

인코넬 625 FCAW 용접부 물성에 미치는 보호가스의 영향에 대한 연구

A Study on Effect of Shielding Gas on the Mechanical Properties of Inconel 625 FCAW Weldments

김 찬*, 김 대순*, 안 도경**, 박 경동***

* 현대중공업 산업기술연구소

** 현대중공업 기술교육원

*** 부경대학교 기계설계학과

ABSTRACT Inconel 625 is useful in variety of industrial applications because of the resistance to attack in various corrosive media at temperatures from 200°C to over 1090°C, in combination with good low- and high-temperature mechanical strength. Recently, this material is also used widely in offshore process piping in order to extend the maintenance term and improve the quality of anti-corrosion. Nowadays, the flux cored wire is developed and applied for the better productivity in several welding position including the vertical position. In this study, the weldability and weldment characteristics of inconel 625 are considered in FCAW weld associated with the several shielding gases in viewpoint of welding productivity.

1. 서 론

20세기에 들어와서 항공우주 산업, 원자력 산업, 파워 플랜트 산업, 석유화학 산업 등의 첨단 산업분야에서는 초내열합금이 기본적인 구조재료로 많이 사용되고 있다. 이러한 Ni기 합금중에서 대표적인 인코넬(Inconel) 625강은 터빈 케이싱, 연소실 라이너 등과 같은 박판의 용접구조용 재료로 널리 사용되고 있다. 뿐만 아니라 최근에 해양구조물의 탑사이드(Top Side, 원유 혹은 가스의 처리 Process plant 구조물)에서의 내구성 향상 및 유지 보수 주기의 Long term 화가 대두되면서 인코넬 625강의 대구경 파이프 등 후판으로도 많이 사용되고 있다.

인코넬 625강의 용접에 적용되는 용접기법은 주로 GTAW 용접법이 사용되고 있는데, 강재의 두께가 후판이고, 용접장이 길 경우에 GTAW 용접기법을 사용하게 되면, 작업시간이 많이 길어지므로, 제조업체의 경우, 용접생산성 및 공사기간에 상당한 지장을 초래하게 된다. 이에 대한 대책으로 최근에 와서 수직상진(Vertical-up) 용접자세까지 가능한 FCAW 용접재료가 개발되어 점차 사용빈도가 높아지고는 있지만, 아직도 인코넬 625강의 FCAW용접에 관한 활발한 연구는 진행되지 못하고 있는 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 해양구조물의 Top-side 나 플랜트 설비의 공정파이프(Process piping)의 점검주기를 길게하고 사용 수명을 증가시킬 목적

으로 그 사용이 확대되고 있는 인코넬 625강의 용접부 특성을 분석하고 물성적인 측면에서 그 안정성을 확보하고자 인코넬 625강의 FCAW 용접보호가스의 조성(80%Ar + 20%CO₂, 50%Ar + 50%CO₂, 100%CO₂)에 따른 용접특성(기계적성질, 내부식성 등)을 규명하고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1 모재 및 용접재료

본 연구에 사용된 모재는 인코넬 625강으로 두께는 19mm이고, 직경은 14inch 파이프였다. Table 1과 2에 모재의 화학조성과 기계적성질을 나타내었고, Table 3에 FCAW 용접재료의 화학조성을 나타내었다.

Table 1 Chemical composition of base metal (ASTM B705 UNS N06625)

Element(wt.%)													
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti	Fe	Nb	Mo	Al	Co	Ta
0.03	0.15	0.12	0.009	0.002	22.3	60.4	0.21	3.9	3.4	9.1	0.14	0.2	0.05

Table 2 Mechanical properties of base metal

Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HV10)
556	948	50.1	241~267

Table 3 Chemical composition of FCAW wire

Element(wt.%)												
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti	Fe	Nb	Mo	Al	Cu
0.062	0.38	0.15	0.005	0.002	21.5	61.8	0.17	3.21	3.58	8.82	0.28	0.03

2.2 용접

2.2.1 용접조건

시험편은 편면(Single Vee) 개선을 하고, 사용된 용접기법은 강재가 파이프이기 때문에 백비드를 형성시키기 위해 초충과 들썰충에는 GTAW 5G 자세로 용접을 하고, 나머지층은 FCAW로 파이프를 회전시키는 1G-rotated 자세로 용접 하였다. Table 4에 용접조건을 나타내었다.

Table 4 Welding parameters

Pass No.	Welding process	Welding parameters			Heat input (kJ/cm)
		Ampere (A)	Volt (V)	Speed (CPM)	
1	GTAW	100	11	5.2	12.7
2	GTAW	160	13	10.9	11.4
3~11	FCAW	180~200	26~28	20.8~25.4	12.1~15.7

2.2.2 실험내용

본 연구에 사용된 FCAW 용접 보호가스는 80%Ar + 20%CO₂, 50%Ar + 50%CO₂, 100%CO₂를 사용하여 보호가스 종류에 따른 용접성시험을 위하여 여러 가지 종류의 물성시험을 수행하였다. 먼저 용접작업성시험을 수행하였고, 물성시험으로는 인장시험, 충격시험, 굴곡시험, 경도시험, 미세조직관찰을 하였으며, 내 부식성을 평가하기 위해 GIS G 0573에 따른 입계균열특성평가도 수행하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 용접작업성

FCAW 용접보호가스 종류에 따른 용접작업성의 차이점을 관찰하였는데, 시험전에 예상됐던

일반적인 용접재료 특성과 유사한 결과(아크안정성, 비드퍼짐성 등)를 나타내었다. 기본적인 용접성은 보호가스 세 종류 모두 용접하는데 큰 차이가 없는 비교적 양호한 결과를 보여주었으며, 자세한 결과를 Table 5에 나타내었다. 또한, 용접후에 비파괴검사(radiographic inspection)를 하였는데 세 종류의 보호가스 모두 결함이 없는 양호한 결과를 나타내었다.

Table 5 Results of weldability test

Shield gas	Workability	Bead appearance	Spatter	Weldability	Wire feedability
80%Ar + 20%CO ₂		△	little	⊙	△
100%CO ₂		△	much	△	⊙
50%Ar + 50%CO ₂		△	medium	○	○

⊙: very good, ○: good, △: normal

3.2 경도시험

용접후에 마크로 시편을 가공하여 에칭한후 비커스경도(Hv5) 시험을 수행하였다. 경도위치는 모재, 열영향부, 용접부 순으로 찍었고, 각 압흔 사이의 간격은 0.5mm로 하였다. 일반적으로 offshore process piping 제작의 경우, NACE MR 0175 code를 따르는 경우가 많은데, 경도값이 최대 345(Hv)로 규정되어 있다. 시험결과, 100%CO₂ 보호가스의 경우에 345(Hv5)를 초과하는 값도 있었지만, 다른 두 종류의 보호가스는 모두 345이하였다. Fig. 1에 자세한 경도시험의 결과를 나타내었다.

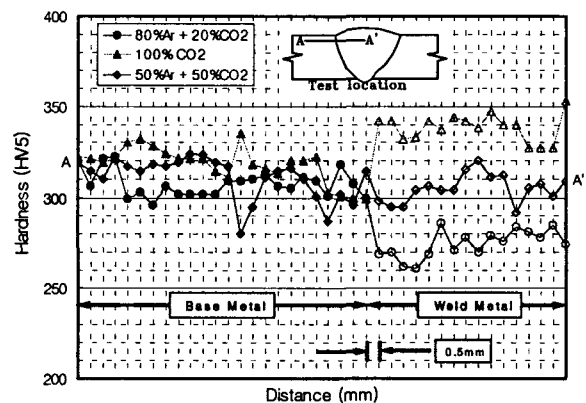


Fig. 1 Results of vickers hardness test(Hv5)

3.3 온도에 따른 인장특성변화

고온인장시험은 전체적으로 유사한 결과를 보여주었고, 온도 600℃까지는 양호한 결과를 보여

주었으며, 약 600°C 이상에서 급격하게 인장강도가 감소하는 것을 볼 수 있으며, 보호가스 종류별로는 80%Ar + 20%CO₂ 보호가스의 인장강도가 약간 낮은 경향을 보여주었다. Fig. 2에 고온인장 시험의 결과를 나타내었다.

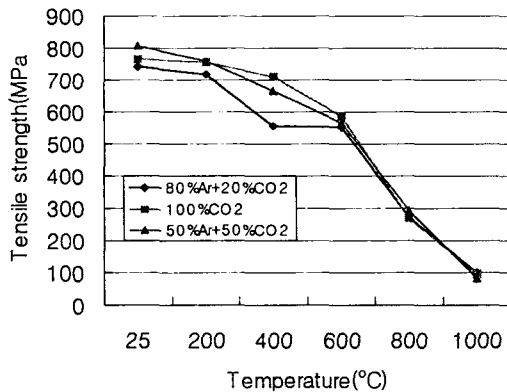


Fig. 2 Results of tensile under various temp.

3.4 충격시험

극저온에서의 인성을 평가하기 위하여 보호가스 종류별로 -196°C에서 충격시험을 하였다. Table 6에는 충격시험 결과를 나타내었는데, 80%Ar + 20%CO₂ 보호가스에서 약 70J 정도의 가장 양호한 결과를 보여주었다.

Table 6 Results of charpy impact test

Specimen	Notch location	Notch type	Temp. (°C)	Impact value (Joule)			
				1	2	3	ave.
80%Ar + 20%CO ₂	W.M	V	-196	72	67	70	70
100%CO ₂	W.M	V	-196	33	35	41	36
50%Ar + 50%CO ₂	W.M	V	-196	38	36	38	37

3.5 내부식 특성

인코넬 625강은 고온강도 뿐만 아니라, 내식성 측면에서도 상당히 중요한 강재이기 때문에 부식성 시험도 수행하였다. 용접부만의 내식성을 평가하기 위하여 각 보호가스 종류별로 Bead-on-plate 5층 육성용접을 수행하여 시편을 채취하였다. 시험편크기는 3x20x30mm로 하여, 각 시험 종류별 시편을 세 개씩 시험하였다. 시험방법은 GIS G 0573의 입계균열 특성평가 방법으로, 시험편을 끓는 65%질산용액에 48시간동안 침지시키는 방법으로 Table 7에서 볼 수 있듯이 세 종류 모두 유사한 corrosion rate로 양호한 결과를 보여주고 있다.

Table 7 Results of corrosion test

Method / Specimen	Specimen No.	65% nitric acid (boiling x 48hr)	
		weight loss(g)	corrosion rate(g/m ² /h)
80%Ar + 20%CO ₂	1-1	0.0303	0.42
	1-2	0.0311	0.43
	1-3	0.0306	0.43
100%CO ₂	2-1	0.0298	0.41
	2-2	0.0300	0.42
	2-3	0.0292	0.41
50%Ar + 50%CO ₂	3-1	0.0277	0.38
	3-2	0.0294	0.41
	3-3	0.0282	0.39

3.6 미세조직 관찰

용접후에 각 보호가스별로 마크로시편을 가공하여 폴리싱 한 후 에칭하여 용접금속 및 열영향부의 미세조직을 관찰하였다. 용접부, 열영향부 및 모재 전체가 austenite 조직이며, 보호가스 종류에 따른 미세조직의 차이는 거의 없는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결 론

각각의 보호가스 종류마다 용접특성에 약간의 차이는 있었지만 모두 비교적 양호한 결과를 보여주었으며, 그 중에서도 80%Ar + 20%CO₂ 보호가스가 가장 양호하였다. 그리고, 경도값이 최대 345(HV)인 NACE MR 0175 code가 적용되는 경우의 100%CO₂ 보호가스를 제외하고는, 세 종류의 보호가스 모두 사용가능 한 것으로 판단되어지며, 사용 용도에 따라 보다 적절한 보호가스를 선택하여 사용하여야 할 것 같다.

참고문헌

1. Cieslak, M. J. 1991. ; The welding and solidification metallurgy of Alloy 625. Welding Journal 70(2) : 49-s to 56-s.
2. Dupont, J. N. 1996 ; Solidification of an Alloy 625 weld overlay. Metallurgical and Material Transactions A, Vol. 27A, pp.3612-3620.
3. 용접접합편람 ; 대한용접학회