

소프트웨어 무결점 연구센터



무인비행체 소프트웨어 소스 무결점  
자동 검증기 개발

2008 년 11 월 21일-23일

김유단

서울대학교 비행역학 및 제어연구실



Flight Dynamics and Control Lab  
Seoul National University, Republic of Korea



1. 서론 : 비행제어시스템 및 비행관리시스템

2. 무인기 비행제어 시스템

3. 비행제어 시스템 하드웨어 및 소프트웨어 구축 현황 [연구실]

4. 무인 비행체 소프트웨어 소스 무결점 자동 검증기 개발 연구 범위



# 비행제어시스템 개괄

## 서론

# 비행제어시스템 개괄



# 비행제어시스템 [1]

## ◆ 항공기 운동 : 6자유도

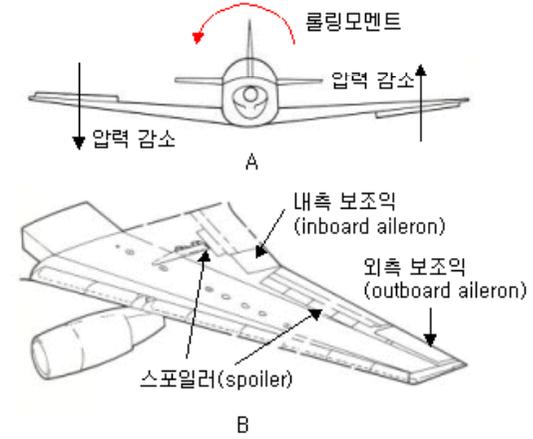
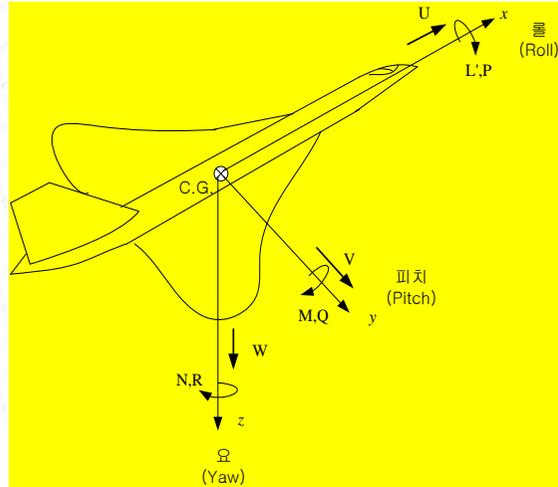
### - 회전운동

피치(키놀이)

요(빗놀이)

롤(옆놀이)

### - 병진운동



## ◆ 항공기 조종

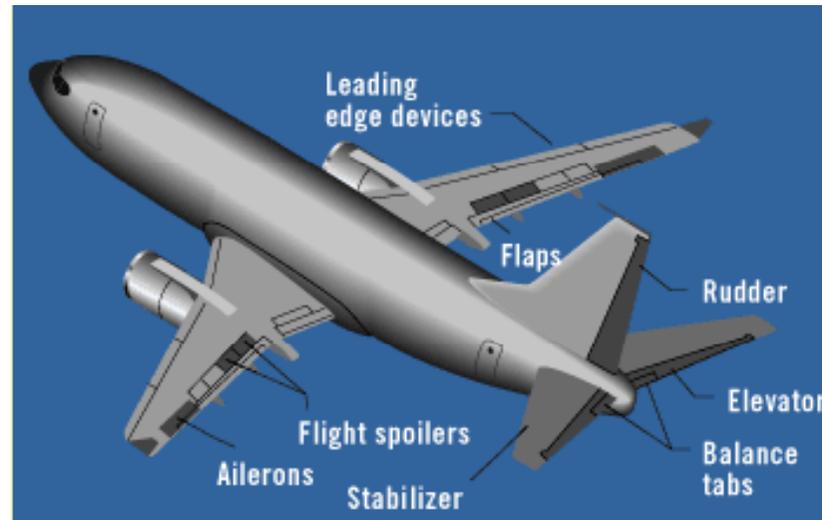
### - 조종면

엘리베이터 (승강타)

러더(방향타)

에일러론(보조날개)

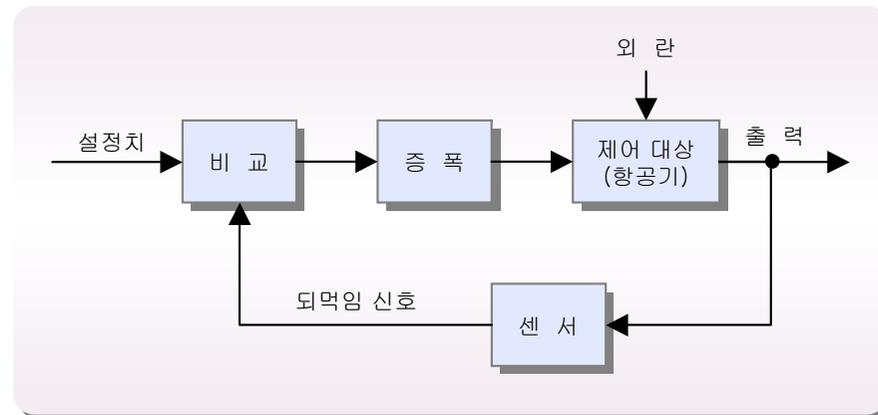
### - 엔진추력



## 비행제어시스템 [2]

### ◆ 비행제어시스템(Flight Control System)의 개념

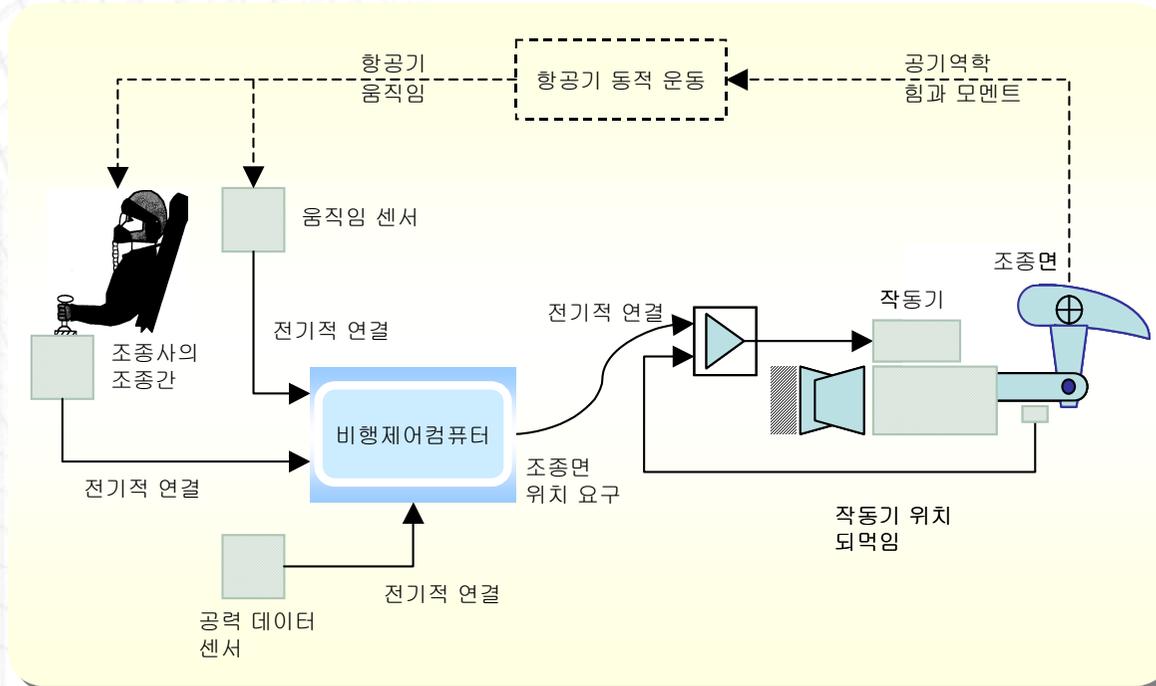
항공기 상태를 감지하고, 원하는 비행상태로부터 어느 정도의 오차가 발생했는가를 알아낸 후에 오차를 줄이기 위한 조종량을 계산하여 조종을 수행하는 과정을 모두 자동으로 수행



# 비행제어시스템 [3]

## ◆ 전기신호제어(Fly-By-Wire) 비행제어시스템

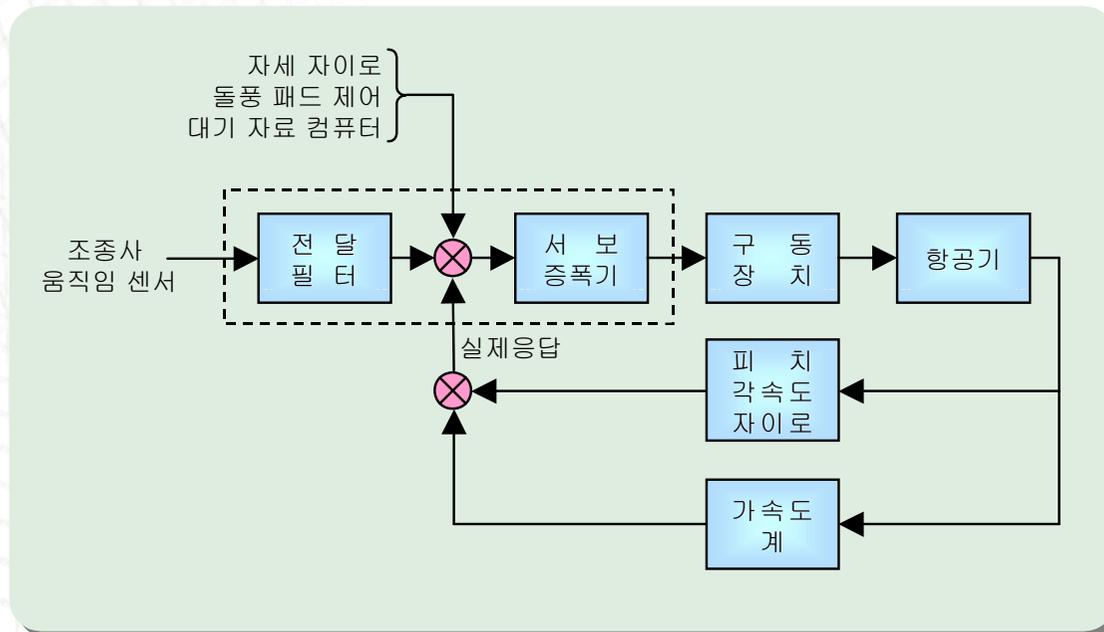
- 조종사의 조종사의 조종명령이 전기신호로 바뀌고, 바뀐 전기신호가 전선을 통해서 유압장치에 전달되며, 유압장치를 통해서 조종면을 움직이도록 하는 방식
- 장점 : 안정성 향상, 탑승감 개선, 정밀 비행 조종 가능, 소형화 등



# 비행제어시스템 [4]

## ◆ 안정성 증대장치(SAS)

- 비행상태를 측정하고 측정된 정보로부터 만들어진 신호를 항공기 제어면이 움직이도록 되먹임 제어를 수행하여 안정성을 개선하는 장치
- 관성항법장치나 각속도 자이로에서 제공되는 항공기 롤, 피치, 및 요각속도를 검출하여 비행제어 컴퓨터에 입력



## 비행제어시스템 [5]

## ◆ 자동조종장치(Autopilot)

조종사가 원하는 자동 조종모드를 선택한 후에는 조종사의 조종이 없이도 항공기가 미리 결정된 비행경로를 유지하거나 항공기를 조종하여 비행하도록 하는 장치

## ◆ 자세유지 자동조종장치

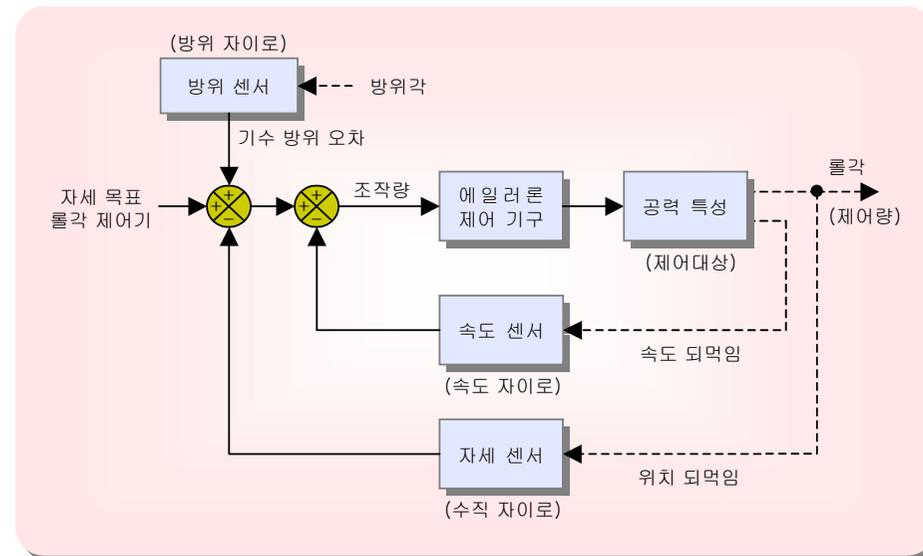
- 기수 방위 유지 기능
- 수평 유지 기능
- 고도 유지 기능
- 선회 자동조종장치

## ◆ 대기속도 제어 자동조종장치

- 속도 유지 기능
- 마하수 유지 기능

## ◆ 항로 제어 자동조종장치

- 고도 유지
- 경로 유지

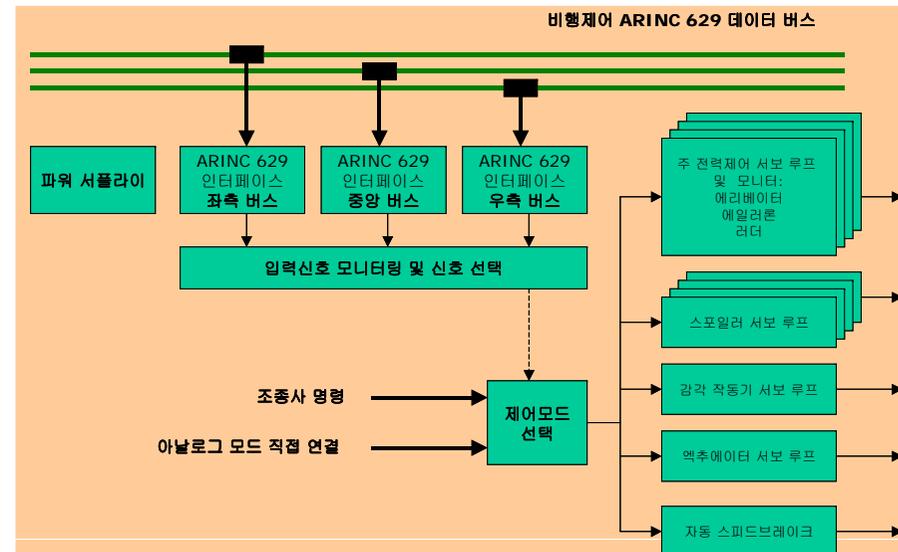
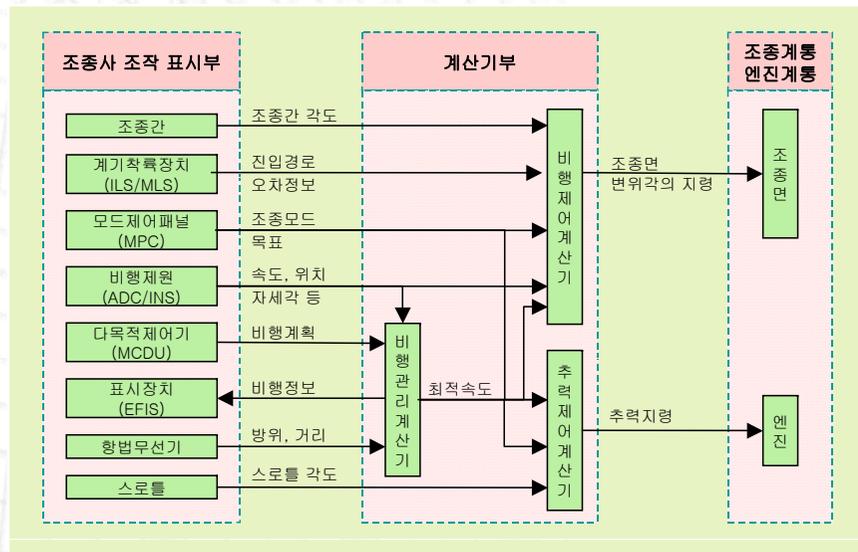


자세유지 자동조종장치 (롤 채널)

# 비행관리시스템 (1)

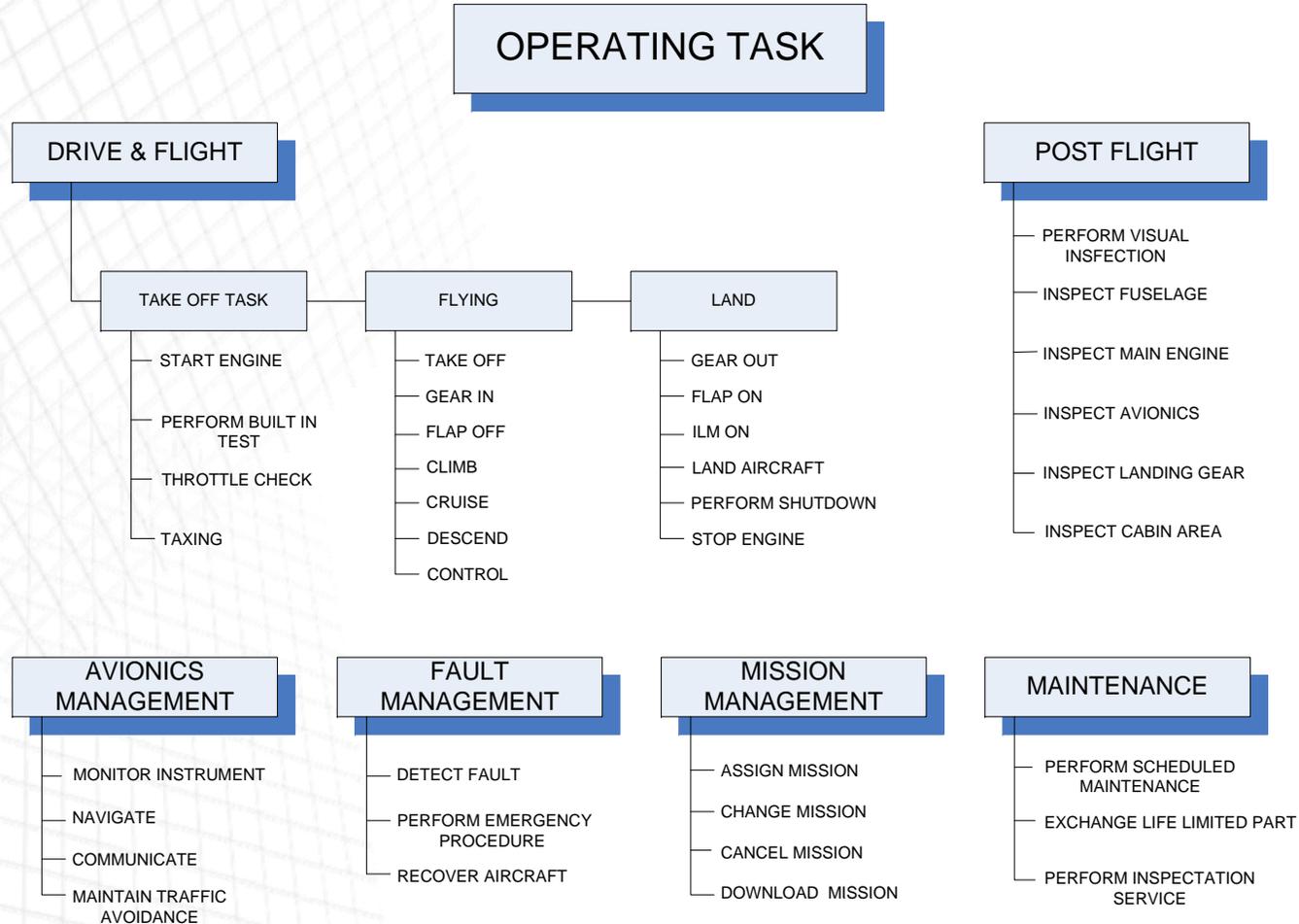
## ◆ 비행관리 시스템: Flight Management System (1)

- 비행안전과 경제적 운항을 위한 조종사 지원 시스템
- 항공기의 비행경로를 유지하기 위한 유도제어 기능, 다양한 비행단계에서 안정성을 유지하기 위한 최적 속도 산출, 항공기 비행자료 모니터링, 항공기 속도를 제어하기 위한 엔진추력 자동제어 등 다양한 기능 수행.
- 항공교통 증가, 항법장비 정확도 증가, 컴퓨터 능력 향상, 데이터버스 시스템 개선 (MIL STD 1553B, ARINC 629) 등에 의해 1980년 중반 이후 사용.



# 비행관리시스템 [2]

## ◆ 비행관리 시스템



# 무인기 비행제어시스템

## 무인기 자율비행 제어시스템



# 미래의 항공기 시스템: 무인 비행체 시스템

## ◆ 초기 비행시스템

안정한 비행체  
 제약된 비행영역  
 수동/기계식 조종  
 Gain Scheduling System  
 Hardware Back-up System



## ◆ 현대 비행환경



고기동성 요구  
 고난이도의 비행  
 강화된 안정성  
 다양한 임무수행 요구



## ◆ 비행제어시스템

디지털 FBW 시스템  
 복잡한 내부구조  
 고가장비 사용  
 고장 발생요인 증가  
 사고의 대형화

## ◆ 발전 방향

임무수행 능력 향상  
 고장허용제어시스템  
 신뢰성 향상  
 자율 무인 시스템  
 Software Back-up System

# 무인기 비행제어시스템 (1) : 무인기 체계도



# 무인기 비행제어시스템 (2) : 자동화 기술

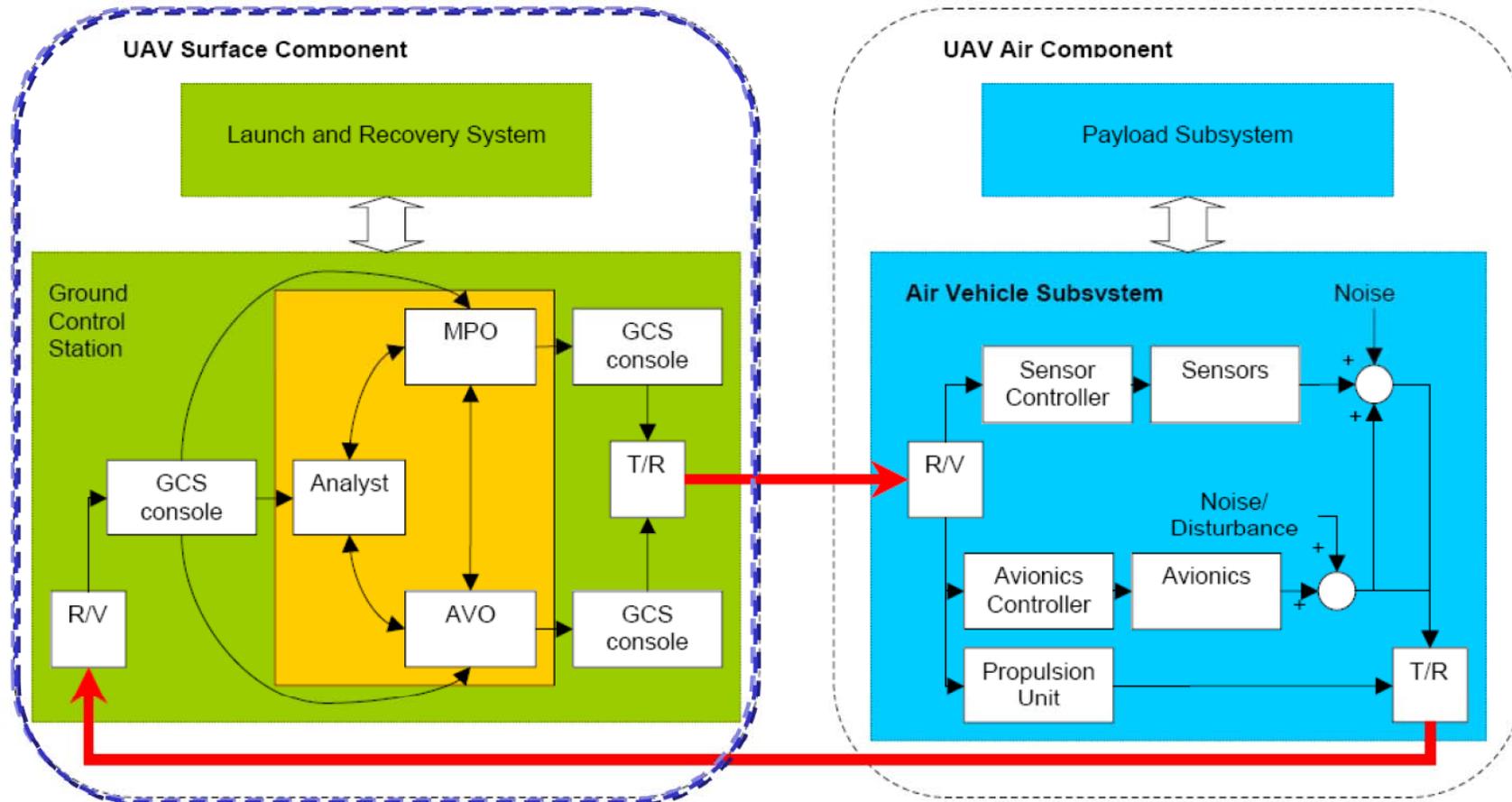
## ◆ 자동화 수준의 분류

Level 0	Human operated
Level 1	Human assisted
Level 2	Human delegated
Level 3	Human supervised
Level 4	Mixed initiative
Level 5	Fully autonomous

## ◆ Level 3-4 수준의 자동화 목표달성을 위하여 고려되어야 할 요소 기술 항목

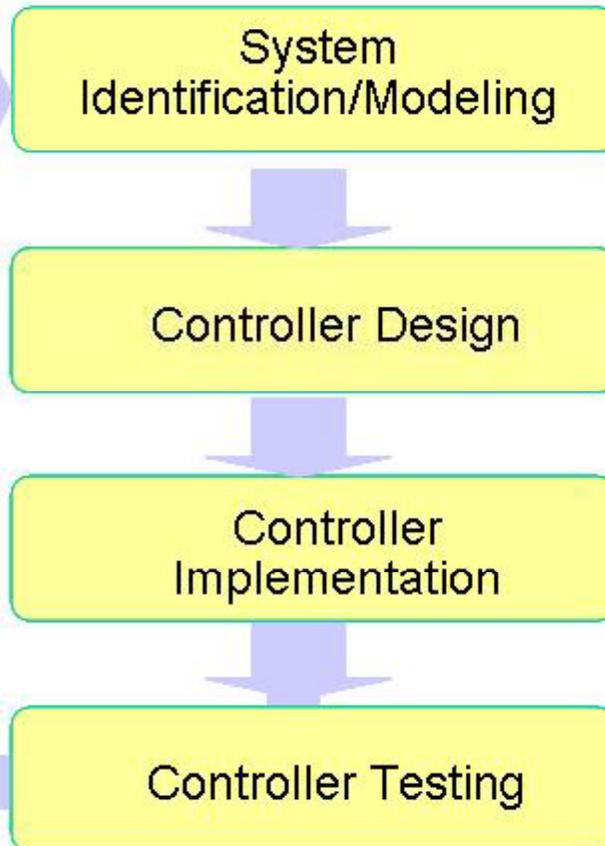
Situation Awareness	Planning and Decision Making under Uncertainty	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3-D mapping</li> <li>• Sensor &amp; data fusion</li> <li>• Natural language processing</li> <li>• Adaptation and learning</li> <li>• Image understanding</li> <li>• Human-machine cooperation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Behaviour-based intelligence</li> <li>• Path planning</li> <li>• Multi-entity control</li> <li>• Self-organizing control</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planning &amp; control architectures</li> <li>• Metaheuristics</li> <li>• Mathematical programming</li> <li>• Hierarchical decomposition</li> </ul>

# 무인기 비행제어시스템 (3) : 제어시스템 체계



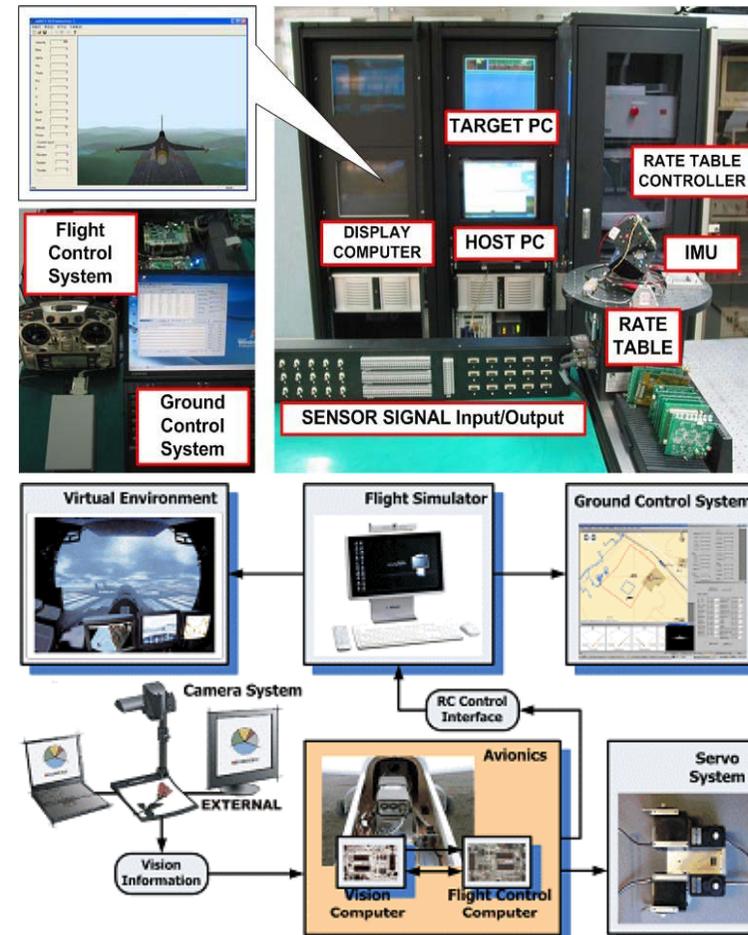
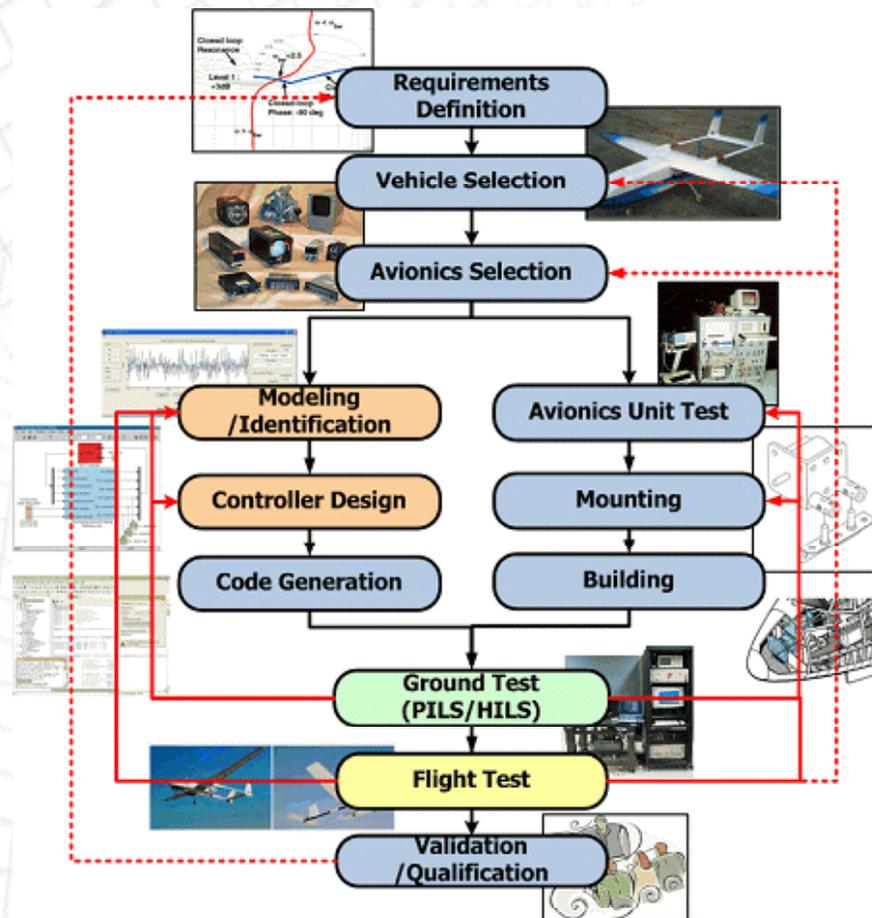
Air Vehicle Operator (AVO), Mission Payload Operator (MPO), Ground Control Station (GCS)

## 무인기 비행제어시스템 (4) : 제어기 설계



- Parameter acquisition
- System estimation/validation with input-output samples
- Different design methods and benchmarks
- Verify the robustness of the controller
- Code generation (Manual or Computer-aided)
- To evaluate the controller performance
- Serious difficulties and risks involved

# 무인기 비행제어시스템 (5) : 성능 검증



## 하드웨어 및 소프트웨어 구축 현황

# 연구실 비행제어시스템 하드웨어 및 소프트웨어 구축 현황



# 하드웨어 및 소프트웨어 구축 현황

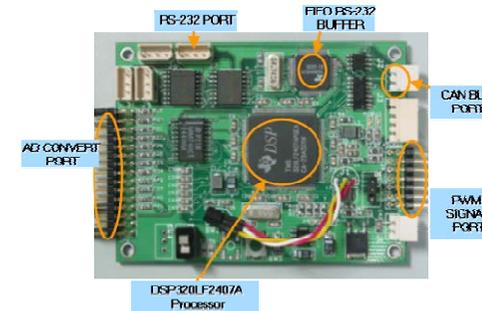
## ◆ 비행체 자원

- 기체명 : SNUACE 4
- 날개 길이 : 2.5m
- 동체 길이 : 2.2m
- 비행체 중량 : 15kg
- 탑재 중량 : 8kg
- 엔진 : 48cc, YW-48B2



## ◆ 비행제어 컴퓨터 자원 (Flight Control Computer)

- CPU : 13.3MHz (TMS320LF2407A)
- Flash : 64KB
- ADC : 10bit, 500ns
- PWM : 16 Channel



## ◆ 센서 자원

- ARS : X Sense
- GPS : Novatel
- Pitot tube : 용비
- 데이터 송수신 : Futaba 70Mhz
- Video Transceiver : 밀리콤 2.4Ghz



## 하드웨어 및 소프트웨어 구축 현황 : 시스템 특징점

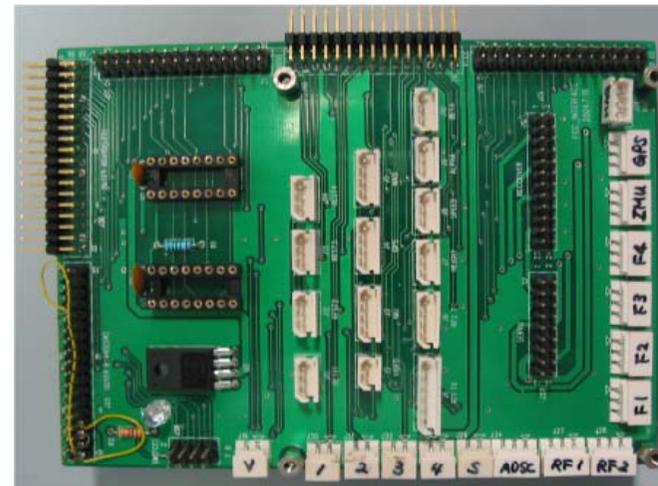
### ◆ 비행제어 컴퓨터(FCC)

- 2개의 컨트롤러 보드로 구성
- Master/Slave 구조로 구성
- SPI(Serial peripheral Interface)  
통신 수행



### ◆ 인터페이스 보드

- 각 부분의 동작 확인 및 on/off
- 센서 입/출력선, 접지선 연결
- 전원 관리 및 분배
- 스위칭 모듈



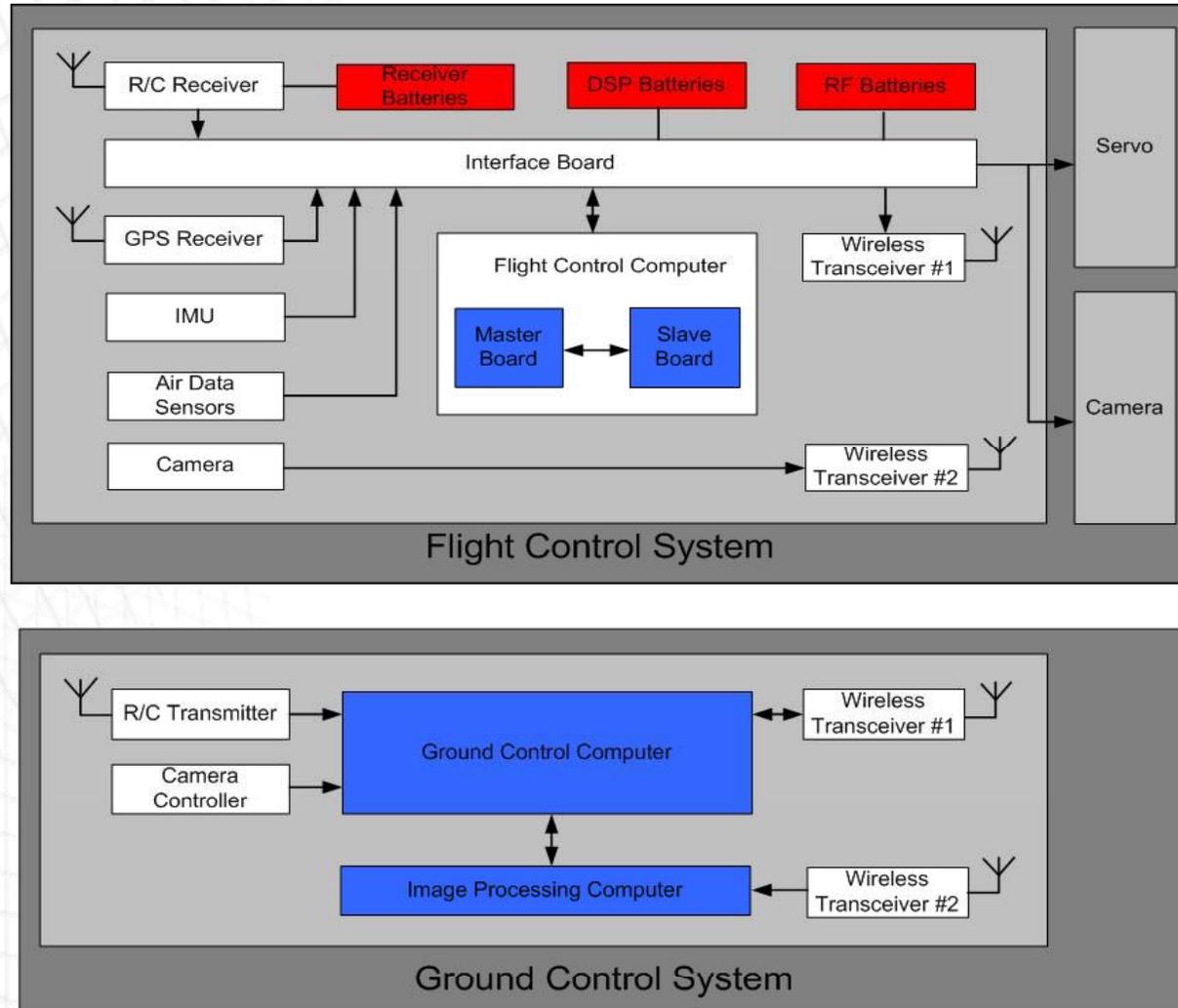
# 하드웨어 및 소프트웨어 구축 현황 : 지상제어시스템(GCS)

## ◆ 지상제어 컴퓨터와 영상 처리 컴퓨터 통합

- 실시간으로 비행데이터를 표시하고 임무변경, 경로점 변경, 변수 변경 위한 명령을 수신
- 수신된 영상데이터를 목표물 인식, 좌표 계산, 목표물 추적 명령 계산 등 영상 임무와 관련된 일을 처리
- Camera Controller : 조이스틱 신호를 송신하여 비행체에 탑재되어 있는 카메라 조종



# 하드웨어 및 소프트웨어 구축 현황 : 시스템 구성도



# 하드웨어 및 소프트웨어 구축 현황 : 무인비행시스템 구성

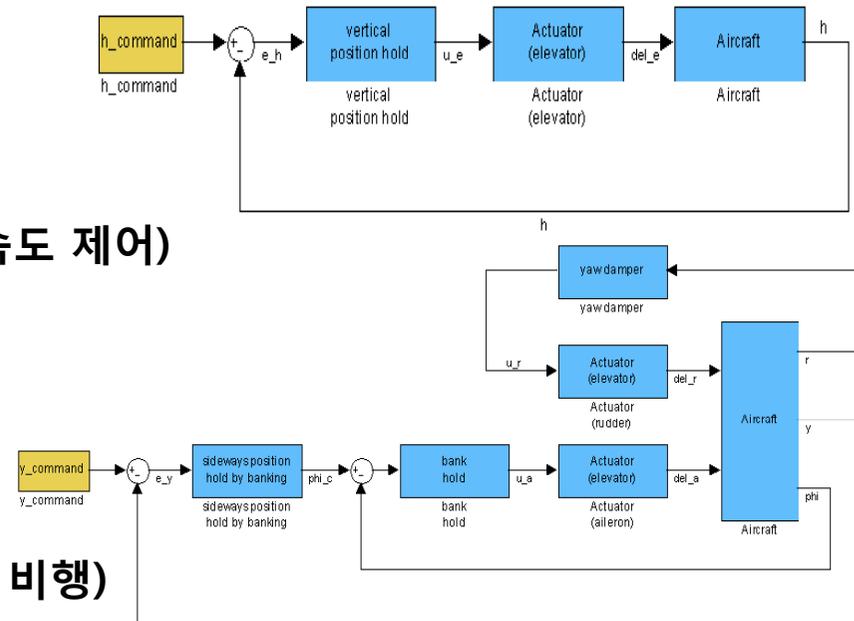


- ◆ 제어기 MATLAB 기반 설계
- ◆ C 코드 Generation
- ◆ FCC 탑재, HILS 성능 검증
- ◆ 비행 시험, 성능 검증

## 개발 프로세스(1)

## ◆ 개별 제어기설계 (MATLAB 기반 설계 검증)

- 시스템 식별 SQP-Kalman Filter 데이터 퓨전기법
- 종방향(속도, 받음각, 피치각속도, 피치각, 고도 제어)
  - SAS(단주기 안정화)
  - Attitude Hold Autopilot
  - Climb rate Hold Autopilot
- 횡방향(옆미끄럼각, 뱅크각, 롤각속도, 요각속도 제어)
  - SAS(Yaw damper)
  - Bank Hold Autopilot
  - Heading Hold Autopilot
- 유도 알고리즘
  - 경로점 항법 비행(직선비행, 곡선(반원) 비행)
  - CLOS(Command to Line of Sight)

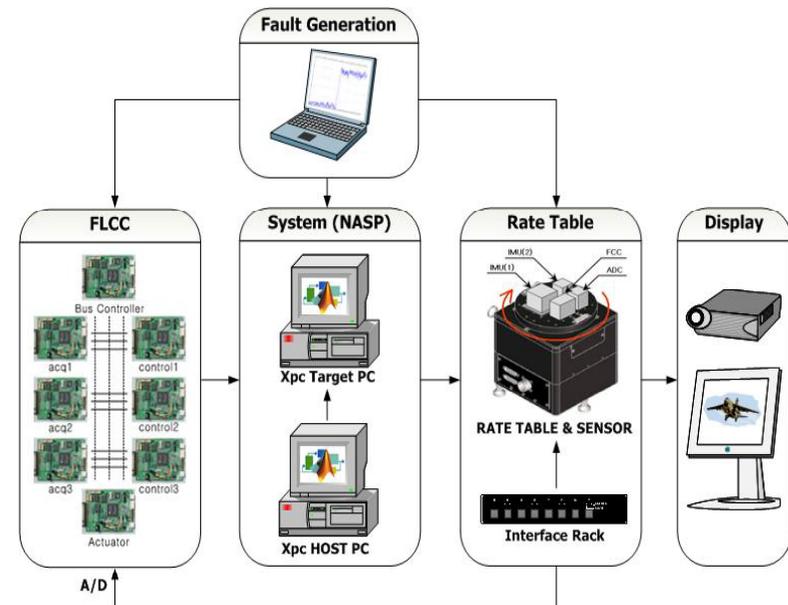
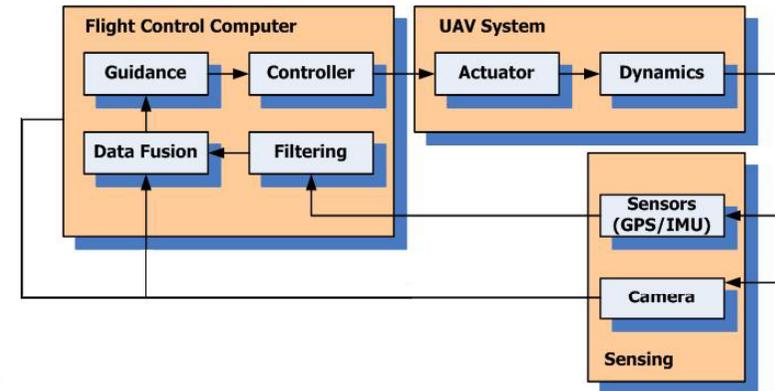


## 개발 프로세스[2]

## ◆ C code Generation

- Controller : 제어기 설계 모터입력 생성
- Guidance : 비행경로 생성. 투하미션
- GPS,IMU : 센서 observer, decode
- Filtering : 센서신호 검증, EKF
- Data Fusion : 지상국 command, 데이터 송수신
- Camera : 영상 전송. Camera Tilting 제어

## ◆ FCC 탑재, HILS 검증



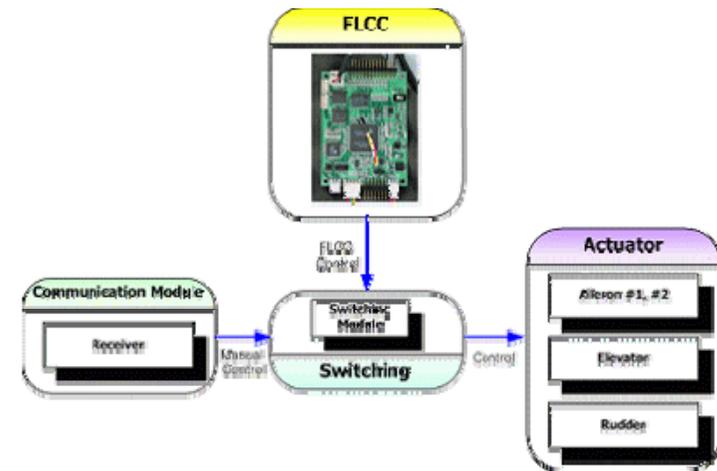
# 개발 프로세스[3]

## ◆ 비행시험



## ◆ 무인 비행체 시스템 특징점 - 안정화

- 스위칭 모듈 설계 및 제작 (FCC 소프트웨어에 반영)
  - 스위칭 모듈 설계 및 제작수/자동 모드 변환, FCC전원 차단 대비
- 통신 채널 다중화
  - CPU, 영상처리 하드웨어 클럭과 GPS, IMU 등 각 통신 sampling rate 차이를 고려한 소프트웨어 구현 (bottleneck effect 방지)



## 비행체 소프트웨어 연구 개발 범위

# 무인 비행체 소프트웨어 소스 무결점 자동 검증기 개발 연구 범위



## 연차별 연구개발 목표 및 연구개발 내용

구분	년도	연구개발목표	연구개발내용	연구범위
1차 년도	2008	비행제어 소프트웨어 특성 분석	- 항공기 소프트웨어 검증기 자료 조사 - 무인기 소프트웨어 특성 분석	● 자료 수집 ● 소프트웨어 특성분석
2차 년도	2009	비행제어 소프트웨어 전용 무결점 자동 검증기 연구	- 무인항공기 자율비행 제어 소프트웨어 특성을 고려한 무결점 자동 검증기 개발 연구	● 검증기 개발
3차 년도	2010	비행제어 소프트웨어 무결점 자동 검증기 성능 검증	- 비행제어 소프트웨어를 활용한 무결점 자동 검증기 성능 검증 및 문제점 도출	● 성능 검증 및 평가
4차 년도	2011	비행제어 소프트웨어 무결점 자동 검증기 성능 개선	- 문제점 해결을 통한 무결점 검증기 성능 개선	● 성능 개선