

技術論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 43(2), 166-171(2015)

DOI:http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2015.43.2.166

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

모델기반 개발기법과 X-plane을 이용한 무인항공기 비행제어 프로그램 모의비행 검증

한동인*, 김영식*, 이창용*, 이대우*, 조겸래**

A Study on Verify of UAV Flight Control Software Simulated Flight using Model-Based Development and X-Plane simulator

Dong-in Han*, Young-sik Kim*, Chang-yong Lee*, Dae-woo Lee* and Kyeum-rae Cho**

Department of Aerospace Engineering, Pusan National University* , **

ABSTRACT

This paper shows the design of operational flight program(OFP) using model-based design(MBD) method which is used in various engineering fields to reduce time and flight risks for development. The verification of OFP for DO-178C guidelines carry out by a model advisor function of simulink. The flight control logic on simulink is converted into C-language by auto code generation tool from, then it is implemented on 32bit digital signal processor(DSP). The verifications of flight control algorithm on various weather conditions are performed by the HILS system with Flight simulator program, X-plane.

초 록

본 논문에서는 무인항공기 비행제어 소프트웨어 개발에 있어 개발위험 감소 및 개발기간 단축을 위해 최근 다양한 분야에서 사용중인 모델기반 개발기법을 이용하여 OFP를 설계하였다. 또한 Simulink 내부의 Model Advisor기능을 활용하여 DO-178C 지침항목에 대한 검사를 수행하였다. 설계된 Simulink 비행제어 로직을 자동코드생성 기법을 이용하여 32비트 DSP 기반의 비행제어 시스템에 적용하였으며, 비행시험에 앞서 X-Plane 시뮬레이터를 이용하여 HILS 환경을 구축하고 다양한 기상 환경속에서 모의 비행시험을 수행함으로써 그 성능을 검증하였다.

Key Words : Operational Flight Program(비행제어 소프트웨어), Model-Based Design (모델기반설계), Auto Code Generation(자동코드생성), DSP, X-Plane, HILS

1. 서 론

최근 무인항공기(UAV) 비행제어 소프트웨어 (OFP)가 다양해지고 복잡해짐에 따라, 개발환경

에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 특히, 모델기반 설계 기법(MBD)은 설계와 동시에 시뮬레이션 기능을 통하여 설계된 제어법칙의 요구기능 만족여부를 확인하므로 기존의 개발방식에 비하

† Received : December 4, 2014 Revised : January 14, 2015 Accepted : January 29, 2015

** Corresponding author, E-mail : krcho@pusan.ac.kr

여 시간절약이 가능하기에 이미 다양한 분야에서 연구되어 졌다[1]. 또한, 자동코드생성 기법을 이용하여 탑재프로그램에 적합한 형태로 제공 가능하므로 개발 위험을 줄일 수 있다. 이는 Lockheed Martin사의 JSF 비행제어 시스템 개발 과정에서도 사용될 만큼 신뢰도를 입증 받았으나, 코드구현을 위한 모델(SBM : System Build Model)과 자동생성 코드사이의 검증 및 적합성 평가가 추가적으로 필요하며, 최근 국내 대학 및 연구소에서 다양한 연구를 통해 자동코드생성 기법에 대한 신뢰도와 일치성에 대한 검증이 이루어졌다[2].

본 논문에서는 MBD 기법으로 설계된 비행제어법칙을 자동코드생성 기법을 통해 OFP를 작성하고, 비행제어시스템에 탑재하였다. 그리고 비행성능을 평가하기 위하여, 실제 비행시험 이전에 위험을 줄이고자 모의 비행시험을 수행하여 운용로직 및 알고리즘에 대한 성능을 평가한다. 모의 비행시험은 상용 비행 시뮬레이션 프로그램인 X-Plane과 MATLAB/Simulink를 이용하여 환경을 구성하고, 비행성능을 검증한다.

II. 본 론

2.1 모델기반 개발기법을 이용한 모델설계

기존의 수동적인 비행제어 소프트웨어 개발 및 검증에 있어 복잡성과 개발시간에 대해 많은 어려움이 따르므로, 항공탑재 소프트웨어 국제인증 규정인 RTCA DO-178B에서 모델기반 개발의 중요성을 강조하였다. 모델기반 개발기법은 복잡한 소프트웨어를 구조화하여 공유에 의한 협업에 유리하고, 보다 상위 단계에서의 개념설계가 가능하여 성능에 대한 예측이 가능하며, 자동코드생성기법사용으로 인한 휴먼 에러를 최소화할 수 있다[3]. 이에 2011년 DO-178C에서는 DO-178B의 일부요구조건에 대한 내용을 개선했을 뿐만 아니라, 모델기반 개발 및 검증(Model-Based Development and Verification), 정형기법(Formal Method), 객체지향 기술(Object-Oriented Technology)에 대한 지침을 추가로 반영하였다[4].

본 논문에서는 이러한 모델기반 개발기법을 지원하는 툴 중 널리 사용되는 Matlab/Simulink를 사용하여 무인항공기용 자동비행제어 프로그램을 작성하였다. 자동비행제어 프로그램은 주기적인 제어를 수행하기 위해 Timer기반 인터럽트 이벤트에서 외부루프 및 내부 자세안정화 루프의 제어를 수행하고, 각각의 센서 데이터들은 수신

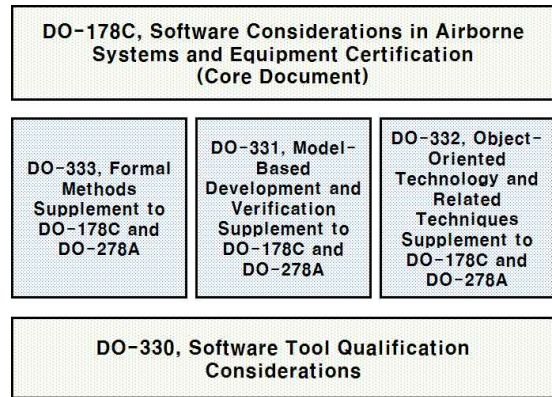


Fig. 1. The DO-178C tools supplement

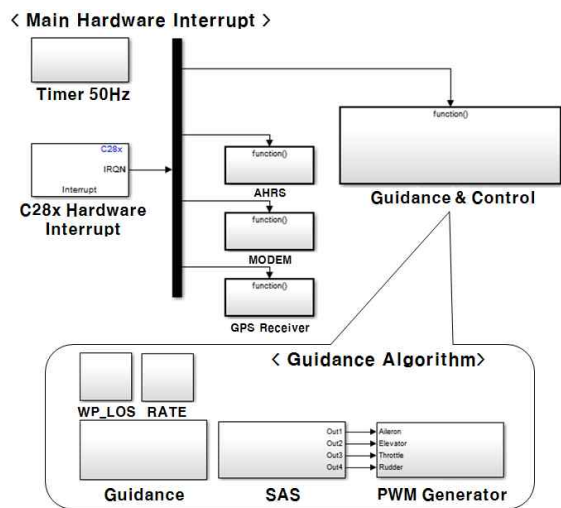


Fig. 2. Autopilot model based on hardware interrupts using simulink

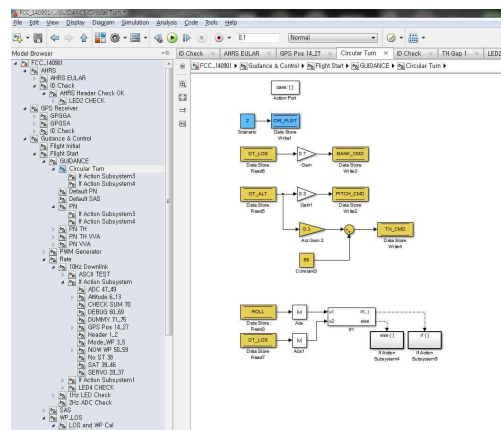


Fig. 3. Sub-systems(left) and circular turn flight logic block (right)

인터럽트 이벤트에 의해 내부루프와는 별도로 수신 및 갱신한다. 구동기 제어는 주로 소형 무인항공기에서 많이 사용하는 서보모터를 사용하므로 내부루프에 의한 PWM 출력을 사용하였다.

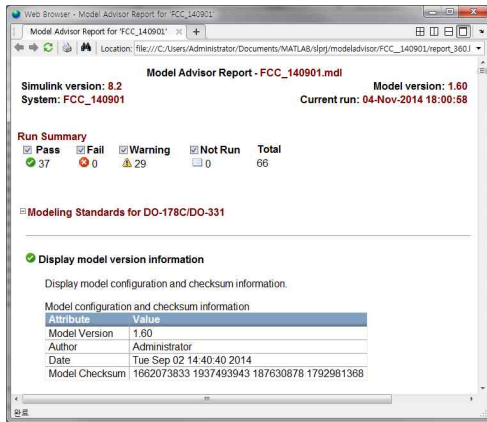


Fig. 4. Model advisor report result

또한, 프로그램 내부 Model Adviser를 사용하여 설계 모델의 DO-178C 지침항목에 대한 검사를 수행하였다. 일부 미사용 변수들과 Unlinked Block에 대한 경고들은 무시 가능하다.

2.2 자동코드생성 기법과 비행제어 프로세서

자동코드생성 도구에 대한 신뢰도는 이미 많은 연구에서 기능 요구사항 및 구조에 대한 검증 등에 대하여 수행되어 졌다. 이러한 자동코드생성 기법의 경우, 모델 형태로 구현된 제어법칙을 기능적인 검증만을 수행 후 탑재 소프트웨어에 반영할 수 있지만, 모델과 자동생성코드와의 일치성 및 소스코드 커버리지에 대한 검증에 대해서는 자체적인 검증이 필요하다[5]. 본 논문에서는 자동생성된 코드를 이용하여 모의 비행시험으

로 로직 및 비행성능을 검증하기 때문에, 커버리지 및 일치성 검증을 따로 수행하지 않고, 모의 비행시험 결과로 대체한다.

본 논문에서 사용한 자동비행제어 시스템은 TI사의 Floating-Point Unit을 탑재한 TMS320F28335 32Bit 마이크로프로세서를 사용하였고, 이미 다양한 무인시스템 분야에서 사용되어 성능이 입증되었다. 또한 Matlab/Simulink에서 Auto Code Generation Tool을 지원하므로 설계된 모델을 C코드로 변환 및 출력파일을 생성하게 되고, 이는 DSP 전용 프로그램 도구인 CCS (5.x버전)에서 로딩하여 프로세서에 탑재가능하다. 자동비행제어 시스템의 경우, 내/외부 제어기 및 주변장치 제어를 위해 다음과 같은 설계하였다.

- 10Hz 점추종 가이던스 알고리즘
- 10Hz GPS 직렬통신 인터페이스
- 50Hz AHRS 직렬통신 인터페이스
- 50Hz 내부 PD 제어기 (SAS)
- 50Hz 12Ch PWM 출력신호 생성
- 10Hz 데이터 레코딩 CAN 인터페이스
- 1Hz 전압, 압력등 아날로그 센서 인터페이스

2.3 모의비행 환경 구축

모의비행의 경우, 상용 비행 시뮬레이션 소프트웨어와 비행제어시스템을 연동하여 비행시험을 수행한다. 본 연구에서는 미국 Laminar Research사에서 개발한 X-Plane을 사용하여 모의비행 시험을 수행하였다. X-Plane은 미연방항공국(FAA)으로부터 다양한 기종에 대해 인증을 받은 정교하고 사실성 높은 비행 시뮬레이션 프로그램으로, 다양한 비행체의 동역학 모델을 포함하고, 현실적인 물리적 법칙이 적용되어 있어 무인항공기의 모의 비행시험에 널리 사용되고 있다[6]. 본 논문에서는 X-Plane 프로그램을 이용하여 비행체의 정보를 비행제어시스템으로 전달하고, 비행제어시스템에서 출력되는 아날로그 제어값을 다시 변환하여 X-Plane으로 전달하도록 하였다. 이러한 구성은 모의비행 시험결과 이후 실제 비행시험 상황에서 추가적인 코드 수정없이 데이터 변환 보드를 센서 부품들로 교체하여 바로 비행시험 수행을 가능케 한다.

X-Plane에서 시간, 속도, 경위도, 고도, 3축 자세 및 3축 가속도, AOA, Side-slip, 4축 제어값등이 내부 UDP설정을 통해 출력이 되며, 이는 데이터 변환보드에서 각각의 센서 출력 포맷으로 생성하게 된다. 일반적으로 AHRS/INS, ADS등은 출력포맷이 매우 다양하므로 실제 비행시험에 사용하고자 하는 센서와의 호환성을 고려하여 동

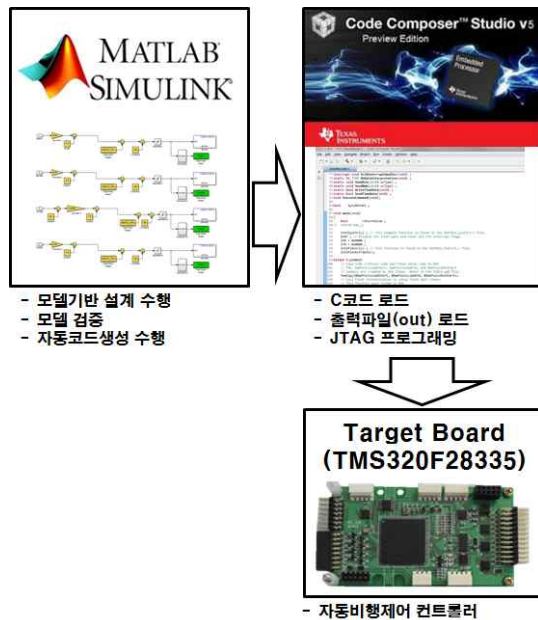


Fig. 5. Auto code generate and programming

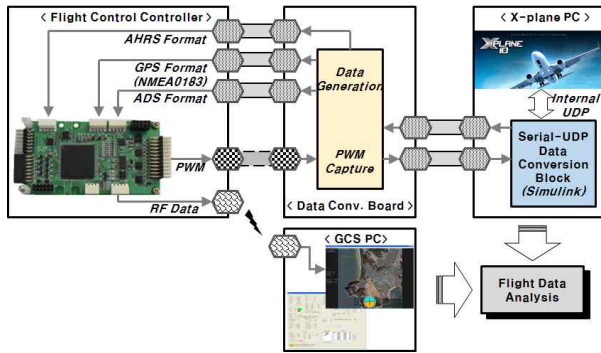


Fig. 6. Configuration of flight simulation

Table 1. Variables of UAV status from X-Plane

Status	Variables
Times	
Velocity	Mach, Air Speed
Flight Control	Aileron, Elevator, Throttle, Rudder
Angular Velocity	3-Axis
Attitude	Roll, Pitch, Heading
Air Data	AOA, Side-slip, Paths
Position	Longitude, Latitude, Altitude

일한 패키지의 정보로 생성한다. GPS의 경우 대부분 NMEA0183 프로토콜을 사용하므로 이에 맞는 데이터를 생성하고, 필요에 따라 추가 패키징 정보를 구성한다. GPS시간 및 위성수, DOP 정보 등은 X-Plane에서 수집할 수가 없으므로 모의비행 시나리오에 따라 가상의 값을 생성하여 출력한다. 또한, 비행제어프로세서에서 출력된 PWM 신호는 데이터 변환보드에서 Timer기반으로 캡처하여 X-Plane의 제어입력으로 변환 및 전달하게 된다.

2.4 모의비행결과

X-Plane를 이용한 비행 시뮬레이션은 바람, 난류등의 기상환경에 대한 모사가 가능하다는 장점이 있다. 이에 활주로 주변의 4개의 고정점을 목표점으로 설정하여, 8자 비행을 수행하되, 기상환경에 대한 설정을 달리 하며 모의비행 시험을 수행하였다. 또한 비행성능을 높이기 위하여, 직선 비행시 속도벡터를 기반으로 하여 시뮬레이션을 수행하고 결과를 비교하였다.

4점의 목표점에 대해 점추종 자동비행의 결과는 Fig. 7~8과 같다. 기상환경에 대한 옵션을 모두 제거한 비행결과(a)와 Table 2와 같이 적용된 기상상태에서의 비행결과(b), 그리고 여기에 속도 벡터를 사용하였을 때의 비행결과(c)로 나눈다. 사전에 정의된 북풍에 의해 Fig. 8(b)와 같이 직

Table 2. Weather parameters on X-Plane

X-Plane Whether Set	Value
Wind Direction (deg)	0
Wind Speed (kt)	16
Shear Direction (deg)	0
Shear Speed (kt)	4
Turbulence (level)	3

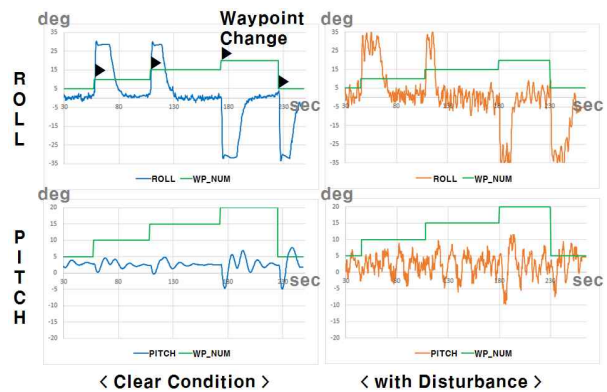


Fig. 7. 4-Waypoint autopilot simulation : attitude results

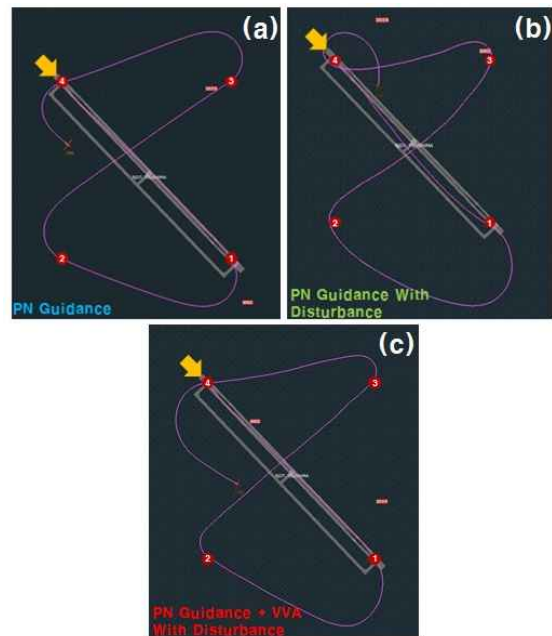


Fig. 8. 4-Waypoint autopilot simulation : flight path results (a)clear condition, (b)with weather disturbance, (c)using velocity vector angle with weather disturbance

선비행에서의 경로오차가 많이 발생하고, 선회시 반경의 차이가 매우 크게 발생한다. 그렇지만 Fig 8.(c)와 같이 속도벡터를 제어에 사용하였을

Table 3. Weather parameters (Random)

Weather Set	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
Wind Dir.(deg)	196	219	181	336	295
Wind Speed(kt)	13	8	10	15	5
Shear Dir.(deg)	120	136	96	22	83
Shear Speed(kt)	5	2	0	9	5
Turbulence(level)	2	1	1	1	1

Weather Set	Case 6	Case 7	Case 8	Case 9	Case 10
Wind Dir.(deg)	333	92	84	277	190
Wind Speed(kt)	19	10	10	4	2
Shear Dir.(deg)	51	96	38	146	126
Shear Speed(kt)	1	3	6	3	5
Turbulence(level)	2	2	1	1	1

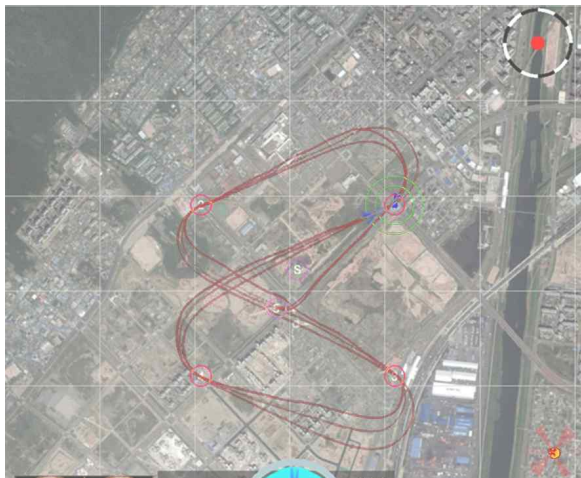


Fig. 9. 4-Waypoint autopilot simulation : overlap-path for 10 cases with wind disturbance

때에는 직선비행 구간에서 경로오차가 거의 발생하지 않는다. 점추종 알고리즘은 외부 제어루프로서 갱신율이 낮기 때문에 Fig. 7과 같이 큰 외란이 존재하는 기상상태에서 정적인 상태보다 다소 큰 자세오차를 가지지만, 내부에 자세추종 및 유지를 위한 제어루프(SAS)가 고속으로 반응하기 때문에 안정적인 비행을 유지할 수 있다.

또한 다양한 기상환경 속에서의 비행제어 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여, X-plane의 기상환경에 대해 난수를 적용하여 10회 모의비행시험을 하였고, 이에 따른 중첩된 비행궤적은 Fig.

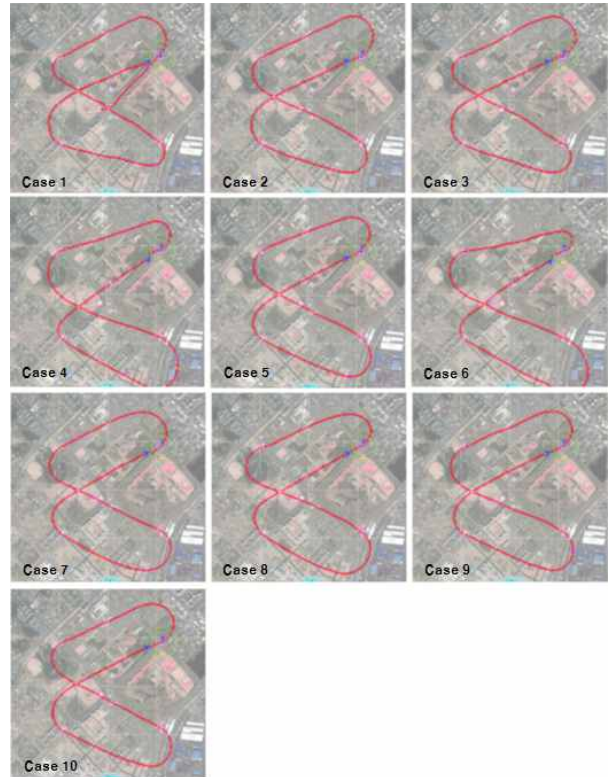


Fig. 10. 4-Waypoint autopilot simulation for 10 cases with wind disturbance

9와 같다. 본 모의비행시험에서는 점추종 기법을 사용하였기에 Fig. 9에서의 비행궤적은 기상 따라 많은 차이를 보이게 되지만, 속도벡터를 사용함으로써 목표점에 대한 수렴성능이 향상되었음을 알 수 있다. Fig. 10은 각각의 기상상황에 따른 비행궤적을 나타내었다.

III. 결 론

무인항공기의 OFP가 보다 다양하고 복잡해짐에 따라 개발 효율을 높이고 고신뢰도를 가지면서 협업이 가능한 개발 기법 및 검증 방법에 대해 많은 연구가 많이 진행되고 있다. 이에 본 논문에서는 모델기반 개발기법과 자동코드생성 기법을 이용하여 무인항공기용 OFP를 설계 및 작성하였다. 또한, 실제 비행시험에 앞서 비행시험 리스크를 줄이기 위하여 상용 시뮬레이션 프로그램 X-Plane을 이용하여 외란을 가지는 기상 조건하에 모의 비행시험을 수행하여 비행알고리즘 및 제어로직에 대해 사전 검증을 수행하였다.

실제 비행환경에 대한 세부적인 이득조정은 추후 비행시험을 통해 수정되어야 하지만, 자동비행로직등 실제비행 시험에서 발생할 수 있는

프로그램 내부 문제등에 대해서 사전에 검증함으로써 개발시간 및 위험부담을 줄일 수가 있었고, 다양한 기상환경이 적용가능하기 때문에 모의비행시험을 통해 비행제어 알고리즘 및 비행성능을 향상 시킬 수가 있었다.

후 기

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음

References

- 1) Tom Erkkinen, "Simulink Capabilities for Embedded Code Generation", The Mathworks, June 3, 2003
- 2) Seong-jun Ahn, Chong-sup Kim, In-je Cho and Jin-goo Heo, "A Development and Verification Process of Auto Generated Code for Fly-By-Wire Helicopter Control Law," Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol.41 No.6, 2013, pp.488~494
- 3) Jungho Moon, Sungsik Shin, Seungkie Choi, Shinje Cho and Eunjung Rho, "Development of UAV Flight Control Software using Model-Based Development(MBD) Technology," Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol.38 No.12, 2011, pp.1217~1222
- 4) Youn Won-Keun, Yi Baeck-Jun, "Development Trend of Software Certification Technology for the Safety of Avionic System," Current Industrial and Technological Trends in Aerospace, Vol.11 No.2, 2013, pp.189~196
- 5) Sangook Cho and Keeyoung Choi, "A Study on Validation of OFF for UAV using Auto Code Generation," Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, Vol.37 No.4, 2009, pp.359~366
- 6) Sangwoo Moon, Eun-Mi Oh, Dong-Il You, and David Hyunchul Shim, "Implementation of a X-Plane and MATLAB/Simulink based Simulation System for Multiple UAVs," Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol.19 No.5, 2013, pp.442~449