

技術報告

大韓熔接學會誌
第1卷第1號 1983年 8月
Journal of the Korean
Welding Society
Vol. 1, No. 1, Aug., 1983

CO₂ 용접의 결함 원인 및 대책

정 수 원* · 이 정 대*

Causes and Preventions of CO₂ Arc Welding Defects

by

Soo Won Chung*, Jeong Dae Lee*

1. 서 론

탄산가스 아아크 용접법은 다른 용접법에 비해 전자 세 용접의 기능, 용접능률의 우수성, 생산적인 측면에서의 뛰어난 경제성으로 인해 중공업 분야에서 그 적용 추세가 증가일로에 있다.

당사(현대중공업)에서는 1981년에 탄산가스 아아크 용접법이 현장 구조물 시공에 최초로 적용된 이래 꾸준히 증가하여 보편적으로 사용되는 용접법 중의 하나가 되었다.

탄산가스 아아크 용접법의 여러 가지 장점을 적극적으로 이용하기 위해서는 탄산가스 아아크 용접시 발생하는 결함의 원인을 분석하여 결함을 최소화하는 대책이 강구되어야 한다. 탄산가스 아아크 용접시 발생하는 결함의 빈도를 조사하여, 빈도수가 많은 결함의 원인을 분석하고 그 방지대책을 세우는데 본고의 목적이 있다.

2. 탄산가스 아아크 용접 결함의 빈도

선체 건조 시공에 탄산가스 아아크 용접을 적용하였을 때 발생하는 용접 결함을 조사하기 위해 Fig. 1과 같은 검색표를 이용하였다.

Fig. 2에 의하면 기공 발생과 언더컷이 용접 결함의 주종을 이루고 있기 때문에 본고에서는 이들 결함을 중심으로 추적 분석한다.

3. 실 험

선체 건조시 탄산가스 아아크 용접 시공 중 발생하는 주요 원인들 중 몇 가지에 관하여 용접 결함을 통계적으로 조사하였다.

본 실험에 사용된 용접기는 Hobart 社의 MEGA FLEX 650, 와이어는 SM-70 1.2φ, 용접 전류와 전압은 각각 280A 와 30V 이었다.

3.1 Shop Primer

입하된 철강재는 블라스팅을 거쳐 초벌 칠을 하게 되는데 초벌 칠(primer)로는 에폭시(epoxy) 계통과 무기 화합물 계통이 있다. primer의 종류와 塗膜 두께를 달리하여 탄산가스 아아크 용접 시공을 한 후 용접 결함의 발생 빈도를 조사하였다. 조선소에서 가장 널리 사용되는 塗膜 두께는 15~20μ(1μ=0.001mm) 정도이다. 본 실험에서는 에폭시 계통 primer에 대하여는 10μ에서 40μ까지 塗膜 두께를 달리하여 용접을 행한 후, 육안 검사를 통하여 기공 발생 빈도를 조사하였다.

3.2 보호가스

용접시 탄산가스는 대기중의 산소와 질소를 차단하는 역할을 하기 때문에 적당한 유량의 탄산가스가 필요하다. 노즐로부터 분사되는 탄산가스는 stickout(nozzle to work distance)에 따라 용융풀을 보호하는 정도가

* 현대중공업 품질관리부 용접기술연구소, 정회원, 울산 Tel. 5-0805

CO₂ W/D CHECK SHEET

조사자 신민태
조사일 1983. 4. 13.

1. 용접사: 성명 하명기
2. 용접조건: 전류 290A, 전압 34V
3. 용접자세 및 호선: 하향
4. 작업장소 및 호선: 소조립, 226.
5. Wire lot no: 6158393

	0	1m	2m	3m				
Gap	|	-----		|				
Tack	|	30~50mm		|				
각장	|	7 7.6	8 8.6	5.6 7.5	8.5 9	6.5 7.5	5.8 6.5	삼각장 하각장
결합	|	xxxx		|	...	|		

* 작업자 의견 적색 primer에 기공이 많다

* 조사자 의견

* 범례

Gap 0—1 mm : 1—2 mm : 2—3 mm : —— 3mm 이상 : ××××	결함 부등각장 : □□□□ 기공 : ×××× 언더컷 : ○○○○ Over lap : ●●●● 불룩비드 : △△△△
---	--

Fig. 1. CO₂ Welding Check Sheet

Table 1. Status of blow hole depending on shop primer types

Shop primer type	Total data	Defect data	Defect %	Remark
epoxy	324	37	11.4	11.4/5.6
zinc-silicate	286	16	5.6	

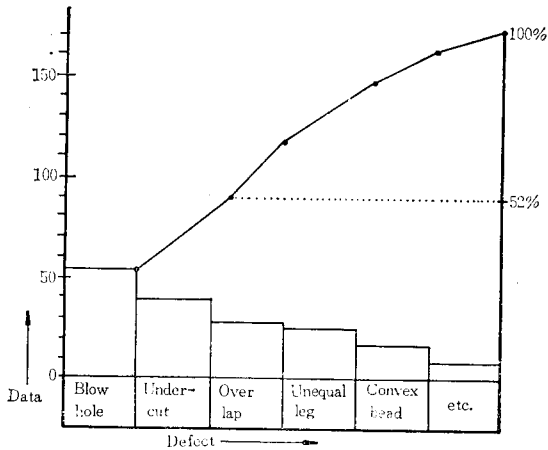


Fig. 2. Status of defect types
 1 data : 1 m weld line is considered 1 data
 defect data : 1 data which needs repairing

달라진다. 본 실험에서는 stickout과 탄산가스 유량이 용접 결합에 미치는 영향을 조사하였다.

3.3 홈면(개선면)의 청결 및 루우트 간격

홈에는 프라이머(primer), 기름 성분, 산화 scale 등이 존재하여 용접 결합을 유발하는 요인이 된다. 루우트 간격은 기공 발생의 주요 원인이 된다. 본 조사에서는 홈면(groove face)에서의 청결 상태와 서로 다른 루우트 간격에 따른 기공 발생 특히, 뒷면 비이드(back bead)에서의 기공 발생을 조사하였다.

3.4 용접 조건 및 용접사 기량

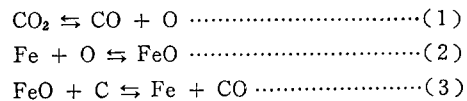
용접 전류, 전압, 용접 속도, 와이어 공급 속도, 워이빙 속도 등은 실제 용접시 결합 발생과 밀접한 관련이 있다. 본 실험에서는 용접 전류, 전압, 용접 속도를 달리하여 나타나는 용접 결합을 추적하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 Shop Primer

Table 1에 의하면 기공의 발생 빈도는 사용된 shop primer의 종류와 밀접한 관련이 있다. shop primer

의 종류는 여러 가지가 있으나 당사에서 사용되는 primer는 유기화합물 계통의 에폭시 primer와 무기화합물 계통의 아연-실리케이트 primer로 대별된다. 유기화합물 계통의 primer는 4가 원자 탄소를 함유하고 있는 화합물이며 무기화합물 계통의 primer는 금속 및 비금속의 화합물이다. 에폭시 primer는 그 속에 함유된 C가 CO₂ 용접시 아래와 같은 반응을 함으로써 기공 발생 가능성이 높은 것으로 판단된다.



식(3)의 반응에서 발생하는 CO 가스는 용착 금속이 응고되기 전에 방출되지 못하고 용착 금속 중에 갇힌 채 되어 기공으로 된다.

Table 1에서와 같이 에폭시 primer에서 아연-실리케이트 primer보다도 2배 이상 기공이 발생된 것은 식(3)의 반응에 연유한 것으로 판단된다.

Table 2는 도막의 두께가 증가할수록 기공 발생도 증가하고 있음을 나타내고 있다. 따라서 primer의 두께는 방청의 효과가 감소되지 않는 범위 내에서 최소로 하는 것이 기공 발생을 줄이는 한 방법이 될 것이다.

4.2 Gas Shielding

Table 3, Table 4에서 보는 바와 같이 가스의 流量이 부족하거나 노즐과 작업물 간의 거리가 과대하게 큰 경우는 gas shielding의 효과가 감소되어 결과적으로 기공

Table 2. Status of blow hole depending on shop primer thickness

Primer thickness	Epoxy shop primer (visual inspection)
10μ	—
20μ	—
25μ	blow hole: 2 point
30μ	blow hole: 2 point
40μ	blow hole: 5 point

Length of fillet weld: 2m

Table 3. Effect of stickout on the occurrence of blow hole

Stickout	Gas (l/min)	Visual	X-ray
20	25		
	20		
	15		
	10	— — —	— — —
	5	— — —	— — —

Table 4. Effect of gas flow rate on the occurrence of blow hole

Stickout	Gas (l/min)	Visual	X-ray
10	20		
20			
30		— — —	— — —
40		— — —	— — —
50		— — —	— — —

Table 5. Proper stickout and gas flow rate according to the welding current

Wire	Amp	Stickout	Gas (l/min)
1.2 mmφ	50~150 A	10-15	15-20
	150~250 A	15-20	20
	250~320 A	20-25	20-25

발생에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 Table 5의 표준 조건은 반드시 준수되어야 한다.

기타 gas shielding에 영향을 주는 인자로서는 spatter로 인한 노즐 구멍의 막힘 및 바람막이가 설치되지 않은 노천에서의 작업 등이 있다. 노천작업시 일반적인 허용 최대 풍속은 2m/sec로 알려져 있다.

4.3 개선면의 청결 및 Gap

Table 6은 개선면의 청결 상태가 기공 발생의 한 요인이 됨을 보여주고 있다. CO₂ 용접법은 수동 피복 용접법에 비해 용입이 깊고 냉각 속도가 빠르므로 용착 금속 최심부에서 각종 불순물로 인해 발생된 가스는 완전히 방출되지 못하고 용착금속 중에 잔존하게 되는데 이것이 기공의 주원인이 되고 있다. 또한 Table 7과 Fig. 3에

서와 같이 표면 용접 후 뒷면 용접시, 기공 발생이 증가하며 루우트 간격이 있는 경우보다 없는 경우에 기공 발생이 증가하는 것을 알 수 있다. 그 이유는 최심부에서 발생한 gas가 완전히 방출되지 못한 상태에서 용착 금속에 잔존하기 때문인 것으로 판단된다. 따라서 기공 발생을 줄이기 위해서는 피복 아아크 용접보다도 더욱 깨끗이 해야 하며 과도한 shop primer를 피하고 산화 scale, 기름 및 수분 등을 완전하게 제거하여야 한다.

Table 6. Effect of groove clearence on the occurrence of blow hole

- 1) Bead appearance inspection
- 2) Gouging inspection

Test no.	Cleaning	First welding	Second welding*
1	Cleaning	1) 2) 5 point	1) 2) 12 point
2		1) 2) 6 point	1) 2) 6 point
3		1) 2) 17 point	1) 1 point 2) 20 point
4	Without Cleaning	1) 1 point 2) 15 point	1) 2 point 2) 23 point
5		1) 2) 12 point	1) 1 point 2) 34 point
6		1) 1 point 2) 21 point	1) 2) 33 point

Length of fillet welding : 1m

* second welding: back side welding next to first welding

Table 7. Effect of root gap on the occurrence of blow hole

Root gap	Total data	Defect data	Defect (%)
0~1 mm	428	43	10
1~2 mm	166	9	5.4
2~3 mm	16	1	6.3

4.4 용접 조건

용입, 비이드 형상 및 적층법 등은 용접 조건의 선정과 밀접한 관련이 있는 것으로 그 상관관계는 일반 수동 용접과 크게 다를 바가 없다. 그러나 슬래그 생성이 거의 없다는 점과 용융물이 형성됨에 따른 빠른 냉각

속도와 용착 금속의 이행 형태가 용접 조건 및 와이어 직경에 따라서 크게 좌우된다는 점에서 차이가 있다.

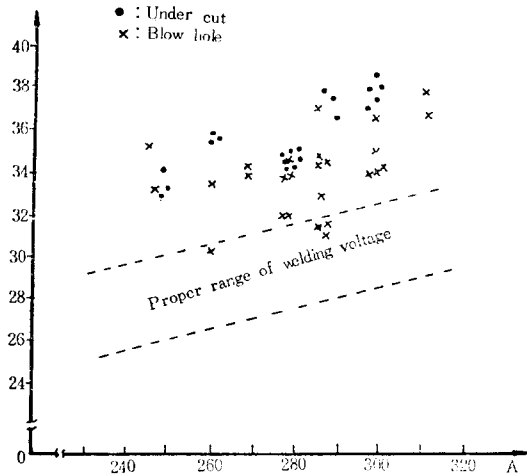


Fig. 3. Welding current and voltage of defect data which contains undercut and blow hole

Fig. 3은 용접 전류와 전압을 달리 했을 때 발생하는 기공과 언더컷을 나타내고 있다. 일반적으로 전압이 높을수록 기공, 스페터, 언더컷이 발생할 우려가 높다. 반면에 전압이 적정 수준보다 낮으면 블록 비이드, 오우버랩의 용접 결합을 야기시키며 균열이 발생할 가능성이 많다. 일반적으로 적정 전압은 식 (4), (5)로 표시된다.

소전류 (200A 이하)

$$V = 0.04 \times Amp + 15.5 \pm 1.5 \dots\dots\dots(4)$$

대전류 (200A 이상)

$$V = 0.05 \times Amp + 15.5 \pm 2 \dots\dots\dots(5)$$

또한 전류의 변화에 따른 용착 금속의 이행 형태는 저전류에서는 단락 이행으로, 고전류에서는 globular 이행으로 된다. 이 때 CO₂ 가스와 알콘를 혼합하여 사용하면 고전류에서 globular 이행이 분무형 이행으로 되고 아아크가 안정되며, 동시에 스페터 발생량이 감소하며 비이드 외관도 양호하다.

4.5 용접사 기량

용접 속도, 운봉 방법, 노즐 높이 및 토오치 각도는 용접사의 기량과 밀접한 관련이 있는 것으로 용접사의 숙달이 필요하며 결합과의 상관관계는 다음과 같다. 용접 속도가 너무 빠르면 언더컷 및 균열이 발생되기 쉽고, 용접 속도가 너무 느리면 블록 비이드 및 오우버랩

과 같은 결합이 발생되기 쉽다. 개선면에 이물질이 있을 경우는 용융물을 확산시키면서 용접하는 것이 좋다. 흔히 적용되는 토오치 각도를 Fig. 4에 나타내었다.

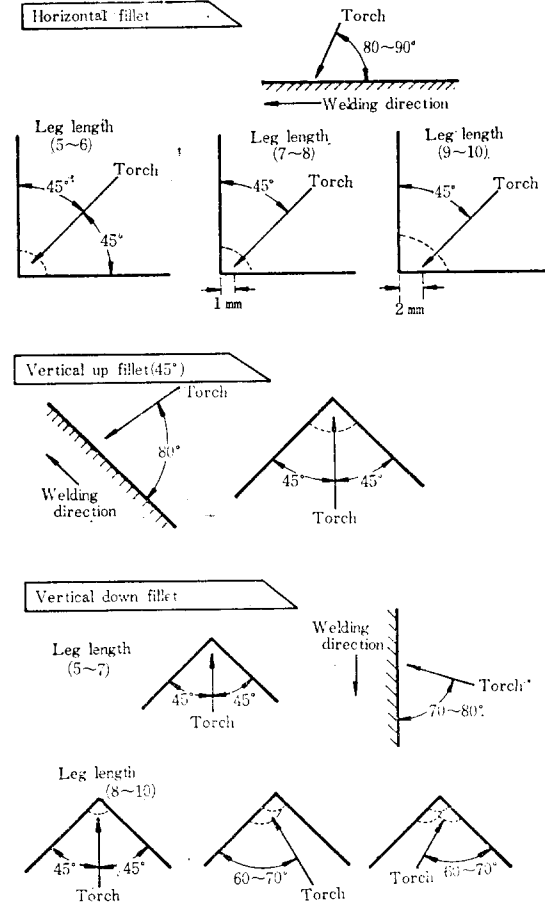
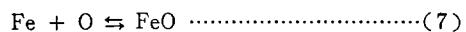
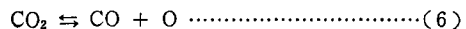


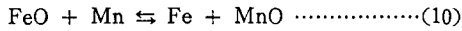
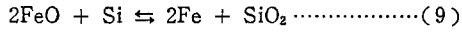
Fig. 4. Wire setting position

4.6 CO₂ Wire

미국용접학회(A. W. S.)에서 분류하는 CO₂용 용가재는 7 가지이며 요구되는 화학 조성은 Table 9에 보인 바와 같다.

Table 8에서와 같이 CO₂ 용접용 wire에는 다량의 Si와 Mn이 함유되어 있으며 이 성분이 탈산제로 작용하여 기공의 형성 방지에 큰 역할을 담당하는 것으로 생각된다. 따라서 CO₂ 용접에서 탈산제의 기준 함량에 미달되는 wire의 사용은 기공 발생에 직접적인 관련이 있으므로 주의할 필요가 있다. Si 및 Mn에 의한 탈산 반응식은 아래와 같다.





4.7 결함 원인 및 대책

1) 결함별 발생 원인(Table 9 참조)

2) 불로우 홀 발생 위치에 따른 대책(Fig. 14 참조)

Table 8. AWS classification

AWS Classification	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Cu	Ti	Zr	Al
ER70S-2	0.07	0.90 to 1.40	0.40 to 0.70	0.025	0.035	.	.	.	.	0.50	0.05 to 0.15	0.02 to 0.12	0.05 to 0.15
ER70S-3	0.06 to 0.15	0.90 to 1.40	0.45 to 0.70								.....	.....	.....
ER70S-4	0.07 to 0.15	1.00 to 1.50	0.65 to 0.85								.....	.....	.....
ER70S-5	0.07 to 0.19	0.90 to 1.40	0.30 to 0.60								.....	.....	0.50 to 0.90
ER70S-6	0.07 to 0.15	1.40 to 1.85	0.80 to 1.15								.....	.....	.....
ER70S-7	0.07 to 0.15	1.50 to 2.00 ^d	0.50 to 0.80								.....	.....	.....
ER70S-G	no chemical requirements												

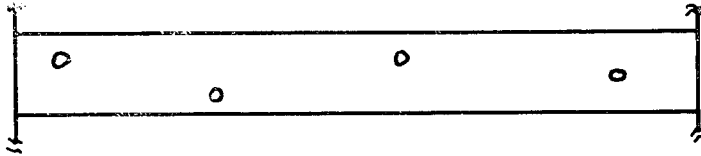
Table 9. CO₂ welding trouble shooting data

Defect types		Porosity	Undercut	Over-lap	Unequal leg length	Convex bead	Spatter
Welding conditions	high current		●		○		●
	low current			●		●	
	high voltage	●	●				●
	low voltage			●		●	
Workmanship	long stickout	●					●
	high speed welding	○	●				●
	low speed welding			●	●	●	
	bad setting of wire			●	●		○
	low welding speed		●				
etc.	unsufficient shielding	●					
	thicker primer	●					
	contamination	●					
	bad wire feeding			●	●		○

결함 원인의 우선 순위

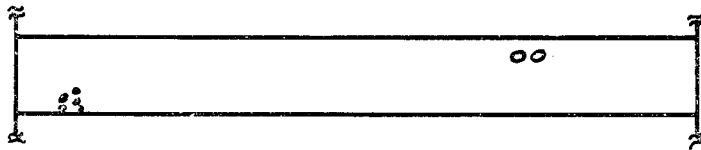
1. ● 2. ● 3. ○

1. Blow hole 이 용접장 전 Line에 동일한 분포로 나타난다.



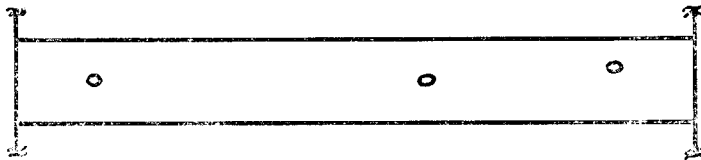
- (1) CO₂ gas 유량을 증가시킨다
- (2) Gas nozzle 구멍을 확인한다.
- (3) Stickout 길이를 짧게 한다
- (4) CO₂ Wire의 탈산제의 화학 성분을 분석한다.

2. Blow hole 이 용접장에 부분적으로 나타난다.



- (1) 개선면의 청소 상태를 확인한다

3. Blow hole 이 용접 비이드 중앙부에 나타난다.



- (1) 아아크 전압을 낮춘다
- (2) Stickout 길이를 짧게 한다
- (3) 풍속이 2m/sec에서는 방풍막이를 설치한다

Fig. 5. Prevention of blow hole according to its location

5. 결 론

이상에서와 같이 CO₂ 용접에서의 결함을 방지하기 위해서는 여러 측면에서 여러 요인들을 종합적으로 검토·분석하여 복합적인 대응책을 강구해야 함을 알 수 있다. 그러나 그 중에서도 가장 중요한 요소는 용접사의 기량 관리라고 판단되며 사전에 반복되는 교육 및 숙달을 통해 점진적인 품질 향상이 이루어질 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) Kobe steel Co., "This is MG.," pp. 75. 198 1. 10.
- 2) A. W. S., "Chemical composition requirement Specification for carbon steel Filler Metals for Gas Welding," A5.18-19 Table 1.