

DC 인버터 저항 스폿 용접에서 후전류 효과에 관한 연구

이희준*, 이세현⁺

(논문접수일 2009. 08. 10, 심사완료일 2009. 10. 06)

A Study of Post-current Effect in DC Inverter Resistance Spot Welding

Huijun Lee*, Sehun Rhee⁺

Abstract

Resistance spot welding has been investigated to apply for manufacturing car bodies because of its high productivity. So quality of resistance spot weld is one of the major concerns for both automobile and aerospace industry. Current design trends in automotive manufacture have shifted emphasis to alternative lightweight materials in order to aid in producing vehicles with higher fuel efficiency and lower down the vehicle emission level for environmental control. There is increasing emphasis to provide lighter cars. Therefore there is an effort to use high strength steels such as HSLA, dual phase, in car body. However there is used in restricted because of difficulty in producing consistently high quality resistance spot welds. In this study, resistance spot welding schedules were developed to achieve acceptable welds with improved static mechanical properties. Improved resistance spot welding schedules were developed using post heating current to reduce the cooling rate, or in-process tempering to reduce the hardness of the weld produced. The effects of resistance spot welding process parameter on hardening fracture mode and static mechanical properties of the joints were determined.

Key Words : Post-Current(후전류), DC Inverter(DC 인버터), Spot welding(스폿 용접), Weld schedules(용접 공정)

1. 서론

저항 스폿 용접은 자동차 산업에서 널리 사용되고 있는 대표적인 접합 방법 중 하나이다. 저항 스폿 용접은 로봇을

이용한 용접이 가능하기 때문에 자동차 업계에서 많이 사용된다. 최근의 자동차 한 대당 2000~5000점의 스폿 용접이 사용되고 있다. 그래서 저항 스폿 용접의 품질은 자동차 산업에서 중요한 관심 분야이다. 자동차 산업의 최근 경향은

* 한양대학교 기계 공학부

+ 교신저자, 한양대학교 기계공학부 (srhee@hanyang.ac.kr)

주소: 133-791 서울시 성동구 행당동 17

친환경과 배기량의 규제이다. 이를 위해 경량 재료를 이용한 자동차 개발에 초점을 두고 있다. 경량 자동차는 연료 효율을 높이고, 자동차 배기가스를 줄여 환경 친화적이기 때문이다. 경량 자동차를 개발하기 위해서는 신강종인 HSLA(high strength low alloy), DP(dual phase)강 등의 고장력강이 사용된다. 또한 방청 규제를 만족시키고자 신강종에 GA 코팅이나 윤활 처리한 강판 등과 같은 고기능 후처리 강판들이 사용되고 있다. 이러한 신강종들을 실제 차 생산 현장에 적용하기 위해서는 신강재의 성형성, 도장성, 용접성 등이 차체 생산 조건을 만족해야 한다. 특히 용접성의 경우는 차체 용 강재에서 빼놓을 수 없는 조건이며, 적정 용접 조건을 알아야만 신강재를 자동차 생산 라인에 적용할 수 있다. 이에 따라 저항 스폿 용접성 평가와 관련된 연구는 신강재 개발에 맞추어 진행되고 있다.

Rhyu⁽¹⁾와 Gedeon⁽²⁾ 등은 도금강에서 용접 시간과 용접 전류에 대한 너트의 크기나 도금된 아연의 영향에 관하여 연구를 하였다. Gedeon⁽³⁾와 Min⁽⁴⁾ 등은 일반적으로 많이 사용되는 자동차용 도금 강판인 다양한 전기도금 강판이나 유기복합피복 강판의 저항 스폿 용접성에 관한 연구를 하였다. Kim⁽⁵⁾, Son⁽⁶⁾, Park⁽⁷⁾ 등은 알루미늄이나 알루미늄 합금과 다른 금속과의 이종 재료 저항 스폿 용접성에 관한 연구를 하였다. Rhee⁽⁸⁾ 등은 자동차 충돌 규제의 강화로 인해 사용되는 고장력 강판에 관한 용접성을 연구하였다. Kim⁽⁹⁾과 Calva⁽¹⁰⁾ 등은 새로운 강종의 저항 스폿 용접성 평가 및 해결 방안을 로브 곡선(lobe curve) 등의 다양한 방법으로 제시하였다. Kim⁽¹¹⁾ 등은 신강종의 저항 스폿 용접성의 평가를 로브 곡선을 통한 적정 용접 조건 범위를 제시하였다.

본 연구에서는 저항 스폿 용접 공정 스케줄의 변화에 따른 용접성을 연구하였다. 제한한 용접 공정 스케줄은 후전류(post-current)를 흘려주어 발생된 열로 용접부의 냉각 속도에 변화를 준다. 이는 용접부에 템퍼링(tempering)이나 어닐링(annealing) 같은 효과를 주게 된다. 본 연구에서는 0.7t GA강과 1.4t DP강에서의 후전류의 변화에 따른 용접성을 연구하였다.

2. 스폿 용접 공정

2.1 스폿 용접의 용접 공정 스케줄

일반적인 AC 저항 스폿 용접의 공정 사이클은 Fig. 1과 같다. 스퀴즈 타임(squeeze time)은 용접 전류를 통전하기 전에 모재를 가압하는 시간이다. 용접 시간(weld time)은 전극 사이에 용접 전류를 통전하여 용접하는 시간이다. 유지

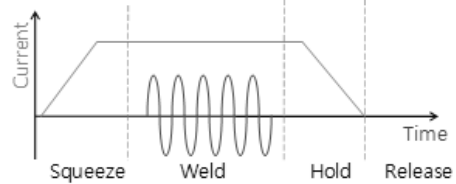


Fig. 1 Spot weld process

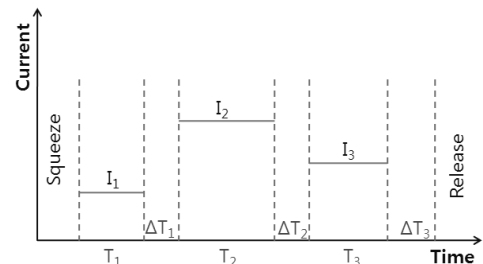


Fig. 2 Proposed Spot Weld Process

시간(hold Time)은 용접 후 가압력을 유지시키며, 용접부를 냉각하는 시간이다. 릴리즈 타임(release time)은 용접을 완료하여 전극을 모재와 분리하는 시간이다.

대부분의 저항 스폿 용접은 1 초안에 용접을 수행한다. 매우 짧은 시간에 용접을 완료하기 때문에 용접부에서 냉각이 급속히 이루어진다. 따라서 열영향부(heat affected zone)에서는 결합이 발생하거나 취성 조직이 생성된다. 본 연구에서는 후전류를 이용하여 용접 후 냉각 속도에 변화를 주어 이러한 요인을 제거하고자 한다.

아래의 Fig. 2는 연구에서 사용된 저항 스폿 용접 공정 스케줄이다. 변화된 용접 공정 스케줄과 기존 저항 스폿 용접 공정 스케줄의 차이는 용접 시간이 여러 구간으로 나누어져 있다는 것이다. I₁은 전전류(pre-current)이며, 주로 용접 재료의 특성을 알기 위한 전류이고, I₂는 주전류(main-current)이고, I₃은 후전류로 용접 후 전류를 통전해서 냉각 속도에 변화를 주었다. T₁, T₂, T₃은 각 단계의 통전 시간을 나타내며, ΔT₁, ΔT₂, ΔT₃는 각 단계마다의 중간 휴지 시간을 표현한다.

3. 실험 장치 및 방법

3.1 실험 장치

본 연구에서는 DC 인버터 용접기를 자체 제작하였으며, 컴퓨터를 이용하여 DSP에 용접 전류 및 시간을 입력하여

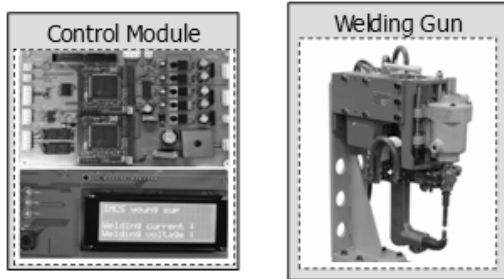


Fig. 3 DC welder and controller

DC 용접기의 출력을 조정하도록 하였다.

위의 Fig. 3은 자체 제작된 제어기와 조립된 용접기의 사진이다. 자체 제작된 용접기는 전류와 가압력을 PC 프로그램으로 사용자가 자유롭게 조절 가능하도록 하였다.

전류의 측정은 DC 로고스코피일을 이용하였고, 전압은 전극의 끝단에서 측정하였다. 측정된 전압과 전류를 이용하여 동저항을 계측하였다.

3.2 실험 재료 및 시험편

자동차 차체 제작을 위한 강판의 두께는 0.5~2mm정도가 일반적으로 사용된다. 본 연구에서는 자동차용 강재로 사용되는 0.7t GA강과 1.4t DP강판을 사용하였다. 인장 전단 강도 평가를 위한 용접 시험편은 길이 75mm, 폭 20mm로 절단하여 두 판재를 20mm 겹쳐서 실험하였다. 아래의 Fig. 4는 시험편의 형상이다.

용접된 시험편은 만능시험기를 이용하여 전단 인장 강도를 측정하였으며, 비커스 경도계를 이용하여 경도를 측정하였다.

3.3 0.7t GA강의 실험 조건

0.7t GA 강 of 용접 조건은 아래의 Table 1과 같다. 가압력을 250kgf로, 주전류와 통전시간은 I₂와 T₂로 9kA, 75ms

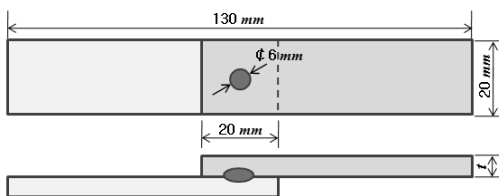


Fig. 4 Dimension of specimen

Table 1 Weld parameters of 0.7t GA steel

Num.	1	2	3	4	5	Unit
I ₁	5	5	5	5	5	kA
T ₁	20	20	20	20	20	ms
△T ₁	50	50	50	50	50	ms
I ₂	9	9	9	9	9	kA
T ₂	75	75	75	75	75	ms
△T ₂	0	25	25	50	50	ms
I ₃	0	4	7	4	7	kA
T ₃	0	22	45	22	45	ms
△T ₃	500	500	500	500	500	ms

로 고정하여 실험하였다.

실험 1번은 전전류와 주전류만 있어 기존의 용접 공정과 같으며 후전류를 포함한 다른 실험 조건과 비교를 하였다. 실험 2번과 4번은 후전류의 크기와 시간은 같지만 주전류와 후전류 사이의 휴지 시간이 다른 경우이며, 실험 3번과 5번도 후전류의 크기와 시간은 같지만 역시 주전류와 후전류 사이의 휴지 시간이 다른 경우를 보여주고 있다. 각 실험 조건으로 용접하여 용접부의 강도와 경도를 측정하여 비교하였다.

3.4 1.4t DP강의 실험 조건

1.4t DP 강 of 용접 조건은 아래의 Table 2와 같다. 용접 가압력은 250kgf로 고정하였다. 본 연구에서는 후전류의 영향을 보기 위해서 후전류의 통전 시간과 전류만을 변화시켰

Table 2 Weld parameters of 1.4t DP steel

Num.	1	2	3	4	5	Unit
I ₁	5	5	5	5	5	kA
T ₁	20	20	20	20	20	ms
△T ₁	50	50	50	50	50	ms
I ₂	7	7	7	7	7	kA
T ₂	180	180	180	180	180	ms
△T ₂	0	25	25	50	50	ms
I ₃	0	3	5	3	5	kA
T ₃	0	54	108	54	108	ms
△T ₃	500	500	500	500	500	ms

으며, 전전류와 주전류의 조건은 실험 1번과 같이 7kA, 180ms로 하였다.

0.7t GA 강과 같이 실험 2번과 4번은 후전류의 크기와 시간은 같지만 주전류와 후전류 사이의 휴지 시간이 다른 경우이며, 실험 3번과 5번도 후전류의 크기와 시간은 같지만 역시 주전류와 후전류 사이의 휴지 시간이 다른 경우를 보여주고 있다. 각 실험 조건으로 용접하여 용접성을 비교하였다.

4. 실험 결과

4.1 0.7t GA 강

아래의 Fig. 5는 0.7t GA 강의 실험별 인장 강도를 보여주고 있다. 실험 조건 1은 후전류가 없는 용접 공정의 인장 강도 결과이다. 실험 2번과 4번은 동일한 후전류 크기와 시간으로(4kA, 22ms)를 용접하였지만, 주전류와 후전류사이의 중간 휴지 시간이 다르다. 중간 휴지 시간이 작을수록 강도가 높아짐을 알 수 있다. 실험 3번과 5번(7kA, 35ms)도 동

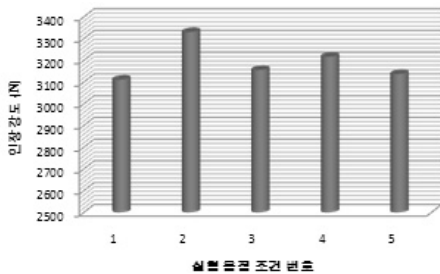


Fig. 5 Shear strength of 0.7t GA

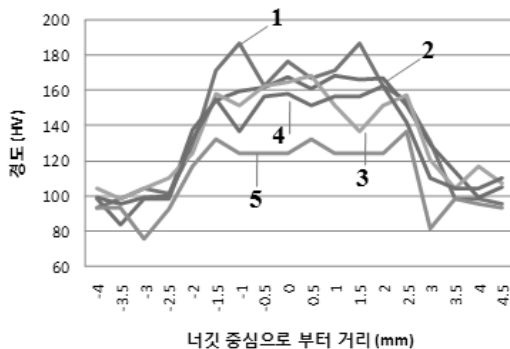


Fig. 6 Hardness of 0.7t GA steel

일한 후전류 크기와 시간을 주고 중간 휴지 시간만 다르다. 이도 휴지 시간이 적을수록 강도가 약간 높게 나타났다. 실험 2번과 3번은 휴지 시간이 같고 후전류의 크기가 다른 경우 열량이 높을수록 낮아지고, 실험 4번과 5번도 같은 경우로 같은 경향을 나타내고 있다.

후전류를 흘려주면 후전류가 없을 때보다 평균적으로 2.8%와 최대 6%의 인장 강도가 향상되었다. 특히 25ms의 휴지 시간을 주고 4kA로 22ms의 전류를 주었을 때 가장 강도가 향상되었다. 동일한 후전류를 통전하고, 휴지시간이 25ms인 경우가 50ms인 경우에 비하여 오히려 인장 강도가 높게 나타남을 알 수 있었다. 이는 휴지 시간이 어느 일정한 값을 초과하지 말아야 함을 알 수 있었다. 이런 현상의 원인을 살펴보기 위하여 용접부 너깃의 경도를 측정하였다. 아래의 Fig. 6은 각 실험별 용접부 너깃의 경도이다.

Fig. 6에서 실험 1의 경도값이 다른 실험의 경도값보다 높은 것을 알 수 있다. 이는 용접부가 급속 냉각이 되어 마르텐사이트 조직이 많이 생성이 되어 취성을 가지게 되었기 때문이다. 그러나 다른 시편에서는 후전류를 주면 경도가 낮아지는 현상을 보여주고 있다.

실험 2, 3, 4번이 강도가 커지게 된 것은 Fig. 6에서의 실험 1에 비해 너깃의 크기가 커졌으며, 경도의 급격한 변화가 없었기 때문이다. 실험 5번은 경도가 낮아져 인장 강도가 낮아졌기 때문이다.

4.2 1.4t DP 강

아래의 Fig. 7은 1.4t DP 590 강을 Table 2의 조건으로 용접하여 전단 인장 강도를 측정한 것이다. GA 강과는 달리 후전류를 주면 GA강에 비해 전단 인장 강도가 확연히 증가하였다. 이는 1.4t DP 강이 0.7t GA강보다 후전류 효과가 더 좋음을 알 수 있었다. 초고장력강이거나 후판일수록 후전류를 통전하면 강도가 높아지는 경향을 보인다. 후전류를 통

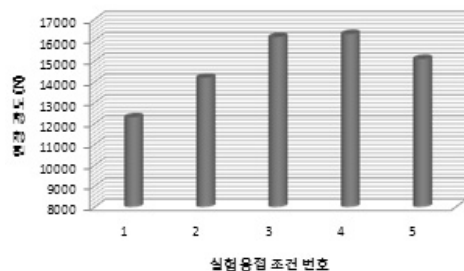


Fig. 7 Shear strength of 1.4t DP steel

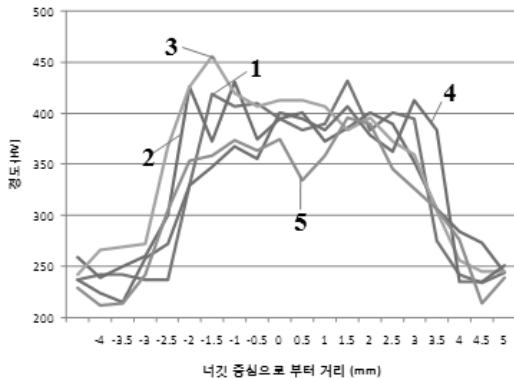


Fig. 8 Hardness of 1.4t DP steel

전하여 얻은 강도가 기존 강도보다 평균적으로 27%, 최대 35% 정도 증가함을 알 수가 있었다. 실험 조건 2, 4와 3, 5번을 보면 휴지 시간이 짧으면 큰 후전류를, 휴지 시간이 길면 작은 후전류에서 용접성이 향상되는 것을 보여주었다. GA강과 다른 경향을 보여주는 것은 강재에 따라 후전류의 적정 조건도 달라짐을 알 수 있었다.

위의 결과를 확인하기 위하여 용접부 너트의 경도를 측정하였다. 아래의 Fig. 8은 1.4t DP강의 용접부 너트의 경도이다.

경도의 변화는 열영향부의 시작을 나타내기도 하며, 열영향부를 포함한 너트의 크기를 나타낸다. 그림에서 보면 실험 1의 너트의 폭이 제일 작다. 너트의 크기가 작은 것은 인장 강도가 작을 수밖에 없다. 후판 재료에서는 후전류를 통전하여 너트도 커짐으로써 강도를 향상 시키는 효과가 있음을 보여주고 있다. 또한 대부분의 파단은 용접 열영향부에서 발생된다. 열영향부의 급격한 경도 변화로 인해 인장 강도 실험 시, 열영향부에서 크랙이 쉽게 발생하여 인장 강도가 낮아진다. 실험 1번과 2번을 보게 되면 열영향부에서 급격한 경도의 변화를 보이며, 인장 강도도 낮게 나타났다.

5. 결론

차체 경량화를 위해 개발된 자동차용 신강종들을 생산 현장에 사용하기 위해서는 적정 용접 조건의 설정이 필요하다. 기존의 용접 공정으로는 용접 강도를 만족시키기 어렵기 때문에 적정 용접 조건을 도출하기는 어려웠다. 본 연구에서는 스폿 용접 공정에 후전류를 통전하여 신강종들의 용접성을 향상시키는 연구를 하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 기존의 저항 스폿 용접 공정 사이클을 세분화하여 후전류를 줄 수 있는 DC 인버터를 개발하여 DSP통해 통전 전류를 제어하였다.
- (2) 적절한 후전류는 용접 열영향부에 대한 템퍼링효과에 의하여 결함을 발생시킬 확률을 저감시키며, 열영향부의 취성화를 방지하여 용접 강도가 향상되는 결과를 얻었다. 강종에 따라 적절한 후전류를 통전함으로써 GA강은 약 3%정도의 인장 강도가 향상이 되었고, DP강은 약 30%정도의 인장 강도 향상을 가져왔다. 제안된 용접 공정 스케줄로 용접을 하면 용접부의 너트는 커지고, 인장 강도는 향상되었다.
- (3) 경도의 변화가 급격한 경우에는 인장 강도가 낮아지는 현상을 보여주고 있다. 후전류를 통전하여 용접하면 용접부 경도의 변화가 완만하게 되어 인장 강도가 향상되었다.

본 연구에서 제안된 용접 공정 스케줄을 이용하면, 고장력강(HSS)이나 초고장력강(AHSS)강일수록 기존의 용접보다 더 좋은 용접 강도를 얻을 수 있었다. 새로운 초고장력강은 기존 용접 공정 스케줄이 아닌 본 연구에서 제안된 용접 공정 스케줄을 필요하는 것을 알 수 있었다.

참고 문헌

- (1) Rhyu, B. K. and Kang, C. S., 1987, "A Study on the Weldability of Galvannealed Steel in Spot Welding Process," *Journal of KWS*, Vol. 5, No. 1, pp. 64~72 (in Korean).
- (2) Gedeon, S. A., Schrock, D., Lapointe, J., and Eagar, T. W., 1984, "Metallurgical and process Variables Affecting the Resistance Spot Weldability of Galvanized Sheet Steels," SAE Technical Paper 840113.
- (3) Gedeon, S. A. and Eagar, T. W., 1986, "Resistance Spot Welding of Galvanized Steel : Part I. Material Variations and Process Modifications," *Metallurgical Transactions B*, 17B, pp. 879~885.
- (4) Min, J. K., Oh, Y. K., and Kim, G. S., 1996, "A Study on the Spot Weldability of Automotive Steel Sheets," *Journal of KWS*, Vol. 14, No. 3, pp. 41~47 (in Korean).
- (5) Kim, S. P., Hong, T. M., and Chang, H. S., 1994, "A Study on the Resistance Spot Welding of

- Aluminium Alloy(I),” *Journal of KWS*, Vol. 12, No. 4, pp. 127~140 (in Korean).
- (6) Son, B. C., Woo, S. Y., J. B. Lee, Y. B. Choi, and H. S. Chang, 1997, “A Study on Resistance Spot Welding of Dissimilar Sheet Metals(Aluminium Alloy-Steel Sheets),” *Journal of KWS*, Vol. 15, No. 4, pp. 42~62 (in Korean).
- (7) Park, J. C., Jung, W. W., and Kang, S. S., 1999, “A Study on the Weldability and the Fatigue Characteristics in Resistance Spot Welding of 5128-O/6061-T6 Dissimilar Aluminium Alloy Sheets,” *Journal of KWS*, Vol. 17, No. 2, pp. 44~52 (in Korean)
- (8) Park, H., Kim, T., and Rhee, S., 2003, “Optimization of Welding Parameters for Resistance Spot Welding of TRIP Steel using Response Surface Methodology,” *Journal of KWS*, Vol. 21, No. 2, pp. 76~81 (in Korean).
- (9) Kim, E. W. and Eager, T. W., 1998, “Parametric Analysis of Resistance Spot Welding Love Curve,” *SAE Technical Paper 880278*,
- (10) Calva, M. and Eager, W., 1990, “Enhancement of the Weldability in Resistance Spot Welding,” *Sheet Metal Welding Conference IV*, Southfield, Mich.,
- (11) Kim, T. H., Lee, D. O., and Rhee, S., 2005, “Development of Resistance Spot Weldability Estimation Using Lobe Diagram for Steel Plate of Automobiles,” *Journal of KWS*, Vol. 23, No. 4, pp. 369~375 (in Korean).