

소방배관용 강관을 위한 반자동 가스메탈아크용접장치 개발과 용접부 특성평가

임영민¹, 오태석¹, 조현¹, 고진현^{1*}
¹한국기술교육대학교 에너지·신소재·화학공학부

Development of Semi-automatic Gas Metal Arc Welding Equipment for Fire Piping and Evaluation of Characteristics of Weld Joints

Young-Min Lim¹, Tae-Suk Oh¹, Hyun Jo¹ and Jin-Hyun Koh^{1*}

¹School of Energy·Materials·Chemical, Korea University of Technology and Education

요약 본 연구에서는 소방배관용 아연도금 강관을 용접하기 위하여 반자동 가스메탈아크용접장치를 개발하고 최적 용접 조건을 확립하고 용접성을 조사하기 위해 보호가스, 전압을 변화시켜 용접시험을 수행하였다. Ar 가스에 O₂를 첨가함으로써 미려한 비드외관과 기공률이 감소되었다. 반자동 용접부는 기계적 강도와 용접이음효율이 수동용접부에 비해 약 1.8배 우수하였으며 수압시험에 의해 건전성이 확인되었다. 본 연구에서 개발된 반자동용접장치로 비숙련자도 강관용접이 가능하며 용접결함이 적고 용접생산성을 증대시킬 수 있을 것으로 기대된다.

Abstract The semi-automatic gas metal arc welding equipment was developed and the weldability of zinc coated steel pipes was evaluated in terms of strength, porosity and welding parameters including shielding gas composition. The good bead appearance and the reduction of porosity in the welds could be possibly obtained by adding O₂ to Ar. The strength and joint efficiency of welds made by the semi-automatic welding equipment was about 1.8 times higher compared with welds manually made. The integrity of welds was confirmed by the water pressure test as well. Finally, it is expected that the weld productivity will be enhanced even unskilled welders can produce quality welds by operating the semi-automatic welding equipment.

Key Words : Zinc coated steel pipes, Semi-automatic GMA welding equipment, Porosity, Shielding gas

1. 서론

소방배관용 강관은 화재 발생 시 건축물 안전에 직접 관련되는 기초 구조물로 강관은 대개 중소기업에서 생산하며 길이가 길고 무겁지만 손으로 이송하면서 강관 용접을 실시하고 있다. 이는 용접작업자의 숙련도에 의존하여 노동 강도는 매우 높지만 생산성이 매우 낮다. 뿐만 아니라 최근 용접현장 기피현상으로 숙련된 용접공의 수가 부족하다.[1] 이에 따라 현장에서는 생산성 극대화와 품질의 향상을 위한 자동 용접시스템 (Auto welding system)을 필요로 하고 있다. 소방배관용 아연도금 강관

용접은 수동 공정에 의존하고 있어 생산성이 낮으므로 용접 자동화 시스템을 도입하면, 작업능력 및 효율성 향상, 생산성 증대, 용접부 품질 향상과 공정 안정화를 이룰 수 있을 것이다.

아연도금 강관의 용접은 아크에 의한 아연의 기화로 인해 용융지에 기포를 형성하고 기공 (blowhole), 피트 (pit)를 쉽게 발생시킬 뿐만 아니라 아연가스 자체가 아크를 불안정하게 하고 스파터 (spatter) 발생 및 폼 (fume)을 많이 발생시킨다.[2-5]

이에 본 연구의 목적은 자동용접시스템 개발의 전단계로 용접토치를 고정한 상태에서 강관을 회전시키는 반자

본 논문은 중소기업청 산학공동기술개발사업에 의해 수행되었음.

*Corresponding Author : Jin-Hyun Koh

Tel: +82-10-5406-4027 email: jhkoh@kut.ac.kr

접수일 12년 02월 29일

수정일 12년 04월 10일

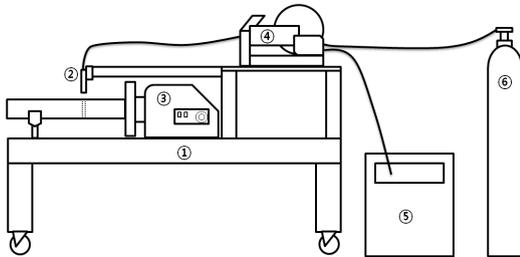
계재확정일 12년 04월 12일

동 가스메탈아크용접 장치를 개발하고 용접인자들이 용접부 품질에 미치는 영향과 금속학적 및 기계적 특성을 조사하여 최적 용접조건을 확립하는 것이다.

2. 실험방법

2.1 장비제작

그림 1은 제작한 반자동 가스메탈아크용접 장치의 도식도이다. 이 장치는 소방배관용 강관을 맞대기 (butt joint)로 아래보기자세 (1G) 용접을 가능케 한다. 장비는 프레임, 와이어 피딩머신, 용접토치, 턴테이블 및 고정척 그리고 용접기로 구성되어 있다. 용접토치는 모재의 이음부 상단에 설치하였으며 와이어 피딩머신을 통해 자동 공급되도록 제작하였다. 용접 시 모재는 3축척에 고정하며 모재의 수평을 맞추기 위한 수평조절장치를 척 맞은 편에 제작하였다. 용접과 턴테이블 회전 (최대 200cm/min)이 하나의 스위치로 동작 가능케 하였다. 용접기는 500A인버터용접기를 사용하였다.



| 순번 | 장치 설명 | 순번 | 장치 설명 |
|----|----------|----|-------|
| ① | 장치 프레임 | ④ | 피딩머신 |
| ② | 용접토치 | ⑤ | 용접기 |
| ③ | 턴테이블&고정척 | ⑥ | 보호가스 |

[그림 1] 반자동용접장치의 도식도
[Fig. 1] Schematic diagram of the semiautomatic gas metal arc welding system

2.2 용접조건선정

본 실험에서 제작된 반자동용접장치를 이용하여 KS D 3507 아연도금강관에 적합한 용접조건을 확립하기 위해 6가지의 가스 Ar, CO₂, 혼합가스 (80%Ar+20%CO₂), Ar + 2%O₂, Ar + 5%O₂, Ar + 10%O₂ 와 가스에 따라 전압을 변수 (16~24V, 12~20V)로 하였다. 용접 시 전류는 150A, 콘택팁-모재 사이거리 (CTWD-Contact Tip to Workpiece Distance) 16mm, 루트간격 1.6mm로 고정하였다. 와이어는 직경 1.2mm의 솔리드 KC-28 (AWS

규격:ER70S-6) 와이어를 사용하여 용접속도를 33.5cm/min로 하여 시험하였다. 표 1은 사용한 용접 와이어의 화학 성분이고, 표 2는 사용된 모재의 특성이다. 표 3은 용접 조건을 나타내었다.

[표 1] 와이어의 화학성분 (wt.%)

[Table 1] Chemical composition of wire (wt.%)

| C | Si | Mn | P | S |
|------|------|------|-------|-------|
| 0.07 | 0.86 | 1.53 | 0.012 | 0.007 |

[표 2] 모재의 특성

[Table 2] Characteristics of base metal

| 관의 종류 | 바깥지름 | 두께 | 무게 |
|--------|--------|--------|----------|
| 배관용 강관 | 60.5mm | 3.65mm | 5.12kg/m |

| 화학성분 | | 기계적 성질 | |
|---------|---------|-----------------------|--------|
| P | S | 인장강도 (최소) | 파단연신율 |
| 0.040 % | 0.040 % | 30kgf/mm ² | 15% 이상 |

[표 3] 용접조건

[Table 3] Welding parameters

| 보호가스 | Ar | CO ₂ | 80%Ar+20%CO ₂ |
|------------|-------------------------------------|---------------------|--------------------------|
| 전압(V) | 16~24V | 16~24V | 16~24V |
| 보호가스 | Ar+2%O ₂ | Ar+5%O ₂ | Ar+10%O ₂ |
| 전압(V) | 12~20V | 12~20V | 12~20V |
| 전류(A) | 150A | | |
| CTWD (mm) | 16mm | | |
| 루트 간격 (mm) | 1.6mm | | |
| 모 재 | KS D 3507-50A 아연도금 강관 | | |
| Wire | Φ1.2mm, Solid KC-28 (AWS규격:ER70S-6) | | |
| 용접 속도 | 33.5cm/min | | |

2.3 용접부 평가

용접 후 용접부 평가는 기공률, 인장시험, 경도시험, 수압시험, 비드외관 평가를 수행하였다. 용접부의 평균 기공률은 각 조건마다 24개 용접단면을 미세연마하고 5% 나이탈로, 에칭한 후 매크로단면 관찰을 통해 조사하였다. 이때 기공률은 그림 2와 같이 용접부면적법 (용접부 기공면적/용접부 면적×100)을 이용하여 계산하였다. 인장시험편은 KS B 0801 9호 A에 따라 제작하였으며,

KS B 0802에 따라 만능인장시험기를 사용하여 크로스헤드속도 5mm/min로 하여 시험하였다. 이 결과를 토대로 용접이음효율 (이음의 강도/모재의 강도×100)을 산출하였다.[6] 용접부의 경도는 마이크로 비커스 경도계를 사용하여 용접부 표면 2mm 직하에서 사용하중 1kgf로 하여 압입유지시간을 10초, 간격은 0.5mm로 측정하였다. 수압시험은 KS D 3507에 따라 50kgf/cm²에서 15분간 실시하였다.



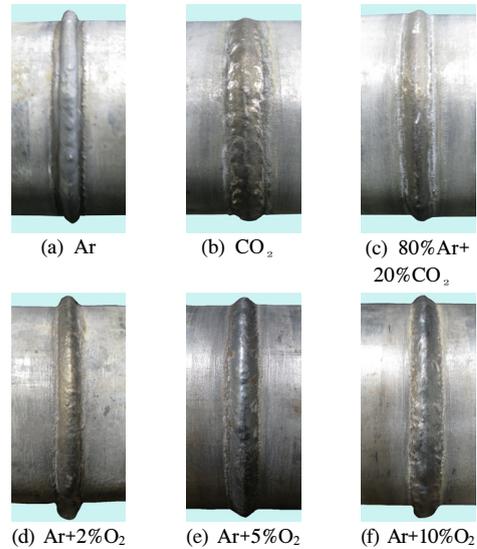
[그림 2] 기공률 측정
[Fig. 2] Porosity measurement

3. 결과 및 고찰

3.1 용접변수의 영향조사

먼저 보호가스 조성이 비드형상과 외관에 미치는 영향을 살펴본다. 그림 3은 6가지 가스 조건에 따라 제작된 용접 비드의 외관사진이다. 그림 3 (a)는 Ar 가스를 사용한 비드 외관으로 높고 미려한 비드가 관찰되었다. 그림 3 (b)는 CO₂ 가스를 사용한 비드외관으로 비드가 거칠고 넓은 모양이 관찰되었다. 그림 3 (c)는 혼합가스(80%Ar+20%CO₂)를 사용한 비드외관을 보면 100% Ar 가스용접보다는 거칠고 100% CO₂ 가스용접 비드보다는 미려한 외관을 나타내었다. 그림 3 (d~f)는 Ar과 O₂의 혼합가스 (Ar + 2%O₂, Ar + 5%O₂, Ar + 10%O₂)를 사용하여 용접된 비드 모양으로 앞에서 설명한 가스에 비해 비드 폭이 좁고 기공이 없는 미려한 외관이 관찰되었다.

이를 검토해 보면, Ar과 O₂의 혼합가스는 안정한 아크를 형성하고 거의 스파터가 발생되지 않아 미려한 비드외관을 얻을 수 있었다. 이것은 혼합가스에서 O₂의 첨가가 아크의 집중성을 좋게 하고 아크길이를 길게 하였기 때문에 사료된다. 또한 동일전압에서 단락 시간비를 감소시켜 원활한 스프레이 이행이 되었기 때문이다.[7]



[그림 3] 비드외관 (×0.5)
[Fig. 3] Bead appearances with different shielding gases (×0.5)

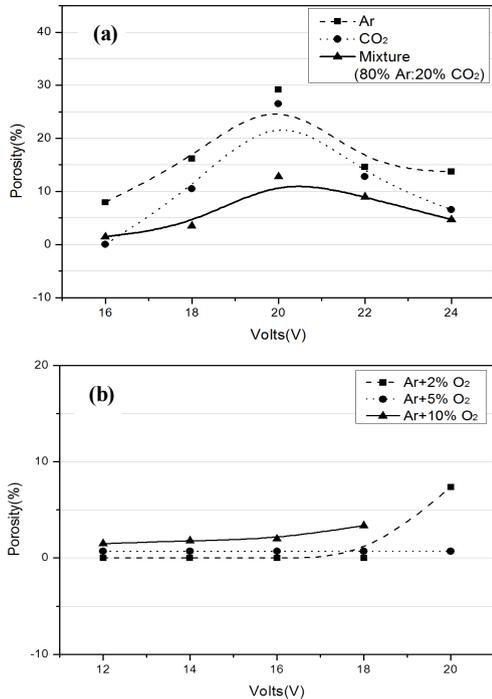
전압과 보호가스 조성에 따른 기공 생성 관계를 살펴보면 그림 4 (a)에서 보듯이, Ar 가스 사용 시 기공률은 8.7~29.7%로 가장 높은 기공률을 나타냈으며, CO₂ 가스에서는 최대 26.5%의 기공률을 그리고 혼합가스(80%Ar+20%CO₂)에서는 기공률이 최대 12.8% 발생하였다. 그림 5 (a), (b)와 (c)는 이들 보호가스 조성에 따라 용접부에서 생성된 기공들의 분포를 보여주고 있다. GMAW에서 100% Ar으로 용접할 경우 가장 높은 기공률이 발생하는데, 이는 용접이행 시 스프레이 이행보다 주로 단락이행이 나타나므로 용접 시 아연이 쉽게 증발하여 아크가 불안정하게 되므로 기공이 많이 형성된 것으로 사료된다.[8]

Ar과 CO₂ 혼합가스에서 Ar가스의 유량이 많아지면 안정된 스프레이 이행이 일어나고, 스파터 발생량이 적어 지지만 열적핀치효과가 작아져서 비드 가장자리에 언더컷과 같은 결함을 야기한다. 반대로 CO₂ 가스의 유량이 많아지면 열적핀치효과가 커져서 용입이 깊어지지만 스파터 발생량이 증가하며, 또한 CO₂ 농도가 증가함에 따라 비드폭이 넓어지고 기공이 줄어들게 된다.[9]

그림 4 (b)와 그림 5 (d), (e)와 (f)에서 보는 바와 같이 Ar가스와 O₂의 혼합가스 (Ar + 2%O₂, Ar + 5%O₂, Ar + 10%O₂)에서는 기공률이 평균 3% 내외로, 앞서 고찰한 결과에 비해 상당히 기공률이 낮았다.

본 실험에서 사용한 Ar에 O₂ 첨가량 범위에서는 전압에 상관없이 기공률이 2% 이하였으며 또한 편차도 가장

작고 기공률 평균값도 0.5%로 가장 낮았다. 이것은 이미 고찰한 바와 같이 100% Ar용접부에서는 기공률이 높았으나 Ar에 활성가스인 O₂를 적정량 첨가하면 기공률이 크게 감소되는 것을 확인할 수 있다[10]



[그림 4] 전압과 보호가스 조성이 기공형성에 미치는 영향 (a) Ar, CO₂, 혼합가스 (80%Ar+20%CO₂), (b) Ar + 2%O₂, Ar + 5%O₂, Ar + 10%O₂

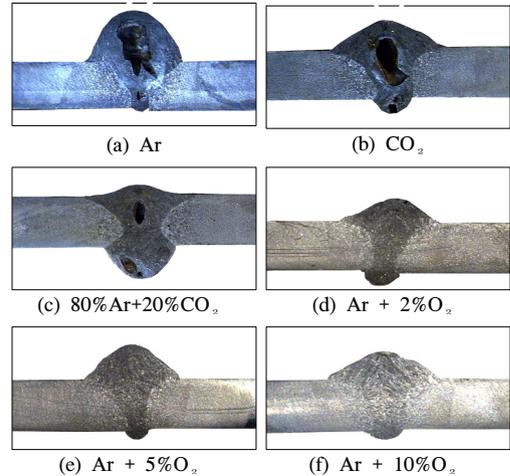
[Fig. 4] Effect of welding voltage on the porosity in accordance with shielding gas. (a) Ar, CO₂, 80%Ar+20%CO₂, (b)Ar + 2%O₂, Ar + 5%O₂, Ar + 10%O₂.

그림 5 (a)와 같이 Ar가스를 사용하여 용접한 경우 기공률이 높았던 것은 용접 시 표면 비드쪽 아크열로 인해 아연이 증발하여 외부로 방출되지만 루트부에서는 용융지의 열로 인해 용융 증발된 아연증기가 배출되지 못하고 높은 아연증기압을 형성하여 이 증기압이 용융지의 표면장력보다 클 경우 용융지 내부에 기공이 발생하였기 때문으로 사료된다.[7]

그림 5 (d), (e)와 (f)에서 Ar에 O₂를 첨가하면, O₂는 용접 시 강관 표면에 도금된 아연과 쉽게 반응하여 ZnO를 형성하는데 ZnO의 경우 용융점이 1975℃로 아연의 용융 및 증발을 억제시키므로 기공률을 최소화 할 수 있을 것이다.[11]

따라서 Ar+5%O₂ 가스, 전압을 12~20V 범위로 용접

을 실시할 때 가장 우수한 용접품질을 얻을 수 있을 것으로 생각된다..



[그림 5] 비드단면의 비교 (×2.0)

[그림 5] Comparison of beads cross-section (×2.0)

3.2 수동용접과 반자동용접의 비교

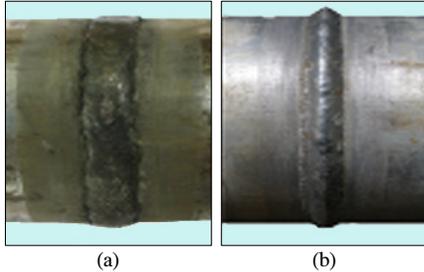
3.2.1 작업성

소방 배관용 강관 용접 시 반자동장치를 이용한 용접은 전자세용접이 필요한 수동용접과 달리 숙련된 용접사가 필요하지 않아 비숙련자도 용접이 가능하다. 또한 수동용접은 현장에서 용접 시 용접사에 따라 용접전류와 용접전압이 각각 다르게 실시되고 있어 균일한 용접품질을 기대하기 어렵다. 반면에 본 연구에서 제작한 반자동장치를 이용한 용접은 용접조건을 고정하고 일정속도로 용접이 가능하므로 균일한 용접품질을 얻을 수 있다.

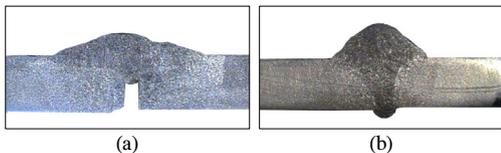
두 용접법에 대한 작업성을 비교하면 그림 6 (a)에서 보는 것과 같이 수동용접은 용접사가 직접모재를 회전하면서 용접하기 때문에 용접비드 폭과 용접리플(ripple)이 불균일하고 피복아크용접으로 수행되어 용접부 및 열영향부가 산화를 피할 수 없다. 또한 용접속도가 느리므로 열영향부가 넓고 용접부에 스패터가 발생된다. 그림 6 (b)는 Ar+5%O₂의 혼합가스를 사용한 용접결과이다. 반자동 용접장치에 의한 비드외관은 산화되지 않은 균일한 용접리플의 용접부 및 열영향부의 형성으로 미려하였다. 이는 Ar가스에 O₂를 혼합 시 작업의 지속성과 더불어 스프레이이행 때문에 안정된 아크를 유지할 수 있어 미려한 용접부를 얻을 수 있었다.[12]

용접단면을 비교해 보면, 수동용접부에서는 그림 7 (a)에서와 같이 두께 방향으로 완전용입이 발생되지 않는 부분이 있고 루트간격부분이 그대로 남아 있어 본 연구

에서 개발한 장비에 의해 생산된 용접부에 비해 형상이 응력집중을 유발할 수 있는 가능성이 높다. 따라서 반자동용접장치에 의한 용접부는 응력집중 유발장소를 파악할 수 있을 것이다.



[그림 6] (a) 수동용접과 (b) 반자동용접부의 비드외관 (×0.5)
 [Fig. 6] Comparison of beads by (a) manual and (b) semiautomatic welding (×0.5)



[그림 7] (a) 수동용접과 (b) 반자동용접 용접부 단면 (×0.5)
 [Fig. 7] Weld cross-sections by (a) manual and (b) semiautomatic welding (×0.5)

3.2.2 용접부 기계적 특성

표 4는 수동용접부와 반자동용접부의 기계적 특성으로 그림 7에서 언급하였듯이 수동용접 시 불충분한 용입 때문에 완전 용입되는 반자동 용접부보다 기계적 특성이 현저히 낮았다. 즉, 인장시험 실시 결과 수동용접 290N/mm², 반자동용접 518.5N/mm²의 인장강도를 나타냈고, 용접이음효율은 수동용접 99%, 반자동용접 178%의 결과를 나타내었다. 이는 수동용접에 비해 반자동용접부의 기계적 강도와 이음효율 모두 약 1.8배 우수하다는 것을 알 수 있다. 또한 용접부 경도는 수동용접부 평균 214.8 Hv, 반자동용접부 평균 254.3 Hv를 나타냈으며 KS D 3507 규격인 50kgf/cm²에서 15분간 실시한 수압시험 조건을 만족하였다.

[표 4] 수동용접과 반자동용접의 기계적특성
 [Table 4] Mechanical properties of welds by manual and semiautomatic welding

| | 수동용접 | 반자동용접 |
|---------------------------|--------|--------|
| 인장강도 (N/mm ²) | 290.35 | 518.45 |
| 용접이음효율 (%) | 99% | 178% |
| 경도 (Hv) | 214.8 | 254.3 |

4. 결론

본 연구는 수동용접에 의존하고 있는 소방 배관용 아연도금강 강관 용접의 생산성을 향상하기 위하여 반자동용접장치를 개발하고 최적의 용접성을 확보하기 위하여 수행되었다

- 1) 용접결과 Ar, CO₂, 혼합가스 (80%Ar+20%CO₂)보다 Ar과 O₂의 혼합가스로 용접 시 안정된 아크 발생 및 적은 스파터로 인해 미려한 비드외관을 얻을 수 있었다.
- 2) 용접부 기공률에서는 Ar 가스 사용 시 기공률이 높았고, Ar+5%O₂의 가스 사용 시 기공률이 가장 낮았다.
- 3) 반자동용접시스템에 의한 용접부는 수동 용접부와 비교하여 인장강도와 용접이음효율에서 약 1.8배 우수하였다.
- 4) 소방 배관 강관 전용 반자동용접시스템 개발과 최적 용접조건 확립으로 수동용접에 비해 용접품질과 생산성의 향상에 크게 기여할 것으로 기대된다.

References

- [1] Employed persons by gender/industry (2000~2008) (Employed persons), No. 11516, pp. 146, KOSIS, 2010.
- [2] H. Matsui, S. Shionoya, 'Reduction of Blowholes by the Vibration to Molten Pools in Arc Welding of Galvanizes Carbon Steel Sheets, Journal of the Japan Welding Society. 16-1, pp. 45-50, 1998.
- [3] M. Uchinara, T. Taka, H. Miyazaki, 'Effect of Welding Conditions and Shielding Gas on Weldability of Zinc-Paltd Steel, Journal Welding Society, No. 2, pp. 105-109, June, 1995.
- [4] H. matsui, H. Suzuki et. 'Reduction of Blowholes in High Speed Arc Welding of Hot-Dipping Galvanized Steel Sheet, Journal of Japan Welding Society, 15-3, pp. 476-483, 1973.
- [5] K. Yasuda, S. Nakano and T. Nakajima, 'Avoidance of Blowhole in Arc Welding of Galvanized Steel Sheets, The 5th International Symposium of the Japan Welding Society, pp. 785-790, 1990.
- [6] J. Y. Choi, 'Hand book on the strength of weld joints', Gold publishing Co., No. 4, pp. 35-40, 1997.
- [7] S. M. Cho, K. J. Kim and B. W. Lee, 'The Waveform Control and Blowhole Generation in the Wave Pulse MIG Welding for the Galvanized Steel Sheets', KWJS,

Vol. 23, No. 1, pp. 69-76, February, 2005.

[8] J. S. Seo, H. J. Kim, H. S. Yu, J. H. Koh, 'Effect of welding condition on porosity formation in GMA welding', KWJS, Vol. 47, pp. 234-236, 2006.

[9] S. H. Lee, J. Y. Lee, J. S. Kim, and B. Y. Lee, 'The effect of external electromagnetic force in GMAW', KSME, pp. 1741-1745. 2003.

[10] K. D. Kyung, H. J. Chon, J. H. Lee, B. Y. Kang and H. J. Kim, 'Effect of Shielding gas Composition on Arc Stability and Transfer mode of High Deposition GMA Welding', KWJS, Vol. 15, No. 1. pp. 64-70, 1997.

[11] H. S. Jung, 'Fundamental of Fusion Welding - Shielding Gases for Arc Welding', Journal of KWS, Vol. 19, No. 2, pp. 138-141, 2001.

[12] J. W. Lee, W. H. Song, D. H. Seo, J. S. Lee, 'Effect of Heat Input on Girth welds properties of High strain steel pipe', KWJS, Vol. 27, No. 6. pp. 25-30, 2009.

임 영 민(Young-Min Lim) [준회원]



- 2011년 2월 : 한국기술교육대학교 신소재공학과 (공학학사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 에너지·신소재·화학공학부 석사과정

<관심분야>
용접야금, 용접재료

오 태 석(Tae-Suk Oh) [준회원]



- 2006년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 에너지·신소재·화학공학부 학사과정

<관심분야>
용접공학

조 현(Hyun Jo) [준회원]



- 2007년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 에너지·신소재·화학공학부 학사과정

<관심분야>
재료공학

고 진 현(Jin-Hyun Koh) [정회원]



- 1985년 1월 : Lehigh University 재료공학과 (공학석사)
- 1987년 1월 : Lehigh University 재료공학과 (공학박사)
- 1987년 5월 ~ 1991년 2월 : 한국원자력연구소
- 1991년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 에너지·신소재·화학공학부 교수

<관심분야>
용접야금, 마이크로접합, 원자력재료