



저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권으로부터 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

용접용 싱글 케이블의 발열상태에 따른 전류와
전압강하 및 입열량 변동에 관한 연구



2008年 2月

釜慶大學校 大學院

소재프로세스공학과

李 定 賢

工學碩士 學位論文

용접용 싱글 케이블의 발열상태에 따른 전류와
전압강하 및 입열량 변동에 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



2008年 2月

釜慶大學校 大學院

소재프로세스공학과

李 定 賢

李定賢의 工學碩士 學位論文으로 認准함

2008年 2月



主 審 工學博士 朴 興 日 (印)

委 員 工學博士 徐 源 贊 (印)

委 員 工學博士 趙 相 明 (印)

목 차

제 1 장 서 론 -----	1
1.1 연구배경 및 필요성 -----	1
1.2 연구목적 및 개요 -----	2
제 2 장 이론적 배경 -----	3
2.1 용접용 케이블의 정의 및 규격 -----	3
2.1.1 용접용 케이블의 정의 -----	4
2.1.2 용접용 케이블의 치수 -----	5
2.1.3 KS 규격 -----	7
2.2 용접용 싱글 커넥션 케이블의 정의 및 현장 적용례 --	9
2.2.1 용접용 싱글 커넥션 케이블의 정의 -----	12
2.2.2 용접용 싱글 커넥션 케이블의 현장 적용 -----	13
2.3 용접용 케이블에서 전력 손실 측정법 -----	14
2.3.1 전압계를 사용한 케이블 전압 측정 -----	14
2.3.2 저항과 용접 전류를 이용한 전력 손실 계산 -----	16
2.3.3 케이블 치수별 전압 강하 검토 -----	17
2.4 용접용 케이블에서 전력 손실에 관한 연구 동향 -----	19
2.4.1 GMAW 용접 회로에서 전압 분포 검토 -----	19
2.4.2 GTAW에서 용접 전류와 단락 에너지 관계 검토 -----	20
2.5 사용률 (Duty cycle)의 정의 -----	23
제 3 장 용접용 싱글 커넥션 케이블의 발열상태에 따른	
전류와 전압강하비교 -----	24
3.1 서언 -----	24
3.2 실험 재료 및 방법 -----	25
3.2.1 실험 재료 -----	25
3.2.2 실험 방법 -----	26
3.2.3 온도 캘리브레이션 -----	29
3.3 실험 결과 및 고찰 -----	30
3.3.1 케이블의 사용률을 고려한 사용주기 -----	30

3.3.2 전류에 따른 케이블 온도 및 전압강하 -----	34
3.3.3 케이블 용량에 따른 케이블 온도 및 전압강하 -----	36
3.3.4 케이블 발열에 따른 고유저항 계산 -----	38
3.3.5 케이블 발열에 따른 전력손실 및 입열량 계산 -----	40
3.4 결론 -----	44
 제 4 장 케이블의 용량과 발열상태에 따른 파형과 용접비드 관찰 -	45
4.1 서언 -----	45
4.2 실험 재료 및 방법 -----	45
4.2.1 실험 재료 -----	45
4.2.2 실험 방법 -----	45
4.3 실험 결과 및 고찰 -----	47
4.4 결론 -----	49
 제 5장 결론 -----	50
참고문헌 -----	51

A Study on Variation of Current, Voltage Drop and Heat Input depending on Heat Condition of Welding Single Cable

Joung-hyun, Lee

*Department of Materials Processing Engineering, The Graduate School
Pukyong National University*

Abstract

To increase the welding productivity, the welding current has been increased without consideration of welding cable. This cause the large current and voltage drop, power loss and unstable arc. The purpose of this study is to set the new time period of duty cycle for the welding single connection cable which has welding power cable, control cable and CO₂ gas hose in single jacket depending on heat condition. In addition, power loss and heat input were calculated by using temperature, current and voltage drop of cable. The waveform and weld bead surface were also analyzed.

Key Words: Welding cable, Welding single connection cable, Power loss, Heat input, Arc voltage, Cable voltage, Duty cycle, Time period, Voltage drop

제 1장 서론

1.1 연구 배경 및 필요성

아크용접은 조선소, 자동차 산업 및 건설 현장 등에서 많이 사용되고 있다. 최근 용접 생산성의 향상을 위해 사용주기 및 사용 전류와 사용률을 증가시켜 용접 능률향상을 도모하고 있다. 그 대표적인 용접법으로 탄산가스 아크용접이 있다.

그러나 탄산가스 아크용접 회로장치인 용접용 케이블의 용량은 증가된 사용범위와 관계없이 동일하게 적용되고 있어 케이블의 저항발열로 인한 전류·전압 강하를 야기한다. 이는 용접 전력손실 및 아크의 불안정을 초래하고 가열된 케이블로 인하여 작업자의 안전을 위협한다.

아크용접 회로에서 아크의 전압 특성에 관한 연구가 많이 보고되고 있지만 아크를 제외한 케이블, 커넥터, 용접 토치의 전압에 관한 연구는 미미하다.

1.2 연구목적 및 개요

본 연구의 목적은 용접 전원 케이블, 컨트롤 케이블, 탄산가스 호스를 조합한 용접용 싱글 커넥션 케이블을 대상으로 하여 발열상태에 따른 사용주기를 설정하고 케이블의 용량에 따른 전압강하 및 온도특성을 관찰하여 고유저항 및 전력손실을 검토하는 것이다. 본 실험에서는 사용주기를 100min으로 하여 케이블 용량에 따른 도체의 온도와 전압을 측정하고 고유저항 및 전력손실을 계산하였다. 그리고 동일한 전류에서 케이블의 용량과 발열 상태에 따른 용접 전류, 전압 파형과 용접 비드외관을 분석하였다.



제 2 장 이론적 배경

2.1 용접용 케이블의 정의 및 규격

Fig. 2.1은 CO₂ 용접장치의 모식도를 나타낸다, 용접장치의 구성은 용접토치, 와이어 송급 장치, 용접 케이블 및 클램프, 용접전원으로 나뉘어진다.

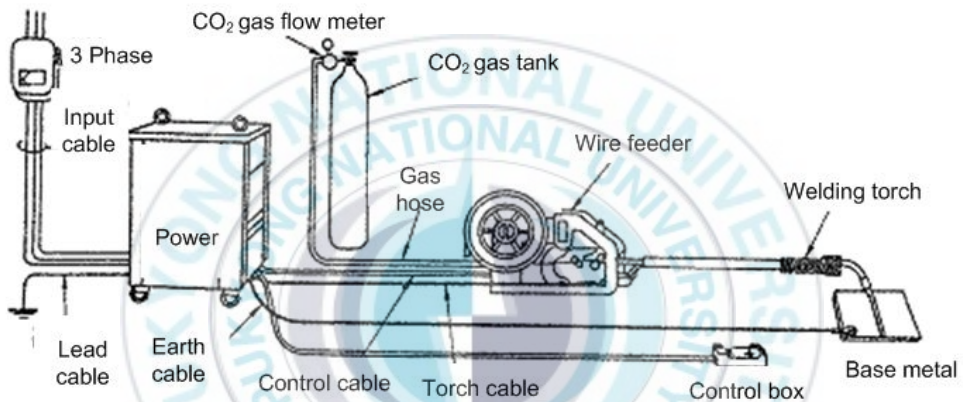


Fig. 2.1 Schematic of CO₂ welding equipment¹⁾

2.1.1 용접용 케이블의 정의

용접 케이블은 토치에 연결되는 리드와 모재에 연결되는 리드를 갖고 있는 전기 도선이다. 이러한 도선은 전원으로부터 아크로 다시 전원으로 용접 전류를 전달한다.

용접 회로는 노이즈로 인해 용접부 품질 관련 문제의 근원은 물론 전력 소모 및 경제적 손실의 근원이 될 수 있다. 전력 손실은 다음 사항들의 결과로 발생할 수 있다²⁾.

- 1) 전원에서 헐거운 결선
- 2) 모재 접점이나 케이블 커넥터에서 헐거운 결선
- 3) 케이블에서 불량한 꼬아잇기 수선
- 4) 파손된 소선을 가진 케이블 및 꼬아잇기로 부적절하게 수선된 케이블
- 5) 사용되는 암페어나 사용률과 비교하여 너무 작은 용량의 케이블 사용
- 6) 조금 큰 스테드볼트의 치수에 맞추기 위해 케이블 돌기부의 구멍 확장
- 7) 비정상적인 전압 강하의 원인이 되는 과도하게 긴 케이블의 사용

용접 도선과 전체 회로가 최상의 작동 효율을 발휘할 수 있도록 검사하고 유지하는 것이 매우 중요하게 되었다. 용접 회로 중 뜨거운 부분은 높은 저항의 근원이 되어 전류가 낭비되는 점이 된다.

2.1.2 용접용 케이블의 치수

사용할 케이블의 치수를 결정하기 위해서는 다음 3항목이 고려되어야만 한다.

- 1) 용접 전류
- 2) 사용률 또는 작업률
- 3) 용접 회로의 총길이

Table 1에서는 (1) 60%까지의 사용률과 (2) 60~100%사용률의 두 범주로 가정하여 케이블 치수를 분류하였다²⁻³⁾.

Table 2.1 Size recommendation of welding cable

Welding type	Welding current (A)	Cable size (AWG) depending on length of welding circuit					
		500ft	100ft	150ft	200ft	300ft	400ft
Manual and semiautomatic welding (duty cycle 60%)	75	6	6	4	3	2	1
	100	4	4	3	2	1	1/0
	150	3	3	2	1	2/0	3/0
	200	2	2	1	1/0	3/0	4/0
	250	2	2	1/0	2/0	4/0	-
	350	1	1	2/0	3/0	-	-
	300	1/0	1/0	3/0	4/0	-	-
	400	1/0	2/0	3/0	-	-	-
	450	2/0	3/0	4/0	-	-	-
	500	3/0	3/0	4/0	-	-	-
semiautomatic and automatic welding (duty cycle 60~100%)	400	4/0	4/0	-	-	-	-
	800	2-4/0	2-4/0	-	-	-	-
	1200	3-4/0	3-4/0	-	-	-	-
	1600	4-4/0	4-4/0	-	-	-	-

* 케이블 회로의 길이는 용접봉 리드 길이와 용접물 리드 길이의 합을 의미한다.

용접회로에서 전압 강하는 4V를 초과하지 않아야 하고 절연체의 허용 온도를 초과하지 않아야 한다. Table 2.2는 일반적 케이블 절연체의 허용 온도를 나타낸다⁴⁾.

Table 2.2 Allowable temperature considering insulation material

Item		Allowable temperature(℃)
Thermal plasticity	PE	75
	XLPE	90
	PVC	75
	FEP	200
Rubber mixture (Polymer)	NR	60
	CR	75
	EPR	90

2.1.3 KS 규격: KS C 60245-6:2005 전압 450/750V 이하 고무 절연 케이블 - 제 6부 : 아크 용접용 케이블⁵⁾

아크 용접용 케이블은 천연고무나 클로로프렌 또는 이와 동등한 합성 고무 시스로 된 절연체와 연동선 또는 주석 도금한 연동선의 소선으로 구성되어 있다. Table 2.3은 KS C IEC 60245-6:2005에서의 용접용 케이블의 종류를 나타낸 것이며 Fig. 2.2는 케이블의 구조를 나타낸다.

Table 2.3 Welding cable of 60245 KS C IEC 81and 82

1	2	3	4	5	6	7	8
Nominal cross sectional area of conductor mm ²	Maximum diameter of wires in conductor mm	Total thickness of covering Specified value mm	Thickness of sheath* of composite covering Specified value mm	Mean overall diameter		Maximum conductor resistance at 20℃	
				Lower limit mm	Upper limit mm	Tinned wires Ω/km	Untinned wires Ω/km
16	0.21	2.0	1.3	8.8	11.0	1.19	1.16
25	0.21	2.0	1.3	10.1	12.7	0.780	0.758
35	0.21	2.0	1.3	11.4	14.2	0.552	0.536
50	0.21	2.2	1.5	13.2	16.5	0.390	0.379
70	0.21	2.4	1.6	15.3	19.2	0.276	0.268
95	0.21	2.6	1.7	17.1	21.4	0.204	0.198

* The thickness of the insulation of composite is not measured separately.

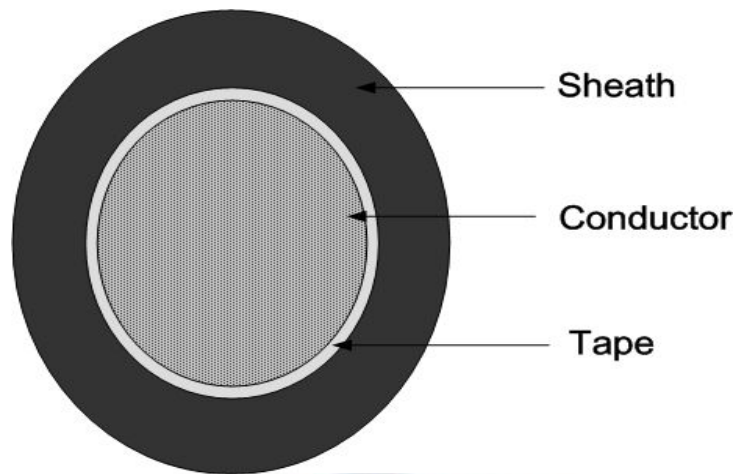
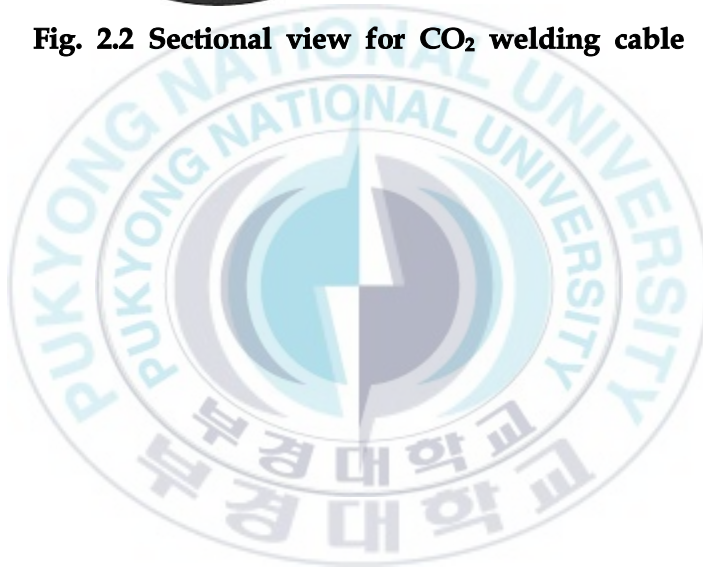


Fig. 2.2 Sectional view for CO₂ welding cable



2.2 용접용 싱글 커넥션 케이블의 정의 및 현장 적용례

현재 사용되는 CO₂ 용접기에서 와이어 송급 장치와 용접기 본체 사이는 용접 전원 케이블, 컨트롤 케이블, 탄산가스 호스로 연결되어 있으며, 이 길이는 10~50m 가 사용되고 있다.

이러한 케이블은 여러 가닥으로 되어 있어 단선이 많고 무게가 무거워 이동성이 저하되고 작업 환경이 좋지 않아 작업 안전의 위험이 높고 취급이 불편하여 작업 준비에 많은 시간을 낭비하는 등의 문제점이 있다. 이를 개선하기 위해 3개의 케이블을 조합하여 동일 기능을 보유한 1가닥의 싱글 커넥션 케이블이 사용 되고 있다⁶⁾. Fig. 2.3은 작업장에 설치된 싱글 커넥션 케이블을 보여준다.

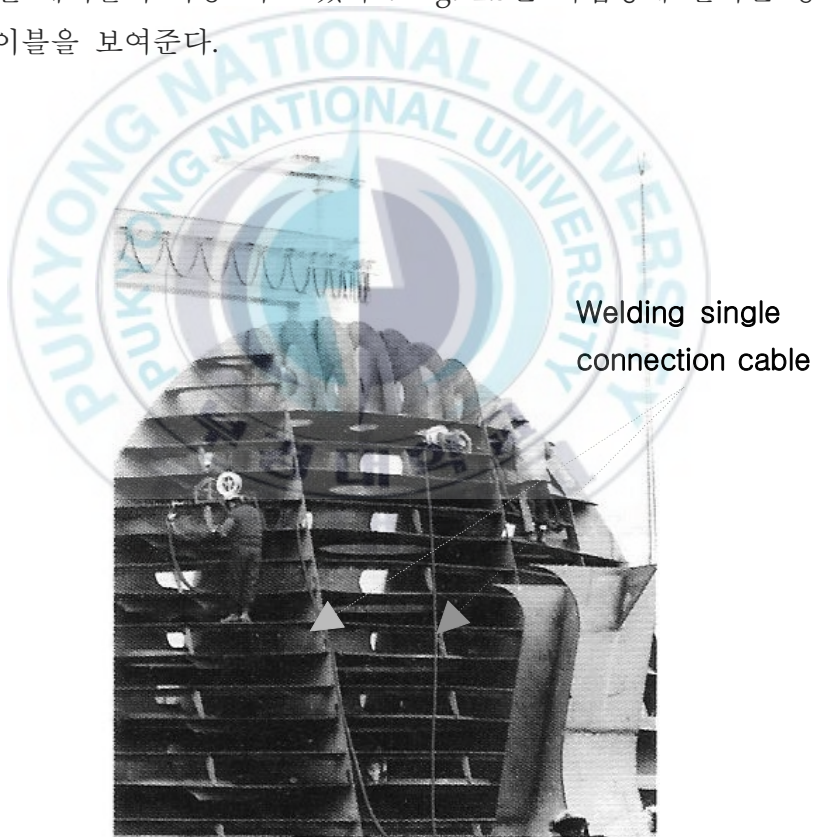


Fig. 2.3 Example for installation of CO₂ welding single connection cable

Fig. 2.4는 현장에서 많이 사용되고 있는 용접용 싱글 커넥션 케이블과 익스텐션 케이블의 장치 모식도를 나타낸다. 와이어 송급 장치와 용접기 본체를 연결하는 용접용 싱글 커넥션 케이블은 50m를 기준으로 하고 푸시-풀 방식의 와이어 송급 장치를 연결하는 익스텐션 케이블은 30m를 기준으로 한다. 이렇게 연결된 두개의 긴 파워 케이블은 용접기의 이동 없이 넓은 작업 공간을 확보해 준다.



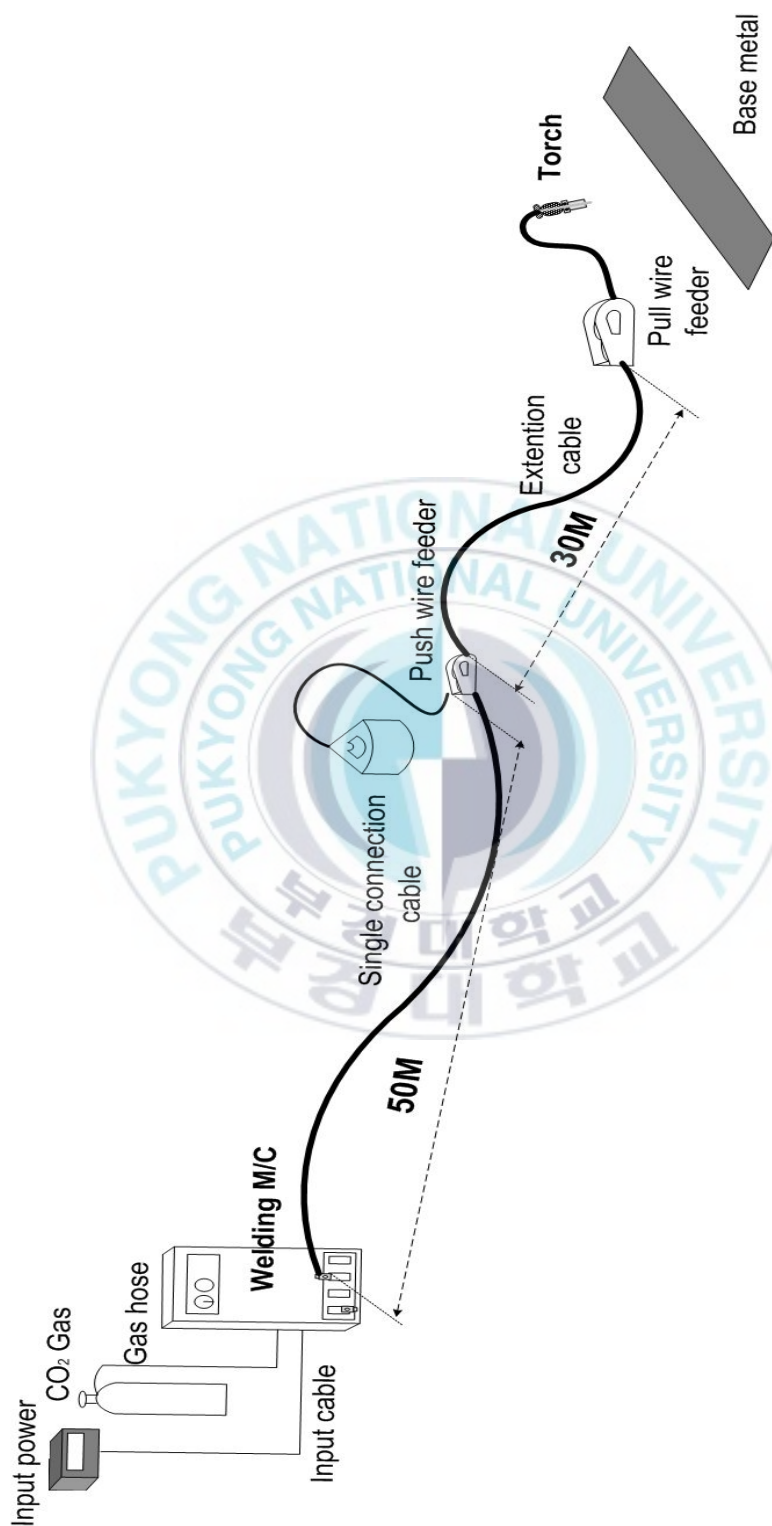


Fig. 2.4 Schematic of CO₂ welding equipment with welding single connection cable and extension cable.

2.2.1 용접용 싱글 커넥션 케이블의 정의

용접용 싱글커넥션 케이블은 용접 전원 케이블, 컨트롤 케이블, CO₂ 가스 호스를 함께 내포하고 있는 구조로 보통 10~50m의 길이가 사용된다.

Fig. 2.5는 용접용 싱글 커넥션 케이블의 일반적인 구조를 나타내고 있다.

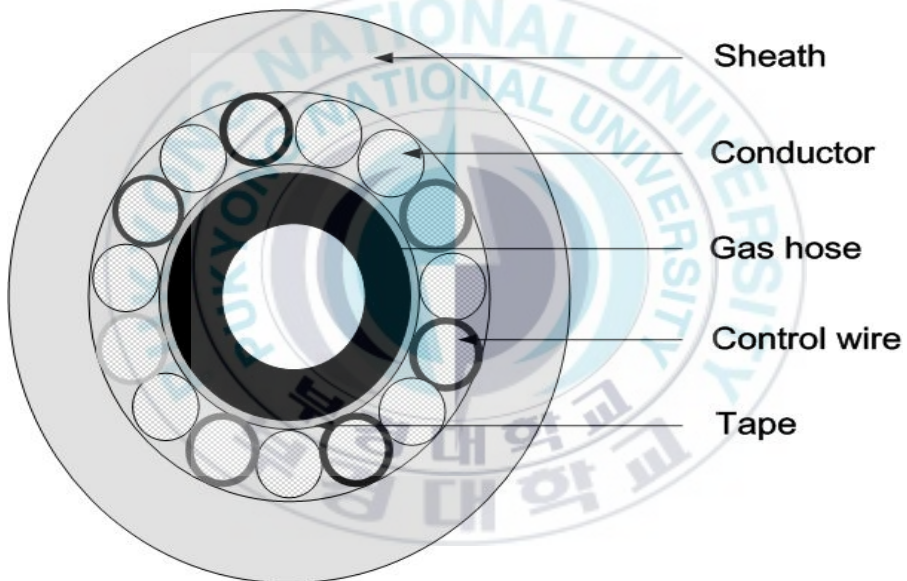


Fig. 2.5 Structure of welding single connection cable

2.2.2 용접용 싱글 커넥션 케이블의 현장 적용

용접용 싱글 커넥션 케이블을 현장 적용한 결과가 다음과 같다⁶⁾.

1) 이동성 향상

① 케이블 중량 감소 (약 50%) : $1.8 \Rightarrow 0.9\text{kg/m}$

② 케이블 가닥수 감소 : $3 \Rightarrow 1$ 가닥

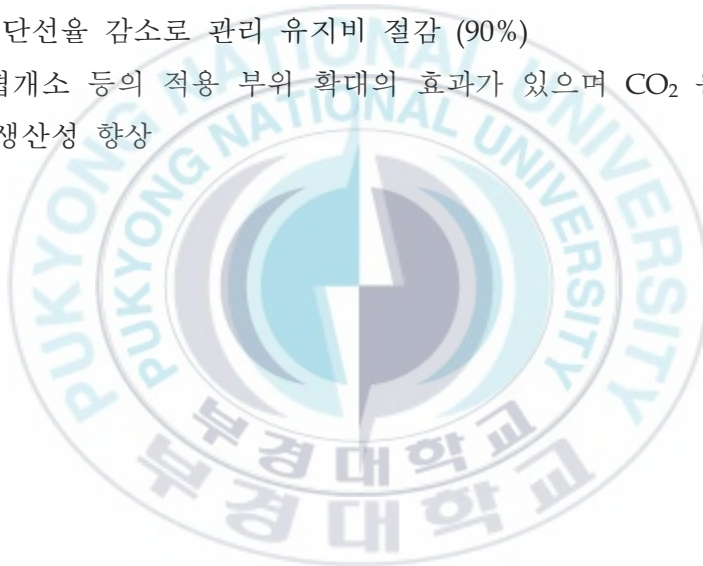
2) 작업 준비 시간 감소 및 간편화

3) 작업 환경 개선으로 작업 안전 유지

4) 케이블 수명 연장(약 2배)으로 투자비 절감

5) 케이블 단선을 감소로 관리 유지비 절감 (90%)

6) 고소, 협개소 등의 적용 부위 확대의 효과가 있으며 CO₂ 용접의 확대 적용으로 생산성 향상



2.3 용접 케이블에서 전력 손실 측정법

2.3.1 전압계를 사용한 케이블의 전압 측정

Fig 2.6은 전압계를 사용한 케이블의 전압 측정 방법의 모식도를 나타낸다. 이 방법은 정밀한 전압계를 사용하여 용접하는 동안 용접기 단자에서의 전압과 용접봉 홀더와 모재 결선 사이의 전압을 측정하는 것이다. 그때 전류센서를 이용하여 용접 전류도 측정한다.

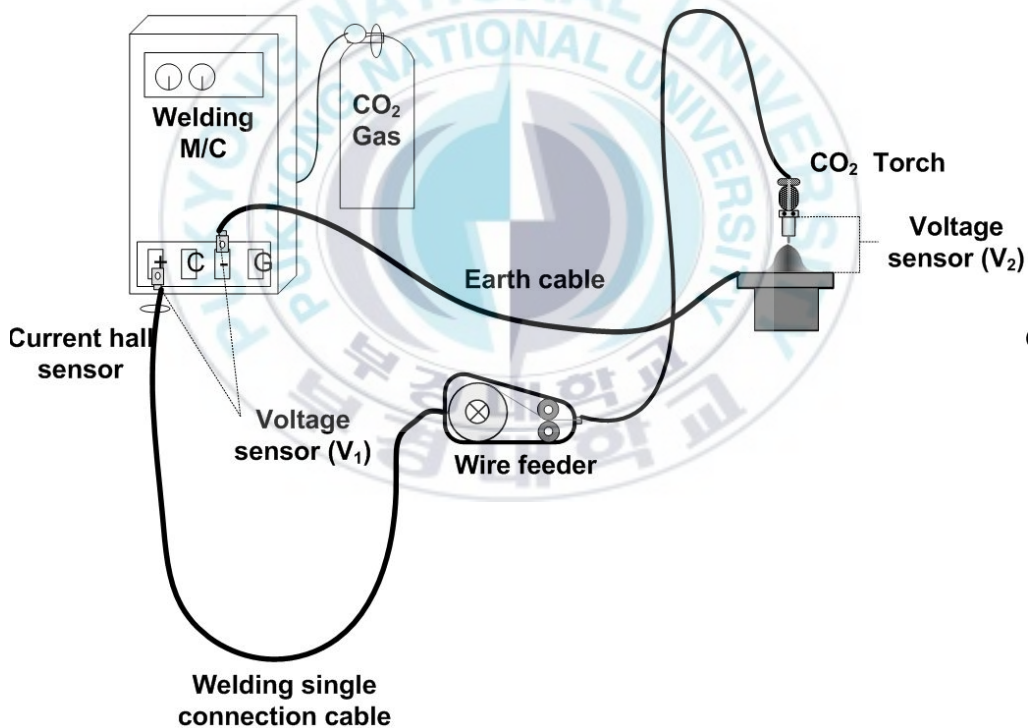


Fig. 2.6 Schematic of voltage measurement

전원 단자에서 측정된 전압과 용접봉 홀더와 모재 결선 사이에서 측정된 전압의 차이가 케이블에서 소실되는 전압이 된다. 이것을 측정된 용접 전류와 곱해 주면 케이블에서 소실된 전력의 양이 나온다. 이것을 식으로 나타낸 것이 식 (1)과 같다. 여기서 PL은 케이블의 전력손실(W), V_1 은 용접기 단자에서 측정된 전압(V), V_2 는 용접봉 홀더와 모재사이의 전압(V), 그리고 I(A)는 전류를 나타낸다.

$$PL = (V_1 - V_2) \times I \quad (1)$$



2.3.2 저항과 용접 전류를 이용한 전력 손실 계산

전력 손실을 결정하는 두 번째 방법은 용접케이블의 저항과 용접 전류의 제곱을 식(2)와 같이 곱하여 구하는 것이다. 치수별 케이블의 저항은 Table 2.4에 주어져 있다. 여기서 PL은 전력손실(W), I는 전류(A) 그리고 R은 도체 저항(Ω)을 나타낸다,

$$PL = I^2 R \quad (2)$$

Table 2.4 Comparison of american wire gage with metric system

AWG Size	Resistance at 68°F per 1000ft	Nominal cross sectional area by SI unit	Resistance at 20°C per 1000m
	Ω	mm^2	Ω
8	0.688	10	1.75
6	0.435	16	1.09
4	0.272	25	0.70
2	0.173	35	0.50
1	0.137	50	0.35
1/0	0.109		
2/0	0.087	70	0.25
3/0	0.068	95	0.18
4/0	0.054	120	0.146

2.3.3 치수별 전압 강하 검토

전력손실을 결정하는 세 번째 방법은 Table 2.5를 이용하는 것이다²⁾. 이것은 주어진 전류에서 용접할 때 30m(100ft) 길이의 회로에 대한 케이블의 치수별 전압 강하를 보여준다. 이 경우 전력 손실은 식 (3)과 같다. 여기서 PL은 전력손실(W), I는 전류(A), 그리고 VD(voltage drop)는 전압강하(V)를 나타낸다. Fig. 2.7³⁾은 전류에 따른 케이블 치수 별 전력 손실을 나타낸다. 케이블의 치수가 작을수록 전력 손실 기울기가 급격히 증가하는 것을 알 수 있다.

$$PL = I \times VD \quad (3)$$

Table 2.5 Voltage drop for AWG size depending on current

Welding current (A)	Voltage drop depending on cable size (AWG) per 100ft					
	2	1	1/0	2/0	3/0	4/0
50	1.0	0.7	0.5	0.4	0.3	0.3
75	1.3	1.0	0.8	0.7	0.5	0.4
100	1.8	1.4	1.2	0.9	0.7	0.6
125	2.3	1.7	1.4	1.1	1.0	0.7
150	2.8	2.1	1.7	1.4	1.1	0.9
175	3.3	2.6	2.0	1.7	1.3	1.0
200	3.7	3.0	2.4	2.0	1.5	1.2
250	4.7	3.6	3.0	2.4	1.8	1.5
300	-	4.4	3.4	2.8	2.2	1.7
350	-	-	4.0	3.2	2.5	2.0
400	-	-	4.6	3.7	2.9	2.3
450	-	-	-	4.2	3.2	2.6
500	-	-	-	4.7	3.6	2.8
550	-	-	-	-	3.9	3.1
600	-	-	-	-	4.3	3.4
650	-	-	-	-	-	3.7
700	-	-	-	-	-	4.0

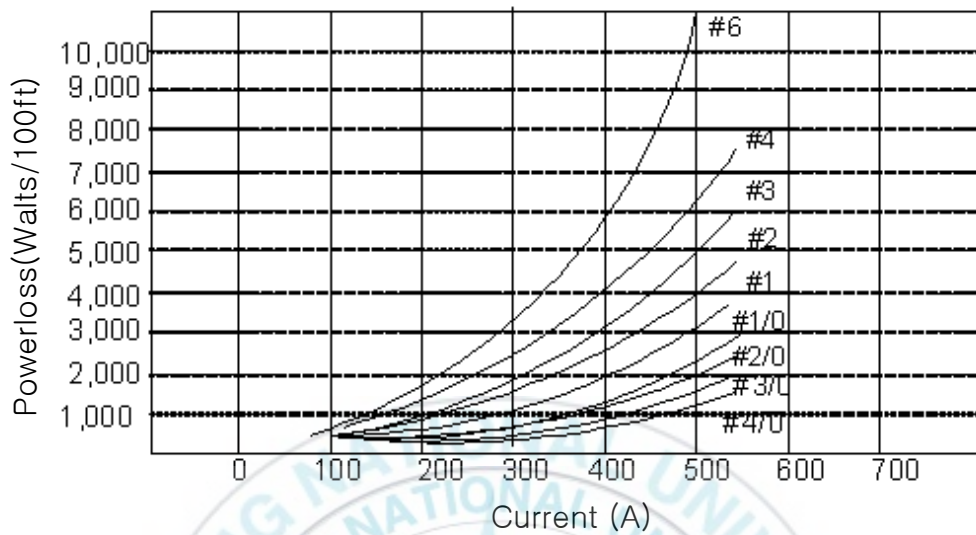


Fig. 2.7 Powerloss per 100ft for various sizes of welding cable

2.4 용접 케이블에서 전력 손실에 관한 연구 동향

2.4.1 GMAW 용접 회로에서 전압 분포 검토

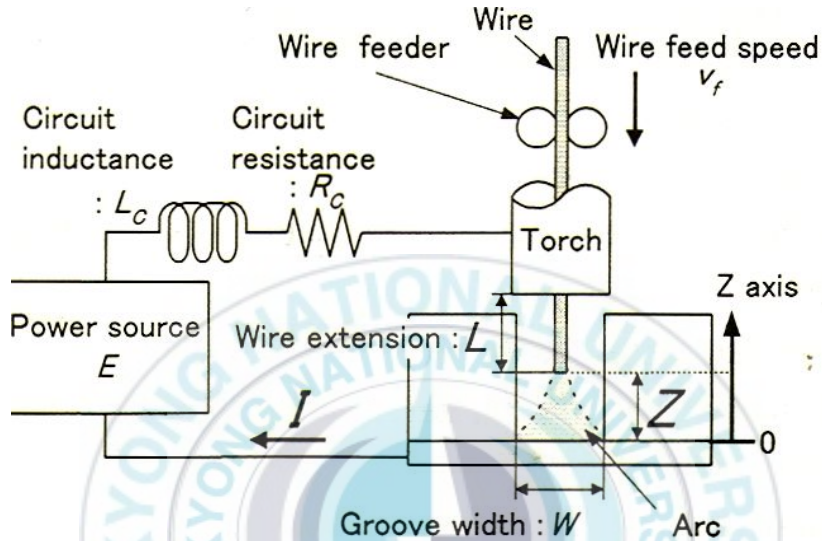


Fig. 2.7 Schematic illustration of GMAW welding circuit

Fig. 2.7⁷⁾의 GMAW 회로 모식도로부터 용접 전압은 아래 식(4)와 같이 구성 된다. 여기서 E 는 용접 전원으로 부터의 전압(V), V_a 는 아크 전압(V), V_L 은 와이어 돌출부의 전압(V), R_c 용접 회로의 저항(Ω) 그리고 L_c 는 용접 회로의 인덕턴스(H)를 나타낸다. V_a 는 용접부의 모양과 크기를 결정한다⁸⁾.

$$E = V_a + V_L + R_c \cdot I + L_c \cdot \frac{dI}{dt} \quad (4)$$

2.4.2 GTAW에서 용접 전류와 단락 에너지 관계 검토

용접회로를 구성하는 편조동선의 길이, 직경, 모재 종류와 산화상태, 용접프로세스 종류, 컨택팁의 산화상태에 따라 설정전류가 동일하더라도 용접회로에 발생하는 단락에너지의 차이로 인해 아크에너지가 다를 수 있다. 또한 용접기 출력에너지와 아크에너지의 구분이 명확하지 않아서 아크효율 정의와 값에 일관성이 없는 것으로 보인다⁹⁾.

1) 용접기 출력에너지 정의

Fig. 2.8은 용접기 출력 에너지를 나타내는 모식도이고 식(5)는 용접기 출력 에너지식이다. 여기서, 용접기 출력에너지 E_m 은 용접회로에 흐르는 전류 I 와 용접기 터미널에서 측정되는 전압 V_m , 용접시간 t 의 곱으로 나타낼 수 있다.

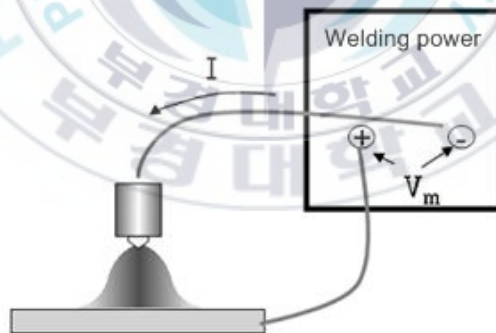


Fig. 2.8 Current and voltage of machine output

$$E_m = I V_m t \quad (5)$$

2) 단락에너지 정의

용접시 용접회로의 저항으로 인해 발생한 열은 용접에 유효하지 못하며 이 열은 에너지손실을 유발하며, 본 연구에서는 단락에너지로 정의한다.

Fig.2.9는 단락에너지를 구하기 위한 모식도이다. 식(6)은 단락에너지에 대해 정의한 것으로 단락에너지는 전류 I 와 용접기 터미널에서 측정되는 전압 E_s , 용접시간 t 의 곱으로 나타낼 수 있다.

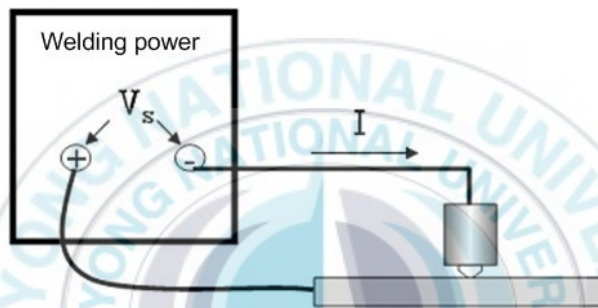


Fig. 2.9 Current and voltage of short circuit

$$E_s = I E_s t \quad (6)$$

3) 아크에너지 정의

용접기의 출력에너지는 모재로 전부 투여되지 않고 단락에너지는 제외되어 모재에 투여된다.

TIG 용접전원은 정전류 특성 파워소스이다. 그래서 단락이 되거나 아크가 형성되어도 용접전류 I는 일정하다. 따라서 용접기 출력에너지 식(5)와 단락에너지 식(6)을 정리하면 식(7)과 같이 나타낼 수 있다. 즉 아크에너지는 아크가 있을 때와 단락되었을 때의 전압차가 아크전압 V_a 이며 아크에너지 E_a 는 용접전류 I와 용접시간 t, 아크전압 V_a 의 곱으로 나타낼 수 있다.

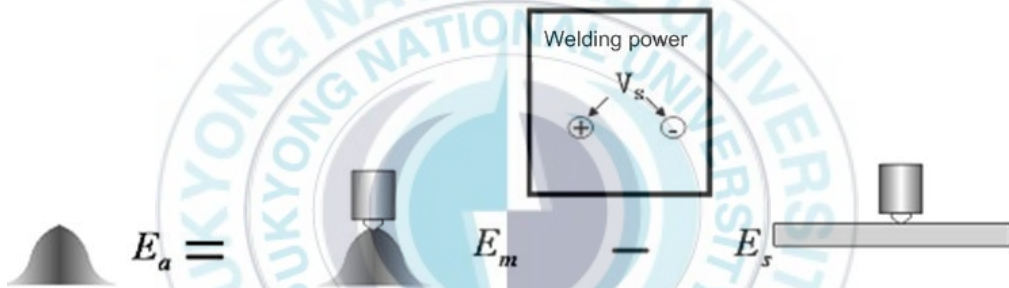


Fig. 2.10 Definition of the arc energy

$$E_a = E_m - E_s = I V_m t - I V_s t = I t (V_m - V_s) = I t V_a \quad (7)$$

E_m : Machine output energy

E_a : Short circuit energy

I: Current of welding circuit

V_m : Voltage of machine output

V_s : Voltage of short circuit

V_a : Voltage of arc

2.5 사용률(duty cycle)의 정의

정격 출력에 추가로 용접기의 용량을 결정하는 방법들 중 하나는 10min¹¹⁾ 동안 총 시간 대비 아크 시간의 비를 나타내는 사용률 (duty cycle)에 의한 방법이다. 용접기는 이 시간 동안 과열되지 않고 잘 작동하여야 한다. 낮은 사용률 작업 장비는 가벼운 작업을 위해 설계된다. 높은 사용률 작업 장비는 반자동이나 자동 용접을 위해 설계된다. 사용률은 총 용접 시간에 대한 아크 시간의 비를 나타낸다.

용접기의 정격은 시험에 의해 결정되며 정격 볼트-암페어 특성 곡선에 관련된다. 용접기는 특정 부하 전압에서 사용률에 따라 정격된다. 부하 전압 표준은 기기의 크기에 따라 28V에서 44V까지 변화한다. 시험은 용접기내의 특정한 온도가 초과되지 않도록 규정된 사용률에서 수행된다. 용접기를 시험하고 정격하는 방법은 IEC974-1표준에 따른다. 용접기의 요구되는 사용률은 다음 식(8)을 사용하여 해결 될 수 있다.

$$\text{요구되는 사용률(\%)} = \frac{(\text{정격 전류})^2}{(\text{요구 전류})^2} \times \text{정격 사용률} \quad (8)$$

용접용 케이블 역시 특정 부하 전압에서 사용률에 따라 허용온도 이내에서 정격된다.

제 3 장 용접용 싱글 커넥션 케이블의 발열상태에 따른 전류와 전압 강하 비교

3.1 서언

본 장에서는 용접 전원 케이블, 컨트롤 케이블, 탄산가스 호스를 조합한 용접용 싱글 커넥션 케이블을 대상으로 하여 발열상태에 따른 사용주기를 설정하고 케이블의 용량에 따른 전압 강하 및 온도 특성을 관찰하여 고유 저항 및 전력 손실을 관찰하는 것이다. 실험에서는 사용주기를 100min으로 하여 케이블 용량이 따른 도체의 온도와 전압을 측정하여 고유 저항 및 전력 손실을 계산하였다.



3.2 실험 재료 및 방법

3.2.1 실험 재료

본 연구에서는 용접용 싱글 커넥션 케이블의 도체 직경을 60, 68, 80mm²을 길이 50m로 하여 실험하였다. Table 3.1은 용접 전원 케이블의 도체 구성을 나타낸다.

Table 3.1 Construction and length of welding single connection cable

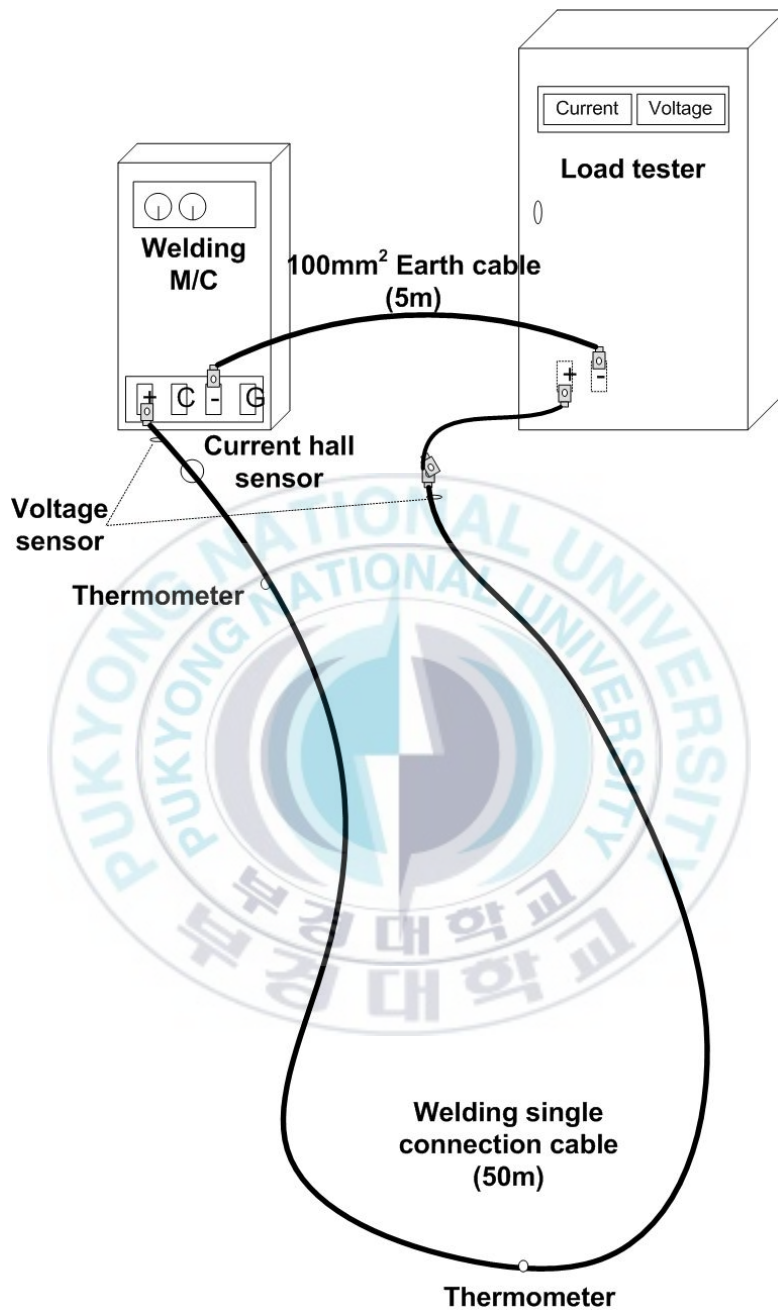
Construction of conductor			Length m
Nominal cross sectional area mm ²	Wire diameter mm	Wire number EA	
60	0.26	1,128	50
68	0.26	1,300	50
80	0.26	1,500	50

3.2.2 실험 방법

Table 3.2는 부하 테스트 조건을 나타내었다. 케이블의 일반적인 발열 상태 및 최대 발열상태를 알기 위하여 케이블은 Fig. 3.1과 같이 감김 없는 상태와 $\phi 800$ 로 9회 감은 상태로 하여 출력 단자로부터 3m 떨어진 지점과 케이블의 정중앙의 25m 지점에서 도체 및 절연체의 온도를 측정하였다. 전류는 홀센서를 사용하였고 전압은 멀티테스터를 이용하여 Fig. 3.1과 같이 계측하였다.

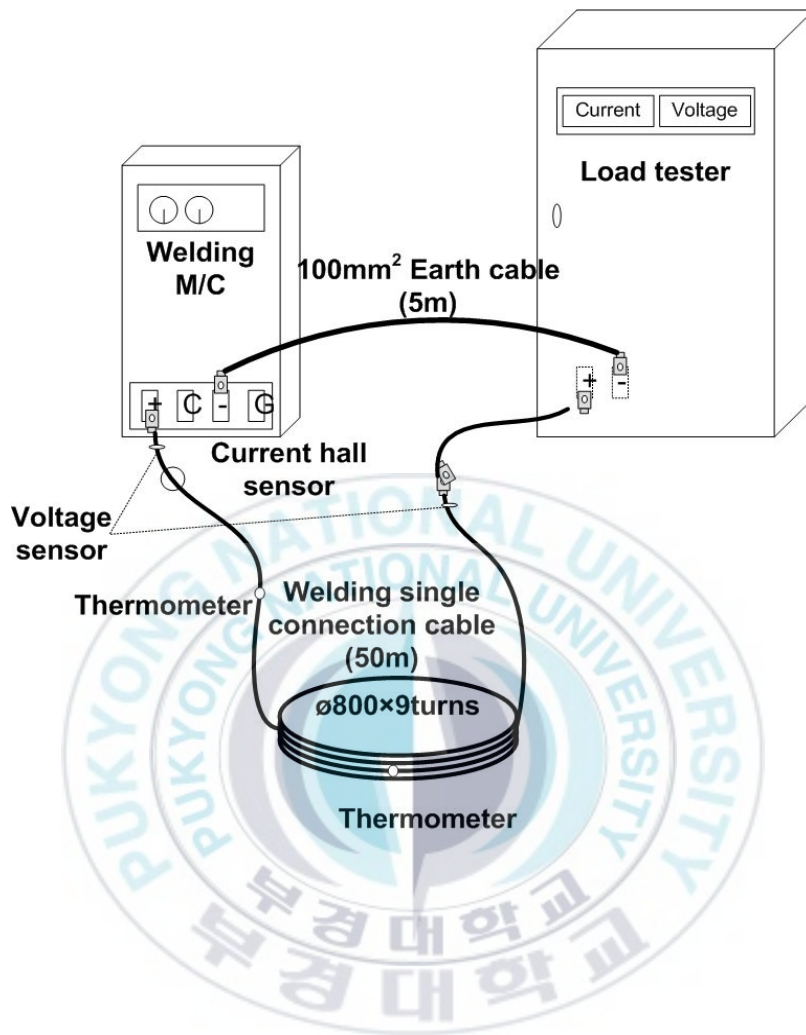
Table 3.2 Condition for electrical load test

Power source	Thyristor 600A welding power source
Load tester	Capacity 600A
Setting current	300, 400, 500A
Loading time	10, 60, 100 min
Cable state	Uncoiled, coiled
Room temperature	18~23℃



(a) Uncoiled state

Fig. 3.1 Schematic of electrical load test



(b) Coiled state

Fig. 3.1 Schematic of electrical load test

3.2.3 온도 캘리브레이션

Fig. 3.2는 접촉식 디지털 온도계의 캘리브레이션 결과를 나타낸다. 사용된 디지털 온도계의 표준교정지침에 따라 국가측정표준대표기관으로부터 측정의 소급성이 확보된 표준백금저항온도계를 이용하여 비교 교정되었다.

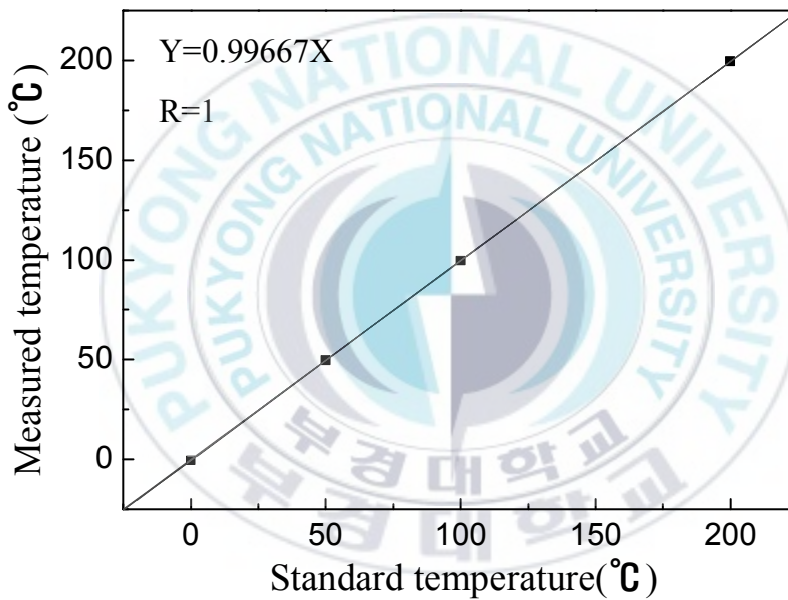


Fig. 3.2 Result of temperature calibration

3.3 실험 결과 및 고찰

3.3.1 케이블의 사용률을 고려한 사용주기

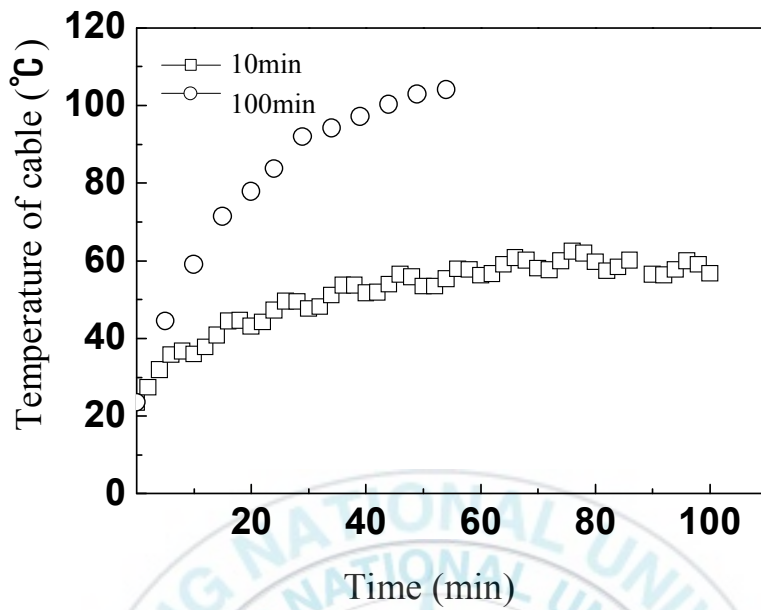
Fig.3.3, Fig. 3.4과 Fig. 3.5는 500A에서 사용률 60%, 80%와 100%의 사용주기에 따른 케이블 온도(a)와 전압강하(b)를 나타낸 것이다.

Fig. 3.3에서와 같이 사용주기 10min을 사용률 60%로 하였을 경우 최초 10min후 케이블의 온도와 전압강하는 36.0℃, 6.46V로 측정되었으나 10회 반복 후 56.7℃, 6.9V로 증가하였다. 반면에 사용주기가 100min 경우, 사용률 60%에서 케이블의 온도는 106.5℃이고 전압 강하는 7.27V를 측정되었으며 사용률 100% 사용 시 115.1℃, 7.36V로 측정되었다. 이 경우 80min 이후 케이블의 온도와 전압 강하가 일정한 경향을 나타내었다.

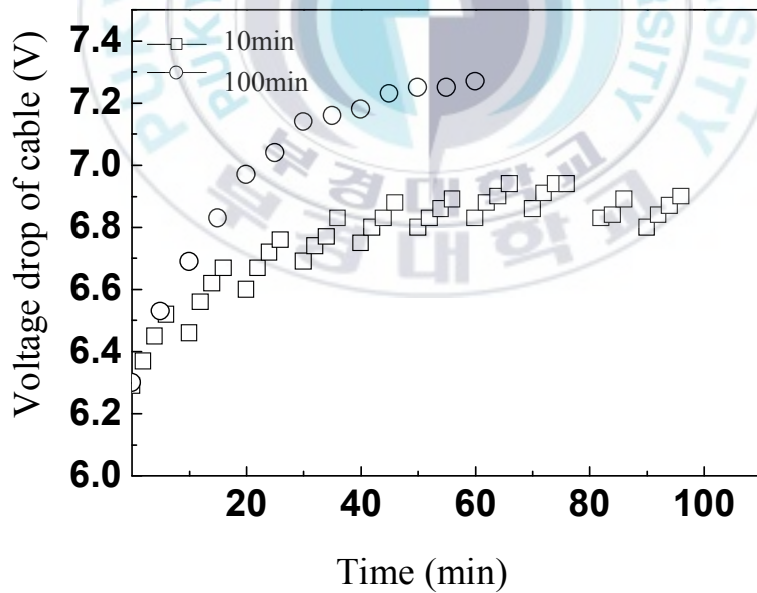
Fig. 3.4에서 사용률 80%인 경우 역시 최초 10min후 케이블의 온도와 전압 강하는 41.6℃, 6.6V로 측정되었으나 10회 반복 후 77.8℃, 7.29V로 증가하였다. 반면에 사용 주기가 100min인 경우, 사용률 80%에서 케이블의 온도는 97.7℃이고 전압 강하는 7.11로 측정되었으며 100% 사용 시 115.1℃, 7.36V로 측정되었다. 이는 사용주기가 10min인 경우 보다 더 넓은 온도 및 전압 구간에서의 케이블 평가를 가능하게 한다.

또한 케이블의 상태가 감김 없을 경우(Uncoiled) 40min이후 일정한 온도 및 전압강하를 나타내지만 감김이 있을 경우(Coiled)는 80~100min 까지 지속적으로 온도 및 전압 강하가 증가하였다.

따라서 기존의 KS : 아크 용접기 통칭 KS C 9001:2004에서 제시하고 있는 정격 사용률에 10min 주기는 현장의 자동화가 늘어나 사용주기가 길어짐에 따라 케이블의 정격전류와 정격사용률을 평가하기에 충분하지 않으므로 사용주기를 100min으로 하여 충분히 넓은 구간에서 케이블을 평가해야 한다.

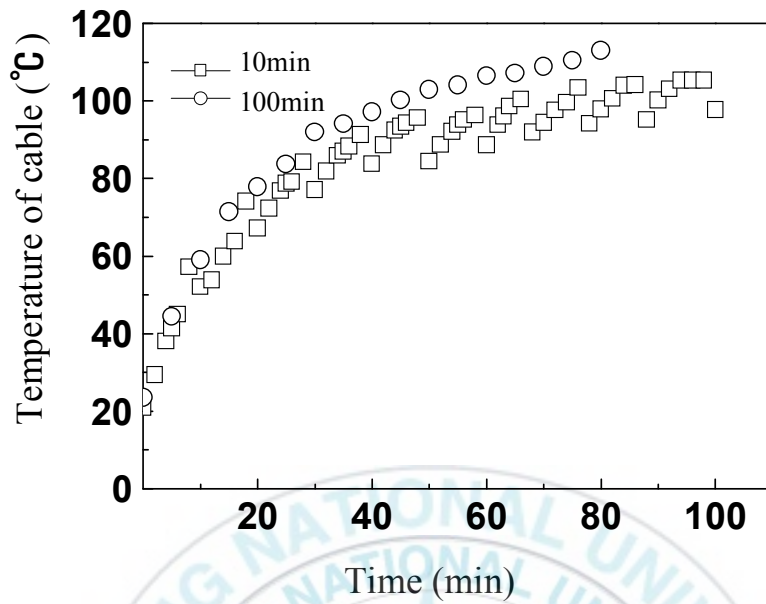


(a) Temperature

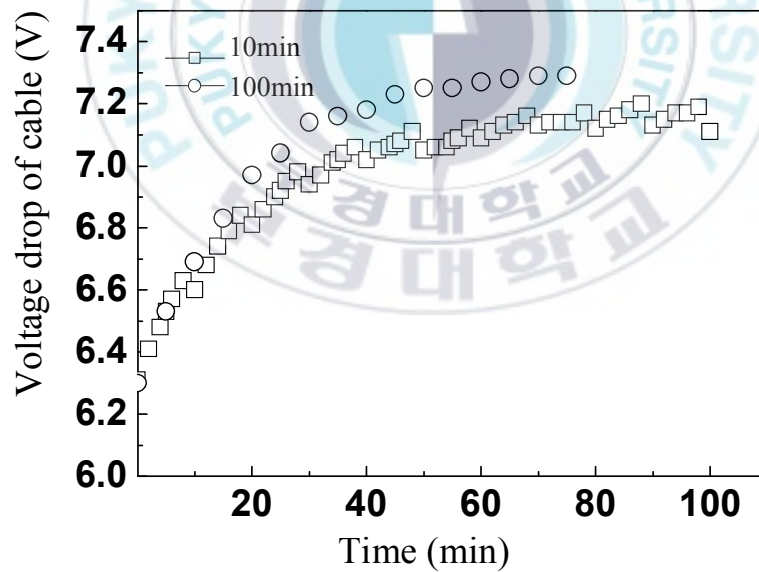


(b) Voltage

Fig. 3.3 Temperature and voltage drop of cable at 500A, 60%duty cycle

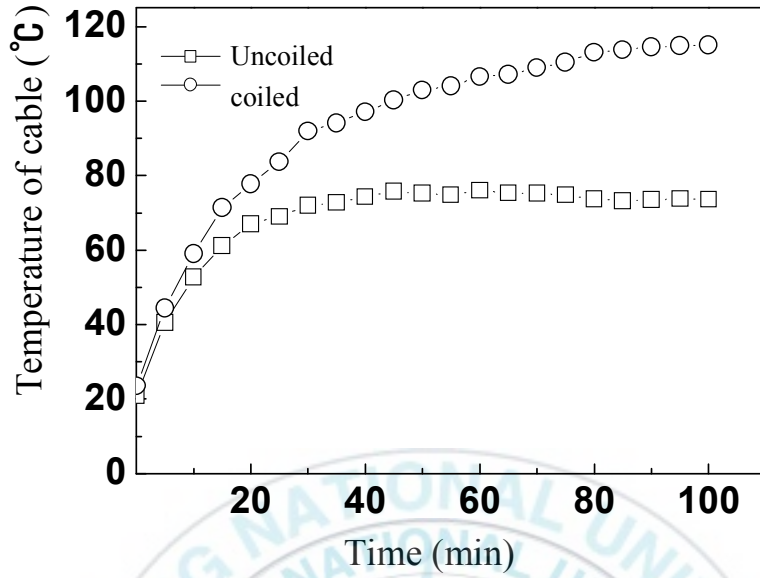


(a) Temperature

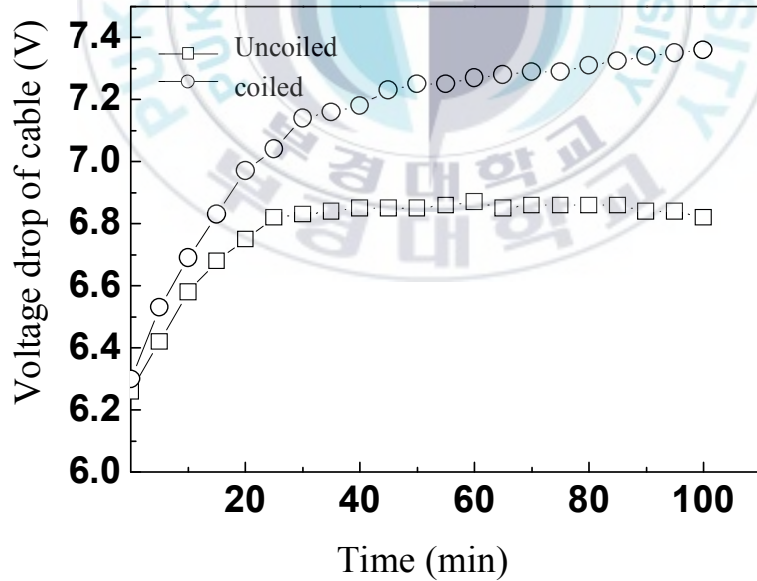


(b) Voltage

Fig. 3.4 Temperature and voltage drop of cable at 500A, 80% duty cycle



(a) Temperature



(b) Voltage

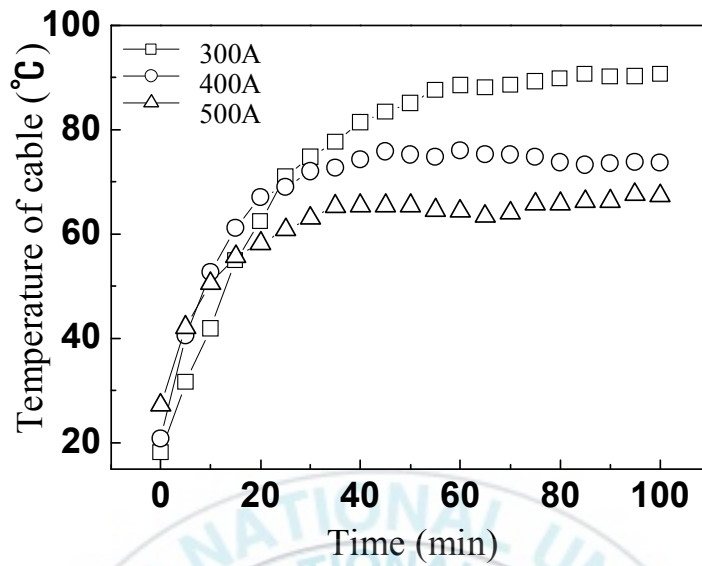
Fig. 3.5 Temperature and voltage drop of cable at 500A, 100% duty cycle depending on cable state

3.3.2 전류에 따른 케이블 온도 및 전압강하

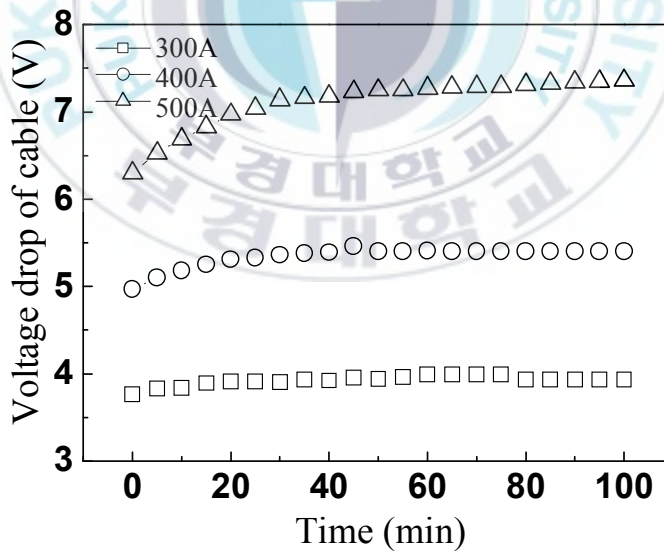
Fig.3.6은 단면적 68mm^2 를 가진 감김 없는 케이블을 100%사용률, 사용주기 100min에서 전류를 300, 400, 500A에서의 케이블 온도(a)와 전압 강하(b)를 나타낸 것이다. 100min후 케이블의 온도와 전압강하는 300A의 경우 41.0°C , 3.93V 이며 500A의 경우 87.1°C , 7.36V 를 나타내었다.

전류가 증가할수록 도체의 저항이 증가하여 케이블을 발열시키고 더 큰 전압 강하를 초래한 것으로 판단된다.





(a) Temperature



(b) Voltage drop of cable

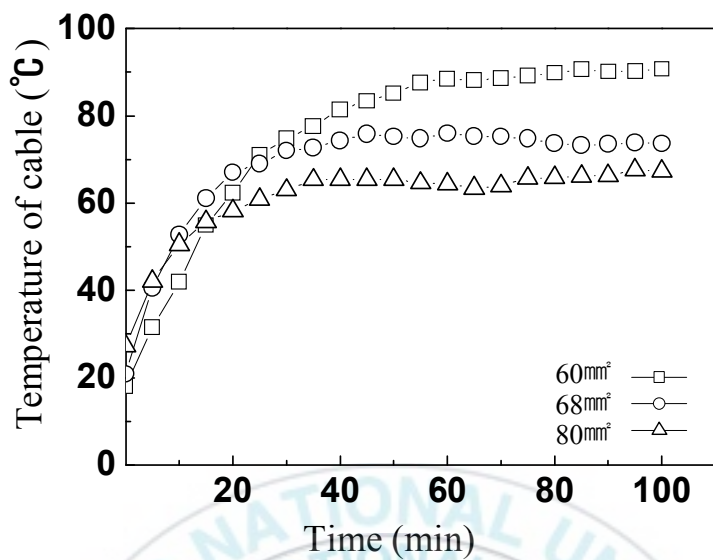
Fig. 3.6 Temperature and voltage drop depending on current for 68mm² cable, 100% duty cycle and 100min time period

3.3.3 케이블 용량에 따른 케이블 온도 및 전압강하

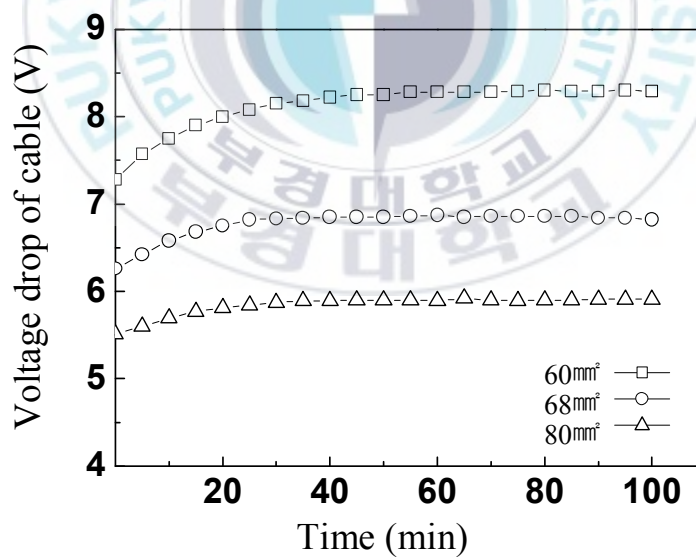
Fig. 3.7은 전류 500A, 사용률 100%, 사용주기 100min에서 케이블 용량에 따른 케이블 온도(a)와 전압 강하(b)를 나타낸 것이다.

100min후 케이블의 온도와 전압 강하는 60mm²의 경우 90.7℃, 5.91V이며 80mm²의 경우 67.3℃, 8.29V를 나타내었다. 이는 60mm²와 같이 단면적이 작으면 케이블의 저항이 증가하여 저항 발열로 인한 케이블의 과열 및 큰 전압 강하를 초래한 것으로 판단된다.





(a) Temperature



(b) Voltage drop of cable

Fig. 3.7 Temperature and voltage drop depending on sectional area of cable at 500A, 100% duty cycle and 100min time period

3.3.4 케이블 발열에 따른 고유저항 계산

Fig. 3.8은 케이블 용량에 따른 고유저항을 아래의 식 (9)를 이용하여 계산한 그래프이다.

$$\rho = R \cdot \frac{A}{L} \quad (9)$$

여기서, ρ 는 고유저항, R 은 도체 저항, A 는 케이블 단면적 그리고 L 은 케이블 길이를 나타낸다. 60mm^2 경우의 고유 저항은 $22.17 \mu\Omega \text{mm}$ 이고 80mm^2 경우는 $21.06 \mu\Omega \text{mm}$ 으로 이는 단면적이 작으면 저항이 증가하여 저항 발열이 야기되고 그 결과 고유 저항이 상승한 것으로 판단된다.

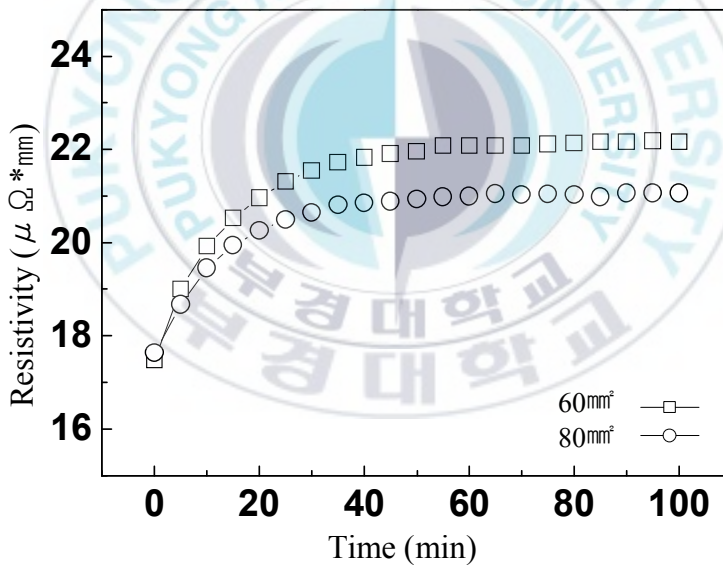


Fig. 3.8 Resistivity depending on sectional area of cable at 500A, 100% duty cycle and 100min time period

Fig. 3.9는 온도가 증가함에 따른 고유저항의 증가를 나타낸다.

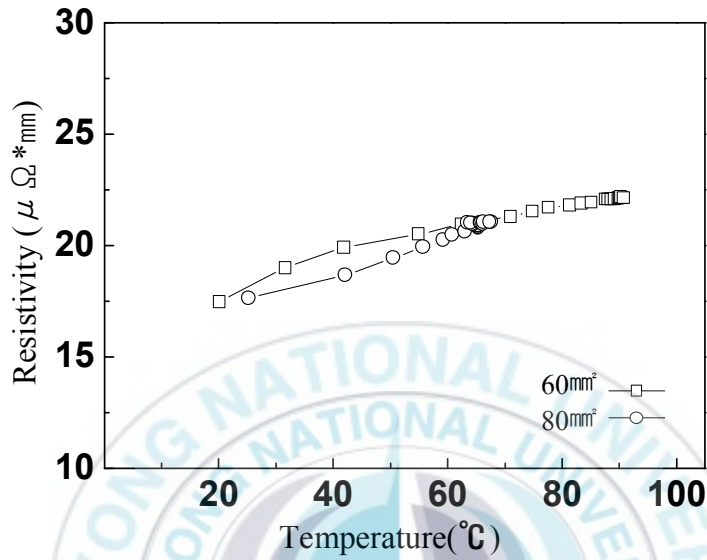


Fig. 3.9 Resistivity depending on temperature of cable at 500A, 100% duty cycle and 100min time period

3.3.5 케이블 발열에 따른 전력 손실 및 입열량 계산

Fig. 3.10와 같이 CV(Constant voltage) 전원의 볼트-암페어 특성은 무부하, 정격 및 완전 부하 상태 하에서 동일한 전압을 제공할 수 있도록 설계되어 있지만 대부분 CV용접기는 완전한 수평 곡선을 제공하지 않으며 약간 밑으로 치지는 형상이 나타난다. 만약 회로에서 부하가 변화되면 전원은 자동적으로 출력 전류를 조정하여 동일한 전압을 유지하게 된다.

CV 시스템에서 저항이나 전압 강하는 용접 아크, 케이블, 커넥터, 용접 토치 등에서 발생한다. 즉 회로에서 어떤 부품의 저항이 전압을 변화시키면 시스템에서 용접 전류를 변화시킴으로써 균형을 유지하게 된다.

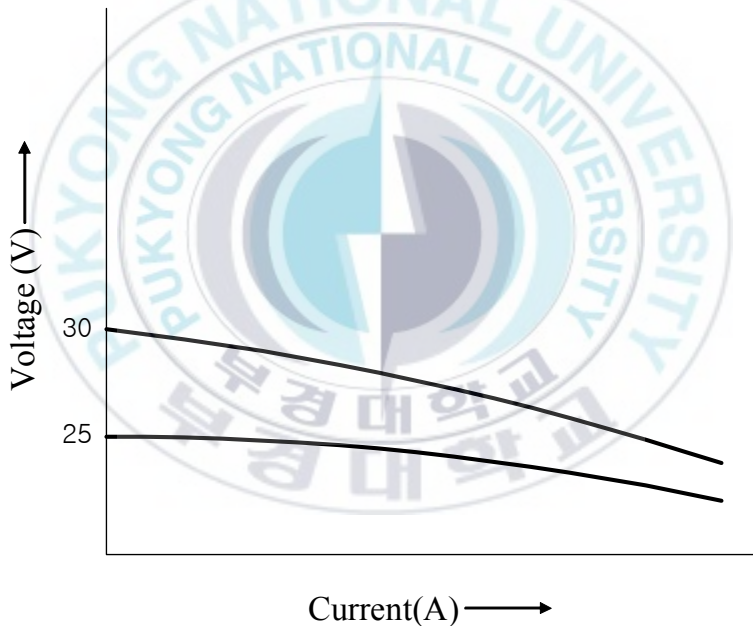


Fig. 3.10 Static voltage-current characteristic curve of CV welding machine

앞에서 설명한 식(4)의 용접 전원으로 부터 전압은 아크 전압, 와이어 돌출부의 전압, 용접회로의 전압 그리고 회로의 유도전압(인덕턴스)¹¹⁾의 합으로 나타낼 수 있다. 여기서 E는 용접 전원으로 부터의 전압(V), V_a 는 아크 전압(V), V_L 은 와이어 돌출부의 전압(V), R_c 용접 회로의 저항(Ω) 그리고 L_c 는 용접 회로의 인덕턴스(H)를 나타낸다.

$$E = V_a + V_L + R_c \cdot I + L_c \cdot \frac{dI}{dt} \quad (4)$$

본 연구에서는 와이어 돌출부(Stick out)의 전압을 아크 전압으로 보면¹²⁾,
¹³⁾ 단위시간당 전류의 변화량을 무시할 수 있으므로 용접전압을 식(10)과 같이 아크에 의한 전압과 아크를 제외한 회로에 의한 전압의 합으로 나타내었다.

$$V_{total} = V_{arc} + V_{cable} \quad (10)$$

따라서 케이블의 전압과 용접 전류의 곱으로 케이블의 전압 강하로 인한 전력손실 PL을 식(11)과 같이 계산 할 수 있으며 아크 전압과 용접 전류의 곱으로 입열량을 식(12)와 같이 계산할 수 있다.

$$PL = V_{cable} \times I \quad (11)$$

$$HI = V_{arc} \times I \quad (12)$$

Fig.3.11과 Fig. 3.12은 케이블의 전압 강하 증가로 인한 전력 손실과 입열량을 식(11)과 (12)로 계산한 그래프이다. 100min후 케이블의 용량에 따른 전압 강하 차이로 인하여 80mm²의 경우 전력 손실은 2.65kw인 반면 60mm²의 경우 3.72kw로 더 큰 전력 손실을 나타내었다. 따라서 100min후 두 케이블이 따른 입열량은 80mm²의 경우 10.95kw, 60mm²의 경우 9.84kw로 나타났다.

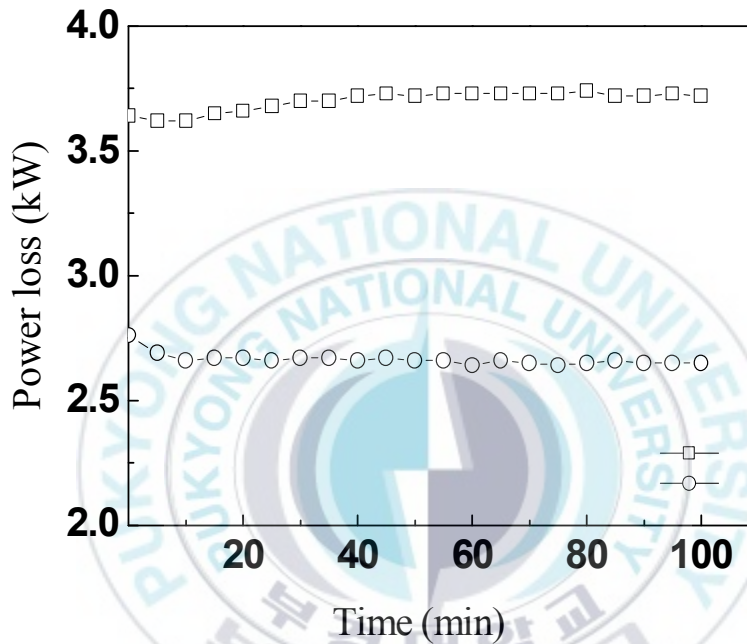


Fig. 3.11 Power loss depending on sectional area of cable at 500A, 100% duty cycle and 100min time period

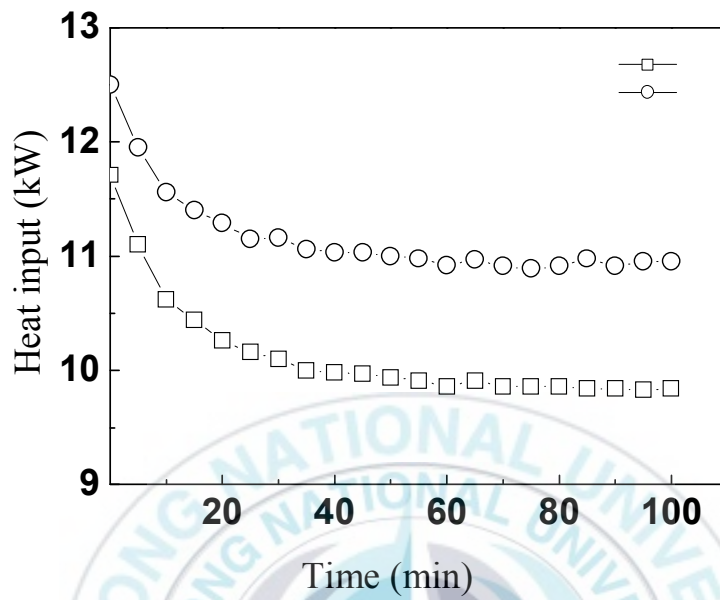


Fig. 3.12 Heat input of depending on sectional area of cable at 500A, 100% duty cycle and 100min time period

3.4 결론

용접용 싱글 커넥션 케이블의 발열상태에 따른 전류와 전압 강하 비교에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 사용률 60%에서 사용주기가 10min일 때, 최초주기 10min에서 케이블 온도는 36.0℃이고 전압강하는 6.46V이지만 10회 반복 후 56.7℃, 6.90V로 증가하는데 그쳤다. 그러나 사용주기가 100min일 때, 케이블의 온도와 전압강하는 115.1℃, 7.36V로 높게 나타나 더 넓은 온도와 전압 구간에서 케이블의 평가가 가능하였다. 따라서 기존의 KS : 아크 용접기 통칭 KS C 9001:2004에서 제시하고 있는 정격 사용률에 10분주기는 현장의 자동화가 늘어나 사용주기가 길어짐에 따라 케이블의 정격전류와 정격사용률을 평가하기에 충분하지 않으므로 사용주기를 100min으로 하여 충분히 넓은 구간에서 케이블을 평가해야 한다.
- 2) 전류가 증가할수록 도체의 저항이 증가하여 케이블을 발열시키고 더 큰 전압 강하를 초래하였다.
- 3) 용접기의 출력전압과 케이블의 전압 차로 아크 전압을 비교적 간단하게 계산할 수 있었다.
- 4) 케이블의 온도상승은 케이블 전압 증가와 아크 전압 감소를 야기하여 전력손실 증가 및 모재로의 입열량 감소를 초래하였다.

제 4 장 케이블의 용량과 발열상태에 따른 용접파형과 비드 관찰

4.1 서언

본 장에서는 케이블 용량과 발열 상태에 따른 용접 비드 형상과 용접시의 전류, 전압 파형을 관찰하고 비교하였다.

4.2 실험 재료 및 방법

4.2.1 실험 재료

본 연구에서는 용접용 싱글 커넥션 케이블의 도체 단면적을 60, 80mm², 길이 50m로 하여 두께 6mm의 연강판위에 1.4mm 플럭스 코어드 와이어를 사용하여 용접하였다.

4.2.2 실험 방법

Table 4.1은 용접 조건을 나타내고 Fig. 4.1은 용접 모식도를 나타낸 것이다. 케이블은 $\phi 800$ 로 9회 감은 상태로 하여 아래보기 용접으로 실험하였으며, 아크 모니터링 시스템(WAM-400N)으로 용접 전류, 전압을 계측하고 케이블의 전압은 멀티테스터를 이용하여 계측하였다. 케이블의 도체 온도는 출력 단자로부터 3m 떨어진 지점과 케이블의 정중앙의 25m 지점에서 계측하였다.

Table 4.1 Welding condition for experiments

Welding current	400A
Welding speed	100cpm
CTWD	25mm
Shield gas flow rate	CO ₂ 20ℓ/min

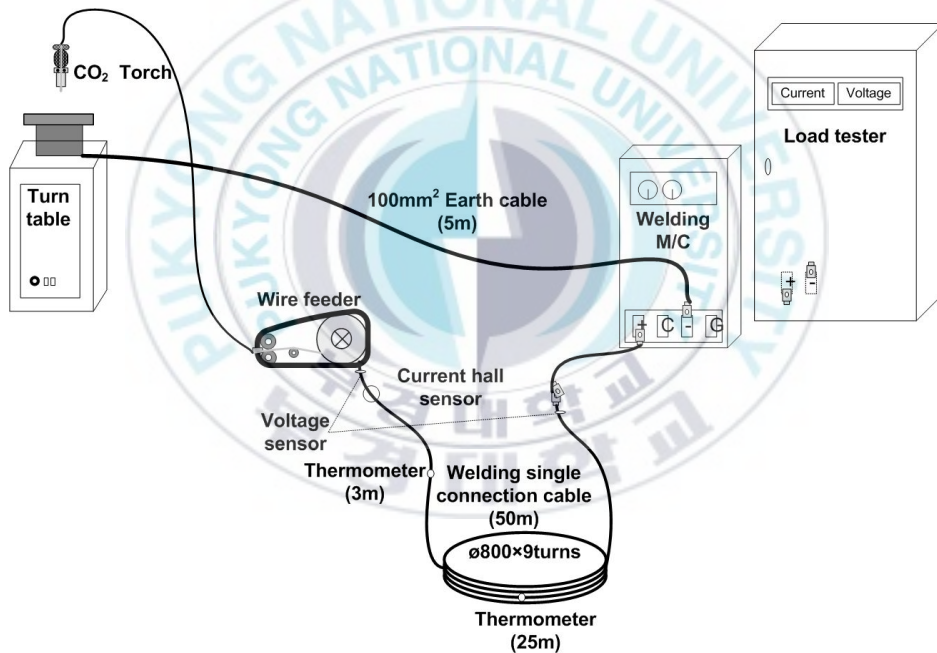


Fig. 4.1 Schematic of welding experiment setup

4.3 실험 결과 및 고찰

Table 4.2는 80mm²와 60mm²의 케이블을 용접 회로에 적용시켰을 경우의 용접 초기의 용접 파형과 비드 외관을 나타내었다. 그리고 400A에서 100min동안 부하시킨 60mm²의 과열된 케이블의 용접 파형과 비드 외관도 함께 나타내었다.

전압은 용접기 단자측에서 측정된 용접회로의 총 전압과 앞의 식(10)에 의해 구해진 아크 전압을 나타내었다. 80mm²와 60mm² 케이블 모두 용접 회로의 총전압은 38.39V와 38.54V로 유사하나 케이블 전압이 4.20V와 5.40V로 아크 전압은 80mm²의 경우 보다 60mm²의 경우 약 1.0V 높게 측정되었다. 비드 폭은 80mm²는 12.10mm, 60mm²는 10.34mm로 측정되었다. 이는 동일 조건하에서 80mm²의 경우 아크 전압이 60mm² 보다 높아 아크 길이가 길어져 더 넓은 비드 폭을 형성한 것으로 판단된다.

과열된 케이블의 용접 파형에서 용접 전압은 37.75V로 과열 전 용접 전압과 유사하나 아크 전압은 30.55V로 2.6V 떨어졌고 비드 폭도 9.71mm로 작아졌다. 비드 외관은 불안정한 아크로 인한 다량의 기공이 관찰되었다.

Fig. 4.2는 용접회로의 총 전압과 아크 전압을 비교한 그래프이다.

Table 4.2 Waveform and weld surface

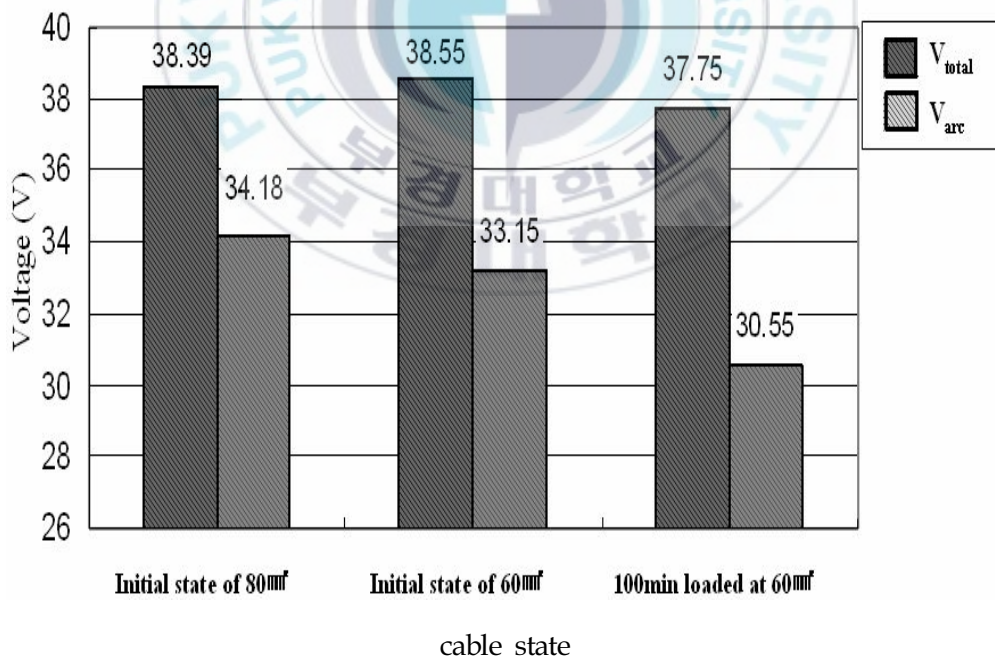
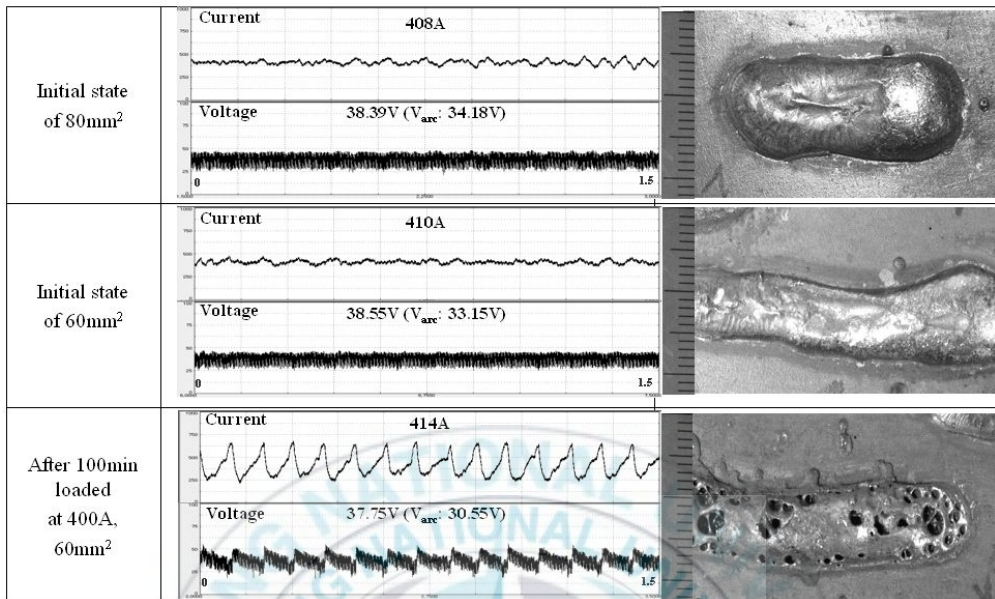


Fig. 4.2 V_{total} and V_{arc} depending on cable state

4.4 결론

케이블의 용량과 케이블에 400A에서 100min동안 부하시킨 후의 용접 비드와 파형 관찰에서 다음과 같은 결론은 얻었다.

- 1) 케이블의 용량이 작을수록 아크 전압의 감소로 인해 아크길이가 감소하여 비드폭이 좁아지는 것을 확인하였다.
- 2) 케이블의 과열로 인한 케이블 전압 강하 증가는 아크 전압을 감소시키고 비드폭을 좁게 하여 불안정한 아크로 다량의 기공을 야기한다.



제 5 장 결론

용접용 싱글 케이블의 발열상태에 따른 전류와 전압강하 및 입열량 변동의 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 사용률 60%에서 사용주기가 10min일때, 최초주기 10min에서 케이블 온도는 36.0°C 이고 전압강하는 6.46V 이지만 10회 반복 후 56.7°C , 6.90V 로 증가하는데 그쳤다. 그러나 사용주기가 100min일 때, 케이블의 온도와 전압강하는 115.1°C , 7.36V 로 높게 나타나 더 넓은 온도와 전압 구간에서 케이블의 평가가 가능하였다. 따라서 기존의 KS : 아크 용접기 통칭 KS C 9001:2004에서 제시하고 있는 정격 사용률에 10min의 사용주기는 현장의 자동화가 늘어 사용주기가 길어짐에 따라 케이블의 정격전류와 정격 사용률을 평가하기에 충분하지 않으므로 사용주기를 100min으로 하여 충분히 넓은 구간에서 케이블을 평가해야 한다.
- 2) 용접기의 출력전압과 케이블의 전압 차로 아크 전압을 비교적 간단하게 계산할 수 있었다.
- 3) 케이블의 온도 상승은 케이블 전압 증가와 아크 전압 감소를 야기하여 전력손실 증가 및 모재로의 입열량 감소를 초래하였다.
- 4) 아크 전압의 감소는 좁은 비드폭과 불안정한 아크를 발생시켰다.

참고 문헌

- 1) 대한용접학회편 : 용접 • 접합편람, 대한용접학회 (1998), pp.553-556
- 2) Howard B. Cary : Modern welding technology, Prentice Hall (2002), pp.317-364
- 3) Ed Gatfield : Choosing the right welding cable, Welding engineering (1972), pp.22-24
- 4) KS : KS C IEC 60364-5-52 Electrical installations of buildings—Part 5—52 : Selection and erection of electrical equipment—Wiring systems, Korean standards association (2004), pp.19-43
- 5) KS : KS C IEC 60245-6 Rubber insulated cables—Rated voltages up to and including 450/750 V—Part 6 : Arc welding electrode cables, Korean standards association (2005), pp.1-2,
- 6) 김길재 : 용접생산성 향상을 위한 CO₂ 용접 SINGLE CABLE 국산 개발과 현장 적용, 특별강연 및 학술발표대회 개요집, 제2권 (1985). pp.68-69
- 7) Terumi Nakamura : Development of ultra-narrow gap GMA welding process, Japan welding society, Technical commission on welding processes (2000), pp.2-1-2-6
- 8) P.G Jonsson : Power characteristics in GMAW, Welding journal, March (1995), pp.93s-102s
- 9) 조진안 : GTAW 용융효율 측정용 고성능 칼로리미터의 개발 및 그 응용, 부경대학교 대학원 석사학위 청구논문 (2007), pp.35-39
- 10) KS : KS C 9001 General rules for Arc Welder, Korean standards association (2004), pp.5-6

- 11) Nigel P. Cook : Practical electricity and electronics, SciTech (2002), pp.338-341
- 12) J.N. Dupont and A.R. Marder : Thermal efficient of arc welding processes, welding journal, December (1995), pp.406s-416s
- 13) T.P. Quinn : Arc sensing for defects in constant-voltage gas metal arc welding, welding journal, September (1999), pp.322s-328s



감사의 글

2005년 가을, 용접기자재 제조업체인 (주) 일홍의 대표이사이신 아버지의 추천으로 Welding IT Lab에 들어온 지가 엿그제 같은데 벌써 3년이란 시간이 흘렀습니다. 학부전공도 다르고 놓았던 공부를 다시 시작하는 것이 쉽지만은 않았지만 제 인생에 있어서 한 단계 도약할 수 있는 큰 발판을 마련할 수 있었습니다. 앞으로 지금까지의 노력을 토대로 대한민국 용접산업이 세계일류가 되는 그날까지 용접인의 꿈을 실현할 수 있도록 최선을 다하겠습니다.

먼저 부족했던 저를 많은 조언으로 이끌어 주시고 격려를 아끼지 않으셨던 조상명 지도 교수님께 진심으로 감사드립니다. 특히 교수님은 전문지식인으로써 지식창출 방법과 논리적 사고 및 문제해결 능력에 대한 중요성에 대해 많은 지도를 해주셨습니다.

대학원 과정에서 많은 지도를 해주신 박홍일 교수님, 서원찬 교수님, 김우열 교수님, 김성규 교수님, 이병우 교수님, 방국수 교수님, 이길근 교수님들께도 감사의 말씀을 올립니다. 논문 완성을 위해 많은 조언을 해주신 박홍일 교수님과 서원찬 교수님께 다시 한번 감사드립니다.

처음 연구실을 들어온 저에게 따뜻한 격려와 지도를 주셨던 오동수 박사님과 고명훈, 유광선, 김인태, 조진안, 김영주, 김대만, 윤승종, 김진욱 선배님들께 고마운 마음을 전합니다. 또한 힘든 고비 때마다 상담가 역할을 해주신 김외숙 비서님께도 진심으로 감사드립니다. 그리고 저의 정신적 지주이자 연구실 맏언니인 고미혜 박사과정 선배님과 늘 유쾌함을 잃지 않는 엘리트 함효식 박사과정 선배님께도 감사드립니다.

저의 유일한 동기이면서 먼저 졸업하신 고찬식님, 항상 후배들에게 모범이 되어주신 추용수님과 든든한 동갑내기 문영덕, 추환수님, 그리고 후배이지만 많은 도움을 주신 박인기, 김성덕, 황규민, 배광무, 윤영형, 김효원 후배님들과 새내기 임성빈, 하종문, 정연호, 박경도, 김성호님께도 감사

드립니다.

석사과정을 무사히 마칠 수 있도록 많은 배려를 아끼지 않으셨던 (주) 일흥의 김정애 이사님, 김석열 차장님, 김은화 과장님, 권재철 과장님, 김창섭 대리님, 이지현 대리님, 이정민 계장님, 신연혜 계장님 외 전 직원 여러분께 감사드립니다. 또한 따뜻한 관심으로 바라봐주신 현대중공업 권오중 기원님께도 감사의 말씀을 올립니다.

마지막으로 늘 저의 앞에서 빛이 되어주시며 걱정해주신 부모님께 고개 숙여 감사드립니다. 그리고 든든한 버팀목이 되어주신 큰언니와 형부, 선현이와 제부에게도 감사의 마음을 전하며 본 논문을 마칩니다.

