

## 커버 플레이트를 이용한 이중 3겹 저항 점 용접성 평가

심정현<sup>a</sup>, 이세현<sup>a\*</sup>Characteristics of Dissimilar Three-Sheet Resistance Spot Welding for  
Advanced High Strength Steel with Cover PlateJunghyun Shim<sup>a</sup>, Sehun Rhee<sup>a\*</sup><sup>a</sup> Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, 222, Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul 04763, Korea

## ARTICLE INFO

## Article history:

Received	11	July	2016
Revised	6	August	2016
Accepted	30	August	2016

## Keywords:

Three-sheet metal  
Resistance spot welding  
Cover plate  
Dynamic resistance  
SORPAS

## ABSTRACT

Low carbon steel is usually used as the outer panel with low base metal resistance compared to the inner reinforced panel made with high strength steel, which makes it difficult to form a robust nugget. To overcome welding problems of a dissimilar three-sheet combination made of SGACEN, DP980 and CP1180, a cover plate was inserted between the upper electrode and SGACEN. The quality of the nugget was analyzed by comparing the welding signals and cross sectional images under maximum heat input both with and without the cover plate. To analyze the mechanical of weld properties, a hardness test analysis was conducted. To enhance the reliability of experimental results, temperature distributions were obtained using a simulation program. The method of inserting a cover plate led to a change in the heat input, which induced a larger nugget size between SGACEN and DP980.

## 1. 서론

온실가스 문제로 인하여 1997년에 발효된 교토의정서를 비롯한 많은 규제들로 인하여 자동차 업계에서는 이를 해결하기 위한 많은 노력들이 진행되고 있다. 또한, 최근 유가상승으로 배기가스 및 연비와 직결되어 있는 차체 경량화의 중요성이 부각되고 있다. 차체 경량화를 위하여 초고강도강(advanced high strength steel)의 이용, 알루미늄, 마그네슘과 같은 경량 금속의 부품개발로 자동차용 소재의 개선을 시도하고 있고, 이에 따라 초고강도강의 적용은 해가 갈수록 증가하고 있다. 저항 점 용접은 두 전극 사이에 시편을 삽입하고 전류를 통하게 하여 접촉면에서 생기는 저항열을 이용하는 공정으로 차체 용접 공정에 상당수를 차지한다. 현재 새롭게 출

시되는 차량의 경우 용접 조합에 있어 고강도강의 적용 비율이 주를 이루고 있다. 외판재, 내판재, 보강재로 이루어진 3겹 조합에 있어 연강이라고 불리는 저탄소강이 외판재로 쓰이고, 내판재와 보강재는 초고강도강으로 구성되어 있다. 이중 3겹 용접시, 외판재로 사용되는 저탄소강은 상대적으로 모재 저항이 낮아 강건한 너깃을 형성하기 어렵다. 따라서, 저탄소강과 고강도강을 이용한 이중 3겹 조합에 대한 용접성을 분석 및 개선을 위한 연구가 필요하다.

관련 연구로서, Pouranvari<sup>[1,2]</sup>는 저탄소강과 DP600강의 이중 용접에서 주요 변수인 용접 시간, 통전 전류, 가압력에 대하여 파단 모드와 기계적 특성을 조사하였고, 동종 3겹 조합에서 두께를 0.8, 1.2, 1.5, 2.0 mm로 바뀌가면서 너깃 성장 메커니즘 및 형상에 대해 분석하고 조합에 맞는 최적 두께를 구하였다. Nielsen<sup>[3]</sup>은 3겹

\* Corresponding author. Tel.: +82-2-2220-0438

Fax: +82-2-2299-6039

E-mail address: srhee@hanyang.ac.kr (Sehun Rhee).

조합에 대하여 용접 메커니즘을 분석하였다. 저탄소강과 고강도강 사이에 고상용접 상태로 접합되어 있으며, 전형적인 너깃 형태가 관찰되지 않지만, 충분한 인장강도를 갖는다고 분석하였다. Harlin<sup>[4]</sup>은 3겹 조합에 대하여 비도금강과 아연도금강에 대하여 서로 다른 용접 메커니즘에 대해 연구하고 용접부 단면을 분석하였다. Jader<sup>[5]</sup>는 시뮬레이션 방법을 사용하여 스폿 용접 변수들에 따른 로브 곡선을 생성하고, 용접 산업 현장에서 시간을 줄일 수 있다고 언급하였다. Khan<sup>[6]</sup>은 스폿 용접에 쓰이는 대표적인 고강도강인 HSLA (high strength low alloy)강 및 DP (dual phase)강, TRIP (transformation induced plasticity) 강에 대하여 용접성을 파악하기 위해 기계적 특성을 분석하고, 용융부(fusion zone)와 열영향부(HAZ)의 경도와 미세조직을 분석하였다. Na<sup>[7]</sup>는 DP980 강 스폿 용접부경화 특성 및 미세조직에 미치는 용접 전류의 영향을 검토하고, 경도와 미세조직과의 상관관계를 분석하였다. Lee<sup>[8]</sup>는 DP강에 대하여 후전류 통전 효과를 주어 약 30% 정도의 인장강도 향상을 가져왔다. 커버 플레이트(cover plate) 방법은 전극과 모재 사이에 커버 플레이트를 삽입하는 방식으로 추가 공정으로 인한 생산성 감소의 문제가 발생되지만 전극 수명의 측면에서는 효과적인 방법이며 또한 고강도강의 용접에서 용접 품질을 향상시킬 수 있는 좋은 방법으로 보고되고 있다<sup>[9-13]</sup>. Fronius사<sup>[14]</sup>에서는 이중 재료 용접시 모재의 저항 차이가 커서 용접하기 어렵기 때문에, 커버시트를 사용하면 각 모재들 간의 저항 차이를 조절할 수 있고 좋은 용접부를 얻을 수 있다고 한다. 따라서, 본 연구에서는 모재와 전극사이에 커버 플레이트를 첨가하여 용접 실험을 진행하였다. 이는 추가적인 발열로 인하여 기존 방법보다 더 많은 열량을 얻을 수 있고, 결과적으로 용접부의 면적을 증가시킬 수 있다. 이를 위하여, 전극과 연강인 SGACEN 강판 사이에 커버 플레이트를 삽입하였다. 특히 기존 공정과의 비교를 위하여, 커버 플레이트를 삽입한 3겹 용접 및 커버 플레이트가 삽입되지 않은 3겹 용접 실험을 수행하였다. 실험 중, 전류, 전압 신호 계측을 통한 동저항 신호를 구하였고 너깃 직경, 전단인장강도 값을 측정하였다. 커버 플레이트 삽입으로 인한 발열 효과를 검토하기 위하여, 온도 분포를 측정하고 SGACEN과 DP980사이의 경도 테스트를 수행하였다. 또한 공정의 효과적인 분석을 위하여, 대표적인 저항용접 시뮬레이션중에 하나인 SORPAS를 사용하여 이중 3겹 저항용접 모델

을 개발하고, 이를 실험결과와 비교하였다.

## 2. 실험 방법

시험편은 Fig. 1과 같이 GA 도금된 0.7 mm 두께의 SGACEN 이 최상층에 위치하고, GI 도금된 2.0 mm 두께의 DP980이 가운데층에 위치하며, 1.6 mm 두께의 CP1180이 최하층에 위치하게 된다. SGACEN과 DP980 강은 도금량은 60 g/m<sup>2</sup>이며 화학적 조성과 기계적 특성은 Table 1과 같다. 커버 플레이트는 Fronius사의 PT3000을 사용하였고, Cr-Ni의 재료로 이루어져 있으며, 두께와 너비는 0.22 mm, 0.12 mm이다<sup>[14]</sup>.

용접기는 정치식 DC 스폿 용접기를 사용하였으며, 전극은 Cu-Cr성분으로 이루어진 선단경 6 mm인 RWMA Class II가 사용되었다.

용접 조건은 Table 2와 같이, 가압력은 일정하게 유지하고 용접 전류, 통전 시간을 변화하여 실험하였다. Fig. 2는 용접 공정 중에 동저항 신호를 찾기 위한, 용접 전류 및 전압 신호 계측 모니터링 시스템이다. 용접 전류는 로고스키 코일(DC flex사)로 용접 전압은 전극의 양 끝단에 클립을 부착하여 계측하였다.

계측된 전압과 전류를 이용하여 RMS (root mean square)값을 구하였고, 각각의 RMS 값을 이용하여 동저항과 전력을 계산하였다. 식 (1)과 (2)를 사용하여 동저항과 전력값을 계산하였다. 이 때  $i$ 는 전류의 RMS 값 이고,  $v$ 는 전압의 RMS,  $p$ 는 전력,  $r$ 은 저항을 나타낸다.

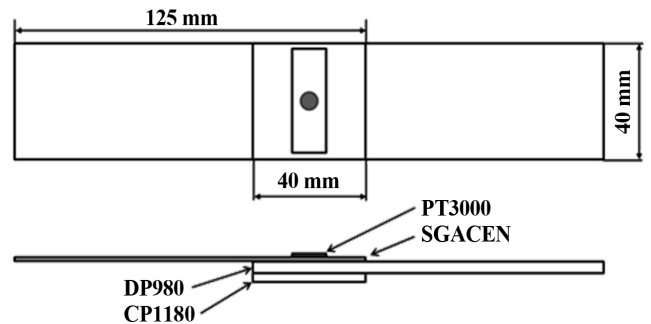


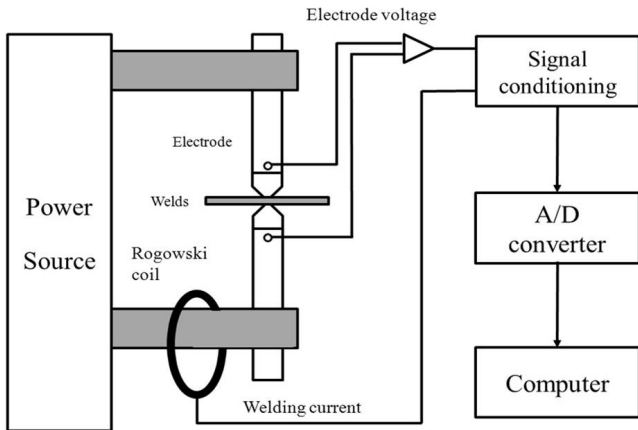
Fig. 1 The combination of specimen and tension shear test specimen

Table 1 Chemical composition of sheet metals (wt %)

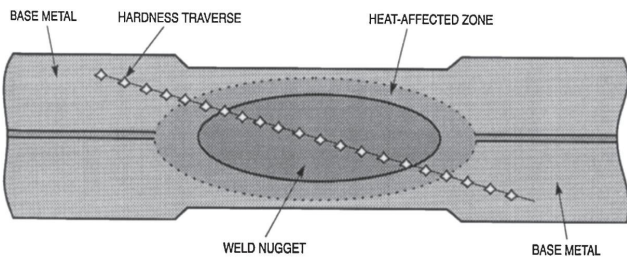
Material	Tensile strength (MPa)	Chemical composition (mass%)									
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Al	Cu
SGACEN	270	0.003	0.0046	0.11	0.014	0.0051	0.015	0.0077	0.0042	0.049	0.026
DP980	980	0.072	0.15	2.53	0.017	0.0022	0.93	0.015	0.019	0.049	0.036
CP1180	980	0.12	0.77	1.96	0.0064	0.0015	0.016	0.0062	0.003	0.068	0.020

**Table 2** Welding conditions

Items	Condition
Squeeze time (ms)	500
Hold time (ms)	300
Electrode force (kN)	3.5
Welding time (ms)	200 / 300 / 400 / 500
Welding current (kA)	4.5 / 5.0 / 5.5 / 6.0 / 6.5 / 7.0 / 7.5 / 8.0 / 8.5 / 9.0 / 9.5



**Fig. 2** Schematic diagram of welding signal monitoring system



**Fig. 3** Cross-sectioned weld and hardness traverse<sup>[15]</sup>

$$r(t) = v(t) / i(t) \tag{1}$$

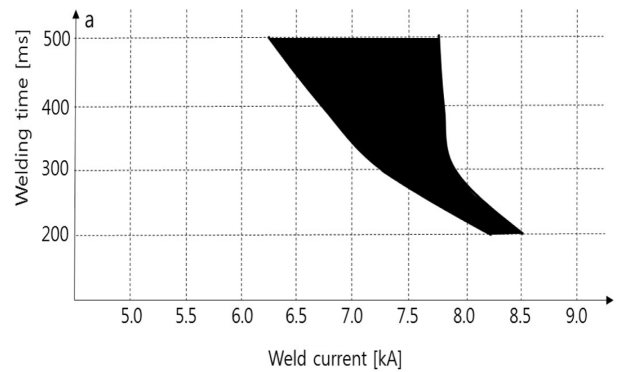
$$p(t) = v(t) \times i(t) \tag{2}$$

용접부 단면 분석을 위하여 용접 가압력을 3.5 kN로 고정하였고 용접부에 최대 입열을 인가하기 위해 날림 발생 전의 전류 조건으로 시험편을 제작하였다. 경도는 AWS 규격<sup>[15]</sup>을 참고하여, 마이크로 비커스 경도기(Model FM-7)를 사용하여 Fig. 3에 나타난 것처럼 대각선 방향으로 하중 100 g, 0.2 mm 간격으로 측정하였다.

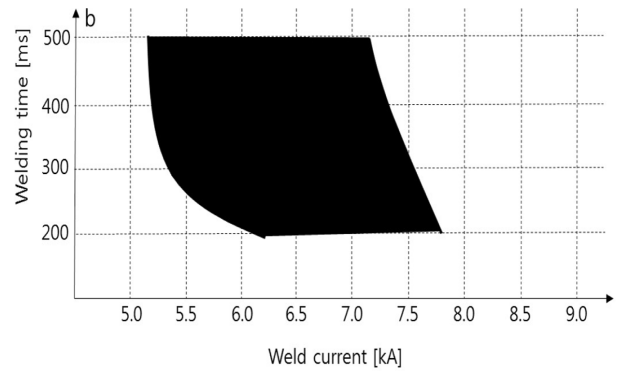
### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 적정 용접 영역 도출

로브곡선이란 저항 점 용접의 3요소인 가압력, 통전시간, 용접전



(a) Without a cover plate



(b) With a cover plate

**Fig. 4** Lobe diagram for three sheet (Electrode force: 3.5 kN)

류 중에서 일반적으로 한가지 인자를 고정하고 다른 두 가지 인자를 변화시켜 적정 용접 영역을 나타내 저항 점 용접성에 대한 평가를 수행하는 곡선이다. 일반적으로 왼쪽 영역은 허용인장강도를 경계로 정한다. 오른쪽 경계는 날림(expulsion) 발생 여부에 따라 기준을 결정한다<sup>[16,17]</sup>.

Fig. 4는 가압력이 3.5 kN일 때, 용접 전류와 통전시간에 대한 로브곡선이다. (a)는 커버 플레이트를 사용하지 않은 기존 용접의 로브곡선을 나타내며, (b)는 커버 플레이트를 사용한 용접의 로브곡선이다. 커버 플레이트를 사용한 경우, 사용하지 않은 경우와 비교하여, 용접 가능한 영역은 낮은 전류대에 위치하게 되며, 용접 영역은 2배 이상 증가하였다. 이는 커버 플레이트가 전극과 연강사이 에 위치하여 추가적인 저항 열을 생산하여 하한선을 왼쪽으로 이동시켜 결과적으로 보다 넓은 용접 영역을 만든 것으로 판단된다. 따라서, 커버 플레이트를 사용한 경우 추가적인 발열에 의해 용접성이 향상되고 용접 영역이 증가함을 확인하였다.

#### 3.2 용접 시그널 분석

저항 점 용접은 재료를 전극 사이에 두고 힘을 가하여 가압한 상태에서 전류를 방전하면, 줄의 법칙에 의한 저항열이 발생하고 이 열을 이용하여 접합을 한다. 저항열은 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = \eta \cdot \int i^2(t) \cdot r(t) \cdot dt [J] \quad (3)$$

여기서  $Q$ 는 저항열,  $\eta$ 는 용접 열 효율,  $i$ 는 용접 전류,  $r$ 는 용접부의 전기적 저항,  $t$ 는 부에 전류가 흐르는 시간을 뜻한다. 식 (3)에 나타난 바와 같이,  $Q$ 는  $i, r, t, \eta$ 의 함수이고,  $i$ 와  $t$ 는 제어 가능한 변수이다. 하지만 저항  $r$ 은 제어가 불가능한 변수이고 또 재료에 의존적인 변수이다. 이 저항은 시간에 따라 변화하기 때문에 동저항이라고 칭하며, 용접 공정에서 가장 중요한 변수 중에 하나이다.

Fig. 5는 커버 플레이트를 사용하지 않은 용접과 커버 플레이트를 사용하였을 때에 동저항 신호를 비교한 것으로 용접 조건은 가압력 3.5 kN, 전류 7.0 kA이다. 실험 결과, 커버 플레이트를 사용하였을 때, 동저항 그래프를 0.5 ms마다 나누어 값을 비교한 결과 7.24% 증가하였다. 이는 전극과 SGACEN 사이에 커버 플레이트를 삽입하여 추가적인 발열을 발생시키고, 이에 따라 저항 값이 증가하기 때문이다. 따라서 식 (1)과 같이 저항열은 용접 전류와 시간이 동일하므로 동저항에 비례한다고 할 수 있다. 상부 전극과 SGACEN 사이의 커버 플레이트의 삽입으로 인해 대입열을 증가할 수 있음을 확인할 수 있다.

### 3.3 너깃 성장 메커니즘

Fig. 6은 SORPAS를 이용하여 가압력 3.5 kN, 전류 7.0 kA의 조건에서 시간에 따른 너깃의 생성 과정을 나타낸다. 상부의 빨간색 곡선은 커버 플레이트를 삽입하였을 경우, 하부의 주황색 곡선은 삽입하지 않았을 경우의 너깃 사이즈 값이다.

통전 시작 후 약 200 ms 경과 후에 시뮬레이션을 통해 너깃을 형성하여 보면 커버 플레이트를 삽입하였을 경우, 상부 전극과 SGACEN 시편 사이의 커버 플레이트로 인하여 저항열이 증가하여 너깃이 상부에도 생성되는 반면에 커버 플레이트를 삽입하지 않은 경우는 너깃이 형성되지 않았다. 350 ms에 커버 플레이트를

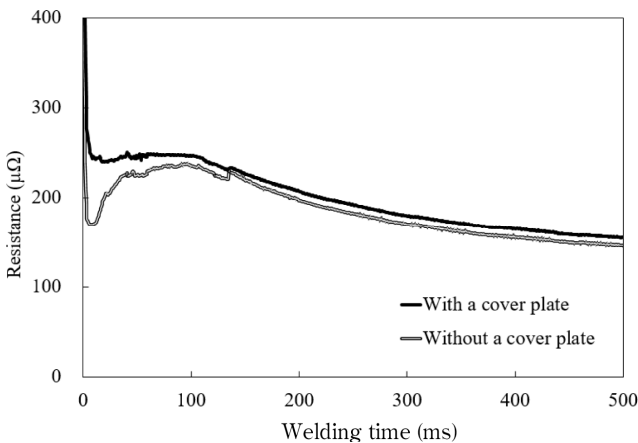


Fig. 5 Comparison of dynamic resistance signal (Welding condition: 3.5 kN, 7.0 kA)

삽입하였을 때, 양호한 너깃을 생성하였고, 반면에 삽입하지 않은 경우 너깃이 위 SGACEN과 DP980 사이에 충분히 생성되지 않음을 확인할 수 있다.

Fig. 7은 커버 플레이트 사용 여부에 따른 용접부의 단면 마이크로 이미지와 시뮬레이션 결과를 비교한 것으로 가압력은 3.5 kN를 사용한 경우 커버 플레이트의 영향으로 상부의 SGACEN과 DP980 강 사이의 너깃이 형성되었다.

최대 용접 전류는 7.0 kA의 조건으로 실험을 진행하였다. 또한 용접 시간은 100 ms의 간격으로 200 ms에서 500 ms까지 실험 및 시뮬레이션을 수행하였다. 가압력이 3.5 kN일 때, 커버 플레이트 Table 3은 SGACEN과 DP980면 너깃의 크기, Table 4는

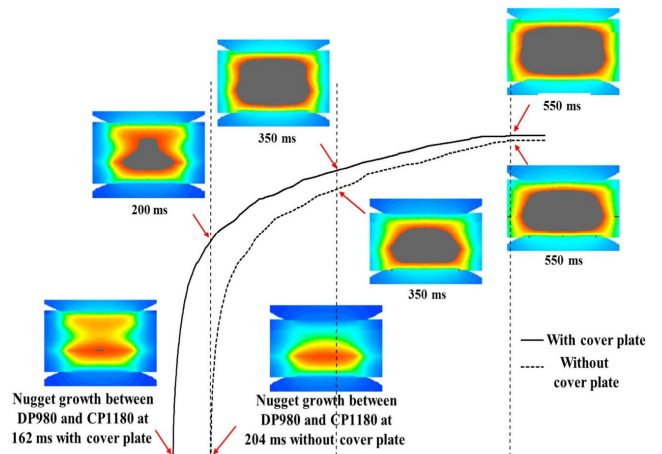


Fig. 6 Nugget growing process without a cover plate and with a cover plate (Welding condition: 3.5 kN, 7.0 kA)

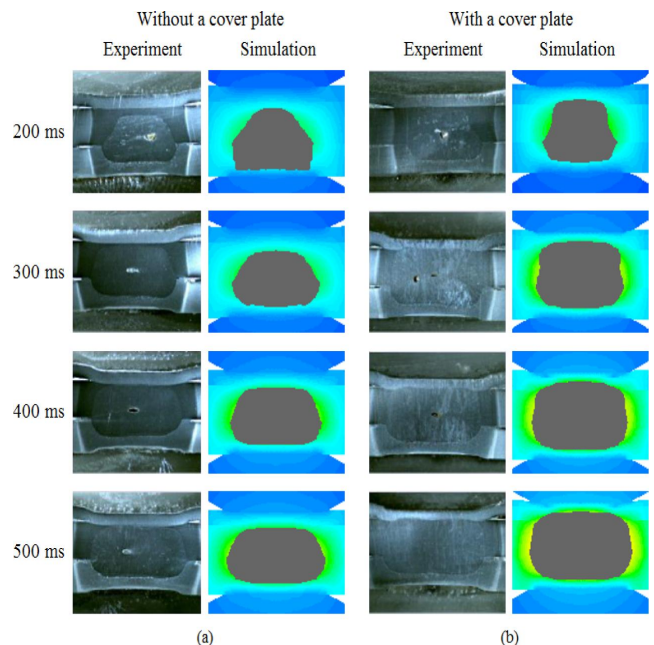


Fig. 7 Nugget growth mechanism according to electrode force (Electrode force: 3.5 kN, welding current: 7.0 kA)

**Table 3 Nugget size according to Welding time on SGACEN - DP980 side (Electrode force: 3.5 kN, welding current: 7.0 kA)**

	Welding time (ms)							
	200		300		400		500	
Experiment (mm)	0.000	3.429	0.000	4.619	0.000	5.048	0.000	5.476
Simulation (mm)	0.000	3.249	0.000	4.416	0.000	4.986	0.000	5.318
cover plate	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes

**Table 4 Nugget size according to Welding time on DP980 - CP1180 side (Electrode force: 3.5 kN, welding current: 7.0 kA)**

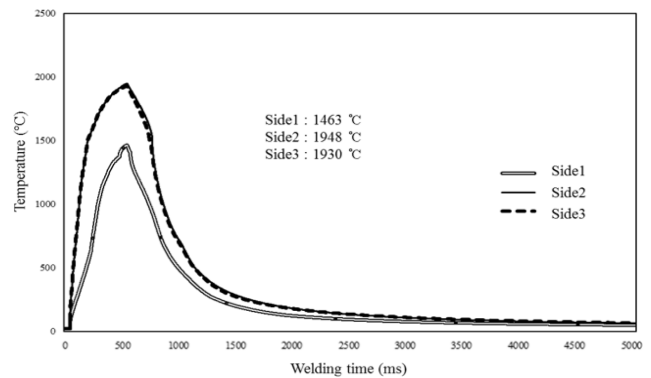
	Welding time (ms)							
	200		300		400		500	
Experiment (mm)	4.524	4.667	5.256	5.524	5.814	5.857	6.279	6.286
Simulation (mm)	4.377	4.651	4.865	5.251	5.454	5.692	6.074	6.232
cover plate	No	Yes	No	Yes	No	Yes	No	Yes

DP980과 CP1180면의 너깃 크기이다. 또한 가압력 3.5 kN, 용접 전류 7.0 kA 일 때, Fig. 7(a)경우인 SGACEN-DP980면의 커버 플레이트를 삽입하지 않은 경우, 플러그 과단의 미생성으로, 너깃이 생성되지 되지 못하였다. 반면에 Fig. 7(b)와 같이 커버 플레이트를 삽입한 경우에는 전극과 SGACEN 사이의 추가 발열로 너깃이 생성되었으며, 최소 사이즈는 3.429 mm이며, 용접시간이 500 ms일 때 최대 5.429 mm 너깃이 생성되었다. 이와 같이 커버 플레이트를 삽입한 경우, 너깃의 사이즈가 증가함을 확인하였고 3겹 용접부 중 연강-고강도강이 접합영역이 용접성에 영향을 미치는 영역이므로, 커버 플레이트 삽입이 연강 부분의 너깃을 생성을 개선시켜 용접성을 향상시킨 것으로 판단된다.

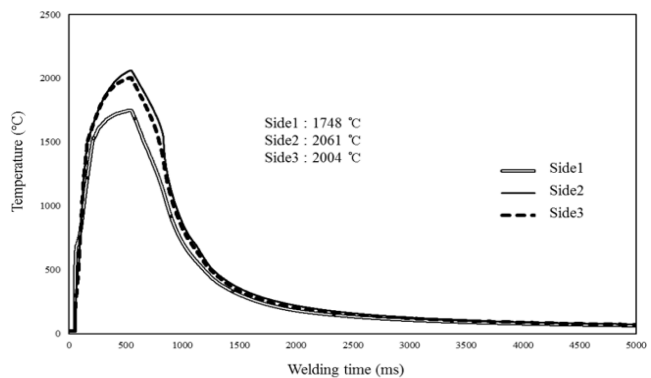
### 3.4 용접부 온도 분포

강종에 따라 차기가 있지만, 대개 5초동안 저항 용접을 수행하였을 때, 용접부의 온도는 1,500°C 이상으로 가열된다고 보고되고 있다<sup>18)</sup>. Fig. 8은 시뮬레이션을 이용한 3겹 저항 용접 공정 중 온도 분포이다. (a)는 커버 플레이트를 삽입하지 않은 경우, (b)는 커버 플레이트를 삽입한 경우로 side1부터 side3은 SGACEN과 DP980사이, 너깃이 생성되는 DP980 모재 가운데 부분, DP980과 CP1180사이를 나타낸다. 용접 공정이 시행되면 모재 저항이 높은 DP980과 CP1180 사이에서 열이 발생되어 서서히 연강인 SGACEN으로 올라가는 형상으로 side3이 가장 온도가 높고, side1이 가장 낮게 나타난다.

(a), (b) 모두 용접이 시작되며 접촉 저항의 증가로 온도가 급격하게 증가하였다. 700 ms 부근에서 SGACEN강의 최고 온도는 1748°C이며, 커버 플레이트를 삽입하지 않은 경우 최고 온도는 1463°C로 약 300°C의 차이를 보였다. 반면, DP980, CP1180의 온도 각각 100°C, 70°C 로 유사하였다. 이는 전극과 SGACEN



(a) Without a cover plate



(b) With a cover plate

**Fig. 8 Temperature distribution using SORPAS (Welding condition: 3.5 kN, 7.0 kA)**

사이에 위치한 커버 플레이트가 삽입된 경우 입열량이 더 증가하여 온도가 높게 증가했다는 것을 확인할 수 있다.

### 3.5 경도 분석

용접부의 기계적, 재료적 특성 분석을 위하여 경도를 측정하였으며, 미세조직을 분석하였다. Fig. 9는 비커스 경도 분포이다.

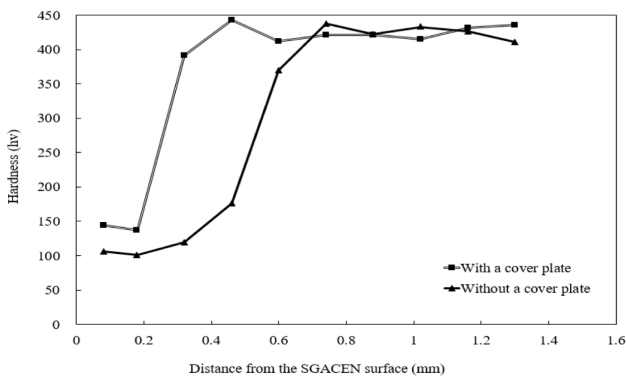


Fig. 9 Hardness distribution without and with a cover plate

커버 플레이트가 사용되지 않았을 때, SGACEN의 용접부가 거의 생성되지 않아 상부 0.5 mm에서 176 Hv의 경도가 측정되었으나, 0.8 mm에서는 약 438 Hv가 측정되었다. 이는 0.7 mm의 두께를 가진 SGACEN이 거의 용접되지 않았다는 것을 알 수 있다. 반면에 커버 플레이트를 삽입한 용접의 경우 0.3 mm부터 391 Hv의 높은 경도 값을 얻게 되는 것을 확인할 수 있다. 너깃의 경도는 400 Hv 이상으로 마르텐사이트 성분이 존재함을 예측할 수 있다.

#### 4. 결론

저항 점 용접 공정에서 이중3겹 조합은 각각의 재료들이 서로 다른 비저항을 가지고 있기 때문에 용접성 확보가 매우 어렵다. 따라서, 본 논문에서는 커버 플레이트를 사용하여 이중3겹 저항 점 용접공정의 용접성을 개선하고자 하였다.

(1) 생성된 저항열을 알기 위하여 동저항 신호를 구하였고, 커버 플레이트를 사용한 경우 추가적인 저항이 발생하여 평균 7.24% 증가된 값을 얻을 수 있었다.

(2) 가압력 3.0 kN, 용접 시간 300 ms일 경우에 커버 플레이트를 사용하지 않은 경우 SGACEN과 DP980 사이에서는 너깃이 생성되지 않은 반면, 커버 플레이트를 사용하였을 때 SGACEN과 DP980 사이의 너깃 사이즈는 4.619 mm로 관찰되었고, 이때 커버 플레이트가 너깃 형성에 큰 역할을 하였다.

(3) 시물레이션을 통하여, 각 시험편의 온도 분포를 계산하였고, 특히 SGACEN 부분에서 커버 플레이트를 사용한 경우 약 300°C 차이를 보였다. 이는 커버 플레이트 때문에 추가적인 발열이 생성되어 기존의 방법보다 SGACEN 에서 더 높은 온도 분포를 보였고, 이는 너깃이 생성되는데 큰 역할을 하는 것으로 생각된다.

(4) 커버 플레이트를 사용하지 않은 경우, 0.5 mm 부근에서 176 Hv, 0.8 mm 부분에서 438 Hv가 측정된 반면, 커버 플레이트를

삽입한 경우 0.3 mm부터 391 Hv의 높은 경도값이 측정되었다. 이는, 너깃에서 빠른 냉각속도로 인하여 경도가 증가하였으며, 마르텐사이트 성분이 존재함을 추측할 수 있다.

#### 후 기

This material is based upon work supported by the Ministry of Trade, Industry & Energy(MOTIE, Korea) under Industrial Technology Innovation Program. No.10063421 ‘Development of the in-line welds quality estimation system and network-based quality control technology in arc and spot welds of ultra high strength steels for automotive parts assembly’.

#### References

- [1] Pouranvari, M., Mousavizadeh, S. M., Marashi, S. P. H., Goodarzi, M., Ghorbani, M., 2011, Influence of Fusion Zone Size and Failure Mode on Mechanical Performance of Dissimilar Resistance Spot Welds of AISI 1008 Low Carbon Steel and DP600 Advanced High Strength Steel, *Materials and Design*, 32:3 1290-1298.
- [2] Pouranvari, M., Marashi, S. P. H., 2011, Critical Sheet Thickness for Weld Nugget Growth During Resistance Spot Welding of Three-Steel Sheets, *SCI Technol Weld JOI*, 16:2 162-165.
- [3] Nielsen, C. V., Friis, K. S., Zhang, W., Bay, N., 2011, Three-sheet Spot Welding of Advanced High-strength Steels, *Welding Journal*, 90:2 32-40.
- [4] Harlin, N., Jones, T. B., Parker, J. D., 2003, Weld Growth Mechanism of Resistance Spot Welds in Zinc Coated Steel, *Journal of Materials Processing Technology*, 143-144 448-453.
- [5] Al-Jader, M. A., Cullen, J. D., Athi, N., Al-Shamma'a, A. I., 2009, Experimental and Computer Simulation Results of the Spot Welding Process Using SORPAS Software, *J PHYS - Conference Series*, 178 1-6.
- [6] Khan, M. I., Kuntz, M. L., Biro, E., Zhuo, Y., 2008, Microstructure and Mechanical Properties of Resistance Spot Welded Advanced High Strength Steels, *Mater Trans*, 49:7 1629-1637.
- [7] Na, H. S., Kong, J. P., Han, T. K., Chin, K. G., Kang, C. Y., 2012, Hardness Distribution and Microstructures of Electric Resistance Spot Welded 1GPa Grade Dual Phase Steel, *KWJS*, 30:2 76-80.
- [8] Lee, H. J., Rhee, S. H., 2009, A Study of Post-current Effect in DC Inverter Resistance Spot Welding, *KSMTE*, 18:6 598-603.

- [9] Fricke, W., Feltz, O., 2010, Fatigue Tests and Numerical Analyses of Partial-load and Full-load Carrying Fillet Welds at Cover Plates and Lap Joints, *Welding in the World*, 54:7-8 225-233.
- [10] Min, D., Yong, Z., Jie, L., 2016, Dissimilar Spot Welding Joints of AZ31-443 Ferritic Stainless Steel with Cover Plate, *Int. J. Adv. Manuf. Tech.*, 85:5-8 1539-1545.
- [11] Satonaka, S., Iwamoto, C., Murakami, G.-I., Matsumoto, Y., 2012, Resistance Spot Welding Of Magnesium Alloy Sheets with Cover Plates, *Welding in the World*, 56:7 44-50.
- [12] Shi, H., Qiu, R., Zhu, J., Zhang, K., Yu, H., Ding, G., 2010, Effects of Welding Parameters on the Characteristics of Magnesium Alloy Joint Welded by Resistance Spot Welding With Cover Plates, *Mater & Design*, 31:10 4853-4857.
- [13] Qiu, R., Shi, H., Yu, H., Zhang, K., Tu, Y., Satonaka, S., 2010, Effects of Electrode Force on the Characteristic of Magnesium Alloy Joint Welded by Resistance Spot Welding with Cover Plates, *Mater. and Manuf. Processes*, 25:11 1304-1308.
- [14] Fronius., viewed 6 Aug. 2016, Fronius International GmbH Website, <[http://www.axson.se/pdf/fro\\_news\\_DeltaSpot\\_eng.pdf](http://www.axson.se/pdf/fro_news_DeltaSpot_eng.pdf)>.
- [15] AWS, 1982, Recommended Practices for Test Methods for Evaluating the Resistance Spot Welding Behavior of Automotive Sheet Steels, AWS D8.9-97, U.S.A.
- [16] Kim, T. H., Lee D. O., Rhee, S. H., 2005, Development of Resistance Spot Weldability Estimation using Lobe Diagram for Steel Plate of Automobiles, *KWJS*, 23:4 59-65.
- [17] Huh, D. W., Rhee, S. H., 2011, A Study on the Sheet Separation Reduction of Stainless Steel using Hollow Spot Electrode Tip for Resistance Spot Welding, *KSMTE*, 20:6 679-684.
- [18] Kim, M. J., 1993, Resistance Welding, Kimoonsa, Korea.