

특집 : 테일러드 블랭크 기술의 현황과 전망

테일러드블랭크 공정의 품질관리와 감시 시스템

이 경 돈

Quality Monitoring System for Tailored Blank Welding

Kyoung-Don Lee

1. 서 론

자동차 산업에서 레이저 용접을 이용한 테일러드블랭크(Tailored Blank, TB)기술은 이미 보편화되고 있다. 자동차용 판재의 TB는 기존의 점 용접기술에 비해 자동차의 경량화, 재료비의 절감, 차체 강성의 증가 등 많은 장점을 가지고 있어 적용이 급속히 증가하는 추세이다. 그러나, 박판재의 레이저 용접의 경험이 상대적으로 미약하고 용접된 판재가 판재성형의 소성 가공 공정을 거쳐야 하므로 용접품질의 보증을 위한 관리기준설정이 중요하다¹⁾. 레이저 용접을 산업에 적용하는데 있어 병행되어야 하는 중요한 분야는 용접 결함을 검출할 수 있는 감시시스템이다. 본 논문에서는 TB에서 레이저 용접의 품질에 영향을 주는 공정과 품질, 감시시스템의 대략과 문헌조사를 통한 연구 이력 및 관련 특허 등을 소개하고, 이미 상업화하여 현장에 적용되고 있는 모니터링 시스템의 장단점을 비교, 정리하여 소개한다. 본 논문에서는 용접전, 용접중, 용접 후 감시를 중심으로 고찰하기로 한다.

2. TB공정과 품질규격

2.1 TB 제작 공정과 품질

TB제작공정을 크게 나누면 전단공정, 용접공정, 성형공정으로 나눌 수 있다. 전단공정은 판재를 코일(coil)에서 전단하여 용접하기에 좋도록 준비하는 단계이다. 이렇게 전단된 판재를 이동하여 맞대기 상태로 판재 정렬을 하면 용접조건에 맞추어 레이저용접이 진행되며 후처리 공정을 거친 뒤 성형 단계로 이동 및 보관이 된다. 위의 각 단계별 공정에서 주어진 품질기

준을 만족하느냐의 여부를 판단하기 위하여 품질감시 시스템이 필수적이다. 공장 수준에서 가장 간단한 합격(Go)과 불합격(No go)의 품질관리에서부터 감시자동화의 단계까지 여러 수준의 감시방법이 있을 수 있다. TB 제작을 위한 공정의 순서에 따라 감시방법들이 고려된 TB 제작 공정의 흐름도를 작성한다면 그림 1과 같이 될 것이다.

그림 1에서와 같이 TB의 품질 감시(monitoring)기술은 공정에 따라 분류할 때 다음의 네 가지로 나눌 수 있다.

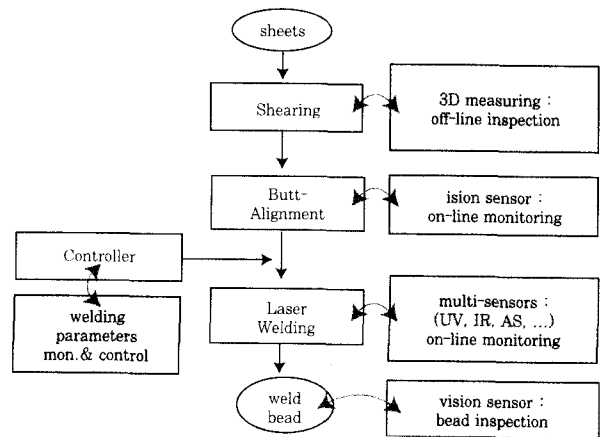


Fig. 1 Block diagram of monitoring system for TB process

- 1) 용접전 감시 : 판재상태, 전단상태, 맞대기 상태 (정렬, 틈새, 단차)
- 2) 용접중 감시 : 용접조건(레이저출력, 보호가스, 속도), 용융풀, 플라즈마, 스파터
- 3) 용접후 감시 : 용접비드 형상, 용입깊이, 기포 (porosity)
- 4) 기계적물성 평가 : 인장시험, 피로시험, 성형성시험

용접전 감시는 용접을 하기 직전까지의 판재 준비상태를 감시하는 것이다. 판재상태는 판재의 이물질 부착 여부와 보관 상태를 판단하는 것이고 전단상태는 전단 한 용접판재의 진직도, 전단면 형상, 쇠가시(burr)의 유무를 판단하는 것이다. 맞대기 상태는 전단 된 두 개의 판재를 정렬하여 맞대기 하였을 때 정렬, 틈새, 단차 등이 양호한 용접을 위한 수준을 만족하는 지를 감시한다. 예를 들면, 맞대기 레이저 용접을 하기 위해서는 맞대기한 판재 사이의 최대 틈새가 판재 두께의 10%미만이 되도록 준비하는 것이다²⁴⁾. 틈새가 이보다 큰 경우, 비드 함몰(concavity) 등 용접 불량으로 판재 성형시 용접 비드에 균열이 발생⁵⁾하거나 제품의 피로 수명을 단축⁶⁾시키게 된다.

용접중 감시는 용접공정중의 상태를 감시하는 것으로 용접조건, 용융 상태, 플라즈마 상태 등의 감시가 있다. 용접조건에는 레이저 출력, 보호가스 유량, 용접 속도 등이 있다. 레이저에서 충분한 양의 열이 모재에 전달이 되어 충분히 용융이 발생하는지, 이들의 온도는 충분히 높이 유지가 되는지를 용융풀과 플라즈마 상태를 감시함으로써 판단한다.

용접후 감시는 최종 용접 결과를 감시하는 것으로 이때 용접부 및 열영향 부위는 금속의 조직이 변화하여 취성을 띠거나 내부 열응력으로 인한 균열의 발생과 기공, 함몰, 불완전 용입 등의 기하학적 결함이 발생하기도 한다^{7,8)}. 용접비드 형상과 용입깊이의 감시는 맨눈이나 시각센서를 이용하여 외부의 불량을 판단하기 위한 것이고 기포, 균열은 내부불량으로써 X-ray 등의 비파괴검사에 의하여 판단될 수 있다. 또 금속학적 인 조직의 관찰에 의하여 품질을 판단할 수도 있다⁹⁾.

TB는 궁극적으로 판재성형을 하여 자동차 차체로 사용되기 때문에 TB의 상태가 성형이나 성형 후 차체의 일부로서 기능을 수행하기에 충분한 성능을 가지고 있는지 평가하여야 한다. 따라서 기계적물성 평가에서 인장시험, 피로시험 뿐만 아니라 성형성 시험이 중요하게 된다. 이런 시험은 일부 판재에서 샘플을 택하여 제한적으로 이루어지는 품질 감시 방법이다. 인장시험이나 피로시험은 용접부를 중심으로 이루어지며 용접부와 열영향 부위와 모재의 기계적 성질의 차이로 판단하게 된다.

이와 같은 감시방법들은 뒤의 공정에서의 양, 불량인 앞 공정들의 상태에도 간접적으로 영향을 받으므로 뒤 공정에서의 감시로 앞의 공정상의 불량 원인을 밝혀낼 수도 있으나 최근의 추세는 가능한 한 앞의 공정에서 완벽한 감시를 수행하여 뒤 공정으로 보내는 것이 바람직하다. 다구찌 품질공학에서는 생산라인에서 일

어나는 라인내 품질관리(on-line quality control)보다는 생산 전의 생산공정설계(process design)나 개발의 초기단계인 제품설계(product design) 단계에서 품질을 관리하는 라인외 품질관리(off-line quality control)에서 불량의 원인을 최대한 줄여야 한다고 강조하고 있다¹⁰⁾.

2.2 TB의 레이저 용접 품질 기준

기존의 철강재의 용접에 대한 품질기준은 각국의 공업규격에서 발견할 수 있다. 한국산업규격 KS B 0845에서 제안된 품질기준을 표 1에 정리하였다. 용접불량을 크게 세 유형으로 분류하고 각 유형에 포함 된 불량의 종류를 구분하고 각 유형에 따르는 품질의 등급을 1급에서 4급으로 나누고 그 기준을 제시하였다. 이에 대응하는 규격으로는 ISO 5817 : 1992(E)를 들 수 있을 것이다¹²⁾. TB의 레이저 용접에 대한 규격은 ISO 13919-1:1996이나 미국 자동차 회사인 GM의 4485M규격 등이 있다.

3. TB 품질과 감시방법

3.1 용접전/후 품질 감시

3.1.1 신호와 센서

용접전 품질 감시와 용접후 품질감시는 주로 결합부(joint)의 기하학적 형상과 관련된 품질을 감시하는 것으로 함께 살펴보기로 한다. 용접전의 감시 대상은 전단판재의 전단 품질과 맞대기 품질로 나눌 수 있으나 결국 맞대기의 상태가 용접품질에 직접적으로 영향을 준다. 용접후 감시대상은 각국의 품질규격에 명시되어 있는 것과 같이 최종으로 용접품질의 판정 기준이 된다. 용접전 품질에서 전단품질은 진직도, 쇠가시, 전단면 상태 등이 판단 기준이고 맞대기 품질은 정렬 상태, 틈새(gap), 단차(step, hi-lo) 등이 기준이다. 용접후 품질은 외부불량으로 용입불량, 단차, 언더컷, 요철(convexity, concavity) 등이 있으며 내부불량으로는 기포, 불순물, 균열 등이 있다.

형상에 대한 감시는 비파괴검사를 수행하여야 하며 외부형상과 내부결합의 감시로 나눌 수 있다. 내부결합의 감시로서 일반적으로 사용하는 방법은 X-ray에 의한 전문가의 판단이다. 기포나 균열의 감시는 용접선을 따라 X-ray로 촬영을 하여 기포와 균열의 분포상태와 밀도로 품질등급을 정한다¹¹⁾. 전단상태 감시방법은 전단면을 3차원 측정기로 측정하여 진직도를 계산

Table 1 Weld Quality criterion according to KS B0845

분류 종류	결함의 종류	등급 분류 기준	투시 비드 형상
1종	기공 및 유사한 등근 결함	* 실험 시편 크기 : 10×10(mm)/ 2.5t 이하 * 등급 분류 : 결함 지름 크기 점수화 * 1급~4급 분류 (모재두께 : 10t 이하) - 1급 : 1, 2급 : 3점, 3급 : 6점 - 4급 : 3급 초과 결함 점수	분산기공
			집중기공
2종	가는 슬래그 개입 및 이와 유사한 결함	* 등급 분류 : 결함 길이 점수화 * 1급~4급 분류 (모재두께 : 12t 이하) - 1급 : 3, 2급 : 4, 3급 : 6 - 4급 : 3급보다 긴 결함 * 용입부족이나 융합부족은 1급될 수 없음.	Hi-Lo
			슬래그개체
3종	터짐 및 이와 유사한 결함	* 모두 4급으로 판정함.	평균열
			중균열
			루트균열
기타	* 1종 및 2종이 혼합되어 있을 경우는 각각을 분류한 후 그 중 하위등급을 선택함. * 1종인지 2종인지 분류하기 곤란한 경우는 모두 1종 및 2종결함으로 판정하고 그 중 하위의 것을 등급으로 한다. * 언더컷 등의 표면결함은 이 등급분류에 포함하지 않음.		

* 참고문헌: 한국산업규격 KS-B-0845(강 용접부의 방사선 투과시험방법 및 투과사진 등급분류방법)

하거나 전단면을 절단하여 그 단면을 관찰하는 것이다¹³⁾. 이와 같은 방법들은 표본추출에 의하여 수행된다. 그 외의 외부형상의 상태 감시는 주로 광학을 이용한 감시(optical inspection)로서 시각센서를 이용한다.

레이저센서를 이용한 비전시스템은 지난 20년간 꾸준히 발전해 왔다. 최근에는 용접품질보증이나 용접선

추적 등의 용접 자동화에 필수적인 장치가 되었다. 특히 결함부나 용접비드의 형상을 분석하고 인식하는데 비전시스템은 뛰어난 성과가 있다. CCD 카메라로 단순한 화면을 얻는 것보다 용접풀에서 나오는 빛의 영향을 최소화하기 위하여 구조화된 광원(structured light)을 이용한 능동(active) 비전시스템이 바람직하

다. 구조화된 광원을 이용한 비전시스템은 삼각법의 원리를 이용하여 형상을 분석하며, 평면광(light plane)과 주사선 스캐닝(beam scanning, flying spot)의 형태로 나눌 수 있다¹⁴⁾.

3.1.2 연구 사례

유병길¹³⁾은 TB용접품질과 전단품질의 관계를 규명하고 다구찌 방법으로 최적 조건을 도출하였다. Nayak¹⁵⁾은 잡음에 영향을 덜 받게 하기 위하여 아크 발생의 방향과 반대방향으로 카메라를 설치하고 카메라 보호 케이스를 설계하여 용접에서 발생하는 아크 광, 스파터, 연기 등으로부터 보호하고자 하였다. Kawahara¹⁶⁾는 out of focus 방법을 사용하여 고주파 성분의 잡음을 최소화하고 인식률을 높였다. Ley¹⁷⁾는 이차원 광강도 데이터와 이차원 범위(range) 데이터를 이용하여 삼차원형상을 인식하는 지능형 멀티센서 시스템을 발표하였다. Agapakis¹⁸⁾는 콘(cone) 형태의 구조화된 광선을 이용하여 결합부의 위치와 형상을 감지하였다. 그 외 구조화된 비전센서를 이용한 결합 검출에 대한 연구는 박용환¹⁹⁾, Barnatt²⁰⁾, Agapakis²¹⁾, 김선일²²⁾ 등이 있다. 이승기²³⁾는 단순영상처리로 특징 점을 추출하여 벨로우즈의 외부 모서리 레이저 용접을 위한 용접선 추적알고리즘을 제시하였다.

3.2 용접중 감시

용접중 감시는 불량 원인을 제공하는 용접 현상을 관찰하여 품질을 예측하는 것이 목적이다. 이 용접현상은 용융풀, 키흔, 금속증기, 플라즈마, 용접시 불꽃, 스파터, 소리 등 다양하며 레이저 출력, 용접속도, 보호가스 등 용접장치의 제어조건 또한 용접중 감시 대상에 포함된다.

3.2.1 신호와 센서

TB에서 레이저용접은 완전용입 상태에서 이루어지므로 완전용입과 키흔의 유지는 용접품질에 매우 중요하다²⁴⁾. 용접에서 용융풀, 키흔, 금속증기, 플라즈마 등의 온도와 크기 등의 상태에 따라 용접의 품질이 결정되므로 이들 용접 현상을 이해하는 것이 중요하다. 또한 이들을 형성하는 데 중요한 역할을 하는 입열량, 즉 레이저 출력과 속도, 보호가스 유량, 냉각속도 등의 조건과 스파터, 열응력이나 균열이 생성되는 신호를 관찰함으로써 용접품을 판단할 수도 있다.

현재까지 사용된 신호의 종류는 적외선(IR), 자외선(UV), 음향방사(AE), 가청음파(AS) 등이 있으며 센서로는 IR센서 (0.75-1.3 μ m), UV센서 (0.2-0.4 μ m),

압전 센서, 마이크로폰 등이 사용된다.

IR신호는 약 0.72-1000 μ m의 파장 대역으로 대부분 용융풀에서 발생하고 일부는 플라즈마에서 발생하며, 용융풀의 온도와 크기를 감지할 수 있으므로 비드폭이나 용융 깊이 등을 모니터링 하는데 이용될 수 있다²⁵⁾. 또, IR센서는 스파터를 감지하는데 사용된다²⁶⁾.

UV신호는 자외선 영역의 0.01-0.4 μ m의 파장을 방출하는 플라즈마를 감지하는데 사용된다. 플라즈마 온도는 플라즈마 내 전자 밀도에 큰 영향을 주며, 플라즈마 내의 자유전자에 의해 조사된 에너지를 흡수하며 유지한다. 이것은 고온 플라즈마에서 방사되는 UV신호의 대부분을 차지한다. 따라서 키흔로부터 방출되는 플라즈마 온도의 변화는 UV신호의 변화를 가져오며, UV신호는 대개 키흔 형성과 용입과 상관관계를 가진다. UV신호의 분광분석은 플라즈마의 이온 함유량을 측정하는데 유용하며, 이것은 금속 증기나 보호가스에 따른 플라즈마의 크기를 결정하는데 중요하다. 출력이 높을수록 플라즈마의 온도가 높아지며, 낮은 용접속도에서 플라즈마의 온도는 짧은 주기의 fluctuation이 더욱 많아지는 것이 관찰되었다²⁷⁾. 최근에 UV신호의 광 강도(출력신호의 크기와 주파수)를 분석하여 용접 상태와 관계를 규명하는 UV신호분석 방법이 많이 연구되고 있다. 레이저출력이 증가할수록 광 강도가 커지다가 완전용입이 일어난 후에는 광 강도는 감소하며 이는 비드하부로 플라즈마의 일부 또는 복사열이 빠져서 일어나는 것으로 이해된다²⁸⁾.

AE신호의 발생 원인은 첫째로 시편의 상변화 및 내부 균열에 의한 음파(acoustic wave)의 발생이고 둘째는 열응력에 의한 응력파(stress wave)의 발생이며, 셋째로 레이저 용접시 발생하는 복사에 의한 응력파의 발생이다. 이의 감지를 위하여 앞의 두 경우는 압전 센서를 용접 시편에 부착해야 하며 세 번째 경우는 복사를 받는 부분에 설치해야 한다²⁹⁾. 이런 제약조건으로 최근에는 AS를 감지하는 방법이 많이 연구되고 있다.

AS는 20-20kHz의 신호로서 보통 음파라고 한다. 발생 원인은 주로 플라즈마와 금속증기에 의한 압력파(pressure wave), 열응력, 균열발생 등이며, 잡음 요인으로는 가스 제트, 주위 소음, 렌즈나 거울을 보호하기 위한 cross-jet 등에 의한 음파로 구분할 수 있다. 이 신호로 플라즈마 상태와 용접부 표면 결합 검출이 가능하다.

이상에서 소개한 두 개 이상의 신호를 동시에 관찰하여 보다 정확한 용접 결합을 검출할 수 있다. 이와 같은 기술은 최근 레이저 용접 감시 분야에서 많은 연구

가 진행되었으며, 대표적인 복합 센서 시스템으로 IR/UV 센서시스템과 AS/UV 센서시스템이 있다³⁰⁾. 또한 최근 발표되고 있는 센서로 electromagnetic acoustic transducer(EMAT)와 polyvinylidene fluoride detector(PVFD) 등이 있다.

3.2.2 연구 사례

IR을 사용한 연구로서 Doong²⁵⁾은 고온 영역(600-2000℃, 0.75-1.05 μ m)과 저온 영역(250-850℃, 0.9-1.9 μ m)에서 IR 센서를 사용하여 용융풀 근처의 온도 변화를 구한 결과 용입 불량과 같은 결함은 저온 영역과 관련되었으며, 용융풀 온도는 비드 폭과 직접 연관이 있음을 보여주었다. Leong³¹⁾은 용입과 같은 표면 불량과 IR신호와와의 상관관계를 연구하였으며, Nava-Rudiger, Houlot³²⁾는 레이저 용접시 형상불량을 검출하기 위해 두 개의 적외선 포토 다이오드를 사용하였다. IR과 관련된 초기의 특허는 Pesce³³⁾는 용접 이음부 결함 검출 장치, Gross³⁴⁾는 맞대기 또는 TB 용접에서 두 지점의 온도를 고온계로 측정하는 방식의 용접 품질 모니터링 장치를 발명하였다.

UV를 사용한 연구로서 Rockstroh, Mazumder³⁵⁾는 레이저 용접에서 분광 측정으로 흡수, 굴절, 방사 손실을 계산하였다. Muller²⁷⁾는 레이저 용접의 plume 스펙트럼을 감지하는데 fiber optic으로 구성된 분광계(0.263-0.523 μ m)를 사용하였으며, 이것은 plume의 온도와 주요 성분을 관찰하도록 되어 있다. 그리고 UV신호분석의 연구로서 Maischner³⁶⁾는 완전 용입과 플라즈마의 UV신호 주파수 영역비 사이에 분명한 상관성이 있는 것을 관찰하였다. Kaierle³⁷⁾은 온라인으로 양, 불량을 판단하는 UV 감시기를 개발하여 3D 레이저 용접을 이용한 자동생산을 하였다.

국내의 연구로는 RIST³⁸⁾, 한양대학교³⁹⁾, 고등기술연구원⁴⁰⁾이 광신호의 특징패턴을 검출하는 시스템을 발표하였다. UV와 관련된 특허로는 Sakamoto⁴¹⁾가 용접부 양측에서 플라즈마의 강도를 측정하고 비교하여 차이가 있으면 레이저의 위치와 filler wire를 수정하는 시스템을 발명하였다. Musasa⁴²⁾는 자외선 이미지 시스템 사용하여 플라즈마의 높이를 측정하고 미리 지정된 기준 값과 비교하는 방식을 적용하였다.

AE에 의한 용접부 모니터링의 주요 연구로 Habenicht⁴³⁾는 레이저 스폿 용접에 대하여 Steen⁴⁴⁾과 Hamann⁴⁵⁾는 용입과 킨홀과의 관계를 연구하였다. Clark⁴⁶⁾은 AE transducer를 사용하여 AE를 감지하고, 결함을 찾아내는 시스템을 발명하였다. Wehrmeister⁴⁷⁾는 AE를 감시하여 오류가 발생하는

주파수 대역을 찾아내는 방식에 의한 온라인 용접 결함 검출 장치를 발명하였다. Steen⁴⁸⁾은 Acoustic mirror를 사용하여 고출력 레이저빔의 총 출력을 측정하는 레이저 빔 모니터링 장치를 발명하였다. AE센서는 시편에 부착해야 하는 어려움이 있기 때문에 최근에는 비접촉식 AS센서의 관심이 증가하기 시작하였다.

AS를 사용한 연구로서 Shimada⁴⁹⁾가 초기의 연구로서 두 개의 마이크로폰을 사용하였으며, Dixon, Lewis⁵⁰⁾는 펄스형 Nd:YAG 레이저 용접으로 알루미늄과 강의 플라즈마 형성을 감지하고, Li, Steen⁵¹⁾은 압전 센서를 노즐부에 장착(acoustic nozzle)하여 실험 결과 AS신호 강도가 용입 깊이, 조사 출력, 플라즈마 밀도의 함수임을 보였으며 신호의 진폭은 킨홀이 형성될 때 매우 커지는 것을 밝혔다. Farson⁵²⁾은 스텐레스강의 레이저 용접에 대하여 연구하였다. Wilson⁵³⁾이 마이크로폰을 사용하여 신호의 크기로서 불량 용접을 검출하였으며, 양호한 용접 신호보다 크기가 작으면 불량으로 처리하는 용접 결함 검출 장치를 발명하였다. Steen⁵⁴⁾은 Can의 레이저 용접에 AS 검출 장치를 발명하였다. Jenuwine⁵⁵⁾는 마이크로폰을 사용하여 주파수의 평균을 분석하고 양호한 용접에서 결정된 기준 값과 비교하는 레이저 용접 모니터링 시스템을 발명하였다.

강을 레이저 용접할 경우 용융풀이나 킨홀과 같이 가열된 시편에서는 IR 신호가 나오고, 플라즈마에서는 UV신호가 나온다. IR/UV 센서 시스템을 연강의 레이저 용접에 동시 적용하여 Chen⁵⁶⁾은 첫 연구를 시도하였으며, Jurca⁵⁷⁾는 IR/UV 시스템을 개발하여 상업화하였다. TRIAM에서도 IR, visible, UV 신호를 퍼지와 인공신경회로망으로 분석하여 용접부를 감시하는 시스템을 개발하였다. 국내에서는 한양대학교와 대우자동차⁴⁹⁾, 고등기술연구원¹⁾에서 장치를 연구 개발한 실적이 있다. Fig.2에 IR/UV 센서시스템의 개략도를 제시하였다.

AS/UV 센서 시스템에서 AS는 플라즈마의 상태와 관련된 정보를 포함하고, UV 신호 세기는 레이저 에너지, 용융풀 거동, 초점 위치, 킨홀 유동에 의존하는 플라즈마의 밀도, 안정성과 관련되어 있다. 관련된 연구로는 Dixon, Lewis⁵⁸⁾가 레이저 점용접에서 AS와 UV 검출로 용접부 형상과 용입과의 관계를 연구하였으며, Gatzweiler⁵⁹⁾는 용접부로부터 플라즈마 방사를 측정하고 이를 AS와 비교를 하여 플라즈마 형성과 킨홀과의 관계를 연구하였으며 그 결과 신호들이 일치하는 것을 보여주었다. Farson⁶⁰⁾은 강의 레이저 용접시 AS와 UV 방사와의 관계를 연구하였고 콘덴서 마이크

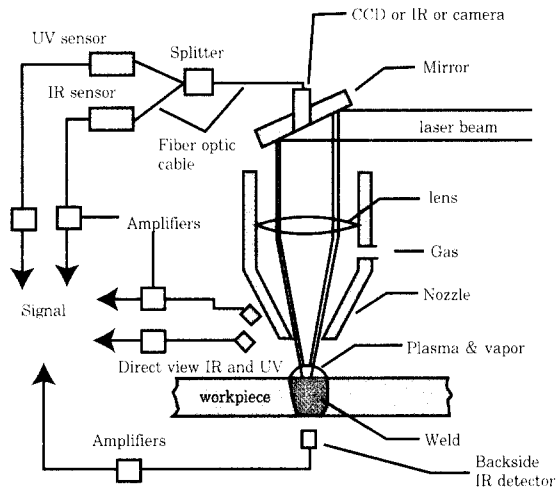


Fig. 2 Typical setups for IR/UV system

로폰(20Hz-20kHz)과 fiber optic으로 된 실리콘 포토 다이오드(0.3-1.0 μ m)를 사용하여 50kHz에서의 데이터를 수집하는데 사용되었으며 연구 결과 UV 신호 세기는 키흔에 의해 흡수된 레이저 출력과 일치함을 보여주었다. 국내의 연구로는 박정수⁶¹⁾ 등이 UV 센서와 마이크로폰을 사용하여 온라인 모니터링으로 플라즈마와 음파의 신호를 검출하여 신호해석을 수행하였다. Fig. 3에 AS/UV 센서시스템의 개략도를 제시하였다. 이 외에 Steen⁶²⁾와 Li⁶³⁾는 플라즈마 센서를 추가 사용하여 레이저용접의 불량률 감시할 수 있음을 보였다.

3.2.3 상업용 모니터링 설비

현재 많은 산업용 센서 시스템들이 상용화되어 있지만 신뢰성을 가지고 레이저 용접에 적용할 수 있는 모

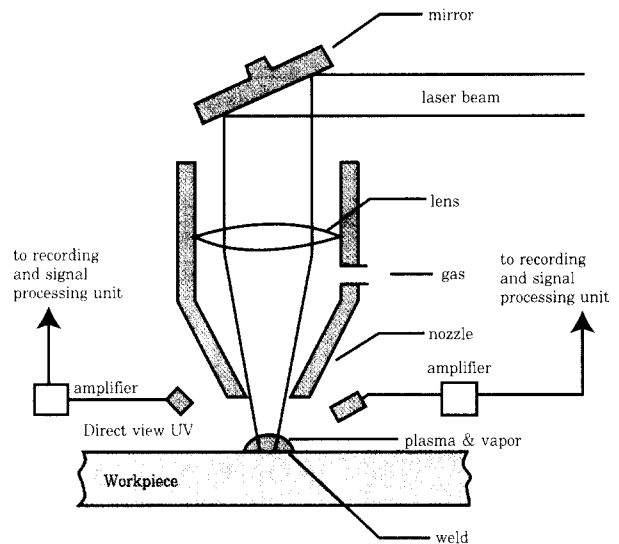


Fig. 3 Typical setups for AS/UV system

니터링 시스템은 극히 제한적이다. 따라서 여기서는 상업용으로 개발된 레이저 용접용 모니터링 시스템의 특성 및 장단점을 간단한 설명과 함께 표 2에 소개하였다³⁰⁾.

4. 결 론

TB의 품질을 확보하기 위해서는 용접품질을 중심으로 전단, 성형 등의 전후공정에서의 품질을 함께 관리하여야 한다. 이를 위하여 각 공정에서의 품질기준과 그에 따른 물리적 상태에 따라 적절히 잘 감시할 수 있는 수단의 확보가 필요하다. 문헌조사에 의하여 전단과 용접과 용접비드에 대하여 품질을 잘 예측할 수 있는

Table 2 Reference guide to commercially available systems

시스템	센서 종류	검출 항목	추정 가격 (1997)	장/단점
Laser Application Inc.	IR photodiode	Weld penetration	\$20,000	두꺼운 재료의 모니터링이 안됨 Thomas/Betts에 설치되어 있음
Agema IR Systems, Thermovision 400 series	IR camera	Weld bond monitoring	\$43,000	Ford 사가 최근에 용접 모니터링용으로 설치함
Land Infrared, Landmark System 4	IR photodiode	Weld temperature	\$5,300	온도만 감지하도록 설계 방사율은 미리 결정 되어야함 Ford사가 최근에 설치
Raytek, Thermoalert 2C	IR photodiode	Weld temperature	\$2,500	온도만 감지하도록 설계 방사율은 미리 결정 되어야함 Ford사가 최근에 설치함
Fraunhofer Ins. for Laser Tech.	dual IR photodiode	undercut, weld toe Weld penetration TB의 mismatch	주문 제작	TB의 모니터링 용으로 설계됨

시스템	센서 종류	검출 항목	추정 가격 (1997)	장/단점
Jurca, LWM 900	IR photodiode, UV photodiode 온도센서(옵션)	과도한 spatter 기공 Weld penetration	\$35,000	퍼지논리 사용. Chrysler, Kokomo에서 평가중 초기 버전은 Ford에서 사용중
Thyssen Laser-Technik GMBH, PMS 10	UV photodiode	양/불량 기공 Weld penetration	\$30,000	용접 상태가 불안정해지는 시점을 감지 미국에서 사용하는 곳이 없음
Babcock & Wilcox Innerspec Technology, Temate 2000	EMAT	용접 품질		제품에 대한 정보가 거의 없음
Lawrence Livermore National Laboratory	Ultrasonic Video camera X-ray imaging	Seam tracking Weld penetration 기공	주문 생산	Seam tracking에 어려움이 있음 Chrysler, Kokomo에서 불만족
Synergistic Detector Designs	X-ray imaging	기공	\$100,000 -200,000	기공과 내부 구멍 잘 감지. casting에 더욱 잘 동작. 보잉사에서 티타늄 용접 모니터링에 사용중
Hughes Research Lab., CLUE	Ultrasonic detector	용접부의 결함, 경도, 두께, 용접폭 용입	주문 생산	제대로 동작하지 않음 GM사에서 test했으나 불만족
Air Gage Company, Expertest	마이크로폰으로 공진주파수감지 (Ultrasonic)	용접/불용접 상태 양/불량	\$48,000	성능이 나쁨 Ford, Livonia에서 사용중. 불만족
Mectron (초음파 관련 사업 포기)	Ultrasonic detector	용접/불용접 상태		정렬, 누수, 신호해석에 문제 있음 Offline 방식 Chrysler, Kokomo에서 불만족
Rorher (초음파 관련 사업 포기)	Ultrasonic detector	용접/불용접 상태 양/불량		고가의 유지비용. Offline 방식 Chrysler, Kokomo에서 불만족
Utilase/Detroit Center Tools	Ultrasonic detector	용접/불용접 상태 용입	주문 제작	고가의 유지비용 작업물이 coupling fluid에 포함 97.9에 Chrysler공장에 설치됨
TRIAM Automotive Corporation	UV/IR/Visual detector	양/불량 용접	주문 제작	비교적 신제품임. 용접비드폭 제어 퍼지와 뉴럴네트워크 사용

대표적인 물리현상과 이를 잘 감지할 수 있는 센서들에 대하여 알아보았다. 이들 각 공정에 따른 물리적 상태를 가장 잘 감지할 수 있는 여러 개의 복합된 센서들을 사용하여 TB 전체의 품질 감시 시스템을 가동하여야 한다. 이 때 감시 자동화는 매우 중요하며 품질감시시스템에 안정되고 신뢰성 있는 판정 알고리즘을 추가하여 효율적인 감시시스템을 구축할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- 이경돈 외: 용접용 레이저를 이용한 차체가공기술 및 시스템 개발, 공업기반기술개발사업 최종보고서, 3-6장, 1998, 12 (1998)
- Sydney Melbourne: An Overview of Tailored Blanks and Preliminary Design Guidelines, Automotive Laser Application Workshop, Dearborn, Michigan, (1994), pp 1-33
- A. J. Selige, W. Prange: Production and Usage of Laser Beam-Welded Sheet Metal, SAE870413, (1987), pp 2164-2172
- 김기철, 이기호, 이목영: 테일러드 블랭크용 박판 강재의 레이저 용접성(II), 대한용접학회지, Vol 16, No 2, (1998), pp 143-153
- M. Eisenmenger and K. K. Bhatt: Influence of Laser Welding Parameters on Formability and Robustness of Blank Manufacturing: An Application to a Body Side Frame, SAE950922, (1995), pp 171-182
- M. G. Forrest, W. A. Marttila: A Study of Effects of Laser Welding Process Parameters Variation on Weld Quality for Zn-coated thin Auto Body Sheet Material, Laser Material Processing Workshop, Detroit, (1996), pp 1-28
- ISO 13919-1: Welding-Electron And Laser-beam

- Welded Joints-Guidance On Quality Levels For Imperfections, (1996)
8. 이경돈 외: 용접용 레이저를 이용한 차체가공기술 및 시스템 개발, 공업기반기술개발사업 2차년도 중간보고서, (1997), pp 101-108
 9. J. H. Suh, T. H. Kim, B. K. Yu, K. D. Lee: Tailored Blank Welding between Mild Steel Sheet and Zn-coated Steel Sheet by CO₂ Laser Welding, *Metals and Materials*, (1998)
 10. 박 성현: 품질공학, 민영사, (1993)
 11. 한국산업규격 KS-B0845: 강 용접부의 방사선 투과시험방법 및 투과사진의 등급분류방법, (1976)
 12. 이정익, 이세현: 레이저 비전센서를 이용한 용접비드의 외부결함 검출에 관한 연구, 대한용접학회지 제17권 제2권, (1999)
 13. 유병길, 이경돈: 테일러드블랭크 용접을 위한 진단공정 연구, 대한용접학회지 제17권 제2호, (1999) pp 128-137
 14. J. Boillot: How new laser sensors successfully penetrate robotics welding technologies, *Laser Gaging Methods And Technologies*, SME, (1996).
 15. N. Nayak: An Adaptive Real Time Intelligent Seam Tracking System, *J. of Manufacturing System* Vol. 6
 16. M. Kawahara: Tracking control system for complex shape of welding groove using image sensor, *IFAC, Mexico*, (1983)
 17. D. Ley, et al.: An Intelligent Multisensor System For High Speed And High Precision 3D Metrology, *Proceedings of Vision, Sensors, And Control For Automated Manufacturing Systems*, SPIE Vol. 2063, (1993) pp 2-12.
 18. J. Agapakis, et al.: Vision-aided Robotic Welding : An Approach And A Flexible Implementation. *The International J. of Robotics Research*, Vol. 9, No. 5, (1990) pp 17-34
 19. 박용환, 김재용: 레이저 변위센서를 이용한 용접선 검출에서 신호처리에 관한 연구, 대한용접학회지, Vol. 3 No. 4, (1995)
 20. R. J. Barnett, G. E. Cook, A. M. Strauss, K. Andersen, and J. F. Springfield: A Vision Based Weld Quality Evaluation System, *Trends In Welding Research, Proceedings of 4th International Conference*, 5-8 June 1995, Gatlinburg Tennessee, USA, (1995) pp. 689-694.
 21. J. E. Agapakis, et al: Joint tracking and adaptive robotic welding using vision sensing of the weld joint geometry, *Welding Journal*, Vol. 65, No. 11, (1986), pp 33-41
 22. 김선일 외: 레이저 슬릿광을 이용한 3차원 계측장치에 관한 연구, 전자공학회논문집, Vol.29, No.2, (1992), pp 27-39
 23. 이승기, 유중돈, 나석주: 시각센서를 이용한 벨로우즈 외부 모서리 레이저 용접 시스템의 개발에 관한 연구, 대한용접학회지 제17권 제3호, (1999) pp 71-78
 24. 김도훈: 레이저 가공학, 경문사, (1990) pp 256
 25. J. Doong, C. Wu, J. Whang: Infrared Temperature Sensing Of Laser Welding", *Int. J. Mach. Tools Manuf.* 31, (1991), pp. 607-616
 26. JURCA Optoelektronik GmbH: Laser Welding Monitor LWM900, (1993)
 27. R. Muller: Real Time Monitoring Of Laser Weld Plum Temperature Species Concentration, *ICALEO '96*, (1996) pp. B68-B75
 28. 박현성, 이세현, 엄기원: 다중회귀분석을 이용한 CO₂ 레이저 용접 비드 예측, 대한용접학회지 제17권 제3호, (1999), pp. 26-35
 29. Malcolm J. Crocker, ed.: *Handbook of Acoustics*, John Wiley & Sons, (1998)
 30. A. Sun, E. Kannatey-Asibu, Jr., M. Gartner: Sensor Systems For Real Time Monitoring Of Laser Weld Quality, *Journal of Laser Applications*, Vol. 11, No. 4, Aug., (1999), pp. 153-168
 31. K. Leong: Low Cost Laser Weld Monitoring System, *Proceedings Of The Automotive Laser Applications Workshop '97*, Novi, Michigan, (1997)
 32. E. Nava-Rudiger, M. Houlet: Integration Of Real Time Quality Control Systems In A Welding Process, *J. Laser Appl.*, 9, (1997), pp. 95-102
 33. C. Pesce, S. Osheff: Can Weld Side-seam Defect Detector Utilizing Infrared Detection Means And Gollimator Fiber Optics, Patent No. 3633031, Continental Can Company Incorporated, (1972)
 34. N. Gross: Simultaneous Temperature Measurements On Laser Welded Seams With At Least Two Pyrometers In Relation To Monitoring Process Parameters And Weld Quality, Patent No. 5506386, Elpatronic AG, (1996)
 35. T. Rockstroh, J. Mazumder: Spectroscopic Studies Of Plasma During CW Laser Materials Interaction, *J. Appl. Phys.*, 61, (1987), pp. 917-923
 36. D. Maischner, A. Drenker, B. Seidel, P. Abels, E. Beyer: Process Control During Laser Beam Welding, *ICALEO '91*, Vol. 91, (1991) pp. 150-155
 37. S. Kaierle, M. Dahmen, B. Furst, J. Kittel, W. Kreutz, R. Poprawe: Autonomous Manufacturing: Planning And Control In Laser Beam Welding, *ICALEO '96*, (1996), pp. 154-163
 38. 김기철, 이기호, 윤의박: 철강재료 용접에서 레이저 플라즈마의 관측, 대한금속학회지, 제11권 제1호, (1997) pp 47-54
 39. 박현성, 이세현, 정경훈, 노재홍: CO₂ 레이저 용접 품질 모니터링 시스템, 한국레이저가공학회, 추계학술발표대회 논문개요집, (1999), pp. 53-55.
 40. 손중수, 이경돈, 박상봉: 신경회로망을 이용한 레이저용접 내부 결함 모니터링 방법, 한국레이저가공학회지, 투고중.
 41. H. Sakamoto, K. Shibata, K. Mori: Welding Method And Welding Device, Patent No. 5446257, Nissan Motor Company, (1995)
 42. M. Musasa, W. Matsutani: Laser Welding Device, A

- Method Of Checking Welding Condition And A Method Of Making A Center Electrode For A Spark Plug. Patent No. 5607606. NGK Spark Plug Company Limited, (1997)
43. G. Habenicht, W. Stark, R. Deimann: Quality Assurance Of Laser Spot Welds With Acoustic Emission Analysis Using The Example Of Selected Copper Alloys. *Weld. Cutting* 43, (1991), pp. 213-215
 44. W. M. Steen Weerasinghe: Monitoring Of Laser Material Processes. *SPIE High Power Lasers And Their Industrial Applications/ Proc. SPIE* 668, (1986), pp. 160-166
 45. C. Hamann, H. G. Rosen, B. LaBiger: Acoustic Emission And Its Application To Laser Spot Welding. *SPIE High Power Lasers and Laser Machining Technology/ Proc. SPIE* 1132, (1989), pp. 275-281
 46. R. Clark, D. Prine, F. Chin: Acoustic Emission System For Welding Flaw Detection, Patent No. 4024522, Gard. Inc. (1977)
 47. A. Wehrmeister: Apparatus For The In-situ Detection And Location Of Flaws, Patent No. 4144766, The Babcock & Wilcox Company, (1979)
 48. W. M. Steen, V. Weerasinghe, F. Evans: Electromagnetic Radiation Detectors, Patent No. 4704030, Quantum Laser Corporation, (1987)
 49. W. Shimada, M. Ohmine, S. Hoshinouchi, M. Kobayashi: A Study On In-process Assessment Of Joint Efficiency In Laser Welding Process. *Proceedings of the Fourth Int. Symposium of the Japan Welding Society*, (1982), pp. 175-180
 50. R. Dixon, G. Lewis: The Influence Of Plasma During Laser Welding. *ICALEO '83*, Vol. 38, (1983), pp. 44-50
 51. L. Li, W. M. Steen: Non-contact Acoustic Emission Monitoring During Laser Processing. *ICALEO '92*, Vol. 75, (1992), pp. 719-728
 52. D. Farson, K. Hillsley, J. Sames, R. Young: Frequency-time Characteristics of Air-borne Signals From Laser Welds. *Journal of Laser Applications*, Vol.8, No.1, (1996), pp. 33-42
 53. C. Wilson, S. Curry, K. Struzek, R. Fateigno: Laser Weld Fault Detector. Patent No. 4633057, Avco Corp. (1986)
 54. W. M. Steen, L. Li, D. Brookfield, Q. Ning, G. Evans: Apparatus And Method For Monitoring Laser Material Processing. Patent No. 5247155, CMB Food Can Public Limited Company, (1991)
 55. D. Jenuwine, J. George: Laser Weld Fault Detection System, Patent No. 5121339, GM Company (1992)
 56. H. B. Chen, L. Li, D. J. Brookfield, K. Williams and W. M. Steen: Laser Process Monitoring With Dual Wavelength Optical Sensors. *Proceeding of ICALEO '91*, (1991), pp. 113-122
 57. M. Jurca: Process For Quality Control Of Laser Beam Welding And Cutting. Patent No. 5272312, (1993)
 58. R. Dixon, G. Lewis: Electron Emission And Plasma Formation During Laser Beam Welding. *Weld. J.*, March, (1985), pp. 71s-78s
 59. W. Gatzweiler, D. Maischner, E. Beyer: On-line Plasma Diagnostics For Process-control In Welding With CO₂ Lasers. *High Power CO₂ Laser System & Applications*, SPIE 1020, (1988), pp. 142-148
 60. D. Farson, Y. Sang, A. Ali: Relationship Between Airborne Acoustic And Optical Emissions During Laser Welding. *J. Laser Appl.*, 9, (1997), pp. 87-94
 61. 박정수, 윤충섭, 이동주: 레이저 용접에서 On-line Process Monitoring 방법과 플라즈마 음파와의 관계, *한국정밀공학회 '97 춘계학술대회논문집*, (1997), pp. 230-235
 62. W. M. Steen: Adaptive Control Of Laser Material Processing. *Proceedings of LAMP '92*, Vol. 1, (1992), pp. 439-444
 63. L. Li, W. Steen, K. Shi, D. Brookfield: Sensor Development For In-process Quality Inspection And Optimization Of High Speed Laser Can Welding Processing. *Proceedings of LAMP '92*, (1992), pp. 415-420



- 이경돈(李景敦)
- 1957년생
- 고등기술연구원 설계기술연구실
- 정량차량의 생산과 관련한 성형, 레이저 용접분야 연구
- e-mail : kdlee@kdlee.iae.re.kr