

로브곡선을 이용한 자동차용 신강재의 저항 점 용접성 평가 기술 개발 Development of Resistance Spot Weldability Estimation Using Lobe Diagram

이동욱*, 김태형*, 이세현**
* 한양대학교 대학원 정밀기계공학과
** 한양대학교 기계공학부

1. 서 론

저항 점 용접은 금속재료 접합에 있어서 널리 사용되고 있는 용접방법 중 하나로, 특히 자동차 용 차체 조립에 광범위하게 사용되고 있다.

일반적으로 현장에서는 저항 점 용접의 3요소라 할 수 있는 전류, 가압력, 통전시간 중에서 용접기의 시스템적 특성상 변수로 사용하기 비경제적인 가압력을 고정하고 전류와 통전시간에 따른 적정용접조건을 로브곡선으로 표시하여 각각 종들의 저항 점 용접성을 평가하였다. 그러나 차체 경량화 문제가 심각하게 대두되면서 이를 위한 새로운 자동차용 강재들이 개발되기 시작하였고, 이러한 강종들의 경우 기존 강종에 비해 도금 등의 특성으로 인한 용접성의 저하를 초래하였다. 따라서 기존의 공정변수로 사용하던 전류와 통전시간의 조정만으로는 최적용접조건 설정에 많은 애로사항이 발생하게 되었다. 이에 따라, 가압력을 공정변수로 이용하여 적정용접조건을 확장할 필요성이 대두되었다.

본 연구에서는 자동차용 신강재로 개발된 GA 강에 대해 가압력과 전류 변화에 따른 전단인장강도값을 이용한 로브곡선을 구하였으며, 가상 로브곡선을 구하기 위해 전단인장강도값을 대표할 수 있는 2차 회귀모델을 구하고, 중간날림의 발생을 정량적으로 평가하기 위해 오목자국 깊이값을 이용하였다. 또한 적정용접조건을 제시할 수 있는 새로운 파라미터로 LVDT(Linear Variable Displacement Transducer)에 의한 용접부의 두께 변화에 대한 고찰을 수행하였다.

2. 실험방법

2.1 용접 시험편 및 실험조건

본 실험에 사용된 강종은 두께 0.8mm, bare

metal이 IF(Interstitial-Free) Steel인 GA강을 사용하였다. 용접시험편의 치수 및 형상은 KS규격에 따른 표준 전단인장강도 시험편을 사용하였으며, 정치식 60Hz 단상 교류 용접기에 전극은 truncated cone타입(외경 16mm, 선단경 6mm)을 사용하였다. 용접조건은 Table 1과 같으며, 5회 반복실험을 수행하였다.

Table 1 Welding Conditions of GA(0.8mm)

Factors	Levels								
Force(kN)	1.60	1.93	2.26	2.59	2.91				
Current(kA)	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0

2.2 실험결과

요구 전단인장강도값을 3470N으로 선정하여 로브곡선의 하한치를 결정하였고, 중간날림 발생 구간을 로브곡선의 상한치로 결정하였으며, 이에 따른 각 조건별 전단인장강도값과 로브곡선의 형태는 Fig. 1과 같다.

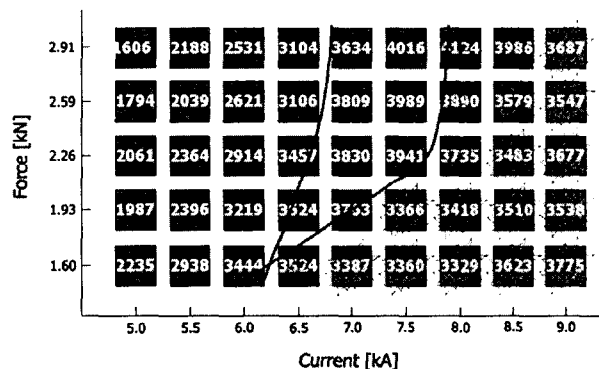


Fig. 1 Lobe diagram and shear strength

가압력 1.60kN, 용접전류 6.0kA와 6.5kA에서 상한치와 하한치가 겹쳐지는 것은 요구 전단인장강도값을 만족하는 용접 조건이 있다 하더라도 가압력이 너무 낮아 중간날림현상이 발생하므로, 실제 이 조건에서는 적정용접조건을 찾을 수

없음을 나타낸다.

Fig. 2에서 우측 상단의 그래프는 각 가압력 조건에서 용접전류의 변화에 따른 전단인장강도값의 변화를 나타낸 것이다. 이 그래프에서 각 가압력 조건에서 용접전류가 증가하면 초기에는 전단인장강도값이 급격히 증가하다가, 적정용접구간에 이르면 완만한 증가율을 보이고, 중간날림이 발생한 구간에서는 전단인장강도값이 감소함을 알 수 있다. 따라서 중간날림현상이 차체조립과정에서 도장성뿐만 아니라 용접성에도 나쁜 영향을 미치며, 적정용접조건에서 제외하여야 함을 알 수 있다.

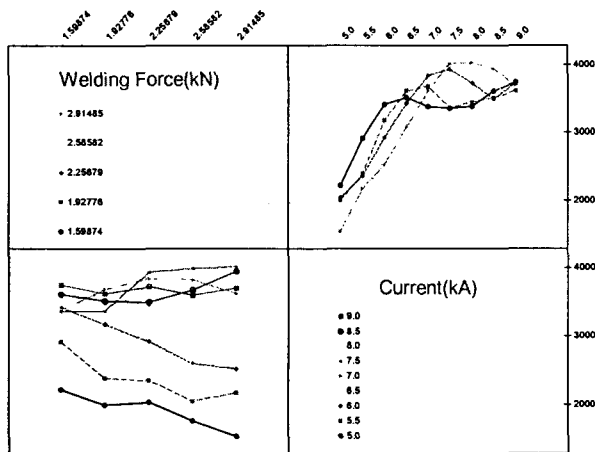


Fig. 2 Interaction plot for shear strength

좌측 하단의 그래프는 각 용접전류 조건에서 가압력의 변화에 따른 전단인장강도값의 변화를 나타낸 것이다. 용접전류가 6.5kA까지는 가압력과 용접전류가 서로 교호작용을 보이지 않다가 중간날림현상이 확실히 발생하는 7.0kA부터 복잡한 교호작용을 보이는 것을 알 수 있다. 따라서 이 영역이 적정용접조건 내에서 전단인장강도를 예측할 수 있는 회귀모델의 유효영역이라는 가정을 해 볼 수 있다.

2.2.1 적정 전단인장강도 회귀모델

앞서 가압력과 용접전류에 따른 전단인장강도값과 이에 따른 실제 로브곡선의 형태를 살펴보았다. Fig. 3은 전단인장강도값의 분포를 나타낸 것이다.

대부분의 영역에서 전단인장강도값은 용접전류와 가압력에 상관관계가 있는 것을 관찰할 수 있으며, 중간날림현상으로 인해 낮은 가압력과 높은 전류 조건에서는 전반적인 경향성을 상실하는 것을 관찰할 수 있다. 따라서 가상로브곡선의 좌측 경계치를 결정하기 위한 요소로 전단인장강도 회귀모형을 구하고자 하였으며, 적정용접조건을 잘 표현할 수 있는 회귀모형을 선정하기 위해 모의실험에 의한 통계적 분석을 수행하였다. 모의

실험에 사용한 실험계획모델은 중심합성계획법 ($\alpha=1$)을 사용하였으며, 중심점의 반복횟수는 5회이므로, 총 13번의 실험 결과로 2차 회귀모형을 구하였고, 구하여진 2차회귀모형의 타당성은 중간날림현상이 발생한 조건을 제외한 실제 실험데이터와 2차 회귀모형에 의한 추정값 사이의 오차에 대한 표준편차 값으로 비교, 판단하였으며 결과는 Table 2와 같다.

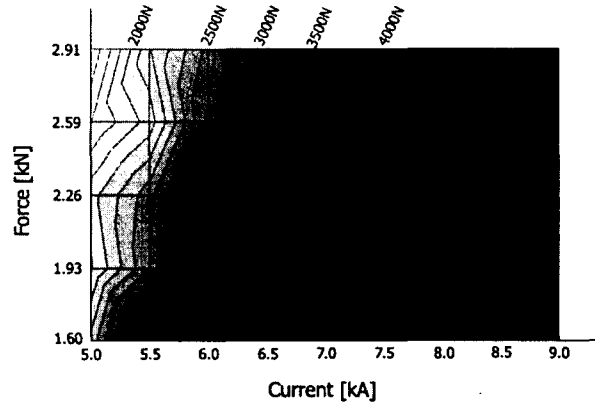


Fig. 3 Result of shear strength

Table 2 Experiment design and standard deviation of error

No.	Factors		S
	Force(kN)	Current(kA)	
1	1.60 - 2.91	5.0 - 9.0	153.78
2	1.60 - 2.91	5.0 - 8.0	140.51
3	1.60 - 2.91	5.5 - 8.5	156.21
4	1.60 - 2.91	6.0 - 9.0	124.64
5	1.60 - 2.91	5.0 - 7.0	115.37
6	1.60 - 2.91	5.5 - 7.5	148.28
7	1.60 - 2.91	6.0 - 8.0	288.77
8	1.60 - 2.91	6.5 - 8.5	152.09
9	1.60 - 2.91	7.0 - 9.0	696.65
10	1.60 - 2.26	5.5 - 6.5	2078.61
11	1.60 - 2.26	6.0 - 7.0	957.20
12	1.93 - 2.59	5.0 - 6.0	364.64
13	1.93 - 2.59	5.5 - 6.5	556.87
14	1.93 - 2.59	6.0 - 7.0	390.06
15	2.26 - 2.91	5.0 - 6.0	395.67
16	2.26 - 2.91	5.5 - 6.5	479.46
17	2.26 - 2.91	6.0 - 7.0	183.36
18	2.26 - 2.91	6.5 - 7.5	784.19
19	2.26 - 2.91	7.0 - 8.0	245.85
20	2.26 - 2.91	7.5 - 8.5	793.02

표에서 알 수 있듯이 실험영역이 적정용접조건 구간을 잘 포함할수록 2차 회귀모형에 의한 추정값의 오차가 작아짐을 확인할 수 있었다. 따라서 가장 낮은 가압력과 가장 낮은 용접전류에서 중간날림현상이 발생하는 점을 끝점으로 하여 가장 큰 실험영역을 선택한 5번이 가장 적절한 모델이라 할 수 있다.

2.2.2 오목자국깊이에 의한 로브곡선의 상한

Fig. 4는 오목자국깊이의 분포와 실제 중간날림현상이 발생한 영역을 표시한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 오목자국 깊이가 0.30mm인 경계선이 중간날림현상을 잘 표현하고 있음을 알 수 있다. 이것은 모재두께의 25%(0.4mm)를 넘지 않도록 권고하고 있는 AWS의 규격과도 잘 맞는 것이다.

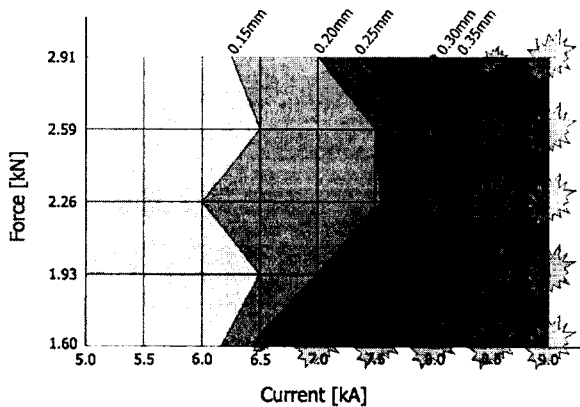


Fig. 4 Result of indentation

2.2.3 용접 중 두께변화와 용접품질

Fig. 5는 실제 용접 중 측정한 LVDT값 신호형태이다. (a)는 적정용접조건이며, (b)는 중간날림이 발생한 조건이다. 용접 전·후 LVDT에 의해 측정되는 신호차를 길이로 환산하여, Fig. 6에 표시하였다.

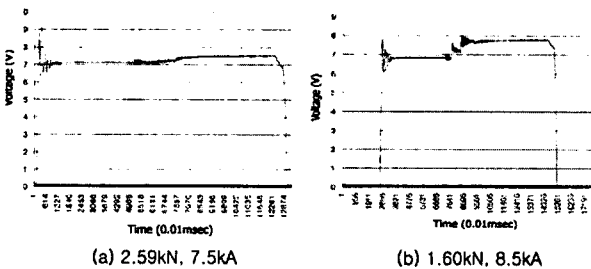


Fig. 5 Result of LVDT

Fig. 4와 Fig. 6을 비교하면 LVDT에 의해 측정된 용접 중 두께 변화는 실제 오목자국깊이와 다소 상이한 것을 알 수 있다. 이는 용접이 끝난 후 강종의 열팽창에 의한 영향으로 판단되며, 따라서 용접이 잘 되지 않은 저 전류 구간에서 특히 그 차이가 큼을 확인할 수 있다. 또한 용접 전·후 두께 변화가 0.065mm(약5%)에서 0.085mm(약7%)가 되는 영역이 적정용접구간과 잘 일치하는 것을 확인할 수 있다.

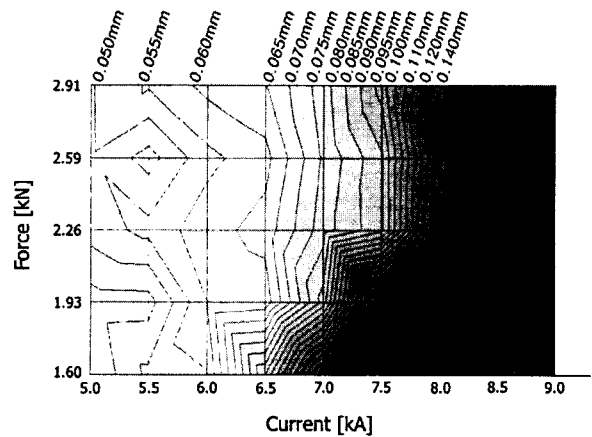


Fig. 6 Result of thickness change during welding process

3. 결 론

경량화 차체 생산을 위해 개발되는 강종들을 생산현장에 사용하기 위해서는 적정용접조건 설정이 필요하다. 본 연구에서는 이러한 최적용접조건 영역을 구하기 위해 가장 적절한 중심합성계획법의 영역을 통계적 방법에 의해 구하였으며, 중간날림현상을 통해 정성적으로 평가되던 로브곡선의 상한을 오목자국깊이를 통해 보다 정량적으로 평가할 수 있음을 확인하였다. 또한 용접공정 중에 발생하는 모재의 두께변화가 용접품질에 미치는 영향에 대해 확인하였다.

후기

본 연구는 하이스코에서 지원한 산학협동과제 "차세대 자동차용 신강재에 대한 저항 점 용접성 평가"에 의해 지원, 수행되었습니다.

참고문헌

1. H. Park, T. Kim and S. Rhee : Optimization of Welding Parameters for Resistance Spot Welding of TRIP Steel using Response Surface Methodology, Journal of KWS, 21-2(2003), 76-81 (in Korean)
2. D. C. Montgomery, Design and Analysis of Experiments(5th Edition), JOHN WILEY & SONS, INC. 2001, 271-276