

# 레이저 용접품질 해석용 플라즈마 감시장치 개발

권 장우<sup>\*</sup>, 권 오상<sup>\*\*</sup>, 장 영건<sup>\*\*\*</sup>, 이 경돈<sup>\*\*\*\*</sup>, 홍 승홍<sup>\*\*\*\*\*</sup>

\*동명정보대학교 컴퓨터공학과, \*\*건양대학교 제어계측공학과, \*\*\*청주대학교 컴퓨터  
정보공학부\*\*\*\*고등기술원 생산기술 연구실,\*\*\*\*\*인하대학교 전자공학과

## Development of Plasma Monitoring System for Laser Welding Quality Analysis

Kwon Jangwoo<sup>\*</sup>, Kwon Ohsang<sup>\*\*</sup>, Jang Younggun<sup>\*\*\*</sup>, Lee Kyungdon<sup>\*\*\*\*</sup>, Hong Seunghong<sup>\*\*\*\*\*</sup>

\*Dept. of Computer Eng. Tongmyong Univ. of Info. Tech. \*\*Dept. of Control & Instrumentation Eng.  
Chongju Univ. \*\*\*Dept. of Computer Eng. Konyang University.

\*\*\*\*Dept. of Manufacturing Technology, IAE \*\*\*\*\*Dept. of Electronic Eng. Inha Univ.

E-mail : jwkwon@tmic.tit.ac.kr

### 요 약

본 연구에서는 플라즈마 감시에 의한 용접성 평가방식을 채택한다. 플라즈마에서 발생하는 자외선신호를 반도체 광센서를 사용하여 검출하고, 감시장치로 쓰이는 개인용 컴퓨터에 고속으로 전달, 저장하는 장치를 개발한다. 이 장치를 사용하여 용접 데이터베이스를 구축하고, 용접성과 플라즈마 신호와의 관계를 평가하고, 분석할 것이다. 이 분야에 대한 연구동향을 요약하면 표2와 같다. 그러나 이 연구들은 모두 사용한 장치의 특성, 플라즈마발생원에 대한 센서의 상대적 위치 및 자세와 획득 신호와의 관계, 용접할 때 발생하는 열의 센서에 대한 영향, 잡음이 취득된 신호에 미치는 영향 및 회피방법 등에 대한 언급이 없다. 따라서 논문에 실린 신호의 파형은 대부분 일관성이 없으며, 참고가 어렵다. 본 연구에서는 이러한 관계를 도출하고, 특히 잡음의 영향을 최소화하는 장치화에 주안점을 둔다.

### Abstract

We develop plasma monitoring system which detect plasma signals and store them for Laser welding quality evaluation and analysis using photo detector. The most fundamental and important aspects in such a system are signal restoration fidelity, noise immunity and noise cancelation capability. In this paper, we propose implementation method using distribute processing structure and hybrid digital communication for high noise cancelation capability, immunity and signal fidelity which are poorly presented in other researches.

Lab experimental results and welding experimental results show a effectiveness of proposed method and plasma data is stored with 256 kbps without any communication error. we are implementing various welding defect recognition algorithm in this system.

### I. 서론

레이저 용접은 가장 효과적이고 잠재적인 결합 프로세스로서 간주되고 있으며, 산업현장에 적용되는 레이저 용접기의 수가 크게 증가하고 있다<sup>[1]</sup>. 레이저 용접기의 특성, 용접현상이나 레이저 재료의 상호 반응, 용접조건의 효과 및 재료의 성질 등에 대한 종합적 지식의 부족으로 다양한 용접 결함이 일어날 수 있다<sup>[2]</sup>.

생산 현장에서는 최적의 용접조건을 도출하고, 그 조건을 유지하므로 용접 결함은 레이저 용

접기의 특성변화 및 신뢰성 저하, 공급되는 재료의 오염, 지그의 오동작 및 용접기의 부적절한 보수에 의하여 발생한다. 공급되는 판재는 절단상태가 달라질 수 있고, 판재상에 흠집과 같은 기계적 손상, 부식 또는 윤활유에 의한 오염 등 여러 요인에 의해 용접결함이 발생된다<sup>[4]</sup>.

산업용으로 쓰이는 용접결합 감시는 용접비드의 형상을 해석하여 결함을 탐지하는 영상감시<sup>[1]</sup>와 용접할 때 발생하는 플라즈마를 검출하여 해석하는 플라즈마 감시<sup>[3,6,11]</sup>가 대표적인 방식이다. 이 방식들은 독립적으로 적용할 때에는 결함의

종류에 따라 탐지의 난이도가 달라 상호보완적인 방식이라고 볼 수 있다. 영상감시방식은 용접중에는 적용하기 어렵고, 용접공정이 끝난 다음에 검사공정에서 결함을 검출하므로 라인이 길어지고, 공정간에 지연시간이 발생하여 작업물의 종류에 따라 생산성이 떨어지는 적용상의 단점이 있다. 영상감시와 플라즈마 감시방법에 대하여 용접결합의 종류에 따른 검출 난이도를 표 1에 표시하였다.

본 연구에서는 플라즈마 감시에 의한 용접성 평가방식을 채택한다. 플라즈마에서 발생하는 자외선신호를 반도체 광센서를 사용하여 검출하고, 감시장치로 쓰이는 개인용 컴퓨터에 고속으로 전달, 저장하는 장치를 개발한다. 이 장치를 사용하여 용접 데이터베이스를 구축하고, 용접성과 플라즈마 신호와의 관계를 평가하고, 분석할 것이다. 기존의 연구들은 모두 사용한 장치의 특성, 플라즈마발생원에 대한 센서의 상대적 위치 및 자세와 획득 신호와의 관계, 용접할 때 발생하는 열의 센서에 대한 영향, 잡음이 취득된 신호에 미치는 영향 및 회피방법 등에 대한 언급이 없다. 따라서 논문에 실린 신호의 파형은 대부분 일관성이 없으며, 참고가 어렵다. 본 연구에서는 이러한 관계를 도출하고, 특히 잡음의 영향을 최소화하는 장치화에 주안점을 둔다.

플라즈마 감시장치구현에 있어서 가장 큰 문제점은 고속의 데이터 전송과 잡음의 제거이다. 플라즈마가 검출되는 레이저 용접기와 주 감시기인 개인용 컴퓨터간의 거리는 수m에 달하고, 광검출기에서 검출된 플라즈마 신호의 전류변환값은 수십  $\mu$ A정도의 매우 작은 전류이므로 용접기에서 검출된 플라즈마신호를 개인용 컴퓨터에 아날로그 값으로 전달하면 신호의 감쇠, 왜곡이 발생하여 유용한 정보가 유실되며, 외부 잡음에 취약하여 오염이 되는 것을 피하기 어렵다. 이러한 신호의 감쇠와 왜곡을 방지하고, 잡음에 의한 신호의 오염을 막기 위하여 광 검출기와 근접한 곳에 디지털 신호처리기를 설치하여 일차적 신호처리를 하고, 처리된 신호특징들을 주 감시기로 전송하여 주 감시기에서 결합여부를 결정하는 구조를 취하였으며, 신호처리기와 개인용 컴퓨터 사이의 정보전달은 디지털 동기 방식을 채택한다.

## II. 시스템의 구성

시스템은 플라즈마와 광 검출기사이의 거리 및 자세를 조정하기 위한 기구 및 광 검출기로 구성된 센싱헤드부, 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. 시스템 구성의 특징은 센서와 증폭기의 거리를 최대한 짧게 하고,

신호처리부와 주처리부사이의 연결을 디지털로 처리하여 잡음의 간섭을 최대한 억제한 점이다. 감시 시스템의 구성도를 그림 1에 표시하였다.

표 1. 용접결합의 종류에 대한 감시방법별 검출 난이도

종류	주요 원인	비드영상 처리기	플라즈마 처리기
단차 (mismatch)	- 소재 불량 - 치구의 열변형	○	×
변 스푼	- 소재의 직진도 - 소재의 절단면 각도	○	△
기포	- 소재의 기계적 손상	△	○
비드형상불량		○	○
중첩	- 지그 불량	○	○
침투불량	- 레이저 출력부족	×	○

그림 1에서 UV센서1은 용입불량을 탐지하는 자외선 센서로서 190-550 nm의 파장영역을 갖는 하마마쯔사의 B1961을 사용하였고, UV센서모듈2는 기포 및 판재간 틈새이탈을 탐지하는 센서로서 210-380 nm의 파장영역을 갖고, 증폭부와 200Hz의 저역통과필터를 포함하는 Laser

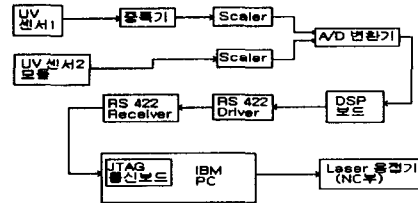


그림 1. 플라즈마 감시시스템의 구성도

component사의 JIC01E18을 선정하였다. 증폭기는 3dB 감쇄점이 1.6kHz인 하마마쯔사의 C2719라는 증폭기를 선정하였고, 출력은  $\pm 15V$ 의 외부 전원 공급을 받을 때,  $\pm 10 V$ 이므로 DSP보드에 있는 A/D변환기의 입력범위 3V와 차이가 생기며, 이를 정합시키기 위하여 전압변환기를 사용하였다. A/D변환된 센서신호는 DSP보드의 버퍼에 저장되며, 저장된 데이터는 PC에 플라즈마 신호의 데이터 저장을 위하여 직렬로 전달된다. 이 두 가지 과정은 동시에 일어난다. PC와 레이저 용접기의 NC부는 24V 릴레이를 통해 접속되며, 용입 불량과 기포가 발생하면 접점을 통해 NC에 보고된다. 경보의 종류는 PC의 화면을 통해서 알 수 있다. 그 외에 용접시작, 용접종료, 감시기의 준비상태를 나타내는 신호의 접속은 레이저 용접기의 제어장치인 NC의 입출력부와 연결된다.

### 1) 센싱헤드

UV센서1으로 사용한 G1961은 용접의 침투 깊이를 추정하는데 사용되며, 스펙트럼 분석법을

사용할 때에 주파수 응답범위가 중요하다. 이 센서는 응답시 상승시간이 10 $\mu$ s이므로 약 50 kHz까지 샘플링이 가능할 것으로 주파수 분석에 문제가 없다. UV센서2 모듈로서 사용한 JIC0,1E18는 센서와 증폭기, 저역 통과 필터로 구성되어 있으며, 센서에 공급되는 전압은 또 다른 센서 및 전압변환기를 고려하여 공통적으로 12V로 하였다.

센싱헤드는 플라즈마의 발생위치를 정확히 지향할 수 있도록 상하방향으로 회전시켜 조절할 수 있고, 탐지되는 신호의 크기와 주변온도 등을 고려하여 플라즈마로부터의 거리를 조절할 수 있는 구조로 설계되었으며, 센싱헤드의 전면에는 두 개의 센서를 부착할 수 있다. 이 센서들은 지향하는 방향을 제외한 방향을 금속으로 차단한 사각의 센싱헤드 내부에 부착되며, 지향하는 방향의 헤드입구에는 유입되는 광의 양을 조절하기 위한 두 개의 금속판이 부착되어, 이 두 금속판 사이의 슬릿을 통하여 광이 유입된다. 따라서 용접할 때 발생하는 열이 센서에 영향을 미치는 것을 효과적으로 차단하며, 센서가 광원과 근접할 경우 센서가 포화되는 것을 막을 수 있다. 센서들은 센싱헤드내에서 독립적으로 좌우 방향으로 회전이 가능하여 플라즈마 지향에 대한 조절이 가능하다.

## 2) 증폭기

UV센서1에 대한 증폭기는 일본 하마마쓰사의 C2719를 사용하였다. 이 증폭기는 광 다이오드로부터 입력되는 광전류를 증폭하는 전류 대 전압 변환 증폭기이다. 증폭기의 전면에 민감도(sensitivity)의 범위를 고감도, 중간감도, 저감도로 선택하는 스위치가 달려져 있으며, 본 시스템에서는 입력전류 범위와 주파수 응답특성(DC~1600 Hz)을 고려하여 중간감도로 결정하였다. 이것은 내부적으로는 고정밀 가변저항기에 연결되어 있으며, 정확한 센서의 신호기준선을 설정하기 위하여 용접실험시에 플라즈마 신호 및 비용접시에 관찰되는 센서의 신호를 관찰하여 결정한다. 일반적으로는 플라즈마 킥의 주 주파수가 500Hz정도<sup>(7)</sup>이고, 유효주파수가 2.5kHz정도<sup>(8)</sup>로 알려져 있다.

## 3) 전압변환기

각 센서의 증폭의 출력 특성과 DSP보드에 있는 A/D변환기의 입력범위를 정합시키기 위하여 전압변환기를 도입하였다. A/D변환기의 입력범위를 2V라 할 때 이득을 0.25로 설정하며, 설계도를 그림 2에 표시하였다.

## 4) DSP보드

DSP보드는 고정소수점 DSP를 사용하였고, 동작주파수는 40MHz이다. DSP보드와 PC에 설치된 JTAG통신 보드와의 접속은 직렬접속을 사용하며, 전기적으로는 RS-422 방식을 채택하였다. JTAG (IEEE 1149-1)표준은 정보기기 및 가전기기의

내장된 마이크로 컴퓨터나 DSP등의 집적회로에 대한 시험성을 향상시키기 위하여 채택된 것으로서, 외부 시험 측정용 기기와 5개의 하드웨어 핀을 통하여 간단히 접속할 수 있다. RS422은 산업용 기기의 고속, 원거리 통신에 많이 사용되는 전기적 규격이다. 따라서 이 방식을 채용한 접속방식은 고속, 내잡음 통신에 장점이 있다.

DSP보드는 DSP에 내장된 메모리 이외에 2

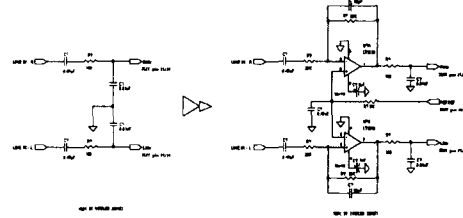


그림 2. 전압변환기의 설계도

KW의 외부 메모리를 장착하고 있어, 신호처리 알고리즘을 구현한 프로그램을 저장할 수 있다. 따라서 프로그램은 샘플링 주파수 8 kHz라는 시간적 제약과 메모리 크기 2 KW라는 프로그램 크기의 제약을 만족해야 한다. 프로그램은 시스템 초기화 후에 PC로부터 다운로드되며, 사용이 종료될 때까지 유지된다. DSP에는 우선적으로 60Hz 전원잡음 제거를 위한 필터가 구현되며, 용접성 평가를 위한 침투깊이 추정 알고리즘이 구현될 것이다. DSP 칩은 삼성전자의 SSP 1605를 사용하였다. 본 연구에서는 2 채널의 센서신호를 신호대역폭이 5 kHz까지는 분석해야 하므로 샘플링 주파수를 8 kHz로 선정하였고, 최소한의 데이터 전송률은  $8 \text{ k} \times 16 \text{ (A/D 크기)} \times 2 \text{ (채널)}$  인 256 kbps 이상이 되어야 한다. JTAG방식으로 구현된 보드의 최대 데이터 전송률은 PC의 하드디스크를 사용할 때 최대 50 k × 16 이고, PC 및 하드디스크의 성능, 전송선로의 길이 및 품질에 따라 성능이 저하된다.

## III. 잡음의 원인과 제거

감시장치가 설치되는 레이저 용접기는 수많은 잡음원이 존재한다. 레이저 발전기 자체가 커다란 충방전기로 볼 수 있으며, 기구부에는 많은 모터가 장착되어 있다. 광 센서 및 신호처리 모듈은 용접헤드 근방의 기구부에 장착되어 기구부에서 발생하는 잡음의 영향을 받는다. 광 센서에 의해 픽업되는 자외선 신호는 센서에 의하여 전류로 변환되고, 그 전류가 동축케이블을 통해 신호처리 모듈에 장착된 증폭기로 연결되는데 최대 전류가  $\mu$ A 정도로서 매우 미세한 전류의 변화로서 광의 강도를 결정해야 한다. 따라서 증폭기와 센서사이의 거리는 짧을수록 좋고, 외부 전자장 및 전원잡음에 대한 대책이 철저해야 한다. 이러한 환경에 대한 잡음대책으로서 감시장치에 대한 고

려 사항은 케이블과 배선, 커넥터, 접지, 차폐, 전원장치 등이다<sup>(10)</sup>. 도선의 배선방식은 MIL-W-5088C, MIL-STD-461을 참조하였다.

### 1)전자기장 결합

UV센서1과 증폭기, UV센서2모듈과 전압변환기 사이에는 외부잡음에 대해 강한 동축케이블을 연결하였고, 길이가 짧을수록 신호의 왜곡이 적으므로 길이는 50cm이하로 제한한다. 레이저 용접기는 저주파 잡음이 커서 센서부는 저주파 잡음의 영향이 크며, A/D변환기로부터 RS422 드라이버에 이르는 플라즈마 감시모듈은 PC에서 전원을 공급받으므로 고주파 잡음이 크다. 저주파 잡음이 크면 자기장 결합이 잘되며, 고주파 잡음이 크면 전기장 결합이 쉽다. 공통 모드 결합문제를 회피하기 위하여 나가는 배선을 전용접지선에 접속하고, 동축케이블을 사용하여 국부적 환경의 전자장간섭을 제거한다. 따라서 센서로부터 증폭기나 전압변환기에 연결된 동축케이블의 끝단은 접지하며, 센서에 연결된 동축케이블의 끝단은 접지로부터 프로팅하여 전자기장 결합을 차폐한다. 감시모듈은 콘덴서를 통하여 접지하여 접지로부터 들어오는 고주파성분을 차단하고, 내부에 전기장을 통하여 들어오는 잡음을 접지로 내보낸다. 센서는 센싱헤드에 장착하며, 센싱헤드는 레이저 용접기의 기구부에 부착된다. 센싱헤드는 철 구조물이므로 전기적으로는 도전체이다. 센싱헤드와 기구부는 접촉하여 기구부에 발생한 저주파 잡음이 그대로 센서신호에 나타날 수 있다. 따라서 센서와 센싱헤드사이를 절연하였다. UV센서1에서 나오는 출력신호는  $\mu\text{A}$ 단위의 미세한 전류신호로서 증폭기는 이러한 미세한 전류변화를 탐지, 증폭해야 하므로 전원잡음에 대해 민감하여 일반적인 전원공급기는 사용할 수 없다. 본 시스템에서는 공급전압이  $5\text{V}, \pm 12\text{V}$ 이고 맥동전압이  $0.5\text{ mV}$ , 부하 규제가 각각  $\pm 0.05\%$ ,  $\pm 0.02\%$ 인 Computer Products사의 PM595를 사용하였다.

### 2) 60 Hz 전원잡음제거용 적응 필터

플라즈마 신호의 증폭기에 있어서 나타나는 60Hz 전원 잡음을 제거하기 위하여 디지털 필터를 사용하였다<sup>(13)</sup>. 적응 필터는 필터의 매개변수를 수정하기 위하여 원하는 신호의 추정된 합성과 오차 제환을 통한 학습방식을 채용한다<sup>(9)</sup>.

양 신호원에 대한 통계적 특성이 광범위한 의미의 정상성을 갖는다고 가정한다. 적응 필터는 입력 신호원에 대한 통계특성을 학습하고, 추적한다. 그림 3은 적응 필터 잡음제거기의 일반적 모형을 보여준다. 기본입력은  $s(nT) + n_0(nT)$ 이고, 2번째 입력은 잡음  $n_1(nT)$ 로  $n_0(nT)$ 에 대한 근사적 추정인  $\zeta(nT)$ 출력을 산출하는데 사용된다. 잡음  $n_1(nT)$ 는  $n_0(nT)$ 에 대하여 상관된다. 필터의 출력  $\zeta(nT)$ 는 기본입력으로부터 빼지며, 시스템 출력  $y(nT)$ 를 산출한다. 이 출력은

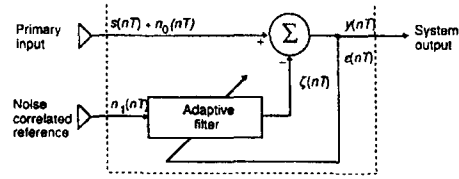


그림 3. 적응 필터 잡음 제거기의 구조

적용 필터 계수를 조정하는데 사용되는 오차  $\epsilon(nT)$ 이다.

$$y(nT) = s(nT) + n_0(nT) - \zeta(nT) \quad (1)$$

출력을 자승화하고, 각 항들을 단순화하면

$$y^2 = s^2 + (n_0 - \zeta)^2 + 2s(n_0 - \zeta) \quad (2)$$

이 성립하고, 양변의 기대치를 구하면 다음 식이 성립한다.

$$E[y^2] = E[s^2] + E[(n_0 - \zeta)^2] + E[2s(n_0 - \zeta)] \quad (3)$$

$$= E[s^2] + E[(n_0 - \zeta)^2]$$

신호 파워  $E[s^2]$ 는 다음 식과 같이 필터에 대한 조정에 의해 영향을 받지 않는다.

$$\min E[y^2] = E[s^2] + \min E[(n_0 - \zeta)^2] \quad (4)$$

식4와 같이 시스템의 출력 파워가 최소화 될 때  $(n_0 - \zeta)$ 의 평균자승오차가 최소화되고, 필터는 잡음을 합성하도록 학습하게 된다. 플라즈마를 광센서를 통해 탐지할 때, 증폭기에 공급되는 전원을 통해 60Hz 잡음이 유입된다. 60Hz 잡음을 제거하기 위하여 참조원을 60Hz 정현파로 모형화하고,  $x(nT)$ 는 60Hz 잡음에 오염된 플라즈마의 입력신호,  $e(nT)$ 는 60Hz 정현파를 사용한 잡음의 추정,  $y(nT)$ 는 필터의 출력이라고 하고, 잡음을 크기가 A, 주파수가  $\omega$ 인 사인파라고 하자.

$$e(nT) = A \sin(\omega nT) \quad (5)$$

이 식에서 한 주기 전에 추정된 신호에 대한 표현은

$$e(nT - T) = A \sin(\omega nT - \omega T) \quad (6)$$

가 성립한다. 유사하게 미래의 한 주기 후의 추정은  $(nT)$ 를  $(nT + T)$ 로 바꾸어

$$e(nT + T) = A \sin(\omega nT + \omega T) \quad (7)$$

$$e(nT + T) = 2A \sin(\omega nT) \cos(\omega T) - A \sin(\omega nT - \omega T) \quad (8)$$

가 성립한다. 이 식에서  $\cos(\omega T)$ 는 잡음의 주파수  $\omega$ 와 샘플링 주파수  $f_s = 1/T$ 에 의해 결정되는 상수가 된다. 따라서 미래의 샘플된 사인파 잡음은 현재와 과거의 추정잡음에 의존하는 관계가 성립된다.

$$e(nT + T) = 2Ne(nT) - e(nT - T) \quad (9)$$

필터의 출력은 입력과 추정된 잡음신호와의 차이이다.

$$y(nT + T) = x(nT + T) - e(nT + T) \quad (10)$$

필터는 원하는 신호와 60 Hz 잡음을 정합시키기 위하여 기본 입력에 나타나는 잡음의 양을 학습하여 그것을 빼게된다. 필터가 잡음신호의 변화에 적응하도록 조절하기 위하여 각 샘플기간동안에 추정신호의 사인파의 크기를 조절하기 위한 궤환이 필요하며, 다음과 같은 차동 함수가 정의된다

$$f(nT + T) = [x(nT + T) - e(nT + T)] - [x(nT) - e(nT)] \quad (11)$$

$f(nT + T)$ 를 추정치  $e(nT)$ 가 크거나 작다는 것을 판정하는데 이용한다.

#### IV. 시험 및 결과

센서의 동작 여부 및 인터페이스를 위한 시험을 실시하였다. 실험대상은 UV센서1과 UV센서2모듈이고, 시험조건은 전원을 가한 상태에서의 자외선 등에 센서의 입력부를 노출한 경우와 차단한 경우를 시험하였다. 이 실험은 센서의 출력특성 및 잡음영향을 추정하기 위한 것이다.

그림 4는 UV센서2모듈에 전원을 가하고, 그 출력을 오실로스코프로 관찰한 파형을 보여준다.

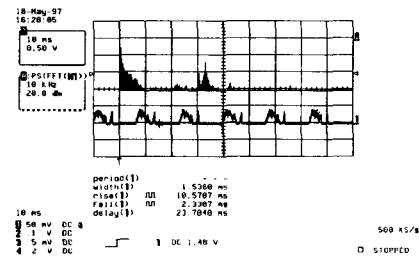


그림 4. 센서자체의 출력신호(단자 2)

100 ms 동안 6개의 파형이 관찰되므로 약 60 Hz의 주기를 갖는다. 파형의 최대 크기는 약 0.4V로 전원 잡음이 유지되는 것으로 판단된다. 그림의

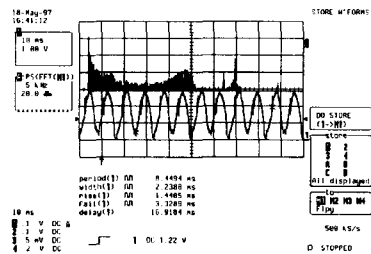


그림 5. 자외선등을 가한 상태의 센서2 모듈의 출력신호

위에 보이는 것은 파형을 FFT한 것이고, 전원 잡음을 줄이는 것이 신호의 주파수 분석에 중요하다는 것을 알 수 있다. 그림 5는 자외선등에 센서2를 노출하였을 때의 파형을 관찰한 것이다. 자외선등에 가하는 전원이 60 Hz이므로 방향을 무시한 빛의 단속 측면에서 120 Hz의 파형 주기가 나타나고 있다. 원 신호 자체가 크므로 전원잡음의 영향은 크게 나타나지 않는다.

그림 6은 자외선등에 노출된 상태에서 UV센서

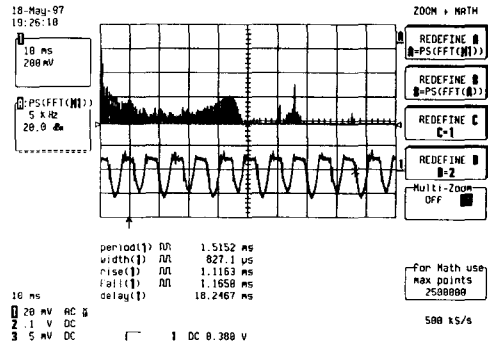


그림 6. 자외선 등을 가한 상태의 UV센서1의 출력신호

1의 출력신호를 관찰한 파형으로 120 Hz의 주기를 갖는 파형이 관측된다. 주기 파형의 피크부분이 잘린 모습을 하고 있어 센서2에 비하여 고주파 성분이 많이 섞여 있음을 알 수 있다. 따라서 두 센서 모두 전원 잡음 문제를 갖고 있으나, 센서2 모듈의 경우 저주파 잡음에 대하여, 센서1은 고주파 잡음에 대한 제거, 또는 차폐가 요구된다.

레이저 용접기에 감시모듈 및 센서를 장착하기 전에 실험실에서 각 센서 및 디지털 신호 처리기 입력단, 통신 선로를 거쳐 PC의 하드디스크에 저장되는 데이터상의 잡음 영향을 평가하고, 잡음 제거의 효과를 관찰하기 위하여 초기 시험환경을 구축하였다.

그림 7의 접지 1은 실제로는 연결하지 않는다. 센서와 감시모듈은 동축케이블로 장착할 때의 길이로 연결하였다. 동축케이블의 감시 모듈에 연결되는 측의 끝단은 신호접지를 시스템 접지인 감시 모듈의 샤시접지와 연결한다. 접지 2는 감시 모듈의 샤시와, 샤시는 용접기의 NC부의 접지와 연결한다. 감시모듈과 PC와의 연결은 JTAG 통신에 관련된 5개의 신호선 쌍과 5 V전원, 신호접지이며, 길이는 8 M이다. 감시모듈은 장착되는 기구부와 절연되어야 기구부 잡음이 신호에 미치는 결합을 배제할 수 있다. 실험실 환경에서는 절연 고무 패드 위에 감시 모듈을 설치하였다. PC는 고주파 잡음이 매우 큰 편이므로 전기장의 간섭을 차폐하기 위하여 신호선을 금속박막으로 둘러싼 전기장 차폐 케이블을 사용하였다. 이 케이블의 PC측 끝단의 신호접지를 PC측에 연결되는 접지와 접속하고, 감시 모듈 쪽의 신호접지는 프로

탕하였다. 기초 실험을 통하여 알 수 있는 것은 센서부와 감시모듈 사이에는 자기장의 영향력이 크고, 감시모듈과 PC사이에는 전기장의 영향력이 크다는 것이다.

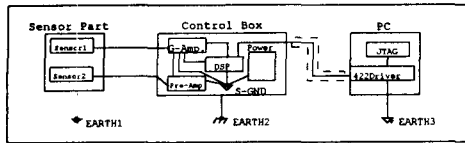


그림 7. 잡음 측정을 위한 시험환경 구성도

감시 모듈의 전원입력은 AC 110 V로서 NC에서 공급된다. 이 전원을 분리 필터를 써서 외부 전원 잡음의 유입을 차단하였다. 전원만을 투입하고 접지를 하지 않은 상태에서 감시모듈의 A/D 변환기 입력을 취득하여 PC에 저장한 두 센서의 신호 파형을 그림 8에 표시하였다. 신호 측정에는 10 대 1 프로브가 사용되므로 전원 잡음의 최대 크기가 약 600 mV정도로 A/D변환기의 동작범위의 약 20%에 해당되는 60 Hz성분과 매우 큰 고주파 성분이 유입되는 것을 볼 수 있다. 이 현상의 원인은 PC의 전원공급기가 입력전원과 충분히 분리되지 않았고, 고주파 잡음이 DSP보드에 유입되

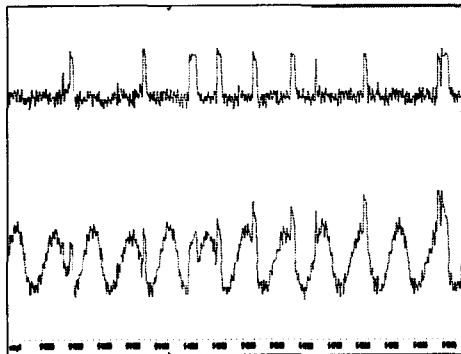


그림 8. 접지를 하지 않고 전원투입만을 한 상태에서 A/D변환기에서 입력한 센서 1과 (위) 센서 2(아래)의 파형

고 있음을 의미한다. 따라서 고주파 잡음에 대한 대책 및 60 Hz전원 잡음 차단을 위하여 PC에서 공급되는 5V전원을 차단하고, 감시장치내에 설치된 저잡음 전원을 DSP보드에 공급하였다. 감시장치 및 PC를 한 곳의 접지에 접속하고, 신호접지선의 두께를 증가시키면 센서 1에 나타나던 60 Hz 전원잡음 및 고주파 성분은 크게 줄어들어 신호에 미치는 영향이 별로 없다. 그러나 센서 2에 나타나는 잡음은 크게 줄어들긴 하였으나 전체 동작범위에서 차지하는 비중은 아직도 크다. 잡음의 원인은 센서부의 불충분한 절연이라고 추정되어 센싱헤드와 센서사이에 절연물질을 삽입하여 조립하였고, 센서부의 케이스를 신호접지선에 연결하였다. 센서 1의 고주파 성분을 줄이기 위하여

감시 모듈내에 신호접지와 샤시접지 사이에 콘덴서 용량을 증가시키고, 잡음 예상 부위마다 신호 접지와 샤시접지 사이에 콘덴서를 연결하였다. 그 이후에 측정한 각 센서의 A/D입력 파형을 그림 9에 표시하였다. 센서 2에 나타나는 60 Hz 전원잡음의 영향이 줄어들어 플라즈마 신호를 입력할 때에 큰 영향을 주지 않는다. 고주파 잡음은 거의 양 센서에서 관찰되지 않았다.

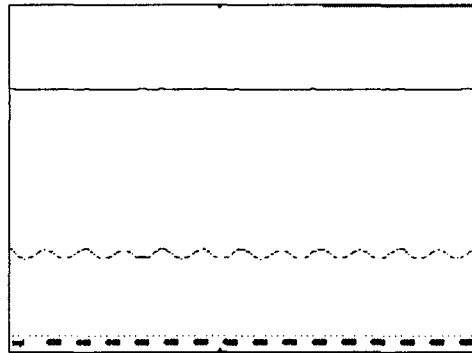


그림 9. 센서2의 절연강화 및 케이스 접지, 감시 모듈의 접지선을 통한 고주파 차단 후의 A/D입력단의 신호파형

실험실내의 시험장치에서의 실험을 종료하고, 실제 레이저 용접기에 장착한 시험을 수행하였다.

이 때에는 DSP에 적응적 60 Hz 전원잡음 제거기를 구현하여 시험하였다. 용접을 하지 않을 때에 A/D변환기와 60 Hz 제거 필터처리 후의 측정된 신호 파형을 그림 10에 표시하였다. 이 파형에서는 거의 잡음의 영향을 배제한 파형이 얻어지며, 센서의 신호 취득부터 PC에 데이터를 저장하는 데에 이르는 전과정에 문제가 발생하지 않는다는 것을 확인할 수 있다.



그림 10. 용접기에 장착한 디지털 필터 적용시의 신호파형

용접시에 나타나는 플라즈마의 파형을 시간 대역 및 주파수대역에서 분석하여 용접이상을 탐지하는 특징을 추출하는 것이 실험의 목적이다. 이를 위하여 정상용접시에 나타나는 파형과 단차가 있는 판재용접에서 용접이 단차를 가로질러

행해질 때의 플라즈마 파형을 관찰 분석하여 그 정성적 특징을 평가하고자 한다. 정상적인 판재용접파형을 얻는 데에는 판재의 임의 부분을 선택하여 접합시키는 용접을 하지 않고, 판재를 용융시키는 시험을 수행하였다. 용접한 결과에서 판재의 단차 부분을 가로지르는 용접시 플라즈마 파형이 급격히 감소하면서 그 이후로 플라즈마 형성이 제대로 되지 않았고, 용접 종료시야 플라즈마가 제대로 형성되는 파형의 변화를 관찰할 수 있다. 이러한 현상은 용접된 판재의 용접비드 형상과도 일치한다. 따라서 맞춤 판재의 맞대기 용접시에는 단차가 진 판재의 경우 파형의 변화로서 경로 이탈 여부를 판정할 수 있다. 용접실험의 경우는 좀 더 많은 조건에서의 실험이 필요할 것이다.

### V. 결론

플라즈마 신호의 감시를 통한 레이저 용접 품질의 해석 및 평가에서 가장 중요한 것은 신호 취득의 충실도와 신호를 오염시키는 잡음의 제거이다. 본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위한 실제적인 구현방식으로서 광 검출기와 근접한 위치에 A/D변환 및 전원잡음제거기능을 갖는 전처리 신호처리를 설치하고, 디지털로 변환된 데이터를 IEEE 1149 표준과 RS422 통신 방식을 혼합한 통신방식을 고안하여 잡음내성이 강한 고속 데이터 전송을 하여 주 감시기에 저장하는 분산처리 시스템을 제시하였고, 실험을 통하여 그 타당성을 검증하였다. 레이저 용접의 품질을 감시하고, 해석하기 위하여 용접중에 발생하는 플라즈마 신호의 탐지 및 저장기능을 갖는 광센서를 이용한 플라즈마 감시장치를 개발하였고, 현장실험을 위하여 고등기술연구원에 설치된 4 kW CO<sub>2</sub> 레이저 용접기에 장착하여 실제용접을 수행하고, 신호를 취득하였다. 개발된 장치는 이전의 연구들이 플라즈마 감시에서 분명하게 제시하지 못한 잡음제거 수준 및 실질적인 구현방식을 제시하여 얻어진 신호 파형의 신뢰성을 확보하였으며, 신호의 저장을 두 채널로 256 kbps까지 고속화하여 저장된 신호의 충실도를 제고할 수 있다. 레이저 용접에서 발생하는 열이나 연기 등이 센서에 미치는 영향을 차단하고, 광센서가 플라즈마 발생원에 근접하여 설치될 때, 플라즈마에서 발생하는 자외선에 의한 광센서의 포화를 막기 위하여 센서 전면에서 조절이 가능한 틈새를 장착한 센서모듈을 고안하였다. 이 센서모듈은 센서의 플라즈마 지향조절이 거리가 멀어짐에 따라 어려워지는 문제점을 완화시킨다.

잡음제거시험 및 용접시험을 통하여 잡음제거방식의 타당성을 입증하고, 신호가 충실히 취득, 저장되고 있음을 알 수 있다. 또한 이 장치가 틈새이탈방지에 이용될 수 있음이 단차용접시험을 통하여 입증되었다. 이 장치에는 용접결함을 탐지하여 경보할 수 있는 기능이 DSP보드와 주

감시기에 분산되어 구현될 예정이다. 추후 과제로서 센서의 플라즈마 지향각도에 따른 플라즈마 신호의 특성변화에 대한 민감도를 고찰할 필요가 있다.

### 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 추계학술대회 논문집, 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. 日産自動車株式会社, 용접상태의 모니터장치, 일본특허 特開平5-77074, 1993
12. 日産自動車株式会社, 용접장치, 일본특허, 特開平7-290260, 1995
13. 권혁제 등, "심전도 자동진단을 위한 60Hz 전원잡음제거 필터에 관한 연구", 의공학회지, 제 17권, 제1호, pp99-108, 1996. 3