

## 예비전류를 이용한 자동차용 프리실드 강판의 저항 점 용접성 향상에 관한 연구

박 태 규\* · 윤 상 만\* · 이 세 현\*\* †

\*한양대학교 대학원 기계공학과

\*\*한양대학교 기계공학부

### A Study for Resistance Spot Weldability of Pre-sealed Sheet Steel for Automobile Body by Using Pre-current

Taegy Park\*, Sangman Yun\* and Sehun Rhee\*\*,†

\*Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul, 133-791, Korea

\*\*Division of Mechanical Engineering, Hanyang University, Seoul, 133-791, Korea

†Corresponding author : srhee@hanyang.ac.kr

(Received August 25, 2009 ; Revised September 16, 2009 ; Accepted October 14, 2009)

#### Abstract

In the present day, new performances are demanded for automobile body steel sheet for example, light weight, durability, resistance corrosion and environmental protection. For an improvement of resistance corrosion, European automobile companies developed pre-sealed steel in 1990's. Pre-sealed steel have organic coated layer upper zinc coated layer. Evaluating a resistance spot weldability of pre-sealed steel plate is important because resistance spot welding is used mainly in automobile body joining process. In this study, evaluating a weldability of pre-sealed steel plate was carried out using lobe diagram, dynamic resistance and high-speed image. Usually, Pre-sealed steel has poor weldability than GA steel's. To improve a weldability of pre-sealed steel sheet, pre-current was applied to welding process. Pre-current is applied prior to base-current. In conclusion, the weldability of pre-sealed steel has been improved than GA steel's by applying pre-current.

Key Words : Dynamic resistance, Lobe diagram, High-speed image, Pre-current, Pre-sealed, Resistance spot welding, Weldability

#### 1. 서 론

자동차 산업이 발전함에 따라 차량의 성능뿐만 아니라 안정성, 내구성, 친환경성 등이 요구되기 시작했으며, 이를 위해 다양한 자동차 차체 신 강종들이 개발되어 왔다. 그 중에서도 도금강판이 차체의 방청성 향상을 위해 많이 사용되고 있다. 하지만, 차체의 플랜지부나 도어(door), 펜더(fender) 같은 부식에 취약한 부위는 도금강판의 적용에도 불구하고, 방청성이 크게 향상되지 못하였고, 이로 인해 발생하는 부식은 차량의

외관 품질을 떨어뜨리고, 내구성을 저하시키는 요인으로 작용하고 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 유럽의 자동차 회사들은 프리실드 강판을 개발하여 차체에 적용하고 있다. 프리실드 강판은 아연 도금된 강판 위에 전도성 안료(pigment)가 다량 함유된 유기 피막을 도포한 강판으로써 90년대부터 다임러 크라이슬러를 중심으로 연구 개발이 진행되어 왔고, OCS (organic coating steel), granocoat®, bonazinc® 라고도 불리고 있다. 프리실드 강판을 사용함으로써 얻을 수 있는 효과는 방청수명이 약 20년 정도 향상된다는 점과 차체 도장 공정중의 2차 부식 방지 공정을 생

략할 수 있다는 점을 들 수 있다.

따라서 차체에 적용하기 위하여 요구되는 중요한 성질 중의 하나인 저항 점 용접특성에 대한 연구도 활발히 진행되었다. Calva<sup>1)</sup>, Kim<sup>2)</sup>, Eager<sup>3)</sup> 등은 로브곡선을 이용하여 저항 점 용접 공정의 적정 용접 조건 제시에 관한 연구를 수행하였고, Kaiser<sup>4)</sup>, Savage<sup>5)</sup>, Gedeon<sup>6)</sup>, Cho<sup>7)</sup> 등은 용접공정 중에 예측할 수 있는 신호 중의 하나인 동저항 신호를 예측하여 동저항 신호와 너깃 형성의 관계에 관한 연구를 수행하였다. Upthegrove, Key<sup>8)</sup> 등은 용접 공정중의 너깃 형성을 고속카메라를 이용하여 확인하였고, Freytag<sup>9)</sup>, Friedman<sup>10)</sup>, Green<sup>11)</sup>, Schueler<sup>12)</sup> 등은 아연도금강판의 도금 층이 저항 점 용접성에 주는 영향에 대한 연구를 수행하였다. 하지만 프리실드 강판의 저항 점 용접성에 관한 연구는 많이 수행되지 않고 있다.

본 연구에서는 프리실드 강판의 저항 점 용접성을 로브곡선과 동저항 신호를 이용하여 분석하였다. 또한 프리실드 강판의 용접성을 향상시키기 위하여 주 전류(main-current) 이전에 예비 전류(pre-current)를 주어 용접성을 향상시켰다.

## 2. 저항 점 용접성

### 2.1 로브곡선, 동저항

로브곡선이란 저항 점 용접의 주요 공정변수인 전류, 통전시간, 가압력에 따른 적정용접범위를 나타낸 곡선이다. 일반적으로 전류-통전시간에 따른 로브곡선을 많이 이용하지만 경우에 따라서 전류-가압력에 따른 로브곡선을 이용하기도 한다. 로브곡선에서 하한선은 최소인장전단강도(강판의 종류 두께에 따라 다름)나 최소너깃크기로 결정된다. 최소너깃크기는 모재 두께 $t$ (mm)의  $\sqrt{t}$ 나  $\sqrt[3]{t}$ 로 결정된다. 로브곡선의 상한선은 날림발생의 유무로 결정되는데, 날림이란 과도한 입열에 의해 용융된 금속이 용융 부 바깥으로 이탈하는 현상으로 용접품질을 저하시킨다.

동저항은 용접공정 중의 저항 점 용접기의 2차 측 전압과 전류를 측정함으로써 구할 수 있는 값으로, 용접부의 너깃 형성과정을 간접적으로 확인할 수 있는 중요한 공정 값이다. 너깃 형성은 저항 점 용접성과 밀접한 연관을 가지고 있으므로, 동저항을 이용하여 저항 점 용접 품질 모니터링에 관한 연구가 진행이 되었고, 강종 별 각기 다른 동저항 파형 값을 데이터베이스화하여, 이를 이용하여 저항 점 용접기 지능형 제어에도 사용하고 있다.

### 2.2 실험

양면 프리실드 강판과 아연 도금강의 일종인 GA (galvanized) 강판의 저항 점 용접성을 비교하였다. 두 강종 모두 모재는 차량 도어의 내판으로 쓰이는 EDDQ(extra deep drawing quality)이고, 두께는 0.8mm로 동일하다. 프리실드 강판은 양면으로 GA강판 위에 3 $\mu$ m의 유기 피복 막이 도포되어 있다. 사용된 용접기는 60Hz 정치식 단상 교류 저항점 용접기이다. 전극 팁으로는 선단 경 5mm인 dome-type 구리 전극 팁을 사용하였다. 로브곡선은 전류-가압력에 대한 로브곡선을 구하였고, 각 공정변수 값은 Table 1과 같다. 각각의 조건에 대하여 3회 반복실험을 통해 전단인장시편을 만들어 전단인장강도 값을 기준으로 로브곡선을 작성하였다. 전단인장시편은 KS규격에 따른 표준인장시험편을 사용하였고, 그 규격은 Fig. 1와 같다. 로브곡선의 하한선은 국내 자동차회사 0.8mm 강판의 최소 요구강도인 3.47kN으로 정하였고, 상한선은 날림현상의 발생 유무로 정하였다.

동저항을 예측하기 위하여 Fig. 2와 같이 측정시스템을 구성하였다. 상부 전극과 하부 전극에 연결된 전선에 의하여 전압을 측정하였고, 저항 점 용접기 암(arm)에 설치된 로고스코일에 의하여 전류를 측정하였다. 측정된 신호는 샘플링(10000 sample/s) 과 A/D 변환을 거쳐서 최종 신호 값을 얻었다. 측정한 전압과 전류를 이용하여 동저항을 구하였다.

$$R = \frac{V}{I_{peak}} \tag{1}$$

여기서  $R$ 은 동저항,  $T$ 는 전류의 반 사이클 별 피크치(peak value),  $V$ 는 전류 피크치에서의 전압 값을

Table 1 Welding process condition

weld time (cycle)	15
electrode force (kgf)	200, 250, 300
current (kA)	6 ~ 10 (interval 0.5)

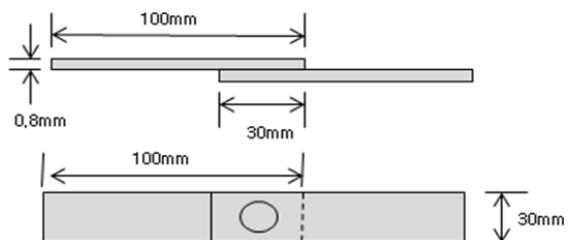


Fig. 1 Tensile shear strength test specimen

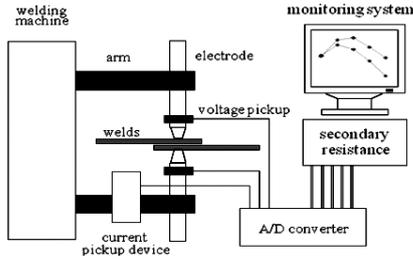


Fig. 2 Dynamic resistance monitoring system

나타낸다.

### 2.3 실험 결과

실험을 수행한 결과는 Fig. 3 과 같다. 그래프의 가로축은 전류, 세로축은 가압력이다. 실험 시, 로브 영역 경계 조건에서는 같은 조건이라도 용접결과는 다소 다르게 나오는 경우를 발견할 수 있었고, 이는 팁의 마모와 전극의 온도 등과 같은 주변 환경의 영향이 원인이라고 판단된다. 그렇기 때문에 전류의 간격을 500A로 실험했을 시 3회 모두 건전 용접이 나오지 않은 경우는 이전 전류 값과의 중간 값을 로브영역의 경계로 설정하였다. 따라서 GA강의 경우 가압력이 증가하면 적정영역이 증가하는 경향과는 다소 다르게 나타난 것을 확인할 수 있었지만 전반적으로 양면 프리실드 강판이 GA 강판에 비하여 더 낮은 전류에서 용접이 가능함을 알 수 있다. 하지만 날립현상이 GA 강판에 비하여 더 낮은 전류에서 발생하였고, 그 결과 용접 가능한 전류범위는 GA 강판에 비하여 더 좁게 나타난다.

아연도금강의 경우 비 도금 강에 비하여 상대적으로 더 높은 전류에서 용접이 가능하다. 그 이유는 Table 2에서 아연이 철에 비하여 전기 전도성이 높기 때문인데, 통전 초기에 아연은 철에 비하여 낮은 용융점으로 인해 먼저 용융되어 일부는 기화되고, 일부는 접합부에 남게 된다. 이 아연으로 인하여 전류가 용융 부에 집중적으로 흐르지 못하고, Fig. 4와 같이 용융부의 테두리

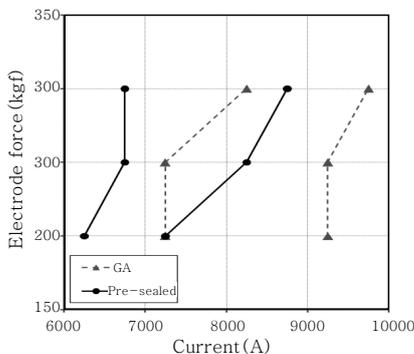


Fig. 3 Lobe diagrams for GA steel and pre sealed steel

Table 2 Electrical conductivity and melting point of metals

metal	melting point (°C)	electrical conductivity (Ag=100)
Ag	960.5	100
Cu	1083.0	94
Fe	1538.0	17
Zn	419.5	25.5

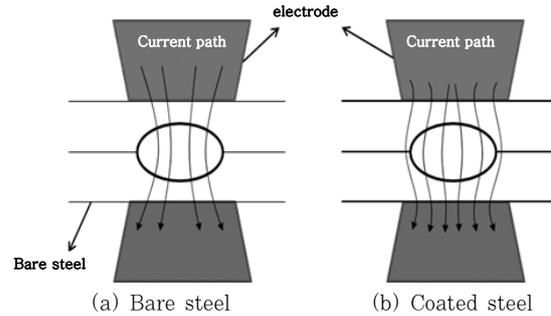


Fig. 4 Current flow of Zn coated steel and bare steel

방향으로 전류가 흐르게 된다. 이로 인해 용융부의 전류밀도가 아연 도금 강이 비 도금 강보다 작게 되고 저항 점 용접에는 더 높은 전류를 요구하게 된다.

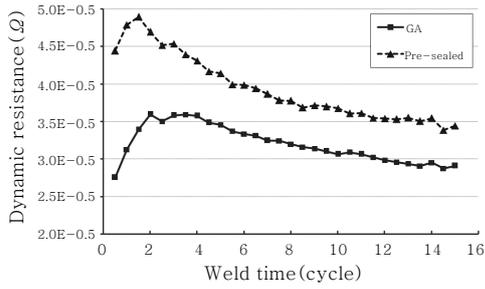
하지만 양면 프리실드 강판은 전기전도도가 낮은 유기피복제로 인하여 상대적으로 GA 강판에 비하여 접촉저항이 높기 때문에 같은 전류에서 더 많은 열이 생성되므로 상대적으로 더 낮은 전류에서 용접이 가능함을 Fig. 3을 통해 확인할 수 있었다.

그리고 동저항을 측정한 결과는 Fig. 5와 같다. Fig. 5는 가압력 250kgf에서 6000A, 7500A, 9000A의 전류조건으로 GA 강판과 양면 프리실드 강판을 실험했을 때 나타나는 동저항 그래프이다.

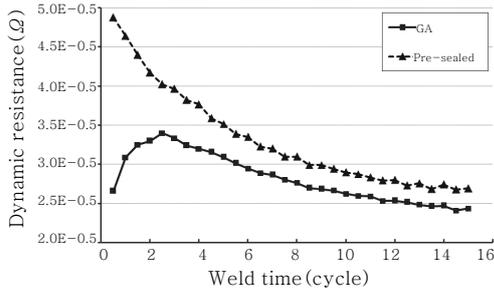
높은 접촉저항으로 인하여 프리실드 강판이 GA 강판에 비하여 통전초기 동저항의 값이 높게 나타난다. 그리고 동저항의 파형도 GA 강판의 경우 약 3cycle 부근에서 동저항 피크값을 가지고 감소하는 형태이나 7500A 이상의 전류에서 프리실드 강판의 경우 피크값 없이 통전시작부터 계속 감소함을 보인다. 높은 생성 열로 인해서 통전초기부터 접합부로의 전극 용입이 많이 일어나기 때문이며 (2)식에 의하여

$$R = \rho \frac{L}{A} \tag{2}$$

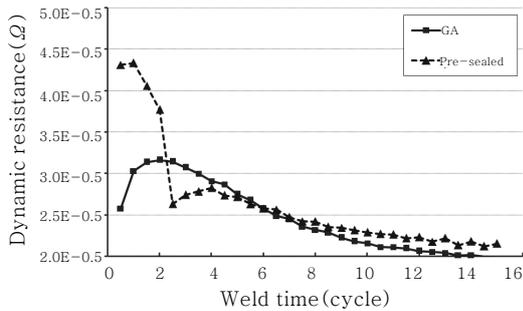
( $\rho$ 는 비저항,  $A$ 는 접촉면적,  $L$ :은 통전길이)



(a) electrode force : 250kgf, current : 6000A



(b) electrode force : 250kgf, current : 7500A



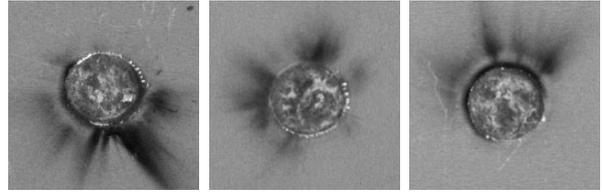
(c) electrode force : 250kgf, current : 9000A

Fig. 5 Result of dynamic resistance

온도에 의해 증가하는  $\rho$ 의 영향에 비하여 높은 가압력으로 인한 전극 용입으로  $L$ 의 감소에 의한 영향이 크기 때문에 피크 값 없이 동저항의 감소가 나타난다. 9000A에서 양면 프리실드 강판은 과도한 입열에 의한 날림현상으로 인해 3cycle 부근에서 동저항의 급격한 감소가 나타난다.

### 2.4 프리실드 강판의 저항 점 용접성의 문제점

Fig. 3의 로보곡선에서도 알 수 있듯이 프리실드 강판의 경우 저 전류에서 용접이 가능하지만, 과도한 생성 열로 인해 비교적 낮은 전류에서 날림현상이 발생하여 용접가능 범위가 좁다. 그리고 고 전류에서는 프리실드 강판 표면의 높은 저항으로 인하여 전극 팁과 부재의 표면 사이에서 표면날림이 발생하여 Fig. 6과 같이 그을림이 생긴다. 이는 도장공정을 생략하는 프리실드 강판의 특성상 용접불량으로 이어질 수 있다. 그렇



(a) 200kgf, 7000A (b) 250kgf, 8000A (c) 300kgf, 8500A

Fig. 6 Surface expulsion of pre sealed steel

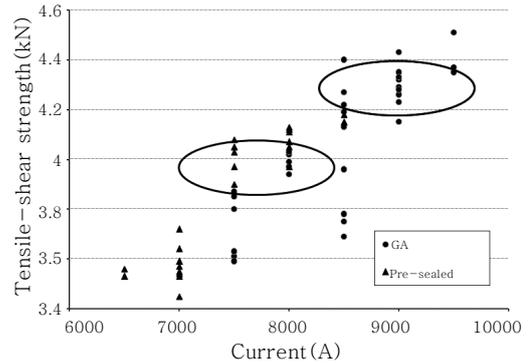


Fig. 7 Relationship between current and tensile shear strength for GA and pre sealed steel

기 때문에 Fig. 7처럼 프리실드 강판의 경우 상대적으로 높은 전단인장강도를 얻기가 힘들다. 더 큰 너깃을 얻기 위해 전류를 증가시킬 경우, 생성되는 너깃이 날림현상으로 인해 더 이상 증가하지 않으므로, 더 높은 전단인장강도 값을 얻을 수 없다.

## 3. 저항 점 용접성 향상

### 3.1 예비전류 적용을 통한 용접성 향상

프리실드 강판의 유기 피복 제거는 방청성의 향상을 가져오지만 앞서 언급한 바와 같이 저항 점 용접성에서 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 그러므로 이러한 문제점의 개선을 위해 예비전류를 적용하여 보았다. 즉, 주전류 이전에 소량의 전류인 예비전류를 주어 유기 피복 제거를 제거한 다음, 용접을 수행하였다. 예비전류의 통전 시간을 정하기 위해 너깃 형성과정을 고속 카메라로 촬영하여 관측하였다. 통전초기의 3cycle 동안 유기 피복 제거가 파괴되어 날아가는 결과를 확인할 수 있었고, 이를 통해 예비전류의 통전시간을 3cycle로 정하였다. 예비전류의 세기는 Fig. 10에서와 같이 유기 피복 층이 가장 많이 제거되는 조건으로 정하였다. 가압력 250kgf, 통전시간 3cycle에서 전류의 세기를 3kA~6kA로 변화시켜가면서 실험을 하여 모재와 전극 팁,

Current(A)	Appearances of weld surface	Appearances of weld interface
3000		
4000		
5000		
6000		

**Fig. 8** Appearances of weld after welding with different pre currents (electrode force : 250kfg, welding time : 3cycle)

모재와 모재사이의 상태를 분석하였다.

Cool time은 주 전류와 예비 전류 사이의 휴지시간을 의미하는 것으로 Table 3 에서와 같이 가압력 250kfg, 6kA, 3cycle의 예비전류 조건으로 0cycle, 3cycle, 6cycle 의 cool time 을 주고 실험을 하여, 이중 인장강도가 가장 높게 나오는 조건인 3cycle을 선정하였다.

이와 같은 실험을 통해 얻은 예비전류에 대한 조건은 Table 4과 같다. 결국 예비전류를 적용한 후에 본 전류의 적용은 Table 1의 조건으로 실험을 수행하여 전체 통전시간은 6cycle이 증가하였다. 아울러, 이를 바탕으로 로브곡선 및 동저항 그래프를 구하였다.

**Table 3** Welding condition for Cool time (electrode force : 250kfg, welding time : 3cycle, current : 6kA)

Cool time (cycle)	weld current (kA)	
	7 (lobe 하한)	8.5 (lobe 상한)
0	3.92kN	4.13kN
3	3.79kN	4.30kN
6	3.64kN	4.24kN

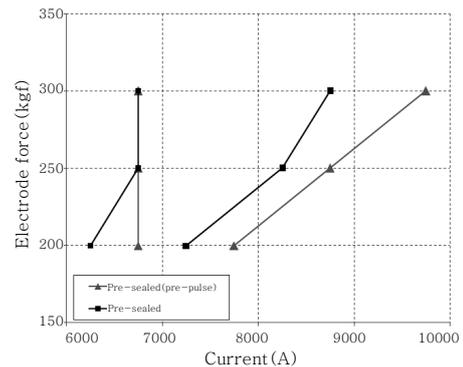
**Table 4** Condition of pre current

pre current time (cycle)	3
pre current (kA)	6
cool time (cycle)	3

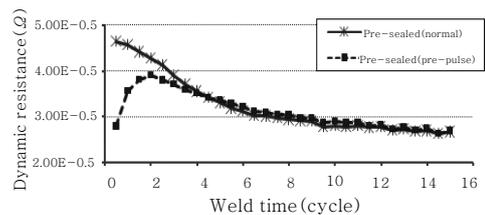
### 3.2 실험 결과

Fig. 9 을 통해 알 수 있듯이, 예비전류를 적용함으로써 로브곡선의 상한 치가 더 오른쪽으로 이동하여 결과적으로 용접가능 범위가 넓어졌다. 그 이유는 본 용접 이전에 유기 피복제의 제거로 인하여 본 용접시의 접촉저항이 감소하여 통전초기의 생성 열을 감소시켜주기 때문이다.

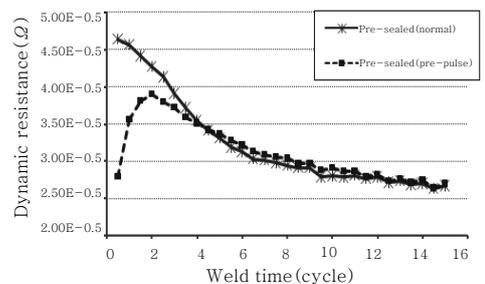
Fig. 9 Effect of pre-current on lobe diagram 이는 Fig. 10의 동저항 그래프에서도 확인할 수 있다.



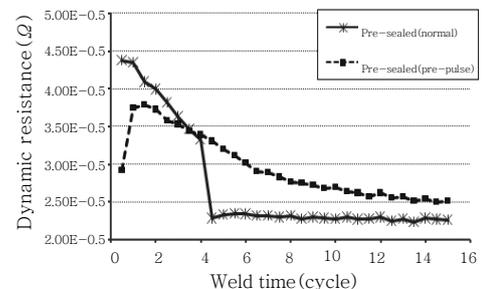
**Fig. 9** Effect of pre current on lobe diagram



(a) electrode force : 250kfg, current : 6500A



(b) electrode force : 250kfg, current : 7500A



(c) electrode force : 250kfg, current : 8500A

**Fig. 10** Effect of pre current on dynamic resistance

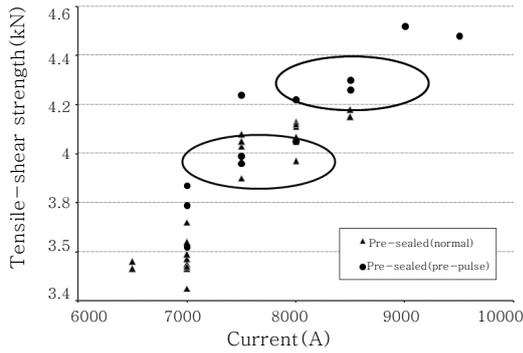
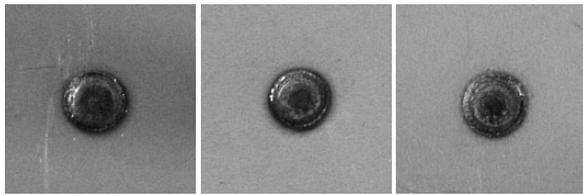


Fig. 11 Effect of pre current on tensile shear strength



(a) 200kgf 7500A (b) 250kgf 8500A (c) 300kgf 9500A

Fig. 12 Effect of pre current on surface

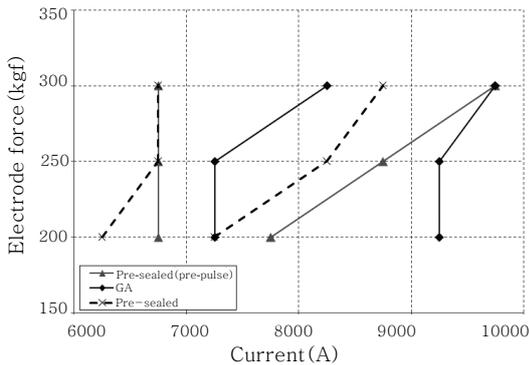


Fig. 13 Lobe diagrams for GA steel and pre sealed steel for pre current

본 용접 시작시점의 동저항을 살펴보면 저항이 낮게 형성되어, 시간이 지날수록 증가하는 양상을 보이다가 2~3 cycle 이후에 감소하는 경향을 보이는 것이 예비전류 적용 이전과 큰 차이점이다. 그리고 예비전류 적용 이전에는 날림이 발생한 조건이었던 200kgf/7500A, 250kgf/8500A, 300kgf/9000A 에서 날림 없이 용접이 가능하였다. 적정의 cool time을 두어 유기 피복층이 파괴될 때 발생하였던 고열이 어느 정도 냉각된 후 본 용접이 수행됨으로써 용접 후반부의 과열을 방지하여 고 전류 영역에서도 용접이 가능해졌다.

결과적으로 Fig. 11에서와 같이 예비전류를 적용하여 이전에 얻을 수 없었던 4.2kN 이상의 높은 전단인장강도를 얻을 수 있었다. 본 용접 시간은 15cycle로

동일하나 예비 전류를 적용한 경우는 6cycle의 시간이 증가된다.

Fig. 13 에서는 프리실드강에서 예비전류를 적용한 로브영역과 적용하지 않은 로브영역, 그리고 GA강의 로브영역을 비교하여 나타내었다. 예비전류를 적용하였을 시, 프리실드강의 용접영역이 고 전류영역으로 확대되어 기존의 용접보다 영역이 넓어짐을 확인할 수 있었고, 이렇게 넓어진 영역을 GA강의 용접영역과 비교하여 보면, 그 영역의 넓이가 유사함을 확인할 수 있겠다.

#### 4. 결 론

자동차 차체의 방청성 향상을 위해 개발된 프리실드 강판은 방청성이 약 20년 정도로 향상 되지만, 차체에 적용하기 위하여 요구되는 성질 중 하나인 저항 점 용접성은 GA강판 보다 떨어진다. 양면 프리실드 강판은 GA 강판보다 더 낮은 전류에서 용접이 가능하였으나, 상대적으로 높은 접촉저항으로 인해 발생하는 과도한 생성 열로 날림현상이 비교적 낮은 전류에서 발생하여 적정 용접 범위는 GA 강판에 비하여 더 좁아졌다. 그렇기 때문에 높은 전단인장강도를 얻기가 어려웠으며, 표면날림 현상도 GA강판보다 낮은 전류에서 쉽게 관찰되었다.

이러한 문제점을 해결하고자 본 연구에서는 프리실드 강판의 본 용접 이전에 예비전류를 적용하여 저항 점 용접 실험을 수행하였다. 예비전류 적용으로 인해 적정 용접범위가 증가되었고, 더 높은 전류에서 용접이 가능해짐에 따라 전단인장강도도 향상되었다. 아울러 기존의 표면날림으로 인한 미관상의 문제점도 표면날림이 저감되어 양호한 외관을 얻을 수 있게 되었다. 결국 프리실드강에서 예비전류를 적용하여 용접성이 개선되었고, GA강과 비교하여 유사한 용접영역을 확보할 수 있게 되었다.

#### 참 고 문 헌

1. M. Calva and W. Eager, "Enhancement of the Weldability in Resistance Spot Welding", Sheet Metal Welding Conference IV, Southfield, Mich., 1990
2. Taehyung Kim, Dongock Lee and Sehun Rhee, "Development of Resistance Spot Weldability Estimation Using Lobe Diagram for Steel Plate of Automobiles", Journal of KWS, **23-4** (2005) (in Korean)
3. E. W. Kim and T. W. Eager, "Parametric Analysis of Resistance Spot Welding Love Curve", SAE Technical Paper 880278, 1988
4. J. G. Kaiser, G. J. Dunn and T. W. Eager, "The

- Effect of Electrical Resistance on Nugget Formation During Spot Welding”, *Welding Journal*, 167s-174s, June 1982
5. W. F. Savage, E. F. Nippes, and F. A. Wassel, “Dynamic Contact Resistance of Series Spot Welds”, *Welding Journal*, **57-2**, 43s-50s, 1978
  6. S. A. Gedeon, C. D. Sorensen, K. T. Ulrich, and T. W. Eagar, “Measurement of Dynamic Electrical and Mechanical Properties of Resistance Spot Welds”, *Welding Journal*, **66-12**, 378s-385s, 1987
  7. Y. Cho and S. Rhee, “Primary Circuit Dynamic Resistance Monitoring and its Application to Quality Estimation during Resistance Spot Welding”, *Welding Journal*, **104s-111s**, June 2002
  8. W. R. Upthegrove and J. F. Key, “A High Speed Photographic Analysis of Spot Welding Galvanized Steel”, *Welding Journal*, 233s-244s, May 1972
  9. Freytag, N. A., “A Comprehensive Study of Spot Welding Galvanized Steel”, *Welding Journal*, 145s-156s, April 1965
  10. Friedman, L. M., “Influence of Metallurgical and Related Characteristics on Resistance Spot Welding of Galvanized Steel”, Master’s thesis, Ohio state University, 1965
  11. Green, E. A., Riley J. J., “Resistance Spot Welding of Galvanized Steel”, paper presented at American Welding Society Meeting, 1963
  12. Schueler A. S., “Welding Steels with Thin Metal Coatings”, *Welding Journal*, 378s-384s, August 1963
  13. Jin-su Ryu and Chul-soo Shin, “A Study on the Properties of the Pre-sealed Steel Sheets Based on the Galvannealed Substrates for Automotive Body”, KSAE05-F0309, 1956s-1961s, 2005