

## TIG클래딩 공정에 대한 품질 모니터링기법의 개발

조 상 명<sup>\*†</sup> · 박 정 현<sup>\*\*</sup> · 손 민 수<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>부경대학교 신소재시스템공학과

<sup>\*\*</sup>부경대학교 대학원 신소재시스템공학과

### Development of Welding Quality Monitoring Method for TIG Cladding

Sang Myung Cho<sup>\*†</sup>, Min Su Son<sup>\*\*</sup> and Jung Hyun, Park<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Dept. of Materials and System Engineering, Pukyung National University, Busan 608-739, Korea

<sup>\*\*</sup>Dept. of Materials and system Engineering, Graduate school, Pukyung National University, Busan 608-739, Korea

<sup>†</sup>Corresponding author : pnwcho@pknu.ac.kr

(Received November 12, 2013 ; Revised December 12, 2013 ; Accepted December 19, 2013)

#### Abstract

Pipe inside clad welding is mainly used to the flow pipe of sub-sea or chemical plant. For the inside clad welding to the medium pipe with the diameter of about 12", TIG welding is frequently applied with filler metal. In this case, the clad welding has the very broad weld area over 10m<sup>2</sup>. And, the non-destructive test (NDT) such as ultrasonic test (UT) or radiographic testing (RT) should be conducted on the broad weld area, and it costs very high due to the time-consuming work.

Therefore, the present study investigated the variation of arc voltage to develop the in-line quality monitoring system for the pipe inside TIG cladding. The 4 experimental parameters (current, arc length, wire feed position, and shield gas flow rate) varied to observe the change of arc voltage and to establish the model for the monitoring. The arc voltage was decreased when the wire was fed to the backward eccentric position(over 2mm), and the shield gas flow rate was insufficient under 10L/min. In the case of the backward eccentric position over 2mm, the bead appearance was not good and the dilution ratio was increased due to deep penetration. When the shield gas flow rate was lower than 10L/min, the bead surface was oxidized.

Key Words : TIG cladding, In-line arc welding monitoring system, Welding current, Arc length, Wire feed position, Arc voltage, Shield gas flow, Weld quality monitoring

#### 1. 서 론

파이프 내부에 흐르는 유체로 인한 부식이나 마모로부터 파이프 벽을 보호하기 위하여, 또는 탱크의 내부 액체나 기체로 인한 부식 등으로부터 벽면을 보호하기 위하여 실시되는 내면 클래딩용접은 오늘날 플랜트 분야에서는 매우 적극적으로 응용되고 그 글로벌 산업규모도 점차 커지는 추세에 있다<sup>1-4)</sup>. 이런 클래딩용접은 그 용접면이 수십m<sup>2</sup>의 면적에 이를 정도로 넓어서 그 용접상태를 RT 또는 UT 등으로 검사할 수가 있지만, 비용과 시간의 문제로 인하여 그다지 적극적으로 적용하지 못하고 있으며, 실제 현장에서는 그 품질을 정확

하게 검사하지 않고 있는 실정이다.

따라서 클래딩용접 품질상태를 용접 후에 별도의 공정에서 평가하기보다는 실시간으로 저렴한 가격으로 모니터링하는 기술이 요구되고 있다<sup>5,6)</sup>.

본 연구에서는 TIG 용접 모니터링시스템을 활용하여 용접 중의 전류와 전압신호를 얻어서 4대 용접 변수의 변화에 따른 신호의 특징을 분석하여, 용접 품질불안정 상태가 검출 될 수 있는 알고리즘의 기초를 확립하였다. 이를 위하여 표준조건의 4대 변수를 설정해두고 그 상태에서 변경을 주어 연강판 위에 STS309MoL와이어를 사용하여 로봇 TIG 클래딩용접을 실시하여 품질 불안정이 나타날 때의 파형특징을 분석하였다.

## 2. 실험 방법 및 재료

### 2.1 TIG 오버레이용접 불량 검출을 위한 모니터링 실험조건 및 방법

Fig. 1은 본 실험에서 적용한 로봇 TIG 클래딩용접 방법을 보인 것이다. 와이어의 송급은 모터에 의해 자동으로 하였고 와이어는 토치 진행과 직각방향에서 송급하였다. 기판 시험편은 두께 10mm의 SS400판재를 사용하였고, 클래딩용 와이어는 Alloy625와 용융특성은 비슷하지만 구하기 쉬운 STS309MoL 직경1.2mm를 사용하였다.

Table 1은 TIG클래딩용접조건과 기준의 4대 변수를 보인 것으로서 전류(P1) 240A, 아크길이(P2) 5mm, 와이어 포지션(P3)은 아크 중심, 실드가스(P4)는 Ar100% 20L/min로 하였고, 와이어 송급속도는 80cpm, 용접속도는 14cpm으로 하고 용착단면적은 6.3mm<sup>2</sup>를 기준으로 하였다.

Table 2는 4대 변수의 변경 조건을 보인 것이다. 이

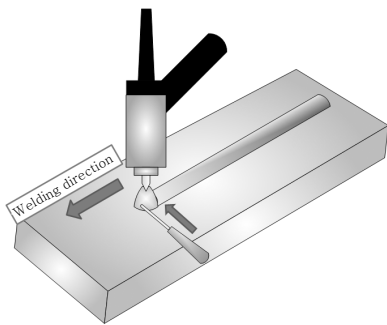


Fig. 1 Concept of robot TIG cladding

Table 1 Welding condition and 4 parameters

Base metal	SS400
Filler metal	Ø1.2 SM-309MoL
Welding speed	14cpm
Wire feed rate	80cpm
P1 Current	240A
P2 Arc length	5mm
P3 Wire position	Arc center
P4 Shield gas	Ar 100% 20L/min

Table 2 The welding condition of 4 parameters varied for the experiment

P1 Current(A)	240, 216, 192
P2 Arc length(mm)	4, 5, 6
P3 Wire position(mm)	-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3
P4 Shield gas(Ar100% L/min)	5, 10, 15, 20

러한 변수의 변경에 따른 용접전류와 전압의 출력파형 특성을 모니터링시스템에 의해 연속측정 분석하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 P1 전류 변경 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 전류를 240A, 216A, 192A로 변경했을 때 전류, 전압 파형이다. 전류가 감소함에 따라 전압도 감소하는 것을 파형으로 확인할 수 있다.

Fig. 3은 전류에 따른 비드높이와 폭의 관계를 나타낸 것으로서 전류가 증가함에 따라 비드 폭이 넓어지고 비드높이는 낮아지는 경향을 보인다. 따라서 전류가 용접기 불안정으로 인하여 낮아져서 비드높이가 높아지는 경향이 나타나면 전류 및 전압 모니터링 데이터를 써서 판단할 수 있게 된다.

Fig. 4는 전류가 감소할수록 형상비가 커지는 경향을 보여 전류감소에 따른 외관불량은 전류 값 자체의 모니터링으로 검출 가능함을 확인할 수 있었다.

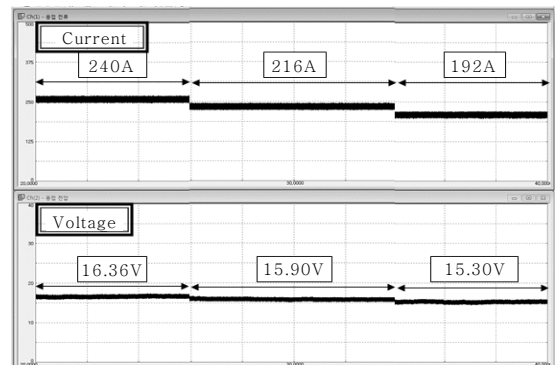


Fig. 2 Waveform by current variation experiment

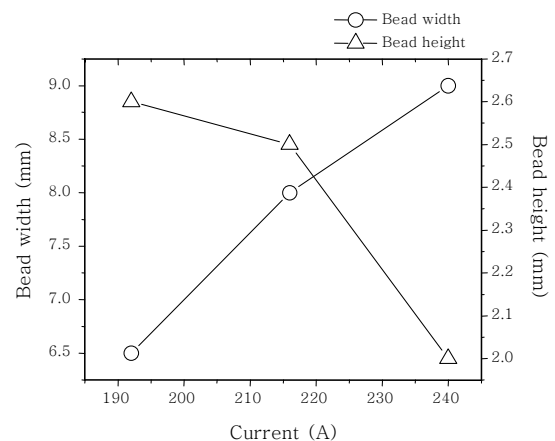


Fig. 3 Relation between current and bead width, bead height

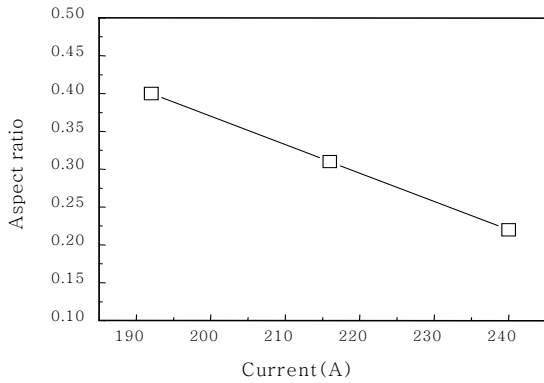


Fig. 4 Relation between current and aspect ratio

Table 3 Bead appearance and cross-section with respect to the welding current

Current	Bead appearance	CS A	CS B
240A			
216A			
192A			

Rodrigues 등의 연구에서 STS316모재에 실드가스의 조성과 전류를 변경하면서 용접한 결과 100A-300A 영역에서 전류에 따라 형상비가 감소하는 것은 본 연구와 유사한 결과를 보였다<sup>7)</sup>. 전류가 감소했을 때 나타나는 큰 비드높이와 작은 비드폭은, 작은 비드높이와 큰 비드폭을 요하는 클래딩용접에서는 바람직하지 못한 결과이며, 전류과형을 통해 품질불량을 인라인 모니터링할 수 있었다.

Table 3은 전류를 240A, 216A, 192A로 변경했을 때 그에 따른 비드외관과 단면을 표로 나타내었다. Fig. 4에서 전류가 낮아질수록 형상비가 높아지는 것과 같이 실제 단면과 외관에서도 좁고 높은 비드를 형성하였다.

3.2 P2 아크길이 변경 실험결과 및 고찰

Fig. 5는 아크길이가 4, 5 및 6mm로 변화했을 때의 모식도를 나타낸 것이고, Fig. 6은 아크 시간에 따

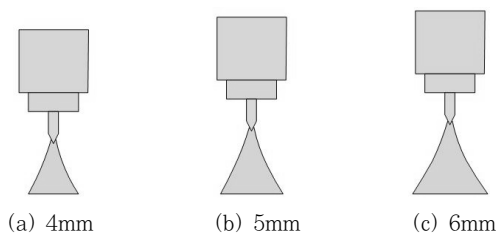


Fig. 5 Schematic of arc length variation

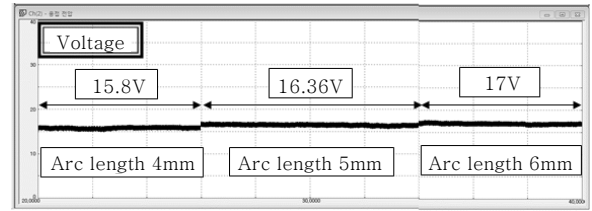


Fig. 6 Waveform by arc length variation experiment

른 전압의 변화특성을 보인 것이다. 여기서 전압은 3구간으로 구분되어 있는데, 첫 번째 구간은 아크길이가 4mm이었을 때의 전압을 모니터링한 것으로서 15.8V이었고, 두 번째 구간은 아크길이가 5mm이었을 때의 전압으로서 16.36V이었으며, 우측의 마지막 구간은 아크길이가 6mm이었을 때의 전압으로서 17V가 측정되었다. 따라서 아크길이는 모니터링 되는 전압에 의하여 판단할 수 있는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 7에서 보는 바와 같이 전류240A로 용접하였을 때 아크길이가 4mm에서 6mm로 길어짐에 따라 비드폭은 9.0mm에서 10mm이상으로까지 커지는 결과가 나타났다.

Fig. 8에서와 같이 아크길이가 감소하면 형상비가 증가하여 좁고 높은 비드를 형성하였다.

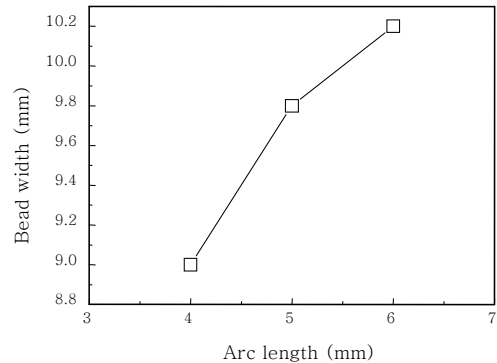


Fig. 7 Relation between arc length and bead width

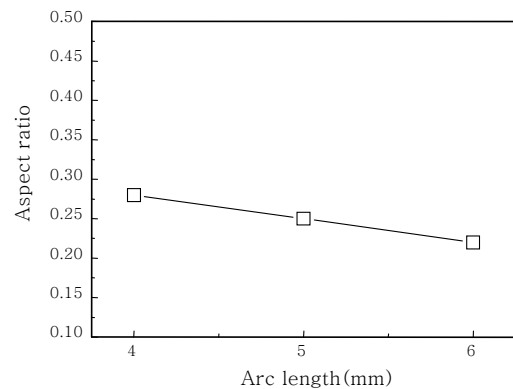


Fig. 8 Relation between arc length and aspect ratio

**Table 4** Bead appearance and cross-section with respect to the welding arc length

Arc length	Bead appearance	CS A	CS B
4mm			
5mm			
6mm			

A      B

정전류 타입인 TIG용접의 특성상 아크길이가 증가함에 따라 전압이 증가하는 결과를 보였고, 이에 따라 비드폭이 약간 증가하였으나 전체적인 형상비는 크게 변하지 않았다.

Table 4는 전류240A로 용접하면서 아크길이를 4, 5 및 6mm로 변화시켰을 때 얻어진 비드의 외관과 그때의 횡단면을 각 비드 당 2개씩 얻어서 나타낸 것이다. 아크길이가 길어질수록 비드폭이 넓어지고 비드높이가 낮아졌으며, 용입도 또한 아크길이의 증가에 따라 감소하는 경향을 보였다.

3.3 P3 와이어포지션 변경 실험결과 및 고찰

Fig. 9는 와이어포지션의 변경에 따른 와이어편심 모식도이다. (a)는 아크진행방향의 전방으로 와이어가 편심되는 선행편심이고 (b)는 아크의 후방으로 와이어가 편심되는 후행편심이다.

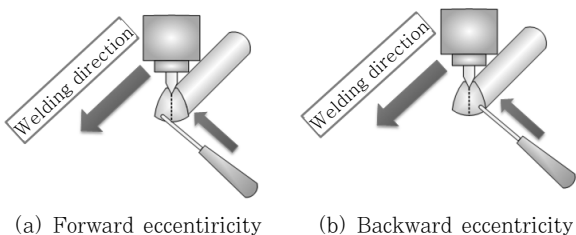
전류240A로 용접하였을 때 와이어가 아크보다 선행하여 편심 되었을 경우에는 Fig. 10의 파형에서 보는바와 같이 전압 차이가 거의 없었다.

3.3.1 선행편심 실험결과

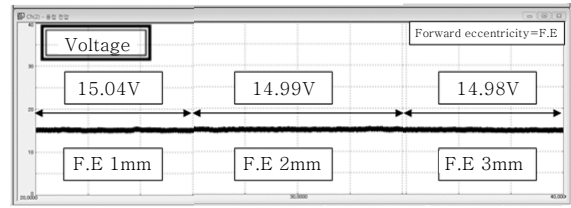
Table 5에서 와이어가 선행편심 되었을 경우의 비드 외관과 그 단면을 표로 나타냈다.

3.3.2 후행편심 실험결과

Fig. 11에서 전류240A로 용접했을 때 와이어가 후행편심 되었을 경우에는 선행편심과는 달리 첫 번째 구간인 후행편심 1mm이었을 때의 전압을 모니터링한 것으로서 17.35V이었고, 두 번째 구간은 후행편심이 2mm



**Fig. 9** Schematic of wire feeding eccentricity

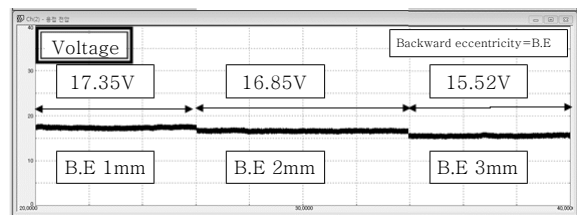


**Fig. 10** Waveform by wire feeding eccentricity variation experiment

**Table 5** Bead appearance and cross-section with respect to the welding wire feeding eccentricity

F.E	Bead appearance	CS A	CS B
0mm			
Forward 1mm			
Forward 2mm			
Forward 3mm			

A      B



**Fig. 11** Waveform by wire feeding eccentricity variation experiment

이었을 때의 전압으로서 16.85V이었으며, 세 번째 구간에서는 후행편심 3mm이었을 때의 전압으로서 15.52V가 측정되었다. 따라서 와이어 후행편심은 모니터링 되는 전압에 의하여 편심이 됨을 확인할 수 있었다.

Fig. 12에서 선행편심정도에 따른 전압차이는 거의 없으나 후행편심이 심해짐에 따라 전압차이가 크게 나는 것을 볼 수 있다.

Table 6의 비드외관과 단면에서 보이는 바와 같이 후행편심으로 와이어가 제대로 용융이 되지 않아 비드 외관이 고르지 못하고, 용입 또한 불균일하게 형성된 것을 볼 수 있다.

3.3.3 P3 와이어포지션 변경 실험결과 고찰

Hyeon-Ju Ha 등에 의하면 TIG 클래딩에서 와이어가 편심되어 송급되면 미용용되는 현상이 보고되고 있다<sup>7)</sup>.

본 연구에서 와이어가 선행편심일 때는 초기의 아크에 의해 녹지 않더라도 뒤에 따라오는 아크열을 흡수하

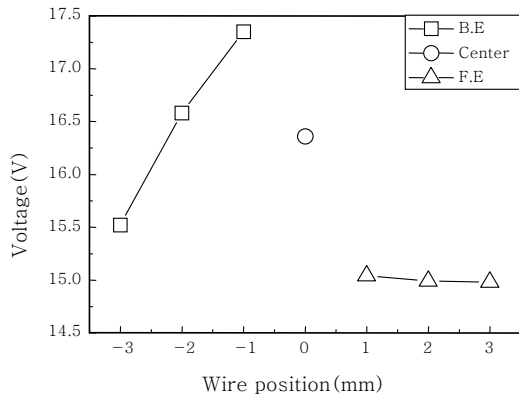


Fig. 12 Relation between wire position and voltage

Table 6 Bead appearance and cross-section with respect to the welding wire feeding eccentricity

B.E	Bead appearance	CS A	CS B
0mm			
Backward 1mm			
Backward 2mm			
Backward 3mm			

여 녹을 수 있지만 후행편심의 경우에는 와이어가 아크에 들어갈 때 아크열흡수에 의해 녹지 못하면 아크열흡수가 더 이상 되지 않기 때문에 와이어 용융이 되지 않는 것으로 보인다. 따라서 후행 3mm에서는 용입이 매우 깊게 형성되는 것이 관찰되었다.

이와 같은 현상은 Jin Woo Kim 등의 연구에서도 용접방향 반대쪽에서 와이어송급을 하는 경우 송급속도가 너무 빠르면 아크중심을 거쳐, 아크전방까지 와이어가 용융되지 않고 존재하여 아크압력이 낮게 용융지에 작용하도록 하여 용입이 작게 되어, 본 연구에서의 선행편심과 유사한 결과로 되었다. 반대로 와이어 송급속도가 늦어 아크 후방까지 들어가면서 와이어가 용융되면 아크압력이 용융지 위에 크게 작용하여 용입이 깊어지는 현상이 나타나 본 연구에서의 후행편심과 유사한 경향을 보였다<sup>2)</sup>.

### 3.4 P4 가스유량 변경 실험결과 및 고찰

Fig. 13과 Fig. 14에서 가스 유량이 20, 15L/min 일때는 16.3V였으나 10L/min이하가 될 때 전압이 14V이하로 낮아지는 것을 볼 수 있다.

Table 7에서는 전류240A로 가스유량 20L/min,

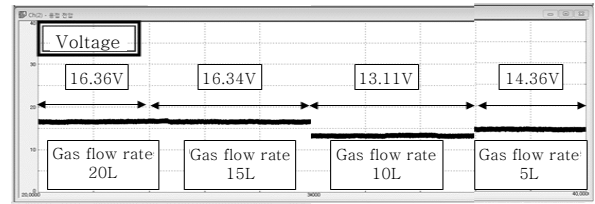


Fig. 13 Waveform by shield gas flow rate variation experiment

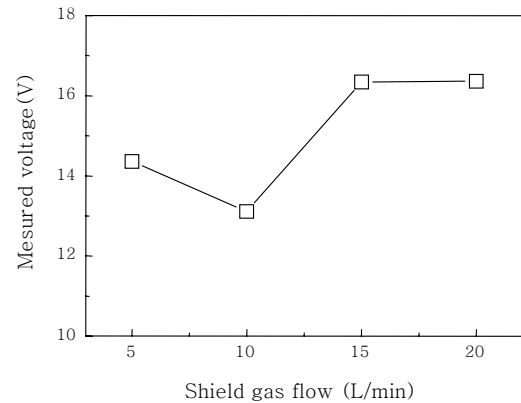


Fig. 14 Relation between gas flow rate and bead height

Table 7 Bead appearance and cross-section with respect to the welding shield gas flow

Gas flow	Bead appearance	CS A	CS B
20L			
15L			
10L			
5L			

15L/min, 10L/min, 5L/min로 변경하여 실험했을 때의 각 비드외관과 2개의 단면을 나타내고 있다. 이때 10L/min, 5L/min의 비드표면이 산화된 것을 확인할 수 있었고, 5L/min에서는 용입이 깊게 형성된 것을 확인하였다.

Yong Kim 등의 연구에서는 저전류의 TIG 용접으로 보호가스를 사용치 않는 경우 단면 형상뿐만 아니라 비드외관에서도 산화를 유발하여 심각한 불량을 초래한다고 하였다. 한편 가스가 5L/min 이상 적용된 용접시편에서는 유량에 따른 비드형상의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 보다 확실한 차폐를 위해서는 15L/min 수준이 요구되며, 이 때 외관상 품질도 가장 우수하게 나타났다<sup>9)</sup>. 본 연구에서도 가스유량이 10L/min 이하에서는 전압이 낮아지고 용입이 깊어지는 경향이

나타났으며 또한 이 현상은 전압의 관찰에 의해 모니터링 가능하였다.

#### 4. 결 론

TIG 클래딩용접에서 현장용접변수 중 자주 불안정하게 되어 품질불량이 생길 수 있는 변수 4가지를 선택하여 불량재현실험을 하였고, 그 때의 품질과 모니터링 파형의 특징을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 용접전류가 낮아지면 비드폭이 좁아지고 비드높이가 높아져 형상비가 커지게 되었고 이 경우 전류파형을 모니터링하면 시기적절하게 불량검출이 가능하다.

2) 아크길이가 짧아지면 비드폭이 좁아지고 비드높이가 높아져 형상비가 커지게 된다. 이를 전압파형으로 모니터링하면 아크길이가 짧아졌을 때 전압이 감소하는 것을 포착하여 불량검출이 가능하다.

3) 와이어가 선행편심일 때는 3mm까지는 품질문제가 발생하지 않았으며, 후행편심의 경우에는 2mm부터 비드외관에 불량이 발생하였고 깊은 용입이 생겼다. 모니터링 파형에서도 선행편심에서는 파형의 변화가 거의 없었으나, 후행편심이 되었을 때는 전압이 감소하였고 이를 바탕으로 불량검출을 할 수가 있었다.

4) 가스유량 15L/min까지는 품질에 문제가 없었으나 10L/min과 5L/min에서는 유량이 부족해 차폐가 잘 되지 않아 표면이 산화되는 불량이 발생했고 이 때 전압이 감소하였고 그 파형의 모니터링으로 품질불량을 검출할 수 있었다.

#### 후 기

본 과제(결과물)는 교육부의 재원으로 지원을 받아 수행된 산학협력 선도대학(LINC) 육성사업의 연구결과입니다.

#### Reference

1. Ki Joung Kim, Jin Woo Kim and Youn Bae Kang, Sang Myung Cho : Heat transfer simulation and temperature measurement for heat input control in orbital welding, Proceedings of 2003 Spring Annual Meeting of KWS, **40** (2003), 155-158 (in Korean)
2. Jin Woo Kim, Sang Myung Cho : The effect of the arc pressure variation on the penetration by the filler wire feed rate in pulsed TIG welding, Journal of KWS, **22-1** (2004), 169-171 (in Korean)
3. Ki joung Kim, Jin Woo Kim and Youn Bae Kang, Sang Myung Cho : Heat input control in orbital GTA welding to stainless steel and mild steel pipes, Journal of KSME, (2002. 11), 2881-2885
4. Ho cheon Yoo : Recent Study of Overlay Welding on Welding methods, Korea Welding Journal, **vol. 31**, 2013.2, 11-20
5. Dong soo Hwang and Mi-hye Gho : Development and Application of Realtime Weld Quality Monitoring System, Korea Welding Journal, 2012.2, 44-50
6. Sang Myung Cho : Waveform Control and Welding Characteristics in Pulse Arc Welding Process, Korea Welding Journal, 2003.2, 27-34
7. Hyeon Ju Ha, Oh Sung Lee, Dong Soo Oh, Sang Myung Cho : Evaluation by heat Flux effect on melting properties for Filler metal Shape in TIG, The Korean Society of Marine Engineering Journal, 2012.6, 172-172
8. Rodrigues. A, Loureiro A : Effect of shielding gas and activating flux on weld bead geometry in tungsten inert gas welding of austenitic stainless steels, Science and Technology of Welding & Joining, **10-6**, December 2005, 760-765
9. Yong Kim, Ki Young Park : Micro TIG Welding Characteristics of Stainless Steel Bellows, Journal of KWJS, **30-2** (2012), 115-119 (in Korean)