

전자내시경을 활용한 공압실린더 튜브 내면의 결함 자동검사시스템 개발

노태정^{*}, 구본주¹

¹동명대학교 메카트로닉스공학과

Development of automatic inspection system of defects on inner surface of pneumatic cylinder-tubes by electronic endoscope

Tae-Jung Lho^{*}, Bon-Joo Koo¹

¹Dept. of Mechatronics Eng., Tongmyong University

요약 전자내시경을 이용하여 양극처리된 알루미늄 실린더튜브 내면의 결함을 자동으로 검사하는 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 크게 자동 결함검사 소프트웨어, 전자내시경 및 이송장치 등으로 구성되어 있다. 실험을 통하여 자동 결함검사의 최적검출 조건을 도출하여 실린더튜브 내면의 결함 검사에 적용한 결과 주요 결함 요소인 스크래치, 산화물, 라인, 웰드라인의 인식률을 99%로서 만족하였다. 자동 결함검사 시스템을 생산현장에 적용하면 기존의 육안 검사 시 작업자가 가지는 육체적인 피로도 줄여 작업효율을 증가시키며, 결함검출 자료를 바탕으로 제품의 품질을 향상시킬 수 있다.

Abstract The system developed inspects automatically defects existing on an inner surface of anodically treated aluminum cylinder-tubes. This system consists of automatic inspection software, and electronic endoscope and a conveyor moving device. By applying the optimal brightness conditions to searching for various defects on the inner surface of cylinder tube, the recognition rate of major defects, such as scratch, oxide and weld line reached 99%. If the present visual inspection process is replaced with the automatic defects inspection system, the physical fatigue of the operator could be reduced and the productivity could be increased. The automatic inspection system developed could also improve the quality of the products

Key Words : automatic defects inspection system, brightness threshold, defects(scratch, oxide and weld line), edge detection method, electronic endoscope, pneumatic cylinder-tube

1. 서론

현재 사용되고 있는 공압실린더(pneumatic cylinder)는 여러 가지의 부품으로 구성되어 있는데, 직선운동을 안내하는 원통형 튜브(tube)와 이송 물체에 직접적으로 에너지를 공급 또는 배기를 위한 포트가 있는 2개의 커버 등으로 구성되어 있다. 공압실린더는 일반 산업기계 및 로봇에 가장 많이 활용되며 수만 km의 직진왕복운동을

함으로써 실린더 튜브의 내구성 및 내마모성이 중요하다.

따라서 실린더튜브의 수명을 향상시키기 위하여 양극 처리(anodizing)를 실시하는데, 이는 알루미늄의 금속표면 처리 방법으로서 금속 표면에 일정한 전해액을 조성하여 전기 화학적인 방법으로 산화알루미늄(Al_2O_3) 피막을 형성시켜 금속표면에 내마모성, 내식성, 장식성, 우수한 전기절연성 등의 기능성을 부여한다.

현재 생산현장에서 제조되고 있는 실린더튜브는 압출,

본 논문은 중소기업청의 2012년도 산학연공동기술개발사업의 연구비 지원으로 수행되었음.

*Corresponding Author : Tae-Jung Lho(Tongmyong Univ.)

Tel: +82-51-629-1533 email: tjlho@tu.ac.kr

Received February 7, 2014

Revised March 25, 2014

Accepted June 12, 2014

인발, 열처리, 슛블라스트, 아노다이징, 검사 공정을 거쳐 제품이 생산되며, 이 때 검사 공정에서는 검사 작업자가 실린더튜브의 한쪽 끝 부분에 푸른 형광빛을 비추고, 반대편에서 양극처리된 실린더튜브 내면의 결함을 육안으로 검사하고 있는 실정이다.

약 3m 길이의 실린더튜브를 검사할 경우 중간 지점은 육안으로 검사가 불가능하며, 특히 튜브의 내경이 작은 경우에는 더욱 육안으로 검사가 불가능하다. 또한 사람의 시각으로 판단하기 때문에 결함 검출의 정확성이 많이 떨어지고, 표준화된 검사 공정이 없기 때문에 검사에 소요되는 시간이 많이 걸리며 지속적인 검사를 시행할 경우 작업자의 피로로 작업효율이 저하되는 문제점이 있다. 이에 대하여 약 3m 길이의 실린더튜브를 육안으로 정밀하게 검사하기는 무리이며, 또한 체계적인 품질 관리를 위하여 실린더튜브 내면의 결함에 대한 자동검사 장치개발이 절실하다.

Huiwen Hu 등은 스트레인에너지(strain energy)를 사용하여 손상을 스캔하는 방법으로써 원형 중공실린더의 파손을 감지하는 연구를 하였고[1], E. Kerbrat 등은 각각의 탄성 구성 요소는 DORT 방법의 응용프로그램에 의해 얇은 공기가 채워진 빈 실린더의 균열을 검출하는 연구를 하였으며[2], F. S. Hoyt 등은 실린더 튜브에 자기장으로 와전류(eddy current)을 인가하여 2차차동권에 센싱되는 신호로서 결함을 감지하는 연구를 수행하였으며[3], N. D. Haig는 매끈한 실린더튜브 내면에 레이저광을 조사하여 반사되는 이미지인 반사그래프(reflectograph)를 관찰하여 결함을 감지하는 연구를 수행하였다.[4]

본 연구에서 전자내시경(electronic endoscope)을 이용한 실린더튜브 내면의 결함을 자동으로 검사하는 시스템을 개발하여 제품의 신뢰성과 품질 향상, 생산현장의 작업 효율을 증가시키는 효과를 가져 올 것이다.

2. 자동 결함검사 시스템 구성

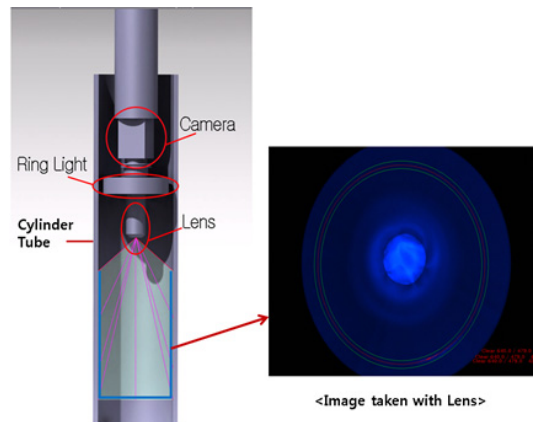
Fig. 1과 같이 개발하려는 실린더튜브 내면의 자동 결함검사 시스템은 크게 PC에 내장된 자동 결함검사 소프트웨어, 전자내시경과 실린더튜브 이송장치로 구성된다.

Fig. 2와 같이 전자내시경은 CCD camera, lens 및 LED ring light로 구성되며, CCD camera의 해상도는 중

래의 fiber scope 보다 훨씬 뛰어나며 컴퓨터를 이용한 영상의 처리, 분석 및 관리도 용이하게 해준다. 또한 본 결함검사 시스템에서 사용되는 lens는 통상적으로 사용되는 lens와 다르게 전방 보다는 측면을 정밀하게 인식할 수 있도록 설계하였기 때문에 실린더튜브의 내면을 보다 선명하게 관찰할 수 있다.



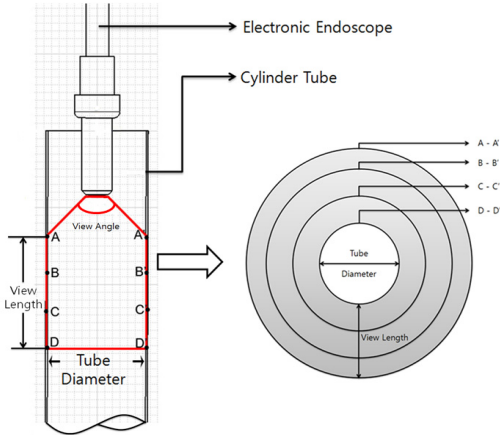
[Fig. 1] Configuration of automatic defects inspection system



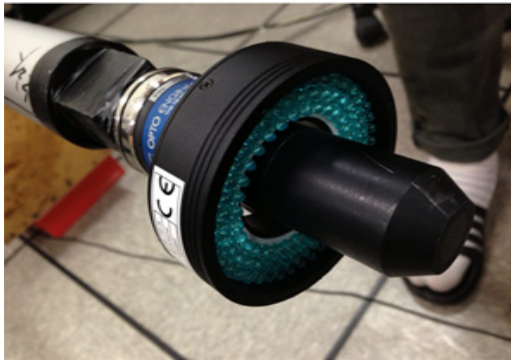
[Fig. 2] Structure of electronic endoscope and image taken with lens

Fig. 3은 약 80° 이상의 view angle을 가진 lens를 이용한 전자내시경이 인식하는 실제 범위를 나타낸 것이다. 실린더튜브 내면의 view를 mapping하여 나타내면 오른쪽과 같은데, 이미지의 시작 위치인 A, A'점을 잇는 circle은 A-A'와 같고, B와 B'는 B-B', C와 C'는 C-C', D와 D'는 D-D'인 것을 알 수 있다. 따라서 획득한 image

에 대하여 동심원을 따라서 결함을 검출할 수 있다. 그리고 Fig. 4는 이에 따라서 설계, 제작한 전자내시경의 외관을 나타낸다.



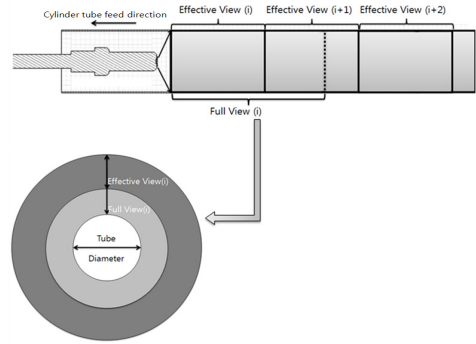
[Fig. 3] Lens view on cylinder inner tube and mapping.



[Fig. 4] Appearance of electronic endoscope developed.

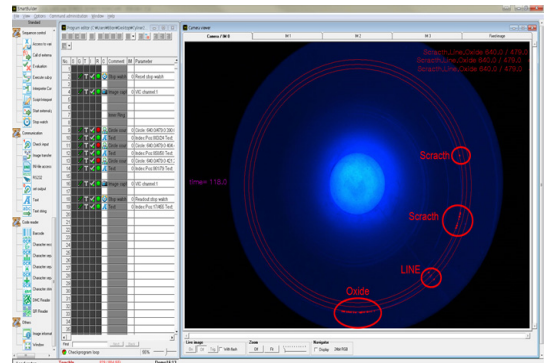
Fig. 5에서와 같이 전자내시경은 실린더튜브의 full view까지 인식이 가능하지만 LED light의 조명 영향 등으로 전자내시경의 전방 먼 거리를 배제하고 전방 가까운 거리에 해당하는 effective view 구간을 유효한 image로서 capture하여 결함을 검사한다. 따라서 effective view 길이를 L_{eff} , image capture sampling 속도 S frames/sec 에서 실린더튜브의 이송속도를 L_{eff}/S 가 되도록 설정하면, 실린더튜브가 이송되면서 전자내시경이 capture sampling 속도에 맞추어 progressive하게 effective view를 image로서 채택하여 약 3m 길이의 실린더튜브 내면 전체의 결함을 보다 더 정확하게 검출할

수 있도록 하였다. 또한 CCD camera의 sampling 속도 및 실린더튜브 이송속도를 조절하면 결함 검사의 시간을 단축하여 검사생산성을 향상시킬 수 있다.



[Fig. 5] Effective view and sampling frequency

실린더튜브의 내면의 결함을 검출하기 위하여 전자내시경으로 부터 실린더튜브 내면의 image를 capture한 뒤, 그 image에 Circle을 구성한다. Circle의 인식은 edge detection 방식으로 green Circle의 끝부분에 걸리는 실린더튜브 내면의 색과 일치하지 않은 색을 찾아서 결함을 인식하고 인식된 부분을 화면을 통해 확인할 수 있다. Fig. 6은 개발한 자동결함검출 소프트웨어의 주 화면을 나타낸다.



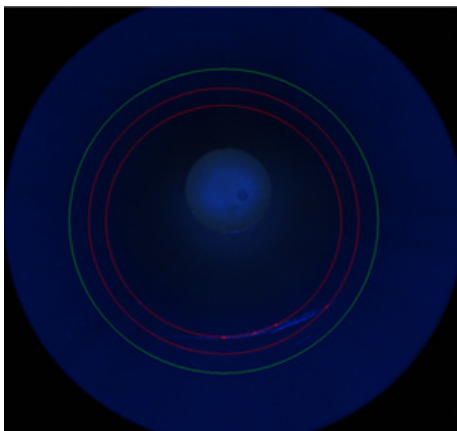
[Fig. 6] Software for automatic defects inspection developed.

3. 최적 검출조건 도출 실험

실린더튜브의 내면의 결함을 검출하기 위하여 먼저

결함 검사장치의 최적 검출 조건을 도출하는 실험을 수행하였다. 최적의 명도(brightness)를 설정하기 위하여 우선 object color를 Dark로 설정하고 threshold 값을 변경하면서 실험을 하였으나 결함을 인식하기 어려웠으며, 따라서 object color를 Bright로 설정하고 threshold 값을 변경하면서 실험을 하였다.

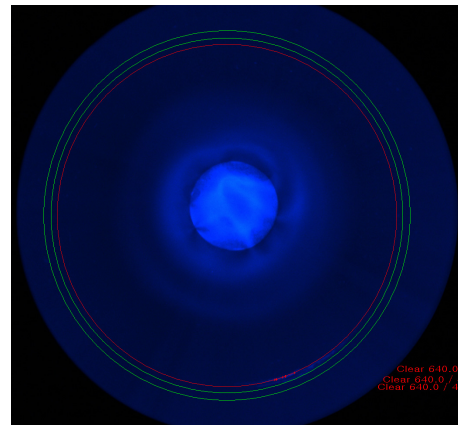
Fig. 7은 CCD camera로 부터 먼 거리(중앙부 Circle)에서 Bright 수치를 변경하여 실험한 결과이다. Bright의 threshold 값이 40~60인 구간은 주위의 불필요한 부분까지 인식되고 결함부위는 인식되지 않았으며, 70~80의 구간은 결함부위가 인식되기 시작하지만 결함이 존재하지 않는 불필요한 부분도 인식되는 것을 볼 수 있다. Bright 90 이상부터는 결함부위의 인식이 가능하나 인식되는 부위의 확실한 check가 불가능하고 결함의 인식률이 낮다. Bright의 threshold 값을 증가시킬수록 실린더 튜브 내면의 결함이 인식되지만 불필요한 부분도 인식되며, 150 이상에서는 결함이 인식이 되지 않았다. 결과적으로 실린더튜브의 내면에서 CCD camera로부터 먼 거리에 있는 결함을 인식할 경우 threshold 값에 관계없이 LED light에 의한 빛의 반사를 때문에 결함 부위의 인식이 정확하지 않아 부적합하다고 판단하고, CCD camera로부터 가까운 거리에서 내면의 결함을 인식하는 실험을 재 실시 하였다.



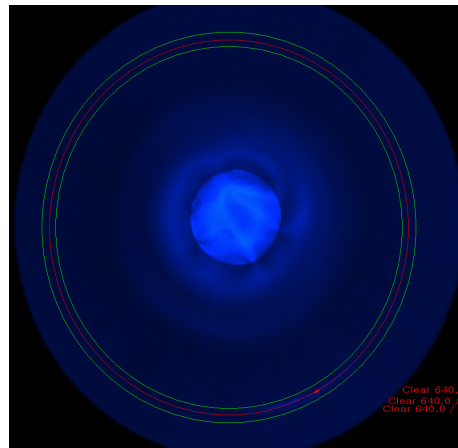
[Fig. 7] Image captured at the long distance (Bright= 110)

Fig. 8은 CCD camera로부터 가까운 거리(외곽부 Circle)에서 Bright 수치를 변경하여 실험한 결과이다. 먼저 Bright의 threshold 값이 50 이상인 구간부터 결함이

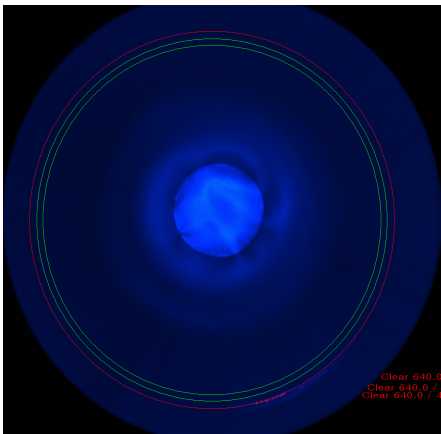
인식되었으나 90인 구간까지는 결함이 존재하지 않는 부분도 인식되는 것을 볼 수 있다. 100~150의 구간은 결함 부분을 정확히 인식하나 결함의 인식범위와 인식률이 차이가 났다. 결과적으로 결함을 search하는 Circle의 위치가 실린더 튜브 내면에서 CCD camera로부터 먼 거리에 있는 경우보다 가까운 거리에 있을 경우 LED light의 영향을 덜 받고 결함이 정확히 인식 되는 것을 알 수 있으며, threshold값이 130~139 구간에서 결함인식률이 높음을 알 수 있다.



(a) Bright 131(Inner Circle)



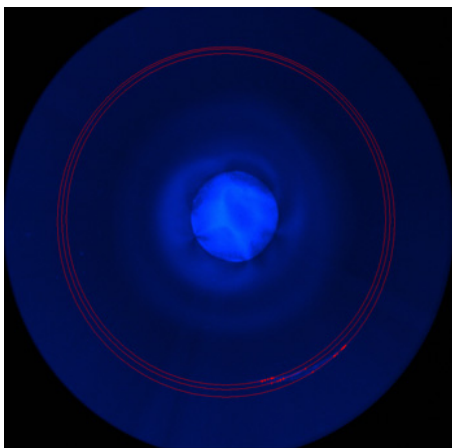
(b) Bright 132(Medium Circle)



(c) Bright 133(Outer Circle)

[Fig. 8] Image captured at the short distance

실린더 튜브의 이송속도에 따른 결함 검출을 알아보기 위하여 object color를 Bright로 설정하고 제일 안쪽 Circle로부터 Threshold 값을 131, 132, 133으로 설정하여 Conveyor의 이송속도를 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50mm/s로 CCD camera의 capture 속도를 1sec로 설정하여 실험을 실시하였다. Fig. 9는 실린더튜브 이송속도 50mm/s, CCD camera의 capture 속도 1 frame/sec에 대하여 capture한 image로서 결함이 잘 인식됨을 보여주고 있다. 따라서 실린더 튜브의 이송속도를 150mm/s로 증가시키고, CCD camera의 capture 속도를 3 frame/sec로 빠르게 한다면 결함 검사 소요시간을 대폭 단축할 수 있음을 알 수 있었다.



[Fig. 9] Image captured at 50mm/s, 1frame/s

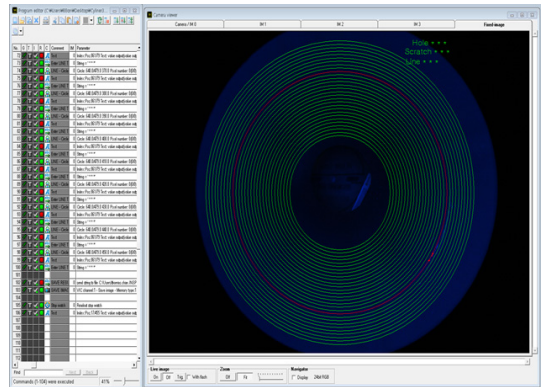
4. 자동 결함검출 시스템의 성능시험

위에서 도출한 최적 검출조건으로 주요 결함 요소인 scratch, oxide, weld line의 3가지 결함을 검출하는 실험을 수행하였다. 실험 조건은 Circle의 Bright threshold 값을 CCD camera에서 거리가 먼 부분부터 가까운 부분으로 각각 110-135의 값을 지정하고, 실린더튜브의 이송속도를 실험에서는 50mm/s로 적용하였지만 장치의 최대 속도인 64mm/sec로 하고, capture sampling rate는 1 frame/sec로 하였다.

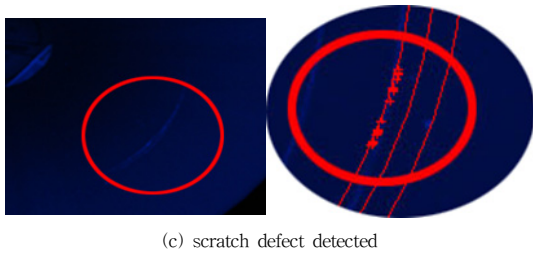
Fig. 10(a)와 같이 scratch 결함이 있는 시편 내면을 전자기시경으로부터 capture한 image을 자동결함검사 소프트웨어에 의하여 Fig. 10(b)와 같은 image processing을 거쳐서 Fig. 10(c)와 같이 확대하여 scratch 결함을 인식하였다.



(a) Specimen with scratch



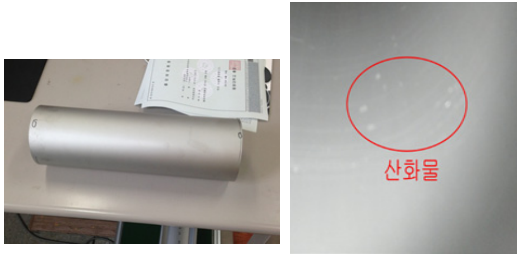
(b) Image processing to inspect defects



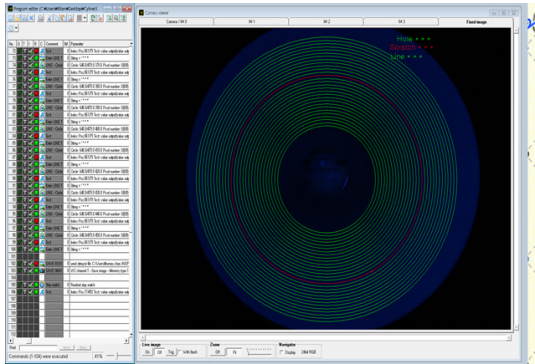
(c) scratch defect detected

[Fig. 10] Inspection for scratch defects on inner surface

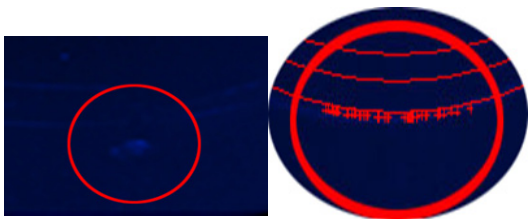
Fig. 11(a)와 같이 oxide 흔적 결함이 있는 시편 내면을 전자내시경으로부터 capture한 image를 자동결함검사 소프트웨어에 의하여 Fig. 11(b)와 같은 image processing을 거쳐서 Fig. 11(c)와 같이 확대하여 oxide 결함을 인식하였다.



(a) Specimen with oxide



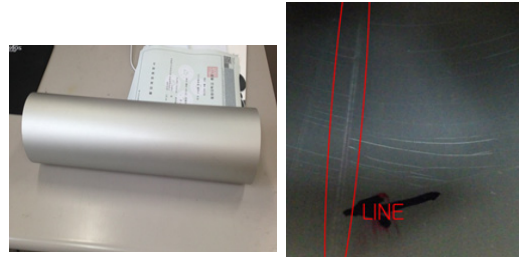
(b) Image processing to inspect defects



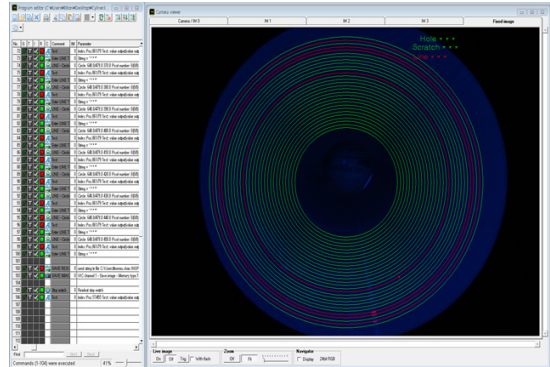
(c) Oxide defect detected

[Fig. 11] Inspection for oxide defects on inner surface

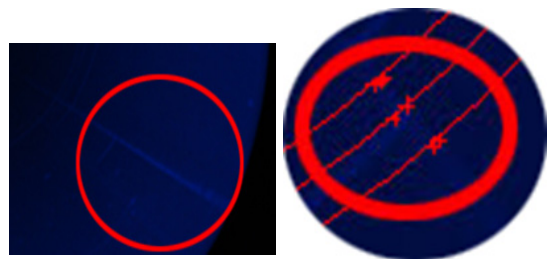
Fig. 12(a)와 같이 line 자국 결함이 있는 시편 내면을 전자내시경으로부터 capture한 image를 자동결함검사 소프트웨어에 의하여 Fig. 12(b)와 같은 image processing을 거쳐서 Fig. 12(c)와 같이 확대하여 line 결함을 인식하였다.



(a) Specimen with line



(b) Image processing to inspect defects



(c) line defect detected

[Fig. 12] Inspection for line defects on inner surface

본 논문에서 전자내시경을 사용한 자동결함검사 시스템은 scratch, oxide, line 및 weld line 결함을 99%의 인식률로 인식하였고, 또한 Bright threshold 값의 설정으로 기포, 절연판자국, 얼룩, 굴곡, 눌림, chip 등의 미세한 결함까지도 인식할 수 있다고 판단된다.

3. 결론

산업용 전자내시경을 활용한 알루미늄 실린더튜브 내면의 자동 결함검사 시스템 개발에 관한 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 약 80° 이상의 view angle을 가진 lens의 설계는 실린더튜브의 전방 보다는 측면인 내면의 view의 image를 획득하여 mapping된 동심원을 따라서 결함을 정밀하게 검출할 수 있었다.
2. edge detection 방식으로 결함을 검출하는 자동 결함검출 소프트웨어는 결함을 search하는 Circle의 위치가 실린더튜브 내면에서 CCD camera로부터 가까운 거리에 있을 때 LED light의 영향을 덜 받고 결함이 정확히 인식되는 것을 알 수 있으며, Bright threshold 값이 130~139 구간에서 결함인식률이 높음을 알 수 있었다.
3. 전자내시경을 사용한 자동결함검사 시스템은 scratch, oxide, line 및 weld line 결함을 99%의 인식률로 인식하였고, 또한 Bright Threshold 값의 설정으로 기포, 절연판자국, 얼룩, 굴곡, 눌림, chip 등의 미세한 결함까지도 인식할 수 있다고 판단된다.
4. 실린더튜브의 이송속도를 150mm/s, CCD camera의 capture 속도를 3 frames/sec로 설정하면 3m 길이의 실린더튜브를 검사하는데 약 20초의 시간이 소요되므로 생산성에는 문제가 없을 것이다.
5. 본 개발시스템을 생산현장에 적용하기 위해서는 전자내시경이 이동하는 실린더 튜브에 충돌하지 않도록 이송장치를 설계되어야 하며, 생산 현장에서 결함에 대한 많은 데이터를 축적하여 인식율을 높이는 연구가 진행되어야 할 것이다.

References

[1] Huiwen Hu, Chengbo Wu, Weijun Lu, "Damage detection of circular hollow cylinder using modal strain energy and scanning damage index methods", *Computers and Structures*, Vol. 89, Issues 1-2, pp. 149-160, 2011.

[2] E. Kerbrat, D. Clorenec, C. Prada, D. Royer, D. Cassereau, M. Fink, "Detection of cracks in a thin air-filled hollow cylinder by application of the DORT method to elastic components of the echo", *Ultrasonics* 40, Vol. 40, Issues 1-8, pp. 715-720, 2002.

[3] F. S Hoyt, B. A. Saltaformaggio, "Magnetic particle inspection of reciprocating compressor cylinders using a fixed AC coil", *Materials Evaluation*, Vol. 54, No. 7, pp. 792 - 793, 1996.

[4] N. D. Haig, "Reflectographic method for inspection of the internal surface of smooth cylinders", *Optics Technology*, Vol. 2, Issue 3, pp. 142-145, 1970.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0374-3926\(70\)90038-4](http://dx.doi.org/10.1016/0374-3926(70)90038-4)

노 태 정(Tae-Jung Lho)

[정회원]



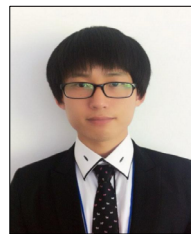
- 1984년 2월 : 부산대 기계설계학과 (공학학사)
- 1986년 2월 : KAIST 생산공학과 (공학석사)
- 1992년 2월 : KAIST 정밀기계공학과 (공학박사)
- 1986년 2월 ~ 1999년 2월 : 삼성중공업 기전연구소 (수석연구원)
- 1999년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 메카트로닉스공학과 교수

<관심분야>

Mechatronics, Robotics, 기계 제어, 자동화 등

구 본 주(Bon-Joo Koo)

[준회원]



- 2013년 8월 : 동명대학교 메카트로닉스공학과 (공학학사)
- 2013년 8월 ~ 현재 : 동명대학교 기계시스템공학과 (석사과정)

<관심분야>

Mechatronics, 기계 제어, 자동화 등