

# 동특성 다구찌 기법을 통한 Cu합금 와이어의 스폿용접 품질향상 연구

석호삼\* · 김연성\* · 유춘번\*\*

\*경기대학교 대학원 산업경영공학과

\*\*경기대학교 산업경영공학과

## A Study on the Improvement of Spot Welding Quality of Wire Cu Alloy by Taguchi Method for Dynamic Characteristics

Ho-sam Suk\* · Yeun-sung Kim\* · Choon-burn Yoo\*\*

\*Graduate School of Industrial Management Engineering, Kyonggi University

\*\*Dept.of Industrial Management Engineering, Kyonggi University

### ABSTRACT

**Purpose:** The purpose of this study is to find the optimum working conditions for spot welding of wire Cu alloys to achieve high-level quality. The parts subject to spot welding are brush card assemblies, which are the main module of the electric movement method of the car seat.

**Methods:** In this study, the signal-to-noise ratio(SN ratio) and the loss function [L(y)] are used as Taguchi method for dynamic characteristics.

**Results:** The results of the study are as follows. First, the analysis of variance using SN ratio showed 6 significant factors( $p = 0.1\%$  or less) among 7 factors except press force. Second, the optimal design of the dynamic characteristics is the tip exchange cycle: 50,000 ea., the welding time is 110 ms, the pressing force is 11 kgf/cm<sup>2</sup>, the rise time is 40 ms, and the tip dressing is 3,000 ea., Tip angle is 12° and electric current is 1,800 A.

**Conclusion:** The validity of the spot welding process of the manufacturer's brush card assembly was verified and proved to be consistent with the study results. The results of this study are expected to standardize the welding conditions and guarantee the quality level required by the customers.

**Key Words:** Spot Welding, Dynamic characteristics, Parameter Design.

● Received 5 December 2017, 10 December 2017, accepted 11 December 2017

† Corresponding Author(610shs@naver.com)

© 2017, The Korean Society for Quality Management

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-Commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

# 1. 서론

저항용접은 줄(Joule)의 법칙을 발견한 영국의 줄이 1875년에 최초로 시도한 것으로 알려지고 있으나, 당시에는 대형 전원장치가 없어서 실용화에는 실패하였다(Cho, Sangmyung. 1997. 1). 이는 현재 차량의 차체 접합에 많이 사용되고 있는 방법이다(Huh, Dongwoon. 2009. 6). 접합원리는 용접전류가 두 개 이상의 금속 사이를 흐르면서 금속 접촉면에서 발생하는 저항 변화에 의한 줄열에 의해 모재가 용접되는 현상을 이용한 공정으로, 용접 초기의 접촉면에는 금속의 요철과 산화막 등에 의한 높은 접촉저항이 형성되며, 이로 인해 접촉부의 온도는 급격히 상승하게 되어 금속이 가열되기 시작한다.

가열이 시작되면, 용융부의 고유저항은 증가되고 이로 인한 접촉부의 용융이 시작되고 가압력을 받음으로써 전류의 통전에 의해 바둑돌 모양의 너깃이 형성된다. 이 원리를 [Figure 1-1]에 도식적으로 설명하였다(Shim, Junghyun. 2011. 4).

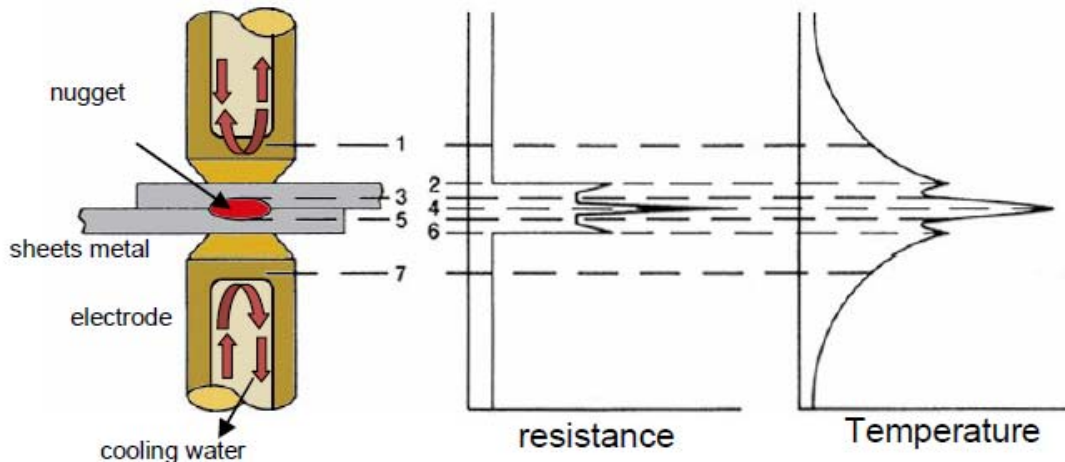


Figure 1-1. Graph of resistance as a function of location in the welding process

이때 발생하는 저항 열은 전류의 제곱에 비례하고, 회로 저항과 전류를 흘린 시간인 통전 시간에 비례한다. 이는 다음의 식과 같이 나타낸다(Suk, Hosam. 1995. 3).

$$Q = I^2 Rt (.J) = 0.238 I^2 Rt (cal)$$

지금까지 실제 산업현장에서 3대 주요 조건을 잘 관리한다 하더라도 용접부의 접합 강도를 원하는 수준으로 유지하는 것이 용이하지 않기 때문에 그래서 용접부의 용접강도를 확보하기 위해서는 용접부의 품질변화를 실시간으로 모니터링 하여 최적의 용접상태를 얻을 수 있도록 제어해야 한다(Kang, Sungkwan. 2016. 2). 지금까지 저항 점용접에 관한 국내의 문헌을 보면, 저항 점용접에 영향을 주는 인자는 용접전류, 용접시간, 가압력이다(Kim, Hyunjoong. 2015. 15-16). 즉 3개 인자 중에서 각각 2개 인자를 고정하고 1개 인자를 변화시키면서 용접 품질 변화를 감지할 수 있는 방법이 알려져 있다(Yoon, Hanki., Kim, Guntae., and Yoo, Inil. 1999. 216-218).

언급된 바와 같이 기존의 일부 연구는 설계변수 1개 또는 2개인자만 가지고 한 번에 한 인자만 가지고 수준간 비교한 실험사례가 주 내용이었다(Kang, Changgu. 2015, 20-31). 최근에 와서 설계변수 4개를 정적특성(인장강도,

외관 : 망대특성) 중심으로 L9(34)직교배열표 실험을 통하여 최적화한 사례 연구를 볼 수 있다(Park, Kyungjin. 2000. 127-144). 본 연구에서는 보다 합리적인 실험계획법의 원리에 따른 품질공학적인 절차와 분석방법인 신호 대 잡음비(SN비) 및 손실함수[L(y)]을 이용하여 기존의 정규성을 가정한 분산분석(ANOVA)법과 비교 검정하고, 선경(wire diameter)에 따른 다 규격의 용접강도의 품질수준을 달성하기 위한 최적 작업조건 실험설계를 [Figure 1-2]와 같이 연구모형 및 절차를 설정하였다. 이를 위한 연구모형의 실험은 자동차 부품 생산업체인 태일산업(주) 스폿용접공정에 12개월에 걸쳐 실시하였다.

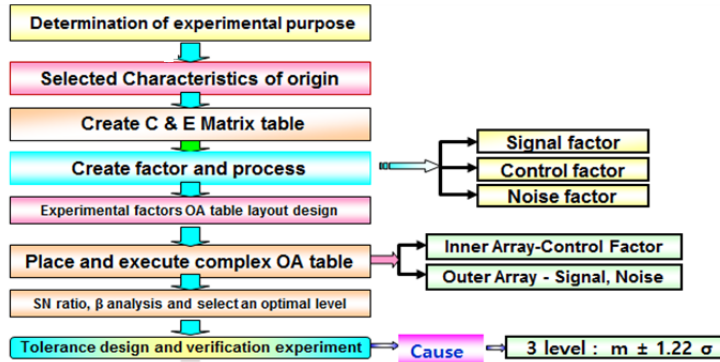


Figure 1-2. Parameter design model and promotion procedures

많은 실험과 시행착오를 통해 그 조건을 설정하는 것은 비효율적인 일이므로, 보다 적은 실험과 용접품질을 나타낼 수 있는 용접 공정 모델을 사용하여 양호한 용접부를 얻기 위한 최적 용접 조건을 얻을 필요가 있다(Park, Sunghyun., Oh, Youngkeun., Kim, Taehyung., and Lee, Seheon. 2002. 19-21). 최근 자동차 시트는 고급차 중심이 아닌 1600 cc 정도의 소형급에서도 기존의 수동식으로 이동되던 시트가 전동 이동방식으로 전환되고 있다. 전동방식의 핵심 모듈은 DC Motor 및 브러쉬 카드 어셈블리(Brush Card Ass'y)이다. 이러한 전동방식의 시트는 중대형급 차량에서 소형급 차량까지 수요가 늘어나고 있지만, 브러쉬 카드 어셈블리(Brush Card Ass'y)를 생산할 시 기존에는 납땜(Pb Soldering)공법을 적용하면 여러 부품과 공정으로 인해 생산성 저하 및 원가 증대가 발생 되었다. 또한 차량증량으로 인한 연비개선은 선택이 아니라 필수이고(Jo, Beomji., Kim, Jisun., Yoo, Hyosang., Kim, Inju., Lee, Seonghui., and Kim, Younggon. 2015. 56-61). 또한 납땜의 유해물질 발생 등으로 인해 환경문제가 대두되어서 새로운 공법이 필요하게 된 것이다.

따라서 본 연구에서는 선경에 따른 용접강도에 영향을 주는 설계변수를 신호인자, 제어인자, 잡음인자를 구분하여 내측 외측으로 나누어 배치하고  $L_{18}(2^1 \times 3^7)$  직교배열표(Park, Kyungjin. 2000. 127-144)를 사용하여 SPOT용접 품질향상을 위한 동특성의 최적화 설계를 하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 사용재료 및 실험장치

본 실험에 사용된 재료는 구리합금 리드선(lead wire)의 선경이 0.4φ, 0.65φ, 0.8φ이고, 실험장비 MODEL TSI-5000, TST-5000T로 실험을 실시하였으며, 화학성분 및 실험장비는 [Figure 2-1]과 같다.

( unit: Wt %)

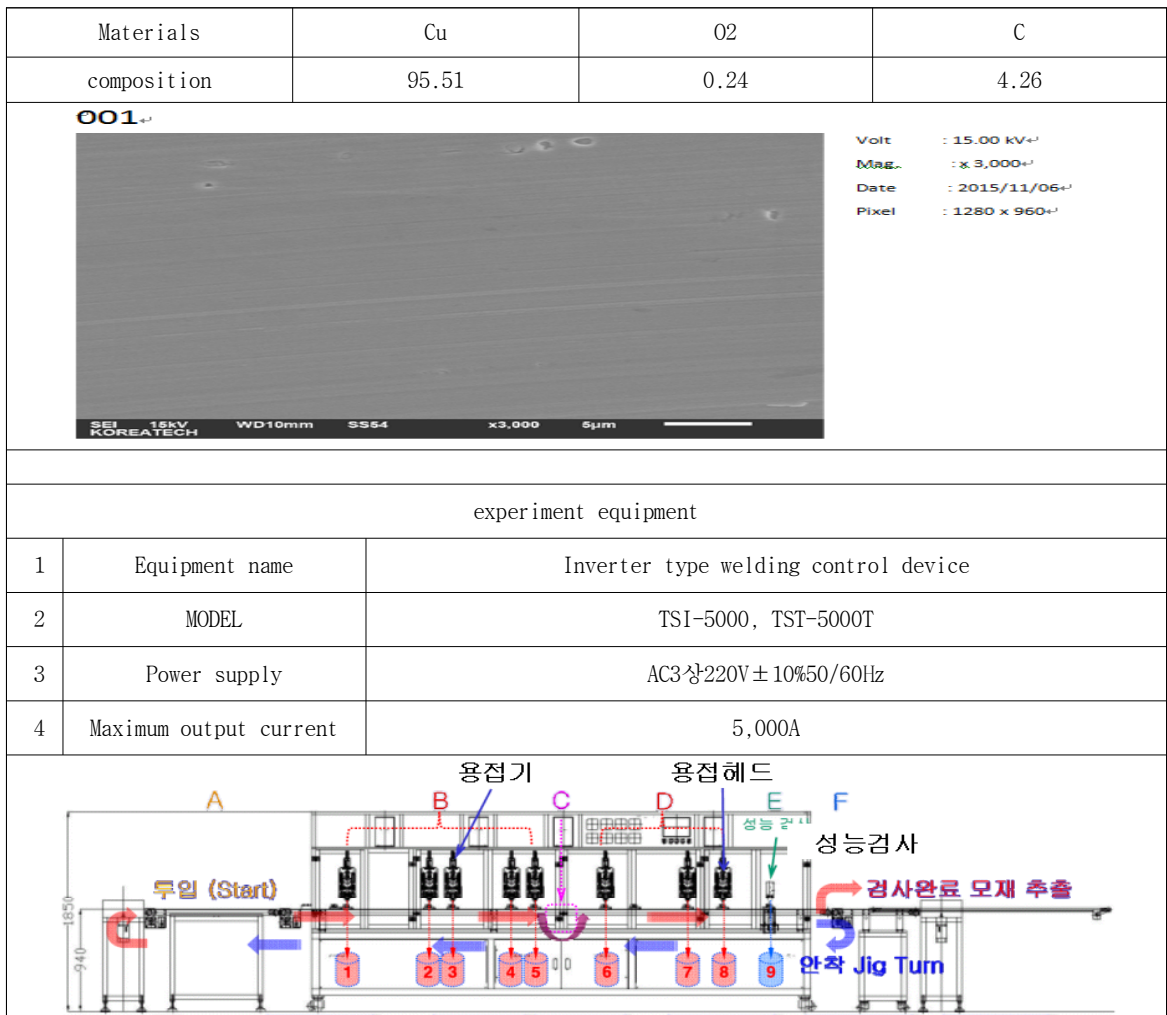


Figure 2-1. chemical composition of Wire, Experimental equipment

구리합금 선경 0.4φ, 0.65φ, 0.8φ에 대하여 스폿용접을 위하여 용접기는 태일산업(주)에서 제작하여 12개월 동안 샘플링(초물, 중물, 종물)하여 실험실시 하였다.

## 2.2 접합부에 관한 개요도 및 용접강도 평가방법

접합의 개요는 용접전, 용접과정, 용접후로 3단계로 나누어지며, 용접강도 평가방법은 리드 선경 0.4φ, 0.65φ, 0.8 φ 에 대하여 초물 5개 실험, 중물 5개 실험, 중물 5개 실험하여 인장강도 5kgf/cm<sup>2</sup> 이상이면 합격, 5kgf/cm<sup>2</sup> 미만이면 불합격이다. 접합부 개요 및 용접강도 평가방법은 [Figure 2-2]와 같다.

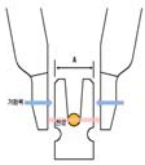




Outline map of weld configuration						
Before SPOT Welding		SPOT Welding Process			Products after spot welding	
					<p><b>Brush Card Ass'y</b></p> 	
Tip Angle Tip Exchange cycle Tip dressing Pressing force		Welding time Rise time Current				
Weld strength evaluation method						
signal	M	Wire diameter	0.4cm	0.65cm	0.8cm	
Noise	N	Measuring position	P2	P1	P3	
		Measuring Environment	middle	initial	final	
		Tensile test	5 times	8.29 ms	7.25 ms	6.35 ms
Tensile testing machine						
						

Figure 2-2. Outline map of weld configuration and weld strength evaluation method

### 2.3 공정흐름도 파악 (Identify process flow)

본 연구를 위하여 자동 Spot Welding의 공정 흐름과 요구되는 관리항목을 도출하였으며, 이에 따른 공정 흐름도는 [Figure 2-3]와 같다.

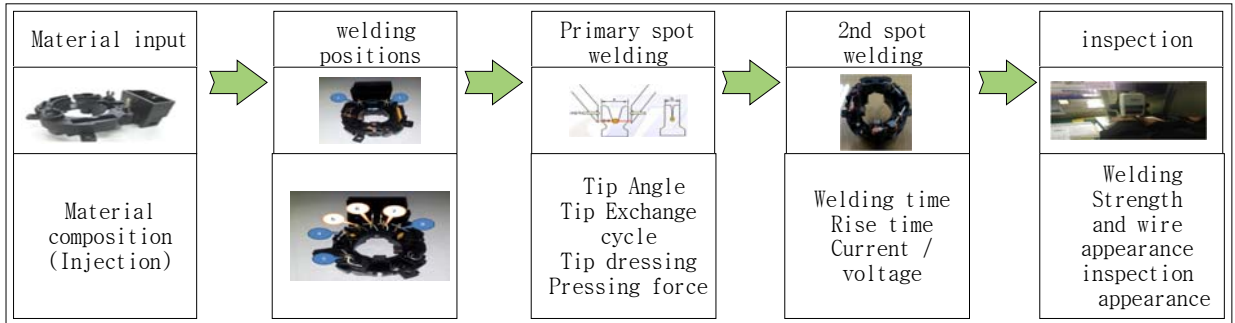


Figure 2-3. Spot welding process flow chart

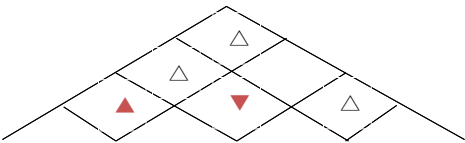
### 2.4 실험계획

실험방법은 선경에 따른 용접강도에 영향을 주는 설계변수를 신호인자, 제어인자, 잡음인자를 구분하여 내측 외측으로 나누어 배치하고  $L_{18}(2^1 \times 3^7)$  직교배열표(Park, Kyungjin. 2000. 127-144)를 이용하여 실험 하였다.

#### 2.4.1 Summary of C & E Matrix Chart of Spot Welding Strength

[Table 2-1]과 같이 주요 결과특성(Y1)은 용접강도로 55.3% 점유하고 있고, X1(전류), X2(팁 교환주기), X3(팁 드레싱), X4(용접시간), X5( Tip 각도), X6(상승시간) X7(가 압력)등이 44.7% 점유하고 있어 실험요인으로 선정하였다.

Table 2-1. The spot welding strength C & E Matrix Chart



cause \ Effect		Y1	Y2	Y3	Y4	sum	Share
		Welding Strength	Lack of welding	Lead wire broken	Lead wire deflection		
		5	1	3	2		
X1	Electric Current	●	○	◎	○	37	14.1
X2	Tip Exchange cycle	○	◎	●	○	25	9.54
X3	Tip dressing	●	●	◎	◎	45	17.17
X4	Welding time	●	◎	○	○	33	12.60
X5	Tip Angle	◎		◎	◎	30	11.45
X6	Rise time	○	○	●	○	23	8.78
X7	Pressing force	●	●	◎	○	41	15.65
X8	Voltage	○		○	○	10	3.82
X9	Material composition	◎		○		18	6.87
sum		145	18	75	24	262	100
Share		55.3	6.9	28.6	9.2		100

2.4.2 와이어 Cu 합금의 Spot Welding에 대한 최적 작업조건 파라메타 실험설계

스폿용접의 최적 작업조건 실험설계를 하는 데는 테마명, 특성치, 규격, 실험목적, 특성치에 따른 요인 도출, 주요 인자 구분 및 프로세스 차트, 실험인자구분 및 수준선정표 등 작성한 것은 [Table 2-2]와 같다.

Table 2-2. Experimental design an optimal operating conditions of the spot welding table

THEME명	Optimization of Spot Welding Condition of Wire Cu Alloy by Wire Diameter									
Characteristic	Wire diameter welding strength			Spec	mi ± 0.5					
Purpose of experiment	In order to optimize the operation of the spot welding machine according to the wire diameter(0.4φ, 0.65φ, 0.8φ)the welding strength in the preceding step is to set the optimum working condition									
Derived factor according to the characteristics										
Key factoring and PROCESS CHART										
Experimental factors classification and level selection table	assortment	mark	Factor name	unit	Column number	Literature Criteria	Current basis	Number of levels you want to change		
								0	1	2
	Control Factor	G	Tip Exchange cycle	ea.	1	40,000~50,000	50,000	45,000	50,000	
		F	Tip dressing	ea.	2	2000~3500	3000	2,000	2,500	3,000
		B	Welding time	ms	3	70~120	100	90	100	110
		C	Pressing force	kgf/cm <sup>2</sup>	5	5~13	11	10	11	12
		A	Tip Angle	°	6	10~15	11	12	13	14
		D	Rise time	ms	7	20~60	30	30	40	50
		H	Electric current	A	8	1,600~2,000	1,800	1,800	1,850	1,900
signal	M	Wire diameter					0.4	0.65	0.8	
Noise	N	Measuring position				P2	P1	P3		
		Measuring Environment			5회	middle	initial	final		



## 2.5 용접실험

### 2.5.1 파라메타 실험요인배치 및 실험실시

선경에 따른 용접강도에 영향을 주는 설계변수를 신호인자, 제어인자, 잡음인자를 구분하여 내측 외측으로 나누어 배치하고  $2^1 \times 3^7$  요인실험을 1458회 정도 실험을 실시해야 하는데 균형이 잡힌  $L_{18}(2^1 \times 3^7)$  직교배열표를 이용하여 실험배치 및 실시한 측정 데이터는 [Table 2-3]과 같다. 잡음인자를 설정을 통하여 실현성을 높이기 위하여 작업현장에서 사용되는 측정위치와 로트별 작업시기를 잡음인자로 잡았다. 측정위치는 리드선의 왼쪽, 가운데, 오른쪽을 지정하였으며, 로트별 작업시기는 초물, 중물, 종물로 구분하여 잡음인자의 수준을 정하였다.

Table 2-3.  $L_{18}(2^1 \times 3^7)$  Orthogonal Array Experiment Placement and Measurement Data Table

$L_{18}(2^1 \times 3^7)$ Orthogonal Array Table																
division		Control Factor								Signal Factor (M)						
source	단위	G	F	B	e	C	A	D	H	M1	M2	M3				
		ea.	ea.	ms		kgf/cm <sup>2</sup>	°	ms	A	cm	cm	cm				
division		Tip Exchange cycle	Tip dressing	Weld-ing time	Error	Press-in g force	Tip Angle	Rise time	electric current	Wire diameter 0.4	Wire diameter 0.65	Wire diameter 0.8				
		Noise Factor (N)														
level	s	0	45000	2000	90		10	12	30	1800	N0	N1	N0	N1	N0	N1
		1	50000	2500	100		11	13	40	1850	position P1	position P3	position P1	position P3	position P1	position P3
		2		3000	110		12	14	50	1900	Environm ent initial	Environm ent final	Environm ent initial	Environm ent final	Environm ent initial	Environm ent final
STD	Ranc om	Column number								y1	y2	y1	y2	y1	y2	
		1	2	3	4	5	6	7	8							
1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	5.21	5.64	7.26	7.46	8.16	8.92	
2	18	0	0	1	1	1	1	1	1	5.59	5.31	6.46	6.95	8.96	8.25	
3	6	0	0	2	2	2	2	2	2	5	5.46	6.82	7.04	8.98	8.49	
4	12	0	1	0	0	1	1	2	2	4.31	4.95	5.72	6.1	8.73	8.15	
5	1	0	1	1	1	2	2	0	0	4.03	4.82	6.05	6.28	8.13	9.05	
6	8	0	1	2	2	0	0	1	1	4.74	4.92	5.87	6.18	8.06	8.97	
7	11	0	2	0	1	0	2	1	2	4.92	4.69	6.46	5.98	8.16	8.66	
8	10	0	2	1	2	1	0	2	0	4.33	4.59	6.21	6.36	7.87	8.06	
9	5	0	2	2	0	2	1	0	1	5.21	5.15	7.42	7.44	8.87	8.17	
10	15	1	0	0	2	2	1	1	0	4.64	4.87	6.35	6.49	8.98	8.14	
11	17	1	0	1	0	0	2	2	1	5.74	5.67	7.33	7.67	8.17	8.98	
12	9	1	0	2	1	1	0	0	2	4.95	4.23	6.97	7.14	8.15	8.74	
13	16	1	1	0	1	2	0	2	1	4	5.44	6.26	7.67	8.19	8.57	
14	4	1	1	1	2	0	1	0	2	5.03	5.95	8.21	7.98	8.77	8.98	
15	3	1	1	2	0	1	2	1	0	4.95	5.01	7.1	7.05	8.77	8.87	
16	7	1	2	0	2	1	2	0	1	5.9	5.13	8.36	7.89	8.56	8.88	
17	14	1	2	1	0	2	0	1	2	4.49	4.9	6.56	7.74	8.36	8.65	
18	13	1	2	2	1	0	1	2	0	4.62	4.78	6.27	6.89	8.77	8.96	

2.5.2 실험 데이터 동 특성 통계량 계산

$L_{18}(2^1 \times 3^7)$  실험데이터에서 제1행부터 18행까지  $\bar{y}$ (평균),  $\sqrt{V_e}$  (표준오차),  $\beta$ (기울기), SN비(신호 대 잡음비) 통계량 계산은 [Table 2-4]와 같다.

Table 2-4.  $L_{18}(2^1 \times 3^7)$  Experimental data statistic calculation table

STD No	G	F	B	e	C	A	D	H	$\bar{y}$	$\sqrt{V_e}$	$\beta$	SN Ratio
	Column number											
	1	2	3	4	5	6	7	8				
1	0	0	0	0	0	0	0	0	7.108	0.713	11.28	23.98
2	0	0	1	1	1	1	1	1	6.920	0.786	10.98	22.90
3	0	0	2	2	2	2	2	2	6.965	0.584	11.11	25.59
4	0	1	0	0	1	1	2	2	6.327	0.670	10.18	23.63
5	0	1	1	1	2	2	0	0	6.393	0.591	10.35	24.85
6	0	1	2	2	0	0	1	1	6.457	0.711	10.36	23.26
7	0	2	0	1	0	2	1	2	6.478	0.583	10.38	25.01
8	0	2	1	2	1	0	2	0	6.237	0.341	10.01	29.36
9	0	2	2	0	2	1	0	1	7.043	0.576	11.22	25.79
10	1	0	0	2	2	1	1	0	6.578	0.524	10.57	26.09
11	1	0	1	0	0	2	2	1	7.260	0.870	11.47	22.59
12	1	0	2	1	1	0	0	2	6.697	0.366	10.78	29.37
13	1	1	0	1	2	0	2	1	6.688	0.715	10.73	23.52
14	1	1	1	2	0	1	0	2	7.487	0.725	11.91	24.30
15	1	1	2	0	1	2	1	0	6.958	0.354	11.16	29.96
16	1	2	0	2	1	2	0	1	7.453	0.796	11.83	23.43
17	1	2	1	0	2	0	1	2	6.783	0.479	10.90	27.14
18	1	2	2	1	0	1	2	0	6.715	0.447	10.84	27.70

이중에서 제1행의 SN비를 계산하기위한 분산분석은 [Table 2-5]와 같으며 통계량 측도의 계산 예와 절차는 3)과 같다.

**Table 2-5.** Experimental data in the first row and ANOVA table

1) Experimental data in the first row

Experimental data in the first row								
1 row	M <sub>1</sub> (0.4)	M <sub>2</sub> (0.65)	M <sub>3</sub> (0.8)	$\bar{y}$	s	$\beta$	SN Ratio	remark
N <sub>0</sub>	5.21	7.26	8.16	7.108	1.435	10.89	23.98	
N <sub>1</sub>	5.64	7.46	8.92					
T <sub>1i</sub>	10.85	14.72	17.08					

2) ANOVA table in row 1

ANOVA table in row 1					
Source	SS	$\phi$ (DF)	V	F <sub>0</sub>	p value
$\beta$	310.93	1	310.93	612.44	0.0000
e	2.54	5	0.51		
T	313.46	6			

2.5.3 제1행 통계량 측도(동특성 SN비) 계산 예

$$(1) \bar{y}_{1\text{행}} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} = \frac{38.87}{6} = 7.108 \quad , \quad (2) s_{1\text{행}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (y_{i\text{행}} - \bar{y}_{1\text{행}})^2}{n_{1\text{행}} - 1}} = 1.435$$

$$(3) SS_{T_{1\text{행}}} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^2 y_{ij}^2 = 5.21^2 + 5.64^2 + 7.26^2 + 7.46^2 + 8.16^2 + 8.92^2 = 313.46$$

$$(4) SS_{(MM)} = r^* = m \times \sum_{i=1}^3 M_i = 2 \times (0.4^2 + 0.65^2 + 0.80^2) = 2.45$$

$$(5) SS_{(My)_{1\text{행}}} = \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^6 (M_i y_{i1\text{행}}) = 27.57$$

$$= [(0.4 \times 5.21) + (0.4 \times 5.64) + (0.65 \times 7.26) + (0.65 \times 7.46) + (0.80 \times 8.16) + (0.80 \times 8.92)]$$

$$(6) \beta_{1\text{행}} = \frac{SS_{(My)}}{SS_{(MM)}} = \frac{SS_{(My)}}{r^*} = \frac{27.57}{2.45} = 11.28$$

$$(7) SS_{\beta_{1\text{행}}} = \frac{[SS_{(My)}]^2}{SS_{(MM)}} = \frac{[SS_{(My)}]^2}{r^*} = \frac{27.57^2}{2.45} = 310.93$$

$$(8) \phi_{\beta_{1\text{행}}} = \text{독립변수 수} = k = 1, \quad (9) V_{\beta_{1\text{행}}} = \frac{SS_{\beta_{1\text{행}}}}{1} = \frac{310.93}{1} = 310.93$$

$$(10) V_{e_{1\text{행}}} = \frac{SS_{e_{1\text{행}}}}{\phi_{e_{1\text{행}}}} = \frac{2.54}{5} = 0.51, \quad (11) F_0 = \frac{V_{\beta_{1\text{행}}}}{V_{e_{1\text{행}}}} = \frac{310.93}{0.51} = 612.44$$

$$(12) F_{\text{표준값}} = F_{(1-\alpha, \phi_{\beta_{1\text{행}}}, \phi_{e_{1\text{행}}})} = F_{(0.95, 1, 5)} = 6.61$$

$$(13) p\text{-값} = 1 - \text{FDIST}(F_0, \phi_{\beta_{1\text{행}}}, \phi_{e_{1\text{행}}}, \text{True}) = 1 - \text{FDIST}(612.44, 1, 5) = 0.0000$$

$$(14) SN_{\text{비}}|_{1\text{행}} = 10 \log_{10} \frac{\frac{1}{r^*}(SS_{\beta} - V_e)}{V_e} = 10 \log_{10} \frac{\frac{1}{2.45}(310.93 - 0.51)}{0.51} = 23.98 \text{ db}$$

이와 같은 방법으로 제2행부터 제18행 까지 구하면 된다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 $\beta$ 와 동특성 SN비의 비교 검정

##### 3.1.1 $\beta$ (기울기)의 분산분석(ANOVA)표

기존 정규성에 따르는  $\beta$ (기울기)에 대한 분산분석표는 [Table 3-1]과 같다.

Table 3-1.  $I_{18}(2^1 \times 3^7)$  ANOVA table of  $\beta$  (slope) data

ANOVA table of $\beta$ (slope) data									
Source	SS	DF	V	$F_0$	p value	$F_0'$	pooling p value	SS'	$\rho$
A	0.548	2	0.274	1.43	0.32				
B	0.035	2	0.017	0.09	0.91				
C	0.175	2	0.087	0.46	0.66				
D	0.899	2	0.449	2.35	0.19	2.89	0.09	0.588	6.25
F	0.085	2	0.042	0.22	0.81				
G	0.935	1	0.935	4.89	0.07	6.03	0.03	0.780	8.29
H	0.414	2	0.207	1.08	0.41				
e (error)	0.383	2	0.191						
pooling e	2.173	14	0.155					3.02	32.11
T	4.390	17						4.390	100.0

[Table 3-1]과 같이 설계변수 7 개중 1개 G(팁 교환주기) 실험인자만 유의수준  $p=0.03$ 로 유의하고 D(상승시간)은  $p=0.09$ 로 기술적으로 의미가 있다고 판단한다. 따라서 용접강도에 기여하는 정도는 전체 중 14.54% 정도 용접강도에 영향을 주고 있다고 판단한다. 여기서 순변동(Pure Sum of Square)과 기여율(Contribution rate)을 구하는 계산식은 다음과 같다.

$$(1) SS'_G(G\text{인자 순변동}) = SS_G - (\phi_G \times V_e) = 0.935 - (1 \times 0.155) = 0.780$$

$$SS'_D(D\text{인자 순변동}) = SS_D - (\phi_D \times V_e) = 0.899 - (2 \times 0.155) = 0.588$$

$$(2) \rho_G(G\text{인자 기여율}) = \frac{SS'_G}{SS_T} \times 100 = \frac{0.780}{4.390} \times 100 = 8.29 \%$$

$$\rho_D(D\text{인자 기여율}) = \frac{SS'_D}{SS_T} \times 100 = \frac{0.588}{4.390} \times 100 = 6.25 \%$$

### 3.1.2 $\beta$ (기울기)의 요인효과 그래프

[Figure 3-1]과 같이 기울기(다수의  $\bar{y}$ )에 영향을 주는 요인은 D(상승시간), G(팁 교환주기)이므로 목표 값을 조정할 때 활용되는 요인변수이나 G(팁 교환주기)는 산포에도 영향을 주므로 산포중심으로 최적수준을 선정한다.

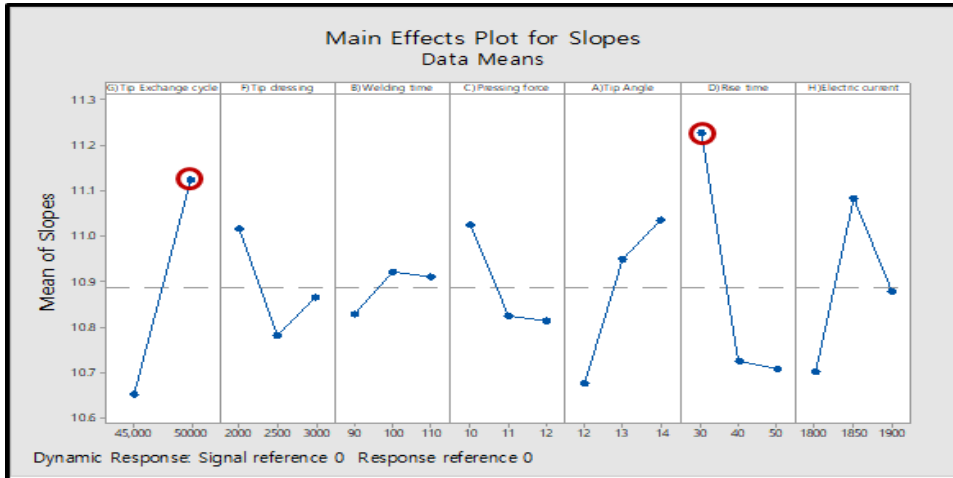


Figure 3-1.  $\beta$ (Slope) factor effect graph

### 3.1.3 SN비(Signal to Noise Ratio)의 분산분석(ANOVA)표

선경에 따른 용접강도의 산포에 영향을 주는 요인의 분산분석은 [Table 3-2]와 같다.

Table 3-2.  $L_{18}(2^1 \times 3^7)$  ANOVA table of SN ratio (dispersion) data

ANOVA table of SN ratio (dispersion) data									
Source	SS	DF	V	$F_0$	p value	$F_0'$	pooling p value	SS'	$\rho$
A	11.527	2	5.764	70.41	0.000	43.77	0.000	11.264	11.82
B	22.047	2	11.024	134.66	0.000	83.72	0.000	21.784	22.86
C	11.622	2	5.811	70.98	0.000	44.13	0.000	11.358	11.92
D	0.626	2	0.313	3.83	0.098	2.38			
F	7.926	2	3.963	48.41	0.001	30.10	0.000	7.662	8.04
G	5.285	1	5.285	64.56	0.000	40.14	0.000	6.163	5.41
H	36.106	2	18.053	220.53	0.000	137.11	0.000	35.843	37.61
e (error)	0.164	2	0.082						
pooling e	0.790	6	0.132					2.24	2.35
T	95.303	15						95.303	100.00

[Table 3-2]와 같이 설계변수 7 개중 6 개 실험인자가 통계적으로 매우유의( $p = 0.000$ )하고 용접강도 산포에 영향을 주는 인자는 A(팁 각도), B(용접시간), C(가 압력), F(팁 드레싱), G(팁 교환주기), H(전류)로 전체 중 97.65% 정도가 용접강도에 영향을 주고 있다고 판단된다.

### 3.1.4 SN비의 요인 효과 그래프

$L_{18}$  실험한 결과 동특성 SN비에 크게 영향을 주는 요인별 그래프는 [Figure 3-2]와 같다.

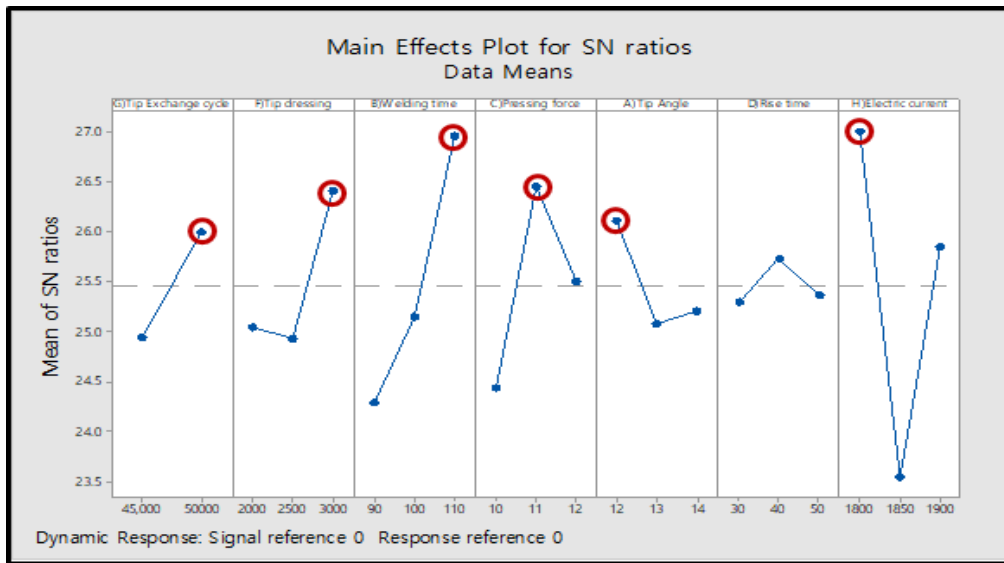


Figure 3-2. Factor effect graph of signal-to-noise ratio (dispersion)

[Figure 3-2]와 같이 요인별 그래프에 나타난 적색 ○ 표시는 최적수준을 의미하며 통계적으로도 유의수준( $P$ ) 0.000 %로 매우 유의함을 알 수 있다. 따라서 최적조합 수준은 A(팁각도:12), B(용접시간:110), C(가압력:11), F(팁 드레싱: 3,000), G(팁 교환주기:50,000), H(전류:1,800)로 정하고 D(상승시간)는 유의하지 않아 경제성 및 작업성을 고려하여 정하되 기울기에 영향을 주므로 수준을 정 할 때는 3개의 목표 값에 일치되게끔 기울기 값으로 설정하는 것이 바람직하다.

기존 정규성에 따르는  $\beta$ 와 동 특성 SN비 간의 비교분석결과 SN비로 분석한 것이 검출력이 85%이상으로 높음을 알 수 있고 통계적 및 기술적으로 합리적임을 [Table 3-3]과 같이 알 수 있다.



**Table 3-3.** Significant factors and level comparison table for  $\beta$  and SN ratio (dispersion)

$L_{18}(2^1 \times 3^7)$ Comparison of the level of significance of dynamic characteristics				
mark	Factors name	Optimal level of significance factor		Remarks
		$\beta$	SNratio	
A	Tip Angle		[0]★★★	
B	Welding Time		[2]★★★	
C	Pressing Force		[1]★★★	
D	Rise Time	[0]▲	[1]▲	
F	Tip dressing		[2]★★★	
G	Tip Exchange cycle	[1]★	[1]★★★	
H	Electric Current		[0]★★★	
Legend	▲: $\alpha=10\%$ , ★: $\alpha=5\%$ , ★★★: $\alpha=1\%$ , ★★★★★: $\alpha=0.1\%$ or less			

산포(SN비)에 영향을 주는 요인중심으로 최적 수준조합을 선정하고 목표규격에 맞게 D(상승시간) 인자의 수준 값을 이용하여 기율기( $\beta$ )로 수준을 조정 할 수 있다. 따라서 최적조합 수준 선정은 1단계로 산포에 영향을 주는 인자(SN비 값이 큰 것)의 수준을 추정하여 정하면  $G_1F_2B_2C_1A_0D_1H_0$  이고, 2단계로 목표치가 3개이므로 회귀계수(기율기)로 목표 값에 맞게 조정할 수 있다. 그런데 D(상승시간)인자는 D0 수준이 회귀계수(기율기)값이 커서 용접강도가 클 수 있으나, 산포를 고려하여 D1 수준 값을 선정해도 용접강도에 대한 목표 값을 충족하므로 최적수준으로 결정하여도 좋다고 판단하였다. 실무적으로는 리드 선경이 0.4 cm에서는 용접강도 5 kgf/cm<sup>2</sup> 이상이며, 선경 0.65 cm에서는 용접강도 6 kgf/cm<sup>2</sup> 이상이며, 선경이 0.8 cm에서는 용접강도 8 kgf/cm<sup>2</sup> 이상이므로 이를 충족하고 남음이 있다. 따라서 최적 수준조합을  $G_1F_2B_2C_1A_0D_1H_0$ 로 결정하였다.

한편으로 동시통계량인 SN비로 분석하면 7개 인자 중 6개 인자가 매우 유의(p=0.1 %이하)하고 1개 인자(D)만 유의수준 9.8 %로 의미가 있는 인자이다. 그래서 SN비로 분석하는 것이 파라메타 설계 분석에서는 통계적으로 바람직한 요인수준 설정임을 수 있다. 따라서 SN비로 분석하는 것이 훨씬 고유기술 입장에서 효율적이고 검출력이 높음을 알 수 있다.

### 4. 결 론

본 연구의 목적은 스폿용접에서 와이어 Cu 합금의 스폿 용접에 대한 최적의 작업 조건을 찾아 높은 수준의 품질을 달성하는 데 있다. 스폿용접이 적용된 부품은 카시트의 전동이동방식의 주모줄인 브러쉬 카드 어셈블리이다. 또한, 최적의 작업 조건에 대한 실험은 와이어의 직경에 따른 용접 강도의 품질 수준을 달성하도록 설계되었다.

이 연구에서 신호 대 잡음비(SN 비)와 손실함수[L(y)]를 사용하는 다구찌 실험계획법을 적용하였으며, 연구 모델의 실험은 자동차 부품을 생산하는 태일산업(주)의 브러쉬 카드 어셈블리의 스폿용접 공정에서 12 개월 동안 수행되었다. 연구 결과는 다음과 같다.

첫째, SN 비를 이용한 분산분석 결과 7 가지 인자 중 상승시간을 제외한 6 가지 인자가 매우 유의한 것으로 나타났

다( $p$  값 0.1 % 이하). 상승시간(D)은 유의 수준 9 %에서 유의한 것으로 나타났다.

둘째, 기울기(다수의 목표)에 영향을 주는 요인은 D(상승시간), G(Tip교환)이므로 목표 값을 조정할 때 활용 할 수 있고, 산포에도 영향을 주므로 산포중심으로 최적수준을 선정한다.

셋째, 따라서 동적 특성의 최적 설계는 팁 교환주기가 50,000 ea., 팁 드레싱은 3000 ea., 용접 시간은 110 ms, 가압력은 11 kgf/cm<sup>2</sup>, 팁 각도는 12o, 상승 시간은 40 ms이고 전류는 1,800 A이다.

마지막으로, 제조회사의 브러시 카드 어셈블리의 스폿용접 공정에서 유효성 확인이 이루어졌으며 SN 비 분석 결과와 일치함이 입증되었다. 한편 본 연구의 결과는 용접 조건을 표준화하고 고객이 요구되는 품질 수준을 보증 할 수 있을 것으로 기대된다.

## REFERENCES

- Cho, Sangmyung. 1997. "Principle of resistance welding and analysis of monitoring results." *Journal of the Korean Welding & Joining Society* 15(2):1.
- Huh, Dongwoon. 2009. "The Optimization of Welding Parameters and Lobe Curve Expansion by changing Current Profile in Inverter DC Resistance Spot Welding." Master Dissertation Hanyang Univ:6.
- Jo, Beomji., Kim, Jisun., Yoo, Hyosang., Kim, Inju., Lee, Seonghui., and Kim, Younggon. 2015. "Characterization of resistance spot welded Al5052/DP590 dissimilar materials and processing optimization." *Journal of Welding and Joining* 33(2):56-61.
- Kang, Changgu. 2015. "Study on the Application of Optimization Method in Resistance Spot Welding for Enhancement of Quality and Reliability." Korea Aerospace Univ:20-31.
- Kang, Sungkwan. 2016. "A Novel Control Method of Resistance Spot Welding Inverter using Dynamic Resistance Characteristics for Welding Quality Improvement." Ph.D Dissertation Pukyong Univ:2.
- Kim, Hyunjoong. 2015. "A Study on the Optimization of Welding Conditions for 3-sheet including 1.5GPa Grade Steel for Automotive in RSW." Master Dissertation Korea Aerospace Univ:15-16.
- Park, Kyungjin. 2000. "Fundamentals and Applications of Taguchi Method." *Welding and Cementing Society of Korea Welding Engineering Summer School Textbook* 1:127-144.
- Park, Sunghyun., Oh, Youngkeun., Kim, Taehyung., and Lee, Seheon. 2002. "Optimization of Resistance Spot Welding Process Parameter and Weldability Evaluation for TRIP Steel." *Special lectures and conferences of the Korean Welding Society*:19-21.
- Shim, Junghyun. 2011. "DB Construction and Development of Auto-selecting Algorithm to determine Welding Condition for Spot Welding in Car body." Master Dissertation Hanyang Univ:4.
- Suk, Hosam. 1995. "The Experimental Research on the Spot Welding Properties of Cold Rolled Carbon Steel Sheets(SCP-1)Zn coation." Master Dissertation Ajou Univ:3.
- Yoon, Hanki., Kim, Guntae., and Yoo, Inil. 1999. "Strength Characteristics for Various Spot Welding Conditions in 7075-T6 Aluminum Alloy Sheets." *Special lectures and conferences of the Korean Welding Society* 1(1):216-218.