

# 석유시추용 인코넬 625강의 FCAW용접에 의한 고온인장 특성에 관한 연구

박경동\* · 안도경\*\* · 진영범\*\*

\*부경대학교 기계공학부

\*\*부경대학교 기계공학부 대학원

\*\*부경대학교 기계공학부 대학원

## A Study on High Temperature Tensile Property of Inconel 625 for Petroleum Application by Flux cored Arc Welding Process

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

\*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:** High Temperature Tensile 고온인장, Petroleum Application 석유시추, FCAW 플렉스코어 아크용접, Shield Gase 보호 가스, Anti-corrossion 방식

**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 of inconel 625 are considered in FCAW weld associated with the several shielding gases(80%Ar+20%CO<sub>2</sub>, 50%Ar+50CO<sub>2</sub>, 100CO<sub>2</sub>) in viewpoint of welding productivity.

### 1. 서 론

용접기술은 선박, 플랜트, 교량, 철골 건축물 등의 대형구조물에서부터 자동차, 철도차량, 항공기나 우주발사체 등의 수송기계와 프레스, 굴삭기 등의 산업기계 그리고 냉장고, 컴퓨터 등의 전기, 전자 제품과 부품들에 이르기까지 거의 모든 산업분야와 기기의 제작 및 유지, 관리에 사용되고 있다. 용접기술은 성형, 체결, 절단, 표면개질 등 생산기술의 모든 방법을 포함하고 있는 기술로서 기계, 금속, 전기, 전자, 화학분야의 지식이 모두 복합적으로 활용되고 있는 총체적 기술분야 이다. 그러나 용접기술 자체로 제품이 만들어지는 것보다는 제작과정중의 제조기술 특성을 갖는 것이 일반적이다. 이 때문에 용접 시공을 소홀히 생각하거나 기능 위주로 잘못 생각하기 쉽다(이보영, 1998).

용접시공에는 모재확인, 용접재료확인, 용접기기, 절단 및 가공, 성형, 조립 예열, 본용접, 용접 후열처리, 용접 후처리(덧살제거, 교정 다듬질등), 시험, 검사 등의 공정들이 있으며 이들 각 공정

에서의 품질이 올바르게 얻어지지 않으면 다음 공정에서 올바른 품질을 얻기가 어렵게 될 뿐만 아니라 수정이나 보수 등의 별도 작업이 필요하게 되어 생산성을 저하시키는 물론 최종제품의 품질을 보증할 수 없게 된다. 따라서 각 공정에서의 필요한 품질 수준을 항상 적정수준으로 유지시키는 동시에 품질에 영향을 미치는 인자들에 대한 개별적 및 상호관계에 관한 이해가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 Inconel 625강의 용접에 주로 사용되는 Flux Cored Arc Welding(이하FCAW) 용접보호 가스의 혼합비(80%Ar+20%CO<sub>2</sub>, 50%Ar+50%CO<sub>2</sub>, 100%CO<sub>2</sub>)에 따라 용접한 후 기계적 성질과 고온 인장 특성에 관해 연구하고자 한다(Cieslak, 1991; Dupont and Robino, 1997; ).

### 2. 실험재료 및 방법

#### 2.1 시험재료

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.

제1저자 박경동 연락처: 부산광역시 남구 용당동 산100

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

본 연구에 사용된 모재는 Inconel 625 파이프 두께는 19mm이고, 직경은 14"로 하였다. Table 3은 용가재의 화학조성, Table 4는 용접조건, Fig. 1은 시편의 형상을 나타내었다.(Cieslak, 1989; Dupont, 1997).

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

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

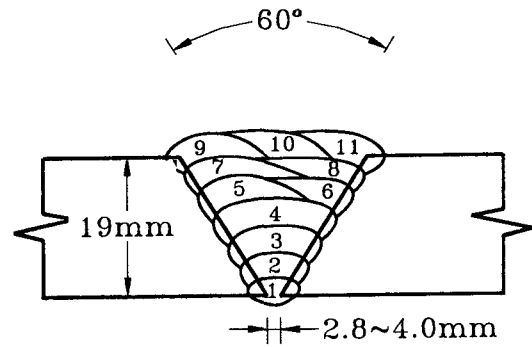


Fig. 1 Schematic diagram of specimen and welding procedure

## 2.2 용접작업성측정

세 종류의 보호가스별 용접작업성은 먼저 스패터 발생량과 용접성 측면에서 80%Ar+20%CO<sub>2</sub>보호가스가 가장 양호하였고, 100%CO<sub>2</sub>보호가스가 가장 나쁘게 나타났고, 송급성 측면에서는 100%CO<sub>2</sub>보호가스가 가장 양호하였고, 80%Ar+20%CO<sub>2</sub> 보호가스가 가장 나쁘게 나타났다. 그리고 비드 외관면에서는 세 종류 모두 무리없이 비교적 양호한 결과를 보였다.

## 2.3 경도측정

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

## 2.4 고온인장 시험

Fig. 2는 고온인장시험장비를 나타내었다. Inconel 625강에서 가장 중요한 성질인 고온 인장시험을 행하였다. 온도는 200°C, 400°C, 600°C, 800°C, 1000°C에서 측정하였다.

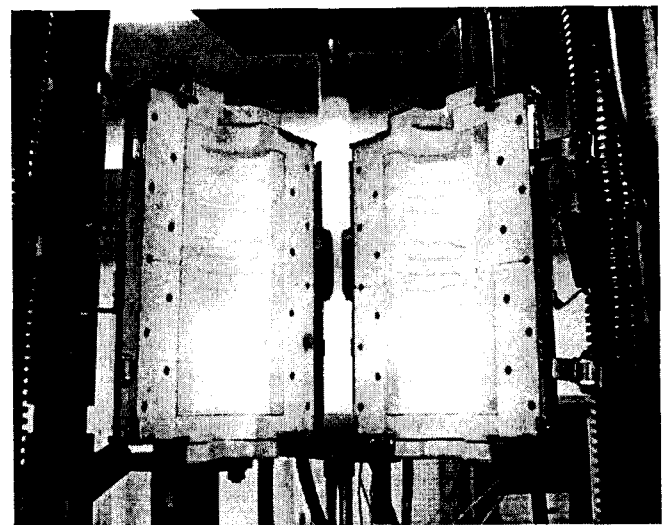


Fig. 2 Test Equipment for Hot Tensile Strength

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 경도분포

용접후에 마크로 시편을 가공하여 에칭한후 비커스경도(HV5) 시험을 수행하였다. 경도위치는 모재, 열영향부, 용접부 순으로 찍었고, 각 압흔사이의 간격은 0.5mm로 하였다.

Fig. 3에는 각 보호가스 종류에 따른 경도시험의 결과를 보여주고 있는데, 용접부의 경우, 100%CO<sub>2</sub>보호가스가 가장 높은 경향을 보여주고 있으며, 50%Ar + 50%CO<sub>2</sub>보호가스가 중간 정도의 경향을 보여주고 있으며, 80%Ar + 20%CO<sub>2</sub>보호가스가 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%CO<sub>2</sub>보호가스와 50%Ar + 50%CO<sub>2</sub>보호가스는 이 규정을 만족하지만, 100%CO<sub>2</sub> 보호가스는 이 규정을 만족하지 못하고 있다. 따라서, NACE MR0175 code를 따르게 되는 경우, 100%CO<sub>2</sub>보호가스는 사용하기가 어려울것으로 판단된다. 또한, 높은 경도값은 충격치에도 나쁜 영향을 미칠것으로 생각된다.

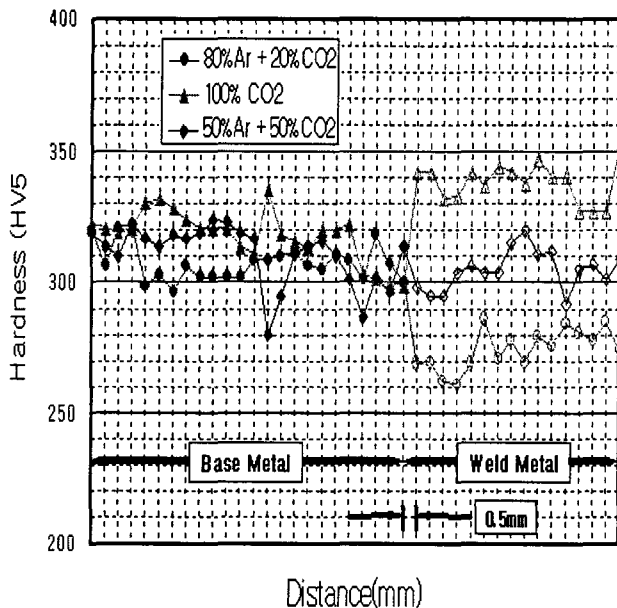


Fig. 3 Result of Hardness Test

#### 3.2 고온인장시험 결과

각 온도에서의 시험결과를 Fig. 4에는 나타내었다. 상온 25℃에서는 50%Ar+50%CO<sub>2</sub>보호가스가 조금 높게 나타났으나 200℃에서는 100%CO<sub>2</sub> 보호가스와 같은 인장강도를 유지하다가 200℃에서600℃사이에는 100%CO<sub>2</sub> 보호가스 인장강도가 높은 것으로 나타났으며, 600℃이상의 고온에서는 3종류 모두 고온인장강도가 급격히 감소함을 나타내었다.

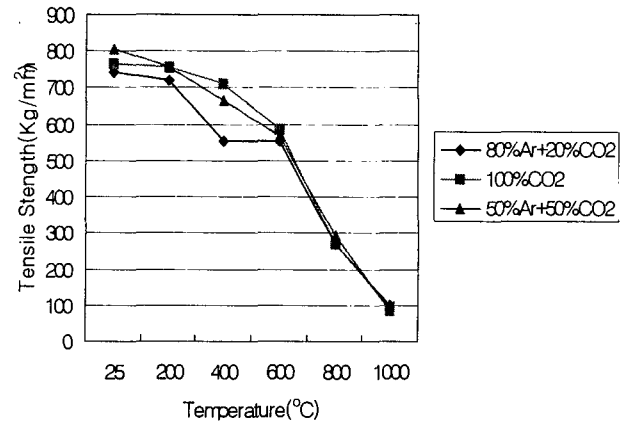
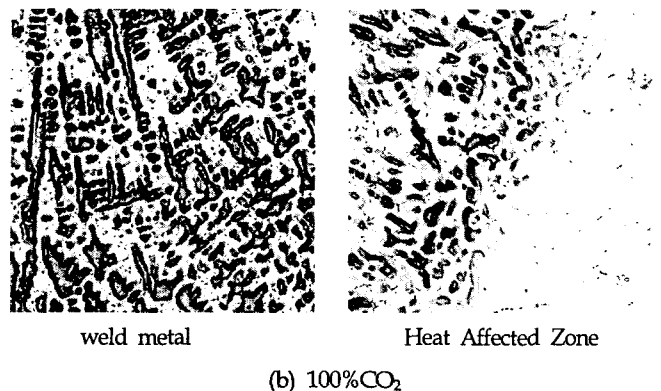
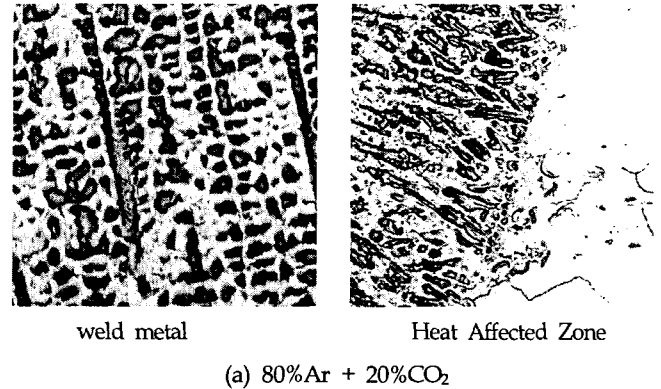
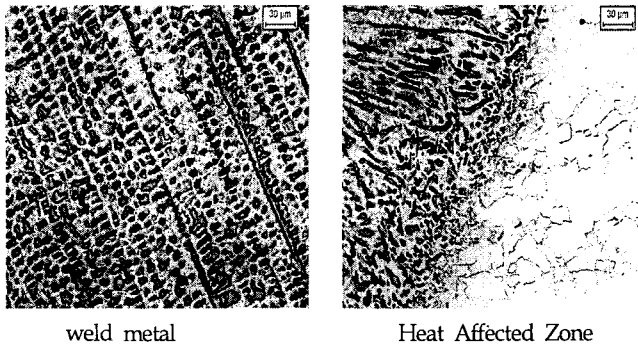


Fig. 4 Result of Hot Tensile Strength

#### 3.3 조직관찰

용접후에 각 보호가스별로 마크로 시편을 가공하여 폴리싱 한 후 에칭하여 용접금속 및 열영향부의 미세조직을 관찰하였다. 에칭용액은 염산:질산:초산(3:1:0.5)로 섞은 용액을 사용하였다. Fig. 5에 각 보호가스에 따른 용접부 및 열영향부의 미세조직 사진을 나타내었다. 용접부, 열영향부 및 모재 전체가 austenite조직이며, 미세조직 사진에서 볼 수 있듯이 보호가스 종류에 따른 미세조직의 차이는 거의 없는 것을 확인할 수 있다.





(c) 50%Ar + 50%CO<sub>2</sub>

Fig. 5 SEM Photographs of Microstructure with several shield gases

#### 4. 결론

지금까지 인코넬 625강의 FCAW 용접 보호가스 종류에 따른 용접특성을 검토하였다. 보호가스 종류는 80%Ar + 20%CO<sub>2</sub>, 50%Ar + 50%CO<sub>2</sub>, 100%CO<sub>2</sub> 보호가스의 3종류를 사용하였다. 실험에 따른 결과를 살펴보면 다음과 같다.

(1) 경도시험의 결과 용접부의 경우, 100%CO<sub>2</sub>보호가스가 가장 높은 경향을 보여주고 있으며, 50%Ar + 50%CO<sub>2</sub>보호가스가 중간 정도의 경향을 보여주고 있으며, 80%Ar + 20%CO<sub>2</sub>보호가스가 가장 낮은 것으로 나타났다. 일반적으로 Inconel 625강은 NACE MR0175 code를 만족하도록 되어있는데, 이 code에 따르면 경도값은 최대 345(HV)를 초과하지 못하도록 되어 있는데 80%Ar + 20%CO<sub>2</sub>보호가스와 50%Ar + 50%CO<sub>2</sub>보호가스는 이 규정을 만족하지만, 100%CO<sub>2</sub>보호가스는 이 규정을 만족하지 못하고 있다. 따라서, NACE MR0175 code를 따르게 되는 경우, 100%CO<sub>2</sub>보호가스는 사용하기가 어려울것으로 판단된다. 또한, 높은 경도값은 충격치에도 나쁜 영향을 미칠것으로 생각된다.

(2) 세 종류의 보호가스별(80%Ar + 20%CO<sub>2</sub>, 50%Ar + 50%CO<sub>2</sub>, 100%CO<sub>2</sub>) 용접 후 미세조직관찰에 있어서 모두 Austenite 조직으로써 미세조직의 차이는 거의 없는 것으로 나타나 보호가스가 조직의 변화에 영향을 미치지 못하는 것으로 판단된다.

(3) 상온 25℃에서는 50%Ar+50%CO<sub>2</sub>보호가스가 80%Ar + 20%CO<sub>2</sub>, 100%CO<sub>2</sub> 보호가스보다 조금 높게 나타났으나 200℃에서는 100%CO<sub>2</sub> 보호가스와 같은 인장강도를 유지하였으며, 200℃에서600℃사이에는 100%CO<sub>2</sub> 보호가스 인장강도가 높은 것으로 나타났으며나 600℃이상의 고온에서는 보호가스의 종류와 상관없이 모두 고온인장강도가 급격히 감소함을 나타내었다.

#### 참고 문헌

- 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

2004년 5월 3일 원고 접수

2003년 7월 20일 최종 수정본 채택