



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](#)

工學碩士 學位論文

필러와이어의 아크쪽 비표면적에 의한
TIG용접의 용착금속 용융효율 향상 방법



2011年 2月

釜慶大學校 大學院

조선시스템관리공학협동과정

申 熹 燮

工學碩士 學位論文

필러와이어의 아크쪽 비표면적에 의한
TIG용접의 용착금속 용융효율 향상 방법

指導教授 趙相明

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함



2011年 2月

釜慶大學校 大學院

조선시스템관리공학협동과정

申熹燮

申熹燮의 工學碩士 學位論文으로 認准함

2011年 2月



主 審 工學博士 具 滋 三



委 員 工學博士 裴 城 勇



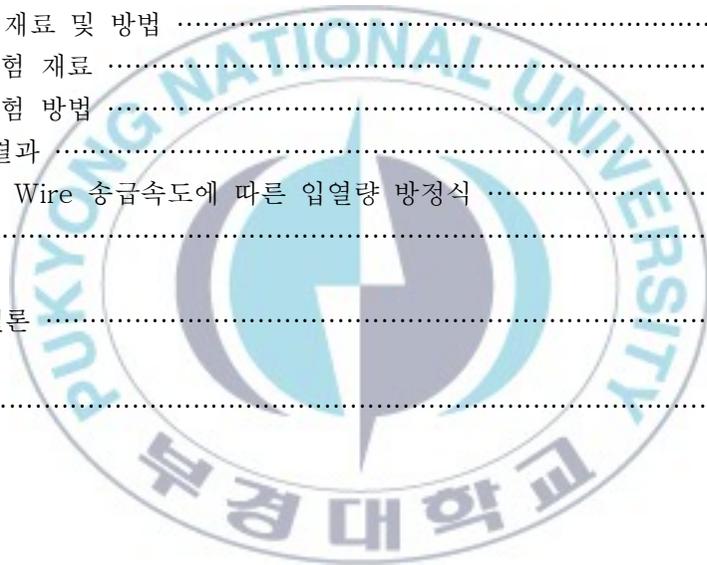
委 員 工學博士 趙 相 明



목 차

Abstract	1
제 1 장 서 론	2
1.1 연구 배경 및 필요성	2
1.2 연구 목적 및 개요	4
제 2 장 이론적 배경	5
2.1 GTAW process	5
2.1.1 GTAW의 정의	6
2.1.2 GTAW의 원리	6
2.1.3 GTAW의 장단점	7
2.2 GTAW 용접기 및 재료	8
2.2.1 용접기	8
2.2.2 용접토치	10
2.2.3 용접재료	11
2.3 육성용접(Overlay Welding)	13
2.4 용착금속 용융효율(Melting Efficiency of Deposited Metal)	15
2.5 아크쪽 비표면적(Specific Surface Area to Arc Side)	17
2.6 개발된 Filler와 기존 Filler Wire의 비교	19
제 3 장 동일한 단면적을 가지는 기존 Filler Wire와 개발된 Filler의 BOP 비교실험	21
3.1 서언	21
3.2 실험 재료 및 방법	21
3.2.1 실험 재료	21
3.2.2 실험 방법	23
3.3 실험결과 및 고찰	25
3.4 결론	28

제 4 장 동일 형상비의 비드 형성에 따른 용착금속 용융효율 비교 실험	29
4.1 서언	29
4.2 실험 재료 및 방법	29
4.2.1 실험 재료	29
4.2.2 실험 방법	30
4.3 실험결과 및 고찰	31
4.4 결론	33
제 5 장 Filler Wire 송급속도에 따른 입열량 검토 실험	34
5.1 서언	34
5.2 실험 재료 및 방법	34
5.2.1 실험 재료	34
5.2.2 실험 방법	34
5.3 실험결과	36
5.4 Filler Wire 송급속도에 따른 입열량 방정식	37
5.5 결론	43
제 5 장 결론	44
참고문헌	45



A Method to Improve Melting Efficiency of Deposited Metal of TIG Welding by Specific Surface Area to Arc Side of Filler Wire

Hee-Seop, Shin

Dept. of Shipbuilding Systems Management Engineering,
The Graduate School, Pukyong National University

Abstracts

Future growth industries in the world as a nuclear power plant industry, largely been focused on the importance of welding technology has been proposed. TIG welding in all materials because of the advantage of being able to get superior quality non-ferrous alloys consisting of piping, pressure vessels are widely used in overlay welding, but the problem is low productivity.

Hot-Wire TIG Welding is Filler Wire heated to near the melting temperature by supplying the molten pool can increase the melting rate. However, it is difficult to be popularly used because the device is expensive and difficult to apply in some parts.

In this study, to improve melting efficiency of deposited metal by developing a large cross section area and high specific surface area to arc side with a Wire compared with traditional Cold-Wire.

Key Words : TIG Welding, Filler Wire, Deposited Metal, Melting Efficiency, Specific Surface Area, Melting Rate

제 1 장 서론

1.1 연구배경 및 필요성

전 세계적으로 미래 성장 산업으로서 원자력 플랜트 산업과 해양 플랜트 산업의 중요성이 크게 대두됨에 따라 내식성 및 내열성 등을 향상시키기 위한 Ni 등의 특수금속 제품의 수요가 증가되고 있다. 그러나 특수 금속소재 가격이 급등함에 따라 원자력발전 기자재의 가격을 절감시키는 육성용접 기술의 중요성이 대두되고 있다.¹⁾

TIG용접은 거의 모든 재료에서 우수한 용접 품질을 확보할 수 있다는 장점이 있기 때문에 비철합금(non-ferrous alloy)으로 이루어진 플랜트의 배관, 압력용기의 용접에 널리 적용되고 있지만 상대적으로 용접 생산성이 떨어진다는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 용융온도 근처까지 가열한 Filler Wire를 용융 풀에 공급하여 용융속도를 증가시키는 핫 와이어(Hot-Wire) TIG용접이 있다. Fig.1.1은 핫 와이어와 콜드 와이어(Cold-Wire)의 전류에 따른 Wire 용융속도를 나타낸다.

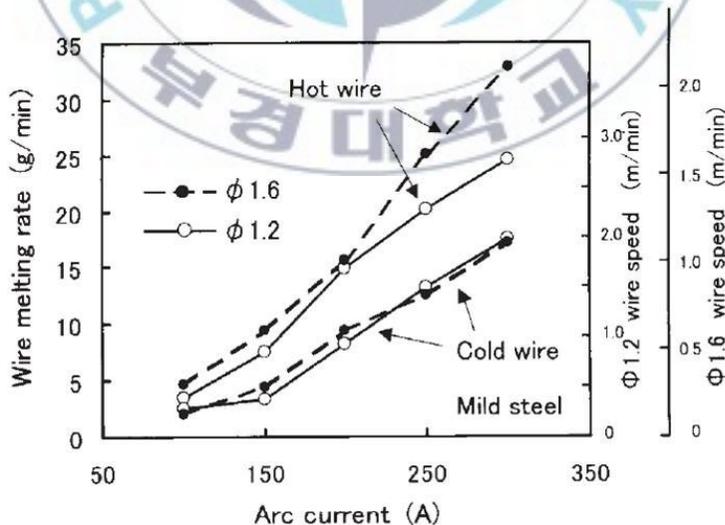


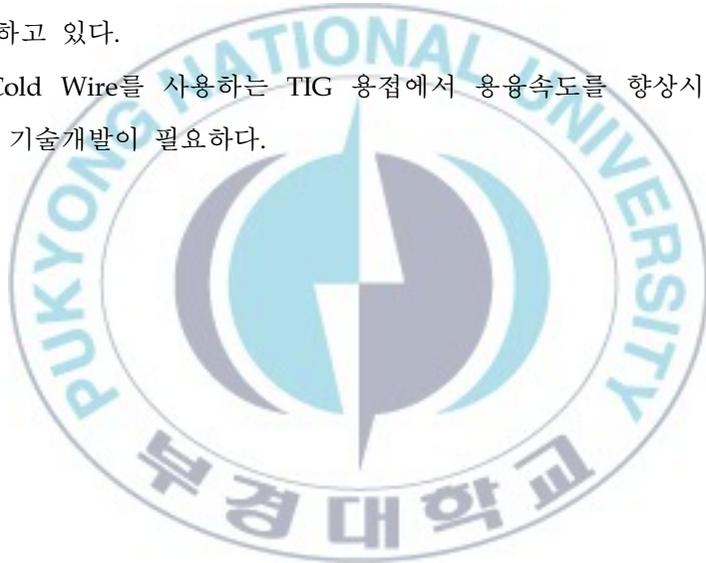
Fig.1.1. Typical welding conditions for two-handed semi-automatic hot Wire TIG welding²⁾

그러나 장치가 고가이며 장치 형상으로 인하여 일부 사용처에 적용하기 힘든 부분이 있어 대중적으로 사용되기 힘들다^{2,3)}.

반면, Cold Wire를 사용한 TIG 용접에서 생산성을 높이기 위해서는 전류를 높이고 용접속도를 증가 시켜야 하지만 대전류를 사용하게 되면 아크 압력에 의한 강한 아크력에 의해 용융지 표면에 심한 압입현상이 생기며, 언더컷, 험핑비드, 그리고 분리비드와 같은 용접결함이 발생하게 되어 고속 용접의 적용에 한계에 부딪히게 된다^{4,6)}.

기존에도 Cold Wire를 사용하는 TIG 용접의 낮은 생산성을 극복하기 위한 여러 시도가 있었지만^{7,8)} Wire의 단면은 원형을 가지고 있어 근본적인 문제점을 해결 하지 못하고 있다.

따라서 Cold Wire를 사용하는 TIG 용접에서 용융속도를 향상시켜 생산성을 증가시키는 기술개발이 필요하다.



1.2 연구 목적 및 개요

본 연구의 목적은 Cold Wire의 용착금속 용융효율을 높이도록 큰 단면적을 가지면서도 아크쪽 비표면적이 큰 Wire를 개발하여 Cold Wire를 사용하는 TIG용접의 생산성을 증가시키는 것이다. 따라서 본 연구는 아크쪽 비표면적이 큰 Wire를 개발하여 기존의 Cold Wire와 BOP를 통한 용접성과 용착금속 용융효율을 비교 분석하였다.



제 2 장 이론적 배경

2.1 GTAW process

아크 용접법은 아크방전에 의해 발생하는 열원(약 6000℃)으로 용접부를 접합시키는 방법으로 소모전극식 (SMAW, GMAW, SAW, EGW)과 비소모 전극식 (GTAW, PAW)으로 구분할 수 있다. Table 2.1은 프로세스 종류별 열원과 보호방법을 나타낸다.

Table 2.1 Classification of various welding

에너지원	용접법	열원	압력부가여부	보호방법	비고
전기적 에너지	ESW	저항열	압력없음	플럭스	
	PW PW, RW RW	저항열	압력없음	보호없음	
	LBW	복사열	압력없음	보호없음	
	EBW	복사열	압력없음	진공	
	DFW	복사열	약한압력	가스 또는 진공	고상용접
	GMAW GTAW PAW EGW FCAW	아크열	압력없음	가스	
	SAW SMAW FCAW	아크열	압력없음	플럭스	
	FW FW, SW SW	아크열	소성변형	보호없음	
CW : cold welding DFW : diffusion welding EBW : electron beam welding EGW : electro gas welding ESW : electro slag welding EXW : explosive welding FRW : friction welding FW : flash welding GTAW : gas tungsten arc welding LBW : laser beam welding		PAW : plasma arc welding PW : projection welding RW : resistance welding SAW : submerged arc welding SMAW : shielded metal arc welding SW : stud arc welding TW : thermit welding USV : ultrasonic welding			

2.1.1 GTAW의 정의

가스 텅스텐 아크 용접(Gas Tungsten Arc Welding)은 Ar, He등과 같은 불활성가스를 실드가스로 사용하면서 비소모성 전극인 텅스텐 전극과 모재사이에서 발생시킨 아크열로 모재를 용융시켜 접합하는 용접법을 말한다. 실드가스로는 모재와 텅스텐용접봉의 산화를 방지하기 위하여 불활성가스인 Ar이나 He 등을 사용하므로 (tungsten inert gas) 용접으로도 부른다. 이 용접법은 모든 용접자세에 적용할 수 있으므로, 아크가 매우 안정되고 용접부 품질이 우수하므로 산화나 질화 등에 민감한 재질의 용접 및 피복아크용접을 적용하기 곤란한 경우에 사용된다. 그러나 가스메탈 아크용접에 비하여 용접속도가 느리므로 생산성은 낮다.

2.1.2 GTAW의 원리

GTAW는 비소모성 텅스텐 용접봉과 모재간의 아크열에 의해 모재를 용접하는 방법으로서 Fig. 2.1과 같이 용접부 주위에 불활성 가스(Ar, He)를 보호가스로 사용하면서 용접하는 것이다.

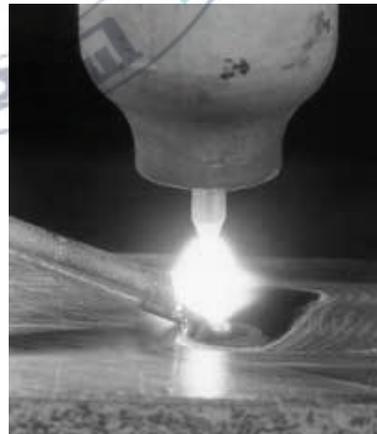
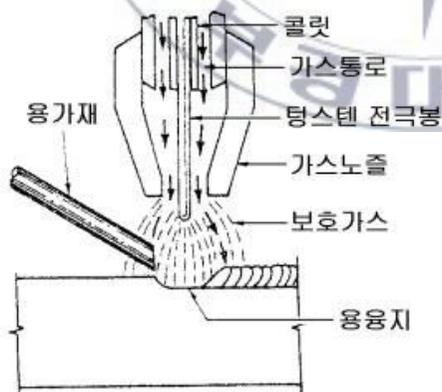


Fig. 2.1 Schematic of GTAW

2.1.3 GTAW의 장단점

1) 장점

GTAW는 용접 입열의 조정이 용이하기 때문에 박판 용접에 매우 좋다. 텅스텐 전극봉이 비소모성이므로 용가재의 첨가 없이도 아크열에 의해 모재를 녹여 용접할 수 있고 거의 모든 금속의 용접에 이용할 수 있다. 그러나 용융점이 낮은 금속 즉, 납, 주석 또는 주석의 합금 등의 용접에는 이용하지 않는다.

- ① 용접부의 기계적 성질이 우수하다.
- ② 내부식성이 우수하다.
- ③ 플럭스가 불필요하여 비철금속 용접이 용이하다.
- ④ 보호 가스가 투명하여 작업자가 용접상황을 잘 파악할 수 있다.
- ⑤ 용접 스파터를 최소한으로 하여 전 자세 용접이 가능하다.
- ⑥ 용접부 변형이 적다.

2) 단점

TIG 용접은 일반적으로 SMAW, SAW, GMAW 등의 방법으로 쉽게 용접이 가능한 경우에 이들 용접방법과는 비용에 있어서 경쟁이 안 될 정도로 전체의 가격 상승을 가져오는 경우가 있는데 그것은 다음과 같다.

- ① 소모성 용접봉을 쓰는 용접 방법보다 용접 속도가 느리다.
- ② 용접 잘못으로 텅스텐 전극봉이 용접부에 녹아 들어가거나 오염될 경우 용접부가 취화되기 쉽다.
- ③ 부적당한 용접 기술로 용가재의 끝 부분이 공기에 노출되면 용접금속이 오염된다.
- ④ 불활성 가스와 텅스텐 전극봉은 다른 용접 방법과 비교해 볼 때 고가이다.
- ⑤ SMAW와 같은 다른 용접 방법에 비해 용접기의 가격이 비싸다.

2.2 GTAW 용접기 및 재료

Fig. 2.2와 같이 전원(Power supply), 토치, 비소모성 텅스텐전극, 실드가스 공급을 조절하는 유량계로 이루어져 있다.

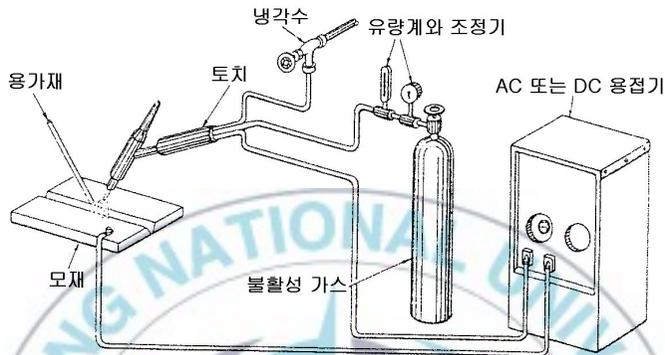


Fig. 2.2 Schematic diagram for GTAW

2.2.1 용접기

현재 사용되고 있는 TIG 용접기 전원은 정전류 특성인 AC 또는 DC이다. 이때 AC 또는 DC 전원의 선택은 요구되는 용접 특성 및 모재의 재질에 따라 좌우된다. 예를 들어 어떤 금속은 AC 전원으로 보다 쉽게 용접되는 반면에, 어떤 금속들은 DC 전원으로서는 좋은 결과를 얻을 수 있다. AC, DC 전원으로 용접할 때의 특성은 다음과 같다.

1) 직류 봉 마이너스(DCEN)

같은 크기의 용접봉으로도 높은 전류를 사용할 수 있기 때문에 용입이 깊고, 용접속도가 빠르고, 비드폭이 좁아진다. 직류 정극성(DC Straight Polarity)이라고도 한다.

2) 직류 봉 플러스(DCEP)

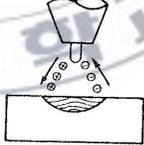
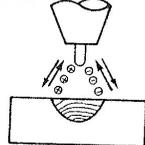
거의 사용하지 않고 특수한 경우 Al, Mg 등의 박판용접에 사용한다.

- ①용접봉의 발열량이 크기 때문에 용접봉 끝이 녹아내릴 염려가 있어서 같은 전류에서 DCEN의 용접봉보다 4배정도 직경이 큰 용접봉을 사용한다.
- ②아르곤을 실드가스로 사용할 때 청정작용(Cleaning action)이 있다.
- ③그림 3.8과 같이 용입이 얇고, 비드폭이 넓다.

3) 교류(AC)

- ①고주파 전원을 첨가하여 사용한다.
- ②용입과 비드폭은 DCEN과 DCEP의 중간이다.
- ③청정작용은 DCEP일 때의 반 정도가 일어난다.

Table 2.2 극성에 따른 비드 형상비교

사 용 극 성	DCEN	DCEP	AC
전자와 이온의 흐름 용입 현상			
청 정 작 용	없다	있다	있다(DCEP의 50%)
발 생 열	70% 모재	30% 모재	50% 모재
	30% 용접봉	70% 용접봉	50% 용접봉
용 입	깊고 좁다	얇고 넓다	중간
용 도	대부분 금속의용접	박판 용접	Al,Mg

2.2.2 용접토치

종류는 냉각 방법에 따라 공랭식과 수냉식의 두 가지가 있다. Fig. 2.3는 수냉 토치를 보여주고 있다.

가스컵(가스 노즐)의 크기는 사용하는 텅스텐 전극봉 직경의 4-6배 정도가 적당 하며, 컵 사이즈가 작으면 과열되어 잘 깨지고, 너무 크면 실드가스 소모가 많다.

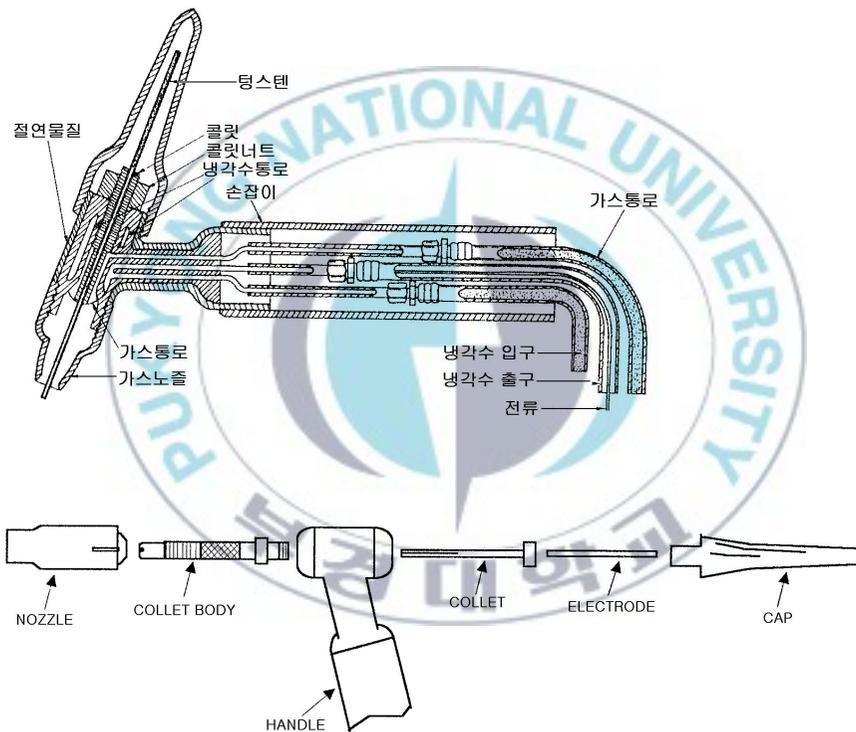


Fig. 2.3 Sectoinal view for TIG welding torch

2.2.3 용접재료

1) 전극봉

각 용접에서 정확한 종류와 사이즈의 전극봉을 사용하는 것은 중요하며, 적당한 전극봉으로 용접해야 만족할만한 결과를 얻는다.

Table 2.3은 텅스텐 종류에 대한 특징과 사용전원을 나타내고 구분은 보통 텅스텐 전극의 끝단의 색으로 구분할 수 있다.

Table 2.3 Classification of tungsten electrode

종 류	구분 색깔 (Color code)	사용전원	특 성
순 텅스텐	초록(green)	교류 고주파	가격이 싸고, 비교적 낮은 전류를 사용하는 용접에 이용한다.
1% 토리아 텅스텐 (thoria tungsten)	노랑(yellow)	DCEN 또는 DCEP	순 텅스텐보다 비싸지만 수명이 길고, 전류 전도성이 좋다.
2% 토리아 텅스텐	빨강(red)	DCEN 또는 DCEP	1%보다 수명이 길고, 주로 항공기 부품같은 박판 정밀 용접에 사용한다.
지르코니아 텅스텐 (zirconia tungsten)	갈색(brown)	교류 고주파	텅스텐보다 수명이 길고, 주로 교류 용접에 이용한다.

2) 보호 가스(Shield gas)

주로 아르곤과 헬륨을 많이 사용하며, 각각의 특징은 Table 2.4와 같다.

Table 2.4 Characteristic of Ar and He

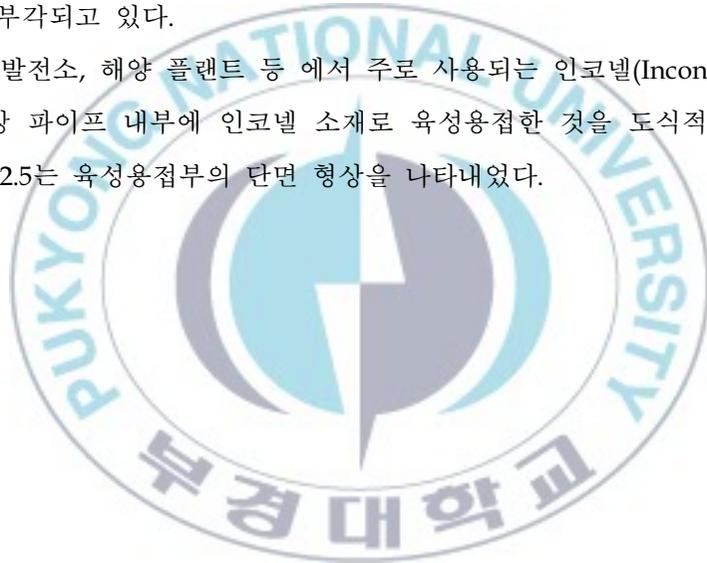
특징	아르곤(Argon)	헬륨(Helium)
열적 펀치력	낮다.	높다.
아크 전압	낮다.(열의 발생이 적다)	높다.(열의 발생이 많다)
아크 발생	헬륨보다 쉽다.	아르곤보다 어렵다.
열영향부(HAZ)	헬륨보다 넓다.	아르곤보다 좁다.
가스 소모량	적다.(분자량 40)	많다.(분자량 4)
아크 안정성	좋다.	아르곤보다 나쁘다.
모재 두께	박판에 좋다.(열의 발생이 적다)	후판에 좋다. (열의 발생이 많다)
청정작용	있다.(DCEP, AC)	없다.
용입(Penetration)	얕다.	깊다.
기타	수동용접에 좋다.	자동용접에 좋다.

혼합가스 : 헬륨(25% 또는 50%)과 아르곤(75% 또는 50%)을 혼합한 가스는 순 아르곤일 때보다 용입이 깊고, 아크 안정성은 순 아르곤일 때와 거의 같다.

2.3 육성용접(Overlay Welding)

내마모, 내식성 또는 내열성을 갖는 합금의 용접재료를 모재 표면에 균일하게 용착시킴으로써 재료의 표면성질을 향상시키고자 하는 표면처리의 한 방법이다. 육성용접에 의한 표면개질기술의 최초 실용화는 1922년 Stoody가 Steel Tube에 Cr합금 분말을 충전한 용접봉을 제조하여 석유시추용 회전드릴의 선단을 육성용접시킴으로써 이루어졌다. 그 후 육성용접 기술은 발전설비, 제철설비, 시멘트설비, 그리고 제지설비 등 산업전반에 널리 이용되고 있으며, 설비의 고도화 및 장수명화가 요구되고, 특수금속의 시장가격이 급등함에 따라 육성용접 기술의 중요성이 점차 부각되고 있다.

Fig.2.4는 발전소, 해양 플랜트 등에서 주로 사용되는 인코넬(Inconel)소재의 파이프와 연강 파이프 내부에 인코넬 소재로 육성용접한 것을 도식적으로 나타내었으며 Fig.2.5는 육성용접부의 단면 형상을 나타내었다.



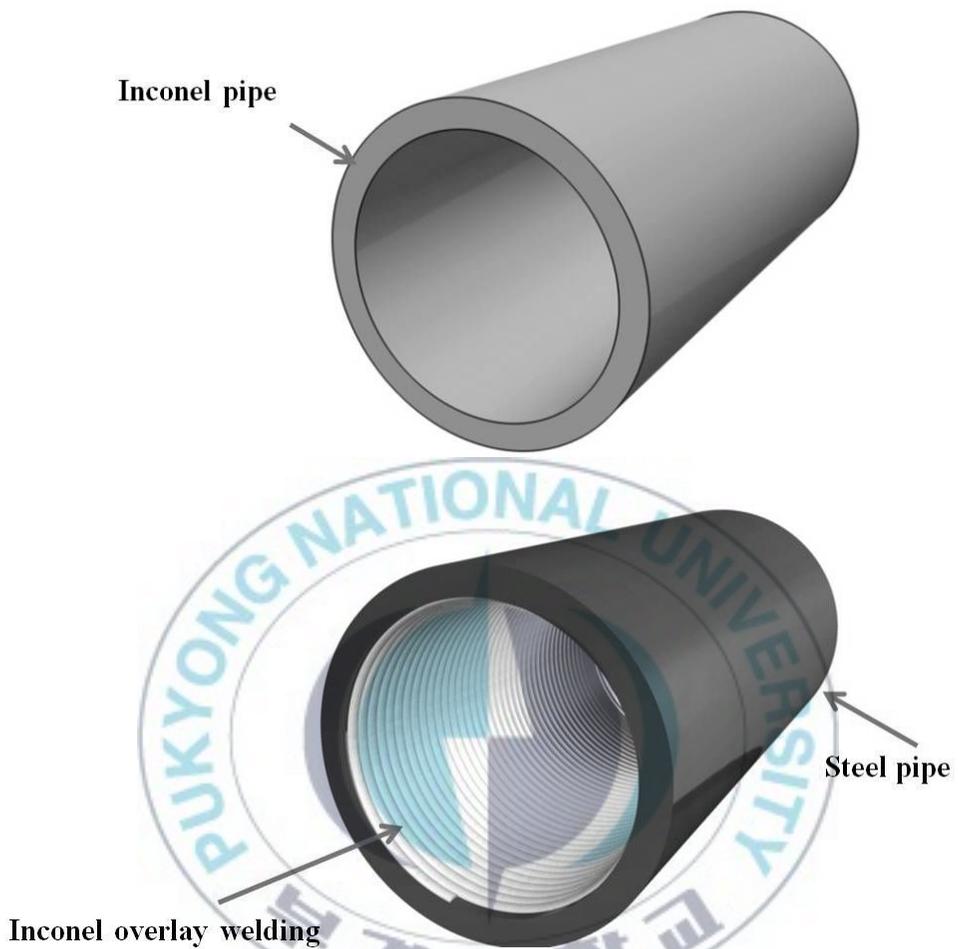


Fig.2.4 Schematic of Inconel pipe and Inconel overlay welding of steel pipe

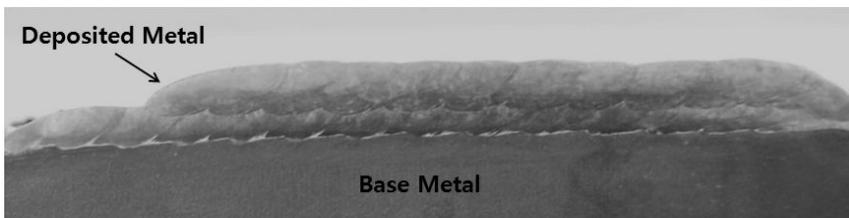


Fig.2.5. Cross section of Overlay Welds

2.4 용착금속 용융효율(Melting Efficiency of Deposited Metal)

용착금속 용융효율(Melting efficiency of Deposited metal)은 모재로 투입된 에너지에 대한 용착 금속을 녹이는데 사용되는 에너지의 비이다. 육성용접과 다층용접에서는 용접금속 형성에 필요한 열량에 대한 투여된 총 입열량의 비인 기존의 용융효율 개념보다 용착금속 형성에 필요한 열량에 대한 투여된 총 입열량의 용융효율 도입이 더욱 적합하다고 판단된다. Fig.2.6에서 용접금속과 용착금속을 도식적으로 나타내었다.



Fig.2.6 Weld metal and Deposited metal

기준에 David W. Gandy 등은 육성용접에서 용착금속에 대한 용융효율의 비인 Power ratio를 제안하였으며¹⁰⁾ 식(2.1)과 같다.

$$Power\ ratio = \frac{Amperage \times Voltage}{\left[\frac{Wire - feed\ speed}{Travel\ speed} \times Cross - Sectional\ area\ of\ filler \right]} \quad (2.1)$$

그러나 Power ratio는 용착금속을 형성하는데 필요한 열량에 대한 총입열량의 비로서 AWS(American Welding Society)에서 정립된 용융효율 식(2.2)¹¹⁾, 즉 용접금속을 형성하는데 사용된 열량에 대한 총입열량의 비의 개념과 반대적 해석으로 기존의 개념이 흔들리기 때문에 바람직하지 않다.

$$\eta = \frac{ME}{\int_0^t IV_a dt} 100 \quad (2.2)$$

η : Melting efficiency of Deposited metal(%)

M : Melted Weld metal per time(g/s)

E : Requirement Energy for Melting Weld Metal 1g(J/g)

t : Weld time(s)

I : Weld current(A)

V_a : Weld voltage(V)

따라서 본 연구에서는 기존에 정립된 AWS 개념을 바탕으로 J. Tusek의 식⁹⁾을 변형하여 사용하였다. 용착금속 용융효율(η_{DM})은 식 (2.3)과 같이 나타내어진다.

$$\eta_{DM} = \frac{M_{DM}E_{DM}}{\int_0^t IV_a dt} 100 \quad (2.3)$$

η_{DM} : Melting efficiency of Deposited metal(%)

M_{DM} : Melted deposited metal per time(g/s)

E_{DM} : Requirement Energy for Melting Deposited Metal 1g(J/g)

t : Weld time(s)

I : Weld current(A)

V_a : Weld voltage(V)

2.5 아크쪽 비표면적(Specific Surface Area to Arc Side)

비표면적이란 식(2.4)과 같이 단위 부피당 표면적을 말하는 것이다. 즉 어떤 물체의 부피를 v 라하고 표면적을 s 라 하면 비표면적은 s/v 가 된다. 비표면적은 물체의 크기와 기하학적 모양에 의해 결정되는데 비표면적이 클수록 단위부피당 표면적이 커져 동일한 부피임에도 표면적으로 흡수되는 열을 정도가 늘어나게 된다¹²⁾.

$$SSA = \frac{S}{v} \quad (2.4)$$

SSA : Specific surface area(mm^{-1})

s : Surface area(mm^2)

v : Volume(mm^3)

그러나 Filler Wire를 사용하는 TIG 용접에서 Filler Wire는 모든 표면적으로 열을 받는 것이 아니라 아크쪽의 상부 표면을 통해 직접적으로 열을 받게 되므로 Filler Wire의 상부 표면의 고려가 요구된다. Fig.2.7은 원형단면의 Wire와 의 아크쪽은 표면적을 도식적으로 나타낸 것이다.

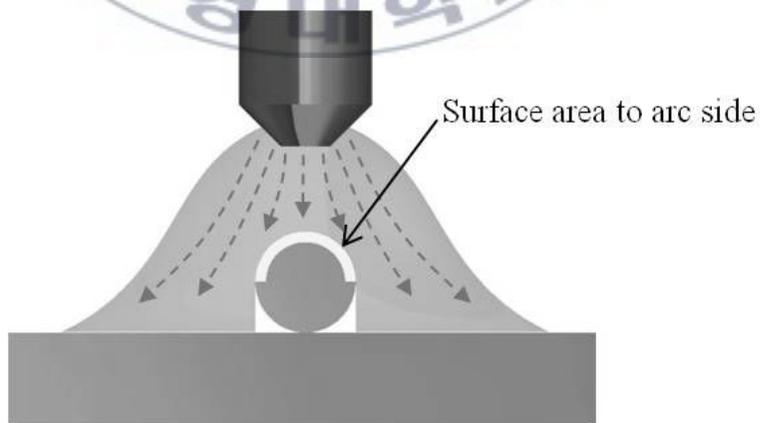


Fig.2.7 Schematic of Surface Area to Arc Side

따라서 본 연구에서는 아크쪽 비표면적을 길이방향으로 연속적으로 이어진 Filler Wire 단위부피당 아크 쪽으로 노출되는 표면적의 비로 정의 하였으며 식 (2.5)로부터 계산하였다.

$$SSA_a = \frac{S_a}{v} \quad (2.5)$$

SSA_a : Specific surface area to arc side(mm^{-1})

s_a : Surface area to arc side(mm^2)

v : Volume(mm^3)



2.6 개발된 Filler와 기존 Filler Wire의 비교

용착금속 용융효율을 증가시키기 위해서는 Filler Wire의 체적에 비해 아크쪽 표면적이 커야 한다.

본 연구에서는 단면적이 크면서도 동일한 단면적의 Wire와 비교하여 아크쪽 비표면적이 높은 Ø3.2 B-Type Filler를 개발하였다. Table 2.5에서 원형 단면을 가지는 기존의 Ø1.2, Ø3.2 Wire와 개발된 Filler를 비교하였다.

Table 2.5 Comparison of Filler Wire

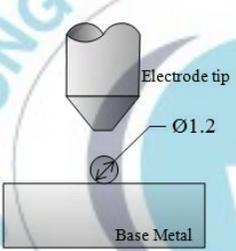
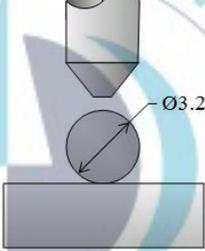
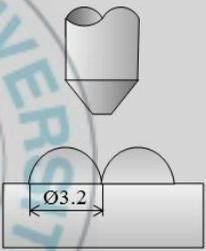
	Ø1.2 Wire	Ø3.2 Wire	Ø3.2 B-Type Filler
Schematic of Filler			
Cross-sectional area (mm ²)	1.13	8.04	8.04
Surface Area (mm ²)	376.8	1005.4	1645.3
Surface Area to Arc Side(mm ²)	188.4	502.7	1005.4
Specific Surface Area to Arc Side (mm⁻¹)	1.67	0.625	1.25

Fig.2.8에서 기존 $\varnothing 1.2$ Wire와 $\varnothing 3.2$ Wire와 개발된 $\varnothing 3.2$ B-Type Filler의 단면적과 비표면적을 비교하였다. $\varnothing 3.2$ B-Type Filler는 $\varnothing 1.2$ 보다 단면적이 약 7배 높으며, 동일한 단면적을 가지는 $\varnothing 3.2$ Wire보다 아크쪽 비표면적이 2배 높도록 설계하였다.

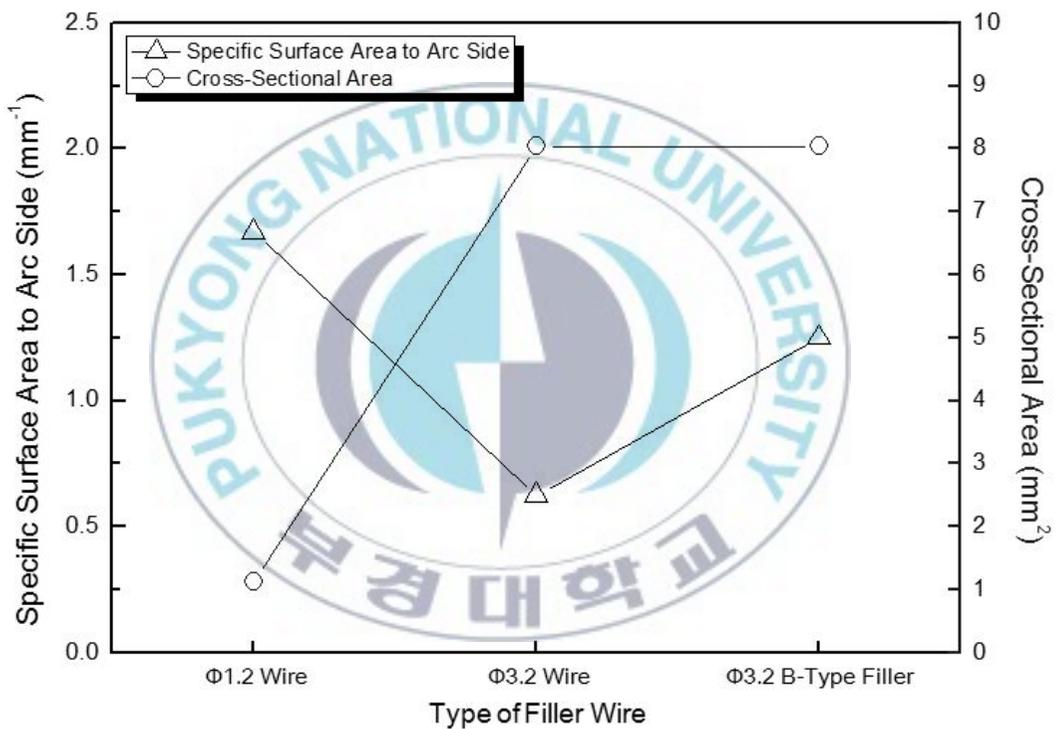


Fig.2.8 Specific surface area to arc side and Cross-sectional area in each Filler Wire

제 3 장 동일한 단면적을 가지는 기존 Filler Wire와 개발된 Filler의 BOP 비교실험

3.1 서언

본 실험은 동일한 단면적을 가지는 Ø3.2 Wire와 Ø3.2 B-Type Filler의 용접성을 검토하기 위하여 모재에 Filler Wire를 예치하여 동일한 실험조건으로 용접하여 비드 외관 및 비드의 폭과 높이를 비교하였다.

3.2 실험 재료 및 방법

3.2.1 실험 재료

본 연구에서 모재는 Fig.3.1과 같이 200×40×4의 SS400 판재를 사용하였으며 Filler Wire는 Ø3.2 연강 솔리드 Wire와 Ø3.2 연강 솔리드 Wire를 가공하여 제작한 Filler를 사용하였으며 모재와 Filler Wire의 조성은 각각 Table 3.1과 Table 3.2에 나타내었다.

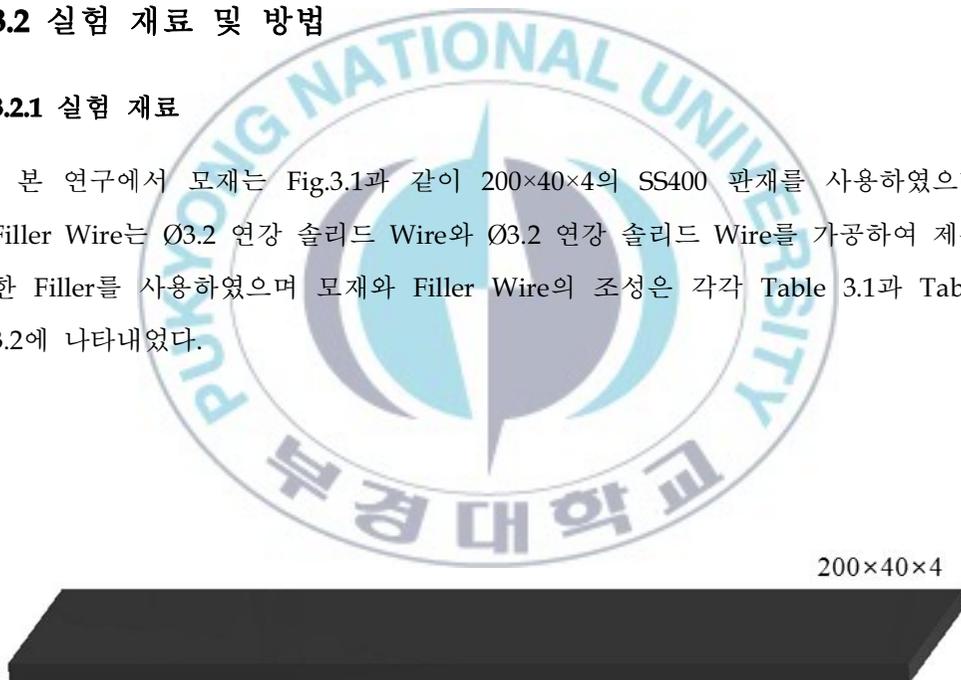


Fig.3.1 Schematic of specimen

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 of Filler Wire wt.%

	C	Si	Mn	P	S
Ø3.2 Solid Wire ASME SFA 5.4	0.050	0.740	1.0	0.0080	0.015



3.2.2 실험 방법

Table 3.3은 $\Phi 3.2$ Wire와 $\emptyset 3.2$ B-Type Filler의 용접조건을 나타내었다. 실험에서 전원은 Powwel DC TIG 500EP을 사용하였다. Filler Wire를 모재에 예치하여 6축 다관절 로봇을 사용하여 BOP(Bead On Plate) 용접을 실시하였으며 이때 ETWD(Electrode Tip to Wire Distance)는 Fig.3.2에서 나타낸 것처럼 전극팁 끝단에서 Wire의 상단 끝단까지의 거리로서 1mm로 유지하였다. Fig.3.3은 실험을 도식적으로 나타낸 것이다.

Table 3.3 Welding Condition for Comparison between $\Phi 3.2$ Wire and $\emptyset 3.2$ B-Type Filler

Fixed	Power Source	Powwel DC TIG 500EP
	Welding Current	300A
	Welding Speed	50cpm
	ETWD	1mm
Varied	Shield gas	Ar 95% + H ₂ 5% (20 L/min)
	Filler Wire	$\Phi 3.2$ Wire / $\emptyset 3.2$ B-Type Filler

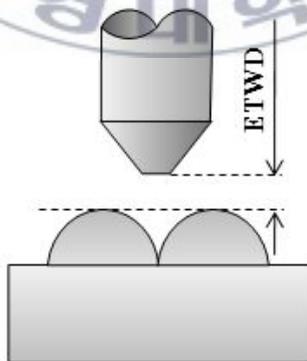
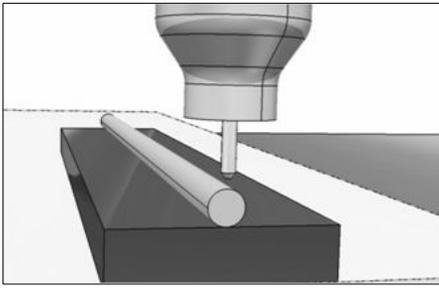
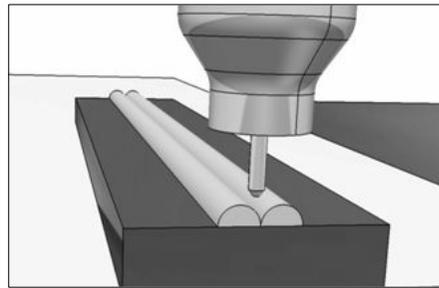


Fig.3.2 Definition of ETWD



a) $\Phi 3.2$ Wire



b) $\text{Ø}3.2$ B-Type Filler

Fig.3.3 Schematic of experiment

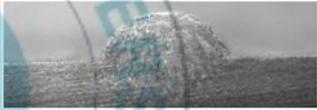
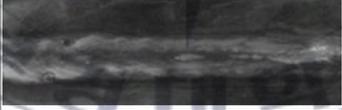
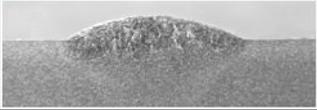
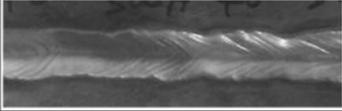
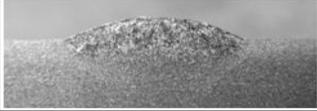


3.3 실험결과 및 고찰

3.3.1 동일한 단면적을 가지는 기존 Filler Wire와 개발된 Filler의 BOP 비교

Table 3.4는 $\Phi 3.2$ Wire와 $\Phi 3.2$ B-Type Filler를 동일한 용접조건으로 용접 후 비드외관 및 단면을 나타낸 것이다. 또한 비드 형상을 정량적으로 나타내기 위하여 각각의 비드 폭과 비드높이를 20개 지점을 측정하여 Fig.3.4와 Fig.3.5에 나타내었으며 Table 3.5에는 이 때 비드 폭과 비드높이의 평균, 표준편차를 나타내었다.

Table 3.4 Appearance of Bead with $\Phi 3.2$ Wire and $\Phi 3.2$ B-Type Filler

Filler		Bead Appearance	Cross Section
$\Phi 3.2$ Wire 307.5A 18.54V	sec.1		
	sec.2		
	sec.3		
$\Phi 3.2$ B-Type Filler 307.1A 17.01V	sec.1		
	sec.2		
	sec.3		

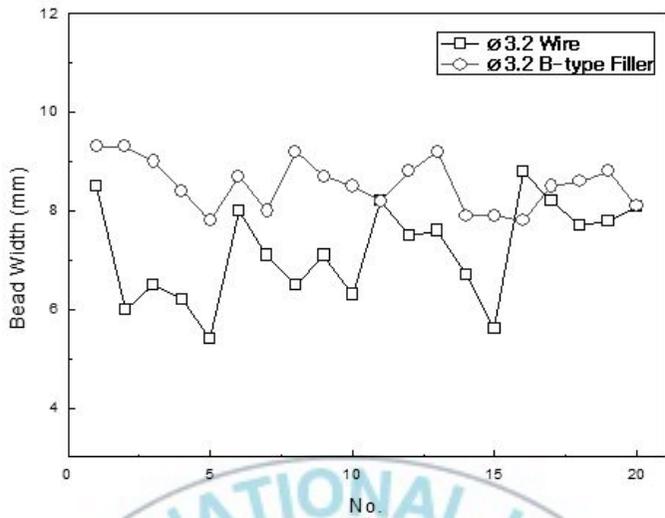


Fig.3.4 Comparison of Bead Width

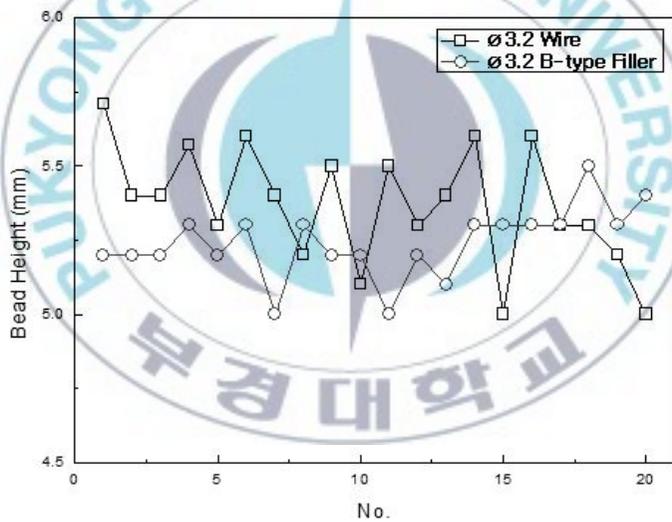


Fig.3.5 Comparison of Bead Height

Table 3.5 Comparison of $\Phi 3.2$ Wire and $\Phi 3.2$ B-Type Filler

	$\Phi 3.2$ Wire		$\Phi 3.2$ B-Type Filler	
	average	standard deviation	average	standard deviation
Bead Width(mm)	7.19	1.00	8.56	0.51
Bead Height(mm)	5.46	0.30	5.24	0.12

Ø3.2 Wire의 경우 비드 폭이 작으면서도 비드높이가 큰 볼록 비드와 사행비드가 발생하였지만 Ø3.2 B-Type Filler는 양호한 비드외관과 균일한 단면형상을 나타내었다.

이는 Ø3.2 B-Type Filler와 Ø3.2 Wire가 동일한 단면적을 가졌지만 Ø3.2 B-Type Filler의 비표면적은 Ø3.2 Wire보다 2배 높기 때문에 동일한 입열량임에도 Wire가 받는 에너지가 더 높아 양호한 비드를 형성하는데 충분한 입열을 받았기 때문이다. 그에 반해 Ø3.2 Wire는 비표면적이 낮아 Wire 용융에 필요한 충분한 입열을 받지 못하여 불안정한 비드가 형성된 것으로 판단된다.

또한 Fig.3.6에서 나타낸 것처럼 ETWD를 동일하게 설정하였지만 Ø3.2 Wire는 Wire 상단으로부터 모재까지의 거리가 4.2mm이며 Ø3.2 B-Type Filler는 2.6mm 이다. 아크에 의한 Wire 용융 시 아크 길이는 모재까지의 거리이므로 정전류 형태인 TIG 용접 특성상 아크길이는 전압에 비례하므로 Ø3.2 Wire 용접에서의 용접전압은 18.54V, Ø3.2 B-Type Filler는 17.01V로 약 9% 높게 출력되는데 S. I. Rokhlin 등의 연구에¹³⁾ 의하면 아크력은 전압에 비례하므로 Ø3.2 Wire의 아크력이 약 9% 높아진다. S. M. Cho의 연구에 의하면 높은 아크압력에 의하여 용융지 표면에 심한 압입현상으로 험핑비드가 발생하게 되는데¹⁴⁾ 아크압력과 아크력은 비례하므로 Ø3.2 Wire의 높은 전압에 의한 아크력으로 인한 아크압력에 의해 험핑비드가 발생한 것으로 판단된다.

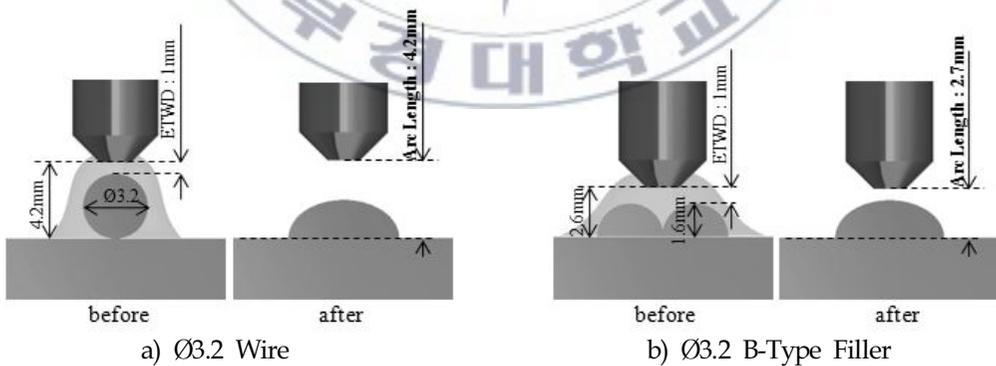


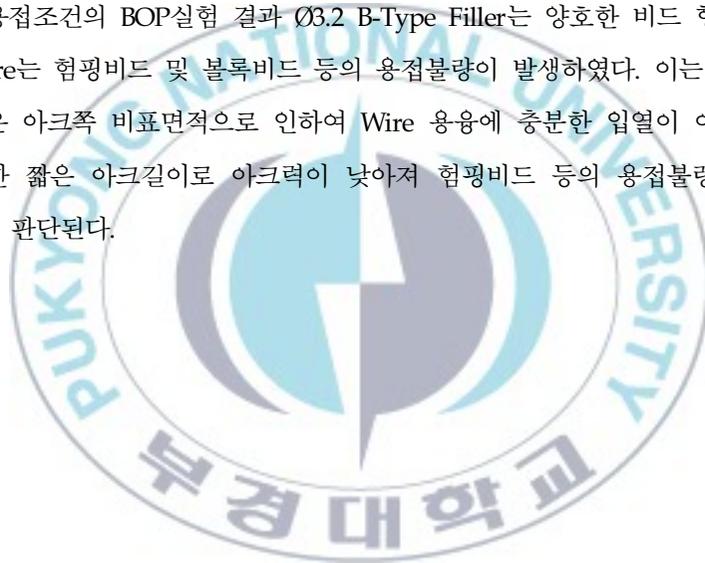
Fig.3.6 Arc Length of Ø3.2 Wire and Ø3.2 B-Type Filler

3.4 결론

이상과 같은 동일한 단면적을 가지는 기존 Filler Wire와 개발된 Filler의 BOP 용접성 비교에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 높은 용착금속 용융효율을 얻기 위하여 개발된 Ø3.2 B-Type Filler는 동일한 단면적을 가지는 기존 원형단면의 Ø3.2 Wire 보다 2배 높은 아크쪽 비표면적을 가지도록 설계 하였다

2) 동일한 용접조건인 BOP실험 결과 Ø3.2 B-Type Filler는 양호한 비드 형상을 얻었으나 Ø3.2 Wire는 험핑비드 및 블록비드 등의 용접불량이 발생하였다. 이는 Ø3.2 B-Type Filler의 높은 아크쪽 비표면적으로 인하여 Wire 용융에 충분한 입열이 이루어졌기 때문이다. 또한 짧은 아크길이로 아크력이 낮아져 험핑비드 등의 용접불량이 발생하지 않은 것으로 판단된다.



제 4 장 동일 형상비의 비드 형성에 따른 용착금속 용융효율 비교 실험

4.1 서언

본 실험은 각각의 Filler가 동일한 단면적과 형상비를 가지는 비드형성에 따른 용착금속 용융효율을 검토하기 위하여 모재에 Filler Wire를 예치 또는 송급하여 용착금속 용융효율을 비교하였다.

4.2 실험 재료 및 방법

4.2.1 실험재료

본 연구에서 모재는 200×40×4의 SS400 판재를 사용하였으며 Filler Wire는 Ø1.2, Ø3.2 연강 솔리드 Wire와 Ø3.2 연강 솔리드 Wire를 가공하여 제작한 Filler를 사용하였으며 모재와 Filler Wire의 조성은 각각 Table 4.1과 Table 4.2에 나타내었다.

Table 4.1 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 4.2 Chemical composition of Filler Wire wt.%

	C	Si	Mn	P	S
Ø1.2 Solid Wire ASME SFA 5.18	0.090	0.95	1.60	0.015	0.020
Ø3.2 Solid Wire ASME SFA 5.4	0.050	0.740	1.0	0.0080	0.015

4.2.1 실험방법

Table 4.3은 Ø1.2 Wire, Ø3.2 Wire, 그리고 Ø3.2 B-Type Filler의 용접속도와 Wire 송급속도를 변경하여 동일한 용착단면적과 형상비(Aspect Ratio)를 가지는 비드를 형성을 위한 실험 조건을 나타낸 것이다. Fig.4.1은 비드 폭과 비드높이를 나타낸 것이며, 식(4.1)은 비드 폭에 대한 비드높이의 비인 형상비를 나타낸 식이다.

Table 4.3 Welding Condition for Comparison of Melting Efficiency of Deposited Metal

Fixed	Power Source		Powwel DC TIG 500EP		
	Welding Current		300A		
	ETWD		1mm		
	Shield gas		Ar 95% + H2 5% (20 L/min)		
	Aspect ratio		0.125		
	Area of Deposited Metal		8.00mm ²		
Varied	Φ1.2Wire	Welding Speed	30cpm	Wire Feed Speed	213cpm
	Φ3.2Wire		35 cpm		35cpm
	Φ3.2 B-Type Filler		50 cpm		50cpm

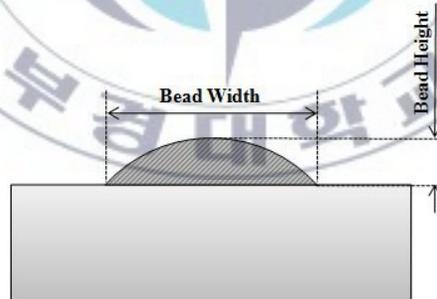


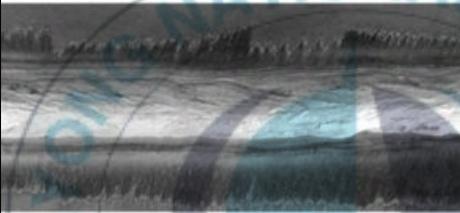
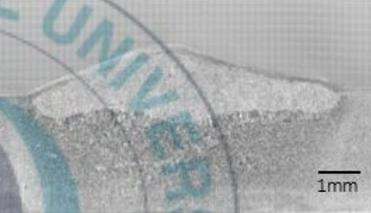
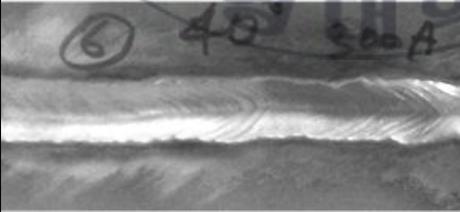
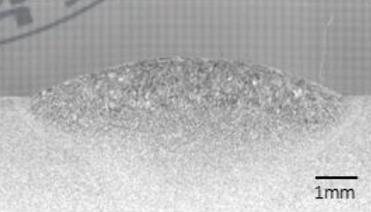
Fig.4.1 Definition of Bead Width and Bead Height

$$\text{Aspect ratio} = \frac{\text{Bead height}}{\text{Bead width}} \quad (4.1)$$

4.3 실험결과 및 고찰

Table 4.4는 $\Phi 1.2$, $\Phi 3.2$ Wire와 $\Phi 3.2$ B-Type Filler를 사용한 TIG용접에서 8mm^2 의 용착단면적과 0.125의 형상비를 가진 용접비드 외관과 단면을 나타낸 것이다.

Table 4.4 Appearance of bead with Variable Filler

Filler	Front Side	Cross Section
$\Phi 1.2$ Wire		
$\Phi 3.2$ Wire		
$\Phi 3.2$ B-Type Filler		

이에 따라 Fig.4.2는 식(1)에 의거하여 각각의 Filler를 사용한 용접에서의 용착금속 용융효율을 나타낸다.

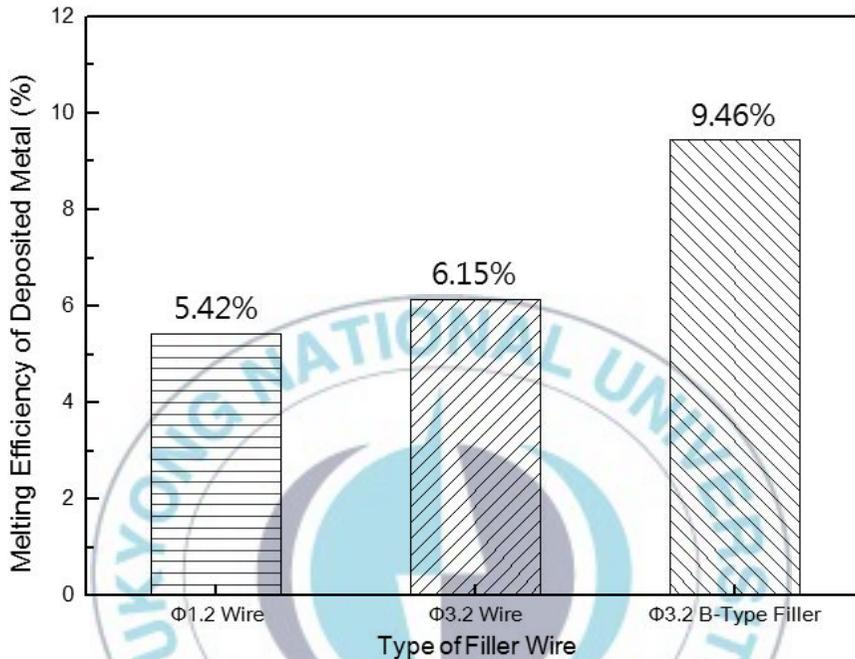


Fig.4.2 Melting Efficiency of Deposited Metal of each Wire

실험결과 용착금속 용융효율은 Ø1.2 Wire, Ø3.2 Wire, Ø3.2 B-Type Filler 각각 5.42%, 6.15%, 9.46%로 나타났다.

Ø3.2 B-Type Filler는 Ø3.2 Wire와 동일한 단면적을 가지지만 아크쪽 비표면적이 2배 높기 때문에 보다 더 높은 아크에너지를 흡수하여 용착금속 용융효율이 1.75배 높게 나타났다. 그러나 비표면적의 영향만을 고려했을 때 Ø1.2 Wire는 Ø3.2 Wire 보다 2.67배 더 높기 때문에 Ø3.2 Wire 보다 높은 용착금속 용융효율이 예상 되었으나 Ø1.2 Wire는 Ø3.2 Wire 보다 약 0.73% 낮은 용착금속 용융효율이 나타났는데 이는 동일한 용착 단면적 형성을 위하여 Ø3.2 Wire 보다 약 7배 높은 송급속도의 영향으로 판단하였다.

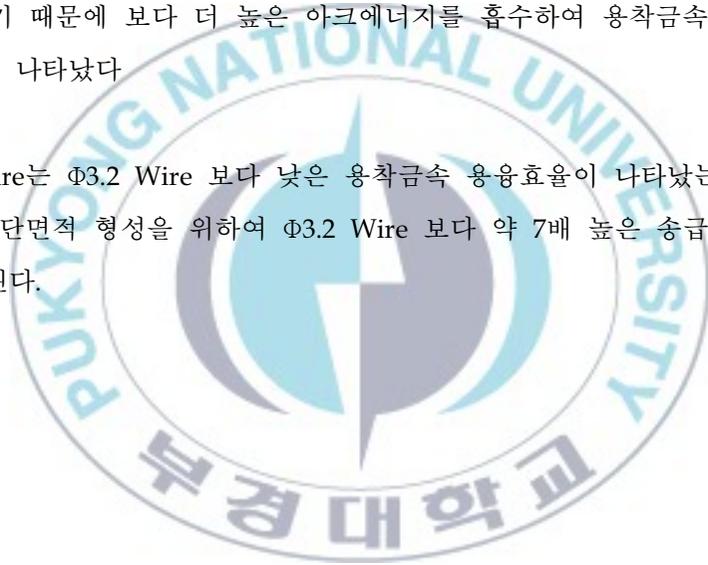
4.4 결론

이상과 같은 동일 형상비의 비드 형성에 따른 용착금속 용융효율 비교에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) $\Phi 1.2$ Wire, $\Phi 3.2$ Wire, $\Phi 3.2$ B-Type Filler의 용착금속 용융효율은 각각 5.42%, 6.15%, 9.46%로 나타났다.

2) $\Phi 3.2$ B-Type Filler는 $\Phi 3.2$ Wire와 동일한 단면적을 가지지만 아크쪽 비표면적이 2배 높기 때문에 보다 더 높은 아크에너지를 흡수하여 용착금속 용융효율이 1.75배 높게 나타났다.

3) $\Phi 1.2$ Wire는 $\Phi 3.2$ Wire 보다 낮은 용착금속 용융효율이 나타났는데 이는 동일한 용착 단면적 형성을 위하여 $\Phi 3.2$ Wire 보다 약 7배 높은 송급속도의 영향으로 판단된다.



제 5 장 Filler Wire 송급속도에 따른 입열량 검토 실험

5.1 서언

본 실험은 동일한 용착단면적 형성을 위한 Wire 단면적에 따른 Wire 송급속도의 차이가 아크로부터 Wire가 받는 입열량에 미치는 영향을 검토하기 위하여 송급속도에 따른 온도의 변화를 실험 하였다.

5.2 실험 재료 및 방법

5.2.1 실험재료

본 연구에서 모재는 동판을 사용하였으며 온도측정을 위해 10X10의 동판에 K-Type 열전대를 이용하여 온도를 측정하였다.

5.2.2 실험방법

전극팁 중심에서 105mm 떨어진 부분부터 전극팁 중심으로 부터 5mm까지 총 100mm의 거리를 10×10×2의 동판을 아크방향으로 이동하여 온도를 측정하였으며, Table 5.1은 실험조건을 나타내었고 Fig.5.1에는 실험을 도식적으로 나타내었다.

Table 5.1 Experimental Condition for Heat Input by Travel Speed

Fixed	Power Source	Powwel DC TIG 500EP
	Welding Current	300A
	Arc Length	3mm
	Shield gas	Ar (20 L/min)
	Thermo couple	K-Type
	Sampling frequency	10Hz
Varied	Travel Speed	5cpm ~ 100cpm (20 levels)

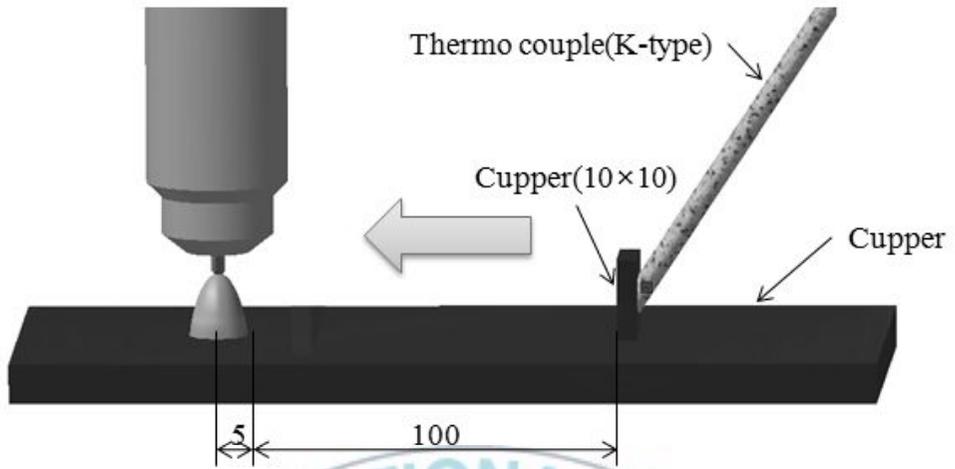


Fig.5.1 Schematic of Heat Input test



5.3 실험결과

Fig.5.2는 아크방향으로의 주행속도에 따른 온도를 나타낸 것이다.

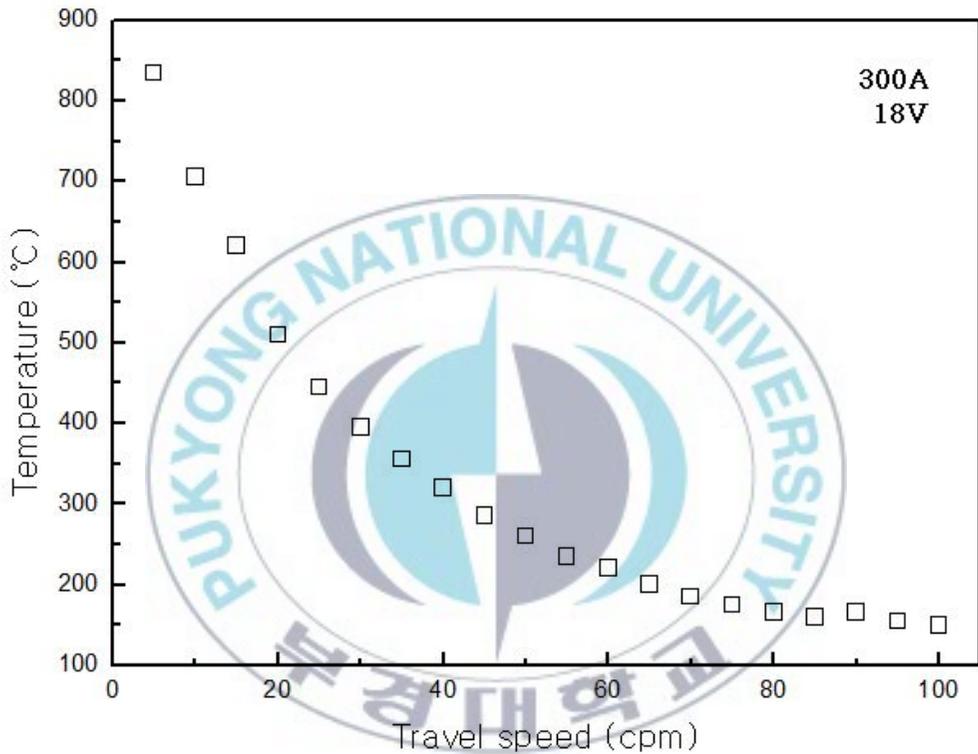


Fig.5.2 Heat Input with Travel Speed

주행속도가 증가함에 따라 측정된 Cu의 온도는 지수함수적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 실험 결과를 바탕으로 Wire가 송급되어 용융시 까지 아크로부터 받는 입열량은 송급속도가 증가함에 따라 지수 함수적으로 감소한다고 판단하여 송급속도와 입열량의 관계를 방정식을 유도하여 검토하였다.

5.4 Filler Wire 송급속도에 따른 입열량 방정식

TIG용접에서 Filler Wire가 아크로부터 열을 받는 경로는 플라즈마 대류, 실드 가스 및 주변 기체에 의한 대류, 그리고 아크광원으로 부터의 복사열로 구성되어 있으며 Fig.5.3에 나타내었다.

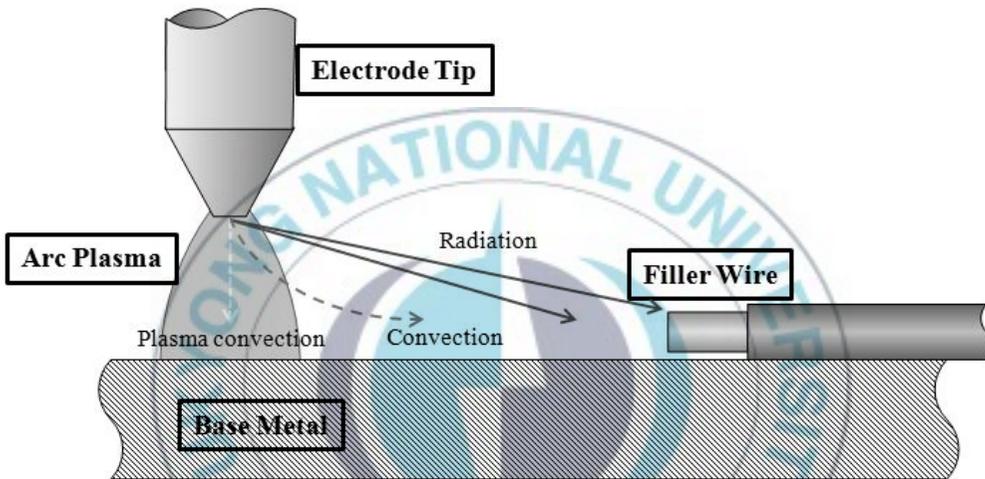


Fig.5.3 Energy input to the Wire

이러한 아크의 열 수송기구가 Wire의 표면적과 Filler Wire 송급속도에 따른 입열량을 추정하기 위해서 Fig.5.4와 같은 가정을 통하여 식을 유도하였다.

Assumption

- 1) 전체 아크 에너지에서 플라즈마 대류, 가스 대류, 복사에너지가 차지하는 비율은 각각 80%, 10%, 10% 이다.
- 2) 아크는 일정한 간격으로 20개의 광원으로 이루어져 있다.
- 3) Energy flux는 전류밀도에 비례하며 전류밀도는 $Oh^{15)}$ 등의 연구에 따른다.
- 4) 아크반경은 2mm이며 플라즈마 대류에 의한 입열은 아크 위치에 관계없이 동일하다.
- 5) Filler Wire는 흑체이다.
- 6) Contact Tube 끝단에서 아크 중심까지의 거리는 10mm이다.

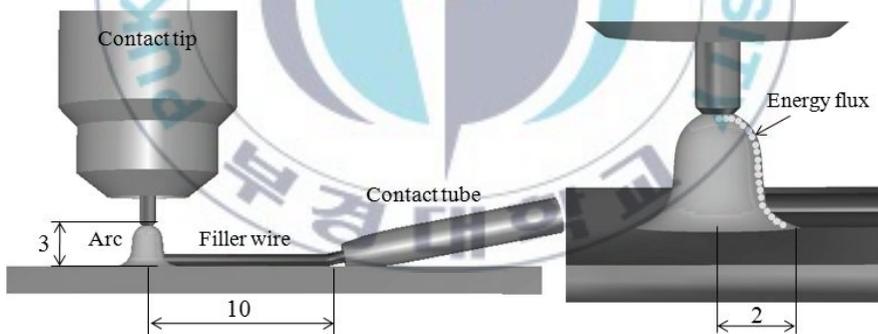


Fig.5.4 Schematic of assumption

식(5.1)의 H_{total} 은 Wire가 아크로부터 받는 총입열량을 나타낸다. 식(5.2)은 플라즈마 대류에 의해 받는 입열량을, 식(5.3)은 가스에 의한 대류로 인한 입열량을 나타내며, 식(5.4)은 복사열에 의하여 받는 입열량¹⁶⁾을 나타낸다.

$$H_{total} = H_{c.p} + H_{c.g} + H_r \quad (5.1)$$

$$H_{Cp} = \frac{L_{Cp} \times W_{wire} \times W_{arc}}{v \times A_{arc}} \quad (5.2)$$

$$H_{Cg} = \int_0^{t_{upper}} \frac{L_{cg} l_{arc\ side}}{4\pi(10 - vt)^2} dt \quad (5.3)$$

$$H_R = \sum_{i=1}^{20} (l_{arc\ side} Q_{R.i}) \quad (5.4)$$

$$Q_{R.i} = \frac{L_{R.i} \sin(\tan^{-1}(z_i / d))}{4\pi(d - r_i - vt)^2} \quad (5.5)$$

$$H_R = \sum_{i=1}^{20} \left\{ \int l_{arc\ side} \frac{L_{R.i} \sin(\tan^{-1}(z_i / d))}{4\pi(d - r_i - vt)^2} dt \right\} \quad (5.6)$$

H_{total} : Total energy input into the Wire(J/mm)

H_{Cp} : Energy input of plasma convection(J/mm)

H_{Cg} : Energy input of gas convection(J/mm)

H_r : Energy input of radiation(J/mm)

L_{Cp} : Energy of plasma convection(J/sec)

L_{Cg} : Energy of gas convection(J/sec)

L_r : Energy flux of radiation(J/sec)

$Q_{r.i}$: Radiation flux received by surface(W/mm²)

l_i : The direction vector from surface to arc(mm)

v : Wire feed speed(mm/sec)

d : Distance from contact tube to arc(mm)

d_{exp} : Distance from Wire to contact tube(mm)

$l_{arcside}$: Arc to arc side length(mm)

따라서 용접동안 Wire가 받는 총입열량은 식(5.2), 식(5.3), 식(5.4)를 모두 더한 식 (5.7)에 의하여 계산된다.

$$\begin{aligned}
 H_{input} &= H_{Cp} + H_{Cg} + H_R = \frac{L_{cp} \times W_{wire} \times W_{arc}}{v \times A_{arc}} \\
 &+ \int_0^{upper} \frac{L_{cg} l_{arc\ side}}{4\pi (10-vt)^2} dt + \sum_{i=1}^{20} l_{arc\ side} \frac{L_{Ri} \sin(\tan^{-1}(\frac{z_i}{vt}))}{4\pi ((d-r_i)-vt)^2} dt = \\
 &\frac{L_{cp} \times W_{wire} \times W_{arc}}{v \times A_{arc}} + \left[-\frac{L_{Cg} l_{arc\ side}}{4\pi (v^2 t - 10v)} \right]_0^{upper} \\
 &+ [l_{arc\ side} L_{Ri} z_i \left(\frac{v^2 t^2 + z_i^2}{(d^2 - 2dr_i + z_i^2 + r_i^2)(-d + vt + r_i)} \right. \\
 &- ((d-r_i) \sqrt{v^2 t^2 + z_i^2} \log((d-r_i) \sqrt{d^2 - 2dr_i + z_i^2 + r_i^2} \\
 &(d-vt-r_i)) / (d^2 - 2dr_i + z_i^2 + r_i^2)^{3/2} + ((d-r_i) \\
 &\sqrt{v^2 t^2 + z_i^2} \log(2v(d^2 - 2dr_i + z_i^2 + r_i^2) \\
 &(\sqrt{d^2 - 2dr_i - z_i^2} \sqrt{v^2 t^2 + z_i^2} + dvt - vtr_i + z_i^2))) \\
 &/(d^2 - 2dr_i + z_i^2 + r_i^2)^{3/2}) / (4\pi v^2 t \sqrt{\frac{z_i^2}{v^2 t^2} + 1}) \Big]_0^{upper}
 \end{aligned} \tag{5.7}$$

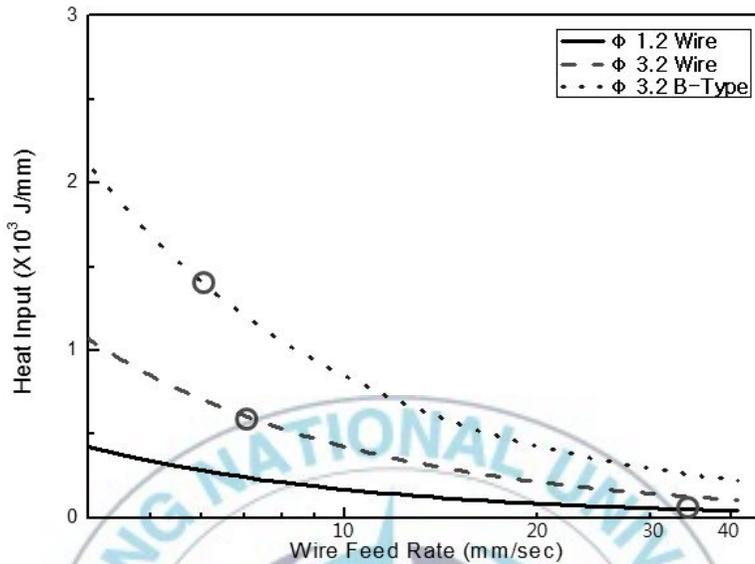


Fig.5.5 Simulation of Heat input with travel speed

Fig.5.5는 송급속도의 변화에 따른 Wire가 받는 입열량을 나타내었으며 동일한 형상비와 용착단면적을 가지는 비드 형성시 송급속도를 표시하였다. 송급속도가 증가 할수록 입열량은 지수 함수적으로 감소하며 아크쪽 표면적이 증가 할수록 Wire가 받는 입열량은 증가한다. 즉 송급속도가 감소할수록, 아크쪽 표면적이 증가할수록 Wire가 받는 입열량은 증가하게 된다.

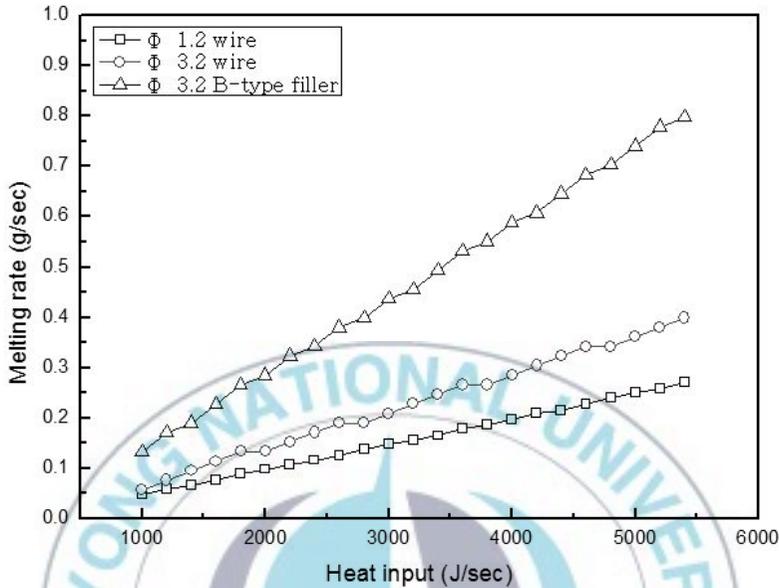


Fig.5.6 Simulation of melting rate with heat input

Fig.5.6은 식(5.7)에 계산된 입열량을 각 Wire의 단면적으로 나누어 산출된 단위체적당 입열량과 연강의 용융에 필요한 열량(J/g)을 비교하여 계산된 용융속도를 나타낸 것이다.

Ø3.2 Wire의 비표면적은 Ø1.2 Wire의 37%이지만 Ø3.2 Wire의 단면적이 Ø1.2 Wire의 약 7배이기 때문에 송급속도는 1/7배로 낮으며 아크쪽 표면적은 2.67배 더 크다. 따라서 동일한 용착단면적 형성시 아크로부터 Wire가 받은 총 입열량은 Ø3.2 Wire가 약 8배 더 크기 때문에 용융속도가 더 높게 나타난다. Ø3.2 B-Type Filler는 Ø3.2 Wire와 단면적과 송급속도가 동일하지만 아크쪽 표면적이 2배 크기 때문에 아크로부터 받는 입열량이 2배 높아 동일한 입열량에도 용융속도가 가장 높은 것으로 판단된다.

5.5 결론

이상과 같은 Filler Wire 송급속도에 따른 입열량 검토에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Filler Wire가 받는 입열량은 Filler Wire 송급속도에 반비례하며, 아크쪽 표면적과 비례하여 증가하는 경향을 나타낸다.
- 2) Ø3.2 Wire는 Ø1.2 Wire와 동일한 용착단면적 형성을 위해 1/7배의 낮은 송급속도로 인하여 약 8배의 입열량을 받아 용착금속 용융효율이 더 높은 것으로 판단된다.
- 3) Ø3.2 B-Type Filler는 Ø3.2 Wire와 단면적과 송급속도가 동일하지만 아크쪽 표면적이 2배 크기 때문에 아크로부터 받는 입열량이 2배 높아 동일한 조건에서도 용융속도가 가장 높은 것으로 판단된다.

제 5 장 결론

본 연구는 아크쪽 비표면적이 큰 Filler를 개발하여 기존의 Cold Wire와 BOP 실험을 통한 용접성과 용착금속 용융효율의 비교 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 육성용접과 다층용접에서 높은 생산성을 얻기 위한 Filler Wire의 개발을 위하여 아크쪽 비표면적과 용착금속 용융효율의 개념을 새로 확립하였다.
- 2) 높은 용착금속 용융효율을 얻기 위하여 개발된 $\text{Ø}3.2$ B-Type Filler는 동일한 단면적을 가지는 기존 원형단면의 Wire 보다 2배 높은 아크쪽 비표면적을 가지도록 설계하였다.
- 3) 동일한 용접조건의 BOP실험 결과 $\text{Ø}3.2$ B-Type Filler는 양호한 비드 형상을 얻었으나 $\text{Ø}3.2$ Wire는 험핑비드가 발생하였다. 이는 $\text{Ø}3.2$ B-Type Filler의 높은 아크쪽 비표면적으로 인하여 와이어 용융에 충분한 입열이 이루어졌기 때문으로 판단된다.
- 4) 기존 $\text{Ø}1.2$, $\text{Ø}3.2$ Wire와 $\text{Ø}3.2$ B-Type Filler를 이용하여 동일한 형상비의 비드 형성 실험결과 용착금속 용융효율은 각각 5.42%, 6.15%, 9.46%로 나타났다.
- 5) $\text{Ø}1.2$ Wire의 비표면적이 $\text{Ø}3.2$ Wire 보다 높음에도 용착금속 용융효율이 낮은 이유는 $\text{Ø}3.2$ Wire보다 7배 높은 송급속도와 0.37배의 작은 아크쪽 표면적으로 인하여 아크로부터 Wire가 받은 총 입열량이 낮기 때문으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. E. R. Baek, J. Y. Jung and S. H. Ahn : Trend of the Weld Surfacing Technology Journal of KWS, Vol. 15, No. 5, October, 1997
2. J. Y. Park, J. T. Choi, D. S. Kim : Study on Narrow groove TIG welding using Ar-He of shielding gas & hot Wire, Journal of KWS, 346-348 (2005)
3. K. Hori, H. Watanabe, T. Myoga, K. Kusano : Development of hot Wire TIG welding methods using pulsed current to heat Filler Wire - research on pulse heated hot Wire TIG welding processes, Welding International 2004 18 (6) 456-468
4. M.L. Lin and T.W. Eagar : Influence of Arc Pressure on Weld Pool Geometry. Welding Journal, 64-6(1985), 163s-169s
5. P.F. Mendez and T.W. Eagar : Estimation of the Characteristic Properties of Weld Pool during High Productivity Arc Welding, Mathematical Modeling of Weld Phenomena 5, Institute of Materials, London, U.K., 2001, 67-94
6. P.F. Mendez and T.W. Eagar : Penetration and Defect Formation in High-Current Arc Welding, Welding Journal, 82-10(2003), 296s-306s
7. J. Tus̃ek, I. Umek and B. Bajcer : Weld-cost saving accomplished by replacing single-Wire submerged arc welding with triple-Wire welding, Science and Technology of Welding and Joining 2005 VOL 10 NO 1 (15~22)
8. Dr Sun Zheng, Dr Kuo Min, Pan Dayou : Twin Wire Gas Tungsten Arc Cladding, SIMTech Technical Report (PT/99/004/JT)
9. J. Tus̃ek, M. Suban : Experimental research of the effect oh hydrogen in argon as a shielding gas in arc welding of high-alloy stainless steel, International Journal of Hydrogen Energy 25 (2000), 369~376
10. David W. Gandy, Richard Smith, Shane J. Findlan, Wylie J. Childs : A better way to control GTA weld Dilution, Welding Design & Fabrication, August (1992) 41~43
- 11 P. W. Fuerschbach, G. A. Knorovsky : A study of melting efficiency in plasma

arc and gas tungsten arc welding, Welding journal, October, 1991, 287~297

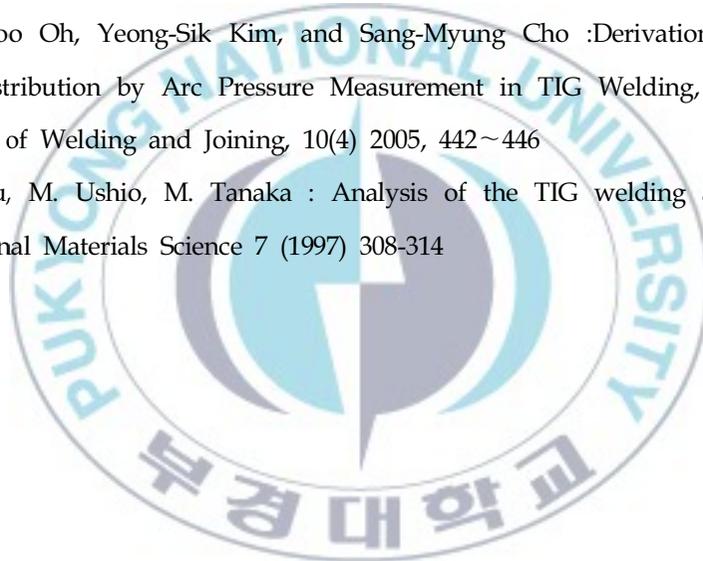
12. Hewett, P. : The particle size distribution, density and specific surface area of welding fumes from SMAW and GMAW mild and stainless steel consumables. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 56:128-135 (1995).

13. S. I. Rokhlin, A. C. Guu : A study of arc force, pool depression, and penetration during gas tungsten arc welding, Welding Journal, 72-12(1992), 381s~390s

14. Sang-Myung Cho : A Study on the Bead Stability in High Speed TIG Welding. KOSME, 18-3(1994)

15. Dong-Soo Oh, Yeong-Sik Kim, and Sang-Myung Cho :Derivation of Current Density Distribution by Arc Pressure Measurement in TIG Welding, Science and Technology of Welding and Joining, 10(4) 2005, 442~446

16. C.S. wu, M. Ushio, M. Tanaka : Analysis of the TIG welding arc behavior, Computational Materials Science 7 (1997) 308-314



학위과정 중 주요 학술지 게재 및 발표논문과 특허

1. 주요학술지 게재 논문

필러와이어의 아크쪽 비표면적에 의한 TIG용접의 용착금속 용융효율 향상 방법, 대한용접접합학회지

2. 학술발표대회 발표논문

- 1. 단위모듈 집적형 대용량 인버터 아크 용접기 개발과 후판맞대기 용접에의 적용, 대한용접.접합학회 춘계학술발표대회, 2009.11.27
- 2. 필러와이어를 쓰는 TIG용접에서 용착금속의 높은 용융효율을 얻기 위한 공정개발, 대한용접.접합학회 춘계학술발표대회, 2010.05.13
- 3. 필러와이어의 아크쪽 비표면적에 의한 TIG용접의 용착금속 용융효율 향상 방법, 대한용접.접합학회 춘계학술발표대회, 2010.11.25

3. 특허

- 발명의 명칭 : 용접용 필러 와이어 및 이를 이용한 용접방법
출 원 인 : 부경대학교 산학협력단
발 명 인 : 조상명, 함효식, 서지석, 신희섭, 전재호

감사의 글

학부 3학년 겨울 방학 때 용접IT Lab.에 부푼 기대를 가지고 들어온지 어느덧 3년이 지났습니다. 언제 3년이라는 시간이 지났는지 모를 만큼 바쁘게 생활해 온 것 같습니다. 언제나 곁에는 선배님과 후배님, 그리고 교수님이 계셔서 많은 도움을 받으면서 저의 뚜렷한 목표를 세울 수 있는 기회를 갖을 수 있었습니다.

우선, 칭찬과 질책으로 용접에 대한 지식과 한 명의 엔지니어로서 성장 할 수 있도록 힘써주신 조상명 교수님께 감사드립니다. 교수님의 가르침으로 용접에 대한 지식을 얻었을 뿐만 아니라 인간관계, 해결능력, 그리고 그 무엇보다 어떠한 일이든 해낼 수 있다는 자신감을 심어주셨고 그로 인해 한명의 인간으로서 한명의 엔지니어로서 자신의 몫 이상을 충분히 해낼 수 있게 성장 할 수 있었습니다.

대학원 과정에서 조선에 대한 지식을 쌓을 수 있도록 많은 지도를 해주신 김인철 교수님, 구자삼 교수님, 배동명 교수님, 이운식 교수님, 배성용 교수님께도 진심으로 감사드립니다.

연구실 선배로서 저를 이끌어 주신 오동수, 고명훈 선배님께도 감사드리며 같은 실험실원으로서 지금은 직장인으로서 많은 도움을 주신 추용수, 고미혜, 황규민, 박인기 선배께도 감사드리며, 추환수, 임성빈, 하종문 선배, 친구로서 선배로서 모르는 것을 가르쳐 주며 실험실을 더욱 재미있게 만들었던 김효원, 윤영현, 박경도에게 감사의 인사를 드립니다. 친형제처럼 지냈던 배광무, 정연호, 김성호 선배, 무엇보다 동기로서 저와 회노애락을 함께했던 서지석과 손창희 군께 감사의 인사를 드립니다.

실험실에 남아계시는 저의 멘토 함효식 선배님, 연구실의 RA로써 힘써주는 김남규군, 매일매일 저에게 화내는 1학년 박효희양, 집 근처에 살아서 매일 집에 데려다 주는 수고를 만들어준 하현주양, 어느새 연구실 들어온지 1년 반이나 된 까불이 전재호군, 영어공부와 아르바이트를 한다며 6개월의 시간을 WOW에 투자한 변재규군, 푹망푹망 우리 연구실 미남 김우연군에게 고마움을 전합니다.

마지막으로 제가 이 자리 까지 올수있도록 물심양면으로 도움을 주시고 저를 믿어주신 아버님, 어머님께 가슴깊이 감사드립니다. 또한 학생인 저를 3년 동안 참고 기다려준 미현이에게 사랑한다는 말을 전합니다.

