철강계측제어기술 연구회

철강업에서 품질센서의 동향

최 승 갑
포스코 기술연구소

최근 국내의 철강업은 중국과 같은 신흥개발국의 대량생산 추격으로 생산성 향상의 측면 보다는 부가가치가 높은 제품의 개발에 더욱 노력을 기울이고 있다. 한편 고객들도 예전보다 훨씬 높은 수준의 제품품질을 요구하고 있으며, 산업구조도 어느때보다 글로벌하게 변화함으로써 국제적인 표준준수에 따라 철강제조 기술의 고도화 및 그에 따른 품질보증이 품질센서의 개발을 촉진하게 되었다.

온라인 품질센서의 범위는 보통 온라인이라는 용어로부터 리얼타임성, 실용성, 측정의 직접성등 사람마다 다른 정의를 할 수 있으며, 철강업에서는 대개 치수, 재질, 결함, 형상 등 제품품질의 정도를 향상시키는 것을 품질센서로 한다. 본 특집에서는 온라인 품질센서중 광을 이용하여 강판의 표면결함과 강판의 미세한 핀홀을 검출하도록 개발되어 사용되고 있는 품질센서를 소개하고자 한다.

1. 광응용 계측

빛과 물질의 상호 작용을 이용하여 물질의 물리적, 또는 화학적 특성을 측정하는 광 계측(optical sensing)은 측정 대상의 다양성 및 측정의 효율성으로 인해 그 동안 광범위한 연구가 이루어져 왔으며, 그 결과로 정립된 광 계측 기술은 다양한 과학적 발전의 초석이 되고 있다. 이와 같은 광 계측 기술은, 단순한 형태의 광 센서로부터 높은 검지율을 갖는 고도의 광 간섭계(optical interferometer)에 이르기까지, 1970년대 초반에 그 기반 기술이 정립된 바 있다. 광 계측은 물질의 가장 기본적인 물리적 상태인 온도, 운동 상태, 크기(dimension) 및 변형(deformation) 및 전자기적 특성 등의 측정에 광범위하게 적용될 수 있기 때문에 모든 과학분야의 실험적 연구에서 가장 필수적인 도구로 인식되고 있다. 그러나 이미 오래 전에 기반 기술이 정립되었음에도 불구하고 광 계측 시스템은 일반적으로 시스템을 구성하는 광소자들의 정렬상태가 측정 효율에 큰 영향을 미치므로, 그 효율이 외부적 환경에 매우 민감한 특성을 갖고 있다. 이로 인해 광 계측 시스템은 실험실에서의 학술적 연구에 그 용도가 국한된 경우가 대부분이었다. 또한 광 계측 시스템은 물질과의 상호작용에 의해 야기되는 빛의 특성 변화를 이용하여야 하므로 잘 정렬된 다양한 종류의 광소자가 필요하며 민감한 고성능의 광 검출기가 필요하므로 일반적으로 시스템의 공간적 규모가 크고 고가인 특성이 있다. 이와 같은 광 계측 시스템의 일반적인 특성은 계측 시스템의 범용화 및 철강 산업에의 응용에 있어서 저해요인으로 작용하여 왔다. 그러나 이와 같은 저해요인에도 불구하고 광 계측은 원리적인 측면에서 철강 산업에서의 활용도가 매우 높은 분야이다. 이는 광 계측 시스템이 비접촉식으로 측정 대상의 다양한 특성을 계측할 수 있기 때문에, 측정 대상이 열악한 환경에 있거나 접근이 어려운 경우가 대부분인 철강산업 현장에서 계측에 활용될 수 있는 유일한 방법인 경우가 많기 때문이다. 또한 광 계측 시스템은 제품의 생산라인에서 이동 중인 측정 대상의 실 시간적 온-라인 계측기로의 활용도가 매우 높다. 이와 같이 광 계측 시스템은 산업적 활용이라는 측면에서 볼 때, 비접촉식 계측이라는 근본 원리상 산업적 활용도가 높은 반면 시스템의 안정성이 고온, 고 진동 그리고 고 분진과 같은 열악한 산업적 환경에 취약하다는 이중적 성격을 갖고 있다. 따라서 광 계측 시스템의 철강 산업에서의 활용도를 제고하기 위해서는 비접촉식 원격 측정 방식을 구현하여 계측 시스템을 외부적 환경에 의한 영향을 차단할 수 있는 안정된 장소에 위치시키거나, 계측 시스템 자체를 외부적 환경에 둔감하도록 구성하여야 한다. 그러나 이와 같은 광 계측 시스템의 산업적 적용 방식은 시스템의 규모나 비용이 과다하여 비현실적인 경우가 대부분이다.

최근 광계측 기술의 발달에 의해 앞서 언급한 바와 같은 산업적 적용에 있어서의 저해요인이 빠른 속도로 완화되고 있다. 즉, 광계측 시스템을 구성하는 주요 광소자들이 소형화, 범용화가 구현되고 있고, 광학 계통의 안정화 및 효율화 그리고 광학계 보호용 엔지니어링 기술이 발전함에 따라 전체 광학계의 내구성이 크게 증가되었고 이에 따라 현장 환경에의 적용이 보다 용이하게 되었다.

2. 열연, 냉연강판 결함 검사

1970 년대의 냉연 열연 강판의 결함 검사는 최종 결함검

사 공정이므로 대부분 전문적인 결함 검사원이 생산라인에 전담 배치되어 수행하고 있었으며, 전문 검사원이 이송 도중인 강판 위의 결함을 검사하기 위해서는 스트로브 라이트가 필요하며 강판 이송속도가 300mpm(meter per minute) 이하 이어야 가능하므로, 비교적 속도의 조정이 용이한 정정라인에서 결함의 검사를 수행하고 있었다. 이송속도가 빠를 경우 검사원의 육안검사 방법은 쉽게 피로를 느끼게 되므로 강판의 전단 일부분, 후단 일부분을 검사하여 코일 전체의 결함분포를 추정하는 방법을 사용한다. 일본 철강사 경우 자동차 외판재는 저속으로 강판 전장을 검사하여 고객의 요구사항을 만족시키고 있다.

1980년대는 강판 결함 검사를 위하여 광학적인 방법(Laser & PMT)을 이용한 검사 장치가 개발되었다. 일본 Toshiba 사와 독일 Sick 사가 광학적인 방법(Laser & PMT)을 이용하여 강판의 전 표면을 검사 가능한 장치를 개발 판매하였다. 고속으로 이동하는 강판 표면을 100% 검사할 수 있는 장치의 개발로 강판 결함 검사의 전환기를 맞이한 시기이나 아쉬운 점은 실시간 검사 기능과는 대조적으로 실시간으로 검출된 결함에 대한 사후 확인 작업에 결함의 실 정보(영상)를 저장하지 못하므로 검사장치의 현장튜닝 등에 많은 어려움이 있었다.

1990년대는 CCD 카메라 및 strobe 광원의 적용으로 강판 표면결함 검사에 또 다른 전환기를 맞이한 시기이다. 일반적으로 아날로그인 영상신호 데이터 량은 당시의 컴퓨팅 능력으로는 영상신호를 디지털로 처리하지 못하였다. 따라서, 영상신호 처리를 위한 전용 하드웨어 적용이 필요하였으나, 전용 하드웨어 적용의 문제점으로 검사 환경이나 라인 조건에 대응하여 시스템 변경이 필요할 경우 신속하게 대응할 수 없는 단점이 있었다.

2000년대에 들어와서는 고속으로 처리 가능한 컴퓨팅 장치의 출현으로 대부분의 신호처리를 소프트웨어로 수행할 수 있게 되었으며, 환경 변화에 대한 적응성이 향상되어 냉연 강판용으로 개발된 장치가 소프트웨어의 수정을 통하여 바로 열연 라인에 적용 가능하였다. 강판 생산 속도의 증가로 여러 카메라를 사용하는 multi-camera 시스템과 복합적인 조명을 사용하는 기술이 개발되어 강판의 폭, 이송속도, 표면특성, 검출 요구 결함의 특성에 따라서 최적으로 구성 가능한 모듈화 기능이 강화되었다. 미세 결함에 대한 철강 고객의 불만이 증가되는 경향으로 일반적인 크기의 결함 검출을 위한 검사장치 외에 미세 결함 검출이 가능한 장치의 개발이 요구되고 있으며, 특히 결함의 정성적 정량적 특성을 정확하게 분석할 수 있는 소프트웨어의 적용 필요성이 증대되고, 이를 이용한 프로세스 상태 모니터링 기능이 요구되고 있다. 이 시스템의 개략적인 구성과 기능은 다음 그림과 같다.

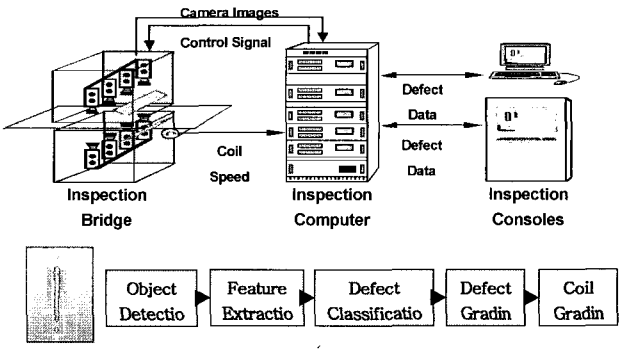

그림 1. 강판 표면검사장치와 기능도.

• 포스코의 열연, 냉연강판 결함 검사 :

포스코는 1980 중반 이후 독일의 Sick 결함 검사 장치의 현장 설치를 통하여 냉연 강판의 결함검사를 수행하였다. 핼륨네온 Laser와 PMT를 이용한 결함 검사 장치는 표면의 거칠기 변화를 동반한 대형 결함에는 좋은 효과를 나타내었다. 이러한 Sick 사 결함검사 장치는 1990 년대 중반까지 포항 광양 양 제철소에서 널리 사용되고 있었다. 하지만, 아날로그 신호처리를 채택한 Laser 광학장치를 이용한 결함 검사 장치는 검출 결과에 대해서 정성적인 특징은 기록 가능하나 정량적인 특징을 정확하게 기록할 수 있는 수단이 존재하지 않았고, 고객이 제기한 불만사항에 대해서 검사 결과와 대조하여 조사할 수 없었다. 특히, 작은 크기의 결함에 대한 검출능력이 미약하여 엄격한 제품 품질관리에 적합하지 않은 장치로 판단되었다. 1990년대에는 카메라를 이용한 검사 장치를 냉연라인과 후판라인에 적용하여 검사원의 보조 기구로 활용하였으나, 검사체계에 적합한 요구조건을 만족하기엔 충분치 못하였다. 이에 따라 면적형 CCD (Charge Coupled Device) 카메라와 병렬 컴퓨팅 기술을 기반으로 1997년에 표면 결함 검사기술을 자체 개발하게 되었다. 개발품은 각 설치 라인의 특성(라인 최고 속도, 검출요구 결함의 최소 크기, 폭 등)에 따라 하드웨어와 소프트웨어를 쉽게 변형할 수 있도록 개발되었다. 또한, 라인의 속도에 무관한 영상취득이 가능하여, 고속(1000mpm 이상)에서도 검출 성능의 변화가 없으며, 검출된 결함에 대한 다양한 정보(사진, 크기, 발생주기, 관리의 경중정도, 통계치 등)를 제공하여 기존 검사원에게 정량적인 제품의 합격 판정 데이터를 제공할 수 있도록 되어 있다. 이러한 검출기는 현재 냉연(소둔, 도금, 정정 등)라인, 열연(압연, 정정 등)라인, 스테인레스(압연, 정정)라인에 설치되어 성공적으로 운용되고 있다. 최근에는 공정 전후의 홈 발생 데이터를 모두 모니터링하는 하드웨어체제를 완성하였고, 이를 이용하여 전후 공정에서 발생하는 홈 관련 데이터를 이용하여 슬라브에서 냉연 제품 생산공정까지 발생하는 모든 홈의 상호 연관성 분석과 홈 발생 개소와 원인 파악을 통하여 홈 발생 원인을 제거하는 방안에 대하여 지속적으로 연구를 진행하고 있으며, 전후

공정의 홈 발생 상관성 분석을 통하여 홈 발생 빈도를 현저히 감소시켜 제품의 품질향상에 많은 효과를 나타내고 있다.

3. 냉연강판 핀홀 결함검사

냉연강판에서의 핀홀(판에 발생한 미세한 구멍)을 일으키는 요인은 중간소재 내부의 비금속 개재물등 여러가지가 있으며, 특히 캔용 소재나 자동차 외판재와 같은 강판에서는 치명적인 결함으로 알려져 있다.

일반적으로 많이 사용하는 핀홀 검사장치의 구성은 그림2와 같다.

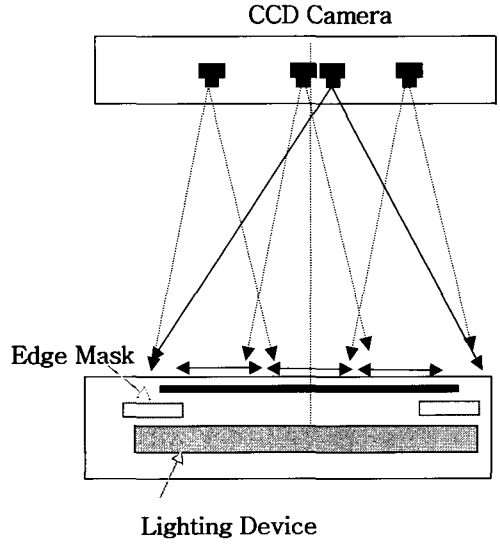

그림 2. 핀홀 검사장치 개략도.

외부 광원을 이용하여 판의 하면에서 비추고 판의 위쪽에 있는 CCD카메라가 판의 핀홀을 검출하는 원리로 비교적 간단한 방법을 사용하고 있다. 다만 할로겐 램프와 같은 강한 광원을 사용하여야 미소한 홀(예:직경 20μm 이하)을 검출할 수가 있기 때문에, 판의 엣지 부분에서의 빛의 회절등에 의하여 엣지 부분에 있는 핀홀은 검출하지 못하는 현상이 생기기 때문에 이를 막기 위하여 부득이 하게 edge mask를 사용하여야 한다. 그러나 이경우 필연적으로 edge mask에 의한 미검출 영역(대개 엣지 10mm 이상)이 생기게 되어 검출능력이 떨어지게 된다. 한편, 할로겐 램프와 같은 강한 광원은 수명이 짧아 대개 1달에 한번 정도 교체를 해야하는 문제를 가지고 있다. 따라서 기존 핀홀 검사장치의 성능과 정비성을 높이는 방법은 edge mask에 의한 미검출 영역을 줄이고 수명이 긴 강한 광원을 찾는 것이다.

광원의 경우는 LED의 비약적인 발전으로 할로겐 램프를 대치할 정도의 파워를 갖게 되었고, 이것을 광원으로 사용할 경우 약 10년 정도의 수명이 유지되므로 정비면에서 획기적으로 유리하게 되었다. 미 검출 영역의 최소화는 빛의 회절현상등을 막기 위하여 edge mask를 필연적으로 써야 했으나 최근 빛의 세기를 조절해 주는 edge filter의 도입과 제어로 미검출 영역을 2mm이하로 줄일 수 있게 되어 고정도 제품 품질 보증이 가능하게 되었다. 아울러, 엣지 부근 2mm까지 검출을 할 수 있게 됨으로써, 엣지 부분에 발생하는 edge crack을 덤으로 검출하게 되어 품질 보증의 정도를 높일 수 있게 되었다. 그림 3.에 edge filter기술을 간략하게 나타내었다.

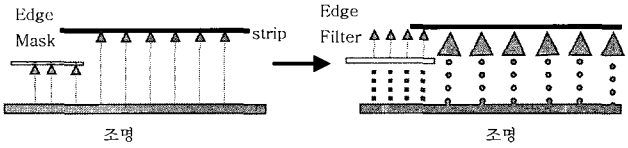

그림 3. Edge filter를 이용한 미검출영역 최소화.

4. 맺음말

이상에서 광을 이용한 대표적인 센서로 강판의 표면흠과 핀홀을 계측하는 품질센서를 소개하였다. 이밖에도 무수히 많은 품질센서가 철강제조 현장에 사용되고 있으며, 요구 제품품질의 고도화로 이 같은 품질센서 개발소요는 계속적으로 늘어나고 있다.

참고문헌

[1] 윤종규, 심재동, 전문가를 위한 철강공학 (I), (II), 대웅, 2004.

저자약력

《최 승 갑》
- 1980년 서울대 전기공학과 졸업.
- 1983년 서울대 대학원 제어계측공학과 졸업.
- 1997년 University of Strathclyde (U.K), Dept. Electronic & Electrical Engineering 졸업, 박사학위 취득.
- 1983년~현재 포스코 기술연구소 .
- 관심분야 : Process control, Robust control Auto-PID control, 비파괴 계측.