

통신해양기상위성 자이로센서 FDIR 설계 및 검증에 관한 연구

이훈희*

A Study of FDIR S/W Design and Verification for Gyro Sensor of COMS Satellite

Hoon-Hee Lee*

Abstract

COMS Satellite is automatically able to recover from any defined failure thanks to a full redundancy. This study assesses the effects of gyro failure on the COMS mission and analyzes the mechanism of Gyro Failure Detection, Isolation and Recovery about failure detection means, isolation and recovery actions and their consequences. At last, it checks the FDIR behavior from an injected failure on COMS simulator.

초 록

2009년에 발사될 통신해양기상위성은 다중화 구조설계를 통해 발생 가능성이 있는 고장으로 부터 자동 회복을 수행할 수 있도록 자동조치기능이 탑재되어 있다. 본 연구에서는 자이로 센서의 고장이 COMS 임무에 미치는 영향을 살펴보고 장치 레벨의 자이로 센서 고장 처리를 위한 고장감지 방법과 기준, 고장고립과 회복 동작에 대한 메커니즘을 분석하였다. 또한 시뮬레이터를 이용하여 고장 발생에 대한 자동조치 동작검증 결과를 확인하였다.

키워드 : 통신해양기상위성 (COMS: Communications, Ocean and Meteorological Satellite), 자이로 (Gyro), 고장(Failure), FDIR(Fault Detection, Isolation and Recovery: 고장감지, 고장고립, 회복)

1. 서 론

통신해양기상위성(이하 COMS)은 광학장비와 통신장비를 탑재하고 있으며 발사에서 임무궤도에 이르기까지 지속적인 임무 수행을 위해 단일 고장 발생 가능성에 대한 자율적인 조치 동작과 생존 기능이 설계되어 있다. 고장에 의한 위험성

을 줄이고 위성의 신뢰성을 향상시키는 방향으로 FMECA(Failure Modes, Effects and Criticality Analysis: 고장모드, 영향 및 치명도 분석) 작업을 수행하여 발생 가능성이 있는 고장들을 정의한 후 이에 대한 대응방법이 수립되어 COMS의 자동조치기능에 반영되었다. 또한 FMECA 작업을 통해 고장 발생 시 위성을 구성하는 서브시스템을 재구성할 수 있도록 기능적으로 세분화하여

접수일(2007년12월14일), 수정일(1차 : 2008년 10월 23일, 2차 : 2008년 10월 27일, 게재 확정일 : 2008년 11월 1일)

* 통신해양기상위성 사업단 통제기체계팀/lhh@kari.re.kr

부품 레벨에서 시스템 레벨에 이르는 계층화된 전략의 FDIR(Fault Detection, Isolation and Recovery: 고장감지, 고장고립, 회복기능)이 결정되었다.

본 논문에서는 COMS의 자세 정보를 얻기 위해 장착된 자이로 센서의 고장에 대응하는 자동 조치 기능에 대해 분석한다. 자동조치기능을 갖는 FDIR 메커니즘은 위성체 내부의 하드웨어나 소프트웨어에 구현된다. 자이로 센서의 FDIR은 고장 발생 시 센서의 기능이 불능이 되거나 고장 영향이 주위 장치들의 성능 저하로 전파되지 않도록 하는 것이 목표이다. 이러한 FDIR의 구현을 위해 위성의 3축에 장착된 자이로 센서 3개 이외에 여분 3개의 센서가 추가되는 이중화 구조로 설계되었다. 그림 1은 COMS 자이로 센서의 이중화 구조를 나타내며 MIL1553B 버스를 통해 두 개의 위성탑재컴퓨터(SCU)와 상호 교차하여 연결(Cross-strapped)되어 고장 시 자이로 센서와 통신버스의 다양한 조합의 구성이 가능하도록 하였다.

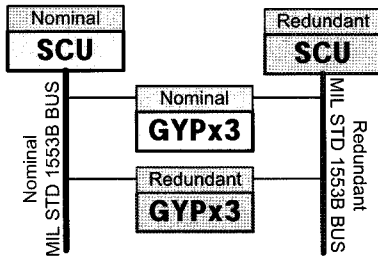


그림 1. 자이로 센서 이중화 구조

본 논문에서는 FMECA 수행에 의한 다양한 종류의 자이로 고장의 모드 정의와 해당 고장에 의해 발생하는 영향을 살펴보고 고장 감지 방법과 기준, 고장의 고립과 회복 동작이 설계된 자이로 센서 FDIR의 구조와 고장 기준에 대해서 분석하였다. 또한 COMS 시뮬레이터를 통해 실제 자이로 센서 FDIR이 구현된 탑재소프트웨어 FDIR 동작과 계층화 구조를 검증하여 설계 요구사항을 만족하는지 확인하였다.

2. 자이로센서 고장모드

초기에 COMS 위성의 자율성, 가용성, 고장기준 요구사항을 종합하여 위성 구조의 주요 특징을 정의하기 위한 기능 분석과 함께 다양한 절충 작업이 수행된다. 예비 위험분석 단계에서는 아래와 같은 사항들에 대하여 일관된 FDIR 정책의 충실성을 평가한다.

- 위성의 분실/심각한 임무 불능
- TM(Telemetry)/TC(Telecommand)의 연결 실패
- 천이궤도 상의 고장
- 위성의 자동 임무 실행 능력 불능
- 고장 후 적절한 모드로의 진입 실패
- 고장 후 진입한 모드에서의 진출 실패

자이로 센서의 고장은 영상탑재체의 임무나 관측영상 고정밀 위치결정 및 보정, 열탄성 및 궤도 섭동 예측 등에 영향을 미치므로 FDIR 정책 혹은 전략 평가 시 반영된다.

하향식 접근 관점에서 자이로 센서의 FDIR 설계과정은 서브시스템의 예비설계단계(PDR) 완료까지 수행되며 이때 서브시스템 혹은 장치레벨에서의 FMECA가 첫 번째 FDIR의 구조를 제공한다. 또한 각 서브시스템이 재구성될 수 있는 가장 작은 블록들로 기능적으로 세분화함으로써 FMECA는 모든 가능성의 고장과 감지방법, 고장 영향을 분명하게 한다. FMECA의 수행 결과에 따라 자이로 센서에 대한 51가지의 고장모드가 정의되었으며 표 1은 MIL-1553B 통신을 위한 RT(Remote Terminal)부분을 제외한 순수 자이로 센서 고장과 고장에 따른 영향을 개략적으로 나타내고 있다.

상향식 접근방법에서 보면, 상세설계단계(CDR) 완료 시점에서 자이로센서의 상세한 장치레벨의 FMECA 결과가 제공되어 최종 FDIR 통합이 시작된다. 이 시점에서 FMECA에서 확인된 모든 고장 모드가 미리 해석된 기능적 고장에 연관될 수 있는지 확인된다. 필요한 경우에 FDIR 설계가 기능적인 레벨에서 확인될 수 없는 고장조차도 조치하도록 한다.

표 1. COMS 자이로 센서의 고장모드 별 영향

고장모드	고장 영향	고장 관찰
electrodes 접합부 분리, 광섬유 신호 획득 손실, 전력 측정치 손실	센서 신호 손실에 의해 영상촬영 임무를 간섭	Vpi 루프에러, 유효상태 비트(bit), 소스 입력 전류 등
전력저하, 전력 초과	센서의 자세정보 이상, 영상촬영 임무 간섭	전력 기준치 필터, 자세정보 일관성 등
Vpi값 저하	점진적인 스케일 인자의 변화로 센서의 자세정보 오염, 영상촬영 임무 간섭	Vpi루프에러, 자세정보 일관성 등
ASIC의 동기화 실패, 자세정보 시간의 오류	동기화 모드에서 자세각 정보를 갱신하지 않으며 영상촬영 임무 간섭.	유효상태 비트, 자세정보 갱신 여부 등
노화에 의한 성능저하	센서의 자세정보 이상, 영상촬영 임무 간섭	ADC 포화상태, Vpi 루프에러 등
일부 아날로그 TM 손실	2차 전압측정치, 온도 등의 정보 이상이 발생하며 영상촬영 임무에 간섭	아날로그 온도 TM 등
ADC 기능 불능	센서의 자세정보 이상, 영상촬영 임무 간섭	ADC의 각종 상태, 자세정보 일관성 등
광학신호 미감지, 각종 노이즈, PinFet에 노이즈	센서의 자세정보에 노이즈 증가, 영상촬영 임무 간섭	유효상태 비트, 자세정보 분석 등
에러가 존재하는 자세정보 및 입력 전류	센서의 성능저하에 의해 영상촬영 임무를 간섭	유효상태 비트, 센서 상태 등
통신 동기화 실패와 데이터 시간 설정 오류	동기화 상태에서 자세정보를 갱신하지 않아 영상촬영 임무를 간섭	자세 정보의 갱신 상태 등
모듈레이터, 센서 내부 전력 손실	센서의 자세정보 이상, 영상촬영 임무 간섭	광학부전력치, 자세정보와 Vpi 갱신상태
앨리어싱 방지 필터 손실	필터 오류로 인한 성능저하에 따른 영상촬영 임무 간섭	유효상태 비트 등

3. 자이로센서 FDIR

3.1 FDIR 계층화 구조

자이로센서 고장의 발생을 나타내는 징후나 관찰 대상의 상태는 MIL-1553B 버스를 통해 위성탑재소프트웨어에 전달되는 정보를 이용하여 감시되며 고장 감지로 판단되는 경우 후속 회복절차를 실행시킨다. 이러한 일련의 FDIR 작업은 고장을 처리하는 영역과 기능에 대한 고장 레벨에 따라 부품, 장치, 전역, 시스템 레벨로 나뉘며 표 2는 고장 레벨에 따른 고장 감시 계층화 구조를 나타내고 있다.

표 2. 자이로 센서 고장 감시 계층

보호레벨	감시레벨	감시항목
HW 고장보호	부품 레벨 감시	퓨즈, 공급전압레벨, 공급전류레벨, 전력레벨
SW 고장보호	장치레벨 감시	-HW 기준 보드온도, 건강상태 - 기능상 판단 기준 출력 차단 상태
	전역레벨 감시	- 기능상 판단 기준 각속도(롤, 요) 각도(롤, 요)
HW 고장보호		- 위성전체안전 기준 지구의 위치 파악 위성체 전력 공급

계층구조 상에서 레벨 사이의 주요 차이점은 고장에 대한 반응시간이 시스템 레벨로 갈수록 느리다는 점이다. 순간적으로 동작하는 퓨즈(fuse)와 같은 부품 레벨에서 발생한 고장은 자이로센서 자체에서 신속하게 대응한다. 장치레벨에서는 장치 자체 내부의 상태를 판단할 수 있는 파라미터를 통해 고장을 감시하며 부품 레벨의 대응시간보다는 느리게 고장을 감지한다. 전역레벨에서는 위성의 현재 모드(정상모드, 태양획득 모드 등)에 따른 성능을 기준으로 한 파라미터를 통해 고장을 감시하며 장치레벨의 대응시간보다

는 느리게 고장을 감지한다. 이렇게 고장 대응 시간의 차이가 있는 것은 동시에 여러 레벨에서 고장보호 동작이 일어나지 않도록 하며 불필요한 예비 자원의 사용을 최소화하고 고장의 처리범위와 심각성 정도에 따라 고장 레벨을 분류한 FMECA의 결과를 반영하였기 때문이다. 물론 부품레벨에서 발생한 고장이 해결되지 못하면 순차적으로 상위레벨의 감시에 의해 처리가 될 수 있도록 감안하여 설계되었다.

표 1에서 언급된 고장모드의 99.3%가 장치레벨의 감시에 의해 복구 혹은 회복될 수 있도록 설계되었다. 결국 COMS에 미치는 치명적인 고장은 대부분 장치레벨에서 감지되는 것을 의미한다. 궁극적으로 시스템 레벨에서 고장이 해결되지 않는 경우 위성은 생존모드로 전환하며 추가적인 FDIR은 동작하지 않고 지상 관제소의 개입을 기다린다.

표 2에서 SW 레벨의 고장보호에 해당하는 장치레벨과 전역레벨에서 발생하는 고장은 탑재소프트웨어를 구성하는 자이로 센서 FDIR 로직을 통해 처리된다. 자이로 센서의 실제 FDIR 구현을 위해서 표 1에서 기술된 고장 목록을 요약하면 표 3의 고장 종류와 검출방법으로 정의할 수 있다.

표 3. 자이로 FDIR 고장종류 및 검출방법

고장 종류	검출방법
건강상태 이상	건강상태 확인
온도 이상	온도확인
각속도 측정치 오차	출력 차단 유무 확인 자이로 각속도 확인
각도 측정치 오차	출력 차단 유무 확인 자이로 각도 확인
게인의 변화	불필요
드리프트 변화	불필요

표 3에서 언급되는 건강상태는 표 1의 고장관찰 항목 중 유효상태 비트나 ADC(Analog Digital Converter) 포화상태 비트 등을 의미한다. 자이로 센서의 게인(Gain)이나 드리프트(Drift)의 변화 요인은 주로 센서의 노화에 의한 것으로 변화가 매우 느리게 일어난다. 내부적으

로 지구센서, 태양센서의 신호를 이용하여 보정작업이 계속해서 일어나므로 위성의 자세 제어에 간섭이 미미하여 FDIR 설계에 적용하지 않았다.

3.2 고장 판별 기준

고장 판별 기준을 결정하는 일은 원하는 값 범위를 설정하고 그 범위를 벗어날 때 허용할 수 있는 시간을 설정하는 것이다. 최소한의 감시항목을 이용하여 정밀하게 고장을 판별하도록 기준 범위를 좁게 하면서, 기대하지 않는 고장을 감지하지 않도록 넓게 절충하는 작업이 필요하다.

표 4는 정지궤도 상에서 자이로 센서로부터 발생할 수 있는 모든 고장감지에 대한 허용범위와 필터값을 나타낸다. 필터의 시간 동안 허용범위를 넘는 경우 고장을 감지한다.

표 4. 자이로 FDIR 고장감지 기준치

감시항목	허용 범위	필터
건강 상태	-	1 s
보드 온도	90 degC	3 s
출력 차단	-	3 s
각속도(롤,요)	0.3 deg/s	1.2 s
각도(롤,요)	0.6 deg	1.2 s

하드웨어 내부에서 ADC 포화상태, Vpi 루프 에러 등의 건강상태 비트는 탑재소프트웨어의 자이로 FDIR SW에 의해 감시되며 필터값인 1초 동안 건강상태가 유효하지 않은 값이 지속되면 고장이라고 간주한다. 예를 들어 태양 전지판이 전개될 때 ADC 출력값이 포화(Saturation)되어 고장이 발생할 수 있다. 최악의 조건과 여유마진을 고려하여 필터값이 선정되었으며 FDIR SW 내부 파라미터에 저장되고 값을 갱신할 수 있다. 출력차단 상태는 자이로센서에서 MIL1553B를 통해 전달된 초기 값의 일부분을 감시할 때 센서의 노이즈(ARW)를 고려하여 같은 값이 연속적으로 몇 회 발생하는지를 분석하여 5Hz로 감시하는 동안 15회 이상 발생하는 경우를 고장으로 판단하는 기준으로 설정하였다. 출력차단 상태의 감시 여부는 자이로센서를 보정하거나 필요 시 지

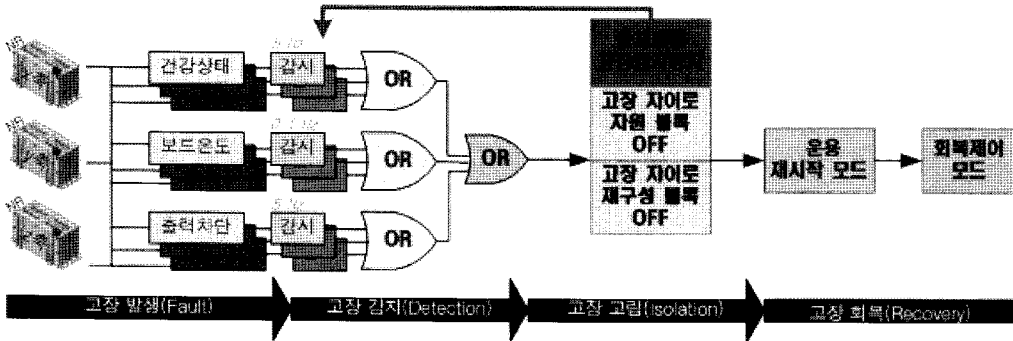


그림 2. 자이로 센서 FDIR 동작과정

상의 명령에 따라 결정된다. 각속도 감시항목과 관련하여 탑재소프트웨어 관점에서 보면 각속도의 허용 범위값이 100ms 주기로 0.03 deg 이상의 각증분 이 일어나는 것을 감시하고 있다.

3.3 고장 회복 조건

다양한 고장 회복 모드들의 정상적인 수렴과 임무 간섭을 피하기 위해서 다음 사항들을 만족해야 한다.

- 운용재시작 모드

장치레벨의 고장 발생 시점부터 장치들의 재구성, 사용되지 않는 장치의 전원차단, 제어 연산의 재시작에 이르는 시간의 요구사항이 존재한다. 장치 고장 감지 시점으로부터 자세 제어가 회복제어모드로 진입하기 까지 30초를 넘어서는 안된다.

- 전역레벨의 장치재구성

고장감지 시점에서 전역레벨의 장치재구성과 정상모드를 획득하는 시점까지의 시간은 35초를 넘어서 안된다.

3.4 자이로 센서 FDIR 구조

탑재소프트웨어에 자이로 센서 SW는 그림 3과 같이 재구성 블록(ORB: On-board Reconfiguration Block) 하나와 두 개의 자원 블록(Resource) 블록으로 설계되었다.

재구성 블록은 필요 시 실제 하드웨어 장치를 재구성하거나 연산객체와의 표준화된 접속을 위해 실제 하드웨어를 은닉하는 데 목적이 있다.

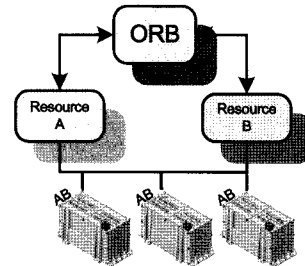


그림 3. 자이로 SW 블록과 하드웨어 연결선도

자원 블록은 HW 장치 레벨의 고장 감지를 수행하며 하드웨어 자체의 상태 구성이나 하드웨어 간의 입출력을 수행한다. 자이로 센서의 A, B 각각에 자원 블록이 연결되어 실질적인 하드웨어 접속 소프트웨어로 작용한다. 반면에 재구성 블록은 A, B, A&B 중 하나로 선택하여 고장 발생 시 A->B 혹은 B-A로 전환한다.

앞서 표 4에서 언급된 감시항목은 FDIR 과정에서 고장감지를 위한 기준항목이 되며 그림 2는 장치레벨 감시항목에 대한 FDIR 동작 논리를 나타낸다. '건강상태', '보드온도', '출력차단'에 대한 고장 감시가 활성화되면 고장 감지를 위한 준비가 되며 어떤 단 하나의 고장이 발생해도 전체 자이로 센서의 고장으로 판명되며 고장 고립 단계에서 자원 블록, 재구성 블록 혹은 전부를 중지시킨다.

기본적으로 고장으로 판명된 장치는 고장 전파를 방지하기 위해 자이로 센서의 전원을 차단

하고 운용재시작 모드로 진입한다. 가용 예비 센서가 있다면 지상확인 후 하드웨어 간 전환을 통해 회복제어 모드로 진입한다. 그러나 두 번째 고장이 발생하여 더 이상 예비 용이 없다면 운용재시작 모드 대신에 전역레벨에서 전체적으로 장치들의 재구성을 수행한다. 전역레벨 고장이 발생해도 전역적 재구성 작업이 이루어지는데 휠(Wheel)을 제외한 모든 장치들이 예비 용으로 전환하는 것을 의미한다.

정상임무 중에 각속도와 각도의 전역레벨 감시가 활성화되지 않으며 남북 혹은 동서 궤도위치 유지나 휠오프로딩 기동 시에 활성화된다. 표 5는 임무궤도에서 요구되는 3가지 모드에 대해 고장감지 활성화 여부를 나타낸다.

감시항목	임무궤도		
	정상모드	궤도위치유지/ 휠오프로딩 기동모드	정상상태 획득 모드
건강 상태			
보드 온도			
출력 차단			
각속도(물,요)			
각도(물,요)			

표 5. 고장감지 활성화 모드

4. 자이로 센서 FDIR 검증

4.1 COMS 시뮬레이터 환경 구성

자이로 센서의 FDIR 검증을 위해서 Astrium 과 공동개발한 동역학시뮬레이터인 DSSS(Dynamic Satellite Simulator Software)를 고장 시뮬레이션에 이용하였다. DSSS 내부에는 자이로 센서의 전기적/기능적 시뮬레이션 모델과 실제 COMS 의 실제 탑재소프트웨어 이미지와 최신의 데이터베이스가 구성되어 있다.

표 6는 자이로 센서 FDIR 로직을 검증하기 위한 간단한 시험조건인 하나이며 시험을 위한 시뮬레이터, 초기 상태, 발생될 고장을 나타낸다.

시험목적	COMS 자이로센서 X축 FDIR SW 동작 검증
시험 구성	DSSS V5.1 (탑재소프트웨어, 시뮬레이션모델, 데이터베이스)
초기 상태	임무궤도, 자이로 센서 동작
고장 종류	ADC기능고장

표 6. 자이로 센서 고장 시험조건

사용된 시뮬레이션 모델은 표 7에서 분류했다.

시뮬레이션 모델 분류		
버스 시스템	자세제어계	LIASS, BASS, FOG, MRW, SADM, IRES
	전력계	Power Bus, PSR, PRU, Solar Array, Battery
	추진계	LAE, RCT, CPS Network, Propulsion Components
	데이터 처리계	SCU, ADE5, MPIU, MI2U
	원격측정계	TCR(TTC/RF)
	열제어계	Thermal
탑재 시스템	기상탑재체	Meteo Imager
	해양탑재체	GOCI
	통신탑재체	Ka-band, MODCS
외부 환경	위성동역학, 천체, 궤도, 우주 환경	Dynamics, Ephemeris, Orbit, Space Environment
지상국	관제	Ground Station
기타	-	Gateway, Dispatcher, Collector

표 7. COMS 시뮬레이션 모델 분류

먼저 COMS 발사 후 원격측정명령시스템(TCR), 온도제어시스템, 추진시스템, 자세제어시스템 등을 순차적으로 초기 구성하고 태양을 획득한 후 천이-획득 궤도 상태를 지나 임무궤도 상에 이르도록 시뮬레이션 하였다.

표 6의 시험 조건에 따라 ADC 출력을 포화상태로 만들어 장치레벨의 고장의 발생 후 그림 2와 같은 자이로 센서의 FDIR 동작이 이루어지는지 확인한다. 이때 FDIR 고장감지 활성화 상태 변화나 건강 상태 비트 모니터링, 고장고립 등을 확인한다.

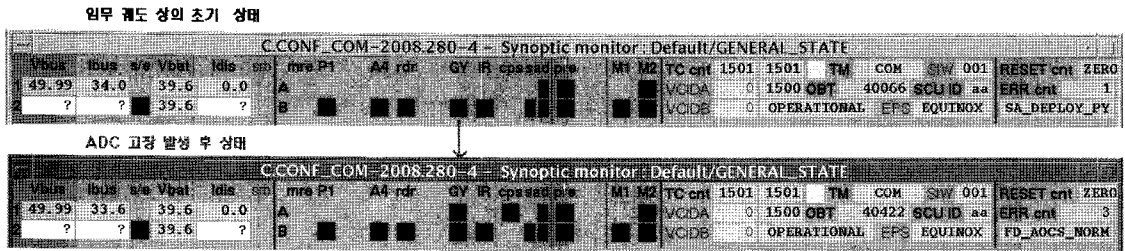


그림 4. 고장 발생 후 COMS 상태 변화

4.2 시뮬레이션 결과 분석

그림 4와 같이 발사 이후 임무궤도 상에 오른 후 초기 상태는 자이로 센서가 켜지고 탑재소프트웨어 기준 시간은 40066초이다. 자이로 센서는 전원이 공급되고 작동 중이며 예비 용 센서는 동작하지 않고 있음을 확인할 수 있다.

고장 감지와 회복 동작을 활성화하기 위해 원격명령을 보내면 그림 8의 왼쪽 그림에서 같이 원격측정데이터(Telemetry) 중에 MSFGYPAFLD(건강상태에 대한 고장감시 활성화 상태), MSFGYPATP(온도상태 감시 활성화 상태) 값이 활성화(ENABLED)된 것을 알 수 있다.

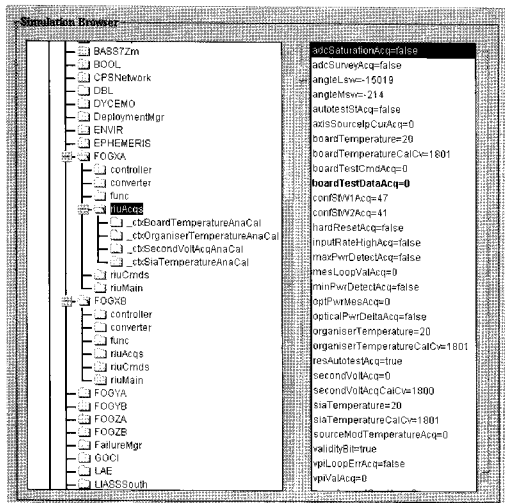


그림 5. 고장발생을 위한 자이로 X축 파라미터 윈도우

그림 5는 자이로 X축에서 ADC의 상태를 고장으로 만들기 위한 윈도우이며 포화상태 파라미터를 원하는 시간에 강제적으로 변경하여 고장을 발생 시킬 수 있다. 그림 7과 같이 시뮬레이션을 시작하여 고장발생을 준비한다. 그림 6은 고장발생에 따른 자이로 상태의 변화를 나타낸다. 탑재 소프트웨어 내부 시간으로 40309.2초에 ADC 기능에 고장을 발생시켜 포화상태로 만들면 '건강상태' 필터값인 3초 후에 자이로 센서의 전원이 자동으로 차단되는 것을 확인할 수 있다.

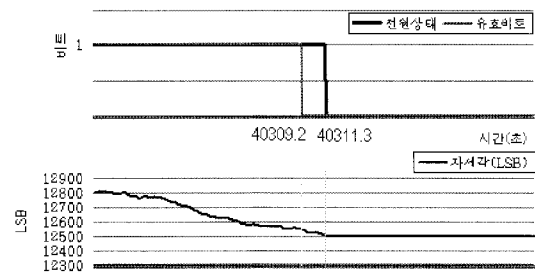


그림 6. 고장 발생에 따른 자이로 상태변화

이때 MSFGYPAFLD, MSFGYPATP가 자동으로 중지(DISABLED)된 것을 그림 8의 오른쪽 그림에서 확인할 수 있다. 그림 4의 'ADC 고장 발생 후 상태'와 같이 운영제시작 모드 상태에 있으며 위성은 지상으로부터 고장파악, 고장감지 재활성화 조치에 따라 회복제어 모드로 전환될 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 자이로 센서의 FDIR 메커니즘의 분석과 설계 구조를 설명하고 ADC 고장을 시뮬레이션하여 자이로 센서의 FDIR 기능 검증을 통해 설계 요구사항을 만족함을 기술하였다. FMECA에서 정의된 구체적인 고장모드를 선택하고 실제 COMS 위성 시뮬레이터를 이용하여 예상되는 영향과 자동복구 작업을 시뮬레이션함으로써 자이로 FDIR의 요구조건을 만족하게 구현되었음을 검증하였으며 현재 지상에서 조차하는 FDIR 절차에 대한 검증을 수행하고 있다. 이러한 결과는 2009년에 발사될 COMS 위성 운용자에게 위성 내부에서 일어나는 자이로 고장에 관한 판단과 영향을 결정하는 유익한 자료로 활용될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. 이훈희, 박영웅, 주광혁, 박근주, 양균호, “인공위성 개발과정에서 시뮬레이션 모델의 개발과정 분석”, 한국항공우주학회 추계학술대회, 2007, pp.1652
2. Marie WAHART, Laurent TANGUY, COMS ACOS FMECA and FDIR analysis, Astrium & KARI, 2007, pp.62-69
3. Laurent TANGUY, Impact of Gyro failures on COMS mission, Astrium & KARI, 2007, pp.8
4. G. MONROIG, On-Station Failure Analyses, Astrium & KARI, 2007, pp.43
5. I. LAINE, FDIR TUNINGS FOR FOG, Astrium & KARI, 2006, pp.2-3
6. L. ROUX, COMS On Board Software Error Codes, Astrium & KARI, 2008, pp.120

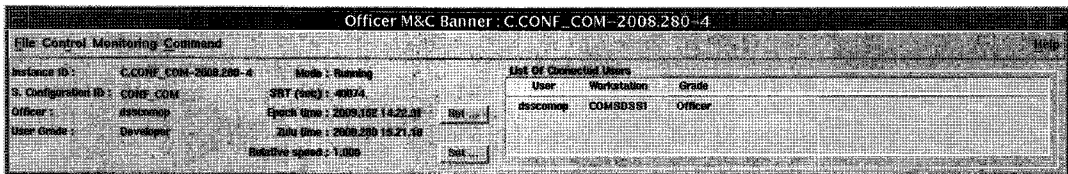


그림 7. 시뮬레이션 시작 상태(시간, 속도, 사용자)

ParamId	Current date	Raw	Phy string	hy int/cra	OB	Unit
E38.TM.SPQVPRCFM	12:51:27:900000	0x0	A			0x0
E38.TM.SPQVPRCFM	12:51:27:900000	0x1	TRUE			0x1
E38.TM.SPQVPRCFM	12:51:27:900000	0x0	NOT_FAILED			0x0
E38.TM.SPQVPRCFM	12:51:27:900000	0x1	VALID			0x1
E38.TM.SPQVPRCFM	12:51:27:900000	0x1	B			0x1
E38.TM.SPQVPRCFM	12:51:27:900000	0x0	FALSE			0x0
E38.TM.SPQVPRCFM	12:51:27:900000	0x0	NOT_FAILED			0x0
E38.TM.SPQVPRCFM	12:51:27:900000	0x0	INVALID			0x0
E38.TM.SPQVPRCFM	12:51:33:900000	0x1	ENABLED			0x1
E38.TM.SPQVPRCFM	12:51:33:900000	0x0	DISABLED			0x0
E38.TM.SPQVPRCFM	12:51:33:900000	0x1	ENABLED			0x1
E38.TM.SPQVPRCFM	12:51:33:900000	0x0	DISABLED			0x0
E38.TM.SPQVPRCFM	12:51:33:900000	0x0	DISABLED			0x0
E38.TM.SPQVPRCFM	12:51:33:900000	0x1	ENABLED			0x1
E38.TM.SPQVPRCFM	12:51:33:900000	0x0	DISABLED			0x0
E38.TM.SPQVPRCFM	14:22:31:840000	0x000000		0.527153	X5048000	Rad
E38.TM.SPQVPRCFM	14:22:31:840000	0x000000		-0.114298	X8457FFD	Rad
E38.TM.SPQVPRCFM	14:22:31:840000	0x000000		-0.090000	X5A078E8	R/D.1
E38.TM.SPQVPRCFM	14:22:31:840000	0x000000		0.009000	X657876EA	R/D.1
E38.TM.SPQVPRCFM	12:51:51:800000	0x000000		0.010500	X560418FA	Rad

임무 속도 상의 초기 상태

ParamId	Current date	Raw	Phy string	hy int/cra	OB	Unit
E38.TM.SPQVPRCFM	12:51:27:900000	0x0	A			0x0
E38.TM.SPQVPRCFM	14:22:31:840000	0x0	FALSE			0x0
E38.TM.SPQVPRCFM	14:28:39:840000	0x1	FAILED			0x1
E38.TM.SPQVPRCFM	14:28:39:840000	0x0	INVALID			0x0
E38.TM.SPQVPRCFM	12:51:27:900000	0x1	B			0x1
E38.TM.SPQVPRCFM	12:51:27:900000	0x0	FALSE			0x0
E38.TM.SPQVPRCFM	12:51:27:900000	0x0	NOT_FAILED			0x0
E38.TM.SPQVPRCFM	12:51:27:900000	0x0	INVALID			0x0
E38.TM.SPQVPRCFM	14:28:45:840000	0x0	DISABLED			0x0
E38.TM.SPQVPRCFM	12:51:33:900000	0x0	DISABLED			0x0
E38.TM.SPQVPRCFM	14:28:45:840000	0x0	DISABLED			0x0
E38.TM.SPQVPRCFM	12:51:33:900000	0x0	DISABLED			0x0
E38.TM.SPQVPRCFM	12:51:33:900000	0x0	DISABLED			0x0
E38.TM.SPQVPRCFM	14:28:45:840000	0x0	DISABLED			0x0
E38.TM.SPQVPRCFM	12:51:33:900000	0x0	DISABLED			0x0
E38.TM.SPQVPRCFM	12:51:33:900000	0x0	DISABLED			0x0
E38.TM.SPQVPRCFM	12:51:33:900000	0x0	DISABLED			0x0
E38.TM.SPQVPRCFM	14:28:31:840000	0x000000		0.528931	X5039A20	Rad
E38.TM.SPQVPRCFM	14:28:31:840000	0x000000		-0.113982	X845C4FD	Rad
E38.TM.SPQVPRCFM	14:28:27:840000	0x0		0.000000		0x0 R/D.1
E38.TM.SPQVPRCFM	14:28:28:840000	0x0		0.000000		0x0 R/D.1
E38.TM.SPQVPRCFM	12:51:51:900000	0x000000		0.010500	X560418FA	Rad

ADC 고장 발생 후 상태

그림 8. 자이로 고장 발생 후 텔레메트리 상태변화