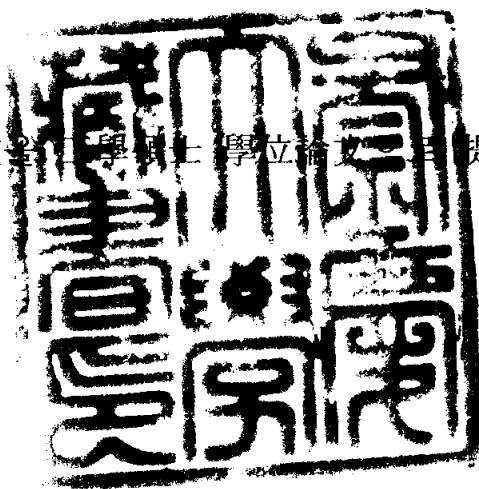


工學碩士 學位論文

탄뎀 필릿용접 불량개선을 위한 선후행
토치의 전류 결정에 관한 연구

指導教授 趙 相 明

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함



2004年 8月

釜慶大學校 産業大學院

소재프로세스 공학과

朴 大 圭

朴大圭의 工學碩士 學位論文을 認准함

2004年 6月

主 審 工學博士 金 雨 烈 

委 員 工學博士 徐 源 贊 

委 員 工學博士 趙 相 明 (印) 

목 차

Abstract -----	7
제 1장 서론 -----	8
1.1 연구 배경 및 필요성 -----	8
1.2 연구 목적 및 개요 -----	9
제 2장 이론적 배경 -----	10
2.1 서 언 -----	10
2.2 CO ₂ 용접의 원리 -----	12
2.3 필릿 용접의 기본 조건 -----	14
2.3.1 토치 작업각과 진행각 -----	14
2.3.2 토치 작업각 변화에 따른 외관 변화 -----	15
2.3.3 토치 진행각 변화에 따른 외관 변화 -----	16
2.3.4 토치 조준위치 변화에 따른 외관 변화 -----	17
2.4 Tandem Fillet 용접 시 외관 품질에 영향을 미치는 인자 -----	18

제 3장 각장 설계 -----	20
3.1 서언 -----	20
3.2 각장 설계 및 용착 금속량 산출 -----	21
3.3 용접 전류 변화에 따른 와이어 송급속도 측정 -----	22
3.3.1 실험 방법 -----	23
3.3.2 실험 장비 및 구성 -----	24
3.3.3 실험 결과 및 고찰 -----	25
3.3.4 실험결과에 따른 와이어 송급속도 회귀분석 -----	26
3.3.5 탄뎀 용접 시 이론 용착금속량 산출 -----	27
3.4 결 언 -----	28
 제 4장 이론 선후행 전류비 적용의 평가 및 고찰 -----	29
4.1 서 언 -----	29
4.2 용접 속도 100CPM에서 1-토치 용접가능 영역 산출 -----	30
4.2.1 실험 방법 및 장비 구성 -----	30
4.2.2 실험 결과 및 고찰 -----	31
4.2.3 결 언 -----	37
4.3 탄뎀 선후행 토치의 적정 전류비 산출 및 고찰 -----	39

4.3.1 서 언	39
4.3.2 실험 방법	41
4.3.3 실험 결과 및 고찰	43
4.3.4 이론 선후행 전류비에서 최적 선후행 전류비의 결정	48
4.4 결 언	50
제 5장 결 론	51
제 6장 참고 문헌	52

A Study on The Lead & Trail Torch of Current Decision For Tandem Fillet Welding Quality Improvement

Dae - Kyu Park

Department of Materials Processing Engineering, Graduate School
Pukyong National University

Abstract

Fillet welding method is one of the many used welding process, and also is easy applicable in automatic welding. Welding Speed of 1-pole auto carriage was much faster than semi auto fillet welding about 2~2.5 times. However, the ship size is getting bigger, so many same shape block is needed. Therefore, high speed fillet welding is required. We adopted new tandem fillet welding in the process, and it's welding speed is improved about 2~2.5 times. However, the setting of working condition is difficult and much repair welding time and grinding time is required.

Accordingly, We studied how to make a decision about reasonable conditions which have minimized repair welding time and high quality. Besides, We research on a tandem welding of quality variation on factor variation.

In that results, The deciding method of available welding current range was developed. We could get good quality in the range of Lead & Trail current ratio (CR) value, from 0.94 to 1.16. $1 > CR$ is better when the quality of fitting condition is not good. To reduce blowhole, using $1 < CR$ value is better

제 1장 서론

1.1 연구 배경 및 필요성

선박 건조 시 적용되는 여러 가지 용접기법 중 가장 많이 적용되는 기법 중 하나가 FCA용접(Flux Cored Arc Welding)이다. 일반적으로 100% CO₂ 가스를 사용하고, 플럭스 코어드 와이어를 사용하여 자동 또는 반자동 용접에 적용한다.

또한, 필릿 자동 용접의 경우에는 자동용접 캐리지를 적용하여 용접 생산성 향상과 동시에 용접품질 향상에 기여하게 되었다.

최근에는 용접장비 및 용접재료 개발에 힘입어 1-토치에서 2-토치(Tandem) 필릿 FCA용접이 활발하게 적용되고 있다.

그러나 1-토치 필릿 용접조건 설정과는 달리 탄뎀 필릿 용접의 경우 품질에 영향을 미치는 인자가 더 많이 존재하게 된다. 이러한 인자들을 현장 조건에 맞추어 용접사의 경험적인 측면에서 작업조건을 설정함으로써 언더컷(Undercut), 오버랩(Overlap), 부등각장(Unbalance leg length), 블로우홀(Blowhole), 핏트(Pit) 등의 불량 발생하고 있다. 이러한 불량들을 보다 효과적으로 감소시킬 수 있는 적정 용접 조건 설정 기술이 요구된다.

탄뎀 용접에 관한 OKUI 등의 연구에 의하면 플럭스 코어드 와이어 $\varnothing 1.6$ 를 사용한 경우 후행전류/선행전류 값(IT/IL) 0.7~0.9로 제시하였다.⁽¹⁾ 이 결과를 현장에 적용하는데 있어서 용접재료, 부재 상태 및 용접 속도 등이 변함에 따라 정상적인 품질 확보가 곤란하였다.

본 연구는 요구되는 작업속도, 용접 재료, 부재 상태에 따라 선후행 전류비(IT/IL)를 조절하여 적정 작업 조건을 결정 하는데 중점을 두어 수행하였다.

1.2 연구 목적 및 개요

선박 건조 시 Block 생산을 위한 Panel 생산 Line의 Lead Time 단축 및 생산성 향상을 위하여 1-Pole auto carriage에서 2-Pole auto carriage로 개선되어 LONGI. Welding 공정의 Tact Time이 2~2.5배 정도 단축되었다. 그러나 New Welding Process 기법(Twin Tandem)의 적용으로 적절한 용접조건이 설정되지 않아 다량의 용접불량 발생과 많은 수정용접 시수를 투입하고 있는 실정이다. 따라서 이를 보다 용접 공학적 기법과 통계학적 기법을 이용하여 적정용접 조건을 산출/ 적용함으로써 용접 생산성 향상과 균질한 양품을 생산하기 위함이다.

전체 공정의 Lead Time 변화에 따라 용접공정의 Tact Time에 영향을 주는 용접속도 변수에 맞는 적정용접 조건을 설정하여 부등각장, 언더컷, 오버랩 및 기공 등의 불량을 최소화 하는 방법을 개발하고 2-Poles(Tandem) auto carriage의 최적 용접조건 확립에 의한 생산성 극대화, 부적당한 조건 설정으로 인한 불량 발생의 최소화에 중점을 두어 연구를 진행하였다.

제 2 장 이론적 배경

2.1 서 언

금속학적 용접, 접합은 접합 대상 부위를 가열시키거나 외력을 가하여 재료 상호간에 용해 및 응고, 확산, 소성변형 등의 금속학적 현상을 동반하는 접합 형태이다.

이들은 다시 접합 현상에 따라 용융용접, 고상용접, 브레이징 및 솔더링 등으로 분류되며, 용융용접은 접합부를 국부적으로 가열하여 모재의 용융을 수반하는 접합방법으로서 용점이 같거나 비슷한 금속재료의 접합에 주로 이용된다. 또, 금속학적용접, 접합법은 Table. 1 과 같이 분류할 수 있다. 에너지원으로는 전기아크 또는 전기저항 등과 같은 전기적 에너지, 화학반응에 의한 화학적 에너지, 마찰 에너지 등이 사용되고 있다.

아크용접법은 아크방전에 의해 발생하는 열원(약 6000℃)으로 용접부를 가열, 용융시켜 접합시키는 방법으로 전극이 열원 및 용가재의 역할을 동시에 수행하는 소모전극식 (SMAW, GMAW, SAW, EGW)과 전극이 단순히 열원으로만 사용되는 비소모 전극식 (GTAW, PAW)으로 구분할 수 있다. 또 이들은 보호가스 및 사용 용가재의 종류에 따라서도 여러 가지 용접법으로 구분되고 있는데, Ar과 같은 불활성 가스를 사용하는 경우를 MIG(Metal Inert Gas)용접, 순수 탄산가스만을 사용하는 경우를 CO₂ 용접, CO₂와 Ar가스를 혼합하여 사용하는 경우를 MAG(Metal Active Gas)용접 이라고 한다.

Table. 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	약한 압력	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	
화학적 에너지	DFW	복사열	약한압력	가스보호	
	EXW	-	극심한 변형	보호없음	고상용접
	TW	반응물질	압력없음	플럭스	
기계적 에너지	CW	-	극심한 변형	보호없음	고상용접
	FRW	저항열	소성변형	보호없음	고상용접
	USW	저항열	약한 압력	보호없음	고상용접

(주) 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
 GMAW : gas metal arc 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
 USW : ultrasonic welding

2.2 CO₂ 아크 용접의 원리

가스 실드 소모 전극식 아크 용접법의 원리적 설명을 Fig. 1에 나타낸다. 기본적으로는 용가재로서 작용하는 소모 전극 와이어를 정속도 송급하고, 전극팁으로 전류를 흘려 와이어와 모재간에 아크를 발생시키고, 용융지의 형성과 용접 비드의 형성을 행해 가는 용접법이다.

또 양질의 용착금속을 얻기 위해서 Fig. 2의 가스 노즐 내부에 용접부를 주위의 대기에서 보호하기 위해 실드 가스를 흘려보낼 필요가 있고, 그 때문에 가스 실드 용접부의 명칭이 붙여지고 있다. 가스 실드 소모 전극식 아크 용접법의 기본 구성 요건 중에서, 소모 전극 와이어로서 제일 먼저 용접모재에 적합한 재질을 선정할 필요가 있다. 예를 들면, 철강계로서 탈산제가 첨가된 연강용, 고장력강용, 저합금강용, 스테인리스강용 등이 사용되고 있다.

두 번째로, 주로 용접모재의 판두께, 용접자세에 의해 정해지는 용접전류에 적합한 소모 전극 와이어 지름의 선정이 필요하다. 지름에 따라 와이어 송급경로의 부품을 적정화해야 한다. 세 번째로, 전극 와이어 선정이 필요하다. 전극 와이어의 타입으로서는 솔리드 타입과 플렉스 타입이 있고, 또 각각의 타입 중에서도 구조상, 특성상 종류가 있지만, CO₂에서는 플렉스 타입의 와이어가 주류이다.

다음에는, 용접법의 기본 구성 요건으로서 실드 가스를 들 수 있다. 주요한 실드 가스로서 아르곤 등의 불활성 가스를 쓰는 것을 미그(MIG: Metal Inert Gas)용접이라 하고, 탄산가스 쓰는 것을 탄산가스 아크용접법(CO₂ 용접)이라 하고, 탄산가스와 아르곤 가스를 혼합한 가스를 쓰는 것을 마그(MAG: Metal Active Gas)용접이라 한다.

따라서 본 연구는 메탈계 플렉스 코어드 와이어와 CO₂ 가스를 100% 사용한 탄산가스 아크용접법(CO₂ 용접)을 사용하였다.

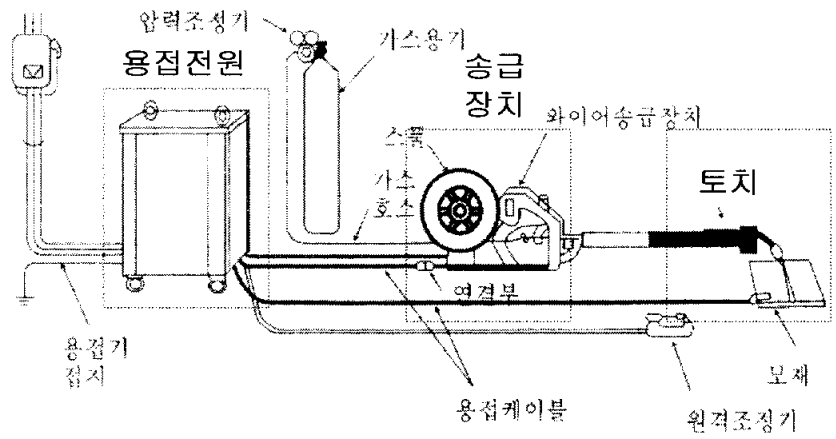


Fig. 1 Diagram of CO₂ arc welding system

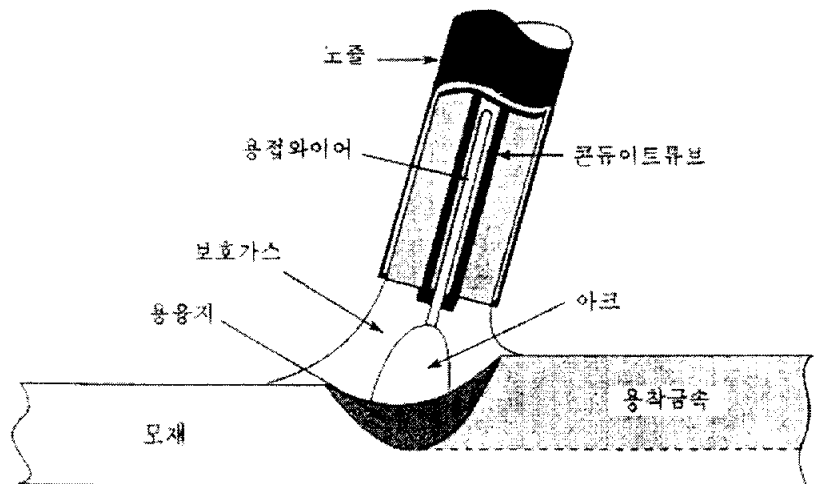


Fig. 2 Schematic of CO₂ arc welding process

2.3 필릿 용접의 기본 조건

2.3.1 토치 작업각과 진행각

필릿용접의 경우 작업각, 진행각, 조준 위치에 따라 용접 외관 품질에 많은 영향을 미치며 기본적인 작업은 Fig. 3와 같으며 각각의 변수에 따른 품질변화를 알아보았다.

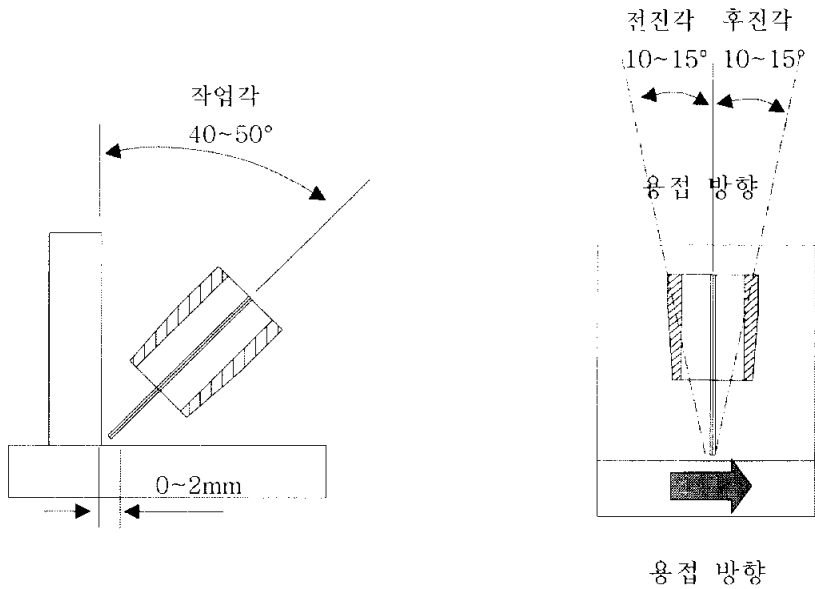


Fig. 3 Schematic of fillet welding standard condition

2.3.2 토치 작업각 변화에 따른 외관 변화

작업각이 수직판에서 $45^{\circ} \pm 5$ 의 경우 보다 작게 되면 용접 비드가 하부로 형성되어 비대칭 각장이 발생하며, 크게 되면 오버랩이 발생하는 경향을 보인다.

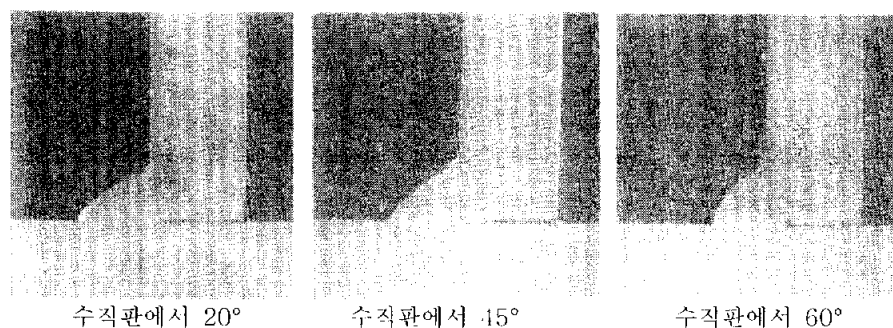


Fig. 4 Bead appearance according to variation of torch work angle

2.3.3 토치 진행각 변화에 따른 외관 변화

진행각의 경우 전진각일 때 가스 실드효과, 용접선 추적 등의 점에서 장점이 있으며, 얇은 용입과 비드 폭이 넓은 평평한 비드가 형성된다, 후진각일 때는 깊은 용입과 볼록한 비드가 된다.

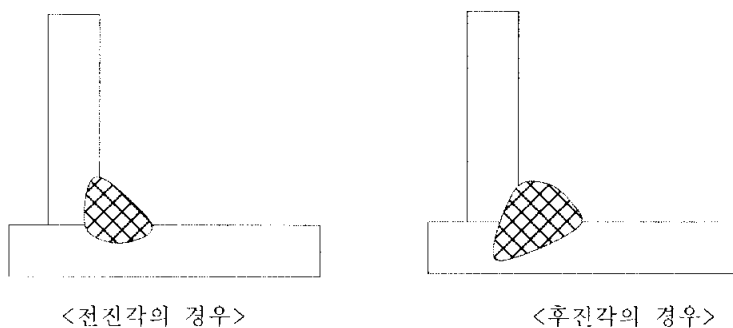
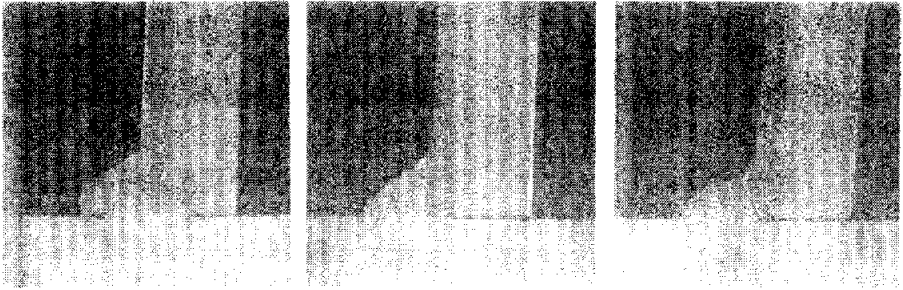


Fig. 5 Bead appearance according to variation of torch travel angle

2.3.4 토치 조준위치 변화에 따른 외관 변화

조준위치가 수직판 측으로 이동되면 오버랩이 발생하고, 수평판 측으로 2mm 이상 이동되면 비대칭 각장이 형성된다.



교점에서 1mm 수직판측 교점에서 2mm 수평판측 교점에서 3mm 수평판측

Fig. 6 Bead appearance according to variation of torch aim position

2.4 Tandem Fillet 용접 시 외관 품질에 영향을 미치는 인자

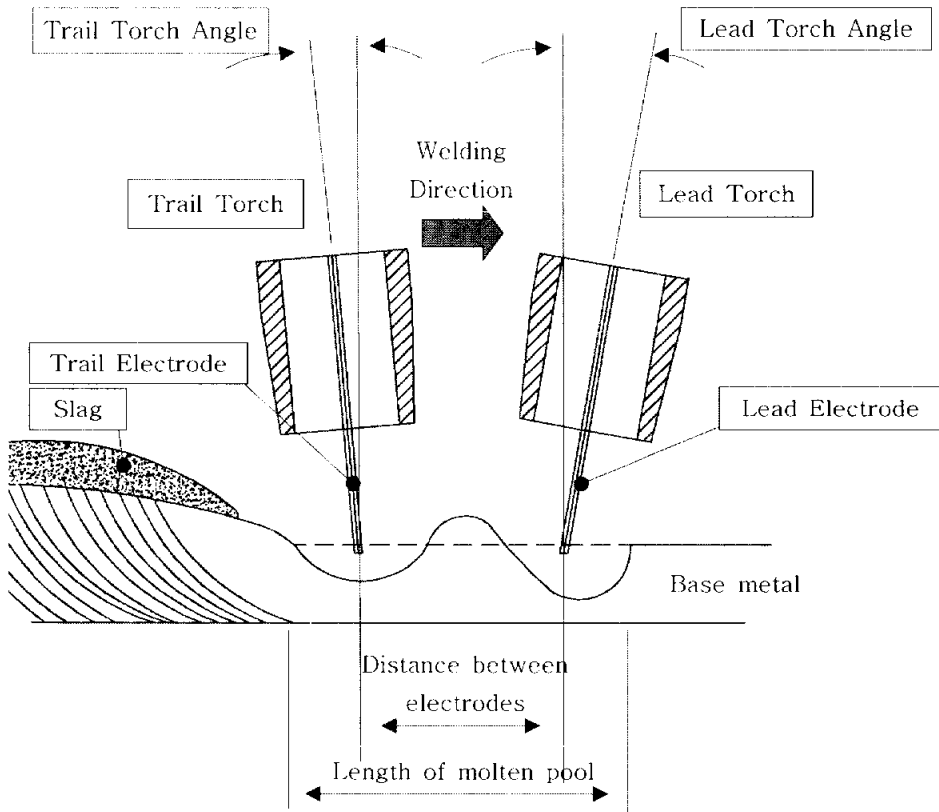


Fig. 7 Schematic of tandem fillet welding (longitudinal)

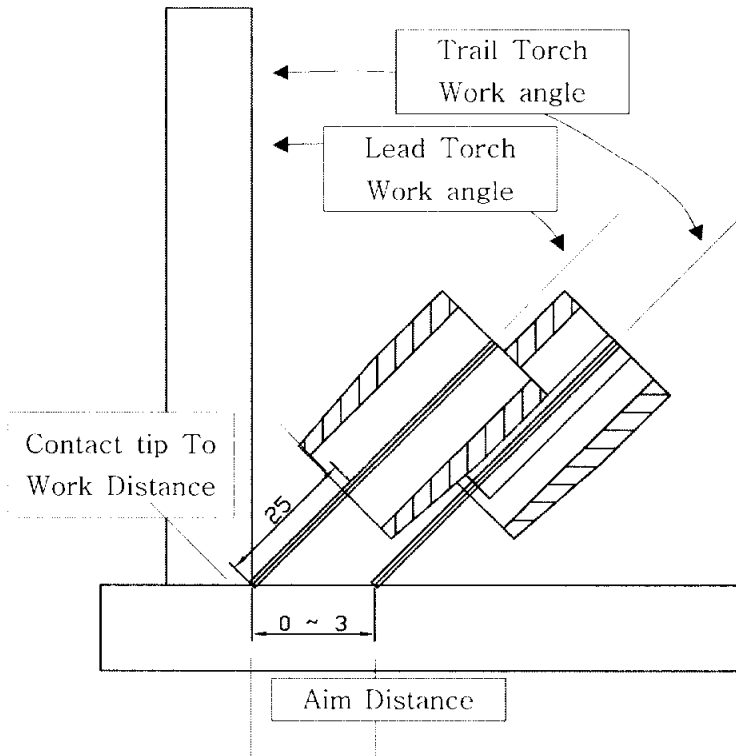


Fig. 8 Schematic of tandem fillet welding (traverse)

제 3 장 각장 설계

3.1 서 언

목표 각장 7mm를 형성하기 위하여 필요한 용착금속량을 산출하였다. 용접 전류가 변하면 와이어 송급속도가 변하게 되는데, 그 관계를 회귀분석식을 통하여 산출하였고, 1-토치 캐리지를 이용하여 용접속도 100cpm에서 용접가능 전류영역을 산출하는데 관점을 두고 고찰하였다.

3.2 각장 설계 및 용착 금속량 산출

설계 각장과 덧살의 높이를 각각 Fig. 9와 같이 설정하여 1m 용접에 필요한 용착 금속량을 산출하였다.

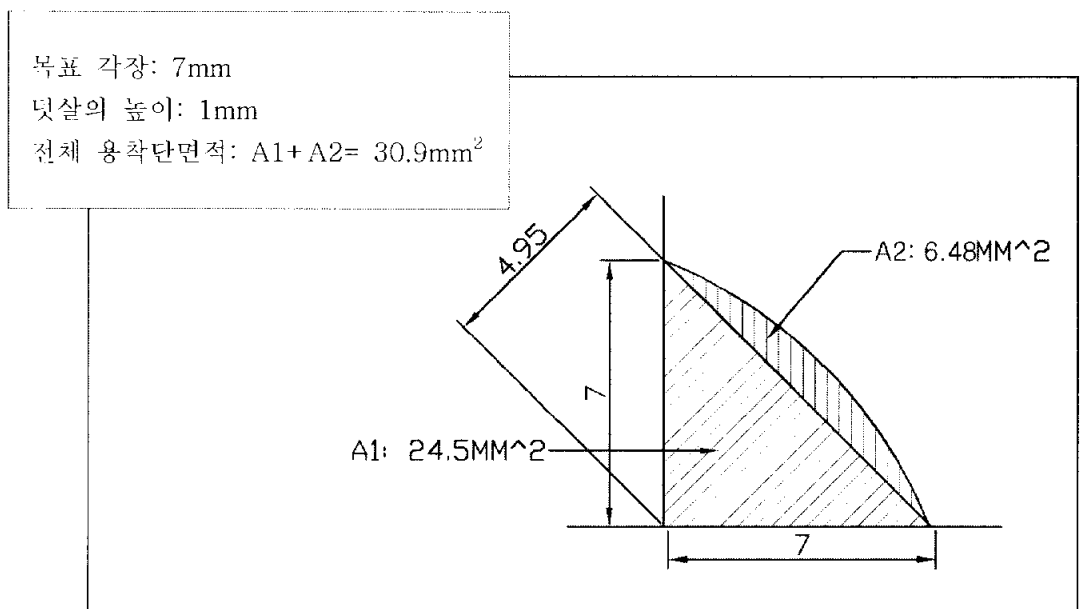


Fig. 9 Schematic of cross section for deposited metal calculation

설계 각장 7mm로 1m 필릿용접 시 용착금속량 $G(\text{g/m})$

$$G = 0.309\text{cm}^2 \times 100\text{cm} \times 7.8 \text{ g/cm}^3 = 241 \text{ g/m}$$

3.3 용접 전류 변화에 따른 와이어 송급속도 측정

전극과 모재와의 거리(CTWD)를 25~30mm를 유지하고 Fig. 10과 같이 와이어 송급부에 엔코더를 부착하였다. 와이어 송급 시 발생하는 신호를 아크 모니터링 시스템으로 분석하여 용접 전류 변화에 따른 와이어 송급 속도를 측정 하였다.

3.3.1 실험 방법

용접 전류 변화에 따라 와이어 송급속도 변화를 측정하기 위하여 와이어 피더의 송급 롤러부에 피딩 속도 측정용 엔코더를 부착하여, 모재와 전극과의 거리(CTWD)를 25~30mm 유지하고, 용접 가능 최소 전류에서 최대 전류 까지 단계적으로 전류를 증가시키면서 용접을 진행하였다.

이때 엔코더에서 출력되는 신호와 용접전류 신호, 전압신호를 동시에 아크 모니터링 시스템에서 신호 처리하여 데이터를 습득하였다.

< 실험 조건 >

- 전류영역: 약 150A ~ 400A
- 사용 와이어: $\varnothing 1.4$ Flux cored wire(KX-200H)
- CTWD: 25~30mm
- 보호가스: 100% CO₂, 20~25ℓ/min
- Power Source: SCR 500A급

Table. 2 Chemical compositions of consumable electrode

□□ Wire Spec 및 용착금속 화학성분(%)

Spec 및 KX-200H	용착금속 화학성분(%)				
	C	Si	Mn	P	S
AWS A5.20 E70T-1	≤ 0.18	≤ 0.90	≤ 1.75	≤ 0.03	≤ 0.03
JIS YFW-C50DM	≤ 0.20	≤ 0.90	≤ 2.00	≤ 0.03	≤ 0.04
KX-200H	0.036	0.56	1.63	0.012	0.014

<분석장비: Emission Spectrometer> 고려용접봉 제품 품질평가기준서 참고

3.3.2 실험 장비 및 구성

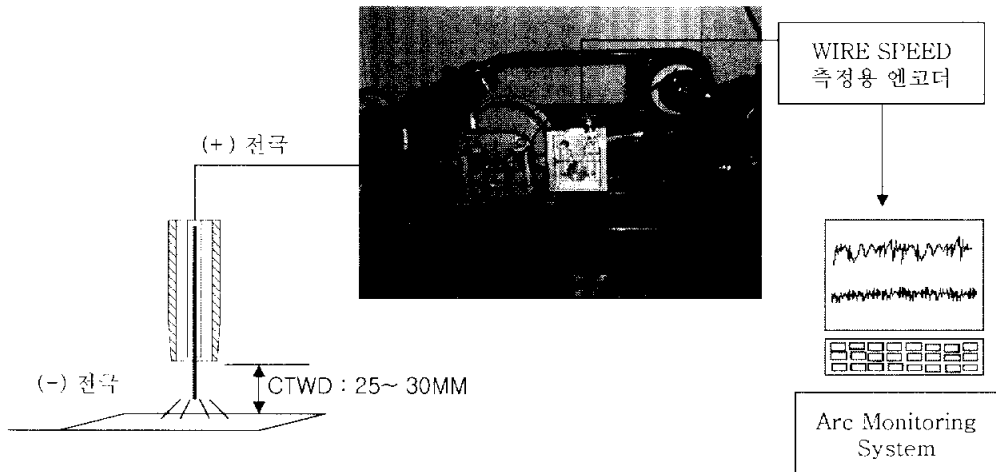


Fig. 10 Experimental set up of wire feeding speed measuring

3.3.3 실험 결과 및 고찰

Fig. 11 실험 결과에서 보듯이 용접전류가 상승함에 따라 와이어 송급속도가 증가함을 알 수 있으며 용접전류와 와이어 송급속도의 관계를 3.3.4에서 표현하였다.

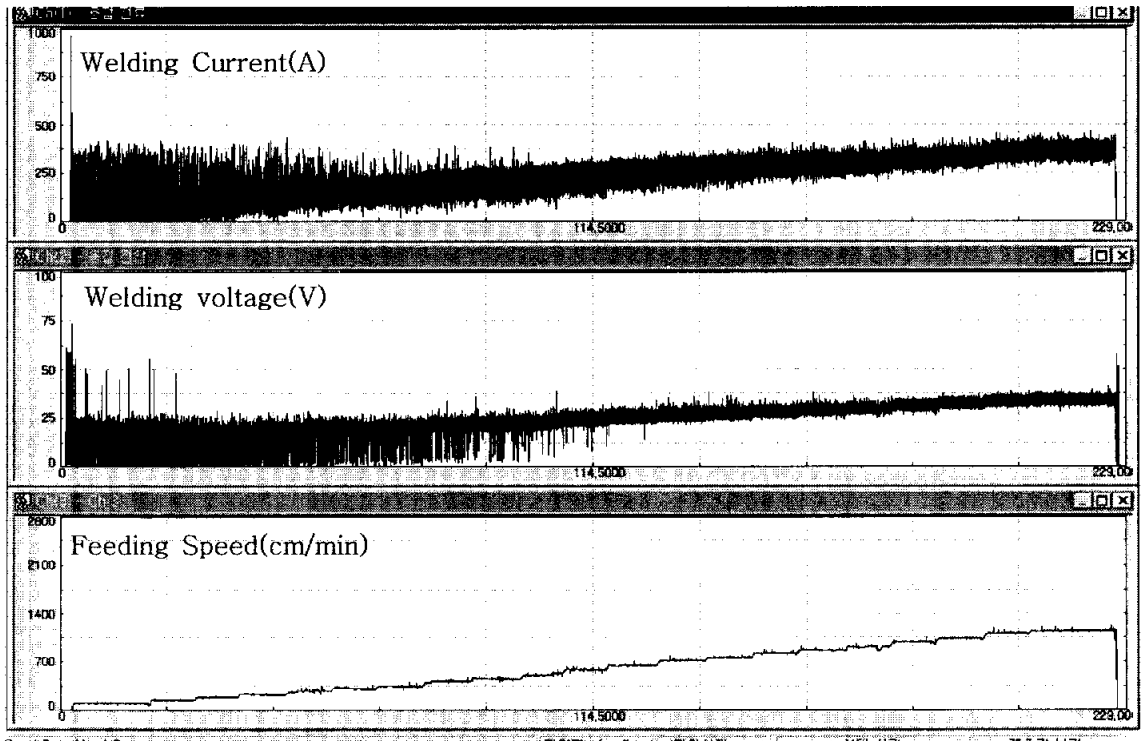
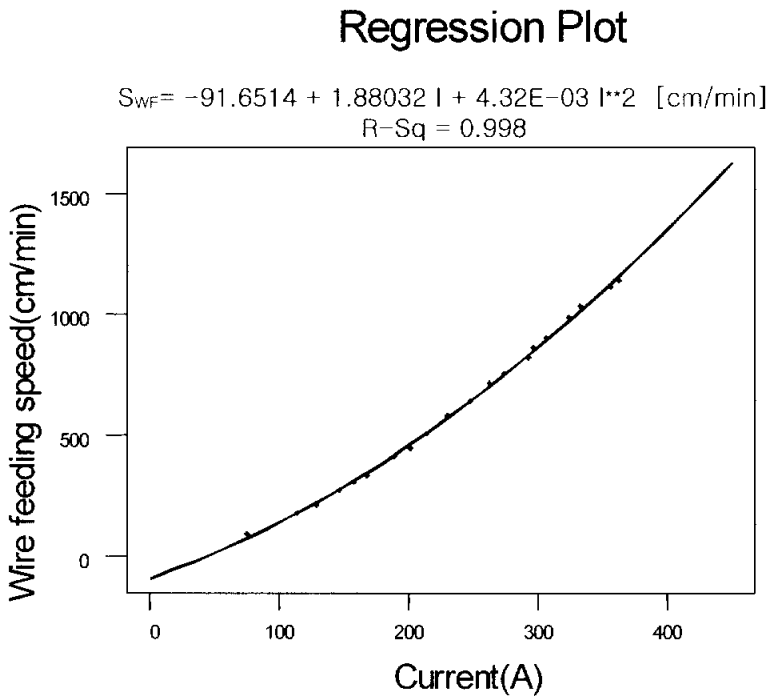


Fig. 11 Wire feeding speed according to variable output current

3.3.4 실험 결과에 따른 와이어 송급속도 회귀분석

Graph. 1에서 보는 것과 같이 플럭스 코어드 와이어 전류 증가에 의한 용착속도는 2차식으로 나타나는 것을 알 수 있다.

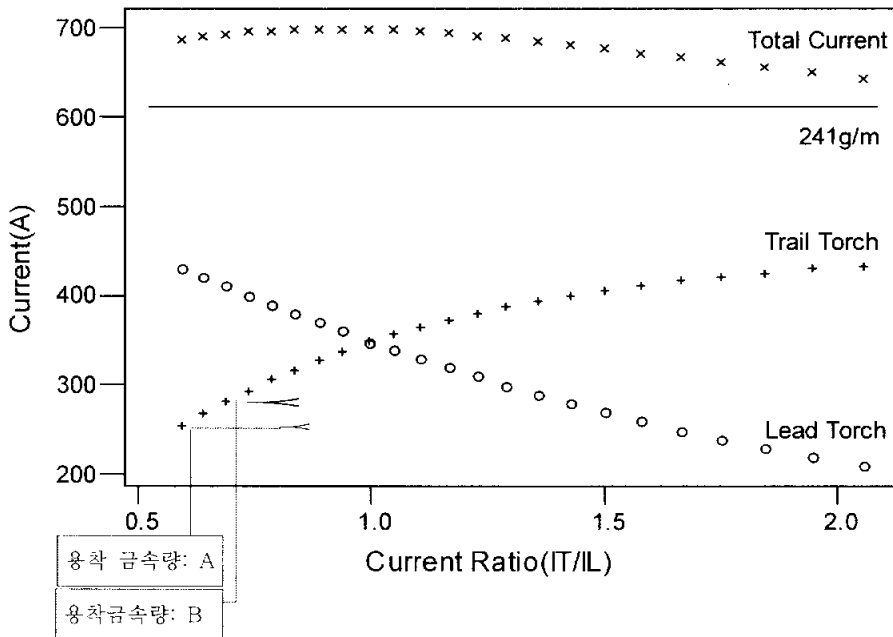


Graph. 1 Wire Feeding Speed by Output current

3.3.5 탠덤 용접시 이론 용착금속량 산출

3.3.4에서 용착금속량 회귀식을 통하여 Graph. 2와 같이 탠덤 용접 시 일정 용착 금속량 그래프를 작성하였다.

선행 토치의 전류변화에 따른 용착 금속량을 먼저 산출하여 표시하였고, 각장 7mm 형성에 필요한 부족분의 용착금속량을 후행 토치에서 공급하여 전체 용착금속량을 241g/m로 설정하면 Graph. 2와 같은 탠덤 용접 시 와이어 송급량 그래프를 산출 할 수 있으며, X축은 선행전류와 후행전류의 비(IT/IL)를 표기하였다.



○ : Lead torch current

+ : Trail torch current

x : Total current

- : Total malting weight(g/m)[용착금속량A+용착금속량B]

Graph. 2 Regular malting weight at Tandem Welding

3.4 결 언

1-토치 조건으로 메탈게 플릭스 코어드 와이어 $\varnothing 1.4$ 를 사용하여 전류 변화에 따른 와이어 송급속도(cm/min)를 회귀분석을 통하여 산출하였고, 이 식을 기본으로 2-토치 탄뎀의 일정 용착금속량 그래프를 산출하였다.

따라서, 탄뎀 용접 시 선행전류 변화에 따른 후행전류 변화 구간이 종속적으로 존재하게 되는 것을 알 수 있다.

이 산출에 따라 용착금속량을 제어하기 위하여 선후행 전류 영역대를 표시하였고, 후행전류와 교차하는 구간을 앞으로 사용하게 될 선후행 전류 비(IT/II)로 표현하였다.

제 4장 이론 선행행 전류비 적용의 평가 및 고찰

4.1 서 언

제3장에서 산출된 탠덤 이론 용착금속량 그래프에 따라 선행 토치의 용접속도 100cpm에서 플렉스 코어드 와이어의 아크 안정성 및 비드외관을 고려한 적정 용접 전류 영역을 1-토치로 설정하고, 후행 토치의 일정 용착금속량을 송급하기 위한 이론영역을 산출하는 것에 중점을 두고 본 실험을 실시하였다.

4.2 용접속도 100CPM에서 1-토치 용접가능 영역 산출

4.2.1 실험 방법 및 장비 구성

<실험 조건>

- Work angle: $45^{\circ} \pm 3$
- Travel angle: 모재와 90°
- Shield gas: CO2 100% 20~25ℓ/min
- Travel speed: 100 cpm
- CTWD : 25~30 mm
- Consumable Wire: $\phi 1.4$ Flux Cored Wire
- Power Source : SCR 500A

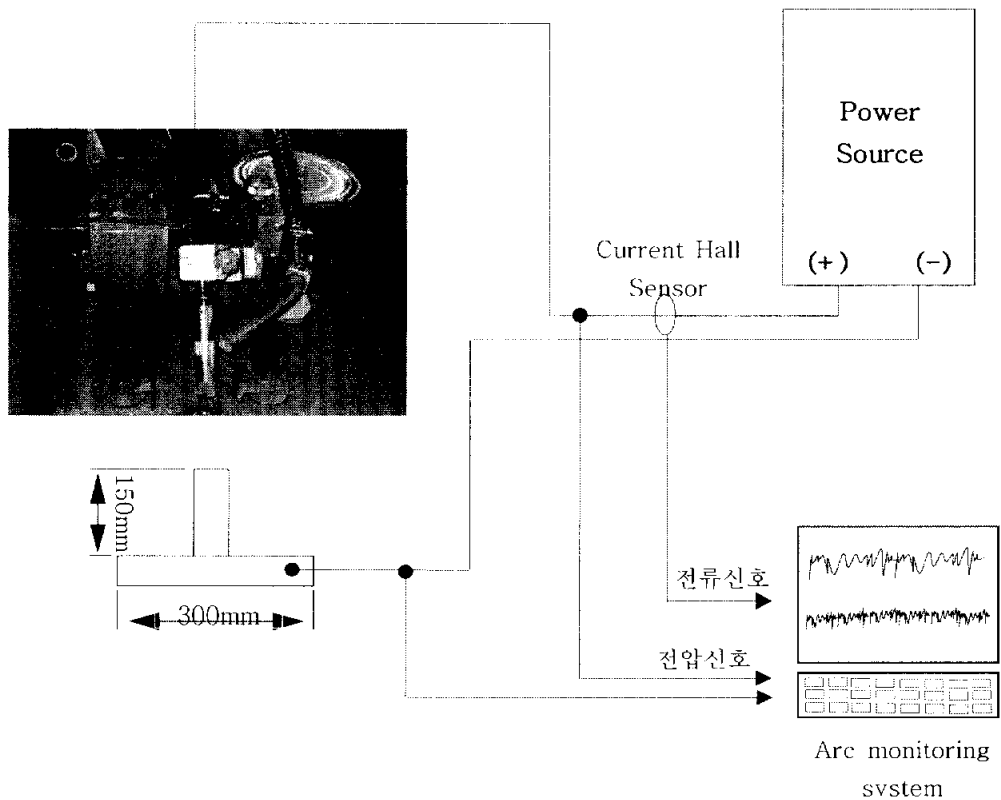


Fig. 12 Experimental set up of single torch fillet welding

4.2.2 실험 결과 및 고찰

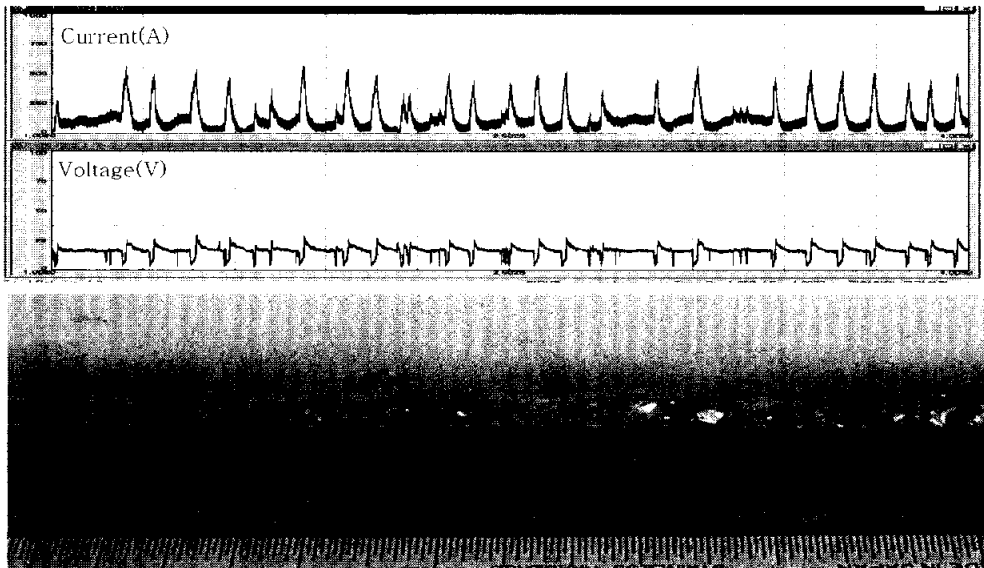


Fig. 13 Waveforms and bead shape at welding current 129A
Bead unformed, Short circuit transfer

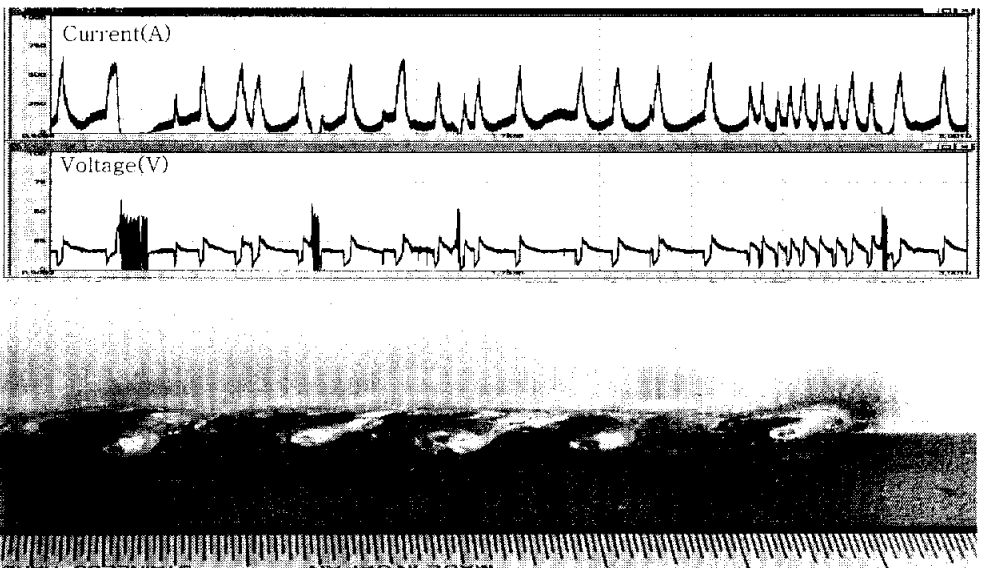


Fig. 14 Waveforms and bead shape at welding current 155A
Bead unformed, Short circuit transfer

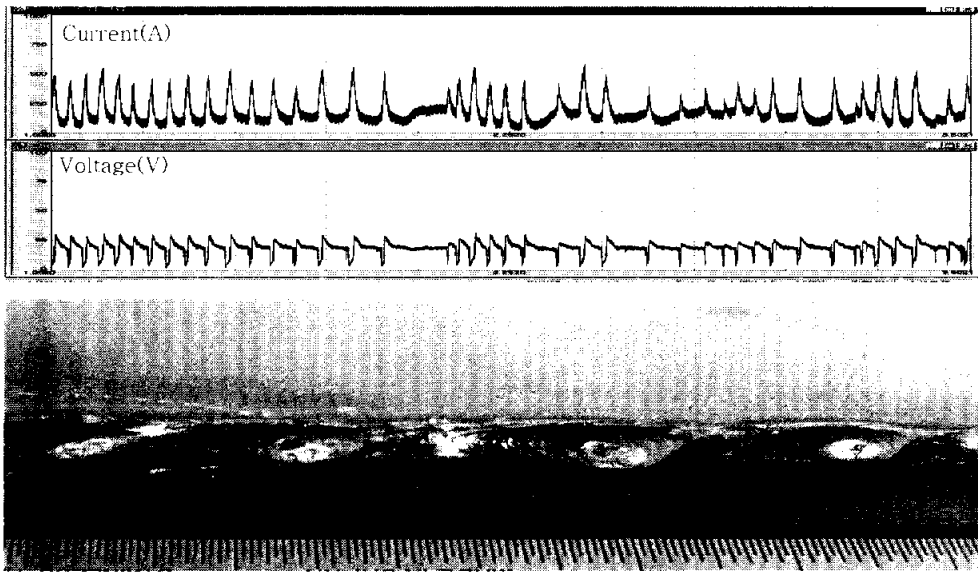


Fig. 15 Waveforms and bead shape at welding current 187A
Bead unformed, Short circuit transfer

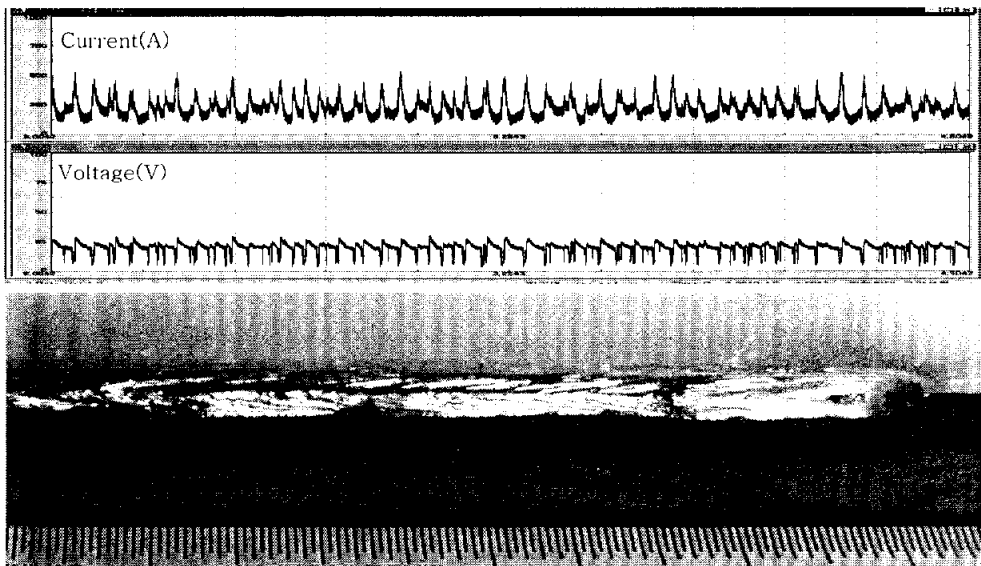


Fig. 16 Waveforms and bead shape at welding current 227A
Bead formative, Short circuit transfer

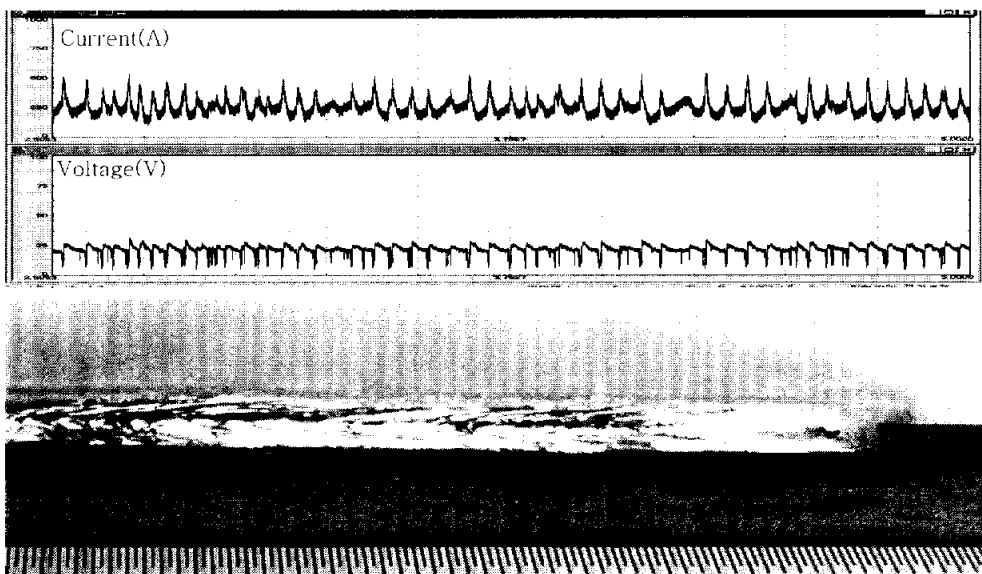


Fig. 17 Waveforms and bead shape at welding current 263A
Bead formative, Short circuit transfer

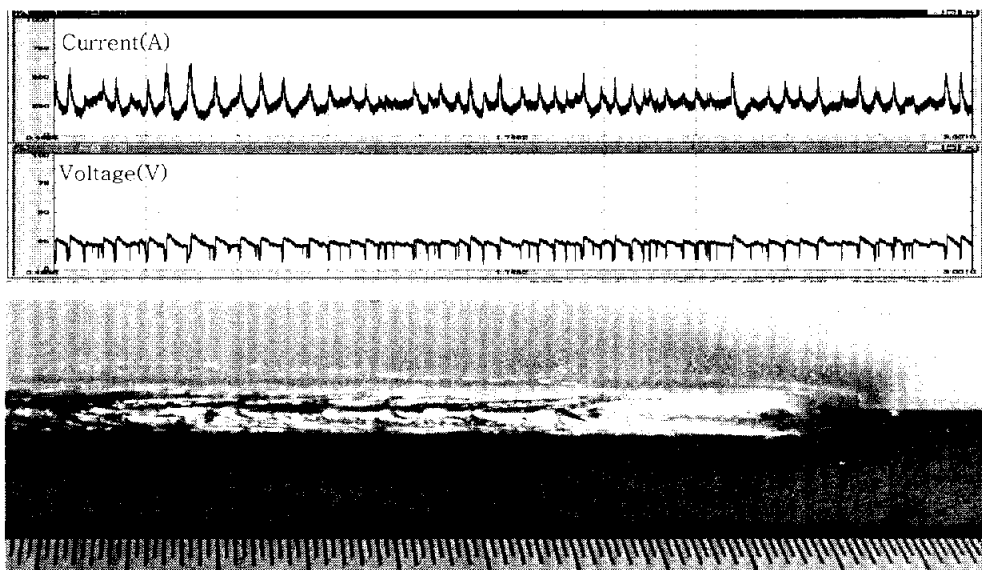


Fig. 18 Waveforms and bead shape at welding current 283A
Bead formative/ Short circuit transfer

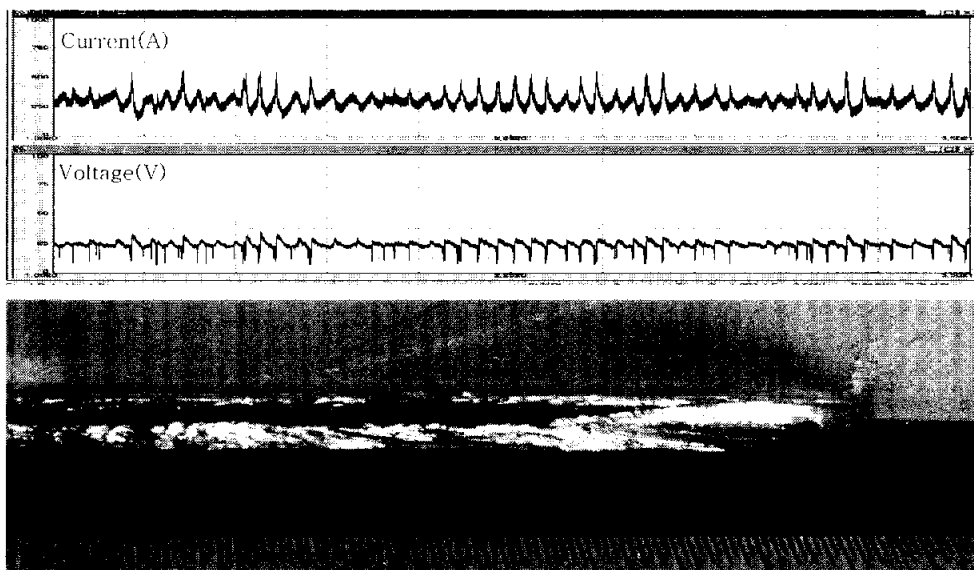


Fig. 19 Waveforms and bead shape at welding current 299A
Bead formative, Short circuit transfer

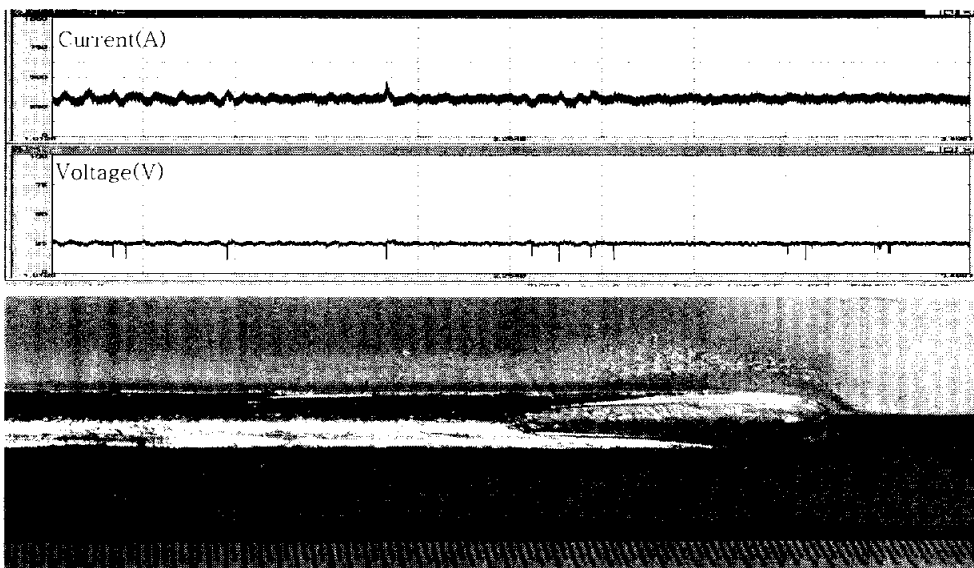


Fig. 20 Waveforms and bead shape at welding current 328A
Bead formative, Free flight transfer

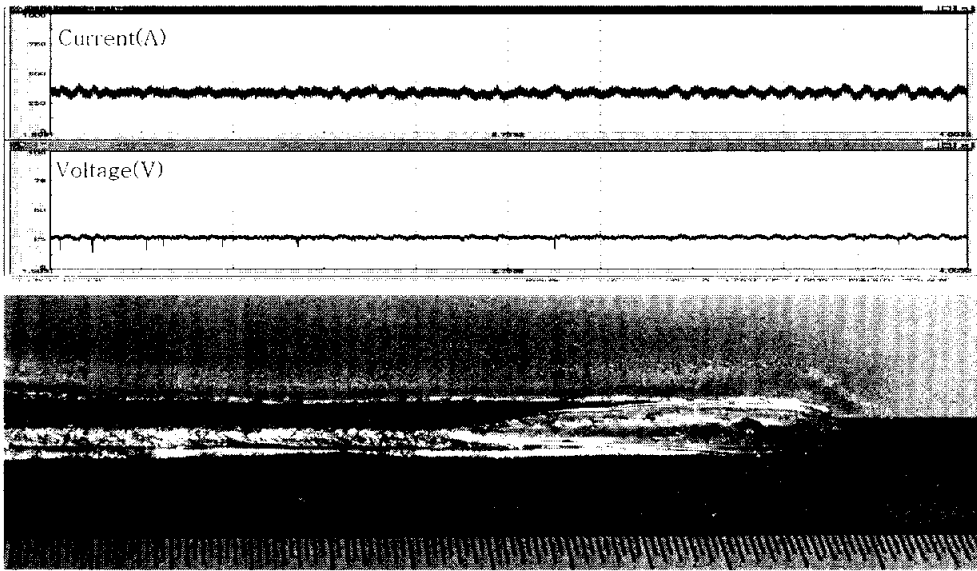


Fig. 21 Waveforms and bead shape at welding current 342A
Bead formative, Free flight transfer

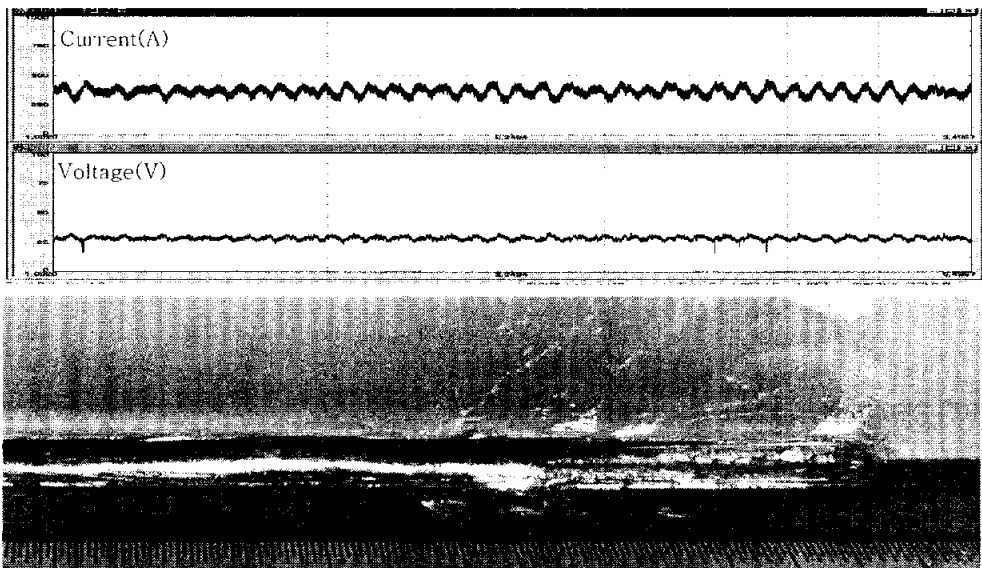


Fig. 22 Waveforms and bead shape at welding current 368A
Bead formative, Free flight transfer
arc unstable(feeding unstable)

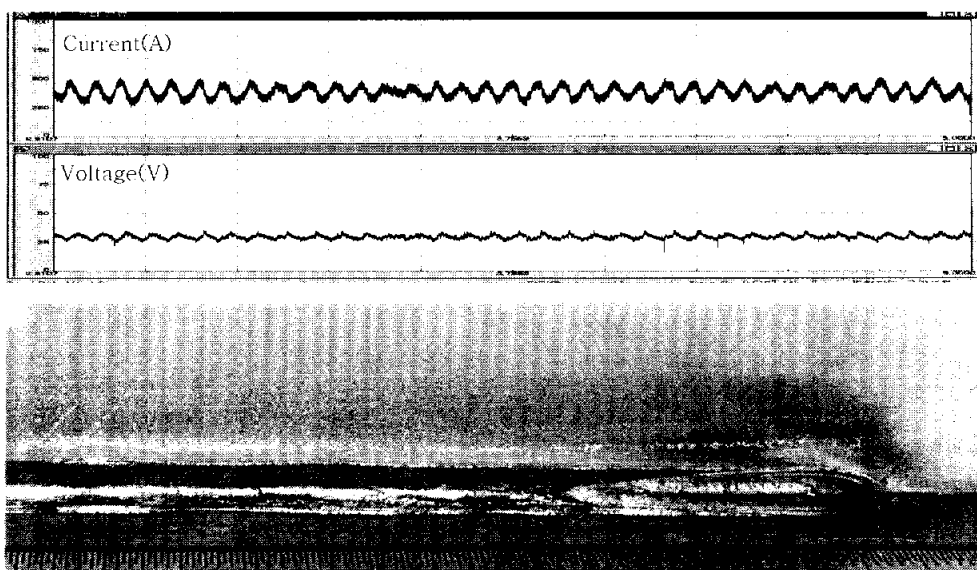


Fig. 23 Waveforms and bead shape at welding current 390A
Bead formative, Free flight transfer
arc unstable(feeding unstable)

4.2.3 결 언

용접속도 100CPM에서 용접전류를 증가시키며 실험을 진행하였다.

그 결과 227A 이하에서는 용융풀이 형성되지 않아 비드형성이 불가능하였고, 227A 이상에서 용접비드는 형성되었으나, 아크의 불안정으로 용접비드의 변화가 크게 발생하였으며 파형분석을 통하여 단락 이행하는 것을 알 수 있었다.

용접 전류 328A 이상 영역이 되면 아크 안정성과 비드외관 모두 만족할 수 있는 수준으로 판단되며, 용접 파형 분석을 통하여 자유이행(Free flight transfer)하는 것으로 판단된다. 또한 368A 이상이 되면 볼록 비드형성을 볼 수 있으며, 아크 불안정 현상을 용접파형 분석을 통하여 알 수 있었다. 이는 와이어 송급속도 증가로 인하여 경로 마찰이 증가해서 발생하는 와이어 송급 불안정이라고 판단된다.

Table. 3 Result of 1-torch welding test (100CPM)

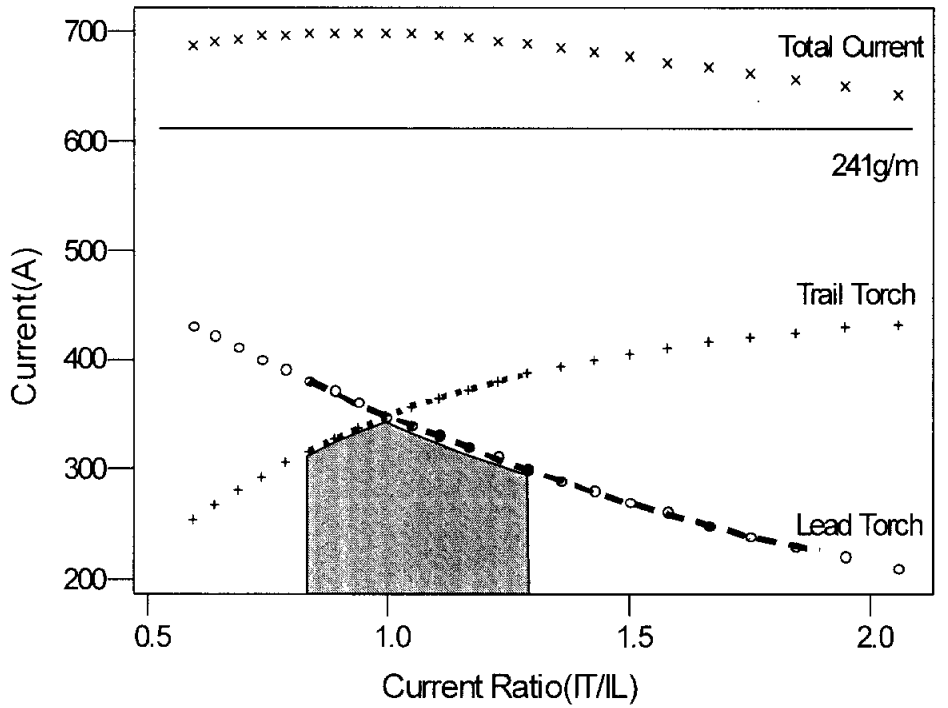
TEST NO.	용접 전류 (A)	ARC 안정성	비드 외관	비고
1	129	×	×	
2	155	×	×	
3	187	×	×	
4	227	×	△	비드형성
5	263	×	△	비드형성
6	283	△	△	비드형성
7	299	△	△	비드형성
10	368	○	△	볼록비드형성
11	390	△	△	볼록비드형성

4.3 탠덤 선후행 토치의 적정 전류비 산출 및 고찰

4.3.1 서언

제3장에서 탠덤 용접시 일정 용착 금속량 그래프를 산출하였고, 용접속도 100CPM에서 1-토치로 실험한 결과 227A ~ 390A 까지 용접비드가 형성되는 것을 알 수 있었다.

따라서, 본 장에서는 Graph. 3과 같이 선행토치의 경우 비드형성 가능영역을 표기하고, 후행토치의 경우 각장 7mm를 형성하는데 필요한 일정 용착 금속량을 공급하기 위한 전류영역을 표기하였다. 이 영역을 선행전류와 후행전류의 비(IT/IL)로 표기하면, 일정 용착 금속량을 유지할 수 있는 영역이 결정 된다. 이 영역을 탠덤 용접 이론 영역이라 판단할 수 있었으며, 이 영역에 대한 최적 선후행 전류비를 산출하는데 중점을 두고 실험 하였다.



- : Lead torch current
- ⊕ : Trail torch current
- × : Total current
- : Total melting weight(g/m)[용착금속량A+용착금속량B]
- · — : Lead torch 용접가능 전류 영역
- : Trail torch 용접가능 전류 영역
- ⊠ : 탄뎀 용접 이론 영역 (theoretic area of tandem welding)

Graph. 3 theoretic area of tandem welding

4.3.2 실험 방법

<실험조건>

- Work angle: $45^{\circ} \pm 3$
- Travel angle: 모재와 90°
- Shield gas: 20~25ℓ/min
- Travel speed: 100 cpm
- Consumable wire: $\varnothing 1.4$ Flux cored wire
- CTWD : 25~30 mm
- Distance between electrodes: 35~40mm

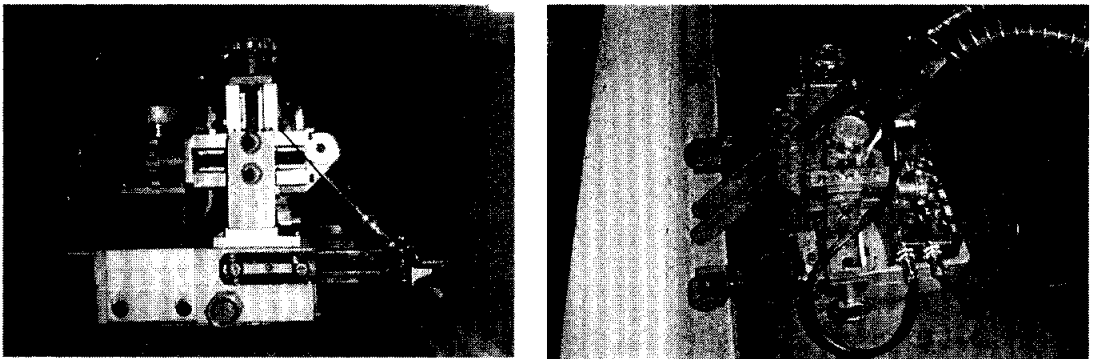


Fig. 24 Equipment of experimental

Fig.25에서 보듯이 선후행 토치 각각 Power source를 사용하였고, 선후행 전류 및 전압을 동시에 아크 모니터링 시스템을 이용하여 파형을 습득할 수 있도록 구성하였다.

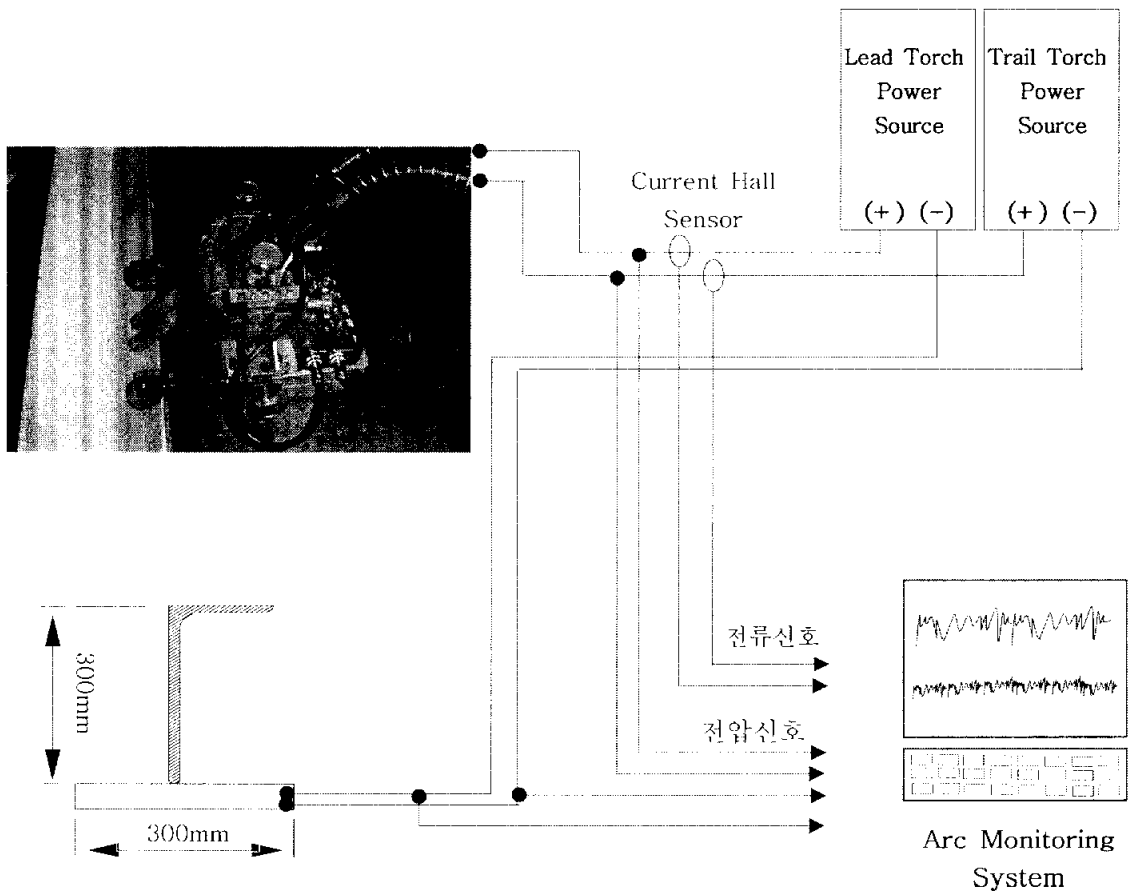
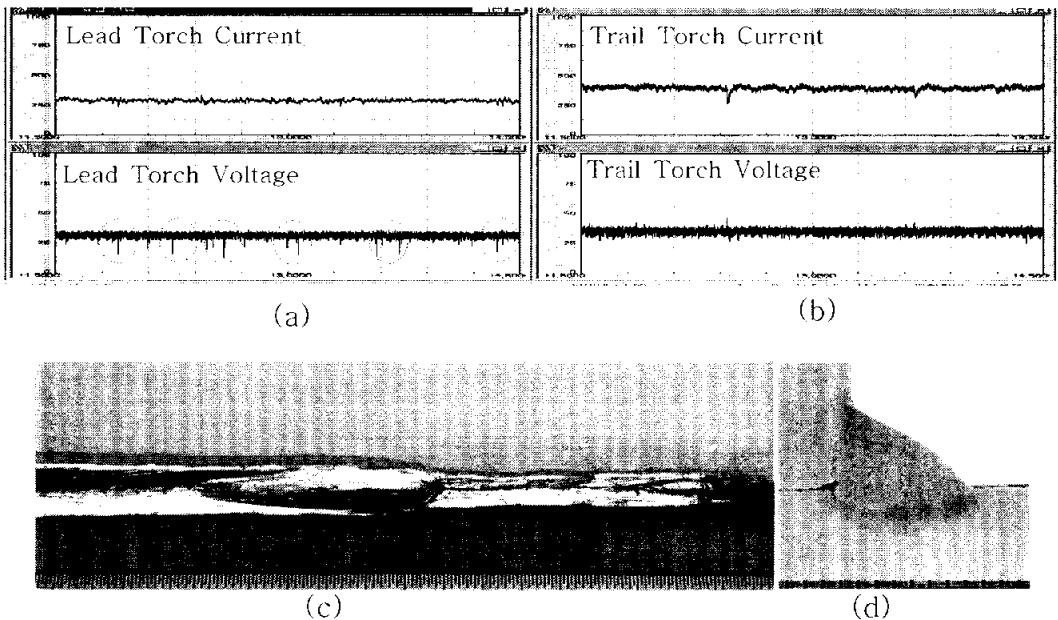


Fig. 25 Experimental set up of tandem fillet welding

4.3.3 실험 결과 및 고찰

1) 선행행 전류비 CR: 1.29

CR값이 1보다 크게 되면 후행전류가 선행전류 보다 크다는 것을 알 수 있다. 따라서 CR값 1.29의 경우 Fig. 26 (a)에서 선행토치의 아크 불안정 상태를 볼 수 있으며 선행 전류가 더 낮아지거나, 모재의 취부상태 (Gap발생, CTWD 변화, 조준점 변화)의 변화로 아크가 불안정해 진다면 선행 비드형성 불량에 의하여 후행 비드의 외관 역시 불안정한 결과가 될 것이라 판단된다.



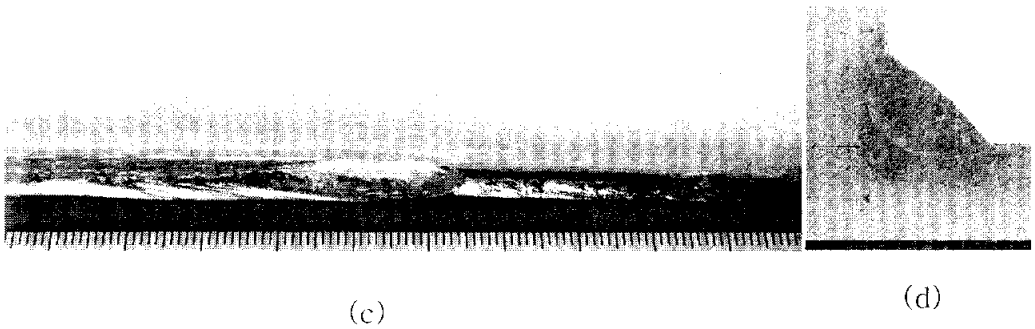
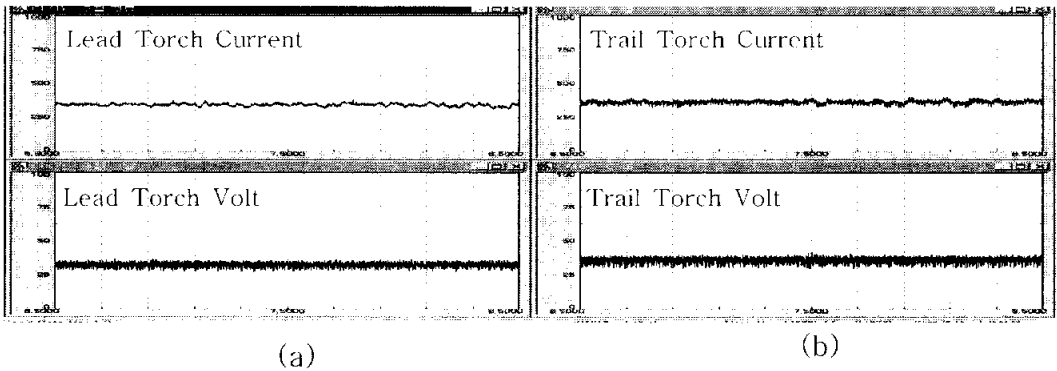
- a) 선행토치 전류/ 전압의 아크 모니터링 파형
- b) 후행토치 전류/ 전압의 아크 모니터링 파형
- c) CR값 1.29에서의 비드 형상
- d) CR값 1.29에서의 마크로 단면 사진

(선행 비드의 낮은 용입과 함께 설계 각장에 만족하는 결과를 얻었다.)

Fig. 26 Lead & Trail current ratio (IT/IL): 1.29

2) 선행 후행 전류비 CR: 1.16

Fig. 27 (a), (b)에서 선행 토치와 후행 토치의 아크가 안정적인 것을 볼 수 있다.

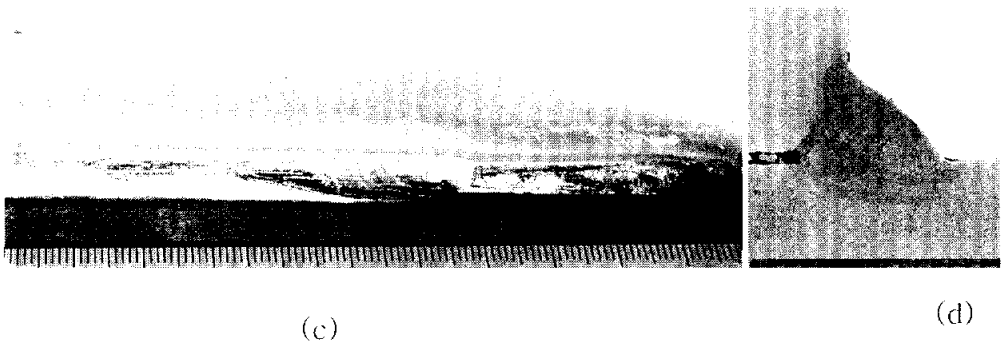
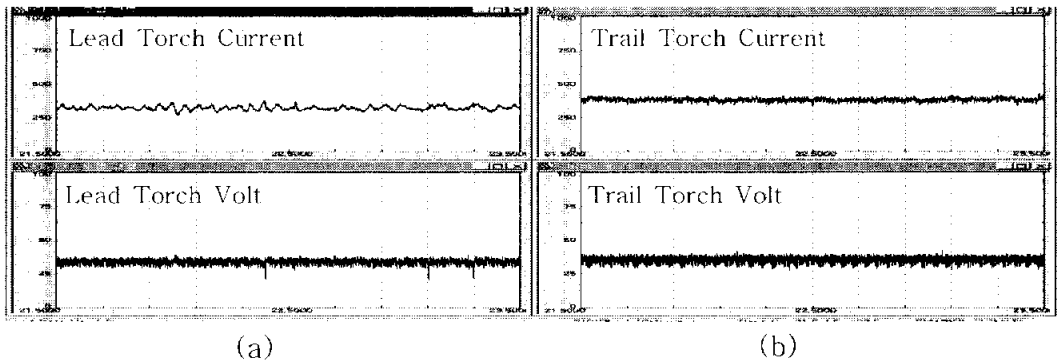


- a) 선행토치 전류/ 전압의 아크 모니터링 파형
- b) 후행토치 전류/ 전압의 아크 모니터링 파형
- c) CR값 1.16에서의 비드 형상
- d) CR값 1.16에서의 마크로 단면 사진
(선행 비드의 비교적 낮은 용입과 함께 설계 각장에 만족하는 결과를 얻었다.)

Fig. 27 Lead & Trail current ratio (IT/IL): 1.16

3) 선행행 전류비 CR: 1.05

Fig. 28 (a), (b)에서 선행토치와 후행토치의 아크 안정성은 CR값 1.16에서와 비슷한 결과를 보이지만 선행 전류의 증가로 인하여 용입이 깊어진 것을 볼 수 있다.



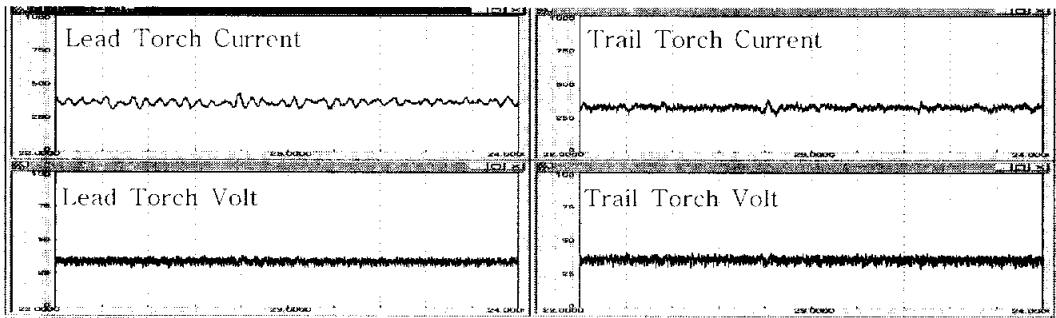
- a) 선행토치 전류/ 전압의 아크 모니터링 파형
- b) 후행토치 전류/ 전압의 아크 모니터링 파형
- c) CR값 1.05에서의 비드 형상
- d) CR값 1.05에서의 마크로 단면 사진

(CR값 1.16에 비하여 깊은 용입과 함께 설계 각장에 만족하는 결과를 얻었다.)

Fig. 28 Lead & Trail current ratio (IT/IL): 1.05

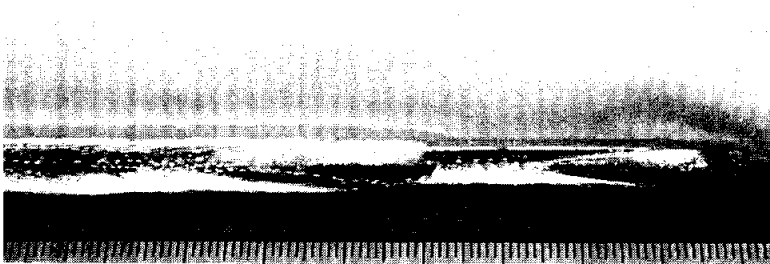
4) 선행행 전류비 CR: 0.94

CR값이 1보다 작게 되면 선행전류가 후행 전류 보다 크게 되며, 모재의 취부 상태(Gap 발생, CTWD 변화 등)의 변화에 대한 선행비드 형성에 유리한 장점이 있을 것으로 판단되며, Fig. 29 (a), (b)에서 선행토치와 후행토치의 아크 안정성을 확인 할 수 있다.

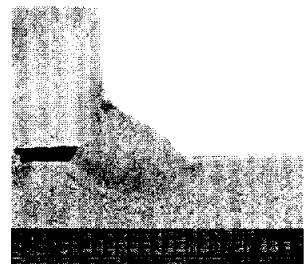


(a)

(b)



(c)



(d)

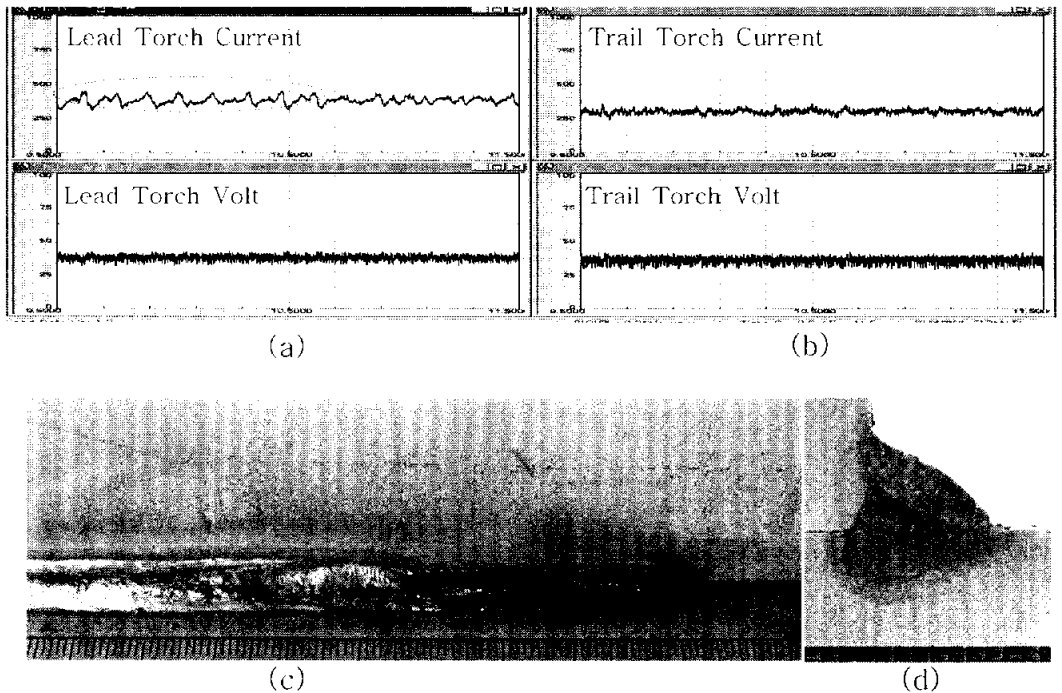
- a) 선행토치 전류/ 전압의 아크 모니터링 파형
- b) 후행토치 전류/ 전압의 아크 모니터링 파형
- c) CR값 0.94에서의 비드 형상
- d) CR값 0.94에서의 마크로 단면 사진

(CR값 1 이하에 비하여 깊은 용입이 발생되며, 설계 각장에 만족하는 결과를 얻었다.)

Fig. 29 Lead & Trail current ratio (IT/IL): 0.94

4) 선행행 전류비 CR: 0.84

선행 전류가 CR값 0.94에 비하여 커지며, 후행 비드 폭 보다 넓은 선행 비드를 형성하여 비교적 고르지 않은 비드의관이 발생되었고, CR값 1.16 이하에서 발생하는 선행아크 불안정 현상과는 달리 와이어의 고속 송급 불량으로 인한 아크 불안정이 증가하는 것을 확인 할 수 있었다.



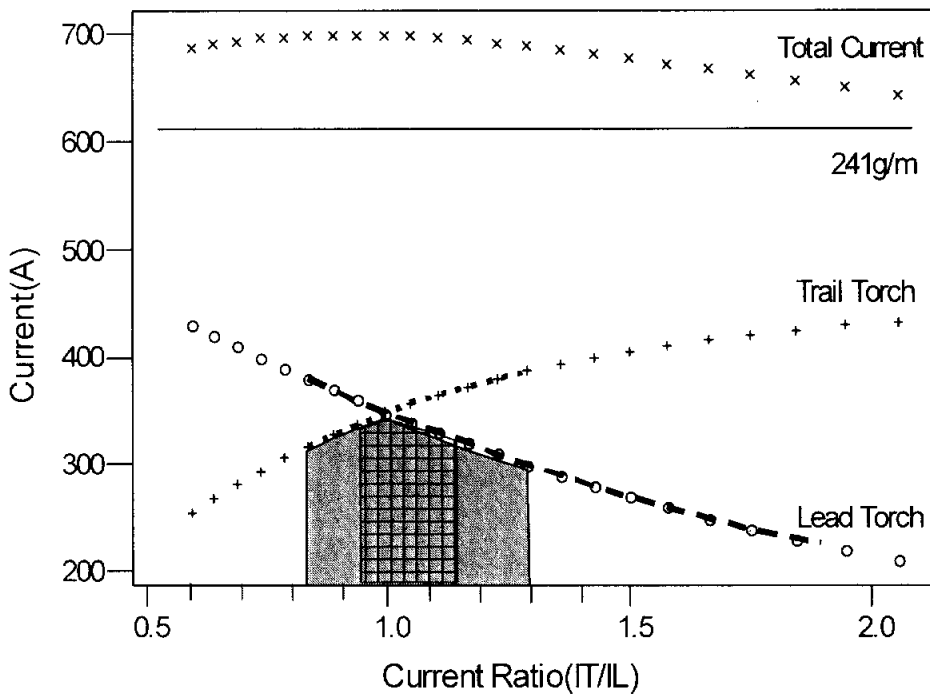
- a) 선행토치 전류/ 전압의 아크 모니터링 파형
- b) 후행토치 전류/ 전압의 아크 모니터링 파형
- c) CR값 0.84에서의 비드 형상
(선행 비드 폭과 후행비드 폭이 비슷하게 보여 진다.)
- d) CR값 0.84에서의 마크로 단면 사진
(CR값 0.94 이하에 비하여 깊은 용입이 발생되며,
설계 각장에 만족하는 결과를 얻었다.)

Fig. 30 Lead & Trail current ratio (IT/IL): 0.84

4.3.4 이론 선후행 전류비에서 최적 선후행 전류비의 결정

이론 선후행 전류비 CR값의 영역은 0.84~ 1.29였으며, 실제 실험 결과 0.94 ~ 1.16까지의 결과가 동일한 외관을 가지며 정상적인 결과가 나타났다고 판단된다.

Graph. 4는 이론 선후행 전류비 영역에서 최적 선후행 전류비를 표시한 것이다.



- : LEAD TORCH CURRENT
- ⊕ : TRAIL TORCH CURRENT
- × : TOTAL CURRENT
- : Total Melting Weight(g/m)[용착금속량A+용착금속량B]
- · — : Lead Torch 용접가능 전류 영역
- : Trail Torch 용접가능 전류 영역
- ⊠ : 탄뎀 이론용접 영역
- ⊠ : 탄뎀 적정 선후행 전류비 영역

Graph. 4 Optimum area for theoretic area of tandem welding

4.4 결 언

이론 선후행 전류비 CR값의 영역을 0.84 ~ 1.29까지 산출하여, 실험한 결과 0.94 ~ 1.16까지 동일한 용착금속량 산출을 통하여 설계 각장 7mm를 형성하면서 양호한 용접외관을 얻을 수 있었으며, 선후행 전류비의 변화에 따라 필릿 용접부의 용입 형상이 변화하는 것을 볼 수 있었다. 이러한 실험 결과를 통하여 동일한 외관을 형성하면서 언더컷, 오버랩 등의 외관 불량을 최소화하였고, 필릿 용접부 용입량을 조절함으로써 선박 건조용 부재에 일반적으로 도장되는 징크 프라이머(Zinc primer)로 인한 블로우홀(Blowhole), 핏트(Pit), 기공(Porosity) 발생을 최소화 할 수 있을 것이라 판단된다.

제 5장 결 론

전류 변화에 따른 용작금속량을 산출하여 선행토치에 의한 적정 용접 품질 영역을 먼저 확립한 후 후행 토치를 함께 적용한 탠덤용접 품질 적정 범위를 확립하는 기법을 개발하였다.

용접속도 100cpm으로 탠덤 용접하여 각장 7mm를 얻으려 할 때 Total 전류는 약 700A로 되었으며 선행행 토치 전류비 CR=0.94 ~ 1.16 이었다.

OKUI 등은 $\varnothing 1.6$ 메탈 코어드 와이어를 써서 탠덤 용접하여 선행행 토치 전류비 0.7~0.9로 하였기 때문에 Zinc Primer에 의한 Blowhole 방지가 곤란하지만, 본 연구는 그 비가 1.16까지 가능하도록 하여 선행토치의 입열량을 감소시켜서 Blowhole 방지가 효과적이며, 비드 외관상 불량방지도 가능하였다.

선행행 전류비가 1 이상이 되면 선행전류의 아크 불안정, 언더컷, 오버랩 등의 불량이 발생하는 경향이 있었으며, 1 이하가 되면 부재 취부 상태 변화에 따른 토치 조준위치 변화와 CTWD 변화에 적응하기는 좋으나 선행 전류에 의한 용입량 증가(입열량 증가)로 블로우홀, 핏트, 기공 등의 결함이 증가 할 것으로 판단된다.

선행행 전류비를 1 이상 사용하기 위해서는 선행 토치의 조준위치 변화로 인한 아크 불안정을 필릿 용접부 Seam tracking 기능을 사용하여 최소화 한다면, 블로우홀, 핏트, 기공 등의 결함을 감소시킬 수 있을 것이라 판단된다.

제 6장 참고 문헌

1. Okui, Ohga, Saitoh, Suzuki, Maki, Honma : Study on High Speed Fillet Welding by Tandem Arc MAG Process, 溶接學會論文集 第18卷 第4號(in Japan) p555-562 (2000)
2. 鎌田, 鈴木, 奥井, 高速水平すみ肉溶接法(HS-MAG法), ガイドフリー『アータ溶接の自動化技術』本會, 溶接法研究委員會 編, June, 1995 II 92 II
3. T.suga, S.Nagaoka, T.Nakano, K.suenaga : An investigation into Resistance to Porosity Generation in High-Speed Horizontal CO₂ Fillet Welding, International institute of welding IIW Doc. XII-1456-96, Kobe steel, ltd. Welding Division
4. Welding Coalescence engineering of dictionary, 日本溶接學會 編
5. Hand book on the strength of welding joint(용접강도 핸드북) 3-89 ~ 3-107
6. 조상명: 교류 피복 아크 용접에 있어서 아크 안정성의 정량적 평가에 관한 연구, 대한용접학회지 제 16호 제 4권(1988), p125-131.
7. 최우현: 高速 片面 탄뎀 플럭스 코어드 아크 용접에 관한 研究, 釜慶大學 校 産業大學院, 2000년8월
8. 溶接技術誌 “2電極 CO₂ 片面溶接機”, 産報出版 Vol. 46, 1998年 9月号
9. AWS "WELDING JOURNAL" 97.12월호
10. AWS Volum 6 "Welding, Brazing, and Soldering", p114-152

감사의 글

지난 시간들을 되돌아보면, 많은 일들이 뇌리를 스치고 지나갑니다. 그 중에서 가장 뜻있었던 나의 시간들이 융접IT연구실에서의 생활이었던 것 같습니다. 몸은 힘들어도 마음은 항상 꿈에 부풀어 있었고, 교수님과 선배님, 후배님들의 격려가 있었기에 가능했던 시절이었을 것입니다.

먼저, 지금까지 열성을 다해 지도해주신 조상명교수님께 깊은 감사를 드립니다. “기회는 준비된 자에게만 주어진다”는 말씀을 마음속 깊이 간직하며 앞으로 주어진 시간들을 보다 열심히 생활하여 오래 오래 기억되는 제자가 되도록 노력하겠습니다.

석사과정 동안 지도해주시고, 논문심사를 지도해 주신 김우열 교수님, 박홍일 교수님, 김성규 교수님, 이병우 교수님, 방국수 교수님, 서원찬 교수님, 이길근 교수님께 많은 감사를 드립니다.

융접IT연구실과 인연을 맺게 되어 잘 생활할 수 있도록 도와준 임성룡님, 최규원님, 박찬우님, 공현상님, 윤훈성님, 김기정님, 김진우님, 고미혜님, 김나영님, 탁정수님 감사드립니다. 그리고 연구실의 미래를 더욱 발전시켜 나갈 진안이, 상준이, 재선이, 영주도 고마웠고, 연구실의 안주인이신 박영희님과 김외숙님께도 감사드립니다. 언제나 무엇인가를 열심히 하는 인태와 광선이도 고맙고, 특히 조성우님도 고마웠습니다. 그리고 박사과정이신 황동수님, 지정민님 그동안 정말 고마웠습니다. 언제나 웃는 모습으로 격력을 아끼지 않으시던 오동수 선배님 감사합니다.

이러한 모든 만남과 활동을 할 수 있도록 도와주신, 형님 같은 모습의 양종수님, 정문섭님 감사합니다. 그리고 이러한 활동의 원천적인 도움이 되어주신 STX조선의 서진왕 본부장님께 감사드리며, 항상 격려를 아끼지 않으시는 채희병 부장님과 김경훈 과장님 감사합니다. 그리고 언제나 생각하고, 연구하고, 개발하는 것을 주도하시는 정광석 부사장님께 심심한 감사를 드립니다.

평생을 다하여도 갚지 못할 사랑과 희생으로 길러주신 아버지, 어머니께 감사드리며, 언제나 뒤에서 지켜봐 주신 형님께도 감사드립니다. 그리고 관심과 해량으로 출중치 못한 사위를 아껴 주시는 장모님께도 이 자리를 빌어 감사의 말씀을 드립니다. 생활비 쪼개서 남편 학비 준비하며 투정 한번 부리지 않고, 격려하는 눈길로 바라보아 준 사랑하는 아내 권영혜님께 감사드리며, 매일 저녁 책을 읽어 달라며 앞으로 의사가 되겠다는 큰 딸 성빈이와 동네에서 예쁘기로 소문난 작은 딸 성연이 에게도 이 벅찬 기쁨과 도와주신 모든 분들께 받은 따뜻한 고마움을 전합니다.