

질소 이면보호가스 적용성에 관한 연구

백 광 기* · 안 병 식*

Effect of N₂ Back Shielding Gas on the Property Changes of GTA Weldment

K.K. Baek, B.S. Ahn

Key word : Duplex Stainless Steel(이상계 스테인레스 강), 316L Stainless Steel(316L 스테인레스 강), Cu-Ni Alloy(Cu-Ni 합금), GTAW(TIG 용접), N₂ Gas Back Shielding(질소 이면보호가스), Corrosion(부식)

Abstracts

To investigate the suitability of nitrogen gas as an internal purging gas, various properties of GTA welded joints of duplex, 316L stainless steel, Cu-Ni alloy pipe using nitrogen purging gas were evaluated with reference to ones purged with argon gas. Mechanical properties evaluated by the tensile, bending test, and hardness value of welded joints with nitrogen gas purging did not show any difference those with argon gas. General and local corrosion rates of each welded joint prepared by nitrogen gas purging also showed no difference with those prepared by argon gas. Based on the present test results it is confirmed that nitrogen is a suitable purging gas for GTA welding of stainless steels and nonferrous piping systems, which can be used at lower cost instead of argon.

1. 서 론

내식성 합금의 pipe류에 적용되는 편면 맞대기 용접시에 초층의 용접부에는 GTAW를 이용하여 우수한 용접부를 얻을 수 있다. 이때 표면용접부는 보호가스에 의해 대기과 차단이 되지만, 이면용접부는 대기과 접촉하게 되므로 쉽게 산화가 발생하게 된다. 이러한 표면산화물은 용융부의 wetting을 억제하여 모재의 fusion을 막음으로써 용접결합(Lack of Fusion)을 초래한다. 그 외에도 스테인레스강의 경우에

는 재료표면에 생성된 치밀한 부동태의 산화막에 의해 우수한 내식성을 갖게 되므로, 용접부에 발생하는 두터운 고온산화피막은 부동태 산화피막의 형성을 억제하여 해당 용접부의 부식저항성을 약화시키는 중요한 원인으로 보고된 바 있다(Ref. 1-2). 따라서 내식성합금 pipe의 용접 시에는 반드시 이면에 불활성 가스를 일정량 이상 주입토록 하여 산화를 방지하도록 규정하고 있다(Ref. 3).

이러한 규정을 따르기 위한 이면 보호가스로는 주로 순수 Ar가스를 사용하고 있으며 또한 질소 가스

* 현대중공업 용접기술연구소

도 사용이 가능한 것으로 알려져 있다(Ref.3-5). 질소가스를 사용할 경우에는 질소가스의 가격이 Ar가스에 비해 약 1/10에 불과하므로 piping system을 대량으로 용접하는 선박, 플랜트등의 분야에서는 제작경비의 절감효과를 얻을 수 있다. 한편, 이러한 경제적인 잇점외에도 pipe의 재질에 따라서는 초층용접부위에서 질소의 첨가(absorption)에 의한 미세조직 및 이에 따른 기계적 성질, 특히 경도의 변화가 예상된다. 즉, γ -austenite의 기지에 소량의 δ -ferrite가 존재하는 austenite계열의 스테인레스 강 용착부의 경우나 γ/α 상의 적정비가 유지되어야 하는 duplex 스테인레스 강의 용착부에는 질소 가스를 이면 보호제로 적용하면 용접시에 분위기질 질소가 다소간 용착금속의 내부로 고용됨에 따라 δ -ferrite(또는, α -ferrite)의 분률의 감소가 예상된다(Ref.6). 이러한 ferrite상 분률의 상대적인 감소는 초층 용착부위에서의 경도의 감소를 야기시킬 것으로 생각되나, 이와는 반대로 질소가 용착금속의 내부로 고용됨에 따라 고용강화의 효과를 초래하여 초층 용착부위의 경도를 증가시킬 수도 있다. 그러므로 질소가스를 이면 보호제로 적용하기 위해서는 용접부표면의 고온산화막의 생성정도 외에도 질소의 고용에 의한 초층 용착부위의 제반 기계적 성질 및 내식성의 변화에 대한 충분한 연구가 요구된다.

질소가 함유됨에 따른 용착부의 제반 성질의 변화에 대한 기존의 연구결과는 주로 300계열의 austenite 스테인레스 강 용접부에 관해 이뤄졌다. 304 스테인레스강의 SMAW용접부 및 GMAW 용접부의 미세조

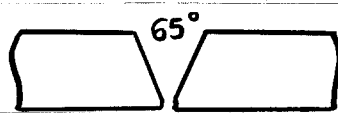
직과 기계적 성질, 특히 저온 충격인성치 그리고 내식성등에 미치는 질소의 영향에 대해서 발표된 바 있으나(Ref.7-8), 이 경우 질소의 첨가는 전면 보호가스 또는 용접봉 피복제에 질화물(Cr- 또는 Mn nitride)의 형태로 이뤄졌기 때문에 용착부에 비교적 균일한 질소의 분포를 유지한 조건이라 할 수 있다. 그러나 이면보호제로 질소가스를 사용할 경우에는 앞서의 연구자들에 의해 얻어진 것과는 달리 용착부 내로 용입되는 질소의 분포가 불균일한, 즉, 초층용착부에서 용접 pass가 진행되어 상층의 용착부로 갈수록 질소의 농도가 감소하게 될 것으로 예상되므로 해당 용접부위의 제반 기계적성질 및 내식성은 앞서 연구자들에 의해 보고된 것과 다른 거동을 나타낼 수도 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 Ar 및 질소가스를 각각 이면보호제로 사용하여 내식성 pipe의 편면용접을 실시한 뒤, 초층용착부위의 제반 물성을 비교·고찰하고 그 변화의 원인을 규명함으로써 질소를 이면보호가스로 적용할 수 있는 가능성을 검토하고자 하였다.

2. 실험 방법

시험재료로는 내식성합금인 duplex 스테인레스 강, 316L 스테인레스 강, Cu-Ni(90:10) 합금 pipe를 각각 선정하였다. 용접조건으로는 일반적으로 사용되는 적정용접봉을 각각의 재질별로 선정하여, 수동 GTAW를 적용하였다. 이때 사용된 보호가스로는 전면 보호가스로는 100% 순수 Ar을, 이면보호가스는

Table 1. Welding conditions and groove design

Joint Design			3<Gap<4mm			
Test Material	Duplex Stainless Steel		316L Stainless Steel		Cu-Ni (90/10)	
Shielding Gas (Front/Back)	Ar/Ar	Ar/N ₂	Ar/Ar	Ar/N ₂	Ar/Ar	Ar/N ₂
Current	85A					
Voltage	11V					
Travel Speed	6.5 cm/min		7.3 cm/min		10.8 cm/min	
Filler Metal	22.8. 3L		ST-316. 16N		Gricu T-CuNi	
Flow Rate	10l/min					

100% 순수 Ar과 100% 순수 질소를 각각 사용하여 용접을 하였으며 제반 용접조건은 <표 1>에 나타난 바와 같다. 용접이 끝난 각 용착부의 화학조성 및 초층용착부위의 질소함량은 습식 및 산소/질소 자동 분석기를 이용하여 평가하였고, 광학현미경 및 주사 전자현미경을 이용하여 이면 보호가스의 종류에 따른 초층용착부의 미세조직의 변화를 관찰하였다. 또한 duplex 및 316L 스테인레스 강 용착부내에 존재하는 δ-ferrite상의 분율은 Digital ferrite scope를 이용하여 각각 측정하였다. 이 경우 각 조건에 따른 ferrite량의 측정은 초층부위에서 10회이상 실시하여 그 평균치를 채택했다. 그리고 기계적성질의 변화를 평가하기 위하여 인장 및 굽힘시험과 Vickers 경도치에 의한 초층용착부의 경도변화를 각각 측정하였다. 특히 미소경도치를 측정하는 경도시험의 경우에는 각각의 용접조건에 대해서 3개소 이상의 부위에서 측정을 실시함으로써 실험오차를 줄이고자 하였다.

Ar 및 질소를 이면보호가스로 각각 사용한 용접부의 내식성을 비교·평가하기 위하여 일정 규격의 용접시험편에 대해 일반 및 국부부식시험을 실시하였다. 부식시험편은 40×20×t(단위:mm, t:thickness) 규격으로 제작하였고 용착부가 중앙에 오도록 하여 가공하였다. 일반 및 국부부식시험 용액은 5% FeCl₃·6H₂O와 2M H₂SO₄를 각각 사용하였으며, 시험편을 48시간 동안 해당 용액에 각각 장입한 후의 무게감량을 단위면적당의 값으로 환산하였다. 이때 각 시험편의 표면 조건은 용접한 상태(as-welded)를 그대로 유지하거나 또는 50°C의 10% HNO₃와 1% HF의 혼합용액을 사용한 화학적 산세를 실시하여 산화막을

제거한 상태(cleaned)로 실시하였다. 부식시험이 끝난 시험편들은 알코홀에 침지하여 5분간 초음파 세척을 실시한 후 건조시킨 뒤에 0.1mg 단위까지의 무게를 측정하였으며, 시험오차를 고려하여 각각의 조건당 최소 2개이상의 시험을 실시하였다. 또한 시험이 끝난 부식 시험편의 표면은 Zoom-stereoscope 및 SEM을 이용하여 관찰함으로써 각각의 재료 및 표면 조건, 시험용액 등에 따른 부식상태를 정성적으로 평가하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 용접부의 미세조직 및 기계적성질

수동 GTAW를 이용한 각 pipe의 용접을 실시한 결과, 각 조건에 따른 일반적인 작업성은 이면가스의 종류에 무관하게 동일하나, 용접후 표면상태는 약간의 차이가 있음을 알 수 있었다. 즉, 스테인레스 강의 경우에는 질소가스를 이면보호제로 사용하였을 경우의 용접부이면의 외관은 Ar 가스를 이용한 경우에 비해 외관상으로 약간 더 짙은 색의 산화피막이 생성되는 경향을 보였다. 이러한 고온산화피막 즉, 열변색부의 발생은 스테인레스강의 용접시에는 불가피한 사항이라 할 수 있다. 따라서 이와 같은 스테인레스 강의 용접시에 발생하는 표면 열변색부의 존재에 의한 내식성의 변화는 기존의 Ar 가스대신에 질소가스를 내식성 pipe의 초층용접시의 이면 보호가스로 적용하기 위해서 반드시 검토되어야 할 사항이므로 본 논문의 후반부에서 상세히 고찰하였다.

각 용착부의 화학성분 및 용접부의 제반 기계적

Table 2. Chemical composition of root pass weld metals

		(wt. %)								
		Ni	Mn	Fe	Si	Ti	Cu			
Cu-Ni		22.7	0.64	0.84	0.05	0.24	Bal.			
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Fe
Duplex S.S.		0.02	0.45	1.54	—	0.002	7.03	22.5	2.7	Bal
316L S.S.		0.03	0.41	1.83	—	0.010	11.9	18.5	2.11	Bal.
*N ₂ content of root pass weld metal(ppm)										
		Ar/Ar	Ar/N ₂							
Duplex S.S.		1104	1302							
316L S.S.		348	635							

Table 3. Mechanical test results of welded joints

Test metal		Cu-Ni		316L S. S.		Duplex S. S.	
Type of shielding gas (front/back)		Ar/Ar	Ar/N ₂	Ar/Ar	Ar/N ₂	Ar/Ar	Ar/N ₂
Ferrite content of root pass weld metal (*)		—	—	3.0 4.5	0.4 1.0	36.3 53.6	32.2 39.7
Bend test	Face	Good	Good	Good	Good	Good	Good
	Root	Good	Good	Good	Good	Good	Good
X-ray examination		No Defect	No Defect	No Defect	No Defect	No Defect	No Defect
Joint tensile test (kg/mm ²) & Fracture position		39.7	40.2	85.5	82.1	109.2	111.2
		Base metal	Base metal	Base metal	Base metal	Base metal	Base metal

*: Ferrite content were measured by digital ferrite-scope.

성질은 <표 2와 3>에 각각 요약한 바와 같으며, 용접시의 이면보호용 가스를 질소로 사용하더라도 Ar을 사용한 경우와 마찬가지로 각 pipe 용접부 모두가 양호한 기계적 성질을 갖고 있는 것을 알 수 있다. 화학성분의 변화를 살펴보면 스테인레스 강에 있어서는 모두 질소를 이면 보호가스를 사용했을 경우가 Ar을 사용한 경우에 비해 초층용착부내의 질소함량이 약간 증가한 것을 알 수 있다. 이와 같은 각 용착부의 화학조성, 특히 질소성분의 변화와 그에 따른 기계적성질, 특히 미소경도치의 변화는 해당용착부의 미세조직과 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있다(Ref. 6). 따라서 각각의 초층용착부에서의 미세조직과 경도시험 결과를 비교 분석해 보면 다음과 같다.

3.1.1. Duplex stainless steel

먼저, 사진 1에서 duplex 스테인레스 강의 용착부 조직을 볼 수 있다. 즉, α -ferrite의 기지에 γ -austenite가 acicular 형태로 존재하는 전형적인 용착부 조직(사진 1-a)과 Ar 이면보호가스를 적용한 초층용착부(사진 1-b) 및 질소 이면보호가스를 적용한 초층용착부(사진 1-c)를 살펴보면 미세조직상에서 별다른 차이가 없음을 알 수 있다. 일반적으로 duplex 스테인레스 강 용접부의 미세조직은 austenite 상의 안정화 원소인 질소의 농도에 따라 크게 좌우되고 있는 바(Ref. 9), 본 시험에 사용된 duplex 스테인레스강의 경우에는 모재 및 용가재에 이미 다량의 질소가 함유된 상태로 제조된 까닭에 용착부에서 나타나고 있는 질소농도의 국부적인 증가는 α/γ 의 상분

률에 큰 영향을 미치지 못하게 된다. 이는 <표 3>에서 알 수 있듯이 질소를 이면보호가스로 적용함에 따라 초층용착부에서는 평균 5% 정도의 γ -austenite 상의 증가를 초래하는 것으로 나타나고 있다. 이러한 범위에서의 α/γ 상 분율의 변화는 해당 용접부위의 재반 기계적성질 및 내식성에는 거의 영향을 미치지 않는 것으로 알려졌다(Ref. 10). 다만 root 용착부의 경도치의 경우는 질소의 침입형 고용강화 효과에 의해 Ar을 이면보호가스로 적용한 경우에 비해 약간의 경도상승이 초래되었음을 그림 1에서 보여주고 있다. 그러나, 이러한 범위의 경도상승은 sour service에 적용되는 duplex 스테인레스 강에 요구되는 최고허용경도치(Ref. 11) 보다 훨씬 낮은 범위에 속하므로 아무런 문제가 되지 않는다.

3.1.2. 316L stainless steel

316L 스테인레스 강의 용착부의 미세조직 및 그에 따른 경도변화를 살펴보면 앞서의 duplex 스테인레스 강과는 다른 결과를 보여주고 있다. 사진 2-a에서 알 수 있듯이 316L 스테인레스 강 용착부는 γ -austenite 기지에 평균 5% 정도의 δ -ferrite가 존재하는 미세조직을 갖고 있다. 이러한 δ -ferrite의 함량은 용착부의 화학조성 및 열이력(thermal cycle)에 의해 결정되는 것으로 일반적으로 알려져 있다. 즉, austenite 상의 안정화 원소인 Ni, N 등의 원소첨가량이 늘어날수록 δ -ferrite의 분율은 감소하게 되는 것이다. 따라서 이면 보호가스가 혼합될 가능성이 높은 초층용접부에는 불활성가스인 Ar을 사용했을 때 (사진 2-b)와는 달리, 질소가스를 적용하게 됨에 따라 초

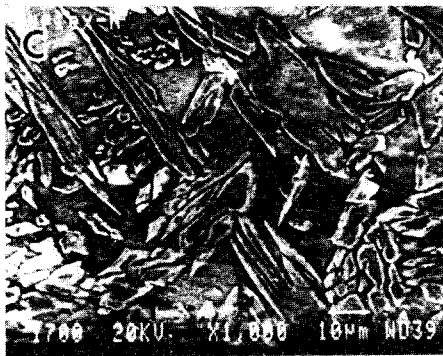
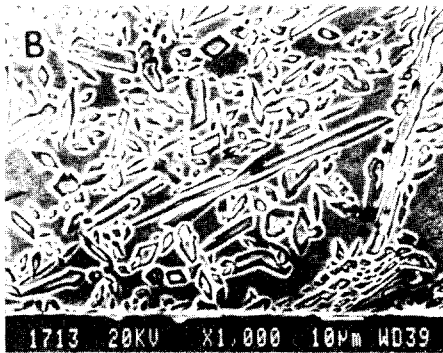
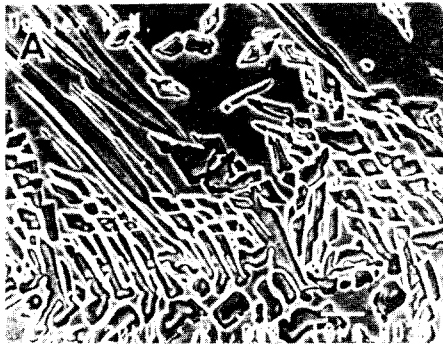


Photo. 1. Microstructure of duplex stainless steel (a) typical weld metal, (b) root pass weld metal with Ar gas purging, (c) root pass weld metal with N₂ gas purging

층용착부에서의 δ -ferrite량이 감소하게 됨을 알 수 있다(사진 2-c). 이러한 결과는 <표 1>에서 δ -ferrite량을 정량적으로 측정된 값과 잘 일치함을 알 수 있다. 그런데, 그림 1을 보면 이와 같은 서로 상이한 미세조직을 갖는, Ar 또는 질소를 이면보호가스로 적용한 용접부의 미소경도는 거의 동일한 값을 갖는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 질소가스를 이면보

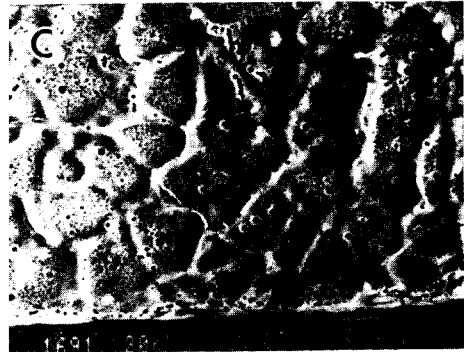
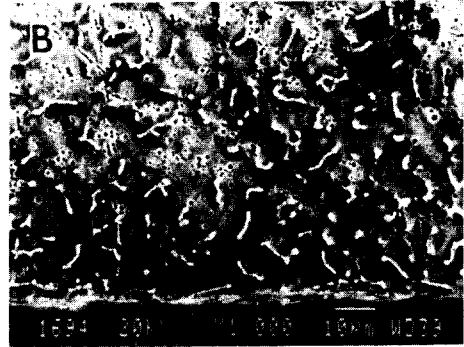
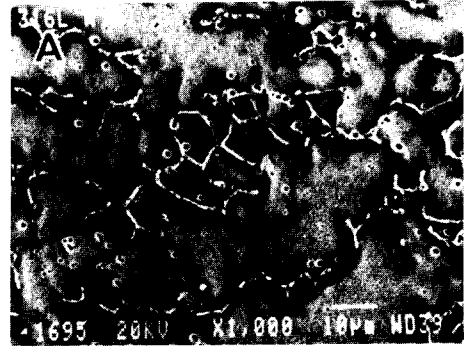


Photo. 2. Microstructure of 316L stainless steel (a) typical weld metal, (b) root pass weld metal with Ar gas purging, (c) root pass weld metal with N₂ gas purging

호제로 사용한 경우 용착부내의 질소함량이 증가하게 되어 고용강화에 의한 경도상승이 어느정도 일어나지만, 그와 반면에 비교적 경한 조직인 δ -ferrite가 상대적으로 분율이 감소됨에 따라 경도감소효과가 동시에 발생하고, 그 결과 해당용착부의 경도변화에 미치는 효과를 상호 상쇄한 것으로 판단된다. 또한 이러한 δ -ferrite상의 감소가 일어나는 지역은

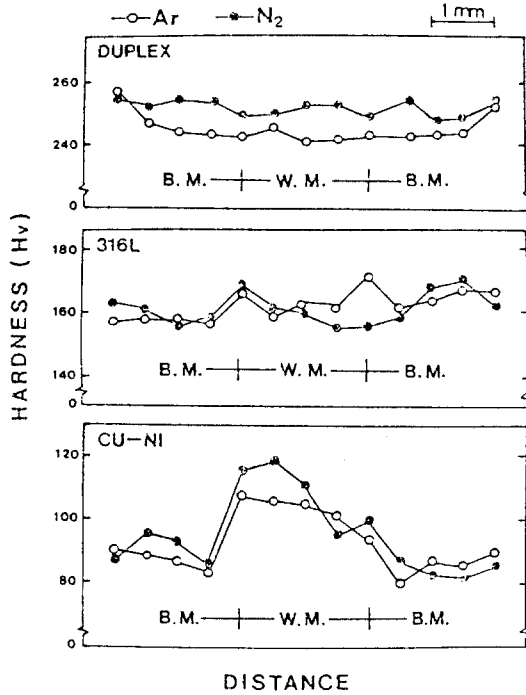


Fig. 1. Hardness distribution of welded joints

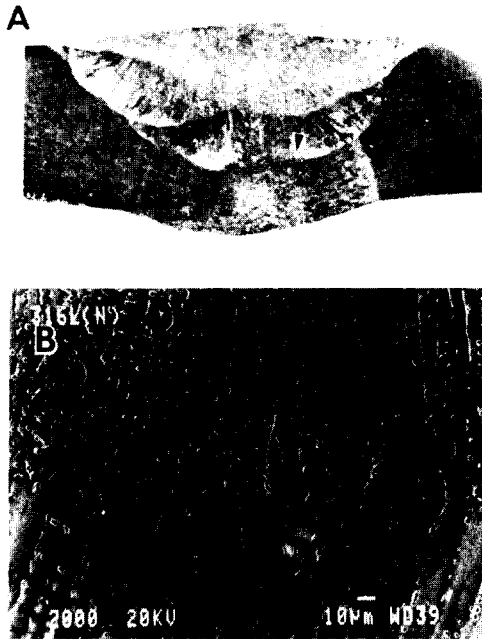


Photo 3. (a) Microstructure of 316L stainless steel weldment with N₂ gas purging, (b) Magnified microstructure of the boundary area (marked by arrow) between root and second pass, showing that decrease of δ -ferrite fraction occurred only in the root pass area

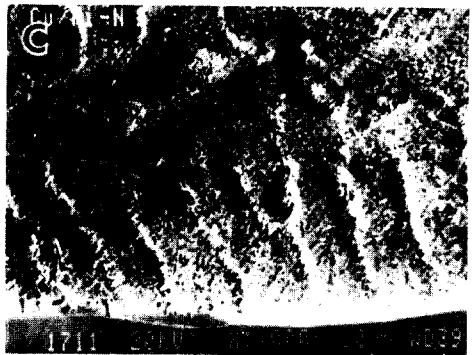


Photo 4. Microstructures of Cu-Ni alloy (a) typical weld metal, (b) root pass weld metal with Ar gas purging, (c) root pass weld metal with N₂ gas purging

조층 용접부에 한하며, 조층에 이어지는 그 다음의 pass 부위에서는 δ -ferrite가 정상적인 분율을 유지하고 있음을 사진 3에서 보여주고 있다. 한편 austenite 기지내의 δ -ferrite 분율이 감소할 경우, 경우에 따라서는 고온균열이 발생할 가능성이 있으나, 본 시험에 사용된 제반 용접조건에 의한 용접을 실시한 경우에는 고온균열 현상은 나타나지 않았다.

3.1.3. Cu-Ni 합금

Cu-Ni 합금의 경우는 용착부의 미세조직은 사진 4

에서 볼 수 있듯이 이면보호가스의 종류에 무관하게 일반적인 수지상조직을 나타내고 있으며 별다른 조직상의 상이점을 노출시키지 않았다. 그러나 초층용착부위의 미세경도는 그림 1에서 나타나듯이 질소를 이면 보호가스로 사용한 용착부가 Ar을 사용한 용착부에 비해 다소간 증가한 값을 나타냈다. 이는 duplex 스테인레스 강의 용접부와 마찬가지로 동일한 원인 즉, 질소의 용입에 의한 기지조직의 고용강화의 효과에 의한 것으로 판단된다.

3.2. 내식성의 평가

3.2.1. Duplex 스테인레스 강

부식매질, 시험온도 및 표면조건에 따른 duplex 스테인레스 강 용접부시편의 부식률과 부식시험 후의 시편의 형태를, 용접시에 사용된 이면보호가스의 종류에 따라 그림 2 및 사진 5에 나타내었다. 각 시험편들의 경우 적용된 이면가스의 종류에 상관없이 각 조건에 따라 거의 동일한 부식률을 나타냄을 알 수 있다. 그러나 용접시험편의 표면조건에 따라 부식률이 변화됨을 보여주고 있는 바, 용접시험편의 표면조건이 용접한 상태 그대로(as-welded)일 때보다 표면처리된 상태(cleaned)일 경우가 훨씬 낮은 부식률

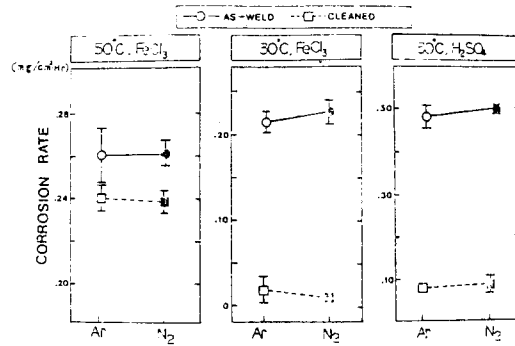


Fig. 2. General and local corrosion rate(48 hours) of duplex stainless steel weldments with Ar gas purging, N₂ gas purging condition

을 나타내고 있음을 보여준다. 이러한 시험 결과는 용접한 상태 그대로(as-welded)의 경우에는 용접시편의 표면에 광범위하게 존재하는 고온산화막이, 부식시험 용액에 노출됨에 따라서 점차로 부식, 박리됨으로써 그 결과 무게감량이 증가했기 때문으로 생각된다. 이러한 결과는 사진 6에서 보는 바와 같이 부식시험이 끝난 해당 부식시험편의 표면상태를 SEM으로 관찰해 보면 이러한 산화피막의 박리 및 그에

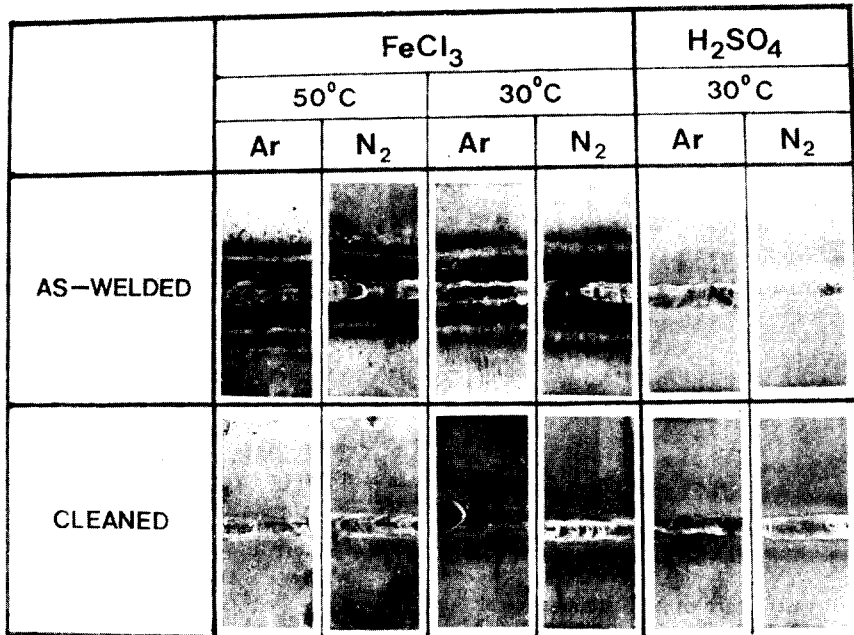


Photo. 5. Macrostructures of corrosion tested specimen of duplex stainless steel weldment with different back shielding gas (test durated for 48 hours under each condition)

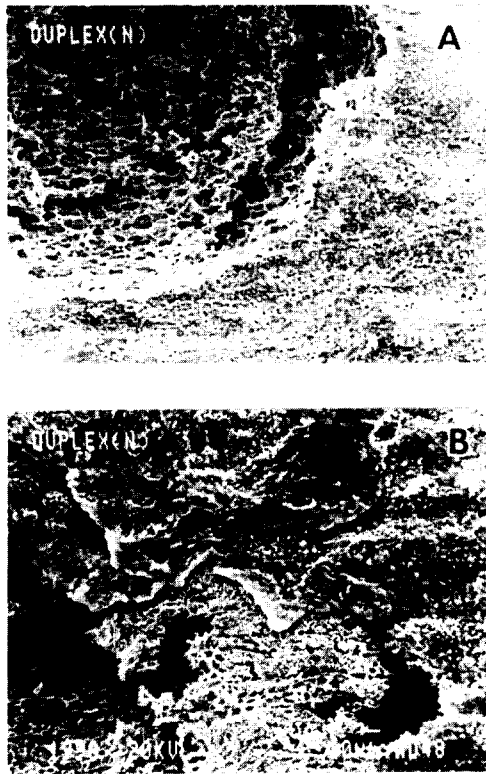


Photo. 6. SEM photos of corrosion pits founded in the corrosion tested specimen of duplex stainless steel (a) base metal, (b) weld metal

다른 부식 가속화가 발생한 것을 알 수 있다. 즉, 용접시험편의 표면조건이 용접한 상태 그대로(as-welded)일 경우에는 고온산화 피막이 존재하는 용착 금속 및 변변색부에서 부식 pit가 대량으로 발생하지만 표면처리된 상태(cleaned)일 경우에는 용착금속에서만 일부분 부식이 발생하였다. 또한 이러한 산화피막의 제거에 의한 무게감량은 이면보호가스의 종류와 무관하게 as-welded상태의 시험편들에서 거의 동일하게 발생하는 것을 알 수 있으며, 이러한 경향은 부식매질의 종류에 상관없이 나타나고 있다. 즉, Cl^- 이온이 존재하는 부식매질 하에서의 부식시험 결과를 보게 되면 시험편표면의 불안정한 산화피막이 제거된 경우(사진 6-a)에는 open-pit형태로 부식이 진행되나, 용접열영향에 의한 고온산화피막이 존재할 경우(사진 6-b)에는 부식분위기에 노출되어 부분 박리된 산화피막이 crevice부식을 조장하여 심한 pitting부식을 초래하는 것을 알 수 있다. 한편 황산 용액에서의 일반부식거동을 살펴보면 이면보호가스의 종류는 무관하게 고온산화피막의 존재에 따라

해당 용접부 부식시험의 부식율이 증가하는 것을 알 수 있는데, 이는 국부부식 거동과 동일한 원인에 의한 것으로 판단된다.

3.2.2. 316L 스테인레스 강

부식매질, 시험온도 및 표면조건에 따른 316L 스테인레스 강 용접부 시험의 부식률과 부식시험후의 시험편의 형태를, 용접시에 사용된 이면보호가스의 종류에 따라 그림 3 및 사진 7에 나타내었다. 각각의 시험조건에 따른 내식성의 변화거동은 앞서의 duplex 스테인레스 강과 마찬가지로의 경향을 보이는 것을 잘 알 수 있다. 특히 고온산화 피막을 제거한 경우의 부식시험에 있어서 질소가스를 이면보호용으로 적용한 용접부의 경우를 보면, δ -ferrite량이 감소되었으나 이에 의한 내식성의 변화는 나타나지 않음을 알 수 있다. 따라서 316L 스테인레스 강 용접부의 경우에는 적용된 이면가스의 종류에 상관없이 각 조건에 따라 거의 동일한 부식률을 나타냄을 알 수 있다.

3.2.3. Cu-Ni 합금

부식매질, 시험온도 및 표면조건에 따른 Cu-Ni 합

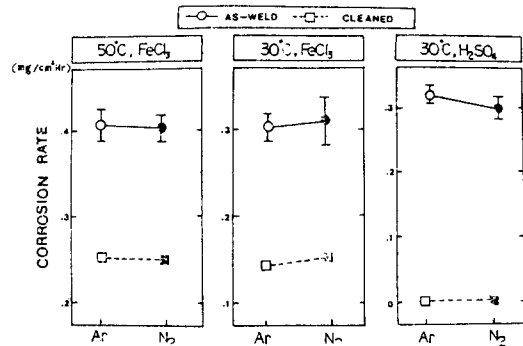


Fig. 3. General and local corrosion rate(48 hours) of 316L stainless steel weldments with Ar gas purging, with N₂ gas purging condition

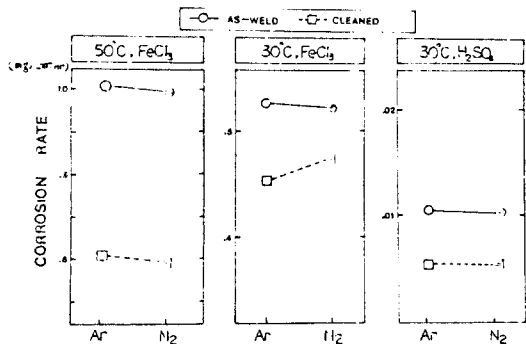


Fig. 4. General and local corrosion rate(48 hours) of Cu-Ni alloy weldments with Ar gas purging, with N₂ gas purging condition

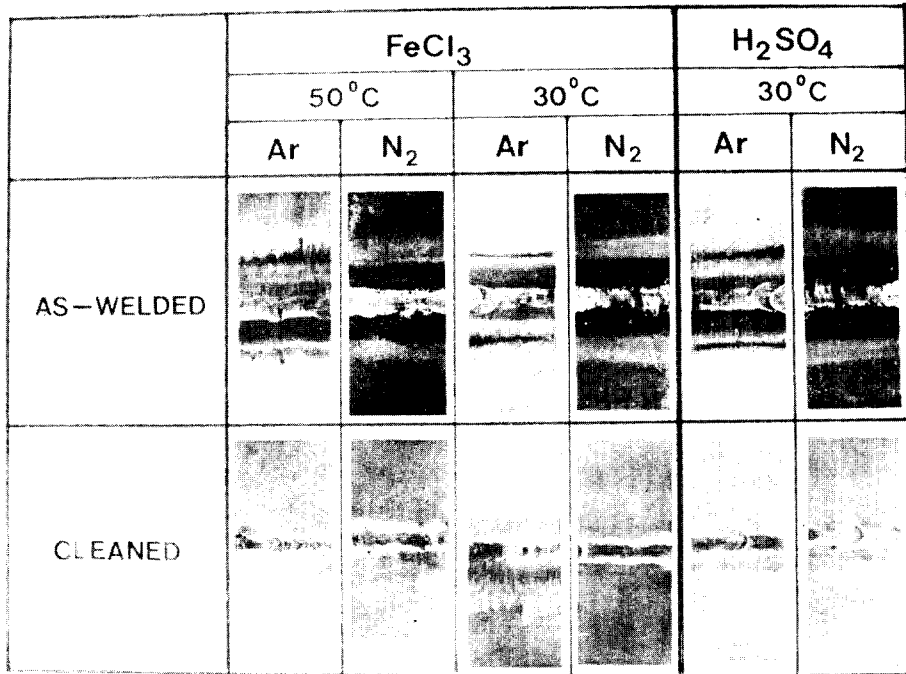


Photo. 7. Macrostructures of corrosion tested specimen of 316L stainless steel weldment with different back shielding gas (test durated for 48 hours under each condition)

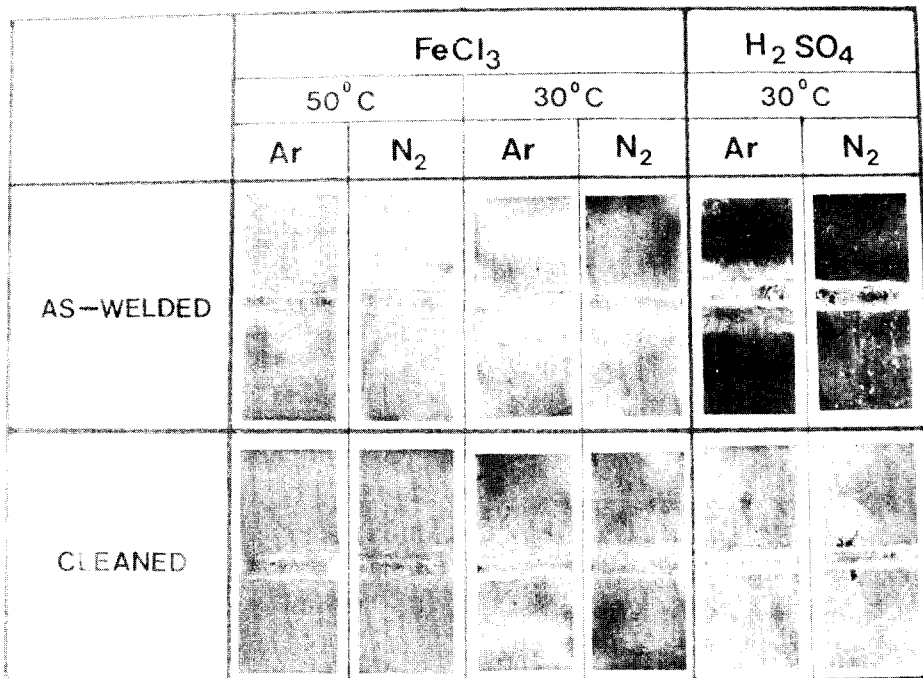


Photo. 8. Macrostructures of corrosion tested specimen of Cu-Ni alloy weldment with different back shielding gas (test durated for 48 hours under each condition)

금 용접부 시편의 부식물과 부식시험후의 시편의 형태를, 용접시에 사용된 이면보호가스의 종류에 따라 그림 4 및 사진 8에 나타내었다. Cu-Ni 합금의 경우에는 pitting부식현상이 나타나지 않으므로 부식매질에 상관없이 전형적인 일반부식거동을 나타내었다. 특히 용착부는 고Ni함유 용가재를 사용하였기 때문에 모재에 대한 우수한 내식성을 보여주고 있다.

이상과 같이 부식매질에 따른 부식물 및 부식면의 관찰을 통해 각 재료의 GTA 용접부위에 대한 내식성을 평가해본 결과, 질소가스를 pipe 재료의 용접시에 이면보호제로 적용한 경우에 해당 용접부의 일반 및 국부부식에 대한 내식성은 Ar가스를 이면보호제로 사용한 경우에 비해 큰 차이를 나타내지 않는 것을 보여준다.

4. 결 론

- 1) Duplex 및 316L 스테인레스 강과 Cu-Ni합금 pipe의 GTA 용접부의 계반 기계적 성질과 일반 및 국부 부식저항성은 이면보호가스의 종류 (질소 또는 Ar)에 상관없이 동일한 거동을 나타내었다.
- 2) 316L 스테인레스 강의 GTA 용착부는 질소를 이면보호가스로 사용한 경우에는 초층용착부에 한하여 질소함량의 국부적인 증가에 따른 δ -ferrite상의 감소가 나타난다.
- 3) Duplex 및 316L 스테인레스 강의 GTA 용접부의 표면에 존재하는 고온산화피막은 해당부위의 국부 부식저항성을 악화시키는 원인이 된다.
- 4) 스테인레스 강 및 비철계통의 pipe의 GTA 용접시에는 질소를 이면보호가스로 사용하더라도 Ar를 적용한 것과 동일한, 우수한 성질의 용접부를 얻을 수 있다.

References

1. J. M. Grocki, 'Some considerations for Fabrication of High Alloy Stainless Steels', Welding Jr., 62(1), 1983, pp.21-25.

2. O. Tanaka et al., 'Root Pass Welding of Pipes without Internal Gas Purging', IIW/IIS Doc. XII-933-86, 1986.
5. AWS D10.11-7X, 'Guide for Root Pass Welding and Gas Purging', Draft No.8, Feb., 1979.
4. H. B. Cary, 'Modern Welding Technology', Prentice-Hall, Inc., U.S.A., 1979, pp.360-361.
5. 김 정섭, 윤 영곤, 비철 pipe에 대한 TIG 용접의 질소보호 Gas 용접성 검토, 기술현대, 4(4), 1984, pp.38-40.
6. T. Ogawa et al., 'The Weldability of Nitrogen-Containing Austenitic Stainless Steels; Part I-Chloride Pitting Corrosion Resistance', Welding Jr., 61(5), 1982, pp.139S-148S.
7. T. Enjo et al., 'Influence of Nitrogen on the Structure and Low Temperature Impact Properties of 304 Type Austenitic Stainless Steel Weld Metals by SMAW Process', Trans. of JWRI, 15(1), 1986, pp.77-84.
8. T. Ogawa et al., 'The Weldability of Nitrogen-Containing Austenitic Stainless Steels; Part II -Porosity, Cracking and Creep Properties', Welding Jr., 63(7), 1984, pp.213S-223S.
9. T.G. Gooch, 'Weldability of Duplex Ferritic-Austenitic Stainless Steels', Proc. Conf., 'Duplex Stainless Steels', ASM, St Louis, U.S.A., Oct.25-28, 1982, pp.573-602.
10. S.M. Wilhelm and R. D. Kane, 'Effect of Heat Treatment and Microstructure on the Corrosion and SCC of Duplex Stainless Steels in H₂S/Cl⁻ Environments', Corrosion, 40(8), pp.431-439.
11. NACE Standard, MR-01-75, 1984 Ed. Rev.

후 기

본 연구를 위해 수고를 아끼지 않으신 용접기술 연구소의 용접시험실과 가공실, 그리고 재료 시험 및 분석실원 여러분께 깊은 감사를 드립니다.