

# 저항 점 용접된 자동차 차체용 DP 590 강재의 압흔 형상과 동저항을 이용한 통계적 품질 평가에 대한 연구

Study on the Statistical Quality Evaluation Using Indentation Geometry and Dynamic Resistance Of Inverter DC Resistance Spot Welding

안 주 선\* · 이 경 원\*\* · 김 중 현\*\* · 이 보 영\*\*\*\*

An, Ju-Seon · Lee, Kyung-Won · Kim, Jong-Hyun · Lee, Bo-Young

## 요 약

환경문제에 대한 관심으로 자동차에 대한 경량화가 요구되는 동시에 안전규제가 강화 되고 있어, 높은 인장강도를 가지는 고강도 강재의 차체 적용 비율이 점차 증가하고 있다. 또한, 자동차 1대를 조립하기 위한 저항 점용접 횟수를 줄이고, 용접부에 충격안정성을 확보하기 위한 관심이 고조되고 있다. 따라서, 국내 자동차 산업에서 용접부의 신뢰성을 보장하기 다양한 비파괴 검사를 적용하고 있으며, 생산 공정에 적용하고 있다. 그중에서 용접 전극 사이에서 동저항(Dynamic resistance, 용접 공정중모재의 저항값의 변화)을 계측하여 용접성을 평가하는 방법이 제시되고, 차체 조립공정 중에 적용하려는 시도가 이루어지고 있다. 본 연구에서는 자동차 차체용 냉간 압연강판(590MPa dual-phase steel)을 인버터 DC 저항 점 용접하여, 용접 전극 사이에서 동저항을 측정 하였다. 용접성은 인장전단 강도로 평가하였고, 용접 공정 변수는 용접 전류, 용접 시간, 가압력을 선정하였다. 동저항 그래프의  $\alpha$ -peak와  $\beta$ -peak값을 인장전단 강도에 따라 회귀 분석하여, 동저항에 따른 인장전단 강도를 예측하였다. 추가적으로, 용접부의 외관 형상 중에 압흔 깊이와 압흔 자국 지름에 대한 회귀분석을 실시하였으며, 용접부 형상에 대한 신뢰성을 부여하였다.

**keywords** : 저항 점용접, 동저항, 회귀분석, 분산분석

## 1. 서 론

저항 점용접은 저항 열과 압력을 이용하여 금속을 용접하는 접합 방법으로 자동차 차체와 같은 박판 조립 공정에 널리 사용되어 왔다. 자동차 산업에 있어서 저항 점 용접의 중요성은 단순히 강재의 접합 개념에서 더 나아가 각 용접 부위의 인장강도를 결정함으로써, 차체의 전체 강성에 영향을 미치는 중요한 수단이 되고 있다. 최근에는 환경 규제의 영향으로 자동차 강판에 요구되는 강성이 증대되고 있으며, 차량 한 대에 소요 되는 용접 타점 수와 시간을 최소화하여서 생산성을 높이려는 노력이 진행되고 있다. 하지만, 전극 마모, 접합면의 오염 물질, shunt 효과 그리고 도금층과 같은 저항 점 용접시 발생할 수 있는 외부요인이 차체 점 용접 중 용접품질의 신뢰성을 저하 시킨다. 각 용접부에 대한 품질의 신뢰성 부족으로 필요 이상으로 저항 점 용접 공정을 시행하고 있다. 따라서, 점 용접부에 대한 품질의 신뢰성 확보를 통한 자동차 한 대에 필요한 점 용접 공정 횟수를 줄이고자 하는 노력이 계속 되고 있다.

\* 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과 석사과정 hansaranggo@kau.ac.kr

\*\* 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과 석사과정

\*\*\* 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부 교수 bylee@kau.ac.kr

일반적으로 자동차 생산라인에서 저항 점 용접부의 품질에 대한 검사는 주기적인 차체 접합부의 샘플링에 파괴적 방법과 X-ray 나 초음파를 이용한 비파괴적 방법을 이용하고 있다. 하지만 이와 같은 방법들은 생산 현장에서 사용하기 힘들다. 그러므로, 점용접부의 품질 판단은 품질에 이상이 발생 하였을때, 즉각적이고 자동적으로 이를 검출하고, 보완할 수 있도록 실시간으로 이루어 져야 하므로 기존의 검사법의 단점들을 효과적으로 보완 할 수 있는 실시간 현장 용접 품질 판정에 관한 연구가 중요시 되고 있다.<sup>[1],[2]</sup> 본 연구에서는 저항 점 용접 품질에 대한 저항 점용접을 수행할 때 전극 사이에서 동저항을 모니터링하고, 이 동저항 패턴에서 용접 품질 판단에 필요한 인자들을 추출하였다. 추출한 판단 인자들을 상관 분석하여 용접부의 전단인장강도와 상관성을 파악하였으며, 상관성이 높은 인자들을 이용하여 회귀 분석을 실시하였다. 이에 따라 용접 품질을 효과적으로 예측 할 수 있는 회귀모델을 제시하였으며, 실시간 현장 적용이 가능한 효과적인 예측 모델을 제시하였다. 또한, 저항 점 용접 후 압은 자국의 깊이와 너비를 측정하여, 전단인장강도와 상관관계를 제시하여 공정중에 비파괴적 용접 품질평가에 대한 가능성을 제시 하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 재료

본 연구에서 사용된 재료는 자동차 차체 제작용으로 사용되는 1.0mm, 1.4mm 두께 자동차용 590MPa 급 고장력 냉연강판(CR- SPFC 590RA)이다. 용접 조건에 따른 인장강도 평가를 위한 시험편은 Fig.1에 보인 것과 같이 제작하였으며, 용접 조건에 따른 인장전단 강도 평가를 위한 시험편은 강재에 따라 1.0+1.0, 1.0+1.4, 1.4+1.4로 3종류로 제작하였고, 언급한 숫자는 강재 두께를 의미한다.

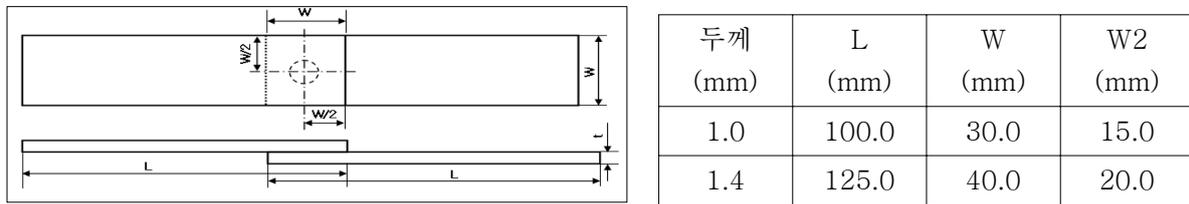


그림.1 용접 시험편 단면 및 치수(KS B 0581)

### 2.2 용접 조건

점 용접의 용접 품질에 가장 큰 영향을 미치는 용접전류, 가압력, 용접 시간을 용접요인으로 선정하고, 용접 조건을 표.1에 나타내었다. 사용된 용접기는 고장력강의 용접 품질을 향상시키기 위해 국내에서 개발중인 인버터 DC 타입의 제어주파수 1kHz 용접기를 사용하였다.

표.1 용접 조건

	Thickness(mm)	Welding current (kA)	Welding force (kgf)
CR,	1.0+1.0, 1.0+1.4	4, 5, 6, 7, 8	300
	1.4+1.4	4, 5, 6, 7, 8	300

### 3. 동저항과 압흔자국

저항 점 용접의 용접 품질을 좌우하는 너겟 생성과 성장 현상은 그림.2 이와 같이 용접전극사이 측정하여 용접 공정변수를 계산하여 파악할 수 있다. 변환된 동저항은 일반적으로 그림.3과 같은 형태를 나타내며, 이러한 동저항의 패턴을 근거로 용접 강도 예측 모델에 사용될 4가지 인자를 추출하였다. 추출 인자는 너겟 생성시점과 관련된  $\alpha$ -peak와 너겟의 성장 속도와 관련된  $\beta$ -peak를 기준으로 그림.3 같이 선정하였다.<sup>[3],[4][5]</sup>

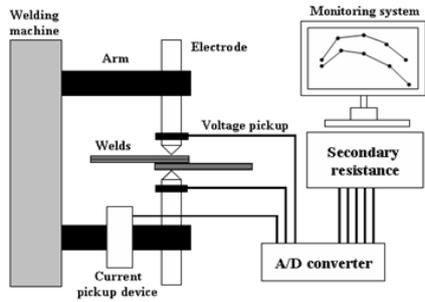


그림.2 동저항 측정

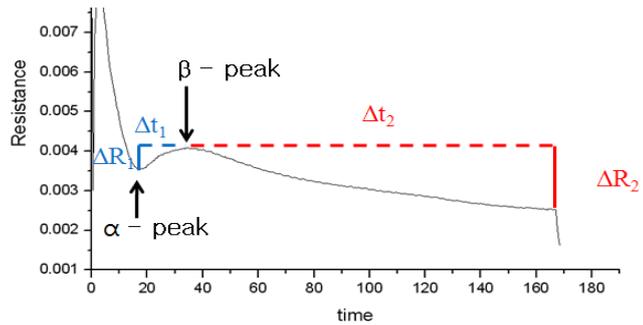


그림.3 용접중 동저항 그래프

용접 후, 용접부 외관에서 생기는 압흔자국의 지름과 깊이를 측정하여 전단 인장 강도 예측 모델을 위한 인자로 선정하였다.

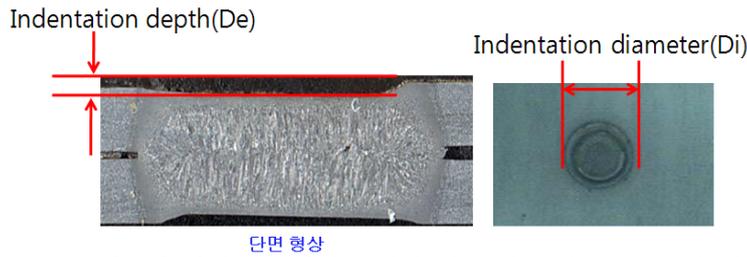


그림.4 자동차 차체용 고장력 강판의 압흔 자국(좌: 압흔 깊이, 우: 압흔 너비)

### 4. 다중 선형 회귀모델

동저항에서 추출한 인자들중 2개를 이용하여 측정된 용접부의 전단인장강도 값과 선형 회귀분석을 실시하였다. 회귀 모델은 식 (1)과 같이 다중선형회귀모델(multiple linear regression model)을 사용하였다.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ij} x_i x_j + \epsilon \quad \dots \dots \dots \text{(식.1)}$$

3개의 강종 중에 회귀 모델의 결정 계수값(coefficient of determination,  $R^2$ )이 가장 높은 값을 표2에 나열하였다. 냉간 압연 강재의 경우, 제시된 회귀 식으로 전단 인장 강도 값을 90% 이상 설명 가능함을 알 수 있다. 또한 회귀식이 이 통계적으로 유의한지를 검정하기 위한 분산분석에 의하여, F-검정 통계량을 확인하였다. 또한, 얻은 추정된 회귀 방정식의 회귀계수의 유의성을 검정하기 위하여 회귀계수들의 t-검정에 의한 통계적 유의 확률을 표.2에 나타내었다. 표.2에서 귀무가설에 대한 유의수준(P-value)을 0.05로 설정하고, 회귀식에 대한 유의성을 판단하였다. 압흔 깊이와 너비에 대한 회귀분석을 실시하였으며, 유의 수준이 0.05이상 회귀식의 결정 계수값을 표 4에 나타내었다.

표.3 동저항에 의한 회귀분석, 모델의 결정계수

CR강제	회귀식	P-value	R <sup>2</sup> (%)
1.0X1.0	$y = 87.7 + 130.6t_2 - 1270.9R_2 + 19.6t_2R_2 - 0.5t_2^2 + 58.5R_2^2$	0.00	97.9
1.0X1.4	$y = 2298.1 + 71.3t_2 - 5941.6R_2 + 249.9t_2R_2 - 1.8t_2^2 + 11911.0R_2^2$	0.01	90.0
1.4X1.4	$y = 2444.7 - 12t_2 - 8677.2R_2 + 94.3t_2R_2 - 0.78t_2^2 - 3649.7R_2^2$	0.00	96.3

표.4 압흔 자국에 의한 회귀 분석, 모델의 결정계수

CR강제	회귀식	P-value	R2(%)
1.0X1.0	$y = -11979 - 20987De - 6447Di - 2734De \cdot Di - 6891.1De^2 - 544Di^2$	0.00	86.1
1.0X1.4	$y = -34142.0 + 31795.0De + 13176.2Di - 10460.1De \cdot Di - 6891.1De^2 - 309.2Di^2$	0.006	71.6
1.4X1.4	$y = -74879 + 20224De + 35034Di + 12091De \cdot Di - 12856De^2 - 3934Di^2$	0.00	74.5

## 5. 결론

자체 용접 공정 중에 저항 점 용접의 품질을 효과적으로 판단하기 위하여, 동저항과 압흔 자국을 이용하여 용접부 전단인장 강도와 상관분석과 회귀분석을 실시하였다. 동저항의 인자를 이용한 회귀분석을 통하여 전단인장강도 총변량의 90%이상을 설명하고, t-검정을 통해 유의하다고 판단할 수 있는 회귀식을 산출 하였다. 반면, 압흔 자국을 이용한 전단 인장강도 예측은 70%로, 용접 품질 예측에 대한 신뢰도가 떨어지므로 인장강도 예측에는 적절하지 않은 모델로 사료된다. 따라서 동저항 패턴중 적절한 인자를 추출하여 용접공정중에 용접 타점 전체에 대한 인장전단강도를 판단하여 용접 품질에 대한 신뢰성확보가 가능하리라 생각된다.

## 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 지원에 의한 국가지정연구실 (No.M20604005402-06B0400-40210) 사업의 일환으로 수행되었기에 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- [1]조용준 (2000) 1차 동저항 패턴의 통계적 분석에 의한 저항 점 용접의 용접 품질 예측에 관한연구, **대한기계학회논문집 A권**, 제 24권, pp.2581-2588
- [2]박승규(2002) 입열량 제어를 통한 아연도금강판의 점용접 품질제어. 대한 용접학회. pp.161~167
- [3]강창구(2009) 품질 신뢰성 향상을 위한 저항 점 용접의 최적화 기법 적용에 관한 연구, 한국항공대 석사 졸업 논문
- [4]김태형(2006) 인버터 DC 저항 점 용접 공정에서 지능형 제어 시스템 설계 및 용접 품질 모니터링에 관한연구, 한양 대학교, 석사 졸업 논문
- [5]권일현(2005) 아연도금 강판과 고장력 강판 3점 점용접물의 용접특성 평가, 대한 용접 접합 학회 논문집, Vol.13, No 5, pp42-49