
레이저 용접품질 검사기법 개발을 위한 시뮬레이션 툴과 이를 이용한 감시 시스템의 개발

이명수*.권장우*.길경석**

Development of a Simulation Tool and a Monitoring System
for Laser Welding Quality Inspection

Myung-su Lee* . Jang-woo Kwon* . Gyung-suk Kil**

요 약

본 연구에서는 플라즈마 감시에 의한 용접성 평가방식과 효율적인 감시 알고리즘을 위한 시뮬레이션 툴의 개발을 목표로 한다. 레이저 용접시 발생하는 플라즈마를 검출하기 위하여 플라즈마에서 발생하는 자외선신호를 반도체 광센서를 사용하여 검출하고, 감시장치로 쓰이는 개인용 컴퓨터에 고속으로 전달, 저장하는 장치와 전달된 신호를 이용하여 용접 결함을 검출하는 모니터링 시스템을 개발하였다. 이 장치를 사용하여 용접 데이터베이스를 구축하고, 용접성과 플라즈마 신호와의 관계를 평가하고, 분석하였으며 특히 용접 결함 검출 모니터링에 적합한 특징의 선택, 결정을 위한 특징의 수, 분류기 사이의 비교 등을 위하여 오프라인 상태에서 시스템 구현에 적합한 특징의 선택, 결정을 위한 특징의 수, 분류기 사이의 비교 등을 비교 분석할 수 있는 시뮬레이션 툴의 개발과 이를 실제 시스템에 구현하는 방식을 취하였다. 목표로 하고 있는 시스템은 신뢰성 있고 효율적인 레이저 용접 결함 감시 시스템이며 이의 구현을 위해 용접 품질 모니터링 프로그램 중 분류기와 GUI를 구현하였으며 Perceptron, Wavelet, MLP 등을 적용하여 이의 결과가 실제 실시간 품질 해석에 적합한 데이터로 사용할 수 있는가에 대한 분석도 행하였다.

ABSTRACT

Neural networks are shown to be effective in being able to distinguish incomplete penetration-like weld defects by directly analyzing the plasma which is generated on each impingement of the laser on the materials. The performance is similar to that of existing methods based on extracted feature parameters. In each case around 93% of the defects in a database derived from 100 artificially produced defects of known types can be placed into one of two classes: incomplete penetration and bubbling. The present method based on classification using plasma is faster, and the speed is sufficient to allow on-line classification during data collection

키워드

레이저, 용접, 신경회로망, 신호처리, 검사

*동명정보대학교 컴퓨터공학과
접수일자 : 2001. 11. 29

**한국해양대학교 전기공학과

1. 서론

본 연구에서는 레이저 용접에 있어서 신뢰성 있고 효율적인 플라즈마 광의 특성을 이용한 레이저 용접 결합 판정용 지능형 알고리즘의 개발 및 이를 위한 분석기 개발을 목표로 하고 있다.

레이저 용접 프로세스 중에 발생하는 결합의 감시에는 크게 용접 비트 및 용융풀의 형상을 해석하는 영상해석법, 용접 중에 발생하는 용접임을 분석하는 음파해석법과 고온의 플라즈마에서 발생하는 광을 분석하는 광분석방식의 3가지 방식이 보고되고 있다.[1][2][3][4][6] 이중에서도 플라즈마에서 발생하는 광을 탐지하여 용접성을 감시하는 광분석 감시기법은 현재까지는 가장 신뢰성이 있다고 알려져 있으며, 산업적으로도 응용되고 있으며 이에 관련된 연구가 진행되어 왔다.[5][7][11][12][13] 그러나 기존의 연구들은 단편적인 특징값만을 사용하여 분류를 수행하였고 특징의 선택, 결정을 위한 특징의 수, 분류기 사이의 비교 등 체계적인 연구가 수행되지 못하여 다양한 형태의 용접 결합을 검출하는데 종합적인 해결 방안을 제시하지 못하고 있다.[8][9][10] 본 연구에서는 이를 해결하기 위하여 시스템 구현에 적합한 특징의 선택, 결정을 위한 특징의 수, 분류기 사이의 비교 등을 비교 분석하고 실제 용접 결합을 검출할 수 있는 용접 품질 검사 툴과 이를 이용한 용접 품질 감시 시스템의 개발을 목표로 한다.

II. 시뮬레이션 툴과 이를 이용한 감시 시스템의 구성

본 연구에서는 용접 결합 판정을 위한 분석 장치로 용접 품질 검사 툴을 제시한다. 이 툴은 기존의 데이터 베이스와 연계성을 고려하여, 통합적인 데이터 베이스 및 데이터 분석 시스템으로 활용이 가능하도록 했다. 그 결과, 시스템 설계시 모든 데이터를 제작된 데이터 베이스에 추가하여 각종 분석 기능을 적용 가능할 수 있게 한다.

본 용접 품질 검사 툴은 용접 결합 판정의 체계적인 접근 방법을 사용하기 위하여 디지털 신호처리, 인공지능 기법을 포함하는 종합적인 데이터 분석 기구로 사용되어 기존의 연구들에서 부족하였던 영역별 특징

변수의 분리도와 특징 변수의 종류와 수에 관한 연구가 가능하며 특징 변수 추출, 특징값 선택, 분류기의 선택 등에 따른 인식률 등 용접 결합 검출에서 발생하는 많은 시행착오를 최소화하여 개발에 걸리는 시간적 경제적 노력을 줄일 수 있도록 하며 추후의 유사 연구와의 연계가 가능하도록 제작되어 초기 데이터 분석에 걸리는 시간과 노력을 최소화 할 수 있게 된다.

이 용접 품질 검사 툴은 용접 결합 판정을 위한 작업에 초점을 맞추었으나 사용자 정의 함수의 변경 등의 기능이 추가될 경우 다른 신호 처리 분야에 직접적으로 적용 가능한 유연성을 가질 수 있다. 제안하는 용접품질검사 툴은

- Data Acquisition & Save module
- Signal Editing Module
- Signal View Module
- Digital Signal Processing & Feature Extraction module
- Feature Design Module
- Classifier Design Module
- Simulation & Evaluation Module

등의 프로그램 모듈로 구성되며, 데이터의 특성을 비교 분석한 뒤 이들 데이터를 종합적으로 관리 분석할 수 있는 분석 장치로서의 역할을 수행한다.

개발한 감시 시스템은 그림 1에 나타나 있으며 그림에서 나타나는 것처럼 전체 구성은 DSP 보드와 Host PC로 구성되고 전체 처리과정은 판정방식 결정을 위한 특징벡터 추출 및 결정과 시뮬레이션으로 구성된다.

시뮬레이션은 MATLAB에서 이루어지며, MATLAB을 통한 비교 분석에 이용된 방식이 실제 용접 결합 감시 시스템을 위한 분류 결정 방식이 되고 이를 토대로 실제 프로그램이 구현되게 된다.

실시간 판정을 위해서는 NC 기기에서 입력되는 플라즈마 신호가 DSP 보드로 입력되면 8[kh]로 샘플링한 뒤 실제 용접 상태 판별에 사용된다. 실제 구현한 후 판정 결과는 현재 비파괴 검사, 육안 검사 등의 평가 방법을 통해 실제 분류율을 검증하게 된다.

본 연구에서는 그림1에서 나타나는 것처럼 용접 품질 검사 툴에서 비교 분석된 분류 결정 방식에 의해

실제 용접 결합 감시 시스템의 프로그램이 구현되므로 상호 보완적이며 분리될 수 없는 구조를 이루게 된다.

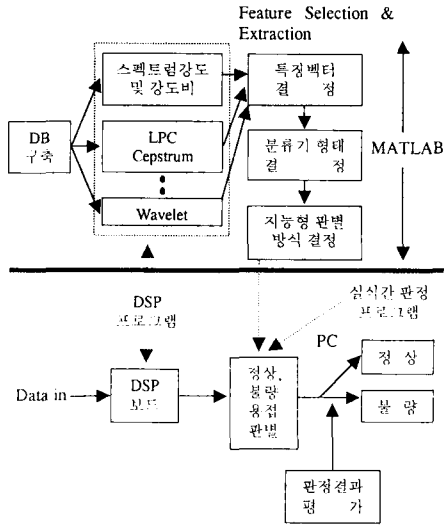


그림 1. 데이터 처리 구성도
Fig. 1 Data Processing Configuration

III. 하드웨어 시스템의 구성

시스템은 플라즈마와 광 검출기사이의 거리 및 자세를 조정하기 위한 기구 및 광 검출기로 구성된 센싱 헤드부, 광 검출기로부터 취득된 신호를 증폭하고, A/D변환하여 여파한 후 컴퓨터로 전송하는 기능을 갖는 신호처리부, 전송된 신호를 취득하여 파일로 저장하고 관리, 분석하는 퍼스널 컴퓨터, JTAG 통신보드 및 디지털 입출력보드로 구성된 주처리부로 구성된다.

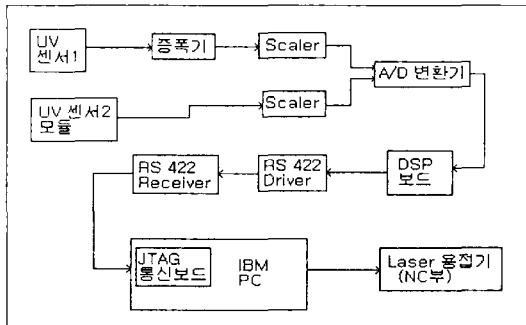


그림 2. H/W 시스템의 구성도
Fig. 2 H/W System Configuration

시스템 구성의 특징은 센서와 증폭기의 거리를 최대한 짧게 하고, 신호처리부와 주처리부사이의 연결을 디지털로 처리하여 잡음의 간섭을 최대한 억제한 점이다. 감시 시스템의 구성도를 그림 2에 표시하였다. 그림 2에서 UV 센서1은 용입불량을 탐지하는 자외선 센서로서 190-550[nm]의 파장영역을 갖는 하마마쓰사의 B1961을 사용하였고, UV 센서 모듈2는 기포 및 판재간 틈새이탈을 탐지하는 센서로서 210-380[nm]의 파장영역을 갖고, 증폭부와 200[Hz]의 저역통과필터를 포함하는 Laser component사의 JICO1E18을 선정하였다.

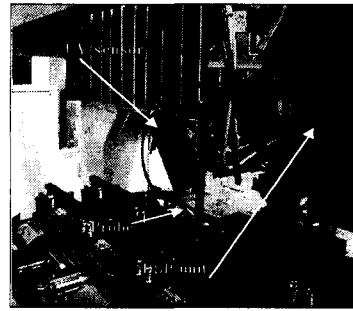


그림 3. UV 센서와 DSP Unit
Fig. 3 UV Sencer and DSP Unit

증폭기는 3[dB] 감쇄점이 1.6[kHz]인 하마마쓰사의 C2719라는 증폭기를 선정하였고, 출력은 $\pm 15[V]$ 의 외부 전원 공급을 받을 때, $\pm 10[V]$ 이므로 DSP보드에 있는 A/D변환기의 입력범위 3[V]와 차이가 생기며, 이를 정합시키기 위하여 전압변환기를 사용하였다.

IV. FFT와 Wavelet을 이용한 용접 불량 검출 알고리즘

3.1 FFT

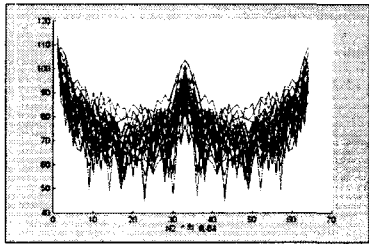
본 연구에서는 실제 H/W에 장착될 수 있는 실제 구현을 중심으로 연구를 수행하였고 Wavelet과 FFT를 적용하여 특징벡터를 산출하였고 FFT의 경우 실시간 구현이 가능한 64 포인트 FFT를 실시했다. 데이터 처리를 위하여 용접시 발생하는 데이터를 8[kHz]로 샘플링하여 자료를 취득한다. 취득된 자료는 실시간으로 64개씩 분리되어진다. 이때 중요한 것은 실시간적으로 처리가 되므로 시간적 처리를 중점을 두고 하여야 하는 것이다. 시간에 따라 취득된 자료의 손실률이

많은 차이를 보이기 때문이다. 이 데이터들은 그 고유한 파형을 가지고 있고 그에 따라 후에 보고되는 방법에 따라 정상, 용입불량으로 분류되어진다. 구해진 자료들에 대하여 각각 FFT를 하여 파워 스펙트럼을 구하고 그 데이터들을 로그 스케일을 하여 파워 스펙트럼을 구한다. 이렇게 구해진 파워 스펙트럼을 32개씩 더하여 평균을 낸다. 이렇게 구해진 자료는 분리할 수 있는 기초자료로 활용한다. 이 자료를 그룹별로 정상 그룹, 용입불량 그룹으로 나누어 최종적으로 동일한 그래프 영역에 표기함으로써 특성 구분이 용이하도록 한다. 이렇게 구해진 그래프는 아래의 그림들과 같다. 현재 여기에서 몇 가지 다른 파형과 상이한 파형이 보이는데 이런 파형들은 Neural network을 거치면서 학습되어져 걸러지게 된다.

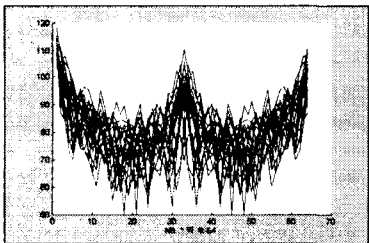
1.1.1 정상과 용입불량 분리 알고리즘

정상, 용입불량의 경우는 파워 스펙트럼의 64FFT (8[msec])를 수행한후 이를 32회 누적한후 평균을 내어 파워 스펙트럼의 형태가 로그 스케일로 보았을 때 특정한 주파수 대역에서 분포의 형태가 상이한 것을 확인하고 이에 대한 정량적 분석을 행한다.

- 샘플링 율 : 8[kHz]
- FFT point : 64

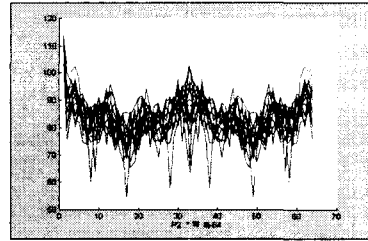


(a) 정상신호 N2

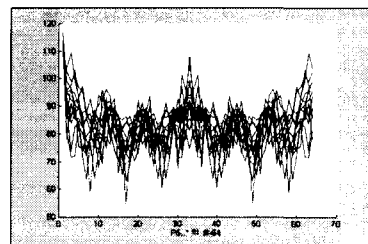


(b) 정상신호 N5

그림 4. 정상인 신호들(N2, N5)의 FFT 결과를 중첩한 그림
Fig. 4 Overlapped FFT coefficients figure of the normal signal



(a) 용입불량 신호 P2



(b) 용입불량 신호 P5

그림 5. 용입불량인 신호들(P2, P5)의 FFT 결과를 중첩한 그림
Fig. 5 Overlapped FFT coefficients of incomplete penetration signal

3-2 Discrete Wavelet Transform(DWT)

Wavelet 변환은 최근에 비정체적인 신호해석에 효과적인 도구로 사용되어지고 있다. 특히 푸리에(fourier)변환영역과 시간영역을 동시에 해석할 수 있기 때문에 자연계의 신호에 대한 시간 변이와 주파수 변이를 해석할 수 있다.

3-2-1 Wavelet을 이용한 용접 불량 검출 알고리즘

실제 DWT에 사용되는 Wavelet 함수는 굉장히 다양하게 존재하는데, 여기서는 Daubechies의 Wavelet 함수를 사용하였다. 시뮬레이션은 MATLAB에서 행하였으며 이곳에서 비교 분석된 분류 결정 방식에 의해 실제 용접 결함 감시 시스템을 위한 방식이 결정되고 이를 토대로 실제 프로그램이 구현되게 되며 실시간 판정을 위해서는 NC 기기에서 입력되는 플라즈마 신호가 DSP 보드로 입력되면 8[kHz]로 샘플링한뒤 실제 용접 상태 판별에 사용된다. 우선 8[kHz]로 샘플링한 파일을 신호의 값을 1024개씩을 분리하여 MATLAB을 사용하여 DWT를 적용한다.

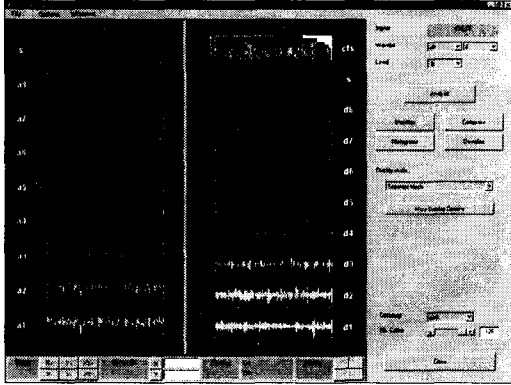


그림 6. 정상인 파형을 DWT에 적용한 그림
Fig. 6 DWT applied results of normal signal

그림 6과 7에 DWT를 적용한 결과를 나타내었다. 그림 6은 정상인 신호에 대하여 MATLAB상에서 DWT를 적용한 결과를 나타내며 그림 7은 용입불량인 신호에 대하여 MATLAB상에서 DWT를 적용한 결과를 나타낸다. 그림 6과 7에서 레벨의 변화에 따라 정상인 신호와 용입불량의 신호에서 약간의 차이가 감지되나 이를 Neural network의 입력값으로 선정하여 실제적인 분류 실험을 행한 결과 산업현장에 적용할 만큼 신뢰성을 가지지 못하였다.

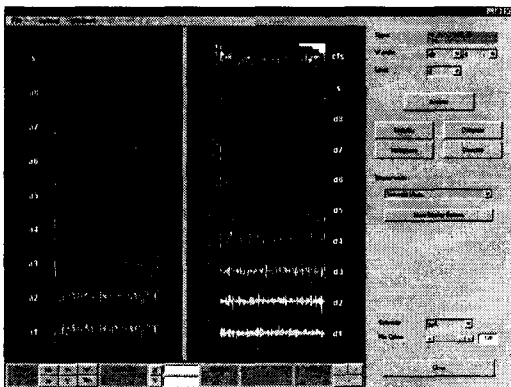


그림 7. 용입불량인 파형을 DWT에 적용한 그림
Fig. 7 DWT applied results of incomplete penetration signal

V. GUI를 이용한 모니터링 프로그램의 구현

5.1 전체 프로그램의 구성

프로그램의 구현은 Visual C++에서 작성을 했으며, 전체적인 구조는 아래의 표 1과 같다

프로그램은 다음과 같은 특징에 주안점을 두고 설계하였다.

- ① 가상적인 판재의 모형 Display로 실시간 적으로 판정 가능
- ② 데이터 획득시 실시간 그래프를 표시 가능
- ③ 가상 시편 디스플레이 화면에서는 판정의 결과와 얼마간의 거리를 판정하였는지와 실행 환경을 표시
- ④ 가공 조건은 사용자가 쉽게 확인가능하고 수정 가능

표 1. Program 구성

Table. 1 Program module configuration

Menu	Sub Menu1	Sub Menu2
파일	종료	
Data Acquisition	On-line Acquisition	Graph Display
		Start
		Stop
Data Acquisition	Off-line Acquisition	Graph Display
		Start
		Stop
용접 품질 판정	퍼셉트론	Start
		Stop
	확률모델	Start
		Stop
	MLP(백프로파게이션)	Start
		Stop
데이터 분석	FFT	Start
		Stop
	LCP	Start
		Stop
	확률모델	Start
		Stop
	백 프로파게이션	Start
		Stop
환경	Weight 설정	
	용접 환경 설정	
Print	인쇄	
Help	Tbms Information	

전체 프로그램의 Display는 아래와 같다.

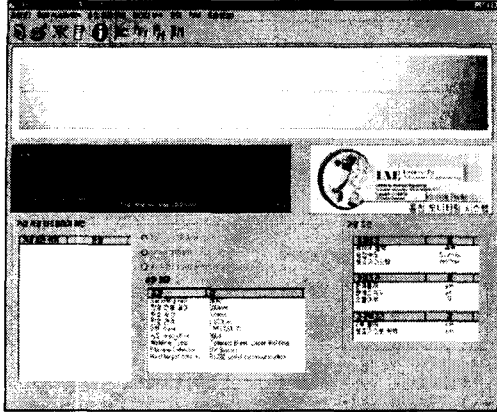


그림 8. 전체 사용자 인터페이스 모드
Fig. 8 User interface mode

5.2 메뉴 구성

5.2.1 데이터 획득 메뉴

데이터 획득은 두 가지의 방법이 있다. 하나는 온라인 획득이며 다른 하나는 오프라인 획득이다. 이 둘을 구분하는 이유는 타겟 프로그램에서 차이를 보이는데 온라인 획득은 DSP 보드에서 데이터를 받음과 동시에 Host PC에 바로 데이터를 전송한다. 하지만 오프라인 획득은 DSP 보드에서 타이머를 걸어 일정한 시간이 지나면 데이터를 RAM에 저장하였다가 Host PC에 전송을 해준다(메뉴의 그림은 아래를 참조).

그림 9는 온라인 및 오프라인 신호 획득 모드시의 화면 인터페이스를 나타내며, 이 기능은 실제 실시간 판정이 아닌 데이터 분석을 위하여 데이터를 온라인 상과 오프라인 상에서 획득할 수 있도록 구성된 메뉴이다.

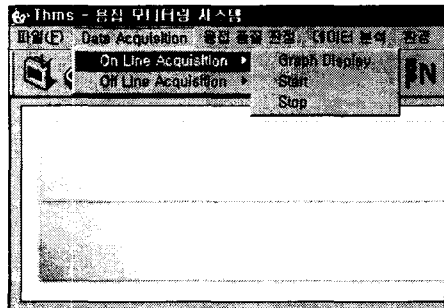


그림 9. 온라인 신호 획득 모드
Fig. 9. Online data acquisition mode

5.2.2 용접 품질 판정 메뉴

그림 10에서 나타난 것처럼 용접 품질 판정 메뉴에는 3종류의 실시간 알고리즘이 제시되어 있다. 먼저 Perceptron, 확률 모델 그리고 MLP이다. 실제로 Display되는 모습은 아래의 그림과 같으며 3 종류의 메뉴 중에서 하나를 실행하면 가상 시편이 간격을 그리며 정상과 용입불량을 구별한다.

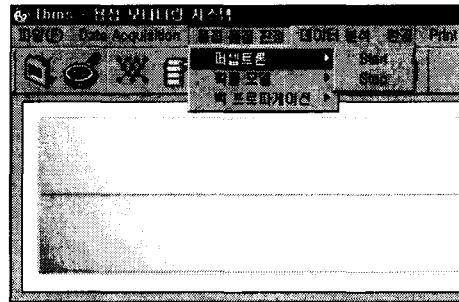


그림 10. 퍼셉트론 모드
Fig 10. Perceptron mode

5.3 데이터 분석 메뉴

데이터 분석 메뉴는 데이터 획득에서 얻어낸 데이터를 가지고 보다 좋은 용접 품질 판정을 하기 위해서 알고리즘을 만들 수 있도록 하는 메뉴이다. 그림 11에 데이터 분석 메뉴가 나타나있다. 데이터 분석에는 여러 가지가 있지만 그 중에서 FFT, LPC, 확률 모델, MLP(Multi Layer Perceptron)가 구현이 되어있다.

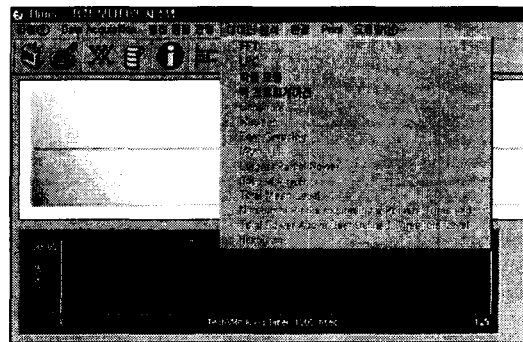


그림 11. 데이터 분석 모드
Fig 11. Data analysis mode

V. 실험 및 결과

6.1 FFT를 이용한 실험 및 결과

생성된 학습용 파일을 이용하여 MATLAB에서 Neural network 툴박스를 이용하여 학습을 시킨 후 테스트 파일을 이용하여 분류 실험을 수행하였다.

6.1.1 Network의 구조

Neural network는 MLP를 사용하였으며 구조는 다음과 같다.

- 입력 노드수 : 64개(32개의 똑같은 데이터를 가지고 있지만 학습의 효율을 위해 64개 그대로 이용)
- 히든 노드수 : 입력 노드에 걸린 데이터의 양에 따라 자동으로 조절되며, 약 20개 정도임
- 출력 노드수 : 1개(두개의 구분이므로 0과 1로 표시)
- 학습용파일수 : 100개(학습용 데이터는 랜덤하게 입력)

테스트용 파일수 : 정상 410, 용입불량 390

6.1.2 학습용, 테스트용 파일 만드는 방법

8[khz] 로 추출된 약 80000개의 데이터를 64개씩 쪼개어 낸다. 이렇게 쪼개어진 자료는 먼저 실제 데이터 인지 구분을 하게 되고 사용 가능한 데이터이면 FFT를 하고 로그 스케일하여 32개의 파형을 누적시킨다. 이렇게 생성된 자료를 하나의 파일에 저장함으로 학습용 또는 테스트용으로 사용한다. 실제 온라인 실험에서는 입력되는 신호의 에너지 레벨을 비교하여 자동으로 용접신호의 입력을 감지하도록 시스템을 구성하였다.

6.1.3 실험

앞서의 그림들에서 알 수 있듯이 정상, 용입불량의 데이터들에서 평균치를 살펴보았을 때는 파형들이 주파수 성분에 따라 다른 형태를 보이고 있다. 따라서 이들 파형 모양의 특성에 따라 정상, 용입불량을 분리할 수 있도록 Neural network에 분류 실험을 행하였다.

현재 기초자료로 사용되고 있는 정상 데이터와 용입불량 데이터 중에서 용입불량의 경우는 용접조건을 변화시켜가며 인공적인 용입불량 데이터를 발생시켜 취득한 것이며 인식률은 아래와 같다. 인식률은 정상인(n 데이터) 경우 전체 인식률이 총 410개의 데이터 중 401개를 정확히 분류하여 $98\%(401/410 \times 100 = 98\%)$ 의 인식율을 보였고, 용입불량(p 데이터)의 경우는 전체 인식률 $93\%(391/390 \times 100 = 93\%)$ 를 보였다.

6.2 Wavelet을 이용한 실험 및 결과

6.2.1 Neural network을 이용한 실험 결과

제2장에서처럼 입력 벡터가 결정이 되고 나면, 패턴 분류를 위해서 퍼셉트론을 적용하게 된다. 실험은 크게 두 가지로 나뉘게 되는데 첫 번째 실험은 데이터의 특성 검출을 위하여 데이터 파일들의 초기 1024개의 데이터만을 대상으로 용접 품질 검사를 위한 용접 신호의 특징 벡터 추출에 Wavelet 적용을 하였다.

두 번째는 데이터 파일 전체에 대하여 Wavelet 적용을 하여 그 가능성을 살펴보았다. 그림 12에 나타난 것처럼 정상은 98%의 높은 결과를 보였지만 용입 불량은 70% 미만의 저조한 인식률을 보였다.

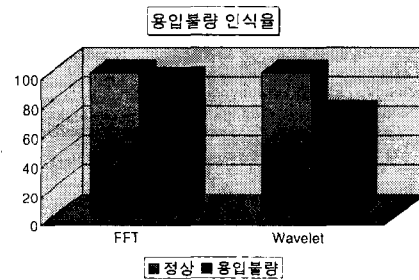


그림 12. FFT와 웨이브렛을 이용한 분류 결과
Fig 12. Discrimination result of using FFT and wavelet algorithm.

6.2.2 검토 및 고찰

샘플링한 파일 각각의 첫 부분의 Wavelet을 적용하여 입력 벡터로 한 경우 인식률의 향상을 가져왔지만 용접시 발생하는 플라즈마 자체가 정주성을 가지고 있지 않으므로 이를 데이터 파일 전체에 적용할 수는 없고 전체 데이터 파일에 대하여 Wavelet을 적용하여 이를 분류기의 입력 벡터로 사용한 경우는 저조한 인식률을 나타냈다. 또한 한 파일에 대해서 Wavelet을 적용한 값의 평균하는 방식을 적용해 보았지만 이 역시 별 효과를 보지 못하였다.

좀 더 일반적이고, 신뢰성을 높이기 위해서는 더 많은 실험을 실시하고, 더 많은 데이터를 획득하여 보다 높은 신뢰성을 보여야 하며 데이터 판별 방식에 있어서 퍼셉트론 뿐만 아닌 보다 효율적이고 다양한 판별 방식을 이용하여 보다 좋은 알고리즘의 추가 연구가 이루어져야 하겠다.

Ⅶ. 결론

플라즈마 신호의 감시를 통한 레이저 용접품질의 해석 및 평가에서 가장 중요한 것은 신호 취득의 충실도와 신호를 오염시키는 잡음의 제거이다.

본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위한 실제적인 구현방식으로 광 검출기와 근접한 위치에 A/D변환 및 전원잡음 제거기능을 갖는 전처리 신호처리를 설치하고, 디지털로 변환된 데이터를 IEEE 1149표준과 RS422 통신 방식을 혼합한 통신방식을 고안하여 잡음 내성이 강한 고속 데이터전송을 하여 주 감시기에 저장하는 분산처리 시스템을 제시하였고, 실험을 통하여 그 타당성을 검증하였다. Wavelet을 플라즈마 용접 신호에 적용하여 본 결과 분류기의 입력 벡터로 사용하기에는 일차적으로 적절하지 않다는 결론을 얻었는데, 이는 실시간 용접 품질검사에 많은 데이터의 계산량을 요구하고 있으며 많은 계산량에 비하여 상대적인 이득이 적기 때문이다. 실험에서 알 수 있듯이 신호의 주파수 성분을 특징 벡터로 사용하여 MLP에 적용시켜본 결과 정상인(n 데이터) 경우 전체 인식률은 98%, 용입 불량(p 데이터)의 경우 전체 인식률은 93%로 얻을 수 있었다. 하지만 이 실험 결과는 저장된 데이터들을 대상으로 실시한 것이므로 실제 용접 환경에서는 상이한 결과가 발생할 수도 있다.

본 연구 결과는 전체 용접품질 모니터링 시스템의 프로토타입이 완성되었다는데 그 의미가 있다하겠다. 완성된 프로토타입은 데이터베이스가 확대되어 나갈 때 실제 용접 환경에 쉽게 접근할 수 있는 장점을 가지고 있으므로 연구의 속도가 가속될 수 있다는 장점을 가지고 있다.

좀더 일반적이고, 신뢰성을 높이기 위해서는 더 많은 실험 데이터의 확보가 중요하고 이를 토대로 데이터의 체계적인 분석을 통하여 좀더 신뢰성있는 시스템의 구축이 계속 시도되어야 한다.

참고문헌

- [1] D M Roessler et al, "Laser Material Processing in General Motors Corporation", Proceedings of 25th International Symposium on Automotive Technology and Automation, pp.37-51, Jun. 1992
- [2] Seiji Katayama, "Formation Mechanism and Prevention of Defects in Laser Welding", Preceeding of the 6th Symposium on Laser Processing, pp.29-45, Nov 1995
- [3] 윤충섭 등, "레이저 용접에서의 On-line process monitoring 방법과 플라즈마와 음파의 관계", Preceeding of the 6th Symposium on Laser Processing, pp.251-262, Nov 1995
- [4] U Schnars et al, "Quality Assurance of Laser Beam Welding by Evaluation of Plasma Density Fluctuation", Proceedings of 25th International Symposium on Automotive Technology and Automation, pp.103-109, Jun. 1992
- [5] 방세운 등, "광센서를 이용한 레이저용접공정 모니터링", '96년도 한국정밀공학회 추계학술대회논문집, pp.474-478, 1996. 11
- [6] B. Seidel et al, "Quality Assurance and Advanced use of Process Gas by means of Process Monitoring and Control for Laser Beam Welding", DVS 163, pp.240-248
- [7] 레이저기술, pp63-64, 1996.12
- [8] N.E. Longinow et al, "Development of a Neural Network Based Real Time Control for Laser Welding", SPIE Vol. 1094 Thermosense XI, pp93-102, 1989
- [9] Willis J. Tompkins, Biomedical Digital Signal Processing, pp174-179, Prentice Hall Int.,Inc, 1993
- [10] Donald R.J. White, Electromagnetic Interference and Compatibility, Vol. 3, 1973
- [11] 日産自動車株式會社, 용접상태의 모니터장치, 일본특허 特開平5-77074, 1993
- [12] 日産自動車株式會社, 용접장치, 일본특허, 特開平7-290260, 1995
- [13] A.M.Kondoz, "Digital Speech: Coding for Low Bit Rate Communications System", John Wiley & Sons, 1994



이명수

1978년 1월 19일생
2000년 2월 동명정보대학교 컴퓨터
공학과 졸업(공학사)
200년 2월~현재 동 대학원 컴퓨터
공학과 석사과정 2년차



권장우

1968년 4월 15일생
1990년 2월 인하대학교 전자공학과
졸업(공학사)
1992년 2월 동 대학원 전자공학과
졸업(공학석사)
1996년 8월 동 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
1996년~1998년 특허청 심사관
1998년 3월~현재 동명정보대학교 컴퓨터공학과 조
교수

길경석

1962년 6월 30일생
1984년 2월 인하대학교 전기공학과 졸업(공학사)
1987년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)
1996년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)
1996년 4월~현재 한국해양대학교 전기전자공학부 조
교수