

다변량 분석을 이용한 저항 점 용접의 품질 평가 모델 개발에 관한 연구 Development of Quality Estimation Model using Multivariate Analysis during RSW

김태형*, 이세헌**

* 한양대학교 정밀기계공학과

** 한양대학교 기계공학부

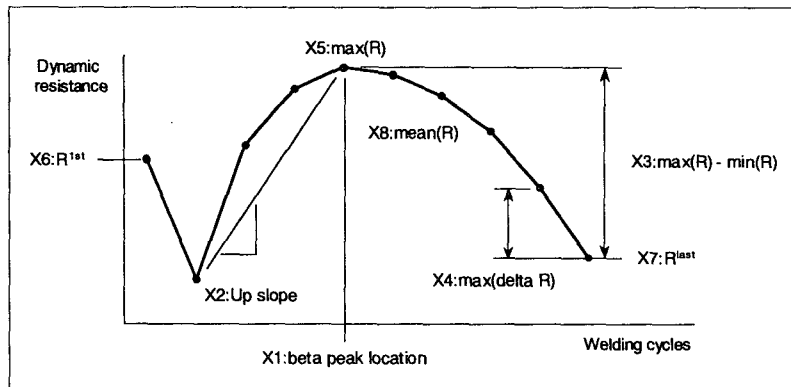
1. 서론

저항 점 용접에서 점 용접이 완료됨과 동시에 용접부의 품질을 예측할 수 있는 여러가지 방법에 대한 연구가 수행되었다. Dickinson¹⁾ 등의 연구에서는 저항 점 용접 공정에서 계측될 수 있는 전압, 전류, 동저항 및 입력 에너지를 검출하였으며, Hao²⁾ 등의 알루미늄 저항 점 용접 특성 분석에서는 다중 선형 회귀 분석(multiple linear regression analysis) 을 이용하여 너겟의 직경과 용접 강도를 예측하였으며, Kimchi³⁾의 연구에서는 날림이 발생하기 시작하는 전류 영역에 대한 보다 자세한 실험적 검증을 통하여 날림 현상이 용접 품질에 미치는 영향을 분석하였다.

이에 따라 본 연구에서는 저항 점 용접을 수행할 때 검출되는 1 차 회로 공정 변수를 이용하여 동저항을 추론하고, 이 동저항 패턴에서 용접 품질 판단에 필요한 인자들을 추출하였다. 추출한 판단 인자들을 상관 분석하여 용접 품질과의 상관성을 파악하였으며, 이에 따라 요인분석과 회귀분석을 실시하였다. 이에 따라 용접 품질을 효과적으로 예측할 수 있는 여러 가지 회귀 모델을 제시하였으며, 각 모델들의 성능을 파악하여 용접부 품질 판단에 효과적인 예측 모델을 제시하였다.

2. 동저항과 용접 품질

동저항은 일반적으로 [그림 1] 과 같은 형태를 나타내며, 이러한 동저항의 패턴을 근거로 용접 강도 예측 모델에 사용될 10 가지 인자를 추출하였다.



[그림 1] Primary dynamic resistance pattern and feature extraction

3. 용접실험

본 연구에서는 자동차에서 가장 일반적으로 사용되는 두께, 0.7 mm 의 저탄소강판으로 용접을 실시하였다. 용접에는 공압 실린더를 장착한 정치식 60Hz 단상 100kVA 급 교류 저항 점 용접기가 사용되었다. 한국 공업 규격 KS0850, KS0851 에 따라 용접 시편을 준비하여 용접을 실시하였다. 10 사이클의 통전시간과 2.5kN 의 가압력 조건에서 전류를 변화해 가며 용접을 수행하였다. 용접 전류는 5kA 에서 1.5kA 씩 증가해 가며 11kA 까지 용접하였으며, 각 전류에서 10 개의 용접을 실시하여 8 개는 예측 모델개발, 2 개는 모델 검증에 각각 사용하였다. 용접 품질의 판단 기준은 전단인장 강도로 설정하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 상관행렬과 상관관계

회귀 분석을 수행하기에 앞서 먼저, [표 1]과 같이 종속 변수인 용접 강도(Y)와 독립 변수인 판단 인자들(X1-X10) 사이의 상관 행렬(correlation matrix)을 구하여 상호 상관 관계를 파악하였다.

[표 1] Correlation matrix of independent variables

	YY	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
YY	1										
X1	-0.922	1									
X2	0.771	-0.905	1								
X3	0.795	-0.909	0.981	1							
X4	0.492	-0.634	0.872	0.819	1						
X5	0.91	-0.783	0.716	0.749	0.481	1					
X6	-0.727	0.523	-0.293	-0.295	-0.139	-0.622	1				
X7	-0.431	0.695	-0.852	-0.853	-0.802	-0.293	-0.064	1			
X8	0.064	0.184	-0.51	-0.453	-0.784	0.131	-0.287	0.755	1		
X9	0.876	-0.735	0.713	0.73	0.605	0.922	-0.731	-0.328	-0.066	1	
X10	0.646	-0.726	0.893	0.852	0.965	0.636	-0.329	-0.729	-0.63	0.748	1

4.2 여러 가지 회귀모델에 의한 용접부 품질 판단

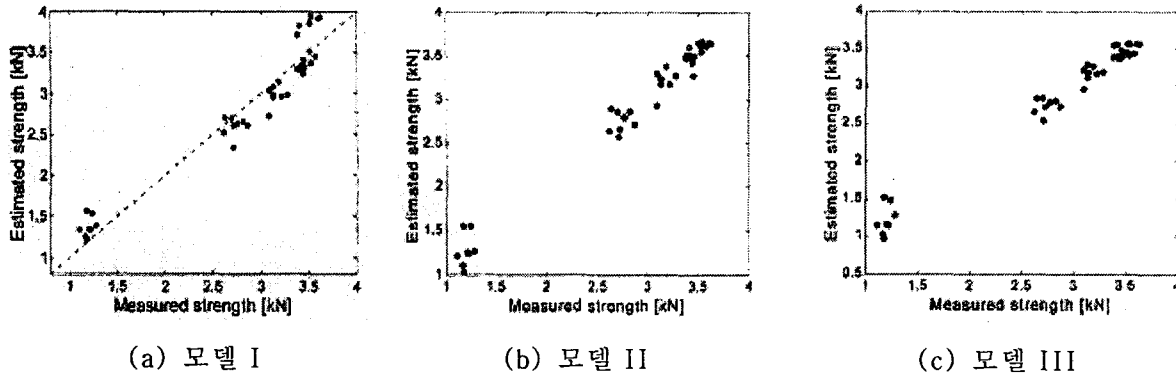
다변량 분석을 이용하여 용접부의 품질 판단 성능에 대하여 [그림 2]에 나타내었다. 회귀 모델 결정에 사용되었던 40 개의 데이터를 회귀식에 적용시켜 얻은 예측 강도를 인장시험에서 얻은 결과와 비교하여 그래프로 나타내었다.

[그림 2(a)]는 동저항 패턴 인자 중에서 베타피크의 위치(X1)와 동저항의 표준편차(X9)만을 이용한 회귀모델 I 의 경우를 나타내고 있다. 강도가 낮거나 높은 조건에서는 예측 값이 실제 값보다 다소 크게 나오는 경향을 볼 수 있으므로 회귀모델 I 의 경우에는 저전류와 고전류에서 효과적으로 사용될 수 없으며, 세 개의 모델 중에서 결정계수(R^2)는 가장 작고, 오차들은 가장 큰 값을 보여 강도를 예측하기에 적절하지 않은 모델로 사료된다. 단계적 도입법에 의하여 회귀 모델을 결정한 모델 II 에 대한 결과를 [그림 2(b)]에 나타내었다. 네 가지 인자를 사용함에 따라, 데이터의 분포정도가 매우 좁은 형태를 나타내고 있다. 회귀식에 의해 설명될 수 있는 총변량이 98.2%에 이르며, 표준 오차도 0.1223 으로 세가지 모델 중에서 가장 좋은 결과를 보이고 있다. 요인 분석에 의한 결과를 살펴보면, 결정계수와 표준 오차가 각각 0.939 와 0.2174 로 위에서 살펴본 모델 I 보다는 나은 예측 성능을 보이고 있으나, 모델 II 에는 미치지 못하는 결과를 나타내고 있다. 이러한 결과는 [그림 2(c)] 에서도 잘 관측된다.

이상의 결과에 따라 용접 강도 예측에 가장 효과적인 회귀 모델은 베타피크, 알파피크 이후의 동저항 상승속도, 동저항의 최대값, 및 동저항의 표준편차를 이용한 선형 회귀 모델임을 알 수 있었다.

[표 2] Coefficient of determination and standard error of estimate for the various model

	Model I	Model II	Model III
R^2	0.936	0.982	0.939
std. Error of estimate	0.2230	0.1223	0.2174



[그림 3] Comparison of measured strength and estimated strength by regression models

5. 결론

현장에 응용 가능하면서 저항 점 용접의 품질을 효과적으로 판단할 수 있는 시스템을 개발하기 위하여 용접기 1차 회로, 즉 타이머에서 용접부의 동저항을 모니터링하였다. 또한, 1차 동저항에서 여러가지 판단인자들을 추출하여 용접 품질(강도)과 직접적으로 관련 있는 인자들을 상관분석과 회귀분석에 의해 찾아내었다. 독립변수들을 동시에 투입하여 계산한 단순 선형 다중 회귀 분석결과에 의하면, 동저항 추출인자 중에서 베타피크의 위치와 동저항의 표준편차가 용접 강도와 가장 밀접한 관계를 나타내고 있음을 알 수 있었으며, 이 두 가지 인자들만을 이용한 선형 모델로서 총변량의 93.4%를 설명할 수 있었다. 단계적 투입법에 의해서는 동저항의 상승속도 및 최대값을 위 모델에 추가하여 판단성능을 98.2%로 향상 시켰다. 한편, 추출 인자들의 상호 연관성을 고려하여 다변량 분석을 수행한 요인 분석에 의하면, 새로 추출된 두개의 요인에 의해서 새로운 회귀식을 만들었다. 그러나, 그 회귀식에 의한 용접 강도의 설명성은 두개의 인자만을 바로 사용한 것 보다는 다소 나은 결과를 나타내었으나, 단계적 투입법에 의한 그것에는 미치지 못하는 결과를 나타내었다. 이로부터 용접부 강도 예측에서는 부분 상관계수와 회귀계수의 유의확률 변화에 따라 인자들을 단계적으로 투입한 선형 회귀 분석이 가장 효과적임을 알 수 있었다.

참고문헌

1. D. W. Dickinson, J. E. Franklin, and A. Stanya : Characterization of spot welding behavior by dynamic electrical parameter monitoring, *Welding Journal*, Vol. 59, No. 6, (1980), pp. 170s 176s
2. M. Hao, K. A. Osman, D. R. Bomer, and C. J. Newton : Developments in characterization of resistance spot welding of aluminum, *Welding Journal*, Vol. 75, No. 1, (1996), pp. 1s 8s
3. M. Kimchi : Spot weld properties when welding with expulsion - A comparative study, *Welding Journal*, Vol. 63, No. 2, (1984), pp. 58s 63s
4. 최용범, 장희석, 조형석 : 저항 점 용접에서 인공신경회로망을 이용한 용융부 추정에 관한 연구, *대한기계학회 논문집*, 제 17 권, 제 2 호, (1993) pp. 393 406
5. 임태균, 조형석, 장희석 : 인공신경회로망을 이용한 저항 점 용접의 품질감시, *대한용접학회지*, 제 11 권, 제 2 호, (1993) pp. 39 53
6. 김주석, 이재익, 이상룡 : 퍼지 추론을 이용한 저항 점 용접 부위의 품질 평가 알고리즘, *대한기계학회 논문집 A 권*, 제 22 권, 제 3 호, (1998), pp. 644 653
7. W. F. Savage, E. F. Nippes and F. A. Wassell : Dynamic contact resistance of series spot welds, *Welding Journal*, Vol. 57, No. 2, (1978), pp. 43s 50s
8. 김명준 : 저항용접, 도서출판 기문사 (1995)
9. T. J. Ross : Fuzzy logic with engineering applications, McGraw-Hill, Inc., (1995), pp. 232 265
10. S. A. Gedeon, C. D. Sorensen, K. T. Ulrich and T. W. Eagar : Measurement of dynamic electrical and mechanical properties of resistance spot welds, *Welding Journal*, Vol. 66, No. 12, (1987) pp. 378s 385s
11. J. G. Kaiser, G. J. Dunn and T. W. Eagar : The effect of electrical resistance of nugget formation during spot welding, *Welding Journal*, Vol. 61, No. 6, (1982), pp. 167s 174s
12. K. I. Johnson and J. C. Needham : New design of resistance spot welding machine for quality control, *Welding Journal*, Vol. 51, No. 3, (1972), pp. 1s 8s