

FCAW의 혼합가스 변화에 따른 용접 모니터링과 특성에 관한 연구

임병철¹, 강철순², 박상흠^{3*}

¹공주대학교 기계공학과, ²공주대학교 테크노전략 대학원, ³공주대학교 기계자동차공학부

Study of the welding monitor and characteristics according to a change in Gas mixture by FCAW

Byung-Chul Lim¹, Chul-Soon Kang², Sang-Heup Park^{3*}

¹Division of Mechanical Engineering, Graduate School, Kongju University

²Division of Mechanical Engineering, Technology & Management of Kongju University

³Division of Mechanical & Automotive Engineering, Kongju University

요약 본 연구에서는 Atos 60의 시험편에 혼합가스의 변화에 따른 FCA용접을 하였고, 용접특성 분석 위하여 용접공정상의 실시간 모니터링 시스템과 용접 후 기계적 성질을 평가 하였다. Ar 80%+CO₂ 20% 혼합하고 낮은 속도로 용접한 경우 가장 미려한 비드와 스패터 발생이 적게 나타났으며, 반면 CO₂ 100%인 경우 스패터가 많이 발생하는 것을 확인하였다. 정상단락이 발생하는 저전류 영역으로 혼합가스의 사용에 대한 스패터 발생을 확인 할수 있는 조건이며, CO₂ 100%인 경우 각층의 단락율은 약 2배 이상 높았고, Peak의 분포가 많은 아크의 불안정 상태로 나타났다. 인장시험결과 Ar 80%+CO₂ 20%, Ar 90%+CO₂ 10%, CO₂ 100%의 항복강도는 각각 511MPa, 507MPa, 469MPa 이었으며, CO₂ 100%의 항복강도 보다 각각 약 8.9% 8.1% 향상되었다. 인장강도는 각각 622MPa, 609MPa, 581MPa로 CO₂ 100%의 인장강도 보다 각각 약 7.0%, 4.8% 향상되었다.

Abstract In this study, the effect of varying the mixture gas during FCA welding was studied for an Atos 60 test piece. To examine the characteristics of welding, the weldability of the material was checked before welding and online monitoring was performed to examine the mechanical properties after welding. The mixture Ar 80% + CO₂ 20% at low speed gave very elegant beads with very little spatter. 100% CO₂ gave rise to high spatter generation. For Ar 80% + CO₂ 20%, the low current region due to the normal short circuits created spatter, which was more than double for 100% CO₂. This peak distribution occurred due to the instability of the arc. The tensile test result for Ar 80% + CO₂ 20%, Ar 90%+ CO₂ 10% and CO₂ 100% at 511MPa, 507MPa, and 469MPa showed that the yield strength was improved by 8.1 and 8.9% for 80%+ CO₂ 20% and Ar 90%+ CO₂ 10%, respectively, compared to 100% CO₂. The tensile test result at 622MPa, 609MPa, and 581MPa showed that the yield strength was improved by 7.0% for both the mixture gas compared to 100% CO₂.

Key Words : Mixture gas, FCAW(Flux Core Arc Welding), Welding monitoring, Shunt ratio, tension test

1. 서론

용접(Welding)기술은 우리나라 전략산업 분야에서 조립완제품의 생산에 반드시 필요한 기술이다[1]. 후방산업

에서 만들어진 다양한 부품(예를 들어, 자동차의 경우 성형을 거친 외장 프레임(frame)등을 하나의 완제품으로 생산하기 위해서는 그것들을 연결 또는 접합하기 위한 용접 기술이 가장 중요하다. 왜냐하면 용접은 금속의 가

*Corresponding Author : Sang-Heup Park(Kongju Univ.)

Tel: +82-41-521-9283 email: weldpark@kongju.ac.kr

Received June 24, 2014 Revised August 14, 2014

Accepted October 10, 2014

열·용융·융합·응고 및 냉각이라고 하는 복잡한 과정이 국부적으로 짧은 순간에 이루어진다. 공정상에 오류가 발생될 경우 여러 가지 용접 결함을 일으키거나, 기대하는 이음의 성능을 얻지 못하며, 불완전한 용접은 제품의 품질과 안정성을 심각하게 위협할 수 있기 때문이다[2].

최근 용접이 완료된 후에 시행하는 완성검사보다 용접공정에서부터 좋은 용접품질을 확보하고, 작업자가 실시간으로 결함발생 유무를 확인하기 위해 작업 중에 용접부위의 품질을 확인할 수 있는 품질 예측 및 공정제어 시스템이 강조되고 있다. 그 이유는 용접 기술이 점차 발달하면서 이제는 용접이 가능한 제품인가, 아닌가의 여부보다는 품질과 제품의 생산성향상이 기업의 부가가치 창출에 있어 매우 중요한 요소로 대두되고 있기 때문이다. 특히, 자동 생산 설비나 산업용 용접 로봇에 의해 제품을 생산할 경우 작업자가 직접 현장에서 용접 품질을 감시하고 있지 못하기 때문에 품질의 자동감시, 즉 품질 모니터링(monitoring)이 반드시 필요하다[3].

실시간 용접 모니터링 시스템(Real-time Welding Monitoring System)이란, 아크(arc)용접을 비롯한 일반적인 용접공정에서 양질의 용접부위를 확보하고, 실시간으로 확인 및 그에 따른 적절한 대응 조치를 취하기 위하여, 각 용접 공정에 적합한 센서(sensor)등을 사용하여 실시간으로 계측 및 결과분석을 통해 용접부의 품질을 예측, 평가 관리하는 기술을 의미한다[4]. 용접부의 품질을 실시간으로 평가하기 위해서는 용접공정의 특성을 분석하는 것은 필수적이다[5]. 따라서 본 연구에서는 용접 특성 분석 위하여 용접공정상의 실시간 모니터링 시스템과 용접 후 기계적 성질을 평가 하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용재료

본 연구에서 사용된 재료는 Atos 60 고장력강으로 포스코에서 제작된 용접구조용 고장력 강판으로 빌딩, 교량, 산업기계, 압력용기 등으로 사용된다. 또한 WEL-HARD, WEL-TEN 신일본체철(NSC)의 내마모 고장력 강판은 보통 강과 비교하여 4배 또는 2.5배의 내마모성이 있어 기계부품의 수명 연장화, 경량화, 비용절감에 효과가 있으며, 용접성 및 냉간벤딩 등 가공성이 뛰어나 생산의 효율성이 있어 석유탱크, 가스홀더, LPG선, 교량, 덤프트럭, 크레인, 불도저, 포크레인, 석유시추플랫폼 플랜

트, 각종 산업기계, 압력용기, 원유탱크 등에 사용된다 [6-8]. 이러한 Atos 60은 100×200×8t의 판재로 맞대기 용접을 위해 주로 사용되는 형상인 V형에 개선각 60°로 제작 하였다. 용가재(CSF-81T)1.2∅는 590MPa 급 고장력 강인 티타니아계 플럭스 코어드 와이어로 아크가 안정하며 스패터 발생량이 적어 용접 작업성이 우수하다. 비드의 퍼짐성이 좋고 용착량과 슬래그의 응고속도 비율이 좋기 때문에 능력이며, 슬래그의 박리성 좋아 양호한 비드를 얻을 수 있는 특징이 있다. 이러한 Atos 60과 용가재의 화학성분과 기계적 성질을 각각 Table 1과 Table 2에 나타내었다.

[Table 1] Chemical compositions of Materials and welding wire

Material	C	Si	Mn	P	S	Nb
Atos60 (wt.%)	≤ 0.2	≤ 0.40	≤ 1.50	≤ 0.03	≤ 0.03	≤ 0.05
welding wire	≤ 0.05	≤ 0.40	≤ 1.30	≤ 0.016	≤ 0.011	≤ 0.95

[Table 2] Mechanical Properties of base metal and welding wire

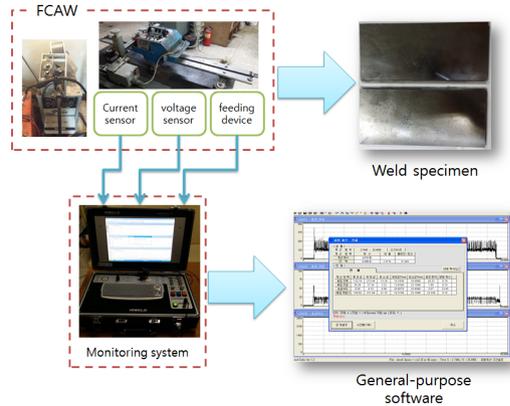
Material	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)
Atos 60	≥400	≥600	≥20
welding wire	≥568	≥620	≥28

[Table 3] Welding parameters

Method	FCAW	
Welding position	Flat	
Welding Current	1 pass	150 A
	2 pass	175 A
	3 pass	
Welding Voltage	20 V	
Welding Speed (cm/min)	1 pass	18
	2 pass	
	3 pass	
Heat Input (j/cm)	1 pass	10000
	2 pass	11667
	3 pass	11667
Arc length	10 mm	
Shielding gas	① CO ₂ 100%	
	② Ar 80% + CO ₂ 20%	
	③ Ar 90% + CO ₂ 10%	
Gas flow rate (ℓ/min)	15	

2.2 실험방법

본 연구에서 사용된 FCAW 장비는 HYOSUNG사의 PF PULSE 350 모델을 사용하였으며 자동이송장치를 이용하여 3층의 용접을 실시하였다. Table 3은 Atos60의 혼합가스변화에 따른 용접 조건을 나타내었다. 또한 용접 시 정확한 전류 전압 및 단락을 측정을 위하여 모니터링 시스템을 활용하였고, Fig. 1은 모니터링 시스템의 개략도를 나타내었다. 용접 후 기계적 성질을 평가하기 위하여 Fig. 2와 같이 KS B 0833의 규격에 따라 인장시험편을 레이저 절단하였으며, 절단 부위를 정밀하게 다듬질 하였다. 용착금속부의 표면 및 이면은 연삭하여 모재와 같은 두께로 하였으며 인장 시험기는 SHIMADZU에서 제작한 Model : AG-X로 용량 25ton급 만능재료 시험기를 사용하였다.

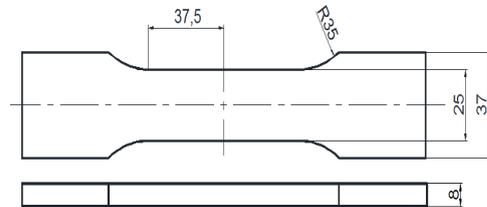


[Fig. 1] schematic diagram of welding monitoring

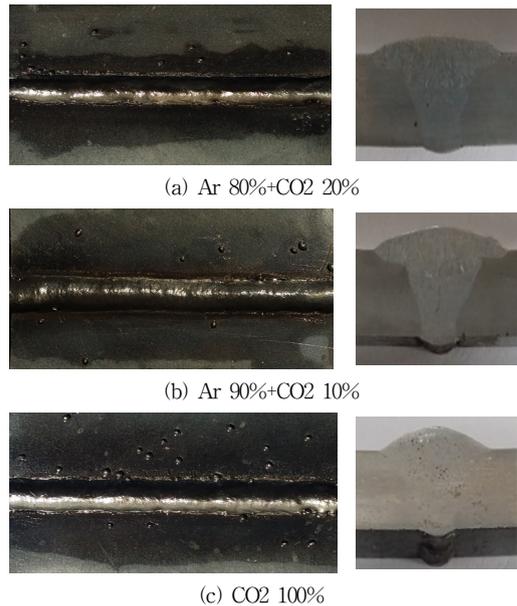
3. 결과 및 고찰

3.1 용접특성 비교

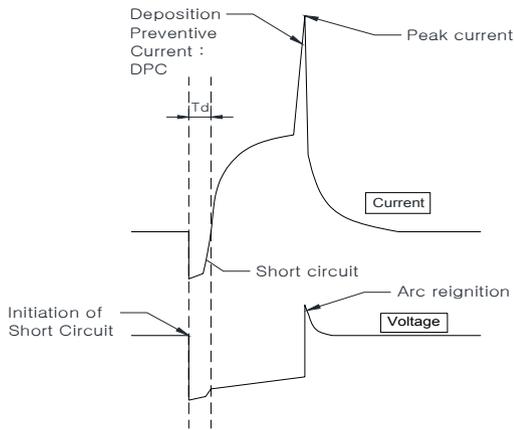
Fig. 3 용접 후 비드 외관과 단면을 나타내었다. 비드 외관의 경우 Ar 80%+CO₂ 20% 혼합하고 낮은 속도로 용접한 경우 가장 미려한 비드와 스패터 발생이 적게 나타났으며, 반면 CO₂ 100%인 경우 스패터가 많이 발생하는 것을 확인하였다. 또한 Fig. 3(a)와 같이 Ar가스 혼합비율이 많아 질수록 비드의 폭과 높이가 넓고 낮게 형성된것을 관찰하였다. 이는 사용한 혼합가스 CO₂ 100, Ar 90%+CO₂ 10%, Ar 80%+CO₂ 20% 에서 포함된 Ar 가스의 영향으로 Ar가스로 인한 입열량의 변화가 생기고 그로 인한 비드의 형상과 스패터 발생이 달라지기 때문으로 보인다. 일반적으로 입열량이 많을수록 용융하기 쉽고 언더컷이 발생되기 쉽다. 보호가스 중에 포함된 Ar 가스의 양이 증가하고 공급량이 많아질수록 비드 높이가 더욱 낮아지며 모재에 언더컷이 발생하는 현상도 Ar 가스의 증가로 인한 입열량이 변화되었기 때문으로 보인다. 산업현장에 적용 시 스패터량을 줄이기 위해서 Ar 80%+CO₂ 20%의 혼합비율이 적당하다고 판단된다.



[Fig. 2] The specimen of tensile strength



[Fig. 3] The weld bead with conditions



[Fig. 4] Definition of deposition preventive current (DPC)

3.2 용접 모니터링

본 연구에서는 정상단락이 주로 생기는 150A로 1Pass를 2Pass, 3Pass는 175A의 동일 조건으로 용접하였다. 이는 정상단락이 생기는 저전류의 영역으로 혼합가스의 사용으로 인한 스파터 발생을 확인 할수 있는 조건으로 사료된다. Fig. 4는 순간단락이 발생하는 중전류 영역에서 스파터 발생을 감소시키려는 목적으로 개발된 단락전류 상승지연(Short circuit current rise delay time) Td의 정의를 보인 것이다[9]. 이 파형제어는 단락 직후 일정시간 Td동안 전류를 감소시켜 기다리는 사이에 재점호 되면(순간단락) 그 순간의 전류가 낮아지므로 아크력이 작고, 이로 인해 와이어 끝의 대립용적이 되어 용접의 전압은 스파터 발생에 영향을 미친다. 용접 전압은 아크길이를 지배하고 이 아크길이는 합리적으로 나타내는 정략적 척도로 단락시간비 (Short circuit time ratio)SCTR로 단락시간의 함/용접시간으로 단락 시간비를 계산하였고, Table 4에 나타내었다. 단락률(Shunt Ratio)은 Ar가스가 혼합된 조건에서 CO2 100% 보다 약 2배정도 낮았다.

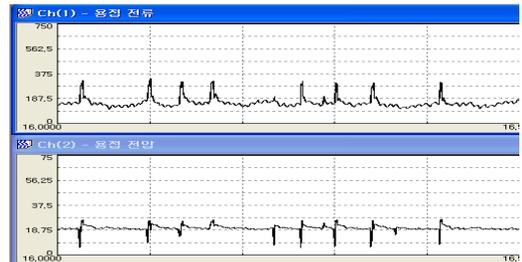
Fig. 5는 용접 전류와 전압의 파형을 0.5초간 측정한 결과이다. 아크를 이용한 용접 즉 FCAW에서 아크열에 의하여 열 사이클이 급격하게 변화 되는데 용접 모니터링 결과 Ar가스가 용접 시 아크를 안정시킨 것으로 사료된다. Fig.5 (a)는 (b),(c) 보다 Peak 분포가 많으며 진폭이 크고 여러개의 Peak들의 중복되며 일정하지 않은 파형이 나타났고, 이러한 Peak 신호와 일정하지 않은 용접 전류 파형이 많을수록 스파터 발생 확률이 많아 지는 것으로 판단된다.

[Table 4] result of short circuit arc welding

	weld seam	short circuiting (n/sec)	Shunt Ratio (%)
CO2 100%	1Pass	19.4	4.15
	2Pass	16.0	3.44
	3Pass	16.3	3.50
Ar 90% + CO2 10%	1Pass	13.2	2.12
	2Pass	10.4	1.46
	3Pass	10.5	1.46
Ar 80% + CO2 20%	1Pass	14.1	2.5
	2Pass	12.0	2.0
	3Pass	11.9	1.98



(a) CO2 100%

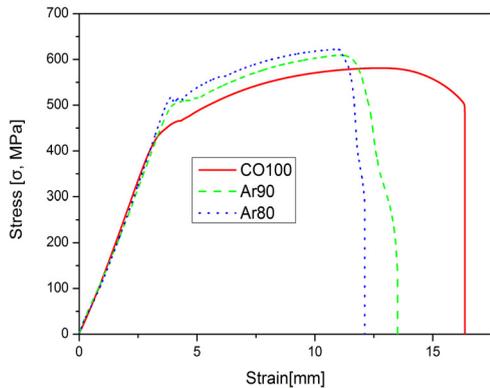


(b) Ar 90% + CO2 10%



(c) Ar 80% + CO2 20%

[Fig. 5] Waveform



[Fig. 6] Tensile test results of protective gas

3.3 인장시험 결과

혼합가스에 조건에 따라 횡방향(transverse direction)으로 용접된 Atos60을 인장시험 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 모든 시험편은 용착금속부에서 파단이 일어났다. Ar 80%+CO2 20%, Ar 90%+CO2 10%, CO2 100% 항복강도는 각각 511MPa, 507MPa, 469MPa 이었으며, CO2 100%의 항복강도 보다 Ar 80%+CO2 20%, Ar 90%+CO2 10%,는 각각 약 8.9% 8.1% 향상되었다. 인장강도는 각각 622MPa, 609MPa, 581MPa CO2 100%의 인장강도 보다 Ar 80%+CO2 20%, Ar 90%+CO2 10%,는 각각 약 7.0%, 4.8% 향상되었다. 혼합비율이 높을수록 항복강도와 인장강도가 향상 되었다. 반면 연신율은 감소하는 경향을 나타내었다. 일반적으로 구조용 제품에 사용되는 금속의 경우 인장강도보다 항복강도가 중요한 기계적 특성으로 작용한다. 왜냐하면 제품의 탄성변형은 제품의 외형에 영향을 주지 않지만 소성변형은 제품의 크기나 외관이 변형됨으로써 제품의 가치가 떨어지기 때문이다.

3. 결과 및 고찰

본 연구 에서는 Atos 60의 시험편에 FCA용접을 하였고, 용접특성 분석 위하여 용접공정상의 실시간 모니터링 시스템과 용접 후 기계적 성질을 평가 하였다.

- 1) Ar 80%+CO2 20% 혼합하고 낮은 속도로 용접한 경우 가장 미려한 비드와 스패터 발생이 적게 나타났으며, 반면 CO2 100%인 경우 스패터가 많이 발생하는 것을 확인하였다. 또한 Ar가스 혼합비율이

- 많아질수록 비드의 폭이 넓어졌음을 관찰하였다. 산업현장에 적용 시 스패터량을 줄이기 위해서 Ar 80%+CO2 20%의 혼합비율이 적당한 하고 판단된다.
- 2) 정상단락이 발생하는 저전류영역으로 혼합가스의 사용에 대한 스패터 발생을 확인 할 수 있는 조건이다. CO2 100%인 경우 각층의 단락율은 약 2배 이상 높았고, Peak의 분포가 많은 아크의 불안정 상태로 나타났으며 이는 스패터 발생확률이 높을 것으로 사료된다.
 - 3) 인장시험결과 Ar 80%+CO2 20%, Ar 90%+CO2 10%, CO2 100% 항복강도는 각각 511MPa, 507MPa, 469MPa 이었으며, CO2 100%의 항복강도 보다 Ar 80%+CO2 20%, Ar 90%+CO2 10%,는 각각 약8.9% 8.1% 향상되었다. 인장강도는 각각 622MPa, 609MPa, 581MPa CO2 100%의 인장강도 보다 Ar 80%+CO2 20%, Ar 90%+CO2 10%,는 각각 약 7.0%, 4.8% 향상되었다.

References

- [1] Korea Industry Technology Institute.(2009). Industrial Source Technology Road Map : Production-based Korea Institute for Advancement of Technology.
- [2] Park. J. W. (2009). Precision Welding Engineering. Vol 4. Seoul : Iljinsa Publishing Co.
- [3] D.S.Hwang, & M.H.Gho.(2012). Development and Application of Realtime Weld Quality Monitoring System.Journal of Korean Welding and Joining Society, 30(1),pp.44-50
DOI: <http://dx.doi.org/10.5781/KWJS.2012.30.1.44>
- [4] D.S.Hwang,& M.H.Gho. (2012). Development and Application of Real time Weld Quality Monitoring System. Journal of Korean Welding and Joining Society,30(1),pp.44-50
DOI: <http://dx.doi.org/10.5781/KWJS.2012.30.1.44>
- [5] Kang. S. G. (1996). Development of an analysis algorithm of welding current and voltage for arc stability evaluation. Unpublished master's thesis, Korea Advanced Institute of Science and Technology., pp.44-50
- [6] Kim, H. T., Hwang, S. H., Nam, S. W., "Study on Low Cycle Fatigue Behavior of AISI 304L Austenite Steel of Weld Zone", The Korean Welding and Joining society, Vol. 2, NO. 1, pp. 49-57, 1984.
- [7] Lee, Y. G., Lee, G. Ch., Kim, J. S., Han, D. S., Oh, S. T., Lee, B. Y., "A Study on the High Temperature Tensile

Characteristics of Lap Weld of Cr Ferritic\ Stainless Steels”, The Korean Welding and Joining society, Vol. 26, NO. 5, pp. 60~65, 2008.

- [8] Shin, “A study on the effect of welding after a weld zone on mechanical properties”, Engineering Master’s Degree Thesis, Chungju University Industrial Management Graude School Material Engineering, 1989.
- [9] T. Mita : Waveform control method in gas shield arc welding, Quarterly Journal of the Japan Welding Society. 6-2 (1988), 209 (in Japanese)

박 상 흡(Sang-Huep Park)

[정회원]



- 1984년 2월 : 단국대학교 기계공학과 (공학사)
- 1986년 2월 : 단국대학교 일반대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2000년 2월 : 홍익대학교 일반대학원 기계공학과 (공학박사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

용접시공 및 용접 자동화, 비파괴 검사

임 병 철(Byung-Chul Lim)

[준회원]



- 2010년 2월 : 공주대학교 기계시스템공학과 (공학사)
- 2012년 8월 : 공주대학교 일반대학원 기계공학과 (공학석사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 일반대학원 기계공학과 (박사과정)

<관심분야>

육성용접, 레이저용접

강 철 순(Chul-Soon Kang)

[준회원]



- 2005년 2월 : 한밭대학교 기계공학과 (공학사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 테크노전략대학원 기계자동차공학과 (석사과정)

<관심분야>

가스용접, SPOT용접