

## 論文

## Fly-By-Wireless 비행제어 기술의 연구 동향

한정수\*, 하철수\*, 오수현\*, 강승은\*, 고상호\*\*

## A Survey on Fly-By-Wireless Flight Control Technology

Jung-Soo Han\*, Chul-Su Ha\*, Su-Hun O\*, Seung-Eun Kang\* and Sangho Ko\*\*

## ABSTRACT

This paper deals with recent research cases and directions of Fly-By-Wireless (FBWLS) flight control technology. FBWLS is a new type of flight control system technology with the aim of solving the problems mainly caused by the increasing amount of wires in aircraft to which Fly-By-Wire (FBW) technology applies. Therefore, in FBWLS flight control system the wired communication system is replaced with a wireless communication system. Currently the FBWLS flight control technology is at an initial development stage and thus this paper surveys deals with the cases in the viewpoint of technology feasibility. In this context, this paper analyzes technology that needs further studies to secure the reliability, stability and accuracy to the similar level of the corresponding FBW system. Since the major problems of FBWLS technology are packet losses and time delays so that this paper suggests the research direction of wireless communication protocol selection, optimization of wireless communication network and controller design considered communication environment.

**Key Words** : Fly-By-Wireless(무선식 제어), Fly-By-Wire(유선식 조종법), Wireless Communication Technology (무선 통신 기술)

## 1. 서 론

항공기 제어 기술은 기계식·유압식의 장비를 전자식·전기식 장비로 교체한 Fly-By-Wire (FBW) 시스템이 적용되면서 비약적인 발전을 이루었다. 민간 여객기의 경우 Airbus의 A320 기종, Boeing의 B777 기종을 포함한 후속 여객기에서 기체 전체의 FBW 시스템을 채택하고 있다[1]. 항공기 제어 기술이 발전함에 따라 요구되는 센서와 액추에이터의 수가 증가하였고 이에 따라 신호를 전달하기 위한 전선의 수도 증가하였다. 이는 Fig. 1과 Fig. 2를 통해 확인할 수 있다.

2014년 01월 10일 접수 ~ 2014년 03월 19일 심사완료  
논문심사일 (2014.01.10, 1차), (2014.03.05, 2차)

\* 한국항공대학교 대학원 항공우주 및 기계공학과

\*\* 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

연락처, E-mail : sanghoko@kau.ac.kr

경기도 고양시 덕양구 항공대학교 76

Fig. 1은 지난 35년간 항공기 내의 전기전자 장비 수와 신호의 수의 변화를 나타낸 그래프이다. 전자장비의 수가 늘어남에 따라 신호의 수가 늘어난 것을 확인할 수 있으며 2007년에는 전자장비의 수가 줄어들었음에도 신호의 수는 여전히

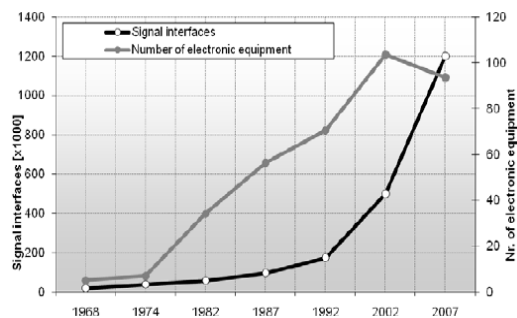


Fig. 1 Number of Electronic equipment and Signal Interfaces on board Aircraft [2]

증가한 것을 확인할 수 있다. Fig. 2에서는 약 40년간 각 항공기에서 사용되는 소프트웨어와 신호의 숫자를 보여주고 있으며 시간이 지남에 따라 기하급수적으로 증가하는 형태를 나타내고 있다 [3].

전선 하나를 통하여 동시에 전달할 수 있는 신호의 수는 한정되어있기 때문에 신호 수의 증가는 전선 수의 증가와 직결된다. 그리고 전선 수의 증가는 항공기의 부피와 무게의 증대를 초래하며 이는 연료 효율 및 조종성 저하의 문제를 야기한다. 또한 전선의 수가 많아짐에 따라 배선 설계가 복잡하게 되며 유지 보수 측면에서도 정비성과 신뢰성 측면에서 문제가 발생한다.

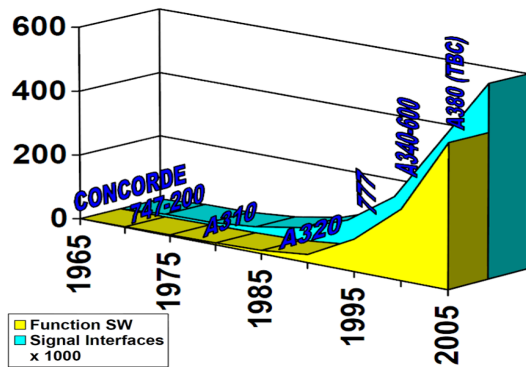


Fig. 2 Installed Function Software (SW) and Signal Interfaces on board Aircraft [3]

참고문헌 [4]의 의하면 Boeing 747은 총 전선 길이가 200km이며 무게는 1600kg에 달한다. 참고문헌 [7]에서 추산한 바에 따르면 전선의 무게는 이는 2010년을 기준으로 \$2200/kg의 경제적 비용을 발생시키며 B-747의 경우 연간 약 3.5백만 달러의 비용을 발생한다.

그리고 전선 수의 증가는 경제적 비용뿐만 아

니라 치명적인 문제를 발생시키기도 한다. 유지 보수 측면에서 노후화된 전선은 발견하기 어려우며 비행 중에 문제가 발생할 경우 치명적이다. 참고문헌 [5]에 의하면 1996년 7월, TWA No.800 Boeing 747-131은 연료센서 전선에서 발생한 아크가 중앙연료탱크를 폭발시키는 사고가 발생하였고, 1998년 9월, 스위스항공 No.111 MD11은 비행엔터테인먼트 시스템과 관련된 전선에서 시작된 화재가 조종실까지 번졌다고 한다. 그리고 미 해군에 의하면 전기적 고장 때문에 6대의 군용기를 잃었으며, 와이어 문제로 매년 78대의 군용기가 임무 불가 상태가 되고 1,000회 이상의 임무가 취소되었다[6].

FBW 시스템에서 전선 문제가 발생하기 때문에, 이를 해결하기 위해 고안된 시스템이 Fly-By-Wireless (FBWLS)이며, FBWLS는 FBW에서 사용하는 전선을 무선 통신으로 대체한다.

본 논문에서는 FBWLS의 연구 사례들을 조사하였으며 FBWLS의 연구 동향을 정리하며 연구 방향을 제시하였다.

## 2. FBWLS 연구 사례

### 2.1 Wireless Flight Control System [8]

1999년, NASA의 Dryden Flight Research Center에서 Wireless Flight Control System (WFCS)을 구현하였다.

2.4GHz 대역의 Radio-Frequency Identification (RFID) 무선 통신을 사용하여 FBW의 일부분을 WFCS으로 대체하는 시스템을 개발하였다. 먼저 기존의 FBW의 백업시스템으로 WFCS를 사용하

Table. 1 Research Case of FBWLS

년도	1999	2006	2008	2011
항공기 종류	F-18 Iron Bird	AIVA UAV	GV 유인 비행기	LAK-20T 글라이더
국가	미국	포르투갈	미국	리투아니아
프로토콜	RFID IEEE 802.11 WLAN	Bluetooth IEEE 802.15.1	unknown	ZigBee IEEE 802.15.4
적용	1개 액추에이터	6개 액추에이터	1개 액추에이터	2개 센서
실험 환경	실험실 (지상)	실험실 (지상)	비행 테스트	실험실 (지상)
참고 문헌	[7]	[8]	[9, 10]	[11]

여, 제어시스템을 이중화 (Redundancy)시켜서 안전성과 신뢰성을 향상시키는 목적을 갖고 있다. 또한 WFCS의 성공여부로부터 FBW의 부피, 무게 및 비용을 감소시킬 수 있는 가능성을 판단하는 부가적인 목적도 갖고 있다.

WFCS는 Flight Control Computer (FCC)와 Actuator 사이의 연결을 RFID로 대체하는 것이다 (Fig. 3) F-18 Iron Bird의 FCC와 왼쪽 Aileron 사이를 RFID로 연결하고 통신 모듈의 전원 장비를 추가한 시제품으로 지상테스트를 하였다 (Fig. 4).

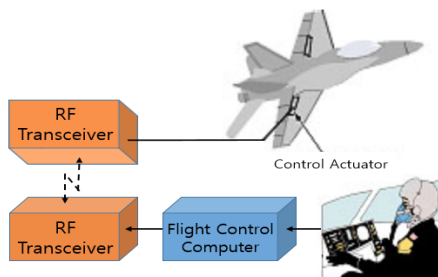


Fig. 3 The Wireless Flight Control System [8]

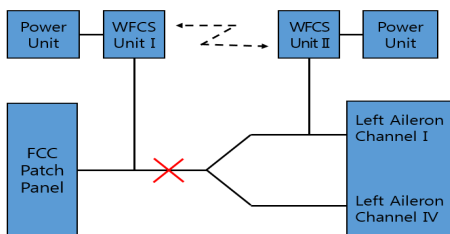


Fig. 4 Prototype WFCS System on F-18 Iron Bird [8]

WFCS는 모든 제어기에 대하여 요구 성능을 만족시켰으며, FBW와 동등한 성능을 내는 것을 실험을 통해 확인했다. 또한 통신이 영향을 받을 만한 전자적 간섭 상황에서의 테스트와 비행 테스트를 진행하고자 연구 중에 있다고 언급했다.

## 2.2 FBWLS 무인항공기, AIVA [9]

2006년, 포르투갈의 University of Minho에서 2004년 9월부터 시작한 프로젝트를 통해 FBWLS 시스템을 탑재한 AIVA 무인항공기를 개발하였다.

AIVA의 크기는 날개스팬 4.8m, 동체길이 2.9m, 높이 1.25m이다. AIVA는 2.4GHz 대역의 IEEE 802.15.1 규격 기반 블루투스 무선 통신을 사용하여 계기 유닛과 처리 유닛 사이의 FBWLS를 구현하였다. 또한 기존의 시스템에서 사용되던 복잡하고 중심적인 하나의 처리 유닛을 간단한 처리 유닛으로 나누어 항공기 전체에 분포시켰다. 블루투스 피코넷과 마스터 처리 유닛이 연결되어 있으며, 비행 제어 유닛, 데이터 로거 및 지상 링크 유닛, 임베디드 비전 시스템 (EVS) 유닛까지 총 4개의 처리 유닛을 연결시켜 분산 제어 시스템까지 구현하였다 (Fig. 5).

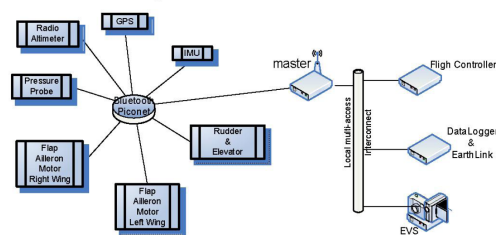


Fig. 5 Schematic of Platform on AIVA [9]

AIVA는 Master Module (MM) 1개와 Slave Module (SM) 6개, 총 7개의 블루투스 유닛이 블루투스 피코넷을 구성하고 있다 (Fig. 6).

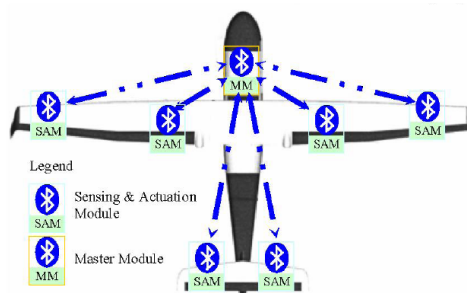


Fig. 6 Node Distribution on AIVA [9]

AIVA는 15Bytes의 샘플링 패킷을 사용하여 모든 SM이 MM에게 전송하는 조건 (Uplink Direction Condition)에서 지상 테스트를 하였다.

샘플링 주파수가 200Hz를 넘어가면 처리속도가 160kbps로 수렴하는 결과는 블루투스의 기본적인 처리속도인 1Mbps에 한참 부족한 성능이다

(Fig. 7). 이는 SM이 MM에게 전송을 허가받는 과정 등을 포함한 블루투스 프로토콜의 특성으로 설명할 수 있다.

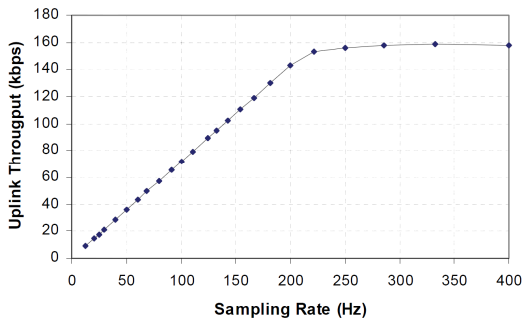


Fig. 7 Sampling Rate and Uplink Throughput in AIVA Ground Test [9]

Figure 8을 보면 200Hz 이하는 SM에서 발생한 손실률의 평균 패킷 손실률이 0.5% 미만으로 안정되어 있지만, 그 이상에서는 평균 패킷 손실률이 급증한다. 따라서 높은 신뢰성을 얻기 위해서는 200Hz이하의 샘플링 설정을 해주어야 한다.

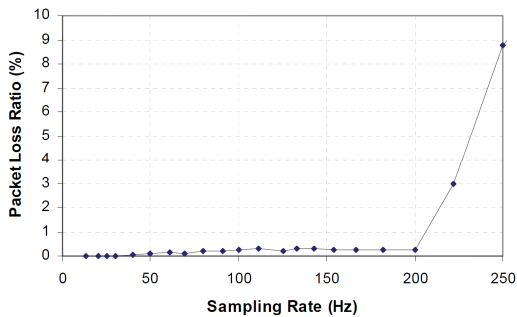


Fig. 8 Sampling Rate and Packet Loss Ratio in AIVA Ground Test [9]

또한 안정적인 200Hz 이하의 평균 지연 시간은 27ms이며 표준 편차는 16ms로 측정되었다. Fig. 9은 발생하는 지연 시간에 대한 확률을 분포시킨 것이다. 예를 들면 90ms 이상의 지연 시간이 발생하는 확률은 1% 이하이다. 그리고 슬레이브 숫자가 4개, 5개, 6일 때, 각각 40ms, 600ms, 1000ms까지 평균 딜레이가 발생하였다.

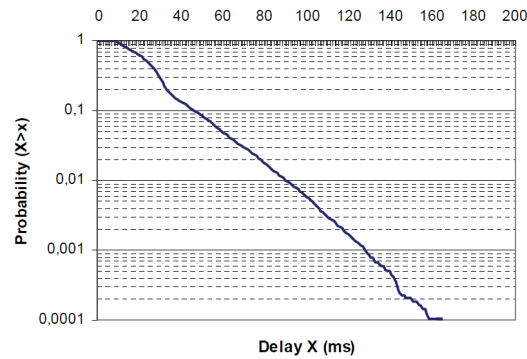


Fig. 9 Cumulative Distribution Graph of Delay [9]

### 2.3 FBWLS 시험 항공기 [10, 11]

2008년, Gulfstream aerospace corp.에서GV 시험 항공기에 부분적인 FBWLS를 적용하여 2시간 동안 비행 시험을 하였다.

GV 시험 항공기는 Aileron은 기계식, Outboard spoiler는 FBW, Mid-spoiler는 FBWLS, Inboard Spoiler는 Fiber Optic Fly by Light (FBL)를 적용하였다. 즉, 조종입력으로 서로 다른 4개의 시스템을 작동시키는 것이며, Georgia의 Savannah 상공에서 비행 시험을 하였다.

항공기는 2시간 동안 성공적으로 순항하였다. 단 1개의 액추에이터에 FBWLS를 적용했지만, 다른 시스템과 비교해도 FBWLS의 성능은 동등하다는 것을 입증하였다. Gulfstream은 FBWLS에 대해 시스템의 안전성과 신뢰성 감소 없이 복잡성과 중량 감소를 기대한다며 긍정적인 의사표현을 하였다. FBWLS에서 사용된 신호 특성이 FBW와 FBL에서 사용된 신호 특성과 다를 것이 없기 때문에, 중복성을 높이는 백업시스템으로 바로 사용할 수 있을 것이라는 언급을 하였다.

### 2.4 Wireless Measurement Information System [12]

2011년, Vilnius Gediminas Technical University에서 무선 Measurement Information System (MIS)를 적용한 글라이더를 제작하였다.

MIS는 센서 데이터를 저장과 처리하는 시스템이

다. 기존 MIS는 복잡한 중심 처리 유닛 하나가 측정 및 제어 유닛들과 유선 연결되어 있었다. 유선 연결에서 앞서 언급한 문제점들이 발생되면서, 무선 MIS 개념이 고안되었다 (Fig. 10). 무선 MIS에 사용된 무선 통신 기술은 2.4 GHz 대역의 IEEE 802.15.4 규격 기반의 ZigBee 무선 통신을 사용하였다.

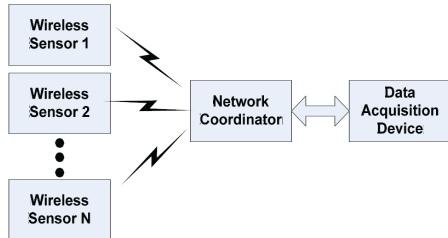


Fig. 10 the Wireless Measurement Information System [12]

LAK-20T 글라이더에 무선 MIS를 적용하고 활공 테스트를 하였다. 활공 속도 데이터를 2Hz로 샘플링하여 약 10분간 근접한 무선 센서 노드 2개에서 전송하여 PC에서 확인하였다 (Fig. 11).

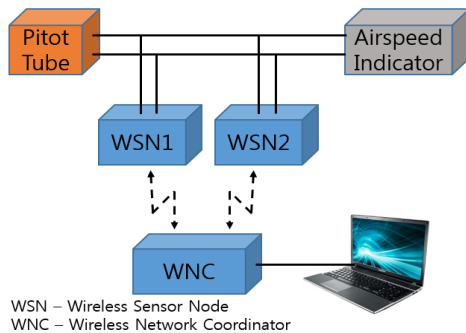


Fig. 11 Wireless MIS Components [12]

두 센서가 다른 시점에서 샘플의 손실이 생긴 결과를 얻었다 (Fig. 12). 하지만 센서를 여러 개 사용함으로써 중복성을 높여서 신뢰성을 보완할 수 있다.

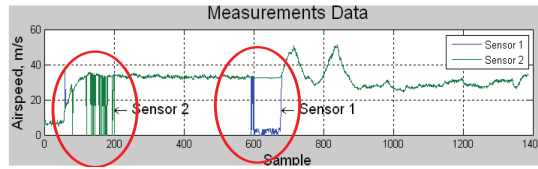


Fig. 12 Data Collected from each Sensor [12]

## 2.5 기타

미국은 이미 1996년에 'Wireless Flight Control System'이라는 명칭으로 특허 등록이 되어 있다. 또한 캐나다의 CANEUS Org.는 2007년부터 꾸준히 FBWLS 워크숍을 개최하고 있다.

## 3. FBWLS 구현을 위한 과제

### 3.1 무선 통신 규격 선택

연구 사례들은 RFID, 지그비, 블루투스 등 특정 무선 통신 규격을 사용하여 FBWLS를 구현하였다. 표2는 최근에 각광받는 무선 통신 규격들의 중요 정보들을 나타낸 것이다[13]. FBWLS를 구성하는데 있어서 중요한 것에는 전력 소비량, 전송 속도, 노드, 토폴로지 등이 중요하다.

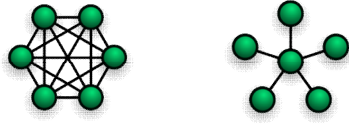
한정된 에너지를 사용하는 항공기이기 때문에 가능한 한 적은 에너지 소비량으로 구현이 되어야 한다.

또한 유선 시스템의 신호 전송 속도에는 못 미치더라도 가능하면 전송 속도가 빠른 무선 통신 기술을 선택하여야 항공기 제어 시스템에 영향이 적다.

그리고 노드 허용량이 큰 무선 통신 기술이어야 한다. UAV AIVA에 적용한 무선 통신 규격인 블루투스는 최대 네트워크 노드가 8개이기 때문에 블루투스 피코넷 구성을 7개의 노드로 구성할 수 있었다. 하지만 실제 항공기에 FBWLS를 적용할 경우 블루투스와 같이 허용 노드가 적은 통신규격은 적합하지 않다.

네트워크 토폴로지는 노드의 구성 형태를 말하는데, 이 형태에 따라 초기 설치비용, 통신의 용이함 측면에서 장단점이 생긴다 (Fig. 13). Mesh

형태는 전선 등의 초기 설치비용이 가장 크지만, 목표 노드까지 최단거리 전선에 불량이 생기더라도 우회로를 거쳐서 목표 노드로 통신을 가능케 한다. Star 형태는 확장성과 유지보수가 용이하지만 중앙 전송 장치에 문제가 생기면 네트워크 전체가 마비된다.



< Mesh Type >      < Star Type >

Fig. 13 Network Topology Type

### 3.2 무선 통신 네트워크 최적화

FBWLS에 사용하는 무선 통신 규격이 선정되면 신뢰성을 최대한으로 확보하면서 에너지 소모를 최소한으로 하는 프로토콜, 제어기, 토폴로지 최적화가 필요하다.

무선 통신 기술에는 프로토콜이 필요하며 프로토콜을 어떻게 설계하느냐에 따라 신뢰성과 에너지

소비가 달라진다. 현재 지그비 프로토콜은 신뢰성보다는 에너지 효율 극대화에 초점을 맞추고 있으며[14], FBWLS에 사용할 정도의 신뢰성은 갖추어지지 않은 상태이다. 그러므로 지그비를 FBWLS에 적용하기 위해서는 프로토콜 설계시 신뢰성에 대한 하한조건이 추가되어야 한다.

참고문헌 [15, 16]에서는 무선 통신 프로토콜과 무선 네트워크 기반 제어기만을 고려한 시스템 최적화 연구를 수행하였다. 구속조건을 갖는 최적화 문제의 해법을 다음과 같이 제시한다.

$$\min_{V, L} E_{tot}(V, L) \quad (1)$$

s.t.

$$R(V, L) \geq R_{min} \quad (2)$$

$$E[D(V, L)] \leq D_{max} \quad (3)$$

$$V_0 \leq V \leq V_m \quad (4)$$

$$L_0 \leq L \leq L_m \quad (5)$$

위의 식은 프로토콜 파라미터  $V$ 와 항공기에 배치되는 네트워크 노드들의 위치정보  $L$ 을 추가

Table. 2 Compare of Wireless Communication Technology [12]

	ZigBee	Bluetooth	WiFi
표준 규격	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.4	IEEE 802.11 WLAN
대역	2.4 GHz	2.4 GHz	2.4 GHz
전력 소비량	low	medium	high
배터리 수명	years	months	days
통신 거리	10 - 100 m	10 - 30 m	10 - 50 m
최대 전송 속도	250 Kbps	1 Mbps	50 Mbps
시스템 리소스	32 kb	250 kb	1 Mb
네트워크 토폴로지	Ad hoc, Mesh, Star	Ad hoc, Point to Point, Star	Point to Hub
최대 네트워크 노드	65535 개	8 개	50 개
최초 접속 시간	30 ms	3 s	10 s
암호화	128 bit	128 bit	Subsystem Identification
장비 가격	low	medium	high
유지 가격	low	medium	high
장비&적용 용이성	high	medium	low
확장성	능동	수동	네트워크 환경에 영향
적용	모니터링 시스템, 센서 네트워크, 오토메이션 시스템	무선 통화, 무선 전송	이메일, 영상, 웹

적으로 고려하여, 무선 센서 네트워크 신호 전송과 수신에 소요되는 에너지 총합  $E_{tot}$ 를 최소화시킨다는 의미이다. 이 때,  $R(V, L) \geq R_{min}$ 의 신뢰성 조건,  $E[D(V, L)] \leq D_{max}$ 의 시간 지연에 대한 기대치 조건,  $V_0 \leq V \leq V_m$ ,  $L_0 \leq L \leq L_m$ 의 파라미터 자체의 제한 조건을 만족하도록 최적화가 이루어져야 한다.

### 3.3 무선 통신 제어 시스템 제어기 설계

무선 통신 네트워크가 신뢰성 조건을 만족시키며 최적화가 이루어졌다고 하더라도 무선 통신은 패킷 손실과 통신 지연 현상이 발생하기 때문에 이러한 문제를 고려하지 않을 수 없다[17]. 이에 대해 참고문헌 [18]에서는 액추에이터 패킷 손실만을 고려한 연구를 수행하였으나, 센서의 패킷 손실과 시간 지연까지 모두 고려하는 전차수 공분산 상한 제어기 (Full-Order Covariance Upperbound Controller)를 설계해야 한다. 이를 위해 확률이 각각  $\Pr[\nu_k = 0] = \nu$ 와  $\Pr[\gamma_k = 0] = \gamma$ 인 Bernoulli 랜덤변수  $\nu_k$ 와  $\gamma_k$ 를 정의하여 센서와 액추에이터의 패킷 손실 확률을 나타내고, 시간지연  $\tau$ 를 고려하여 다음과 같이 모델링을 한다.

· 플랜트

$$x_{k+1}^p = A_p x_k^p + B_p u_k^a + D_p w_k \quad (6)$$

· 출력

$$y_k^p = C_p x_k^p + v_k \quad (7)$$

· 제어기

$$x_{k+1}^c = A_c x_k^c + B_c y_k^c \quad (8)$$

$$u_k^c = C_c x_k^c + D_c y_k \quad (9)$$

· 입력신호

$$u_k^a = \begin{cases} \nu_k u_{k-\tau}^c & \text{패킷이 제대로 전송될 경우 } (\nu_k = 1) \\ 0 & \text{아닌 경우 } (\nu_k = 0) \end{cases} \quad (10)$$

· 제어기 입력신호

$$y_k^c = \begin{cases} \gamma_k y_{k-\tau}^p & \text{패킷이 제대로 전송될 경우 } (\gamma_k = 1) \\ v_{k-\tau} & \text{아닌 경우 } (\gamma_k = 0) \end{cases} \quad (11)$$

s.t.

$$\lim_{k \rightarrow \infty} E\{y_k^p y_k^{pT}\} < \Omega \quad (12)$$

플랜트에서 허용 가능한 출력의 최대 공분산인

Positive-definite 행렬  $\Omega$ 를 만족하는 제어기 행렬  $(A_c, B_c, C_c, D_c)$ 를 구한다. 그리고 센서와 액추에이터에서 패킷 손실확률, 시간 지연 및 허용 최대 공분산  $(\nu, \gamma, \tau, \Omega)$ 이 주어지면, 제어기가 존재할 조건을 구할 수 있다. 즉, 설계할 공분산 상한 제어기 행렬  $(A_c, B_c, C_c, D_c)$ 는 플랜트 행렬과  $(\nu, \gamma, \tau, \Omega)$  변수들의 함수로 표기 가능하다. 공분산 상한 제어를 설계한다면 전자기적 간섭에 영향이 큰 FBWLS 시스템의 패킷 손실과 시간지연이 시스템에 주는 영향을 없애고 신뢰성 및 안정성을 높일 수 있다.

## 4. 결 론

FBWLS는 FBW의 유선 통신을 무선 통신으로 대체한 시스템이다. FBWLS가 실용화되면 전선만큼 무게 감소 효과를 얻을 수 있고, 추가적으로 연료 효율과 조종성 등의 항공기 성능이 증가한다. 시스템 규모가 작은 무인항공기나 제어 시스템의 일부분에 FBWLS를 적용한 사례를 통해 FBW를 대체 할 수 있다는 가능성을 확인할 수 있었다. 하지만 FBWLS를 중대형 유인항공기 전체에 적용하기 위해서는 FBW 수준의 신뢰성이 확보가 되어야하며 이를 위해서 추가적으로 연구해야 할 과제들에 대해 살펴보았다.

## 후 기

본 논문은 지식경제부 산업융합 원천 기술개발 사업으로 지원된 연구 결과입니다. (10040188, 조종성 국제규격 (ADS-33)에 따른 헬리콥터 전자식 비행 제어 시스템 개발)

## 참 고 문 헌

- [1] 이승현, 김웅태, 성기정, "소형항공기를 위한 FBW 시스템과 비행 운영 프로그램 개발," 한국항공우주학회지, 제 21권 1호, 2013, pp.1-7.
- [2] R. Smyth, "Design and development of transport aircraft systems," Oct. 2008, <http://www.fzt.haw-hamburg.de/pers/Scholz/d>

glr/hh/text\_2008\_10\_30\_Systeme\_2006.pdf.

- [3] H. Butz, "Open integrated modular avionic (IMA): State of the art and future development road map at Airbus deutschland," *Signal*, Vol. 10, 2010, pp. 1000.
- [4] W. Cinibulk, "Aircraft electrical wire: wire manufacturers perspective," Sep. 2010, [http://www.mitreaasd.org/atrsac/FAA\\_PI-Eanginer\\_Workshop/2001/aircraft\\_electrical\\_wire.pdf](http://www.mitreaasd.org/atrsac/FAA_PI-Eanginer_Workshop/2001/aircraft_electrical_wire.pdf).
- [5] M. Pantiz, et al, "The opportunities and challenges associated with wireless interconnects in aircraft," *Proc. IMechE*, Vol. 224 Part G: Aerospace Engineering, Apr. 2010, pp.459-470.
- [6] Jerome H. Collins, "The challenges facing U.S. Navy aircraft electrical wiring systems," 9th FAA/DoD/NASA Aging Aircraft Conference, FAA/DoD/NASA Aging Aircraft Conference, Atlanta, GA, 6-9 Mar. 2006.
- [7] H. Marc, "Introduction to wireless systems in aerospace applications," 2008, <http://www.ieee-stc.org/proceedings/2008/pdfs/MH1933.pdf>.
- [8] Karl Kiefer, "adio-frequency wireless flight-control system," *NASA Tech Briefs*, Vol. 24 No. 2, Feb. 2000, pp. 72-73.
- [9] Coelho, T. E., et al. "A Fly-By-Wireless UAV Platform based on a flexible and distributed system architecture", 2006 IEEE international conference on Industrial Technology (ICIT), ICIT, 15-17 Dec. 2006, pp. 2359-2364.
- [10] ASDNews, "Gulfstream Demos Fly-By-Wireless Aircraft Control System," 15 Oct. 2008, [http://www.asdnews.com/news-18057/Gulfstream\\_Demos\\_Fly-By-Wireless\\_Aircraft\\_Control\\_System.htm](http://www.asdnews.com/news-18057/Gulfstream_Demos_Fly-By-Wireless_Aircraft_Control_System.htm).
- [11] Flightglobal, "Gulfstrem Fly-By-Wireless Trials to Continue," 31 Oct. 2008, <http://www.flightglobal.com/news/articles/gulfstream-fly-by-wireless-trials-to-continue-318170>.
- [12] J. Stankunas, D. Rudinskas, and E. Lasauskas, "Experimental Research of Wireless Sensor Network Application in Aviation," *Electronics and Electrical Engineering*, Vol. 111 No. 5, 2011, pp. 41-44.
- [13] '지그비란? 지그비 소개와 특징 about ZigBee', <http://tcplink.com/xenotice/5376>.
- [14] Rama K. Yedavalli, and Rohit K. Belapurkar, "Application of wireless sensor networks to aircraft control and health management systems," *Journal of Control Theory and Applications*, Vol. 9

No. 1, 2011, pp. 28-33.

- [15] Pangun Park, "Modeling, analysis, and design of wireless sensor network protocol," Ph.D. Thesis, KTH School of Electrical Engineering, Stockholm, Sweden, Mar. 2011.
- [16] Pangun Park, Jose Araujo and Karl Henrik Johansson, "Wireless networked control system co-design," International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC), 2011 IEEE International Conference, Delft, Netherlands, 11-13 Apr. 2011, pp.486-491.
- [17] Oroitz Elgezabal, "Fly-by-Wireless (FBWSS): Benefits, risks and technical challenges", German Aerospace Center (DLR), CANEUS Fly-by-Wireless Workshop, Orono, USA, Aug. 2010.
- [18] Sangho Ko, "Covariance upperbound controllers for networked control systems," *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol.26 No.5, 2012, pp. 1607-1614.