

음향 신호 분석에 의한 GMAW의 특성분석

The Analysis of Characteristics of GMAW using Sound Signal

조 태동*, 양 상민**, 양 성빈**

* 충남대학교 공과대학 기계설계공학과

** 충남대학교 공과대학 기계설계공학과 대학원

ABSTRACT The gas metal arc welding(GMAW) is regarded as one of the best candidate for welding automation in industrial joining application. It is important to monitor the weld quality for the high performance of weld automation. The measured analog signal is frequency analyzed by digital signal process method. In order to observe the welding phenomena and control welding condition, arc light, voltage, and current are measured at the same time. They are analyzed and compared with arc sound. for these experiments, a power source of constant voltage characteristics was used in the pure metal transfer mode.

1. 서 론

용접공정은 각종 구조물의 접합방법으로서 산업 전반에 걸쳐 상당한 비중을 차지하고 있는 산업공정이지만 그 특성상의 단점인 용접균열(crack), 기공(porosity), 슬래그 혼입(slag inclusion)과 같은 외부 또는 내부결합의 존재 가능성이 높다. 따라서 안정성 평가 및 잔류 수명 예측을 위해 용접 작업 중 발생하는 각종 용접결함(weld defect)의 평가가 수반됨으로써 용접품질(weld quality)의 향상에 대한 연구가 선행되어야 한다. 최근 초음파 신호(ultrasonic signal), 화상처리(image process) 그리고 광 신호(optical signal) 등을 이용하는 비파괴검사 기법을 이용하여 용접 결함의 위치, 길이, 종류, 방향 등을 검출하는 연구가 진행되고 있다.¹⁾ Saini와 Floyd는 GMAW에서 단락모드(short circuiting mode)와 스프레이 모드(spray mode)에서 아크 음향(arc sound)을 측정하여 시간영역과 주파수 영역에서 분석함으로써 용접결함의 측정 가능성을 제안하였다.^{2,3)}

본 연구는 GMA 용접 중 아크의 형성에 의해서 발생하는 sound emission 형태의 음파를 마이크로폰을 이용하여 측정하고, 음파의 신호 파형을 시간영역과 주파수 영역에서 분석하였으며, 용접공정을 해석하기 위한 다른 측정 변수들 즉, 아크 광(arc light), 아크 전압, 그리고 용접 전류의 신호를 음향신호와 비교 분석하여 용접 중 발생하는 용접결함을 검출하였다. 이러한 분석 방법은 용접 중 발생하는 용접결함을 실시간(real-time)으로 검출하고 용접품질을 향상시키기 위한 용접공정 제어에 사용될 것이다.

2. 신호해석

GMAW 공정 중 측정된 연속 신호 $x(t)$ 를 이산신호 $x[n]$ 으로 변환하면 식(1)과 같다.

$$x[n] \equiv x(nT), \quad n=0, 1, 2, \dots, N-1, \quad T: \text{sampling time}, \quad N = \text{window length} \quad (1)$$

FFT변환은 시간영역의 함수를 주파수영역의 함수로 변환시켜 주파수 영역에서 시스템의 출력신호를 분석하는데 사용한다. 특히, 주기적인 이산신호일 경우에는 DFS(Discrete Fourier Series)를 이용하여 주파수 영역에서의 분석이 가능하지만, 실제 시스템에서 이용하는 이산신호는 비 주기적인 경우가 대부분이다. 비 주기적인 신호에는 신호의 존재구간이 제한된 유한기간신호(finite duration sequence)가 있다. 유한기간 신호를 주파수 영역에서 분석하기 위하여 유한기간을 주기신호의 1주기로 정한다면, 유한기간 신호 $x(n)$ 는

$$x(n) = \begin{cases} x(n+N), & 0 \leq n \leq N-1 \\ 0, & \text{other } n \end{cases} \quad (2)$$

이다. 이 경우 $x(n)$ 의 DFS의 $X(k)$ 의 1주기를 유한기간 함수 $x(n)$ 의 변환 $X(k)$ 라고 하면 $X(k)$ 는 $x(n)$ 의 DFT이다. 이와 같이 DFT는 유한기간 신호를 주파수 영역의 이산신호로 변환하여 처리 가능하도록 하는 방법이다. 유한 기간 신호 $\{x(n), n=0, 1, 2, 3, \dots, N-1\}$ 에서 $x(n)$ 의 DFT는

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{nk}, \quad (k = 0, 1, 2, \dots, N-1, \quad W_N^{nk} = \exp(-j2\pi nk/N)) \quad (3)$$

이다. 여기에서 N 은 입력신호의 주기이다.

주파수의 변화에 따른 푸리에 계수의 변화를 스펙트럼이라 하며 이것은 어떠한 신호에 포함되어 있는 주파수 성분의 분포를 구하는 것으로 기존의 연구^{4,5)}에서는 스펙트럼의 크기변화가 급격한 주파수를 이용하여 용접결함을 분석하였다. 그러나 이것은 off-line에서 해석하는 것이며 용접결함의 유형만을 결정할 뿐 용접결함이 발생하는 위치를 검출하기 어렵다.

본 연구에서는 용접 중 획득한 아크 음향뿐만 아니라 아크 광, 전압, 전류의 출력값을 $N=4096$ 개의 샘플링 수를 이용하여 용접 시작 시간으로부터 1.365초($N=4096$) 이후부터 $N=32$ 개씩의 데이터가 입력 될 때마다 FFT분석을 수행하였고 매 분석마다 최대 파워스펙트럼 값을 추출하였다.

3. 실험장치 및 방법

본 실험에서 사용된 용접기는 shopmaster300(Co. Miller)이며, 차폐가스(shielding gas)는 Ar가스, 용접 와이어는 1.2mm 연강용 solid wire AWS ER70S-6를 사용하였다. 용접 모재의 용접선 중심과 접촉 팁(contact tip)과의 거리는 23mm이다. GMAW 과정 중 발생하는 음향신호를 추출하기 위해 마이크론을 사용하였고 음원과 45°의 경사를 가지며, 80mm 떨어진 위치에 설치하였다. 용접 중 발생하는 아크 광을 측정하기 위해서 CdS Cells을 용접 토치로부터 200mm 떨어진 위치에 설치하였다. Fig.1은 실험장치의 구성도를 보여주고 있다.

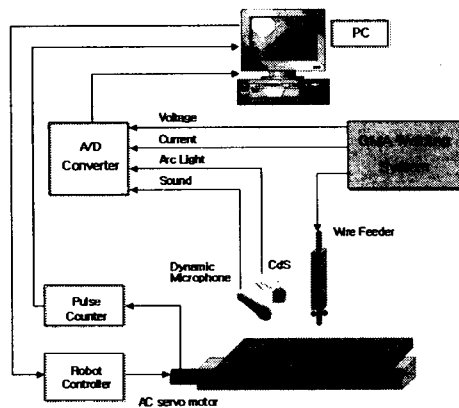


Fig. 1 Schematic of the welding system

Table 1 Bead on plate GMAW condition

Condition	Test1	Test2	Test3
Voltage (V)	30	24	14
Current (A)	220	210	210
Wire Feed Speed(mm/min)	5588	6350	7112
Transfer mode	Spray	Globular	Short circuiting
CTWD(mm):23, Weld speed(mm/s):5			

실험에 사용된 시편은 연강(mild steel)을 사용하였으며, 시편의 크기는 길이 150mm, 폭 30mm, 두께 6mm이다. 용접 공정 중 발생하는 용접결함을 검출하기 위해 정상적인 시편과 시편의 중앙 위치에 직경 10mm인 구멍(hole)을 발생시킨 결함을 가진 시편을 중앙에서 50mm의 거리로부터 동일 조건하에서 용접을 수행하여 비교하였다. 실험조건은 Table 1과 같다.

4. 실험 결과 및 결론

기존의 연구에서는 임의의 주파수에서의 파워스펙트럼의 크기가 변화하는 것을 이용하여 용접 결함이 발생했음을 예측하는 것으로 만족했으나, 본 실험에서는 매 샘플 시간마다 FFT분석을 수행함으로써 실시간으로 용접결함의 위치를 검출할 수 있도록 하였다.

Fig.2는 용접 후 시편이고, Fig.3은 각 신호를 매 샘플시간마다 FFT 처리하여 최대 파워 스펙트럼의 크기만을 분석한 결과로, 용접 비드의 변화가 발생하는 부분에서 최대 파워 스펙트럼의 크기는 급격히 증가하였고 용접 비드 또한 불균일하게 생성되었음을 알 수 있었다. 여기서도 음향신호는 정상적인 경우는 0.00135~0.0075사이의 값을 유지하나 -7.35~1.206mm 사이의 값이 증가하였고, 중간 지점인 -2.575mm에서 최대 값인 0.0434 amplitude의 피크가 검출되었고, 나머지 신호 또한 같은 경향을 보였다.

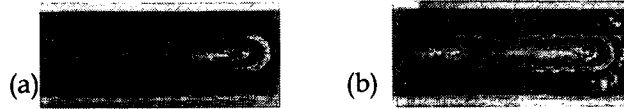


Fig. 2 Weld output with spray mode (welding condition - arc voltage : 30V, wire feed speed : 5588mm/min, weld speed : 5mm/s): (a) stable (b)with defect(ϕ 10mm hole)

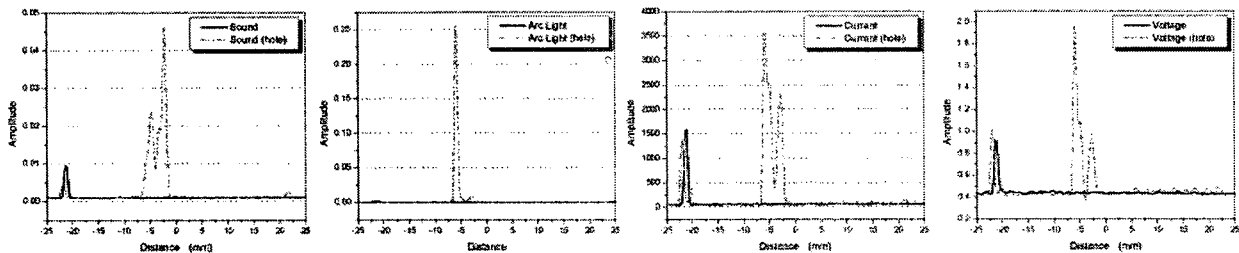


Fig. 3 Total FFT frequency spectrum except $\omega=0$ at spray mode (welding condition - arc voltage : 30V, wire feed speed : 5588mm/min, weld speed : 5mm/s)

본 연구에서 정상적인 시편과 인위적인 결함을 발생시킨 시편에 대해 음향, 아크 광, 용접 전류 및 아크 전압의 신호를 획득하여 신호처리 방법에 의해 비교 분석한 결과는 다음과 같다.

첫째, GMAW과정 중 발생하는 음향 신호는 아크광, 용접전류, 아크전압의 신호와 마찬가지로 시간 대역 해석 방법이나 주파수 대역 해석 방법을 통해 결함의 위치가 검출 가능하였다.

둘째, 아크의 안정성과 밀접한 관련이 있는 금속 이행 모드 별로 실험한 결과 일반적인 아크 공정에 쓰이는 스프레이 모드나 입상용적 모드에서 결함 측정이 가능하였으나, 특수 공정에 쓰이는 단락 이행모드에서는 위와 같은 조건의 시편 사용으로 인하여 발생하는 전반적인 아크의 불균형 때문에 결함 측정이 불가능하였다.

따라서, GMAW과정 중 발생하는 음향 신호는 아크 광, 전압 및 전류 신호와 마찬가지로 실시간 (real-time)으로 용접 과정 중 발생하는 결함을 측정하고 용접공정 제어를 위한 자료로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 박현성, 이세현, 정경훈, 박인수, "고출력 CO₂ 레이저 용접시 포토 다이오드를 이용한 플라즈마와 스패터 모니터링", 한국레이저가공학회지, 제2권, 제1호(1999), pp30-37
2. D. Saini and S. Floyd, "An Investigation of Gas Metal Arc Welding Sound Signature for On-Line Quality Control", Welding Journal, Vol.77, No.4(1998), pp172-179
3. Arata, Y., Inoue, K., Futamata, M., and Toh, T., "Investigation on welding arc sound", Transaction of JWRI(1979), pp25-38
4. Kinoue, Y Takashi and J Zhang, "Measurement of arc sound with burn-through in MAG welding", Welding International, Vol.7, No.10(1993), pp770-775
5. W. Wang, S. Liu, J. E. Jones, "Flux cored Arc Welding : Arc Signals, Processing and Metal Transfer Characterization", Welding Journal, November(1995), pp360-377