

## 技術報告

大韓熔接學會誌  
第1卷第2號 1983年12月  
Journal of the Korean  
Welding Society  
Vol. 1, No. 2. Dec., 1983

### 탈황조의 보수 용접에 관하여

황 근 배\*

#### Maintenance Welding of the Desulfurizer

by

Keun Bae Whang\*

#### 1. 서 론

본 공장(진해화학주식회사)에서 암모니아는 나프타를 원료로 한 수소와 공기 중의 질소를 합성하여 제조된다. 암모니아 제조 공정 중 메탄가스(CH<sub>4</sub>)와 수소가스(H<sub>2</sub>) 중에 불순물로 존재하는 유화 수소(H<sub>2</sub>S)를 제거시키는 공정이 탈황공정이다. 탈황공정은 산화 아연(ZnO)과 코발트-몰리브덴(Cobalt-Molybdenum) 촉매층에서 이루어지며 탈황 공정이 이루어지는 용기를 탈황조(desulfurizer vessel)라 한다.

본 공장에 설치된 탈황조는 1966년에 설치되어 운용되어 왔다. 본 공장의 안전 조업을 위해 초음파 탐상법, 방사선 투과 탐상법, 표면 침투 탐상법으로써 탈황조의 노후도 측정을 행하였다. 탐상 결과 스테인레스 클래드의 모재부<sup>\*)</sup> 용접선을 따라 균열이 발견되었다. 균열 부위를 깊이 연마하여 용접 결합부를 제거하고 다시 용접을 함으로써 본 탈황조를 연장하여 사용할 수 있었다.

#### 2. 탈황조의 구조와 재질

탈황조는 길이 11,844 mm 직경 1,981 mm의 실린더형

이며 그 두께는 30 mm이다. 또한 실린더의 양쪽은 직경 1,981 mm의 반구로 밀폐되어 있다.

탈황조의 설계 압력과 사용 온도는 28 kg/cm<sup>2</sup>과 455°C이지만 실제 사용 압력은 24.5 kg/cm<sup>2</sup>과 400°C이다.

탈황조의 기능상 안쪽은 스테인레스강이어야 하며 바깥쪽은 보일러용 탄소강이어도 무방하다. 이러한 요구에 의하여 탈황조는 스테인레스 클래드강으로 제작되었다. 스테인레스 앞대기재는 내부식성 고온 재료인 마르텐사이드 계의 스테인레스이며, 용접 구조의 압력용기

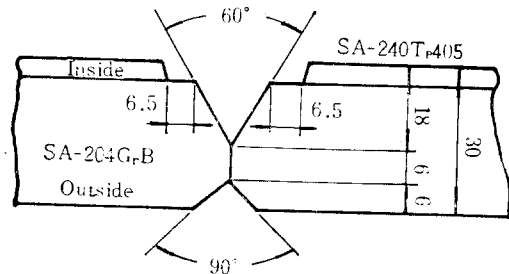


그림 1. 탈황조에 사용된 스테인레스 클래드강 (재료 규격은 ASME)

\* 진해화학주식회사, 정희원

\*1) 클래드강(clad steel)의 명칭은 통일되어 있지 않고 있다. 즉 그림 1에서 스테인레스는 cladding, lining 등으로 불리어지고, 저합금 고강력강(SA 204)은 parent metal, base plate, backing steel, 모재 등으로 지칭된다. 본고에서는 접합(cladding)의 형상을 고려하여 스테인레스에 해당하는 부분을 앞대기재(材), 강에 해당하는 부분을 뒤대기재(材)로 지칭한다. 또한 본 탈황조의 구조 재료를 앞대기재와 뒤대기재를 총칭하여 스테인레스 클래드강이라고 지칭한다.

표 1. 탈황조에 사용된 클래드강의 화학 성분

Elements	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo	Ni	Others
SA 240 Tp 405	0.08	1.00	0.04	0.03	1.00	11.50-14.50	—	0.60	0.10-0.30 Al
SA 204 Gr B	0.23	0.9	0.04	0.03	0.13-0.32	—	0.45-0.60	—	—

에 흔히 쓰이고 있다. 반면 모재부는 망간을 약간 함유한 저합금강이다. 표 1은 ASME에서 규정하고 있는 SA 240 Tp 405와 SA 204 Gr B의 화학 성분을 표시한다. 또한 SA 204 Tp 405의 최소 항복 강도와 최소 인장 강도는 각각 25 ksi와 60 ksi이며 SA 204 Gr B의 최소 항복 강도와 인장 강도는 40 ksi와 70~90 ksi이다.

제작 당시의 탈황조 원주 방향 및 길이 방향 용접이

음부의 홈 형상은 그림 2에서 보는 바와 같이 뒤대기재는 양면 홈이며 앞대기재는 보다 넓은 홈이다.

### 3. 탈황조의 노후도 검사

탈황조의 외부 단열재 피복으로 인하여 외부 검사가 곤란하기 때문에 탈황조 내부에서 노후도 검사를 하였다. 앞대기재인 스테인레스에 어떤 결함도 발견할 수 없었다. 외부 검사는 1차로 용접선을 따라 초음파 탐사를 하였다. 4 MHz 45°의 초음파 탐촉자를 이용하여 탐상한 결과 용접선과 평행하여 헤어 크랙(hair crack)이 확인되었다. 초음파 탐상에 의하여 결함이 탐지된 부분 중 그 일부분을 매끈하게 연마하여 표면 칩투 검사를 하였다. 표면 칩투 검사에 의하여 균열의 존재를 확인할 수 있었다. 원주 방향 용접선과 길이 방향 용접선(weld seam)이 교차하는 곳은 균열의 가능성이 가장 높은 곳으로 여겨 방사선 투과 검사를 하였다. 그림 2는 초음파 탐상에 의하여 결함이 확인된 부분을 나타낸다. 또한 표 2의 결함의 길이를 나타낸다.

### 4. 보수용접

#### 4.1 용접준비

결함 부위를 7 mm 깊이로 균일하게 연마한 후 표면 칩투 검사를 하였다. 검사 결과 결함이 존재하면 그림 3에서 보는 바와 같이 다시 연마하여 결함 부위를 완전히 제거하였다. 홈 형상을 U형에 가깝도록 가공하여 첫번째 용접(first bead)시 균열의 발생을 억제하도록

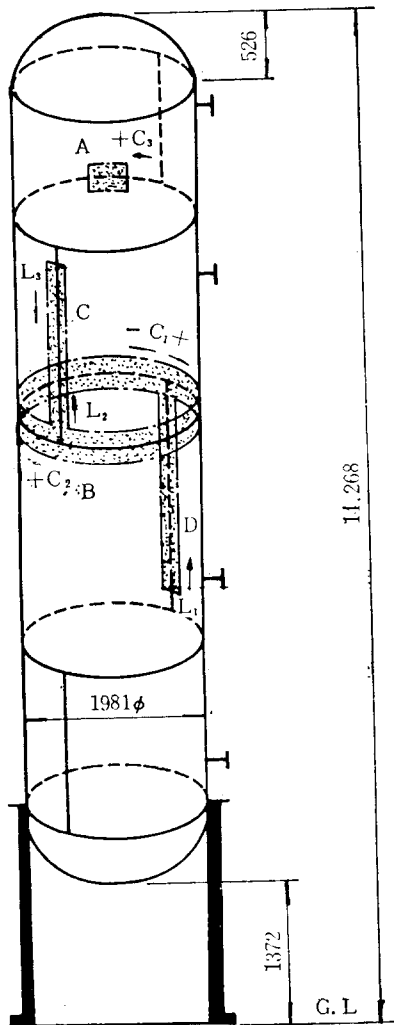


그림 2. 탈황조의 구조

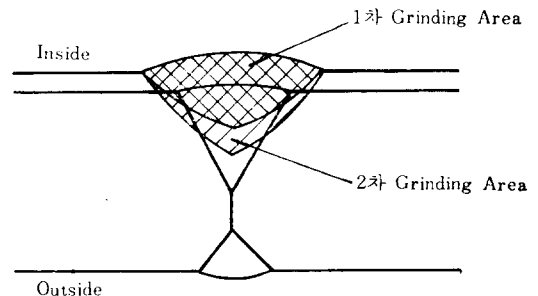
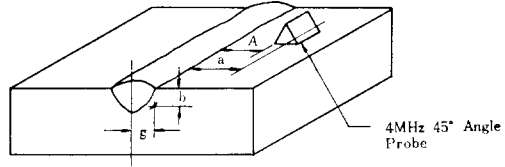


그림 3. 클래드강의 용접준비

표 2, 초음파상 결과

Plant Name: Ammonia Plant  
 Item Name: V 105(Desulfurizer)  
 Weld type  
 Thickness: 32 mm  
 Transfer Correction: dB



No	Prob Pos.	Echo Pos.	A/mm	a/mm	Defect Localization			Size Estimation
					g/mm	b/mm	L/mm	FBH/mm
1	1	4.5	23	45	+ 6	2	L <sub>1</sub> =245-340	4.3
2	1	4.4	23	44	+ 7	3	L <sub>1</sub> =870-930	2.5
3	1	4.9	20	49	- 1	1	L <sub>1</sub> =1190-1390	3
4	1	4.6	32	46	+14		L <sub>1</sub> =1770-1800	3
5	1	4.7	24	47	+ 5		L <sub>1</sub> =1670-1970	3
6	1	4.9	5	49	-12		C <sub>1</sub> =125-190	2.5
7	1	3.7	23	37	+14		C <sub>1</sub> =305-640	4
8	1	4.5, 4.7	13	45, 47	-4, - 6		C <sub>2</sub> =-330--150	2.5
9	1	4.6	5	46	-13		C <sub>2</sub> =190-110	2
10	1	4.9	21	49	0	+2	C <sub>2</sub> =540-710	2
11	1	4.7, 4.9	26	47, 49	+7, -13	0, +2	C <sub>2</sub> =1160-1440	0.5
12	1	4.9	5	49	-16	+2	C <sub>1</sub> =-880--1230	3
13	1	5.6	37	56	9	-5	L <sub>3</sub> =760	5
14	1	3.6	12	36	- 4	-9	C <sub>3</sub> =600-660	4

하였다. 언마 길이는 한개의 용접봉으로 용접할 수 있는 길이가 될 수 있게끔 약 40 cm 로 하였다. 용접선이 길 경우 용접열의 집중에 의한 균열의 발생 가능성이 있기 때문에 40 cm 정도로 제한하여 균열이 일어나지 않도록 하였다. 또한 용접 작업자의 안전을 위하여 탈황조의 맨홀을 통하는 급배기 통풍 duct를 설치하였다. 강제 통풍에 의하여 탈황조 내의 유해물질과 용접시 발생하는 매연을 탈황조 밖으로 뽑아내고 용접 작업자에게 신선한 공기를 공급하였다.

4. 2 예 열

앞대기재는 마르텐사이트계 스테인레스강으로 오오스테나이트계 용접봉을 사용할 경우 예열은 필요하지 않다. 그러나 뒤대기재(ASTM A 402 Gr B)는 소량의 Mn, Si, Mo 등이 첨가된 저합금 고장력강으로서 예열을 요하고 있다. 일반적으로 저온 균열, 잔류 응력 경감, 열영향부(HAZ)에서의 경도치 경감, 용접 변형 경감을 이루기 위하여 예열이 흔히 사용된다. 특히 저온 균열은 마르텐 사이트 조직이 지나칠 정도로 많이 형성 되었을 때 일어나므로, 냉각 속도를 적당히 조절하여 마르텐 사이트 조직으로의 변태를 억제한다. 마르텐 사이트 조직은 그 변태 개시 온도 Ms에 의하여 조절되며, Ms는 합금 성분에 의하여 좌우된다. 이와 같은 이유로 용접시 예열 온도를 탄소 당량의 함수로 나타내는

방법이 쓰이고 있다. 탄소 당량을 나타내는 함수는 여러 가지가 제안되어 있으나 저자는 다음 식을 이용한다.

$$C_{eq} = \%C + \frac{\%Mn}{6} + \frac{\%Ni}{15} + \frac{\%Mo}{4} + \frac{\%Cr}{4} + \frac{\%Cu}{13}$$

상기 식은 다음과 같은 탄소강 및 저합금강인 경우에 적절하게 사용되어질 수 있다.

$$C \leq 0.5\%, Ni \leq 3.5\%, Cr \leq 1.0\% \\ Mn \leq 1.6\%, Mo \leq 0.6\%, Cu \leq 1.0\%$$

상기 식에 의한 탄소 당량에 대한 예열 온도는 표 3 과 같다.

표 3. 탄소당량과 예열온도

탄소 당량 %	예열 온도 °C
C <sub>eq</sub> ≤ 0.45	임의
0.45 < C <sub>eq</sub> ≤ 0.6	100-200
C <sub>eq</sub> > 0.6	350

뒤대기재의 탄소 당량을 상기 식에 의하여 계산하면 약 0.56%이기 때문에 예열 온도를 160°C 로 선정하였다.

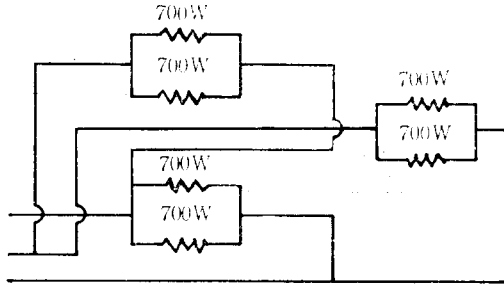


그림 4. 예열 및 후열을 위한 열선의 결선

예열은 전기 저항열을 이용하였다. 즉 가정용 전기 히터를 대체하여 열선을 그림 4와 같이 결선하여 예열하는데 사용하였다. 예열 부위는 맞대기 이음선 양쪽으로 하였으며 그 폭은 아래와 같다.

$$\text{예열폭} = \text{비이드폭} + 2 \times \text{뒤대기재의 두께}$$

예열 중의 열 손실을 막기 위하여 석면 담요를 전열선 위에 덮어두었다. 또한 예열 온도를 측정하기 위하여 온도 크레온(상품명, Tempil Stick)을 비이드 중앙으로부터 1.7t(t는 뒤대기재 두께)에 칠하였다. 층간 온도 측정시에는 온도 크레온에 의한 용접부의 오염을 일으킬 염려가 있기 때문에 열전대(thermocouple)를 사용하여 층간 온도를 측정하였다.

### 4. 3 용접봉의 선택

뒤대기재(ASME SA204 Gr B)를 용접할 때, 용접봉의 선택은 뒤대기재의 화학 성분, 용접부의 강도, 기포 방지와 수소 유기성 균열을 고려하였다. 위 여러 가지 사항을 감안하고 입열량을 낮추기 위하여 사용된 용접봉은 AWS E-7016 A, 2.4 mmφ이었다. 또한 용접봉은 350°C에서 1시간 동안 건조시켜 사용하였다.

뒤대기재와 앞대기재(ASME SA204 Gr B) 경계부에서 오오스테나이트 계통의 용접봉을 사용하여 뒤대기재에 의한 앞대기재 용접부의 화학 성분을 유지할 수 있도록 하는 것이 필요하다. 이러한 목적을 위하여 AWS E 309-16 2.4 mmφ 용접봉이 앞대기재와 뒤대기재의 경계부 용접에 사용되었다. 또한 170°C에서 30분간 용접

봉을 건조하여 용접을 행하였다.

앞대기재를 맞대기 용접할 때에 클래드와 같은 마르텐사이트 계통의 용접봉인 AWS E 410 용접봉의 사용을 생각할 수 있다. 그러나 마르텐사이트 계통의 용접봉을 사용할 경우는 열처리가 요구되고 있다. 따라서 열처리를 피하기 위하여 오오스테나이트 계통의 AWS E 310-16 2.4 mm φ의 용접봉을 사용하였다. 또한 용접봉을 170°C에서 30분간 건조시켜 사용하였다.

### 4. 4 용 접

용접은 먼저 뒤대기재를 용접하였다. 뒤대기 용접시의 전류는 70~100 amps이었다. 그 다음 뒤대기와 앞대기 경계부에서는 40~70 amps의 전류 범위에서 용접을 행하였다. 마지막으로 앞대기재 용접을 하였다. 앞대기 용접의 경우는 예민화(sensitization)를 막는데 주의 기울여야 한다. 예민화는 아아크 길이가 길 경우 발생하기 쉽다. 용접부 및 그 주위에서 크롬이 탄소와 결합하여 크롬 카바이드를 형성할 때 예민화가 발생한다. 예민화는 입열량을 적게 함으로써 즉 아아크 길이를 작게 함으로써 막을 수 있다. 또한 아아크를 끊기 전에 크레이터를 채움으로써 크레이터 균열을 억제하였다. 앞대기재 용접시 사용된 전류는 60~75 mm이었다.

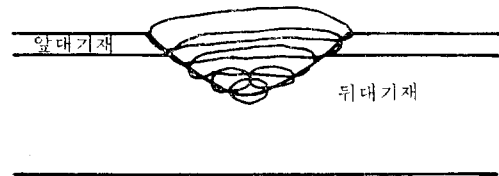


그림 5. 클래드강 용접시 적층 순서

### 5. 후처리

후열처리는 용접에 의하여 발생한 잔류 응력을 감소시키기 위하여 흔히 이용되고 있다. 앞대기재의 경우는 오오스테나이트 계통의 용접봉을 택하여 후열처리를 하지 않아도 되었다. 그러나 뒤대기재의 경우는 650—

표 4. 탈황조 보수 용접시 사용된 용접봉의 화학 성분

elements	C	Mn	Si	Cr	Mo	Ni	Va	P	S
AWS E 309-16	0.12	2.5	0.90	22-25	—	12-14		0.04	0.03
E 310-16	0.20	2.5	0.75	25-28	—	20-22.5		0.03	0.03
E 7016A		1.25	0.90	0.20	0.30	0.30	0.08		

700°C 까지 가열할 수 없었다. 따라서 본 보수 용접 공사에서는 200°C 까지 가열하여 1시간 동안 유지함으로써 후열처리를 마쳤다. 그러나 탈황조 구조 재질인 스테인레스 클래드강을 용접할 때 봉경이 작은 용접봉을 사용함으로써 입열량을 낮췄다. 뿐만 아니라 탈황조의 가동 온도가 400°C 이기 때문에, 가동 중 후열처리의 효과를 받을 것으로 믿어진다. 이러한 이유로 요구되는 후열 온도에서 후열처리를 하지 않았음을 크게 염려하지 않아도 되었다.

보수용접이 완전히 끝난 후 초음파 탐상법으로 탈황조의 보수 용접부를 검사하였다. 그 결과 어떠한 용접

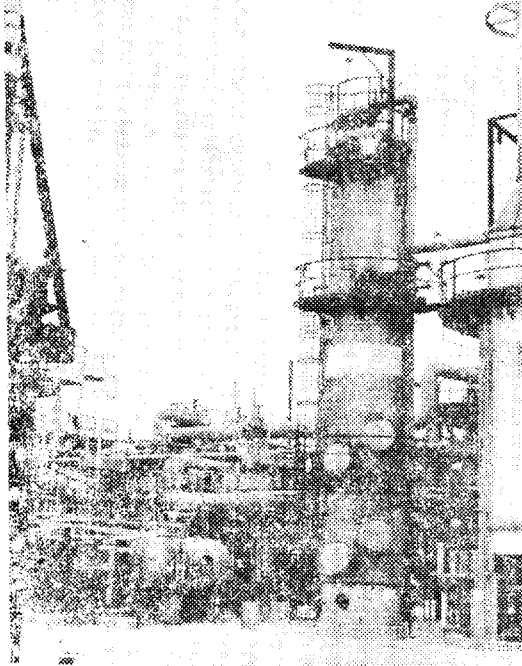


사진 1. 보수 용접후의 탈황조

결함도 발견되지 않았으며, 탈황조의 정상적인 가동이 가능하였다. 사진 1은 보수 용접이 끝난 후의 탈황조를 나타낸다. 탈황조의 중간 부분의 힌 떠 모양은 보수 용접후에 단열재를 다시 피복한 것을 나타낸다. 현재 본 공장에서 암모니아는 더 이상 생산되지 않는 관계로 탈황조는 가동하지 않는다.

### 6. 결 론

앞에서 설명한 바와 같은 방법으로 현장의 기존 시설인 탈황조의 보수 용접한 것에 대하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 결합 부위 제거 방법으로는 발열량을 최소화 시킬 수 있는 연타 방법이 바람직하다.
- 용접봉 크기는 입열량을 적게 하기 위해서 봉경이 가장 적은 것이어야 하며, 본 탈황조 용접에는 2.4 mmφ의 용접봉이 사용되었다.
- 뒤대기재인 ASME SA-204 Gr B의 용접에는 저수소계 계통의 용접봉인 AWS E 7016 A가 적합하다.
- 앞대기재인 ASME SA-240 Tp 405의 용접에는 오스테나이트 계통의 AWS E 310이 적합하다.

### 참 고 문 헌

1. Howard Gary, *Modern Welding Technology* Prentice Hall Inc.
2. 최선철, "용접해설", 1978
3. ASM, "Properties and Selction of Metals", *ASM Handbook* Vol.1, 8th ed.

### {광}{고}{모}{집} {안}{내}

본 학회에서는 년 2회에 걸쳐 대한용접학회지를 매회 1,500부씩 발간하여 전회원과 정부기관, 전국관공서, 주요기업체, 학회단체, 학교등에 발송하고 있습니다.

귀 일체를 홍보코자 하시는 각 기업체께서는 본 회지 광고란을 많이 이용해 주시기 바랍니다.

본 학회의 발전과 운영을 위하여 많은 협조 있으시기 바랍니다.

대한용접학회 사무국