

## 자동차용 아연도금강판의 심 용접조건과 용접성에 관한 연구

임재규·정균호·국중하

### A Study on the Welding Conditions of Weldability of Seam Welding for Galvanized Steel Sheets of Automotive

Jae-Kyoo Lim, Kyun-Ho Chung and Jung-Ha Kuk

#### Abstract

This paper is studied about welding conditions and weldability of seam welding for galvanized steel sheet of automotive. The fuel tank of automobile is made by seam welding to be required of airtight or oiltight. This method have required a short time for welding, simplicity operation progress and little HAZ. Especially, it has more less residual stress and transformation than different welding progress.

So, this study is for decreasing the leakage occurrence rate and to make standard operating condition table anyone can operate easily. Therefore, this study is analyzed the optimum conditions of seam welding for making the automobile with galvanized steel sheets by means of observing the microstructure and configuration back projection, RT, tensile-shear strengths test and SEM.

Optimum conditions of seam welding obtained as follows, current 17.2-17.6kA speed 1.0m/min weld time 4:10:6 and current 16.5-17.4kA, speed 0.83m/min, weld time 4:10:4 at t1.0, and current, 18.5-18.9kA, speed 0.8m/min, weld time 4:10:4 and current 16.5-17.4kA, speed 0.68m/min, weld time 4:10:2 at t1.6.

Key Words : Welding conditions, Galvanized steel sheet of automobile, Microstructure, RT, Tensile-shear strength, SEM, LSW, FSW.

#### 1. 서 론

자동차 부품 중의 연료 탱크 제작에 가장 많이 쓰이는 소재는 무도금강판보다 전기저항용접성은 나쁘나 내식성과 방식성이 좋은 전기아연도금강판이며, 용접은 스폿 용접과 심 용접법이 적용되고 있다.

심 용접 결과에 미치는 요인으로는 재료의 종류와 판 두께에 따른 용접전류와 전극 가압력, 통전시간과 휴지시간, 용접속도, 그리고 피용접 재료의 표면상태와 전극 tip의 선단형상 등이다. 여기서 용접에 필요한 발열량은 전류의 자승에 비례하고, 통전시간에 비례하며, 전극의 가압력에 대략 반비례하는 관계를 가지므로<sup>1)</sup> 용접시는 이들 인자의 최적 용접조건을 선정하는 것이 매우 중요하나<sup>2)</sup>, 각 변수의 조합에 따른 변화가 매우 많으므로 정확한 용접조건을 찾는 데 어려움이 매우 많다<sup>3)</sup>.

대개 생산 라인에서는 용접전류 이외의 조건은 AWS나 RWMA(Resistance welder manufacture association)에서 제시하고 있는 용접조건으로 설정한 후 용접전류의 변화만을 관찰해가며 용접품질을 관리(QC)하고 있다<sup>2)</sup>.

그러나 심 용접부나 스폿 용접부가 융합부족, 불꽃 비산(expulsion) 등에 의해 pin hole이나 기공 등이 생겨 탱크의 강도부족이나 누설 불량율이 높아 중요한 문제로 되고 있는데, 이런 경우 재용접을 해야할 필요가 있거나, 수정보완, 제품 불량처리 등의 문제를 낳게되며, 그 결과 생산수량이 적어지고, 재용접이나 보수에 따른 인건비 상승과 시간낭비, 강도 부족에 의한 파괴 등으로 제품의 신뢰성을 잃게되는 경우가 종종 일어나고 있으므로 심 용접으로 제작되는 연료 탱크의 누설방지 및 용접강도 향상을 위하여 많은 연구가 있어야 할 것이다<sup>4)</sup>. 따라서 본 연구에서는 자동차용 연료 탱크 제작에 쓰이는 전기아연도금강판

(EGI 강판)에 대해 도금판 그대로, 또는 용접부 내면에 은분을 칠하거나, 내외 면에 은분을 칠한 후 ① 심 용접전류, ② 용접속도, ③ 통전시간 등 용접조건을 변화시켜 심 용접한 후, 압입 깊이와 이면 돌출량, RT(방사선 탐상시험)에 의한 결함검사, 광학현미경과 주사전자현미경(SEM)을 이용하여 모재와 열영향부(HAZ), 용융부의 미세조직 관찰, 그리고 인장시험에 의한 파괴양상과 인장-전단강도(tensile shear strength) 등을 관찰하여 양호한 용접부를 얻을 수 있는 최적의 용접조건을 찾아서 실제 작업현장에서 적용할 수 있도록 하고자 한다.

### 2. 실험재료 및 실험방법

본 연구에서는 KSD 3512의 규격인 냉연압연강판 SCP 2 재료를 아연 도금한 전기아연도금강판 2종(SECD)을 사용하였으며, 이 재료는 극저탄소와 망간, 니켈, 알루미늄을 소량 함유한 극저탄소강이다<sup>5)</sup>.

이 소재의 기계적 성질을 측정하기 위해 금속재료 시험규정(KSB 0851)에서 정한 제5호 시험편을 사용하여 인장전단시험을 하였으며<sup>6)</sup>, 인장시험 결과 인장강도는 34.0(kg/mm<sup>2</sup>), 연신율은 24.9%이고, 경도시험 결과 HRB 33으로 나타났다.

실험을 위해 연료 탱크 제작용 소재인 전기아연도금강판 2종을 그대로, 일부는 아연도금강판의 전기전도도를 향상시키기 위해 내부에 은분을 칠하여 Table 1.2와 같이 용접전류와 용접속도, 통전시간과 휴지, 냉각시간, 두께(t1.0, t1.6)의 변화 등 36 조건으로 횡형 심 용접기를 사용하여 겹침 및 플렌지 심용접(lap and flange 심용접)을 하였으며, 아연도금강판에 은분을 칠하여 실험한 이유는 전기전도도의 향상에 따른 접촉전기저항의 감소와 용접성의 변화 관계를 판단하기 위해서이다.

Table 1 Seam welding conditions for SPC Zn-Ni(t1.0)

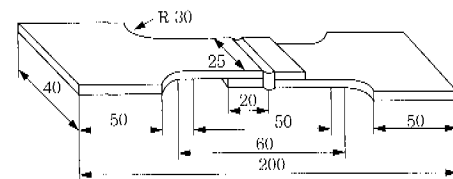
No	Seam welding conditions						Electrode thickness (mm)
	Current (kA)	Speed (m/min)	Force (kg)	Time (Hz)			
				weld	hold	cool	
1	16.5-17.4	1.0	450	4	10	2	7
2	18.5-18.9						
3	20.7-21.2						
4	18.5-18.9	0.83	450	4	10	2	7
5	20.7-21.2						
6	18.5-18.9	1.2	450	4	10	2	7
7	19.5-19.7						
8	18.5-18.9	0.83	450	4	5	4	7
9	18.5-18.9						

Table 2 FSW conditions and result for SPC Zn-Ni(t1.6)

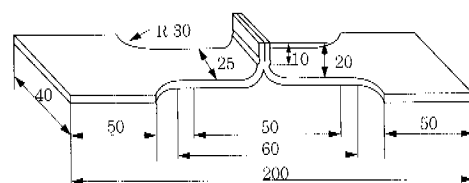
NO.	Seam welding conditions						전극 두께 (mm)	압입 깊이 (mm)	이면 돌출 (mm)	appearance
	Current (kA)	Speed (m/min)	Force (kg)	Time (Hz)						
				weld	hold	cool				
1	16.5-17.4	0.68	450	4	10	2	7	0.55	0.53	외관 미려함
2		0.83						0.46	0.45	
3		1.0						0.41	0.39	
4	18.5-18.9	0.83	450	4	10	2	7	0.6	0.75	이면외관 약간 불량
5	20.7-21.2							0.68	1.07	과열, 비산, 오염, 과용열됨
6	18.5-18.9							0.47	0.45	외관 미려함
7	18.5-18.9	0.83	450	4	5	4	7	0.29	0.42	
8	18.3-18.6			2	5	2		0.42	0.45	
9	18.5-18.9			6	10	6		0.56	0.72	과용열, 외관거칠, 오염됨

본 실험에 사용된 심 용접기는 정격용량이 150kVA, 최대 가압력이 1,000kgf인 수랭식 심용접기이며, 상부 전극의 외경은 400mm이고, 두께 7mm의 박진극 wheel과 평면형 wheel을 사용하였으며, knurl 구동 방식을 채용하였다<sup>7)</sup>. 이것은 정전류회로가 없는 방식이므로 전압변동 및 부하가 변하면 2차 전류도 변하게 되며, 전류조절과 가압력 변화, 전류 통전시간과 휴지 및 냉각 시간의 제어 기능과 용접속도를 조절할 수 있는 기능을 가지고 있다. 실험시 전류 측정은 순간 전류계를 사용하였다.

심 용접 후 실험을 위해 각 조건별로 심 용접부 길이 100mm 크기의 결함검사용 RT 시험편을 준비하고, 인장전단강도(TSS)를 알아보기 위해 절삭가공에 따른 열적변형이 매우 적은 wire cutting M/C를 사용하여 Fig.1과 같이 KS B 0851 제5호 인장시험편을 제작하였다<sup>8)</sup>.



(a) Tensile specimen of lap seam welding



(b) Tensile specimen of flange seam welding

Fig. 1 Configuration and dimension of tensile specimen

실험방법은 각 조건별로 플랜지 심 용접한 것에 대해 표면의 압입상태와 이면의 돌출상태, 용접 피치 등을 다이알 게이지와 확대경, 깊이 측정기를 사용해 측정 하였으며, 심 용접 조건에 따른 결함검사를 위해 RT 시험을 하였다.

특히 준비된 조직 시험편을 3% Nital 용액으로 2분 간 부식시킨 후<sup>9)</sup> 광학현미경으로 용융부, HAZ, 모재의 조직상태를 촬영하였으며, 인장전단시험으로 파단된 부분의 파괴양상을 알아보기 위해 주사전자현미경(SEM)을 사용해 300배율과 700배율로 관찰하였으며, 파괴형태를 비교하여 재료의 파괴기구를 해석하였다.

또한 각 조건별로 lap 심용접(LSW)과 flange 심용접(FSW)하여 만들어진 인장전단시험편으로 만능 재료시험기를 이용하여 인장속도 2mm/min으로 인장시험하였으며, 인장전단강도, 연신율, 파괴 에너지, 단면 내의 용접결합 유무 등을 측정하였다<sup>10)</sup>.

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 용접조건에 따른 압입 및 이면 돌출상태 관찰

FSW의 각 조건에 따른 압입상태와 이면 돌출상태를 조사한 결과 Table 2와같이 전류 20.7-21.2kA, 용접속도 0.83m/min, 용접시간 4:10:2 때나, 전류 19.0-19.3kA, 용접속도 0.83m/min, 용접시간 6:10:6의 경우가 가장 외관이 불량하고 압입 및 이면 돌출이 많았으며, 전류 18.5-18.9kA, 용접속도 0.83m/min, 용접시간 4:10:4의 경우가 매우 양호하였다.

각 조건별 분석에 의하면 용접전류 16.5-17.4kA에서 용접속도에 따라 0.39-0.55mm의 이면돌출이 생겼으며, 20.7-21.2kA에서는 1.07mm 정도의 이면 돌출이 생기는 등 용접전류가 증가함에 따라 이면 돌출량도 증가하였고, t1.6mm에서는 20.7kA 이상에서, t1.0mm에서는 18.5kA 이상에서 과용되어 비산 현상이 많았으며, 뒷면 knurl 자국이 불규칙하고 오염도가 높았다. 동일 전류에서도 용접속도가 크면 압입이 알아지며 이면 돌출량도 적었다. 또한 이면 돌출량이 아주 많거나(조건 5) 적은 경우 인장전단강도나 파괴에너지도 적었다.

#### 3.2 RT 시험에 의한 결함검사 결과

RT 시험에 의하면 대부분의 결함은 기공이며, 이러

한 기공이나 결함들은 용접조건뿐만 아니라, 판의 표면상태, 수분, 접촉상태 등 다양한 조건들에 의해 발생되었다.

Fig. 2는 결함이 있는 용접부를 나타낸 것이며, 전 용접조건에서 0.5mm 이하의 기공이 4-8개(100\*7mm당) 있었다.

시험 결과 기공은 전류나 용접속도가 증가함에 따라 그 수가 많아지고, 크기도 대체로 커졌으며, 통전시간에서는 두께 1.0mm의 판에 대해 동일 조건에서 용접 2 : 유지 5 : 냉각 2의 비일 때 양호한 용접부를 얻었다. 두께 1.6mm의 판의 경우는 전류 18.5-18.9kA, 용접속도 0.83m/min 상태에서 용접 4 : 휴지 10 : 냉각 4의 비일 때 결함이 없고 TSS, 연신율, 파괴 에너지가 가장 높았다.

아연도금강판에 은분도포 유무에 따른 결함의 정도에는 큰 차이가 없었으나, 은분을 칠한 것은 용접 중에 비산이 많이 일어나고 파면의 결정립자는 상당히 거친 조직이 나타났다.

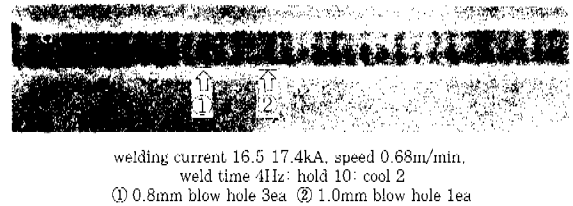


Fig. 2 X-ray film in the blow hole on S/W parts

#### 3.3 용접부의 조직관찰

Fig. 3은 Table 2의 조건 1로 심용접한 너트의 전체 조직을 나타낸 것으로 표면에서 내부로 주상정을 이루고 있으며, 용융부, 모재, 열영향부의 경계부(HAZ and fusion zone)의 조직을 알 수 있으며<sup>11)</sup>, 용융 즉시 냉각수에 의해 급랭되기 때문에 용융부와 열영향부의 조직을 거의 구분하기 어려우나 결정립이 조대화 되었기에 모재와 용융부의 경계가 나타나고 있다<sup>12)</sup>. Fig. 4(a)는 Table 2의 6조건(18.5-18.9kA, 0.83m/min, 4:10:4)으로 TSS 시험한 부위의 파단

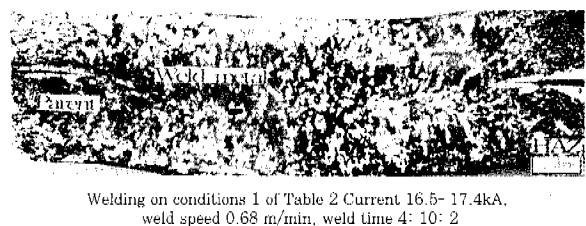


Fig. 3 Nugget Microstructure of seam weld on SPC Zn-Ni

부이며, 아연도금강판 그대로 심 용접한 것의 파단부를 촬영한 것으로 공작날개 모양을 이루는 부분이 연성인장파면의 최초 파단점으로 생각되며, Fig. 4(b)는 Table 2의 8조건(18.3-18.6kA, 0.83M/min, 2:5:2)으로 TSS 시험한 부위의 파단부이며, 아연도금강판 그대로 심 용접한 것의 파단부를 촬영한 것으로, 파단부위의 일부는 섬유상으로 나타났으나, 대부분 조약돌 모양으로 응고 흔적이 나타난 것은 통전시간의 부족으로 용융온도가 낮아 완전 용착하지 못한 것을 보여주고 있고, TSS나 파괴 에너지도 상당히 낮은 것으로 나타났다.

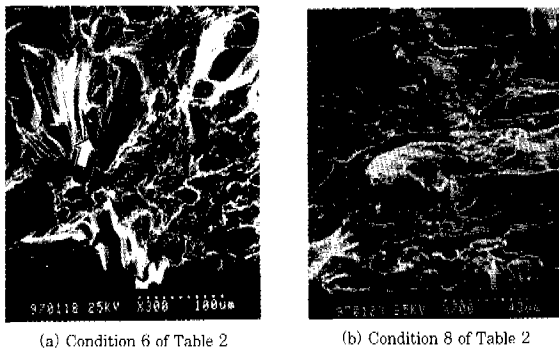


Fig. 4 SEM photographs of FSW specimen with SPC Zn-Ni after TTS test

### 3.4 용접 조건별 인장전단강도 관찰

Fig. 5은 FSW부의 인장시험에 의해 전단 파괴되는 양상을 나타낸 것이며, 인장을 시작하면 시편은 하중의 증가와 함께 서서히 늘어나게 되고, 인장 중반 이후에 심 용접부 부근에서 더 많이 연신되어 네킹이 시작되며, 단면적이 적어지고, 용접시에 압입된 knurl 자국이 노치가 되어 crack이 진행되며 급격하게 연성파단에서 취성파단으로 급진전하다가 파단하는 양상을 보여주고 있다.

Fig. 6은 LSW에 대한 TSS, 파괴 에너지, 연신율의 비교를 나타낸 것이며, TSS는 Table 2의 조건 6의 경우가 높고, 조건 5의 경우가 낮았으며, 파괴 에너지는 전류 16.5-17.4kA, 속도 0.68m/min, 용접시간 4.10.2의 경우가 1.8(J)로 가장 높고, 은분을 칠한 쪽이 강도나 파괴 에너지가 비교적 높은 것으로 판단되었다. 연신율은 조건 8이 27%로 가장 크고, 5의 경우가 14%로 가장 낮은 것으로 나타나, 전반적으로 강도가 크고 연신율이 크면 파괴 에너지도 커지는 경향을 나타냈으며, 조건 5의 경우는 강도, 파괴 에너지, 연신율 모두가 다른 조건보다 낮았다.

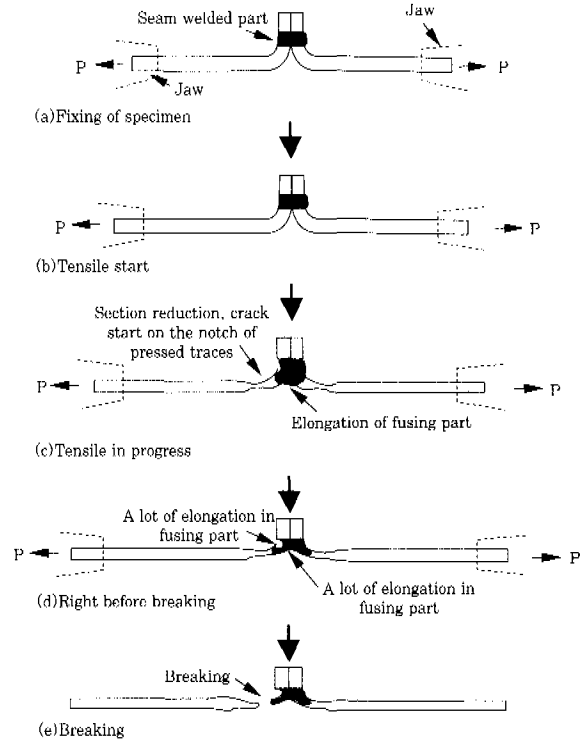


Fig. 5 Macrofractographs in tensile shear inspection of flange seam welding

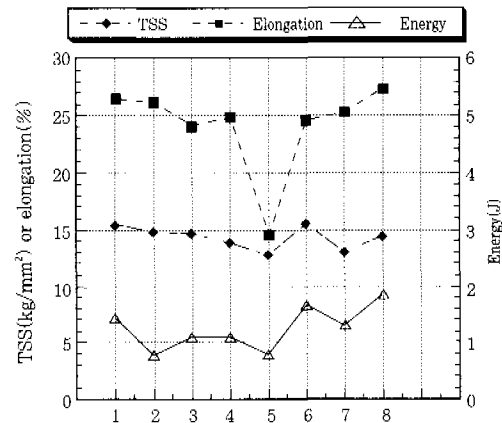


Fig. 6 Strength-breaking energy-strain curve of LSW conditions for SPC Zn-Ni(t 1.6)

Fig. 7은 t1.0 아연도금강판을 FSW한 것의 각 조건별 TSS와 파괴 energy의 비교를 나타낸 것으로, TSS가 가장 높은 경우는 Table 1의 조건 4(15.3kg/mm<sup>2</sup>)이며, 가장 낮은 것은 조건 7(11.3kg/mm<sup>2</sup>)로 나타났으며, 파괴 에너지가 높은 것은 조건 8(0.8 J)이고, 낮은 것은 조건 7(0.6 J)의 경우로 나타났다. 따라서 강도나 파괴 에너지가 비교적 높은 것은 조건 5이며, 낮은 것은 조건 7로 나타났다.

Fig. 8는 아연도금강판 t1.6을 LSW 및 FSW한 것에 대한 TSS와 파괴 에너지의 관계를 복합적으로 나타낸 것이며, 조건별 파괴 에너지는 아연도금강판 그

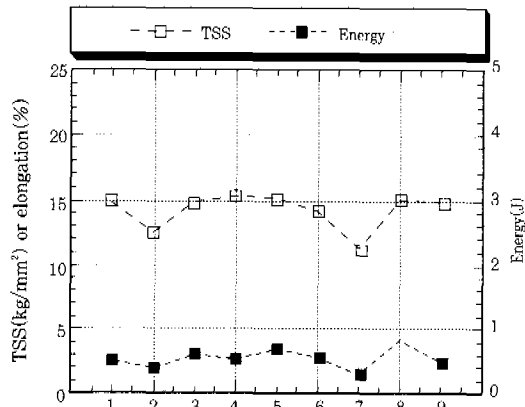


Fig. 7 TSS and breaking energy curve of FSW conditions for SPC Zn-Ni(t1.0)

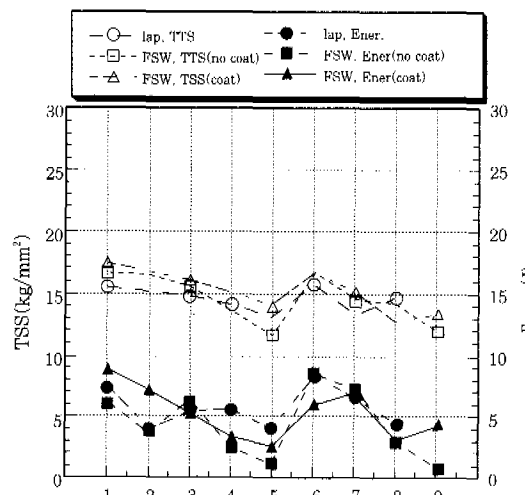


Fig. 8 TSS and breaking energy curve of FSW conditions for SPC Zn-Ni(t1.0)

대로의 경우는 Table 2의 조건 6의 경우가 가장 높고, 조건 5의 경우가 가장 낮았다.

은분 도포의 유무에 따른 용접성 비교에서는 Table 2와 동일 조건으로 아연도금강판 t1.6에 대해 은분을 칠한 후 심 용접한 것(coating으로 표시)과 은분을 칠하지 않고 아연도금강판 그대로 용접한 것(no coating으로 표시)과의 TSS의 비교에서는 Fig. 8와 같이 은분을 칠한 쪽이 대체로 높았으며, 특히 전류가 높거나(조건 5: 20.7-21.2kA), 통전시간이 짧은 경우(조건 8: weld time 2:5:2), 또는 통전시간이 긴 경우(조건 9: weld time 6:10:6) TSS의 차이가 심하였다. 이렇게 TSS의 차이가 있는 것은 은분을 칠하면 접촉면적이 커지므로 그만큼 높은 전류를 통전하여야만 저항열이 높아져 용융이 잘 되기 때문이다. 그러나 아연도금강판 그대로는 높은 전류에서는 과용으로 인해 강도는 오히려 현저히 떨어졌고, 낮은 통전시간에서는 용융이 부족하여 강도가 낮았다.

또한 파괴 에너지는 조건 1의 경우가 1.8(J)로 가장

높고, 조건 5의 경우가 가장 낮으며, 은분을 칠한 쪽이 강도나 파괴 에너지가 비교적 높은 것으로 판단되었다.

### 3.5 용접전류에 대한 인장전단강도와 파괴 에너지

용접전류와 강도 관계에는 다른 조건에 따라서 적정 전류치도 달라지게 되며, 전류가 너무 높은 경우(t1.6 : 21.2kA) 용접부가 비산하고 오염이 심하였으며, TSS와 파괴 에너지도 감소하는 경향을 나타냈다.

t1.6에 대한 FSW에 있어 아연도금강판에 은분의 도포 유·무에 따른 전류변화의 관계에서는 은분을 도포한 쪽이 TSS나 파괴 에너지가 비교적 높았으며, 적정 전류(임계전류) 이상이나 이하에서는 TSS나 파괴 에너지가 낮아지는 것으로 나타났다. t1.0에 대한 FSW에 있어서는 전류가 높은 경우에 TSS가 감소하고 파괴 에너지는 비슷한 수치를 나타냈다.

### 3.6 용접속도에 대한 인장전단강도와 파괴 에너지

시험 결과에 의하면 용접속도는 전류 등 다른 조건이 같은 범위에서 영향이 미치는 것으로 판단되며, 일반적으로 용접속도가 느리면 용입이 증가하고, 용접속도가 증가하면 용입이 적어지게 되나, 임계속도보다 더 느리면 오히려 용입 깊이는 낮아지는 경향을 나타냈으며, t1.6 LSW한 것에 대한 용접속도와 TSS, 파괴 에너지의 비교에서는 조건 1에서 TSS나 파괴 에너지가 높고, 조건 2에서는 TSS는 비슷하고 파괴 에너지는 낮았으며, 조건 3과 같이 속도가 증가하면 파괴 에너지는 오히려 높게 나타난 것을 알 수 있다.

### 3.7 통전시간과 인장전단강도

t1.6의 LSW 및 FSW에 대한 관찰에서는 조건 6으로 용접한 것이 TSS는 16.8kg/mm<sup>2</sup>, 파괴 에너지는 1.876(J)로 높았고, t1.0의 FSW의 경우는 조건 8로 용접한 것이 TSS는 15.0kg/mm<sup>2</sup>, 파괴 에너지는 0.8544(J)로 높았다.

## 4. 결 론

전기저항 심 용접에 있어 용접전류와 가압력, 용접속도, 통전시간 등은 중요한 용접조건이므로 용접상황에 따라 이들 조건들을 조절하여 용접을 행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 압입 및 이면돌출은 용접전류의 증가나 통전시간이 길면 돌출량이 많았으며, 인장전단강도나 파괴에너지는 상대적으로 적었고, 용접속도가 크면 용입이 얇아지며 이면돌출량도 적었다.

2) 전류나 용접속도의 증가에 따라 RT시험 결과 기공의 수가 많아지고, 크기는 대체로 커졌으며, 은분 도포의 유·무에 따른 차이는 발견되지 않았고, 용접조건, 모재의 표면상태, 수분의 유·무가 결합의 발생에 관계한다고 판단되며, 작업현장의 관찰에 의하면 은분 도포의 경우 용접 중에 비산이 일어나고 파단면의 결정립자가 상당히 조대했다.

3) 인장전단강도는 적정 전류 범위까지는 전류의 증가에 따라 증가하게 되나, 용접속도나 용접시간 등 제 조건에 따라 많은 변화가 있으며, 아연도금강판에 은분을 도포한 쪽이 대체로 TSS는 높았으며, 특히 전류가 높거나 통전시간이 길거나 짧을 경우 TSS의 차이가 많았는데, 이는 은분 도포로 접촉저항이 적어 그만큼 높은 전류를 통전하므로 용입이 잘되기 때문이라고 판단된다.

4) 최적 용접 조건으로는 용접전류, 용접속도, 용접시간에 의해 결정되었으며, 두께 1.0mm의 경우는 조건 8(전류 17.2-17.6kA, 속도 1.0m/min, weld time 4:10:6)과 조건 4(전류 16.5-17.4kA, 속도

0.83m/min, weld time 4:10:4)로 용접한 경우가 TSS나 파괴 energy가 높았으며, 두께 1.6mm의 경우는 조건 6(전류 18.5-18.9kA, 속도 0.83m/min, weld time 4:10:4)과 조건 1(전류 16.5-17.4kA, 속도 0.68m/min, weld time 4:10:2) 이 최적의 용접조건이라고 판단된다.

### 참 고 문 헌

1. 신현일, 강성수: 고장력강판 및 2층 아연도금된 고장력강판의 점용접성에 관한 연구 대한용접학회지, 12-3(1994), p56-62
2. 최청호(연세대학원): spot용접 인장-전단강도와 균열진전 억제에 관한 연구(1995), p1-43
3. 엄기원 저: 이론실기 용접공학, 원화(1987), p253-265
4. 임재규: 중소기업발전 컨소시엄(1997), p1-5
5. 현대자동차: 심용접 사양기준(1994.7), p2-10
6. 중소기업연수원: 금속재료시험(1993), P3-5
7. 김병준 저: 저항용접, 기문사(1987), p22-282
8. 윤병현, 권영각: 자동차용 강판의 접착특성, 대한용접학회지, 13-2(1995), p107-108
9. 조상명: 저항용접의 기초원리와 모니터링 결과의 분석, 대한용접학회지, 15-2(1997), p1-10
10. 한국공업규격: 심 용접의 검사방법, KSB 0855-1980-12
11. 박성두: 용접야금학, 대광서림(1990), p237-282
12. 흑목출판사: 용접부조직사진집, 소화59년(1984), p81-90



- 임재규(林載奎)
- 1949년생
- 전북대학교 기계공학부
- 재료 및 파괴역학응용·용접 강도
- e-mail : kllim@moak.chonbuk.ac.kr



- 국중하(鞠重夏)
- 1936년생
- 우진사업 주식회사
- 범퍼 도장, R.R-Post 제작, 연료탱크제작
- e-mail : wooshin@wooshin.co.kr



- 정균호(鄭均鎬)
- 1950년생
- 광주 직업훈련원
- 용접강도
- e-mail : jungkho@ichum.com