

## 지능형 제어방식의 스폿용접에 관한 연구

### Part 1 : 공정변수와 용접성과의 관계

## Study on Intelligent Spot welding of Zinc-Coated Steel Sheet

### Part 1 : Relationship between Welding Parameters and Weldability

최영수\*, 허동운\*, 이희범\*\* 조용준\*\*, 유성필\*\*, 이세현\*

\* 한양대학교

\*\* 현대자동차 생산기술개발팀

## 1. 서 론

아연도금강판은 일반 냉연강판에 비해 내식성과 내구성이 뛰어나 자동차 차체에 많이 사용되고 있으며 주로 저항 점용접에 의해 결합된다. 저항 점용접은 저항 용접용 전원에 의해 대별되는데 단상 AC, 인버터 AC와 인버터 DC 등이 있다. 단상 AC 저항용접은 실효전류보다 크게 높은 피크전류로 인해 날림발생이 쉽고 짧은 전극 수명으로 인한 빈번한 드레싱으로 생산성을 저하시키는 문제점이 있다. 따라서 날림발생이 적은 인버터 AC와 DC 저항 용접기의 사용이 점차적으로 증가하고 있다. 그러나 인버터 AC와 DC 모두 입력전원의 변동 및 외부조건의 변동에 대한 능동적인 대처가 불가능하여 적정용접 영역 경계에서 입열량 부족 및 스파터 발생으로 인해 용접품질 저하를 야기한다.1)

지능형 제어방식의 경우, 능동적인 전류제어가 가능하여 위와같은 단점을 보완할 수 있을뿐만 아니라 기존 DC 제어방식에 비해 넓은 적정용접영역을 가지며 불필요한 전류를 제어함으로써 에너지 효율을 높일 수 있다. 이를 바탕으로 지능형 제어방식은 적합한 용접품질 확보가 DC 제어방식에 비해 매우 용이하다.2) 그러나 지능형 제어방식의 점용접의 경우, 공정변수의 수가 많아 공

정을 최적화하기가 쉽지 않으며 공정변수가 용접성에 미치는 영향에 대한 선행 연구들이 부족한 상황이다.

따라서 본 연구에서는 지능형 제어방식의 저항 점용접에서 초기전류, 통전시간, Reduction level, slope 공정변수가 용접품질에 미치는 영향을 검토하고자 한다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 실험재료 및 시험편

재료는 자동차용 용융아연도금 저탄소강판을 사용하였으며 이들에 화학적 조성은 Table 1에 제시하였다.

Table 1 Chemical composition of SGARC 35 sheet

C (wt%)	SI (wt%)	Mn (wt%)	P (wt%)	S (wt%)	Fe (wt%)
0.004	0.003	0.260	0.068	0.008	Bal.

인장-전단강도 평가를 위한 용접 시험편은 강판을 길이 100mm, 폭 30mm로 절단하여 두 강판을 30mm 겹쳐 제작하였다. Fig.1에 시험편의 형상 및 치수를 나타내었다.

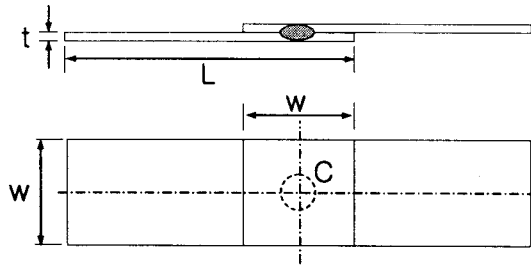


Fig. 1 Dimensions and configuration for spot welding specimens (L : length, t : thickness, W : width, C : spot welding center)

제작된 시편은 전단-인장시험기를 이용하여 강도측정을 하였으며 인장시험속도는 20mm/sec로 하여 수행하였다.

### 2.2 실험 계획 및 실험방법

지능형 제어방식은 기존의 DC 제어방식에 비해 많은 용접 변수들이 존재한다. 본 연구에서는 Slope, Reduction level(Re-level)을 주요변수로 결정하여 각 변수들에 대한 변수특성을 파악하였다.

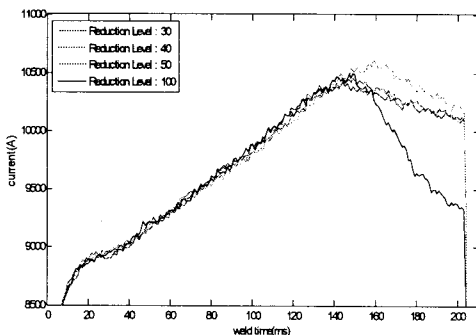


Fig. 3 The character of Intelligent control parameters

Fig. 3은 Slope, Reduction level 변화에 따른 용접전류의 변화를 보여준다. Slope의 경우, 초반 전류변화의 기울기를 의미하며 Slope의 값이 증가함에 따라 가파른 기울기를 보이며 Re-level의 경우, 너깃이 생성된 이후 후반부의 전류감소를 담당한다. Re-level이 증가함에 따라 후반부 전류감소폭이 커지게 된다.

본 연구에서 고정된 용접 변수는 Table 2에 나타내었다.

가압력을 고정시킨 상태에서 용접초기전류, 통전시간, Slope, Re-level를 변화하면서 공정변수

와 용접성(인장강도)과의 관계를 평가하였다.

Table 2 Welding conditions used in experiments

Specimes	SGARC 35 (300mm×100mm×1.4mm)
Electrode force	300kgf
Electrode diameter	6mm

용접성 평가는 스패터가 발생하지 않는 상태에서 인장강도가 클수록 용접성이 우수한 것으로 판단하였다.

Table 3 Control factors and levels

Factor	level			
	1	2	3	4
A, Base current(KA)	7	7.5	8	8.5
B, Welding time(ms)	200	250	300	
C, Slope	50	80	110	
D, Re-level	30	60	90	

### 3. 실험 결과

가압력을 고정시키고 용접초기전류, 통전시간, Slope, Re-level에 따른 공정변수의 영향을 평가하기 위하여 Table 3과 같이 용접전류를 4수준으로, 나머지 변수들은 3수준으로 설정하여 모든 수준의 조합에 대해 각 2회씩 108회의 실험을 수행하였다.

Table 4. ANOVA results with Table 3

Source	DF	SS	MS	F0	P
A	3	87999123	29333041	217.24	0.000
B	2	32790881	16395440	121.42	0.000
C	2	2895368	1447684	10.72	0.000
A*B	6	7940307	1323384	9.80	0.000
A*C	6	6030856	1005143	7.44	0.000
B*C	4	6030856	712267	5.28	0.001
Error	88	11342149	135026		
Total	107	151847752			
S		367.458	412.815		
R-Sq			92.53%		
R-Sq(adj)			90.49%		

측정된 인장강도의 양을 통계분석 상용프로그램인 미니탭(Minitab)을 사용하여 주요인과 교호작용에 대한 분산분석을 수행하였다. 분산분석에서 P값이 유의수준( $\alpha$ )보다 작은 경우 그 인자의 효과는 유의하다. 4개의 주요인자 중 Re-level의

P값이 0.05이상으로 유의하지 않았다. 3)

[통전시간\*Re-level], [Slope\*Re-level], [용접초기전류\*Re-level] 교호작용 또한 0.05이상으로 유의하지 않아 오차항에 풀링하여 축소모형을 만들었다. 축소모형으로 분산분석을 수행한 결과를 Table 4에 나타내었다.

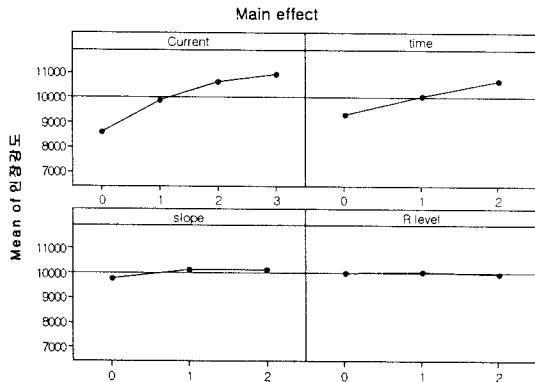


Fig. 4 Main effects of control parameters on tensile strength

각 인자들의 주효과를 살펴보면, Reduction level을 제외한 나머지 인자들의 주효과는 0.05이하의 값을 가지므로 유의수준  $\alpha=0.05$ 에서 유의하다. 요인간 교호작용 중 [용접초기전류\*통전시간], [용접초기전류\*Slope], [통전시간\*Slope] 역시 P값이 0.05 이하로 유의함을 알 수 있다. 각 인자의 수준에 따른 인장강도를 Fig. 4에 나타내었다. 실험에서 선정한 인자수준에서 용접초기전류, 통전시간, Slope가 커질수록 인장강도가 증가함을 알 수 있었다.

각 주요인자와 교호작용에 대한 분산분석 결과를 토대로 다음과 같은 회귀식을 도출하였다. 회귀식에 대한 통계량은 다음과 같다.

Table 5 Regression analysis result

회귀분석 통계량	
다중 상관계수	0.95595
결정계수	0.91384
조정된 결정계수	0.90522
표준 오차	377.367
관측수	100

	자유도	제곱합	제곱 평균	F 비	유의한 F
회귀	9	1.4E+08	1.5E+07	106.059	5.6E-44
잔차	90	1.3E+07	142406		
계	99	1.5E+08			

$$\begin{aligned}
 Y_{strength} = & -133.1317675X_1^2 - 53.91945632X_2^2 \\
 & - 207.1214561X_3^2 + 1030.25643X_1X_2 \\
 & + 1447.864302X_1X_3 + 1904.476197X_2X_3 \\
 & - 265.4525363X_1 - 185.8062321X_2 \\
 & - 279.6660846X_3 + 6706.586109
 \end{aligned}$$

$X_1 = \text{current}, X_2 = \text{welding time}, X_3 = \text{slope}$

#### 4. 결 론

지능형 제어방식을 적용하였을 때 공정변수에 따른 용접성을 평가하고자 하는 본 연구를 통해 아래와 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 가압력을 고정하고, 용접초기전류, 통전시간, Slope, Re-level에 따른 용접성을 평가한 결과 Re-level을 제외한 인자들은 주효과가 유의하였으며 용접초기전류, 통전시간, Slope가 증가할수록 용접성이 우수하였다.
- 2) 유의한 수준의 요인들과 교호작용을 고려하여 인장강도에 대한 회귀식을 도출하였다.

#### 후 기

본 연구 NGV(주) “지능형-스폿 용접 기술을 이용한’신강판 및 경량금속’용접 기술 개발” 과제의 지원으로 수행하였습니다.

#### 참 고 문 헌

1. T.H. Kim, M.J. Kang, C. Lee and S. Rhee: A Study on Intelligent Weld Quality Control of Inverter DC RSW Using a Fuzzy Algorithm, Journal of KWS, 175-177, 2006
2. Y. Cho, S. Ryu, I. Chang, and H. Lee :Intelligent Resistance Spot Welding System and its Automotive Body Application, Journal of KWS, 77-79, 2006
3. 박성현, 최병철: 실험계획법의 이해, 민영사, 2005