

영상처리를 이용한 전기자동차 배터리 극판의 검사 시스템

Inspection System of Electric Vehicle Battery Plate Using Image Processing

신 동 원*, 진 병 주, 윤 장 규
(Dongwon Shin^{1,*}, Byeong-Ju Jin², and Jang-Kyu Yoon³)

¹Department of Mechanical System Engineering, Kumoh National Institute of Technology

²HW Product Development Team, AJINEXTX Company Limited

³Department of Mechanical Engineering, Kumoh National Institute of Technology

Abstract: In this paper, we developed the inspection system of electric vehicle battery plate using image processing. Four cameras are used for acquiring the principal parts of the plate, and several steps of image processing for extracting significant dimensions of the plate such as widths and lengths. As a preceding step, calibration of four cameras is carried for compensating distorted images using dot-arrayed sheet. Coordinate systems for four cameras are defined where one coordinate system is assigned to the reference coordinate system to which the others are relatively described. Line information of the edge in the windowed image is extracted using elaborate edge-detection algorithm, and finally the intersection points between lines are extracted to calculate widths and lengths of the plate from which the error status of the battery plate is decided.

Keywords: image processing, electric vehicle, battery plate, li-ion polymer battery, inspection system

I. 서론

본 논문은 전기자동차의 배터리 극판으로 사용되고 있는 리튬-이온 폴리머 전기(LIPB: Li-Ion Polymer Battery) 배터리 극판의 주요치수에 대한 영상처리 검사기술을 개발하는 연구이다. 검사 대상체인 리튬-이온 폴리머 전지(Li-Ion Polymer Battery)는 리튬-이온 전지(Li-Ion Battery)의 성능은 그대로 유지하면서 폭발 위험성이 있는 액체 전해질 대신 화학적으로 안정적인 폴리머(Polymer) 전해질을 사용하여, 누액과 폭발의 위험성을 줄였을 뿐만 아니라 3mm 정도의 얇은 두께나 소형으로 제작 등 다양한 형상으로 설계가 가능하다. 이런 이유로 제조공정이 복잡하고 가격이 비쌌음에도 불구하고 스마트폰, 태블릿 PC 등 여러 분야에서 사용되고 있다. LIPB는 그림 1과 같이 전극(Battery Pole)을 전해질인 폴리머(Polymer)가 감싸고 있는 구조로 구성되어 있다[1-5].

LIPB는 여러 공정을 거친 후 적층과정을 거쳐 전기자동차의 배터리로 이용되고 있는데, 공정 중 Stamping 공정과 Cutting 공정에서 LIPB의 유연한 물성에 의해 치수의 오차가 발생할 수 있다. 따라서 적절한 모양과 크기로 절단되었는지의 검사는 필수라고 할 수 있다. 이에 그림 2와 같이 4대의 고해상도 영역스캔 카메라(Area-Scan Camera) [7-9]와 4대의 스트로브(Strobe) 조명을 이용하여 LIPB의 4개의 영역에 대해 영상을 획득하고 영상교정(Calibration) 및 영상처리 기법을 이용하여 검출한 에지 및 교점을 통해 LIPB의 주요치수를

측정함으로써 전극(Battery Pole) 부분을 더욱 정밀하게 검사하고자 한다. 또한 측정의 정밀도 [7]를 확인하기 위하여 다양한 조건으로 입력되는 극판에 대하여 주요치수를 측정하고 이에 대한 정밀도를 확인하고자 한다.

II. 배터리 극판의 치수검사 절차

전기자동차 배터리 검사시스템은 초기에 영상교정(Calibra

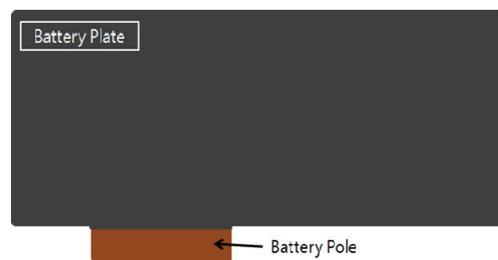


그림 1. 리튬-이온 폴리머 배터리 극판.

Fig. 1. Li-Ion Polymer Battery Plate.

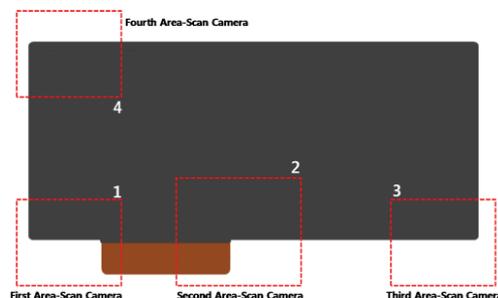


그림 2. 4대 카메라의 검사 영역.

Fig. 2. Inspection Regions of Four Cameras.

* Corresponding Author

Manuscript received November 15, 2013 / revised January 13, 2014 / accepted April 14, 2014

신동원: 금오공과대학교 기계시스템공학과(shindw@kumoh.ac.kr)

진병주: 아진엑스텍 하드웨어 개발팀(bjjin@ajinextek.com)

윤장규: 금오공과대학교 기계공학과(jky1988@naver.com)

※ 본 연구는 금오공과대학교학술연구비에 의하여 지원된 논문임.

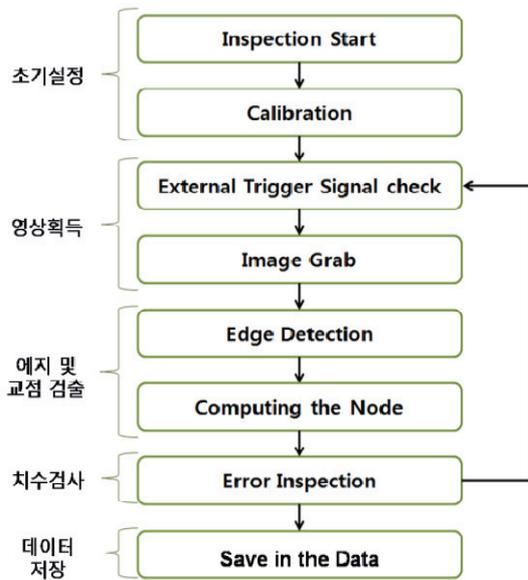


그림 3. 검사 시스템 실행 흐름도.
Fig. 3. Flowchart of Inspection System.

tion) 교정자에 의한 영상교정 및 각 카메라에 대한 좌표계 설정을 수행한다. 그 후 컨베이어 벨트 위에 설치되어 있는 외부트리거(External Trigger)의 신호를 통해 각 카메라에서 영상획득(Image Grab)을 하며, 획득한 영상 데이터는 영상처리(Image Processing)를 통해 LIPB의 주요치수를 측정하기 위한 작업을 거친다.

획득한 영상은 관심영역(ROI: Region of Interest) 내에서 에지(Edge)를 검출하게 되고, 에지로부터 직선의 방정식을 구한 후에 인접한 두 개의 에지의 교점을 구한다. 이렇게 구한 교점들 간의 거리를 계산함으로써 주요치수들을 측정한다. 이후 이러한 주요치수들을 이용하여 정상인지 불량인지의 불량검사(Error Inspection)가 이루어진다.

III. 영상교정

영상데이터에 대해 교정을 하는 이유는 카메라의 불균일 중형비 왜곡에 의한 검사 대상체의 크기 및 위치의 왜곡을 보정하기 위함이다. 또한, 영상의 픽셀단위 좌표를 실제 단위 좌표로 변환함으로써 검사대상체의 측정이 용이해진다. 또한, 카메라의 설치각도에 따른 픽셀정밀도, 카메라간의 상대적 위치값 등이 교정자를 통하여 손쉽게 얻어진다.

카메라로부터 획득된 영상데이터는 그림 4와 같이 원형의 점이 X축으로 눈금 간격 25개, Y축으로 눈금 간격 17개로 이루어진 그리드 교정자를 이용하여 교정작업을 수행한다. 여기서 눈금 간의 간격은 14mm이다. 4대의 카메라는 그림 4와 같은 영역에서 눈금 점들을 포함하고 있다. 예로, 4번 카메라는 (0,0) 눈금 점에서 (5,4) 눈금 점까지의 FOV (Field of View)를 갖는다.

FOV안에 격자구조로 위치한 원의 위치 정보를 가지고 기하학적 워핑(Warping)을 이용하여 소스이미지는 교정된 이미지로 변환된다. 워핑연산시 보간방법은 쌍일차변환(Bilinear Transform)을 적용하였다. 교정된 이미지 상에서 원의 위치는 좌상단의 원을 기준으로 나머지 원들이 등간격으로 균일하게

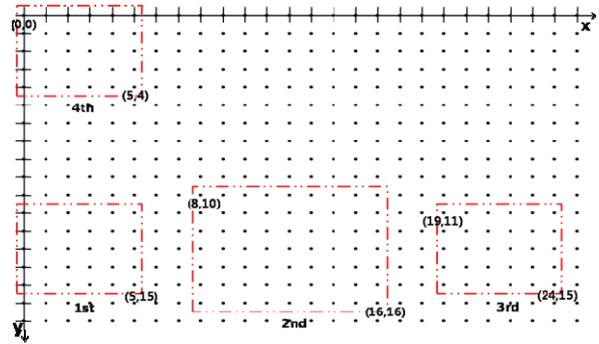


그림 4. 영상교정 교정자와 4개의 카메라 좌표계.
Fig. 4. Calibration Sheet and Four Coordinate Systems.

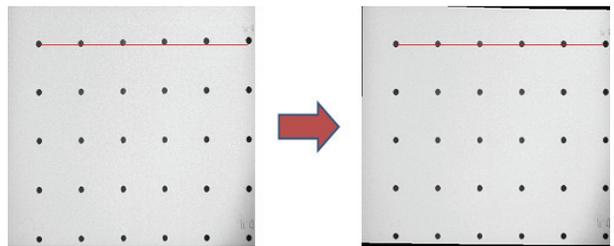


그림 5. 영상교정 결과.
Fig. 5. Calibration Result.

배치된다. 본 연구에서는 교정함수로 MIL (Matrox Imaging Library)을 이용하였다.

각 카메라의 좌표계의 원점은 좌상단 원형 점이고, 기준좌표계는 4번 카메라 좌표계이고, 나머지 1, 2, 3번 카메라좌표계는 상대좌표계로 여기서 측정된 좌표 값들은 추후에 기준좌표계인 4번 카메라좌표계 값으로 환산된다.

그림 5는 4번 카메라가 영상교정을 통하여 영상이 보정된 모습을 보여준다. 붉은 직선은 왼쪽의 교정 전에는 원형 점의 중심을 지나지 않으나, 교정 후에는 원형 점의 중심을 정확하게 지나가고 있다.

IV. 영상획득

LIPB는 제조장비에서 시간절감을 위해 컨베이어를 통해서 정지 없이 이동하면서 검사를 받게 된다. 이에 움직이는 영상을 짧은 시간에 획득하기 위하여 외부트리거(External Trigger)를 사용하여 카메라로부터 영상 데이터를 획득하게 된다. 그림 6과 같이 컨베이어벨트 위에 설치되어 있는 외부트리거는 LIPB가 지나가는 순간을 감지하여 카메라 4대에 동시에 신호를 보내고, 1번 카메라에서 4대의 스트로브에 동시에 신호를

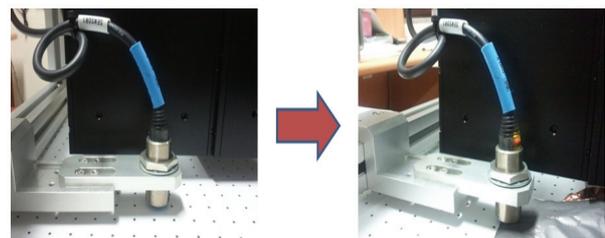


그림 6. 외부트리거 센서.
Fig. 6. External Trigger.

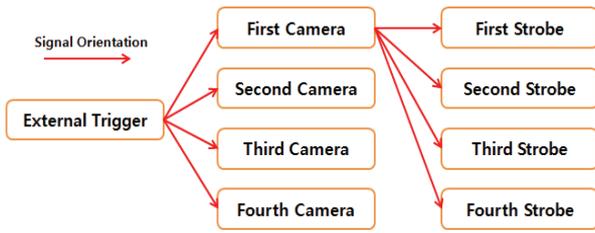


그림 7. 트리거 및 스트로브 신호의 흐름.

Fig. 7. Flow of Trigger and Strobe Signal.

보낸다. 여기서 영역스캔카메라 4대는 동시에 2432x2050 Pixel 크기의 영상을 획득한다.

외부트리거에서 스트로브까지의 신호는 그림 7과 같은 경로를 보여준다. 각 스트로브는 1번 카메라로부터의 신호를 공유함으로써 스트로브가 동시에 작동하여 스트로브의 지연으로 인한 간섭을 최소화 하였다.

V. 에지 및 교점 검출

영역스캔카메라에서 획득한 이미지에 대한 에지 검출은 관심영역(Region of Interest: ROI)을 설정하고 ROI 내에서 이루어진다. 그림 8과 같이 ROI는 이동이 가능하며, 크기도 조절 가능하게 하여 원하는 지점에서 에지를 검출할 수 있도록 하였다.

영상처리는 ROI 내에서 에지를 검출하게 된다. 에지 검출은 그림 9와 같이 에지의 방향과 극성을 설정해 주면 영상 데이터에 대한 에지를 검출한다. 에지방향은 위에서 아래방향으로 밝기가 변하면 Horizon으로, 좌측에서 우측으로 변하면 Vertical로 선택한다. 극성은 흰색에서 검은색으로 변하면 Negative로 검은색에서 흰색으로 변하면 Positive로 선택한다.

에지는 영상의 기울기(Gradient)로 벡터의 형태로 정의된다. 2차원 함수의 영상의 기울기는 영상 $f(x,y)$ 을 x축과 y축으로 각각 편미분하여 벡터형태로 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

$$\nabla f = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x} \\ \frac{\partial f}{\partial y} \end{bmatrix} \tag{1}$$

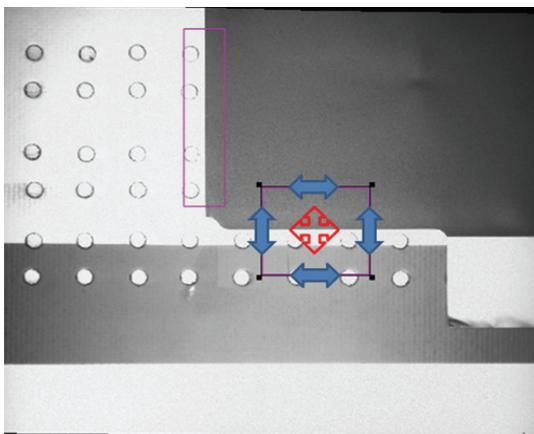


그림 8. 관심영역 설정.

Fig. 8. ROI Setting.

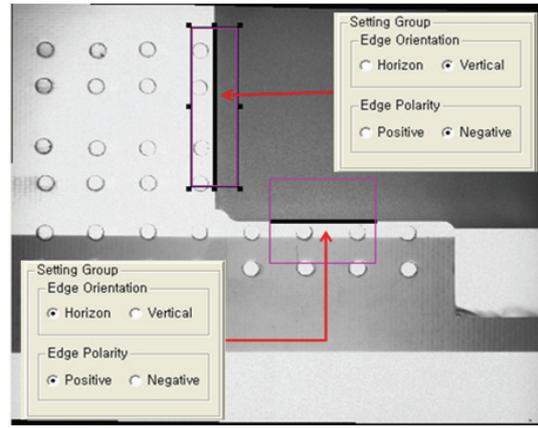


그림 9. LIPB 영상의 에지 검출.

Fig. 9. Edge Detection of LIPB Image.

이러한 편미분을 계산하기 위하여 본 연구에서는 신속한 연산을 위하여 [-1 1]의 차분마스크를 사용하였다. 기울기의 크기는 식 (2)와 같이 정의된다.

$$|\nabla f| = \left[\left(\frac{\partial f}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y} \right)^2 \right] \tag{2}$$

배터리 극판의 치수 검사 시스템에서 검사 대상체인 LIPB의 크기를 측정하기 위해 필요한 에지의 개수는 그림 10과 같이 총 13개이다.

그림 10에서 구한 13개의 에지를 통하여, 그림 11과 같이 인접한 에지 2개를 사용하여 에지 간의 교점(Node)을 구한다. 그림에서 십자모양이 교점이다.

교점을 구하기 위해서는 에지 정보에서 식 (3)과 식 (4)와 같이 직선의 방정식을 구한다. 여기서 A_i 는 직선의 기울기, B_i 는 y 절편을 의미한다. 이러한 두 개의 직선의 방정식을 이용하여 식 (5)과 같이 두 개의 에지의 교점(x_c, y_c)을 구한다.

$$y = A_1x + B_1 \tag{3}$$

$$y = A_2x + B_2 \tag{4}$$

$$x_c = (B_2 - B_1) / (A_1 - A_2), y_c = A_2x + B_2 \tag{5}$$

그림 12는 LIPB에서 구해야 하는 교점들을 표시한 것이다. 1번 카메라에서 4개, 2번 카메라에서 3개, 3번과 4번 카메라에서 각각 1개씩 구하여 총 7개의 교점을 구한다.

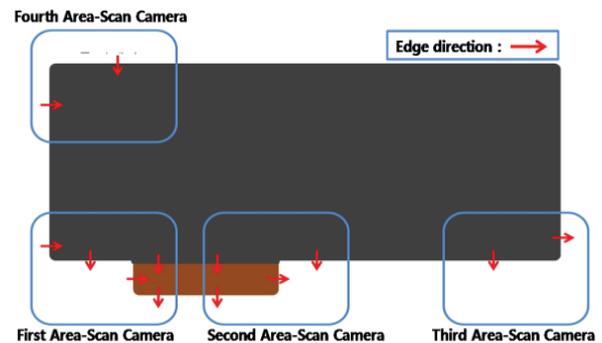


그림 10. 4대 카메라의 에지 검출.

Fig. 10. Edge Detection in Four Cameras.

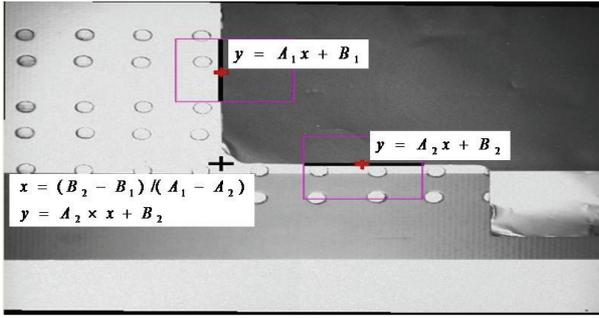


그림 11. 교점 검출.
Fig. 11. Node Detection.

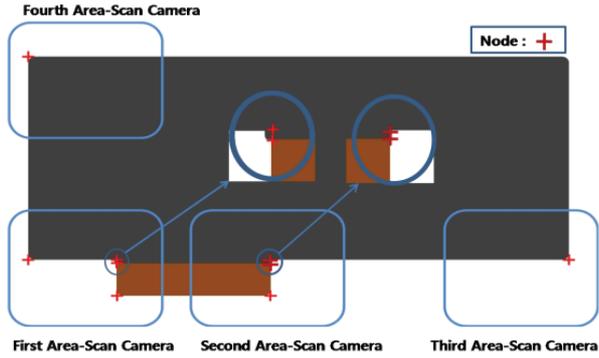


그림 12. LIPB의 모든 교점 위치.
Fig. 12. All Node Points of LIPB.

VI. 치수 검사

본 논문의 목적은 영상처리를 이용하여 LIPB의 주요치수를 측정하는 것이다. 이를 구하기 위해서는 앞에서 구한 교점들을 이용하여 구할 수 있다. 그림 13은 측정해야 할 주요 치수항목들을 보여주고 있다.

측정 항목 1은 LIPB의 높이, 항목 2는 LIPB의 너비, 항목 3은 단차, 항목 4는 전극의 위치, 항목 5는 전극의 높이이다.

측정항목인 1~5번을 구하기 위해 교점의 해당 카메라에서의 상대좌표를 식 (6)와 같이 정의 한다.

$$P_i(x_i, y_i), \quad i=1, \dots, 4 \quad (6)$$

각 카메라의 상대좌표는 식 (7)를 통해 기준좌표로 변환한다(그림 14 참조). 기준좌표계는 앞에서 언급한 바와 같이 4번 카메라이다. 여기서 Δ_i 는 교점에서의 상대좌표계와 기준좌표계 간의 눈금 간격수이다.

$${}^G P_i = P_i + \Delta_i, \quad i=1, \dots, 4 \quad \text{where } \Delta_i = (n_{\Delta x_i}, n_{\Delta y_i}) : \quad (7)$$

$$\Delta_1 = (0, 11), \Delta_2 = (8, 10), \Delta_3 = (19, 11), \Delta_4 = (0, 0)$$

측정항목 1~5번인 LIPB의 높이와 너비, 단차, 전극의 위치, 높이는 선택된 두 개의 교점간의 거리로서, 식 (8)과 식 (9)을 통해 구할 수 있다. 여기서 d 는 영상조정 교점자 눈금 사이의 거리이며 14mm이다.

$$l_{i-j} = |{}^G P_i - {}^G P_j| \cdot d \quad (8)$$

$$l_{i-j} = \sqrt{\{(x_i + n_{\Delta x_i}) - (x_j + n_{\Delta x_j})\}^2 + \{(y_i + n_{\Delta y_i}) - (y_j + n_{\Delta y_j})\}^2} \cdot d \quad (9)$$

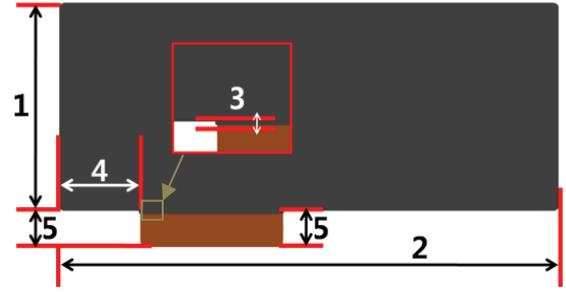


그림 13. 주요 치수 측정 항목.
Fig. 13. Measured Items of Major Dimensions.

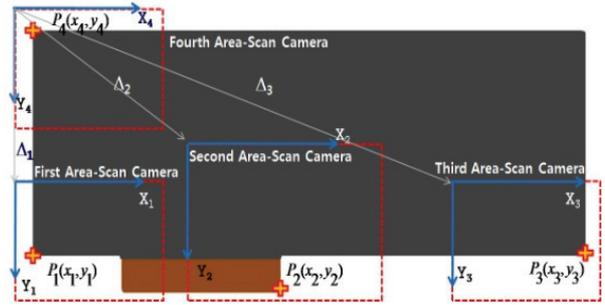


그림 14. 카메라 좌표계간의 수학적 관계.
Fig. 14. Mathematical Relationship Between Camera Frames.

VII. 실험

전기자동차 배터리 극판의 치수 검사 시스템에서 가장 중요한 요소는 교점간의 거리 측정의 정밀도이다. 검사 시스템에서 정밀도가 중요한 이유는 전기자동차의 배터리는 얇은 LIPB가 여러 개가 적층되어 전기자동차의 배터리로 이용되고 있기 때문에 일정한 모양과 크기로 절단되는 것이 가장 중요하기 때문이다. 따라서 여러 번의 실험을 통해서 측정값이 일정한 수치로 계속 나와야 제대로 된 검사시스템이 되는 것이다. 이에 본 연구에서는 검사 시스템의 정밀도를 측정하기 위해 검사 대상체인 LIPB에 대해 3가지 경우로 나누어 실험을 하였다. 컨베이어 벨트에 입력되는 LIPB 위치에 따라 첫 번째 경우는 LIPB의 위치가 정상상태로 들어올 때, 두 번째 경우는 왼쪽으로 기울어졌을 때, 세 번째 경우는 오른쪽으로 기울어졌을 때로 나누어 측정하였다. 그림 15, 16, 17은

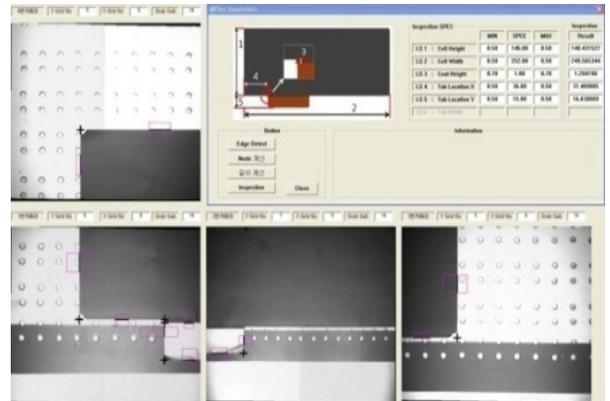


그림 15. 정상상태.
Fig. 15. Normal State.

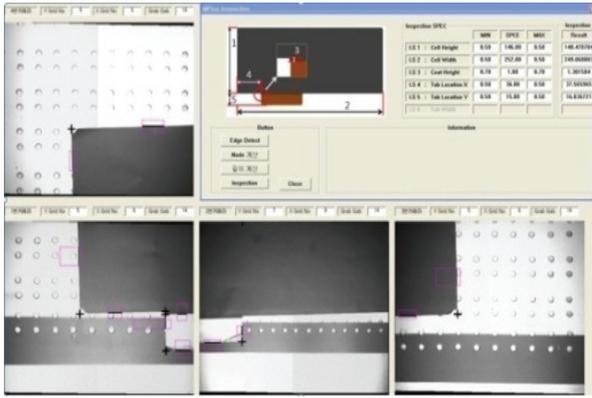


그림 16. 왼쪽으로 기울어진 상태.
Fig. 16. Tilted to Left.

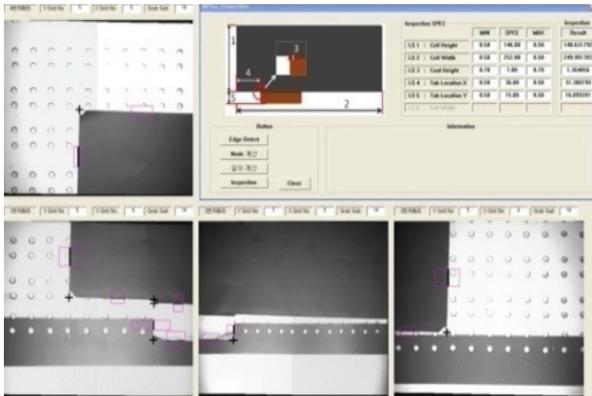


그림 17. 오른쪽으로 기울어진 상태.
Fig. 17. Tilted to Right.

표 1. 실험 데이터 평균.

Table 1. The Average of The Experimental Data.

Normal State [Unit: mm]					
No	1	2	3	4	5
Value	148.53	249.32	1.21	37.39	15.98
Tilted to the left					
Value	148.51	249.33	1.21	37.38	15.96
Tilted to the right					
Value	148.52	249.33	1.22	37.39	15.97

표 2. 실험 데이터 표준편차.

Table 2. The Standard Deviation of The Experimental Data.

Normal State [Unit: mm]					
No	1	2	3	4	5
Value	0.0169	0.0156	0.0064	0.0145	0.0154
Tilted to the left					
Value	0.0088	0.0084	0.0111	0.0174	0.0149
Tilted to the right					
Value	0.0050	0.0124	0.0082	0.0126	0.0118

각각 정상상태일 경우, 왼쪽으로 기울어진 경우, 오른쪽으로 기울어진 경우의 영상이다.

각 상태에 대한 정밀도를 알아보기 위해 각 경우에 대하여 20회 실험을 통한 평균값과 표준편차를 구하여 측정값들에 대한 결과를 표 1와 표 2에 정리하였다.

검사 상황의 변화에 따른 3가지 경우에 대한 실험 결과, 5가지 항목의 평균값은 10 μm 의 오차범위에서 측정되었다. 또한, 항목1(LIPB의 높이)의 최대 표준편차가 0.0169 mm, 항목2(LIPB의 너비)의 최대 표준편차 0.0156 mm, 항목3(단차)의 최대 표준편차 0.0111 mm, 항목4(전극의 위치)의 표준편차 0.0174 mm, 항목5(전극의 높이)의 최대 표준편차 0.0154 mm로 장비의 요구되는 정밀도 100 μm 이내의 값으로 가짐을 알 수 있었다. 이로써, 검사 시스템에 대한 정밀도를 검증할 수 있었다.

VIII. 결론

본 논문에서 연구한 전기자동차 배터리 극판의 치수 검사 시스템은 기존의 시스템보다 LIPB의 전극부분에 대한 정밀도를 향상시키기 위하여 고해상도의 4대의 영역스캔카메라를 사용하였다. 또한 정확도를 향상시키기 위하여 교정자를 이용하여 4대의 카메라를 동시에 교정하였다. 고속으로 움직이는 극판의 영상을 획득하기 위하여 외부트리거와 스트로브를 사용하였다. 극판의 주요치수를 측정하기 위하여 카메라별로 좌표계를 설정하고 이로부터 측정된 에지와 에지간의 교점을 이용하여 극판의 주요치수를 측정하였다. 또한 측정의 정밀도를 확인하기 위하여 다양한 조건에서 입력되는 극판에 대하여 주요치수를 측정하고 이를 토대로 정밀도가 보장됨을 확인하였다.

REFERENCES

- [1] S.-B. Gwang, S.-H. Lim, and H.-C. Jo, "Image processing technique for an automatic inspection of the surface outlook of high speed moving plate," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, pp. 219-219, Oct. 2000.
- [2] J.-H. Lee, C.-H. Park, and J.-Y. Jeong, "The development of surface inspection system using the real-time image processing," *Journal of Institute of Control, Robotics and System (in Korean)*, vol. 1, pp. 1274-1277, Oct. 2000.
- [3] J.-S. Lee, J.-J. Lee, M.-R. Kim, I.-J. Park, J.-G Kim, K.-S. Lee, and W. Nah, "Electric model of Li-ion polymer battery for motor driving circuit in hybrid electric vehicle," *Journal of Electrical Engineering & Technology (in Korean)*, vol. 7, no. 6, pp. 932-939, 2012.
- [4] D.-W. Seo, J.-K. Koo, and I.-S. Kim, "A study on the mathematical modeling techniques for hev high-power lithium-polymer battery," *The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics (in Korean)*, vol. 17, no. 6, Dec. 2012.
- [6] J.-H. Park and K.-S. Lee, "The safety of lithium ion polymer battery system for hybrid electric vehicle," *Auto Journal (in Korean)*, vol. 31, no. 3, pp. 44-48, Feb. 2009.
- [7] Y.-J. Choi, K.-S. Yoo, and M.-C. Lee, "Development of the strip off-center meter using line scan camera in FM line," *Journal of Control, Automation and System Engineering (in Korean)*, vol. 11, no. 6, Jun. 2005.
- [8] B.-N. Kim, H.-Woo. Lee, and K.-M. Kim, "The development of image processing system using area camera for feeding lumber," *Journal of the Korean Wood Science and Technology (in Korean)*, vol. 37, no. 154, pp. 37-47, 2009.
- [9] W.-S. Kim, H.-C. Do, and S.-I. Chien, "Color inspection system for plasma display panel by using area camera," *The Institute of*

Electronics Engineers of Korea (in Korean), vol. 26, no. 1, 2003.

- [10] S. Y. Baek, D. H. Lee, M. K. Kim, and J. H. Ahn, "Precision machined evaluation of holes using machine vision," *Proc. of KSPE 2012 Autumn Conference (in Korean)*, 2012.
- [11] J.-K. Park and W. Jung, "Automated inspection system using image processing technology for automotive," *Korea Society of Industrial Information System (in Korean)*, vol. 4, no. 3.
- [12] J.-H. Jung and T.-H. Park, "Pad data extraction method for PCB by image scanner," *Proceedings of KFIS Spring Conference 2004 Journal (in Korean)*, vol. 14, no. 1, 2004.



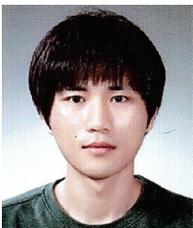
신 동 원

1989년 서울대학교 기계설계학과(공학사). 1991년 서울대학교 기계설계학과(공학석사). 1996년 서울대학교 기계설계학과(공학박사). 1999년~현재 금오공과대학교 기계시스템공학과 교수. 관심 분야는 비전 및 로봇제어.



진 병 주

2012년 금오공과대학교 기계공학부 졸업. 2014년 금오공과대학교 대학원 기계시스템공학과 졸업. 관심분야는 비전 시스템, 정밀제어, 로봇제어.



윤 장 규

2009년 금오공과대학교 기계공학부 졸업. 2012년 금오공과대학교 기계공학과 졸업. 2012년~현재 금오공과대학교 대학원 기계공학과 박사과정 재학중. 관심 분야는 머신비전, 로봇제어.