

선체 용접에서의 규격과 품질

최 승 면*

Welding Standards and Quality in Shipbuilding

S. M. Choi*

1. 서 언

근대적인 개념의 조선 공업이 국내에서 시작된 것은 1970년대 초반의 일로서 74년 건조능력이 100만 G/T을 초과한 이래 현재까지 조선공업은 비약적으로 발전해 왔다. 이미 70년대 후반에 세계 2위의 조선국으로 발돋움하였으며, 그 이후로도 꾸준히 성장하여 1위국과의 차이를 조금씩 좁혀가고 있어, 향후 2~3년 후에는 1위국으로의 도약을 예상할 수 있는 정도에 이르렀다.

건조량이 늘어남에 따라 건조과정에서의 중요한 공정의 하나인 용접에 대한 관심도 높아졌고 기술도 꾸준히 발전해왔다. 초창기에 비하면 전문인력도 많이 증가하였고, 좀 더 과학적인 분석기법으로 문제에 접근하게 되어 시설, 재료, 기능, 및 제반 관리가 발전되어 용접생산성이 크게 증가되었다. 그러나, 생산성의 증가가 품질의 저하를 수반해서는 안 되므로 일정 품질기준을 정하여 놓고 그 기준위에서 모든 기법의 발전이나, 자동화 장비의 도입이나, 재료의 개발 등이 도모되어야 한다.

1982년, 관련업체의 대표자가 모여 선박의 품질표준을 개괄적으로 규정하였는데 그것이 KSQS(Korean Shipbuilding Quality Standard, 한국조선 품질표준)이다. 그러나, JSQS(Japan Shipbuilding Quality Standard, 일본조선 품질표준)처럼 유지, 개정되어, 조선소들에 대하여 품질표준의 실질적 guide 역할을

하지는 못하였다. 따라서, 각 조선소별로 별도의 자체 품질표준을 가지고 있으며, 그 내용이 다소 상이한 경우도 있을 수 있다. 본고는 선체 용접시공의 기준이 되는 각종 선급 Rule을 바탕으로 하고, 이에 더하여 KSQS, JSQS, 및 AWS Welding Handbook 등에서 용접에 관련된 부분을 발췌하여 요약, 정리한 것이다. 조선용접 품질에 대한 국내 표준이 다소 미흡하다고 생각되어 전제할 수 없음을 안타까운 일이나, 현재 시행되고 있는 각 조선소의 품질표준은 본 고의 내용과 지엽적인 부분에서 약간의 차이는 있을 수 있으나 크게 벗어나지 않을 것으로 사료된다.

2. 용접전 공정에서의 품질관리

용접에 영향을 미치는 전(前) 공정으로서는 Primer, 절단, 강재의 표면 결함, 및 취부름 들 수 있다.

2.1 Primer

강판이 입고되면 그 최초의 공정이 전처리, 즉 Primer 도장이 된다. 이것은 제조기간 중에 강판 표면의 발청을 방지하기 위한 것으로 후공정인 용접과 도장에 지장을 주지않는 품질이 되어야 한다. 대개 무기 Zinc Type의 것을 사용하는데, 이 것이 가장 영향을 미치는 것은 수 천개의 긴 보강재를 외판이나 Bulkhead에 붙이는 Fillet 용접부위로서 그 용접길이만 하여도 수십 Km에 이르는, 선체의 단위 Block 제작에

* 정회원, 현대중공업 용접연구실 책임연구원

있어서 매우 중요한 공정이 된다. 이 용접은 전통적으로 Gravity 용접에 의존하여 왔으며, 품질에 있어 특별한 문제가 되지 않아왔다. 그러나, 최근 생산성을 향상시키기 위하여 고속 다전극 자동 용접장치가 조선소에 도입되면서 문제가 발생하기 시작하였다. Single Pass Fillet 용접으로서 용접자체는 매우 단순한 것이나 고속용접을 함으로써 비-드 표면에 Blow Hole이 발생하기 시작하였고, 내부를 조사한 결과 많은 수의 Blow Hole이 내재하여 있음을 알 수 있었던 것이다.

이 것은 Primer의 종류 및 두께에 따라 상당한 관련이 있음이 밝혀 졌는데, 현재까지도 이 결함은 완전히 해결되지 않은 상태이며 앞으로도 더욱 연구해야할 과제이다. 특히 보강재의 대종을 이루고 있는 Angle의 하단부(용접이 되는 쪽)의 도막 두께를 잘 관리하는 것이 매우 중요하다. 현재, Primer의 두께는 $15 \pm 5 \mu\text{m}$ 로 관리하고 있으나, 문제가 되는 단부의 도막 관리는 효과적으로 되고 있지 않다.

2.2 절 단

절단에 있어 관리항목은 절단면의 상태와 치수이다.

(1) 노치(Notch)에 대한 규정

절단면은 노치가 없이 매끈해야 한다. 표 1은 절단면에 대한 규정이다.

(2) 치수(Dimension)에 대한 규정

소정의 형상과 치수에 맞게 가공되어야 하며, 표 2와 같이 규정한다.

2.3 강재의 표면 결함에 대한 규정

Pit, Flake, Lamination, 및 기타 결함으로 분류하며, 각 항목에 대하여 표 3, 4, 5 및 6과 같이 정한다.

표 1. 절단면의 노치 허용치

항 목	관리 기준	허용 한계	
자유단(Free end)	(1) Sheer strake 상부	Nil.	
	(2) 평행부의 강력갑판, 외판 개구부의 자유단		
	(3) 주요 종방향 강력 부재		
	종방향 및 횡방향의 강력 부재	깊이 $\leq 1 \text{ mm}$	
	기타 부재	깊이 $\leq 3 \text{ mm}$	
용접 개선부	Butt 용접부	평행부의 외판 및 상갑판	깊이 $\leq 2 \text{ mm}$
		기타 부재	깊이 $\leq 3 \text{ mm}$
	Fillet 용접부	깊이 $\leq 3 \text{ mm}$	

표 2. 절단치수 기준

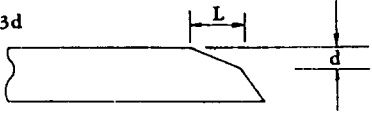
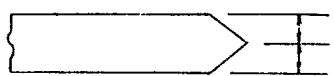
항 목	관리 기준	허용 한계	
Taper의 수평길이(L)		$\pm 0.5d$	$\pm 1.0d$
개선 홈깊이		± 1.5	± 2.0
개선 각도		$\pm 2^\circ$	$\pm 4^\circ$
부재의 크기	일반 부재	± 3.5	± 5.0
	Double bottom의 floor와 Girder의 깊이	± 2.5	± 4.0
	면재(Face bar)의 폭	± 2.0	$-3.0 \sim +4.0$

표 3. Pit(곰보 결함)

항 목	수 정 방 법
	<ol style="list-style-type: none"> 1. A급 : 수정 불요 2. B급 : 외판의 외면은 에폭시 도장을 할 수 없는 경우에 Grinding하여 수정하고, 기타 경우에는 수정 불요. 3. C급 : 수정 필요(Grinding) 4. D급 : 선주 및 선급과 협의 후 조치

Area Ratio(면적비) = (결함면적/강판의 면적) X 100

표 4. Flake

항 목	수 정 방 법
	<ol style="list-style-type: none"> 1. A급 : 수정 불요 2. B급 : 필요시 수정 3. C급 : 수정 필요, 결함깊이 d에 따라 <ol style="list-style-type: none"> (1) $d \leq 0.07t$ (3 mm 이하) : Grind (2) $0.07t < d \leq 0.2t$: 결함제거후 육성 및 사상 (단, 육성용접 면적은 강판 면적의 2%를 초과 할 수 없다.)

Area Ratio(면적비) = (결함면적/강판의 면적) X 100

표 5. 라미네이션(Lamination)

항 목	수 정 방 법
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 부분적인 라미네이션 : 제거후 육성 용접, (a) 또는 (b)와 같이. 2. 범위가 넓고 정도가 심할 경우에는 선주 및 선급과 협의 후 조치

표 6. 기타 결함

항 목	수 정 방 법
	<ol style="list-style-type: none"> 1. A급 : 수정 불요 2. B급 : 수정 필요, 결함깊이 d에 따라 <ol style="list-style-type: none"> (1) $d \leq 0.07t$ (3 mm 이하) : Grind (2) $0.07t < d \leq 0.2t$: 결함제거후 육성 및 사상 (단, 육성용접 면적은 강판 면적의 2%를 초과 할 수 없다.)

표 7. 비-드 간격

항 목	허용 한계	비 고	
Butt와 Butt		$a \geq 30 \text{ mm}$	
		$a \geq 0 \text{ mm}$	
Butt와 Fillet		Main 구조	$a \geq 10 \text{ mm}$
		기타 구조	$a \geq 0 \text{ mm}$
			$a \geq 5 \text{ mm}$

2.4 취부에 대한 규정

취부에 대한 규정은 비-드 간격, 갭, 단차, 탭 피스 및 가용접을 들 수 있다. 이 중 비-드 간격은 설

계적인 측면이고 나머지는 Workmanship에 대한 조항이다. 각각에 대한 규정이 표 7, 8, 9, 10, 및 11과 같다.

표 8. 이음부의 갭(Gap)

항 목		허용 한계	수 정 방 법	
			Gap	조 치
Butt	1. 수동 용접	a ≤ 5 mm	5 < g ≤ 16	(1) Backing strip이나 Flat Ceramic 부착 후 용접 (2) 이면 Chipping 후 용접
			16 < g ≤ 25	(1) Backing strip이나 Flat Ceramic 부착 후 Stringer bead로 육성, Gap이 5mm 이하가 되도록 한다. 각 면의 육성용접두께는 0.5t _f (얇은쪽) 또는 12.5 mm (둘중 작은 쪽) 이내이어야 한다. (2) 용접 (3) 이면 Chipping 후 용접
			25 < g	선주, 선급과 협의 후 조치(통상 300mmL 이상의 판으로 신환)
	2. FAB	a ≤ 5mm	5 < g ≤ 8	(1) Ceramic backing 부착 후 두번째 층까지 FCAW 용접 (2) 나머지 SAW
			8 < g	재취부 또는 육성 후 재개선(각 면의 육성용접두께는 0.5t _f (얇은쪽) 또는 12.5mm (둘중 작은 쪽) 이내)
	3. SAW	a ≤ 0.8mm	0.8 < g ≤ 5	Sealing bead시공 후 용접
			5 < g	재취부
	4. FCAW 및 GMAW	a ≤ 16mm	16 < g ≤ 25	(1) Backing strip이나 Flat Ceramic 부착 후 Stringer bead로 육성, Gap이 5-8mm가 되도록 한다. 각 면의 육성용접두께는 0.5t _f (얇은쪽) 또는 12.5mm (둘중 작은 쪽) 이내이어야 한다. (2) Ceramic backing 부착 후 용접
			25 < g	선주, 선급과 협의 후 조치(통상 300mmL 이상의 판을 넣어 신환)
	Tee Groove	a ≤ 5mm	5 < g ≤ 16	(1) Backing strip이나 Ceramic backing 부착 후 용접 (2) 이면 Chipping 후 용접
16 < g ≤ 25			(1) Flat Ceramic backing 부착 후 육성용접, Gap을 5mm이내로 한다. 육성용접두께는 0.5t _f (얇은쪽) 또는 12.5mm(둘중 작은 쪽) 이내이어야 한다. (2) (Ceramic backing 부착 후) 용접	
25 < g			최소 300mm 길이로 부분 신환	
Fillet	Tee	a ≤ 3mm	3 < g ≤ 5	(Gap-3) 만큼 각장을 증가
			5 < g ≤ 16	(1) Abutting 부재를 30-45°로 개선 (2) Backing strip 또는 Ceramic backing을 부착 후 용접 (3) 이면 Chipping 후 용접
			16 < g ≤ 25	(1) Abutting 부재를 30-45°로 개선 (2) Flat Ceramic backing 부착 후 육성용접, Gap을 5mm이내로 한다. 육성용접두께는 0.5t _f (얇은쪽) 또는 12.5mm(둘중 작은 쪽) 이내이어야 한다. (3) (Ceramic backing 부착 후) 용접
			25 < g	최소 300mm 길이로 부분 신환
	Lap	a ≤ 3mm	3 < g ≤ 5	Gap만큼 각장 증가
			5 < g	재취부

표 9. 이음부의 단차(Misalignment)

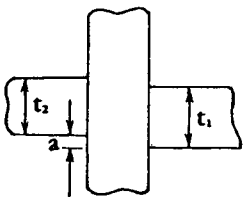
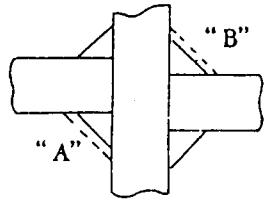
항 목	허용 한계	수 정 방 법
Butt	강력 부재 $a \leq 0.15t_1$ (최대 3mm)	재취부
	기타 부재 $a \leq 0.2t_1$ (최대 3mm)	재취부
Fillet  a : Difference $t_1 \leq t_2$	강력 부재 $a \leq 1/3t_1$	(1) $1/3t_1 < a \leq 1/2t_1$ 일 경우 : "A"와 "B" 부위에 t_1 의 10%까지 각장 증가 
	기타 부재 $a \leq 1/2t_1$	(2) $1/2t_1 < a$ 일 경우 : 재취부 단, 조립재의 Face plate 처럼 폭이 작은 부재에 대해서는 선주, 선금과 협의 후 Double plate나 Carling을 취부할 수 있다.

표 10. 탭 피스(Tab piece)

재 질	모재와 동일한 재질을 사용함을 원칙으로 함.			
모재와의 간격	0.8mm 이내			
구 분	규 격	두께차	최소 용접장	비 고
2,3전극 SAW	200×200	±5mm	100mm	Groove 없음. 모재와 탭피스는 Full 용접
1전극 SAW	150×150	±3mm	100mm	Groove 없음.
FAB	250×250	±3mm	100mm	Groove 길이 150mm 이상 개선각 50° ±5°
GMAW/FCAW/ SMAW(누락)	50×50	±3mm	30mm	Groove는 30° (+5°, -0°)로 개선 Groove 길이 30mm
EGW	100×100	±3mm	50mm	모재와 탭 피스는 Copper shoe의 sliding을 고려, 양끝 25mm를 용접. Groove 각도 30° (+5°, -0°) Groove 길이 50mm

표 11. 가용접(Tack)

자 격	검정된 취부사 또는 용접사	제거 여부	본용접 전에 제거하든가 또는 본 용접에 포함되어도 결함이 생기지 않도록 한다.
용접 재료	본 용접에 사용되는 용접재료와 동급 이상의 것이어야 한다.	예 열	본 용접에 대한 예열과 같이 한다.
비-드 길이	50mm(50HT) 10mm(TMCP)	비-드 간격	250~300mm
위 치	용접선이 교차하는 부위에는 교차점에서 150mm 이상 떨어진 곳에 가용접할 것.		

3. 용접공정에서의 품질관리

3.1 WPS

(1) 일반 사항

모든 용접은 WPS(Welding Procedure Specification)에 따라서 시행되어야 한다. WPS의 내용에는 모재, 용접기법, 용접재료, Joint 형상, 용접자세, 예, 후열처리, 용접 Technique, 적층순서 및 용접조건 (Parameters) 등이 기록되어야 한다. 용접할 면은 WPS에 언급된 Joint 형상대로 공작도에 반영되어 이에 따라 가공이 되며, 용접자는 지시된 용접기법과 재료를 모재에 맞추어 선정하고 기타 규정된 대로 용접을 시행하여야 한다.

(2) WPS의 검정 및 승인

WPS는 선급의 Rule이 지정하는 방법에 따라 승인 절차를 거치게 되어 있는데, 대개는 검정시험(Procedure Qualification Test)을 거쳐 승인을 받도록 되어 있다. 검정 시험의 구체적 요건과 방법은 선급 별로 약간씩 차이가 나고, 조항 자체가 없이 Surveyor의 판단에 맡기는 경우도 있는데, 비교적 자세하게

언급된 것 중의 하나로서 DnV 선급의 Rule을 요약, 소개한다.

1) 시편 규정, 시험 종류 및 요구 사항

표 12부터 16까지 각 경우에 요구되는 시험의 종류와 합격기준을 표시하였다.

(3) 검정된 WPS의 유효범위

WPS의 유효범위에 대한 규정으로서, 아래 각 항의 검정범위에서 벗어나게 되면 검정된 WPS는 유효하지 않다.

1) 모재

① 강도: 강재는 인장강도 400-490N/mm²인 Group과 항복강도 265-390 N/mm²인 Group의 두 종류로 구분한다. Toughness가 높은 강재로 검정하면 낮은 강재에 대하여도 유효하다.

② 두께: 시편의 두께가 검정하는 범위가 두께별 및 용접 방법별로 정해져 있으며, 그 내용은 표 17과 같다.

③ 직경: 외경의 검정 범위는 표 18과 같다.

2) Tubular joint의 각도: 시험각도부터 90°까지 유효

3) 용접재료: 충격시험온도가 -20°C 미만일 경우 용접재료의 상표명 및 조합, 보호가스의 조성 및 유량의 큰 변화

표 12. Butt(Plate)의 경우

시편의 크기 (폭/길이)	시편의 방향	NDT	기계적 성질 시험 항목		요 구 사 항			
수동 및 반자동: 300/350 자동: 400/1000	-	외관검사, 방사선 또는 초음파 검사, 자분탐상 또는 침투액 검사	가로인장	1	모재의 규정 최소치 이상			
			벤드	2	Open defect가 3mm이내(Corner부는 제외)		4t, 120°	
			환봉인장 (*1)	1	모재의 규정 최소치 이상			
			충격 set (*2)	4	강종	시험온도	에너지	
					A	+20°C(*3)	자동용접: 34J 수동, 반자동 용접 (입향자세 제외): 47J	
B 및 D	0°C	수동, 반자동 용접 (입향자세): 34J						
E	-20°C							
Macro/H ardness	1	Crack과 LF는 허용 안 됨. Smooth transition						

*1 용접재료가 선급의 승인품이 아닌 경우.

*2 Notch 위치: Face line의 Weld Metal, Fusion Line, Fusion Line+2mm, Fusion Line+5mm
50mm<t일 경우에는 Root weld metal 1set 추가.

20mm<t이고 Oneseid welding일 경우는 Face side와 같이 Root side도 추가.

*3 ABS Rule: 판두께 12.7mmt 이상은 0°C.

표 13. Butt(Pipe)의 경우

시편의 크기 (길이)	시편의 방향	NDT	기계적 성질 시험 항목		요 구 사 항			
300	-	외관검사, 방사선 또는 초음파 검사, 자분탐상 또는 침투액 검사	가로인장	1	모재의 규정 최소치 이상			
			밴드	2	Open defect가 3mm이내(Corner부는 제외)		4t, 120°	
			충격	4 set	강종	시험온도	에너지	
					A	+20°C	자동용접 : 34J 수동, 반자동 용접 (입향자세 제외) : 47J 수동, 반자동 용접 (입향자세) : 34J	
					B 및 D	0°C		
E	-20°C							
Macro/H ardness	1	Crack과 LF는 허용 안 됨. Smooth transition						

표 14. Tee(Y 또는 K도 포함) Full penetration의 경우

시편의 크기 (폭/길이)	시편의 방향	NDT	기계적 성질 시험 항목		요 구 사 항			
폭 : 3t 또는 150(큰쪽) 길이 : 6t 또는 350(큰 쪽)	-	외관검사, 초음파 검사, 자분탐상 또는 침투액 검사	충격	4 set	강종	시험온도	에너지	
					A	+20°C	자동용접 : 34J 수동, 반자동 용접 (입향자세 제외) : 47J 수동, 반자동 용접 (입향자세) : 34J	
					B 및 D	0°C		
					E	-20°C		
			Macro/H ardness	1	Crack과 LF는 허용 안 됨. Smooth transition			

표 15. Tubular joint의 경우

시편의 크기 (폭/길이)	시편의 방향	NDT	기계적 성질 시험 항목		요 구 사 항			
용접선으로 부터 150mm 이상	-	외관검사, 초음파 검사, 자분탐상 또는 침투액 검사	충격	4 set	강종	시험온도	에너지	
					A	+20°C	자동용접 : 34J 수동, 반자동 용접 (입향자세 제외) : 47J 수동, 반자동 용접 (입향자세) : 34J	
					B 및 D	0°C		
					E	-20°C		
			Macro/H ardness	2	Crack과 LF는 허용 안 됨. Smooth transition			

표 16. Fillet의 경우

시편의 크기 (폭/길이)	시편의 방향	NDT	기계적 성질 시험 항목		요 구 사 항
수동 및 반자동 : 150/300 자동 : 150/1,000	한 쪽만 용접(각장 4.5mm)	외관 검사, 자분탐상 또는 침투액 검사	Macro/Hardness		2 Crack과 LF는 허용 안 됨. Smooth transition

표 17. 두께 검정범위

시편의 두께 (Butt는 얇은 쪽 Fillet은 두꺼운 쪽)	검정범위	
	편면 1Pass 또는 양면 1Pass	다층 용접
$t < 12$	0.8t ~ 1.1t	~ 2t
$12 \leq t \leq 100$	0.8t ~ 1.1t	0.5t ~ 2t (Max, 110)
$100 < t$	0.8t ~ 1.1t	0.5t ~ 1.5t

Vertical-down 자세일 경우는 0.5t ~ 1.1t
Fillet의 경우에는 위에 추가하여 목두께 검정 범위 0.75a ~ 1.5a (a는 목두께) (단, 10 ≤ a일 때는 10이상 유효)

표 18. 관의 직경 검정범위

시편의 OD	검정범위
$D \leq 168.3$	0.5D ~ 2D
$168.3 < OD$	0.5D 이상 및 Plate

OD는 Tube 또는 Brace의 외경
Plate에 대한 검정은 OD > 500인 Tube에 대하여 유효함

4) Joint 형상

- ① Fillet에서 Butt로의 변화
- ② 양면 용접에서 편면용접으로의 변화
- ③ Groove의 형태, Root face, Gap에서의 큰 변화
- 5) 용접 조건
 - ① 용접기법의 변화
 - ② 용접 자세 : 시험용접의 자세와 검정되는 자세의 관계는 표 19와 같다.

- ③ 용융이행의 변화
- ④ 전류/전압의 변화(± 15%), 속도의 변화(± 10%)
- ⑤ 예열/충간온도의 변화(± 25°C)
- ⑥ 후열처리의 변화

3.2 용접사 자격 검정 및 관리

취부사 및 용접사에 대하여 정해진 교육기관에서 교육을 받도록 한 후, 용접기법 및 용접자세별로 소정의 자격시험을 치른 뒤 합격자에 대하여 자격증을 부여한다. 자격증이 부여되고 용접작업을 하게 되면 그 작업 실적을 개인별로 취합, 유지하고, 그에 따라 포상 또는 재교육 등의 조치로써 용접품질의 유지 및 개선을 도모한다.

자격시험의 종류 및 방법은 선급의 Rule에 따라, 또는 복수의 선급 Rule을 통합한 조선소의 자체 관리규정에 따라 정해진다. 이 자격은 용접작업을 6개월 이상 중단하면 효력이 정지된다. 또, 규정을 준수하지 않거나 과도한 결함의 발생 등 품질에 상당한 손상을 주었을 경우에는 재교육 또는 자격정지 등의 조치를 한다.

표 19. 자세 검정범위

시편형상	시험자세	검정자세		
		Butt		Fillet
		Plate	Tube	
Plate의 Butt 및 T, Y, K joint	2G+3G	ALL	ALL	ALL
	1G	1G	1G	1F
	2G	1G, 2G, 4G	1G, 2G	1F, 2F, 4F
	3G	3G	Not applicable	3F
	4G	1G, 4G	1G	1F, 4F
Tube의 Butt	2F+5G=6G	ALL	ALL	ALL
	1G	1G	1G	1F
	2G	1G, 2G, 4G	1G, 2G	1F, 2F, 4F
	5G	ALL	1G, 5G	ALL
Fillet	2F+3F			ALL
	1F			1F
	2F			1F, 2F, 4F
	3F			3F
	4F			1F, 4F
	5F			ALL

Plate에 대한 검정은 500mm < OD인 Tube에 대하여 유효함.
Tubular Joint는 별도로 검정되어야 함.
Vertical-down은 별도로 검정되어야 함.

3.3 용접면의 상태

Edge면의 심한 녹, 절단 Slag, 수분이나 오일, 용접 Slag, 기타 이물질 등이 없어야 한다.
Brush 후에도 남아있는 녹은 제거하지 않아도 된다.

3.4 용접재료

- (1) 용접재료는 원칙적으로 선급의 승인품이어야 하며 그 적용범위는 표 20과 같다.
- (2) 용접재료의 관리
용접재료는 표21과 같은 방법으로 관리되어 용접중 또는 후에 발생하는 문제를 예방하여야 한다.

3.5 예열 및 충전온도

- (1) 예열
예열 및 충전온도는 수소에 의한 균열을 방지하고,

표 20. 용접재료의 등급별 적용 강재

용접재료의 Grade	적용 강재
1	A(T ≤12.5)
2	A, B, D
3	A, B, D, F
1Y	A(T ≤12.5), AH(T ≤12.5)
2Y	A, B, D, AH, DH
3Y	A, B, D, E, AH, DH, EH

- 주) 1. 강도가 다른 강재간의 이음일 경우에는 강도가 낮은 강재에 대한 용접재료를 사용할 수 있다. 단, 균열의 발생을 방지하는 대책을 고려하여야 한다.
- 2. 강도가 같으며 종류가 다른 강재간의 이음일 경우에는 하급강재에 대한 용접재료를 사용할 수 있다.

열영향부의 인성이 매우 열화되는 것을 막아준다. 최소 예열온도는 모재의 탄소당량, 확산성 수소량, 두께, 구속도 및 용접입열에 따라 달라지나 선체 구조용 강재는 대개 후판이 많지 않고, 저수소계 용접 재료를 사용하므로 예열을 하는 경우는 그리 많지 않다. 또, TMCP steel과 같이 저탄소당량의 강재를 사용할 경우에는 더욱 그러하다. 예열 온도 기준은 표 22와 같다.

표 21. 용접재료의 관리

구 분	피복의 종류	건 조		사 용		
		온 도	시 간	온 도	시 간	방 법
용접봉	일메나이트계	70°-100° C	30-60분	상온	8시간	Quiver
	철분산화철계					
	저수소계	300°-350° C	30-60분	상온	8시간	Quiver
플럭스(Flux)		200°-300° C	60분	상온	8시간	Flux Hopper
* 일메나이트계 용접봉 및 Flux는 1차 건조없이 포장 개봉 후 바로 사용하고 8시간 경과분만 상기 기준에 의거 건조한다.						
* 저수소계 용접봉은 반드시 건조해야 하며 8시간 경과시 재 건조한다.						
Wire 보관 및 관리		SAW용 Wire	1) 포장 개봉 후 바로 사용 2) 8시간 경과분은 옥내의 창고 또는 Tool Box에 보관 3) 녹슨 Wire나 흡수된 Wire는 사용 금지 4) 수분이 직접 흡수되는 곳은 보관, 대기금지 (우천시 옥외 보관 등)			
		Cored 및 Solid Wire				

표 22. 예열 온도

강 종 두	연강(A, B, D, E) 및 고장력강(AH, DH, EH)		
	t ≤19mm	19<t ≤38mm	38<t
비저수소계용접재 사용시 예열온도	예열없음	예열없음*(25t 초과시는 사용금지)	사용 금지
저수소계용접재 사용시 예열온도	예열없음	예열없음*	66° C**

* 대기온도가 0° C이하일때는 20° C까지 예열한다.
** TMCP강재의 용접시와, FAB 및 SEGARC 적용시에는 예열 없음.

(2) 층간온도 : 300°C 이내

3.6 용접 조건

용접방법이 생산성을 극대화하는 방향으로 변천되므로 용접조건의 준수가 점점 중요해진다.

모재로의 깊은 용입을 이용하여 완전용입을 획득하는 SAW 양면 용접, One pass 용접법인 FAB나 FCB SAW 용접, 융합불량이 잘 발생하는 FCAW 하진 Fillet 용접, 고온균열이 잘 발생하는 Groove내의 FCAW 초층 용접 등이 특히 용접조건을 잘 준수하여야 하는 부분이다.

용접조건을 준수하기 위하여 꼭 필요한 것이 용접기의 교정(Calibration)으로서, 정해진 기준에 의하여 주기적으로 실시되어야 한다.

4. 용접 후 검사

4.1 외관 검사

모든 용접부는 외관 검사를 받으며, 외관 검사의 기준은 표 23과 같다.

4.2 비파괴 검사

검사부위는 Rule이 지정하는, 또는 선주/선급과의 협의 또는 승인에 의하여 지정되는 정규검사부위와

임의로 선정하여 검사하는 임의 검사부위로 구분된다. 비파괴검사는 인정된 검사자에 의하여 실시되어야 하며, 판독 기준은 다음과 같다.

(1) 방사선 투과 시험(RT)

1) 균열, 용입 부족, 또는 융합 불량 : 허용되지 않음.

2) 슬래그 : 판 두께에 따라 허용 범위가 달라지며, 그 기준은 그림 1과 같다.

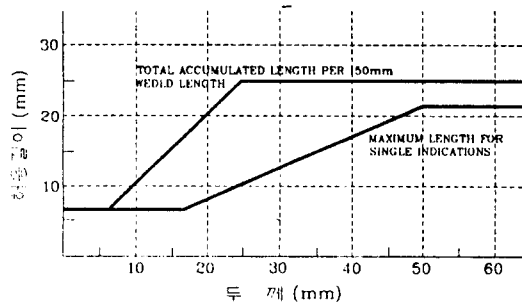


그림 1. 슬래그 허용범위

3) 기공

기공은 두께에 따라, 기공의 크기에 따라 허용범위가 달라지며 표 24와 같다.

4) 다종의 결함이 혼재시

슬래그가 모두 허용범위 내에 들 때, 기공은 허용범위의 반만이 허용된다.

기공이 모두 허용범위 내에 들 때, 슬래그는 허용범위의 반만이 허용된다.

슬래그의 허용치에 대한 분율과 기공의 허용치에 대한 분율의 합이 150%를 넘으면 안 된다.

표 23. 외관 검사 기준

검 사 항 목	허 용 기 준
크랙(Crack)	허용 안 됨.
언더컷(Undercut)	(1) Butt 1) 0.6L 이내의 외판과 면재 : 0.5 mm 2) 기타 : 0.8 mm (2) Fillet : 0.8 mm
각장(Leg length)	$L > 0.9L_0$ (L_0 는 도면각장)
여성(Reinforcement)	규정 없음.
오버랩(Overlap)	모재와의 접촉각 > 90°
블로우 홀(Blow hole) 및 핀 홀(Pin hole)	허용 안 됨.
아-크 스트라이크(Arc strike)	허용 안 됨.
숏 비드(Short bead, 취부 후)	고장력강 50mm 이상, TMCP 고장력강 10mm 이상, 열강 제한 없음.

표 24. 기공 허용범위

두께	용접길이 150mm당 허용 면적	기공의 지름	허용 갯수
12.7	29 mm ²	2.54 mm 이하	2
		1.02 mm 이하	12
		0.51 mm 이하	45
19.1	43.2 mm ²	3.17 mm 이하	2
		1.14 mm 이하	13
		0.64 mm 이하	45
25.4	58.1 mm ²	3.17 mm 이하	2
		1.27 mm 이하	17
		0.76 mm 이하	45
38.1	87.1 mm ²	3.17 mm 이하	4
		1.4 mm 이하	18
		0.89 mm 이하	45

* 독립된 기공 : 하나의 독립된 기공은 0.25T 또는 4.8mm(작은 쪽)까지 허용된다. 단, 용접장 150mm내에 그러한 기공은 단 하나만 있어야 하고, 기공의 전면적은 위의 표에 부합하여야 한다.

* 미세한 기공 : 0.4mm 이하의 미세한 기공은 무시한다.

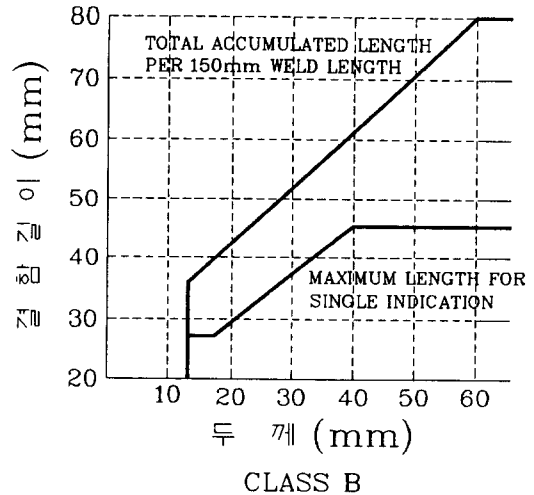
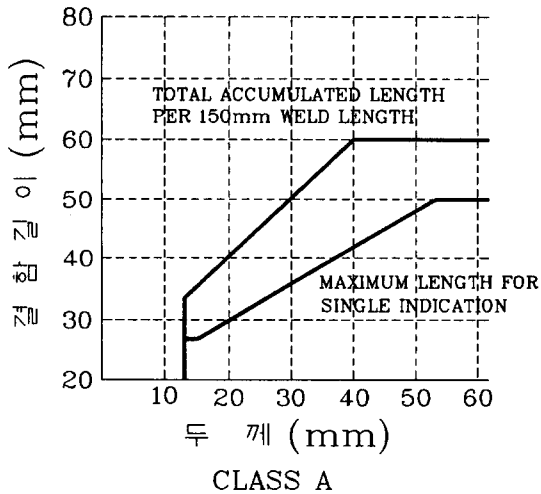


그림 2. Reference Curve

(2) 초음파 탐상 검사(UT)

검사원은 소정의 자격을 취득한 사람이어야 하고, 기기는 표준시편으로 정해진 방법으로 Calibration이 되어야 한다. 일반적인 판정 기준은 다음과 같다.

1) ARL(Amplitude Rejection Level)보다 큰 Indication

ARL은 Sensitivity Reference Block의 1.2 f side drill hole에서 반사되어 나오는 최대 Echo 높이를 Screen 높이의 80%에 맞춘 것으로서, ARL을 초과하고 길이가 12.5mm보다 크게 나타나는 것은 불합격이다. 길이가 4.8mm보다 작은 것은 합격, 4.8과 12.5 사이의 것은 Reference curve에 따라 판독한다.

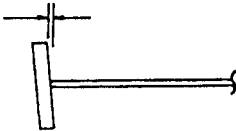
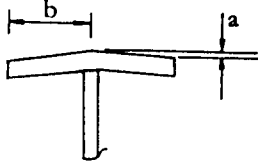
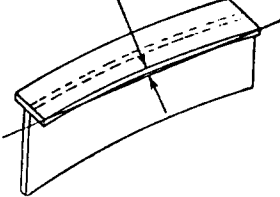
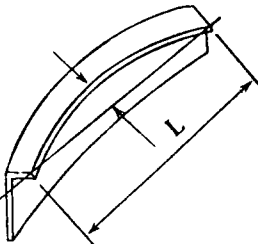
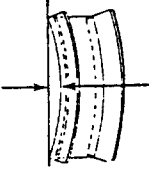
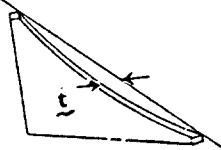
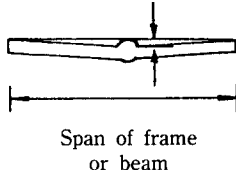
2) DRL(Disregard Level)보다 큰 Indication
DRL은 Sensitivity Reference Block의 1.2 f side drill hole에서 반사되어 나오는 최대 Echo 높이를 Screen 높이의 40%에 맞춘 것(또는 ARL-6dB)으로서, DRL보다 크고 길이가 Reference curve보다 큰 경우에는 불합격이다. DRL보다 작은 것은 무시한다.

Class A(주요 구조부재)와 Class B의 Reference Curve는 그림 2와 같다.

(3) 자분탐상검사(MPI) 및 침투액 검사(PT)

선형의 Indication은 허용되지 않는다. 1.6mm 이내의 간격으로 연속적으로 구형의 Indication이 4개 이상 나오면 불합격이다.

표 25. 치수오차 허용범위

종	류	표준 범위(mm)		허용치(mm)
Frame과 Longitudinal Build-up	Deviation of face plate 	±1.5 per 100mm		±3.0 per 100mm
Face plate Build-up		$a \leq 3 + b/100$		$a \leq 5 + b/100$
Girder와 Trans의 뒤틀림		5		8
Longitudinal, Transverse, frame, beam 및 Stiffener의 뒤틀림		$L \leq 1,000$	5	8
		$1,000 < L < 3,500$	$3 + 2L/1000$	$6 + 2L/1000$
		$3,500 \leq L$	10	13
Deck간의 H-type Pillar		5		8
Tripping bracket과 작은 보강재의 뒤틀림				t
판 용접부의 변형		평행부 외판		6
		선수, 미 외판 및 Trans. 등 강력부재		7
		기타		8

4.3 치수 검사

치수 검사는 여러가지 항목이 있으나, 여기서는 용접으로 인한 치수상의 변화가 나타날 수 있는 항목만 발췌하여 소개하면 표 25와 같다.

4.4 Repair

검사에 의해 불합격된 용접부는 Repair를 하여야 한다.

(1) 표면 Repair

외관 검사, 또는 MPI나 PT 검사에 의하여 발견된 결함은 사안에 따라 그라인딩을 하거나, 그라인딩 후 덧용접을 하거나, 또는 가우징 등의 방법으로 결함 부위를 완전히 제거한 후 재 용접해야 한다.

(2) 내부 Repair

RT 또는 UT에 의하여 검출된 결함은 위치를 정확히 파악한 후 가우징 등의 방법으로 결함부위를 완전히 제거한 후 재 용접해야 한다. 결함이 균열일 경우에는 균열 끝으로부터 길이 방향으로 50mm 이상 더 나아간 부위까지 제거한 후 MPI를 실시, 결함이 완전히 제거되었는지 확인 하여야 한다.

(3) Trouble Shooting

동일한 결함이 자주 발생하거나, 품질에 영향을 줄 수 있을 정도의 심각한 결함이 나타났을 때에는 그에 대한 원인을 조사하고, 재발되지 않도록 대책을 수립하여야 한다.

5. 정도 관리

정도 관리의 규정은 용접에 대한 규정과는 다른 주제이지만, 용접에 의한 정도 손상이 있으므로 필히 관리해야하는 항목이다. 마킹, 절단, 취부 및 용접의 일련의 공정을 거치는 동안 정도 오차는 차차 누적

되므로 선공정에서의 취부는 그다지 문제가 되지 않으나, 후 공정에서는 Block의 크기도 커질 뿐더러 누적된 오차로 말미암아 취부에 상당한 시간을 요하게 된다. Block간의 맞춤이 여의치 않아 다시 절단하는 작업, 부재간의 높낮이가 맞지 않아 L-형 소부재를 붙이고 썸기를 박고 취부하는 작업, 취부후 제거작업, 임시 부재를 붙이고 유압장치로 양 쪽 Block을 끌어당기는 작업 등이 탑재공정에서 빈번히 나타나는 문제점 들이다.

이러한 것들은 치수검사서 최종 확인되는 것인데, 그 시점에서는 조치할 수가 없고 설사 방안이 있다 하더라도 대단히 힘이 들고 시간의 손실이 많아질 것이다. 따라서, 전공정에서 부터 정도관리를 해야 하는데 이에 대한 규정은 일부 마련된 것이 있으나, 아직은 매우 미비하다고 생각된다. 더 많은 Data와 합리적 해석방법을 동원하여 규정화해야 할 사항으로 사료된다.

6. 결 언

조선 용접 품질의 향상을 위해 무조건적인 비교 우위를 추구하여 품질 최상의 상태를 요구할 수는 없으나, 용접의 기본적인 Rule인 각종 선급 규정이나 일반적 지식에 의거한 기본 품질은 유지되어야 하며, 이에 더하여 보다 향상된 품질 수준을 확보한다면 대외 경쟁력에서의 우위를 점할 수 있을 것이다.

參 考 文 獻

- (1) 한국선급 - 선급 및 강선규칙 제2편 재료 및 용접
- (2) DnV Rule (Part 2, Chapter 3, Welding)
- (3) KSQS(한국 조선 품질표준)
- (4) JSQS(일본 조선 품질표준)
- (5) AWS Welding Handbook