



2차 전지 전극생산 라인의 벨트피딩 시스템 설계 및 성능시험

민들레^a, 강호성^a, 김기환^a, 이영우^a, 박용근^a, 이응석^{a*}

Design and Performance Test of Belt Feeding System in Secondary Battery Electrode Production Line

Deulrae Min^a, Hosung Kang^a, Kihwan Kim^a, Youngwoo Lee^a, Yongun Park^a, Eungsuk Lee^{a*}^a Department of Mechanical Engineering, Graduate School, Chungbuk National University,
1, Chungdae-ro, Seowon-gu, Cheongju, Chungbuk-do, 28644, Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received 20 June 2018
Revised 12 September 2018
Accepted 18 September 2018

Keywords:

Rechargeable battery
Secondary battery
Electrode
Stacking machine
Belt feeding system

ABSTRACT

This research is on the design and performance test for decreasing defect rate and improving the production speed of stacking machines used to build secondary battery electrodes. The key parameter that affects production speed and defect rate is the electrode film feeding system. There are two feeding system methods: gripper and belt. We chose the belt feeding method for the low-noise and high-speed production. However, the belt feeding method has a slip problem, which lowers production speed and increases the defect rate on the electrode film. Therefore, we designed a slipless belt feeding system to reduce slip. Removing slip to ensure accurate position leads to increased production speed, uniform size of electrodes, and lower defect rate. We designed the system and then manufactured to test target performance. The feed rate, cutting position accuracy, and zigzag displacement of the electrode were tested and evaluated.

1. 서론

자동차용 2차 전지의 전극을 생산하는 Stacking machine은 하나의 롤형태로 말려있는 박판형태의 전극필름을 풀어서 커팅 후 양극과 음극을 차례로 적층하는 장비를 말한다. Fig. 1에 Stacking machine의 생산공정을 나타내었다. 이송할 때 일반적으로 사용하던 이송 시스템은 그립퍼(gripper)방식이였다. 전극필름을 클램프로 클램핑 하고, 그립퍼가 전극필름을 잡아서 일정 피치만큼 이송하여 피딩하는 방식이다. 이 방식은 그립퍼가 일정 피치만큼 이송 뒤 다시 제자리로 돌아와서 반복적으로 전극 필름을 피딩하게 된다.이 때 그립퍼를 움직이기 위해 모터를 사용하는데 모터는 반복

적인 정/역회전을 해야 하며, 이때 발생하는 백래시 현상에 의해서 누적된 오류가 피딩된 전극필름의 위치 오류를 발생시킨다.

또한 액츄에이터 와 서보모터 볼스크류로 구성된 이 시스템에서는 볼스크류의 파손이나 중저속의 이송을 하더라도 소음문제가 발생되기 때문에 속도의 한계를 뛰어넘을 수 없다. 이 한계를 넘기 위해 벨트를 이용한 벨트 피딩 방식을 사용하게 되었다. 벨트 피딩 방식의 장점은 모터의 회전속도만 올리면 이송 속도를 올릴 수 있고, 한 방향으로의 회전만 일어나기 때문에 백래시로 발생되었던 위치 오류를 줄일 수 있다. 그러나 슬립이 없는 그립퍼 방식에 비해 벨트로 이송시 발생하는 슬립현상 때문에 피딩 정밀도가 떨어지는 단점이 발생되었다^[1].

* Corresponding author. Tel.: +82-43-261-2442

Fax: +82-303-3440-3422

E-mail address: eungsuk@cbnu.ac.kr (Eungsuk Lee).

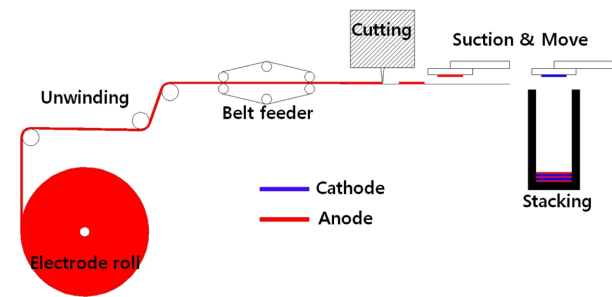


Fig. 1 Process of stacking machine in secondary battery electrode production line

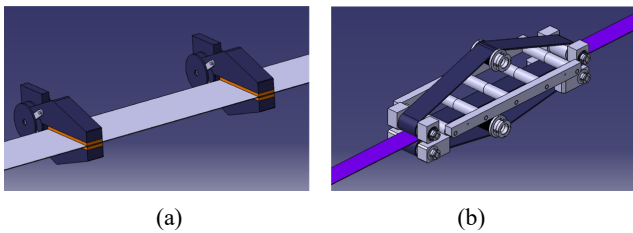


Fig. 2 Gripper method (a) and belt feeding method (b)

그래서 벨트피딩 방식의 장점을 살리면서 벨트피딩 방식에서 발생하는 슬립현상을 없애서 피딩 정밀도와 생산속도를 높일 수 있는 벨트피딩 시스템을 연구하게 되었다. Fig. 2는 그립퍼방식과 벨트 피딩 방식을 간단히 나타낸 것이다.

2. 벨트피딩 시스템 설계

2.1 벨트 피더 파트

기존의 벨트 피딩방식에서는 필연적으로 발생하는 슬립을예방하기 위해 Fig. 3과 같이 위아래 구동부 중 한 곳에 각도를 주어 선접촉으로 이루어지는 접촉면의 압력을 높이는 방식을 사용하였다. 이 방식은 슬립은 예방 할 수 있으나 얇은 두께의 전극필름이 압력부를 통과하면서 눌림에 의한 구김 현상이 발생하게 된다. 전극 필름의 구김현상을 예방하면서 미끄럼현상도 제거하기 위해 균일한 압력을 분포하면서 전극필름의 손상을 예방하기 위한 설계를 Fig. 4와 같이 고안하였다.

2.2 시스템 구동부

기존의 벨트 피딩방식에서는 하나의 모터에 두 개의 헬리컬 기어를 이용하여 연동하거나 하나의 모터에 두 개의 풀리를 타이밍 벨트로 연결하여 연동하였다²⁾. 타이밍 벨트와 풀리 마모현상으로 인해 피딩 정밀도가 저하되어 설비를 재가동할 때 마다 생산 초반에 평균 3개의 불균일한 크기의 불량 전극이 생산되었다. 또한 기어에 의한 백래시 발생과 상부벨트 진동 발생 및 기어에 의한 소음문제가 발생되었다.

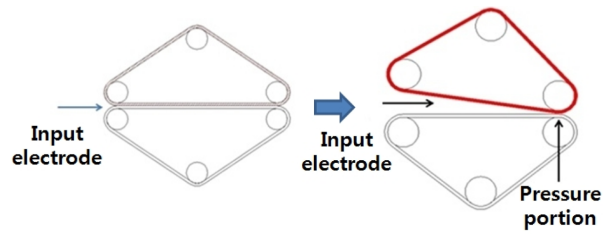


Fig. 3 Modification of belt feeding method to reduce belt slip

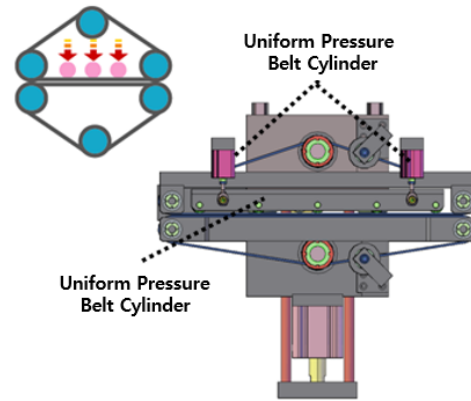


Fig. 4 New design using uniform pressure belt cylinder to reduce the belt slip

소음 제거 및 피딩정밀도를 높이기 위해 Fig. 5와 같이 두 개의 서보모터를 상·하 구동축에 연결하는 방식으로 수정하였다. 두 개의 서보모터의 동기화된 운동으로 작동시키게 되면, 기존 헬리컬

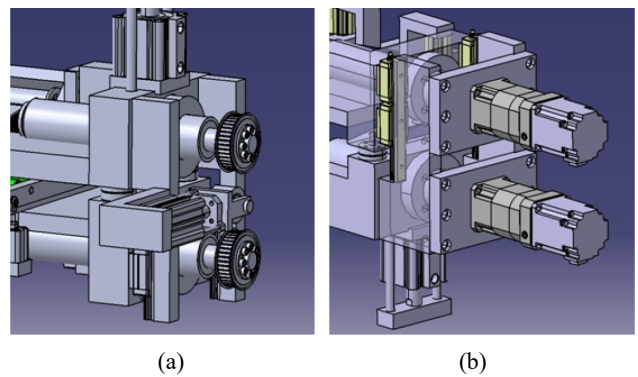


Fig. 5 One driving motor and pulley connect type (a) and Two driving motory type (b)

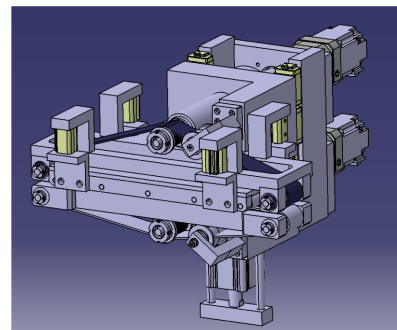


Fig. 6 Finally designed belt feeding system

기어 방식이나 타이밍 벨트 풀리를 적용한 방식에서 발생할 수 있는 백래시를 감소시킬 수 있다. 또한 소음 및 피딩정밀도 또한 향상시킬 수 있으며, 기존의 소음발생 문제로 중저속에서만 사용하던 작업속도에서 보다 빠른 속도로 운행할 수 있는 장점이 있다. Fig. 6는 기존의 문제점을 해결하기 위해서 최종 설계된 Stacking Machine의 Belt feeder system 이다.

3. 성능 시험

3.1 성능 목표

Stacking machine의 Belt feeding system을 설계하고, 기존의 장비보다 향상된 성능을 검증하고 목표한 성능을 달성했는지 알아보기 위해서 각 항목에 대한 실험을 진행하였다. Table 1에는 성능 지표의 기준이 되는 항목과 기존장비의 성능 및 목표성능을 정리해 놓았다. 이 중 Zigzag error와 Position accuracy tolerance의 값은 수요처에서 품질관리의 기준으로 사용하는 표준편차의 값으로 반영하였다.

Table 1에서와 같이 전극필름의 이송속도와 전극필름이 여러개의 롤을 지나면서 발생할 수 있는 Zigzag 변위, 전극필름의 커팅 위치 정밀도등을 시험을 통해 목표성능을 기준으로 검증해 보았다.

3.2 이송 속도 측정

전극필름의 이송속도를 알아보기 위해 구동축에 연결되어 있는 서보모터의 최대 가용 rpm을 측정하고, 구동 롤러의 직경값을 이용해 벨트의 선속도를 산출해 보았다. Fig. 7에서 알 수 있듯이 모터의 최대 rpm값은 분당 2,250 rpm을 나타내고 있다. 서보모터의 가용속도 값을 기준으로 벨트의 선속도 값을 산출해보면 다음의 식 (1)과 같다.

$$[2\pi \times (\frac{29.8mm}{2}) \times \frac{1m}{1000mm}] \times [2250r/min \times \frac{1min}{60s}] = 3.51m/s \tag{1}$$

식 (1)의 계산 결과에서 알 수 있듯이 목표 성능의 기준이 되는 3m/s 이상의 속도를 충족하는 알 수 있다.

Table 1 Performance goals given by a user, secondary battery electrode production company

Parameter	Existing performance	Final target performance
Feed rate	2 m/s	3 m/s
Zigzag error	±0.5 mm	±0.1 mm
Position accuracy tolerance	0.1 mm	0.05 mm

3.3 전극필름의 Zigzag 변위 측정

전극필름이 여러개의 롤러를 거치면서 발생할 수 있는 Zigzag 변위를 측정하기 위해 전극필름이 지나가야하는 정위치에서 벗어나는 정도를 Laser Scanner 센서를 이용해 측정하였다. 발광부에서 나온 레이저가 수광부로 수신되어질 때 간섭물질로 인하여 일부만 수신되게 된다. 이 때 간섭물질로 인해 레이저가 수신되지 못한 거리를 측정하게 된다.

Fig. 8은 Laser scanner 센서의 측정 원리를 간단히 도식화한 것이다. 사용된 Laser scanner 센서의 사양은 Table 2와 같다.

Fig. 9는 롤러를 지나 이동되는 전극필름의 경로에 센서를 부착하여 Zigzag 변위를 측정하는 모습을 보여주고 있다.

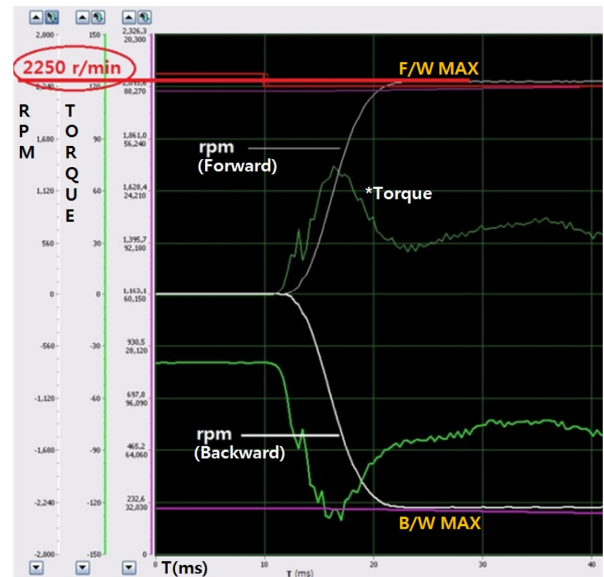


Fig. 7 Feeder driving motor rpm and torque(% of max) in forward /backward rotation

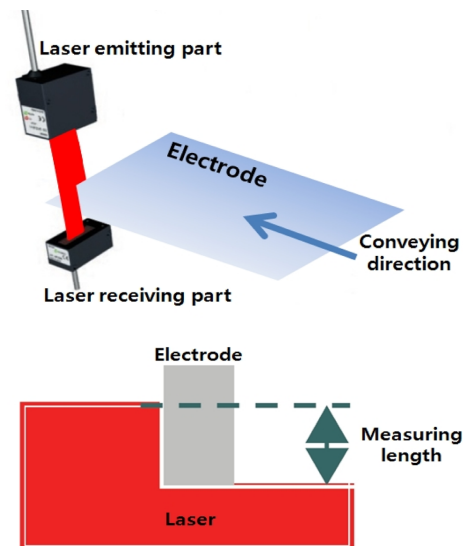


Fig. 8 Measuring principle of laser scanner sensor

Table 2 Specification of laser scanner sensor

Parameter	Specification
Measuring width	28 mm
Resolution	10 μm
Sensing distance	50 mm

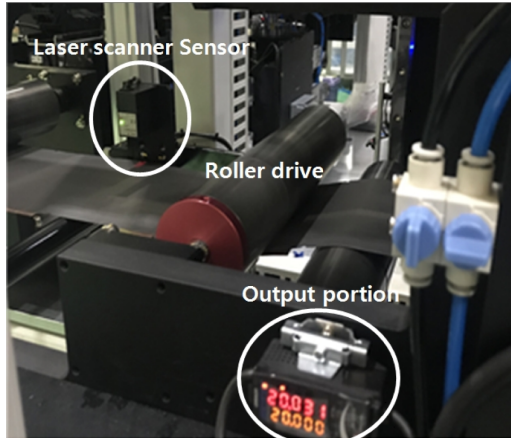


Fig. 9 Measurement of Zigzag displacement using laser sensor

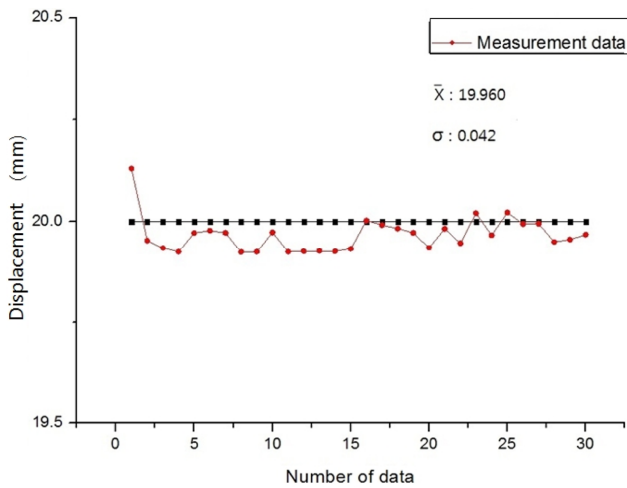


Fig. 10 Zigzag displacement data, deviation in reference (measured by laser scanner sensor)

총 30회씩 2세트에 걸쳐 측정하였고, 측정된 데이터들을 Fig. 10에 그래프로 나타내었다. 측정된 데이터들을 표준편차의 식에 대입하여 zigzag 변위의 값을 산출한 결과 0.042 mm의 값을 얻었다.

3.4 Machine vision을 이용한 전극 측정

3.4.1 전극 커팅 위치

전극필름의 커팅위치 정밀도를 확인하기 위해 생산된 전극을 Machine vision으로 촬영하여 커팅 정위치에서 벗어난 오차를 확인하였다. Fig. 11은 커팅된 전극을 Machine vision으로 촬영한

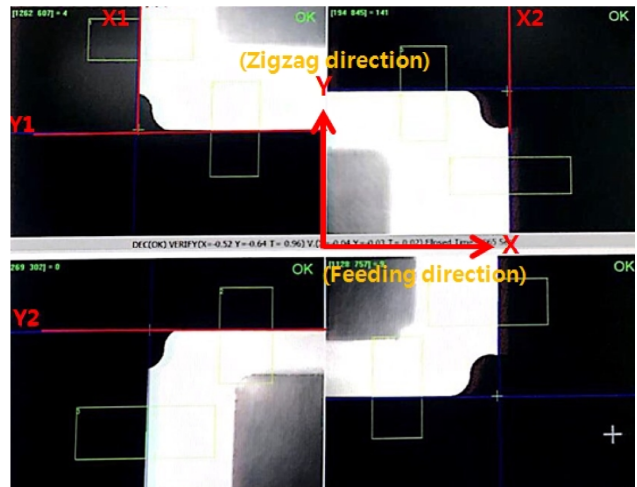


Fig. 11 Cutting electrodes photographed by machine vision

Table 3 Specification of machine vision camera

Parameter	Specification
Sensor type	CMOS
Sensor size	6.8 mm \times 5.4 mm
Resolution (H \times V)	1282 \times 1026
Pixel size	5.3 μm \times 53. μm
Frame rate	60fps

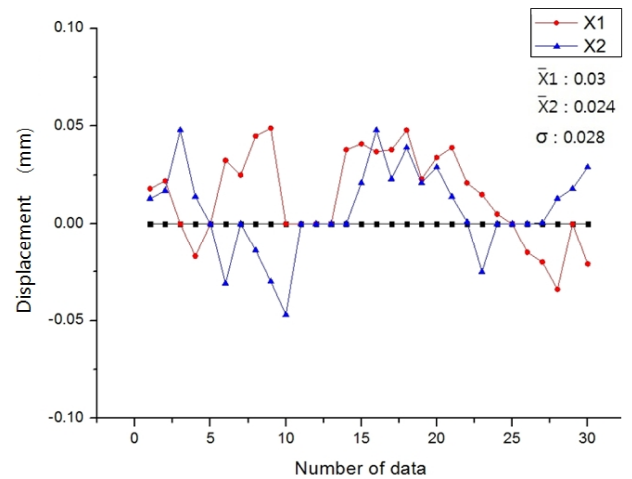


Fig. 12 Position accuracy measurement data, deviation in reference, from X1 to X2 electrode position

사진이다. 본 시험에서 사용된 Machine vision 카메라 사양은 Table 3와 같다.

X1에서 X2축까지의 거리가 커팅된 전극의 길이이며 Fig. 12에 X(1,2)축을 기준으로 하여 벗어난 값들을 측정하여 그래프로 나타내었다.

X1 항목과 X2 항목에 대하여 각각 30회씩 2세트 측정 하였고, 측정된 값들을 표준편차의 식에 대입하여 필름의 커팅위치가 정위

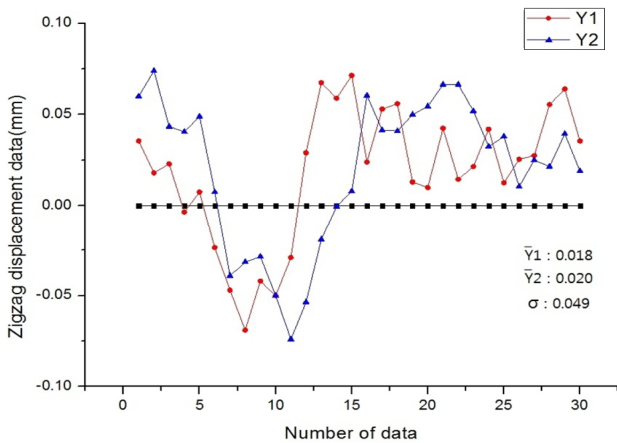


Fig. 13 Zigzag displacement data, deviation in reference (measured by Machine vision)

치에서 벗어난 평균값을 산출한 결과 0.028 mm임을 알 수 있었다. 이 값은 목표값(0.05 mm)을 충분히 충족하는 값을 알 수 있다.

3.4.2 전극필름의 Zigzag 변위

Fig. 11에서 Y(1,2)축에 해당되는 측정값은 전극이 여러개의 물러를 거치고 벨트를 지나 피딩되면서 발생한 Zigzag 변위에 의한 위치 오차 값을 나타내고 있다. Machine vision에 의해 측정된 Zigzag 변위의 값을 Fig. 13에 그래프로 정리하였다. 측정은 Y1 항목과 Y2항목에 대하여 각각 30회씩 2세트 진행하였다.

Machine vision에 의해 측정된 데이터를 표준편차의 식에 대입하여 Zigzag 변위의 값을 계산한 결과 0.049 mm의 값을 얻을 수 있었다.

4. 검토

4.1 Laser scanner센서와 Machine vision의 측정 값 비교

전극이 이동하면서 발생하는 Zigzag변위값을 Laser scanner 센서와 Machine vision을 이용한 두 가지 방법으로 측정하였다. Laser scanner 센서로 측정하였을 때 Zigzag 변위값은 0.042 mm이고 Machine vision을 이용하여 측정하였을 때는 0.049 mm 이다.

4.2 Zigzag변위 측정 도구의 분해능 비교

Laser scanner 센서의 분해능이 10 μm 이고, Machine vision의 분해능이 5.3 $\mu\text{m}/\text{pixel}$ 이며, Machine vision이 보다 높은 분해능을 가진다.

4.3 오차요인 분석

측정 값이 그대로 반영되는 Laser scanner 센서와 달리 획득한

영상을 영상처리 프로그램을 거쳐 출력한 후 분석하여 얻게되는 Machine vision은 처리과정에서 보다 많은 오차요인을 가질 수 있다. 본 시험에서 사용된 카메라 센서는 Monochromatic 타입이며, 입력 영상의 각 화소 밝기 값을 0~255범위의 명암도를 갖는 Gray scale로 1대 1로 대응하여 변환 후 출력하게 된다³⁾. 측정시 사용된 엣지 디텍팅 알고리즘은 Open source를 사용하였다. 대부분의 엣지 디텍팅 알고리즘은 켈러로 영상을 촬영하게 되는 경우도 Monochromatic으로 변환되어 출력된 영상에서 검출하고자 하는 엣지를 특정 임계값을 경계로 기준하여 찾아낸다. 엣지는 영역의 위치, 모양, 크기 등에 대한 정보를 갖고 있기 때문에 엣지의 정확한 검출은 정확한 측정값으로 직결되기도 한다. 엣지를 검출하는 대표적인 알고리즘으로는 출력된 영상에서의 밝기 값의 변화율 즉, 미분값이 특정 임계값보다 더 큰 화소들을 엣지로 분류하는 방법이다. 물체의 경계 부분에서 경사가 급격한 밝기 변화를 보일수록 기울기 값이 커지며, 이러한 밝기 변화율(기울기)을 검출한다⁴⁾. 처리된 영상에서 검출하려는 엣지가 Gray scale에서의 모호한 경계를 갖거나 사용자가 설정한 임계값에 따라 분석되는 결과는 달라지게 된다.

5. 결론

생산성을 높이고 불량률을 낮추기 위해 새로운 생산 시스템을 개발하고 성능시험을 거친 결과 다음과 같다.

측정도구의 선택에서는 커팅된 전극의 위치와 Zigzag변위를 동시에 측정할 수 있는 머신비전 방법이 효율적이다. 측정도구의 성능을 보았을 때는, Laser Scanner센서의 분해능은 10 μm 이고, Machine vision의 분해능은 5.3 $\mu\text{m}/\text{pixel}$ 로 Machine vision의 분해능이 더 뛰어나다. Zigzag 변위라는 같은 현상을 놓고 Laser scanner sensor와 Machine vision으로 각각 측정하였을 때, Machine vision (0.042 mm > 0.049 mm)에서 0.007 mm만큼 더 큰 결과 값으로 나타났다. 차이는 두 값을 놓고 어느쪽에 더 신뢰도를 두느냐를 검토해 보았을 때, 큰 차이를 보이지 않아 어느쪽을 선택해도 무방할 것으로 보인다.

Table 1의 값을 목표로 성능시험을 거친 결과 생산속도는 기존 속도 대비 1.5배 향상되었다. Zigzag error의 값은 편차의 폭이 1/5 수준으로 감소되었으며, 커팅 위치의 정확도는 기존의 표준 편차 값 대비 1/2 수준으로 감소되었음을 확인 할 수 있었다. 설비를 재 가동할 때마다 생산 초반에 피딩 정밀도를 저하시키는 요인이 되는 타이밍벨트와 풀리 방식 대신 상·하부 모두 서보모터 제어방식으로 바꾼 뒤 초기발생 불량전극도 사라진 것을 확인할 수 있었다.

References

- [1] Bolton, W., 2004, *Mechatronics*, Pearson Education LTD, New Jersey.
- [2] Japan Mining Association Conveyor research committee, 2009, *New Planning and Management of Belt Conveyors*, Sungandang, Japan.
- [3] Kim. W. S., 2009, *Image Processing Pattern Recognition*, Seangneong Publishing, South korea.
- [4] Gonzales, R. C., Woods, R. E., 2008, *Digital Image Processing Third Edition*, Pearson Education INC, New Jersey.