

환경위성지상국 시스템 가용도 예측분석 연구

은종원* 종신회원, 최원준**, 이은규* 회원

A study on the availability prediction analysis for the Environmental Satellite Earth Station

Jong Won Eun* Lifelong Member, Won Jun Choi**, Eun Gyu Lee* Regular Member

요 약

본 논문에서는 정지궤도 복합위성 2B에 대한 환경위성지상국 시스템의 성능지표의 하나인 가용도를 예측하기 위한 H/W 및 S/W 시스템 가용도의 수학적 모델링을 제시하고, 직렬연결 시스템에 대한 가용도 예측 방법을 제시하였다. 또한, 본 논문에서는 환경위성 지상국 시스템의 가용도 예측 결과를 산출하였으며, 그 가용도 예측 결과는 0.998072로 분석 되었다.

Key Words : Geo-Kompsat 2B, National Environmental Satellite Center Earth Station, Failure Rate, Mean Time Between Failure, System Availability Prediction Analysis

ABSTRACT

To predict the system availability of the National Environmental Satellite Center Earth Station, mathematical models of H/W and S/W availability, the availability estimating methods for parallel were systematically presented in this paper. Furthermore, the results of the availability prediction for the Environmental Satellite Earth Station were estimated. The analytical results of Environmental Satellite Earth Station system availability were estimated as 0.998072.

약 어 목 록

- A Availability
- ACU Antenna Control Unit
- AFR Annualized Failure Rate
- BB Base Band
- C&M Control & Monitor
- ESES Environmental Satellite Earth Station
- D/C Down-converter
- DEMODO Demodulator
- DRSU D/C Redundancy Switch Unit
- H/W Hardware
- IF Intermediate Frequency
- LNA Low Noise Amplifier
- LSU LNA Switch Unit
- MODEM Modulator/Demodulator
- MTBF Mean Time Between Failure
- MTTR Mean Time To Repair
- PM Phase Modulation
- RF Radio Frequency
- S/W Software

I. 서 론

환경위성센터 지상국은 위성 탑재체 운용 상태를 지속적으로 감시(Monitoring)하고 위성이 정상적인 임무를 수행할 수 있도록 임무계획을 전달함과 동시에, 위성으로부터 수신 받은 데이터를 처리/관리/분석하고 이를 사용자에게 분배하는 기능을 수행한다.

국가환경위성센터 지상국 시스템은 안테나 서브시스템, 위성자료수신 서브시스템, 자료처리 서브시스템, 통합운영관리 서브시스템, 자료분석 서브시스템, 자료관리 서브시스템, 자료배포 서브시스템, 자료교환 서브시스템, 종합상황 서브시스템으로 구성되며 이를 도식화한 각 서브시스템의 구성 및 내부 인터페이스는 다음 그림 1과 같다.

※본 논문은 2015년도 국립환경과학원 학술연구비(NIER-SP2015-144) 지원에 의해 연구되었음.

*남서울대학교 정보통신공학과 위성정보융합센터(jweun@nsu.ac.kr) (goori0301@gmail.com), **국립환경과학원 지구환경연구과(choiwj@me.go.kr), 접수일자 : 2015년 11월 20일, 수정완료일자 : 2015년 12월 17일, 종게재확정일자 : 2015년 12월 24일

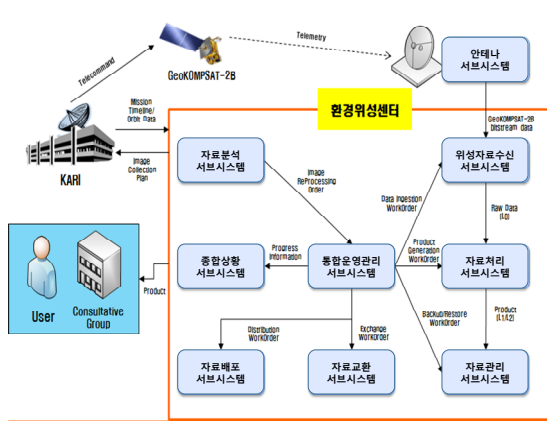


그림 1. 환경위성지상국 서브시스템 구조 및 내부 인터페이스

본 논문은 환경위성 지상국의 규격을 만족하는 시스템 가용도를 산출하기 위하여 가용도 모델을 분석하고, 직렬 및 병렬연결 시스템에 대한 시스템 가용도, MTBF 그리고 MTTR을 해석한다. 또한 가용도 향상을 위한 이중화 (Redundancy) 방법의 가용도 계산 기법을 제시하고 효율적인 스위치 선택방법 및 시스템 가용도 유지 방안을 기술한다.

본 논문에서 요구하는 환경위성 지상국의 수명은 10년 이상이며, 시스템 가용도의 요구규격은 99.7% 이상이어야 한다[1].

II. 가용도 Model 분석

본 장에서는 정지궤도 복합위성 2B의 환경위성지상국 시스템 가용도를 산출하는데 적용될 수 있는 수학적 모델을 분석하며, 시스템 가용도는 다음 사항을 가정하여 산출된다:

- 시스템은 9개의 서브시스템이 직렬로 연결되어 구성된다.
- 서브시스템의 고장 회수는 통계적으로 독립적이다.
- 각 서브시스템을 구성하는 장비가 병렬로 연결되어 있으므로 고장율은 동일하다.
- 안테나 장비의 기계 장치는 반영구적 이므로 고장이 없고, 시스템 동작에 영향을 크게 미치지 않는다.
- 시스템 LAN은 시스템 동작에 영향을 미치지 않으므로 그 가용도는 100%이다.
- 각 서브시스템을 구성하는 주변기기(Laser Printer, Log Printer, Line Printer, LAN Monitor)는 시스템 동작에 직접 영향을 미치지 않고, 쉽게 유지보수가 가능하기 때문에 그 가용도는 100%이다.
- 각 서브시스템의 소프트웨어 프로그램의 가용도는 100%이다.

본 장에서 고려하는 환경위성지상국 시스템의 H/W는 다음 그림 2와 같이 구성된다[1].

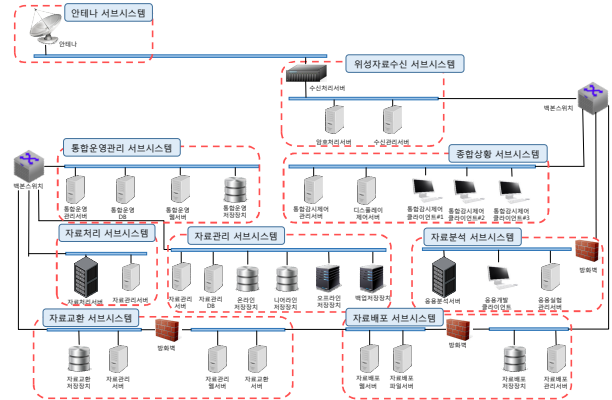


그림 2. 환경위성지상국 시스템 H/W 구성도(안)

1. H/W 시스템 가용도 수학적 모델

시스템 가용도는 동작시간에 비해 고장시간이 얼마나 짧은가를 수치로 표현하는 것 즉, 관찰 시간 동안 시스템이 성공적으로 동작한 기간의 비율이 얼마나 되는가는 시스템 성능을 측정하는 하나의 지표가 될 수 있다[2][3].

H/W 시스템의 MTBF는 각 서브 시스템별로 시스템 공급자로부터 제공되고, MTTR은 H/W 시스템 설치자 혹은 H/W시스템 유지 보수자로부터 제공된다.

H/W 가용도는 시스템의 임무를 지원해 줄 수 있는 시간의 비율로서 그 수학적 모델은 다음과 같다[4][5].

$$A_i = \frac{MTBF_i}{MTBF_i + MTTR_i} \tag{1}$$

여기서 첨자 i는 서브 시스템 i를 표시하며, i서브 시스템의 MTBF, 는 i서브 시스템의 MTTR, 는 i서브 시스템의 가용도를 나타낸다.

1.1 신뢰도(Reliability) 모델

신뢰도(reliability)는 시스템이 동작한 순간부터 어느 시점 t까지 고장 없이 계속 동작할 확률 즉, 주어진 시간 후에 계속 동작할 확률로써 시스템 고장률(λ)에 의해 정의되며, 식 (2)와 같다. MTBF는 서비스가 시작된 후 처음 고장이 발생한 평균 시간으로 식 (3)의 결과와 같다[6].

$$R(t) = e^{-\lambda t} \tag{2}$$

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t)dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = 1/\lambda \tag{3}$$

지상국 시스템 에서 각 서브시스템의 유닛(Unit) 고장이 전체 시스템 고장에 영향을 미치지 않으면 동작상태로 가정하며, 시스템 동작에 영향을 미치는 서브시스템과 서브시스템의 유닛을 직렬연결 시스템으로 해석한다.

1.2 직렬연결 시스템의 가용도

가용도는 관찰 시간에 시스템이 동작할 확률로서 시스템 성능의 지표가 된다. 일반적으로 시스템을 구성하는 부품이나 서브시스템 각각의 고장이 시스템 동작에 영향을 미치면 가용도 구조 모델을 직렬연결 시스템으로 가정하여 분석한다.

그림 3와 같이 N개의 서브 시스템이 직렬로 연결되어 한 시스템을 구성할 경우 모든 서브 시스템은 동시에 동작되어야 한다. 따라서, 직렬 시스템의 가용도(A_{SR})는 식 (4)와 같이 각 서브 시스템 가용도의 곱으로 산출된다.

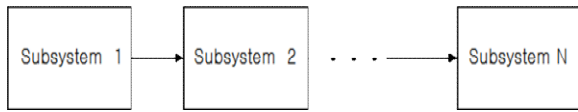


그림 3. 직렬 시스템 구성도

$$A_{SR} = \prod_{i=1}^N A_i \quad (4)$$

$MTTR_{SR}$ 은 직렬 시스템의 고장부분에 대한 교체나 수리에 요구되는 시간으로, 시스템 전체의 MTTR은 각 서브 시스템별로 제공되는 MTTR로부터 식(5)과 같이 각 서브 시스템 MTTR의 평균이다.

$$MTTR_{SR} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N MTTR_i \quad (5)$$

$MTBF_{SR}$ 은 직렬 시스템이 정상 동작하여 고장이 발생할 때 까지 시간으로, 시스템 전체의 MTBF는 각 서브 시스템 별로 제공되는 MTBF의 함수이다. 식 (3)과 (6)로부터 직렬 시스템의 MTBF는 식 (7)과 같이 유도된다.

$$R_{SR} = \prod_{i=1}^N R_i = e^{-t \sum \lambda_i} = e^{-\lambda t} \quad (6)$$

$$MTBF_{SR} = 1/\lambda = 1/(\sum_{i=1}^N 1/MTBF_i) \quad (7)$$

다른 방법으로 시스템의 MTBF는 식 (8)로부터 식 (9)가 유도된다. ASR과 MTTRSR은 식 (4) 및 (5)로부터 산출한다.

$$A_{SR} = \frac{MTBF_{SR}}{MTBF_{SR} + MTTR_{SR}} \quad (8)$$

$$MTBF_{SR} = \left[\frac{A_{SR}}{1 - A_{SR}} \right] \times MTTR_{SR} \quad (9)$$

시스템 고장율(Failure Rate)은 단위 시간당 고장 빈도수

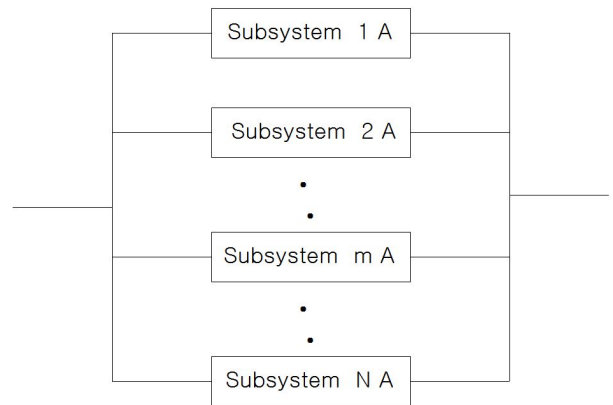
로서 식 (3)에 의해 식 (10)과 같이 표시된다. 이때, 고장율은 통상적으로 100만 시간당 고장 빈도수로 표시된다. 또한 직렬 시스템의 고장율은 식 (7)로부터 식 (11)이 유도된다.

$$\lambda = \frac{10^6}{MTBF_{SR}} \text{ (Failure times/M hr)} \quad (10)$$

$$\lambda_{SR} = \sum_{i=1}^N \lambda_i = \sum_{i=1}^N 1/MTBF_i \quad (11)$$

1.3 병렬연결 및 이중화 시스템 가용도

향후 개발될 환경위성지상국 시스템이 운영되는데 안정을 유지하기 위해서는 병렬연결 및 이중화가 요구된다.



같은 서브 시스템이라도 이중화 구성방법에 따라 시스템 전체의 가용도는 다르다. 그러므로 최대의 가용도를 얻을 수 있는 이중화 구성방법을 선택하여야 한다. 이중화 구성방법은 병렬로 서브시스템을 배치한 후 최종단에서 이중화 제어 스위치에 의해 시스템을 선택하는 방법과 이중화 서브시스템의 중간단 마다 이중화 제어 스위치를 배치하는 방법이 있다.

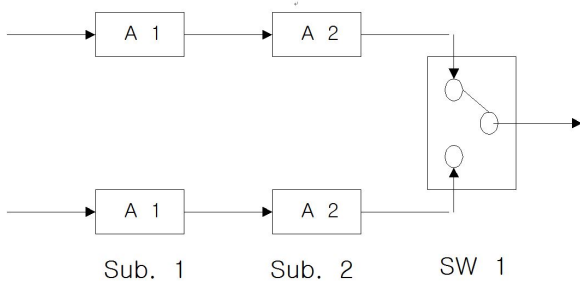


그림 5. 최종단 이중화 스위치 배치 구성도

그림 5와 같이 직렬의 각 서브 시스템을 한 단위로 하여 이중화하기 위해 병렬로 배치하고, 이중화 스위치 SW1은 최종단에서 제어하도록 한다. 이때 이중화한 시스템의 가용도는 식 (4) 및 (12)에 의해 계산한 이중화 가용도에 이중화 스위치(SW1)의 가용도를 곱함으로써 시스템 가용도는 식 (14)와 같이 산출된다.

$$A_{sys} = [1 - (1 - A_1 A_2)^2] \times A_{SW1} = A_1 A_2 (2 - A_1 A_2) \times A_{SW1} \quad (14)$$

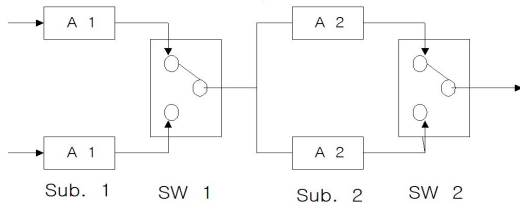


그림 6. 최종단 이중화 스위치 배치 구성도

그림 6과 같이 단일 각 서브 시스템을 한 단위로 이중화하기 위해 이중화 모듈을 이중화 스위치로 선택하고 선택된 서브 시스템을 다음 단의 이중화 모듈에 입력하여 같은 방법으로 정상동작 서브시스템을 선택해 가는 방법이다. 그림 5에서 서브 시스템 별로 가용도를 계산하고 각 경우에 대한 이중화 스위치의 가용도를 곱함으로써 시스템 가용도는 식 (15)와 같이 산출된다.

$$A_{sys} = (2A_1 - A_1^2)(2A_2 - A_2^2) \times A_{SW1}^2 = A_1 A_2 [A_1 A_2 - 2(A_1 + A_2) + 4] \times A_{SW1}^2 \quad (15)$$

2. S/W Program 가용도 수학적 모델

H/W 시스템의 구성부품은 장비설치 후 일정시간이 흐르

에 따라 부품의 노후화 및 고장 등으로 가용도를 유지하기 위해서는 노후 및 고장 난 부품 등의 교체와 같은 유지보수 활동이 필수적이다. 하지만, S/W 시스템의 Program은 H/W 구성 부품과는 달리 노후되거나 고장 나지 않기 때문에 Program 자체의 교체가 요구되지 않는다[7]. 따라서 S/W Program 가용도의 수학적 모델은 다음과 같이 해석된다.

$$A_o = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (16)$$

여기서, MTTR = 0 이다.

III. 환경위성지상국 시스템 가용도 분석

1. Antenna 서브시스템의 구조 분석

환경위성지상국을 구성하는 Antenna 서브시스템의 가용도 분석을 위한 기능 블록도는 그림 7과 같다. RF 시스템의 test translator는 시스템 동작에 영향이 없으므로 가용도 구조에서 배제하였다. 이중화가 적용되는 RF부의 스위치 배치는 중간단 스위치 배치 방법이 최종단 스위치 배치 방법에 비해 가용도가 높기 때문에 그림 6과 같이 중간단 스위치 배치 방법을 선택하였다.

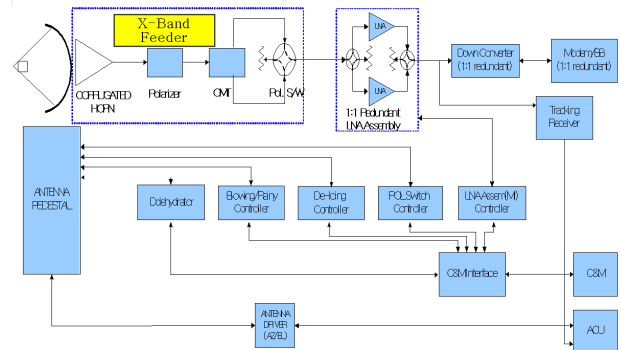


그림 7. Antenna 서브시스템의 기능 블록도(안)

2. S/W 서브시스템의 H/W 가용도 구조 분석

환경위성지상국을 구성하는 서브시스템(subsystems)의 S/W Program의 가용도를 100 %라고 가정할 때, H/W 장비인 Sever, Router 그리고 PC만 시스템 가용도에 영향을 미친다. 다음 그림 8은 환경위성지상국 S/W 서브시스템의 H/W 가용도 분석을 위한 기능 블록도이다.

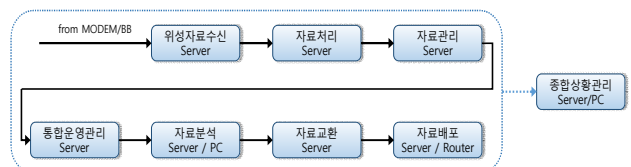


그림 8. S/W서브시스템의 가용도 기능 블록도

3. 환경위성지상국 시스템 가용도 예측 결과

본 논문에서는 환경위성지상국 시스템의 수명이 10년 이상 이므로 시스템 가용 시간을 100만 시간으로 설정하여 산출하였다. 또한 가용도 예측은 모든 구성요소가 시스템 동작에 영향을 미치는 부분이므로 직렬연결 시스템으로 해석하였다. 각 서브시스템별 MTBF, MTTR 및 가용도 예측은 각각 식 (4), (5), (7), (15)로부터 계산되며 결과는 그림 9과 같다.

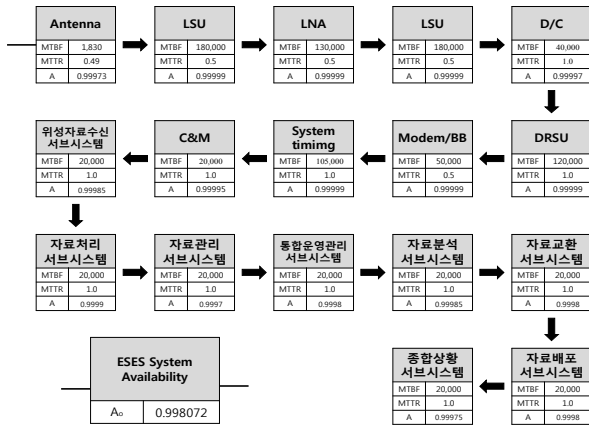


그림 9. 정지궤도 복합위성 2B의 환경위성지상국 시스템의 가용도 예측 분석결과

V. 결론

본 논문에서는 환경위성지상국 시스템 요구규격중의 하나인 시스템 가용도가 요구규격을 만족하는지에 대한 예측을 분석하였다. 이를 위해서 환경위성지상국 시스템 전체의 MTBF, MTTR, 그리고 가용도 계산 방법을 제시하였다.

또한, 본 논문에서는 환경위성지상국 시스템의 가용도 예측 결과를 산출하였으며, 그 가용도 예측 결과는 0.998072로 분석 되었다. 본 논문에서 도출된 환경위성지상국 시스템 가용도 예측결과는 환경위성지상국 수명(10년) 이상 시스템을 사용할 수 있는 것으로 산출되어 환경위성지상국 시스템 요구규격(0.997)을 만족한다. 하지만, 향후 개발될 환경위성지상국 시스템 가용도를 유지하기 위해서는 다음과 같은 대책이 강구되어야 한다.

- 시스템의 사용기간 중 발견될 수 있는 문제점(Errors)을 분석하여 수정하는 Corrective 유지보수.
- 주위 환경(H/W, Operating System 등) 개선(Upgrade) 변화에 대응하여 적절하게 S/W Program을 수정하는 Adaptive 유지보수.
- S/W가 운용되면서 사용자로부터 요청되는 새로운 기능에 대한 요구와 기존 기능에 대한 수정 사항, 그리고 전반적인 기능향상에 대한 요구 사항들을 만족시키기 위한 Perfective 유지 보수.
- 향후 프로그램 개선 및 신뢰도를 향상시키기 위하여 S/W가 변경되어야 할 경우 역 공학(Reverse

Engineering) 및 역 공학 기술을 이용하여 S/W 고도화를 구축하기 위한 Preventive 유지보수.

참고 문헌

- [1] 은종원 외, “환경위성 지상국 상세기술 분석연구-시스템 및 인터페이스 중심으로”, 국립환경과학원, 2013. 11.
- [2] Mean time between failures, http://en.wikipedia.org/wiki/Mean_time_between_failures
- [3] Failure rate, http://en.wikipedia.org/wiki/Failure_rate
- [4] Pratt, Timothy & Boston, Charles W., Satellite Communications (John Wiley & Sons), 1986.
- [5] She, Jieyu & Pecht, Michael G., IEEE Trans. on Reliability, 41, 72, 1992.
- [6] Maral, G. & Bousquet, M., Satellite Communications Systems (John Wiley & Sons), 1993.
- [7] Hughes, Availability Models/Predictions for ECS Project (Hughes Information Technology System: Maryland), 1996.

저자

은 종 원(Jong Won Eun)

중신회원



- 1987년 5월 : (미국) 유타주립대학교 대학원 MS & Ph. D.(물리학)
- 1986년 2월 ~ 1989년 2월 : (미)항공우주국(NASA) Marshall Space Flight Center 선임연구원
- 1992년 9월 ~ 1994년 4월 : (미)

Lockheed Martin Space 현장연구원

- 1989년 4월~2009년 9월 : ETRI 책임연구원
- 2005년 3월~2007년 2월 : 한국과학재단 우주단장
- 2011년 9월 : 기업 기술가치 평가사
- 2009년 9월~현재 : 남서울대학교 정보통신공학과 교수, 위성정보융합센터장

<관심분야> : 위성통신, 위성정보융합기술, 저궤도 기상위성 탑재체, 저궤도 위성 지상국기술, 회로망, 초고주파통신, T-DMB 시스템, IT기반 융합기술, IT기술마케팅, 우주정책 과 기술융합

최 원 준(Won Jun Choi)

회원



- 2002년 8월 : 연세대학교 대학원 석사 (대기과학)
- 2005년 9월 ~ 현재 : 국립환경과학원 환경연구사

<관심분야> : 위성정보융합기술, 정지궤도/저궤도 환경위성 탑재체, 환경위성 지상국기술, IT-ET 융합기술, 환경정보 Big-Data 분석 및 제공, 우주정책 및 기술융합

이 은 규(Eun Gyu Lee)

회원



· 2015년 12월~현재 : 남서울대학교 정
보통신공학과 석사과정

<관심분야> : 위성통신, 신호처리, IoT 기술융합