

드론 간 공중 무선 충전 시스템

문현균*, 김유민*, 김정민**
 *경희대학교 컴퓨터공학과
 **KT
 e-mail:mhg5303@gmail.com

Airborne Wireless Charging System between Drones

Hyun-Kyun Moon*, You-Min Kim*, Jung-Min Kim**
 *Dept of Computer Engineering, Kyung-Hee University
 **Korea Telecom

요 약

드론 산업이 발전하면서 이제는 남녀노소 누구나 드론을 사용할 수 있게 되었다. 하지만 드론의 배터리 관련 부분은 드론 산업의 큰 발전에 편승하지 못하였다. 사람들은 드론을 많이 사용하지만 배터리로 인해 오랫동안 드론을 사용할 수 없어 불편함을 느끼고 있다. 따라서 본 논문은 이러한 불편함을 해소시키기 위해 드론 간 공중에서 무선충전이 가능하도록 하는 시스템을 제안한다.

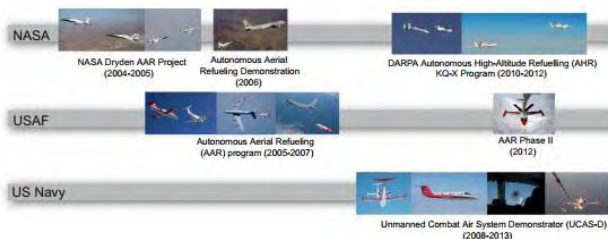
1. 서론

“공중급유기는 위기와 비상상황에 대응하는 합동 전력의 생명줄이다.” - 마크 A. 웰시 3세(Mark A. Welsh III) 대장, 미 공군참모총장

인터넷이나 스마트 폰 등 IT기술이 비약적으로 발전하면서 칩, 센서가 소형화 되고 제작비용이 저렴해졌고, 드론 산업이 폭발적으로 성장하게 되었다.1) 하지만 발전된 드론 산업에 비해 드론의 비행시간은 그에 편승하지 못했다. 이에 드론은 자주 충전해야하는데, 기존의 드론의 배터리 충전 방식은 직접 유선 충전하거나 무선충전이 되는 지역에 드론이 직접 접근하여 충전을 받아야하기 때문에 드론의 비행구역이 제한되었다(실제로 드론을 사용하는 사람들은 배터리를 여러 개를 들고 다니며, 배터리가 방전될 때마다 드론을 회수하고 배터리를 교체한다.).

이러한 비행시간의 부족함을 겪는 드론을 사용하는 사람들의 불편함을 해소시키고 여가시간에 드론을 사용하는 즐거움을 지속시켜주기 위해 이 프로젝트가 생겨나게 되었다. 이 무선충전 시스템을 사용하면, 드론을 필요한 위치에서 계속 비행시키면서 충전시켜 드론의 비행시간을 늘리고 활동범위를 넓힐 수 있다.

2. 관련 연구



(그림 1) 공중급유의 역사



(그림 2) Flying Boom방식

(그림 3) Probe and Drogue방식

분류	무선충전	공중 유선충전	공중 유선충전
방식	Base Buddy	Probe and Drogue	Flying Boom
장점	-유선충전 방식보다 충전방식이 간편하다. -사용자에게 편리함을 제공한다.	-여러 대의 비행체가 급유받을 수 있다. -많은나라들이 사용하는 방식이다.	-급유효율이 높다. -안전성이 높다.
단점	-비행체가 충전받기위해 베이스(충전스테이션)까지 와야한다.	-사고사례가 많다. -급유효율이 낮다.	-한 비행체만 급유 받을 수 있다. -호환성이 적다.

(표 1) 충전방식 비교표

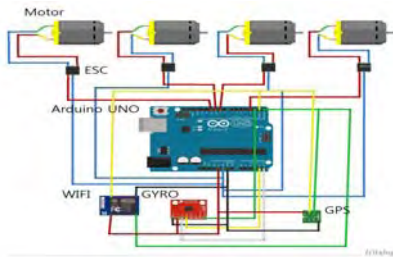
본 프로젝트 ‘Airborne Wireless Charging System between Drones’는 위의 3가지 충전방식의 장점들을 차용하여 드론 간 충전시스템에 적용하였다.

3. 주 아이디어 및 모델

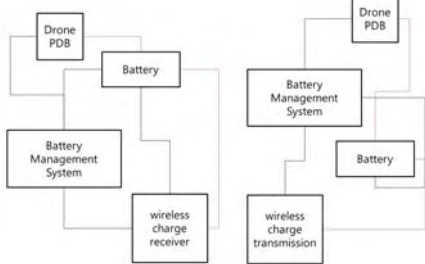


(그림 4) 시스템 구성도

시스템은 드론, 아두이노, Battery Management System, 무선충전 송/수신부 모듈, 구조물로 이루어져 있다.



(그림 5) 1의 연결도



(그림 6) A/B, 2, 4/5, 7의 연결도

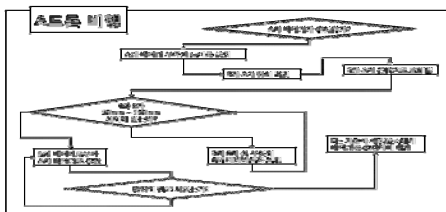
<무선충전을 위해 6번(구조물)에서 고려해야할 사항>

1. 드론의 날개에 의한 무선충전모듈 훼손 방지
 2. 일정거리 내의(30 mm ~ 150mm) 간격 필요
- 그에 따른 물리적 조건으로는 다음과 같다.

1. 드론에서 충전모듈이 일정거리 이상 떨어져야함.
- 2-1. GPS모듈을 통한 위치 측위, 호버링 가능.
- 2-1. 수신부의 모듈은 고정, 송신부의 모듈은 유연하게 움직임.

<이 조건들을 적용한 실제 작품에서 나타난 모습>

수신모듈은 A에서 막대기를 이용하여 위쪽으로 떨어뜨림. 송신모듈은 B에서 끝에 돌맹이를 매달은 실을 달아 아래쪽으로 떨어뜨림.



(그림 7) 시스템 흐름도

① 드론A가 배터리가 부족해지면, 사용자에게 Notification을 날린다.

② 드론B는 드론A의 위치를 받거나 사용자가 직접 드론A의 위치를 파악하여 드론A에 접근한다.

③ 드론B는 드론A와 일정거리(30mm ~ 150mm)를 유지하며 드론A가 완충될 때까지 무선충전을 시킨다.

⑤ 충전이 완료되면 드론B는 지정된 장소로 돌아가 본인의 배터리를 충전한다.

4. 제시한 모델에 대한 핵심기술

1. 무선충전 2)

무선 충전(無線充電, 영어: Inductive charging)이란 기존의 전선으로 전력을 전송하여 기기를 충전하는 방식 대신 전력을 대기를 통해 무선으로 전송하여 기기를 충전하는 방식을 무선충전이라 한다.

무선충전 방식은 크게 3가지로 전자기유도 방식, 자기공명 방식, 전자기파 방식이 있다.

구분	자기유도 방식	자기공진 방식	전자기파
원리	변압기 1-2차 코일간 유도현상 이용	송수신 안테나 간의 공명현상 이용	안테나를 통해 전자기파를 직접 송수신
주파수	120kHz, 13.56MHz	수십kHz ~ 수MHz	2.45GHz, 5.8GHz
전송 거리 및 효율	수mm 이내 90%이상 효율	1m~90%효율 2m~40%효율	최대 수십km까지 전송 최대 10~50% 효율
인체 유해성	거의 무해	거의 무해	유해
특성	대전력 전송에 유리	대전력 전송 어려움 안테나가 큼	인체 및 장애물 영향
응용	휴대폰, 노트북, 전기자동차 등	가전기기 전원	위성-지구 전력 전송 비행체 전력 등
표준화	WPC 표준 제정	WPC표준이 자기 공진 기술에 대한 표준 부칙함	N/A

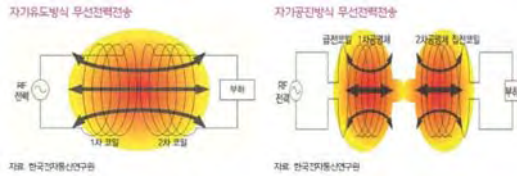
(표 2) 무선충전 방식 비교표

자기유도방식은 변압기의 1차 코일과 2차 코일간의 자기유도 현상을 이용하는 것으로 코일이 근접거리에 위치해야 가능한 방식이다. 그러나 자기장이 근접거리에서 코일에 공동으로 영향을 줄 수 있어야 하므로, 거리에 민감하다. 또한 Rx 코일의 위치 정합성에도 매우 민감한 문제를 가지고 있다.

자기공진 방식은 수 MHz에서 수십 MHz 대역의 주파수를 사용하여 자기적 공명을 이루어 전력을 전송하는 기술이다. 전자기유도보다 먼 거리에서 전자기방사 보다는 더 높은 효율로 에너지를 전달할 수 있다. 최근 휴대전화 응용을 목적으로 삼성전자가 중심이 되어 Intel Qualcomm 등과 함께 A4WP라는 무선충전을 위한 협의회를 만들어 표준을 주도하려 하고 있다.

전자기파 방식은 전자기파를 이용한 정보의 전송과 동일한 mechanism이지만 필요한 수준의 전력을 전송하기 위해서는 출력이 증가하여야 하며, 이 경우 전자기파에 의한 인체의 유해성 문제를 피하기 힘들다. 하지만 원거리 전송도 충분히 가능하기 때문에 개인 용도가 아닌 산업용에서 연구가 진행되고 있다.

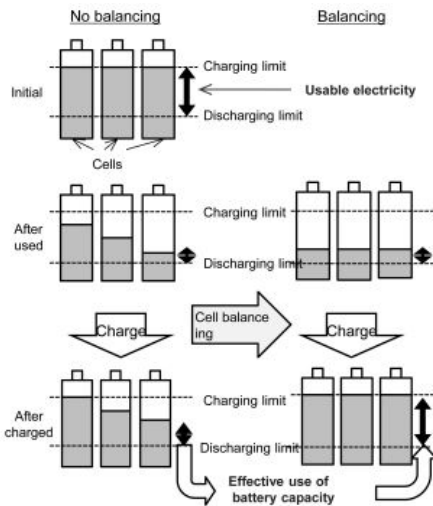
우리는 근거리에서 높은 효율의 충전효과를 내고, 인체에 무해한 자기유도 방식을 채택하여 적용하였다.



(그림 8) 무선충전 작동원리

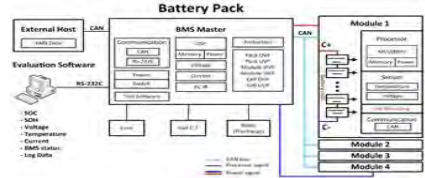
2. BMS(Battery Management System) 3)

여러 셀로 이루어진 배터리는 기본적으로 셀마다 제각기 다른 양으로 충전/소비된다. BMS는 각 셀이 같은 양으로 충전/소비 될 수 있도록 한다. BMS의 가장 중요한 기능은 셀 밸런싱이다. 셀 밸런싱은 아래 그림 9와 같이 배터리를 효율적으로 사용하기 위해 배터리 셀들 간 용량 차이를 줄이는 것을 말한다. 셀들 간 전압차이가 있다면 각 셀의 한계점까지 충전하거나 소모시킬 수 없다. 따라서 셀 밸런싱은 practical capacity가 감소하는 상황을 막아준다.



(그림 9) BMS의 Cell Balancing

배터리 관리 시스템은 크게 상태 감시부, 알고리즘 연산부, 명령 제어부, 보호 회로부 그리고 통신부로 나눌 수 있다. 상태 감시부에서는 배터리 셀(Cell) 및 시스템의 안정적인 운영을 위해서 셀의 전압, 전류, 온도 등을 측정하며, 알고리즘 연산부에서는 SOC(State of Charge), SOH(State of Health) 그리고 다양한 셀 밸런싱(Cell Balancing) 알고리즘을 연산한다. 명령 제어부에서는 셀 밸런싱 또는 보호 기능을 수행하기 위해 스위치(Relay)에 제어 신호를 보내는 기능을 담당하며, 보호 회로부에서는 과전압 과전류를 감시하고 차단하는 기능을 담당한다. 그리고 통신부에서는 아래 그림과 같이 마스터(Master)와 슬레이브(Slave)간에 CAN(Controller Area Network) 통신을 하거나, 마스터에서 외부의 기기로 RS-232C 통신 등을 할 수 있도록 구성된다.



(그림 10) BMS구성도

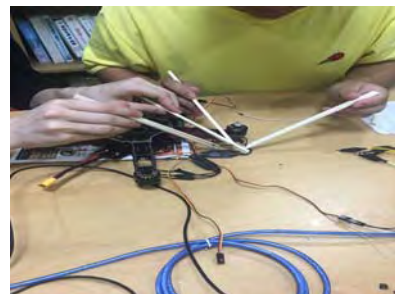
기존의 BMS는 용도에 맞게 특성화 되어 있었다. 하지만 사용목적에 제한되지 않는 Universal BMS가 생겼고, 이 프로젝트는 Universal BMS를 사용하여 어떠한 드론 배터리에서도 적용이 가능하도록 하였다.

	EV	Bus/Truck	Stationary batteries for HEMS	Small mobility vehicles	Universal BMS PF
Number of cells	96	96	32,48, 96	8,14, 28	8~96
Parallel pack	×	(2,4)	(2,4,8)	×	(~8)
Relay control	□ (3)	□ (3)	×	×	□ (6)
Current monitoring	□	□	□	□	□
Insulation resistance detection	□	□	□	□	□
FAN control	□	□	×	×	□
Temperature monitoring	□ (4)	□ (4+a)	□ (2)	□ (2)	□ (7)
Impact detection	□	□	×	×	□
General-purpose I/O	Extended capability for expected future requirements				□ (4)
General-PWM input					□ (4)

* Number of cells: Number of lithium-ion batteries in series

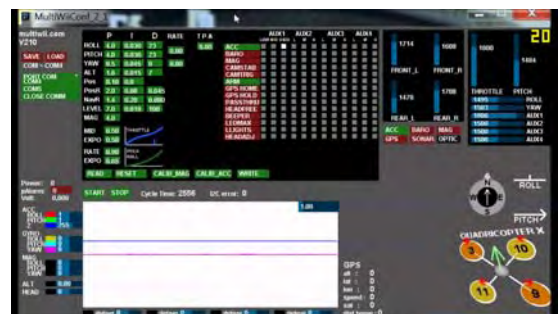
(표 3) BMS비교표

5. 실험 및 구현



(사진 1)

사진 1은 모터를 구동시키기 위한 테스트 중 esc와 모터의 연결에 저항을 줄이기 위해 나무젓가락으로 전선들을 직접 집어 연결한 사진이다.



(사진 2)

사진 2는 드론의 호버링을 위해 PID계수를 Multiwii

Conf.exe라는 프로그램을 통하여 조절하는 모습을 담은 사진이다.

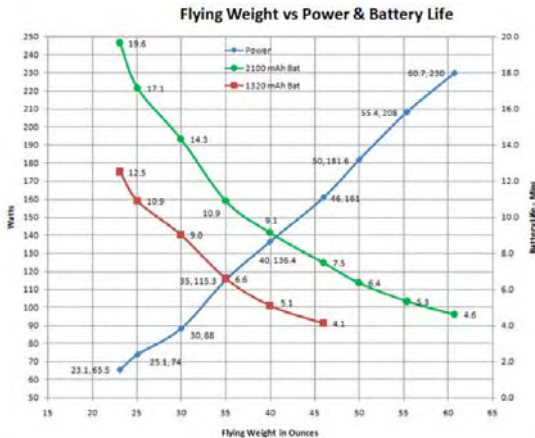


(사진 3)

사진 3은 드론 간 공중 무선 충전 시스템을 위한 구조를 담은 사진이다. 무선충전 모듈의 송신부와 수신부가 함께 있다.

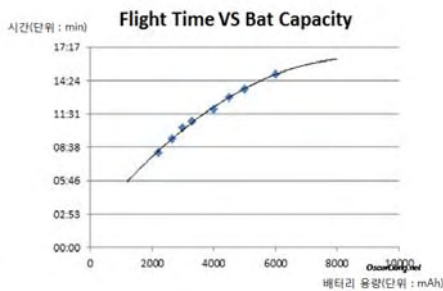
6. 분석 및 결론

- 1. 본 작품의 기능은 장소나 조건이 제한적이지 않고 어디든지 무선으로 충전을 할 수 있다.
- 2. 충전장소를 따로 설치하는 비용, 전자기 유도를 설정하는 데 발생하는 비용 등을 절감할 수 있다.



(그래프 1) 비행체의 무게와 전력에 따른 배터리 수명

3. 배터리 용량에 따른 드론의 비행시간이 정비례 하는 것이 아니며 배터리 용량을 늘려 드론의 비행시간을 증가시키는 것은 드론의 무게 또한 같이 증가하기 때문에 한계를 가진다. 이러한 한계를 드론 간 무선충전을 통하여 해결할 수 있다.

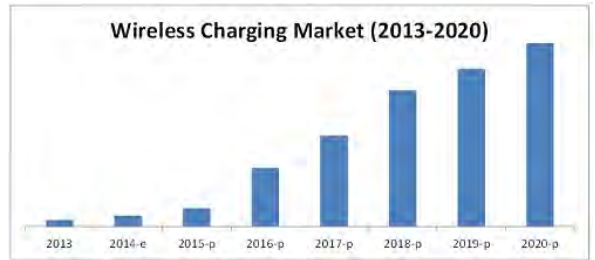


(그래프 2) 배터리 용량 별 비행시간

	A	B	C	D	E
Turnigy Nano 4S Battery (25C - 50C)					
1					
2	Capacity (mah)	Weight (g)	Cap VS Weight	Price (\$)	Cap VS Price
3	1600	181	8.84	15.39	103.96
4	1800	207	8.70	17.25	104.35
5	2200	239	9.21	21.13	104.12
6	2650	275	9.64	30.25	87.60
7	3000	299	10.03	37.36	80.30
8	3300	337	9.79	40.97	80.55
9	4000	433	9.24	38.31	104.41
10	4500	467	9.64	46.27	97.26
11	5000	523	9.56	56.33	88.76
12	6000	623	9.63	68.78	87.23

(표 4) 배터리 용량 및 무게별 가격

4. 무선충전 시장이 커짐에 따라 무선충전의 기술의 발전을 통하여 드론 간 무선충전 시스템의 무선 충전 효과가 더 커짐을 기대할 수 있다.



(그래프 3) 무선충전 시장의 규모

7. 참고문헌

<자료 출처>
 1) LG사이언스랜드 / 과학이야기, <http://www.economyinsight.co.kr/news/articleView.html?dxno=2844>
 (그림1)
 Advances in air to air refuelling - Peter R. Thomas, Ujjar Bhandari, Steve Bullock, Thomas S. Richardson, Jonathan L. du Bois
 (그림2, 그림3)
 Air to Air Refuelling Flight Plan - Joint Air Power Competence Centre
https://ko.wikipedia.org/wiki/%EA%B3%B5%EC%A4%91_%EA%B8%89%EC%9C%A0 (위키피디아)
 2) 표2, 그림 8
 한국전자통신연구원, 이근호 2013 위키피디아
 3) 그림 9, 그림 10, 표 3
 서울대학교 산학연구원 / 최근연구동향
 Development of Battery Management System - Yoshikazu FUJITA, Yasuyuki HIROSE, Yusuke KATO, Takahiro WATANABE
 Development of Battery Management System - Yoshikazu FUJITA, Yasuyuki HIROSE, Yusuke KATO, Takahiro WATANABE
 (그래프 1)
<https://robotics.stackexchange.com/questions/554/quadcopter-lipo-battery-weight-capacity-trade-off>
 (그래프 2)
<http://clariebing.theheritagesource.com/tag/lipo-battery/p>
 (표 4)
<https://oscarliang.com/how-to-choose-battery-for-quadcopter-multicopter/>
 (그래프 3)
<http://www.marketsandmarketsblog.com/wireless-charging-market-at-interesting-shift-ahead-an-overview.html>