

SM 490A 강의 용접 열영향부 음향방출 특성 AE Characteristics for Weld HAZ in SM 490A Steel

이장규 · 우창기 · 박성원^{*} · 김봉각^{**} · 윤종희 · 인승현^{***}
인천대학교 · ^{*}인천전문대학 · ^{**}충청대학 · ^{***}인천대학교 대학원

Abstract

The object of this study is to investigate the effect of compounded welding through the AE (Acoustic Emission) characteristics for weld HAZ (Heat Affected Zone) 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, compound wire of CO₂ gas arc welding and tungsten electrode of TIG welding.

Key words : AE, Compounded Welding, HAZ, SM 490A

1. 서론

용접은 금속의 가용성을 이용하여 두개의 금속을 용융온도 이상으로 가열하여 접합하는 야금학적 접합법¹⁾으로 각종 산업의 플랜트 설비나 제품의 사용에 따른 수리 및 보수에서도 필수적인 관리기술로써 현대의 모든 산업에 있어서 용접이 차지하는 비중과 필요성은 이미 잘 알려진 사실이다. 그러나 산업현장에서의 구조물은 복잡·다양한 구조를 갖기 때문에 용접자동화가 쉽지 않으며, 이로인해 전기피복아크용접, CO₂가스아크용접 및 불활성가스아크용접 (TIG용접) 등 수작업에 의하여 설비비가 싸고 쉽게 용접할 수 있는 단일용접이 통상적으로 이용되고 있다.²⁾

따라서, 본 연구에서는 고장력 SM 490A 강에 전기피복아크용접, CO₂가스아크용접 및 TIG용접을 사용하여 이면비드와 표면비드를 단일용접한 경우와 복합용접한 경우, 정속인장시험시 용접 열영향부에 대한 AE 신호특성을 분석하여 복합용접의 효율적인 활용방안을 제시하고자 한다.

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 채취하였고, Fig. 1은 그 규격 및 용접방법이

며 Table 1은 시험편의 화학적 성분 및 기계적 성질이다.

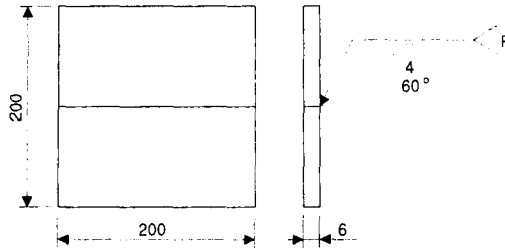


Fig. 1 Specimen size and welding method

Table 1 Chemical composition and mechanical properties of SM 490A (wt.%)

Chemical composition					Mechanical properties		
C	Si	Mn	S	P	Y.P. (MPa)	T.S. (MPa)	EL. (%)
0.4	0.3	0.3	0.4	0.4	380~416	493~499	19~23

2.1.2 실험에 사용한 용접봉

(1) 전기피복아크용접의 용접봉

전기피복아크용접에 사용된 용접기는 교류아크용접기로 AW-30이며, 용접봉은 현장에서 가장 많이 사용되는 저수소계 E4316으로 용접봉의 크기는 $\phi 3.2 \times 350$ mm이고, 심선은 저탄소 림드강이며, 용접 시작점에 많은 결함의 위험이 있어 사용전 300~350 °C로 30분~1시간정도 건조시킨 후 사용하였다. Table 2는 본 연구에서 사용한 저수소계 용접봉의 화학적 성분과 기계적 성질이다.

Table 2 Chemical composition and mechanical properties of E4316 (wt.%)

Chemical composition						Mechanical properties		
C	Si	Mn	O	N	H	Y.P. (kgf/mm ²)	T.S. (kgf/mm ²)	EL. (%)
0.08	0.46	0.78	0.031	0.009	0.0001	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 3은 본 연구에서 사용한 복합와이어 용접봉의 화학적 성분과 기계적 성질이다.

Table 3 Chemical composition and mechanical properties of flux cored wire (wt.%)

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

(3) TIG용접의 전극봉

TIG용접에 사용된 용접기는 inverter 식으로 AC/DC 겸용인 WAT-300이며, TIG 용접시 insert 가스는 알곤가스를 사용하였고, 전극봉은 텅스텐 전극봉이며, 용접봉으로는 스테인레스 용가재를 사용하였다. Table 4는 텅스텐 전극봉의 용접전류에 대한 전극,

금속 노즐 및 알곤가스의 유량을 나타낸 것이다.

Table 4 Welding electric current of tungsten rod

Electric current AC, HF (A)	Tungsten rod diameter (mm)	Ar gas		Metal nozzle (unit:1/16")	
		cfh	IPM	HW-10	HW-12
10~60	1.0	8~15	4~8	4	6

2.1.3 시험편 채취 및 인장시험편

Fig. 2는 시험편의 채취방법이다. 전기피복아크용접, CO₂가스아크용접 및 TIG용접만으로 단일용접한 시험편은 A의 방법으로, 복합용접의 경우에는 시험편의 오차를 줄이기 위하여 A 및 B의 방법으로 각각 채취하였다. 한편, Fig. 3은 본 연구에서 사용한 평활재 인장시험편으로 KS B 0825 맞대기용접이음의 인장시험방법의 규정에 따라 제작하였다.³⁾

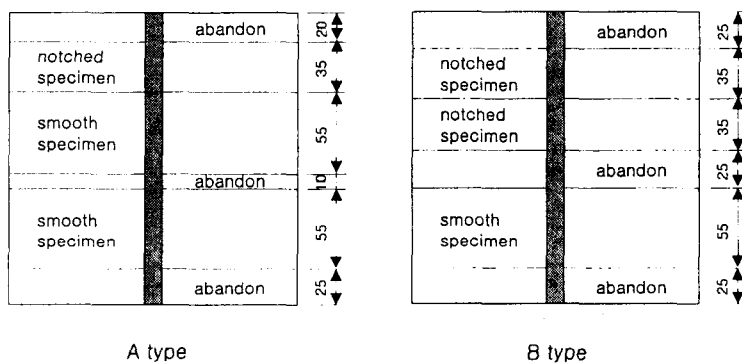


Fig. 2 Process method of specimen

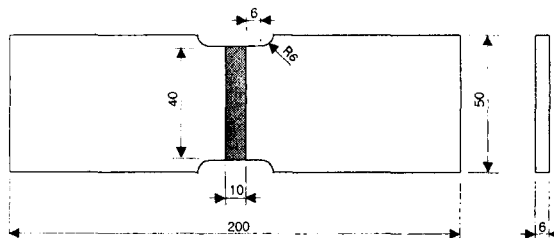


Fig. 3 Geometry of test specimen (unit:mm)

2.2 실험방법

인장시험기(Shimadzu, Autograph 25-TG)의 부하속도는 모든 경우에 대하여 2 mm/min이며, 아날로그 출력단자를 통해 들어오는 하중값을 디지털 신호로 변환한 후, 그 값을 인장시험기와 AE 계측시스템(Spartan 2000, PAC)에 전송하였다.

한편 AE 파형계측에는 R15 (resonant frequency 150 kHz, PAC) 센서를 시험편 중앙으로부터 인장축 방향에 대하여 각각 30 mm 떨어진 위치에 고진공그리스를 사용하여 시험편에 대칭이 되도록 압착시키고 절연테이프로 고정한 후 캘리브레이션을 실시하였다.⁴⁾⁻⁶⁾ 실험 중 센서에 의한 신호는 인장시험기의 로드셀에 의하여 검출된 하중신

호와 더불어 AE 계측장치에 입력되며, 전치증폭기(1220A, PAC)의 gain을 40 dB로 설정하고 bandpass filter 100~300 kHz의 대역에서 잡음을 제거하였다. 또한 실험 중에 sampling rate 250 nsec 간격으로 검출된 아날로그 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, 누적AE이벤트수, AE진폭 및 주파수 스펙트럼 등은 사전에 작성된 환경에 의해 sp2-daq에서 획득하였다.^{7),8)}

3. 실험 결과 및 고찰

실험으로부터 얻은 결과의 일부를 대표적으로 Fig. 4에 나타내었다. 각 그림에서 ①, ②, ③, ④ 및 ⑤는 각각 시간이력에 대한 AE이벤트수, 진폭분포, 누적AE이벤트수, RMS 및 하중곡선이다. 또한 각 그림은 이면비드 + 표면비드의 순으로 용접하였음을 의미한다.

Fig. 4에서 ③의 형상은 ①의 AE이벤트수가 누적된 것으로 (a)~(g) 중에서 (c)의 TIG + TIG 단일용접을 제외하고는 대부분 뚜렷한 변곡점을 갖는 것으로 나타났다. 이는 아크 또는 그 이외의 열을 이용해서 용접한 경우 용접금속의 바깥쪽, 즉 용융선과 모재사이에 열영향부(HAZ : Heat Affected Zone)가 형성되며, 또한 열영향부에서 결정립의 성장속도는 용접 입열량, 모재의 열적, 기계적 이력 등이 관계되기 때문이다. 따라서 결정립의 성장, 2상(탄·질화물) 또는 입자의 고용 및 석출, 잔류응력 등이 발생하므로 열영향부의 성질은 용융역과 모재의 성질과는 아주 다르게 나타난다. 통상 강재에 대한 열영향부의 기계적 성질은 마르텐사이트 조직에 기인한 조립역의 신율이나 인성이 현저히 저하되어 용접부 조직중에서 가장 취화된 특성을 갖는다.

또한 ②의 진폭분포로부터 threshold가 40dB로 고정되었음을 알 수 있으며, ③의 변곡점에서는 ①의 AE이벤트수의 증가와 더불어 ②의 AE진폭은 중진폭 범위에서 고진폭 범위로 폭넓게 발생하고 있다. 한편 ④는 threshold와는 무관한 RMS 값이고, ⑤의 하중곡선으로부터 본 연구에서 사용한 재료가 고장력강임을 알 수 있다.

각종 용접에서 용접부의 강도는 모재보다 강하기 때문에 용접부보다 열영향부에서 먼저 파단이 일어난다. 평활시험편은 전류의 밀도와 용접시 용융온도가 모재에 미치는 영향을 알아보기 위하여 가공된 시험편이다. Fig. 4 (a), (b) 및 (c)의 단일용접의 경우 열영향부의 강도는 전기피복아크용접 > TIG용접 > CO₂가스아크용접 순으로 나타났다. 왜냐하면 CO₂가스아크용접의 특징은 전류밀도가 TIG용접의 2배이고, 전기피복아크용접의 6배에 이르며, 용접시 용융온도에 있어서도 5,000 °C 이상으로 TIG용접과는 비슷하나 전기피복아크용접의 3,500 °C에 비하여 높기 때문이다. 따라서, 열영향부는 용접시 전류밀도와 용융온도가 높을수록 기계적 강도가 낮아지는 것을 알 수 있다.

Fig. 4 (d), (e), (f) 및 (g)의 복합용접의 경우 열영향부의 강도는 (f)의 TIG용접

(TIG + Arc)에 한하여 다소 다른 경향을 보이지만 통상 이면비드와 표면비드의 순서에는 무관하며, 특히 전기피복아크용접과 CO₂가스아크용접을 혼합하면 CO₂가스아크용접의 단점인 열영향부의 강도를 보완할 수 있음을 알 수 있다.

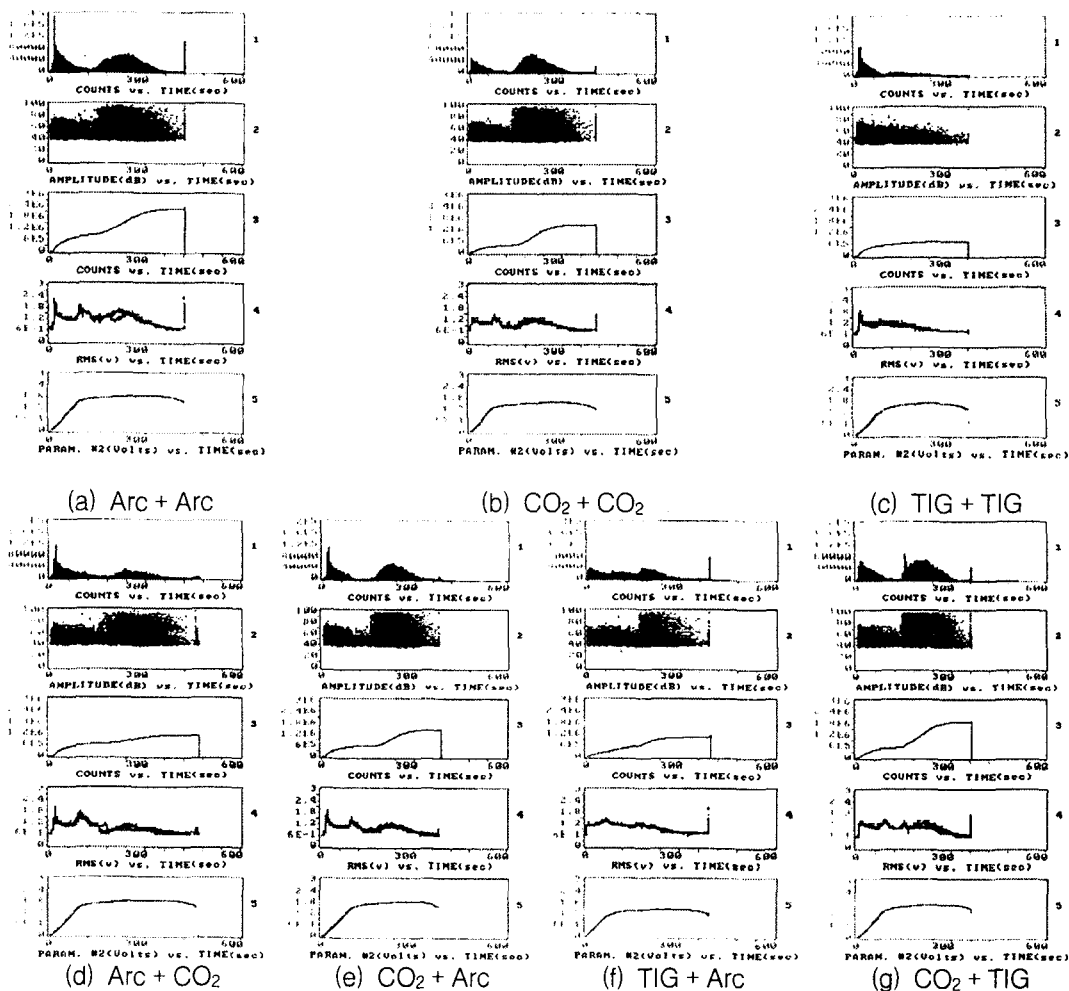


Fig. 4 Results of detected AE signals

4. 결론

단일용접 및 복합용접한 평활시험편에 대하여 정속인장시험으로 AE신호를 계측한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 평활시험편에서 열영향부에 대한 누적AE이벤트 곡선은 대부분 뚜렷한 변곡점을 갖으며, 그 곳으로부터 고진폭 범위의 AE가 폭넓게 발생하였다. 이는 결정립의 성장, 2상(탄·질화물) 또는 입자의 고용 및 석출, 잔류응력 등의 발생에 의하여 열영향부의 성질이 용융역과 모재의 성질과는 아주 다르게 변화했기 때문이다.

2. 단일용접의 경우 열영향부의 강도는 전기피복아크용접 > TIG용접 > CO₂가스아크용접 순으로 나타났으며, 용접시 전류밀도와 용융온도가 높을수록 열영향부의 기계적 강도가 낮아지는 것을 확인하였다.

3. 복합용접의 경우 열영향부의 강도는 TIG용접에 한하여 다소 다른 경향을 보이지만 이면비드와 표면비드의 순서에는 무관하며, 특히 전기피복아크용접과 CO₂가스아크용접을 혼합하면 CO₂가스아크용접의 단점인 열영향부의 기계적 강도를 상호 보완할 수 있으므로 제품의 질적향상이 기대된다.

참고문헌

1. Robert D Stout, 1992, 강의 용접성, 대광문화사.
2. 이장규 외 5인, 2002, “음향방출법에 의한 SM490A 강의 복합용접성 평가 (1)”, 한국공작기계학회 추계학술대회 논문집, pp.170-173.
3. 한국규격협회, 1995, KS B 0825, 맞대기용접이음의 인장시험방법.
4. Baldev Raj and B.B. Jha, 1994, “Fundamentals of acoustic emission”, British Journal of NDT, Vol.36, No.1, pp.16-23.
5. James D. Leaird, 1997, Acoustic Emission Training Guide - How to Ensure an Accurate and Valid Acoustic Emission, Greensland Publishing Company, Sacramento, California.
6. Ronnie K. Miller and Paul McIntire, 1987, Nondestructive Testing Handbook (2nd ed.), Vol. 5, Acoustic Emission Testing, ASNT.
7. PAC, 1995, Spartan 2000 User's manual & Technical manual, Physical Acoustics Corporation.
8. 이장규, 2001, AE법에 의한 균열물체의 동정 및 역문제 해석, 박사학위논문, 인천대학교.