

카메라를 이용한 타이어 트레드 압출라인 자동화

Automation of Tire Tread Extruder Line Using Cameras

표 춘 선, 유 준*
(Choon-Seon Pyo¹ and Joon Lyou¹)

¹Chungnam National University

Abstract: This paper describes a vision based automation case study for the tire tread extruder line. To accurately measure the thread widths, two cameras with laser line illumination have been installed near the takeaway conveyor. The overall tread extruder line is then automated by controlling the speeds of take away conveyor and screw motor such that a difference between measured widths and the targeted data is minimized. By doing this, the conventional tread extruder line has been replaced by the developed automated computer system and with only one operator, increasing the production efficiency and reducing safety accidents.

Keywords: tire thread, machine vision, extruder control, factory automation

I. 서론

영상처리 및 분석을 행함으로써 획득된 영상 데이터를 이용하여 제조 및 생산 공정을 자동화하는 기술은 최근 카메라와 영상처리 소프트웨어의 비약적인 발전에 힘입어 산업 전반에 걸쳐 급속히 확산되고 있는 추세이다. 그 예로서, 자동차 및 전자부품 생산라인의 안착분량, 이물질 분리, 색도분량 등, 이미지를 이용한 검사 분야 및 자동화 기기의 제어, 로봇 등에 활용이 높은 광학센서 분야가 대부분이다. 하지만 영상처리 기술을 이용하여 타이어 등의 고무 소재에 적용한 연구사례는 매우 드문 상황이다[1,2].

본 연구에서는 타이어의 성형 소재인 트레드(Tread)의 전폭 및 솔폭(shawl-width)을 측정하고 또한 조명장치를 개선하고 진보된 자동화 영상처리 측정 시스템을 개발하였다. 기존 시스템은 트레드의 전폭만 측정하여 표시하는 장치만 있어 작업자는 줄자로 트레드의 폭을 직접 측정하고 측정 장치의 데이터를 확인하여 압출라인을 조작하여 생산한다. 이런 수동조작으로 제어 오류 및 안정화의 시간이 오래 걸리는 단점이 있었다. 작업자의 작업 능력에 따라 하루 양품 생산량이 다르기 때문에 생산 효율 및 일정한 품질 유지가 어렵다. 카메라를 이용한 타이어 트레드 압출라인 자동화 시스템은 트레드의 전폭 또는 솔폭을 실시간으로 측정하고 이 측정 데이터를 이용하여 계산하여 자동화 함으로써 작업자의 숙련도 및 컨디션에 따라 작업 효율이 달라지는 압출라인을 자동화 하고자 한다.

압출라인은 PLC (Programmable Logic Controller)를 하나의 통신 네트워크로 통합하였고, 규격관리 컴퓨터(PCC: Process Control Computer)의 설치로 모든 압출라인 설정 자료를 데이터베이스(DB)화 하였다. 이런 자동화 시스템을 바

탕으로 트레드 압출라인의 전폭 및 솔폭 데이터의 설정치와 측정치를 비교하여 이 차이를 없애는 방향으로 압출라인을 자동화하였다.

II. 시스템 개요 및 분석

1. 시스템 개요

카메라를 이용한 트레드 압출라인 자동화 시스템은 규격관리 컴퓨터의 데이터를 기반으로 압출라인을 제어하며 압출기의 가장 앞에 위치한 TakeAway 컨베이어 맨 앞부분에서 트레드의 폭을 측정하여 트레드의 규격 데이터와 비교하여 압출기 또는 Takeaway 컨베이어 속도를 조절하여 트레드의 폭을 제어하는 시스템이다.

그림 1은 제어 시스템의 구성도이다. 1차 카메라는 압출라인의 맨 앞에 설치되어 트레드를 측정하며 2차 카메라는 적재전 2차계중기 뒤에 위치하여 완성된 트레드의 결과 데이터를 측정한다. 품질관리 컴퓨터는 PLC를 통하여 규격관리 컴퓨터로부터 모든 제어설정 데이터 및 현재 측정값을 받아 카메라의 측정 데이터를 비교 계산하여 제어 데이터

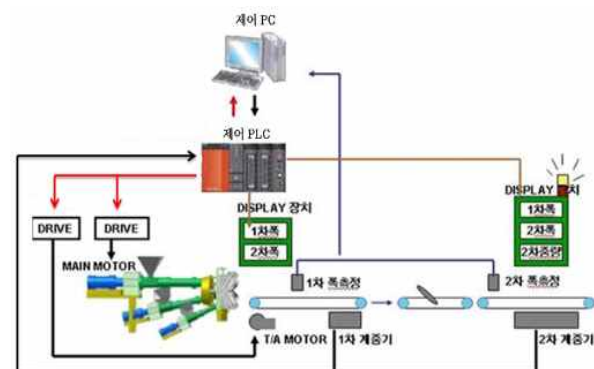


그림 1. 제어 시스템 구성도.

Fig. 1. Configuration of control system.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2012. 5. 19., 수정: 2012. 7. 30., 채택확정: 2013. 2. 1.

표춘선, 유준: 충남대학교 전자공학과

(pcs9817@kiost.ac/jlyou@cnu.ac.kr)

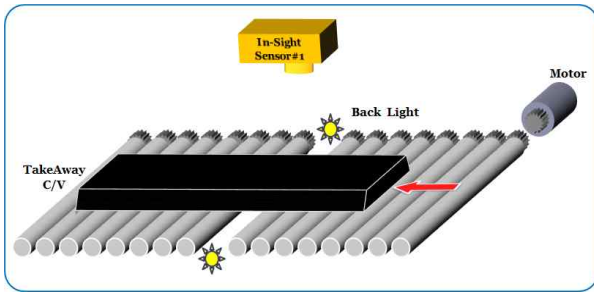


그림 2. 기존 측정 시스템 구성도.
Fig. 2. Configuration of the Existing system.

를 PLC에 전송한다. PLC는 품질관리 컴퓨터로부터 받은 카메라 측정값을 측정 디스플레이에 전시하며 작업자의 수동/자동 스위치에 따라 품질관리 컴퓨터로부터 받은 제어 데이터로 압출라인을 제어한다.

2. 기존 시스템 분석

카메라를 이용한 압출라인 자동화 시스템을 구현하기 위해서는 현재 압출라인에 적용된 측정카메라 제품이 분석이 선행되어야 했으며 이를 통해 기존 제품의 성능을 파악하고 시스템의 구성을 이해할 수 있었다. 본 연구에서 분석한 카메라는 Point Grey사의 1394연결 방식의 VGA급 카메라로 배정 조명 방법을 사용하였다.

기존 측정시스템은 컨베이어 롤과 롤 사이에 백라이트를 설치하였다. 이 측정시스템의 카메라는 1394방식으로 장거리 데이터 전송이 불가하여 중간에 광통신 컨버터를 이용하여 제어 PC와 카메라 간 연결을 하였다. 이런 시스템 구성은 설치비용이 증가하고 공장의 열악한 환경에 의해 광케이블의 파손이 잦아 지속적인 유지보수가 필요하다. 또한 카메라의 조명인 백라이트에 이물질이 떨어져 측정오류가 발생한다. 이 시스템은 최대 단점은 압출기에서 압출물인 고무롤 고온에서 토출시 발생하는 연기(습: Rubber smoke)에 대한 대책이 없어 장기간 사용에 주기적인 관리가 필요하다.

III. 트레드 압출라인 자동화 설계

1. 시스템 구성

카메라를 이용한 트레드 압출라인 자동화 시스템은 측정 카메라 모듈과 품질관리 컴퓨터(QCC: Quality Control Com-

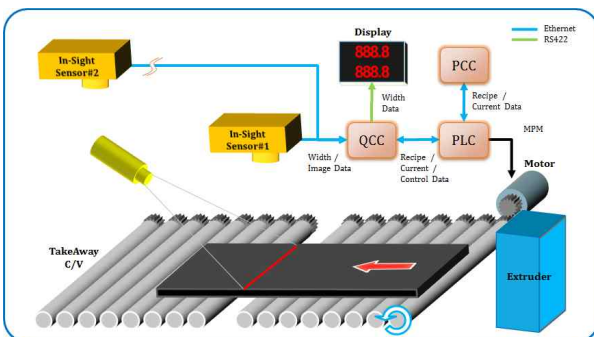


그림 3. 전체 시스템 구성도.
Fig. 3. Configuration of the overall system.

puter), 규격관리 컴퓨터(PCC: Process Control Computer), 제어통합 PLC (Programmable Logic Controller)로 나누며 그림 3과 같이 구성하였다. 제품생산에 필요한 제어기 데이터를 관리하는 규격관리 PC를 기반으로 압출라인 앞단에 위치한 Takeaway 컨베이어 위에서 압출 트레드의 폭을 측정하고, 제어 PC는 측정 데이터를 계산하여 PLC로 제어출력 데이터를 전송하여, 컨베이어 모터를 제어하여 자동화한다. 그림 3은 전체 제어시스템을 보여주고 있다. 1차 측정 카메라는 제어를 위해 압출기 가장 앞단의 Takeaway 컨베이어에 설치된다. 2차 카메라는 Cooling 컨베이어를 모두 통과 후 Decline 컨베이어 앞단에 설치되며 최종 결과물을 측정한다.

2. 측정모듈 설계

측정모듈은 카메라 모듈, 레이저 모듈, 습 방지 모듈, 위치 고정용 프레임으로 구성된다. 습방지 모듈은 압출기에서 나오는 연기로 인해 카메라의 렌즈 및 레이저 모듈에 붙어 화면과 레이저 모듈을 뿌영게 한다. 압출기에서 발생하는 습오염을 방지하기 위해 렌즈 안쪽에 내압을 걸어 습에 의한 오염을 방지하고, 렌즈 외부는 링 구조의 공기 보호막을 형성하는 방법으로 차단한다.

3. 규격관리 컴퓨터 설계

트레드 압출라인 자동화를 위해서는 압출라인의 구동 모터 및 스크류 온도를 PLC로 자동 설정되어야 하며 압출라인의 각 PLC간 통신 네트워크가 구성되어야 한다. 규격관리 컴퓨터(PCC)는 압출라인의 모든 구동 모터 및 온도를 실시간으로 감시하고 관리 한다.

4. 품질관리 컴퓨터 설계

압출라인 자동화시스템의 자동화 제어는 품질관리 컴퓨터(QCC)에서 한다. 규격관리 컴퓨터로부터 받은 압출라인의 모터 속도 및 설정 데이터와 측정모듈에서 얻은 트레드 폭 정보를 이용하여 제어연산을 수행하고 Takeaway 컨베이어 및 압출 Screw 모터를 제어함으로써 목표치수의 트레드 제품을 생산한다. 또한 이러한 결과 데이터를 취합 및 모니터링 할 수 있는 기능을 내장하여 생산기술 및 생산부의 기초 데이터로 활용한다.

QCC의 Time Chart Graph 화면을 통하여 압출라인 제어 품질을 한눈에 확인할 수가 있다. PCC와 연동하여 압출라



그림 4. 규격관리 소프트웨어.
Fig. 4. Process control software.



그림 5. 품질관리 컴퓨터 메인화면.
Fig. 5. Quality control computer main screen.



그림 6. 품질관리 컴퓨터 그래프 화면.
Fig. 6. Quality control computer graph screen.

인을 자동화하며 상위 시스템으로부터 규격 지령 및 교체가 자동으로 이루어진다. 작업자는 압출라인 제어상황을 메인 화면 및 그래프 화면을 통하여 실시간으로 모니터링한다. 또한 작업자는 경광등 및 대형 디스플레이로 현재 상황을 모니터링 할 수 있다.

5. PLC 시스템 설계

압출라인의 모든 장비에 소속된 PLC 모듈은 Mitsubishi 제품으로 되어 있다. 노후화된 APLC 기종 및 QPLC가 뒤

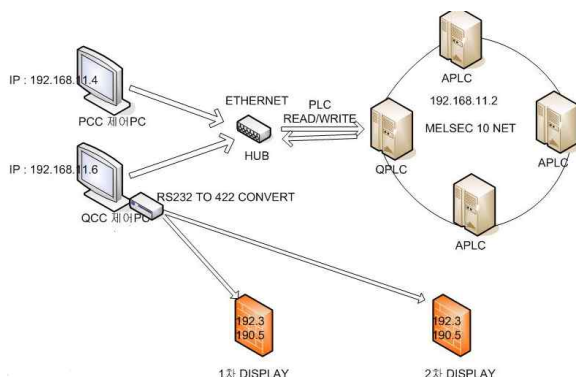


그림 7. PLC 시스템 구성도.
Fig. 7. Configuration of the PLC system.

섞여 있으며 모든 장비를 네트워크로 묶기 위해서 미츠비시의 전용 네트워크인 MelsecNet을 도입하였다[5]. 품질관리 컴퓨터 및 규격관리 컴퓨터와 자료를 주고받는 제어용 PLC는 QPLC 기종으로 선택하였으며 이 QPLC를 네트워크의 마스터(Master)로 지정하고 그 외 압출라인 장비 PLC를 슬레이브(Slave)로 설정하여 통신하도록 하였다[5].

6. 트레드 측정 소프트웨어 개발

트레드 폭의 측정 위치는 전폭과 솔폭으로 나뉜다. 전폭은 타이어 사이드월(Side Wall)의 돌출 부분과 글씨 등을 포함한 맨 바깥쪽간의 최고치의 측면 폭을 의미 한다. 솔용(PCR) 타이어 제품생산의 제어기준이 된다. 솔폭은 타이어 사이드 월의 돌출 부분의 글씨 등을 포함한 맨 안쪽간의 최고치의 측면 폭을 의미한다. 트럭(TBR) 타이어 제품생산 제어의 기준이 된다.

압출물의 트레드 전폭측정 프로그램 개발은 Cognex사의 Vision SDK 4.3 Library [4]를 사용하였다. 모서리 검출(edge detection) 툴을 사용하여 레이저 선의 양쪽끝의 모서리를 검출하는 방법으로 트레드 폭을 계산한다. 그 외 정확한 측정을 위하여 Cognex사에서 제공하는 여러 가지 필터를 사용하여 압출라인이 구동되는 환경에서 정확한 측정 결과를 얻을 수 있었다. 환경적인 요건의 충족을 위해 측정영역의 컨베이어를 탈착하였고 탈착된 부분을 측정하고 PatMax 알고리즘[4]을 사용하여 흔들리는 영상에서도 정확한 측정을 할 수 있도록 구현하였다. 측정 영역의 설정은 이미 2D 레이저 라인의 위치를 알고 있고 복잡한 영상처리를 간소화 하기위해 좌우측의 모서리 검출 영역을 설정한다.



그림 8. 타이어 트레드.
Fig. 8. Tire tread.

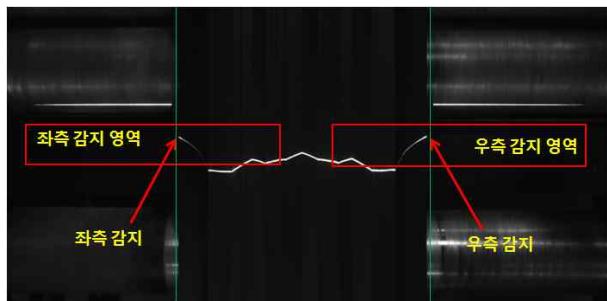


그림 9. 트레드 전폭 측정.
Fig. 9. Measurement of tread width.

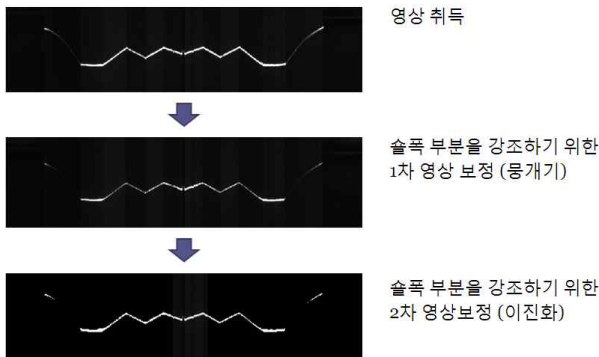


그림 10. 트레드 솔폭 측정법.
Fig. 10. Measurement method for the tread shole-width.

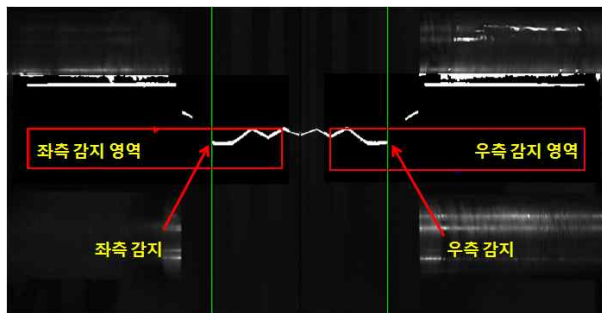


그림 11. 트레드 솔폭 측정 결과.
Fig. 11. Measurement results of the tread shole-width.

7. 트레드 솔폭 측정

솔폭 측정은 측정된 영상을 Cognex Filter Tool [4]을 이용하여 날개부분을 없애고 솔폭 부분의 2D 라인을 강조한다. 영상처리한 결과 이미지를 이용하여 솔폭 부분의 모서리를 검출하도록 영역을 설정하고 거리값을 계산한다. 이때 샘플링 주기는 100 ms이고, 정확도는 ± 0.1 mm 정도이다.

IV. 트레드 압출라인 자동화 구현

1. 측정모듈 설치 및 시험

먼저 측정모듈을 한국타이어 생산 공장의 트레드 압출 생산라인에 설치하여 시험하였다. 압출라인 제어를 위해 측정 모듈을 가능한 앞단에 설치하는 것이 요구되지만, 컨베이어의 가장 앞단에서는 압출물이 뜨는 현상이 발생하여 압출물이 컨베이어 상에서 안정화 되는 위치에 설치하였다. 이는 압출물이 컨베이어 위로 뜨면 측정 높이가 달라지므로 실제 폭과 다르게 나타나기 때문이다.

솔폭을 측정하기 위해서는 레이저 모듈의 설치 위치가 중요하다. 레이저 모듈은 카메라와의 일정한 거리와 각도 설정으로 트레드의 2D 형상을 만들어 낸다.

측정모듈의 교정은 3종류의 시편(150, 250, 350 mm)을 이용하여 이루어졌다. 시편은 기본 트레드의 2차원 형상과 동일하게 제작되어 실제 측정과 동일한 조건을 갖추어 사용하였다.

2. 트레드 압출제어 소프트웨어 구현

트레드 압출제어 소프트웨어는 PLC 및 공장자동화 소프트웨어 통신을 위하여 VB6로 제작되었다. 상위 시스템 및



그림 12. 설치된 측정 모듈.
Fig. 12. Installed measurement modules.

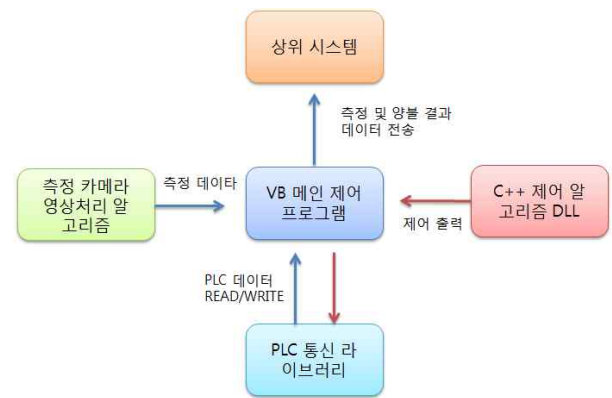


그림 13. 압출제어 소프트웨어 구성도.
Fig. 13. Configuration of the extruder control software.

PLC 간의 통신은 TCP/IP 기반으로 하였다. 트레드의 측정 데이터는 실시간 측정하여 대형 표시장치 및 PLC에 전송한다.

3. 제어알고리즘

기본 제어 알고리즘은 현재 측정 폭과 목표치 폭의 비율을 현재 Takeaway 컨베이어 속도에 곱하여 비례 제어한다. 이때 제어 데이터의 한계를 설정하여 이를 벗어나면 수동제어 하도록 한다. 안정적인 제어를 위하여 건너뛰는(skip) 구간을 설정하며 제어범위 내에서는 제어데이터를 고정한다.

- ① 폭비율(%) : $(\text{폭sv} - \text{폭pv}) / \text{폭sv}$
sv: 설정폭 pv: 일정시간 동안의 폭의 평균값
- ② $\lambda_{sv} = \text{중량sv} / \text{폭sv}$

λ_{sv} 란? 밀도 및 트레드 높이의 상관관계로 폭에 비례하여 중량이 많은 경우는 밀도가 높으므로 Takeaway 컨베이어(TA)의 변화폭을 좀 더 크게 적용해야 제어에 유리하며 반면 폭에 비해 중량이 적게 나가는 경우에는 밀도가 작으므로 Takeaway 컨베이어(TA)의 변화폭을 작게 적용해야 제어에 유리하다.

- ③ $TA = TA_{cv} \times \text{폭\%} \times \lambda_{sv} \times C_{\text{제어상수}}$
TA: 보정된 Takeaway 컨베이어 모터 속도
TA_{cv}: TA 출력값
폭%: 설정 폭과 일정시간 동안의 폭의 평균값의 오차율

λsv: Tread의 밀도상수

C 제어상수: 압출라인별로 압출기 모양 및 제조사가 달라 제어오차가 발생한다. 이것에 대한 보정 값으로 제어상수를 적용한다.

4. 제어 설정값

- ① 측정부 거리: 폭 측정 장치, 중량 측정기(m)의 거리를 설정하며 초기 제어출력 시간을 제어한다.
- ② 제어 출력: 컨베어 제어범위(%), Screw제어범위(%)를 설정하며 규격별 제어출력의 한계를 조정한다.
- ③ 한계 스펙: 전폭(mm), 중량(%)로 설정하며 양품 기준을 나타낸다.
- ④ SKIP 구간: 전폭(mm), 중량(%)로 설정하며 범위안에서는 제어값을 고정한다.
- ⑤ 전폭 추이계산시간(sec): 전폭 측정후 계산된 제어값을 PLC에 반영하는 시간을 설정한다.
- ⑥ 초기규격 변동시간(sec): 작업자의 규격교체 시간을 설정한다.
- ⑦ 계층기 상의 트레드 안정시간(sec): 압출기 토출후 안정된 압출물이 나오는 시간을 대략적으로 설정한다.
- ⑧ 중량추이 계산시간(sec): 압출기 토출후 안정된 압출물이 나와 안정된 중량이 측정되는 시간을 입력한다.

5. 트레드 압출라인 측정 및 제어 결과

총 20개 이상의 생산규격을 테스트 했으며, 테스트 진행 결과 그림 14와 같이 트레드 압출라인 자동제어가 문제없이 진행되는 것을 확인하였다. 초기 안정화 시간이 약 90초 정도 소요되며 생산규격별로 약 30초 범위안의 시간 차이가 발생하였다. 안정화 시간이 지난 후에는 전폭 및 중량 모두 설정 범위 안에서 조절되는 것을 확인하였다. 고무 압출의 특성상 되먹임 제어가 빠르게 이루어질 필요가 없으므로 실험적으로 얻은 갱신주기, 1초 정도로 운용한 결과 안정적인 제어가 수행되었다. 또한 고무 밀도가 달라서 불량(scrap)을 압출기에 재투입하는 과정은 배제기로 하였다.

측정모듈의 솔폭 측정은 ±0.2 mm 정도의 오차 범위 안에서 측정이 되며 아래 영상결과와 같이 두께가 얇은 규격은 2D라인이 선명하지 않아 측정 오류가 자주 발생하며 트레드의 양쪽 끝부분의 모서리가 둥근 일부 규격에서는 측

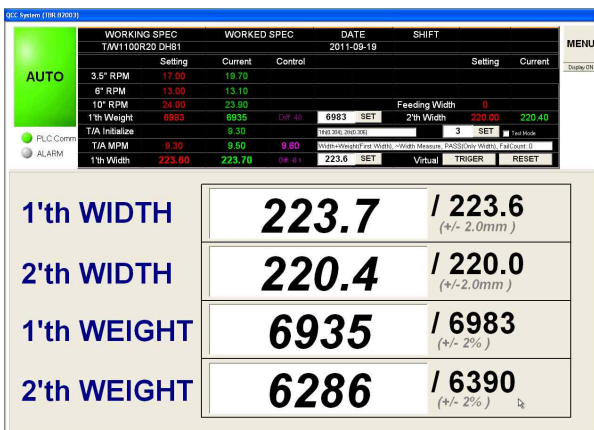


그림 14. 압출라인 자동제어 결과.

Fig. 14. Automatic control results of the extruder line.

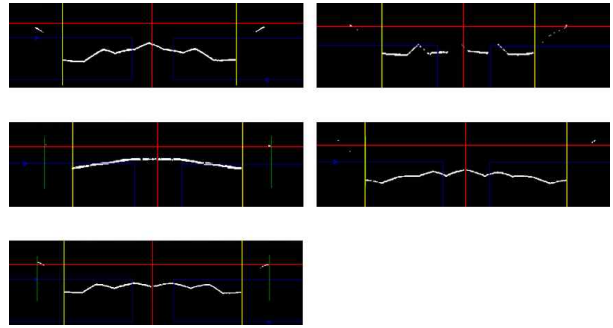


그림 15. 트레드 압출다이별 솔폭 측정 결과.

Fig. 15. Measurement results of the read shawl-width by die types.

정이 불가능하였다. 이에 대한 대안으로 트레드 형상을 솔폭 측정에 유리하도록 변경하는 것이 거론된다.

V. 결론

본 연구에서는 레이저모듈과 조명, 2대의 카메라 측정모듈, PLC, 규격관리 컴퓨터, 품질관리 컴퓨터를 각 시스템을 통합하여 타이어 트레드 압출라인 자동화 시스템을 개발하였고 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 고출력, 고정밀 레이저 모듈을 설치하여 정밀한 측정 및 조명에 대한 외부 환경요소를 최소화 하여 항상 정확한 측정을 할 수 있게 되었다.
- (2) 측정 모듈은 고해상도의 머신비전 카메라를 이용하여 정밀한 전폭 및 솔폭을 실시간으로 측정하고 측정모듈의 하우징 기술개발로 기존 압출기에서 발생하는 흡에 의한 카메라의 내부 오염 및 렌즈 오염을 완벽하게 차단하였다.
- (3) 기존 구형 압출라인의 수동제어 방식에서 규격관리 컴퓨터, 품질관리 컴퓨터를 도입하여 압출라인의 시스템 통합 및 자동화를 이루어 전체 공장자동화에 기여하였다.
- (4) 모든 압출라인의 자동화로 조작자의 실수에 의한 불량 발생이 감소하였고 또한 운용자의 피로도 감소로 생산 효율성을 극대화하였다.
- (5) 압출기 재료 공급에 불량을 투입하는 경우 고무 밀도가 달라지므로, 폭 제어시 폭의 설정 윗셋값 조정으로 중량 일부를 제어 범위 안에서 늘리는 방안 등의 대책이 필요하다.

참고문헌

- [1] H. G. Lee and M. G. Lee, "An automated machine-vision-based feeding system for engine mount parts," *Precision Engineering and Manufacturing (in Korean)*, 122, pp. 177-185, May 2001.
- [2] J. S. Lee, O. M. Geun, H. N. Ju, J. S. Kim, and G. H. Ryu, "Development of inspection system for the IC package," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 14, no. 5, pp. 453-461, May 2008.
- [3] Byte-wise Measurement Systems, "On-line tire tread profile measurement technology," Mar. 2010.
- [4] Cognex Vision Software Document, "In-Sight Explorer

4.3 Release Notes,” 2009.

- [5] Mitsubishi Automation PLC Document, “GX developer version8 Release Notes,” pp. 322-378, May 2004.



표 춘 선

2005년 목원대학교 전자정보통신공학과(공학사). 2012년 충남대학교 전자정보통신공학과(공학석사). 현재 한국해양과학기술원 연구원. 관심분야는 산업공정제어, 센서신호처리, 무인제어시스템 등임.



유 준

1978년 서울대학교 전자공학과(공학사). 1984년 한국과학기술원 전기전자공학과(공학박사). 1984년 9월~현재 충남대학교 전자공학과 교수. 1989년 2월~1990년 2월 미쉬건 주립대학교 객원교수. 1993년 12월~1994년 2월 독일

IPA 연구소 방문연구원. 1997년 2월~1998년 2월 캘리포니아 주립대학교(데이비스) 객원교수. 관심분야는 산업공정제어, 센서신호처리, IT기반 로봇, 항법시스템 등임.