

강구조물의 용접시공을 위한 최근의 국제용접규격

한국과학기술정보연구원
전문연구위원 김환태
(htkimm@reseat.re.kr)

1. 서론

조선, 철도차량, 자동차, 항공기, 가전제품, 전자·전기제품, 발전설비, 방산기계, 산업기계, 화학설비, 건물, 교량 등을 포함한 용접구조물의 생산성과 안전성을 높이는데 있어서 핵심 사항인 용접부의 품질보증을 확보하기 위해서는 용접규격의 뒷받침에 의한 용접설계와 용접시공의 표준화 기술개발이 중요하다. 이와 같은 국제적인 추세에 따라 중화학산업 설비시스템의 제작과정에 다양한 국제규격을 적용하고 있으며, 가동 중에 있는 압력용기, 보일러, 배관, 저장탱크와 같은 산업설비를 효율적으로 관리하여 안전운전을 유지하고 사용수명을 늘리기 위해서는 신제품을 제작하는데 적용되는 규격 이상으로 설비의 유지기준을 위한 규격이 필요하다. 따라서 선진기술국과 각 산업분야에서는 기준을 만드는데 적극적인 자세를 보이고 있다.

본 보고서는 중화학산업, 발전플랜트, 조선·해양산업 등 많은 산업분야의 용접생산과정에서 용접기술자와 용접관련 중소기업체의 용접공정 생산성 향상과 용접부 품질확보에 필수적인 강구조물용접에 적용되는 최근의 국제용접규격의 주요 사항에 관하여 정리하였다.

2. 용접관련 국제규격의 개요

중화학산업 설비시스템에서 중요한 위치를 차지하는 압력용기의 설계와 제작 및 용접작업의 경우에는 BS, DIN, ASME 등 다양한 국제 용접규격에 따라 최적의 용접작업절차서(WPS)를 작성하고 용접시공을 수행하는 업무를 요구받고 있다. 또한 발전소, 원자력, 석유화학, 음식료, 제약 등의 산업분야에서 스테인리스강과 같은 고합금강으로 제조된 압력용기나 배관을 용접할 때에도 층간온도 제어, 용접금속중의 δ -ferrite량 조절, 희석을 제어 등 관련 분야의 기술기준(standard)에서 요구하는 사항을 충족시켜 주어야 한다. 이외에도 국제용 대형압력용기의 용접에서는 제품의 중량, 판 두께, 형상에 따른 조립방법, 작업환경, 용접장치의 접근성, 요구품질을 종합적으로 고려하여 국제용접규격에서는

가장 고효율이며 안정된 용접공법을 적용하도록 규정하고 있다. 현재 압력용기의 용접이나 배관의 용접과 밀접한 관련이 있는 국제 용접규격가운데 국내 용접현장에서 많이 적용되고 있는 미국의 주요 국제용접규격인 <표 1>의 ASME, AWS, API규격들에 대해 최근에 개정된 내용들을 중심으로 정리하였다.

<표 1> 압력용기/배관용접과 관련된 미국의 규격

발행기관	기술기준	제 목
ASME	ASME Section II Part A	Ferrous Material Specifications
	ASME Section II Part B	Nonferrous Material Specifications
	ASME Section II Part C	Welding Rods, Electrodes and Filler Metals
	ASME B 31.1	Power Piping
	ASME Section VIII	Construction of Pressure Vessels
	ASME Section IX	Welding & Brazing Qualifications
AWS	AWS D1.1	Structural Welding Code-Steel
	AWS D1.6	Structural Welding Code- Stainless Steel
	AWS B2.1	Welding Procedure and Performance Qualification
API	API 1104	Welding Pipelines and Facilities
	API 650	Welded Tanks for Oil Storage

3. AWS 용접규격

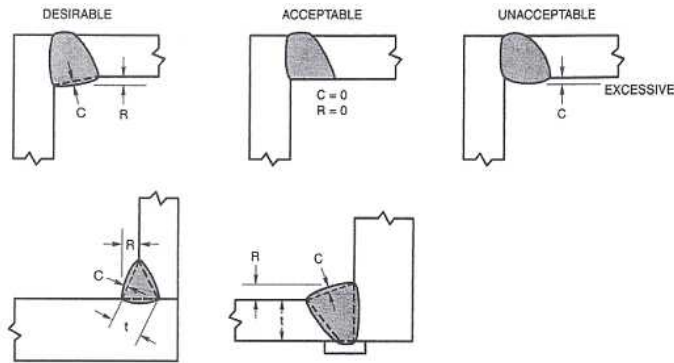
3-1. AWS D1.1 : 강구조물의 용접코드(Structural Welding Code-Steel)

3-1-1. AWS D1.1:2010

- (1) 철골구조물의 용접제작과 관련된 세계적인 용접표준인 ‘AWS D1.1, Structural Welding Code-Steel’는 ‘ASME Code Section II Materials’ 및 ‘ASME Code Section IX, Welding and Brazing Qualification’과 더불어 원자력발전을 포함한 에너지산업과 화학장치산업 등에서 폭넓게 활용되고 있다. 2010년에 발간된 ‘AWS D1.1:2010, Structural Welding Code-Steel’의 가장 큰 변화는 제 3장에서 기존의 “Table 3.7-Prequalified WPS Requirements”를 보완할 목적으로 새로운 “Table 3-8, List of Variables which must be included on a Prequalified WPS”를 삽입한 것이다. 이를 통해 용접자세와 용접이음부의 종류에 따른 용접변수들을 구체적으로

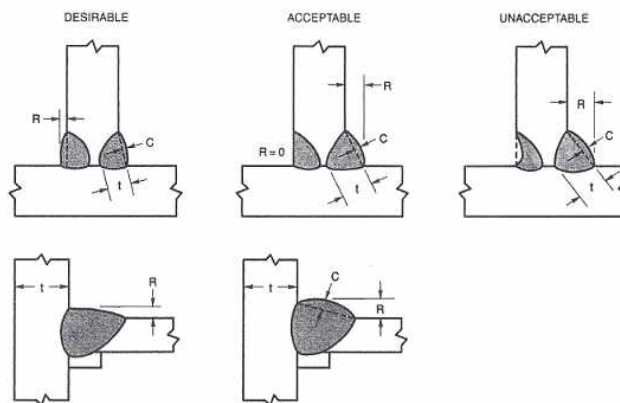
로 정리할 수 있게 되었다.⁽¹⁾

- (2) 2010년도 발행본에서 두 번째로 큰 변화는 제 5장(Fabrication)에서 종래의 5 종류의 용접이음부에 대한 합격/불합격 용접부 형상을 정리한 종래의 “Figure 5.4—Acceptable and Unacceptable Weld Profile” 에 <그림 1> ~ <그림 3> 과 같이 모서리 이음부와 T-이음부의 합격/불합격 용접부 단면도를 삽입하였다.⁽¹⁾

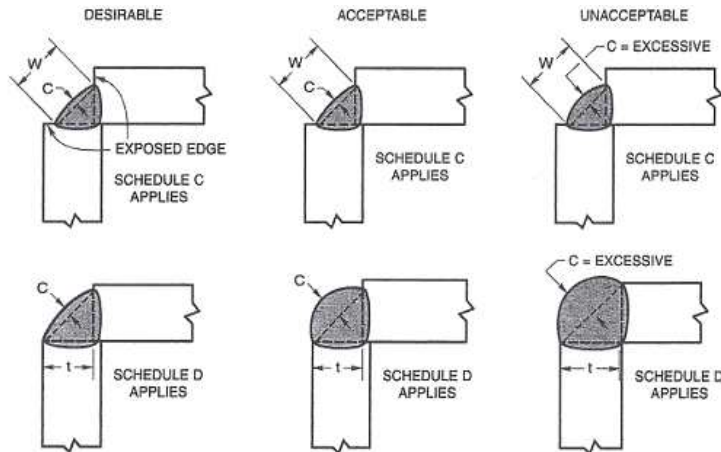


<그림 1> 모서리이음부(cornre joint) 내측의 용접비드 단면형상도⁽¹⁾

- (3) 열절단면의 거칠기에 대한 평가(5.15.4.3)의 경우 종래에는 ASME B46.1. Surface Texture(Surface Roughness, Waviness, and Lay)를 기준(reference standard)으로 하고 AWS C4.1, Criteria for Describing Oxygen-Cut Surface and Oxygen Cutting Surface Roughness를 참조(guide)하였으나 2010년도 발행본에서는 ASME B46.1.을 삭제하고 AWS C4.1만을 비교기준(comparative standard)으로 정했다.



<그림 2> T이음부(T-joint)의 용접비드 단면형상도⁽¹⁾



<그림 3> 모서리이음부(cornre joint) 외측의 용접비드 단면형상도⁽¹⁾

- (4) 맞대기 이음을 편면 완전용입 용접법으로 실시할 경우, 동종 또는 이종의 금속판이나 입상 플럭스 등을 루트 뒷면에 받쳐 놓는 백킹(backing)을 사용한다. 이에 관한 사용 요령(5.10)에서 정하중을 받는 HSS(hollow structural steel)의 경우에 불연속적인 백킹을 제한적으로 적용할 수 있도록 개정하였다. 또한 용접부에 대한 육안검사의 판정기준을 정리한 제 6장의 표(Table 6.1-Visual Inspection Acceptance Criteria)에서 용접금속과 모재간의 용융상태를 나타내는 ‘완전용융’을 종래에는 “thorough fusion”으로 표기하였으나 AWS 용어의 통일을 위해 2010년도 발행본에서 AWS A3.0 Standard Welding Terms and Definitions에서 사용하는 “complete fusion”으로 변경하였다.

3-1-2. AWS D1.1:2015

- (1) 필릿이음부의 용접에서(2.9.3.5절) 반대편 평면의 용접비드에 덧씌움 용접(wrapping weld)을 허용하였다. 종전에는 밀봉용접(seal weld)의 용착을 방해할 가능성을 갖고 있는 덧씌움 용접을 금지하였다. 이에 따라 계약의 필요조건에서 덧씌움 용접에 기인하는 특정한 QA 요구사항을 분명하게 언급할 수 있게 되었다. 한편 덧씌움 용접부에 대해서 MT, PT, 육안검사와 같은 방법을 언급할 것을 권고한다.⁽²⁾
- (2) AWS에서는 2012년도에 기존의 AWS A5.20, AWS A5.28, AWS A5.29를 포함하는 새로운 용접재료 규격인 AWS A5.36/A5.36M:2012(Specification for Carbon and Low-Alloy Steel Flux Cored Electrode for Flux Cored Arc Welding and Metal Cored Electrode for Gas Metal Arc Welding)를 개발하였다. AWS D1.1/D1.1M:2015에서는 이와 같은 내용들을 Table 3.1과 3.2(<표 2> 참조)에 반영하여 정리하였다.⁽²⁾

<표 2> 모재 그룹별 AWS 용접봉 규격에 대한 개정/보강된 Table 3.2 내용(일부)⁽²⁾

모재 그룹	SMAW		SAW	
	A5.1 탄소강	A5.5 저합금강	A5.17 탄소강	A5.23 저합금강
I	E60XX	E70XX-X	F6XX-EXXX	F7XX-EXXX-XX
	E70XX		F6XX-ECXXX	F7XX-ECXXX-XX
			F7XX-EXXX	
			F7XX-ECXXX	
II	E7015	E7015-X	F7XX-EXXX	F7XX-EXXX-XX
	E7016	E7016-X	F7XX-ECXXX	F7XX-ECXXX-XX
	E7018	E7018-X		
	E7028			
III	N/A	E8015-X	N/A	F8XX-EXXX-XX
		E8016-X		F8XX-ECXXX-XX
		E8018-X		
IV	N/A	E9015-X	N/A	F9XX-EXXX-XX
		E9016-X		F9XX-ECXXX-XX
		E9018-X		
		E9018M		

(3) AWS D1.1:2010에 수록되어 있던 용접안전을 위한 실천요령서가 AWS D1.1 /D1.1M:2015에서는 삭제되었으며 이와 관련되는 내용들은 ANSI Z49.1 및 기타 용접안전에 관한 문헌들을 참조하여 활용하는 것으로 정리하였다.

3-2. AWS D1.6 : 스테인리스강 구조물의 용접코드(Structural Welding Code-Stainless Steel)

(1) 스테인리스강 구조물의 용접규격인 AWS D1.6은 1999년도에 초판, 2007년에 제2판이 발행되었으며 일부 내용이 개정된 제3판의 출판작업이 진행 중이다.⁽³⁾

(2) 워싱턴에 소재하는 미공군 기념물은 AWS D1.6 용접규격에 맞추어 혁신적인 용접 설비, 용접이음부에 대한 세심한 처리, 용접작업자의 기량 평가, 용접절차서의 평가, 그리고 엄격한 용접검사를 적용하였다. 완전용입 이음부와 부분용입 이음부에 대해서는 육안검사를 실시하였으며, 모든 용접부는 침투검사, 그리고 초음파검사 혹은 방사선 투과검사를 이용하여 비파괴검사를 받았다.⁽⁴⁾

- (3) 가스 보호 플럭스 코어드 와이어 아크용접법을 사용하였으며, 모재는 AISI 316L 스테인리스강, 용가재는 직경이 1/16 인치인 AWS E316LT0-1 가스 보호 플럭스 코어드 와이어를 선정하였다. 보호가스는 60% 아르곤+40% 이산화탄소의 혼합가스를 선정하였는데, 이 보호가스는 이번 작업에서 최적의 아크 특성을 제공하였다. AWS E316LT1-1 가스 보호 플럭스 코어드 와이어와 같은 저탄소계 용접재료를 건축구조용 스테인리스강재의 용가재로 사용하기 위해서는 규격에서 요구하는 보증강도를 만족시켜줄 수 있도록 강도 기준값을 정확하게 지켜주는 것이 중요하다.
- (4) AWS D1.6 규격의 5.2.1.1항에 지시된 내용에 따라 용접을 실시하기 전에 용접금속이 용착될 표면부위를 깨끗이 청소하고 유기물 오염원과 산화막을 제거하였다. 용접부의 청결화 작업은 ASTM A380 과 A967 규격에 명시되어 있다.

3-3. AWS A5.36/A5.36M : 탄소강 및 저합금강용 플럭스 코어드/메탈 코어드 와이어

- (1) 용접재료 규격을 담당하는 AWS A5 Committee는 종래의 AWS A5.18/A5.18M (Specification for Carbon Steel Electrodes and Rods for Gas Shielded Arc Welding) 과 AWS A5.28/A5.28M(Specification for Low-Alloy Steel Electrodes and Rods for Gas Shielded Arc Welding) 규격을 보완한 AWS A5.36/A5.36M(Specification for Carbon and Low-Alloy Steel Flux Cored Electrodes for Flux Cored Arc Welding and Metal Cored Electrodes for Gas Shielded Arc Welding) 규격을 만들었다.⁽⁵⁾
- (2) E80T5-M21P6-Ni2 용접재료의 주요 특성은 다음과 같다. 아래보기/수평자세용 플럭스 코어드 와이어로서 M21 보호가스(AWS A5.36의 Table 5 참조)를 사용한다. 용착금속의 인장강도는 용접후열처리를 받은 상태에서 80~100ksi이며 샤르피 충격치는 -60°F에서 20ft-lb를 보인다. 그리고 용착금속의 화학성분은 Ni2(AWS A5.36의 Table 6 참조)에 해당된다.
- (3) 미국 상용단위(U.S. Customary Units)를 사용하는 A5.36이나 국제단위(International System of Units, SI) A5.36M 또는 양쪽 모두에서 용접재료를 구분할 수 있다. 양쪽의 시스템을 토대로 하는 표준 크기는 A5.36과 A5.36M 규격에서 용접재료나 패키징의 크기를 정하는 업무에 사용할 수 있다. A5.36이나 A5.36M 규격에서 구분된 용접재료는 그 단위시스템에서 구분하는데 필요한 모든 요구조건들을 만족시켜 주어야 한다.

4. ASME 용접규격

4-1. ASME IX : Qualification Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders; Brazers; and Welding, Brazing, and Fusing Operators

- (1) ASME IX은 원자력발전을 포함한 에너지산업과 화학장치산업의 용접구조물 제작과정에서 핵심적으로 이용되고 있는 국제용접규격이며, 용접기술분야(Part QW)에서 최근에 개정되어 Welding Journal에 소개된 내용들을 정리하였다.⁽⁶⁾
- (2) 전자산업의 발전에 힘입어 용접기의 파형제어(waveform shape control) 성능이 정교해짐에 따라 QW-409.8에서 요구하는 수준의 WPS 작성에 필요한 용접전압, 전류 등의 작업조건을 용접현장에서 정확하게 측정하고 제어할 수 있는 설비와 경험이 요구된다.
- (3) 파형제어형 용접기를 사용하여 용접하는 경우 종래의 측정장비로 용접전류와 용접전압을 측정하면 최대 30%의 편차가 발생하기 때문에 용접입열량과 같은 에너지를 정확하게 산출할 수 없다. 아크용접 시 모재와 용접부에 전달되는 용접입열량은 용접비드와 용입깊이의 크기에 영향을 미치므로 따라서 용접입열량을 정확하게 산출해야 한다.
- (4) QW-300에서는 용접사(welder)와 기계용접사(welding operator)의 자격인증에 필요한 용접시험편에 대해 초음파탐상검사를 실시할 수 있도록 하였다.
- (5) 용접부의 인증을 위한 필릿용접시험을 정리한 QW-452.5의 표에서는 시편두께에 유연성을 부여하여 종전의 요구조건인 “3/16~3/8 inch” 를 대신하여 “3/16 inch 또는 그 이상” 으로 변경하였다.
- (6) 기계구조용 주강재인 A-148, 형단조강인 A-521, 그리고 고장력 단조강인 A-688 등은 규격에서 화학성분의 제한치가 불충분하여 QW/QB-422에서 삭제되었다.
- (7) SA/EN 10028-1 Grades P335GH와 Grade P275NM, SA/EN 10222-2 Grades P280GH와 Grade P305GH, SA/EN 10216-2 Grades P235GH와 Grade P265GH 등 여러 종류의 유럽규격 재료들이 QW/QB-422에 추가되었다.
- (8) ASTM A-199(seamless alloy tube), A-234(fitting), A-691(fusion welded pipe) 등도

QW/QB-422에 추가되었는데 이 재료들은 용접 후 노르말라이징과 템퍼링처리를 받아야 한다.

- (9) UNS S34565은 슈퍼오스테나이트계 스테인리스강으로 P-8 Group 4에, SA-213 310HCbN 튜브는 P-8 Group 1에, SA-299 Grades A와 Grades B는 P-1 Group 2와 P-1 Group 3에 각각 추가되었다.

4-2. ASME IX의 용접품질 향상을 위한 TIG 용접기술 개발

- (1) 보일러 강재와 같은 저합금 고장력강재의 경우 용접입열량은 용접부의 냉각속도를 지배하고 용접부의 저온균열에 지대한 영향을 미친다. ASME IX, QW-409.1에서는 아크용접시 모재와 용접부에 전달되는 용접입열량을 정확하게 제어하는 것을 요구한다.
- (2) 종래의 GTAW에 고속의 진동장치(secondary high-speed oscillation)가 부착된 TIP TIG 용접법은 ASME IX 등의 국제용접규격에서 요구하는 수준의 WPS 작성에 필요한 용접전압, 전류 등의 작업조건을 용접현장에서 쉽게 제어할 수 있으며 <그림 4> 와 같이 용접품질이 우수한 용접비드를 확보하는데 유용하다.⁽⁷⁾



(a) 수동용접(5G)



(b) 자동용접

<그림 4> TIP TIG 용접을 이용한 탄소강관 배관용접부⁽⁷⁾

- (3) TIP TIG 용접법은 고온와이어 공급 기능이 있어서 300% 정도 용착속도를 높일 수 있으며 용접중에 용융금속을 교반시켜 응고속도를 느리게 할 수 있는데 주요 장점으로서는 ① 배관용접시 숙련도가 낮은 용접사도 어려움없이 용접장치를 조작할 수 있음, ② 알곤가스 소모량이 30~60% 절감되고 용접부가 청결해짐, ③ 철판이나 배관용접시 이음부의 V형 개선각도를 60~75° 에서 40~50° 로 낮출 수 있음, 그

리고 ④ 빠른 용접속도, 높은 용접전류, 용융지의 교반, 불활성 가스의 보호에 따른 용접열의 분산 등이 복합적으로 작용하여 용접입열량이 낮으면서 고품위 용접 품질을 얻을 수 있어 클래딩이나 육성용접을 포함한 모든 용접에 적용할 수 있다.

- (4) 용접시공의 완전자동화, 무인화 및 특수 실드가스 적용에 의한 용착효율의 증대 기술로 2중 실드가스를 적용한 고집속 TIG 용접법은 종래 TIG용접 토치 노즐 내에 또 하나의 노즐을 배치함으로써 아크 기둥의 퍼짐을 억제하여 아크 에너지의 밀도를 상승시킴으로써 용착효율의 증대를 도모하는 것이다. 이 용접법으로 용착 효율을 2~3배 정도 증대시키는 것이 가능하다.⁽⁸⁾

5. API 용접규격

5-1. API/ASME 규격에 따른 압력설비의 유지관리

- (1) 압력용기의 국제적 규격을 작성하는 ASME International은 산업계로부터의 유지규격의 필요성에 따라 API에서 개발한 FFS와 RBI 등의 기술을 활용하여 사용중에 있는 압력기기규격(Post Construction Codes)을 API와 공동으로 API/ASME FFS-1 유지규격을 산업계에 적용하고 있다.⁽⁹⁾
- (2) ASME Code Sec. VIII, Div. I 등을 토대로 하여 작성된 API/ASME FFS 규격은 유럽과 미국의 석유정제, 석유화학산업의 사용 중인 기기에 대한 검사기준에 더하여 부식감육과 균열 등에 대한 결함평가 방법이 규정되어 있다.
- (3) API에서는 압력설비를 합리적·경제적으로 보전하는데 필요한 RP579, RP580 등의 FFS 및 RBI 규격을 채택하고 기준체계를 정비하여 운영하고 있으며, API/ASME FFS Joint Committee가 발족하여 API RP579 규격을 발전시켜 ASME 규격화함으로써 석유·화학산업 이외에도 일반산업의 압력기기에 규격을 적용하고 있다.⁽⁹⁾

5-2. 고합금재 배관의 용접시공기술

- (1) 발전소, 원자력, 석유화학, 음식료, 제약 등의 산업분야에서 고합금으로 제조된 배관을 용접할 때에는, API Standard 1104(Welding of Pipeline and Related Facilities)를 포함한 관련 분야의 기술기준에서 요구하는 사항을 충족시킬 수 있도록 고도로 숙달된 용접사에 의한 가스텅스텐 아크용접(GTAW)을 실시해야 한다. Miller Electric Mfg. Co에서는 용접사의 입장에서 필요한 현장의 고합금 배관용접기술을 정리하였으며, 이를 통해 탄소강과 같이 가스텅스텐 아크용접이 수월한 단계를 벗

어나 스테인리스강, 이상계 스테인리스강, Inconel®(Ni-Cr, Ni-Cr-Mo, Ni-Cr-Co-Mo 합금), Monel® (Ni-Cu 합금) 등과 같이 고도의 용접기술을 요하는 고합금재 배관에 대해 용접품질이 우수한 가스텅스텐 아크용접을 수행할 수 있다.⁽¹⁰⁾

- (2) 아크길이가 너무 길면 용융지뿐만 아니라 베벨 가공부위를 포함한 모든 부분이 예열되어 용접결함이 발생하기 쉬워진다. 즉 아크열이 용융지보다 먼저 베벨부위에 도달하면 베벨의 모서리 부분에서 언더컷이 발생한다. 그리고 아크가 길어지면 텅스텐 전극봉 선단부가 너무 빨리 둥글게 변하고 수명이 단축될 수 있다.
- (3) 용접속도가 너무 빠르면 베벨의 루트부분이 제대로 용융되지 못하며 이곳은 올바르게 용융된 다른 부분에 비해 루트비드의 폭이 좁게 나타난다. 용접토치의 이동은 이음부의 방향과 나란하게 거의 일직선을 유지하여 실시하고 용접토치의 각도는 용접아크를 볼 수 있도록 충분히 잡아야 한다. 토치가 15° 이상으로 너무 기울어지면 용접열이 모재로부터 분산되며 이 열에 의해 용접와이어가 예열되면서 와이어의 끝부분이 둥글게 바뀐다. 이런 상태에서는 용융불량과 같은 용접결함이 발생할 수 있다.
- (4) 루트 패스의 측면벽이 양호하게 용융된 용접비드는 약간 불룩한 외관을 보이는데 이와 같이 약간 불룩한 용접비드는 평평하거나 오목한 용접비드에 비해 용접금속의 응고과정에서 용접중심선에 발생하는 균열의 발생확률이 훨씬 낮다. 한편 루트부의 용접비드가 과도하게 불룩한 경우 양호한 용융이 일어나기 어렵게 된다.
- (5) 용접을 종료하는 시점에서 용융지의 주변이 중심부보다 먼저 응고되면 크레이터 균열이 발생하게 된다. 이와 같은 크레이터 균열을 방지하려면 용접이 끝나는 지점에 길이가 25mm 정도인 탭을 붙여서 용접을 연장한 후 이 부분을 제거하면 된다.
- (6) 발전플랜트의 설비기기, 열교환기, 압력용기 등을 접속하기 위한 경로로 이용되는 발전 배관의 이음수는 전체 약 1만개를 초과하는 경우가 많고, 그 종류와 형상도 외경 900mm를 초과하는 대구경 후육관에서 외경 20mm 정도의 소구경 박육까지 여러 가지이다. 발전플랜트의 배관용접은 일반적으로 전기사업법이나 ASME의 기량 자격을 취득한 용접사가 담당하도록 되어 있다. 난이도가 높은 현지의 수동용접 자격에서 자동용접 자격으로 대체함으로써 그 훈련기간이 1/5로 단축되어 자동용접 도입으로 용접사 육성 비용이 대폭 절감된다.⁽¹¹⁾
- (7) 발전플랜트의 공기단축과 비용 삭감을 위해 용접의 고능률화가 요구되고 있다. 플

랜트 배관공사에서 용접의 자동화는 비용, 공사기간, 용접작업자 등 다수의 중요한 과제들을 해결해 주는 강력한 생산기술 수단이다. 고능률 용접프로세스에서는 용접그루브 맞대기 등의 준비작업도 포함한 전체적인 작업시간을 고려해도 자동용접의 도입이 이득이 많으며, 향후 자동화가 더욱 진전될 것으로 예상된다.⁽¹¹⁾

6. 결 론

높은 생산성과 안전성이 요구되는 조선, 철도차량, 자동차, 항공기, 가전제품, 전자·전기제품, 발전설비, 방산기계, 산업기계, 화학설비, 건물, 교량 등을 포함한 용접구조물의 대외경쟁력과 품질보증을 확보하기 위해서는 BS, DIN, ASME 등 국제용접규격에 따른 용접설계와 용접시공의 표준화 기술개발이 중요하다. 압력용기의 경우 용접작업을 위해 ASME IX 국제 용접규격에 의한 최적의 용접작업절차서(WPS)를 작성하고 용접사 인증을 거쳐 용접시공업무를 수행해야 하며, 발전소, 원자력, 석유화학, 음식료, 제약 등의 산업분야에서 스테인리스강과 같은 고합금강으로 제조된 압력용기나 배관을 용접할 때에도 층간온도 제어, 용접금속중의 δ -ferrite량 조절, 희석률 제어 등과 관련되는 AWS D1.6 또는 API Standard 1104과 같은 기술기준에서 요구하는 사항을 충족시켜 주어야 한다. 이외에도 국제용 대형압력용기의 용접에서는 제품의 중량, 판 두께, 형상에 따른 조립방법, 작업환경, 용접장치의 접근성, 요구품질을 종합적으로 고려하여 가장 효율이 높고 안정된 용접시공기술을 적용해야 한다. 또한 가동 중에 있는 압력용기, 보일러, 배관, 저장탱크와 같은 산업설비를 효율적으로 관리하여 안전운전을 유지하고 사용수명을 늘리는데 필요한 설비의 유지기준을 위한 규격의 적용이 필요하다.

<참고문헌>

1. SJohn L. Gayler and Donald D. Rager, "A Summary of Revisions in the New D1.1:2010, Structural Welding Code-Steel", *Welding Journal*, Vol. 89, NO. 7 (2010), pp.47~49
2. Thomas J. Schlafly and Duane K. Miller, "Summary of Changes in D1.1:2015, Structural Welding Code-Steel", *Welding Journal*, 95(1), 2016, pp.44~48
3. Richard Campbell, Lynn Sturgill, and William Roth, "Codes and Standards that Deal with Stainless Steel", *Welding Journal*, 93(5), 2014, pp.44~48
4. Ron Stahura, "Stainless Steel Welding Soars to New Heights", 「Welding Journal」 Vol. 86 (2007) No. 5, pp. 29~34
5. Dennis Crockett, "New AWS Spec Details Flux Cored and Metal Cored Electrodes", *Welding Journal*, Vol. 91, NO. 3(2012), pp.51~53
6. Walter J. Sperko, "What's New in ASME Section IX?", *Welding Journal*, Vol. 89, NO. 8 (2010), pp.44~47
7. E. Craig, "Process Proves Beneficial for Welding Code-Quality and Alloy Applications", *Welding Journal*, 91(11), 2012, pp.18~20
8. KANEHIRO Naomitchi, "發電用壓力容器における溶接施工技術", 「溶接技術(日本)」, 63(9), 2015, pp.77~82
9. 菊池務, "API/ASME規格による壓力設備の維持管理の動向と適用", 溶接學會誌, Vol. 77, NO. 6 (2008), pp.565~570
10. Neal Borchert and Danny Phillips, "Techniques for Successfully Welding Alloy Pipe", 「Welding Journal」 Vol.86 (2007), No.6, pp.58~62
11. KATO Katai, et.al, "プラント配管溶接技術の潮流", 「溶接技術(日本)」, 63(8), 2015, pp.40~45

이 분석물은 미래창조과학부 과학기술진흥기금, 복권기금의 지원을 받아 작성하였습니다.