

해양 구조용 인코넬강의 FCAW용접의 최적기술 개발

박경동* · 진영범** · 안도경**

*부경대학교 기계공학부

**부경대학교 기계공학부 대학원

**부경대학교 기계공학부 대학원

Development of Inconel for Marine Structural Steel by FCAW Process

KEYUNG-DONG PARK*, YOUNG-BEOM JIN** DO-KEYUNG AN**

*Dept. of Mechanical Engineering, Pukyong National University, Busan, Korea

**Division. of Mechanical Engineering, Pukyong National University, Busan, Korea

**Division. of Mechanical Engineering, Pukyong National University, Busan, Korea

KEY WORDS: High Temperature 고온, FCAW 플렉스코어 아크용접, Shield Gas 보호가스, Anti-corrosion 방식, Marine Structural Steel 해양구조용강

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 processing piping in order to extend the maintenance term and improve the quality of anti-corrosion. In general, high quality weldments for this material are readily produced by commonly used processes. Not all processes are applicable to this material group, Ni-alloys. Metallurgical characteristics or the unavailability of matching, position or suitable welding processes. 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(mechanical properties) of inconel 625 are considered in FCAW(Flux Core Arc Welding) associated with the several shielding gases(80%Ar +20%CO₂, 50%Ar +50CO₂, 100CO₂) in viewpoint of welding productivity.

1. 서 론

20세기에 들어와서 항공우주 산업, 원자력 산업, 파워 플랜트 산업, 석유화학 산업 등의 첨단산업분야에서 초내열합금이 기본적인 구조재료로 많이 사용되고 있다. 그 중 Ni기 합금은 규칙 격자(FCC)를 갖는 오스테나이트상의 석출현상을 이용한 강석출 경화형 합금으로서, 초내열합금 중에서도 가장 강하며, 가스터빈의 브레이드, 디스크, 연소실 등과 같은 고온·고응력을 받는 주요부품의 구조용 재료로 널리 사용되고 있다(Gieslek, 1991; Dupont and Robino, 1997). 그리고 섭씨 980°C에서도 질기고 강한 성질이 있으며, 특히 산화, 부식에 잘 견디고, 인산용액에 강하다. 때문에 화학 및 오염방지 시설용 배관, 밸브 해상장비에 사용된다. 아크 용접 프로세스 중에서 FCAW는 SMAW나 GMAW에 비하여 우수한 작업성과 생산성으로 인하여 조선을 비롯한 일반 강구조물 용접에서 널리 채용되고 있어, 용접재료의 사용도 연간 약 6만 톤 정도에 다다른다.

국내의 여러 용접재료 제조사에서는 FCAW 용접재료의 작업성 개선을 위하여 많은 노력을 기울이고 있고, 용접재료를 사용하는 사용자 측에서도 우수한 FCAW 용접재료의 선정을 통하여 용접 작업성을 개선하고자 많은 노력을 기울이고 있다. FCAW Process의 작업성은 아크 안전성, 흠 발생량, 스래그 제거성, 송급성, 비드 퍼짐성등 여러 가지 평가 분야가 있다. 이러한 FCAW Process의 작업성은 용접재료의 성능에 따라 크게 달라지므로 우수한 용접재료의 선정이 곧 우수한 용접 작업성을 확보한준 방법이라고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 최근에 많이 개발되고 있는 Inconel FCW(Flux Core Wire)용접 재료를 사용하여 용접의 작업성을 높이고 용접부의 품질을 향상 시킬 수 있는 용접기법을 개발하여 생산현장의 용접생산성을 향상시키고자 용접중에 사용하는 보호가스(Shielding Gas)의 혼합비에 따른 Inconel 625강의 기계적 성질 및 고온 인장 특성에 관해 연구하고자 한다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 시험재료

제1저자 박경동 연락처: 부산광역시 남구 용당동 산100

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

본 연구에서 사용된 시험편은 대구경 파이프 및 박판의 용접 구조용 재료로 널리 사용되고 있는 Inconel 625강이며, 이 재료의 화학적 성분은 Table 1과 같고, Table 2는 기계적 성질이다. 본 연구에 사용된 모재는 Inconel 625 파이프로 두께는 19mm이고, 직경은 14"로 하였다. 강재가 파이프이기 때문에 용접재료는 GTAW와 FCAW를 사용하였는데, 용접하기 전에 시험편을 압연방향과 직각으로 60° V-groove로 기계가공 후 1층과 2층에는 GTAW로 파이프를 45°로 고정하고 라운드 용접을 하고 나머지 층은 FCAW로 파이프를 회전시키면서 아래보기 자세로 용접을 하였다. Table 3에 FCAW 용가재의 화학조성을 나타내었고, Table 4에 용접조건을 나타내었다. Fig. 1은 시험편의 형상과 용접 순서 및 비드형상을 나타내었다.

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

Material	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Fe	Nb	Mo	Al	Co	Ta
Inconel 625	0.15	0.12	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	Cr	Ni	Ti	Fe	Nb	Mo	Al	Cu	Rem.
0.062	0.38	0.15	21.5	61.8	0.17	3.21	3.58	8.82	0.28	0.03	0.05

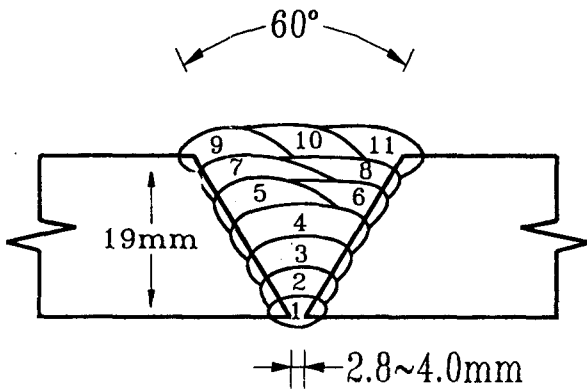


Fig. 1 Schematic diagram of specimen and welding procedure
Table 4 Welding Parameters and procedure

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 용접작업성측정

FCAW 용접보호가스 종류에 따른 용접작업성의 차이점을 관찰하였는데, 시험 전에 예상했던 일반적인 용접재료 특성과 유사한 결과(아크안정성, 비드퍼짐성 등)를 나타내었다. 기본적인 용접성은 보호가스 세 종류 모두 용접하는데 무리가 없는 비교적 양호한 결과를 보여주었다. 먼저, 스파터 발생량과 용접성 측면에서는 80%Ar + 20%CO₂ 보호가스가 가장 양호하였고, 100%CO₂ 보호가스가 가장 열등하였다. 50%Ar + 50%CO₂ 보호가스는 중간적인 성질을 나타내었다. 그러나 송급성 측면에서는 100%CO₂ 보호가스가 가장 양호하였고, 80%Ar + 20%CO₂ 보호가스가 가장 열등하였다. 이에 대한 용접작업성 시험 결과를 Table 5에 나타내었다.

Table 5 Result of weldability test

Shield gas	Work ability	Bead appearance	Spatter	Weld ability	Wire feedability
80%Ar + 20%CO ₂	△	little	◎	△	
100%CO ₂	△	much	△	◎	
50%Ar + 50%CO ₂	△	medium	○	○	

◎: very good, ○: good, △: normal

그리고 용접후에 비파괴검사(radiographic inspection)를 하였는데 세 종류의 보호가스 모두 결함이 존재하지 않는 양호한 결과를 나타내었다. Fig. 2에 용접후 마크로 사진을 촬영하였는데, 세 종류의 보호가스 모두 양호한 결과를 나타내었다.

이는 본 용접에서 사용한 용접조건이 기본적으로 산업현장에서 내 균열성(Hot crack)시험을 통해서 균열이 발생하지 않는 범위에서의 용접조건을 사용하였기 때문에 균열은 발생하지 않는 것이며 본 연구에서는 보호가스 특성에 따른 이물질(slag) 혼입 혹은 용융부족 및 용합불량 등이 비교의 대상으로써 관찰된 결과이다.

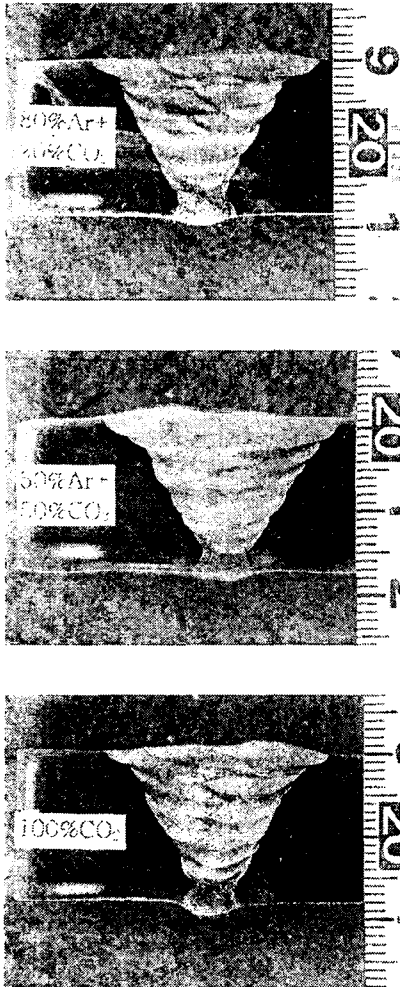


Fig. 2 Macro photograph

2.3 경도측정

용접후에 마크로 시편을 가공하여 예칭한후 micro vicker's hardness tester(HV5)로 경도시험을 수행하였다. 경도위치는 모재, 열영향부, 용접부 순으로 찍었고, 각 압흔 사이의 간격은 0.5mm로 하였다.

2.4 고온인장 시험

Inconel 625강에서 가장 중요한 성질인 고온 인장시험을 하기 위해 Heating Chamber가 장착된 50톤 피로시험기

(SHIMADZU, UH-F50A)를 이용하였다. 실험온도는 25℃, 200℃, 400℃, 600℃, 800℃, 1000℃에서 측정하였다.

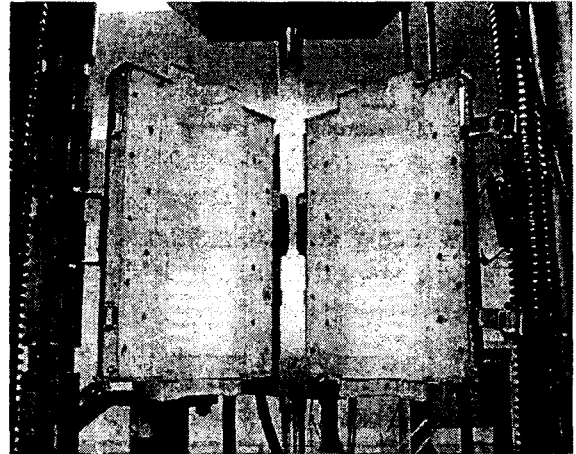


Fig. 3 Test Equipment for Hot Tensile Strength

3. 실험결과 및 고찰

3.1 경도분포

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.

일반적으로 Inconel 625강은 NACE MR0175 code를 만족하도록 되어있는데, 이 code에 따르면 경도값은 최대 345(HV)를 초과하지 못하도록 되어있는데 80%Ar + 20%CO₂보호가스와 50%Ar + 50%CO₂보호가스는 이 규정을 만족하지만, 100%CO₂ 보호가스는 이 규정을 만족하지 못하고 있다. 따라서, NACE MR0175 code를 따르게 되는 경우, 100%CO₂보호가스는 사용하기가 어려울것으로 판단된다. 또한, 높은 경도값은 충격치에 도 나쁜 영향을 미칠것으로 판단된다.

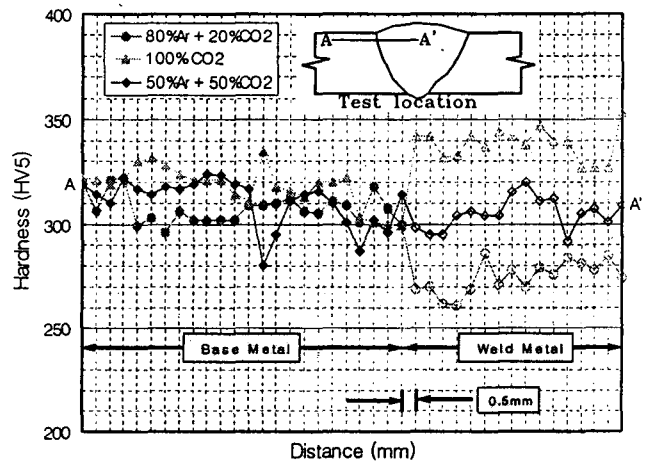


Fig. 4 Relation between hardness and distance

3.2 고온인장시험 결과

Inconel 625강에서 가장 중요한 성질인 고온 인장시험을 행하였는데, 그 온도는 25°C, 200°C, 400°C, 600°C, 800°C, 1000°C에서 실험하였다. 각 보호가스 종류별 상온에서 1000°C까지의 온도에서의 실험결과를 Fig. 5와 Table 6에 나타내었다. 25°C~600°C까지는 인장강도가 완만하게 감소하는 것을 볼 수 있으나, 600°C 이상의 온도에서는 급격한 감소를 보여주고 있다. 보호가스 종류별로는 80%Ar+20%CO₂보호가스의 인장강도가 약간 낮은 경향을 보여주고 있다.

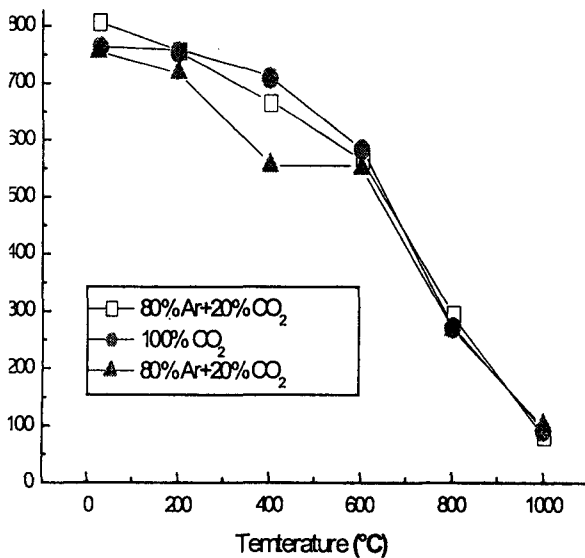


Fig. 5 Relation between tensile strength and temperature

Table 6 Hot tensile strength and gas type

Gas type	Hot tensile strength(MPa)					
	20°C	200°C	400°C	600°C	800°C	1000°C
80%Ar+20%CO ₂	743	718	555	553	272	101
100%CO ₂	765	756	711	586	270	96
50%Ar+50%CO ₂	807	757	666	566	294	84

3.3 조직관찰

Fig. 6, Fig. 7, 및 Fig. 8은 상온에서 1000°C까지의 온도에서 실험 후 파단을 시켜 각 보호가스별 인장시험편 파단면을 SEM(scanning electron microscope)로 촬영한 사진이다. 사진에서 볼 수 있듯이 각 보호가스 모두 상온에서 600°C까지는 딴플(dimple)형태의 전형적인 연성 파면을 보여 주고 있다. 그러나, 인장강도값이 급격히 낮아진 800°C에는 세 보호가스 모두 약간 산화되었으며, 준 벽개 형태의 취성 파단면을 볼 수 있고, 1000°C에서는 모두 산화 되어 있는 것을 볼 수 있다.

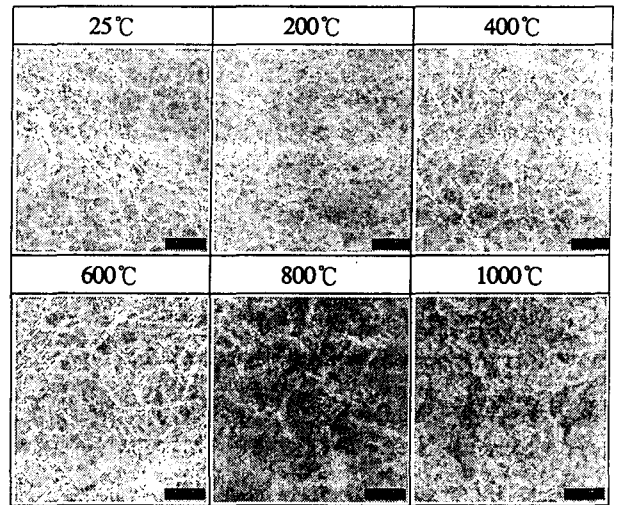


Fig. 6 SEM fractography after tensile test(80%Ar + 20%CO₂)

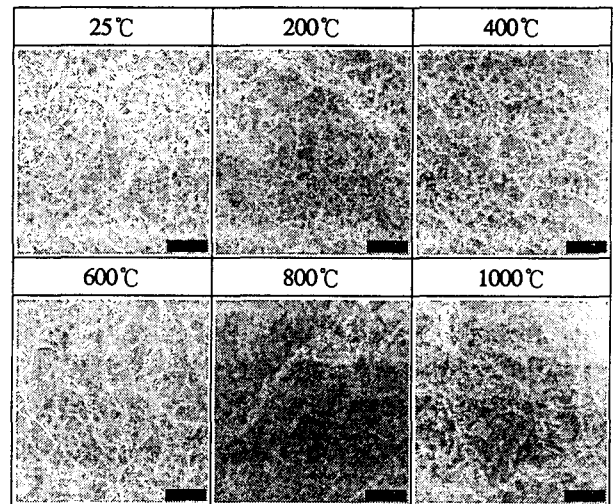


Fig. 7 SEM fractography after tensile test(100%CO₂)

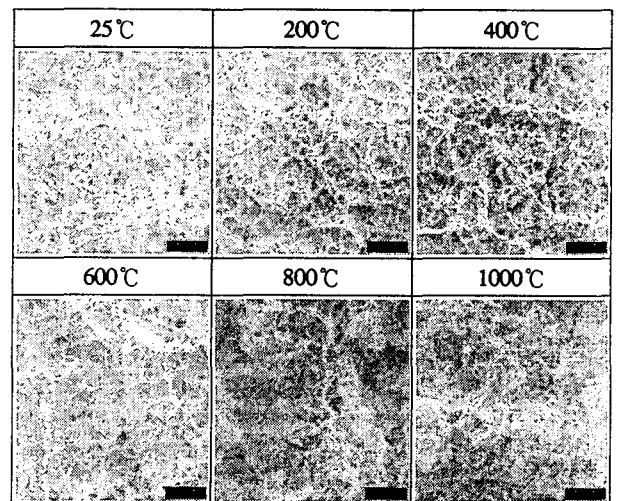


Fig. 8 SEM fractography after tensile test(50%Ar + 50%CO₂)

4. 결론

참고 문헌

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) 용접작업성에서 세 종류의 보호가스 모두 비교적 양호한 결과를 보여주었으며, 스패터 발생량 측면에서는 80%Ar + 20%CO₂ 보호가스가 가장 양호하였고, 100%CO₂ 보호가스가 가장 열등하였다. 50%Ar + 50%CO₂ 보호가스는 중간적인 성질을 나타내었다. 그러나 송급성 측면에서는 100%CO₂ 보호가스가 가장 양호하였고, 80%Ar + 20%CO₂ 보호가스가 가장 열등하였다.

(2) 경도시험은 용접부의 경우, 100%CO₂ 보호가스가 가장 높은 경향을 보여주고 있으며, 50%Ar + 50%CO₂ 보호가스가 중간 정도의 경향을 보여주고 있으며, 80%Ar + 20%CO₂ 보호가스가 가장 낮은 경향을 나타내었다. 그러나, NACE MR0175 code가 적용되면, 100%CO₂ 보호가스는 경도값이 345(HV)를 초과하는 값이 있기 때문에 사용하기가 어려울것으로 판단된다.

(3) 상온 25℃에서는 50%Ar+50%CO₂보호가스가 80%Ar + 20%CO₂, 100%CO₂ 보호가스보다 조금 높게 나타났으나 200℃에서는 100%CO₂ 보호가스와 같은 인장강도를 유지하였으며, 200℃에서600℃사이에는 100%CO₂ 보호가스 인장강도가 높은 것으로 나타났으나 600℃이상의 고온에서는 보호가스의 종류와 상관없이 모두 고온인장강도가 급격히 감소함을 나타내었다.

(4) 세 종류의 보호가스 모두 양호한 결과를 보여주었는데, 그중에서도 80%Ar + 20%CO₂ 보호가스가 용접성, 경도 시험에서 가장 양호한 결과를 보여주었으므로 가장 우수한 것으로 판단된다.

Lee, B. Y (1991). "Welding Construction System." Journal of KWS, Vol 16, pp. 38-39.

Cieslak, 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.

Cieslak, 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.

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

2003년 6월 19일 원고 접수

2003년 7월 20일 최종 수정본 채택