

# 강의 CO<sub>2</sub> ARC SPOT WELDING

CO<sub>2</sub> SPOT WELDING OF STEEL

김 종 식

Jong Sik - Kim

## 1. 서 론

산업사회의 발달과 함께 각종 구조물이 복잡 다양해 짐에 따라 용접에 의한 구조물의 제작 방법은 접합부의 신뢰성 뿐만 아니라 cost 측면에서도 대단한 각광을 받고 있다는 사실은 논란의 여지가 없다.

실제로 지금까지 소개된 각종 용접법들도 그 개발과정을 살펴보면 모두가 생산성 향상에 의한 제조원가의 절감에 focus 를 맞추고 있음은 자명한 사실이다.

이처럼 철 구조물의 제작에 있어서 그 구조물의 용도와 접합부에 요구되는 설계 강도상 최소 요구치를 만족시킬수 있는 용접법의 선택은 대단히 중요하다.

따라서 본 연구는 외국에서 그 적용이 점차 확대되어 가고 있는 arc spot 용접법에 대한 개요를 설명하고 용접시험과 분석을 통하여 CO<sub>2</sub> arc spot 용접의 장점과 최적용접 조건의 확립을 목표로 하였으며 아울러 적용상의 문제점들을 알아보고자 한다.

이 경우 사용하는 wire 경에 비해 지나치게 낮은 전류로 용접하면 피복 용접과 마찬가지로 arc 가 불안정해 진다.

## 2) 용접 장치

CO<sub>2</sub> 용접용으로는 정전압 특성의 전원이 사용되지만, 박판 용접에 효과적인 단락이행 용접에서는 350A 이하의 쇼트 아크 전용 용접기를 사용하는 것이 좋으며, 인버터 제어 용접기는 스파터 발생이 적고 도금 강판의 용접시에도 블로우 홀과 피트의 발생이 줄어들므로 많이 사용되고 있다.

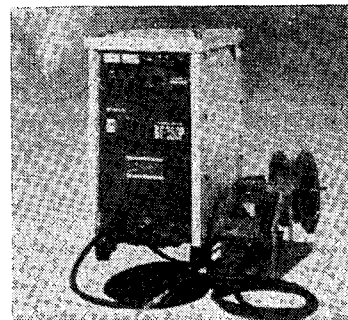


그림.1 CO<sub>2</sub> ARC 용접기

## 2. CO<sub>2</sub> welding

### 2-1. CO<sub>2</sub> arc welding 기초

#### 1) 적용

탄산가스 아크 용접과 마그 용접은 연강재와 표면처리강판, 고장력강, 저합금강 등 철강재료의 반자동 용접에 이용된다. 탄산가스는 아르곤에 비해 용입이 깊으므로 박판의 용접시에는 가능한 한 저전류로 용접할 필요가 있다.

#### 3) 용접 재료

CO<sub>2</sub> gas arc 용접에 있어서 wire 의 굵기가 늘어지면 저전류에서도 용접이 가능한데, 다음 표는 CO<sub>2</sub> 쇼트 아크 용접 조건의 일례이다.

판두께 (mm)	와이어경 (mm)	용접전류 (A)	용접전압 (V)
1.0	0.9	60~70	16~17
1.2	0.9	75~90	17~19
	1.2	100~120	17~19
2.0	0.9	85~100	18~20
	1.2	100~130	17~20
2.4	0.9	90~120	20~21
	1.2	120~130	18~20
3.2	0.9	100~130	19~21
	1.2	130~160	19~21.5

표.1 용접조건의 일례

4) 시공시 주의사항

4-1) wire 용융량이 많으므로 용융속도에 맞추어 적절한 속도로 용접해야 한다.

4-2) 토치 각도에 따라 bead의 형상이 달라지고 용입 상태도 변한다. 박판의 용접 시에는 통상 전진법으로 용접을 하게 되는데 이때 용입 부족이 생기지 않도록 아크가 용융풀의 선단을 겨냥하여 용접 한다.

4-3) 용접기의 토치 케이블의 구부러짐, 송급 롤러와 콘택트 팁 등의 손상 여부를 작업 전에 점검해야 한다.

4-4) 와이어의 돌출 길이가 변화하면 전류 및 용입도 변화하게 된다. 따라서 안정된 용접을 위해 와이어의 돌출길이는 15mm 정도로 일정하게 유지해야 한다. 통상적으로 CO<sub>2</sub> 용접에서의 적정 전압은

$$V = 0.05 \times I + 14 \pm 1.5 \text{ 가 되며}$$

Ar gas의 함량이 많은 MAG 용접의 경우에는 전류는 약 20A 정도 높게 하되 전압을 약 2.5V 정도 낮게 설정하는 것이 좋다.

$V = 0.04 \times I + 13 \pm 1.5$ 를 기준으로 한다.

4-5) 탄산 가스의 차폐 효과가 부족하면 각종 용접 결함이 발생하므로 바람이 부는

곳에서는 보호 gas가 용접부를 잘 보호할 수 있도록 특별한 대책을 세울 필요가 있다.

2-2. CO<sub>2</sub> arc spot 용접법

spot 용접은 2장 또는 그 이상의 철판을 겹쳐 점상으로 연결하는 용접방법으로 전기 저항용접, laser beam 또는 전자 beam을 이용한 beam spot 용접, 폭발압접등의 방법이 있지만 CO<sub>2</sub> arc 용접의 경우 다른 GMAW 용접에 비해 용입이 깊고 일반화 되어 있으며 일부를 개조하여 사용할 수 있는 CO<sub>2</sub> arc spot 용접법을 소개하고 용접조건에 따른 용융부의 치수 변화와 그 적용분야에 대해 언급하기로 한다.

1) CO<sub>2</sub> arc spot 용접 방법

CO<sub>2</sub> arc spot 용접은 저항점용접 또는 riveting과 유사하게 접합하는 방법으로 gas metal arc 용접과는 용접 중 TORCH의 이동이 없고 용접시간이 수초에 불과하며 torch의 제한이 없다는 것이 저항 점용접과 다르다.

CO<sub>2</sub> arc spot 용접을 위해서는 특수한 형상의 nozzle을 사용하는 것이 일반적이며 그 형상은 그림.2와 같다.

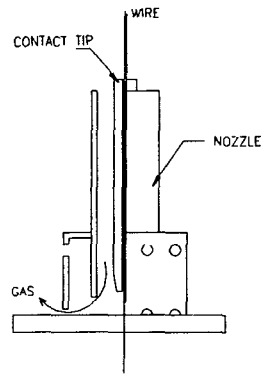


그림.2 welding torch

그림.3 은 CO<sub>2</sub> arc spot 용접이 진행되는 과정을 나타낸 것으로

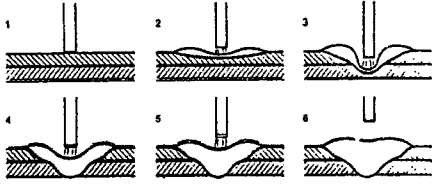


그림.3 arc spot 용접과정

접쳐진 철판의 한쪽 면에 arc spot 용 torch 를 접촉시키고 arc 를 발생시키면 다음 그림.3 과 같은 형태로 용접이 진행되어진다.

### 2-3. 용접조건에 따른 용입의 변화

CO<sub>2</sub> arc spot 용접 강도는 nugget 경에 의해 결정되어지므로 nugget 경을 최대로 할 수 있는 용접조건을 찾는 것이 중요하다.

그림 4 는 arc spot 용접부의 단면형상을 나타낸다.

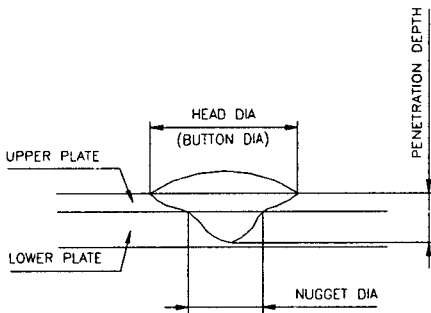


그림 4 용접부의 단면 형상

### 1) Split-plate test

Split test 를 이용한 시험방법은 결침 이 음으로 용접한 시험편을 이용하는 방법 에 비해 용접된 시험편의 기계적인 절단, 연바 및 부식 등의 공정을 생략할 수 있

으므로 단면의 용융상태 만을 확인하는 경우에는 적절한 시험방법으로 볼 수 있으며 그림.5 는 split plate 시험편의 형상을 나타낸다.

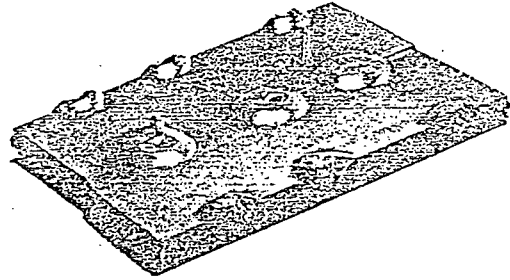


그림 5 split plate 시험편의 형상

### 2) 용접전류

wire 의 용융속도는 거의 용접전류에 비례하여 증가하므로 용접전류는 주로 와이어의 용융속도와 용입에 관계한다.

전압이 일정할 경우 용접전류가 증가할수록 용착량은 증가하고, 비이드 폭은 넓게 되며 여성 높이는 높게 된다. 동시에 입열도 증가하여 용입도 증가한다.

### 3) arc 전압

전압은 arc 의 안정성, 비이드 외관, 스패터의 발생, 용입상태 등에 관계가 깊다. arc 길이는 arc 전압과 전류에 의해 정해지고, 동일한 전류에서 arc 전압이 낮으면 arc 는 짧게 되어 용입은 깊어지고, 폭은 협소한 비이드 형상으로 된다.

역으로 arc 전압이 높은 경우에는 얇고 폭

이 넓은 편평한 비이드 형상으로 된다.

그림.6은 전류,전압에 따른 비이드 형상을 나타낸다.

Arc spot 용접의 경우에는 열의 집중성을 높이기 위하여 ARC의 길이를 줄여서 (전압을 낮게) 용접하는 것이 좋으나 너무 낮은 전압의 경우에는 이른바 cold lapping 현상이 발생하게 되는데 이는 용접폭에 비해 용입이 상대적으로 깊을 경우 응고시 결정의 성장이 판과 수평으로 성장되므로 수축공 및 비금속 개재물이 내부에 남게 되는 현상으로 강도의 저하 및 부식의 원인이 된다.

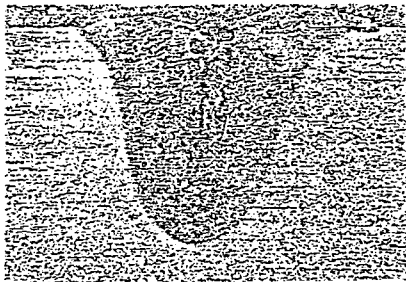


그림 7. Cold lapping 현상

#### 4) welding time

용접시간이 길어지면 용입이 깊어지고 head 및 nugget dia.도 증가한다.

#### 5) 예열온도

예열온도가 높아지면 head dia. 및 용입이 증가하는 현상을 나타낸다. 특별한 예열없이 용접을 할 경우에도 처음하는 용접점에 비해 나중의 용접점이 예열이 높아지는 효과가 발생하여 박판의 경우 용락이 발생할 수 있으므로 주의할 필요가 있다.

#### 2-4. 용접강도

arc 점용접부의 강도평가에 대해 표준화된 시험 방법은 확인되지 않았지만 지금까지 발표된 자료에 의하면 저항 점 용접부의 인장전단강도 시험방법을 그대로 이용하고 있다.

따라서 본 연구에서는 아래와 같은 형상의 시험편을 이용하였다.

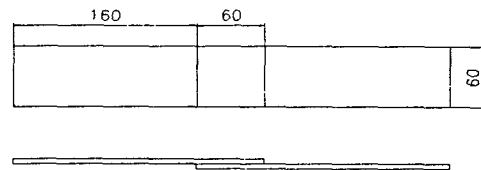


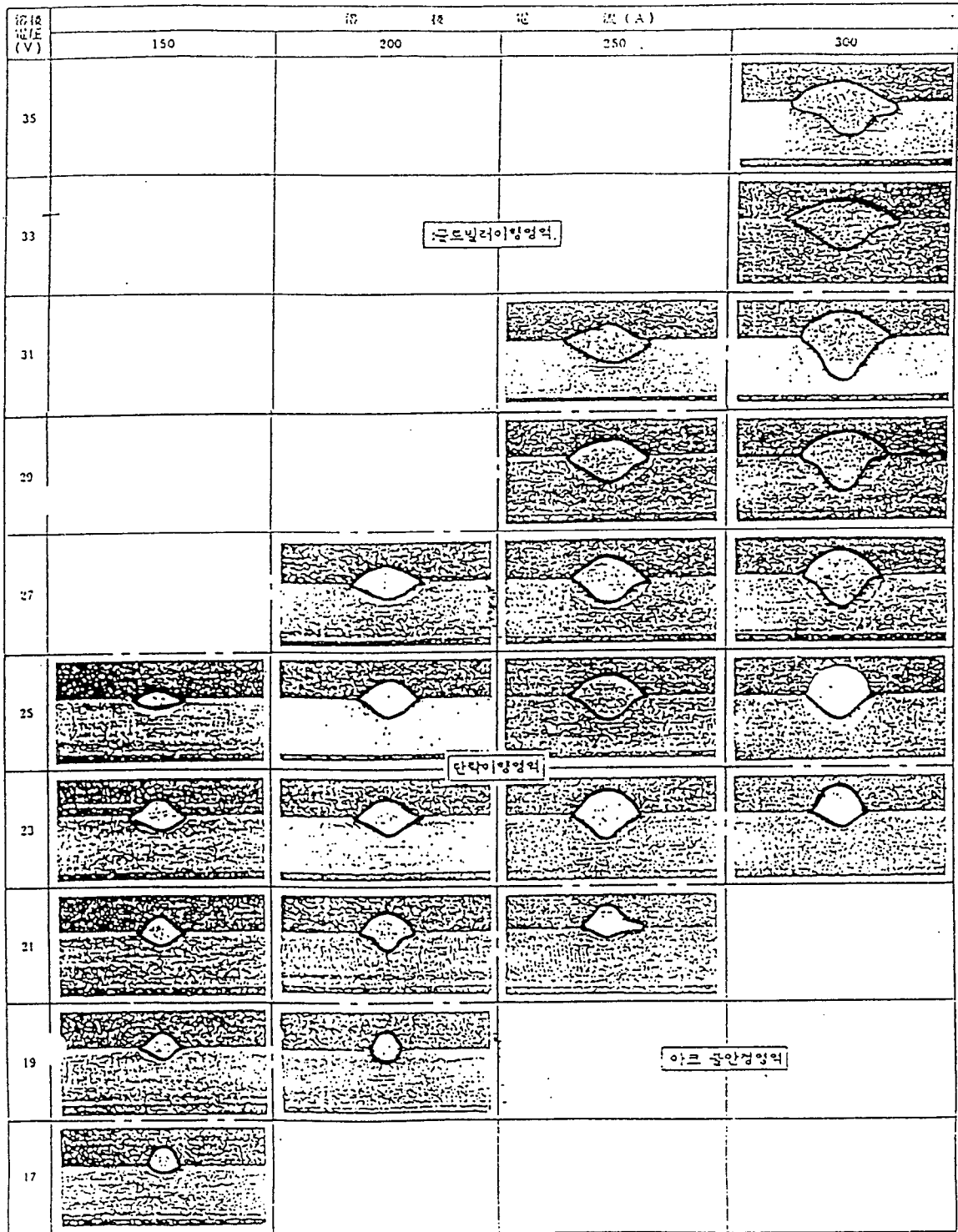
그림. 8 arc spot 용접시험

표.2는 6.4mm SAPH45 steel 시험편에

Φ1.6 wire, 450A, 4sec, stick-out:20mm로 용접한 후 인장전단 시험한 결과로 40kgf/mm<sup>2</sup>이상의 인장전단강도를 보이고 있으며 산포도 비교적 작아서 평균 인장전단강도 ±15%이내의 안정된 강도를 얻을 수 있었다.

시편 NO	ND mm	단면적 mm <sup>2</sup>	파단강도 Kgf	응력 Kgf/mm <sup>2</sup>
1	9	61.3	2750	45
2	10	71.0	3500	49
3	10	71.0	3450	49
4	10	74.0	3250	44
5	10	74.0	3200	43
6	10	74.0	3650	49
7	10	77.4	3200	41
8	10	77.4	3550	46
9	10	80.5	3600	45
10	10	80.5	3350	42
11	10	80.5	3800	47
12	10	84.0	4200	50
13	11	87.1	3950	45
14	11	87.1	4200	48
15	11	87.1	3950	45
16	11	90.0	3750	42
17	11	90.3	4250	47
18	11	93.5	3950	42

그림. 6 전류, 전압에 따른 비이드의 형상



19	11	100.0	4050	41
----	----	-------	------	----

표. 2 인장전단시험결과 일례

split test 시험편을 이용하여 1.6 $\phi$  wire를 이용한 용접시 생성되는 nugget의 직경을 실측시 다음과 같은 결과를 얻었다.

용접조건		깊이별 용융부의 직경(mm)			
		1.6	3.2	6.4	9.5
340A 33V	1초	8.6	5.7		
	2초	10.7	8.1		
	3초	12.0	9.3		
	4초	12.9	9.7		
425A 35V	1초	9.6	7.7	3.8	
	2초	12.2	10.2	7.4	
	3초	13.6	11.4	8.6	0.8
	4초	14.7	12.4	9.7	4.4
450A 37V	1초	10.7	8.9	4.6	
	2초	12.7	10.7	7.9	1.2
	3초	14.0	12.2	9.4	3
	4초	15.5	13.2	10.2	4.6

표. 3 깊이에 따른 용융부의 직경

### 2-5. 용접자세

입열이 비교적 적은 범위의 용접조건에서는 Vertical 과 Overhead 자세의 용접이 가능 하였으나 입열량이 큰 범위의 용접조건에서는 Position 용접에 어려움이 있었다.

시험결과 Position 용접시 O/H 자세로는 위판의 두께가 3mmt 까지, Vertical 자세로는 1.6mmt 까지 용접이 가능 하였다.

Position 용접시 입열이 과도한 경우에는 용융금속이 흘러내려 arc spot 용접이 불가능 하게 되었으며 그림 9는 수직보기 용접에서 발생된 용융금속의 흘러내림을 보여준다.

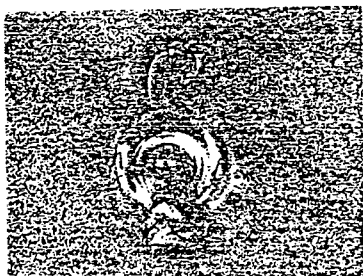


그림 9. 과도한 입열로 인한 용융금속의 흘러내림.

### 2-6. 최적 용접조건 설정

연강판에 대한 CO<sub>2</sub> arc spot 용접시의 조건은 전류, 전압 및 용접시간으로 구분할 수 있는데, 판두께에 따라 용접조건 설정을 다르게 설정하는 것이 바람직한데 시험 결과

위판의 두께 > 아래판의 두께인 경우에는

전류를 높게, 통전시간은 짧게

위판의 두께 < 아래판의 두께인 경우에는

전류를 낮게, 통전시간은 길게 하는 것이 좋다. 그림 10은 적정한 조건으로 용접을 수행한 결과를 보여준다.

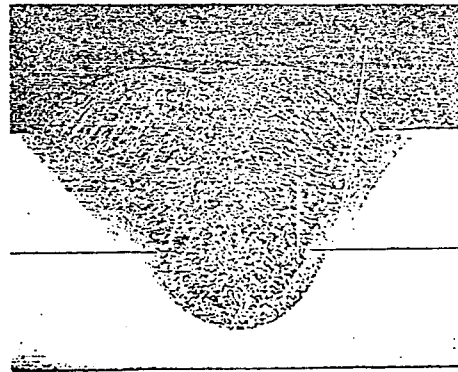


그림 10. 적정 용접조건에서의 단면형상

또 wire의 선택은 AWS 70S-6로 별 문제가 없었다.

그러나 현재까지 발표된 자료를 살펴보면 자료마다 용접조건 선정에 상당한 차이를 보이고 있어 실 적용 시 어려움이 있었으며 수차례의 용접시험을 거친 후 적용하는 수고가 있었다.

본 고에서는 이와 같은 수고를 줄이고 최적조건에 근접할 수 있도록 하는 program의 개발에 대해 설명하기로 한다.

program 을 개발하기 위해서는 각 조건들의 경계값과 상관관계를 식의 형태로 정리할 필요가 있으며, 관계식은 다른 용접방법에서 도출하는 방법, 용접기 제조 업체에서 제출한 용접기의 특성값, 실 시험결과에 의한 data 의 분석, 다른 연구 논문에서 제시한 관계식 등을 이용하였다.

1) 판두께에 따른 적정 nugget 의 직경

두께에 따른 적정 nugget 의 직경은 RWMA 에서 추천한 전기저항 용접시 발생하는 nugget 의 직경을 기준으로 하였다.

아래 그래프는 전기저항 용접시의 두께에 따른 nugget 의 상관관계를 나타낸다.

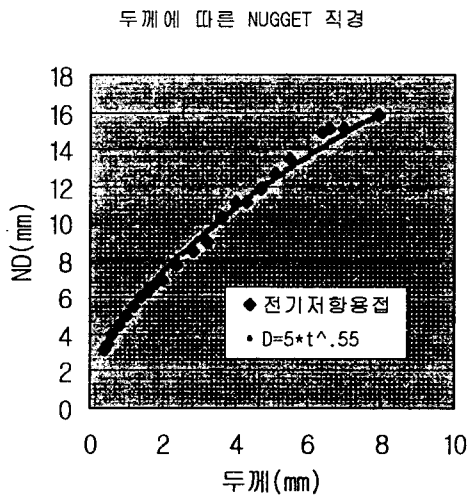


표. 3 적정 nugget graph

전기저항용접에 있어서의 두께와 nugget 의 상관관계는 다음과 같음을 알 수 있다.

$$ND=5 * t^{0.55}$$

2) 적정전류와 전압의 범위

CO<sub>2</sub> arc welding 에 있어서 전류와 전압의 상관관계는 일반적으로

$V = (0.05 * I) + 14$  로 알려져 있으나 wire 의 직경에 따라 그 범위는 조금씩 달라짐을 알 수 있는데, wire 가 가늘어 질수록 기울기는 급한 경향을 나타낸다. 다음은 wire 의 직경에 따른 전류 및 전압의 범위를 나타낸다.

WIRE 직경	전류범위 (A)	전압범위 (V)	V1 의 값
0.6	30-130	0.065*I+V1	11.5-14.0
0.8	40-150	0.060*I+V1	11.5-14.0
0.9	60-190	0.055*I+V1	11.5-13.5
1.2	120-300	0.050*I+V1	11.5-13.5
1.6	250-500	0.048*I+V1	10.5-13.5
2.0	300-650	0.044*I+V1	10.5-13.5

표. 4 전류 및 전압의 범위

3) 판두께에 따른 적정 전류범위

전류의 범위는 steel plate 의 두께에 따른 적정 nugget 가 생성될 수 있는 전류치를 기준으로 하였으며 시험결과 최소전류치

$$I_{min} = 200 * UP^{0.5} - 60$$

였으며 최대전류치

$I_{max} = 200 * UP^{0.5} + 30UP + 40$  의 범위를 나타내었다.

4) nugget 의 직경

小野英彦(일)의 논문에 의하면 nugget 의 직경은 다음 식으로 결정되어 진다

즉,

$$ND = 2 * (0.05 * S^{1.5} * Ln(6.82 * 10^{-4} * S^{0.6} * I^{2.5} * V^{-2.5} * UP^{-1}))^{0.5}$$

여기에서

ND: nugget 의 직경 (mm)

S: cycle (cycle/sec)

I: 전류 (Amp)  
 V: 전압 (Voltage)  
 UP: 위판의 두께 (mm)이다.

### 5) head 의 직경

head 의 직경은 위판의 두께가 0mm 인 경우이나 UP 가 0 일 경우 error 가 발생되므로 UP=0.01 로 가정하면

$$HD = 2 * (0.05 * S^{1.5} * Ln(6.82 * 10^{-4} * S^{0.6} * I^{2.5} * V^{-2.5} * 100))^{0.5}$$

### 6) 용입

용입은 nugget 의 직경 ND=0 일때이므로 용입 깊이

$$P = 6.82 * 10^{-4} * S^{0.6} * I^{2.5} * V^{-2.5}$$

가 된다

이 값들을 경계조건으로 하여 전산 프로그램을 작성하면 최적 용접조건에 근접한 용접조건을 찾을 수 있다.

### 3. 사용상 주의점

CO2 arc spot 용접은 국내에서 몇 차례 소개된 적은 있지만 주로 박판의 용접에 응용할수 밖에 없는 제약이 있고 용접시 nugget dia.에 비해 head dia.가 상당히 커지게 되므로 좁은 곳의 용접에는 곤란하였다. 특히 아연도 강판의 용접에서는 용접부 내부에 blow hole 이 발생되어 용접강도가 저하되므로 적용에 문제가 있었다.

Ar gas 를 이용한 TIG arc spot 의 경우에는 용융부가 finger shape 로 나타나므로 nugget dia.는 더욱 줄어든다.

또한 아래판이 얇은 경우에는 용락이 발생될 수 있으므로 backing 제를 적절히 응용할

필요가 있다.

### 4. 결 론

CO2 arc spot 용접법에 대한 시험을 통하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- 1) arc spot 용접시 용접조건과 용입현상을 비교 할 수 있었다.
- 2) Arc spot 용접시 용착금속의 인장전단강도는 40kgf/mm<sup>2</sup>이상 이었고, 그 편차는 15%이내임을 확인하였다.
- 3) position 용접에서 위보기로는 3mmt 까지, 수직보기 자세로는 1.6mmt 까지 용접이 가능함을 확인 하였다.
- 4) 위판의 두께와 적정 nugget 의 직경에 대한 관계식은 ND=5\*t<sup>0.55</sup>임을 알수 있었다.
- 5) CO2 용접시 wire 의 굵기에 따라 전류와 전압간의 관계식을 세분하여 구하였다.
- 6) Arc spot 용접시 경계조건을 설정함으로써 적정조건 산정을 위한 program 을 개발할 수 있었다.

### 참 고 문 헌

1. welding handbook, vol.2, 7<sup>th</sup> ed. AWS p149, 1978
2. W.P Blankenship, welding journal, nol 62, No 3 p27~33, 1983
3. N.E. Anderen, 2<sup>nd</sup> ed. ESAB, p4~65, 1977
4. A.A. Smith, Cambridge welding Institute 3<sup>rd</sup> ed P181, 1970
5. D.E. Jordan, Welding Institute Prod p40~44 1970
6. D.E. Jordan, WDG J, v13, N03, p13~17, 1969
7. D. Waller, S.M.I, p101~106, 1969
8. A.J. Jenkins, ed. Rockey and Hill, p377~394 1967.



9. JIS Handbook, JIS Z3312
10. 소야영언(일) 일본용접학회 논문집 제 2권 제 4 호, 1984.
11. 용접공학, 현대자동차(주) 울산공장연수
- 소
12. Spot 용접조건설정표, 금강전원금속(주)
13. 용접기 기술자료, 효성중공업(주)