

## 티타늄 용접공정에서 온도특성에 따른 실딩방법에 관한 연구

정한식<sup>1</sup> · 정효민<sup>2</sup> · 이대철<sup>3</sup> · 이병용<sup>†</sup>

(원고접수일 : 2012년 10월 11일, 원고수정일 : 2012년 12월 10일, 심사완료일 : 2013년 1월 2일)

### A study on the titanium welding process according to the temperature characteristics of shielding methods

Han-shik Chung<sup>1</sup> · Hyo-min Jeong<sup>2</sup> · Dae-chul Lee<sup>3</sup> · Byeong-yong Lee<sup>†</sup>

**요약:** 용접과정 중에 용접부가 공기에 노출되면 용접성능을 약화시킨다. 불활성가스 텅스텐 아크용접(GTAW)법을 사용하여 티타늄 용접을 하는 경우 용접부가 자주/적색, 청색, 노란색, 회색, 흰색 등의 빛깔을 보이면 이는 용접 시 공기 중의 산소와 질소에 오염된 것을 의미한다. 따라서 용접부를 대기로부터 보호하기 위한 방법으로 실딩 가스를 사용한다. 이것은 대기에 의한 오염을 방지할 뿐만 아니라 용착부와 열영향부도 상온까지 냉각될 때까지 대기로부터 차단시킨다. 본 연구에서는 Trailing Shielding Jig 의 모양과 형태 그리고 토치보호(13~20 l/min), 후방보호(22~30 l/min), 이면보호(25~30 l/min)등 건전한 용접부에 적합한 실딩 가스에 대한 결과를 도출하였다.

**주제어:** 티타늄용접, 불활성 가스 텅스텐 아크용접, 실딩 가스, 트레이딩 실딩(2차 실딩)

**Abstract:** The welds tend to be weakened if it is exposed to the air during the welding process. In titanium welding with Gas Tungsten Arc Welding, inappropriate colors of the welds, such as purple/red, blue, yellow, gray, white and pink represents that it is contaminated by oxygen and nitrogen in the air. Shielding gases can be used to protect welds from the contamination. In addition, Weld metal and heat affected zone (HAZ) are also shielded from the air when it is cooled down to the room temperature. In this paper, appropriate shielding gases for the shape and form of Trailing Shielding Jig and torch shielding (13~20 l/min), after shielding (22~30 l/min), and back shielding (25~30 l/min) are studied.

**Keywords:** Ti Welding, Gas Tungsten Arc, Shielding Gas, Trailing Shielding (Secondary Shielding)

## 1. 서론

티타늄 및 티타늄 합금은 우수한 비강도, 내식성, 고온성질 및 피로성질을 가진 소재로서 항공우주 산업뿐만 아니라 구조재료, 석유화학소재, 생체이식재료등과 같은 첨단소재와 경량화를 위한 수송기기에 폭넓게 이용되는 우수한 소재이다[1]-[3]. 최근에는 국내 조선 산업의 호황

으로 선박의 관형 열교환기 제조에 사용되는 순수 티타늄의 수입량도 지속적으로 증가하고 있다. 생활수준의 향상으로 친환경소재, 경량화, 인체친화형 소재 등의 중요성이 인식되면서 티타늄 소재에 대한 많은 연구가 진행되고 있으며 관련 사업들이 빠르게 성장하고 있다[4]. 티타늄은 산소, 수소 등의 침입형 원소와의 친화력

† 교신저자: (656-903) 경남 거제시 아주로 2로2길 13

경상대학교 정밀기계공학과, E-mail: bylee1234@hanmail.net, Tel: 010-4580-5099

1 경상대학교 정밀기계공학과, 해양산업연구소, E-mail: hschung@gnu.ac.kr, Tel: 055-772-9115

2 경상대학교 정밀기계공학과, E-mail: hmjeong@gnu.ac.kr, Tel: 055-772-9114

3 경상대학교 정밀기계공학과, E-mail: ldck11@hanmail.net, Tel: 055-772-9114

이 강한 활성이 큰 금속으로 용접 시 고온에 노출되면 급격한 산화와 취화 등의 문제를 발생시킨다. 이러한 문제들은 용접부의 강도를 줄여줄게 하고 연성이 나빠져 사용 성능이 떨어지게 만든다. 따라서 티타늄의 용접 시에는 426℃ 이상의 온도에서는 대기로부터 용접부가 차단되도록 하는 Shielding 기술이 매우 중요하다. 티타늄의 용접은 일반적으로 아크용접, 전자빔용접, 레이저 용접 및 확산접합 등이 적용되고 있으나 용접입열 조절이 용이하고 아크 안정성이 높고 용접부의 기계적 특성이 우수한 GTA 용접이 작업성을 고려하여 가장 많이 적용되고 있다[5]. 티타늄이 공업적으로 중요하게 고려되는 성질 중 특징적인 몇 가지를 요약하면 다음과 같다 [6]-[12].

(1) 순 티타늄의 비중은 4.51 g/cm<sup>3</sup>으로 철강의 약 60% 정도로 가벼우며, 알루미늄 합금에 비해서는 1.6배 정도 무겁다. 그러나 티타늄 합금은 비중대비 강도가 구조용 경쟁소재보다 월등히 높아서 항공기용 소재로 많은 개발이 이루어져 왔다.

(2) 비열은 오스테나이트(Austenite)계 스테인리스강과 거의 비슷한데, 철강보다 비중이 작기 때문에 열용량이 작아서 가열되기 쉽고, 또한 냉각도 잘된다.

(3) 티타늄은 탄소재의 추종을 불허할 정도로 내식성이 우수한데, 이는 티타늄 표면에 형성되는 산화티타늄 피막이 견고하여 재료 내부로의 부식억제 효과가 클 뿐만 아니라, 이 부동태 피막이 파괴되더라도 즉시 재생되기 때문이다. 티타늄은 특히 염소이온에 대한 내식성이 뛰어나 화학 장치산업, 해양 구조물 및 생체의료 분야에서 강점이 있는 소재이다.

본 연구에서는 조선소에서 건조중인 해양구조물에 적용되는 티타늄 파이프 용접 시 파이프 크기에 따른 효과적인 Trailing Shielding Jig의 크기와 모양에 대해 연구하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 실험장치

#### 2.1.1 Trailing Shielding Jig의 모양

용접비드가 대기에 노출되어 합격 판정기준에 해당되게 은백색 또는 담황색의 범위에 해당하는 Trailing Shielding Jig의 크기에 대한 고찰 결과, **Figure 1, 2, 3** 과 같이 3가지 타입의 Jig를 파이프 규격에 따라 선택하여 사용할 수 있게 만들었다.

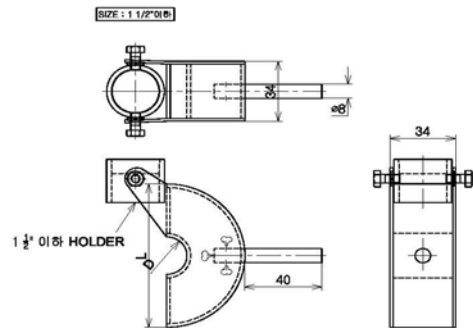


Figure 1: A Type (1/2" ~ 1 1/2" )

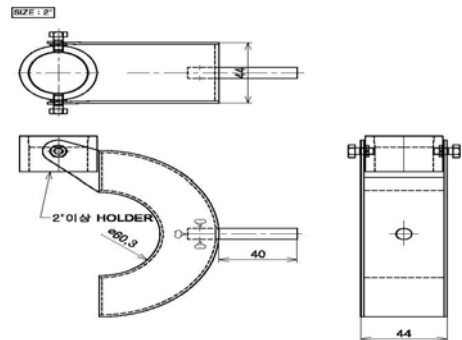


Figure 2: B Type (2" ~ 12" )

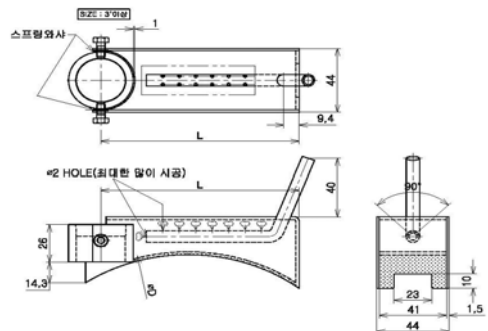


Figure 3: C Type (16" ~ 20" )

2.1.2 파이프 규격에 따른 Jig의 크기

작업자들에게 최적의 용접 작업성을 제공하고 용접합격 기준에 만족하는 Jig의 세부사항은 Table 1과 같이 나타났다.

Table 1: Jig Size

PIPE SIZE (ANSI)		DIMENSION	
		길이(L)	지름(D)
A	1/2"	81.35	21.35
	3/4"	86.67	26.67
	1"	93.40	33.40
	1 1/2"	108.26	48.26
B	2"	85	60.33
	3"		88.90
	4"	100	114.30
	6"	120	168.28
	8"		213.05
	10"		219.08
	12"	150	323.85
C	16"	200	406.40
	18"		457.20
	20"		508.00

2.2 실험재료

2.2.1 시험편의 규격

시험편의 재질은 티타늄 합금 Gr2, 시험편 길이는 300mm, 개선 각도는 60°, GAP은 2mm이며 8" 파이프를 사용하였으며 그 규격과 조건은 Figure 4와 Table 2에 나타낸다.

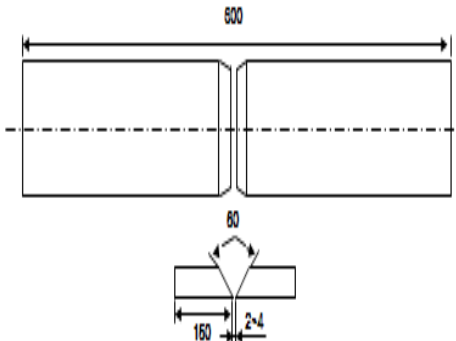


Figure 4: Specification of the Specimen

Table 2: The experimental conditions

항 목	규격
모재규격	Titanium Pipe(Gr.2)
모재크기	8인치
모재길이	300mm
개선각도	60°
루트간격	2mm
용접전류(A)	Root 90~110
	Fill & Cap 115~140
용접전압(V)	10~12
용접속도(cm/min)	Root 3.0~5.0
	Fill & Cap 5.0~10.0
토치가스유량(ℓ/min)	Ar(99.999%) 13~20
Trailing Gas(ℓ/min)	Ar(99.999%) 22~30
Backing Gas(ℓ/min)	Ar(99.999%) 25~30

2.3 실험방법

티타늄의 GTA 용접은 산소, 질소, 수소와의 친화력이 강하기 때문에 용접 시, 또는 용접 후 고온상태에서 대기와 차단할 철저히 하기 위하여 Figure 5와 같이 용접부의 형상에 맞는 치구로 차폐를 실시한다.

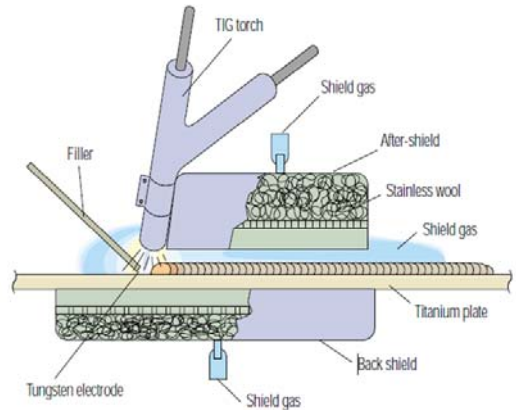


Figure 5: Schematic diagram of GTAW

2.3.1 토치보호(Torch shielding)

Figure 6은 토치에서 공급되는 알곤 가스에

의해 차폐되는 토치보호(Torch shielding) 방법으로 유량계를 거친 알곤 가스가 용접기 본체를 통해서 토치의 세라믹 노즐을 통과해서 배출되는 구조로 하였다.



Figure 6: Torch shielding

### 2.3.2 후방보호(After-shielding)

Figure 7은 용접봉의 운봉 반대 방향의 용접 비드를 차폐하는 후방보호(After-shielding) 방법으로 유량계를 통과한 알곤 가스가 Figure 1, 2, 3 과 같이 제작된 Trailing Shielding Jig를 통과해서 배출되는 구조로 하였다.



Figure 7: After-shielding

### 2.3.3 이면보호(Back-shielding)

Figure 8은 용접 비드 뒷면을 보호하는 이면 보호(Back-shielding) 방법으로 유량계를 거쳐 파이프 한쪽 면으로 호스를 연결하여 알곤 가스를 공급하고 반대쪽은 스펀지를 통해서 배출되도록 하였다.



Figure 8: Back-shielding

### 2.3.4 가스유량(Gas flow)

Figure 9는 알곤 가스를 공급하는 것을 나타냈으며 토치보호는 용접기 본체의 유량계를 조정하였고, 후방보호와 이면보호는 7기압 알곤 가스를 각각 유량계를 통해서 공급하였다. 이면 보호는 스펀지를 통해 가스를 순환시켰다.



Figure 9: How to measure the gas flow rate

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.3 토치보호(Torch shield) 가스유량

토치보호의 알곤 가스 유량은 조건을 달리하여 실험한 결과 Figure 10과 Table 3와 같이 나타났다. 가스유량은 13~20 l/min의 조건에서 변색속도가 합격기준인 은백색이 나타났으며, 용접 진행속도와 운봉속도에 따라 2~3 l/min 정도의 측정편차가 발생하였다.

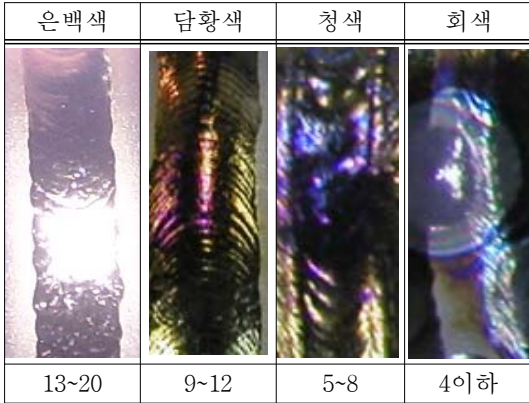


Figure 10: The changes of color by gas flow of torch shielding

Table 3: Tests by gas flow of torch shielding

가스유량(ℓ/min)	변색정도	합격여부
4이하	회색	불합격
5~8	청색	불합격
9~12	담황색	조건부합격
13~20	은백색	합격

### 3.4 후방보호(After-shielding) 가스유량

후방보호의 알곤 가스 유량은 조건을 달리하여 실험한 결과 Figure 11과 Table 4와 같이 나타났다. 가스유량은 22~30 ℓ/min의 조건에서 변색정도가 합격기준인 은백색이 나타났으며, Trailing Shielding Jig의 형태에 따라 그 측정값이 다르게 나타났다.

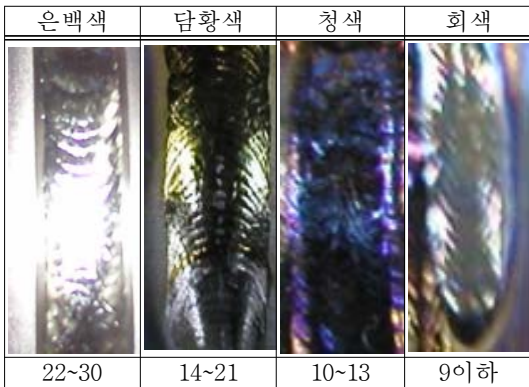


Figure 11: The changes of color by gas flow of after-shielding

Table 4: tests by gas flow of after-shielding

가스유량(ℓ/min)	변색정도	합격여부
9이하	회색	불합격
10~13	청색	불합격
14~21	담황색	조건부합격
22~30	은백색	합격

### 3.5 이면보호(Back-shielding) 가스유량

이면보호의 알곤 가스 유량은 조건을 달리하여 실험한 결과 Figure 12과 Table 5과 같이 나타났다. 가스유량은 25~30 ℓ/min의 조건에서 변색정도가 합격기준인 은백색이 나타났으며, 내부 산소농도가 20ppm 이하가 되었을 때 용접을 시작해야 편차가 없었다.

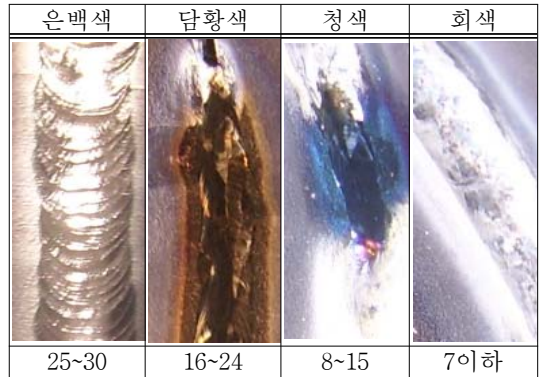


Figure 12: The changes of color by gas flow of back-shielding

Table 5: Tests by gas flow of back-shielding

가스유량(ℓ/min)	변색정도	합격여부
7이하	회색	불합격
8~15	청색	불합격
16~24	담황색	조건부합격
25~30	은백색	합격

## 4. 결론

티타늄 합금 Gr2를 사용하여 용접공정에서 온도특성에 따른 Shielding 방법을 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) Trailing Shielding Jig는 3가지 타입으

로 제작하면 모든 Ti Pipe 용접공정에 적용할 수 있는 것으로 나타났다.

(2) 1/2인치 파이프부터 20인치 파이프까지의 후방보호(After shield)에 필요한 최적의 Jig 크기는 Table 1과 같이 나타났다.

(3) 토치보호(Torch shield)에 필요한 최적의 가스유량은 13~20 l/min 되어야 건전한 용접비드를 얻을 수 있다.

(4) 후방보호(After shield)에 필요한 Trailing Gas의 유량은 22~30 l/min 되어야 건전한 용접비드를 얻을 수 있다.

(5) 이면보호(Back shield)에 필요한 Backing Gas의 유량은 25~30 l/min 되어야 건전한 용접비드를 얻을 수 있다.

## 후 기

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No.2012-008150)과 중소기업청의 중소기업기술혁신개발사업 미래선도과제(No.S2044441) 사업에 의하여 수행된 결과이며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- [1] Y.-T. Lee, S.-E. Kim, Y.-T. Hyeon, and H.-W. Jeong, Dream Material of Titanium, The Korea Metal Journal, 2003.
- [2] R. L. Little, Welding and Welding Technology, Mcgraw-Hill Book, 1973.
- [3] W. R. Oates and A. M. Saitta, Welding Hand-book, American Welding Society, vol. 4, no. 8, p. 488, 1998.
- [4] Y.-T. Lee, S.-E. Kim, Y.-T. hyeon, and H.-W. Jeong, Dream Material of Titanium, The Korea Metal Journal, 2003.
- [5] Y.-T. Lee, S.-E. Kim, Y.-T. hyeon, and H.-W. Jeong, Dream Material of Titanium, The Korea Metal Journal, 2003.
- [6] W. Lucas and D. Howse, Activating Flux-increasing the Performance and Productivity of the TIG and Plasma Processes, Welding and Metal fabrication, 1996.
- [7] M. J. Donachie, Titanium and Titanium Alloys Source Book, American Society of Mechanical Engineer, p. 3, 1982.
- [8] R. Boyer, G. Welsch, and E. W. Collings, Titanium Alloys, Materials Property Handbook, 1994.
- [9] W. F. Smith, Structures and Properties of Engineering Alloys, McGraw-Hill, 1981.
- [10] Titanium association, Titanium Processing Technology, Iljin industry newspaper, 1992.
- [11] S.-C. Gil, The Development and Use of Titanium Metal Technology, Industry and Technology Information, 1991.
- [12] H.-Y. Yang and S.-Y. Kim, Metal Material, Munwudang, 1991.