

2차 전지 적층 공정의 정확성과 신뢰성 향상을 위한 전극 위치결정 시스템 구현

이준환

극동대학교 에너지IT공학과 교수

Implementation of an Electrode Positioning System to Improve the Accuracy and Reliability of the Secondary Battery Stacking Process

June-Hwan Lee

Professor, Dept. of EnergyIT Engineering, Fareast University

요약 배터리 패키지 방식은 안정성의 이유로 각형 패키지 방식이 선호되고 있으나 최근 파우치형 패키지의 안정성 검증에 따라 빠른 확대가 이루어지고 있다. 적층 공정을 이용한 파우치형은 공간 낭비를 줄일 수 있어 배터리 에너지 밀도가 높은 장점이 있으나 생산성이 낮은 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 조명확산 최소화를 위한 백라이트 조명기구 개선, 스테레오 카메라 위치 관계 변위 모니터링을 위한 기준 확보, 렌즈 풀림 모니터링을 위한 기준 확보를 통하여, 에지 검출 알고리즘 정밀도, 패턴 알고리즘 정밀도, 모션 컨트롤러 재현율을 추출함으로써 위치 결정 시의 정확성 및 신뢰성을 확보하는 시스템을 구현을 제안한다. 실험결과 제안한 시스템은 에지 검출에서는 평균 0.032mm, 패턴 알고리즘에서는 0.023mm, 모션 컨트롤러에서는 0.014mm의 오차범위를 보여주고 있어 위치 결정 기구의 정확성과 신뢰성을 확보할 수 있다.

주제어 : 이차전지, 적층공정, 위치결정, 특징점 추출, 모션 컨트롤러

Abstract As for the battery package method, a prismatic package method is preferred for stability reasons, but it is rapidly expanding due to the stability verification of a pouch type package. The pouch type using the lamination process has an advantage of high battery energy density because it can reduce space waste, but has a disadvantage of low productivity. Therefore, in this paper, by extracting edge detection algorithm precision, pattern algorithm precision, and motion controller recall rate by improving backlight lighting fixtures to minimize light diffusion, securing standards for stereo camera position relationship displacement monitoring, and securing standards for lens release monitoring. We propose to implement a system that ensures accuracy and reliability in positioning. As a result of the experiment, the proposed system shows an average error range of 0.032mm for edge detection, 0.02mm for pattern algorithm, and 0.014mm for motion controller, thus ensuring the accuracy and reliability of the positioning mechanism.

Key Words : Secondary Battery, Stacking Process, Positioning Mechanism, Feature Extracting, Motion Controller

*This research was supported by Industry University Convergence Area R&D Program from Ministry of Trade, Industry and Energy through Chungbuk Energy Institute for Industry-University Convergence (CBE-2020-07).

*Corresponding Author : June-Hwan Lee(rainbow@kdu.ac.kr)

Received April 29, 2021
Accepted June 20, 2021

Revised June 5, 2021
Published June 28, 2021

1. 서론

배터리 패키지 방식은 각형, 원통형, 파우치형 등 다양한 형식이 있으며 기존에는 안정성의 이유로 각형 패키지 방식이 선호되고 있다[1,2]. 그러나 최근 파우치형 패키지의 안정성 검증에 따라 빠른 확대가 이루어지고 있으며 2025년에는 파우치형과 각형 시장 규모가 큰 차이가 없을 것으로 예상된다[1]. 이차전지 파우치형 제조공정은 양극판, 음극판을 만드는 전극 공정, 전극과 원재료를 조립해 완성품을 만드는 조립 공정, 충방전하여 전기적 특성을 부여하는 활성화 공정으로 나뉜다 [3,4]. 전극 공정은 Mixing, Coating, Pressing, Slitting 순으로 공정 과정을 거치고, 이후 조립공정에서 Notching, Stacking, Tab Welding, Packing, Degassing 순으로 고정이 진행된다. 마지막으로 활성화 공정에서는 Formation, Aging 순으로 공정을 거치게 된다.

각형 배터리는 Winding 방식을 이용하여 젤리롤을 그대로 집어넣기 때문에 적층 공정(Stacking) 공정이 불필요하고 조립공정이 비교적 간편해 생산효율이 높지만, 배터리 내부 공간을 100% 활용하기 어려워 배터리 에너지 밀도가 낮다[5,6]. 반면 적층 공정을 이용한 파우치형은 공간 낭비를 줄일 수 있어 배터리 에너지 밀도가 높은 장점이 있으므로 향후 시장 규모가 확대될 전망이다[1]. 그러나 적층 공정은 생산성이 낮은 단점을 가지고 있다. 이를 극복하기 위한 설비 고속화와 정밀도 향상이 지속적으로 연구되고 있으며, 특히 파우치형 패키지 적용 시 이차전지 적층 장비의 전극 위치 결정 시스템의 정밀도는 이차전지 품질에 중요한 요인이 된다.

기존 이차전지의 자동화 적층 공정에서의 위치 결정 시스템의 활용은 대부분 Pick & Place 시스템에서 고속으로 이루어지므로 위치 결정 시스템의 정밀도를 향상하는 작업은 쉽지 않다. 적층 장비는 공급되는 전극을 비전 시스템을 통하여 전극 위치를 보정한 후 각종 전지에 적합한 적층을 처리하며 질량, 절연저항, 위치 어긋남, 두께 등의 각종 검사기능을 갖추고 있다[5,7]. 여기서 고속, 고정밀의 위치 결정 기구인 Alignment 비전 시스템의 성능은 이차전지의 생산성뿐만 아니라 품질에 영향을 주기 때문에 이차전지 적층 장비의 위치 결정 시스템의 전극 위치 결정 기구에 대한, 정확하고 신뢰성 확보 및 검증 가능한 시스템에 관한 연구가 지속적으로 필요한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 조명

확산 최소화를 위한 백라이트 조명기구 개선, 스테레오 카메라 위치 관계 변위 모니터링을 위한 기준 확보, 렌즈 플립 모니터링을 위한 기준 확보를 통하여, 오차범위 $\pm 0.1\text{mm}$ 의 에지 검출 알고리즘 정밀도, 오차범위 $\pm 0.1\text{mm}$ 의 패턴 알고리즘 정밀도, 오차범위 $\pm 0.05\text{mm}$ 의 모션 컨트롤러 재현율을 추출함으로써 위치 결정시의 정확성 및 신뢰성을 확보하는 시스템을 구현을 제안한다. 본 논문에서는 모서리별 라인들의 교차점 추출하고 두 개의 이미지에서 추출된 교차점과 두 개의 카메라 위치 관계 정보를 통하여 가상의 중앙 좌표 및 회전 각 추출한다. 등록된 마스터 정보와 비교하여 변위량을 산출하여 모션 컨트롤러에 변위량 전송하여 모션 컨트롤러에서 스테이션 보정 후 재측정하는 방법으로 진행하여 에지 검출에서는 평균 0.032mm , 패턴 알고리즘에서는 0.023mm , 모션 컨트롤러에서는 0.014mm 의 오차범위를 보여주고 있어 위치 결정 기구의 정확성과 신뢰성을 확보할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 관련 기술의 현황을 살펴본다. 3장에서는 제한한 방법으로 시스템을 구현하고 4장에서는 결론으로 마무리한다.

2. 정확도 측정

2.1 에지 검출(Edge Detect)

에지는 객체의 윤곽선으로 객체와 배경의 경계선을 나타낸다[8,9]. 에지는 객체의 형태에 대한 정보를 가지고 있으므로 객체를 인식하기 위해 중요한 역할을 한다. 에지 검출은 이미지에서 화소값이 급격하게 변화하므로 기울기 값을 계산하면 추출할 수 있다. 화소값의 변화를 미분하면 에지 부분이 어두운 화소에서 밝은 화소로 변화는 영역에서는 최대값으로 밝은 화소에서 어두운 화소로 변화하는 영역에서는 최소값으로 표현된다. 미분값을 구하기 위해 마스크 연산을 사용하며, 대표적인 방법으로는 소벨(Sobel), 프리윗(Prewitt) 마스크 등이 있다[8-10]. 에지를 찾으려고 하는 영역에서 캘리퍼를 Fig. 1과 같이 설정한다. 화살표 방향은 인접 화소간의 미분값을 구하는 방향을 의미하며 밝은 화소에서 어두운 화소 방향으로 설정한다.

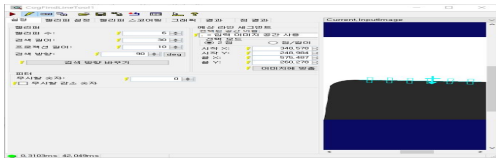


Fig. 1. Edge Detect Tool Caliper Setting

Fig. 2의 프로젝션 데이터는 캘리퍼의 밝기를 그래프로 표현한 것이며 필터링된 프로젝션 데이터는 밝기의 변화를 미분한 그래프이며, 에지 검출의 정확성은 적정 캘리퍼의 설정과 대비 임계값 및 필터 절반 크기 픽셀 등의 최적 설정값을 찾아 높일 수 있다.

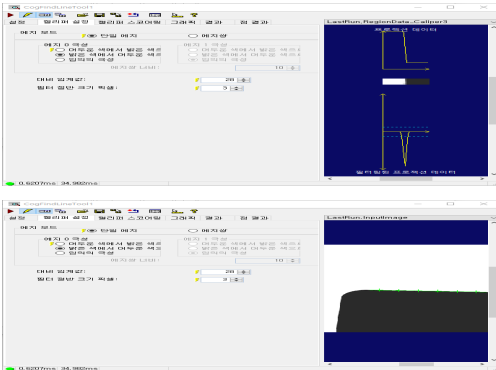


Fig. 2. Edge Detect Result

이와 같이 최적의 에지 검출 설정을 통하여 2차 전지 좌상단 또는 우하단의 좌표값을 구함으로써 위치 결정 작업을 수행한다. <그림 3>는 에지 검출을 통한 2차 전지 좌상단 좌표 추출화면을 나타내고 있다.

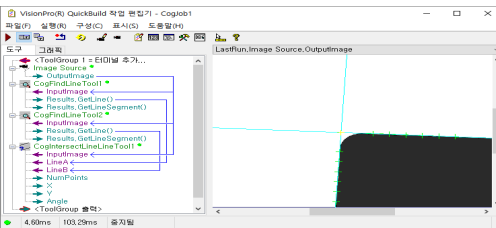


Fig. 3. Extraction of the upper left coordinate of the secondary battery through Edge Detect

2.1 패턴 매칭(Pattern Matching)

패턴 매칭은 크게 두 가지 형태로, 기하학 형태 패턴 매칭과 상관계수 패턴 매칭으로 구분된다. 기하학 형태

패턴 매칭은 모델의 특징 에지를 추출하고 비교하여 패턴을 찾는 방식이며 상관계수 패턴 매칭은 화소별 상관계수를 측정하여 유사도를 비교하는 방식이다[11]. 본 연구에서는 왜곡이나 변형에도 패턴을 쉽게 찾아주는 기하학 형태 패턴 매칭 방식을 사용한다. 그리고 프로그램에서 모델의 영역 설정과 수용 임계값, 허용 각도 및 비율 등의 최적 설정값을 찾아낸다.

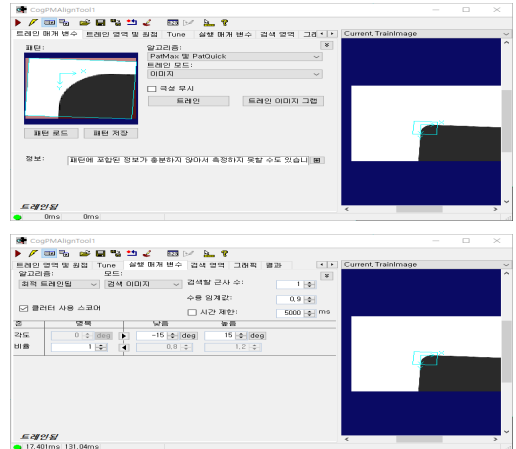


Fig. 4. Pattern Model Train

Fig. 5는 패턴 모델 트레인을 통해 매칭된 결과를 보여주고 있다. Pattern 매칭의 결과는 모델과 일치하는 좌표와 회전 각도를 통해 측정하며, 2차 전지의 좌상단 및 우하단 좌표와 회전 각도를 추출한 후 위치 결정 프로세스를 거쳐 2차전지의 마스터 등록 위치로 변환한다.

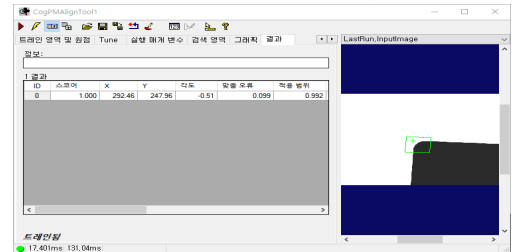


Fig. 5. Pattern Matching Result

3. 시스템 구현

3.1 카메라 캘리브레이션(Camera Calibration)

카메라를 이용한 위치 결정 과정은 카메라 캘리브레

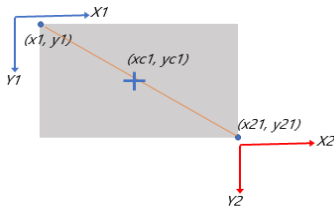


Fig. 11. Camera Position Relationship after Correction

Fig. 10은 캘리브레이션 전의 카메라 위치 관계를 나타내고 있으며, Fig. 11는 캘리브레이션이 완료되어 카메라1의 보정된 좌표계에서 표시한 카메라 위치 관계를 나타내는 것이다. 여기서 (x_{i1}, y_{i1}) 좌표값은 카메라1의 이미지 좌표계에서 측정된 2차전지 좌상단 좌표값이며, (x_{i2}, y_{i2}) 좌표값은 카메라2의 이미지 좌표계에서 측정된 2차전지 우하단 좌표값을 의미한다. 그리고 (x_c, y_c) 좌표값은 XYR 스테이지의 홈 위치 회전축 좌표값을 표현한 것이다. (x_{i1}, y_{i1}) 과 (x_{i2}, y_{i2}) 는 서로 상관관계가 없으며 단지 (x_c, y_c) 에서 일정한 거리에 있는 점과 같은 (x_c, y_c) 는 고정되어 있는 것이다. 카메라1 보정 좌표계와 카메라2 보정 좌표계 그리고 XYR 스테이지는 같은 평면에 존재하며 하나의 캘리브레이션 보드로 보정된 카메라1 보정 좌표계와 카메라2 보정 좌표계는 같은 방향의 X축, Y축을 갖게 된다. 또한 캘리브레이션 보드의 격자 단위로 좌표값을 표출하게 되며, 이때 카메라1의 원점과 카메라2의 원점은 캘리브레이션 보드의 격자 간격 차이만큼 떨어져 있으므로 카메라2의 좌표도 카메라1의 좌표계로 표현하는 것이 가능하다.

2차전지의 위치를 결정하기 위해 보정된 2차전지 좌상단, 우하단 좌표 (x_1, y_1) 그리고 (x_{21}, y_{21}) 의 좌표를 구하고 마스터로 등록된 2차전지 중심좌표와 회전각의 변위차를 계산한다. 위치 결정 값을 구하기 위해서는 XYR 스테이지의 회전 중심좌표를 보정된 카메라1 좌표계의 좌표값으로 구해야 하며 XYR 스테이지가 가지고 있는 회전이동 값과 평행이동 값을 카메라1 보정 좌표계의 스케일로 변환하는 비율을 구한다. 2차전지가 놓인 보정 좌표계의 값을 X 라 하고 마스터의 좌표값을 X_m 이라 하면 선형 좌표 변환식은 $X_m = [T \ R]X$ 과 같이 표현할 수 있다. 이때 R 은 회전 행렬을 나타내며 T 는 평행이동 벡터를 나타낸다. 본 연구에서는 선형 좌표 변환식을 구하기 위한 데이터 수집 방법을 정의하고

알고리즘을 구현하여 반복적으로 위치결정 값을 획득하고 위치결정 값에 영향을 미치는 요소인 카메라, 렌즈, 조명 그리고 알고리즘별로 위치결정 값의 정밀도를 비교 분석하였다. 카메라의 위치 관계가 유지되고 있는지에 대한 모니터링은 위치 관계 결정 값을 구하면서 Fig. 9에서 정의된 보정된 카메라1의 좌표계로 표현되는 2차전지의 좌상단, 우하단 좌표인 (x_1, y_1) 과 (x_{21}, y_{21}) 의 값으로 2차전지의 대각선 길이를 계산하여 모니터링 기준값으로 정한다. 카메라의 위치 관계가 틀어지게 되면 측정된 2차전지의 대각선 길이가 오차범위를 벗어나게 된다.

4. 실험결과

제안한 시스템을 구현하고 성능을 평가하기 위해서 다양한 상황별로 결과를 측정한다. 상황별 요소는 카메라 (2M급, 5M급), 렌즈 (8mm, 16mm), 조명 (특수조명, 일반조명), 알고리즘(Pattern, Intersect)을 고려하여 구성하였다. 본 연구에서는 2M급 카메라와 16mm 렌즈로 구성된 상황은 너무 작은 촬영 영역을 표시할 수밖에 없으므로 이 경우 제외하고 진행하였다.

실험 방법은 캘리브레이션 보드 상에서 카메라1 원점의 위치와 카메라2 원점의 위치를 통해 카메라 위치 관계 상대 좌표값을 계산하고, 이 값을 적용하면 카메라2의 좌표값은 $x_{21} = x_1 + 190$, $y_{21} = y_1 + 220$ 로 변환한다. 특징점 양쪽 모서리의 에지를 추출한 후 두 라인의 교차점을 찾는다. 2차전지를 피킹할 위치인 마스터 데이터와 회전이동의 비율을 추출하기 위해 데이터 수집한다. 데이터 수집은 마스터 위치에서 (x_1, y_2) 와 (x_{21}, y_{21}) 값을 패턴(Pattern)과 인터섹트(Intersect)의 두 가지 방식으로 측정하고, ± 24000 펄스만큼 회전을 시킨 후 (x_1, y_1) 과 (x_{21}, y_{21}) 값을 다시 측정한다.

측정된 카메라1 보정 좌표계의 (x_1, y_1) , (x_{21}, y_{21}) 좌표를 이용하여 패턴 방식과 인터섹트 방식에 대한 마스터 정보를 생성한다. 회전축의 좌표를 먼저 추출한 후 회전축의 좌표와 대각선과의 수직 교점을 마스터 좌표 X_m 으로 계산하고, 회전축 좌표에서 마스터 좌표로 나가는 벡터 성분의 각도를 마스터 각도로 측정한다. 또한 위치 결정 값을 구할 때 빠른 마스터 좌표 추출을 위해 X_m 이 대각선상에서의 비율을 사전에 계산한다. 그리고 마스터의 회전각도 라디안(Radian) 값을 1000

펄스 당 값으로 환산한 Ratio 값을 계산한다.

카메라1 보정 좌표계와 모션컨트롤러의 X축, Y축 평행이동 펄스에 대한 비율을 구하기 위해 원점에서 150000 펄스의 값만큼 좌우상하로 이동하여 패턴과 인터섹트 방식의 (x1, y1), (x21, y21) 좌표값 데이터를 수집한다.

마스터 정보와 모션컨트롤러에 대한 카메라1 보정 좌표계의 회전 및 평행이동 비율(Ratio) 값을 이용하여 2차 전지의 위치 결정 값을 구하고 그 값을 모션컨트롤러에 전달하여 2차 전지를 정렬한다. Fig. 11은 2차전지가 자세 1에 놓여 있을 때 패턴 방식을 이용하여 (x1, y1), (x21, y21)을 구하고 자세 1의 중심좌표와 회전값을 계산한 후 마스터 정보와 차이를 구하여 위치 결정 값을 계산한다. 결정된 값을 모션컨트롤러에 전달하고 회전 및 평행이동 비율을 적용한 펄스만큼 이동하여 2차전지를 정렬한다.

2차전지 정렬이 완료되면 다시 2차전지의 (x1, y1), (x21, y21) 값을 계산하고 중심좌표와 회전 값을 산출한다. 이후 마스터 정보와 다시 비교하여 위치 결정 값이 정밀도를 측정한다. 위치 결정 값에 영향을 미치는 요소들을 분석하기 위하여 다음과 같은 상황별 테스트를 수행하여 각 상황별로 5회 반복 측정하여 위치 결정 값 정밀도의 평균을 구하고 비교한다. 각 상황별 측정 값은 Table 1과 같다.

Table 1. Analysis result by case

Comparison Factor	X-Axis Difference	Y-Axis Difference	Rotation Angle Difference
Pattern	0.021921856	0.025570439	0.000739439
Intersect (Edge)	0.031551663	0.033638872	0.00073948
Special Lighting	0.021550565	0.023846636	0.00024036
General Lighting	0.031922953	0.035362675	0.00123856
16mm Lens	0.016784782	0.011480368	0.000663913
8mm Lens	0.039930145	0.051991697	0.000858024

패턴 알고리즘이 에지 추출 알고리즘보다 평행이동 정밀도가 높은 것으로 측정되었으며 회전 각도 차에 대한 정밀도는 유사한 것으로 관측된다. 그리고 직진성이 우수한 소자를 채택한 특수조명이 일반 조명에 비해 높은 정밀도를 보였으며 일반 조명의 경우 회전 각도 차가 특수조명과 비교해 상당히 크게 나타난다. 렌즈 종류에 따른 정밀도는 16mm 렌즈를 사용한 경우가 8mm 렌즈를 사용했을 때 비해 오차범위가 21%~40%

정도 적게 정밀함을 보여주고 있다. 결론적으로 패턴 알고리즘에 이용하고 특수조명을 사용하면서 16mm 렌즈를 사용할 경우 우수한 정밀도를 얻을 수 있었다.

실험 결과 제안한 시스템은 에지 검출에서는 평균 0.032mm, 패턴 알고리즘에서는 0.023mm, 모션 컨트롤러에서는 0.014mm의 오차범위를 보여주고 있어 위치 결정 기구의 정확성과 신뢰성을 확보할 수 있다.

5. 결론

위치 결정 시스템의 활용은 대부분 로봇을 이용한 Pick & Place 시스템에서 이루어지므로 위치 결정 시스템의 정밀도를 향상시키기 위한 작업은 쉽지 않다. 따라서 로봇이 준비되어야 하고 여러 번의 다양한 조건에서 테스트가 이루어져야 한다. 본 연구에서 제안한 시스템은 정밀도 향상을 위해 필요한 테스트 과정을 실험실에서 편리하게 진행할 수 있도록 도와주는 환경을 제공해줄 수 있다. 특히 로봇의 움직임과 유사하고 정밀한 모션 제어가 가능한 시제품은 위치 결정 시스템의 작은 변화가 시스템 정밀도를 떨어뜨리는 경우의 대표적 원인이다. 따라서 구현된 성과의 시제품을 통해 로봇 시스템에서의 카메라 위치 관계의 틀어짐이나 렌즈 풀림 현상에 대한 분석 및 대처가 가능하다.

REFERENCES

- [1] L. De Sutter, G. Berckmans, M. Marinaro, M. Wohlfahrt-Mehrens, M. Berecibar & J. Van Mierlo. (2020). Mechanical behavior of Silicon-Graphite pouch cells under external compressive load: Implications and opportunities for battery pack design. *Journal of Power Sources*, 451, 227774. DOI : 10.1016/j.jpowsour.2020.227774
- [2] J. T. Warner. (2015). *The handbook of lithium-ion battery pack design: chemistry, components, types and terminology*. Elsevier.
- [3] A. Das, D. Li, D. Williams & D. Greenwood. (2018). Joining technologies for automotive battery systems manufacturing. *World Electric Vehicle Journal*, 9(2), 22. DOI : 10.3390/wevj9020022
- [4] S. S. Lee, T. H. Kim, S. J. Hu, W. W. Cai & J. A. Abell. (2010, January). Joining technologies for automotive lithium-ion battery manufacturing: A review. *In International Manufacturing Science*

- and Engineering Conference (Vol. 49460, pp. 541-549).
DOI:10.1115/MSEC2010-34168
- [5] A. Kampker, S. Wessel, F. Fiedler, & F. Maltoni (2021), Battery pack remanufacturing process up to cell level with sorting and repurposing of battery cells. *Journal of Remanufacturing*, 11(1), 1-23.
DOI : 10.1007/s13243-020-00088-6
- [6] T. Günther, D. Schreiner, A. Metkar, C. Meyer, A. Kwade & G. Reinhart. (2020). Classification of Calendering-Induced Electrode Defects and Their Influence on Subsequent Processes of Lithium-Ion Battery Production. *Energy Technology*, 8(2), 1900026.
DOI : 10.1002/ente.201900026
- [7] E. Maiser. (2014, June). Battery packaging-Technology review. In *American Institute of Physics Conference Proceedings*, 1597(1), 204-218.
DOI : 10.1063/1.4878489
- [8] W. Gao, X. Zhang, L. Yang, & H. Liu. (2010, July). An improved Sobel edge detection. In *2010 3rd International conference on computer science and information technology* (Vol. 5, pp. 67-71). IEEE.
DOI : 10.1109/ICCSIT.2010.5563693
- [9] L. Yang, X. Wu, D. Zhao, H. Li, & J. Zhai. (2011, October). An improved Prewitt algorithm for edge detection based on noised image. In *2011 4th International congress on image and signal processing* (Vol. 3, pp. 1197-1200). IEEE.
DOI : 10.1109/CISP.2011.6100495
- [10] O. R. Vincent & O. Folorunso. (2009, June). A descriptive algorithm for sobel image edge detection. In *Proceedings of informing science & IT education conference (InSITE)* (Vol. 40, pp. 97-107). Informing Science Institute California.
- [11] Z. J. Hou, G. W. Wei. (2002). A new approach to edge detection. *Pattern Recognition*, 35(7), 1559-1570,
DOI : 10.1016/S0031-3203(01)00147-9
- [12] Z. Zhang. (2000). A flexible new technique for camera calibration. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 22(11), 1330-1334.
DOI : 10.1109/34.888718
- [13] P. Sturm & S. Ramalingam. (2004, May). A generic concept for camera calibration. In *European Conference on Computer Vision* (pp. 1-13). Springer, Berlin, Heidelberg.
DOI : 10.1007/978-3-540-24671-8_1
- [14] F. Remondino & C. Fraser. (2006). Digital camera calibration methods: considerations and comparisons. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36(5), 266-272.
- [15] W. Qi, F. Li & L. Zhenzhong. (2010, May). Review on camera calibration. In *2010 Chinese Control and Decision Conference* (pp. 3354-3358). IEEE.
- [16] Q. Ji & Y. Zhang. (2001). Camera calibration with genetic algorithms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 31(2), 120-130.

이 준 환(June-Hwan Lee)

[정회원]



- 1994년 2월 : 단국대학교 전자공학
과(공학사)
- 1996년 2월 : 단국대학교 전자공학
과(공학석사)
- 2001년 8월 : 단국대학교 전자공학
과(공학박사)

- 2001년 3월 ~ 현재 : 극동대학교 에너지IT공학과 교수
- 관심분야 : 컴퓨터응용, 신호처리
- E-Mail : rainbow@kdu.ac.kr