(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0068782
(43) 공개일자 2023년05월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B23K 26/03 (2014.01) *B23K 31/12* (2006.01)
G01J 1/42 (2006.01) *G01J 1/44* (2006.01)
(52) CPC특허분류
B23K 26/032 (2013.01)
B23K 31/125 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0154911
(22) 출원일자 2021년11월11일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
조선대학교산학협력단
광주광역시 동구 필문대로 309 (서석동)
(72) 발명자
김진태
광주광역시 동구 필문대로 309(서석동)
(74) 대리인
특허법인 남앤남

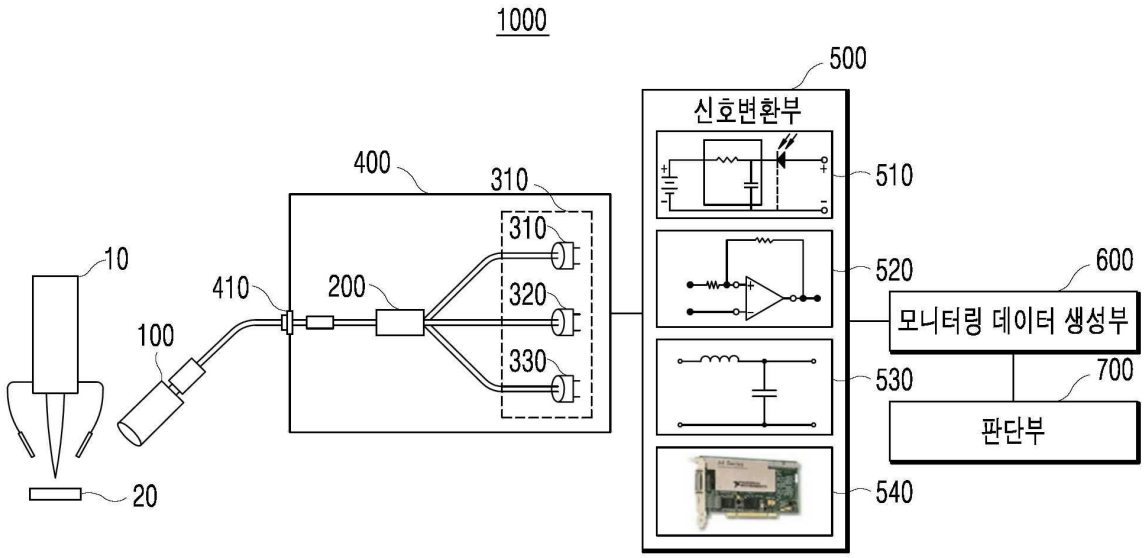
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 **광섬유 결합기를 이용한 레이저 용접 감시 장치**

(57) 요 약

본 발명은 레이저 용접 품질 모니터링 시스템에 관한 것으로, 보다 구체적으로, 레이저 용접 중 발생되는 광을 광 시준기로 획득하고, 광 컴바이너는 획득된 광을 자외선 대역, 적외선 대역 및 가시광선 대역의 각 광을 광신호로 변환하는 제1 내지 제3 포토다이오드로 분배하며, 제1 내지 제3 포토다이오드는 분배된 광을 각 대역별 광신호로 변환하고, 신호 변환부를 통해 광신호를 디지털 신호로 변환한다. 이후, 모니터링 데이터 생성부는 디지털 신호를 근거하여 레이저 용접 품질을 판단하기 위한 모니터링 데이터인 히스토그램 데이터, 웨이블릿 데이터 및 스펙트로그램 데이터를 생성하고, 판단부를 통해 모니터링 데이터를 근거하여 레이저 용접의 품질을 판단하는 레이저 용접 품질 모니터링 시스템에 관한 것이다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G01J 1/42 (2013.01)
G01J 2001/446 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	20210407
과제번호	20210407
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	산학공동기술개발과제
연구과제명	파장가변 외부공진기형 다이오드 레이저 개발 및 응용
기 여 율	1/1
과제수행기관명	조선대학교 산학협력단
연구기간	2021.05.03 ~ 2021.11.30

명 세 서

청구범위

청구항 1

레이저 용접 중 발생되는 광을 획득하는 광 시준기;

상기 광 시준기로부터 획득된 광을 분배하는 광 컴바이너;

상기 분배된 광을 광신호로 변환하는 포토다이오드부;

상기 광신호로부터 노이즈를 제거하고 디지털 신호로 변환하는 신호 변환부;

상기 디지털 신호로부터 노이즈를 제거하고, 상기 디지털 신호를 근거하여 모니터링 데이터를 생성하는 모니터링 데이터 생성부; 및

상기 모니터링 데이터를 근거하여 상기 레이저 용접의 품질을 판단하는 판단부;

레이저 용접 모니터링 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 포토다이오드부는,

상기 분배된 광에서 자외선 대역의 광을 제1 광신호로 변환하는 제1 포토다이오드;

상기 분배된 광에서 가시광선 대역의 광을 제2 광신호로 변환하는 제2 포토다이오드; 및

상기 분배된 광에서 적외선 대역의 광을 제3 광신호로 변환하는 제3 포토다이오드;를 포함하고,

상기 광 컴바이너는 상기 포토다이오드부의 상기 제1 포토다이오드, 상기 제2 포토다이오드 및 상기 제3 포토다이오드로 동일한 광량을 분배하는 것을 특징으로 하는,

레이저 용접 모니터링 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 신호 변환부는,

상기 제1 광신호, 상기 제2 광신호 및 상기 제3 광신호로부터 노이즈를 제거하는 노이즈 필터;

노이즈가 제거된 상기 제1 광신호, 상기 제2 광신호 및 상기 제3 광신호의 진폭을 증폭시키는 증폭기;

진폭이 증폭된 상기 제1 광신호, 상기 제2 광신호 및 상기 제3 광신호로부터 기 설정된 주파수 대역의 신호를 제거하는 LC(Inductor Capacitor) 필터;

상기 노이즈가 제거되고 진폭이 증폭된 후 LC 필터를 통과한 상기 제1 광신호, 상기 제2 광신호 및 상기 제3 광신호를 각각 디지털 신호로 변환하는 데이터 수집기(Data Acquisition; DAQ);를 포함하는 것을 특징으로 하는,

레이저 용접 모니터링 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

모니터링 데이터 생성부는,

상기 디지털 신호로부터 노이즈를 제거하는 디지털 필터;

상기 노이즈가 제거된 디지털 신호의 전압 별 빈도 정보를 포함하는 히스토그램(Histogram) 데이터를 생성하는 히스토그램부;

상기 노이즈가 제거된 디지털 신호를 이용하여 웨이블릿(Wavelet) 변환하여 웨이블릿 데이터를 생성하는 웨이블릿부; 및

상기 웨이블릿 데이터를 이용하여 파형과 스펙트럼이 조합된 스펙트로그램(Spectrogram) 데이터를 생성하는 스펙트로그램부;를 포함하는 것을 특징으로 하는,

레이저 용접 모니터링 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 모니터링 데이터는,

상기 히스토그램 데이터, 상기 웨이블릿 데이터 및 상기 스펙트로그램 데이터 중 하나 이상인 것을 특징으로 하는,

레이저 용접 모니터링 시스템.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 판단부는,

상기 모니터링 데이터가 기 설정된 제한 범위 내에 분포하는 경우, 상기 레이저 용접의 품질이 양호한 것으로 판단하는 것을 특징으로 하는,

레이저 용접 모니터링 시스템.

청구항 7

제5항에 있어서,

상기 판단부는,

상기 제3 광신호에 기반하여 생성된 디지털 신호의 전압 진폭에 기반하여 키홀의 크기를 판단하는 것을 특징으로 하는,

레이저 용접 모니터링 시스템.

청구항 8

제5항에 있어서,

상기 판단부는,

상기 제2 광신호 및 상기 제3 광신호에 기반하여 각각 생성된 디지털 신호의 전압차에 기반하여 용접의 용입 깊이를 판단하는 것을 특징으로 하는,

레이저 용접 모니터링 시스템.

청구항 9

제5항에 있어서,

상기 판단부는,

상기 제3 광신호에 기반하여 생성된 디지털 신호의 전압 변화에 기반하여 심입 용접 여부를 판단하는 것을 특징으로 하는,

레이저 용접 모니터링 시스템.

청구항 10

제5항에 있어서,

상기 판단부는,

상기 제2 광신호에 기반하여 생성된 상기 히스토그램 데이터의 기 설정된 기준에 대한 전압 변위차에 기반하여 상기 레이저 용접의 품질을 판단하는 것을 특징으로 하는,

레이저 용접 모니터링 시스템.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 레이저 용접 품질 모니터링 시스템에 관한 것으로, 보다 구체적으로, 레이저 용접 중 발생되는 광을 서로 다른 파장의 광신호로 변환하고, 이에 기반하여 레이저 용접 품질을 판단하는 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 레이저 가공 기술은 10^{10} 내지 10^{11} W/m^2에 이르는 높은 에너지 밀도를 갖는 레이저 빔과 가공 대상물의 상호작용으로 인한 열을 이용하는 가공 기술로 용접, 절단, 열처리 등 정밀 가공 분야에서 폭넓게 이용되고 있다. 이와 같은, 레이저 가공 기술은 CO2, Nd:YAG 레이저와 같은 고출력 레이저의 개발과 함께 급속한 발전을 하고 있으며 특히, 레이저 용접은 기존의 용접과 달리 정밀 집속이 가능하며 용접 대상물에 대한 열 영향 영역이 좁아 정밀한 용접이 가능한 장점을 가지고 있다. 뿐만 아니라, 레이저 용접은 고밀도 에너지 가공으로 인해 열 입열량이 적어서 용접 대상물의 뒤틀림 및 열응력의 변화가 적어 자동화가 용이하다.

[0003] 한편, 레이저 용접의 경우, 레이저 빔의 파장, 출력, 용접속도, 재료의 열전달, 반사율, 재료의 형상, 보호가스의 종류와 유량, 초점거리에 따라서 용입 깊이, 비드 폭 뿐만 아니라 내부기공, 열간균열, 냉간균열 등 결함이 발생할 수 있으며, 레이저 빔은 파장이 길수록 가공재료 표면에서의 반사율이 매우 높아지며, 파장의 특성에 따라서 동일한 재료의 용입 특성은 달라진다.

[0004] 이에 따라, 레이저 용접의 품질을 실시간으로 모니터링하기 위하여 레이저 용접 과정에서 발생하는 플라즈마(Plasma)와 스패터(Spatter)를 이용하여 레이저 용접의 품질을 모니터링하는 방법이 사용되고 있다.

[0005] 하지만, 레이저 용접 중 발생되는 플라즈마와 스패터를 이용하여 레이저 용접의 품질을 모니터링하는 종래의 모니터링 시스템의 경우, 플라즈마와 스패터로부터 각 대역별 광을 개별적으로 획득하기 위하여 다수의 광학부품을 포함하는 구성으로 시스템의 구조가 복잡하고, 획득된 광신호 내에 혼재된 노이즈, 고주파, 저주파 성분으로 인해 정확한 레이저 용접의 품질에 대한 정확한 모니터링이 불가능한 문제점을 가진다.

[0006] 따라서, 정확한 레이저 용접의 품질을 모니터링 가능한 기술이 필요하다.

선행기술문헌

특허문헌

[0008] (특허문헌 0001) 일본공개특허 제2002-316279호 (공개일: 2002.10.29)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0009] 본 발명은 상술된 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로서, 본 발명의 목적은 레이저 용접 중 발생되는 플라즈마와 스패터로부터 광을 획득하여 광 컴바이너를 이용하여 동일한 광량으로 분배하고, 자외선 대역, 적외선 대역 및 가시광선 대역별 포토다이오드를 통해 분배된 광을 광신호로 변환하며, 광신호로부터 노이즈, 저주파 및 고주파 성분을 제거하여 디지털 신호로 변환하고, 다시 디지털 신호를 근거하여 히스토그램 데이터, 웨이블릿 데이터 및 스펙트로그램 데이터 생성함으로써, 레이저 용접의 품질을 정확하게 모니터링할 수 있는 레이저 용접 품질 모니터링 시스템을 제공하는 것이다.

[0010] 본 발명에 따른 실시 예들은 레이저 용접 중 발생되는 플라즈마와 스패터로부터 획득된 서로 다른 파장의 광신호에 기반하여 키홀의 크기, 용접의 용입 깊이, 심인 용접 여부를 판단 가능한 레이저 용접 품질 모니터링 시스템을 제공할 수 있다.

과제의 해결 수단

[0012] 본 발명에 따른, 레이저 용접 품질 모니터링 시스템은 레이저 용접 중 발생되는 광을 획득하는 광 시준기; 상기 광 시준기로부터 획득된 광을 분배하는 광 컴바이너; 상기 분배된 광을 광신호로 변환하는 포토다이오드부; 상기 광신호로부터 노이즈를 제거하고 디지털 신호로 변환하는 신호 변환부; 상기 디지털 신호로부터 노이즈를 제거하고, 상기 디지털 신호를 근거하여 모니터링 데이터를 생성하는 모니터링 데이터 생성부; 및 상기 모니터링 데이터를 근거하여 상기 레이저 용접의 품질을 판단하는 판단부;를 포함하여 구성된다.

[0013] 상기 포토다이오드부는, 상기 분배된 광 중에서 자외선 대역의 광을 광신호로 변환하는 제1 포토다이오드; 상기 분배된 광 중에서 가시광선 대역의 광을 광신호로 변환하는 제2 포토다이오드; 및 상기 분배된 광 중에서 적외선 대역의 광을 광신호로 변환하는 제3 포토다이오드;를 포함할 수 있다.

[0014] 상기 신호 변환부는, 상기 광신호로부터 노이즈를 제거하는 노이즈 필터;

[0015] 상기 광신호의 진폭을 증폭시키는 증폭기; 상기 광신호로부터 기 설정된 주파수 대역의 신호를 제거하는 LC(Inductor Capacitor) 필터; 상기 노이즈가 제거되고 진폭이 증폭된 광신호를 디지털 신호로 변환하는 데이터 수집기(Data Acquisition; DAQ);를 포함할 수 있다.

[0016] 모니터링 데이터 생성부는, 상기 디지털 신호를 근거하여 히스토그램(Histogram) 데이터을 생성하는 히스토그램부; 상기 디지털 신호를 웨이블릿(Wavelet) 변환하여 웨이블릿 데이터를 생성하는 웨이블릿부; 및 상기 웨이블릿 데이터를 근거하여 파형과 스펙트럼이 조합된 스펙트로그램(Spectrogram) 데이터를 생성하는 스펙트로그램부;를 포함할 수 있다.

[0017] 상기 모니터링 데이터는, 상기 히스토그램 데이터, 상기 웨이블릿 데이터 및 상기 스펙트로그램 데이터 중 하나 이상일 수 있다.

[0018] 상기 판단부는, 상기 모니터링 데이터가 기 설정된 제한 영역 내에 분포되는 경우, 상기 레이저 용접의 품질이 양호한 것으로 판단할 수 있다.

발명의 효과

[0020] 본 발명에 따르면, 레이저 용접 중 발생되는 플라즈마와 스패터로부터 획득된 광을 광 컴바이너를 이용하여 동

일한 광량으로 포토다이오드에 분배함으로써, 대역별 광 분할에 필요한 광학부품의 수를 절감할 수 있으며 시스템의 부피를 줄여 소형화 설계가 가능한 효과를 가진다.

[0021] 또한 본 발명에 따르면, 외부 노이즈에 강한 광섬유를 이용하여 광 시준기로부터 획득된 광을 광 컴바이너로 송신하고, 노이즈 성분이 제거되고 레이저 용접의 품질에 대한 정보가 명확한 모니터링 데이터를 근거하여 레이져 용접의 품질을 모니터링함으로써, 레이져 용접 품질 모니터링에 대한 신뢰성을 향상시킬 수 있는 효과를 가진다.

도면의 간단한 설명

[0023] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 레이저 용접 모니터링 시스템의 구성을 도시한 도면이다.

도 2는 Haar 웨이블릿의 스케일 함수와 웨이블릿 함수를 나타낸 그래프이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 레이저 용접 모니터링 시스템을 이용하여 레이저 용접의 품질을 모니터링하는 과정을 도시한 순서도이다.

도 4a 및 도 4b는 레이저 용접 과정에서 획득된 디지털 신호의 파형에 대한 그래프이다.

도 5a는 1,200W의 레이저 출력으로 레이저 용접 중 획득된 디지털 신호와 디지털 필터를 적용한 디지털 신호의 파형에 대한 그래프이다.

도 5b는 1,600W의 레이저 출력으로 레이저 용접 중 획득된 디지털 신호와 디지털 필터를 적용한 디지털 신호의 파형에 대한 그래프이다.

도 5c는 2,000W의 레이저 출력으로 레이저 용접 중 획득된 디지털 신호와 디지털 필터를 적용한 디지털 신호의 파형에 대한 그래프이다.

도 6a는 1.3m/min의 이송속도로 레이저 빔을 이동시켜 레이저 용접을 수행하는 과정에서 획득된 디지털 신호와 디지털 필터를 적용한 디지털 신호의 파형에 대한 그래프이다.

도 6b는 2.5m/min의 이송속도로 레이저 빔을 이동시켜 레이저 용접을 수행하는 과정에서 획득된 디지털 신호와 디지털 필터를 적용한 디지털 신호의 파형에 대한 그래프이다.

도 7a는 시편의 재료에 탄소를 포함하는 시편과 이를 이용한 레이저 용접의 결함에 따른 디지털 신호의 파형에 대한 그래프이다.

도 7b는 함몰(Undercut, Humping) 현상이 발생한 시편과 레이저 용접의 결함에 따른 디지털 신호의 파형에 대한 그래프이다.

도 7c는 오염물의 분출이 일어난 시편과 레이저 용접의 결함에 따른 디지털 신호의 파형에 대한 그래프이다.

다음으로, 도 7d는 용입부족이 발생한 시편과 레이저 용접의 결함에 따른 디지털 신호의 파형에 대한 그래프이다.

도 7e는 용접 초점을 변화시켜 레이저 용접을 수행한 시편과 이에 따른 디지털 신호의 파형에 대한 그래프이다.

도 7f는 스패터가 분출된 시편과 이에 따른 디지털 신호의 파형에 대한 그래프이다.

도 8a 내지 도 8f는 레이저 출력 변화에 따른 UV 신호의 히스토그램 데이터를 도시한 도면이다.

도 9a는 본 발명에 따른 웨이블릿부를 이용하여 UV 신호로부터 웨이블릿 변환을 통해 생성된 웨이블릿 데이터에 대한 그래프이다.

도 9b는 본 발명에 따른 웨이블릿부를 이용하여 IR 신호로부터 웨이블릿 변환을 통해 생성된 웨이블릿 데이터에 대한 그래프이다.

도 10a는 본 발명에 따른 스펙트로그램부를 이용하여 UV 웨이블릿 데이터로부터 생성된 UV 스펙트로그램 데이터에 대한 그래프이다.

도 10b는 본 발명에 따른 스펙트로그램부를 이용하여 IR 웨이블릿 데이터로부터 생성된 IR 스펙트로그램 데이터

에 대한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024] 본 발명에 따른 레이저 용접 품질 모니터링 시스템의 바람직한 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 설명한다. 이 과정에서 도면에 도시된 선들의 두께나 구성요소의 크기 등은 설명의 명료성과 편의상 과장되게 도시되어 있을 수 있다. 또한, 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 관례에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 이러한 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 기술되어야 할 것이다.

[0025] 또한, 명세서 전체에서 어떤 부분이 어떤 구성 요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성 요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0026] 이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부된 도면과 연계하여 상세히 설명하면 다음과 같다. 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지기능 혹은 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명은 생략한다.

[0028] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 레이저 용접 모니터링 시스템의 구성을 도시한 도면이다.

[0029] 본 발명의 일 실시예에 따른 레이저 용접 모니터링 시스템(1000)은 광 시준기 (100), 광 컴바이너(200), 포토다이오드부(300), 하우징(400), 신호 변환부(500), 모니터링 데이터 생성부(600) 및 판단부(700)를 포함하여 구성된다.

[0030] 광 시준기(100)는 레이저(10)의 레이저 빔이 시편(20)에 조사되어 용접을 수행하는 과정에서 발생되는 플라즈마와 스패터로부터 광을 획득하는 역할을 수행할 수 있다. 이때, 플라즈마와 스패터로부터 방사되는 광의 파장은 150 내지 1600nm 범위의 자외선(UV) 대역에서 적외선(IR) 대역까지 일 수 있다.

[0031] 광 시준기(100)으로부터 획득된 광은 외부 노이즈에 대한 영향이 적은 광섬유를 통해 후술되는 광 컴바이너로 송신될 수 있다.

[0032] 한편, 광 시준기(100)는 레이저 용접 중 발생되는 스패터로 인해 발생할 수 있는 렌즈의 손상을 방지하는 보호창(Window, 미도시)을 포함할 수 있다.

[0033] 광 컴바이너(200)는 광 시준기(100)로부터 획득된 광을 동일한 광량으로 포토다이오드부(300)에 포함된 제1 내지 제3 포토다이오드(310, 320, 330)에 분배하는 역할을 수행할 수 있다.

[0034] 보다 구체적으로, 광 컴바이너(200)는 포토다이오드부(300)에 포함된 포토다이오드 수에 대응해 광 시준기(100)로부터 획득된 광을 동일한 광량으로 분할하여 포토다이오드에 분배할 수 있다.

[0035] 이때, 광 컴바이너(200)는 내외부에서 광으로 유입되는 노이즈를 제거하기 위하여 접지될 수 있다.

[0036] 일 실시예에서, 광 컴바이너(200)는 광 시준기(100)로부터 획득된 광을 제1 내지 제3 포토다이오드(310, 320, 330)에 분배할 수 있다. 이에 따라, 광 컴바이너(200)는 동일한 광량 및 파장의 광을 제1 내지 제3 포토다이오드(310, 320, 330)에 분배하게 된다.

[0037] 포토다이오드부(300)는 광 컴바이너(200)로부터 수신한 광을 광신호로 변환하는 역할을 수행할 수 있다.

[0038] 이를 위해, 포토다이오드부(300)는 광 컴바이너(200)로부터 분배된 광에서 자외선 대역의 광을 광신호로 변환하는 제1 포토다이오드(310), 가시광선 대역의 광을 광신호로 변환하는 제2 포토다이오드(320) 및 적외선 대역의 광을 광신호로 변환하는 제3 포토다이오드(330)를 포함할 수 있다.

[0039] 이때, 제1 내지 제3 포토다이오드(310, 320, 330)는 수신된 광의 빛 에너지를 전기 에너지를 갖는 광신호로 변환하는 포토다이오드 소자일 수 있다.

[0040] 한편, 상술된 광 컴바이너(200) 및 포토다이오드(300)는 하나의 하우징(400) 내에 설치될 수 있으며, 하우징(400)의 일면에는 광 시준기(100)로부터 획득된 광을 하우징(400) 내의 광 컴바이너(200)로 전송할 수 있는 광접속단자(410)가 구비될 수 있다.

[0041] 신호 변환부(500)는 포토다이오드부(300)로부터 변환된 각 대역별 광신호로부터 노이즈를 제거하고, 진폭을 증

폭시키며, 디지털 신호로 변환시키는 역할을 수행할 수 있다.

[0042] 이를 위해, 신호 변환부(500)는 노이즈 필터(510), 증폭기(520), LC(Inductor Capacitor) 필터(530) 및 데이터 수집기(Data Acquisition; DAQ, 540)를 포함할 수 있다.

[0043] 노이즈 필터(510)는 광신호의 증폭 시 발생하는 60Hz의 전원 노이즈를 제거하는 역할을 수행할 수 있다. 이를 위해, 노이즈 필터(510)는 역방향 바이어스를 이용하여 반응 속도 및 디바이스의 선형을 설정할 수 있다.

[0044] 증폭기(520)는 노이즈 필터(510)를 통해 노이즈가 제거된 광신호의 진폭을 증폭시키는 역할을 수행할 수 있다. 이때, 증폭기(520)는 입력된 광신호의 전압차를 설정된 이득(Gain)만큼 진폭시키는 연산증폭기(OP-Amp)일 수 있다.

[0045] LC 필터(530)는 노이즈가 제거되고 진폭이 진폭된 광신호로부터 기 설정된 주파수 대역의 신호를 제거하는 역할을 수행할 수 있다. 여기서, 기 설정된 주파수 대역의 신호는 상술된 광신호 중에서 감쇄 및 제거되는 신호의 주파수 대역일 수 있다.

[0046] 이를 위해, LC 필터(530)는 인덕터 소자와 커패시터 소자를 연결하여 구성되며, 인덕터 소자의 인덕터스와 커패시터의 컨덕턱스를 제어하여 기 설정된 주파수 대역의 신호를 광신호로부터 제거할 수 있다.

[0047] 이때, LC 필터(530)의 인덕터 소자는 고주파 대역의 신호를 제거할 수 있으며, 커패시터 소자는 저주파 대역의 신호를 제거할 수 있다.

[0048] 또한, LC 필터(530)는 접지되어 외부 및 내부로부터 유입되는 노이즈를 제거하기 위하여 접지될 수 있다.

[0049] 데이터 수집기(DAQ, 540)는 노이즈 및 기 설정된 대역의 신호가 제거된 광신호를 디지털 신호로 변환하는 역할을 수행할 수 있다.

[0050] 이때, 데이터 수집기(DAQ, 540)는 광신호의 디지털 변환 시 발생하는 양자화 노이즈를 최소화하면서 낮은 레벨의 광신호를 디지털 신호로 변환시키기 위하여, 높은 정밀도를 가지는 ADC(Analog-to-Digital Converter) 보드를 사용할 수 있다.

[0051] 또한, 데이터 수집기(DAQ, 540)는 앤티 앨리어싱(Anti-Aliasing) 용도로 사용하는 저대역 필터(Low Pass Filter; LPF)의 차수를 감소시키고, 고차의 LPF가 추가적으로 발생시키는 노이즈를 최소화하기 위하여, 10㎑의 표본화 속도로 표본화할 수 있다.

[0052] 모니터링 데이터 생성부(600)는 신호 변환부(500)를 통해 변환된 디지털 신호로부터 노이즈를 제거하고, 디지털 신호를 근거하여 모니터링 데이터를 생성하는 역할을 수행할 수 있다.

[0053] 이를 통해, 모니터링 데이터 생성부(600)는 키홀의 급격한 요동과 노이즈로 인하여 키홀의 생성 및 용입 정도와 같은 용접 품질 정보를 용이하게 분석하기 힘든 디지털 신호를 정량 분석이 가능한 모니터링 데이터로 생성할 수 있다.

[0054] 여기서, 모니터링 데이터는 레이저 용접의 품질을 판단하는 기준이 되는 데이터로써, 히스토그램(Histogram) 데이터, 웨이블릿(Wavelet) 데이터 및 스펙트로그램(Spectrogram) 데이터 중 하나 이상일 수 있다.

[0055] 이를 위해, 모니터링 데이터 생성부(600)는 디지털 필터(610), 히스토그램부(620), 웨이블릿부(630) 및 스펙트로그램부(640)을 포함할 수 있다.

[0056] 디지털 필터(610)는 IIR(Infinite Impulse Response) 디지털 필터를 이용하여 디지털 신호로부터 노이즈를 제거할 수 있다.

[0057] 보다 구체적으로, 디지털 필터(610)는 디지털 신호에 따라 고주파 성분의 노이즈를 제거하는 고대역 필터(High Pass Filter; HPF) 및 저주파 성분의 노이즈를 제거하는 LPF 중 하나 이상을 이용하여 디지털 신호로부터 특정 대역 성분의 노이즈를 제거할 수 있다.

[0058] 한편, 디지털 필터(610)는 IIR 디지털 필터 방식 이외 FIR(Finite Impulse Response) 디지털 필터 방식이 사용될 수 있으나 대역폭이 좁은 디지털 신호의 경우 차수가 높은 FIR 디지털 필터를 사용해야 하며, 고차의 FIR 디지털 필터를 사용하여 디지털 필터링을 수행하는 경우 디지털 신호의 위상차가 발생하는 문제점을 가지므로 IIR 디지털 필터를 이용하여 디지털 신호로부터 저주파 성분을 제거하는 것이 바람직하다.

[0059] 이러한, IIR 디지털 필터는 하기의 수학식 1을 이용하여 디지털 필터링을 수행할 수 있다.

수학식 1

[0060]
$$y[n] = \sum_{k=0}^{M} b_k x[n-k] + \sum_{i=1}^{N} a_k y[n-i]$$

[0062] 여기서, ak =역계수, b_k = 전진계수, x[n] = 신호 입력값, y[n] = 신호 출력값 (초기, y[n]는 0)이다.

[0063] 한편, 히스토그램부(620)는 디지털 필터(610)를 통해 노이즈가 제거된 디지털 신호를 이용하여 디지털 신호의 전압 별 빈도 정보를 포함하는 히스토그램 데이터로 생성하는 역할을 수행할 수 있다. 후술되는 판단부(700)는 생성된 히스토그램 데이터를 통해 디지털 신호의 전압 별 분포를 확인하여 레이저 용접의 품질을 판단할 수 있다.

[0064] 이때, 히스토그램부(620)는 하기의 수학식 2를 이용하여 히스토그램 데이터를 생성할 수 있다.

수학식 2

[0066]
$$h_i = \sum_{j=0}^{n-1} y_i(x_j) \quad i = 0,1,2,\ldots,m-1$$

[0068] 여기서, h_i = 출력 시퀀스 히스토그램, x_j = 시퀀스, n = x_j의 원소 개수이다.

[0070] 한편, 다양한 외란을 포함하고 있는 디지털 신호는 시간 및 주파수의 국부성을 포함하므로, 통계적 분석이 어려우며 시간적으로 예측하기 힘든 신호이다. 이에 따라, 웨이블릿부(630)는 비주기적인 과도현상을 해석하기 위해서 웨이블릿(Wavelet) 변환을 이용할 수 있다.

[0071] 보다 구체적으로, 웨이블릿부(630)는 디지털 필터(610)를 통해 노이즈가 제거된 디지털 신호를 이용하여 웨이블릿 변환을 거쳐 웨이블릿 데이터를 생성하는 역할을 수행할 수 있다.

[0072] 여기서, 웨이블릿 변환은 기존의 퓨리에(Fourier) 변환이 시간과 주파수에 대한 정보만을 포함하는 단점을 해결하기 위한 변환 방식으로 원 신호를 웨이블릿 모 함수의 전이와 압축계수의 변환에 따라 여러 가지 신호성분으로 분해하여 시간에 따라 주파수 성분의 변환 추이를 알 수 있으며, 압축계수의 범위에 따라 웨이블릿 스스로 압축되어 변화한다. 이러한, 장점으로 신호를 분해할 수 있고 분해된 신호를 다중 해상도 분석(Multi resolution Analysis)할 수 있다.

[0073] 또한, 웨이블릿 변환은 간단한 연산을 통해 데이터의 축소가 가능하고 데이터를 쉽게 복구할 수 있으며, 신호의 갑작스런 변화 성분을 낮은 스케일 범위의 계수로 변환해두기 때문에 갑작스럽게 변화하는 특성을 가진 신호를 감쇠시키지 않는다.

[0074] 이러한, 웨이블릿부(630)는 하기의 수학식 3 내지 5를 이용하여 웨이블릿 데이터를 생성할 수 있다.

수학식 3

[0076]
$$f^{*}\Phi_{s}(x)=\frac{1}{s}\int_{-\infty}^{\infty}f(t)\Phi\left(\frac{x-t}{s}\right)dt$$

[0078] 여기서, S = 스케일링 변수, t = 천이변수, Φ = 모 함수이고, 이때, S = 2j(j는 정수)인 경우, 하기의 수학식 3 및 4를 이용하여 웨이블릿 변환을 수행할 수 있다.

수학식 4

[0080]
$$S_{2^{j}}f(n)=\sum_{k\in Z}h_{k}S_{2^{j-1}}f(n-2^{j-1}k)$$

[0082] 여기서, h_k = 저대역(Low pass) 필터 계수이다.

수학식 5

[0084]
$$W_{2^{j}}f(n)=\sum_{k\in Z}g_{k}S_{2^{j-1}}f(n-2^{j-1}k)$$

[0086] 여기서, g_k = 고대역(High pass) 필터 계수이다.

[0088] 일반적으로, 웨이블릿 변환에서 사용되는 웨이블릿 모 함수는 Haar, Daubechies, Biorthogonal, Coiflets, Symlets, Morlet, Mexicam Hat 및 Meyer 유형 등이 있으며, 본 발명의 웨이블릿부(630)는 Haar 웨이블릿 모 함수를 이용하여 웨이블릿 변환을 수행할 수 있다.

수학식 6

[0090]
$$\Psi(t)=\begin{cases}1, 0\le t\le 1/2\\ -1, 1/2\le t\le 1\\ 0, otherwise\end{cases}$$

수학식 7

[0091] $$\phi(t) = \begin{cases} 1, 0 \leq t < 1 \\ 0, otherwise \end{cases}$$

[0093] Haar 웨이블릿 모 함수는 수학식 6 및 7일 수 있다.

[0095] 상술된 Haar 웨이블릿의 스케일 함수 및 웨이블릿 함수는 도 2a 및 도 2b와 같다.

[0096] 이를 통해, 웨이블릿부(630)는 디지털 신호로부터 화이트가우시안 노이즈(White Gaussian noise)를 제거하여 레이저 용접의 품질을 보다 효과적으로 모니터링할 수 있다.

[0097] 스펙트로그램부(640)는 웨이블릿부(630)를 통해 생성된 웨이블릿 데이터를 이용하여 파형과 스펙트럼이 조합된 스펙트로그램 데이터를 생성하는 역할을 수행할 수 있다.

[0098] 보다 구체적으로, 스펙트로그램부(640)는 디지털 신호 및 웨이블릿 데이터를 시간(x), 주파수(y) 및 진폭(z) 3차원을 이용한 스펙트로그램 데이터로 생성할 수 있다.

[0099] 이를 통해, 스펙트로그램부(640)는 시간의 개념 없이 신호의 파형을 구성하는 내용물의 질과 양만을 보여주는 스펙트럼과 달리 시간 차원을 덧붙여 주파수와 진폭의 시간에 따른 디지털 신호의 변화를 사용자에게 제공할 수 있다.

[0100] 판단부(640)는 모니터링 데이터 즉, 히스토그램 데이터, 웨이블릿 데이터 및 스펙트로그램 데이터 중 하나 이상에 근거하여 해당 레이저 용접의 품질을 판단하는 역할을 수행할 수 있다. 보다 구체적으로, 판단부(640)는 모니터링 데이터가 기 설정된 제한 범위 내에 분포하는 경우, 레이저 용접의 품질이 양호한 것으로 판단할 수 있다.

[0101] 여기서, 기 설정된 제한 범위는 모니터링 데이터의 종류에 따라 상이할 수 있으며 사용자로부터 설정될 수 있다.

[0103] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 레이저 용접 모니터링 시스템을 이용하여 레이저 용접의 품질을 모니터링하는 과정을 도시한 순서도이다.

[0104] 도 3을 참조하면, 광 시준기는 레이저 용접 중 발생되는 플라즈마와 스패터로부터 광을 획득하게 된다(S301). 이때, 광 시준기로부터 획득된 광의 파장은 150 내지 1600nm 범위의 자외선(UV) 대역에서 적외선(IR) 대역까지일 수 있다.

[0105] 다음으로, 광 컴바이너는 광 시준기로부터 획득된 광을 수신하여 포토다이오드부의 각 대역별 포토다이오드에 동일한 광량으로 분배하게 된다(S302).

[0106] 이후, 포토다이오드부는 광 컴바이너로부터 분배된 광에서 각 대역별 광을 광신호로 변환하게 된다(S303). 보다 구체적으로, 포토다오드부는 자외선 대역의 광을 광신호로 변환하는 제1 포토다이오드, 가시광선 대역의 광을 광신호로 변환하는 제2 포토다이오드 및 적외선 대역의 광을 광신호로 변환하는 제3 포토다이오드를 이용하여 광 컴바이너로부터 분배받은 동일한 광을 각 대역별 광신호로 변환할 수 있다.

[0107] 다음으로, 신호 변환부는 노이즈 필터를 이용하여 광신호로부터 60Hz의 전원 노이즈를 제거하고, 증폭기를 이용하여 광신호의 진폭을 증폭시키며, LC 필터를 이용하여 기 설정된 대역의 신호를 제거하게 된다(S304).

[0108] 이어서, 신호 변환부는 노이즈 및 기 설정된 대역의 신호가 제거되고 진폭이 진폭된 광신호를 데이터 수집기를 이용하여 디지털 분석이 가능한 디지털 신호로 변환하게 된다(S305).

[0109] 레이저 용접의 모니터링에 방해가 되는 노이즈를 디지털 신호로부터 제거하기 위하여 모니터링 데이터 생성부는

디지털 필터를 이용하여 디지털 신호로부터 노이즈를 제거하게 된다(S306). 이때, 디지털 필터의 종류는 제거하기 위한 노이즈의 주파수 성분에 따라 LPF 및 HPF 중 하나 이상이 사용될 수 있다.

[0110] 이후, 모니터링 데이터 생성부는 노이즈가 제거된 디지털 신호를 이용하여 레이저 용접의 품질을 모니터링 하기 위한 모니터링 데이터를 생성하게 된다(S307). 보다 구체적으로, 모니터링 데이터는 디지털 신호를 이용하여 디지털 신호의 전압 별 빈도 정보를 포함하는 히스토그램 데이터를 생성하거나 웨이블릿 변환을 거쳐 비주기적인 과도현상을 해석하기 용이한 웨이블릿 데이터를 생성하게 된다(S307). 이때, 모니터링 데이터 생성부는 히스토그램 데이터 및 웨이블릿 데이터를 각각 히스토그램부 및 웨이블릿부를 이용하여 생성하게 된다.

[0111] 또한, 모니터링 데이터 생성부는 생성된 웨이블릿 데이터를 이용하여 시간(x), 주파수(y) 및 진폭(z) 3차원을 이용한 스펙트로그램 데이터를 생성하게 된다(S308). 이때, 모니터링 데이터 생성부는 스펙트로그램부를 이용하여 스펙트로그램 데이터를 생성하게 된다.

[0112] 최종적으로, 판단부는 상술된 모니터링 데이터에 근거하여 레이저 용접의 품질은 모니터링하게 된다(S308). 보다 구체적으로, 레이저 용접의 품질을 모니터링하는데 사용되는 모니터링 데이터는 상술된 히스토그램 데이터, 웨이블릿 데이터 및 스펙트로그램 데이터 중 하나 이상일 수 있으며, 판단부는 이러한 모니터링 데이터의 분포가 기 설정된 제한 범위 내에 분포하는 경우 레이져 용접의 품질이 양호한 것으로 판단하게 된다.

[0113] 여기서, 기 설정된 제한 범위는 모니터링 데이터의 종류에 따라 사용자로부터 설정될 수 있다.

[0115] **<실험예>**

[0116] 이하에서는 본 발명에 따른 레이저 용접 모니터링 시스템을 이용하여 시편에 레이저 용접 중 발생되는 플라즈마와 스패터로부터 레이저 용접의 품질을 모니터링하는 구체적인 실험예에 대해 설명하도록 한다.

[0117] 실험예에서는 평균유효출력이 2kW인 연속파(Continuous Wave; CW) ND : YAG 레이저(10)를 이용하여 시편(20)에 비드온플레이트(Bead-on-Plate; BOP)용접을 실시하였다.

[0118] 이때, 레이저 용접은 초점거리가 200㎜인 용접렌즈를 사용하여 초점직경이 0.6㎜인 레이저 빔을 시편 표면에 조사하였으며, 보호가스는 플라즈마 영향을 상쇄시키는 아르곤(Ar)을 사용하였고, 보호가스의 유량과 분사노즐의 입사각은 각각 15ℓ/min와 45° 로 설정하였다. 보다 구체적인 레이저 용접의 공정 변수는 하기의 표 1과 같다.

표 1

[0120]

	Bead-on-plate(BOP)
Laser power (P:W)	1200, 1400, 1600, 1800, 1900, 2000
Welding speed(m/min)	0.7~2.0
Focal position(mm)	0(Focal length:200mm)
Shielding gas(ℓ/min)	Argon, 15

[0121] 한편, 레이저 용접에 사용된 시편(20)은 100×60×3.2㎜ 크기의 S45C강으로 기계적 특성 및 화학 조성은 각각 하기의 표 2 및 표 3와 같다.

표 2

[0122]

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Fe
S45C	0.45	0.194	0.702	0.02	0.01	0.02	0.01	0.008	Bal.

표 3

[0124]

	Specific gravity (g/cm^3)	Tensile strength(MPa)	Melting point(℃)	Emissivity
S45C	7.84	≥646.8	1450	15%
	Thermal conductivity(cal/cm sec ℃)		expansion coefficient($*10^{-6}$)	Specific resistance(-cm)
	0.106		11.3	20

[0125] 상술된 공정 조건 하에서 레이저 용접을 수행하는 중 발생되는 플라즈마와 스패터로부터 광 시준기(100)는 광을 획득하고, 광 시준기(100)로부터 획득된 광을 동일한 광량으로 포토다이오드부(300)에 포함된 제1 내지 제3 포토다이오드(310, 320, 330)에 분배하게 된다.

[0126] 이후, 제1 포토다이오드(310), 제2 포토다이오드(320) 및 제3 포토다이오드(330)는 각 대역의 광을 광신호로 변환하게 되며, 레이저 용접의 품질을 정확하게 모니터링하기 위하여, 레이저 용접 과정에서 발생하는 노이즈를 광신호로부터 제거하는 과정을 수행하게 된다.

[0127] 이에 따라, 포토다이오드부(300)의 제1 내지 제3 포토다이오드(310, 320, 330)로부터 변환된 광신호로부터 60Hz의 전원 노이즈를 노이즈 필터(510)로 제거 후 증폭기(520)를 통해 광신호를 증폭하였으며, LC 필터(530)를 이용하여 기 설정된 대역의 신호를 광신호로부터 제거하였다.

[0128] 이후, 데이터 수집기(DAQ, 540)를 통해 노이즈 및 기 설정된 대역의 신호가 제거되고 진폭이 증폭된 광신호를 컴퓨터에서 인식 가능한 디지털 신호로 변환하였다. 이때 데이터 수집기(DAQ, 430)의 분해능은 16bit이며, 표본화(Sampling) 속도는 초당 10,000개의 데이터를 받도록 설정하여 분석하였다.

[0129] 도 4a 및 도 4b는 레이저 용접 과정에서 획득된 디지털 신호의 파형에 대한 그래프이다.

[0130] 보다 구체적으로, 도 4a는 1,400W 및 2,000W의 레이저 출력으로 BOP 용접을 수행하는 과정에서 자외선 대역의 광을 광신호로 변환하는 제1 포토다이오드(310)로부터 변환된 광신호를 디지털 신호로 변환한 디지털 신호의 파형을 도시한 그래프이고, 도 4b는 1,400W 및 2,000W의 레이저 출력으로 BOP 용접을 수행하는 과정에서 적외선 대역의 광을 광신호로 변환하는 제2 포토다이오드(320)로부터 변환된 광신호를 디지털 신호로 변환한 디지털 신호의 파형을 도시한 그래프이다.

[0131] 본 발명에 따른 레이저 용접 모니터링 시스템은 키홀(Keyghole)의 거동에 의한 플라즈마의 변화 정보 즉, 레이저 용접의 품질에 대한 정보를 포함한 디지털 신호에 기반하여 레이저 용접의 품질 판단 기준이 되는 키홀의 생성 및 용입 정도를 측정할 수 있다.

[0132] 도 4a 및 도 4b를 참조하면, 레이저(10)의 출력이 클수록 키홀 및 자외선 영역의 광으로부터 변환된 디지털 신호(UV 신호)가 커지고, 높은 온도에서 용융풀의 폭은 넓게 형성되면서 적외선 영역의 광으로부터 변환된 디지털 신호(IR 신호)도 커짐을 알수 있다. 하지만, 레이저(10)의 출력이 커지면 시편(20)의 재료에 흡수되는 입열량이 증가하고, 플라즈마 방사강도 또한 증가하기 때문에 디지털 신호의 진폭이 커짐으로써, 용융풀에서 스패터와 플라즈마에 의한 노이즈가 유입되어 레이저 용접의 품질을 모니터링하는 것이 용이하지 않다.

[0133] 따라서, 데이터 수집기(DAQ, 430)를 통해 변환된 디지털 신호로부터 노이즈를 제거하기 위하여 디지털 필터(510)를 이용하였으며 특히, DC성분의 노이즈를 제거하기 위해 LPF를 이용하였으며, AC성분의 노이즈를 제거하기 위해 밴드패스 필터(Band pass filter; BPF)를 이용하였다.

[0134] 도 5a 내지 도 5c는 레이저의 출력을 변화시켜 레이저 용접을 수행하는 과정에서 획득된 디지털 신호와 디지털 필터(BPF)를 적용한 디지털 신호의 파형에 대한 그래프이다. 이때, 레이저 빔의 이송속도를 1m/min로 설정하여 BOP 용접을 수행하였으며, 레이저 용접의 시작 시점과 종료 시점을 각각 A 및 B로 도시하였다.

[0135] 보다 구체적으로, 도 5a는 1,200W의 레이저 출력으로 레이저 용접 중 획득된 디지털 신호와 디지털 필터를 적용한 디지털 신호의 파형에 대한 그래프이다.

[0136] 도 5a를 참조하면, 1,200W의 레이저 출력으로 레이저 용접을 수행하는 경우, 시편(20)에 집속된 레이저빔의 에너지밀도가 105W/cm2 이하이므로 레이저빔의 용접 에너지가 시편(20)의 재료에 침투되는 양보다 반사되거나 시

료(20)의 재료 내부로 열전달 되는 양이 많아진다. 따라서, 도 5a의 디지털 신호들은 레이저 용접이 부분용입 되었을 때 나타나는 특성을 보여주고 있다.

[0137] 하지만, BPF가 적용되지 않은 UV 및 IR 신호는 내부에 혼재된 노이즈로 인해 상술된 부분용입 용접의 특성을 관찰하기 용이하지 않으며, BPF를 적용한 IR 신호의 경우, BPF를 이용하여 디지털 신호로부터 노이즈가 제거됨으로써, 부분용입 용접의 특성을 관찰하기 용이하다.

[0138] BPF를 적용한 IR 신호를 살펴보면, “A” 지점은 0.15sec 동안 (-)전압으로 낮아진 후 ±0.1V 내로 균일하게 유지되고 있다. 이는 키홀의 형성과 대응되는 신호의 특성으로 전압의 응답시간 폭이 낮은 경우 키홀의 크기가 매우 작은 부분용입 용접이 수행됨을 알 수 있다. 또한, BPF를 적용한 IR 신호의 “B” 지점은 키홀이 열린 후 에너지가 단절되는 시점에 키홀 압력과 용융층의 표면장력 및 냉각시간에 의한 크레이터임을 알 수 있다.

[0139] 다음으로, 도 5b는 1,600W의 레이저 출력으로 레이저 용접 중 획득된 디지털 신호와 디지털 필터를 적용한 디지털 신호의 파형에 대한 그래프이다.

[0140] 도 5b를 참조하면, 1,600W의 레이저 출력으로 레이저 용접을 수행하는 경우, 1,200W의 레이저 출력 대비 증가된 레이저 출력으로 인해 용융풀의 체적이 증가하여 UV 신호의 강도가 증가됨을 알 수 있다. 이에 따라, UV 신호와 IR 신호가 중첩과 분리를 반복하고, 이때 발생하는 UV 신호와 IR 신호의 전압차를 이용하여 부분용입 용접의 용입 깊이를 예측할 수 있다. 한편, BPF를 적용한 IR 신호를 통해서는 레이저 출력의 증가로 인한 주파수의 요동 성분 감소를 관찰할 수 있다.

[0141] 도 5c는 2,000W의 레이저 출력으로 레이저 용접 중 획득된 디지털 신호와 디지털 필터를 적용한 디지털 신호의 파형에 대한 그래프이다.

[0142] 도 5c를 참조하면, 2,000W의 레이저 출력으로 레이저 용접을 수행하는 경우, 1,600W의 레이저 출력 대비 더욱 증가된 레이저 출력으로 용융풀의 체적은 더욱 증가하고, 이에 따른 UV 신호의 강도 증가가 두드러짐을 알 수 있다. 이에 따라, 1,600W의 레이저 출력으로 레이저 용접을 수행하는 경우, 관찰할 수 있는 UV 신호와 IR 신호의 중첩과 분리는 관찰할 수 없으며 모든 구간에서 완벽히 분리된 UV 신호와 IR 신호를 관찰할 수 있다. 한편, BPF를 적용한 IR 신호 또한 1,600W의 레이저 출력 대비 주파수의 요동 성분 감소가 두드러지며, 이를 통해 심입 용접이 수행됨을 알 수 있다.

[0143] 다음으로, 도 6a 및 도 6b는 레이저 빔의 이송속도를 변화시켜 레이저 용접을 수행하는 과정에서 획득된 디지털 신호와 디지털 필터(BPF)를 적용한 디지털 신호의 파형에 대한 그래프이다. 이때, 레이저의 출력은 1,900W 로 설정하여 BOP 용접을 수행하였다.

[0144] 보다 구체적으로, 도 6a는 1.3m/min의 이송속도로 레이저 빔을 이동시켜 레이저 용접을 수행하는 과정에서 획득된 디지털 신호와 디지털 필터를 적용한 디지털 신호의 파형에 대한 그래프이다.

[0145] 도 6a를 참조하면, 레이저 빔의 이송속도를 1.3m/min으로 설정하여 레이저 용접을 수행하는 경우, 레이저 빔과 시편(20)의 재료 간에 상호작용 시간이 길어 IR 신호와 UV 신호가 중첩 및 분리를 반복함을 알 수 있다. 한편, BPF를 적용한 IR 신호는 진폭이 ±0.1V로 매우 작고 균일함을 알 수 있다. 이를 통해, 시편(20)의 소재 표면에 집속된 입열량이 적절하여 키홀의 개폐가 일정하게 용접됨을 알 수 있다.

[0146] 다음으로, 도 6b는 2.5m/min의 이송속도로 레이저 빔을 이동시켜 레이저 용접을 수행하는 과정에서 획득된 디지털 신호와 디지털 필터를 적용한 디지털 신호의 파형에 대한 그래프이다.

[0147] 도 6b를 참조하면, 레이저 빔의 이송속도를 2.5m/min으로 설정하여 레이저 용접을 수행하는 경우, 레이저 빔과 시편(20)의 재료 간에 상호작용 시간이 짧아 IR 신호와 UV 신호가 모든 구간에서 완벽히 분리됨을 알 수 있다. 이를 통해, 상술된 상호작용 시간이 짧아 시편(20)의 재료에 흡수되는 입열이 감소하여 용융풀의 표면적이 줄어듦을 알 수 있다. 한편, BPF를 적용한 IR 신호는 진폭이 -0.1V이고, 주파수가 높음을 알 수 있으며, 이는 레이저 출력을 높게 설정하여 레이저 용접을 수행하는 과정에서 관찰할 수 있는 디지털 신호의 특성과 동일함을 알 수 있다.

[0148] 다음으로, 도 7a 내지 도 7h는 레이저 용접의 결함에 따른 디지털 신호의 파형에 대한 그래프 및 시편의 표면을 도시한 도면이다. 이때, 디지털 신호의 파형에 대한 그래프에는 기준 신호(min) 및 기준 신호(max) 중 하나 이상이 도시되어 있으며, 이를 기준으로 레이저 용접의 품질을 모니터링하게 된다.

[0149] 보다 구체적으로, 도 7a는 시편의 재료에 탄소를 포함하는 시편과 이를 이용한 레이저 용접의 결함에 따른 디지

털 신호의 파형에 대한 그래프이다.

[0150] 일반적으로, 시편의 재료에 탄소가 함유되어 있으면 레이저 용접시 탄소와 대기중의 산소가 반응하여 CO, CO_2의 가스가 형성되고, 이는 용융금속 내부에서 발생하여 용융금속의 응고 후 기공(캐비티)으로 남게된다. 이러한 용접 결함이 발생하는 경우, 도 7a의 디지털 신호와 같이 전후 진폭의 차가 크고 작은 더블 피크가 생성됨을 알 수 있다.

[0151] 다음으로, 도 7b는 함몰(Undercut, Humping) 현상이 발생한 시편과 레이저 용접의 결함에 따른 디지털 신호의 파형에 대한 그래프이다.

[0152] 일반적으로, 함몰현상은 용접부 강도를 저하 시킬 수 있고, 응역집중 구역으로 작용한다. 이러한 현상은 용접공정 변수들 중에 용접속도가 빠르거나, 보호가스 압력 높거나, 레이저 출력이 낮아 발생한 현상들 중에 하나이다. 또한, 강판의 재질에 따라 다를 수 있다. 신호의 특징은 주위 기준신호들과 비교하여 기준 신호보다 갑자기 진폭이 낮아지는 현상을 나타낸다. 이는 플라즈마가 발생이 어느 정도 유지되다가 갑자기 플라즈마 형상이 깨져서 발생하는 신호이기 때문이다.

[0153] 도 7c는 오염물의 분출이 일어난 시편과 레이저 용접의 결함에 따른 디지털 신호의 파형에 대한 그래프이다.

[0154] 레이저 용접의 초기 과정 중 용융풀에서 오염물의 분출은 용융금속의 손실을 야기시키는 원인이 된다. 이때, 획득되는 디지털 신호의 특성은 레이저 용접의 초기에서 발생했기 때문에 기준신호는 낮아 보이지만 다음 용접과정 중 원래의 기준 신호로 복귀하는 특성을 가진다. 이를 통해, 판단부(700)는 레이저 용접에서 가장 중요시 하는 키홀의 특성을 고려하여, 레이저 용접의 초기에 이와 같은 현상이 발생할 경우 용접 결함이 발생한 것으로 판단할 수 있다.

[0155] 다음으로, 도 7d는 용입부족이 발생한 시편과 레이저 용접의 결함에 따른 디지털 신호의 파형에 대한 그래프이다.

[0156] 일반적으로, 용입부족이 발생하는 경우, 용입 깊이가 낮아져 획득되는 디지털 신호가 기준신호 하위에 형성되게 된다. 보다 구체적으로, 키홀의 작용에서 깊이가 깊어질수록 레이저빔의 흡수율이 높아지고 이에 따라, 플라즈마의 차창효과가 커져 용입 부족이 발생하게 된다. 이를 통해, 판단부(700)는 도 7d와 같은 디지털 신호가 획득되는 경우, 레이저 출력이 낮아 용입 부족이 발생한 것으로 판단할 수 있다.

[0157] 도 7e는 용접 초점을 변화시켜 레이저 용접을 수행한 시편과 이에 따른 디지털 신호의 파형에 대한 그래프이다.

[0158] 이때, 레이저 출력과 속도는 각각 1900W, 1m/min으로 고정하고 용접 초점은 시편의 표면을 0(Zero)점으로 기준하여 0.5㎜ 이하로 순차적으로 낮게 하여 디지털 신호(1 내지 3)를 획득하였다. 초점이 내려 갈수록 기준신호와 멀어지고, 초점이 내려갈수록 용접 비드의 폭이 점점 넓어지는 현상을 나타낸다. 이를 통해, 판단부(700)는 용접 초점에 따른 레이저 용접의 품질을 모니터링할 수 있다.

[0159] 도 7f는 스패터가 분출된 시편과 이에 따른 디지털 신호의 파형에 대한 그래프이다.

[0160] 일반적으로, 키홀 용접에서는 스패터 분출 현상이 흔히 나타나는 현상으로 움푹 들어간 형상의 용융구역에서 많은 양의 용융금속이 증발 혹은 스패터로 분출되게 된다. 이러한 스패터 분출 현상의 발생하는 경우 획득되는 디지털 신호에 많은 양의 노이즈가 유입되어 레이저 용접의 품질을 모니터링하기 용이하지 않다. 이에 따라, 디지털 신호로부터 노이즈를 제거하기 위해 신호처리를 수행하게 된다.

[0161] 도 7f에는 필터링 전후의 디지털 신호가 도시되어 있다. 보다 구체적으로, 도 7f에 표시된 원형 점선 내 노이즈를 필터링 처리하는 경우, 기준신호를 나타낼 수 있다. 이를 통해, 판단부(700)는 필터링 된 신호를 기준으로 스패터 분출 현상으로 인한 노이즈를 모니터링하여 레이저 용접의 품질을 모터링할 수 있다.

[0162] 도 8a 내지 도 8f는 레이저 출력 변화에 따른 UV 신호의 히스토그램 데이터를 도시한 도면이다. 이때, 레이저의 출력을 1,200W, 1,400W, 1,600W, 1,800W, 1,900W 및 2000W으로 변화시켰으며, 이에 따른 UV 신호의 히스토그램 데이터는 각각 도 8a 내지 도 8f에 도시하였다.

[0163] 보다 구체적으로, 히스토그램부(620)를 통해 생성된 히스토그램 데이터는 디지털 신호의 전압 별 빈도 정보를 포함하며, 이를 레이저 출력에 따른 신호의 강도를 나타내는 횡축(x축)과 전압을 표시하여 강도 빈도수는 종축(y축)을 통해 표시하였다.

[0164] 도 8a에 도시된 1,200W의 레이저 출력의 UV 신호 전압은 최대 1V이고, 출력이 증가함에 따라 1.6~1.5 V의 전압

빈도수가 가장 많이 나타났다. 이때 레이저 출력은 1,600W에서 2,000W로 증가 시켰을 때 실험결과이다. 실험결과를 분석한 완전 용입 조건과 최적 입열량 판단 기준이 1.6V에 근사하기 때문에 판단부(700)는 1.6V를 기준으로 전압의 변위차가 적은 범위를 확보하는 히스토그램 데이터가 획득되는 경우, 레이저 용접의 품질을 양호한 것으로 판단할 수 있다.

[0165] 한편, 정규직교하는 성질로 인해 함수들의 선형조합으로 원래 데이터를 표현할 수 있는 Haar 웨이블릿 함수를 이용한 Haar 웨이블릿 변환은 분석이 용이하고 계수들의 계산이 간단하며, 평균의 변환 시 발생하는 이상상황 분석에 탁월한 성능을 보인다. 이에 따라, 노이즈가 제거된 디지털 신호를 웨이블릿 변환하는 경우 레이저 용접의 품질을 보다 효과적으로 모니터링할 수 있다.

[0166] 도 9a는 본 발명에 따른 웨이블릿부(620)를 이용하여 UV 신호로부터 웨이블릿 변환을 통해 생성된 웨이블릿 데이터에 대한 그래프이고, 도 9b는 본 발명에 따른 웨이블릿부(620)를 이용하여 IR 신호로부터 웨이블릿 변환을 통해 생성된 웨이블릿 데이터에 대한 그래프이다.

[0167] 도 9a 및 도 9b의 웨이블릿 데이터는 웨이블릿 영역에서 잡음제거법(Denoising technique)을 이용하여 신호에 첨가된 화이트가우시안 노이즈(White Gaussian noise)를 제거하였다.

[0168] 도 9a 및 도 9b의 ①~④구역에서는 레이저 용접의 결함으로 인해 발생하는 전압차이를 구분할 수가 있다. 레이저 용접의 진행 방향으로 홀의 깊이가 깊어질수록 용융금속이 공간을 채우지 못하고, 비드표면이 시편의 표면이나 후면보다 안쪽에 생기게 된다.

[0169] 원신호(디지털 신호)를 웨이블릿 변환 시 각 스케일로 신호를 분리할 수 있게 되는데, 이때 각 스케일에 포함된 노이즈는 웨이블릿 변환의 특성상 원신호의 크기보다 상대적으로 작아지게 되고, 웨이블릿 영역에서 잡음치를 추정하여 적절한 기준값 이하의 값을 제거한 후 다시 합성함으로써 노이즈를을 효과적으로 제거할 수 있다.

[0170] 한편, 레이저 용접은 비주기성이지만 최적 신호를 규명하는데 있어서 규칙적인 복합파를 찾기 위한 방법이 필요하다. 그러므로 본 발명에서는 레이저 용접중 발생된 복합파를 시각화하여 분석하기 위한 도구로 웨이브폼(Waveform)과 스펙트럼의 특징이 조합되어 있는 스펙트로그램(Spectrogram) 데이터를 이용하였다.

[0171] 도 10a는 본 발명에 따른 스펙트로그램부(630)를 이용하여 UV 웨이블릿 데이터로부터 생성된 UV 스펙트로그램 데이터에 대한 그래프이고, 도 10b는 본 발명에 따른 스펙트로그램부(630)를 이용하여 IR 웨이블릿 데이터로부터 생성된 IR 스펙트로그램 데이터에 대한 그래프이다.

[0172] 도 10a 및 도10 b는 외부결함에 의해 복합파를 시각적으로 일목요연하게 나타내고 있다. 일반적으로 분석하는 신호는 시간에 따라 그 질도 변하고, 그 크기의 변화도 매우 복잡하다. 즉, 신호는 시간에 따라 그 구성 성분의 종류와 양이 변화한다.

[0173] 따라서, 스펙트로그램 데이터는 시간의 개념 없이 신호의 파형을 구성하고 있는 내용물의 질과 양을 보여주는 스펙트럼과 달리 시간의 축을 덧붙여 주파수와 진폭의 시간에 따른 변화를 보여주는 삼차원 적인 그림이라 할 수 있다. 그러므로 스펙트럼은 x 와 y 의 두 축으로 구성되어 있는 반면, 스펙트로그램은 x, y, z의 세 축을 가지고 있다.

[0174] 도 10a 및 도10 b의 스펙트로그램 데이터는 x 축을 시간, y 축을 주파수, z 축을 진폭(강도)으로 표시했다. 그 결과 깊이의 변화에 따른 신호의 해석 구분이 되었고, 깊이가 깊어질수록 주파수 성분은 낮아지는 것을 확인 할 수가 있었다.

[0175] 이처럼 본 발명에 따른 레이저 용접 모니터링 장치와 모니터링 방법은 잡음성분을 효과적으로 제거하고, 결함에 대한 정보를 비교적 정확하게 나타낼 수 있으므로, 보다 신뢰성 있는 모니터링 시스템을 구축할 수 있게 된다.

[0177] 한편, 본 발명에 따른 레이저 용접 모니터링 시스템(1000)의 모니터링 데이터 생성부(600) 및 판단부(700)는 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 데이터 파일, 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체에 기록되는 프로그램 명령은 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다.

[0178] 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체(magnetic media), CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체(optical media), 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광

매체(magneto-optical media), 및 롬(ROM), 램(RAM), 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 모든 형태의 하드웨어 장치가 포함될 수 있다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함할 수 있다. 이러한 하드웨어 장치는 본 발명의 동작을 수행하기 위해 하나 이상의 소프트웨어 모듈로서 작동하도록 구성될 수 있으며, 그 역도 마찬가지이다.

[0179] 또한, 본 발명에 따른 키워드를 이용한 레이저 용접 모니터링 시스템(1000)의 모니터링 데이터 생성부(600) 및 판단부(700)는 하드웨어와 소프트웨어의 조합으로서 구현될 수 있다. 또한, 소프트웨어는 프로그램 저장부 상에서 실재로 구현되는 응용 프로그램으로서 구현될 수 있다. 응용 프로그램은 임의의 적절한 아키텍처를 포함하는 머신에 업로드되고 머신에 의해 실행될 수 있다. 바람직하게는, 머신은 하나 이상의 중앙 처리 장치들(CPU), 컴퓨터 프로세서, 랜덤 액세스 메모리(RAM), 및 입/출력(I/O) 인터페이스들과 같은 하드웨어를 갖는 컴퓨터 플랫폼 상에 구현될 수 있다. 또한, 컴퓨터 플랫폼은 운영 체제 및 마이크로 명령 코드를 포함할 수 있다. 여기서 설명된 다양한 프로세스들 및 기능들은 마이크로 명령 코드의 일부 또는 응용 프로그램의 일부, 또는 이들의 임의의 조합일 수 있고, 이들은 CPU를 포함하는 다양한 처리 장치에 의해 실행될 수 있다. 추가로, 추가 데이터 저장부 및 프린터와 같은 다양한 다른 주변 장치들이 컴퓨터 플랫폼에 접속될 수 있다.

[0180] 본 발명은 상술한 특정의 바람직한 실시 예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형실시가 가능한 것은 물론이고, 그와 같은 변경은 청구범위 기재의 범위 내에 있게 된다.

부호의 설명

[0182] 1000 : 레이저 용접 품질 모니터링 시스템

100 : 광 시준기

200 : 광 컴바이너

300 : 포토다이오드부

400 : 하우징

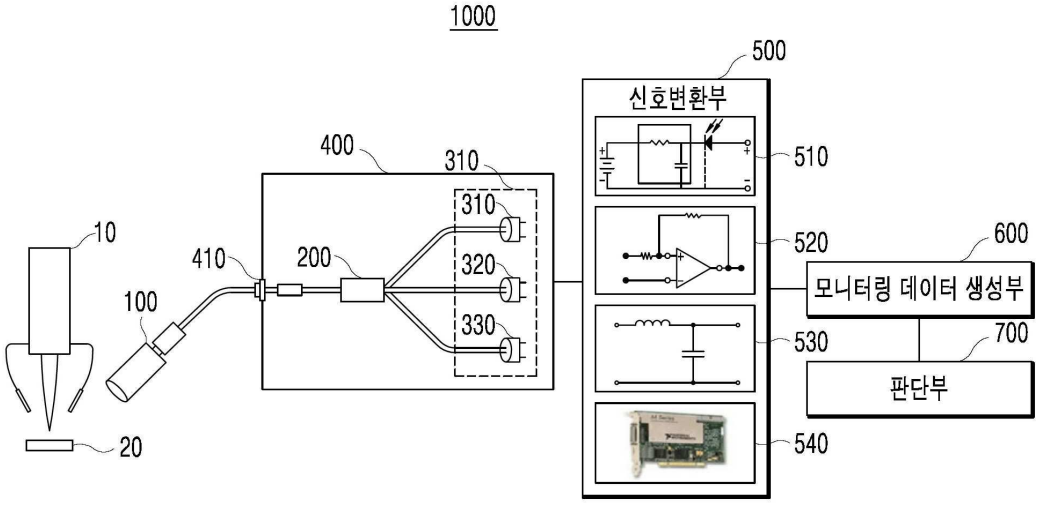
500 : 신호 변환부

600 : 모니터링 데이터 생성부

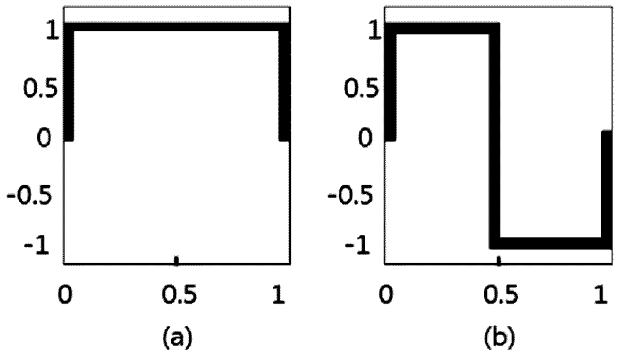
700 : 판단부

도면

도면1

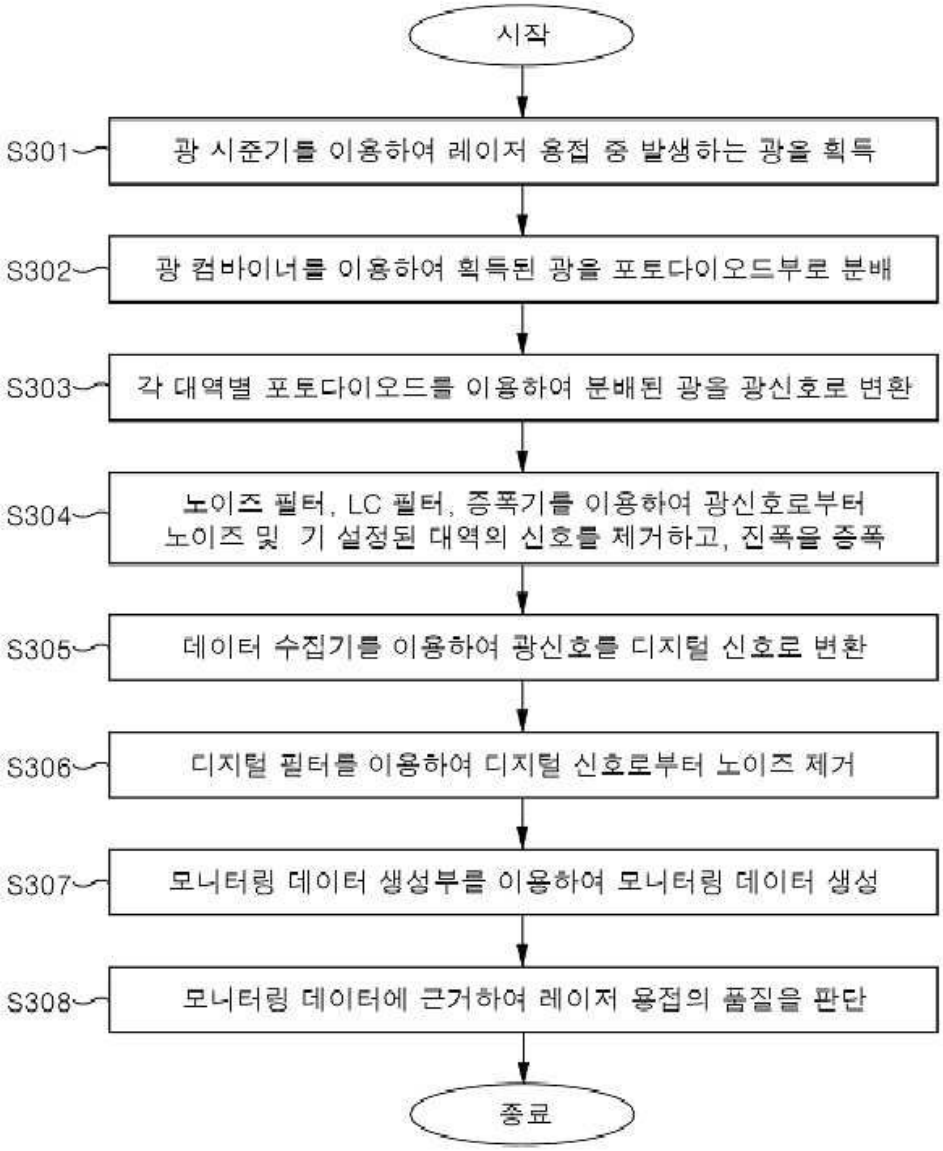


도면2

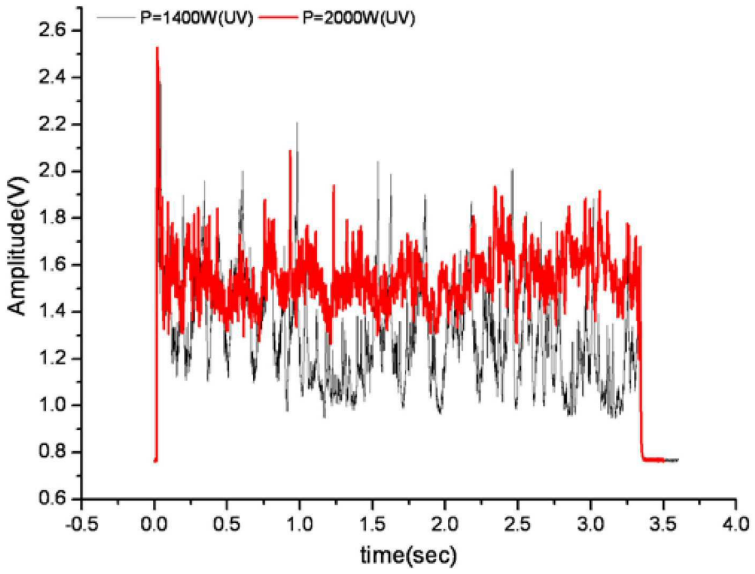


(a) Scale function of Haar wavelet, (b) Haar wavelet

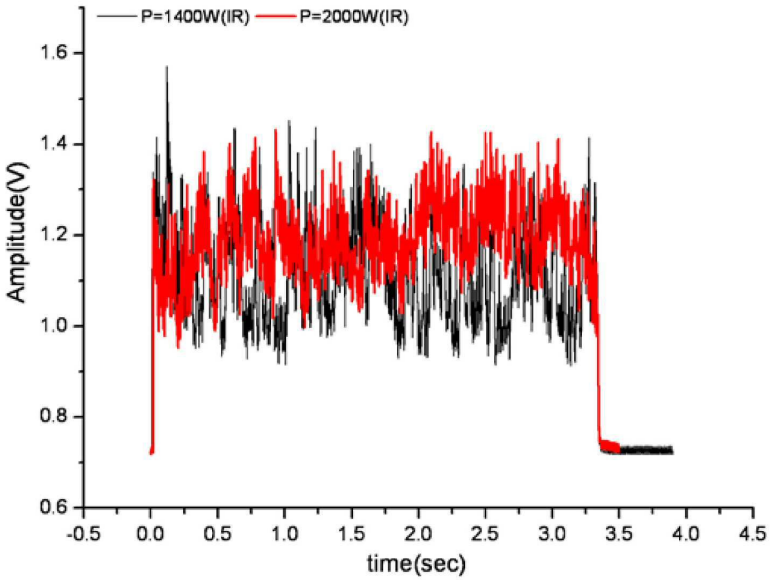
도면3



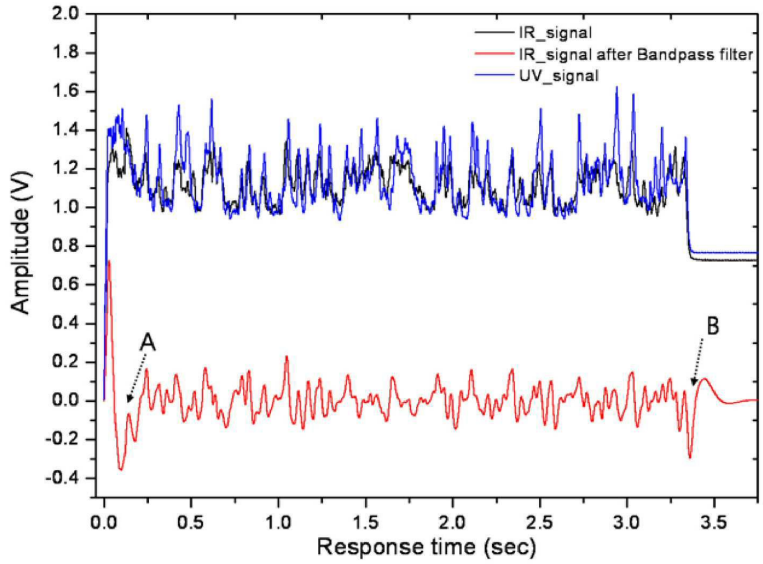
도면4a


P=1400W(UV)
P=2000W(UV)
Amplitude(V)
time(sec)

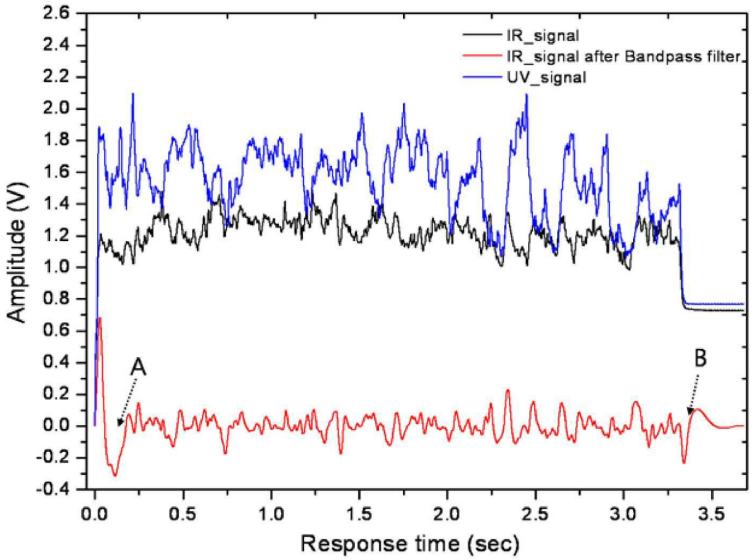
도면4b


P=1400W(IR)
P=2000W(IR)
Amplitude(V)
time(sec)

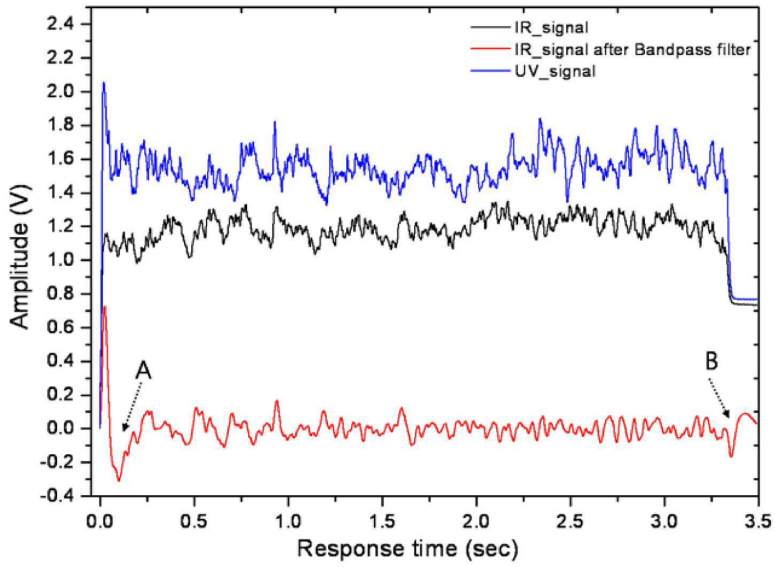
도면5a


IR_signal
IR_signal after Bandpass filter
UV_signal
Amplitude (V)
Response time (sec)
A
B

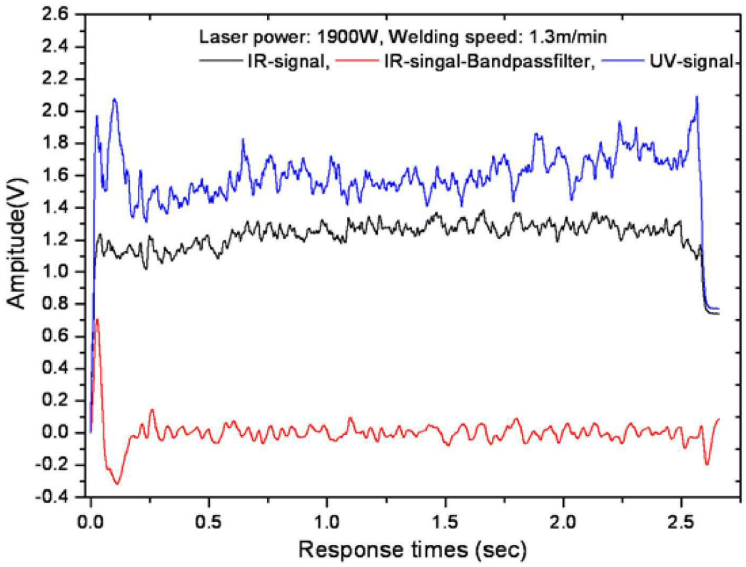
도면5b


IR_signal
IR_signal after Bandpass filter
UV_signal
Amplitude (V)
Response time (sec)
A
B

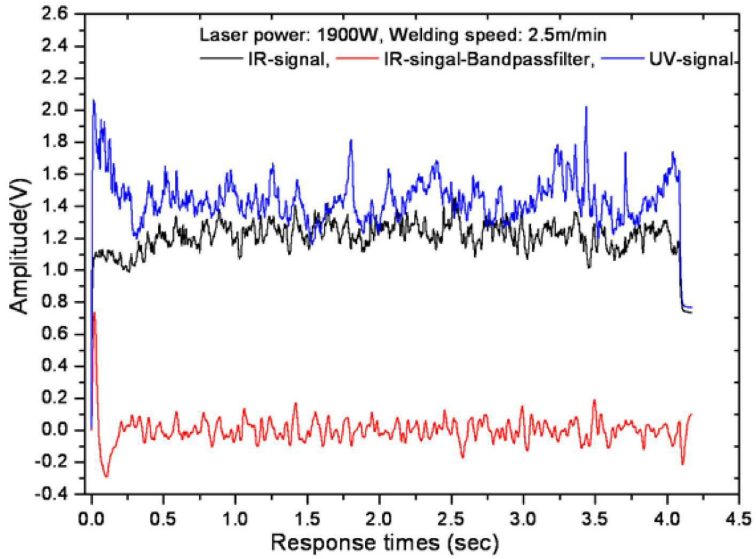
도면5c


IR_signal
IR_signal after Bandpass filter
UV_signal
Amplitude (V)
Response time (sec)
A
B

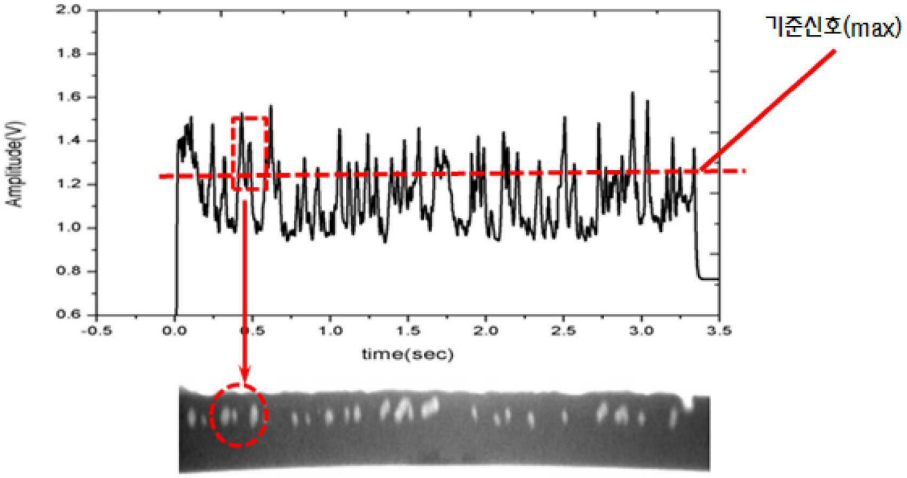
도면6a


Laser power: 1900W, Welding speed: 1.3m/min
IR-signal,
IR-singal-Bandpassfilter,
UV-signal-
Amplitude(V)
Response times (sec)

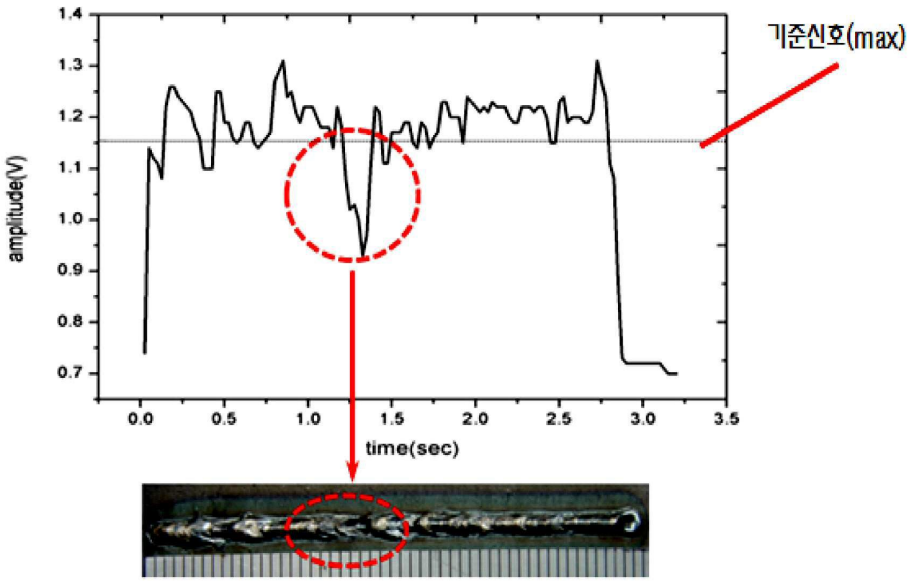
도면6b


Laser power: 1900W, Welding speed: 2.5m/min
IR-signal,
IR-singal-Bandpassfilter,
UV-signal
Amplitude(V)
Response times (sec)

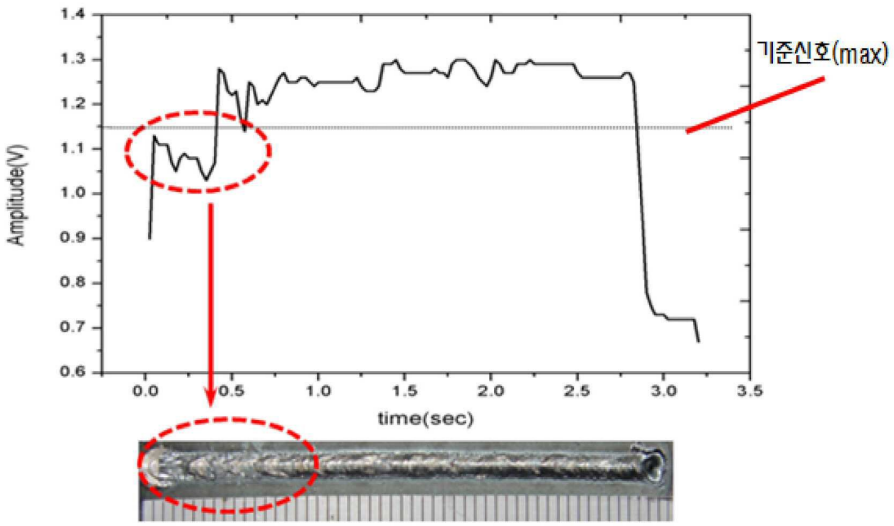
도면7a


기준신호(max)
Amplitude(V)
time(sec)

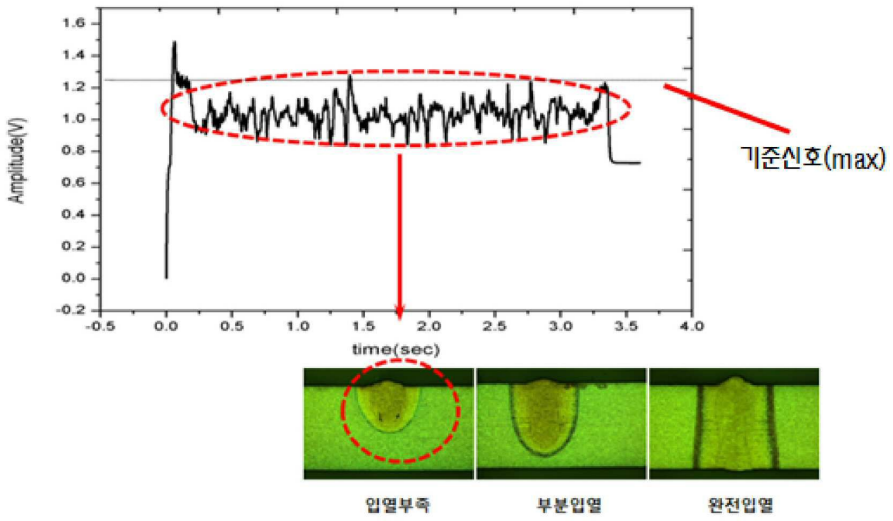
도면7b



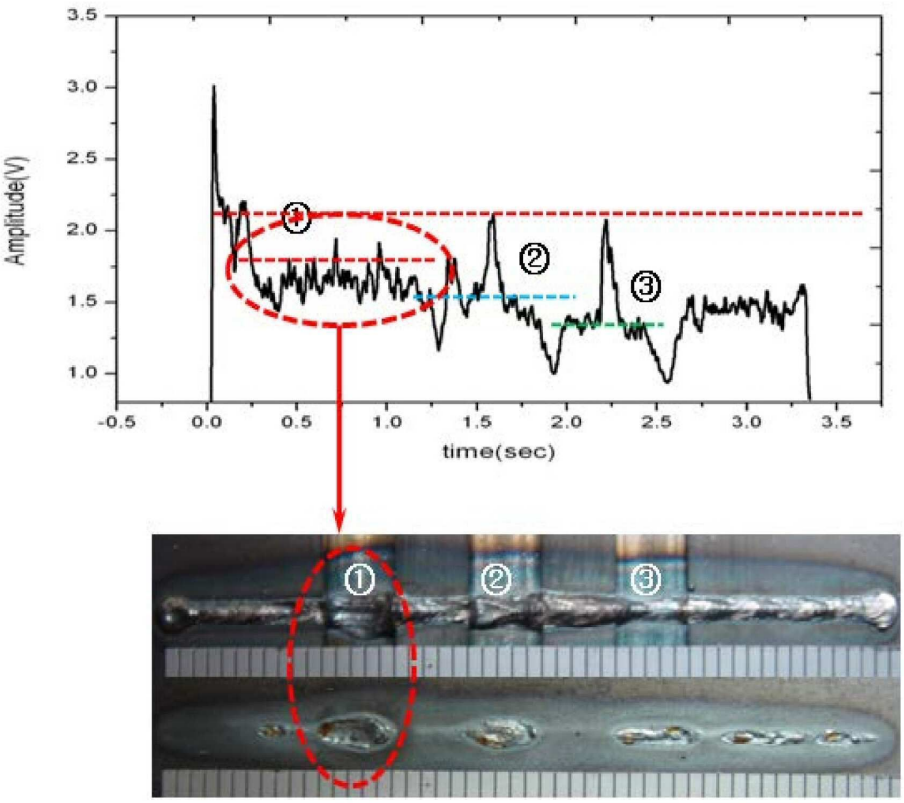
도면7c



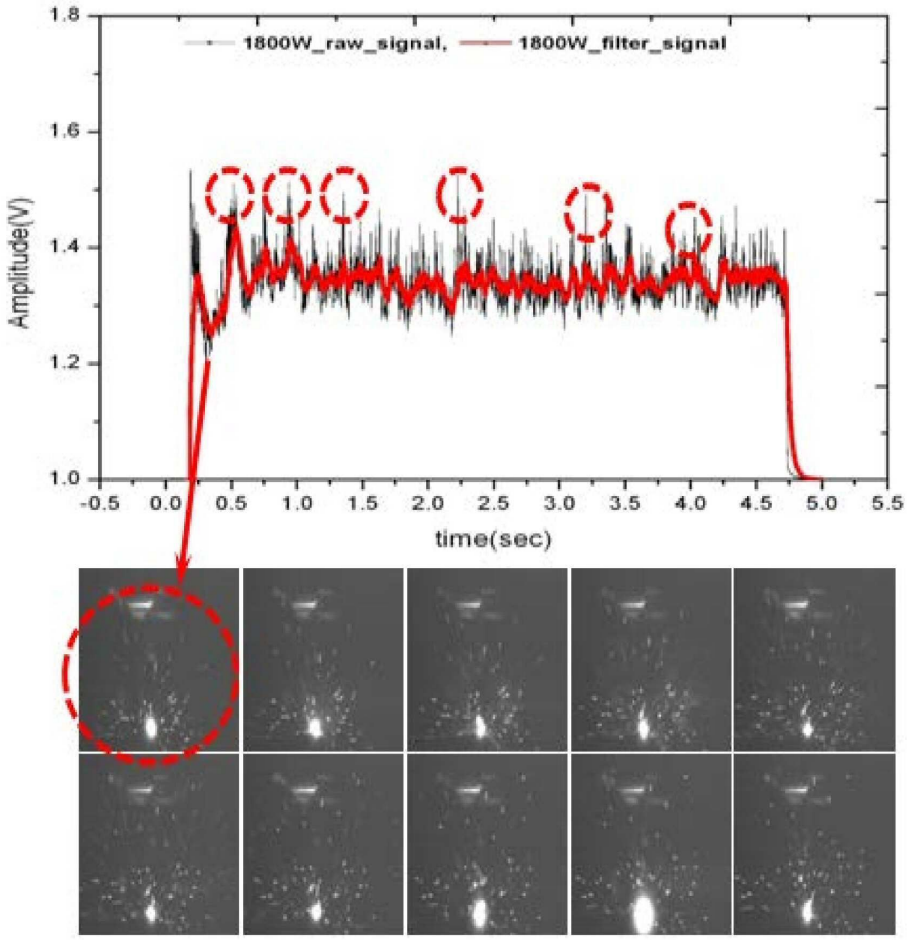
도면7d


Amplitude(V)
time(sec)
기준신호(max)
입열부족
부분입열
완전입열

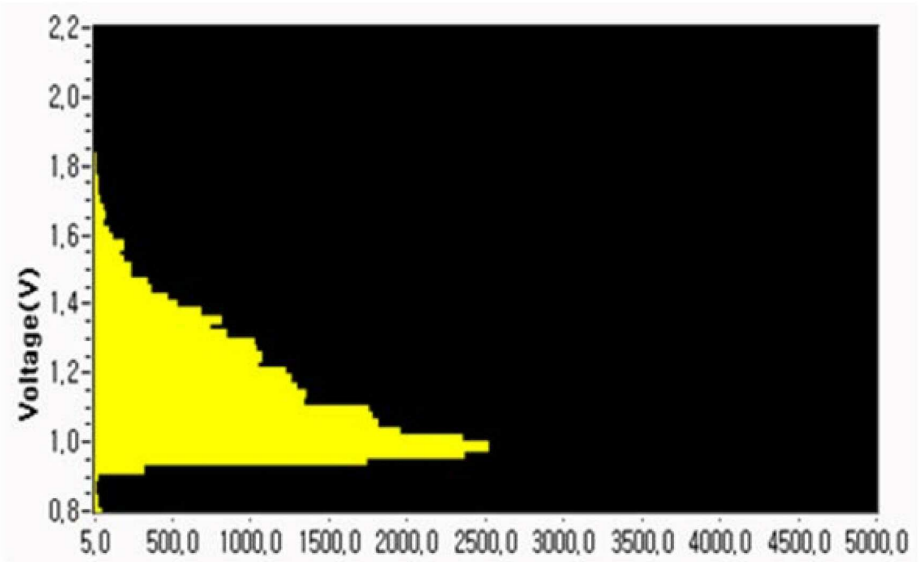
도면7e


Amplitude(V)
time(sec)
①
②
③

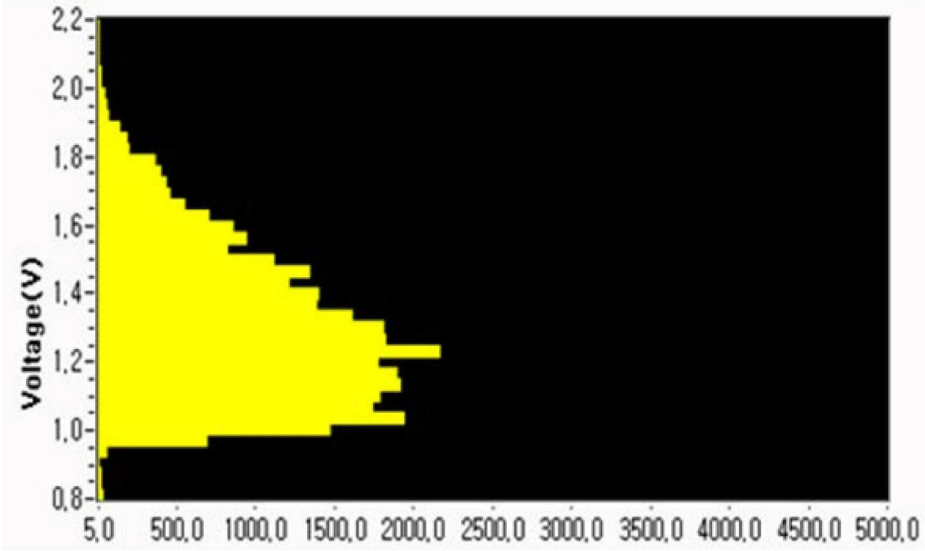
도면7f


1800W_raw_signal,
1800W_filter_signal
Amplitude(V)
time(sec)

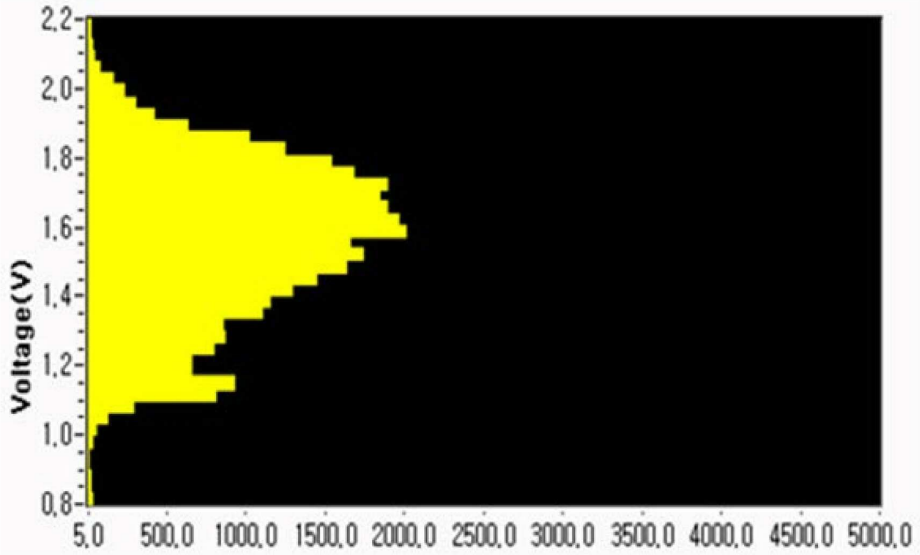
도면8a


Voltage(V)

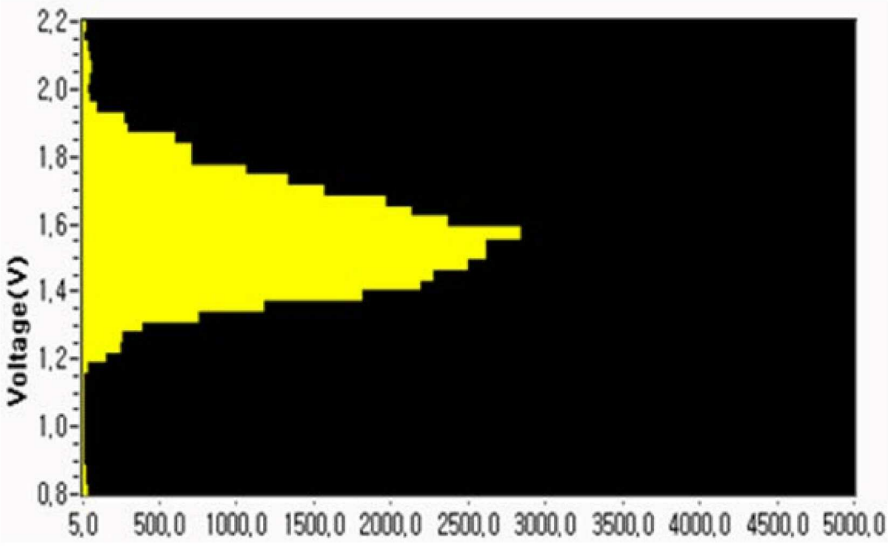
도면8b


Voltage(V)
2.2
2.0
1.8
1.6
1.4
1.2
1.0
0.8
5.0
500.0
1000.0
1500.0
2000.0
2500.0
3000.0
3500.0
4000.0
4500.0
5000.0

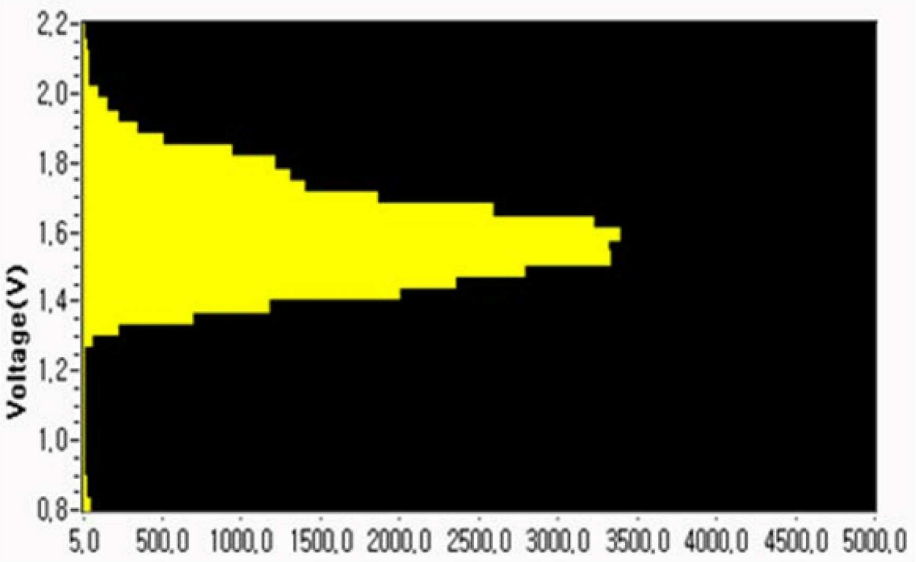
도면8c


Voltage(V)
2.2
2.0
1.8
1.6
1.4
1.2
1.0
0.8
5.0
500.0
1000.0
1500.0
2000.0
2500.0
3000.0
3500.0
4000.0
4500.0
5000.0

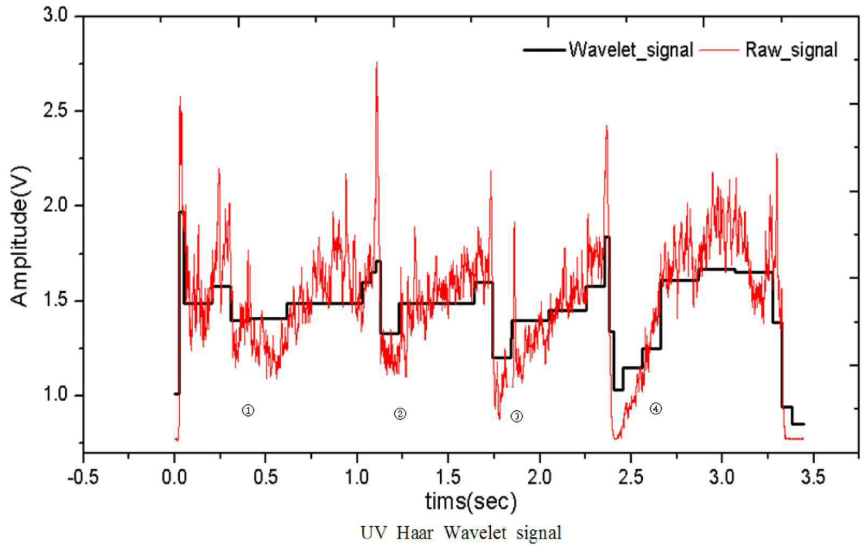
도면8d


Voltage(V)
2.2
2.0
1.8
1.6
1.4
1.2
1.0
0.8
5.0
500.0
1000.0
1500.0
2000.0
2500.0
3000.0
3500.0
4000.0
4500.0
5000.0

도면8e

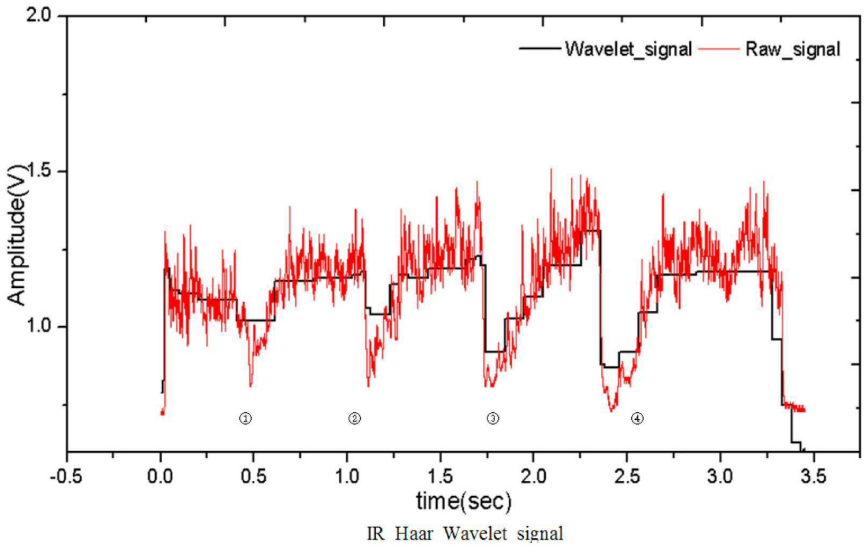

Voltage(V)
2.2
2.0
1.8
1.6
1.4
1.2
1.0
0.8
5.0
500.0
1000.0
1500.0
2000.0
2500.0
3000.0
3500.0
4000.0
4500.0
5000.0

도면9a



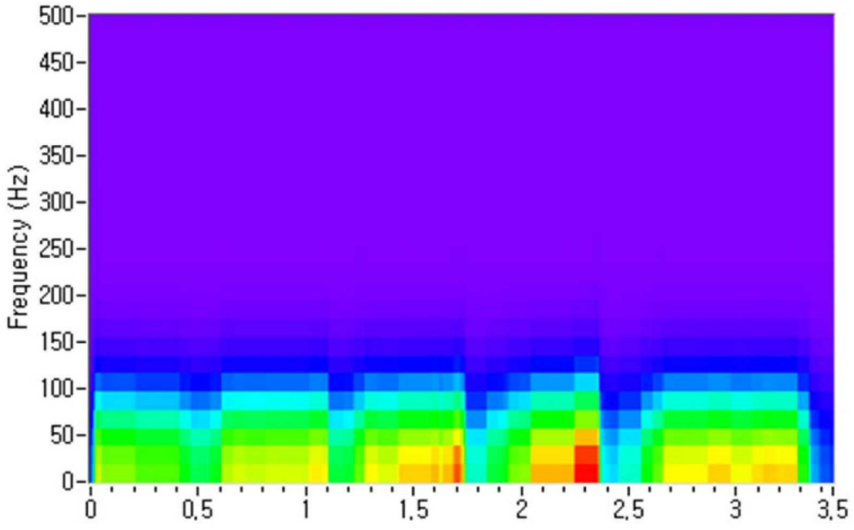
UV Haar Wavelet signal

도면9b



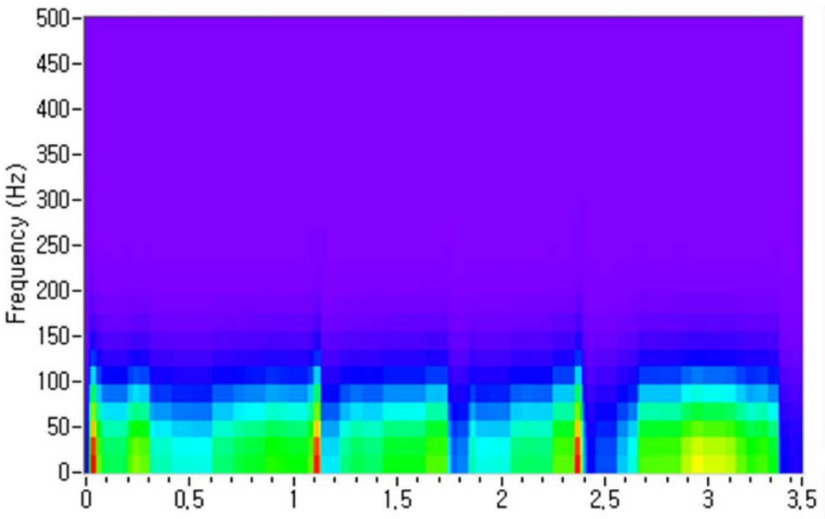
IR Haar Wavelet signal

도면10a



UV Spectrogram of Wavelet signal

도면10b



IR Spectrogram of Wavelet signal