

선체 구조용 Alloy 625의 용접시 보호가스 조성비에 따른 부식특성에 관한 연구

박경동† · 안재필*

(원고접수일 : 2005년 2월 17일, 심사완료일 : 2005년 3월 28일)

A Study on Corrosion Properties of welded Alloy 625 for Ship Structure by Shielding Gases Composite Ratio

Keyung-Dong Park† · Jae-Pil An*

Abstract : Alloy 625 is used widely in industrial applications such as aeronautical, aerospace, chemical, petrochemical and marine applications. Because of a good combination of yield strength, tensile strength, creep strength, excellent fabricability, weldability and good resistance to high temperature corrosion on prolonged exposure to aggressive environments. High quality weldments for this material are readily produced by commonly used processes. But all of processes are not applicable to this material by reason of unavailability of matching, position or suitable welding filler metals and fluxes may limit the choice of welding processes. Recently, 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 Alloy 625 are evaluated in FCAW weld associated with the several shielding gases(80%Ar+20% CO₂, 50%Ar+50% CO₂, 100% CO₂) in viewpoint of welding productivity. The results of the experimental study on corrosive characteristics of Alloy 625 are as follows: There is no remarkable difference among shielding gases, however they has a striking difference among corrosive solutions by results of distinguished density and time of corrosive solution. Generally, the shielding gases(80%Ar+20% CO₂) was superior to the other gases on high temperature tensile and a low temperature impact. but all of the shield gases were making satisfactory results on corrosion test.

Key words : FCAW(플럭스코어 아크용접), Shield gases(보호가스), Corrosion(부식), Weight loss(무게감소), Corrosion rate(부식속도)

† 책임저자(부경대학교 기계공학부), E-mail : parkkd@pknu.ac.kr, Tel : 051)620-1592

* 부경대학교 대학원 기계공학부

1. 서 론

초내열합금은 1930년대 미국 및 영국에서 내열성의 향상을 목적으로 개발된 것으로서 현재는 항공우주 산업, 원자력 산업, 파워 플랜트 산업, 석유화학 산업 등의 첨단산업분야에서 기본적인 구조로 많이 사용되고 있다. 초내열합금으로는 Ni, Co, Fe기 초내열합금이 있으며, 제조방법에 따라 단조합금, 주조합금 및 결정제어합금 등으로 분류된다.⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾ Alloy 625강은 Ni기 합금의 대표적인 강으로써 기존의 Inconel계에서 발생했던 용접 후 발생하는 균열을 감소시키기 위해서 Ti, Al양을 감소시키고 Nb의 양을 증가시킨 강이다. 따라서 내열, 내식성이 요구되는 터빈 케이싱, 연소실 라이너 등과 같은 박판의 용접구조용 재료로 널리 사용되고 있다.⁽⁵⁾⁻⁽⁷⁾ 뿐만 아니라 최근에 해양구조물의 탑사이드(Top Side, 원유 혹은 가스의 가공처리 구조물)에서의 내구성 향상 및 유지보수주기의 장기화가 대두 되면서 Alloy 625강의 대구경 파이프 등 후판으로도 많이 사용되고 있다.⁽⁸⁾ Alloy 625강의 용접에 적용되는 용접기법은 주로 GTAW 용접법이 사용되고, SMAW, GMAW, SAW, FCAW등의 용접법이 일부 사용되고 있는 실정이다. 최근의 용접기술은 수동용접을 지양하고 고능률의 고속용접과 대용량 용접이 가능한 고능률 용접기법의 개발에 초점이 맞추어져 있기 때문에 FCAW나 SAW용접의 적용범위를 넓혀가고 있다. 그러나 FCAW 용접기법의 경우, 용접재료의 개발이 쉽지 않아서, 맞대기용접은 불가능하고, 아래보기 필렛용접만 가능할 정도로 용접재료의 개발이 늦었고, 아직도 Alloy 625강의 FCAW용접에 관한 활발한 연구는 진행되지 못하고 있는 실정이다. 이처럼 용접기법도 상당히 중요하지만 용접 시 사용되는 보호가스의 조성에 따라 용접특성이 달라질 수 있다. 특히 Alloy와 같이 비싼 재료를 용접 시에는 최적의 보호가스조성을 선택하는 것이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 최근에 많이 개발되고 있는 FCW(Flux Cored Wire) 용접재료를 사용하여 최적의 보호가스조성을 통해 저비용으로도 용접의

작업성과 품질을 향상시킬 수 있는 용접기법을 개발하여 생산현장의 용접생산성을 향상시키고자 하였다. 이를 위해 FCAW용접을 통해 세 가지 보호가스에 따른 Alloy 625의 재료의 특성과 부식관계의 규명 및 부식특성을 조사하여 최적의 용접조건을 찾고자 하였다.

2. 시험편 및 실험방법

2.1 재료 및 용접

본 연구에 사용된 재료는 Alloy 625파이프로서 직경은 14" 이고, 두께는 19mm로서 재료의 화학적 성분을 Table 1에 표시하였다. 재료의 기계적 성질은 Table 2에 용접에 사용된 용접재료의 화학적 성분을 Table 3에 나타내었다. 용접기법은 FCAW로 용접시에는 초층과 둘째층은 백비드가 내기 힘들고 높은 입열량으로 인해 균열이 발생하기 쉬워서 GTAW를 실시하였고, 나머지층은 FCAW를 사용하였다. Fig. 1에 용접의 순서 및 형상을 나타내었고, Table 4에 각 층의 용접조건을 나타내었다.

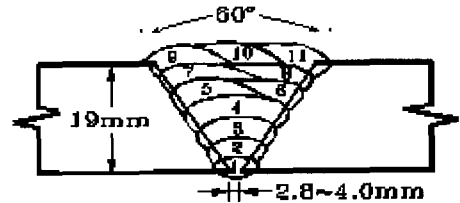


Fig. 1 Schematic diagram of specimen and welding procedure

GTAW용접 시 강재가 파이프이기 때문에 Fig. 2와 같이 파이프를 45°로 고정하여 라운드 용접을 하였고, FCAW용접 시는 아래보기 자세로 용접을 실시하였다.

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

Materials	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Fe, Nb	Mo	Al	Co	Ta
Alloy 625	0.03	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 Alloy 625

materials	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Hardness (HV10)
Alloy 625	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
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

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 시험편 및 실험방법

세 가지 보호가스(80%Ar+20%CO₂, 50%Ar+50%CO₂, 100%CO₂)에 따른 부식시험을 실시하기 전에 재료의 특성과 부식과의 관계를 알아보기 위해 경도시험 및 굴곡시험, 저온충격시험을 실시하였다. 경도시험은 용접 후 마크로 시편을 가공하여 예칭한 후 마이크로 비커스경도기(HV5)로 모재, 열영향부, 용접부 순으로 경도측정을 하였다. 각 압흔사이의 간격은 0.5mm로 하였다. 재료의 연성을 측정하기 위한 굴곡시험은 일반용접 검증시험에서 많이 사용하고 있는 ASME Section XI에 따라 포머(Former)직경은 38mm로 하였고, 굴곡은 180°로 실시하였다. 굴곡시험편의 치수 및 형상을 Fig. 2에 나타내었다. 또한 재료

의 저온에서의 충격인성을 시험하기 위해 Fig. 3과 같은 충격시험편을 제작하여 액체질소로 냉각시켜 충격시험을 실시하였다.

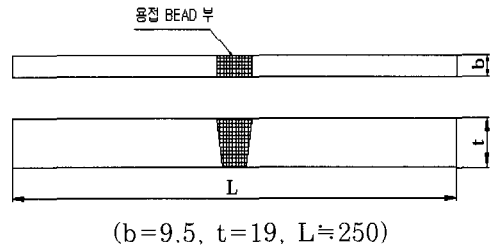


Fig. 2 Shape and dimensions of bending specimen

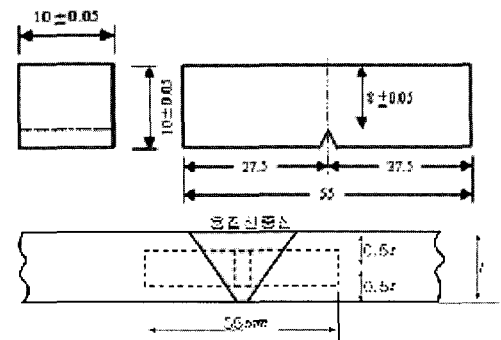


Fig. 3 Shape and dimensions of impact specimen

부식시험은 크롬을 다수함량된 합금으로서 입계에서의 탄화물로 인한 예민화시험을 위해 JIS G 0573(Huey Test)규격에 따라 65%질산용액에 담그고 48시간 동안 끓이면서 시험을 실시하였다. 또한 변수를 다르게 두어 비교를 하기 위해 용접 제조사에서 주로 사용하는 두 가지의 부식조건을 추가하였다. 즉 시편을 30%질산용액에 담그고 6시간 동안 끓이면서 하는 방법과, 시편을 1%염산용액에 담그고 6시간 동안 끓이면서 하는 시험 방법을 택하였다. 부식시험에 있어서는 용접부만의 내식성을 평가하기 위하여 각 보호가스 종류별로 비드 온 플레이트(Bead on plate)5층 육성용접을 수행하여 시편을 채취하였다. 시편크기는 3x20x30mm로 하였으며, 시험오차를 줄이기 위해 각 시험 종류별로 시편은 세 개씩 시험하였다. Fig. 4가 시험편의 채취 및 시험편의 형상을 나타낸 그림이다. 시험장비는 Fig. 5에 보여지듯이 실험실 규격유리 용기와 가열 및 가운에 사용되는

가열기(Heating Mantle)로 구성되어 있다. 부식시험 전에 시험편 표면은 abrasive paper p120으로 폴리싱한 후 아세톤이나 알코올로 세척 후에 시험을 실시하였고, 무게감소량은 부식시험 후의 중량변화로써 측정을 하였다.

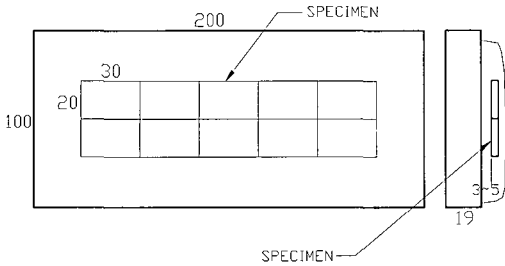


Fig. 4 Shape and dimensions of corrosive specimen

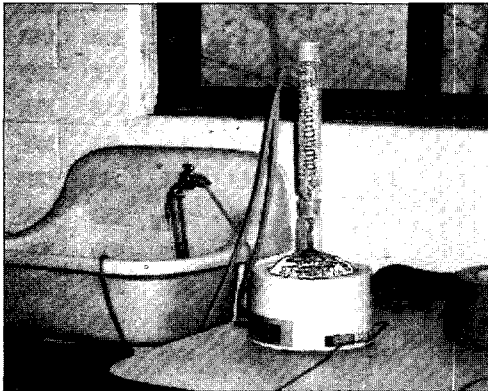


Fig. 5 Photograph of Equipment for Corrosion Test

3. 실험결과 및 고찰

3.1 조성비에 따른 재료의 특성과 부식과의 관계

가. 경도시험

세 가지 보호가스 조성비에 따른 경도시험의 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 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. 그러나 Alloy 625는 NACE MR 0175 Code를 만족하도록 되어 있는데 이 규격에 따르면 경도값이 최대 345(HV)를 넘지 못하도록 되

어 있기 때문에 100%CO₂보호가스의 경우 그 값을 넘는 데이터(347HV, 353HV)가 있기 때문에 보호가스로 사용하기가 어려울 것으로 판단된다. 또한 100%CO₂보호가스를 사용할 경우 스파터 발생량이 많아지고, 이산화탄소에서 해리된 유리 산소로 인해 산화피렌셀이 증가하여 부식환경에서는 오히려 부식진전의 가속효과의 원인이 될 것으로 판단된다^[9].

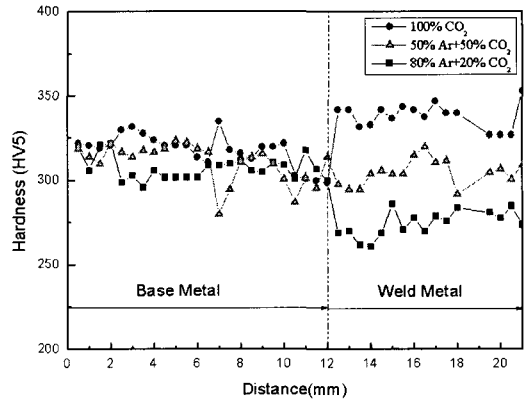


Fig. 6 Hardness of Alloy 625 by shielded gases

나. 굴곡시험 및 저온충격시험

굴곡시험은 육안으로 판단하며 불합격 기준은 ASME Section XI, AWS D1. 1규격에 따라 하나의 균열길이가 3.2mm를 초과하거나 전체 균열의 합이 10mm를 초과 시에는 불합격으로 처리한다. Fig. 7에 굴곡시험편의 형상과 실험 후의 시험편을 나타낸 것으로써 각 보호가스별로 세 개씩 실시하였다. 굴곡시험결과 세 가지 보호가스별 모두 충분한 연신율이 확보되어 균열이 발생하지 않은 양호한 결과를 보여주었다.



Fig. 7 Shape of specimens before and after bending test

보호가스별로 극저온에서의 인성을 평가하기 위해 -196℃에서 충격시험을 실시한 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 세 가지 보호가스 중에 80%Ar + 20%CO₂보호가스가 약 70J로 양호한 결과를 나타내 주었고, 나머지 두개의 보호가스는 약 36J, 37J로 조금 낮은 값을 나타내었다. 즉 경도값이 높을수록 충격치에는 오히려 나쁜 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 따라서 극저온에서의 충격치가 요구되는 부위에 사용된다면 80%Ar + 20%CO₂보호가스를 사용하는 것이 유리할 것으로 판단된다. 이처럼 Alloy 625강이 다수의 크롬을 함유함으로써 뛰어난 연성과 부식저항성을 가지게 되었고, 충격에너지에 있어서는 Ar가스의 함유량이 높을수록 우수한 인성이 나타났다.

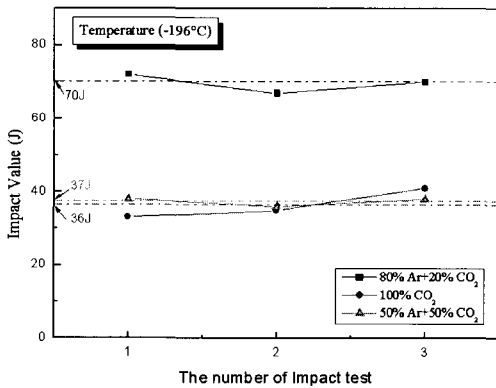


Fig. 8 Result of Charpy impact test

3.2 세 가지 보호가스에 따른 무게감소량

세 가지 보호가스별로 세 가지 부식방법에 따라 부식실험을 한 후의 무게감소량을 Fig. 9~11에 나타내었다. 세 번을 실시하여 얻어진 값을 평균한 값으로서 먼저 65% HNO₃에서 48시간동안 끓이면서 부식실험을 한 결과 80%Ar + 20%CO₂보호가스가 30.6mg으로 가장 높게 나타났다. 그러나 나머지 보호가스는 각각 29.6mg, 28.4mg으로서 보호가스별로 그렇게 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

마찬가지로 30%HNO₃에서 6시간동안 끓이면서 한 실험은 100%CO₂보호가스, 1%HCl에서 6시간동안 끓이면서 한 실험은 80%Ar+20%CO₂

보호가스가 높게 나타났으나 다른 보호가스와는 큰 차이는 없는 것으로 나타났다. 그러나 이처럼 가혹한 부식환경에서도 다른 금속보다 부식저항성이 뛰어난 것은 Alloy 625에 함유되어 있는 탄소의 영향으로 인해 생긴 탄화물로 인한 것으로 판단된다. 즉 이와 같이 생긴 탄화물이 입계강화효과를 나타내어 부식의 시발점인 입계에서의 부식발생을 저지하기 때문에 부식저항성이 뛰어나다.

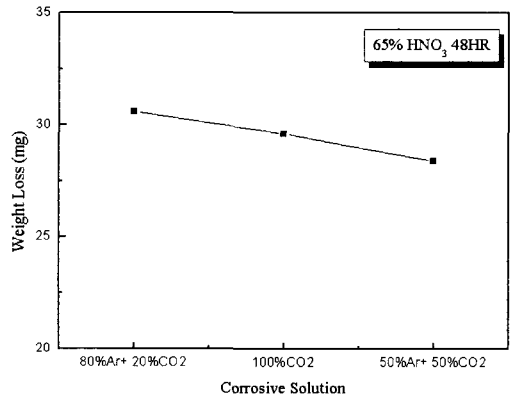


Fig. 9 Weight loss of specimens with corrosive solution(65% HNO₃ 48hour)

따라서 앞서 예상했던 100%CO₂보호가스를 사용함으로써 생기는 산화피텐셜의 증가가 다수 포함된 크롬에 의해 생긴 탄화물로 인해 생기는 부식저항성에 비해 영향이 적어서 보호가스에 따른 부식특성의 차이는 없는 것으로 판단되었다.

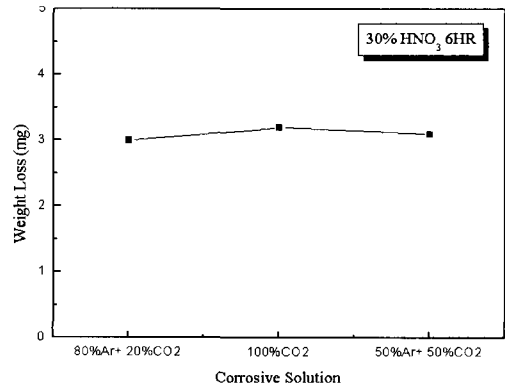


Fig. 10 Weight loss of specimens with corrosive solution(30% HNO₃ 6hour)

3.3 세 가지 보호가스에 따른 부식속도

Fig. 12는 Fig. 9~11에 나타난 무게감소량을 부식속도로 나타낸 것이다. 종축은 부식속도의 척도로서 mdd(mg/dm²/day)를 나타낸 것으로서 이것은 단위시간당 단위면적에서의 무게감소량을 나타내는 것이다. 부식속도도 또한 무게감소량의 경향과 일치하는 것으로 나왔으며 이것은 앞서 언급한 대로 Cr의 증가에 따른 고온 산화성분위기에서의 부식저항성의 증가와 입계탄화물(Cr₇C₃, Cr₂₃C₆)에 의한 예민화 현상의 감소에 따른 결과라고 생

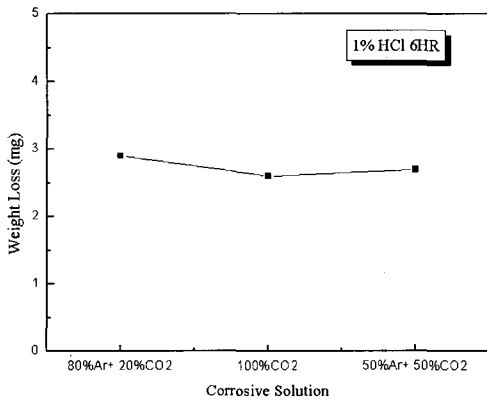


Fig. 11 Weight loss of specimens with corrosive solution(1% HCl 6hour)

각된다.^{[10]-[11]} 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.

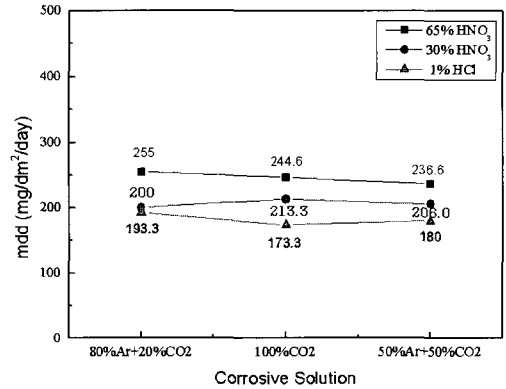
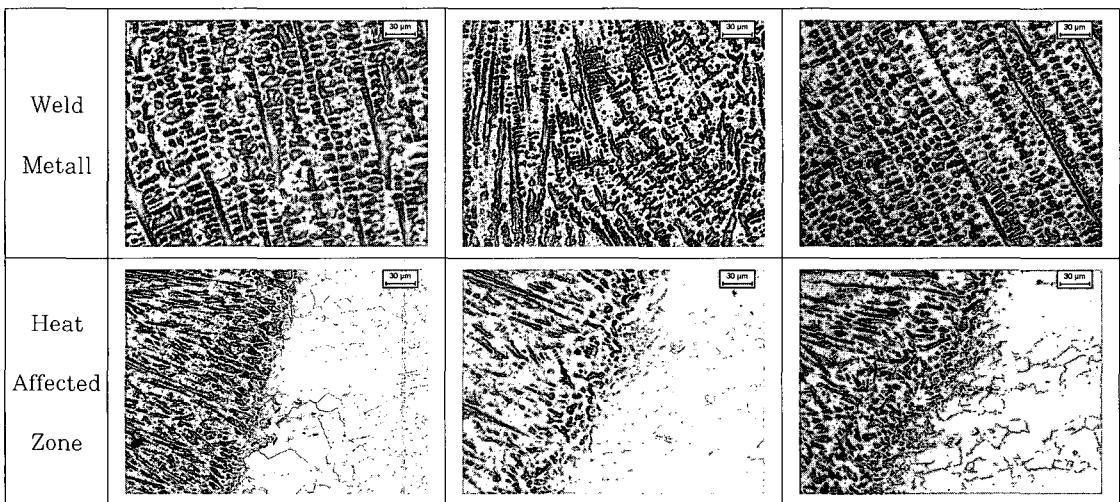


Fig. 12 Corrosion rate, mdd versus of specimens

3.4 세 가지 보호가스에 따른 미세조직과 부식표면

부식실험 전 보호가스에 따른 조직을 비교하기 위해 각 보호가스별로 용접한 부위를 마크로 시편



(a) 80%Ar+20%CO₂ (b) 100%CO₂ (c) 50%Ar+50%CO₂

Fig. 13 SEM Photographs of Microstructure with several shield gases

으로 가공하여 폴리싱 한 후 에칭용액(염산3 : 질산1 : 초산0.5)으로 에칭하여 용접금속 및 열영향부의 미세조직을 관찰하였다. Fig. 13에 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 Cr을 다수 함유함에 따라 고온산화로 인해 생긴 것이거나, 저용점액상을 형성하는 Nb이 함유되어 있는 것에 기인한 것으로 생각된다.

Fig. 14에 세 가지 부식액에서 실험한 후의 시편의 단면사진을 나타낸 것이다. 65% HNO₃용액에서의 시험편 모두 약간 부식이 된 흔적을 볼 수 있으나, 30% HNO₃용액과 1% HCl용액은 부식이 거의 되지 않은 것을 볼 수 있다. 이것은 농도와 침지시간에 따른 것으로서 무게감소량의 결과에서 알 수 있다. 따라서 부식환경에서는 세 가지 보호가스 모두 사용이 가능하나, 기타의 환경에서는 재료의 수명을 감안해서 보호가스의 선정에 신

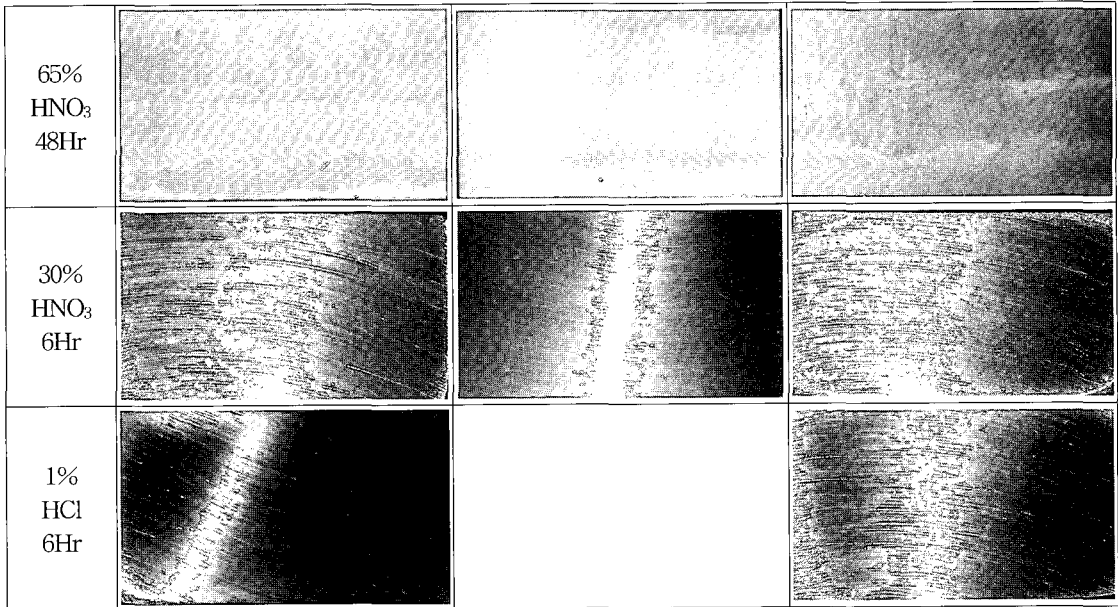
중을 기해야 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

Alloy 625의 FCAW용접시 세 가지 보호가스 종류에 따른 기계적 성질과 부식특성을 검토하고 비교하여 얻은 결론은 다음과 같다.

(1) 세 가지 보호가스별 경도 및 굴곡시험 결과 경도시험은 Alloy 625가 NACE MR 0175 Code를 만족하도록 되어 있기 때문에 가격이 저렴하다 해도 재료의 수명을 생각해서는 80%Ar + 20%CO₂, 50%Ar + 50%CO₂ 보호가스를 사용하는 것이 좋을 것으로 판단된다. 또한 100%CO₂ 보호가스를 사용하면 산화피텐설이 증가하여 부식환경에서는 부식가속의 요인으로 작용할 것으로 판단되었으나, 실제 부식시험결과 다수 포함된 크롬에 의해 생성된 탄화물로 인해 보호가스별 부식특성의 차이는 없는 것으로 나타났다.

(2) 저온충격시험에 있어서는 세 가지 보호가스 중에 80%Ar + 20%CO₂ 보호가스가 70J로 가장 높았다. 이는 Ar가스의 함유량의 증가에 따른 인



(a) 80%Ar+20%CO₂

(b) 100%CO₂

(c) 50%Ar+50%CO₂

Fig. 14 Photograph of specimen after corrosion test

성의 우수함 때문이다. 따라서 저온환경에서 Alloy 625가 사용될 경우에는 저온취성을 고려하여 80%Ar + 20%CO₂보호가스를 사용하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

(3) 부식시험은 전체 세 종류의 방법을 사용하였다. 전체적으로 세 가지 보호가스별 부식성에서는 양호한 결과를 보여주었는데, 1%의 염산의 경우는 질산에 비해 농도와 침지시간이 낮음에도 불구하고 높은 Cl⁻이온에 의해 높은 무게감소량을 나타내었다.

(4) 부식시험 전 세 종류의 보호가스별 미세조직관찰에 있어서 모두 Austenite 조직으로써 큰 차이는 없고, 모두 열영향부에 용접선과 수직방향을 이루는 약간의 액화균열이 발생했다. 그리고 65% HNO₃용액에서의 시험편 모두 약간 부식된 흔적을 볼 수 있으나 세 가지 보호가스별로는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

참고문헌

- [1] The ASM International Handbook Committee, "Heat-Resistant Materials", ASM International, pp. 222-225, 1997.
- [2] C. T. Sims et al, Superalloy II, John Wiley & Sons, pp.3-26, 97-133, 165-188, 1987.
- [3] M. McLean, High Temperature structure materials, Chapman & Hall, pp1-15, 1996.
- [4] Hujita, Sibata, "A Role of Metallic Element for Ni-Base Alloy", The japan institute of Metals, Vol. 16, No. 4, pp331-339, 1977.
- [5] 대한용접학회, 용접·접합 편람, pp.3-45, 203-241, 1998.
- [6] M. J. Cieslak, T. J. Headley and R. B. Frank, "The Welding Metallurgy of Custom Age 625 PLUS Alloy", Welding Journal, Vol. 68, No. 12, pp 473-482, 1989.
- [7] M. J. Cieslak, "The Welding and Solidification Metallurgy of Alloy 625", Welding Journal, Vol. 70, No. 2, pp.49-56, 1991.
- [8] J. N. Dupont, "Solidification and Welding Metallurgy of Experimental Ni Base and Fe Base Alloys Containing Nb, Si and C", Ph.D. Thesis Lehigh University, pp6-12, 1997.
- [9] 정호신, "용융용접의 기초와 실제(II)-아크 용접용의 보호가스," 대한용접학회지, 제12권 제2호, pp138-141, 2001.
- [10] D. A. Jones, Principle and Prevention of Corrosion, Prentice Hall, New Jersey, 1996.
- [11] D. Choi and G. S. Was, "Corrosion," Vol 46 , pp100, 1990.

저 자 소 개



박경동 (朴卿東)

1943년 2월생. 1992년 일본동경공업대학 공학박사 학위취득, 1973년 3월~현재 부경대학교 기계공학부 교수



안재필 (安宰必)

1978년 9월생. 2004년 부경대학교 기계공학부 졸업(공학사), 현재 부경대학교 기계공학부 대학원(석사과정)