

# 자동차용 강판의 4겹 다층 점용접물의 용접특성 평가

김희현\* · 김성수\* · 백승세\* · 권일현\*\* · 양성모\*\* · 유효선†\*\*

## An Evaluation of the Weldability Characteristics on the 4 Lap Spot Welded Joint of Structural Steel Sheets in Automobile

Hoi-Hyun Kim, Seong-Su Kim, Seung-Se Baek, Il-Hyun Kwon,  
Seong-Mo Yang and Hyo-Sun Yu

**Key Words:** Spot Welding(점용접), Indentation Depth(압흔깊이), Weldability(용접성)  
High Strength Steel Sheet(고장력강판), Galvannealed Steel Sheet(아연도금강판)

### Abstract

This research is conducted to investigate weldability characteristics with various welding conditions on the 4 lap spot welded joint of structural steel sheets in automobile. The relationship between the tensile-shear strength and the indentation depth has been investigated to evaluate the weldability and the optimum welding conditions. The welding current and the welding time have a greatly affect to the tensile-shear strength compared to the electrode force. It was found that the indentation depth has a relatively close relationship with the expulsion occurrence. The optimum welding conditions were proposed for the 4 lap spot welded joint.

### 1. 서 론

최근 자동차 산업에서 새롭게 부상하고 있는 화두는 단연 친환경 및 저연비 자동차의 실현이라 할 수 있고, 자동차 신 모델 개발은 모든 관점에 있어서 이를 지향하여 행해지고 있다. 자동차 연비향상을 위한 방법으로서 엔진효율 개선, 동력전달 효율 개선, 주행저항 감소 및 차체 경량화 등이 제시되고 있다. 이 같은 다양한 연비 개선책 중에서 가장 효과적인 방법으로는 자동차량의 대부분을 차지하는 차체 중량 감소에 의한 경량화라 할 수 있다.

일반적으로 차체용 강판으로는 인장강도가 약 300MPa로서 비교적 낮고, 프레스 성형이 용이한 냉간압연 강판이 널리 사용되어 왔다. 그러나, 최근 자동차 수요자의 욕구 고급화로 인해서 자동차의 충돌·전복 시의 안전성 및 방청성 등을 요구하고 있어 이를 만족시킬 수 있는 새로운 강판의 개발에 많은 연구를 행하고 있다. 그 결과로서 아연도금강판과 고장력 강판이 새롭게 개발되어 차체 구조용 재료로 적용되고 있다.<sup>(1)</sup>

그러나, 자동차용 차체재료로서 고장력 강판과 아연도금강판의 적용에는 아직 많은 문제점들이 남아 있는데 그 중에서도 차체 제작을 위해 적용되고 있는 전기 저항 점용접에 있어서 강판의 용접성 및 용접강도가 특히 선결 과제라 할 수 있다. 현재까지 보고된 점용접물에 대한 연구결과들을 살펴보면 고장력 강판과 아연도금강판을 2겹 적층하여 구성하는 점용접물에 대한 연구가 대부분이다.<sup>(2-5)</sup> 그러나 충격 안전성을 높이기 위해 강판을 적층하여 구성되는 차체 도어나 과대하중부위의 4겹 다층 점용접물에 대한 연구는 거

---

† 전북대학교 정밀기계공학과  
E-mail : yuhs@moak.chonbuk.ac.kr  
TEL : (063)270-2346 FAX : (063)270-2388

\* 전북대학교 정밀기계공학과 대학원

\*\* 전북대학교 정밀기계공학과

---

의 행해지지 않고 있으며, 현장에서의 4겹 점용접물의 구성은 대부분 경험에 의해 행해지고 있는 실정이다.

이 같은 배경 하에서 본 연구는 경량화 차체 점용접물의 구조재료로 현재 적용되고 있는 고장력 강판과 아연도금강판을 대상으로 주요 점용접 변수 즉, 용접전류, 용접시간 그리고 가압력 변화에 의해 구성된 4겹 점용접물에 대한 용접특성을 평가하고자 한다. 또한 자동차 차체 부품 생산현장에서 적용될 수 있는 적정 용접조건을 제시하고자 한다.

## 2. 시험편 및 실험방법

### 2.1 시험 재료 및 시험편

본 연구에서 사용된 재료는 자동차 차체 제작용으로 널리 사용되는 두께 1.2mm인 EZNCEN 전기아연도금강판과 두께 1.4mm인 HS40R 고장력 강판이다. 4겹 점용접물의 인장전단강도 평가를 위한 시험편은 강판을 길이 100mm, 폭 30mm로 절단하여 두 강판을 30mm 겹친 후, 강판 사이에 길이 30mm의 강판을 삽입하여 제작하였다. 용접조건에 따른 인장전단강도 평가를 위한 4겹 시험편은 1.2×1.2×1.2×1.6<sup>t</sup>와 1.2×1.2×1.2×1.4(H)<sup>t</sup>의 두 종류로 제작하였고, 언급된 숫자는 강판의 두께와 적층 순서 그리고 H는 고장력 강판을 의미한다. Table 1 과 Table 2에 각각 EZNCEN과 HS40R 강판의 화학적 조성 및 점용접에 사용된 용접조건을 나타내었다.

Table 1 Chemical compositions of base metals (wt%)

| Elements<br>Steel | C      | Mn   | P     | S      | S-Al |
|-------------------|--------|------|-------|--------|------|
| EZNCEN            | 0.013  | 0.11 | 0.14  | 0.05   | 0.30 |
| HS40R             | 0.0876 | 0.74 | 0.124 | 0.0036 | -    |

Table 2 Welding conditions used in this study

| Welding current (kA) | Electrode force (kg) | Squeeze time (cycle) | Welding time (cycle) | Holding time (cycle) |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 6~13                 | 200~500              | 30                   | 10, 15               | 10                   |

### 2.2 점용접 및 실험방법

점용접 시험편 제작을 위한 용접기는 단상교류식 단타점(single point) 공압으로 작동하는 정치

식(150KVA) 용접기이다. 용접조건은 용접기에 부착된 계기를 통하여 설정하였다. 전극 가압력 (electrode force)은 20kN 용량의 하중 측정기(CAS C1-5010, Korea)를 사용하여 측정하였다. 용접에 사용된 전극은 R형(dome식) Cr-Cu재질 전극으로, 선단경은 ø6mm로 피용접물의 두께 t에 대하여 RWMA(Resistance Welders Manufactures Association)에서 권장하고 있는  $5\sqrt{t}$ 의 범위로 선정하였다. 점용접물의 인장전단강도 평가 시험은 용량 15 ton의 인장시험기를 사용하여 시험속도 2mm/min.로 수행하였다.<sup>(6,7)</sup> 또한, 마이크로미터(micrometer)를 이용하여 용접조건 변화에 따른 압흔 깊이를 측정하여 적정 용접조건의 판정에 이용하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 용접조건 변화에 따른 용접강도 평가

본 절에서는 먼저 용접조건 변화에 따른 강도 특성 및 시험편에서 발생하는 비산을 조사하여

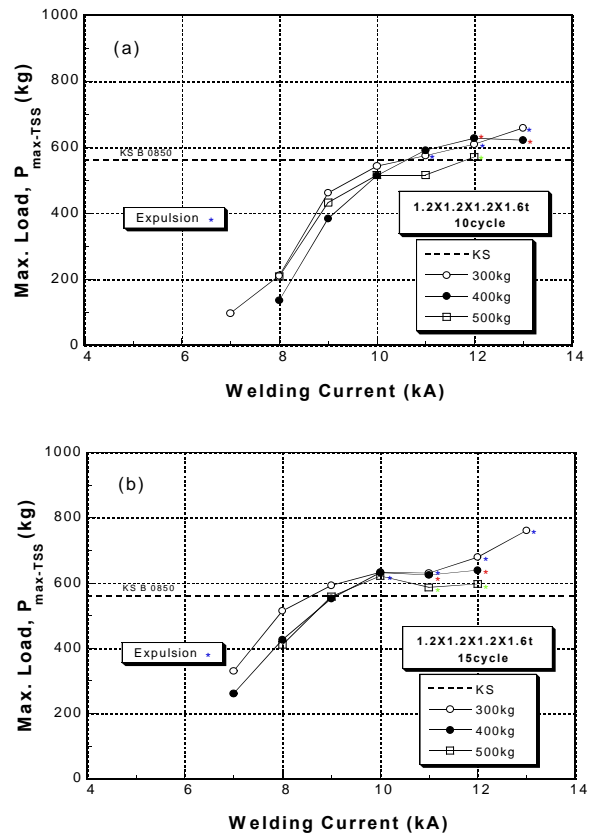


Fig.1 Tensile-shear strength with various welding conditions

용접변수와 용접성과의 상관관계 및 적정 용접조건을 조사하고자 한다.

Fig. 1의 (a)와 (b)는 각각 EZNCEN 전기아연도금강판 1.2×1.2×1.2×1.6t 점용접 시험편의 용접전류·가압력·용접시간변화에 따른 인장-전단강도를 나타내고 있다. 그림 중에는 KS B 0850에서 권장하는 인장전단강도 규격 및 용접시 발생한 expulsion을 표시하였다. 여기서 인장-전단강도 규격은 4겹 점용접 시험편에서 가장 얇은 두께강판 또는 최소 인장강도를 나타내는 강판 두께를 기준으로 하여 산정한 것이다.

먼저 Fig. 1 (a)의 그림을 살펴보면 가압력 및 용접 전류가 증가함에 따라 점진적인 인장-전단강도의 상승을 보이고 있으나, 고 전류측인 12kA 이상의 용접전류에서는 더 이상의 인장-전단강도 상승은 관찰되지 않았다. 이는 시험편에 과도 전류 공급으로 인해 아연도금층의 일부가 비접촉부로 유동하여 접촉면적이 커져서 상대적으로 전류밀도의 저하를 초래한 결과로 판단된다.

Fig. 1 (b)의 15cycle의 용접시간에서 용접된 시험편의 인장-전단강도도 또한 앞선 그림 (a)의 10cycle에서 관찰된 것과 거의 유사한 거동을 보이고 있다. 그러나, 용접시간이 10cycle에서 15cycle로 증가함에 따라 각 가압력에서 얻어진 동일 용접전류에서의 용접강도가 상승하고 있음을 알 수 있어 모든 가압력에서 용접시간의 증가에 의해 용접성이 개선되었음을 알 수 있다. 이는 용접시간 증가에 따른 입열량 증가로 인한 안정 너깃 형성에 기인한 결과로 추론된다. 또한 동일 용접조건 중 가압력만 변화시킨 경우 가압력이 증가할수록 대부분 인장-전단강도는 감소하고 expulsion 발생 임계 전류값은 고 전류측으로 이동함을 관찰 할 수 있다. 이상으로부터 EZNCEN 전기아연도금강판 1.2×1.2×1.2×1.6t 점용접물의 인장-전단강도 특성은 용접전류 및 용접시간에는 크게 의존하지만 가압력 증가는 expulsion 발생 억제에 효과적임을 알 수 있다.

EZNCEN 아연도금강판 1.2×1.2×1.2×1.6t 점용접물의 적정 용접조건을 조사하기 위해 먼저 KS 규격을 만족시키는 용접조건을 살펴보았다. 용접시간 10cycle에서 얻어진 강도곡선에서 KS규격을 만족하는 가압력 및 용접전류는 400kg, 11kA임을 알 수 있다. 이는 300kg, 11kA와 500kg, 12kA의 조건도 KS강도규격을 만족하고 있으나 용접

시 expulsion의 발생이 확인되어 적정 용접조건으로 설정하기 어렵기 때문이다. 동일한 방법으로 용접시간 15cycle에서 얻어진 강도곡선에서 KS규격을 만족하는 가압력 및 용접전류는 300kg에서 9kA과 400~500kg에서 9~11kA임을 알 수 있다. 이상의 용접시간 15cycle에서 얻어진 결과를 10cycle에서 얻어진 적정 용접조건과 비교해 보면 적정 용접강도를 나타내는 점용접물을 구성하기 위해 15cycle의 용접시간이 비교적 낮은 전류를 필요로 하기 때문에 용접시간은 15cycle이 보다 적절하다 할 수 있다.

Fig. 2의 (a)와 (b)는 각각 EZNCEN과 HS40R 강판 1.2×1.2×1.2×1.4(H)t 점용접 시험편의 용접전류·가압력·용접시간변화에 따른 인장-전단강도를 나타내고 있다.

먼저 용접시간 10cycle에서 용접전류 및 가압력을 변화에 따른 전단강도 변화를 나타낸 Fig. 2 (a)의 그림을 살펴보면 용접 전류가 증가함에 따라 인장전단강도가 점차적으로 상승하다가 어느 정도의 임계 전류값에서는 더 이상의 강도 상승은 관찰되지 않음을 알 수 있다.

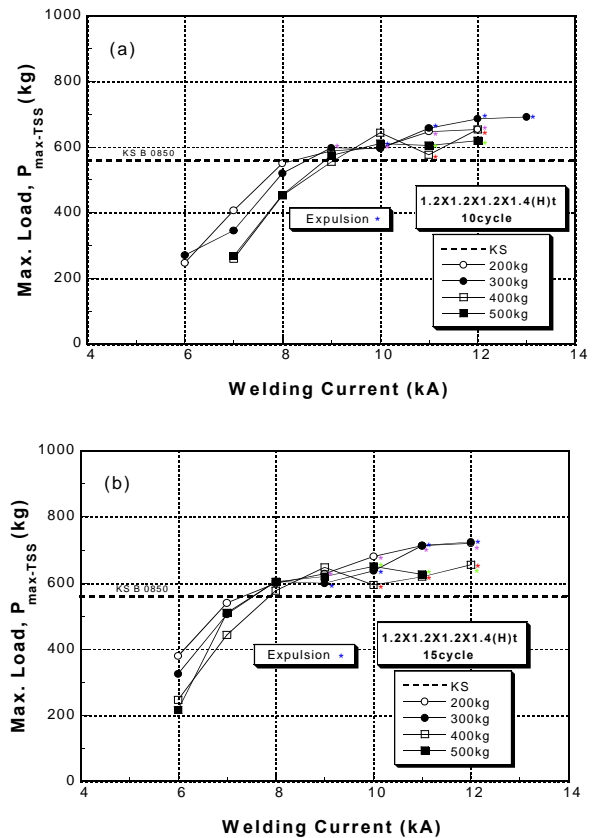


Fig.2 Tensile-shear strength with various welding conditions

그림 (b)의 15cycle 용접시간에서 용접된 시험편의 인장-전단강도도 또한 거의 유사한 거동을 보이고 있다. 그러나, 용접시간이 10cycle에서 15cycle로 증가함에 따라 각 가압력에서 얻어진 동일 용접전류에서의 용접강도가 상승하고 있음을 알 수 있어 모든 가압력에서 용접시간의 증가에 의해 용접성이 개선되었음을 추론할 수 있다. 또한 용접조건 중 가압력 증가에 따른 전단강도의 변화를 살펴보면, 가압력이 증가함에 따라 동일 용접전류에서의 용접강도는 대부분 저하되고 있는 반면에 expulsion의 발생 임계 전류값은 높아지고 있음이 관찰되어 가압력 증가는 expulsion의 발생 억제에 효과적임을 확인할 수 있다. 이는 가압력 증가에 따른 판 접촉면적의 증가로 인해서 전류밀도가 감소한 결과로 사료된다. 이상으로부터 EZNCEN 전기아연도금강판 1.2×1.2×1.2×1.4(H)t 점용접물의 인장강도 특성은 용접전류 및 용접시간에는 크게 의존하고, 가압력에는 큰 영향을 받지 않음을 확인할 수 있다.

EZNCEN과 HS40R 강판 1.2×1.2×1.2×1.4(H)t 점용접물의 적정 용접조건을 조사하기 위해 KS B 0850에서 제안하고 있는 최소 인장-전단강도 규격을 만족시키는 용접조건을 살펴보았다. 용접시간 10cycle에서 얻어진 강도곡선에서 KS규격을 만족하는 가압력과 용접전류는 300kg에서 약 8.5~9kA 그리고 400~500kg에서 9~11kA 임을 알 수 있다. 이 기준은 KS 최소 인장-전단강도 규격과 expulsion의 발생이 확인되지 않은 시험편을 기준으로 산정 한 것이다. 동일한 방법으로 용접시간 15cycle에서 얻어진 강도곡선에서 KS규격을 만족하고 expulsion 발생이 없는 가압력 및 용접전류는 200~300kg, 8~9kA 그리고 400~500kg, 8~10kA 임을 알 수 있다. 이상에서 얻어진 결과를 토대로 적정 용접조건을 비교해 보면 10cycle에서 15cycle로 용접시간이 증가함에 따라 전반적으로 적정 용접전류는 낮아질 뿐만 아니라 그 범위도 증가하고 있어 용접시간은 15cycle이 적절함을 알 수 있다.

### 3.2 용접조건에 따른 압흔깊이 변화

본 절에서 논의되는 내용은 용접조건 변화에 따른 압흔 깊이의 변화를 조사하여 앞서 언급된 각 용접물에 대해 보다 적절한 용접범위를 제안하기 위한 것이다. 앞서 규명된 바와 같이 본 연

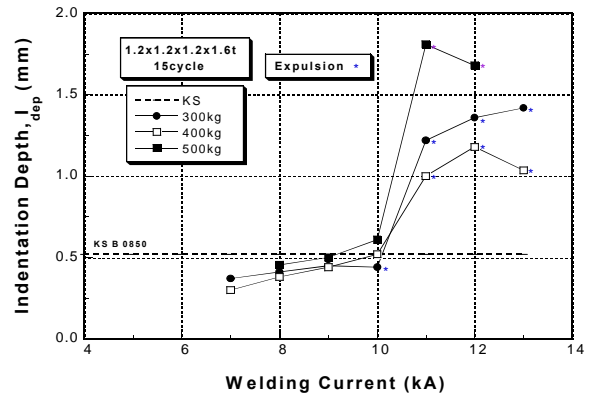


Fig.3 Effect of welding current and welding force on indentation depth

구에서 인장-전단 시험을 수행한 용접물의 경우 용접시간 15cycle에서 구성한 용접물이 경제적인 측면에서 KS 강도규격에 보다 더 적절한 것으로 판별되었다. 따라서 이하에서는 15cycle에서의 용접물을 대상으로 용접조건에 따른 압흔 깊이의 변화를 관찰하여 KS 인장강도 규격에서 얻어진 용접조건과의 상호 비교를 통해 적정 용접조건을 제시하고자 한다.

Fig. 3은 용접전류, 가압력에 따른 EZNCEN 전기아연도금강판 1.2×1.2×1.2×1.6t 점용접 시험편의 압흔깊이를 나타내고 있다. 그림에는 KS B 0850에서 제안하고 있는 적정 용접부에 대한 압흔 깊이를 함께 제시하였다. 그림에서 보이듯이 모든 가압력 조건에서 약 10kA의 용접전류에서 큰 폭의 압흔 깊이의 증가가 관찰되고 있다. 이는 10kA의 용접전류가 최적 용접물을 구성하기 위한 임계 전류값이 됨을 의미한다. 따라서, 앞서 용접강도 규격에 기준하여 규명된 용접조건과 점용접부의 검사방법(KS0850)에 의한 압흔을 10% 이하를 만족하는 적정 용접조건을 모두 만족하는 적정 용접조건은 15cycle의 용접시간에서 가압력 및 용접전류는 300kg일 때 9kA, 400kg일 때 9~10kA 그리고 500kg일 때 9kA 임을 알 수 있다.

Fig. 4는 EZNCEN과 HS40R 강판 1.2×1.2×1.2×1.4(H)t 점용접물의 용접전류, 용접시간에 따른 압흔 깊이 변화를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 가압력이 증가함에 따라 KS 압흔 깊이 규격을 만족하는 전류값은 증가하고 있음을 알 수 있다. 즉 가압력이 200~300kg일 때의 KS 압흔 깊이를 만족하는 용접전류는 약 8kA 이지만, 가압력이 400~500kg으로 증가함에 따라 용

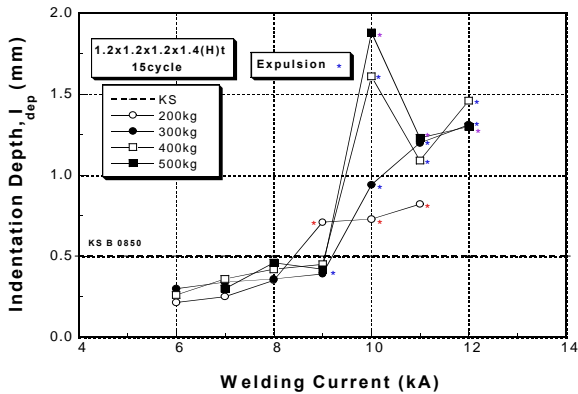


Fig. 4 Effect of welding current and welding force on indentation depth

접전류는 약 9kA로 상승함이 관찰되었다. 이 같은 결과는 가압력이 증가함에 따라 전극의 판 접 축면적의 증가로 인하여 전류밀도가 감소한 결과로 추론된다. 1.2×1.2×1.2×1.4(H)t 점용접물의 경우 용접강도 규격에 기준하여 앞서 제시된 용접 조건과 점용접부의 검사방법(KS0850)에 의한 압흔율 10%이하를 만족하는 적정 용접조건을 모두 만족하는 적정 용접조건은 15cycle의 용접시간에서 가압력 및 용접전류는 200~300kg일 때 8kA, 400~500kg일 때 8~9kA 임을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

아연도금강판 및 고장력 강판을 대상으로 4겹 다층 점용접물을 대상으로 인장전단강도 시험 및 압흔깊이를 측정하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 용접전류 및 용접시간은 용접강도에 큰 영향을 주었으나 가압력은 용접강도 보다는 expulsion 억제에 보다 큰 영향을 주었다.
- 2) 모든 점용접물의 인장-전단강도는 용접전류의 증가에 따라 점차 증가하다가 expulsion이 관찰된 전류치 이상에서는 거의 변화가 관찰되지 않았다.
- 3) 압흔깊이는 expulsion이 관찰된 전류치 이하에서 완만한 증가를 보이다가 그 이상의 전류치에서 급격한 증가를 보였다.
- 4) 4겹 점용접물의 최소 두께 및 최소 인장강도 강판을 기준으로 산정한 인장-전단강도 규격 및 점용접부의 압흔율 10%이하를 만족하는 적정 용접 조건은 1.2×1.2×1.2×1.6t 점용접물의 경우

15cycle의 용접시간에서 가압력 및 용접전류는 300kg일 때 9kA, 400kg일 때 9~10kA 그리고 500kg일 때 9kA 임을 알 수 있었다. 또한 1.2×1.2×1.2×1.4(H)t 점용접물의 경우 15cycle의 용접시간에서 가압력 및 용접전류는 200~300kg일 때 8kA, 400~500kg일 때 8~9kA 임을 알 수 있었다.

#### 후 기

"본 논문은 2003 한국학술진흥재단의 지원에 의해 연구되었음" (KRF-2003-002-D00007)

#### 참고문헌

- (1) Lee, J.S, 2002, "Trends in Development of Steels", Journal of KWS, Vol.20, No.6, pp.1~7(in Korean)
- (2) Min, J.K. Oh, Y.K. and Kim, G.S, 1996, "A Study on the Spot Weldability of Automotive Steel Sheet", Journal of KWS, Vol.14, No.3, pp.41~47(in Korean)
- (3) Shin, H.I. and Kang, S.S, 1994, "A Study on the Spot Weldability of High Strength Steel Sheet and Two Stories Galvannealed High Strength Steel Sheet, Journal of KWS, Vol.12, No.3, pp.56~63(in Korean)
- (4) Chuko, W.L. and Gould, J.E, 2002, "Development of Appropriate Resistance Spot Welding Practice for Transformation-Hardened Steels, Welding Journal, pp.1s~7s.
- (5) Zhang, Y. and Taylor, D, 2000, "Sheet Thickness Effect of Spot Welds based on Crack Propagation", Engineering Fracture Mechanics, 67, pp.55~63.
- (6) Cho, S.M, 1997, "Principle of Resistance Welding and Analysis of Monitoring Results, Journal of KWS, Vol.15, No.2, pp.1~10 (in Korean)
- (7) Hyundai Motor Company, 1995, "Electric resistance weld, pp 27~60, 99-102