

## 점용접 간극과 굽힘 모멘트가 용접성에 미치는 영향

임재규\*, 송준희\*\*, 국중하\*\*, 양승현\*\*

### The Effects of Welding Clearance and bending moment on Spot Weldability

Jae-Kyoo Lim\*, Jun Hee Song\*\*, Jung Ha Kuk\*\*, Seung Hyon Yang\*\*

**key words :** Spot Welding(점용접), Weldability(용접성), Clearance(간극), Tensile Shear Test(인장 전단시험), Fracture Surface(파괴표면), Nugget(너깃), Bending Moment(굽힘모멘트)

#### Abstract

The automobile is made up of thousands of parts. Some parts are formed by pressing and combined by spot welding. To find weldability conditions of spot welding, clearance between two welding plates was made and after spot welding, weldability is evaluated by means of tensile shear load, nugget size and shape. Specimen used in this study was a steel plate of 1.2mm thickness and electrode was Cu-Cr alloy of 6mm diameter. When spot welding started, the clearance of two specimens was changed 0mm, 3mm and 5mm and distance from vise to measure influence of bending moment 25mm, 45mm, 65mm step by step.

The fractured surface of specimen after this test was observed by Optical Microscope to measure microstructure and nugget shape. When clearance of two specimen was 3mm and 5mm, strength and nugget size was decreased and nugget shape was not clear. The much bending moment and crosshead speed are the much tensile shear load is.

#### 1. 서론

Spot 용접은 용접(fusion welding)과 납접(brazing and soldering) 및 리벳팅(riveting) 등의 접합방법에 비하여 작업성, 신뢰성, 안정성 및 생산성이 우수한 전기저항용접 방법으로 강재의 용접 특히 자동차 산업에 널리 쓰이고 있다. (1)(2) 자동차는 다양한 부품들로 구성되어 있으며 많은 요소의 부품들을 프레스에 의해 성형하거나, Spot 용접에 의해 결합하기도 한다. 그 중에서 연료탱크는 금형내에서 강판을 프레스 성형하

고 벤딩한 부품들을 점용접과 심용접으로 체결하고 있다. 그리고 연료탱크는 자동차에 탑재되어 출발, 가속, 제동함에 따라 연료가 끊임없이 구동하여 엔드 플레이트(end plate)나 버플(buffle) 등에는 다양한 형태의 하중이 가해지게 된다. 따라서 용접 이음부의 강도는 매우 중요하다. 하지만 생산현장에서는 여러 가지 이유로 인해 생산한 부품들의 치수가 정확하게 맞지 않아 두 부품이 정확하게 맞대어진 상태가 아닌 부품 사이가 간극(clearance)이 존재하는 상태에서 강제로 부품을 누르면서 점용접을 실시하고 있는 경우가 많다.

따라서 본 연구에서는 자동차 차체, 연료탱크 등의 용접 이음부 강도 및 내구성과 용접 프레스

\* 전북대학교 기계공학부, 자동차신기술연구소

\*\* 전북대학교 대학원

Table 1. Chemical composition of steel sheet

Chemical Composition						Coating Weight (g/m <sup>2</sup> )	
C	Si	Mn	P	S	Fe	outer side	inner side
0.035	0.005	0.08	0.012	0.007	bal.	18.5	18.2

Table 2. Mechanical properties and thickness of steel sheet

Mechanical Property			Thickness (mm)
Tensile strength (kg/mm <sup>2</sup> )	Yielding strength (kg/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)	
31.0	36.52	50	1.2

Table 3. Spot welding conditions

Parameter Electrode	Welding Current(KA)	Clearance (mm)	Electrode Force(kgf)	Distance from vise to tip(mm)	Common Condition
6mm Cr-Cu	6~12KA	0mm	150kgf	25mm	squeeze time : 30cycles
		3mm	240kgf	45mm	welding time : 12cycles
		5mm	270kgf	65mm	holding time : 10cycles
			300kgf		cooling water : 6 l/min

금형 작업에 의해 제작된 부품들을 조립하여 점 용접을 실시하며, 자동차용 연료탱크의 용접부를 모의한 단일 겹침 점용접 시험편에 대한 인장-전단 강도시험, 굽힘 모멘트 변화 그리고 인장속도 (crosshead speed) 변화를 실시하여 파괴된 용접 시험편의 파면관찰을 통하여 용접 이음부의 간극과 용접 구조물의 강도 성능의 관계를 규명해 프레스 금형 설계 치수와 정밀도 등의 설계에 기초 자료로 활용할 수 있도록 한다.

## 2. 실험방법

본 연구에 사용된 시편은 자동차 부품에서 많이 사용되는 아연도금강판으로서 화학적 조성과 기계적 성질을 Table 1과 Table 2에 나타내었다. 점용접에 의한 시편제조 방법은 두께가 1.2mm인 일반 아연도금강판을 길이 90mm, 폭 25mm로 절단한 후 인장강도 시험편의 표면을 용접하기 전에 아세톤과 에틸 알콜로 깨끗하게 세척하였다. 그런 다음 두 시험편을 24mm 겹친 후 특별하게 제작한 지그를 이용하여 시험편 사이의 간극을 0mm, 3mm, 5mm로 벌린 후 가압력

(150kgf, 240kgf, 270kgf, 300kgf)과 전류(6~12KA)를 변화시키면서 Spot 용접을 실시하였으며, 냉각수의 유속은 6 l/min로 일정하게 유지하고 가압시간 30 cycles, 용접시간 12 cycles, 그리고 유지시간은 10 cycles를 일정하게 유지하고 실험하였다. 시험편에 미치는 굽힘모멘트의 영향을 측정하기 위해서 바이스에서 용접 팁(tip)까지의 거리를 25mm, 45mm, 65mm로 조정했다. Table 3은 본 실험의 점용접 조건을 나타내고 있다.

본 연구에서 시험편 제작에 사용한 용접기는 단상 교류식 single point형 정치식 공압식 용접기이다. 용접시간, 가압시간 및 유지시간은 용접기에 부착된 계기를 통하여 설정하였다. 가압력은 점용접용 가압력 측정계를 사용하여 측정하였고 전극 팁은 Cr-Cu를 사용하였다. 이때 용접조건인 정확성을 높이기 위해 가압력은 점용접기용 압력계를 사용하여 측정, 보정하였다. Fig 1은 인장-전단 시험편의 형상을 나타내었고 Fig. 2는 실험의 간략도를 나타내고 있다.

5 ton 용량의 만능 시험기를 사용하였으며 만능 시험기의 하중범위를 1,500kg으로 인장속도 (Crosshead speed)를 0.05, 0.5, 2, 5, 50mm/min으로 설정해 시험하였고 점용접한 시편을 절단

면이 열과 응력에 의해 변형되지 않도록 냉각유를 흘려가면서 천천히 세로로 절단한 후 mounting 하여 grinding 과 polishing 한 다음에 3% nital로 수초간 부식한 후 용착부의 너깃(Nugget) 형상과 현미경 조직을 광학현미경으로 조직을 관찰하였으며, 너깃의 크기는 세로로 절단한 시편의 중앙에서 너깃의 크기를 측정했다.

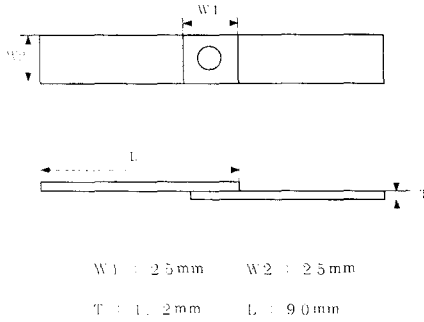


Fig. 1 Tensile shear test specimens and cross sectional specimens

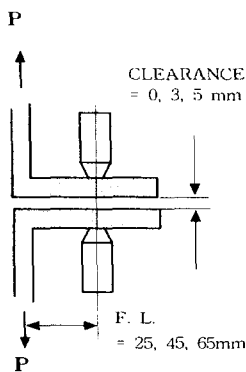


Fig. 2 Schematic diagram of this experiment

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3. 1 전류와 인장전단 강도와와의 관계

저항용접에서 3대 요소인 용접전류, 전극 가압력, 통전 시간이 용접에 큰 영향을 미친다. 그 중 전류의 영향이 가장 중요한 이유는 발열량이 전류의 제곱 또는 전류 밀도의 제곱에 비례하기 때문이다.<sup>3)</sup>

용접시 전류가 부족하면 너깃의 충분한 형성이

곤란해져 용접부에 대한 인장전단시험을 실시하면 전단 파단이 생기면서 강도가 떨어진다. 전류가 과대해지면 판 표면에 오목자국이 크게 형성되거나 끌티가 남고 전극 팁의 오염도 현저하게 된다. 또한 중간날림(expulsion)이 생겨서 Nugget에 기동이 남기도 한다. 더욱 과대한 전류가 흐르거나 전극과 피용접재 표면에서 과대한 발열이 되면 표면날림(Surface Flash)까지 생기게 된다.

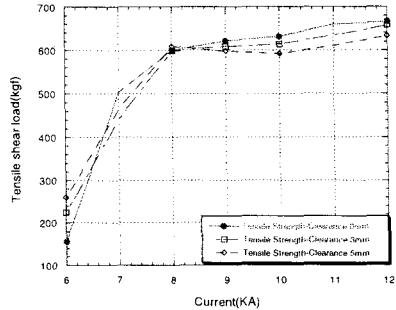


Fig. 3 Tensile shear load at electrode force 150kgf and clearance 0, 3, 5mm

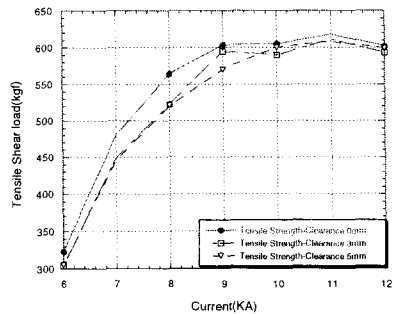


Fig. 4 Tensile shear load at electrode force 300kgf and clearance 0, 3, 5mm

Fig. 3과 Fig. 4는 가압력 150kgf과 300kgf일 때 간극(0mm, 3mm, 5mm)에 따른 인장전단하중을 나타낸다. Fig. 3~4에서 보듯이 시험편의 간극이 3mm, 5mm 일 때에 전류가 증가함에 따라 인장전단하중이 증가함을 알 수 있다. 이는 전류의 크기가 증가함에 따라 Bond부의 조직이 점차 강인화에 영향을 주는 미소조직(Microstructure)로 변화하기 때문이라고 생각된다.

### 3. 2 가압력과 인장전단강도와의 관계

가압력은 피용접재를 고정시키는 역할을 하며, 가압력을 크게 할수록 전극과 모재, 모재와 모재 사이의 계면 접촉성이 좋아지며, 접촉면적을 증가시켜 전류밀도가 저하되며, 초기 접촉저항이 줄어들어 보다 높은 용접전류를 요구하게 된다 또한 스패터(spatter)의 발생을 억제하고 용접부 안에 기공과 균열의 발생을 줄여준다. <sup>5)</sup> 따라서 가압력이 낮을수록 계면사이의 접촉저항은 높아지며 전극 팁과 판사이의 접촉면적도 적게 되어 단위 면적당 발열량이 많아져서 너깃 형성에 유리하지만 가압력이 너무 낮은 경우에는 계면이 점 접촉하게 되어 국부적인 전류밀도의 급격한 상승으로 인하여 중간날림 발생이 용이하게 되어 전단인장강도의 저하를 초래함으로써 최적치의 선정이 필요하다.<sup>3)</sup>

Fig. 3~4에서 보는 바와 같이 가압력이 150kgf 일 때에는 고전류시 간극이 존재할 때의 인장전단하중은 간극이 없을 때에 비해 낮음을 확인할 수 있다. 8KA이하에서는 인장전단하중이 간극 5mm-3mm-0mm 순서이고 그 이상일 때에는 0mm-3mm-5mm이며 가압력 300kgf에서는 간극이 없을 때의 하중이 크게 나타나고 간극이 있을 때와 없을 때의 인장전단하중 차이가 크지 않음을 알 수 있다. 이것은 가압력이 클수록 간극이 인장전단강도에 끼치는 영향이 작음을 나타낸다.

Fig. 5는 전류가 10KA일 때 가압력과 인장전단하중과의 관계를 나타낸다. 간극이 없을 때엔 가압력 270kgf일 때 최고 하중값을 나타낸 데 반해 간극이 3mm, 5mm 일 때에는 가압력 240kgf일 때 최고값을 나타낸다. 간극이 존재시 가압력 240kgf에서는 간극이 인장전단강도에 더 큰 영향을 끼쳤고 270kgf 이상에서는 가압력이 큰 영향을 끼쳤음을 알 수 있다.

인장전단하중은 가압력의 증가와 더불어 점차 증가되어 가압력 240kgf를 넘어서서 최대치를 나타낸 후 감소되는 경향을 보여준다. 이와 같은 현상은 도금강판의 표면이 불균일하여 가압력이 낮으면 강판 표면의 일부에서만 접촉이 이루어지며 그곳에서 전류가 집중적으로 흐르게 되어 전류밀도의 증가로 비산 발생이 용이하며 너깃 형성이 어렵기 때문이다. 한편 가압력이 높으면 접촉면적이 커지게 되므로 전류밀도를 저하시키고 그 결과 너깃 형성이 어려워 강도는 저하된다. <sup>6)</sup>

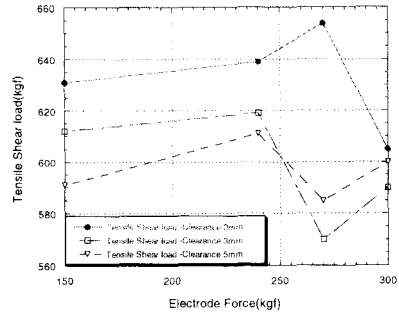


Fig. 5 Relation between electrode force and tensile strength at clearance 0mm, 3mm, 5mm

### 3. 3 굽힘모멘트와 인장전단강도와의 관계

점용접시 강판 사이에 간극이 존재할 때에는 위쪽 강판에 굽힘모멘트가 가해지게 된다. 간극이나 바이스에서 용접 팁까지의 거리가 변화함에 따라 굽힘모멘트가 변하게 되고 이것은 용접부에 영향을 끼치게 된다.

Fig. 6은 가압력이 240kgf이고 간극이 5mm 일 때 굽힘모멘트와 인장전단하중과의 관계를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 굽힘모멘트가 증가할수록 인장전단하중 역시 증가함을 알 수 있다.

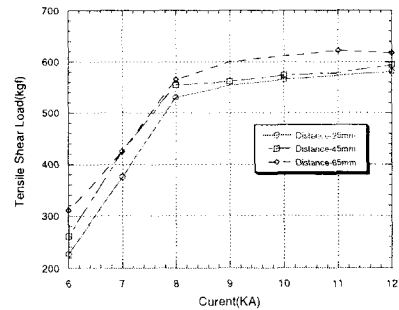


Fig. 6 Relation between tensile shear load and welding current when bending moment changed

### 3. 4 간극과 인장전단하중과의 관계

Fig. 7은 가압력에 따른 간극과 인장전단하중의 관계를 나타내고 있다. 가압력 150kgf와 240kgf

에서는 간극이 증가함에 따라 인장전단하중이 감소하고 있다. 그에 반해 가압력 300kgf에서는 간극이 0mm에서 3mm로 증가할 때에 인장전단하중은 감소하나 간극이 3mm에서 5mm로 간극이 증가할 때에는 증가한다. 이는 가압력이 낮을 경우에는 간극이 인장전단강도에 영향을 미치지만 가압력이 클 경우에는 간극이 인장전단강도에 미치는 영향이 줄어들음을 확인할 수 있다. 간극이 증가함에 따라 시험편에 가해지는 굽힘 모멘트에서 차이가 생기게 되며 이 차이가 강도에 영향을 미친 것으로 여겨진다.

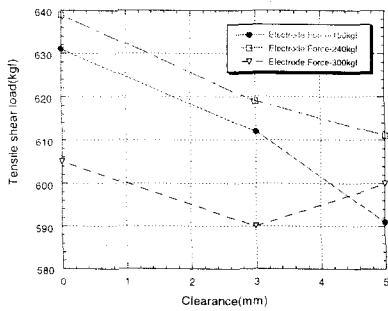


Fig. 7 Relation between tensile load and clearance when clearance changed

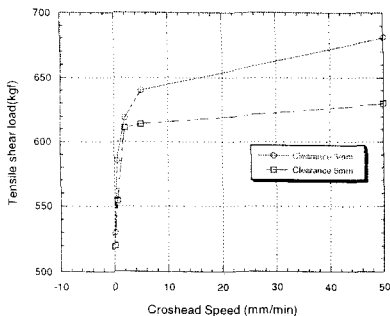


Fig. 8 Relation between crosshead speed and tensile shear load

### 3. 5 인장속도(Crosshead speed)와 인장전단강도와의 관계

Fig. 8은 인장속도와 인장전단강도와의 관계를 나타내고 있다. 인장속도가 증가함에 따라 인장전단하중도 증가하고 있음을 확인할 수 있다.

인장 속도가 0.05mm/min에서 5mm/min까지는

인장전단하중이 급속히 증가하고 있고 5mm/min에서 50mm/min까지는 증가폭이 현저하게 둔화되었음을 확인할 수 있다. 즉 5mm/min를 경계로 연성에서 취성으로 변했음을 알 수 있다.

인장속도가 고속일 때 시험편의 변형이 빠르게 진행되어 취성재료의 진행을 보이며 용접부내의 결함들이 영향을 나타내기 어렵게 한다. 그러나 저속일 경우에는 천천히 진행되는 변형으로 인해 연성재료와 같이 진행되며 이러한 진행은 최대 인장전단하중에 영향을 미치게 된다.

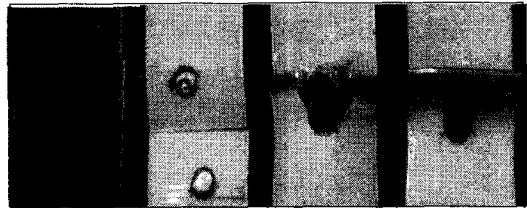


Fig. 9 Fractured specimens at electrode force 270kgf & clearance 5mm (a) test specimen (b)6KA (c)10KA (d)12KA

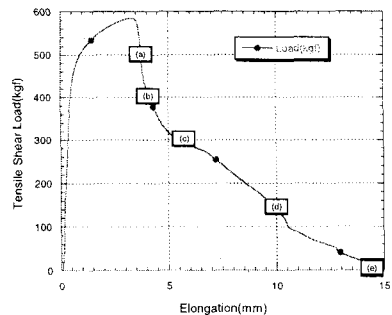
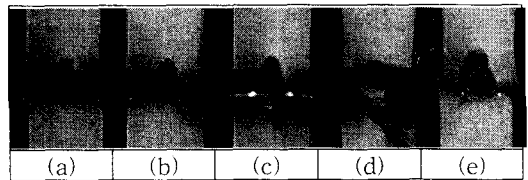


Fig. 10 Fracture process of specimens and p-δ diagram at electrode force 270kgf clearance 5mm (a)500kgf (b)400kgf (c)300kgf (d)150kgf (e)0kgf

### 3. 6 너깃의 파괴 형태

Fig. 9는 간극이 5mm이고 가압력이 270kgf, 통전 전류를 6KA, 10KA, 12KA로 가한 상태에

서 인장시험을 시행했을 때 시험편의 파괴 모습을 보여주고 있다. 6KA일 때에는 전류의 부족으로 인해 너깃이 충분하게 형성되지 않아 용접부의 전단강도가 약해 용접부가 떨어져 나갔음을 알 수 있고 10KA, 12KA 일 때에는 용접부가 아닌 열영향부와 용접부 사이에서 균열이 진행되었음을 파괴된 시험편을 통해 확인할 수 있었다.

Fig. 10은 가압력이 270kgf 일 때 간극이 5mm일 때 인장 시험편에서 균열이 발생하여 파괴에 이르는 모습을 나타내고 있다. 시험편의 파괴는 균열이 너깃의 상하 부분의 열영향부에서 시작되어 너깃 주위로 전파되어 파괴되고 있다.

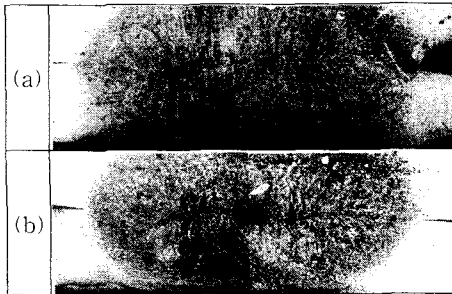


Fig. 11 Nugget shape at 6KA clearance (a)0mm (b)5mm

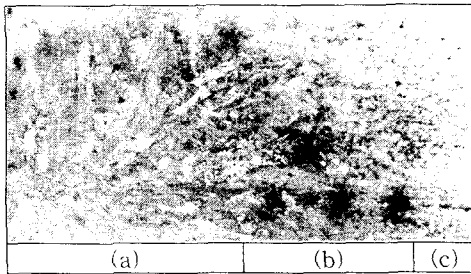


Fig. 12 Spot welding part HAZ/Nugget/parent ( $\times 50$ )

### 3. 7 너깃 형상

Fig. 11은 가압력이 150kgf 일 때 전류가 6KA에서 시험편의 간극이 5mm일 때 너깃 형상을 현미경으로 촬영한 모습과 크기를 나타내었다. 너깃의 크기는 전류의 증가에 따라 너깃 크기도 증가하며 시험편 사이에 간극을 주었을 때에는 너깃의 형상이 간극이 5mm 일 때와 비교할 때 모양이 타원형에 가까우며 훨씬 또렷함을 확인할 수 있었으며 용접전류가 증가할 때 훨씬 너깃 형상이 뚜렷하고 크기도 크며 형태도 뚜렷한 바둑돌 모양을 나타내고 있다. 따라서 간극이 존재할

때에도 전류가 증가할수록 너깃의 크기가 커지는 것을 알 수 있다. 그러나 가압력에 의해 표면의 돌출현상을 관찰할 수 있으며 이 부분이 파괴의 기점이 되고 있다.

Fig. 12는 용접 열영향에 따른 조직의 변화거동을 보여주고 있다. (a), (b), (c)는 너깃, 열영향부 및 모재를 나타내며 너깃의 중앙부는 마르텐사이트 조직으로 이루어져 있음을 알 수 있다.

## 4. 결론

- (1) 강판에 간극을 두고 용접을 한 결과 간극을 둔 시험편이 맞대어 용접한 시험편의 인장전단하중보다 낮게 나타났으며 가압력이 클수록 간극이 인장전단하중에 미치는 영향은 줄어들고 전류 10KA시 간극이 없을 때에는 270kgf, 간극이 존재할 때에는 240kgf가 최고치를 나타냈다.
- (2) 용접 시험편에 간극이 존재하는 경우 전류가 증가할수록 너깃의 크기도 커지며 간극이 없는 용접 시험편과 비교할 때 너깃은 발달이 덜 되었음을 알 수 있었다.
- (3) 시험편에 가해지는 굽힘모멘트가 클수록 인장전단하중은 증가한다.
- (4) 인장속도가 증가할수록 인장전단하중이 증가한다.

## 참고문헌

- (1) O. P. Gupta : Journal of Manufacturing Science and Engineering, (1998)
- (2) Jun Soo Lee and Eog Yong Chin, : Effect of Weldability Conditions on Spot Welding of Galvanized Steel Sheet, (1996) Journal of the Korean Inst. of Met. & Mater. 34, Vol. 34, No. 2, pp. 261~269.
- (3) Kang I. C. : Modern Welding Engineering, (1997) pp. 287
- (4) S.M. Cho, : Principle of Resistance Welding and Analysis of Monitoring Results, J. of KWS, (1997)
- (5) Welding Handbook, Section 2, A.W.S., Sixth Edition, 26
- (6) Won Cheol Shin, Joon Key Min and Chang Che Shur, : A Study on the Spot Weldability of Hot-dip Galvannealed Steel Sheet, (1996), Journal of the Korean Inst. of Met. & Mater. 34, Vol. 28, No. 11, pp. 1010~1015.