용접공정에 대한 실험으로 기존 GMAW아크에 C-Strip을 추가적으로 넣어 아크안정성을 확인하였다. 추가적으로 현장 적용성을 확인하기 위해 Fillet 용접도 다양한 용접조건을 통해 진행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) \varnothing 1.2 Filler Wire 및 C-Strip을 전방 및 후방 송급 실험 한 결과 상대적으로 Filler C-Strip이 Filler Wire에 비해 기존 GMAW의 용적 이행이 안정적이고 스패터가 작게 튀는 걸 관찰 할 수 있었다. 이는 플라즈마 기둥인 Arc를 하나의 열원이라고 봤을 때, Arc의 전체 표면에 대한 Filler Wire 및 Filler C-Strip의 비표면적은 폭이 큰 C-Strip이 크고 따라서 Filler C-Strip은 더 큰 열을 받게 되므로 Filler Wire 보다 Arc의 중심부분이 아닌 걸 테두리부분에서 용융하게 되어 전체적인 Arc안정성은 Filler C-Strip이 우수하다고 판단된다.

2) GMAW 전류 450A ~650A에 따라 Filler C-Strip을 송급하여 용착량과 용입을 확인하였을 때, 450는 용착속도 20.5kg/hr, 550A는 용착속도 37.2kg/hr, 650A는 용착속도 34.2kg/hr까지 스패터 없이 안정적으로 용융되었고 용착속도가 안정적인 범위에서는 용착속도의 증가에 따라 입열량비가 감소하고 용입의 평균과 최대치는 직선적으로 감소하는 경향을 보였다.

3) \varnothing 1.6 Wire GMAW 600A(용착속도 11.5kg/hr)의 아크에 Filler C-Strip(용착속도 9.5kg/hr)를 송급하여 1F 자세에서 용착속도 21kg/hr의 Super-MAG 용접을 진행 한 결과 스패터가 상당히 적게 발생하였고, 안정적인 용입이 형성되었다. 용접속도 50, 100, 150cpm에서 전압을 39V, 40V, 41로 변경하면서 비드 블록 정도를 측정한 결과, 용접속도 50cpm, 100cpm에서는 전압이 41V, 150cpm에서는 전압이 40V에서 비드 블록 정도의 양호한 기준인 0~0.1 사이를 만족하였다. 그리고 용접속도 150cpm, 전압 41V에서는 아크길이 과대로 인해 기공이 발생하였다.

참 고 문 헌

- 1) AWS : Welding Handbook, Vol. 2, 8th Ed, 1991
- 2) 안영호, 이종봉, 엄동숙 : GMA 용접의 용적이행현상에 미치는 제인자의 영향, 대한용접학회지, 16-1 (1998), 17
- 3) J.H Waszink, L.H.J. Graat : Der Einflues der Sasstroemung auf die Tropfenabloesung beim Plasma-MIG Scheisseu, Grosse Schweisstechnische Tagung, DVS Berichte(1977), 198
- 4) J.F. Lancaster : Physics of Welding Arc, Pergamon Press (1985)
- 5) Modern Welding, 11th edition, p258
- 6) P. Praveen, M.J. Kang, P.K.K.V. Yarlagadda : Drop transfer mode prediction in pulse GMAW of aluminum using statistical model ; journal of materials processing technology 201 (2008) 502-506
- 7) KWJS(대한용접접합학회) : 용접접합 편람 ; 3권 p45~50, 2007
- 8) Modern Welding, 11th edition, p258
- 9) AWS : Welding Handbook, Volume 1, 9th , p79
- 10) R. L. BISH : The Melting rate of a single-Phase Welding Wire, A single differential equation linking melting rate, electrode extension and current density is proposed ; WJ (1992. 07)

학위과정 중 주요 학술지 게재 및 발표논문과 특허

1. 학술발표대회 발표논문

- 1) 초고전류 Pulse GMAW에서 용적 표면장력에 따른 최적 Pulse 파형 개발 (15년 춘계)
- 2) 20kg/hr 이상의 용착속도를 위한 Super-MAG 프로세스 개발에 관한 연구 (15년 추계)

2. 참여

- 1) 초고장력 강판 GMAW 겹치기 이음 용접부 목두께가 강도에 미치는 영향 (14년 춘계)
- 2) 내열합금의 TIG용접에서 고온균열에 미치는 시공조건의 영향 (14년 춘계)
- 3) 용적의 표면장력이 로테이팅 이행 GMAW의 스패터에 미치는 영향 (14년 추계)
- 4) Super_TIG용접에 의한 2Layer 클래드용접 용입제어 방법의 개발 (14년 추계)
- 5) 박판 용접 갭 브리징 능력 향상을 위한 Super_TIG 용접 프로세스 개발 (15년 춘계)
- 6) 20kg/hr 이상의 용착속도의 Super-MAG에 의한 필릿 용접 고속 프로세스 개발 (15년 추계)

3. 특허 출원

- 1) 발명의 국문명칭 : 용접용 용가재 송급장치
출원 일자 : 2014.04.30
출원 번호 : 10-2014-0052789
- 2) 발명의 국문명칭 : 용접용 용가재 예열 장치
출원 일자 : 2014.04.30
출원 번호 : 10-2014-0052811
- 3) 발명의 국문명칭 : 용접용 용가재
출원 일자 : 2014-04-30
출원 번호 : 10-2014-0052722
- 4) 발명의 국문명칭 : 비소모성 전극을 갖는 용접 장치 및 그 작동 방법
출원 일자 : 2014.08.14
출원 번호 : 10-2014-0106287



감사의 글

2013년 4월 용접 프로세스 및 실험이라는 강의를 들으면서 담당 교수님이었던 조상명 교수님의 열정적인 강의와 보다 상세한 산업현장의 묘사에 이끌려 용접 Process lab에 들어오게 되었습니다. 길다면 길고 짧다면 짧은 3년의 기간 동안 기본적으로 엔지니어로서 필요한 내용들과 감각적인 느낌을 깨닫게 해주신 조상명 교수님과 다양한 조언과 도움을 준 실험실 선배님과 후배님들에게 먼저 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

학부 4년과 대학원 2년의 기간 동안 많은 것을 배웠습니다. 논문심사와 논문지도에 대하여 아낌없이 조언을 해주시고 논문을 잘 마무리 할 수 있도록 많은 도움을 주신 김성규 교수님, 항상 친근하게 인사 해주시고 학생들의 말에도 귀 기울이시던 이병우 교수님, 그리고 항상 긍정적인 기운을 나눠주신 박홍일 교수님, 용접 공정에만 치우칠 수도 있지만 용접재료와 조직에 대해 상세히 가르쳐주신 방국수 교수님, 자동화 제어 시스템과 CAD에 대하여 많은 도움을 주신 서원찬 교수님, 타전공이지만 분말공학에 대해 쉽게 이해해주고 흥미를 가지게 해주신 이길근 교수님, 석사 세미나 때 항상 귀 기울여주시고 엔지니어가, 공학자가 가져야 할 기본적인 발표 태도에 대하여 많은 조언을 해주신 권항상 교수님께 진심으로 감사의 뜻을 전합니다.

대학원 2년 동안 같이 실험실 생활을 하며 힘이 들 때 서로 격려하며 즐겁게 생활했던 14학번 동기들 김성률, 박송이 에게도 감사와 더불어 고생 많았다는 말을 전하고 싶습니다.

그리고 저의 실험실 생활 시작과 끝을 지켜봐주고 좋은 소리 쓴 소리 해주시고 간혹 커피한잔의 여유를 아는 품격 있는 남자 변재규, 전재호 선배 그리고 석사 1년부터 2년까지 과제면 과제 생활이면 생활 군 생활 맞선임 같았던 하지만 제가 먼저 졸업하는 룸메이트 서기정 선배, 그리고 바로 위 선배인 지금은 Super-TIG를 이끌고 선도하는 박정현 선배와 이제는 졸업했지만 좋았던 기억만 그리운 마음만 있는 김영섭, 손민수,

김희재 선배, 그리고 실험실 생활하면서 맡은 과제로 취업의 문턱을 넘은 인생2막 권혁용 선배, 용접 프로세스 및 실험을 같이 들으며 학부 때 전혀 친분이 없다가 급격히 친해진 홍일점이지만 주당 박송이 선생과 이제는 반짝이의 애 아빠가 된 우리 팀 천사 팀장 김성률에게 감사의 뜻을 전합니다.

또한, CS윈드 같은 팀은 항상 시험편 세팅과 갈갈이를 도맡아서 한 대답 들으려면 30분이 걸리는 배미그 배민구, 술 한 잔 기울이면 재미는 항상 성실한 후배 힘내라 짝은 또 있다 이상준, 시대의 흐름을 잘 읽고 다양하지만 남들이 습득하지 않는 정보를 잘 아는 소셜네트워크커 박성한 행님, 부릉부릉 내가 간다 길을 비켜라 골목길 운전의 제왕 조문경, 실험실 막내생활 오래한 그리고 대학생활 초창기부터 알던 그리고 혼자 있을 때는 1.5명의 힘을 내지만 믿어주고 지원해주는 든든한 배경이 있을 때는 백 명분의 일을 하는 한미라 킬러 김영훈, 뭐든지 정리하고 말도 정리하지만 책상은 더러운 술 조심해라 또 머리다 친다 장경철에게 감사의 뜻을 전합니다.

마지막으로, 지금까지 저를 믿고 든든하게 마음편하게 해주신 정작 본인들 마음은 항상 자식 걱정하지만 내비치지 않고 묵묵히 응원해주시는 존경하는 아버지, 또한 내가 알아서 다 할게라고 항상 말하지만 그 뒤에 진심으로 나를 걱정해주시는 내편 어머니에게 감사하고 사랑한다는 말씀드리고 싶습니다.

그리고 집에 갈 때마다 항상 반갑게 저를 맞이해주시고 걱정해주시는 든든한 지원자 우리 할아버지, 할머니 어렸을 적부터 좋은 것은 다 빼기는 심성만 고운 착한 내 동생 고맙습니다.

20대의 모든 부분을 차지하는 대학생활에 이렇게 좋은 사람들과 좋은 경험을 하게 해주신 모든 분들께 깊은 감사의 마음을 전하면서 이 논문을 마칩니다.

사회에서도 지금껏 해왔듯이 열심히 살겠습니다. 고맙습니다.