

## 차체 플러그 용접품질에 영향을 미치는 아크 위치에 대한 실험적 기초 연구

이 경 민\* · 김 재 성\* · 이 보 영\*\* †

\*한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부 대학원

\*\*한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

### A Study on the Arc Position which Influence on Quality of Plug Welding in the Vehicle Body

Kyungmin Lee\*, Jaeseong Kim\* and Boyoung Lee\*\* †

\*Dept. of Aerospace and Mech. Eng., Graduate school of Korea Aerospace Univ., Goyang 412-791, Korea

\*\*School of Aerospace and Mech. Eng, Korea Aerospace Univ., Goyang 412-160, Korea

†Corresponding author : bylee@kau.ac.kr

(Received June 5, 2012 ; Revised June 27, 2012 ; Accepted June 28, 2012)

#### Abstract

Welding is an essential process in the automotive industry. Most welding processes that are used for auto body is spot welding. And CO<sub>2</sub> arc welding is used in a small part. In production field, CO<sub>2</sub> arc welding process is decreased and spot welding process is increased due to welding quality is poor and defects are occurred in CO<sub>2</sub> arc welding process frequently. But CO<sub>2</sub> arc welding process should be used at robot interference parts and closed parts where spot welding couldn't. CO<sub>2</sub> welding is divided into lap welding and plug arc spot welding. In case of plug arc spot welding, burn through and under fill were caused in various welding environment such as different thickness combinations of base metal, teaching point, over the two steps welding and inconsistent voltage/current. It makes some problem like poor quality of welding area and decrease the productivity.

In this study, we will evaluate the effect of teaching point through the weld pool behavior and bead geometry in the arc spot welding at the plug hole. Welding position is horizontal position. And galvanized steel sheet of 2.0mm thickness that has plug hole of 6mm diameter was used. Teaching point was changed by center, top, bottom, left and right of the plug hole. At each condition, the phenomenon of weld pool behavior was confirmed using a high-speed camera. As the result, we find the center of plug hole is the most optimal teaching point. In the other teaching point, under fill was occurred at the plug hole. This phenomenon is caused by gravity and surface tension. For performance of arc spot welding at the plug hole, the teaching condition should be controlled at a center of plug hole.

Key Words : Arc spot welding, Plug hole, Teaching point, Gravity, Surface tension

#### 1. 서 론

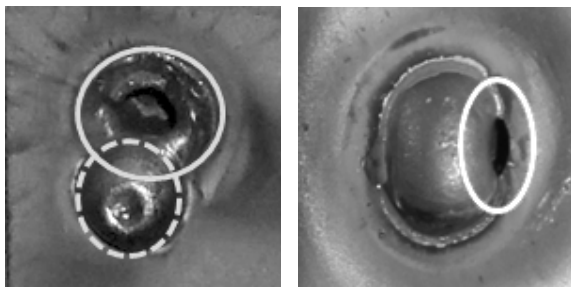
자동차 산업에서 용접은 필수적인 공정이다. 자동차 차체에 적용 중인 용접공정은 점용접(spot welding)을 주로 사용하고 있지만 점 용접기가 용접할 수 없는 Cowl Side Outer, Dash, Wheel House 등과 같은 폐구간

에서는 주로 CO<sub>2</sub> 아크용접을 사용하고 있다. 특히 차체 생산라인과 자동차 부품산업에서는 완제품을 생산하기 위해서 CO<sub>2</sub> 아크용접이 꼭 필요하다. 차체 생산라인의 경우 사용되는 용접자세는 전 자세가 거의 다 사용된다고 할 수 있지만 주로 아래보기 자세 또는 수평 필릿 자세로 용접하는 것이 일반적이다. 또한 용접 이음부는 제품의 복잡한 형상으로 인한 성형시의 공차발

생 및 가공의 난해함 등을 이유로 맞대기 이음을 사용하지 않고, 겹침 이음이나 플러그 용접을 사용한다<sup>1-4)</sup>.

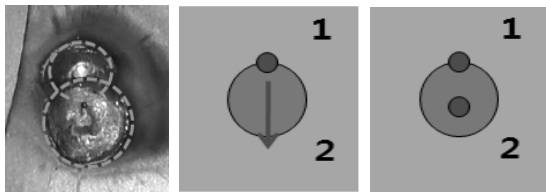
플러그 용접이란 접합되어야 할 두 판재 중 한쪽에 구멍을 뚫은 후 그 구멍을 통해 용탕을 채워 판재를 접합시키는 용접법으로 아크 점용접(arc spot welding)이라고도 한다. 이 방법은 판재의 한쪽 면만을 통한 접합이 가능하며, 약 6.4mm 두께의 강판까지 겹치기 용접이 가능한 것으로 알려져 있다<sup>5)</sup>. 이러한 플러그 용접의 경우 모재의 종류 및 두께 조합, 내부 간섭에 의한 용접자세의 제한 등의 변수로 인하여 용락, 용접이상 등과 같은 현상이 발생하고 있고, 이는 품질 불량, 생산성 저하 등의 문제를 야기하고 있다. Fig. 1은 실제 자동차 산업 현장에서 발생하는 플러그 용접불량을 보여준다. Fig. 2는 하나의 플러그를 용접하기 위해 2번 이상의 용접을 진행하는 현장의 용접 조건을 보여준다. 실제 산업현장에서는 티칭 위치에 대한 관리의 미흡으로 이처럼 2-3번의 용접을 통해 플러그홀을 채우는데, 이는 생산성을 저하시키는 원인이 된다.

이에 본 연구에서는 플러그 용접시 발생하는 용접품질 불량과 생산성 저하의 문제를 해결하게 위해 티칭 위치를 변화시켜 가며 용접을 진행하였다. 각 티칭 위치에 따른 용융풀 거동은 초고속 카메라를 통해 영향을 주는 인자를 확인하였고, 용접 후 비드형상의 분석을 통해 용접성을 확인하였다. 그리고 용접품질 향상과 생산성을 증가시킬 수 있는 최적의 티칭 위치를 확인하였다.



(a) Burn through (b) Under fill

Fig. 1 Welding defects



1 step : arc spot welding  
2 step : lap welding or arc spot welding

Fig. 2 Increase cycle time

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험재료 및 장치

본 연구에서는 주로 차체에 사용되고 있는 2.0mm 두께의 합금화용융아연(GA) 도금강판을 사용하여 Fig. 3에서 보는바와 같은 장치를 구성하여 수직자세 용접을 실시하였다. 용접실험에 사용된 장치는 오스트리아 Fronius사의 CMT 프로세스 용접기를 사용하였으며, 고속카메라를 사용하여 용융풀의 거동을 확인하였다. 시험편의 형상은 Fig. 4에 나타나있고, 사용된 시험편의 화학조성 및 기계적 성질은 Table 1과 같다.

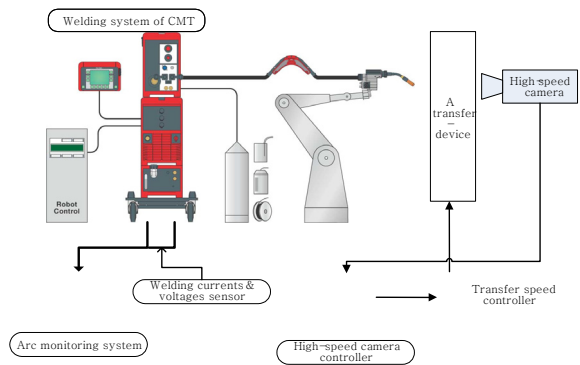


Fig. 3 Schematic diagram of experimental system

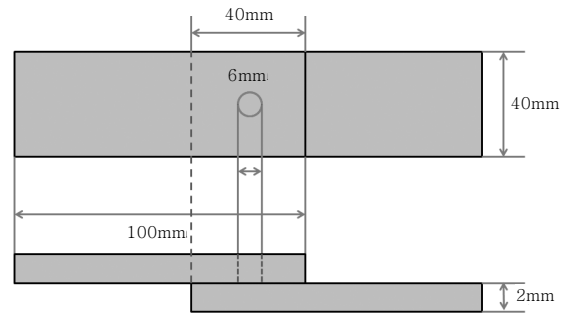


Fig. 4 Configuration of the specimen

Table 1 Chemical composition and mechanical properties of GA sheet

	C	Mn	P	S	Ti	Nb
GA	0.002	0.07	0.01	0.008	0.003	0.01

(a) Chemical composition(wt. %)

	Tensile strength	Yield strength	Elongation
GA	280MPa	170MPa	46%

(b) Mechanical properties

## 2.2 실험방법

용접은 직류역극성을 사용하여 CO<sub>2</sub> 100%의 보호가스를 사용하였으며, 유량은 17 l/min, CTWD(Contact Tube to Work Distance)는 15mm로 하여 모재에 대해 Table 2 조건으로 실시하였다.

티칭위치에 따른 용융풀의 거동 및 용접 특성을 파악하기 위해 Fig. 5와 같이 티칭위치를 5가지로 변화시켜가며 플러그 용접을 실시하였다. 그리고 수직자세에서 티칭위치에 따른 용접현상을 파악하기 위해 비드의 육안검사와 단면확인을 실시하였다. 또한, 용접시 나타나는 용융풀의 거동 확인을 위해 3,000 frame/s로 3초간 촬영을 하였으며, 동시에 각 수직자세 용접 별 스팩터 발생 현상에 대해서도 관찰하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 비드형상

#### 3.1.1 비드외관

수직 자세에서 플러그홀 중앙과 상부에 티칭을 한 경우에만 플러그 홀을 모두 채우며 용접이 되었다. Fig. 6에서 비드의 육안검사 결과, 비드가 중력의 영향을 받는 쪽으로 흘러내려 채워진 모습을 확인할 수 있었다. 일반적으로 용융부에서 유동현상은 주로 표면장력(surface tension), 및 전자기력(electromagnetic force)에 의한 대류(convection)가 큰 영향력을 발휘하며<sup>6-8)</sup>, 상대적으로 중력 가속도(gravitational acceleration)가 용융부 대류현상에 미치는 효과는 극히 작은 것으로 알려져 있다<sup>9)</sup>. 하지만 실질적으로 용접자세에 따라 중

Table 2 Welding parameters

Current (A)	Arc length correction (%)	Work angle (°)	Travel angle (°)	Welding time (sec)
140	30	90	0	2.2

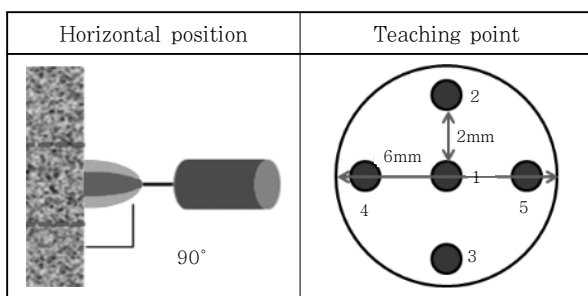


Fig. 5 Welding and teaching point

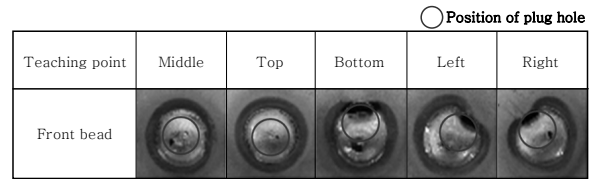


Fig. 6 Bead shape

력의 영향이 비드의 형상에 영향을 미친다<sup>10)</sup>. 따라서 수직 자세에서 용융풀이 커짐에 따라 중력의 영향이 커지게 되어 중력이 작용하는 지면쪽으로 흘러내리며 용접이 되는 것으로 판단된다. 실제로 용접 전의 플러그홀 위치와 용접 후 플러그홀의 위치를 비교해 본 경우를 보면 수직 자세에서 용융풀이 중력의 영향을 많이 받는 것으로 확인 할 수 있다.

또한 이면비드의 확인 결과 플러그홀 중앙에 티칭을 한 경우를 제외하고, 나머지 모든 조건에서는 입열의 부족으로 이면비드가 얇게 나타나는 것을 확인 할 수 있었다. 일반적으로 입열량이 클수록 용입의 깊이가 증가하는데<sup>11)</sup>, 이러한 현상은 티칭위치가 상판 플러그홀 쪽에 가까울 경우 용접 시 발생하는 입열이 상판 쪽으로 더 많이 전달되어 상판을 많이 녹이며 용접이 되기 때문에 하판으로 들어가는 입열이 부족하여 나타나는 현상으로 판단된다.

#### 3.1.2 비드단면

용접비드의 단면분석 결과는 비드 외관에서 확인한 내용과 동일한 현상을 확인할 수 있었다. 각 조건에 따른 용접비드의 단면형상은 Fig. 7에 나와 있다.

수직 자세에서 모든 비드가 중력이 작용하는 지면 방향으로 흘러내린 모습을 확인할 수 있었고, 용입의 깊이가 가장 깊은 조건은 플러그홀 중앙이었다.

따라서 플러그홀 용접 시 티칭 위치에 따른 비드 형상을 분석해 본 결과, 플러그홀 중앙 티칭이 가장 좋은 용접품질을 얻을 수 있다고 판단된다. 이러한 조건으로 용접을 할 경우, 플러그홀 용접 불량을 방지하기 위해 2~3회 용접하던 용접 횟수를 1회로 단축시켜 사이클 타임을 감소시킬 수 있을 것이라고 판단된다.

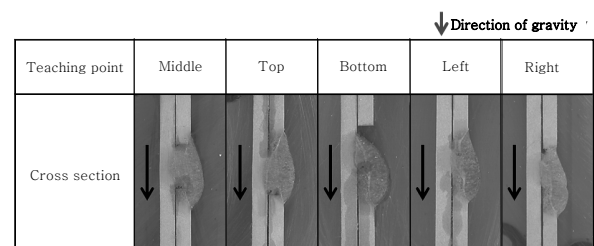


Fig. 7 Cross section of bead

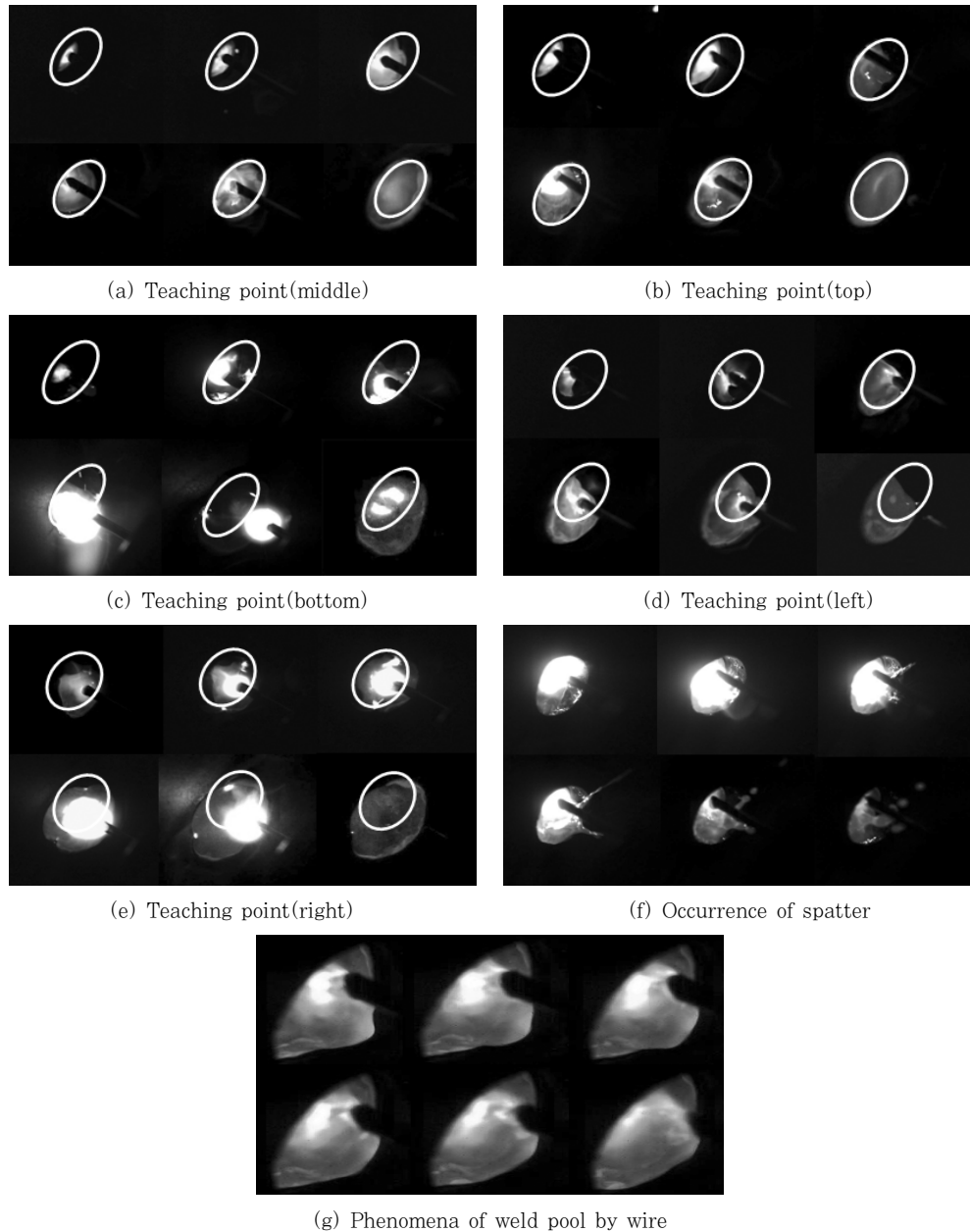


Fig. 8 Images of high-speed cam photography

3.1.3 용융풀 거동

Fig. 8은 각 티칭위치에 따른 용융풀의 거동을 고속 촬영으로 확인한 결과이다.

플러그홀 쪽으로 티칭 위치가 치우쳐 있는 경우, 용융풀은 하판에서 커지다가 곧이어 상판 쪽으로 붙어 상판을 녹이며 커지게 된다. 수직 자세에서 상판을 녹인 용융풀이 중력의 영향을 받아 플러그홀을 채우지 못하고 상판을 녹이며 중력 작용 방향으로 커지는 것을 확인할 수 있다. 이러한 현상은 플러그홀의 위치를 보여주는 흰 타원과 용융풀을 형상의 비교를 통해 알 수 있

다.(Fig. 8-c,d,e) Fig. 8 (a)의 경우 티칭 위치가 플러그홀의 중앙에 위치해 있는데, 이때 용융풀은 플러그홀의 중앙에서 채워져 올라오다가 용융풀의 크기가 커질수록 중력의 작용 방향으로 흐르는 것을 확인할 수 있다. Fig. 8 (b)의 경우는 티칭 위치가 플러그홀 상부에 위치해 있는 그림이다. 이 경우의 용융풀은 상판에 먼저 닿아 상판을 녹이긴 하지만, 일정한 크기의 용융풀을 갖기 전에 중력작용 방향으로 흐르지 않다가 부피가 증가하여 중력의 영향을 받게 되면 순간적으로 중력 작용 방향으로 흐르게 되는데, 이때 다량의 스패터가 발생하는 것을 확인할 수 있다(Fig. 8-f). Fig. 8 (a),

(b)의 경우에도 플러그홀의 위치를 나타내는 흰 타원과 용융풀의 형상을 비교하여 용융풀의 거동을 확인할 수 있다. Fig. 8 (g)의 경우 단락을 제어해주는 CMT 용접기의 특성상 와이어가 용융풀에 닿으며 끌어당겨주는 모습을 확인할 수 있는데 이러한 현상은 용융풀의 표면장력으로 발생하는 현상으로 보인다. 모든 액체는 표면장력을 갖는다<sup>12)</sup>. 이로 인해 용융풀에 작용하는 중력의 힘이 표면장력의 힘보다 커지기 전 까지 흐르지 않고 플러그홀을 채울 수 있다고 판단된다.

## 5. 결 론

본 논문에서는 수직자세에서 티칭위치에 따른 플러그홀 용접의 용융풀 거동을 확인하였다. 이러한 용융풀 거동의 확인을 통해 용융풀에 영향을 미치는 인자를 확인하였고, 최적의 용접조건을 도출한 연구결과는 다음과 같다.

1) 플러그 용접 시 용융지에 영향을 미치는 요인은 티칭위치, 표면장력, 중력이다. 3가지 요인 중 티칭위치를 조정하여 건전한 용접품질을 얻을 수 있다. 따라서 차체 생산라인에서 플러그 용접 시 가장 중요한 용접변수는 티칭위치로 판단된다.

2) 수직 자세 플러그 용접 시 용접성이 좋은 티칭 위치는 중앙과 상부이나 상부 티칭시 스파터 발생량이 많고 입열량이 적어 용입이 깊지 않기 때문에 티칭위치가 중앙인 경우가 가장 좋은 용접품질을 얻을 수 있다고 판단된다.

본 연구를 통해 차체 생산 용접현장에서 생산성을 향상시키고 건전한 용접품질을 얻을 수 있는 조건을 제시하였다. 이는 기존의 아크용접 공정 시간을 단축시켜 생산성을 향상시키고, 신차종 생산시 용접조건을 선정하는데 도움을 줄 수 있을 것이라고 판단된다.

## 참 고 문 헌

1. Jaeseong Kim, Yongjun Cho, Kyungcheol Lee, Boyoung Lee : A Study on the characteristics of vertical welding positions using GA steel sheet in the CO<sub>2</sub> welding, Journal of the KWJS, Autumn Conference (2007), 36-38 (in Korean)
2. Jaeseong Kim, Dongsun Choi, Jonghyun Kim, Boyoung Lee : A Study on the Optimal Welding Methods of Vertical Welding Positions in the Vehicle Body, Journal of the KWJS, **28-6** (2010), 10-14 (in Korean)
3. Youngkim Oh, Hyunsung Park : Application of Welding Technology to Automotive Industry, Journal of the KWJS, **20-5** (2002), 7-11 (in Korean)
4. Kyungmin Lee, Hyunwoo Sim, Jaehyung Kwon, Bukdong Yoon, Minki Jeong, Moonsoo Park Boyoung Lee : A Prediction of the Penetration Depth on CO<sub>2</sub> Arc Welding of Steel Sheet Lap Joint With Fillet for Car Body using Multiple Regression Analysis Technique, Journal of the KWJS, **30-2** (2012), 8-18 (in Korean)
5. 英國熔接學會. “自動 炭酸가스 熔銲接”, (1984)
6. D. K. Aidun, J. J. Domey, and G. Ahmadi : Effect of high gravity on weld fusion zone shape, Welding Research Supplement, **79-6** (2000) 145-150
7. J. S. Foley and C. M. Banas : Laser welding stability limits, Conference ICALWO'87, (1987), 47-54
8. Robert W., Messler JR : Principles of welding, 295
9. S. Kou and D. K. Sun: Fluid flow and weld penetration in stationary arc welds, Metallurgical transaction A, **16A-2** (1985), 203
10. N. Kang, T. A. Mahank, A. K. Kulkarni, J. Singh : Effects of gravitational orientation on surface deformation and weld pool geometry during gas tungsten arc welding, Materials and Manufacturing Processes, **18-2** (2003), 169-180
11. C. S. Ko, K. M. Hwang, Y. S. Choo, J. H. Kim, S. S. Kang, S. M. cho : The effect of heat input at turning point on penetration in the wide oscillation overlay welding, Journal of the KWS, Autumn Conference (2006), 265-267
12. Robert W., Messler JR,: Principles of welding, (1999), 295