

LNG 저장탱크의 현장용접 시공기술의 현상 및 전망

이 광 희* · 전 혁 성**

Status and Prospect of Site Welding Technology for LNG Storage Tank

Kwang-Hee LEE* and Hyuk-Sung JEON*

1. LNG 저장탱크의 건설동향

LNG를 저장할 수 있는 탱크는 주로 지상식이거나 반지하식이며 그 용량은 매우 다양하다. 우리나라에서는 지상식 탱크가 평택 인수기지에 10만³급 Membrane Type 6기가 건설되었고 1기는 거의 완성단계이며, 현재 추가로 건설 중인 3기를 포함하면 총 10기의 탱크를 확보하게 된다. 또한 제 2 인수기지인 인천에도 동급으로서 9%Ni강을 사용하는 Double Wall Type LNG 탱크 3기를 건설 중이다.

전세계적으로 볼 때 LNG 저장 탱크의 78%¹⁾는 지상식으로서 Double Wall Type 또는 Membrane 저장 탱크 형식을 취하고 있으나, 최근에는 안전성 측면, 토지 가격의 상승, 토지의 합리적 이용 측면 등을 감안하여 LNG 탱크를 지하화, 대형화하는 추세이다.

2. LNG 貯藏 Tank의 熔接 施工

본고에서는 Fig. 1과 같은 구조의 Double Wall Type LNG 저장탱크 중 초저온의 LNG에 직접 접하는 저온용 재료(9% 니켈강)로 만들어지는 내조 용접에 대해서 중점적으로 논하기로 하며, 특히 9% 니켈강 Shell Plate Horizontal Joint에 채용되는 Automatic

Submerged ARC 용접에 대해 실제 현장 용접 시공 상태를 나타내고자 한다.

Double Wall Type에 사용되는 재료는 Table 1과 같고²⁾, No.1 & 2 에 나타난 바와 같이 주로 사용되고 있으며, 전체적인 용접 시공 Plan은 Fig 2와 같다.³⁾

2.1 적용재료

현재 9% 니켈강이 널리 이용되는 이유로는 LNG의 저장온도 약 -162°C 의 초저온하에서 뛰어난 인성을 보유하는 외에 열팽창 계수가 작고 열강도가 높다고 하는 물성을 갖고 있는 점과, 또한 절단, 굽힘가공이나 용접성에도 뛰어나다.

9% 니켈강용 용접재료는 1966년에 액체산소 저장탱크에 적용한 것이지만 일본에서는 최초였으며, 사용한 용접봉은 Inconel계의 피복 아크 용접봉이었다.

그후, 자동 용접을 추진하던 중에 용접금속의 고강도화 향상의 관점에서 자동용접(Automatic Submerged Arc Welding)에는 하스테로이(Hastelloy)계 니켈 합금이 채용되어 1985년 JIS로 제정되었고, Double Wall Type LNG Tank 경우도 Table 3과 같은 용접재료를 사용하고 있다.³⁾

9% 니켈강용의 용접 재료로서 요구되는 특징을 보면 :

- 초저온하에서 용착금속의 Notch 인성이 뛰어날

* 학생회원, 대림산업(주), 연구기술본부, 플랜트설계연구부

** 비회원, 대림산업(주), 연구기술본부, 플랜트설계연구부

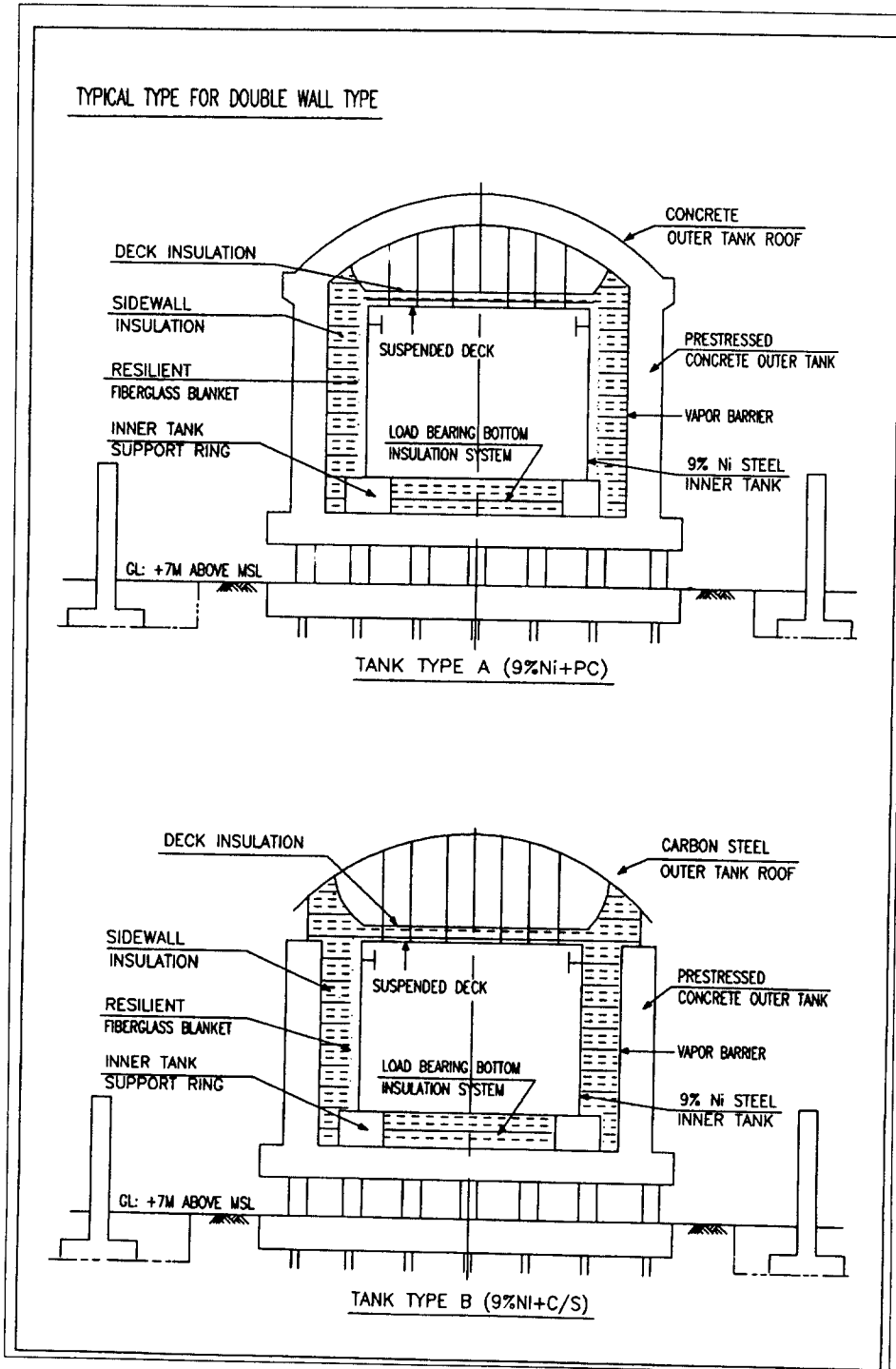


Fig. 1 지상식 LNG 탱크

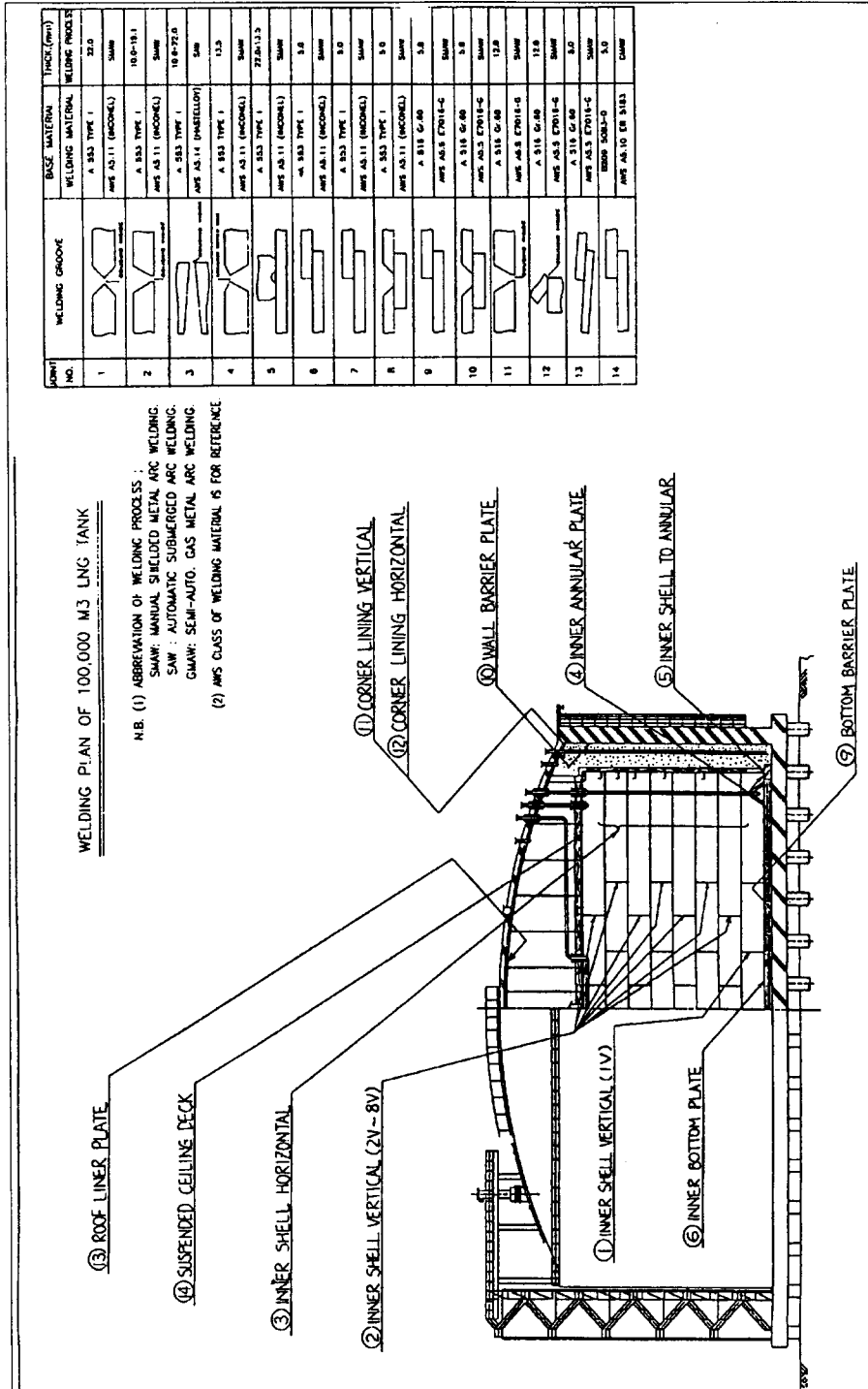


Fig. 7 WELDING PLAN OF 100,000m³ LNG TANK

Table 1. 10만m³, Double Wall Type에 사용되는 9% Material List

No.	Material	Used for	Additional Requirments
1	ASTM A553M-90 Type 1 (9% Ni Plates)	- Inner tank shell plates - Inner tank bottom annular plates - Inner tank bottom plates - Inner tank top girder (Cryogenic temp. service)	- S=max. 0.005% - P=max. 0.005% - Impack tests, average 70J (longitudinal at -196°C) & L.E. 0.381 mm - UT - Magnetism below 50 gauss
2	ASTM A353M-90 (9% Ni Shapes)	- Inner tank shell stiffeners (Cryogenic temp. service)	- S=max. 0.005% - P=max. 0.005% - Impack tests, average 70J (longitudinal at -196°C) & L.E. 0.381 mm - Magnetism below 50 gauss

Table 2. 9%니켈강 LNG 탱크용 용접재료의 용착금속 성능

용접방법	JIS 규격	제조사 명	용착 금속의 화학 성분(%)											0.2% 내력 kgf/mm ²	인장 강도 kgf/mm ²	연신율 (%)	VE-196 kgf-m
			C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	W	Nb	Fe				
SMAW	Z3225 D9Ni-1	YAWATA WELD B(M)F	0.09	0.31	3.21	0.008	0.006	67.7	14.9	2.20		1.68	9.87	42.8	69.4	41.0	6.5
		NIC-706	0.08	0.34	2.02	0.004	0.003	67.2	14.3	4.0	0.6	1.7	9.8	43.0	70.0	45.0	6.8
	Z3225 D9Ni196	NITTETSU WELD196 FILLER196	0.04	0.13	2.17	0.002	0.002	75.3	-	17.56	3.15	-	2.46	45.2	75.7	46.0	11.3
GTAW	Z2221 YGt9 Ni-2	TGS-709S	0.03	0.29	1.00	0.003	0.002	68.3	1.9	18.30	2.8	-	7.4	46.0	74.0	46.0	8.1
		NITTETSU FILLER196	0.02	0.03	0.03	0.003	0.005	74.0	-	19.40	2.75	-	1.21	49.7	75.7	40.1	16.0
SAW	Z3333 FS9Ni-H	TGS-709S	0.02	0.01	0.01	0.001	0.001	70.5	2.0	19.10	2.9	-	5.5	48.0	78.0	49.0	15.0
		NITTETSU FILLER196 NITTESU FLUX0H	0.03	0.40	1.15	0.006	0.004	73.2	-	19.40	2.93	-	2.53	40.6	71.5	49.0	8.0
		US-709 PRN-4	0.03	0.74	0.58	0.002	0.001	62.2	1.7	17.20	2.7	-	14.9	41.0	70.0	42.0	8.5

것.

- 용접 금속의 강도가 9% 니켈강 정도일 것.
- 용접 금속의 열팽창 계수가 9% 니켈강에 근접할 것.
- 용접성 및 작업성이 뛰어나는 것.

등을 들 수 있으며 용접 시공의 대부분이 현장에서 이루어지고 있고 국내 현장에서 적용되고 있는 용접재료는 Table 2와 같다.⁴⁾

3. 내조(內槽)의 용접 방법

현재 9% 니켈강 LNG 저장 탱크에 적용하고 있는 용접 방법은 앞서 Fig 2에서와 같이 SMAW(Manual Shielded Metal Arc Welding), SAW(Automatic Submerged Arc Welding), GMAW(Semi-Auto Gas Metal Arc Welding) 등이 채용되고 있으며, 이밖에 자동 TIG용접법이 적용되는 경우가 있으나 Double Wall Type LNG TANK에는 SAW을 주로 사용하고 있다.

Table 3. 용접 재료

Welding Process	Classification	Application
SAW	AWS A5.14(Hastelloy)	Inner Shell Horizontal
SMAW	AWS A5.11(Inconel)	Inner Shell Vertical Inner Annular Plate Inner Shell to Annular Inner Bottom Plate
	AWS A5.11(Hastelloy)	Repair of Shell Horizontal
	AWS A5.4 E308L-16	Stainless steel
	AWS A5.4 E308L-16	Stainless steel
	AWS A5.5 E7016-G	Corner Lining Vertical Corner Lining Horizontal Bottom Barrier Plate Roof Liner Plate Wall Barrier Plate
	AWS A5.1 E6019	Mild steel
GTAW	AWS A5.9 ER308L	Stainless steel
	AWS A5.18 ER70S-G	Carbon steel
GMAW	AWS A5.10 ER5183	Suspended Ceiling Deck

3.1 SMAW(Manual Shielded Metal Arc Welding)

SMAW는 9% 니켈강의 용접중에서도 기본적인 방법이나, 용기의 대형화에 따라 작업 능률의 향상과 품질의 균일화를 목적으로 자동용접의 범위가 확대되어 현재는 주요 용접 이음매는 자동용접으로 대체되고 있다.

그러나 Cone형 탱크를 제외한 부분에서 Vertical 부분은 아직도 자동화가 되지않고 있으며 복잡한 구조나 용접선이 짧고, 자동화가 미치지 않는 상부 골조 부분, 보강 부재 등의 부속품을 포함하는 2차 부재에 대해서는 대부분 SMAW이 사용되고 있다.

3.1.1 용접전 준비

- 용접할 홈이나 면은 Brushing이나 Grinding으로 Scale, Slag, Grease 및 녹을 제거해야 한다.
- 9% Ni강에 대한 자격을 갖춘 용접사는 승인된 용접 자재와 Stamp No.가 찍힌 I.D 카드를 소지하여야 한다.
- 용접전에 탱크내의 대기온도, 습도조건을 Check해야 한다. 만약, 습도가 95% 이상일 때는 용접을 수행해서는 안된다.

- 용접부의 잔류 자기가 50 Gauss보다 많을 때 자석에 의해 중화되지 않으면 작업을 할 수 없다.

3.1.2 용접봉 관리

- 용접봉을 받았을 때, 용접 관리자는 Type, Size, 상표 등을 Check해야 한다.
- 용접봉은 비나 물로 부터 보호되어야 하며 지붕이 있는 장소에 보관하여야 한다.
- 용접봉은 건조 OVEN에서 300~350 °C로 1~2 Hr 굽거나 구운 후 100~150 °C에서 유지한 후 사용하여야 한다.
- 용접봉이 불출될 때 용접 자재 관리자는 Type, Size, Batch Number 및 수량을 점검하여야 한다.
- 불출된 용접봉은 전기통 안에서 보관되어야 하며 용접봉은 4시간 이상 대기에 노출된 경우에는 용접에 사용하지 말아야 하며 용접 관리자에게 반품 되어야 한다.
- 용접봉 관리자는 관리 대장에 비사용된 용접봉은 수취하여 기록되어야 한다.
- 반납된 용접봉은 Size, Batch No. 구운 횟수 등을 표시하여 용접봉 보관 Oven에 분리 보관하거나 설계된 Box에 저장되어야 한다.

- 최대 용접봉 구운 횟수는 3번 이어야 한다. 그러므로 각 용접봉을 굽는 주기는 용접부 끝 부분에 열에 강한 Paint로 표시하여야 한다.

- 용접 결함 방지를 위해 날카롭게 파인 표면을 매끄럽게 갈아야 한다.

3.1.3 용접 시공

- 용접은 승인된 WPS에 따라 수행하여야 한다. 단, 지름 $\phi 5\text{mm}$ 의 용접봉은 Vertical(3G/3F)와 Overhead(4G/4F) 자세에는 사용할 수 없다.
- 용접봉의 지름과 용접자세에 대한 용접 전류는 다음의 범위를 유지하여야 한다.

Diameter Position	Diameter		
	$\phi 3.2$	$\phi 4$	$\phi 5$
FLAT(1G/1F)	80-100 A	110-140 A	140-170 A
HORIZONTAL(2G/2F)	80-100 A	110-140 A	140-170 A
VERTICAL(3G/3F)	70- 90 A	100-130 A	NOT TO APPLY
OVERHEAD(4G/4F)	70- 90 A	100-130 A	NOT TO APPLY

- 용접의 입열은 45 KJ/cm 이하로 조절되어야 한다.
- 각 용접부의 Crater 나 Bead는 전기 그라인더에 의해 갈아 내어야 한다.

3.2 SAW(Automatic Submerged Arc Welding)

Double Wall Type LNG 저장 탱크는 평저 원통형이므로 판의 원주 이음매를 자동화함에 따라, 작업능률의 향상을 도모하고 공사 공정을 단축할 수 있다.

따라서 Oil Storage Tank에 이용되어온 SAW 용접법의 Horizontal 자동 용접기가 9% 니켈강 LNG 저장 Tank 용접에 개량되어 적용되고 있다.

3.2.1 SAW 용접 시공기준

본 용접은 수평 SAW 용접을 채용하는 LNG 저장 Tank Shell Plate Horizontal의 현장 용접시공에 적용하는 것으로 하면 시공기준은 다음과 같다.

- 적용범위 : 두께는 6mm 이상 40mm 이하, 판

Table 4. 표준 개선 형상(X 개선)

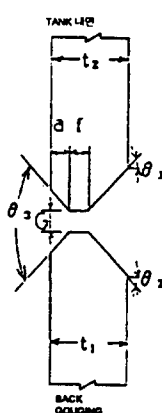
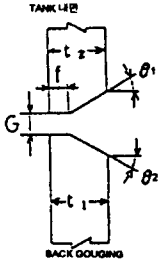
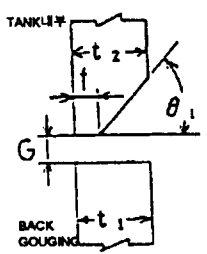
개 선 형 상	t_1 (mm)	t_2 (mm)	a (mm)	f (mm)	θ_1 ($^\circ$)	θ_2 ($^\circ$)	θ_3 ($^\circ$)	G (mm)		
	32	32	7	3	35	20	90	1		
		31	6	↑	↑	↑	↑	↑		
		30	6							
		29	6							
		28	5				↓			
		27	5				20			
		26	5				25			
		25	4				↑			
		24	4							
		23	4							
		22	3							
		21	3				↓	↓	↓	↓
		20	3	3	3	35	25	90	1	

Table 5. 표준 개선 형상(V 개선)

개 선 형 상	t ₁ (mm)	t ₂ (mm)	a (mm)	f (mm)	θ ₁ (°)	θ ₂ (°)	θ ₃ (°)	G (mm)	
	19	19	19	3	35	25		0.5	
		18		↑	↑	↑		↑	
		17							
		16							
		15							
		14							
		13							
		12							
		11							
		10							
	8	8	8	3	35	25		0.5	
		7		7	3	55			0.5
		6			3	55			0.5

폭은 1.8m 이상 3.2m 이하

- 용접기기 : 용접기 본체 CAL-SH ; TKK 산, LAF-5 ; LINCOLN 산
- 용접 전원 : 직류 역극성, 수하특성. 정격 입력 전압 AC220V 50/60 HZ 3상, 정격 입력 60KVA, 최대출력 전류 800A, 최대출력전압 40V

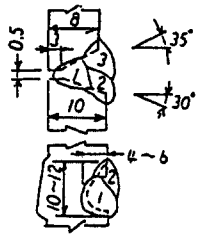
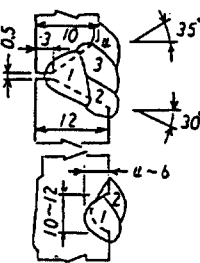
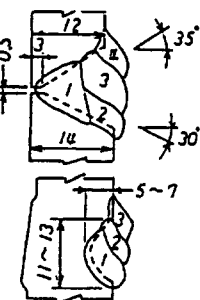
이며, 개선 형상을 Table 4와 Table 5에 표준 용접 조건을 Table 6에 표시한다.

3.2.2 용접 시공 절차

용접 절차는 용접 시방 절차서(WPS)에 따라야 하며 SAW 용접법의 본 용접 준비 사항으로서 준비 사항은 다음과 같다.

- 용접장치의 수리 및 조정
맞지 않는 부분이 있으면 조정, 개량 및 수리, 마모된 소모품이 있으면 교환한다.
- 용접 Start 위치 결정
조립담당자와 협의, 용접 Start 위치를 결정한다.
- MG 및 gas의 배치
용접 start 위치에 대한 MG를 배치한다. 또 예열용 산소, propane gas를 옆에 배치한다. (전도 방지대책을 강구할 것)
- 용접기의 탑재
용접 start 위치에 용접기를 탑재한다.
- 용접재료의 준비
용접재료는 전술된 용접재료의 관리에 따라 필요한 양을 준비한다.
또한 본 용접에 대한 주의사항은 다음과 같다.

Table 6. 2.4 mm ϕ wire 표준 용접 조건(8-14t)

판두께	적층도	Pass No.	전류 A	전압 V	속도 cm/min	입열 J/cm
8×10		B-1	300~320	26~28	40~45	12,600
		-2	350	26~28	35~45	14,200
		-3	380~400	24~26	45~55	11,700
		F-1	350	26~28	35~40	15,100
		-2	380~400	24~26	40~50	13,000
10×12		B-1	300~320	26~28	40	12,600
		-2	350	26~28	35~45	14,200
		-3	350	26~28	35~45	14,200
		-4	380~400	24~26	45~55	11,700
		F-1	350	26~28	35	14,200
		-2	380~400	24~26	40~50	13,000
12×14		B-1	300~320	26~28	40	12,600
		-2	350	26~28	35~45	14,200
		-3	350	26~28	35~45	14,200
		-4	380~400	24~26	45~55	11,700
		F-1	350	26~28	35	14,200
		-2	350	26~28	40~45	12,600
		-3	380~400	24~26	45~55	11,700

- 예열은 원칙적으로 실시하지 않는다. 단, 현장에 따라 root pass만 예열하는 경우가 있다.
- 층간 온도는 150℃ 이하로 한다.
- Arc의 발생은 직접 개선내에 한다.
- 각 pass 공히 연속 용접을 한다.
- 각 pass 공히 육안검사를 하고 극단적으로 bead 형상 불량 및 유해한 용접결함을 완전히 제거, 필요에 따라서 자동 용접 또는 피복 Arc 용접을 한다.

3.3 자동 TIG 용접법(Automatic Tungsten Inert Gas Welding)

9% 니켈강의 Vertical 용접은 초기에 피복 Arc 용접법이 주로 적용됐지만 1972년경 부터 LNG 저장탱크의 내조 측판 중 이음매에 하스테로이제 합금을 용접 재료로서 적용하기 시작했다. 그 후 자기 제어 장치(MC)를 구비함에 따라 용착 속도를 종래의 약 2배로 높인 자동 TIG 용접법이 가능하게 되고 있다.

4. 외조의 용접시 방법

Double Wall Type LNG 저장 Tank의 외조는 내조에서 전열도를 받는 일부분을 제외하고는 일반적으로 연강재를 사용되고 있다.

구조적으로는 내조와 거의 동일한 형식이며 외조의 주목적인 보냉재의 유지를 위한 것이다.

따라서 외조에 적용되고 있는 용접 시공법은 OIL Storage Tank의 용접 기술이 그대로 반영 적용되고 있다.

5. 용접 이음매의 품질

용접 이음매의 성능에 관해서는 LNG 저장 탱크의 안정성을 추구하는 관점에서 취성파괴의 발생저지 및 만일 균열이 발생된 경우의 전파정지 성능에 대해 오래전부터 연구가 이루어져 있다.

용접 이음매는 오스트나이트계 고 니켈합금의 용접금속이므로 본래의 재료 특성으로부터 취성 파괴의 위험은 없으므로 만일 모재에서 균열이 발생하였다 하여도 용접부에서 균열의 확산을 정지시키는 성능을 갖고 있다.

9% 니켈 강판의 취성 파괴에 대한 안정성과 함께 용접 이음매의 안전성은 충분히 고려되어지고 있다.

6. 용접기술 과제와 전망

LNG 저장탱크의 내조용 재료인 9% 니켈강에 적용하는 용접시공법에 대해 상술한 바와 같이 9% 니켈강의 제강기술, 용접기술 및 운용, 용접방법 등은 장기간 지속된 연구 개발의 성과로 인해 현재로서는 안정된 기술로 평가받고 있다.

6.1 자동 용접 능률화의 개선

저장탱크의 주요 이음매에 많이 적용하고 있는 현재의 자동 TIG 용접은 장치의 연구 개발에 의해 진술한 바와 같이 수동 TIG 용접보다 수배의 용착속도를 가지게 되었다.

용착속도의 향상은 보다 좋은 품질을 확보할 뿐만 아니라 현장 용접이 어려운 환경에 있는 조작수의 작업을 경감하는 효과도 있다.

현재 자동 TIG 용접에서 대전류를 이용한 복수 용가 와이어 방식이나 와이어 송급기구의 채용에 의해 고용착률화를 꾀하기 위한 검토가 진행되고 있으며 또한 Submerged Arc 용접에서는 대전류의 세경 와이어를 이용하는 고전류 밀도화를 꾀한 고용착률화 용접 방식이 개발되어 일부에서 적용되고 있다.

앞으로는 이와같은 고용착률화된 용접기 장치의 연구개발을 지향하게 될 것이다.

6.2 자동 용접재료 개발

주요 이음매가 자동 용접화되고 있는 현재에도 숙련된 용접공에 의한 피복아크용접에 의존하는 부분이 적지 않다. 일반 탄소강에서는 MAG 용접에 의한 반자동 용접이 주류이며 능률화에 기여하고 있다.

9% 니켈강에 관해서는 자동 MAG 용접이 지금까지 실용화되지 않지만 조만간 용접재료가 개발이 필요하다.

6.3 자동 용접에 의한 인력 절감

지금까지 국내 Tank 용접에서는 자동화가 Horizontal 용접에만 적용되거나 용접 이음매가 긴 Cone Type Tank의 vertical 용접에 대해서만 실용화되고 있으나 용접 이음이 비교적 짧은 평저 원통형의 Vertical에서도 용접층이 다층인 경우도 자동화가 실용성이 있다고 생각된다.

또한, 용접이 현재 적용하고 있는 자동 용접기라 불리는 용접기는 조작수의 상시 감시 및 기계의 제어를 필요로 하므로, 완전한 자동 용접기라고는 말하기 어려우며 기계 용접기인 셈이다.

또 조작수는 수동 용접사와 같이 기능 의존도가 높으므로 숙련을 필요로 하고 있다.

조작수가 용접기를 제어하지 않고 이상이 생긴 경우만 대응하는 정도의 자동 용접기가 요구되고 있다.

7. 맺 음 말

LNG 저장 탱크의 9% Ni강 뿐만 아니라 용접이 일반화되고 자동화되어 감에 따라 많은 기술상의 문제들이 해결되어지고 있고 특히, 앞으로는 메카트로닉스에 의존하는 비중이 높아질 전망이며, 사회적으로 문제화되고 있는 인력의 부족으로 무인화된 로봇트를 이용한 자동 용접 기술이 LNG 저장 탱크 분야에도 적용될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 김청균 : LNG 저장 탱크의 현황과 동향(가스 안전지 '92. 겨울철) P69-P70
2. TTK : 용접 시공 SPEC., N2100-M-01
3. TTK : 용접 시공 SPEC., N2100-W-101
4. 장석봉 : LNG 저장 탱크의 용접 기술(배관 기술지 '94) P195
5. TTK : 용접시공 SPEC., N2100-W-01