

# 선박조립과정의 FCAW 적용시 적정 보호가스 유량에 대한 연구

이훈동<sup>1</sup> · 심천식<sup>2,†</sup> · 송하철<sup>2</sup> · 염재산<sup>2</sup>  
대한조선 주식회사<sup>1</sup>  
국립목포대학교 조선공학과<sup>2</sup>

## A Study of Optimum Shielding Gas Flow Rate in FCAW for Shipbuilding

Hoon-dong Lee<sup>1</sup> · Chun-Sik Shim<sup>2,†</sup> · Ha-Cheol Song<sup>2</sup> · Jae-Seon Yum<sup>2</sup>  
Deahan Shipbuilding Co., Ltd<sup>1</sup>  
Department of Naval Architecture, Mokpo National University<sup>2</sup>

### Abstract

FCAW(Flux Cored Arc Welding) is a widely used welding method in shipbuilding. It also conducts WPS(Welding Procedure Specification) requested by the classification variations of the factors which affect the quality on the welded area such as thickness of base metal, type of welding wire and shielding gas etc, which has to be satisfied. CO<sub>2</sub> is commonly used as a shielding gas for FCAW due to the economic point of view. The amount of shielding gas is stated when classification certify WPS. However, the shielding gas is unnecessarily used at the shipyard leaning only on the welder's experience as there are classification standards for using the shielding gas. It causes production cost to rise. Also recently, CO<sub>2</sub> is a main contributor for global warming, and large amounts of CO<sub>2</sub> are discharged into the atmosphere during shipbuilding processes without any filtration. Therefore it was confirmed by the security of the welded area as a result of conducting the destructive and non-destructive tests with setting up the factors and the standards by using the Taguchi method. Then the FCAW shielding gas's amounts were calculated precisely when assembling a ship. It will be applied to cost reduction and prevention of environmental pollution at the shipyard.

**Keywords** : FCAW(Flux Cored Arc Welding), Taguchi method, WPS(Welding Procedure Specification), shielding gas

## 1. 서론

용접 기술의 발달로 작업의 편리성과 도크(dock)의 회전율을 높이기 위하여 조선소에서는 현장 설비에 맞추어 선박을 블록(block)으로 분할하여 건조하고 있다. 예를 들어 180K Bulk Carrier 경우 대략 150~200개 정도의 블록으로 만들어진다. 선박 건조 중 FCAW(Flux Cored Arc Welding)가 차지하는 비율은 Fig. 1과 같이 90%이상으로 많은 부분을 차지하고 있음을 알 수가 있으며, 경제적인 이유로 CO<sub>2</sub>를 보호가스(shielding gas)로 사용하고 있다.

보호 가스는 용접과정에서 아크의 안정성을 확보하고, 불순물의 유입이나 외부환경과의 차단을 통해 화학반응을 억제하여 용접부의 결함을 방지함으로써 적절한 용접 강도 확보가 가능하게 하는 중요한 용접 조건이다(Oh, 1991). 그러나 선급에서 보호가스 사용 양에 대한 정확한 규정이 없어 조선소에서는 용접사의 개인 경험에만 의지하여 보호가스를 사용하고 있으며, 보호가스 사용 양에 따른 용접강도 실험 데이터가 마련되지 않아 필요 이상의 보호가스를 사용하고 있어 CO<sub>2</sub> 가스에 의한 대기 오염과 경제적

으로 낭비를 발생 시키고 있다. 따라서 본 논문에서는 용접부의 건전성을 확보할 수 있는 보호가스 사용 양에 관한 조건을 상황에 맞게 환경별로 검토하고 선급이나 선주가 요구하는 WPS(Kim, 2004) 인증시험과 결과분석을 통하여 적정 보호가스량을 산출함으로써 생산현장의 원가절감과 대기 오염의 방지를 위한 기초연구를 수행하였다.

선박건조용접의 종류와 비율

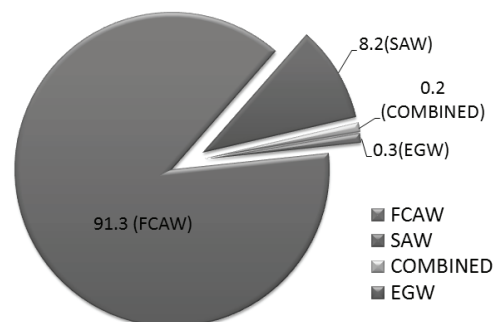


Fig. 1 FCAW's ratio of shipbuilding

### 1.1 연구 동향

연구 동향을 살펴보면 조선소 용접법에 있어 보호가스(CO2) 영향에 관한 연구의 경우 주로 용접 시 발생하는 흠, 용접 결함, 용접부 물성 변화 등에 대하여 활발히 진행되어 왔으며, 국내에서 용접가스를 절감시킬 수 있는 가스절감기(gas saver)가 상품화되기도 하였다. 관련 연구를 살펴보면 SS400의 탄산가스 아크 용접에서 보호가스 조성이 용접성에 미치는 영향(Oh, 2000)에서 Ar + CO<sub>2</sub> 의 혼합비에 따른 용접 강도 시험 결과 Ar가스 와 CO<sub>2</sub> 가스가 85:15 일 때 가장 용접 비드의 형상과 기계적 성질이 양호한 결과에 대하여 발표 하였으며, 시용점에 있어 보호가스 절감에 관한 보고(Kang, 2001)에서는 혼합가스(Ar + 75%He)를 일정하게 공급하는 조건과, Ar 와 He 가스를 순간적인 압력으로 교대 공급함으로써 용접부를 비교 분석 한 결과 순간적인 압력으로 Ar 과 He 교대 공급하였을 때 기존 사용량의 절반으로도 용접결함이 발생하지 않음을 검증 하였다. 하지만 대부분의 조선소의 경우 비용 면에서 경제적인 CO<sub>2</sub> 가스만을 사용하고 있다. 또한 지금까지의 연구는 혼합 가스(Ar + CO<sub>2</sub>, He)와 용접장비의 기계적 측면, 개선 형상의 변화를 통하여 보호가스를 절감할 수 있는 방안에 대한 연구이며, 용접 조건으로서 보호가스 사용량 절감에 대한 연구라고는 보기 어려워 보호가스 절감을 위한 공정개선의 기초 자료로 활용하기는 곤란하다. 따라서 조선소의 과도한 보호가스의 사용량을 억제하여 원가 절감을 위한 공정개선의 기초 자료로서, 조선 용접 시 적정수준의 보호가스 공급량 산정에 대한 체계적인 연구는 아직 미진한 실정이다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 재료(모재)

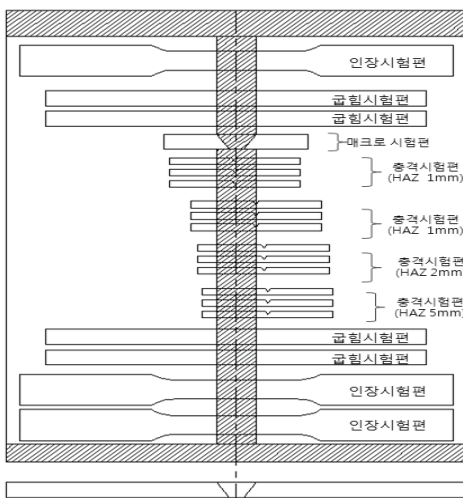


Fig. 2 Test specimen manufacture drawing

본 시험에 사용 한 재료는 일반 구조용 강으로 조선소 현장에서 많이 사용하고 있는 A grade 연강(mild steel)을 사용하였으

며, 시험편 사이즈는 500 × 350 × 20(mm)으로 제작 하였다. 비 파괴 검사 후 파괴 검사를 수행하기 위하여 인장시험편 3개, 굽힘시험편 4개, 충격 시험편을 용접부와 열영향부에서 3개씩 총 12개의 시험편과 경도 측정을 위한 매크로 시험편 1개를 Fig. 2와 같이 제작하였다.

### 2.2 인자와 수준 결정

조선소 현장의 다양한 용접조건을 고려한 용접시험편 제작을 위하여 Table 1과 같이 다구찌 기법의 직교표 L9(3)4을 사용하였다. 직교표에 필요한 인자는 용접부 결함에 밀접한 연관이 있는 풍속, 보호가스양, 용접부의 개선 각도, 바람의 방향으로 선정하였다. 풍속은 AWS(American Welding Society Structural welding code-steel, 2004) D1.1, 5.12 규정에 2.0m/sec이상의 바람이 불 때는 바람 보호막을 설치하도록 규정하고 있다. 이와 같은 이유로 풍속을 최대 2.0m/sec, 1.5m/sec, 그리고 0m/sec으로 선정하였으며, 조선소의 공장 입구와 공장 중앙부 그리고 용접 중인 선박의 블록 안쪽에서 풍속계를 이용하여 측정하였다. 보호가스양은 WPS 인증과 선박 조립 시 사용하고 있는 20~25ℓ /min 를 기준으로 하여 최대 20ℓ /min에서 5ℓ /min씩 줄여가며 15ℓ /min, 10ℓ /min으로 사용하였다. 용접부의 개선 각도는 국내 조선소에서 이미 선급으로부터 WPS 인증을 받은 조건을 조사 하였으며, 반자동 가스 절단기로 한 면을 15°, 17°, 20°, 로 가공하여 V 개선 용접을 실시하였다. 마지막으로 바람의 방향의 경우 실제 현장에서 선박 건조 중 발생할 수 있는 여러 방향을 고려한 정면 과 측면 그리고 후면에서 부는 바람을 선정하여 아래 보기 용접으로 시험편을 제작 하였다.

Table 1 Welding condition using Taguchi method

구분	가스량	풍속	바람 방향	개선 각도
1	10ℓ /min	0m/sec	정면	15°
2	10ℓ /min	1.5m/sec	측면	17°
3	10ℓ /min	2.0m/sec	후면	20°
4	15ℓ /min	0m/sec	측면	20°
5	15ℓ /min	1.5m/sec	후면	15°
6	15ℓ /min	2.0m/sec	정면	17°
7	20ℓ /min	0m/sec	후면	17°
8	20ℓ /min	1.5m/sec	정면	20°
9	20ℓ /min	2.0m/sec	측면	15°

### 2.3 시험편 제작

시험편 제작 순서를 Fig. 3과 같이 먼저 시험편의 개선 (groove) 가공 후 세라믹 백판과 용접 변형 방지를 위한 지그를

부착하였다. 다음으로 용접에 사용할 가스의 양과 전류(ampere) 전압(voltage)을 Table 2와 같이 고정한 후 실제 현장과 같은 조건의 풍속을 만들기 위하여 대형 선풍기와 풍속계를 이용하여 용접 조건과 같은 환경을 구현 하였다. 또한 입열량에 대한 영향을 고려하지 않기 위하여 모든 시험편의 용접 횟수를 5회로 제한 하였다.

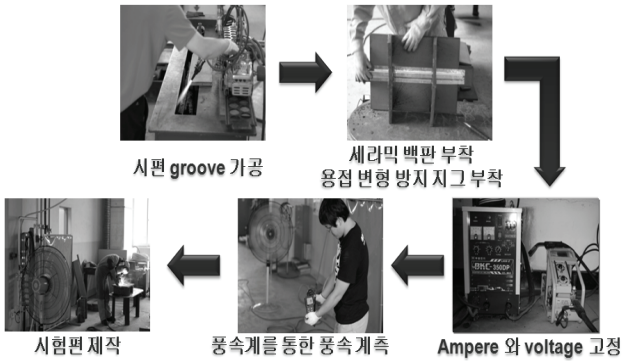


Fig. 3 Test specimen manufacture process

Table 2 Welding condition for experiment

구분	Arc voltage (V)	Current (A)	Average Speed (cm/min)	proces
1	240	26	13,6	FCAW
2	240	26	15,5	FCAW
3	240	26	18,2	FCAW
4	240	26	19,8	FCAW
5	240	26	13,1	FCAW
6	240	26	15,3	FCAW
7	240	26	16,3	FCAW
8	240	26	18,5	FCAW
9	240	26	13,5	FCAW

### 3. WPS 인증시험

#### 3.1 비파괴 시험

비파괴시험은 각종 기기와 구조물의 용접부 검사에 이용되며 비파괴 검사를 활용함으로써 용접부의 안전성 확보 및 제조 기술의 향상, 경비 절감 등 품질 관리 및 품질 보증의 면에서 비파괴 검사는 필수 불가결한 일이다. 이 시험의 목적으로는 눈에 보이지 않는 용접결함을 확인하기 위함이다.

#### 3.2 경도시험

경도시험이란 각종 재료의 표면이 단단한 정도를 나타내는 척도이다. 경도라는 용어는 보통 압입 저항, 반발 저항, 마모 저항 등으로 표현할 수 있다. 본 연구에서는 압연 저항의 비커스 경도를 이용하여 시험을 실시하였다. 매크로 시험에 사용한 시험기로는 미쯔도요 비커스 경도계를 사용하였으며, Fig. 4와 같이 경도시험부의 표면으로부터 최대 2mm 부분에서 HAZ 부분에서는 0.5mm 간격으로 3점씩 측정하고 모재(base metal)와 용접부(weld metal)에서는 1mm 간격으로 3점씩 측정하였다.

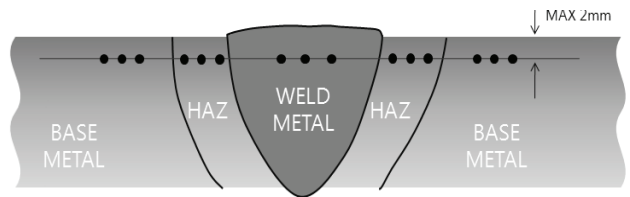


Fig. 4 Design of hardness test point

#### 3.3 충격시험

충격시험의 목적은 용착금속과 열영향부의 인성을 조사하기 위한 것이다. 일반적으로 충격시험에서는 재료를 파괴할 때 재료의 인성(toughness) 또는 취성(brittleness)을 시험한다. 충격시험을 수행하기 위하여 용접부 표면으로부터 2mm 깊이로 용접부와 열영향부(HAZ) 그리고 열영향부에서 2mm, 5mm 떨어진 곳을 중심으로 용접선에 수직하게 각각 3개씩 채취하여 Fig.5와 같이 가공하였다.

(Unit : mm)

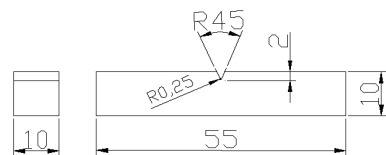


Fig. 5 Design of impact test specimen

#### 3.4 굽힘시험

맞대기 용접의 굽힘시험을 MTS사 UTM-100톤 장비를 이용하여 수행하였다. WPS 인증시험에서는 모재의 두께가 20mm 이하가 되는 경우 side bending 시험을 실시하도록 규정하고 있으며, Fig. 6과 같이 굽힘시험편을 가공하였다. 이 시험의 목적은 용접부의 연성과 결함 등을 알기 위한 것으로 현재 WPS 인증 시험 활용하고 있다.

(Unit : mm)



Fig. 6 Design of side bend test specimen

### 3.5 인장시험

인장시험은 재료의 강도를 측정하는 가장 기본적인 시험이다. 인장시험의 목적으로는 인장 하중을 가하였을 때 시험편에 생기는 변형 상태를 살펴봄으로써 이때의 하중과 변형률과의 관계를 측정함에 있다. 인장 시험편은 DNV rule에 따라 제작 하였으며, MTS사의 UTM-100톤 장비를 이용하여 수행 하였다. Fig. 7은 시험편의 제작도를 나타낸 그림이다.

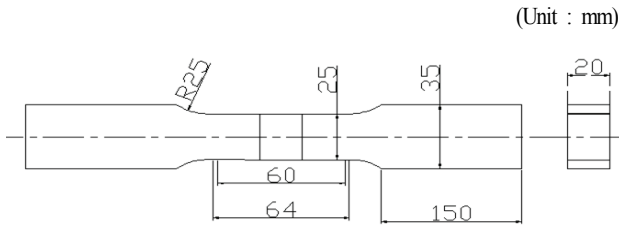


Fig. 7 Design of tensile test specimen

## 4. 결과 및 고찰

### 4.1 육안검사

육안 검사는 용접부를 검사 하는 가장 기본적인 방법으로써 용접부 표면에 기공이나 언더컷, 오버랩등 용접 결함을 살펴보는 검사 방법이다. 시험 결과는 Table 3과 같이 정리 하였으며, 시험편 No. 2, 3, 6의 표면에서 Fig. 8과 같이 육안으로도 확인할 수 있는 기공이 관찰되었다. No. 2와 3의 경우 공급되어지는 보호가스량이 실제 WPS 인증 시 사용 되어 지고 있는 보호가스량의 절반으로 용접되어지며, 이때 바람에 의한 가스 실드(gas shield) 효과가 감소된 결과로 고찰된다. No. 6 시험편 또한 가스 양이 15ℓ /min이며, 풍속이 최대일 때 정면에서 발생하는 바람에 의하여 보호가스가 용접부를 충분히 보호하지 못했기 때문에 발

생되어진 기공이라 판단된다. 기공의 원인으로는 부족한 보호 가스량과 스파터로 인한 노즐 구멍에 막힘이 주된 원인이다. FCAW 는 수동 피복 아크 용접에 비해 용입이 깊고 냉각 속도가 빠르므로 용착 금속 중심부에서 각종 불순물로 인해 발생된 가스가 용접부를 미처 빠져 나오지 못하고 용착 금속에 잔류하면서 기공이 발생되어 지기도 한다.

Table 3 Visual test result

시험편	Bead외관	Bead 형상	Arc 안정성	스파터	Fume양
1	양호	약간 불룩	불안정	많음	적음
2	표면 기공	약간 불룩	불안정	많음	적음
3	표면 기공	약간 불룩	불안정	많음	적음
4	양호	약간 불룩	양호	보통	많음
5	양호	약간 불룩	양호	보통	많음
6	표면 기공	약간 불룩	불안정	많음	많음
7	양호	약간 불룩	양호	보통	많음
8	양호	약간 불룩	양호	보통	많음
9	양호	약간 불룩	양호	보통	많음

### 4.2 X-ray 검사

X-ray 검사 결과 육안으로 기공이 확인된 No. 2, 3, 6번 시험편 이외에 기공이나 슬래그 혼입 등과 같은 용접 결함은 발견되지 않았다. X-ray 검사의 목적으로는 용접부 내부에 눈으로 보이지 않는 기공, 슬래그, 균열, 용입 불량 등과 같은 용접 결함을 알아보기 위한 시험이다.

Fig. 9에서 Fig. 14까지 검사 결과를 살펴보면 바람이 불지 않은 곳에서 용접 시 일반적으로 사용 하고 있는 20~25 ℓ /min의 CO<sub>2</sub> 가스양 보다 절반가량 적은 10 ℓ /min에서도 기공이나 용입 불량 등과 같은 용접 결함이 존재하지 않음을 알 수 있다.

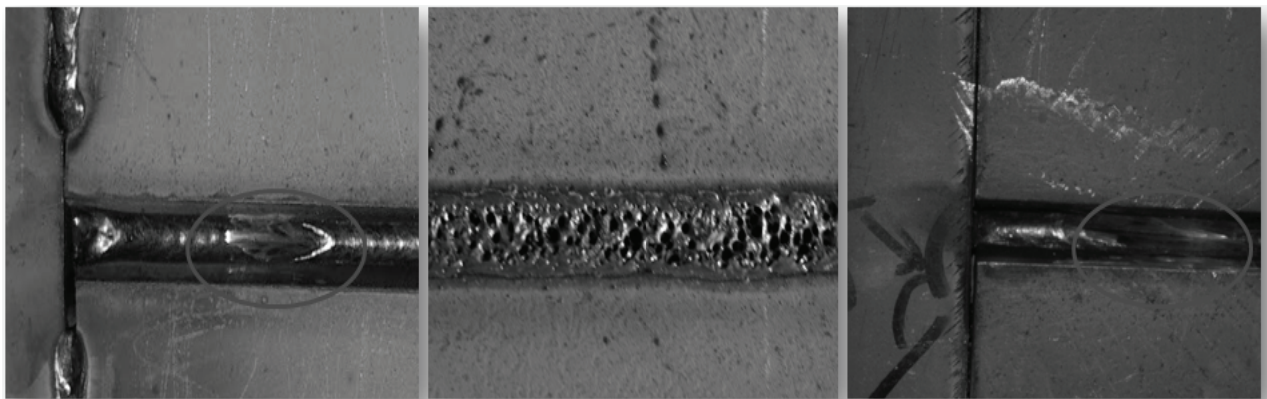


Fig. 8 No. 2, 3, 6 Specimen blowhole

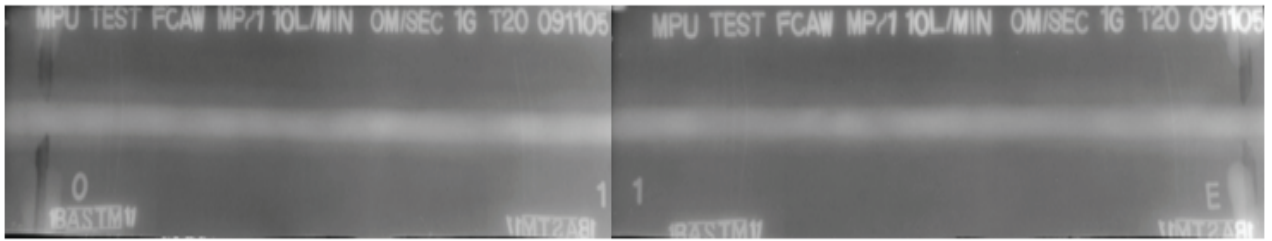


Fig. 9 No.1 specimen X-ray test result

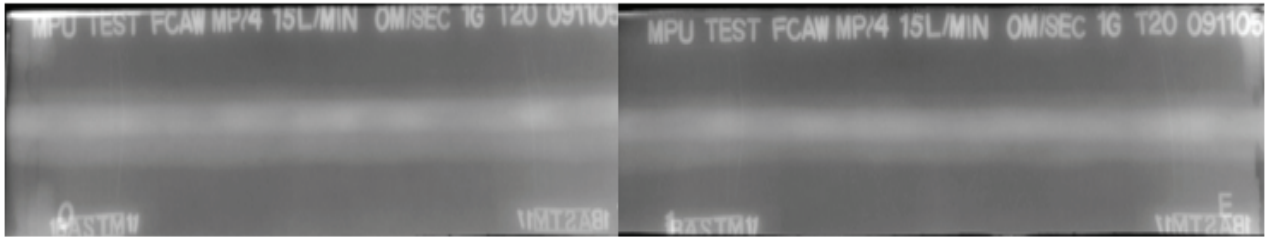


Fig. 10 No.4 specimen X-ray test result

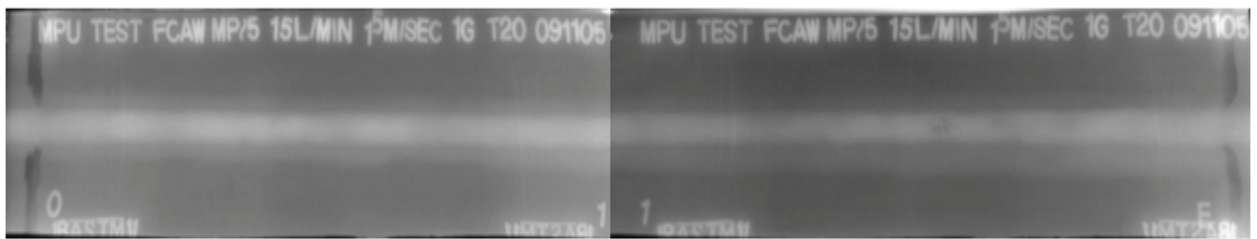


Fig. 11 No.5 specimen X-ray test result

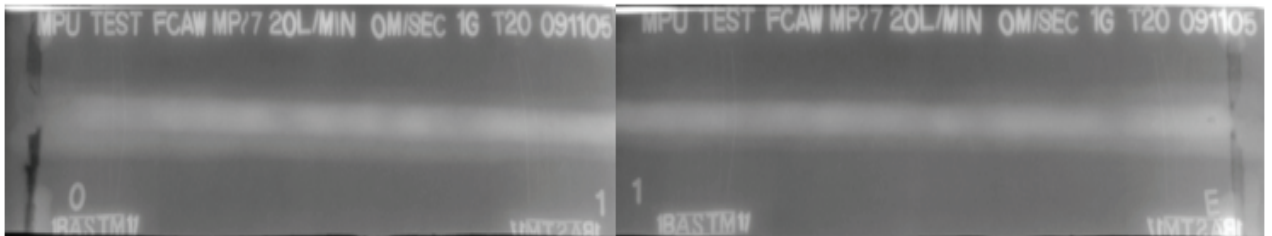


Fig. 12 No.7 specimen X-ray test result

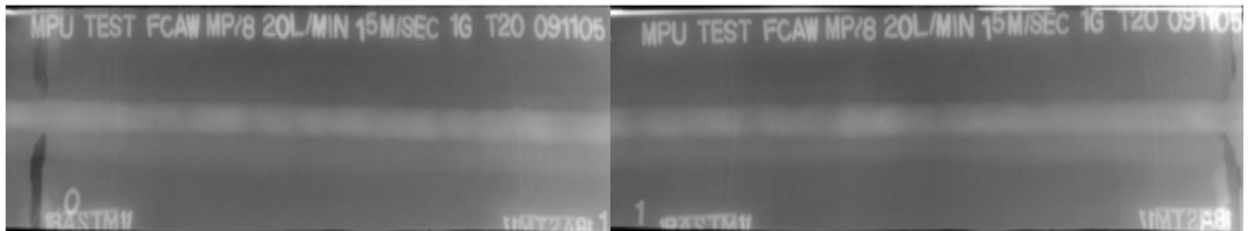


Fig. 13 No.8 specimen X-ray test result

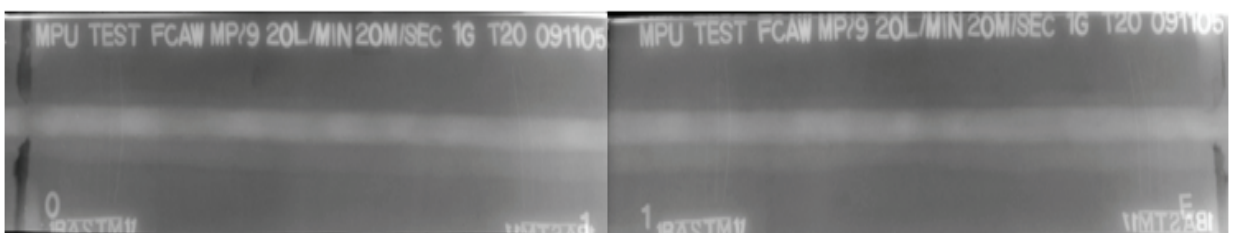


Fig. 14 No.9 specimen X-ray test result

### 4.3 경도시험

경도시험은 DNV 선급 기준 용접부와 열영향부 및 모재에 대하여 3점 이상 측정하도록 되어 있다. 매크로 시험편을 가공하여 폴리싱(polishing)과 에칭(etching) 후 경도시험을 수행하였으며, 경도시험 위치는 모재와 열영향부, 용접부 그리고 용접부의 루트(root)부와 표면(face)부로 구분하여 측정을 수행하였다.

경도시험 결과 루트부보다 표면부에서 조금 높은 경도치가 확인되었으며, 다소 경향의 편차가 있지만 열영향부에서 경도 값이 증가하는 것을 확인할 수가 있었다. DNV rule에 따르면 경도 값은 최대 350HV 초과하지 못하도록 되어있으며, Fig. 15에서 Fig. 20까지 시험 결과를 보아 알 수 있듯이 모두 선급에서 요구하는 값을 만족하고 있음을 확인할 수 있었다.

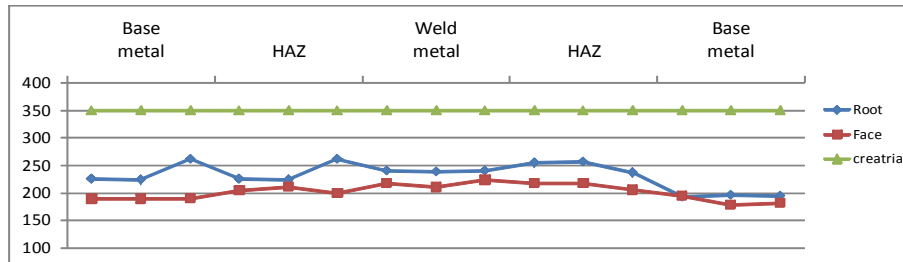


Fig. 15 No.1 specimen hardness test result

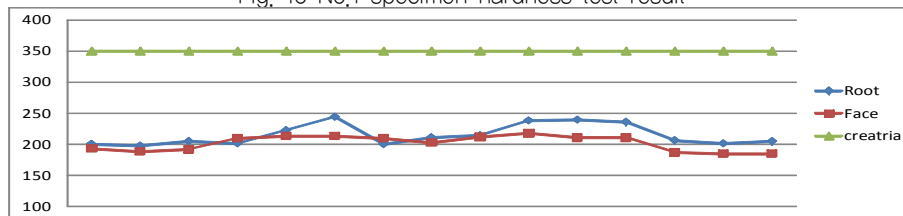


Fig. 16 No.4 specimen hardness test result

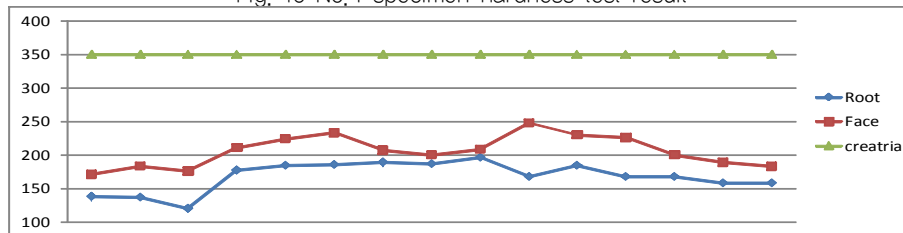


Fig. 17 No.5 specimen hardness test result

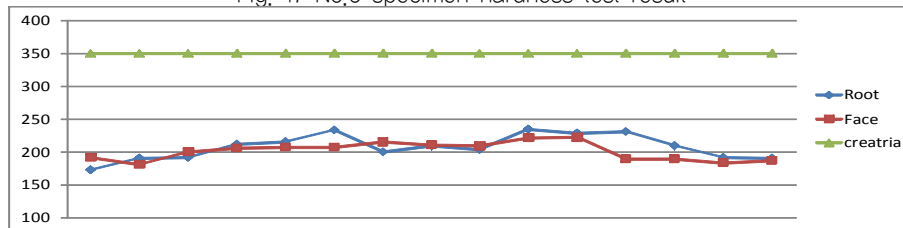


Fig. 18 No.7 specimen hardness test result

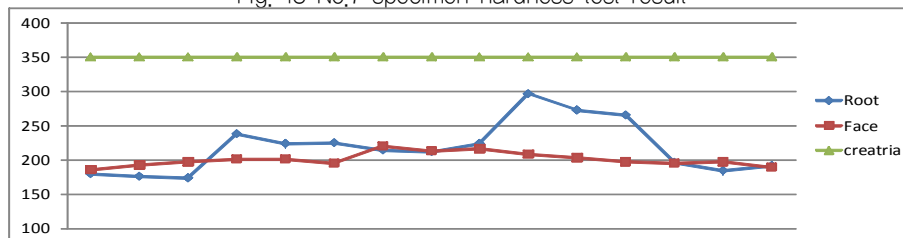


Fig. 19 No.8 specimen hardness test result

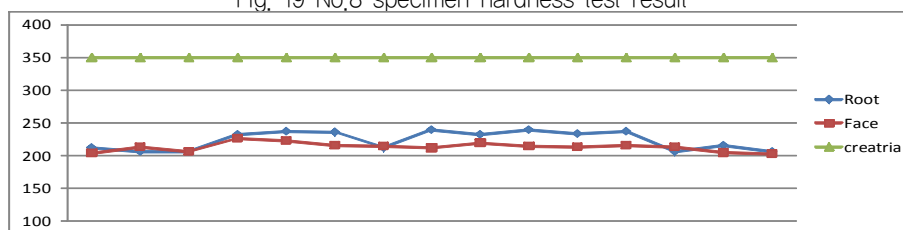


Fig. 20 No.9 specimen hardness test result

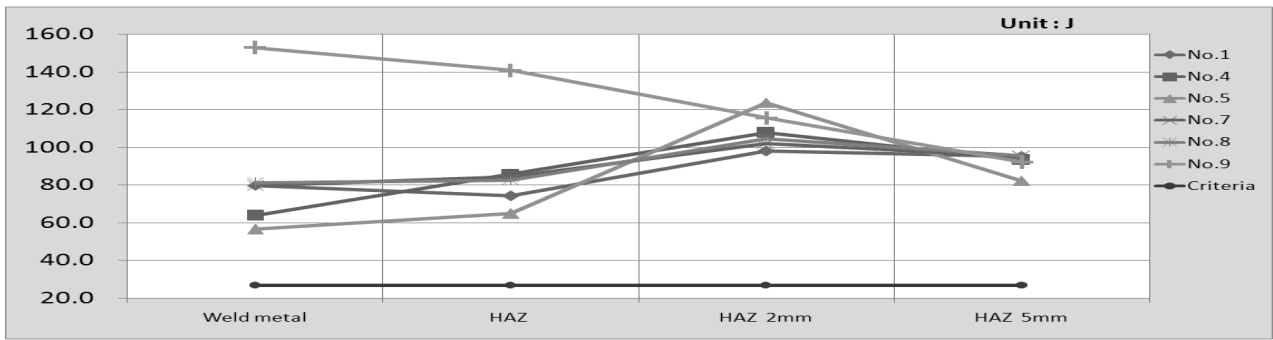


Fig. 21 Impact test result

#### 4.4 충격시험

샤르피 충격시험 결과 Fig. 22에서 알 수 있듯이 약간의 차이가 있지만 용접부에 비하여 열영향부의 충격치가 크게 나타났으며 대부분 열영향부 2mm부근에서 취성의 정도가 큼을 알 수 있다. 용착금속부의 충격 인성은 56.8~153.0J 로 나타내었고 열영향부의 충격 인성은 64.9~141.0J , 열영향부 2mm 에서는 98.2~123.9J 열영향부 5mm 에서는 82.5~95.8J 의 값을 보였다. DNV 선급의 WPS 인증 시 A grade의 금속의 경우 20°C에서 27J 이상이어야 하는 값을 모두 만족하였다.

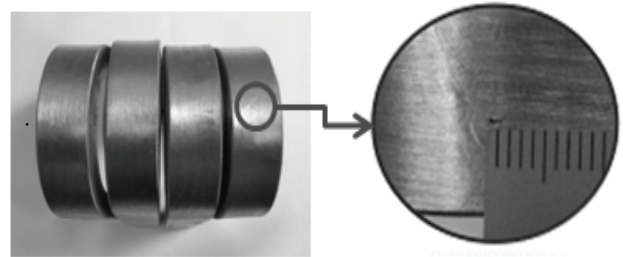


Fig. 22 Bend specimen crackit

#### 4.5 굽힘시험

용접 부 굽힘시험 결과 각 시험편별로 큰 균열(crack) 없이 양호한 양상을 보였다. 다만 No. 5-1시험편에서 Fig. 22와 같이 약1.5mm의 균열이 발생하였다. 하지만 DNV에서는 WPS인증 시 굽힘시험의 결함을 3mm 이상의 경우에만 실패로 간주하고 있다. 결과로 볼 때 굽힘시험 중 소성 변형이 발생한 후에도 충분한 연성을 가지고 있음을 확인하였으며 기공이나 슬래그 등의 용접 불량은 확인되지 않았다. 굽힘 시험 결과를 Table 4와 같이 나타냈다.

Table 4 Bending test result

구분	1	2	3	4
No.1	결함 없음	결함 없음	결함 없음	결함 없음
No.4	결함 없음	결함 없음	결함 없음	결함 없음
No.5	Crack1.5mm	결함 없음	결함 없음	결함 없음
No.7	결함 없음	결함 없음	결함 없음	결함 없음
No.8	결함 없음	결함 없음	결함 없음	결함 없음
No.9	결함 없음	결함 없음	결함 없음	결함 없음

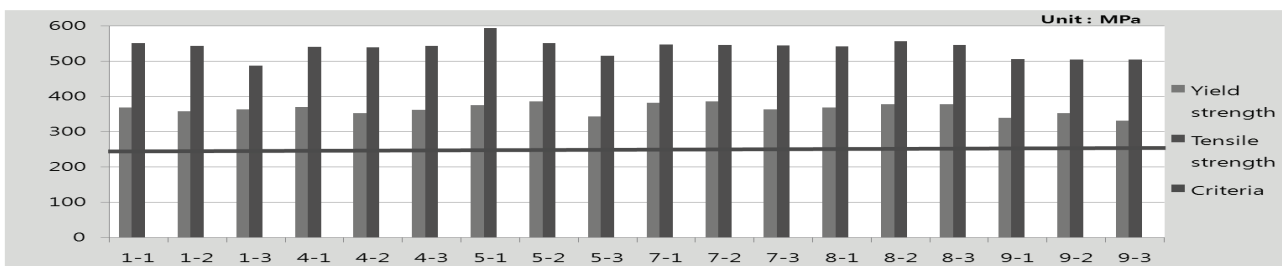


Fig. 23 Tensile test result

#### 4.6 인장시험

직교표를 사용한 시험편을 용접 후 인장강도 시험 결과를 Fig. 23에 나타내었다. DNV(classification notes, 2005) 선급에서는 인장강도 합격 기준을 모재의 인장 강도값 이상의 결과를 만족하도록 요구하고 있다. Table 5를 보아 알 수 있듯이 모든

시험편의 항복강도가 모재의 항복강도인 235MPa 이상인 것을 확인하였다. 또한 시험편의 용접 파단은 용접열영향부와 모재 사이에서 발생하였으며, 파단 될 때까지 열 영향부의 변형은 모재의 파단 위치보다 현저하게 변형이 적었다. 이와 같은 이유는 용접 시 용접부가 아크열에 의하여 급열과 급냉으로 인한 열처리 효과가 이루어졌기 때문이며, 열처리에 의한 용접부의 결정립이 조대화되어 강도가 높아졌기 때문이다.

## 5. 결 론

CAW의 적정 보호가스량을 산출하기 위하여 다구찌 기법의 직교표를 이용하여 인자와 수준의 변화에 따른 용접부의 강건성 평가를 수행하였다.

(1) 시험 결과를 Table 5와 같이 정리 하였다. Table 5에 시험 조건은 Table 10에 보이는 다구찌 기법을 이용한 용접조건을 의미 한다. 본 연구에서 기공이 발생 하지 않은 시험편에 대하여 WPS 인증 시 DNV에서 요구하는 비파괴 검사와 파괴 검사를 수행하였으며, 시험 결과 바람이 거의 없는 옥내에서 작업 시 기존 보호가스량인 20~25 l /min 보다 적은 10 l /min과 15 l /min에서도 양질의 용접부를 확보할 수 있음을 확인하였다. 하지만 보다 용접부의 안전성을 고려하여 실내에서 용접 시 15 l /min의 보호가스사용이 적정하다고 판단된다.

Table 5 Test result summary

시험 조건	가스량	육안 검사	X-ray	경도 시험	충격 시험	굽힘 시험	인장 시험
1	10l /min	○	○	△	○	○	○
2		기공발생으로 인한 평가 제외					
3		기공발생으로 인한 평가 제외					
4	15l /min	○	○	△	○	○	○
5		○	○	○	○	△	○
6		기공발생으로 인한 평가 제외					
7	20l /min	○	○	△	○	○	○
8		○	○	△	○	○	○
9		○	○	△	○	○	○

○ : 양호    △ : 보통    X : 불량

(2) 선박 건조 중 선수나 선미 등 용접하기 힘든 협소한 장소 나 두께가 얇은 판을 용접할 때 열에 의한 변형 및 수축 등의 문제로 용접 시 많은 어려움과 문제점이 있었다. 하지만 시험 결과 지금까지 선박 건조 시 사용하던 개선 각도 17 °C 와 2,0 °C에서뿐만 아니라 개선 각도 15 °C에서도 충분한 용접 강도를 가질 수 있음을 확인 하였으며, 15 °C로 용접 시 용접부 열에 의한 영향이 적어져 용접 잔류 응력과 용접 변형을 줄일 수 있다. 또한 용접 범위가 줄어들어 인건비와 용접봉을 절약할 수 있는 장점이 있다.

(3) 용접 소모품의 주요 부분을 차지하는 보호가스의 적정 사용량을 Table 6과 같이 산정하였다. 생산 인원과 생산 기간이 증가 할수록 생산비 절감 효과는 크게 상승할 것으로 예상되어지며, 다음과 같은 결과를 가지고 현장에 적용함으로써 조선소 및 블록제작사들의 FCAW시 원가 절감을 위한 기초 자료로 활용할 수 있으리라 기대된다.

Table 6 Expense by optimum shielding gas quantity

구 분	15l /min	20l /min	25l /min
가스 사용량 (日)	5,400l	7,200l	9,000l
가스 사용량 (月)	162,000l	216,000l	270,000l
가스 비용 (月)	57,186원	76,248원	95,460원

(4) 대부분의 조선소의 경우 FCAW시 보호 가스로 비용이 낮은 CO<sub>2</sub>가스를 사용하고 있다. 하지만 현재 CO<sub>2</sub> 가스는 지구 온난화의 주범으로 주목을 받고 있으며 선박 건조 중 많은 양의 CO<sub>2</sub> 가스가 아무런 여과를 거치지 않고 대기 중에 배출 되어 지고 있다. 본 연구에서는 기존의 보호가스 양보다 적은 양을 사용 하면서도 양질의 용접부를 확보하였으며, 현재 전 세계적으로 CO<sub>2</sub> 가스를 줄이기 위한 녹색사업과 환경운동이 벌어지고 있는 가운데 연구 결과를 바탕으로 CO<sub>2</sub> 가스를 줄이기 위한 장기적인 녹색사업에 참여 할 수 있으리라 생각된다.

## 후 기

이 논문은 2009년도 목포대학교 중형조선산업지역혁신센터 (RIC)와 교육과학기술부, 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업에 의하여 지원되었음.

## 참 고 문 헌

AWS D1.1, 2004. *American Welding Society Structural welding code-steel*. ANSI.

DNV classification notes, 2005. *Fabrication and testing of structures*, DNV.

Kim, D.S., 2004. *Weld and WPS/PQR*. 21Cbook.

Oh, B.D., 1991. *A Study on the weld ability of solid wire and flux cored wire by welding conditions in the CO<sub>2</sub> gas Arc welding*. Korea Polytechnic University.

Oh, B.J., 2000. *The Effect of Shielded gas composition in weld ability under CO<sub>2</sub> gas arc welding*. Changwon University.

Kang, 2001. A study on the method for shield gas reduction of Al welding. *Welding Education and Qualification System of Korean Welding Society*, pp.31-33



이훈동

심천식

송하철

염재선