

## 공학교육 이수체계에서 대학 졸업 작품용 이중 Li-Po 전원 사용 태양전지 충전 쿼드콥터 구성에 관한 연구

# A Study on Quadcopter Consisting of Dual Li-Po Battery Charging by Solar Cell in the Engineering Education Completed a Senior Project Work at the University

윤성근, 김경빈, 장은영\*

국립 공주대학교 전기전자제어공학부 전자공학전공

Seong-Geun Yoon, Kyung-Bin Kim, Eun-Young Chang\*

\*Department of Electrical, Electronic & Control Engineering, College of Engineering, Kongju National University, Cheonan 31080, Korea

### [ 요약 ]

졸업 조건 인증을 위한 졸업 작품 및 졸업 논문 제출 규정에 따라 설계/제작한 절차를 제시하고, 개선사항을 이론적으로 제안한다. 설계 내용은 태양 에너지로 충전시키는 Li-Po 배터리로 동작하는 쿼드콥터의 자세를 확인하고, PID(Proportional Integral Differential) 제어를 통하여 균형을 유지한 결과이다. 특히 2개의 Li-Po 배터리들을 탑재하고 태양 에너지를 이용하여 하나의 배터리를 충전시키는 동안에 다른 배터리로 구동하며, 배터리 전환 회로는 2종류의 릴레이들을 사용하여 배터리 전환 회로를 구성한다. 완전 충전되지 않았더라도 특정 전압으로 충전된 배터리를 구동중인 배터리와 수시로 절환시켜, 체공시간과 항속거리를 증가시키는 방법을 제안한다.

### [ Abstract ]

Depending on the college graduation project and graduation thesis regulations for the certification and graduation requirements, the quadcopter acting as a Li-Po battery that charges by solar energy are proposed a design method and improvements in theory. Quadcopter posture is balanced and confirmed by the position sensor, through a PID (Proportional Integral Differential) control. Battery switching circuit is composed of two Li-Po battery. Driving the quadcopter as one battery, and does not use other battery is charged by solar energy. A battery switching circuit is fabricated in a manner that uses two types of relays. Even if completely not charged to the battery is being driven a certain switch by the battery charging voltage from time to time, it proposes a method for increasing the endurance time and range.

**Key Words:** Drone, Quadcopter, Power change, Switch circuit, Solar cell

<http://dx.doi.org/10.14702/JPEE.2016.009>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**Received** 7 April 2016; **Revised** 20 April 2016

**Accepted** 26 April 2016

**\*Corresponding Author**

E-mail: ce yng@kongju.ac.kr

### I. 서론

2008년부터 학부의 전공에서 졸업 자격 인증을 위한 졸업 작품 제작 및 평가 절차를 도입하여 교과 과정과는 별도로 졸업을 위한 자격요건으로서 학칙에 근거하여 작품의 설계, 제작, 완성 절차와 그 결과에 대한 논문 완성도의 평가가 이루어지고 있다[1,2]. 본 연구에서는 2015년(2016년 졸업) 10월에 이루어진 원격조정용 소형 무인기로 4개의 로터를 사용하는 쿼드콥터에 대해 기체의 정밀한 조작이 가능하도록 설계/제작하고, 배터리 구동시간이 짧아 체공시간과 항속거리가 줄어드는 문제점을 개선하는데 역점을 둔 사항에 대해 서술한다. 배터리의 용량을 증가시키면 멀티콥터의 무게와 크기 또한 증가하고, 큰 프레임과 로터가 필요하여, 멀티콥터의 무게도 같이 증가한다. 2개의 Li-Po 배터리를 사용하는데 하나의 전지셀은 Flexible Solar Cell로 충전시키고, 다른 배터리로 쿼드콥터를 구동시킨다. 충전된 배터리와 구동중인 배터리를 전환하여 체공시간과 항속거리를 증가시켜 쿼드콥터의 총 비행시간을 증기시키는 방법을 제안하고, 배터리 충전과 방전을 측정하여 어느 정도 체공시간과 항속거리를 늘어나는지 분석한 결과를 다룬다.

2명이 1개조로 편성되어 최종 평가가 이루어지는 4학년 2학기까지 3학기 동안 학습 성과를 달성하기 위한 평가 체계를 적절히 구축하기 위해 수행준거, 성취수준, 평가도구, 달성목표, 측정, 분석, 개선, 공개 절차를 수립하며, 평가체계를 규정 또는 매뉴얼로 공식화하여 공지하였고, 이에 관련된 과정은 그림 1과 같이 1) 성취 수준 및 평가 절차 검토 및 공개 2) 작품 주제 선정 3) 지도 교수 선정 4) 작품 완성 및 지도 5) 성취도 평가 및 만족도 조사 6) 결과 분석 및 지속적 개선 노력 방향 설정의 6단계로 진행되었다 [1,2].

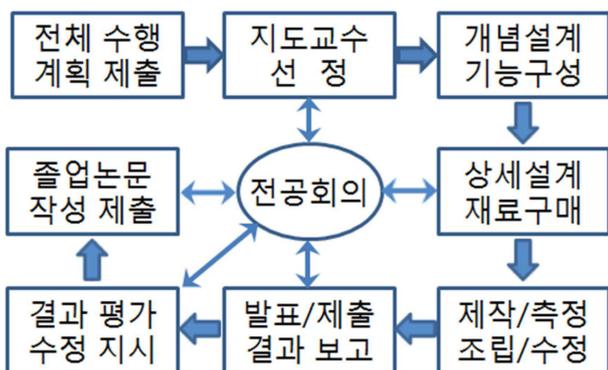


그림 1. 졸업 작품 구성 전체 과정  
 Fig. 1. Total contour of the Capstone design procedure.

### II. 기구 설계

#### A. 쿼드콥터(Quadcopter)

제작된 실물과 개념도를 그림 2에 각각 나타낸다. 지상 위치 명령 제어기를 통해서 명령어를 출력하면 위치 제어 통신 장치로 수신하여 쿼드콥터가 동작한다. 또한 쿼드콥터의 동작 상태를 통신 장치를 통해 지상 위치 명령 제어기에서 확인한다. 쿼드콥터 자세확인센서를 통해 쿼드콥터 자세를 확인하고, 자세유지를 위해 변속기에 신호를 조절하여 구동부를 제어한다. 배터리1과 배터리2의 배터리 잔량을 확인하여 보여주고, 배터리 전환 회로에서 하나의 배터리는 태양전지로 충전하고, 남은 배터리는 쿼드콥터를 구동하도록 설계한다. 이와 같은 전체 동작 기능은 그림 3에 설명한다.

자세 확인을 위해 자이로센서와 가속도센서를 이용한다. 센서를 선택하는데 있어서 안전성, 노이즈, 신호의 신뢰도를 고려한다[4]. 사용한 3축 가속도센서 출력 측정값을 그림4에 나타낸다.



그림 2. 제작한 쿼드콥터(좌), 이상적인 쿼드콥터 모형(우)  
 Fig. 2. Made Quadcopter (Left), Ideal Quadcopter Model (Right).

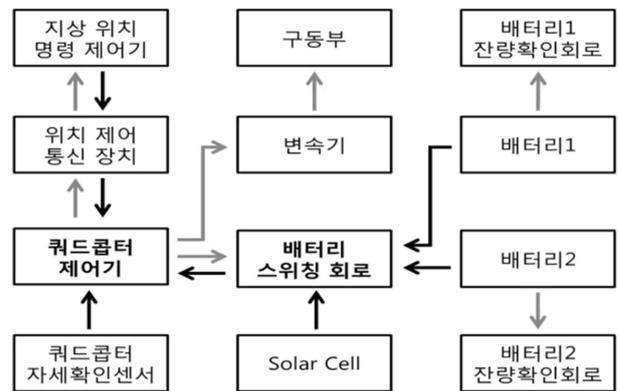


그림 3. 전체 기능도  
 Fig. 3. Total functional diagram.

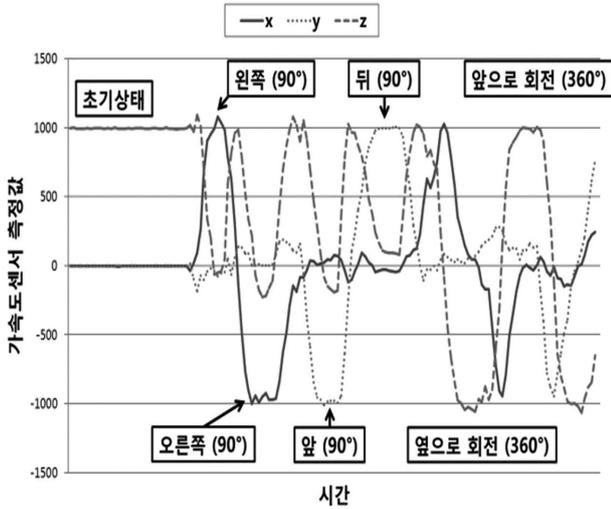


그림 4. 3축 가속도센서 출력 측정값  
Fig. 4. 3-axis acceleration sensor Output Measurement value.

가속도 센서는 직선방향으로의 단위시간에 대한 속도의 증감 비를 나타내는 센서이다. 중력도 가속도의 하나이기 때문에 가속도 센서를 평지에 놓았을 때는 z축 방향으로 중력 가속도 값을 가진다. 센서가 정지 상태에서 x축이나 y축의 값을 가지면 그 축으로 기울어진 것이다. 자이로 센서로 구하는 각도는 상대적인 각도인데 비해 가속도 센서를 이용한 각도는 정지 상태에서 중력을 이용하면 절대 각도를 구할 수 있다. 하지만 센서가 병진운동을 하는 경우 움직이는 축의 가속도가 증가 또는 감소하여 정확한 각도를 얻기 힘들기 때문에 자이로 센서와 가속도 센서를 결합하여 사용한다[5]. 제작한 쿼드콥터에 사용한 센서는 자이로 센서와 가속도 센서가 결합된 제품으로 저역필터(LPF)가 내장되어 있고, 추가적으로 칼만필터를 적용한다. 칼만필터는 잡음이 포함되어 있는 선형 역학계의 상태를 추적하는 재귀 필터이다. 이를 통하여 이동체 좌표계에서 항법 좌표계로 변환하여 자세유지 제어를 한다[6]. 지속적으로 쿼드콥터의 기울어진 정도를 측정하여 아래로 기울어진 방향의 로터의 속도를 높이고 위로 기울어진 로터의 속도를 줄이므로 자세를 유지하는 원리로 PID 제어 기법을 이용한다. 칼만 필터를 걸쳐서 나온 항법 좌표계 값을 PID제어기의 이득값들을 적절히 조정하여 균형을 유지하도록 설계한다[7].

하나의 축을 고정시킨 상태에서 다른 하나의 축이 균형을 유지하는지 그림 5와 같이 고정장치를 제작하여 확인한다. 유지가 되지 않을 경우, 상수 값을 변화하여 적절한 값을 찾는다. 외부의 변수로 균형이 무너질 경우, 빠르게 균형을 잡는지 확인한다.

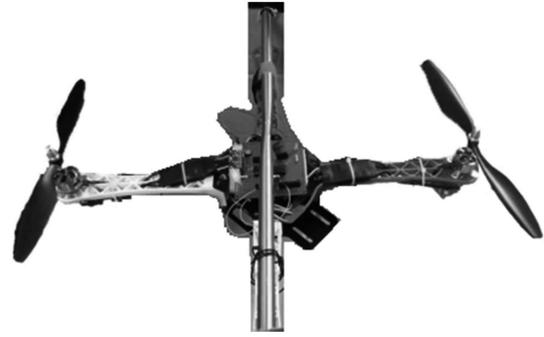


그림 5. 한 축 고정, 균형 유지 시험  
Fig. 5. Fixed 1 axis, balance maintenance test.

### B. 배터리 전환 제어 설계

제어기에서 신호를 주면 충전중인 배터리와 구동중인 배터리가 전환 되는 제어회로를 그림 6과 같이 설계한다. 제어기에서 신호가 나오지 않는다면, 배터리1이 태양전지와 연결되어 충전중인 상태이고, 배터리2는 구동부와 연결되어 방전된다. 이러한 상태에서 제어기에서 신호를 주면, 배터리1이 구동부와 연결되어 방전으로 배터리2는 태양전지와 연결되어 충전으로 전환한다.

초기에 8핀 릴레이를 사용하여 제작하였으나, 높은 전류로 인해 릴레이 접점의 구동력이 상실되는 문제가 발생하여 높은 전류를 견딜 수 있는 8핀 릴레이나 5핀 릴레이 사용이 필요하다.

8핀 릴레이 2개를 이용한 배터리 제어회로를 그림 7과 같이 설계한다. 배터리1과 배터리2를 각각 릴레이에 CL과 OP에 교차되게 연결하여 제어기의 신호로 2개의 8핀 릴레이의 코일을 제어한다. 릴레이에 신호가 들어오면 OP단자가 COM에 연결되면서 동작하고, 릴레이에 신호가 없으면, CL단자가 COM과 연결된다. 충전릴레이의 COM에는 태양전지를 연결하고, 구동릴레이의 COM에는 구동부를 연결한다. 그림 8과 같이 각각의 단자를 해당 릴레이에 연결하여 배터리를 제어

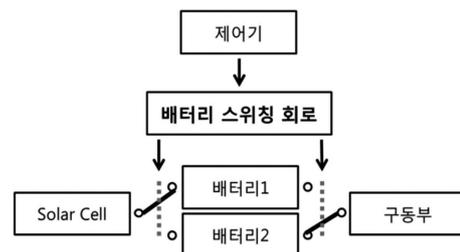


그림 6. 배터리 전환 회로 기능도  
Fig. 6. Battery switching circuit functional diagram.

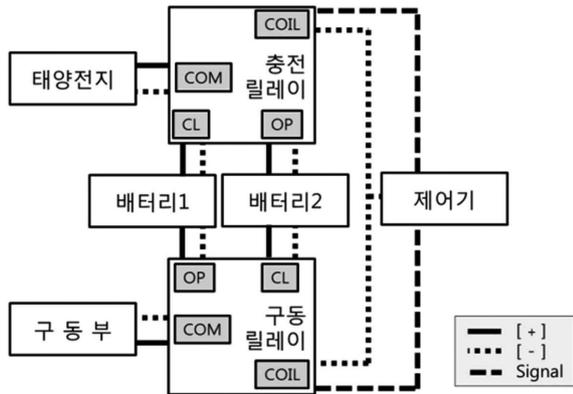


그림 7. 8핀 릴레이 2개를 이용한 배터리 제어 설계  
 Fig. 7. Battery control design using two 8Pin relay.

표 1. 배터리 전환 제어 동작(8핀)

Table 1. Battery switching control action(8Pin)

1	배터리1의 [+],[-]단자를 충전 릴레이 CL과 구동 릴레이 OP로 연결.
2	배터리2의 [+],[-]단자를 충전 릴레이 OP와 구동 릴레이 CL로 연결.
구동릴레이 ON, 충전릴레이 ON : 배터리1 방전, 배터리2 충전 구동릴레이 OFF, 충전릴레이 OFF : 배터리1 충전, 배터리2 방전	

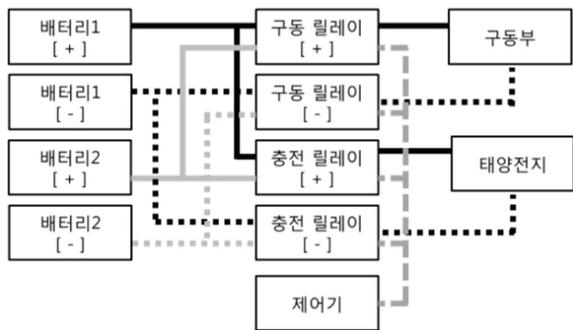


그림 8. 5핀 릴레이 4개를 이용한 배터리 제어 설계  
 Fig. 8. Battery control design using four 5Pin relay.

표 2. 배터리 전환 제어 동작(5핀)

Table 2. Battery switching control action(5Pin)

1	배터리1의 [+ ]단자를 구동 릴레이[+ ] NC와 충전 릴레이[+ ] NO에 연결.
2	배터리1의 [- ]단자를 구동 릴레이[- ] NC와 충전 릴레이[- ] NO에 연결.
3	배터리2의 [+ ]단자를 구동 릴레이[+ ] NO와 충전 릴레이[+ ] NC에 연결.
4	배터리2의 [- ]단자를 구동 릴레이[- ] NO와 충전 릴레이[+ ] NC에 연결.

구동릴레이[+],[-] ON, 충전 릴레이[+],[-] ON : 배터리1 충전, 배터리2 방전  
 구동릴레이[+],[-] OFF, 충전 릴레이[+],[-] OFF : 배터리1 구동, 배터리2 충전

한다. 배터리 전환제어 동작 설명은 표 1에 나타낸다.

그림 8과 같이 5핀 릴레이 4개를 이용한 배터리 제어회로 설계는 배터리의 [+ ]단자, [- ]단자를 개별적으로 릴레이에 연결하여 제어기의 신호로 4개의 5핀 릴레이의 코일을 제어한다. 쿼드콥터 구동부 전원 [+ ]선, [- ]선을 구동 릴레이[+ ]와 구동 릴레이[- ]에 연결하고, 태양전지 [+ ]선, [- ]선을 충전 릴레이[+ ]와 충전 릴레이[- ]에 연결한다. 배터리1[+ ]선, [- ]선, 배터리2[+ ]선, [- ]선을 각각의 단자를 극성에 맞게 해당 릴레이에 연결하여 제어기의 신호를 통해 제어함으로써 배터리 전환 제어를 한다. 표 2는 배터리 전환 제어 동작을 설명한다.

### III. 제안된 배터리 충방전 방식

제작한 쿼드콥터에서 전원 전압을 측정하였으나, 배터리 충방전 특성을 예측하기 위해 지속적인 측정이 어려운 문제로 배터리와 BLDC모터 하나를 분리하여 사용한 모터가 모두 동일하다는 모델로 삼고 측정한다. 1[A] 8.4[V] 충전회로를 이용하여 충전을 측정하고 1개의 BLDC모터로 최대 RPM으로 구동시 방전을 측정하면, 그림 9와 같이 측정값이 나타난다. 분당 배터리가 8[mV]가 충전되었고, 로터 없이 1개의 BLDC모터를 구동하는데 16[mV]가 방전되었다. 4개의 모터를 사용함으로써, 모터 구동으로만 64[mV]가 방전된다. 방전이 충전량의 8배가 된다. 10분 동안 충전과 방전이 된다면 Li-Po 2S의 6.8~8.4[V]가 안전 전압이므로 2S 1000[mAh]일 경우, 전체의 40%가 방전되고 5%가 충전된다. 약 30초 정도 체공시간이 늘어나고, 시속 50[km/h]로 가정 했을 경우, 약 417[m]를 더 이동 할 수 있다. 실제로 제어보드와 센서, 모터의 로터 장착까지 소모 전력을 고려한다면 분당 소모배터리가 64[mV]+α가 될 것이지만, 체공시간과 항속거리가 증가함에는 변함이 없을 것으로 판단한다.

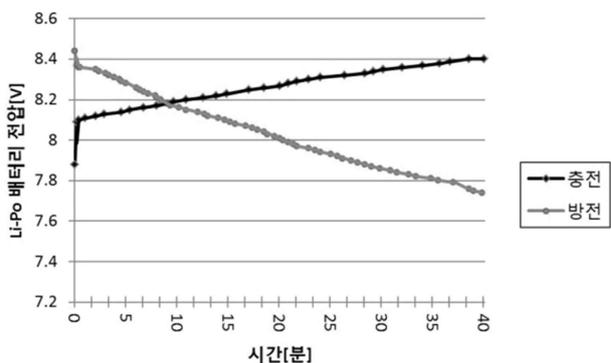


그림 9. 2S Li-Po전원의 시간에 따른 충전 및 방전 전압 그래프  
 Fig. 9. Graph of 2S Li-Po battery's charge & discharge by time.

#### IV. 제작 및 검토

쿼드콥터와 2개의 Li-Po 배터리 충전과 방전을 전환할 수 있는 회로를 설계했다. 2개의 배터리 전환 회로를 쿼드콥터에 장착하였고, 가볍고 유연한 Flexible Solar Cell을 이용하였다. 또한 배터리 잔량확인 회로를 추가하여, 구동 중이거나 충전중인 배터리의 잔량을 시각적으로 확인했다. 마지막으로 시뮬레이션을 통해 체공시간과 항속거리의 증가함을 확인하였고, 2S Li-Po 1000[mAh] 배터리를 이용하면, 시속 50[km/h]로 가정했을 경우, 417[m]의 체공거리가 증가됨을 알 수 있었다. 그러나 2개의 배터리 사이의 전압차이로 인해 전환 순간에 스로틀(Throttle)이 변동하는 문제점이 발생했다. 방전으로 인해 전압이 낮은 배터리에서 충전된 전압이 높은 배터리로 전환할 경우, 전압에 따라 회전수가 변하는 모터의 특성으로 스로틀이 급상승했다. 반대로 배터리의 충전이 충분히 되지 않아 구동중인 배터리의 전압보다 낮은 경우 배터리를 전환하면, 스로틀이 급강하했다. 이러한 문제로 인해 사고 위험이 있으므로 지상에 안전하게 착륙한 후에 배터리를 전환하는 것이 바람직하다고 판단한다. 일정한 전압을 공급하기 위하여 정전압 레귤레이터를 사용하지만, 정전압 레귤레이터는 자체적으로 전압강하가 발생한다. 2S LiPo 전원의 경우 안전전압이 6.4[V]~8.4[V]로 범위가 1.6[V] 밖에 되지 않아 1.5[V]이상 전압강하가 일어나는 정전압 레귤레이터는 사용은 비효율적이다. 또한 정전압 레귤레이터는 허용전류가 제한되어 허용전류 이상의 전류를 사용할 경우 발열로 인해 성능이 저하되거나 출력이 낮아지는 문제가 있다. 이러한 문제가 해결되면, 정전압 레귤레이터를 이용하여 전압차가 있는 배터리가 전환되어도 구동부로 전압이 일정하게 공급되고 비행 중에 배터리를 전환하여도 스로틀의 변화 없이 비행할 수 있을 것으로 판단한다.

#### V. 결론

3학년 2학기부터 지도교수를 배정받아 4학년 2학기 최종 발표까지 3개학기 사이에 이루어진 과정에서 개인별 지도교수 면담 총 54회, 부품 구매 및 발주 총 6회, 관련 세미나 참석 3회, 학회 발표 및 참석 2회, 연구소 및 기업체 탐방 3회를 진행하면서 얻어진 결과이다.

주기적으로 교내에서 이루어지는 면담과 교과 관련 과정 진행 이외에 산업체 관련 인사들과 관련 기업에 종사하는 동문들을 초청하여 강연회 및 주요 발전 현황에 대한 세미나를 개최하고, 전공 주제와 관련된 전시회 관람과 현장 탐방에

참가시켜 현재 기술추세와 발전현황 지표를 깨닫게 하는 과정이 유효했다.

기술발전과 더불어 사업화와 현장 경험이 가능한 독창적인 우수 주제 선정과 작품 진행에 관련된 지도교수들의 산학연 관련 협동 실적의 연계 노력이 절실히 필요함을 경험하였다. 개인적 자율주제 선정시 학생입장에서 결과가 예측되는 범위의 기술력만을 동원하는 제한성으로 인해 새로운 주제에 도전정신이 부족한 경향을 나타냈다.

주제 선정 이후에 매주 주기적인 지도교수 기술 면담과 애로사항 청취 이외에도 매일 과정 진행과 관련된 내용을 개인적으로 준비할 수 있는 지도공간 배치가 필요하였고, 지도공간에서 이루어진 지도 내용을 기록 보관하는 학습 포털의 운영도 바람직하다고 판단된다.

필요한 재료와 부품의 구입 부분에선 일부 보조형태가 필요하다고 판단되며, 모두 개인 부담시 경제적 여건과 부품선정의 통제가 이루어지지 않았으나, 전체를 학교에서 구입하여 줄 때는 개인 부품관리나 기간 종료시 제작된 결과물의 소유 경계가 불명확해지는 단점이 나타났다.

얻어진 결과는 주기적으로 정기적인 발표 기회를 마련하여 작품 발표회 및 전시회에서 스스로를 되돌아보게 하여 긴장을 늦추지 않게 하였다. 또한 교내의 단학년 학습자 공간만이 아닌 국내외 학회의 학술발표 대회나 관련기관 경진대회에 논문 제출과 출품작 응모 과정으로 자발적인 참여를 유도하여, 긴장도를 유지할 수 있었고 과정을 지속하는 동기유지에 도움이 되었다. 최종적으로 제작된 결과와 얻어진 경험 및 학술적 견해를 스스로 서술하는 결과 작품집을 일정한 형태로 구성하고 출력된 양식으로 보관하여 체제와 전통을 확인할 수 있는 정기적인 결과물을 얻게 되었다. 이러한 과정에서 한국실천공학교육학회의 존재 인식이 뚜렷해졌고, 이와 유사한 학회의 활동에서 학부생 대상의 경진대회 및 학술대회 개최의 활성화는 이러한 교과과정 진행에 바람직한 동기 유발 기회로 자리매김 되고 있다.

#### 참고문헌

- [1] E.-Y. Chang, "A study on the operating management method of creative engineering design and project based capstone design for the purpose of improvement in the quality of engineering education", *JPEE*, vol. 2, no. 2, pp. 23-29, December, 2010.
- [2] K.-W. Cho and E.-Y. Chang, "A study on the implementation of wireless searching robot through the capstone de-

- sign courses”, *JPEE*, vol. 6, no.1, pp. 23-29, June, 2014.
- [3] S.-I. Oh, “A Case Study Civilian Drone”, *2015 Korean Society of Broadcast Engineers Summer Conference*, pp. 315-318, July, 2016.
- [4] H. Bang et al., “Development of quadcopter drone for safety guide service at night”, *Conference of Human Computer Interaction Korea 2014*, no. 12, pp. 217 -218, 2014.
- [5] S.-Y. Hwang et al., “Tilt detection for the attitude control of land quadcopter”, *Conference of ICROS(Institute of Control, Robotics and System) 2010*, pp. 35-38, 2010.
- [6] K.-U. Lee et al., “Modeling and Controller Design of Quadrotor UAV”, *The Korean Institute of Electrical Engineers (KIEE) Summer Conference 2011*, pp.1922-1923, July, 2011.
- [7] Arduino story open source hardware Arduino forum café [internet], <http://cafe.naver.com/arduinostory/20634>



**윤 성 근 (Seong-Geun, Yoon)**

2016년 2월 : 공주대학교 공과대학 전기전자제어공학부 전자공학전공(공학사)  
〈관심분야〉 자동제어, 회로설계, 항공, 방위산업



**김 경 빈 (Kyung-Bin, Kim)**

2016년 2월 : 공주대학교 공과대학 전기전자제어공학부 전자공학전공(공학사)  
〈관심분야〉 반도체, 디스플레이, 통신시스템 설비



**장 은 영 (Chang, Eun Young) \_종신회원**

1982년 2월 : 한국항공대학교 항공전자과 공학사  
1993년 2월 : 한국항공대학교 항공전자과 공학박사  
1991년 10월 ~ 현재 : 국립 공주대학교 전기전자제어공학부 교수  
〈관심분야〉 OFDM/MIMO, RFID, 신재생에너지시스템