탑재비행시험용 POD 무선 점검 시스템 개발 및 검증

고 명 준^{*,1)}

¹⁾ 국방과학연구소 제1기술연구본부

Development and Verification of Wireless Check-up System of POD for Captive Flight Test

Myoungjun Ko^{*,1)}

¹⁾ *The 1st Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea*

(Received 9 December 2020 / Revised 1 February 2021 / Accepted 10 February 2021)

Abstract

In this paper, we studied a method of wirelessly checking up the POD for captive flight tests which is performed during the development of guided weapons systems. The wireless power transfer module, the power distribution device, and the battery pack were designed to wirelessly power the captive flight test POD, and the communication device was designed to enable wireless communication between the POD and the check-up device. The communication device was designed to enable WiFi, IR communication, and laser diode communication, so that various communication methods could be tested. Through the performance test, it was confirmed that power was stably supplied to the captive flight test POD, and the wireless communication performance was verified by measuring the delay time and error rate. As a result, by using our system the POD check-up for the captive flight test was performed wirelessly and the data of the captive equipment could be obtained effectively.

Key Words : Captive Flight Test(탑재 비행 시험), Wireless Check-up System(무선 점검)

1. 서 론

유도무기체계 개발 중에는 요구 성능을 검증하기 위하여 유도무기 비행시험이 필수적으로 수행된다. 하지만 유도무기 비행시험은 많은 예산, 시간, 인력이 필요할 뿐만 아니라 큰 위험성을 내포하고 있다. 그러

므로 실제 유도무기 비행시험을 수행하기 전 항공기에 탑재장비를 장착하여 성능을 검증하는 탑재비행시험(CFT, Captive Flight Test)이 많이 활용되고 있다^{1,2)}. 탑재비행시험은 항공기의 외부연료탱크와 형상, 중량 등 물리적 특성이 동일한 탑재시험체(POD)를 설계 및 제작하여 수행한다. POD를 장착한 항공기는 유도무기와 유사한 비행 궤적으로 운행하며 POD내 탑재된 위성항법장치, 거리측정계, 관성항법장치 등의 항법장치 성능을 시험한다. 그리고 탑재시험체가 지상체계와 통

* Corresponding author, E-mail: miung3@add.re.kr

Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

신하며 지령유도를 포함한 복합유도방식의 유도무기 성능을 시험하기도 한다^[3]. 또한, 탑재비행시험으로 마이크로와 탐색기의 송신파형에 대한 지면 반사특성을 연구한 사례도 존재한다^[4].

탑재 비행 시험은 적은 예산, 시간, 인력으로 실제 비행시험과 유사한 데이터를 획득할 수 있고, 여러 비행 궤적을 반복수행할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 항공기와 연동하여 운용되는 시험이 그만큼 항공기의 안전을 위해 철저한 준비와 점검이 필요하다.

Fig. 1. Conventional POD check-up system

기존의 POD 점검은 Fig. 1과 같이 전원공급 및 점검 장비와의 통신을 위해 케이블 연결이 필요하였다. POD에 전원공급기를 연결하여 각종 장비에 필요한 전력을 공급하였고, 통신 케이블을 점검장비와 연결하여 점검을 수행하였다. 이러한 방식으로 점검을 진행할 경우 케이블이 여러 가닥으로 구성된 유선통치이기 때문에 취급이 불편하고 커넥터의 핀 접촉 불량 발생할 수 있다. 또한 항공기 이착륙 전/후 프로펠러가 구동 중인 항공기에 접근하여 케이블을 연결/분리해야 할 상황도 존재하였다. 그렇기 때문에 [5]에서 POD에 배터리와 WiFi 통신 모듈을 장착하여 무선 점검을 하는 방법이 연구되었지만, 주기적으로 배터리를 케이블에 연결하여 충전해야 했고 데이터 전송량을 최소화하여 탑재장비의 정상유무만 무선으로 확인할 수 있었다.

오늘날 니콜라 테슬라의 무선전력전송에 대한 연구를 시작으로 여러 가지 무선전력전송 기술에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다^[6]. 군수에서도 무선전력전송 기술 적용을 위한 연구가 활발히 진행되고 있는데 특히 유도무기체계에서 배꼽 케이블과 커넥터가 없이 무선으로 전력전송 및 통신을 하는 무선배꼽장치가 연구되고 있다^[7].

본 논문에서는 케이블 없이 POD에 무선으로 전력을 공급하고, POD와 제어신호 및 탑재장비의 상태 데이터를 무선으로 통신하는 방법에 대해 연구하였다. POD에 무선으로 전력을 공급하기 위해 무선전력전송 모듈을 설계하였고, POD와 점검장비 간 무선통신을 위해 통신장치를 설계하였다. 통신장치는 WiFi 통신, IR 통신, Laser diode 통신이 모두 가능하도록 설계하여 장단점이 있는 다양한 통신 방식에 대하여 시험하였다.

2장에서는 무선전력전송 및 무선통신을 위한 새로운 POD 시스템 설계에 대해 상세히 설명한다. 3장에서는 새롭게 설계된 POD의 무선전력전송 및 무선통신 성능을 시험하고, 그 결과를 정리한다. 4장에서는 새롭게 설계된 POD를 가지고 점검장비와 무선점검을 진행한 결과에 대해 정리하고, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 시스템 구성

Fig. 2. System configuration

탑재비행시험용 POD에 무선 전원공급 및 통신하기 위한 시스템 구성은 Fig. 2와 같다. 먼저 POD에 무선으로 전력을 전송하기 위한 송수신 무선전력전송 모듈과 안정적인 전원 공급 및 항공기 이착륙 전/후와 같이 무선전력전송 모듈이나 항공기로부터 전원을 공급받지 못할 경우를 위해 배터리 팩이 존재한다. 그리고 탑재비행시험 대상인 탑재장비와 각 장비로 전원

을 분배하는 전원분배 장치, 탑재장비의 데이터를 저장하는 저장장치, 탑재장비를 제어 및 항공기와 연동을 하는 제어 컴퓨터, 무선 통신을 위한 통신장치가 있다.

2.1 무선전력전송 모듈

POD에 무선으로 전원을 공급하기 위해선 먼저 POD 내부 탑재장비에서 소모하는 전력량을 파악해야한다. Table 1에 장비별 전력 소모량을 정리하였다.

Table 1. Power consumption of captive equipments

탑재장비	용량 (W)
거리측정계	5.9
항법장치1	15.5
항법장치2	3.2
제어장치	12.6
원격측정장치	33.4
제어컴퓨터 및 저장장치	40
통신장치	10
기타 장비	3
총 계	123.1

Table 1에서 알 수 있듯이 안정적으로 전원을 공급하기 위해선 탑재장비에 총 123.1 W 이상의 전력을 공급할 수 있어야한다. 무선전력전송 모듈 전압은 전원분배장치에서 28 V로 변환되어 탑재장비로 공급된다. 전원분배장치 내에 DC-DC 컨버터는 입력전압이 20~30 V일 때 효율이 80~90 %이므로, 무선전력전송 모듈은 약 154 W 이상의 전력을 공급할 수 있어야 한다. 무선전력전송 모듈은 TESLAS사의 무선전력전송 제품 WPS BW30-12V를 6개 사용하여 설계하였다. 무선전력전송 제품 WPS BW30-12V는 220 V AC전원을 공급받아 자기유도방식으로 12 V / 2.5 A(30 W)의 전력을 전달해주는 전원장치이다. 전원분배장치의 정격 입력 전압 및 전력변환 효율을 고려하여, 제품 2개를 직렬로 연결 후 24 V / 2.5 A를 만들고 총 3팩을 병렬로 연결해서 24 V / 7.5 A(180 W)를 만들었다. 그리고 무선전력전송 모듈의 전류 및 전압은 점검장비에서 실시간으로 확인할 수 있도록 하였다. 무선전력

전송 제품은 아크릴로 직사각형 케이스를 만들어 론저론에 장착될 수 있도록 하였으며, 송신장치와 수신장치 사이 간격은 25 mm가 넘지 않도록 균일하게 배치하였다. POD 표면 재질은 알루미늄 계열로 상대투자율과 도전율이 낮아 차폐역할을 하기 때문에 점검 중에는 임시로 POD의 하부 스킨을 제거하고 점검을 하였다. Fig. 3과 Fig. 4에 무선전력전송 모듈의 배치 및 기구 형상을 나타내었다.

Fig. 3. Wireless power transfer module receiver

Fig. 4. Wireless power transfer module transmitter

2.2 배터리 팩

배터리 팩은 항공기 이착륙 전/후와 같이 무선전력 전송 모듈이나 항공기로부터 전원을 공급받지 못할 때 혹은 탑재비행시험 도중 항공기 전원이 불안정할 경우 POD에 전원을 공급하기 위해 사용된다. 배터리 팩은 공칭전압이 3.7 V, 만충전압이 4.2 V이고 용량이

2.6 Ah인 리튬이온 배터리 12 cell을 이용하여 설계하였다. 먼저 6 cell의 리튬이온 배터리를 직렬로 연결하고, 이를 다시 병렬로 2팩 연결하여 공칭전압과 만충전압이 각각 22.2 V와 25.2 V이고, 용량이 5.2 Ah가 되도록 만들었다. 그리고 배터리 팩에는 운용 시 안정성을 고려하여 PCM(Protection Circuit Module) 보호회로를 적용하였다. 배터리팩은 무선전력전송 모듈과 마찬가지로 전류 및 전압을 점검장비에서 실시간으로 확인할 수 있도록 하였다. 외부 하우징은 장착 및 탈착이 용이하도록 슬라이딩 방식으로 설계하였다(Fig. 5).

Fig. 5. Battery pack

Table 1에서 알 수 있듯이 POD의 소모 전력이 약 123.1 W이므로 배터리만으로 POD를 1시간가량 운용이 가능하다. 그러므로 항공기 이착륙 전/후에 POD를 점검하기 충분한 용량이다.

2.3 전원분배장치

전원분배장치는 무선전력전송 모듈 전원(24 V)과 항공기전원(28 V) 그리고 배터리전원(22.2 V)을 상황에 맞게 POD 내부 탑재장비의 전원 규격으로 변환하여 각 장비로 공급해준다. 전원분배장치의 내부 구성은 Fig. 6과 같다.

Fig. 6. Power distribution device configuration

2.4 통신장치

통신장치는 POD와 점검장비가 무선으로 통신을 할 수 있도록 해주는 장치이다. 통신장치는 WiFi 통신과 IR 통신, Laser Diode 통신이 모두 가능하도록 설계하였다. WiFi 통신과 IR 통신은 데이터 통신을 하는데 사용되고, Laser Diode 모듈은 디스크리트 신호를 전송하는데 사용된다. 통신장치는 네트워크 성능 보장을 위해 지연시간과 데이터 손실 및 오류율을 고려하여 설계해야한다. 그러므로 지연시간과 오류율을 측정하는 통신시험을 진행하였고, 이는 3.2절에 서술하였다.

Fig. 7. Communication device configuration

WiFi 통신은 점검장비와 제어컴퓨터 간의 제어신호를 송수신하고 탑재장비의 상태 정보 데이터를 전송한다. 제어신호와 탑재장비의 상태 정보 데이터는 신뢰성 있는 전송이 중요하므로 TCP/IP 프로토콜을 적용하였다. 그리고 혹시 통신 불량일 것을 대비하여 POD내 저장장치에 백업 데이터가 저장되도록 하였다.

IR통신은 IrDA 프로토콜로 구현했으며, WiFi통신과 마찬가지로 제어신호 송수신 및 탑재장비데이터 전송을 한다. WiFi통신은 전송 속도가 빠르고 안정적이거나 정보 유출 혹은 해킹의 위험이 있기 때문에 적절한 보안대책을 갖추는 것이 중요하다. 반면에 적외선을

전달매체로 통신하는 IR통신은 WiFi 통신에 비해 전송속도가 느리지만 통신거리가 짧고 정해진 각도에서만 통신이 가능하므로 보안성 측면에서는 유리하다. 실제로 WiFi 통신 혹은 IR 통신을 사용자가 선택할 수 있도록 시스템을 설계하였다.

유도탄 시스템에서 장치의 상태를 나타내거나 명령을 출력하기 위해 OPEN / GND 혹은 28 V / OPEN과 같이 ON / OFF 신호를 이용하여 장비를 제어하는 디스크리트 신호트 신호는 Laser Diode 모듈로 구현했다. 통신장치에 각각 Laser diode와 Photo diode 회로를 설계하여 Laser diode의 발광 유무로 디스크리트 신호를 송수신한다. Laser diode와 Photo diode의 설계회로는 아래 Fig. 8 및 Fig. 9와 같다.

Fig. 8. Laser Diode module transmitter

Fig. 9. Laser Diode module receiver

3. 성능 시험

POD에 무선 전력공급 및 통신을 위해 무선전력전송 모듈, 배터리팩, 전원분배상자 그리고 통신장치를 설계하였고, 이들의 성능 확인하기 위하여 아래와 같이 시험을 진행 하였다.

Fig. 10. Performance test progress

3.1 무선전력전송 모듈 및 배터리 팩 동작 시험

무선전력전송 모듈과 배터리팩은 모두 통신장치와 연결되어 전류 및 전압값을 점검장비에 전송한다. 또한 전원분배장치는 무선전력전송 모듈로부터의 전원 공급 유무에 따라 배터리 전원을 차단하거나 인가한다. Fig. 11은 무선전력전송 모듈로부터 전원을 공급 받을 때 무선전력전송 모듈과 배터리팩의 전류 및 전압값이다. 무선전력전송 모듈로부터 75.7 W의 전력이 공급되고 있고, 이에 따라 배터리팩 전원은 차단되어 있는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 11. Wireless power transfer module and battery pack operation test

동작시험 결과 무선전력전송 모듈과 배터리팩 모두 탑재장비에 안정적으로 전원 공급하는 것을 확인할 수 있었다.

3.2 통신성능시험

통신장치의 네트워크 성능이 보장되어야 실제 무선 POD 점검이 가능하므로 통신성능시험을 수행하였다. 통신성능시험은 WiFi 통신과 IR 통신에 대한 지연시간 및 오류율을 확인하였고, Laser diode 모듈의 응답

성능을 측정하였다.

먼저 지연시간 확인은 점검장비에서 작성한 데이터를 송신 후 이를 다시 수신할 때까지 걸리는 평균 시간을 측정하였다. 그리고 송신한 데이터와 다시 수신된 데이터를 서로 비교하여 오류율을 구하였다. 이 때 데이터의 프레임 크기와 개수를 바꿔가며 시험하였고, 프레임 별로 지연시간과 데이터 일치여부를 확인하여 평균 지연시간과 오류율을 계산하였다.

먼저 Fig. 12와 Fig. 13은 WiFi 통신의 지연시간 및 오류율을 측정한 시험이다. 프레임크기가 10 word와 100 word인 데이터를 각각 1000번 전송하였고, 지연시간은 7.9 ms와 42.78 ms 그리고 오류율은 모두 0 %가 측정되었다.

Fig. 12. WiFi communication latency and error rate (frame size: 10 word)

Fig. 13. WiFi communication latency and error rate (frame size: 100 word)

Fig. 14와 Fig. 15는 IR 통신의 지연시간 및 오류율을 측정한 시험이다. 마찬가지로 프레임크기가 10 word와 100 word인 데이터를 각각 1000번 전송하였고, 지연시간은 각각 12.22 ms와 62.8 ms 그리고 오류율은 모두 0 %가 측정되었다.

Fig. 14. IR communication latency and error rate (frame size: 10 word)

Fig. 15. IR communication latency and error rate (frame size: 100 word)

Fig. 16. Laser diode module reaction rate test

위 시험결과로 알 수 있듯이 WiFi 통신과 IR 통신 모두 오류 없이 통신하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, POD를 점검하는데 문제없는 지연시간이 측정되어 실제 무선으로 POD 점검을 수행할 수 있었다.

마지막으로 Laser diode 모듈은 신뢰성과 응답성능을 시험하기 위해, Laser diode 회로에 사각파형을 인가 후 Photo diode 회로의 반응속도를 측정 하였다. Fig. 16은 Laser diode 회로에 350 KHz 임펄스를 인가

하여 반응속도를 측정한 데이터이다. 시험결과 Laser diode 모듈은 오류 없이 디스크리트 신호를 전송하였고, 반응속도는 약 780 ns로 측정되었다. 1 ms 이하의 반응속도로 디스크리트 신호를 전송할 수 있어 실제 유도무기 시스템에 적용 가능함을 확인하였다.

4. POD 무선점검

새롭게 설계된 POD의 무선전력전송 및 무선통신 성능을 시험한 후, 이를 바탕으로 실제 POD 무선 점검을 수행하였다. POD 무선점검은 설계된 무선전력전송 모듈, 배터리 팩, 전원분배상자, 통신장치를 이용하여 탑재장비를 무선으로 점검한다.

Fig. 17은 정상적으로 무선 점검이 진행되고 있는 점검화면이다. 이와 같이 점검장비와 POD를 연결해주는 케이블 없이 무선으로 거리측정계, 항법장치 등과 같은 탑재장비의 데이터를 효과적으로 얻을 수 있었다. 또한, 기존에 유선으로 전원공급 및 데이터를 획득하는 방식과 달리 무선점검은 POD를 이동하며 다양한 조건에서 센서의 정상 동작 여부를 확인할 수 있었다.

Fig. 17. Display of captive equipments status

5. 결 론

본 논문에서는 탑재비행시험용 POD에 무선으로 전원공급 및 통신하는 시스템을 설계하였다. 무선전력전송 모듈과 전원분배장치, 배터리 팩을 이용하여 케이블 체결 없이 탑재장비에 전원 공급이 가능하도록 설계하였고, 성능시험을 통해 안정적으로 전원이 공급되는 것을 확인하였다. 또한 통신장치를 설계하여 탑재시험용 POD와 탑재장비가 무선으로 통신하도록 하였다. 통신장치는 WiFi 통신, IR 통신, Laser diode 통신

이 모두 가능하도록 설계하였으며, 지연시간 및 오류율을 측정하며 통신 성능을 시험하였다. 실제 무선으로 POD 점검을 수행하였으며, 탑재장비의 데이터를 효과적으로 얻을 수 있었다.

향후 탑재비행시험용 POD를 넘어 다양한 무기체계에서 무선점검이 가능하도록 안정적인 무선 전원공급 및 통신 방법에 대해 연구를 이어나갈 것이다.

References

- [1] S. Lee, S. Lee, H. Oh, and D. Sung, "Test and Evaluation of Onboard Equipments for Guided Missile via Captive Flight Test," Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 35, No. 1, pp. 73-78, Jan., 2007.
- [2] H. Yeom, J. Oh, and D. Sung, "A Study on Technique of Development Test by an Aircraft Captive Flight Test in Weapon System," Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol. 37, No. 10, pp. 1010-1016, Oct., 2009.
- [3] I. Park, W. Heo, Y. Lee and S. Jeong, "Captive Flight Test System Configuration and Verification for Multi-mode Guidance Missile System," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 19, No. 5, pp. 606-612, 2016.
- [4] H. Kim, Y. Byun, and J. Yi, "The Estimation of the Surface Sidelobe Clutter Distribution for the HPRF Waveform of the M/W Seeker," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 12, No. 1, pp. 1-7, 2009.
- [5] S. Ryu, J. Joo, and M. Ko, "A Study on Development of Wireless Check-up Device for Captive Flight Test," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 22, No. 4, pp. 501-508, 2019.
- [6] N. Tesla, Apparatus for Transmitting Electrical Energy, U.S. Patent 1,119,732, 1914.
- [7] H. Eun, S. Jung, J. Jung, D. Ro, C. Kang, and Y. Park, "A Study on Realization of Wireless Umbilical Device for Missile Systems," Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 20, No. 6, pp. 813-821, 2017.