

# 자동차용 아연도금강판의 SEAM 용접조건 최적화에 관한 연구

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

정균호\* 임재규\*\*

\* 이리직업전문학교 교사, \*\* 전북대학교 교수

## 1. 서론

자동차용 연료 tank는 일반적으로 t1.6이하의 박판을 사용하여 spot 용접과 seam 용접법에 의해 제작하는데, 이때 강도부족으로 파손되거나, 누설불량이 높아 생산성이 저하되는 문제를 갖고 있다. 따라서 결함이 적고, 용입이 깊으며, 충분한 강도를 얻을 수 있는 최적의 seam 용접조건을 찾기 위해 여러 조건으로 seam 용접하여 압입 깊이와 이면 돌출량, 방사선 탐상시험에 의한 결함검사, 광학현미경과 주사전자현미경(SEM)을 이용한 미시조직 관찰, 그리고 인장시험에 의한 파괴양상과 인장-전단강도 등을 관찰하게된 것이다.

### 1.1 seam 용접의 원리

Seam 용접은 용접물을 원판상의 회전전극 사이에 놓고 가압한 상태에서 극히 짧은 시간에 높은 전류를 통전하게되면 용접물 접촉부에 줄열(Joule heat)이 발생하여 용융하게 되며, 회전 전극에 의해 spot 용접을 반복하여 나가는 용접방법이다.[1]

### 1.2 seam 용접 조건

Seam 용접 조건에는 용접전류, 가압력, 통전시간, 용접속도, 모재의 표면상태 등이며, 이 조건들이 적당히 조화를 이루어야 된다.

발열량은 전류 자승에 비례하므로[2] 용접전류는 용입(nugget)을 결정하는 매우 중요한 조건의 하나이며, 전류는 가압부분으로 통전하므로 가압력과도 밀접한 관계가 있다.

용접속도는 단위 면적당 전류밀도에 관계되며 통전방법에 따라 달라진다.[3]

## 2. 실험재료 및 실험방법

### 2.1 실험재료

본 연구에서는 KSD 3512(냉간 압연 강판 및 강대)의 규격인 냉연압연강판 SCP 2 재료를 아연도금한 전기아연도금강판 2종(SECD)을 사용하였다. 이 소재의 인장강도는 34.0(Kg/mm<sup>2</sup>), 연신율은 24.9%, 경도는 HRB 33이며, 화학성분은 Table 1과 같다.

### 2.2 실험방법

실험은 정격용량이 150KVA이며, 최대 가압력이 1000kgf인 수냉식 seam 용접기를 사용하여 연료 tank 제작용 소재인 전기아연도금강판 2종을 Table 2와 같이 용접전류와 용접속도, 통전시간과 휴지, 냉각시간, 두께 t1.0과 t1.6의 변화 등 36 조건으로 lap and flange seam welding을 하였다..

각 조건별로 seam 용접부 100mm 크기로

Table 1. Chemical composition of SPC Zn-Ni

Elements.	Fe%	C %	Si %	Mn%	P %
SPC	99.576	0.0016	0.0036	0.0843	0.0128
Zn-Ni DC	S %	Cu%	Ni %	Al %	Ti%
	0.0058	0.011	0.0127	0.0448	0.05

Table 2. Seam Welding Conditions for SPC Zn-Ni(t1.6)

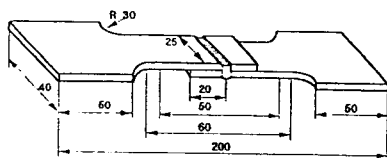
NO.	Seam welding conditions						Electrode thickness (mm)	
	welding current (kA)	Welding speed (M/min)	Welding force (kg)	weld time(Hz)				
				weld	hold	cool		
1		0.68					7	
2	16.5-17.4	0.83						
3		1.0		4	10	2		
4	18.5-18.9	0.83	450					
5	20.7-21.2							
6	18.5-18.9			4	10	4		
7	"			4	5	4		
8	18.3-18.6			2	5	2		
9	19.0-19.3	6	10	6				

X선 시험편을 준비하고, wire cutting M/C를 사용하여 KS B 0851 제5호 인장시험편을 제작하였다.[4](Fig.1) 그리고 용접선 및 용접선과 직각방향으로 약 10mm 정도를 절단하여 mounting한 후 sand paper와 polishing기를 사용하여 정밀하게 연마하였다. 또한 SEM 사진을 위해 인장전단 파단부를 관찰이 편하도록 10\*8mm로 가공하여 다음과 같이 실험을 하였다..

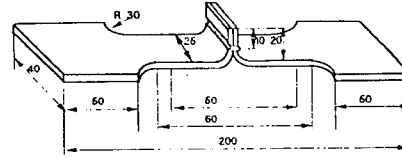
1) 각 조건별로 seam 용접한 것에 대해 표면의 압입상태와 이면돌출상태, 용접 pitch 등을 dial gauge와 확대경, 깊이 게이지 등으로 측정하였고, 결함검사를 위해 X선시험을 하였다.

2) 준비된 조직시험편을 3% Nital 용액(3-5% HNO<sub>3</sub> + 97-95% C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)으로 2분간 etching한 후[5] 광학현미경으로 weld metal, HAZ, parents의 조직상태를 촬영하였으며[6], 인장전단시험으로 파단된 부분을 주사전자현미경을 사용하여 관찰하였다.

3) 각 조건별로 lap and flange seam 용접하여 만들어진 인장전단시험편을 만능재료시험기(Instone 사)를 이용하여 speed 2mm/min으로 인장시험한 후 인장전단강도, 연신율, 파괴 energy, 단면내의 용접결함 유무 등을 측정하였다.



(a) Tensile specimen of lap seam welding



(b) Tensile specimen of flange seam welding

Fig. 1 Configuration and dimension of tensile specimen

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1 용접조건에 따른 압입 및 이면 돌출상태 관찰

전류 16.5-17.4kA에서 용접속도에 따라 0.39 - 0.55mm, 20.7- 21.2 kA에서는 1.07mm 정도의 이면돌출이 생기는 등 전류가 증가함에 따라 이면 돌출량도 증가하였으며, t1.6mm에서는 20.7kA 이상에서, t1.0mm에서는 18.5kA 이상에서 과용되어 비산현상이 많았으며, 오염도가 높았다. 동일 전류에서도 용접속도가 크면 압입이 얇아지며 이면 돌출량도 적었다.

#### 3.2 X선 시험에 의한 결함검사 결과

기공은 전류나 용접속도가 증가함에 따라 그 수가 많아지고, 크기도 대체로 커졌으며, TS S와 파괴 energy는 낮아졌다. 통전시간에서는 두께 1.0mm의 판에 대해 동일 조건에서 weld 2 : hold 5 : cool 2의 비일 때 양호한 용접부를 얻었으며, 두께 1.6mm의 판에 대해서는 전류 18.5-18.9kA, 용접속도 0.83M/min 상태에서 weld 4 : hold 10 : cool 4의 비일 때 결함이 없고 TSS, 연신율, 파괴 energy가 가장 높았다.

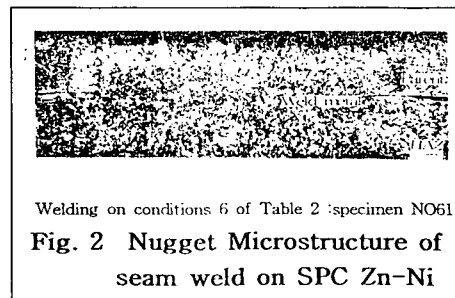
아연도금강판에 은분도포 유무에 따른 결함의 정도에는 큰 차이가 없었으나, 은분을 칠한 것은 용접 중에 비산이 많이 일어나고 파면의 결정립자는 상당히 거친 조직이 나타났다.

### 3.3 용접부의 조직관찰

#### 3.3.1 nugget부의 조직관찰

1) Fig.2는 Table 2의 조건 1로 용접한 것으로, nugget, 용융부, 모재와 용융부의 경계부(HAZ and fusion zone)이며, 용융 즉시 냉각수에 의해 급냉되므로 HAZ는 구분하기 어려우나 결정립이 조대화되고, 모재와 용융부의 경계가 일부 나타나고 있다.[7]

2) Fig. 3(a)의 중심으로 나타난 검은 점은 약



0.4-0.5mm의 기공이며, (b)의 좌측상단에서 우측하단으로 길게 나타난 검은 선은 2mm 정도의 균열이며, 인장시험 결과 TSS나 파괴 energy도 낮았다.

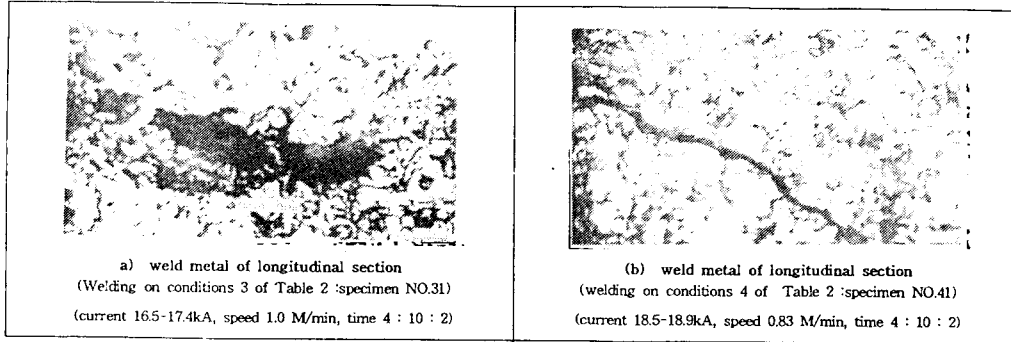


Fig. 3 Microstructure of seam weld on SPC Zn-Ni

### 3.3.2 인장파단부의 미시조직 관찰

Fig. 4는 18.5-18.9kA, 0.83M /min, 4:10:4으로 TSS 시험한 부위의 파단부로서 공작날개 모양을 이루는 부분이 연성인장파면의 최초 파단점으로 생각된다. (c)는 통전시간 부족으로 용융온도가 낮아 불완전 용착으로 조약돌 모양의 응고 흔적이 나타났다.

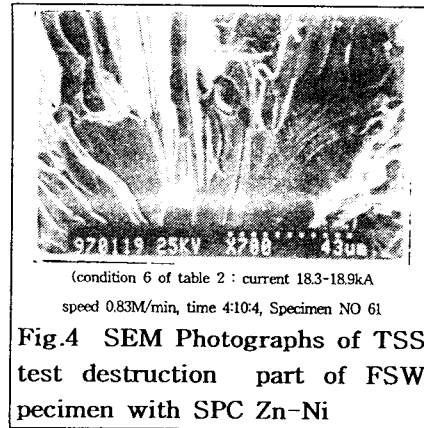


Fig.4 SEM Photographs of TSS test destruction part of FSW specimen with SPC Zn-Ni

### 3.4 인장전단강도

#### 3.4.1 용접 조건별 인장전단강도 관찰

1) Fig. 5(a)는 t1.0 아연도금강판을 flange seam 용접한 것의 각 조건별 TSS와 파괴 energy의 비교를 나타낸 것이다.

2) Fig. 5(b)는 LSW에 대한 TSS, 파괴 energy, 연신율의 비교이며, 전류 18.9-19.2kA, speed 0.83M/min, time 4:10:4일 때 TSS 및 연신율, 파괴 energy가 가장 높았으며, 전반적으로 강도가 크고 연신율이 크면 파괴 energy도 커지는 경향을 나타냈다.

#### 3.4.2 은분 도포의 유·무에 따른 용접성 비교

아연도금강판 t1.6에 대해 은분 도포에 따른 TSS와 파괴 energy의 비교에서는 Fig.5(b)와 같이 은분을 칠한 쪽이 대체로 높았으며, 적정 전류(입계전류) 이상이나 이하에서는 TSS나 파괴 energy가 낮아지는 것으로 나타났다. 특히 전류가 높거나( 20.7-21.2kA), 통전시간이 짧은 경우( weld time 2:5:2), 또는 긴 경우(weld time 6:10:6) TSS의 차이가 심하였다.

#### 3.4.3 용접전류에 대한 인장전단강도와 파괴 energy

전류와 강도 관계에는 다른 조건에 따라서 적정 전류치도 달라지게 되며, 전류가 너무 높은 경우(t1.6 : 21.2kA) 용접부가 비산하고 오염(pick up)이 심하였으며, TSS와 파괴 energy도 감소하는 경향을 나타냈다.(Fig.5 (c))

#### 3.4.4 용접속도에 대한 인장전단강도와 파괴 energy

용접속도가 느리면 용입이 증가하고, 용접속도가 증가하면 용입이 적어지게 되므로 용접속도의 조정이 필요하다.

t1.6 lap-flange seam 용접에서 용접속도와 TSS, 파괴 energy의 비교에서는 표2의 1조건에서 TSS나 파괴 energy가 높았다.

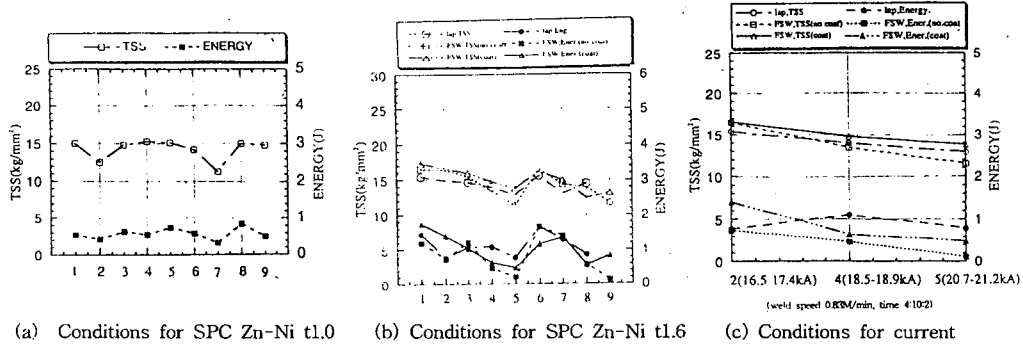


Fig. 5 TSS and breaking energy curve of Lap-FSW conditions for SPC Zn-Ni(t1.0, t1.6)

### 3.4.5 통전시간과 인장전단강도

t1.6의 seam 용접에 대한 관찰에서는 표2의 6조건으로 용접한 것이 TSS는 16.8kg/mm<sup>2</sup>, 파괴 energy는 1.876(J)로 높았고, t1.0의 flange seam 용접의 경우는 17.2-17.6kA, 1.0M/min, 통전시간 weld 4 : hold 10 : cool 6)로 용접한 것이 TSS는 15.0kg/mm<sup>2</sup>, 파괴 energy는 0.8544(J)로 높았다.

## 4. 결론

- 1) 압입 및 이면돌출은 용접전류의 증가나 통전시간이 길면 돌출량이 많았으며, 용접속도가 크면 용입이 많아지며 이면돌출량도 적었다.
- 2) X선시험에서는 전류나 용접속도의 증가에 따라 기공의 수가 많아지고 커졌으며, 은분도포의 유·무에 따른 큰 차이는 없었으나, 비산이 심하고 결정립이 조대하였다
- 3) 인장전단강도는 적정 전류 범위까지는 전류의 증가에 따라 TSS도 증가하게 되며, 아연도금강판에 은분을 도포한 쪽이 대체로 TSS는 높았다.
- 4) 용접속도는 용접전류나 통전시간이 적당한 범위에서 다른 조건이 일정할 때 용접속도가 느리면 용입이 증가하고, 용접속도가 증가하면 용입이 적어졌다.
- 5) 용접시간에 대한 관찰에서는 다른 조건이 일정할 때 용접시간이 길어지면 TSS도 증가하나, 너무 길게되면 오히려 과용에 의한 강도저하를 가져왔다.
- 6) t1.0의 경우는 전류 17.2-17.6kA, 속도 1.0M/min, 시간 4:10:6으로 용접한 경우가 TSS나 파괴 energy가 높았으며, t1.6의 경우는 표2의 6조건(전류 18.5-18.9kA, 속도 0.83M/min, 시간 4:10:4)이 TSS나 파괴 energy가 높았으며, 누설불량도 적어 최적의 용접조건이라고 판단됐다.

## 참고 문헌

- [1] 엄기원, 이론실기 용접공학, 원화, 1987, p253-265
- [2] 오용택, spot용접에 있어 파괴력학적 연구, 연세대, 1984, p10-57
- [3] 김명준, 저항용접, 기문사, 1987, p22-282
- [4] 금속재료시험, 중소기업연수원(기술연수-재료), 1993, p3-75
- [5] 황남성, 아연도금 강판의 spot용접 파괴거동에 관한 연구, 1989, p1-46
- [6] 최청호, Spot용접 인장-전단강도와 균열진전 억제에 관한 연구, 연세대학교, 1995, p1-43
- [7] 박성두, 용접야금학, 대광서림, 1990, p237-282