



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

경화육성용접 품질 향상을 위한 CFP GMAW 공정개발



2007年 8月

釜慶大學校 大學院

소재프로세스공학과

高 燦 植

工學碩士 學位論文

경화육성용접 품질 향상을 위한 CFP GMAW 공정개발

指導教授 趙 相 明

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함



2007年 8月

釜慶大學校 大學院

소재프로세스공학과

高 燦 植

高燦植의 工學碩士 學位論文을 認准함

2007年 8月



主 審 工學博士 金 雨 烈 (印)

委 員 工學博士 徐 源 贊 (印)

委 員 工學博士 趙 相 明 (印)

목 차

<i>Abstract</i> -----	1
제 1 장 서 론 -----	2
1.1 연구 배경 및 필요성 -----	2
1.2 연구 목적 및 개요 -----	3
제 2 장 이론적 배경 -----	4
2.1 내마모판 정의 -----	4
2.2 용접부 정의 -----	5
2.3 희석률 정의 -----	6
2.4 <i>Wire melting rate</i> 정의 -----	7
2.5 내마모판 제조를 위한 기존 용접방법 -----	8
2.6 CFP GMAW 정의 -----	9
제 3 장 내마모판 제조에 관한 앞선 연구의 검토 -----	10
제 4 장 기존 CMAW와 CFP GMAW의 용접품질 비교 -----	14
4.1 서언 -----	14
4.2 실험 재료 및 방법 -----	14
4.2.1 실험 재료 -----	14
4.2.2 실험 방법 -----	14
4.3 실험 결과 및 고찰 -----	15
4.3.1 CMAW 및 CFP GMAW 특성 비교 -----	15
제 5 장 비드외관불량을 발생시키는 물유리불 제거 방법 개발 -----	18
5.1 서언 -----	18

5.2 실험 재료 및 방법 -----	18
5.2.1 실험 재료 -----	18
5.2.2 실험 방법 -----	19
5.3 실험 결과 및 고찰 -----	20
5.3.1 물유리볼에 의한 비드외관 불량 검토-----	20
5.3.2 물유리볼 발생 분석-----	21
5.3.3 물유리볼 성장 및 소멸 메커니즘-----	22
5.3.4 컴파운드메탈 내의 가스발생제 제거-----	24
제 6 장 반응표면 분석법을 이용한 최적 용입 조건 검토-----	26
6.1 서언 -----	26
6.2 실험 재료 및 방법 -----	27
6.2.1 실험 재료 -----	27
6.2.2 실험 방법 -----	28
6.2.3 실험계획 -----	28
6.2.4 CFP GMAW의 희석률을 고려한 용입깊이 검토-----	30
6.3 실험 결과 및 고찰-----	31
6.3.1 반응표면 분석법에 의한 회귀식 유도-----	31
6.3.2 최적 용입 조건 검토-----	33
제 7 장 결론-----	35
참고문헌-----	36

The Development of CFP GMAW Process for Quality Improvement on Hardening Overlay Welding

Chan-SiK, Ko

*Major of Materials Processing Engineering, Graduate School,
Pukyong National University*

Abstract

Wear plate is generally produced by SAW(Submerged Arc Welding), FCAW(Flux Cored Arc Welding) and CMAW(Compound Metal Arc Welding). In case of SAW, it has high deposition ratio but it has problem of deep penetration due to high current. In FCAW, it is difficult to get high hardness and the price of wire is high. Also CMAW has some problems of compound powder loss and deep penetration.

In order to overcome those problems above, it is required to develop a process for minimizing compound powder Loss and obtaining shallow penetration to prevent reducing hardness which is due to increasing dilution ratio.

Therefore, We had development of CFP GMAW process to minimized compound powder loss, to the high hardness is obtained by reducing dilution ratio

We experiment on CFP GMAW to find the welding condition for obtaining optimum penetration by changing welding current, CTWD, and the thickness of CFP. From the result of the experiments with Response Surface Method to find the optimal condition, the penetration depth 0.76mm was obtained with current 330A, CTWD 30mm, and the thickness of CFP 5mm.

Key Words : Wear plate, Compound Metal Arc Welding, Compound Filler Plate, Gas Metal Arc Welding, Penetration depth, Deposited metal height, Cladding, Dilution ratio, Water glass ball

제 1 장 서 론

1.1 연구 배경 및 필요성

일반적으로 내마모판은 연성이 우수한 모재 위에 내식, 내마모성 또는 내열성이 우수한 용접재료를 사용하여 표면을 경화시킴으로써, 표면의 접촉강도와 충격강도를 개선시킨 강판재로서 주로 발전소나 시멘트, 제지, 화학산업 등에 호퍼, 덕트, 분쇄기의 내열, 내마모성을 요구하는 환경에서 사용된다¹⁾. 종래의 내마모판 제조방법으로는 CMAW(Compound Metal Arc Welding), SAW(Submerged Arc Welding), FCAW(Flux Cored Arc Welding)등이 있다. 하지만 CMAW는 희석에 의한 경도감소가 높고 컴파운드 손실율이 높은 단점이 있다. 그리고 SAW는 설비 및 플럭스 고가이며 FCAW는 고경도를 얻기가 곤란하고 소모성와이어가 고가인 단점이 있다.

이와 같이 내마모판 제조에서는 생산비용을 낮출 수 있고 가장 큰 문제점인 희석에 의한 경도감소와 높은 컴파운드 손실율과 같은 문제점을 보완할 수 있는 기술이 필요하다.

1.2 연구 목적 및 개요

컴파운드 파우더의 손실을 줄이고 용입을 균일하고 얇게 형성하여 희석에 의한 경도감소를 방지 할 수 있는 CFP GMAW(Compound Filler Plate - Gas Metal Arc Welding)를 개발하는 것이 본 연구의 목적이다.

본 연구에서는 기관위에 몰유리로 점결한 CFP(Compound Filler Plate)를 두고 GMAW(Gas Metal Arc Welding)로 클래딩하는 CFP GMAW법을 개발하였고 전류, CTWD, CFP두께를 변경시켜 최적 용입조건 검토하였다.



제 2 장 이론적 배경

2.1 내마모판 정의

내마모판은 연성이 우수한 기판 위에 내식, 내마모성 또는 내열성이 우수한 용접 재료를 균일하게 용착시켜 표면성질을 향상시킨 강판재를 말한다.

Fig. 2.1에 내마모판 표면 사진을 나타내고 있다. 접촉강도 및 충격 강도가 우수하여 주로 내열, 내마모성을 요하는 극심한 토사 마모용에 적용된다.



(a) KIC

(b) Eurodur

(c) Tokuden

Fig. 2.1 Surface of wear plate

2.2 용접부 정의

Fig.2.2는 용접부의 횡단면 형상을 나타내었다.



Fig. 2.2 Cross section of weld area

본 연구에서는 용입깊이를 측정하기 위해 Fig. 2.2의 용접부 횡단면에서 볼 수 있듯이 Substrate height에서 B(Substrate 바닥에서 Fusion line까지의 거리)를 뺀 값을 용입깊이로 측정하였다.

식[1]은 용입깊이 측정식을 나타내고 있다.

$$\text{Deposited metal height} = A - \text{Substrate height} \text{ -----[1]}$$

2.3 회석률 정의

* 회석률(Dilution ratio)

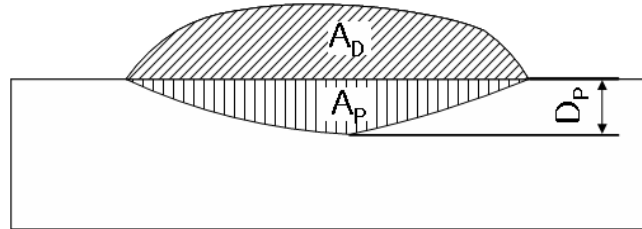


Fig. 2.3 Schematic of cross section

$$\text{Dilution ratio}(\%) = \frac{A_P}{A_D + A_P} \times 100 \text{-----}[2]$$

Where, A_D : Deposited metal area

A_P : Penetration area ($A_P \propto D_P$)

Fig. 2.3에서 용입면적(A_P)을 용착금속면적(A_D)과 용입면적(A_P)의 합으로 나눈값에 100을 곱하여 %로 나타내었다²⁾.

용입이 깊어 회석률이 높으면 제품의 경도가 떨어지고 반면에 용입이 얇으면 회석에 의한 경도감소는 작으나 외부의 충격이나 마찰, 마모에 의해 박리되는 현상이 발생할 수도 있다. 따라서 적절한 용입깊이를 유지하는 것이 중요하다.

Kim³⁾에 의하면 일반적으로 내마모판 제조 시 회석률은 10% ~ 15%가 적당하다.

2.4 Wire melting rate 정의

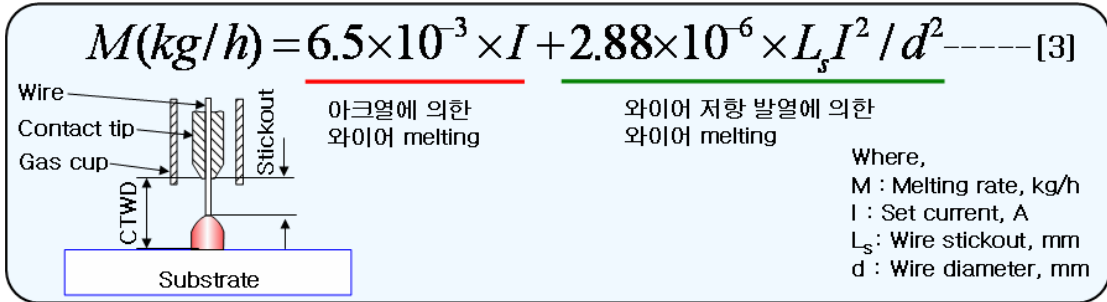


Fig. 2.4 Wire melting rate by Eq. of Halmoy

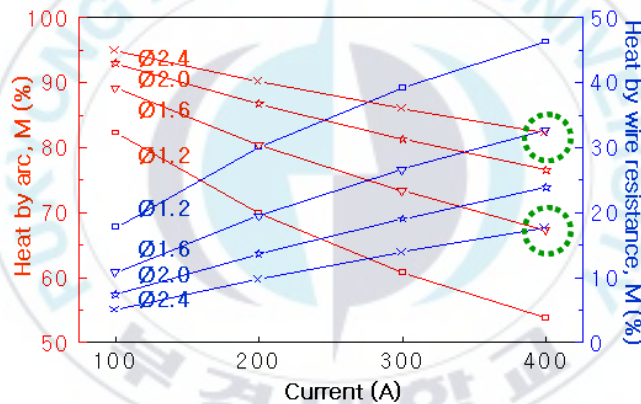


Fig. 2.5 Heat by arc and heat by wire resistance for wire diameters

즉, 동일 전류에서도 와이어직경이 커지면 아크발열의 비율 증가하지만 저항발열은 감소한다⁴⁾. 즉, 용입을 낮게 하려면 와이어직경을 감소하여야 용입깊이 감소 및 몰턴풀 온도를 저하시킬 수 있고 기판의 희석으로 인한 경도저하를 방지할 수 있다.

2.5 내마모판 제조를 위한 기존 용접방법

2.5.1 Compound Metal Arc Welding

기관 상부면에 내식성, 내마모성 또는 내열성의 고크롬철계합금 성분의 컴파운드를 노즐을 통해 와이어와 동시에 송급하여 육성용접하는 공법이다.

2.5.2 Submerged Arc Welding

용접선 전방에 입상 플렉스를 미리 산포하고, 그 속에 경화육성용 와이어를 자동으로 송급하여 육성용접하는 공법으로 용착속도가 빠르고, 대전류를 사용하기 때문에 용입이 깊은 특징이 있다.

2.5.3 Flux Cored Arc Welding

내식, 내마모성 또는 내열성의 초경합금성분 Flux Cored Wire를 사용하여 Open Arc Welding으로 연강판 위에 육성용접하는 공법으로 와이어는 Self shielded flux cored wire를 사용한다⁵⁻⁶⁾.

2.6 CFP GMAW 정의

기관 상부면에 컴파운드 필러를 판상으로 경화시켜 만든 CFP(Compound Filler Plate)를 올려두고 GMAW로 육성용접하는 방법이다.



Fig. 2.6 Picture of CFP GMAW

상기공정은 스파터나 컴파운드메탈에 의한 전극손상이 거의 없어 장시간 용접이 가능하고 GMAW가 정전압특성 전원이기 때문에 Filler Plate를 녹일 때 아크길이가 변화해도 안정적인 용입을 얻을 수 있다.

제 3 장 내마모판 제조에 관한 앞선 연구의 검토

1) Chieh Fan et al.⁷⁾

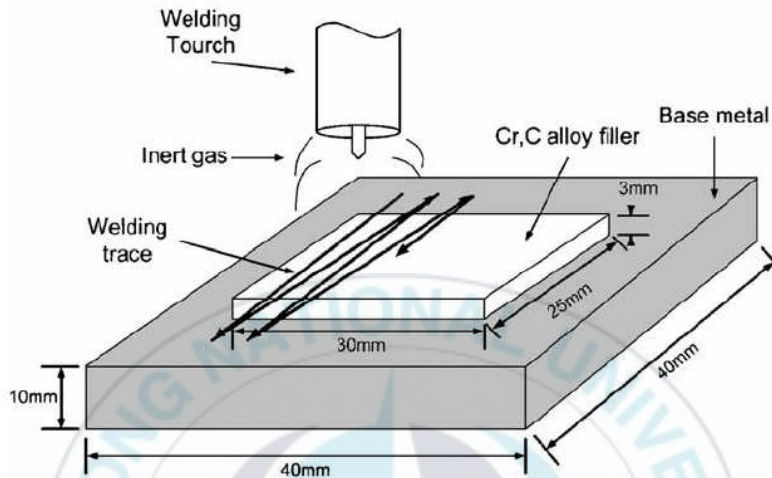


Fig. 3.1 The schematic diagram of the hardfacing welding

Chieh Fan⁷⁾ 등은 기판위에 Cr,C alloy filler 두고 TIG로 용접한 시편의 크롬카바이드의 미세조직 변화에 대한 그의 연구에서 상기 공정을 사용하였다. 이 공정에 의해 실험해본 결과 스파터나 컴파운드에 의해 전극이 손상되어 장시간 용접이 불가능하였고 CFP가 녹으면서 아크길이가 계속적으로 변화하기 때문에 용입이 불균일하게 생성되었다.

2) Ming-Der Jeana et al.⁸⁾

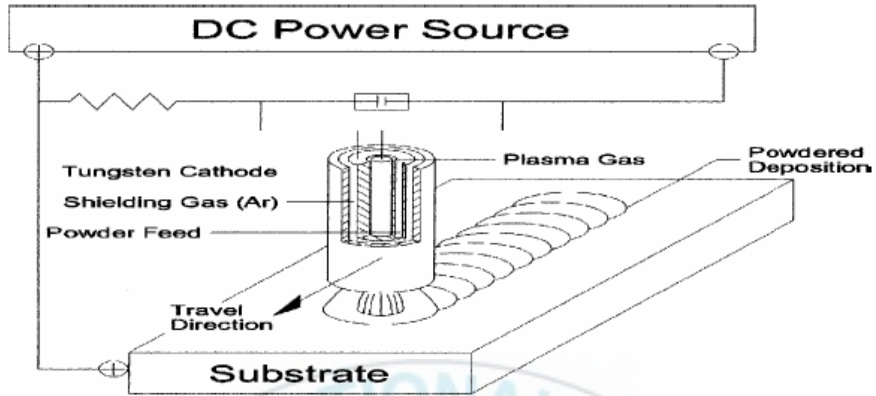


Fig. 3.2 Mode of operating coating treatment of plasma transfer arc

Ming-Der Jeana⁸⁾ 등은 플라즈마토치 내에서 분말형 컴파운드를 동축으로 송급하는 방법에 대해 연구하였다. 이 공정의 단점으로는 동축 노즐을 사용하기 때문에 컴파운드 손실율이 적고 반면에 설비가 고가이며 스패터나 컴파운드에 의한 전극손상이 심하다.

3) Y.-F. Liu et al.⁹⁾

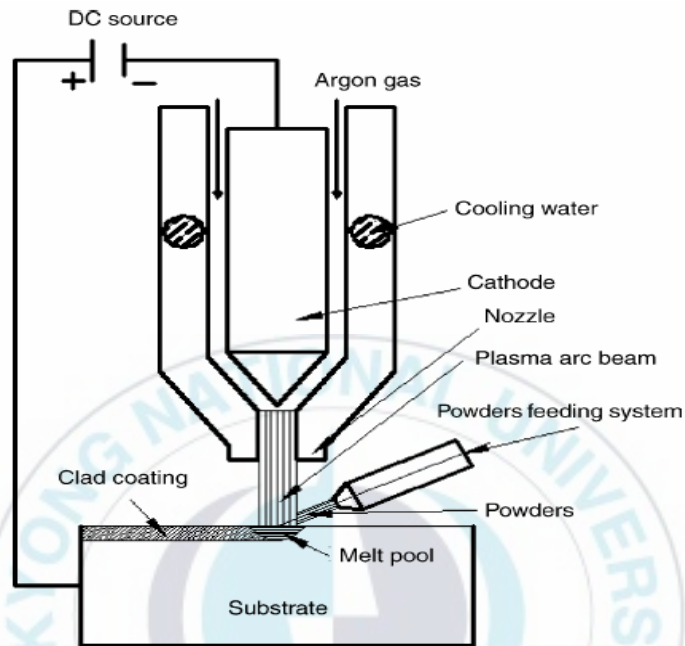


Fig. 3.3 Schematic diagram of the DRF-1 PTA cladding system

Y.-F. Liu⁹⁾ 등은 내마모판의 미세조직과 마찰력에 대한 연구에서 상기 공정을 사용하였다. 이 공정은 플라즈마토치 외부에서 분말형 컴파운드를 비동축으로 송급하므로 컴파운드 손실율이 높고 동축노즐을 사용하는 것보다 설비가 저가이지만 스패터나 컴파운드에 의한 전극 손상이 심한 단점이 있다.

4) Xiu-Bo Liu et al.¹⁰⁾

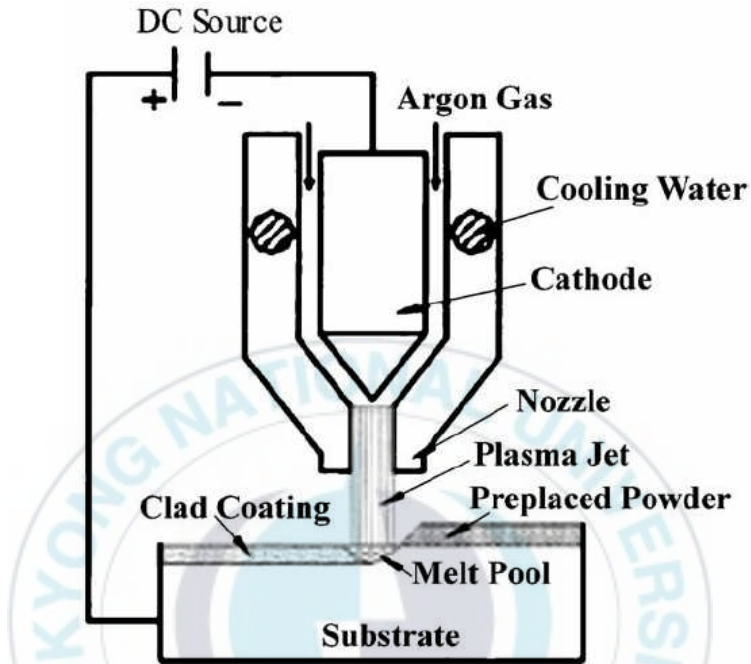


Fig. 3.4 Schematic diagram of the plasma-arc cladding process

Xiu-Bo Liu¹⁰⁾ 등은 Preplaced powder를 사용하여 플라즈마로 용접하는 방법에 대해 연구하였다. Preplaced powder를 사용함으로써 컴파운드의 손실율이 작지만 파우더를 기관위에 고착 시키는 추가 공정이 필요하고 스파터나 컴파운드에 의한 전극손상이 심하다.

제 4 장 기존 CMAW와 CFP GMAW의 용접품질 비교

4.1 서언

본 장에서는 기존 CMAW와 CFP GMAW의 용접품질을 비교하였다. 내마모판의 품질에서 가장 중요한 용입과 경도 비교하였다.

4.2 실험 재료 및 방법

4.2.1 실험 재료

Table 4.1 Welding materials for experiments

	CMAW	CFP GMAW
Substrate	Mild steel	
Standard	1219 X 2032 X 7	300 X 100 X 6

4.2.2 실험 방법

용접기 : Fronius TPS-4000

계측기 : 모니텍(주) WAM 3000N

Table 4.2 Welding conditions for experiments

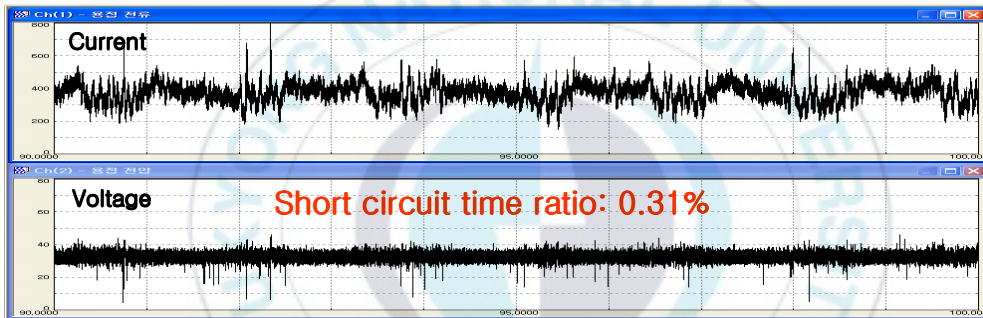
		CMAW	CFP GMAW			
Fixed	Wire diameter, Φ	2.4	1.6			
	Set current, A	400	330			
	Torch angle(backward), °	30	15			
	Welding speed, cpm	19.25	11.2			
	CTWD, mm	40	40			
	Deposited metal height, mm	5	4			
	Oscillation width, mm	35.7	34			
	Substrate thickness, mm	7	6			
Variable	Set voltage, V	33	35	36	37	

4.3 실험 결과 및 고찰

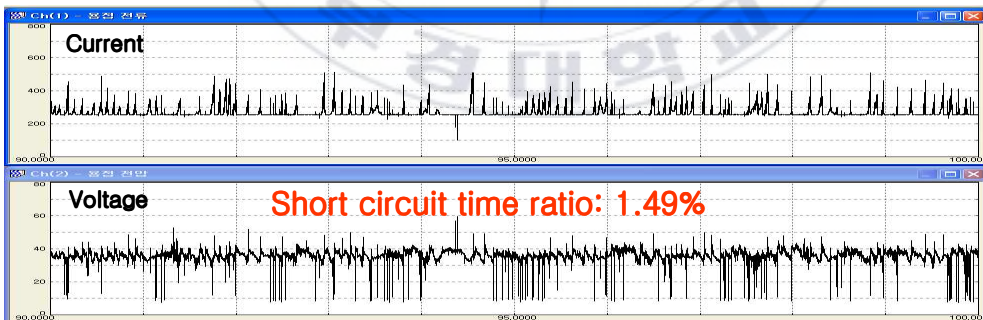
4.3.1 CMAW 및 CFP GMAW 특성 비교

1) 아크특성 분석

Fig. 4.1은 CMAW와 CFP GMAW의 전류, 전압파형을 나타내는 것으로 CMAW는 싸이리스터 용접기를 사용했고 CFP GMAW는 인버터 용접기를 사용했기 때문에 파워소스 출력특성은 조금 다르게 나타난다. 하지만 전압 파형을 보면 CFP GMAW가 단락이 많이 일어나는 것을 볼 수 있다.



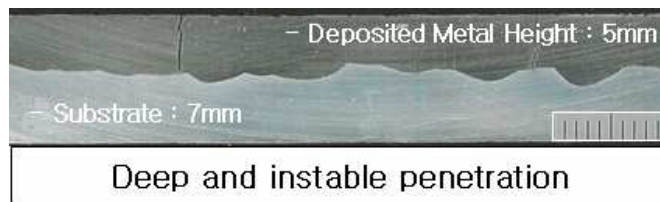
(a) CMAW



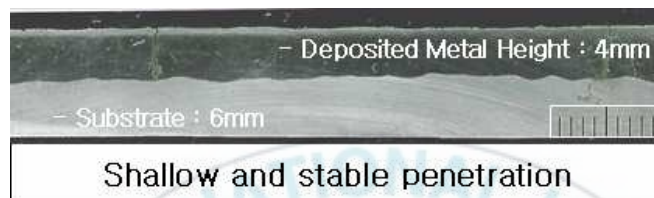
(b) CFP GMAW

Fig. 4.1 Comparison of wave form by CMAW and CFP GMAW

2) 기존 CMAW와 CFP GMAW의 용입특성 비교



(a) CMAW



(b) CFP GMAW

Fig. 4.2 Comparison of longitudinal sections by CMAW and CFP GMAW

Table 4.3 Penetration depth of longitudinal section by CMAW and CFP GMAW

		CMAW	CFP GMAW
Penetration depth, D_p	Mean (mm)	1.93	0.62
	Standard deviation (mm)	0.59	0.23

Fig. 4.2는 CMAW 및 CFP GMAW의 용입특성을 나타내었다. CMAW 종단면은 깊고 심한 용입 산포를 가지고 있으며 CFP GMAW의 종단면은 얇고 균일한 용입을 형성하였다. 따라서 Table 4.4에서 볼 수 있듯이 경도는 CMAW보다 CFP GMAW에서 높고 용입평균의 표준편차 또한 낮은 것을 알 수 있다.

3) 기존 CMAW와 CFP GMAW의 경도 특성 비교

Fig. 4.3에서 CMAW와 CFP GMAW의 경도를 비교하였다. 마이크로 경도 측정기를 사용하였고 하중은 1 kgf, 드웰타임은 15sec로 하여 측정하였다. CFP GMAW의 평균경도가 865Hv로 CMAW의 779Hv보다 높고 표준편차 또한 작아서 품질이 우수하다고 판단된다.

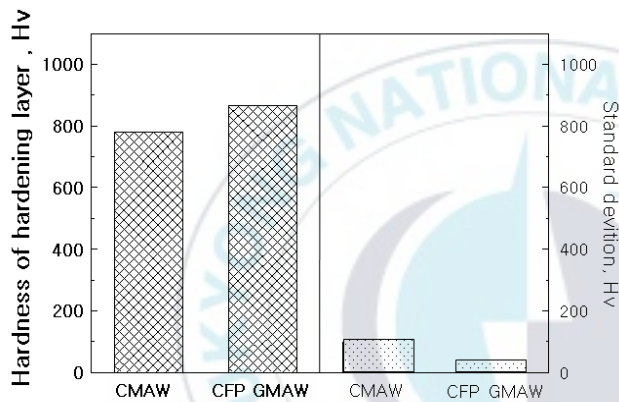


Fig. 4.3 Hardness test of CMAW and CFP GMAW

Table 4.4 Hardness test result

	CMAW, Hv	CFP GMAW, Hv
1	868.7	816.7
2	722.8	837.6
3	699.1	865.0
4	683.1	878.2
5	803.1	859.4
6	919.8	911.6
7	801.5	919.8
8	639.4	874.4
9	750.7	870.6
10	905.6	820.1
Ave.	779.4	865.3
StDev.	96.6	34.3

제 5 장 비드외관불량을 발생시키는 물유리불 제거 방법 개발

5.1 서언

본 장에서는 용접 도중 점결제로 사용된 물유리가 아크열에 의해 CFP표면으로 나타나 용접 후 비드표면에 남아 비드외관 불량을 발생시키는 문제점을 해결하기 위해 물유리불을 제거할 수 있는 방법에 대해 연구하였다.

물유리불을 와이어의 용적과 단락시켜서 단락해소와 함께 스파터로 비산시키는 방법을 채택하였다. $\phi 1.6$ 와이어를 사용하여 전류, CTWD, CFPT(Compound Filler Plate Thickness)를 변경시켜 실험을 하였고 물유리불과 와이어 용적을 단락시키기 위해 Table 5에서와 같이 전압을 변경시켰다.

5.2 실험 재료 및 방법

5.2.1 실험 재료

본 실험에 사용된 재료는 폭 50mm × 길이 100mm × 두께 6mm의 연강판을 사용하였다. 그리고 컴파운드메탈은 물유리로 점결 후 1일 정도 건조시킨 후에 사용하였다.

5.2.2 실험 방법

Table 5.1 Welding condition for experiments

Fixed	Wire diameter, Φ	1.2		
	Torch angle(Forward), °	20		
	Welding speed, cpm	11.2		
	Oscillation lead, mm	5.1		
	Oscillation width, mm	35		
	Substrate thickness, mm	6		
Set Current, A		300	330	360
Set Voltage, V		34.9	37.6	38.9
CTWD, mm		30	35	40
Compound Filler Plate Thickness, mm		5	6	7

5.3 실험 결과 및 고찰

5.3.1 물유리볼에 의한 비드외관 불량 검토



Fig. 5.1 Water glass ball on the bead surface

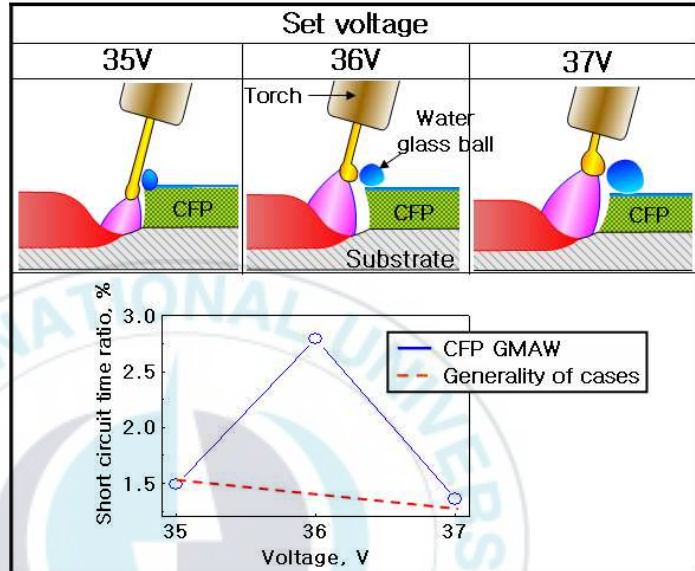


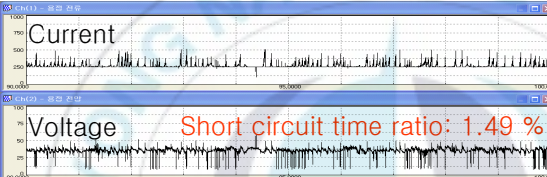
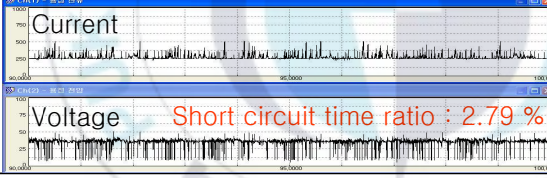
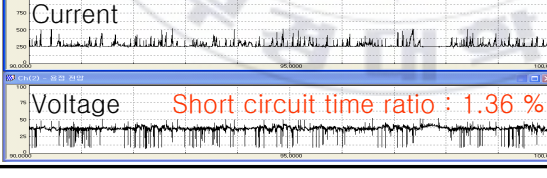
Fig. 5.2 Formation of water glass ball for each other voltage

CFP GMAW에서 발생하는 비드외관 불량은 컴파운드 점결제로 사용된 물유리가 아크열에 의해 CFP표면으로 부상해서 용접 후 비드표면에 남아 비드외관 불량을 발생시킨다고 판단된다. 따라서 Fig. 5.1의 비드표면에 물유리볼을 제거하기 위해 Fig. 5.2에서 보시는 것과 같이 물유리볼과 와이어 용적을 단락시켰다.

5.3.2 물유리볼 발생 분석

Table 5.3에서 볼 수 있듯이 아크길이가 작을 때는 물유리볼 생성량이 작고 대신 아크가 CFP밑에서 생성되기 때문에 컴파운드의 손실이 많다. 그리고 아크길이가 길면 물유리볼 생성량이 많은 반면 컴파운드의 손실이 작다. 또한 아크길이가 중간일 경우에는 두 경우의 중간형태의 경향을 나타내었다.

Table 5.3 Short circuit waveforms by each other voltage

Set voltage	Welding wave form	Note
35V		- Water glass ball ⚡ Small - Compound loss ⚡ High - Short circuit time ratio ⚡ Small
36V		- Water glass ball ⚡ Medium - Compound loss ⚡ Medium - Short circuit time ratio ⚡ High
37V		- Water glass ball ⚡ High - Compound loss ⚡ Small - Short circuit time ratio ⚡ Small

5.3.3 물유리볼 성장 및 소멸 메커니즘

- 물유리볼 성장

Fig. 5.3은 물유리볼 성장 메커니즘을 보여주고 있다. 사진에서 물유리볼과 와이어가 접촉한 후 아크가 꺼지지 않고 분리되면 와이어용적이 물유리볼로 옮겨가서 용적이 더 커지는 것을 볼 수 있다. 전압파형을 보면 분리 후 아크가 상당히 불안한 것을 알 수 있다.

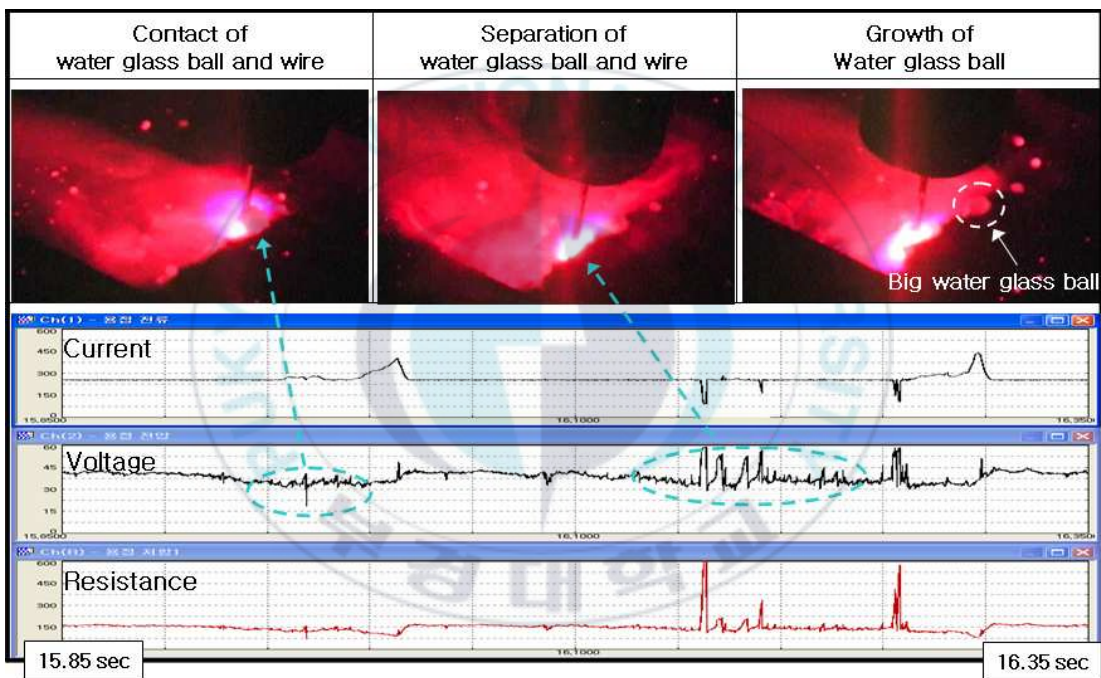


Fig. 5.3 Principle of growth for water glass ball

- 물유리볼 소멸

Fig. 5.4는 물유리볼 소멸 메카니즘을 나타내고 있다. 사진에서 와이어와 물유리볼이 단락되어 아크가 완전히 꺼져 후 아크재점호가 일어나면서 폭발과 함께 CFP표면의 물유리볼이 소멸되는 것을 나타내고 있다.

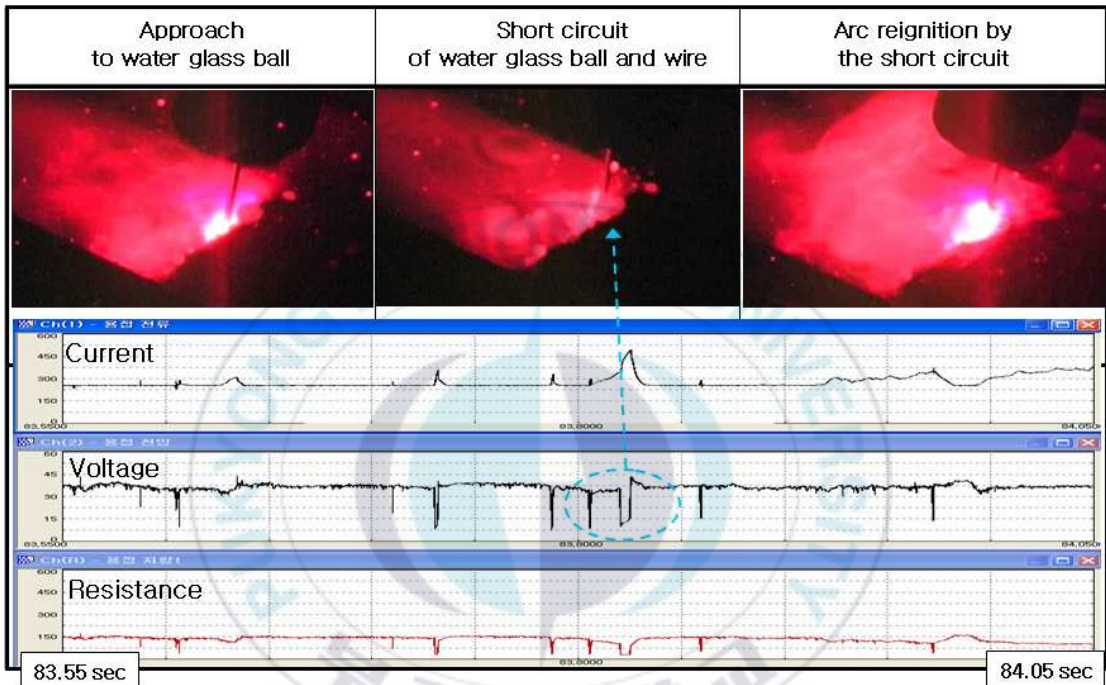


Fig. 5.4 Principle of removal for water glass ball

5.3.4 컴파운드메탈 내의 가스발생제 제거

기존 오픈아크용접법에서는 쉴드가스를 공급하지 않기 때문에 컴파운드 내에 가스발생제를 첨가시켜 자체실딩을 하고 있다. 비드오염의 원인으로 물유리볼이 와이어의 용적과 결합해서 성장하는 것 외에 더 큰 원인은 아크열에 의해 CFP 표면으로 올라온 물유리가 컴파운드와 결합한다는 것이다. 하지만 CFP GMAW의 경우 토치로 가스를 공급하여 실딩을 하기 때문에 컴파운드내에 첨가된 가스발생제를 제거시켰다.

Fig. 5.5의 (a)는 컴파운드내에 가스발생제를 첨가시켜 용접한 비드표면이고 (b)는 컴파운드내에 가스발생제를 제거시키고 용접한 시편을 나타내었다. (b)의 비드가 물유리볼에 의한 오염이 적은 것을 알 수 있다.

용접 시 가스발생제가 물유리볼과 결합하여 물유리볼을 더 크게 성장시킨다. 따라서 용접 후 비드표면에 물유리볼의 자국이 더 크게 남는다. 가스발생제를 제거시킨 후 용접을 하면 비드표면 외관불량이 현저히 개선되는 것을 알 수 있었다.

Contaminated bead surface



(a) Inclusive of Shielding component

Clean bead surface



(b) Remove of Shielding component

Fig. 5.5 Weld bead of CFP GMAW

제 6 장 반응표면 분석법을 이용한 최적 용입 조건 검토

6.1 서언

본 장에서는 반응 표면 분석법(RSM)을 이용하여 최적 용입 조건을 찾았다. $\phi 1.6$ 와이어를 사용하였고 CTWD 30mm, 용접속도 15cm/min으로 하였다. 또한 변수로서는 용접전류 A, CTWD mm, CFP두께 mm를 변화시켰다.

본 실험은 반응표면 분석법 중 중심합성 계획법(3인자 3수준)을 사용하였다.



6.2 실험 재료 및 방법

6.2.1 실험 재료

본 실험에 사용된 재료는 폭 50mm×길이 100mm× 두께 6mm의 연강판을 사용하였고, 시편 형상은 Fig. 6.1(b)에 나타내었다. 그리고 Compound Metal은 물유리로 점결 후 1일 정도 건조 시킨 후에 사용하였다.

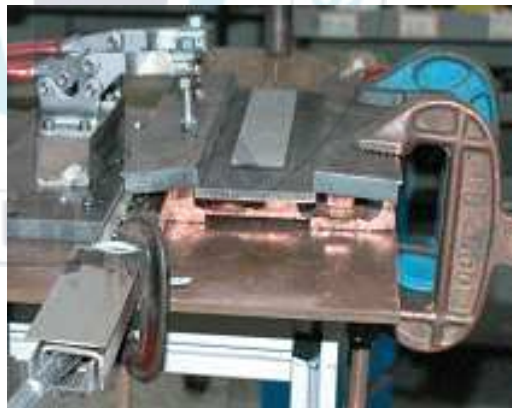
Fig. 6.1(a)는 기관위에 필러플레이트를 놓은 시편을 클램프로 고정하여 용접하는 사진을 나타낸다. 아래보기 용접으로 실험하였으며, 아크 모니터링 시스템(WAM 3000N)으로 용접 전류, 전압을 계측하였다.

Fig. 6.1(b)와 같이 시편의 양쪽을 클램프로 사용하여 구속시켰다.

- Substrate : Mild steel
- Standard : 300 x 100 x 6



(a) Fit up of welding equipment



(b) Restriction of welding specimen

Fig. 6.1 Preparation of experiment

6.2.2 실험 방법

Table 6.1 Welding condition for experiments

Fixed	Wire diameter, Φ	1.2		
	Torch angle(Forward), °	20		
	Welding speed, cpm	11.2		
	Oscillation lead, mm	5.1		
	Oscillation width, mm	35		
	Substrate thickness, mm	6		
Set Current, A		300	330	360
Set Voltage, V		34.9	37.6	38.9
CTWD, mm		30	35	40
Compound Filler Plate Thickness, mm		5	6	7

* 전류, CTWD, CFP두께를 변화시켜 용입을 검토하였다.

6.2.3 실험계획

Table 6.2 Experiment designs by RSM

Level	Coded unit		
	Current, A	CTWD, mm	CFPT, mm (CFP thickness)
-1	300	30	5
0	330	35	6
1	360	40	7

* 출력 변수 : 용입 *식 (1) : 2차 회귀 방정식

◆ 반응 표면 분석법 중 3^k 요인배치법 사용
- 3인자 3수준

Table 6.3는 입력변수인 Current A, CTWD mm, CFPT mm에 따른 출력 변수인 용입의 평균값을 나타낸 것이다.

Table 6.3 Response values by experiment design

No.	Natural variables			Response (용입)
	Current	CTWD	CFPT	
1	330	35	6	0.20
2	330	35	6	0.27
3	330	35	6	0.24
4	330	30	6	0.33
5	330	35	5	0.68
6	330	35	7	0.21
7	360	30	7	0.26
8	360	30	5	0.76
9	330	35	6	0.21
10	300	35	6	0.19
11	300	40	5	0.22
12	330	35	6	0.22
13	300	30	5	0.21
14	300	30	7	0.09
15	330	40	6	0.20
16	360	35	6	0.39
17	360	40	7	0.21
18	330	35	6	0.20
19	300	40	7	0.11
20	360	40	5	0.41

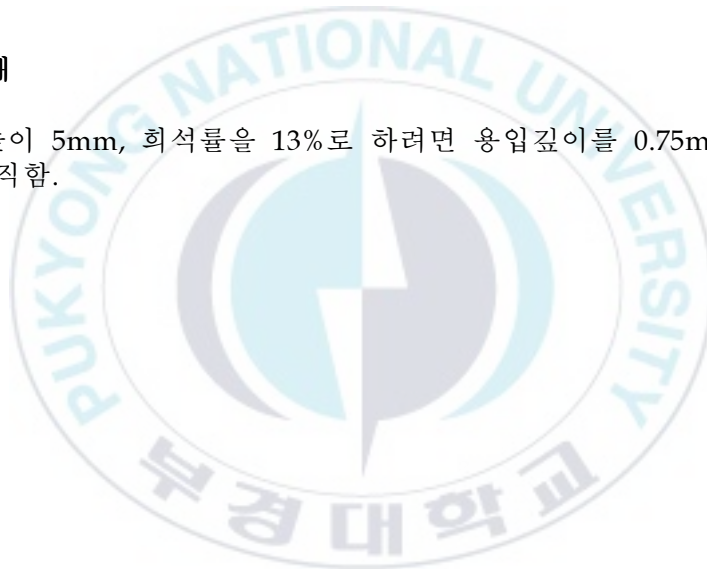
6.2.4 CFP GMAW의 희석률을 고려한 용입깊이 검토

Table 6.4 Dilution ratio for penetration depth and deposited metal height

Penetration depth, mm	Deposited metal height, mm	Dilution ratio, %
0.75	4	15.8
	5	13.0
	6	11.1

- 식[2]에 의해

◆ 용착금속높이 5mm, 희석률을 13%로 하려면 용입깊이를 0.75mm로 하는 것이 바람직함.



6.3 실험 결과 및 고찰

6.3.1 반응표면 분석법에 의한 회귀식 유도

Table 6.5 Coefficient values for term

$$y_p = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i \leq j}^k \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon$$

x_1 : Current, x_2 : CTWD, x_3 : CFPT

[4]

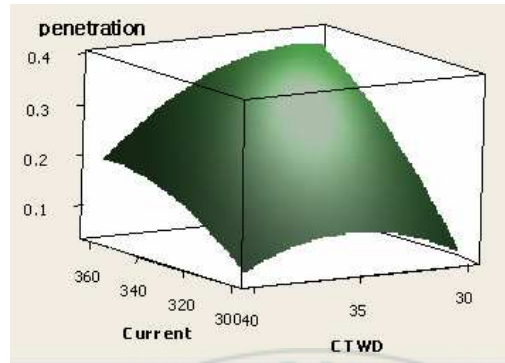
Where, x_i : 입력변수들의 coded unit
 y_p : 출력변수인 용입
 ε : 오차
 β : 회귀계수

Term	Value	Coefficients
Constant		0.26255
Current	X_1	0.121
CTWD	X_2	-0.05
CFPT	X_3	-0.14
Current*Current	x_1^2	-0.03136
CTWD*CTWD	x_2^2	-0.05636
CFPT*CFPT	x_3^2	0.12364
Current*CTWD	$x_1 x_2$	-0.05375
Current*CFPT	$X_1 X_3$	-0.05875
CTWD*CFPT	$X_2 X_3$	0.03875

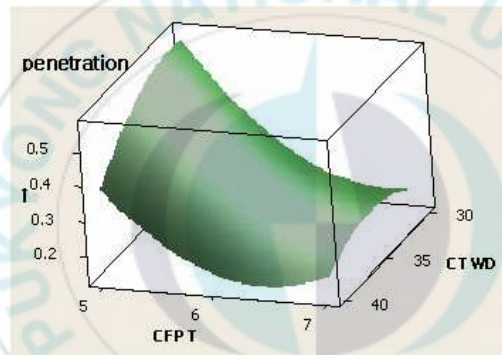
$$YP = 0.26255 + 0.121 x_1 - 0.05 x_2 - 0.14 x_3 - 0.03136 x_1^2 - 0.05636 x_2^2 + 0.12364 x_3^2 - 0.05375 x_1 x_2 - 0.05875 x_1 x_3 + 0.03875 x_2 x_3 \quad \text{-----}[5]$$

식 [4]은 반응표면분석법에 의해 생성된 2차 회귀반응식이며, 식[5]는 앞선 Table 6.5에서 나타난 회귀식 항목별 계수값을 식[4]에 대입해서 구한 식이다.

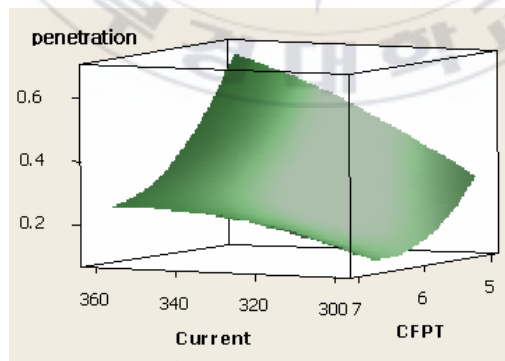
Fig. 6.2는 식[5]을 사용하여 Current A, CTWD mm, CFP두께 mm에 대한 종단면 평균용입을 나타낸 것이다. 전류가 증가, CTWD가 감소 그리고 CFP두께가 얇아질 때 용입이 깊어지는 것을 알 수 있다. 또한 용입에 전류와 CFP두께가 큰 영향을 미쳤다는 것을 알 수 있다.



(a) Current and CTWD



(b) CFPT and CTWD



(c) Current and CFPT

Fig. 6.2 Average penetrations by current and CTWD and CFPT

6.3.2 최적 용입 조건 검토

- 실험 조건내의 최적 용입값 : 0.7607mm

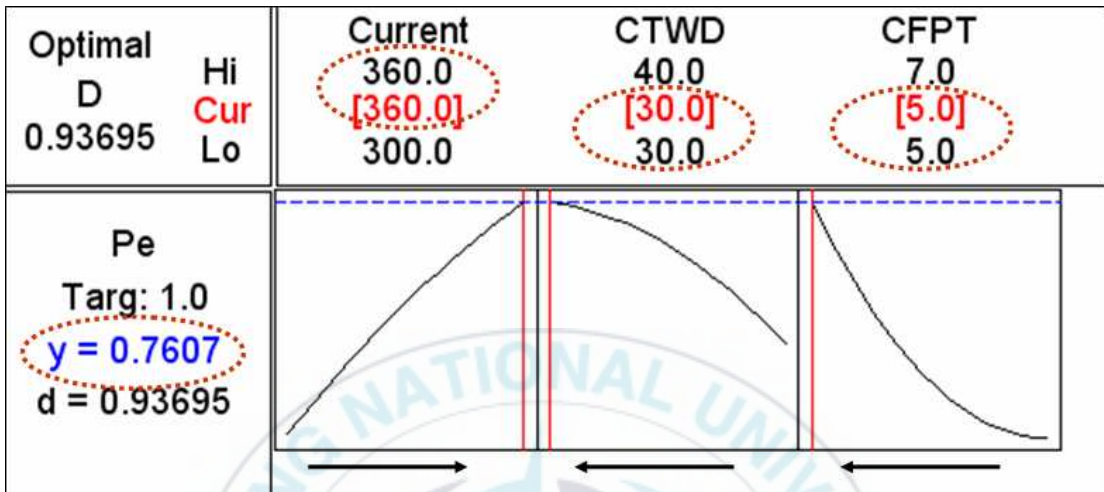


Fig. 6.3 Optimized welding condition by minitab

Fig. 6.4는 CFP GMAW 용접조건 별 시험편을 나타내었고 Fig. 6.5는 실험에서 나온 가장 최적의 용접조건인 전류 360A, CTWD 30mm, CFPT 5mm로 오버랩 실험을 한 시험편으로 비드표면이 깨끗하고 평활하였다.

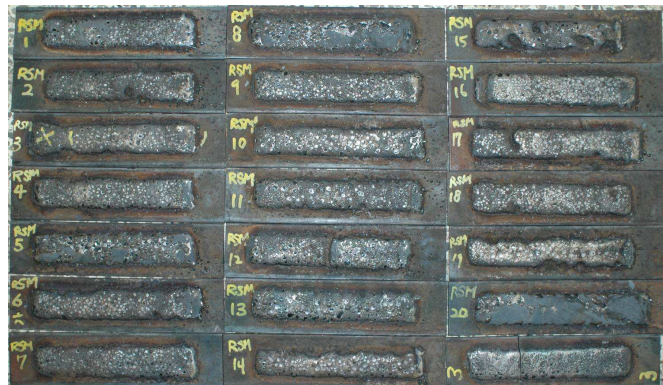


Fig. 6.4 Configuration of weld bead for each condition



Fig. 6.5 Configuration of weld bead with Overlap

제 7 장 결 론

이상과 같은 경화육성용접 품질 향상을 위한 CFP GMAW 공정개발에 관한 연구결과 다음 같은 결론을 얻었다.

1) 아크중에 비동축으로 분말을 투입하여 용접하는 CMAW의 깊은용입과 컴파운드 손실율을 보완하기 위하여 분말판재를 미리 제작하여 기판위에 두고 그위에 GMAW로 용접하여 희석에 의한 경도감소와 높은 컴파운드의 손실률을 방지하고 용입의 산포를 현저히 줄인 공법을 개발하였다

2) CFP GMAW 후 발생하는 비드외관 불량은 용접도중 아크열에 의해 CFP 내에서 점결제로 사용된 물유리가 CFP표면으로 부상해서 생긴다는 것을 알았다. 또한 용접 중 아크열에 의해 CFP표면으로 부상한 물유리불이 컴파운드내의 가스발생제와 뭉쳐서 물유리불을 더 크게 생성시켜 비드외관불량을 가중시켰다. 이러한 문제점을 컴파운드내에 첨가된 가스발생제를 제거함으로서 개선할 수 있었다.

3) 기존 $\phi 2.4$ 와이어에서 $\phi 1.6$ 와이어를 변경하여 아크발열을 낮추고 와이어저항발열을 높여 용입을 얇게 하였다. 따라서 CFP GMAW의 평균경도가 865Hv로 CMAW의 779Hv보다 높고 표준편차 또한 작아서 품질이 우수하였다.

4) 반응표면분석법을 이용한 최적 용입조건 검토에서 최적용입깊이는 360 A, CTWD 30mm, CFP두께 5mm에서 0.76mm로 나타났다. 즉, 전류가 증가하고 CTWD는 감소 그리고 CFP두께가 얇으면 용입이 깊어진다는 것을 알 수 있었다. 또한 분석결과 전류와 CFP두께가 용입에 지배적인 것을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. 백응률, 안상호, 김종관 : SS-FCAW Process에 의한 고크롬 철계 육성 용접의 용접특성, 산업과학기술연구소, KIC
2. 백응률, 정재영, 안상호 : 오버레이용접(육성용접)의 기술개발 현황, 대한 용접학회지(1977) 제15권 제5호
3. 김광수 : 용접 하드페이싱기술, Journal of KWS(1999) , Vol. 17, No. 5
4. 김인태 : 플라즈마-탄뎀 용접에 의한 중후판 맞대기 용접 공정의 개발, 부경대학교 대학원 석사학위 청구논문(2006)
5. 백응률 : 크롬탄화물형 크롬백철 오버레이 용착금속에서의 (Cr, Fe)7C3의 경도특성, 대한용접학회지(2005) 제 23권 제2호
6. 백응률 : 철/크롬 오버레이합금의 파괴인성에 미치는 크롬탄화물 양의 영향, Journal of KWS(1998), Vol. 16, No. 2
7. Chieh Fan, Ming-Che Chen, Chia-Ming Chang, Weite Wu : Microstructure change caused by (Cr,Fe)23C6 carbides in high chromium Fe - .Cr - .C hardfacing alloys, Surface & Coatings Technology xx(2006) 577-580
8. Ming-Der Jeana, Chyuan-Du Liub, Jen-Ting Wang : Design and development of artificial neural networks for depositing powders in coating treatment, Applied Surface Science 245 (2005) 290 - 303
9. Y.-F. Liu et al. : Microstructure and dry-sliding wear resistance of PTA clad(Cr, Fe)7C3/g-Fe ceramal composite coating, Applied Surface Science(2005) APSUSC-13239; No of Pages 6
10. Xiu-Bo Liu, Yi-Jie Gu : Plasma jet clad $\sqrt{\text{Cr7C3}}$ composite coating on steel, Materials Letters 60 (2006) 577 - 580

감사의 글

2005년 3월, 직장생활에 회의를 느끼고 방황하던 때에 조성우 선배님의 추천으로 Welding IT Lab.에 들어오게 되었습니다. 열정만 가지고 도전한 2년 남짓한 실험실생활은 너무나 힘든 과정이었습니다. 하지만 되돌아보면 이 시기가 제 인생에 있어서 가장 큰 전환점이자 발전기였다고 생각합니다. 그동안 너무나도 많은 가르침을 받았습니다. 앞으로도 이것이 끝이 아니라 이제부터 시작이라는 마음가짐으로 용접분야에서 세계최고가 되기 위해 항상 노력하겠습니다.

먼저 무지했던 저에게 엔지니어의 길을 걷게 가르침을 주시고 더 넓은 세상으로 나갈 수 있도록 인도해주신 저의 지도 교수님이신 조상명 교수님께 머리 숙여 감사의 마음 올립니다.

그리고 학부 및 대학원 과정을 지도해 주신 김우열 교수님, 박홍일 교수님, 김성규 교수님, 이병우 교수님, 방국수 교수님, 서원찬 교수님, 이길근 교수님께 감사드립니다.

처음 연구실에 들어온 저에게 많은 도움을 주셨던 유광선, 김인태, 조진안, 김영주, 김대만 선배님들께 고마운 마음 전합니다. 또한 항상 후배들의 모범이 되어주셨던 오동수, 고명훈, 고미혜 함효식 박사과정 선배님 그리고 항상 따뜻하게 대해주셨던 김외숙 비서님에님께도 감사드립니다.

직장 다니면서 연구실생활하는 저의 유일한 동기 이정현님에게도 감사드리고 많이 못 도와줘서 항상 미안한 마음뿐입니다. 연구실생활 동안 가장 도움을 많이 받았던 김진욱, 김성덕님 그리고 1년 동안 (주)KIC프로젝트를 같이 수행하면서 저의 부족했던 점을 채워줬던 추용수선배님과 황규민군에게 다시 한번 감사드립니다. 또한 문영덕, 박인기, 추환수, 배광무, 윤영현, 김효원 그리고 우리새내기들, 임성빈, 하종문, 정연호, 박경도님에게도 감사드립니다.

오늘이 있기까지 언제나 저의 뒤에서 힘이 되어주신 부모님께 고개 숙여 감사에 마음 전합니다. 그리고 항상 동생을 걱정해주신 누님과 매형에게 감사드립니다. 이 외에도 저에게 도움을 주신 모든 분들께 감사드리고 행복과 건강을 기원하며 이 논문을 마칩니다.

