

음향방출법에 의한 SM 490A 강의 복합용접성 평가 (1)

(The Evaluation of Mixed-welded SM 490A Steel by Acoustic Emission (1))

이장규^{*}·우창기 / 인천대학교, 박성완 / 인천전문대학, 김봉각 / 충청대학, 윤종희·인승현 / 인천대학교 대학원

Abstract

The object of this study is to investigate the effect of compounded welding through the AE (Acoustic Emission) characteristics on static tensile test. This study was carried out a SM 490A, high tension steel using the low hydrogen type E4316 of electronic shield metal arc welding and compound wire of CO₂ gas arc welding. CO₂ welding, weak in the intensity of HAZ (Heat Affected Zone), can be improved by being combined with coated arc welding. Coated arc welding, weak in the intensity of the bead, can be improved by being combined with CO₂ welding. Especially, electronic coated arc welding and CO₂ welding complement the mechanical intensity of HAZ and the bead with each other. So, compounded welding increases the intensity in the special parts and enhances the quality of goods.

Key words: AE, Arc Welding, CO₂ Welding, Compounded Welding, HAZ, Bead, SM 490A

1. 서론

용접은 금속의 가용성을 이용하여 두개의 금속을 용융온도 이상으로 가열하여 접합하는 야금학적 접합법으로 각종 산업의 플랜트 설비나 제품의 사용에 따른 수리 및 보수에서도 필수적인 관리 기술로서 현대의 모든 산업에 있어서 용접이 차지하는 비중과 필요성은 이미 잘 알려진 사실이다. 최근에는 용접자동화에 따른 로봇용접 및 자동용접기가 개발되어 빠르고 쉽게 용접할 수 있지만, 산업현장에서의 구조물은 복잡하고 다양한 구조를 갖기 때문에 용접자동화가 쉽지 않은 실정이다. 따라서, 현장에서는 용접공에 의하여 수작업으로

설비비가 싸고 손쉽게 용접할 수 있는 전기피복 아크용접, CO₂가스아크용접 및 불활성가스아크용접(TIG용접)이 많이 쓰이고 있다. 그러나, 설비비가 많이 들고 공정이 복잡한 복합용접은 피하고 있는 것이 현실이다. 하지만, 제품의 내부와 외부의 압력과 온도의 차이가 많은 선박의 특수부(밀면) 같은 곳은 복합용접을 함으로써 열영향부의 강도와 용접부의 강도가 향상되어 제품의 질적 향상을 가져오므로 필요한 경우도 있다.

따라서, 본 연구에서는 전기피복아크용접과 CO₂가스아크용접을 사용하여 표면비드와 이면비드를 단일용접한 경우와 복합용접한 경우의 기계적 특성을 고찰하여 복합용접의 효율적 사용방안에 대하여 연구한다.

2. 실험 및 실험방법

2.1 실험재료 및 시험편

2.1.1 용접시험편 재료

용접시험편의 본질은 POSCO에서 생산한 고장력강인 SM 490A로 동일한 성질을 얻기 위하여 동일한 배취(batch)에서 시료를 채취하였으며, 시험편의 규격 및 용접 방법은 Fig. 1에서 보는 바와 같다. Table 1과 Table 2는 각각 시험편의 화학적 성분과 기계적 성질이다.

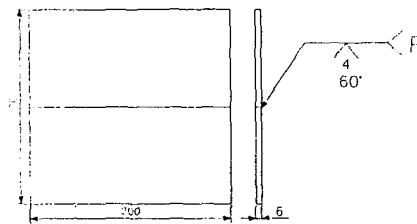


Fig. 1 Specimen size and welding method

Table 1 Chemical composition (wt.%)

C	Si	Mn	S	P
0.4	0.3	0.3	0.4	0.4

Table 2 Mechanical properties

Yield strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
380~416	493~499	19~23

2.1.2 실험에 사용한 용접봉

(1) 전기피복아크용접의 용접봉

전기피복아크용접에 사용된 용접기는 교류 아크용접기로 AW-30이며, 용접봉은 현장에서 가장 많이 사용되는 저수소계 E4316으로 용접봉의 크기는 $\phi 3.2 \times 350$ mm이고, 심선은 저탄소 립드강이며, 용접 시작점에 많은 결함의 위험이 있어 사용전 300~350 °C로 30분~1시간정도 건조시킨 후 사용하였다. Table 3은 본 연구에서 사용한 저수소계 용접봉의 화학적 성분과 기계적 성질이다.

Table 3 Chemical composition and mechanical properties of E4316 (wt.%)

C	Si	Mn	O	N	H
0.08	0.46	0.78	0.031	0.009	0.0001
Y.P. (kgf/mm ²)		T.S. (kgf/mm ²)		EL. (%)	
35		43		25	

(2) CO₂가스아크용접의 복합와이어

CO₂가스아크용접에 사용된 용접기는 LG산전의 WAC-350A이며, 사용된 용접봉은 복합와이어로 크기는 $\phi 1.2 \times 20$ kg이고, 실드가스로 CO₂가스를 사용하였다. Table 4는 본 연구에서 사용한 복합와이어 용접봉의 화학적 성분과 기계적 성질이다.

Table 4 Chemical composition and mechanical properties of flux cored wire (wt.%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni
<0.12	<0.90	0.50-1.60	<0.03	<0.03	0.30-0.60	0.45-0.75	0.05-0.70
Y.P. (kgf/mm ²)		T.S. (kgf/mm ²)		EL. (%)			
>40		>50		>20			

2.1.3 시험편 채취 및 인장시험편

용접한 모재를 외관 검사한 후 결함 유무를 확인하였다. Fig. 2는 시험편의 채취방법이며, 전기피복아크용접 및 CO₂가스아크용접만으로 단일용접한 시험편은 A의 방법으로, 복합용접의 경우에는 시험편의 오차를 줄이기 위하여 A 및 B의 방법으로 각각 채취하였다. Fig. 3는 평활재 및 노치재 인장시험편의 도면이며, 평활재는 KS B 0825, 노치재는 KS B 0864 맞대기용접이음의 인장시험방법의 규정에 따라 채취하였다.

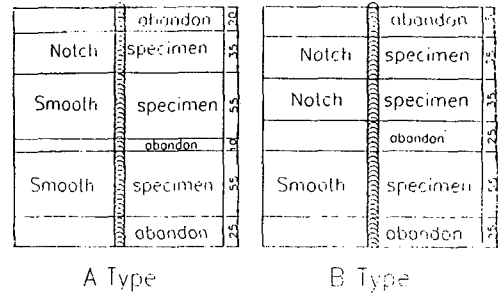


Fig. 2 Process method of specimen

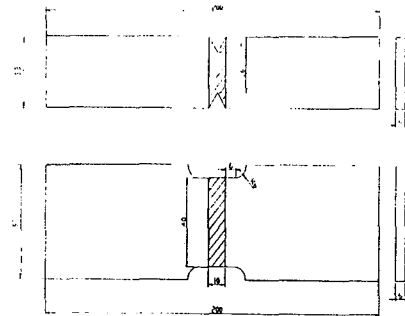


Fig. 3 Geometry of test specimen (unit:mm)

2.2 실험방법

본 연구에서 인장시험기(Shimadzu, Autograph 25-TG)의 부하속도는 모두 2 mm/min이며, 잡음을 줄이기 위하여 케이블의 양 끝에 페라이트 코어 (ferrite core)를 사용한 5730140 컨넥터를 인장시험기의 아나로그 출력단자에 연결하여 인장시험기로부터 출력되는 하중값을 디지털 신호로 변환시킨 후, 그 값을 인장시험기와 AE 계측시스템에 전송하였다.

한편 AE 파형계측에는 R15 (resonant frequency 150 kHz, PAC) 센서를 시험편 중앙으로부터 인장축 방향에 대하여 각각 30 mm 떨어진 위치에 고진공 그리스를 사용하여 시험편에 대칭이 되도록 압착시키고 절연테이프를 고정하였다. 실험 중 센서에 의한 신호는 인장시험기의 로드셀에 의하여 검출된 하중신호와 더불어 AE 계측장치에 입력되며, 전치증폭기(1220A)의 gain을 40 dB로 설정하고 bandpass filter 100~300 kHz의 대역에서 잡음을 제거하였다. 또한 실험 중에 sampling rate 250 nsec 간격으로 검출된 아나로그 AE 신호를 메인증폭기에서 20 dB로 증폭하여 wave memory 디지털 데이터로 변환하여 기억시킨 후, A/D converter로 PC에 전송하였다. 이 때 threshold 값은

40 dB로 고정하였으며, 그 후 CPU에 전송된 하중과 시간에 대한 AE이벤트수, AE진폭, 누적AE이벤트수 및 주파수스펙트럼 등은 사전에 작성된 환경에 의해 sp2-daq에서 획득하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

실험에 의해 얻은 결과의 일부를 대표적으로 Fig. 4 및 Fig. 5에 나타내었다.

각 그림에서 ①, ②, ③ 및 ④는 각각 시간이력에 대한 누적AE이벤트수, AE이벤트수, 진폭분포 및 하중곡선을 의미한다. ③으로부터 threshold 값이 40 dB로 고정되었음을 알 수 있다. 또한 각 그림에서 (a)는 Arc + Arc 단일용접, (b)는 CO₂ + CO₂ 단일용접, (c)는 Arc (이면비드) + CO₂ (표면비드) 복합용접, 그리고 (d)는 CO₂ (이면비드) + Arc (표면비드) 복합용접을 의미한다.

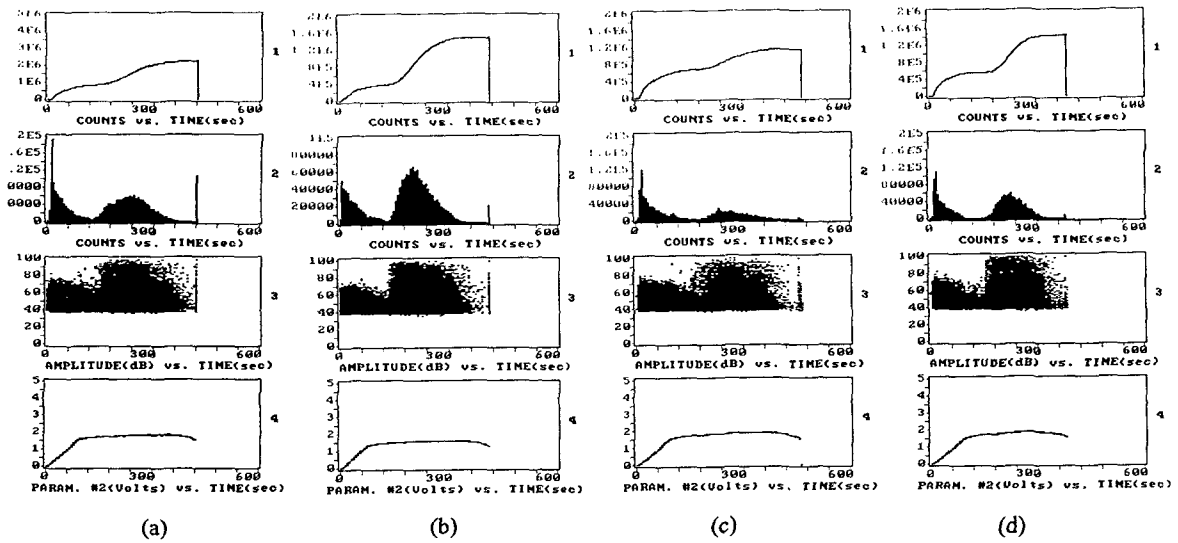


Fig. 4 Results of detected AE signals for smooth specimens

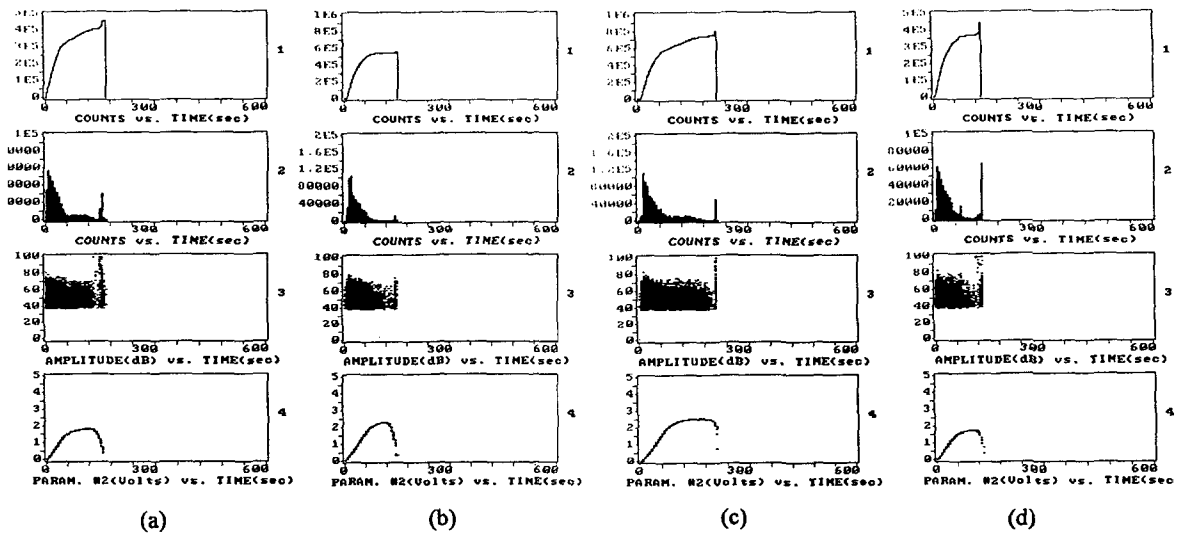


Fig. 5 Results of detected AE signals for notched specimens

3.1 평활재 인장시험편

각종 용접에 있어서 용접부는 모재보다 강도가 강하기 때문에 인장시험시 용접부보다 모재가 먼저 절단된다. 따라서 평활재 시험편은 전류의 밀도와 용접시 용융온도가 모재에 미치는 영향을 알아보기 위하여 가공된 시험편이다.

Fig. 4에서 ①의 형상은 ②의 AE이벤트수가 누적된 것으로 (a)~(d)에 걸쳐 모두 뚜렷한 변곡점을 갖고 있으며, 이는 용접시 발생한 강의 이차경화 내지는 열영향부의 영향으로 판단된다. 또한 ②와 ③은 ①의 변곡점에서 AE이벤트수의 증가와 더불어 AE진폭 또한 증진폭에서 고진폭 범위로 이동하며, ④의 하중곡선으로부터 고장력강에 대한 인장특성으로 그 범위가 넓게 차지한다.

Fig. 4 (a), (b)의 단일용접의 경우 열영향부의 강도는 전기피복아크용접이 CO₂가스아크용접보다 높게 나타났다. 그 이유는 CO₂가스아크용접의 특징은 전류밀도가 전기피복아크용접의 6배 이르고, 용접시 용융온도도 5,000 °C 이상으로 전기피복아크용접의 3,500 °C에 비하여 높기 때문이다. 따라서, 열영향부는 용접시 전류밀도와 용융온도가 높을수록 기계적 강도가 낮아지는 것으로 판단된다.

Fig. 4 (c), (d)의 복합용접의 경우 이면비드와 표면비드의 순서에 관계없이 전기피복아크용접과 CO₂가스아크용접을 혼합하면 CO₂가스아크용접의 단점인 열영향부의 강도를 보완할 수 있는 것으로 나타났다.

3.2 노치재 인장시험편

일반적으로 용접된 모재는 열영향부에서 끊어지기 때문에 용접비드부의 접합강도를 확인할 수 없다. 따라서 노치재 시험편은 용접부의 접합강도를 확인하기 위하여 가공된 시험편이다.

Fig. 5에서 ①의 형상은 Fig. 4와 달리 (a)~(d)에 걸쳐 모두 변곡점을 갖고 있지 않다. 또한 일반강재의 시험에서와 같이 인장초기에 많은 양의 AE이벤트가 발생함을 알 수 있으며, ④의 하중곡선에서 확실히 확인할 수 있다. 한편 Fig. 5 (c), (d)의 복합용접의 경우 용접비드부의 강도는 Arc (이면비드) + CO₂ (표면비드) 용접일 때는 강도가 현저하게 높게 나타났으나, CO₂ (이면비드) + Arc (표면비드) 용접일 때는 반대로 나타났다.

4. 결론

평활재 및 노치재로 단일용접 및 복합용접한 시험편에 대하여 인장시험을 통하여 AE계측을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 평활시험편에서 단일용접 및 복합용접에 대하여 누적AE이벤트 곡선은 모두 뚜렷한 변곡점을 갖고, 폭넓은 고진폭의 AE를 갖는다. 또한 단일용접의 경우 열영향부의 강도는 용접시 전류밀도와 용융온도가 낮은 전기피복아크용접이 CO₂가스아크용접보다 높고, 열영향부의 강도가 취약한 CO₂가스아크용접은 전기피복아크용접으로 복합용접함으로써 CO₂가스아크용접의 열영향부의 강도를 보완할 수 있다.

2. 노치시험편에서 용접비드부에 대하여 누적AE이벤트 곡선은 변곡점을 갖지 않으며 인장초기에 많은 양의 AE이벤트가 발생하였다. 그러나 인장강도는 복합용접의 경우 용접비드부의 강도가 현저하게 높고, 용접비드부의 강도가 취약한 전기피복아크용접에서는 CO₂가스아크용접으로 보완할 수 있다.

3. 요컨대, 전기피복아크용접과 CO₂가스아크용접은 열영향부와 용접비드부의 기계적 강도를 상호 보완하므로 제품의 질적향상이 기대된다.

References

1. Baldev Raj and B.B. Jha, 1994, "Fundamentals of acoustic emission", British J. of NDT, Vol.36, No.1, pp.16-23.
2. James D. Leaird, 1997, *Acoustic Emission Training Guide - How to Ensure an Accurate and Valid Acoustic Emission*, Greensland Publishing Company, Sacramento, California.
3. Ronnie K. Miller and Paul McIntire, 1987, *Non-destructive Testing Handbook (2nd ed.)*, Vol. 5, *Acoustic Emission Testing*, ASNT.
4. PAC, 1995, *Spartan 2000 User's manual & Technical manual*, Physical Acoustics Corporation.
5. 이장규, 2001, *AE법에 의한 균열물체의 동정 및 역문제 해석*, 인천대학교 박사학위논문.
6. Robert D Stout, 1992, *강의 용접성*, 대광문화사.
7. 한국규격협회, 1995, *KS B 0825 / KS B 0864, 맞대기용접이음의 인장시험방법*.

E-mail: zkrhee@hanmail.net / zkrhee@korea.com
Fracture Mechanics Research Group