

研究論文
------

## 용접 조건이 소형 용기용 Sn도금 강재의 와이어 심 용접성에 미치는 영향

김기철\* · 이기호\*\* · 이목영\*

### Effect of Welding Parameters on Wire Seam Weldability of Tin Coated Steels for Small Containers

K. C. Kim\*, K. H. Lee\*\* and M. Y. Lee\*

**Key words** : resistance welding, wire seam welding, tin coated steel, optimum welding range, welding of steel can

#### Abstract

Effect of welding parameters such as current, speed and electrode pressure on the weld quality of tin coated steels for small containers was discussed in this paper. Welding was performed with low frequency wire seam welding system which was loaded with 1.5 mm in diameter copper wire electrode. The welding parameters were monitored at the position close to the welding spot so as to minimize the instrumentation error, and the signals were stored into a digital data acquisition system before analysis. Results showed that critical current for sufficient nugget size increased as the base material thickness increased, while the width of the optimum welding range was reduced. The acceptable welding condition derived from this study was found to be effective within the thickness range of  $\pm 10\%$  of the nominal (0.25mm) thickness. Tin coating layer was proved not to affect seriously on the weld quality, i. e. strength and formability, since consumable wire electrode was used in this process. Test results also demonstrated that the welding current was thought to be the most effective parameter to form an acceptable weld, while welding speed or electrode pressure exerted less effect on the nugget formation. However, these two parameters played an important role because the former was related to the nugget overlap interval, and the latter, to the formation of expulsion during welding.

\* 1997년 4월 8일 접수

\* 정희원, 포항산업과학연구원 접합가공연구팀

\*\* 정희원, 전 포항산업과학연구원 접합가공연구팀

### 1. 서 론

생활 수준의 향상에 부응하여 각종 식음료 용기 및 생활 용기 등 공업용기의 수요가 꾸준히 증가하고 있다. 이러한 용기 중에서 식음료용으로 쓰이는 소형 용기(이하 can)는 구성 상태에 따라 2-piece 및 3-piece로 구분하는데, 3-piece 형은 제조공정에서 저항용접의 일종인 와이어 심 용접과정을 거치게 된다. 또, 용접 후에는 상하 뚜껑을 체결하기 위하여 몸통 양단부를 확관하는 과정과 몸통 부위의 강도를 증가시키기 위하여 중간 부분에 요철 모양(이하 beading)을 만드는 공정을 거치게 된다. 이 과정에서 용접이 충분히 이루어지지 않은 경우에는 용접부위가 파단되어 제조 공정의 불량 요인으로 작용하게 된다. 따라서, can의 제조에서 확관 또는 beading 과정 중 용접부의 터짐 여부는 용접부 건전도를 판정하는 중요한 기준이되고 있지만, 용접 현상의 해석과 용접부의 특성을 기초로하는 용접성 평가 연구 결과는 와이어 심 용접 기술의 특수성 때문에 충분하지 않은 것이 현실이다. Sodeik 등<sup>1)</sup>은 소형 can제조에 있어서 소재의 특성이 용접성에 미치는 영향을 발표하였는데, 그 연구에서는 도금 재료와 도금량이 용접시 접촉저항에 미치는 영향을 다루고 있다. 또, Ichikawa<sup>2)</sup>도 용접시의 저항이 용접성에 미치는 영향을 조사하고 있어 박판 재료의 심 용접에서 전기적 특성에 무게를 두고 있다. 한편, Williams<sup>3)</sup>는 용접 공정변수가 용접성에 어떠한 영향을 주는지에 관하여 연구를 수행하면서 주로 생산성에 비중을 두었다. 그러나, 지금까지의 연구에서는 용접 후 용접부가

가져야 할 임계 강도에 관한 논의는 깊이있게 다루어지지 못하였고, 용접 공정의 계측에 있어서도 종래의 정적인 수준을 넘지 못하였던 것이 사실이다. 본 연구는 이러한 점을 감안하여 국내에서 생산, 판매되는 Sn도금 강재를 대상으로 와이어 심 용접성을 조사 함에 있어서 보다 충실도가 높은 계측 장비의 활용으로 용접 조건들을 정밀 계측하였고, 그 결과를 바탕으로 하여 최적의 용접조건을 도출하는 과정에서 용접부 특성에 미치는 요인들의 영향과 임계 강도의 설정에 관한 실험을 실시한 것이다.

### 2. 실험방법

#### 2.1 시험재

와이어 심 용접 실험에 사용된 강재는 극저탄소 강과 저탄소강 소재들이며, 표 1, 2 및 3에 나타낸 바와같이 pail can용의 비교적 두꺼운 (0.35mm) 강재와 소형 음료용 can 제조에 쓰이는 박판 (0.25 및 0.21mm) 강재들 이었다. 또, 표 3에서는 도금 부착량을 표면/이면 순으로 제시하고 있다.

#### 2.2 용접실험

강종에 따른 와이어 심 용접성을 평가하기 위한 용접조건은 표 4에 제시한 바와 같다. 용접 실험은 용접전류, 가압력 및 용접속도를 변화시키며 행하였고, 각각의 강종에 대하여 폭 150mm 및 길이 400mm로 절단한 후 겹침량 3mm의 조건에서

Table 1. Chemical compositions of base metals

Steel	C	Si	Mn	P	S	Ti	Nb	B
A	0.004	<0.005	0.156	0.014	0.007	0.050	0.003	0.001
B	0.006	<0.005	0.156	0.014	0.007	0.050	0.003	0.001
C	0.035	<0.005	0.229	0.014	0.010	-	-	-
D	0.044	<0.005	0.191	0.013	0.008	-	-	-
E	0.061	<0.005	0.301	0.011	0.008	-	-	-
F	0.031	<0.005	0.237	0.010	0.008	-	-	-

**Table 2.** Mechanical properties of base metals

Steel	Thickness (mm)	T. S. (MPa)	E. L (%)	Load (kN)
A	0.35	328	31.6	4.59
B	0.35	356	26.0	4.75
C	0.25	403	25.6	2.80
D	0.25	439	24.6	3.00
E	0.21	418	17.0	2.25
F	0.21	443	21.4	2.20

**Table 3.** Tin coating conditions

Steel	Coating weight (g/m <sup>2</sup> )
A	1.1/1.1
B	2.8/5.6
C	2.8/5.6
D	28/2.8
E	28/2.8
F	2.8/11.2

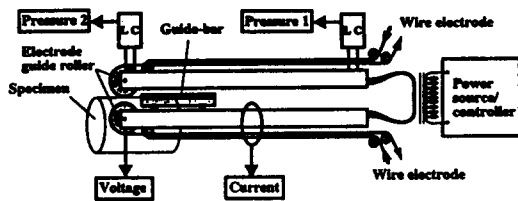
**Table 4.** Wire seam welding conditions

Welding current (kA)	0.5-4.0
Pressure (N)	127-294
Welding speed (m/min)	7-16
Wire diameter (mm)	1.5

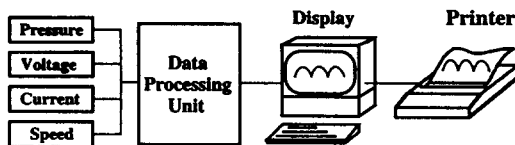
용접을 실시 하였다. 전극으로 사용된 와이어는 생산 공정에서 박판용으로 가장 많이 쓰이는 직경 1.5mm의 동선을 사용하였는데, 그 이유는 용접전 와이어의 성형성, 용접시 고온에서의 강도 및 소모성이므로 문제시되는 수급의 용이성과 가격이 중요한 요소이기 때문이다. 그림 1 과 2는 본 실험에 사용된 와이어 심 용접기에서 계측장치와 신호의 계통도를 나타낸 것이며, 용접 공정변수를 계측하기 위하여는 고속 A/D 변환기가 내장된 monitoring system을 제작하였다. 이 계측기를 사용하여 용접시의 가압력, 용접 속도, 용접 전압 및 용접 전류를 측정 및 해석하였는데, 계측된 용접 전압과 전류를 기초로하여 용접 과정의 평균 저항값도 산출하였다.

### 2.3 용접부 강도평가

Can의 용접부는 저장 및 운송과정에서 내용물에 의한 압력이 작용하며 제조 공정의 확관 과정에서 용접부에 전단인장 하중이 작용한다<sup>4)</sup>. 따라서, 용접부 전단인장 강도를 평가하기 위하여 전단인장 시험을 행하였으며, 강제별 용접 변수에 따른 용접부 강도를 비교 평가하였다. 한편, 확관 공정의 하중에 대한 저항 강도를 평가하기 위하여는, 기존의 Erichsen 시험법을 개선하여 성형 과정에서 성형량과 함께 그 때의 성형 하중을 직접 계측할 수 있도록 고안한 장치를 이용하였다. 표 2에는 이 방법으로 계측된 기계적 특성 결과의 하나인 성형 시험 최대 하중이 함께 제시되어 있다. 또, 적정 용접조건의 범위는 앞에서 언급한 전단인장 강도, 용접부 변형특성과 표면 품질 등을 고려하여 설정하였다.



**Fig 1.** Schematic diagram of wire seam welding system showing the position of welding parameter monitoring sensors.



**Fig 2.** Block diagram of welding process monitoring system.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 적정 용접조건 설정의 표준화

##### 3.1.1 용접부 변형시험

용접에서 주어진 재료의 적정 용접조건을 설정할 경우에는 용접부의 기계적 특성 및 금속학적 특성 등이 소정의 기준을 만족하는 조건을 선택하여야 하나, 소형 용기의 용접성과 관련하여 용접부에서 요구되는 특성을 규정한 규격은 지금까지 조사된바 없다. 그러나, 비슷한 규격<sup>5)</sup>에서는 심 용접부의 누수 및 단면시험에 관한 기본적인 내용과 용접부의 결합 크기 설정에 관한 내용이 포함되어 있다. 본 연구에서는 Erichsen 시험 방법을 일부 변형시킨 용접부 변형량 시험기를 사용하여 용접부 상태를 정량적으로 평가하는 시도<sup>6)</sup>를 하였는데, 실험 결과 그림 3에서 보인바와 같이 파단 형태를 a, b, c 및 d형으로 분류할 수 있었다. 여기서 a형 파단은 용접부가 완전히 형성되지 못하여 외력이 가해질 때 접합 계면에서 파단이 이루어진 것이다. b형은 HAZ에서 균열이 발생된 경우이며, c형은 HAZ 균열을 포함하여, 용접선에 대하여 직각방향으로 균열이 복합적으로 생긴 경우이다. 이에 대하여 d형은 HAZ 균열이 없으면서 용접선에 대

하여 직각 방향 균열만 있는 경우이다. 한편, 용접부와는 관계없이 모재 부분에서 균열이 발생하거나 전혀 균열이 발생하지 않은 경우가 있었으며 이러한 형태는 그림에서 제시되지는 않았지만 e형에 해당한다. 한편, 이음효율은 아래의 식과 같이 용접부 균열 발생 시점의 강도와 모재 파단강도와의 비로 정의하여 용접부 성능을 평가 하였다.

$$\text{이음효율}(\%) = \frac{\text{용접 시험편의 최대 성형파단강도}}{\text{모재 시험편의 최대 성형파단강도}} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

그림 4는 A강재의 이음효율과 파단 형태와의 상관성을 나타낸 것으로 용접부의 이음효율과 파단 형태는 서로 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 용접 계면에서 파단이 이루어진 a형의 경우는 전량 58% 이하(평균값 45%)의 이음효율을 보이고 있는데 반하여 HAZ 파단(b, c형)이나 용접선 직각 방향 균열 및 모재파단의 d형에서는 높은 이음효율을 나타내고 있다. d와 e형에서는 100% 이상의 이음효율도 존재하는데 이것은 용접부 상태가 건전할 경우 용접부의 단면적이 모재부의 값보다 크기 때문에 파단 강도도 모재에 비하여 높았다는 것을 의미한다. 한편, 적정한 용접의 기준은 can의 제작 공정 또는 용도에 따라 달라질 수도 있으나 적어도 a형과 같은 파단 형태는 벗어나야 한다. 즉, 외력이 작용하여도 용접부 계면에서 파단이 일어나는 일은 없어야 can으로서의 기본 조건을

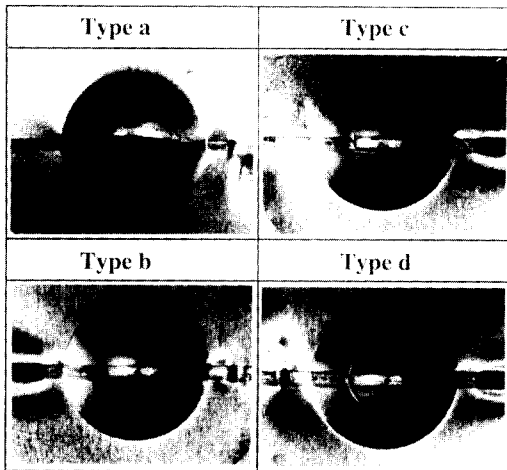


Fig 3. Classification of fracture types based on fracture appearance after modified Erichsen test

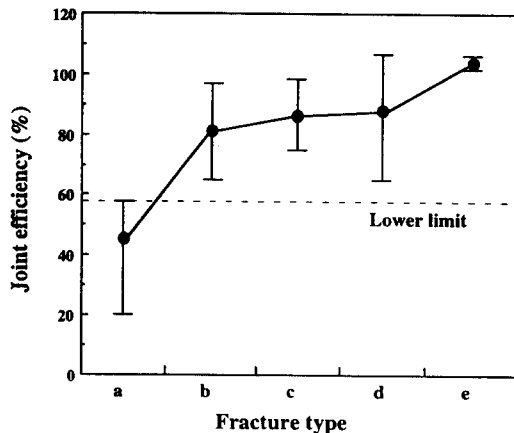


Fig 4. Correlation between fracture type and joint efficiency in the modified Erichsen test (Steel A).

만족할 수 있게 된다. 그런데, 강종에 따라서는 b나 c의 형태로 파단이 일어나더라도 이음효율이 a형 파단일 때보다 작은 경우도 있었다. 또, 이음효율은 높으면서도 파단 형태는 a형을 나타내는 경우가 있었으므로 용접부의 안전성을 고려하여 이러한 것들은 모두 적정 용접조건에서 제외하였다. 그럼에서 점선으로 표시된 경계선은 용접부 파단을 일으킨 시험편의 최대강도에 해당하는 것으로 본 실험에서는 이 경계선을 용접부 건전도 평가의 척도로 제안하고자 하였다. 이러한 이유에서 와이어 심 용접부의 강도 관리기준으로는 용접부 성형 시험 결과 파단 형태가 a형이 아니어야 하며 또, 그 이음효율의 최대값 이상으로 설정하였다. 본 실험에 사용된 강재들의 경우는 이상과 같은 판정 기준에 의거 이음효율 58%가 되는 지점을 경계선으로 설정하여 허용 최소 기준으로 처리할 수가 있었다.

### 3.1.2 용접부의 강도

용접부 변형시험에 의한 파단 강도값이 높으면 용접부 강도도 높다고 할 수 있으나 정상적인 관계는 실험을 통하여 얻을 수 밖에 없다. 따라서, 본 연구에서는 실험 강재의 적정 용접조건 범위를 도출하기 위하여 전술한 바와같은 이음효율에 의한 방법과 용접부의 전단인장 강도<sup>7)</sup>를 기준으로 하는 방법을 동시에 검토하여 두 조건을 모두 만족시키는 용접조건 범위를 적정 용접조건으로 설정하고자 하였다. Can의 요구특성 중에는 내부에 압력이 걸릴 경우 압력 정도에 따라 요구되는 원주 방향의 응력(hoop stress :  $\sigma_n$ ) 기준이 다르다. 재료역학 측면에서 볼 때 원통형 can의 원주방향 응력은 축방향 응력의 2배가 걸리므로 파단응력을 좌우하는 주응력이 되며 다음과 같이 표현된다.

$$\sigma_n = P \cdot r / t \dots\dots\dots (2)$$

여기서, P = can에 걸리는 압력  
r = can의 반경  
t = can소재의 두께

BS 규격<sup>8)</sup>에서는 소형 can의 내압시험에 요구되는 최소 압력치 (P)를 규정하고 있는데, 이것을 본 실험의 경우 (두께 0.25mm 및 0.21mm의 소재)에 대입하면 다음과 같은 최소 응력값이 도출된다.

$$\sigma_{0.25} = 331 \text{ MPa} \dots\dots\dots (3)$$

$$\sigma_{0.21} = 391 \text{ MPa} \dots\dots\dots (4)$$

한편, 두께 0.35mm의 강재는 주로 pail can 제조용이므로 내압이 걸리지는 않으나 can 제작 공정에서 발생하는 변형량( $\Delta l = 3.6\%$ )을 기준으로하여 식(2)에 따라서 원주방향의 응력을 계산하면 다음 식(5)와 같다.

$$\sigma_{0.35} = 265 \text{ MPa} \dots\dots\dots (5)$$

이러한 기준치는 모재의 기계적 성질을 기초로 설정된 값이므로 실제의 용접부에 부과되는 하중과 반드시 일치하지 않을 수 있다. 또, 와이어 심 용접부에서는 용접조건에 따라 너트의 중첩량(간격)이 달라지며 이로 인하여 용접부의 단면적도 변화할 수 있으므로 응력 개념의 강도를 그대로 사용하기 어려운 경우가 예측된다. 그러나, 본 실험에서는 인장 시험편의 단면적을 그대로 적용하였는데, 그러한 이유는 실험에서 얻어진 측정값들을 검토하여 본 결과 BS 규격이 정하고 있는 내압으로부터 환산된 용접부의 기준 강도와 용접부 이음효율 (58%)을 근거로 제시하고자 하는 적정 용접범위의 하한기준이 일치하고 있어서 적어도 본 실험과 같은 조건의 시험재를 용접할 경우에는 충분히 신뢰성 있는 판단 기준으로 사료되었기 때문이다.

## 3.2 용접 공정변수의 영향

### 3.2.1 용접전류 및 가압력

통상의 와이어 심 용접법에서 입열 에너지를 조절하는 방법은 주변압기의 권선비를 변화시켜 방전 전압을 바꾸는 방법과 전류위상각을 제어하여 입열 에너지의 실효치를 조절하는 방법이 있다. 본 실험에서는 이상의 두 가지 제어 변수들을 최대 제어값의 50% 위치에 설정하여 실험 결과에 미치는 영향을 일정하게 하였다. 그림 5는 pail can 용으로 사용되는 시험재 A를 대상으로 하여 용접 전류변화에 따른 용접부 파단강도를 가압력별로 나타낸 것이다. 실험 결과를 보면 압력에 따라 차이는 있으나 대부분 2.3-2.8 kA 근처에서 급격한 강도의 상승을 보이고 있으며, 그 이후 최대점을 지

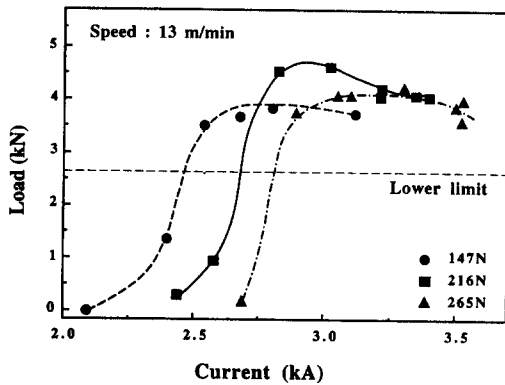


Fig 5. Effects of welding current and welding pressure on the fracture load in the modified Erichsen test

나면 전류 증가와 함께 파단강도가 저하하는 현상을 보이고 있다. 이러한 결과를 전술한 파단 형태에서 검토하였던 a형 파단 조건과 연계시키면 1차적인 적정 용접조건 선정이 가능하다. 즉, 강재 A의 한계 이음효율(그림에서 lower limit)은 58%로서 이를 강도로 환산하면 2.66kN에 해당한다. 이 값을 기준으로 각각의 실험 결과에 적용하면 가압력 147N의 경우는 2.45kA, 216N의 경우는 2.6kA, 그리고 265N의 경우는 2.8kA 이상의 전류가 요구됨을 알 수 있다. 각 곡선의 형태에서, 정점을 지나 파단강도가 저하하고 있는 것은 용접시 입열량 파도에 의하여 강재 표면 또는 강재와 강재 사이에서 스패터가 발생하면서 이 부분이 기하학적으로 또는 미세조직적으로 취약하게 되기 때문이다. 본 실험에서 스패터가 발생하는 조건에서 파단율이 저하하는 것을 시험편을 관찰하므로써 직접 확인할 수 있었다. 따라서, 적정 용접조건의 상한은 스패터가 발생하기 직전의 조건을 선정하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 한편, 용접 전류와 전단인장 강도 변화 및 가압력의 상관관계를 그림 6에 나타내었다. 전체적인 경향은 그림 5의 결과와 비슷하여, 일정한 전류구간에서 급격한 강도 증가 현상을 보인 후 완만한 변화를 보이므로써 용접부의 파단강도와 전단인장 강도는 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 그러나, 이 그림을 자세히 관찰해보면 스패터 발생이 예상되는 지점에서의 강도 저하가 거의 나타나지 않고 있다는 것이다. 이러한

스패터 발생조건은 기준 강도를 만족함에도 불구하고 용접부를 조사해 본 결과 강재 표면에서 압흔이 깊어지는 등 표면품질이 문제시 되고, 경우에 따라서는 과도한 입열 에너지가 원인이 되어 전극이 끊어져 공정의 연속성을 저하시키기 때문에 적정조건에 들지 못한다. 이와같은 실험 결과를 기초로하여 생각해 볼 때 적정 용접조건의 하한은 모재의 인장강도를 상회하는 용접부 강도가 확보되는 조건으로 하며, 상한은 스패터가 발생하기 시작하는 조건으로 처리하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 상기의 두 경우를 대상으로 적정 용접조건 범위의 예를 나타낸 것이 표 5이다. 표에서 볼 수 있듯이 기준 이음효율을 얻기 위한 하한 전류 및 상한 전류 모두 가압력이 증가할수록 우측으로 이동하고 있으며, 적정용접 범위도 넓어지고 있다. 가압력이 낮은 경우에는 강재 표면에서 접촉면적이 작아 전류의 흐름이 이곳으로 집중되므로 전류밀도는 높아지면서 쉽게 기준 너깃을 형성하게 된다. 그러나, 이 경우는 통전로 면적이 작기 때문에 전류가 다소 증가할 경우 전류밀도의 과도한 증가와 함께 입열 에너지가 충분히 강재 내부로 전달되지 못하고 부분적으로만 용융을 일으켜 쉽게 스패터를 발생하게 되면서 적정 용접 범위를 좁게 한다. 반면에 가압력이 증가된 경우에는 강재와의 접촉 면적이 넓어지면서 기준 너깃을 얻기 위하여는 상대적으로 고전류가 필요하게 된다. 적정 용접조건의 하한 및 상한범위 모두 전단인장 강도 기준에 의한 경우가 성형 파단 하중에 의한 경우보

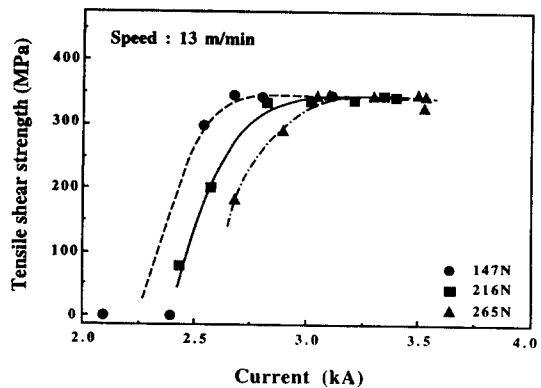


Fig 6. Effects of welding current and welding pressure on the tensile shear strength.

다 고전류측으로 이동하는 경향을 보이고 있어서 이러한 두 결과를 토대로 양쪽 모두를 만족하는 조건을 최적 용접조건 범위로 결정하였다. 적정조건은 전류가 낮으면서 허용범위는 넓은것이 바람직하나, 본 실험에서와 같이 기준전류는 낮으나 허용범위가 좁은 경우보다 기준전류는 높으나 허용범위가 넓은 경우 생산성과 품질의 안정성등을 고려하여 실제로는 적정용접 조건으로 추천된다.

Pressure (N)	Optimum welding range	Speed (m/min)
147	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 15px; background-color: black; margin-bottom: 5px;"></div> </div>	13
216	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 15px; background-color: black; margin-bottom: 5px;"></div> </div>	
265	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 15px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border: 1px solid black; width: 100px; height: 15px; background-color: black; margin-bottom: 5px;"></div> </div>	
Welding current (kA) <div style="display: flex; justify-content: space-between; width: 100%; margin-top: 5px;"> <span>2.4</span><span>2.6</span><span>2.8</span><span>3.0</span><span>3.2</span><span>3.4</span><span>3.6</span> </div>		

Based on the modified Erichsen test  
 Based on the tensile shear strength

Table 5. Effect of electrode pressure on optimum welding conditions

### 3. 2. 2 용접속도의 영향

그림 7은 용접속도에 따른 파단하중 변화를 보인 것이다. 기준 강도를 2.66kN으로 설정할 경우 10m/min에서 2.45kA, 13m/min에서 2.6kA, 그리고 16m/min에서는 2.85kA가 하한전류에 해당한다. 한편, 상한 전류는 곡선상에서 경향이 뚜렷하여 정점을 기준으로 쉽게 선정할 수 있다. 속도가 빠를수록 하한 전류는 상승하고 적정 범위는 좁아지는 경향을 보이고 있는데, 이것은 용접 입열량이 전류와 시간 및 저항의 함수관계에 있기 때문이다. 즉, 속도가 늦으면 전류는 낮추고 속도가 빠르면 전류도 높여야 단위 용접 길이당의 입열량을 일정하게 할 수 있다. 그러나, 빠른 용접속도를 요구할 경우에는 적정범위가 더욱 좁게되어 주의를 기울이지 않으면 안된다. 한편, 용접 속도는 너기의 중첩량<sup>3,10)</sup>과도 깊은 관계가 있는 것으로 와이어 심용접에서는 중요한 용접 품질의 평가 요소가 된

다. 특히, 기밀 및 수밀성이 요구되는 용기의 용접에서는 너기의 중첩 정도가 용기의 내압성에 크게 영향을 주기 때문에 상용 주파수를 사용하는 경우에는 용접 속도를 낮추는 방향으로 용접 조건을 설정하고 있으나, 생산성을 높이기 위하여 용접 속도를 증가시켜야 할 경우에는 인가 전력의 주파수를 수 100Hz까지 높이거나 직류 전력이 공급 되도록 하여야 한다.

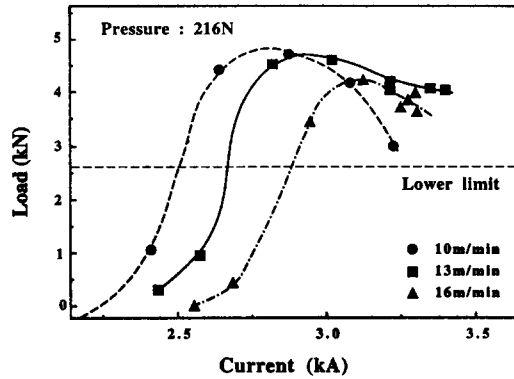


Fig 7. Effect of welding speed on the fracture load in the modified Erichsen test.

### 3. 2. 3 전극간 저항의 변화

각종 표면처리 제품을 대상으로 실험한 결과<sup>1,2,9)</sup>에 의하면 재료표면에서의 접촉저항이 높을수록 용접성은 저하하는 것으로 알려져 있다. 접촉저항이 높은 재료는 용접 전류를 높일경우 통전로에서의 국부적인 과대 발열에 의하여 스파터가 발생되기 때문이다. 그림 8은 전류변화에 따른 전극간 저항변화를 가압력별로 나타낸 것으로서 가압력의 영향이 분명히 나타나고 있다. 가압력이 낮은 147N의 경우에는 용접전류 증가에 따른 저항의 감소 기울기가 비교적 크나, 압력이 증가된 262N의 경우에는 350 $\mu\Omega$  정도의 값에서 거의 변화를 보이지 않고 있다. 이러한 결과는 표 5의 적정 용접범위 결과와 좋은 상관관계를 가진다. 압력이 낮을 경우에는 강재의 표면상태가 큰 영향 요소로 작용하여 전류가 약간 상승하여도 국부적으로 발열량이 증가하면서 스파터를 형성하여 적정범위를 좁게 한다. 반면에 압력이 증가할수록 표면상태의 영향은 상대적으로 줄어들어 전류증가에 따른 접

촉저항의 변화가 거의 없는 일정한 값을 형성하게 된다. 이러한 결과 스파터 발생 전류치는 높아져서 적정 용접범위를 넓히는 것으로 사료 된다. 접촉 저항을 지배하는 요인으로는 재료표면의 거칠기와 산화물 같은 전도도가 낮은 물질의 존재가 거론되고 있다<sup>9)</sup>. 그러나, 와이어 심 용접은 공정 특성상 가압력이 재료에 매우 국부적으로 작용하기 때문에 도금층을 비롯한 표면의 오염물질이 용접 초기에 대부분 제거되어 실제로는 용접 공정상 큰 문제가 없다는 주장<sup>11)</sup>도 제기되고 있다.

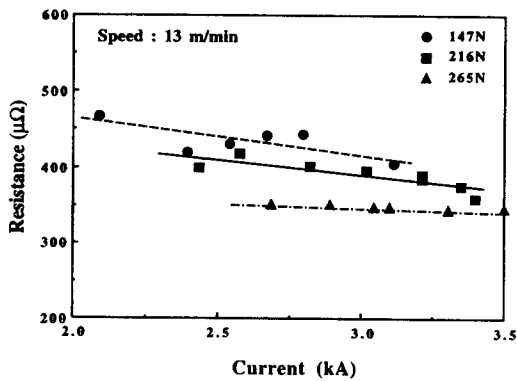


Fig 8. Relationship of welding current, total resistance and welding pressure.

### 3.3 소재의 영향

#### 3.3.1 소재의 두께

음료용 can은 사용 용도에 따라 다양한 두께의 소재가 사용되고 있는데, 저항용접에서는 두께가 변할 경우 발열 및 열전달 특성이 달라지면서 강재 사이에 형성되는 너깃 크기가 달라진다. 따라서, 각 두께별로 소정의 강도를 얻기 위하여는 매 번 용접 공정변수를 조정하여야 하는 번거로움이 있다. 본 연구에서 사용된 소재는 전술한 바와같이 3종류 (0.21, 0.25, 0.35 mm)의 두께 변화가 있으나 각 시험재는 도금상태가 모두 다르다. 따라서, 도금상태가 비슷한 시험재 B, C 및 F를 하나의 그룹으로 하여 비교 검토 하였다. 그림 9는 두께변화에 따른 용접범위를 나타낸 것으로 이 때의 실험조건은 용접 속도 13m/min와 가압력 216N이었다. 전

체적으로 두께가 증가할수록 하한 및 상한 전류치는 증가하고 있는데 그 폭(적정범위)은 좁아지고 있으며, 이러한 특징은 또다른 그룹인 소재 D 및 E의 경우에서도 관찰되었다. 이것은 두께가 증가될 경우에 어느 임계 두께에서는 상, 하한 차이가 거의 없으므로 균질한 용접품질을 얻기 어렵다는 보고와도 일치 되고 있다. Willams<sup>10)</sup>는 이러한 경계 두께를 0.25mm로 보고 하였으나, 본 실험의 결과를 기초로하여 보면 그 값이 두께 0.35mm 이상의 영역에 존재할 것으로 판단되었다. 한편, 그림에서 알 수 있는 또 하나의 사실은 적정 용접범위(상, 하한의 폭)이며, 두께 0.25mm(시험재 C)의 경우 2.4 - 2.9 kA 범위를 나타내고 있는데 이 정도의 범위는 0.21mm(시험재 F)의 적정범위에 해당하기도 한다. 이것은 용접 조건 설정시 0.25mm의 소재 두께에 맞게 조정된 조건들을 0.21mm의 소재에도 용접 조건의 변경 없이 그대로 사용할 수 있기 때문에 생산성을 향상시킬 수 있다는 의미를 내포하고 있다. 실험 결과를 통하여 주어진 두께의 모재에 대한 적정 용접조건은 그 두께의 약 ±10% 범위 내인 모재를 용접하는데 유효하게 적용될 수 있는 것으로 판단되며, 이러한 결과는 선행 연구에서 주장하는 범위<sup>10)</sup>와도 잘 맞는 것이다.

#### 3.3.2 도금량의 영향

와이어 심 용접성에 미치는 소재 측면의 요소로는 앞서 검토한 두께의 영향을 비롯하여 모재의 탄소 함량 및 Sn 도금량의 영향 등이 거론<sup>11)</sup>되고 있

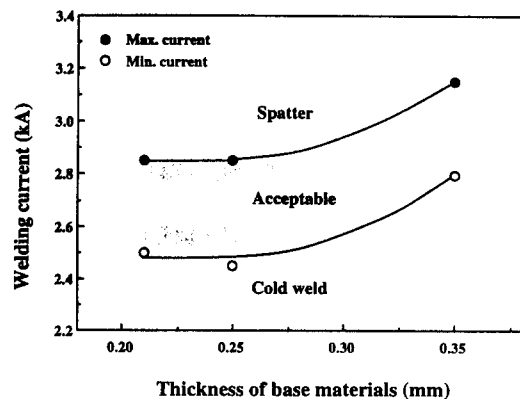


Fig 9. Effect of base metal thickness on process parameter window for sound welds.



다. 소재 탄소함량의 경우 0.06-0.1% 정도에서는 용접부 경도특성이나 표면 스패터 발생 특성등의 영향이 보고되고 있으나, 본 실험에서는 대부분의 소재가 0.06% 이하의 저탄소강 또는 극저탄소강이므로 소재 탄소함량 변화에 따른 영향정도는 거의 없을 것으로 사료된다. 따라서, 여기서는 Sn 도금량의 영향만을 다루기로 한다. 저항용접에서 도금강재의 용접성, 특히 연속용접성은 문제가 있는 것<sup>12, 14)</sup>으로 알려져 있으나 와이어 심 용접의 경우는 소모 전극을 사용하기 때문에 전극은 문제의 대상이 되지 않는다. 그림 10은 동일두께를 갖는 강종을 대상으로 Sn량을 변화시켰을 때의 용접특성 변화를 보인 것이다. 먼저, 두께 0.21mm의 경우를 보면 도금량이 증가함에 따라 급격한 전류증가 현상을 보이고 있다. 이에 반하여 두께가 증가된 0.25 및 0.35mm에서는 적정 전류범위가 고전류측으로 이동해 있으나, 전류증가 기울기가 둔화되고 있다. 이는 두께가 증가할수록 도금량의 영향이 상대적으로 저하하며, 두께가 얇을수록 그 영향은 커지는 것으로 해석할 수 있다. 기존의 연구 결과<sup>10)</sup>에 의하면 도금량 0.55g/m<sup>2</sup> 이상에서는 적정 용접전류 범위의 변화가 거의 없는 것으로 보고되기도 하고, 또 다른 연구자<sup>2)</sup>는 0.5g/m<sup>2</sup>에서 약 0.4kA의 적정 용접범위를 그리고 2.8g/m<sup>2</sup>에서 0.9kA의 용접범위를 보이는 것으로 발표하고 있기 때문에 이 부분에 대하여는 좀 더 범용성 있는 실험이 이루어져야 할 것으로 사료된다. 한편, 도금량이 많은 경우에는 HAZ 또는 용착금속에서의 입계균열이 발생하는

것이 보고<sup>3)</sup>되고 있는데 본 실험에서도 스패터 발생 이상의 조건에서 이러한 현상이 관찰되고 있었다. Sn도금량은 can 제조사의 방침이나 내용물의 용도 및 사용 환경등에 따라 다른데, 통상 잠관이나 aerosol등의 can용으로는 2.8/2.8 g/m<sup>2</sup> 이하가, 식음료관에는 그 이상의 도금량이 사용되며 주우스용은 2.8/11.2g/m<sup>2</sup> 까지도 적용되는 경향이다. 이러한 제조 라인의 현황은 모두 본 실험에서 사용된 강재의 범위에 해당하며, 적정 용접조건을 주의깊게 설정하면 와이어 심 용접성을 확보하는 것은 큰 문제가 없을 것으로 사료된다. 그러한 사실은 전술한 바와 같이 이 용접 기술이 소모성 전극을 사용하므로 전극과 Sn 도금층과의 합금화 현상에 의한 용접성의 저하가 그다지 심각하지 않기 때문이다.

#### 4. 결 론

소형 저장 용기용으로 매우 중요한 박판 소재인 Sn도금 강재들의 용접 조건에 따른 와이어 심 용접성을 실험한 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 강종 및 두께에 따라 차이는 있으나, 용접 속도 13m/min, 가압력 216N의 조건에서 1.5mm의 직경을 가지는 구리 전극을 사용하였을 때, 2.8 kA-3.0 kA의 용접 전류 범위에서 건전한 용접부가 얻어 졌다. 그러나, 소재의 두께가 증가 할수록 기준이 되는 용접부를 얻기 위한 용접전류는 증가하며, 그 범위도 좁아지는 경향을 나타내었다.
- (2) 본 연구의 실험 범위에서는 하나의 강재에서 얻은 적정 용접 조건을 공칭 두께  $\pm 10\%$ 의 범위 내에 있는 다른 강재에 대하여 수정 없이 사용 가능함을 알 수 있었다.
- (3) 도금량이 증가할수록 적정 용접범위는 고전류 측으로 이동하는 경향을 보이고 있었으나, 도금 부착 량이 많은 강재의 경우에도 용접성이 크게 저하하지는 않았는데 그러한 이유는 무엇보다도 이 용접 방법이 소모식 전극을 사용하기 때문으로 판단 되었다.
- (4) 각각의 용접 변수들이 적정 용접조건에 영향을 주는 정도는 저항 발열의 기본 원리로 부

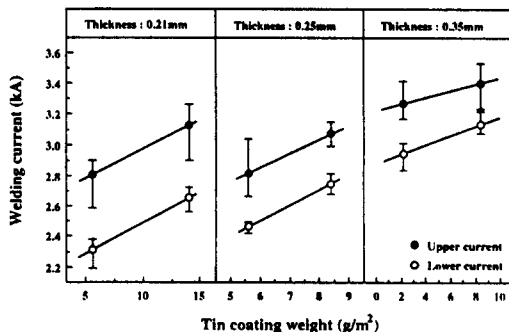


Fig 10. Effects of tin coating weight and base metal thickness on the optimum welding current range

터도 알 수 있는 바와 같이 용접 전류의 효과가 가장 컸던 반면, 가압력의 경우는 용접 할 소재와 소재의 계면 접촉 특성의 차이가 전류 밀도를 변화시키는 정도였다. 그 결과 적정 용접조건인 범위에는 다소의 영향을 미치지 만 스파터 발생 특성에는 비교적 크게 기여하고 있었다.

- (5) 적정 범위 내에서 용접 속도가 용접성에 미치는 영향은 경미 하였으나, 속도를 지나치게 고속으로 설정 할 때에는 용접 전류를 상향 조정하여 충분한 용융부를 확보하여야 용접 부 강도와 기밀성 보증 이 가능할 것으로 예상 되었다.

## 참 고 문 헌

1. M. Sodeik, Rasselstein, Neuwied : Influences of Material Properties on Side Seam Welding of Cans made of Tinplate, 2nd International Tinplate Conference, (1980), p. 161
2. M. Ichikawa, T. Saito : The Effect of Contact Resistance on the Weldability of Can Materials, 4th International Tinplate Conference, (1988), p. 446
3. N. T. Williams, D. E. Thomas, K. Wood : High Speed Seam Welding of Tinplate Cans. Part 1, Equipment Development, Weldability Lobes and Metallurgical Characteristics, Metal Construction, 4, (1977), p. 157
4. E. Morgan : Tinplate and Modern Can Making Technology, Pergamon Press, (1985), p. 142
5. KS B 0855-1974 (1990확인) : 시임용접의 검사방법
6. KS B 0812-1995 : 에릭슨 시험방법
7. KS B 0850-1991 : 점 용접부의 검사방법
8. BS 3914-91 : Non-refillable Metal Aerosol Dispensers of 50ml to 1,400ml Capacity and up to 85mm Diameter
9. M. Babbit, G. Escamez : Application of an Instrumental System for a Tinplate Welding Machine, 4th International Tinplate Conference, (1988), p. 453
10. N. T. Williams, D. E. Thomas, K. Wood : High Speed Seam Welding of Tinplate Cans. Part 2, Influence of Welding Parameters, Material and Production Implications, Metal Construction, 5, (1977), p. 202
11. 田中甚吉, 小野守章 : 薄めつきふりき鋼板の抵抗シ-ム溶接性, 日本鋼管技報, No. 98, (1983), p. 1
12. 抵抗溶接現象とその應用 (I), 溶接學會抵抗溶接研究委員會編, No. 8, (1983), p. 131
13. 池田倫政, 安田功一, 山口忠政 : 合金化亞鉛めつき鋼板の抵抗スポット溶接 (第1報), 溶接學會 全國大會講演概要 第47集, 90-10, (1990), p. 152
14. 高 隆夫, 福井清之, 池上祐一 : 合金化亞鉛めつき鋼板の混合打点スポット溶接性, 溶接學會 全國大會講演概要 第47集, 90-10, (1990), p. 146