

석유시추용 인코넬 625강의 FCAW용접에 의한 부식성에 관한 연구

박경동* · 안도경** · 안재필**
*부경대학교 기계공학부
**부경대학교 기계공학부 대학원
**부경대학교 기계공학부 대학원

A Study on Corrosive Characteristics of Inconel 625 for Petroleum Application by FCAW Process

KEYUNG-DONG PARK*, DO-KEYUNG AN** JAE-PIL AN**

*Pukyong National University DEPT. of Mechanical Engineering, Busan 608-739, Korea

**Pukyong National University DEPT. of Mechanical Engineering, Busan 608-739, Korea

**Pukyong National University DEPT. of Mechanical Engineering, Busan 608-739, Korea

KEY WORDS: FCAW 플럭스코어 아크용접, Weld Shield Gases 용접보호가스, Corrosion 부식, Weight Loss 무게감소,

ABSTRACT: Recently, Inconel 625 is used widely in offshore processing piping in order to extend the maintenance term and improve the quality of anti-corrosion. According to 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. In general, High quality weldments for this material are readily produced by commonly used processes. In recent years, the flux cored arc welding(FCAW) process is becoming more popular due to higher deposition rate and a better weld quality as compared to the shielded metal arc welding (SMAW) process, at the same time, exhibiting equally good weld metal toughness similar to the SAW process.

In this study, the weldability and weldment characteristics(mechanical properties and corrosive environment) of Inconel 625 are considered in FCAW weld associated with the several weld shielding gases(80%Ar + 20% CO₂, 50%Ar + 50% CO₂, 100% CO₂) in viewpoint of welding productivity.

1. 서 론

20세기에 들어와서 항공우주 산업, 원자력 산업, 파워 플랜트 산업, 석유화학 산업 등의 첨단산업분야에서는 초내열합금이 기본적인 구조재료로 많이 사용되고 있다. 그 중 Ni기 합금은 규칙격자(FCC)를 갖는 오스테나이트상의 석출현상을 이용한 강석출경화형 합금으로서, 초내열합금 중에서도 가장 강하며, 가스터빈의 브레이드, 디스크, 연소실 등과 같은 고온·고응력을 받는 주요부품의 구조용 재료로 널리 사용되고 있다.(Cieslak, 1991; Dupont and Robino, 1997;)

이러한 Ni기 합금중에서 대표적인 Inconel 625강은 해양구조물의 탑사이드(Top Side, 원유 혹은 가스의 처리 Process Plant 구조물)에서의 내구성 향상 및 유지보수주기의 장기화가 대두되면서 Inconel 625강의 대구경 파이프 및 박판의 용접구조용 재료로 널리 사용되고 있다. (Cieslak, 1989; Dupont, 1997)

Ni기 초내열합금은 모상이 r 단상이기 때문에 각종 균열이

발생하기 쉽기 때문에(ASM, 1997) 이를 보완하고자 용접성을 저하시키는 Ti, Al 양을 감소시키고, 대신에 Nb 양을 증가시킨 것이 Inconel 625이다.

Inconel 625강의 용접에 적용되는 용접기법은 주로 GTAW 용접법이 사용되고, SMAW, GMAW, SAW, FCAW 등의 용접법이 일부 사용되고 있는 실정이다. 그러나 각각 용접자세에 있어서의 제한성 및 용접생산성 등에서 여전히 문제점이 많은 재질이다.(Zhao et al, 1992)

따라서 본 연구에서는 최근에 많이 개발되고 있는 Inconel FCW(Flux Cored Wire) 용접재료를 사용하여 용접의 작업성을 높이고 용접부의 품질을 향상 시킬 수 있는 용접기법을 개발하여 생산현장의 용접생산성을 향상시키고자 하였다. 이에 따라 용접보호가스의 조성에 따른 Inconel 625강의 기계적성질 및 부식성을 연구하고자 하였다.

2. 재료 및 실험방법

2.1 시험재료 및 용접

제1저자 박경동 연락처: 부산시 남구 용당동 산100

051-620-1592 parkkd@pknu.ac.kr

본 연구에 사용된 재료는 두께 19mm이고, 직경이 14인치인 Inconel 625 파이프로 화학적 성분은 Table 1에 상온에서의 기계적 성질은 Table 2에 나타내었다.

강재가 파이프이기 때문에 용접재료는 GTAW와 FCAW를 사용하였는데, 용접하기전에 시편을 압연방향과 직각으로 60°V-groove를 기계가공 후 1층과 2층에는 GTAW로 파이프를 45℃로 고정하고 라운드 용접을 하고 나머지는 FCAW로 파이프를 회전시키면서 아래보기 자세로 용접을 하였다. Table 3에 FCAW 용접재료의 화학조성을 나타내었고, Table 4에 용접 조건을 나타내었다. Fig. 1이 용접의 순서 및 비드형상을 나타낸 것이다.

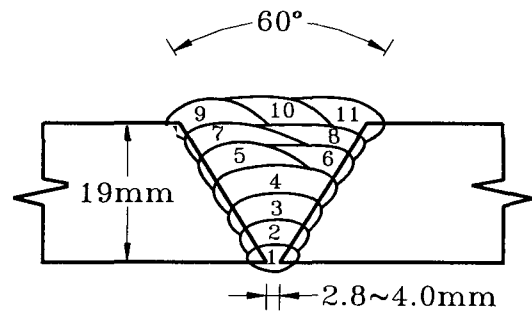


Fig. 1 Schematic diagram of specimen and welding procedure

Table 4 Welding Parameters and procedure

Pass No.	Welding Process	Welding Parameters			Heat Input (kJ/cm)	Interpass Temp. (°C)
		Current (A)	Volt (V)	Speed (CPM)		
1	GTAW	100	11	65.2	12.7	19
2	GTAW	160	13	10.9	17.0	51
3	FCAW	190	27	22.7	13.6	33
4	FCAW	200	28	21.4	15.7	78
5	FCAW	190	27	21.1	14.6	94
6	FCAW	190	27	20.8	14.8	58
7	FCAW	190	27	25.4	12.1	117
8	FCAW	190	27	24.8	12.4	136
9	FCAW	180	26	22.2	12.6	58
10	FCAW	180	26	23.0	12.2	79
11	FCAW	180	26	22.6	12.4	103

2.2 용접작업성시험

먼저, 본 연구에서는 용접에서 가장 기본이라고 할 수 있는 용접작업성시험을 하였다. 본 연구에 사용된 FCAW 용접 보호 가스는 다음과 같이 3종류를 사용하였다. 첫 번째는 80%Ar + 20%CO₂ 이고, 두 번째는 50%Ar + 50%CO₂, 세 번째는 100%CO₂ 이었다. 그리고 용접 후 용접부위를 비파괴검사 (Radiographic Inspection)와 마크로 사진으로 조직을 관찰하였다.

2.3 경도시험

용접후에 마크로 시편을 가공하여 에칭한 후 micro vicker's hardness tester(HV5)로 비커스경도시험을 수행하였다. 경도위 치는 모재, 열영향부, 용접부 순으로 찍었고, 각 압흔사이의 간격은 0.5mm로 하였다. 앞에 시험과 같이 세 가지 종류의

Table 1 Chemical compositions of Inconel 625 steel (wt.%)
(ASTM B705 UNS N06625)

Materials	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti	Fe	Nb	Mo	Al	Co	Ta
Inconel 625	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 Inconel 625 steel

materials	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HV10)
Inconel625	556	948	50.1	241~267

Table 3 Chemical composition of FCAW filler metal
(AWS CLASS. : ERNiCrMo-3)

Element(wt.%)													
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti	Fe	Nb	Mo	Al	Cu	Rem.
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	0.05

FCAW 용접 보호가스에 따른 경도시험을 하였다.

2.4 부식시험

용접부만의 내식성을 평가하기 위하여 각 보호가스 종류별로 Bead on plate 5층 육성용접을 수행하여 시편을 채취하였다. 시편크기는 3x20x30mm로 하였으며, 시험오차를 줄이기 위해 각 시험 종류별로 시편은 세 개씩 시험하였다. Fig. 2가 시험편의 채취 및 시험편의 형상을 나타낸 그림이다.

시험장비는 Fig. 3에 나타냈으며, 시험방법은 다음과 같은 세 가지 종류의 방법을 채택하였다. 첫 번째는 JIS G 0573의 부식 시험 방법으로서, 시험편을 65%질산용액에 담고 48시간 동안 끓이면서 하는 부식시험이며, 두 번째는 시편을 30%질산용액에 담고 6시간 동안 끓이면서 하는 방법이며, 세 번째는 시편을 1%염산용액에 담고 6시간 동안 끓이면서 하는 시험 방법이었다.

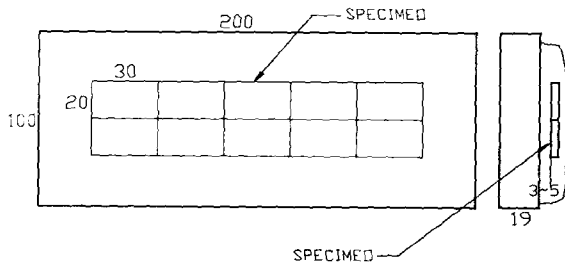


Fig. 2 Shape and dimensions of corrosive specimen

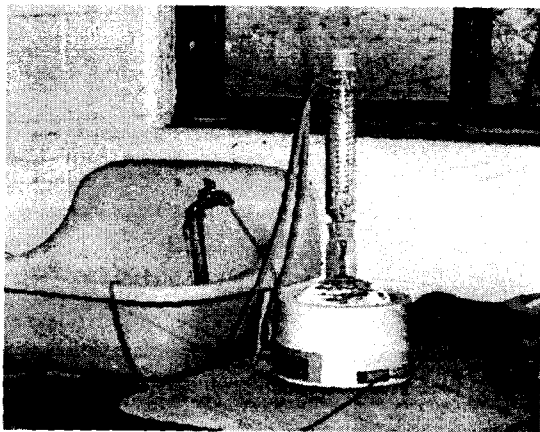


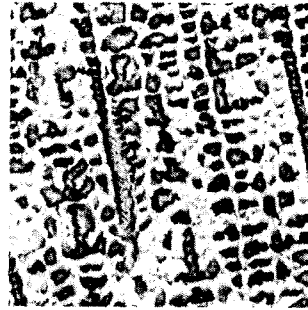
Fig. 3 Photograph of Equipment for Corrosion Test

3. 실험결과 및 고찰

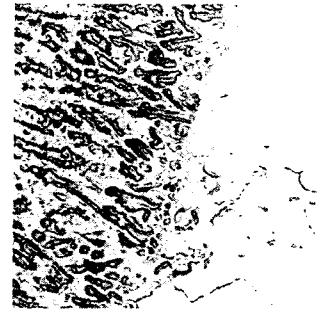
3.1 미세조직 변화

각 보호가스별로 용접한 부위를 마크로시편으로 가공하여 폴리싱 한 후 에칭용액(염산3 : 질산1 : 초산0.5)으로 에칭하여 용접금속 및 열영향부의 미세조직을 관찰하였다. Photo 1에 각 보호가스에 따른 용접부 및 열영향부의 미세조직 사진을 나타내었다. 용접부, 열영향부 및 모재 전체가 Austenite 조직이며, 보호가스별 미세조직에 있어서는 큰 차이나 변화는 없고 세

종류의 보호가스별로 모두 열영향부에 용접선과 수직방향을 이루는 약간의 액화균열이 발생했다. 이는 저용접액상을 형성하는 Nb이 함유되어 있는 것에 기인한 것으로 생각된다.(Cieslak, 1991)



Weld metal



Heat Affected Zone

(a) 80%Ar + 20%CO₂

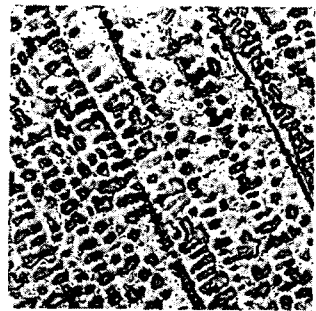


Weld metal



Heat Affected Zone

(b) 100%CO₂



Weld metal



Heat Affected Zone

(c) 50%Ar + 50%CO₂

Photo 1 SEM Photographs of Microstructure with several shield gases

3.2 용접특성

세 종류의 보호가스별 용접작업성은 먼저 스패터 발생량과 용접성 측면에서는 80%Ar + 20%CO₂ 보호가스가 가장 양호하였고, 100%CO₂ 보호가스가 가장 열등하였다. 50%Ar + 50%CO₂ 보호가스는 중간적인 성질을 나타내었다. 송급성 측면

에서는 100%CO₂ 보호가스가 가장 양호하였고, 80%Ar + 20%CO₂ 보호가스가 가장 열등하였다. 그리고 비드 외관면에서는 세 종류 모두 보통으로 전반적으로 용접하는데는 무리가 없는 비교적 양호한 결과를 보여주었다.

Fig. 4에는 각 보호가스 종류에 따른 경도시험의 결과를 보여주고 있는데, 용접부의 경우, 100%CO₂보호가스가 가장 높은 경향을 보여주고 있으며, 50%Ar + 50%CO₂보호가스가 중간 정도의 경향을 보여주고 있으며, 80%Ar + 20%CO₂보호가스가 가장 낮은 경향을 보여주고 있다.

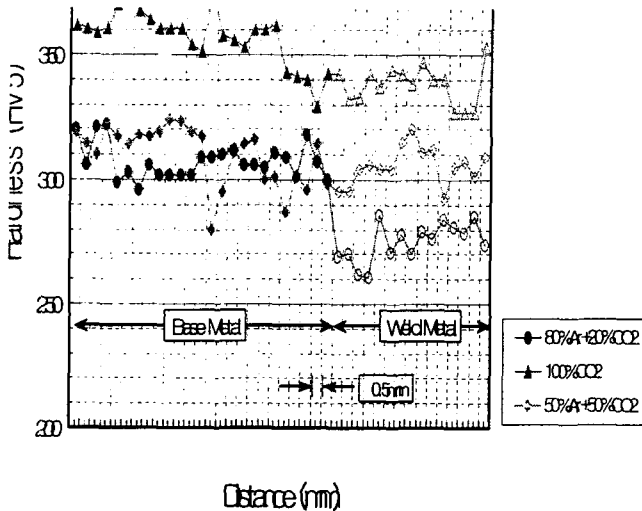


Fig. 4 Results of Hardness Test

3.3 무게감소량

Fig. 5에는 각 보호가스 종류에 따른 시험편들의 무게감소량을 나타낸 것이다.

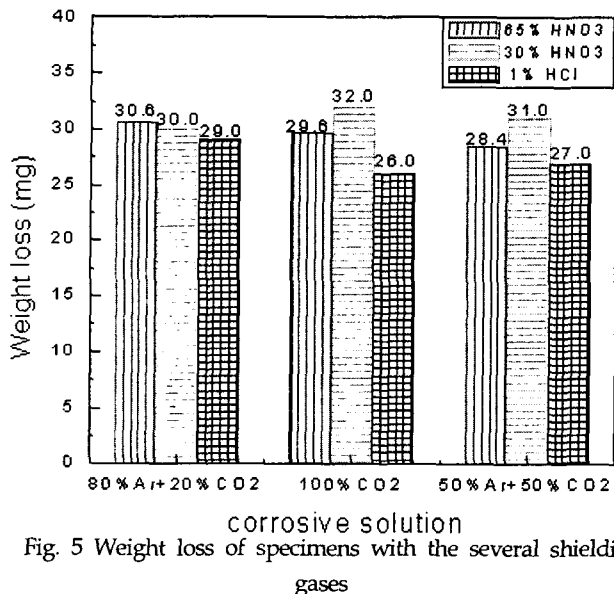


Fig. 5 Weight loss of specimens with the several shielding gases

무게감소는 각 시험편의 시험전 중량을 측정된 후 부식시험

을 행한 다음 부식 생성물을 완전히 제거한 다음의 중량변화를 측정된 것이다. 여기서 65% HNO₃는 48시간동안 나머지 30% HNO₃와 1%HCl은 6시간동안 침지 후 무게감소량을 측정된 것이다.무게감소량은 세 종류의 보호가스별로 큰 차이가 없이 비슷한 양상을 보였다. 즉 부식성에는 양호한 모습의 결과를 보여주고 있다. 이는 Cr의 증가에 따른 고온 산화성분위기에서의 부식저항성의 증가와 입계탄화물(Cr₇C₃, Cr₂₃C₆)에 의한 예민화현상의 감소에 따른 결과라고 생각된다. 그러나 부식용액의 종류에 있어서는 큰 차이를 보이고 있다. 1%의 염산용액은 농도가 질산(65%,30%)에 비해 낮은데도 불구하고 높은 무게감소량을 나타냈다. 이는 Cl⁻이온에 의해 강 표면의 산화피막이 손상되어 부식을 증가시킨 것으로 보인다. 따라서 부식용액에 따른 차이는 있는 것으로 보인다.

4. 결론

지금까지 인코넬 625강의 FCAW 용접 보호가스 종류에 따른 용접특성을 검토하였다. 보호가스 종류는 80%Ar + 20%CO₂, 50%Ar + 50%CO₂, 100%CO₂ 보호가스의 3종류를 사용하였다. 실험에 따른 결과를 살펴보면 다음과 같다.

(1) 세 종류의 보호가스별 용접 후 미세조직관찰에 있어서 모두 Austenite 조직으로써 큰 차이는 없고 세 종류의 보호가스별로 모두 열영향부에 용접선과 수직방향을 이루는 약간의 액화균열이 발생했다.

(2) 용접작업성에 있어서 세 종류의 보호가스 모두 비교적 양호한 결과를 보여주었으며, 경도시험은 용접부의 경우, 100%CO₂보호가스가 가장 높은 경향을 보여주고 있으며, 50%Ar + 50%CO₂보호가스가 중간 정도의 경향을 보여주고 있으며, 80%Ar + 20%CO₂보호가스가 가장 낮은 경향을 나타내었다.

(3) 부식시험은 JIS G 0573의 부식시험 방법과 일반적인 두 종류의 방법으로 전체 세 종류의 방법을 사용하였다. 전체적으로는 부식성에서 양호한 결과를 보여주었는데, 1%의 염산의 경우는 질산에 비해 농도와 침지시간이 낮은데도 불구하고 높은 무게감소량을 나타내었다.

참고 문헌

- Gieslak, M. J. (1991). "The welding and solidification metallurgy of Alloy 625." *Welding Journal* 70(2) : 49-s to 56-s.
- Dupont, J. N, Robino, C. V., Marder, A. R. (1997). "Solidification of Nb-braring superalloys, Part II : Pseudo-ternary solidification surfaces". Accepted for publication in *Metallurgical and Material Transactions*.
- Gieslak, M. J., Headley, T. J., and Frank, R. B. (1989). "The

- welding metallurgy of custom age 625 PLUS alloy".
Welding Journal 68(12): 473-s to 482-s.
- Dupont, J. N. (1997). "Solidification and Welding Metallurgy of Experimental Ni Base and Fe Base Alloys Containing Nb, Si, and C" , Ph.D. Thesis, Lehigh University.
- Dupont, J. N. (1996). "Solidification of an Alloy 625 weld overlay". Metallurgical and Material Transactions A, Vol. 27A, pp. 3612-3620.
- The ASM International Handbook Committee (1997). "Heat-Resistant Materials, ASM International pp 222-225.
- Zhao, Q. H., Gao, Y., Devletian, J. H., Mccarthy, J. M., and Wood, W. E. (1992). "Microstructural analysis of Ni alloy 625 cladding over carbon steel". Proc. of 3rd Int. Conf. International Trends in Welding Science and Technology. S. A. David and J. M. Vitek, eds., ASM, Materials Park, Ohio, pp. 339-343

용접접합편람 ; 대한용접학회

2004년 5월 3일 원고 접수

2003년 7월 20일 최종 수정본 채택