

자동차 차체 수직용접자세에 대한 최적 용접방법에 관한 연구

김제성 · 최동순 · 김종현 · 이보영

A Study on the Optimal Welding Methods of Vertical Welding Positions in the Vehicle Body

Jaeseong Kim, Dongsun Choi, Jonghyun Kim and Boyoung Lee

1. 서 론

자동차를 제작하는 과정에서 용접은 필수적인 공정이다. 전체 용접공정 중 대부분은 점용접이 차지하고 있지만, 차체 제작에 있어 점용접을 실시할 수 없는 Cowl S/Otr 부, Dash 부, W/Arch 내부 등의 간섭부이거나 폐구간에 대해서는 CO₂ 용접을 실시하고 있다. 이러한 CO₂ 아크 용접의 경우 보호가스 특성 및 사용 용접조건에 의해 용락, 용접이상, 용착, 클리너 고착 등과 같은 현상이 발생하고 있다. 이러한 문제로 인해 자동차 생산라인의 비가동이 발생하고 생산성에 영향을 미치는 경우가 있다. 이는 일반적으로 CO₂ 용접이 스패터 발생량이 많고, 아크가 불안정하여 나타나는 현상이므로 용접 공정 특성 파악을 통한 적절한 용접조건 선정이 중요하다. 지금까지 용접 공정의 특성을 분석한 선행연구들을 살펴보면, 크게 금속이행모드 (metal transfer mode), 아크의 안정성(arc stability), 그리고 용접품질 등을 확인을 하기 위한 알고리즘의 개발이 우선시 되어 왔다. 금속이행모드에서는 Adam은 용접 전류, 전압신호를 측정하고 이를 주파수 분석 및 확률적 파라미터를 통하여 이행모드를 판별하였다¹⁾. Wang 등은 변화하는 전압값을 측정하여 전압의 변동치와 금속이행모드와의 관계를 설정하였다²⁾. Ogunbiyi 등은 전압, 전류 파형에서 특징이 될 만한 변수를 선정하여 인덱스를 형성하고 이를 이용하여 금속이행모드 및 아크의 안정성을 판별하였다³⁾. 아크의 안전성에서는 Mita 등은 다양한 실험 조건 하에서 경험적으로 안정된 아크의 용접조건을 선정한 다음 이를 이용해서 아크의 안정성을 결정하기 위한 인덱스를 정의하였다⁴⁾. Shinoda 등은 단락모드에서 측정된 전압, 전류 신호를 이용하여 아크의 안정성을 판별할 수 있는 인덱스를 제안하였다⁵⁾. Rehfeldt 등은 아크 전압을 측정변수로 선정하여 단락모드에서의 안정성을 판별하였다⁶⁾. 측정된 전류와 전

압을 이용하여 확률론적 접근을 통해서 아크의 거동과 규칙성을 기술하고자 하는 접근방법도 있으며⁷⁾, 전류, 전압 그리고 와이어의 송급속도를 측정 변수로 선정하여 확률 함수, 오실로그램 그리고 히스토그램으로 아크의 안정성과 금속이행 특성을 분석하고자 하는 연구가 진행되었다⁸⁻¹⁰⁾. 이처럼 아크 안정성을 판단하는 방법에는 용접전류, 전압의 파형 측정을 통해 단락횟수 및 통계적 해석을 이용한 연구가 많이 진행된 것을 알 수 있다.

이에 본 연구에서는 단락이행 모드가 주로 나타나는 저전류 영역에서 용접을 실시하는 자동차 차체 용접에 있어 수직 자세에서의 아크 안정성을 판단하기 위해 현재까지 연구된 여러 가지 아크안정성 판단에 대한 연구 결과들을 활용하여 차체의 Cowl S/Otr 부와 같이 수직자세로 용접이 되는 부분의 최적 용접 방법에 대해 제안하고자 한다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 사용재료 및 장치

본 연구에서는 주로 차체에 사용되고 있는 1.0 mm 두께의 합금화용융아연도금강판(GA)에 대해 Fig. 1에

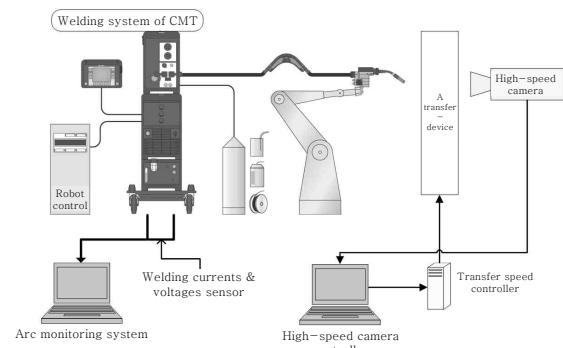


Fig. 1 Configuration of experimental setup

서 보여주고 있는 시스템 장치를 구성하여 수직자세 용접을 실시하였다. 용접기는 오스트리아 Fronius사의 CMT 프로세서 용접기를 사용하였으며, 아크 모니터링 시스템을 이용하여 용접 중 전류와 전압 신호를 획득하였다. 동시에 수직자세 용접에서 나타나는 용융풀의 거동 및 금속이행현상을 확인하기 위해 고속카메라를 사용하여 촬영하였다. CMT 용접 장치는 토치 부분에 AC 서보모터를 장착하여 용접이 되는 동안 와이어를 뒤로 당겨줌으로써 단락이행모드가 주기적이고 안정적으로 발생하게 제작된 용접기이다. 또한 기존 용접기와 비교하여 동일 전류에서 저입열로 용접됨으로써 용락과 같은 문제를 해결할 수 있는 용접기이다.

2.2 실험방법

직류역극성 및 CO₂ 100%의 보호가스를 사용하였으며, 보호가스 유량은 17l/min, CTWD (Contact Tube to Work Distance)는 12mm로 하여 Table 1과 같은 용접조건으로 차체 생산라인에서 주로 많이 사용되고 있는 겹치기 용접을 실시하였다. 또한 적절한 수직용접 자세를 선정하기위해 Fig. 2에서 보는바와 같이 45°, 90°, 135°의 토치 각도를 주어 수직 상·하향용접을 진행하였다.

수직자세 용접 시 용접현상을 파악하기 위해 용접 전류, 전압을 10kHz로 측정하여 데이터로 사용하였으며, 단락횟수에 따른 비드 외관을 비교하였다. 또한, 용접 시 나타나는 용융풀의 거동 및 금속이행현상을 확인하기 위해 1/12000 frame/s 으로 3초간 촬영하였으며,

Table 1 Welding conditions for vertical welding

Welding currents (A)	Welding voltages (V)	Wire feeding rate (m/min)	Welding speed (mm/s)
80	13.6	3.2	10

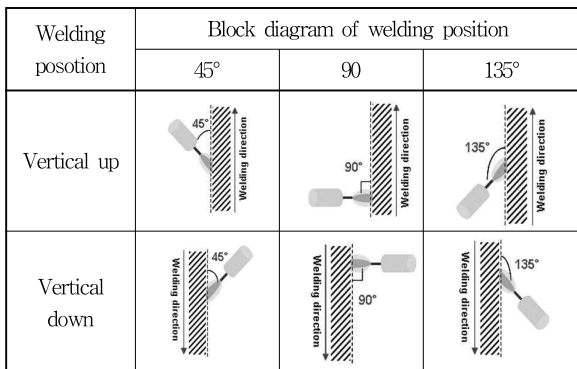


Fig. 2 Vertical welding positions

동시에 각 수직자세 용접 별 스패터 발생 현상에 대해서도 관찰하였다. 또한 용접에서 나타나는 파형 분석을 통해 arcing time과 short-circuit time의 표준편차 및 V-I 곡선을 분석하여 아크 안정성을 판별하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 아크 안정성 판단

3.1.1 비드 형상

Fig. 3에서 보는 바와 같이 수직 자세에 따라 동일 조건에서 용접한 시험편의 비드 외관을 보면 45°, 90°, 135°의 세 가지 조건 중 90° 하향 자세로 용접한 경우가 가장 미려한 비드를 얻을 수 있었다. 하지만 비드 단면을 살펴본 결과 용입은 90° 상향자세 가장 깊고 비드폭은 90° 하향자세에서 가장 넓게 나타나는 것을 확인하였다. 현장에서 비가동의 원인이 되는 용락이나 아크 끊김 현상들이 나오지 않게 하기 위해서는 90° 하향 자세에서의 비드가 적용 가능할 것으로 판단된다.

3.1.2 단락횟수와 표준편차

험핑(humping) 비드가 없는 비드형상을 얻은 90°상향, 90°하향, 45°상향 용접자세의 경우 나머지 용접자세보다 20%이상 단락이행 횟수가 많음을 확인할 수 있었다. 일반적으로 저전류 영역에서는 단락횟수가 많을수록 스패터 발생량이 적고 아크가 안정하다고 알려

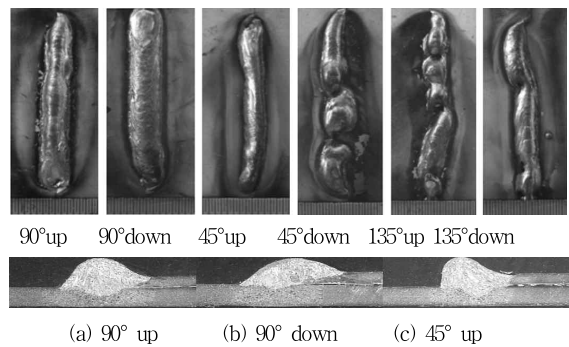


Fig. 3 Bead shape of the vertical welding positions, respectively

Table 2 Result of penetration, bead width and reinforcement

welding position	Penetration	Reinforcement	Bead width
90up	0.6	1.96	4.07
90down	0.28	1.59	4.88
45up	0.62	2.06	3.26

져 있다. Table 3에서 단락횟수에 대한 결과를 봤을 때 험핑 비드가 없이 건전한 비드를 얻었다고 판단되는 용접조건 90°상향, 90°하향, 45°상향 자세의 경우 단락횟수가 초당 100회를 넘는 것을 확인할 수가 있으며, 현장에서 활용 가능한 비드 형상을 얻은 90° 하향 자세에서 단락횟수가 가장 높은 것을 볼 수 있다. 기존 선행 연구에서 Harmans 등은 단락주기의 표준편차가 적을수록 아크가 좀 더 안정하다는 결과를 얻었다¹¹⁾. Table 4와 Fig. 4를 보면 앞에서 비교적 좋은 비드를

Table 3 Short circuit frequency of vertical welding positions, respectively

Welding position	short-circuit frequency (hz/s)	Instantaneous/normal short-circuit & total
V_90° up	108.5	9/208 = 217
V_90° down	112.5	19/206 = 225
V_45° up	103	1/205 = 206
V_45° down	90	9/171 = 180
V_135° up	81	10/152 = 162
V_135° down	95	6/184 = 190

Table 4 Standard deviation of the arc time(t_a) and short-circuit time (t_s)

Welding position	Standard deviation
	$\sigma(t_a) \cdot \sigma(t_s)$ (msec)
V_90 up	1.364
V_90 down	2.838
V_45 up	0.744
V_45 down	3.479
V_135 up	6.061
V_135 down	3.263

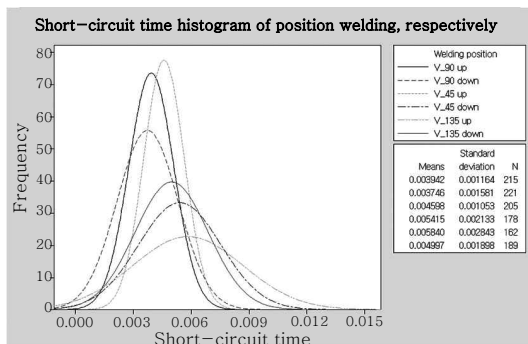


Fig. 4 Short-circuit time histogram of the position welding

얻은 세 가지 용접 자세에서 표준편차가 다른 조건에 비해 적음을 알 수 있다. 이에 따라 수직자세 용접의 경우 90° 자세(상하향) 및 45° 상향 조건이 다른 조건에 비해 아크가 더 안정하다는 것으로 판단할 수 있으며, 단락횟수와 표준편차를 동시에 그래프로 나타낸 Fig. 5에서도 단락횟수가 100(hz/s) 이상 표준편차가 3(msec) 이하 영역에 90° 상·하향 및 45° 상향 조건이 분포하는 것을 확인할 수 있었다.

3.1.3 V-I 곡선

Fig. 6은 CMT 용접기에서 나타나는 V-I 곡선과 아크 발생 과정을 보여주고 있다. CMT 용접기의 경우 일반적인 용접기와 달리 토치에 와이어를 뒤로 당겼다 앞으로 밀어주는 AC 서보모터를 가지고 있기 때문에 많이 보아 오던 V-I 곡선과는 조금은 다른 형태를 가지고 있다. 일반적인 V-I 곡선을 보면 꺾은 형태의 사각형을 형성한다. 사각형의 각 변은 아크 소멸-단락상태-아크재생-아크상태와 연속적으로 대응되며, 이행과정은 시계반대방향으로 순차적으로 진행된다. 이와는 달리

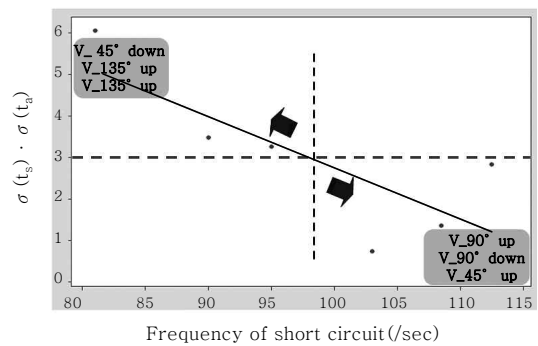


Fig. 5 Standard deviation(msec) and frequency of short circuit(/sec)

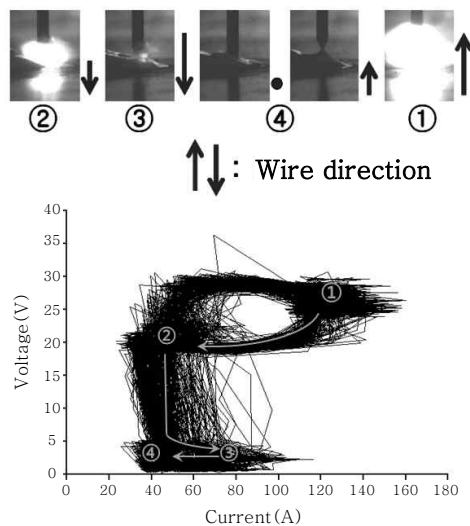


Fig. 6 V-I loop of the cold metal transfer

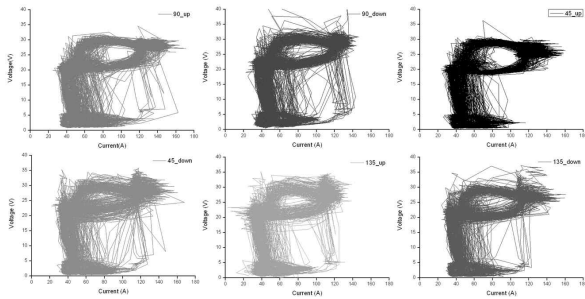


Fig. 7 V-I loop of the vertical welding positions, respectively

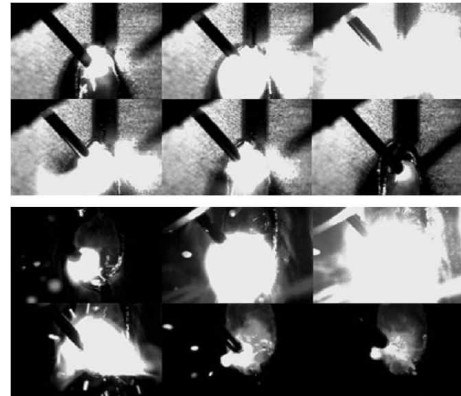
CMT V-I 곡선은 P자 형태의 V-I 곡선을 가지며, 와이어를 모재 방향으로 밀어 넣어줄 때 Fig. 6의 ②번과 같이 아크가 줄어드는 현상이 나타나며, 이후 ③번과 같이 단락이 발생한다. ④에서 와이어를 뒤로 당겨줌으로써 ①에서와 같이 아크가 재생된다. 각 조건 별로 용접 전류와 전압의 V-I 곡선을 도출하여 분석한 결과 Fig. 9에서 보는 바와 같이 험핑 비드가 발생한 45° 하향, 135° 상·하향 조건에서 와이어가 아래쪽으로 내려가면서 아크가 줄어드는 ①→②번 구간과 와이어가 뒤로 당겨지면서 아크가 발생하는 ④→①번 구간의 사이가 점점 좁아지는 것을 확인할 수가 있다. 이렇게 그 영역의 면적이 줄어드는 것은 아크가 줄어드는 ①→②번 구간에서의 전압이 45° 하향, 135° 상·하향 조건에서 상대적으로 더 높게 형성되어 나타나는 현상으로 판단된다. 와이어가 아래쪽으로 내려가는 동안 아크의 크기가 줄어들면서 전압이 안정적으로 감소해야 하지만, 아크의 불안정성으로 인해 안정적인 아크가 형성되지 않는 것으로 사료된다.

3.2 고속촬영

각 조건별로 고속촬영을 통해 얻어진 용적이행과 아크 형태에 대해 보여주고 있는 Fig. 8을 보면, 90° 하향 조건에서 스파터가 발생하는 것을 볼 수는 있지만, 45° 수직하향 자세와 135° 상·하향 자세에서 아크가 불안정하고 스파터가 많이 튀는 것을 육안으로 확인할 수가 있었다. 이는 비드 형상, 단락횟수 및 V-I 곡선의 결과와 비교하여 판단해볼 때 45° 하향, 135° 상·하향 조건보다 90° 상·하향 및 45° 상향 조건에서 아크가 안정하다고 판단할 수 있다.

4. 결 론

본 연구를 통해 현재 자동차 차체에 적용하고 있는 CO₂ 용접 공정에서 수직자세로 용접을 진행할 경우 토



(a) 45° vertical-up(top), vertical-down(bottom)



(b) 90° vertical-up(top), vertical-down(bottom)



(c) 90° vertical-up(top), vertical-down(bottom)

Fig. 8 Image of the high-speed camera

치각도가 90°인 자세에서 다른 조건에 비해 아크가 더욱 안정하다는 것을 확인할 수가 있었으며, 조건별로 나타난 비드 형상을 볼 때 90° 하향 조건을 사용하여 용접을 진행할 경우 용락의 발생 우려를 줄일 수 있고 갭에 대한 영향을 최소화 할 수 있을 거라고 판단된다. 향후 물리적인 부분에 대한 연구가 더욱 필요할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 국가지정연구실 (No.M20604005402-

06B040040210) 사업의 일환으로 수행되었기에 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. G Adam and T. Siewert : Sensing of GTAM droplet transfer modes using ER1100S-1 electrode, *Welding Journal*, 69-3 (1990), 103s-108s
2. W. Wang, S. Liu and J.E. Jones : Flux cored arc welding; Arc signals processing and metal transfer characterization, *Welding Journal*, 74-11 (1995), 369s-377s
3. B Ogunbiyi and J. Norrish : GMAW metal transfer and arc stability assessment using monitoring indices, *Computer Technology in Welding*, Six international conference, Lanaken, Belgium, 9-12, 1996
4. T. Mita, A. Sakabe and T. Yokoo : Quantitative estimate of arc stability for gas shielded arc welding, *Welding International*, 2 (1988), 152-159
5. T. Shinoda and H. Nishikawa : Monitoring and Signal Processing of short circuiting Metal Transfer of Metal Active Gas Welding process, *Proceedings of the Int. Conf. on the Joining of Materials*, May 31-June 2, (1995), 558-565
6. D. Rehfeldt and Th. Schmitz : Fuzzy Logic in Monitoring of Arc Welding, *Proceedings of the Int. Conf. on the Joining of Materials*, May 31- June 2, (1995), 477-486
7. D. Fehfeldt, A. Bollmann, T. Korbe, N. Kost and W. Rostek : Computer-aided quality control by process analyzing monitoring and documentation, *Int. Conf. for the Joining of Material JOM-5*, 10-12th May, Helsingor, Denmark, (1991), 11-16
8. V. Ponomarev, B. Lindberg and O. Al-Erhayem : JOM-ARC analyser for arc welding process, *Proceedings of the Int. Conf. on the Joining of Materials*, May 31-June 2, (1995), 612-615
9. S. J. Na and H. S. Moon : A Study on High speed measuring for welding process signals and signal analysis, *KWJS Autumn Conference*, October, Seoul, (1993), 37-40
10. S. K. Kang, H. S. Moon and S. J. Na : A study on determining arc stability using weight of spatter, *Journal of KWS*, 15-6 (1997), 41-48
11. M.J. Hermans and G. Den Quden : Process behavior and stability in short circuit gas metal arc welding, *Welding Journal*. 78(4), (1999), 137s-141s



- 김재성
- 1977년생
- 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과
- 아크용접 및 용접공정
- e-mail : kim0961@kau.ac.kr



- 김종현
- 1982년생
- 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과
- 아크용접 및 용접공정
- e-mail : power77s@empal.com



- 최동순
- 1982년생
- 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과
- 아크용접 및 용접공정
- e-mail : ddong1st@naver.com



- 이보영
- 1953년생
- 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부
- 용접공학
- e-mail : bylee@kau.ac.kr