



## LaserWel: 레이저용접 모니터링 및 용접불량 분석 시스템

LaserWel: A Laser Welding Process Monitoring & Fault Classification System

---

저자 (Authors)	오록규, 박종일, 김덕영 Rocku Oh, Jong Il Park, Duck Young Kim
출처 (Source)	<a href="#">한국CDE학회 학술발표회 논문집</a> , 2016.1, 934-937 (4 pages)
발행처 (Publisher)	<a href="#">(사)한국CDE학회</a> Society for Computational Design and Engineering
URL	<a href="http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE06648575">http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE06648575</a>
APA Style	오록규, 박종일, 김덕영 (2016). LaserWel: 레이저용접 모니터링 및 용접불량 분석 시스템. 한국CDE학회 학술발표회 논문집, 934-937.
이용정보 (Accessed)	울산과학기술원 114.70.11.*** 2018/09/03 10:54 (KST)

---

### 저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독 계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

### Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

## LaserWel: 레이저용접 모니터링 및 용접불량 분석 시스템

오록규<sup>1</sup> · 박종일<sup>1</sup> · 김덕영<sup>1†</sup>

울산과학기술원 제어설계공학과<sup>1</sup>

## LaserWel: A Laser Welding Process Monitoring & Fault Classification System

Rocku Oh<sup>1</sup>, Jong Il Park<sup>1</sup>, and Duck Young Kim<sup>1†</sup>

<sup>1</sup> Dept. of System Design and Control Engineering, Ulsan National Institute of Science and Technology

### ABSTRACT:

Remote laser welding is an emerging joining technology to meet the increasing demand of corrosion resistance, fast, non-contacted and single sided joining for automotive body-in-white assemblies. This paper presents a developed laser welding monitoring system, LaserWel, characterized by sensor fusion-based fault detection and analysis using rich information from multiple sensors and easy-to-use graphical interface that is an essential feature for industrial usage. The system consists mainly of two photodiode sensors with signal amplifiers, optical filters, a data acquisition system, and a monitoring/analysis software.

**Key Words:** Fault detection, Laser welding, Process monitoring system

## 1. 서 론

레이저용접은 종래의 스팟, 아크 용접에 비하여 용접 속도가 빠르고 단면 가공으로 형상(Design)의 자유도가 큰 장점이 있다. 하여 자동차 · 항공 · 조선 산업 등에서 레이저용접의 수요가 증가하고 있다.

레이저용접을 실제 산업현장으로 적용하기 위해서는 용접품질증대와 생산성 확보가 필수적이다. 하여 레이저용접 시 발생하는 물리 현상을 측정하고 분석하는 연구가 진행되어 왔다.[1-4] 특히 광 신호를 측정하는 방법은 상대적으로 비용이 저렴하며 설치 조건이 간단하여 대부분의 상용 모니터링 시스템에서 사용하고 있다. 하지만 대부분의 시스템은 외산의 고가 장비이고, 용접불량 검출을 위해서는 전문가의 지식에 기반한 파라미터(각 센서 별 Jitter, Low pass cut-off

frequency, UCL, LCL 등) 설정을 필요로 한다. 그러므로 본 연구에서는 불량검출에 필요한 파라미터 설정을 최소화하고, 선행 양품 데이터를 이용한 데이터기반 용접불량 검출 기법을 이용하였다. 또한 모니터링을 위한 하드웨어 시스템을 구성하고 소프트웨어를 개발하여 레이저용접 모니터링 시스템의 국산화 및 현업 적용을 목표로 하였다.

## 2. 시스템 구성

### 2.1 LaserWel 프레임워크

LaserWel 시스템의 전반적인 프레임워크는 Fig. 1 과 같다. 레이저용접 시 발생하는 물리 현상(빛)을 포토다이오드 센서를 이용하여 수집하고, 그 신호를 용접불량 검출 및 부재간 간격 예측에 사용한다. 본 LaserWel 시스템 프레임워크는 사전 실험을 통해 수집된 데이터를 이용하여 불량 패턴 및 부재간 간격 예측 모델을 생성하는

† Corresponding Author, [dykim@unist.ac.kr](mailto:dykim@unist.ac.kr)

© Society of CAD/CAM Engineers

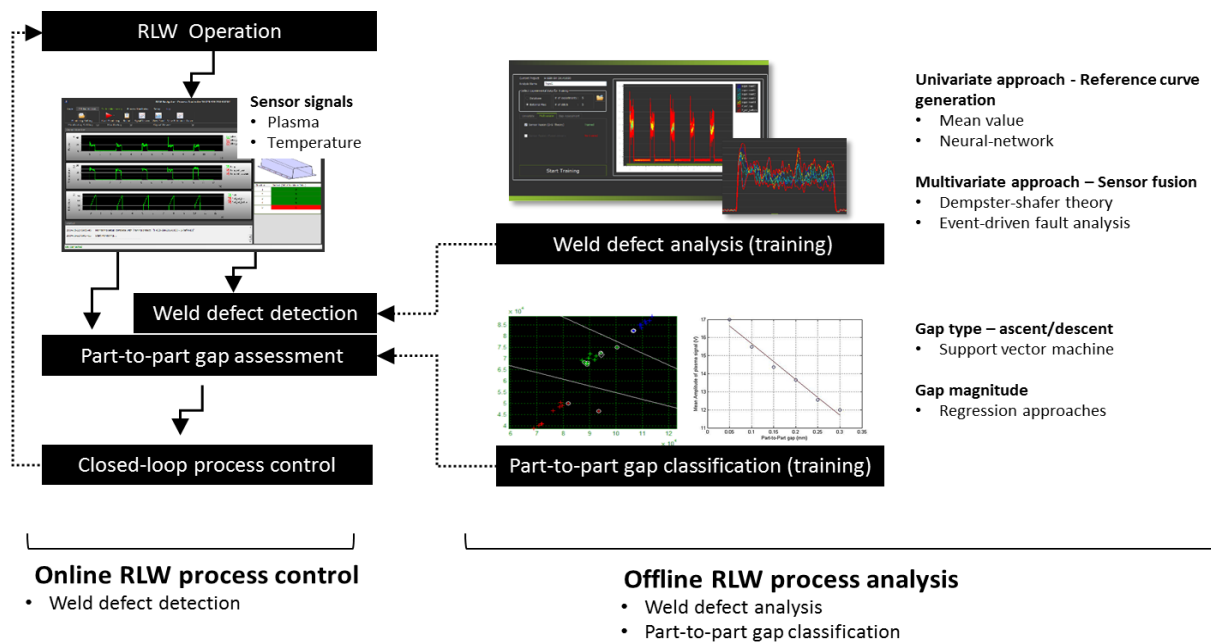


Fig. 1 A framework for laser welding monitoring and fault classification

오프라인 레이저용접 프로세스 분석(Offline process analysis) 부분과 실제 용접작업 시 현재의 용접 품질을 판단하는 온라인 모니터링(Online Process monitoring) 부분을 구성되어 있다.

오프라인 용접불량 분석 단계의 경우, 충분한 사전 실험을 통하여 양품 데이터를 수집하여 진행된다. 용접 불량 분석모듈은 수집된 사전실험 데이터를 이용하여 통계적 분석을 통한 양품 기준 신호(Univariate fault analysis)와 학습알고리즘을 통한 불량패턴(Multivariate fault analysis)을 도출한다. 부재간 간격 분석 모듈은 각 부재간 간격을 예측할 수 있는 모델을 생성한다.

온라인 용접 프로세스 모니터링의 경우, 각각 센서에서 들어오는 신호를 위 오프라인 분석에서 개발된 양품 기준신호(Reference curve) 및 불량패턴[5, 6]과 비교한다. 또한 Dempster-Shafer 이론 기반 센서융합 알고리즘을 적용[7]하여 센서 각각에 대한 불량 판별과 더불어서 통합된 하나의 불량검출 지표로 현재 용접 프로세스의 품질을 판단한다.

양/불량 판정 결과 및 용접 신호는 기존 오프라인 불량검출 데이터베이스에 추가되어 불량검출 판정 모델을 지속적으로 개선하여 사용할 수 있도록 설계하였다.

## 2.2 하드웨어 시스템 구성

본 LaserWel 구축에 사용된 하드웨어 시스템은

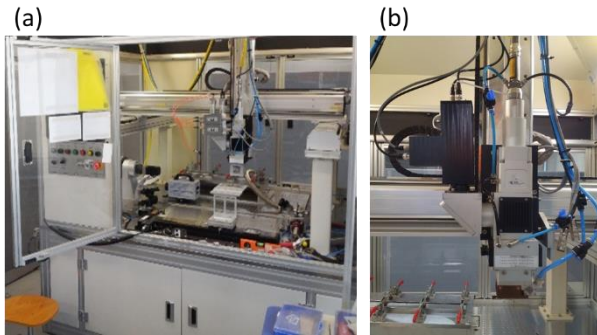
Fig. 2 과 같다.

3 축 Gantry machine 에 SIS 社 고출력 레이저 헤드를 장착하고 IPG 社의 2kW YLS-2000(Fiber laser)를 레이저소스로 사용하였다(a).

레이저용접 시 모재의 표면에서 발생하는 빛을 동축(Co-axial)으로 수집하도록 설계하였다. 센서모듈은 Hamamatsu photonics 社의 센서 블록을 이용하여 구성하였다. 센서 블록으로 들어온 빛은 광분할기(Beam splitter)를 나눠져 300nm~650nm Wavelength 대역의 UV 센서 (용접 시 발생하는 플라스마 세기 신호 수집)와 500nm~1700nm Wavelength 대역의 IR 센서(용융풀의 온도 신호 수집)에서 수집된다. 센서로 전달되는 광량을 조절하기 위하여 ND 필터를 추가하여 수집되는 신호가 Clipping 되지 않도록 설계하였다. 또한 레이저용접 프로세스 중 진동 및 흔들림으로부터 발생할 수 있는 노이즈를 최소화하기 위하여 센서 외부 Housing 을 가공하여 고정하였다. 전원부는 12V(온도센서)와 15V(플라즈마센서)각각 인가하였고, 플라스마 센서의 출력 전압을 조절하여 수집되는 신호 세기를 증폭할 수 있도록 가변 저항을 추가하였다. 각 센서에서 수집된 신호는 NI cDAQ 9215 를 이용하여 -10 ~ +10V 사이의 아날로그 신호로 분석에 사용되었다

## 2.3 소프트웨어 (용접불량검출 및 부재간 간격 예측 알고리즘)

개발된 오프라인 용접 프로세스 분석 및 온라인 모니터링 소프트웨어는 Fig. 3 과 같다. 전반적인



**Fig. 2 LaserWel system configuration; (a)laser welding testbed, (b) laser welding head and sensor module**

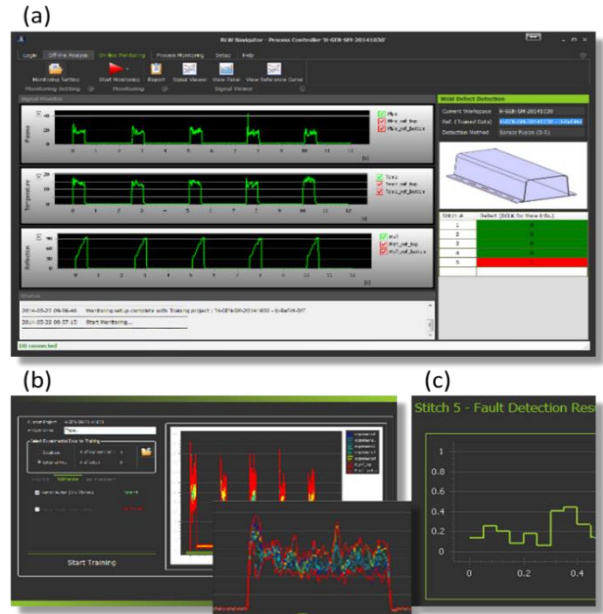
UI 는 온라인 모니터링(a)과 같으며, 총 3 종류의 신호를 가시화할 수 있다. 또한 각 용접 타점마다 불량검출 결과를 확인 할 수 있는 창(c)이 존재한다. 수집된 데이터를 이용하여 오프라인 불량분석(b)을 진행하며, 기준 신호(Reference curve) 및 불량패턴을 데이터마이닝 및 기계학습 기법으로 도출하여 그 결과를 사용자에게 가시화 하였다.

작업자는 “프로젝트”를 생성하여 오프라인 불량분석 및 온라인 모니터링을 수행한다. 본 “프로젝트” 내에서 선행된 불량분석결과를 선택하여 온라인 모니터링(용접 불량 검출 및 부재간 간격 예측)에 사용 할 수 있으며, 실시간으로 수집된 데이터, 용접불량분석 결과, 모재간 간격 예측 모델 및 온라인 용접 불량 검출 결과는 작업자가 생성한 “프로젝트”로 귀속되어 데이터베이스 형태로 관리된다.

### 3. 결 론

온라인 레이저용접 프로세스 모니터링 및 오프라인 용접불량 분석을 위한 소프트웨어 및 하드웨어 시스템을 개발하였다. 본 연구실에 설치된 레이저용접 시스템에 동축 모니터링 시스템을 추가하고 본 시스템에서 수집되는 신호를 이용하여 불량 검출 및 온라인 모니터링 기능을 제공하는 소프트웨어를 개발하였다.

센서 모듈 및 소프트웨어는 현재 울산과학기술원 레이저용접 테스트베드에서 1 차 검증단계를 진행하고 있으며, 향후 연구로, 자동차 차체 조립업체를 대상으로 기업 연구소에서 2 차 검증을 수행하여야 한다. 또한 기업 현장에 적용할 수 있도록 작업자용(Client) 소프트웨어 제공이 필요할 것이다.



**Fig. 3 LaserWel Software; (a)On-line monitoring UI, (b)Offline process analysis UI, (c)A defect detection result by the developed sensor fusion**

### 감사의글

본 연구는 한국산업기술진흥원 “2011 년도 다자간 국제 공동연구개발사업(EU FP-M0000224)”의 지원을 받아 수행된 것임.

### 참고문헌

1. Park, H. and Rhee, S., 1999, Analysis of mechanism of plasma and spatter in CO<sup>2</sup> laser welding of galvanized steel, *Optics & Laser Technology*. 31(2), pp. 119-126.
2. Park, Y., 2012, Weld process monitoring technology in laser welding, *Journal of Welding and Joining*. 30(1), pp. 27-32.
3. You, D., Gao, X., and Katayama, S., 2015, Detection of imperfection formation in disk laser welding using multiple on-line measurements, *Journal of Materials Processing Technology*. 219, pp. 209-220.
4. Qin, S., 2012, Survey on data-driven industrial process monitoring and diagnosis, *Annual Reviews in Control*. 36(2), pp. 220-234.
5. Baek, S. and Kim, D., 2013, A comparative study of engine fault detection methods, *Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers*, pp. 243-248.
6. Baek, S., Oh, R., and Kim, D., 2015, Defect detection in laser welding using multidimensional discretization

- and event-codification, *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*. 32(11), pp. 989-995.
7. Oh, R. and Kim, D., 2014, A fault detection method of laser welding based on PDF estimation and Dempster-Shafer theory, *Proceedings of the Society of CAD/CAM Engineers Conference*, pp. 1011-1016.