

技術論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 42(5), 406-414(2014)

DOI: <http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2014.42.5.406>

한국형기동헬기 레이더고도계의 결함분석을 통한 신뢰성 향상에 관한 연구

전병규*, 김영목**, 장중진**, 김창영**, 황길원***

A Study on Reliability Improvement of RALT for KUH through Fault Analysis

Byung Kyu Jun*, Young Mok Kim**, Joong Jin Chang**, Chang Young Kim**
and Gil Won Hwang***Defense Agency for Technology and Quality*,**
Korea Aerospace Industries***

ABSTRACT

In this paper, it is introduced characteristics of FMCW-type Radar Altimeter for KUH, and its defects occurred during ground/flight test in initial product phase. In addition, it is also described 'data/control flow model' based fault analysis results of S/W and processes of verifying improvement design through flight test as well as aircraft system integration test called MEP SIL. As a result of design improvement and verification, it is validated that settling the defects and improving not only safety but also capability of the KUH.

초 록

본 논문에서는 한국형기동헬기에 탑재된 FMCW형 레이더고도계의 특성에 대해 소개하고 비행시험 및 지상기능점검 중 발생한 레이더고도계의 결함에 대해 기술하였다. 또한 효율적이고 적시적인 결함 분석과 설계개선안 도출을 위해 데이터/제어흐름 모델을 기반으로 결함요인을 분석하고 설계개선안에 대해 시스템 통합 실험과 비행시험으로 검증하였다. 레이더고도계 단품 및 항공기 체계에 대한 검증결과 결함 해소를 확인하였으며 이를 통해 항공기 안전성과 작전수행능력을 향상시켰다.

Key Words : Surion(수리온), KUH(한국형기동헬기), 레이더고도계(RADAR Altimeter), 소프트웨어 고장탐구(Software trouble shooting), 데이터/제어흐름 모델(Data/Control flow model)

1. 서 론

2013년 3월 28일 한국형기동헬기(KUH, 이하 수리온)의 정식국방규격이 제정되면서 우리나라는 세계 11번째 헬리콥터 생산국에 진입하였다.

수리온은 육군이 30년 이상 운용하고 있는 노후 헬기 2종(UH-1H, 500MD)을 대체하기 위한 항공기로, 국내 첫 개발 및 생산 항공기로서 중요한 의미를 갖는다.

수리온 항공기는 수요군의 요구에 따라 조종

† Received: January 17, 2014 Accepted: April 25, 2014

* Corresponding author, E-mail : bk0816@gmail.com

<http://journal.ksas.or.kr/>

pISSN 1225-1348 / eISSN 2287-6871

석 윈드실드, 연료탱크에 내탄특성을 보유하고 있으며, 내손상성 로터계통, 블레이드, 조중로드, 기체구조와 전시 생존성을 보장하기 위한 적외선 감쇄기, 레이더/레이저/미사일 경보 수신기, 채프/플레이어 발사기 등의 최신 기술이 적용되어 있다. 또한 통신/식별계통, 임무/시현계통, 항법계통으로 구성된 임무탑재장비와 4개의 LCD 다기능시현기(이하 MFD)의 장착으로 사용자 친화적인 운용환경을 제공하여 조종사 임무 능력을 향상시켰다[1][2].

특히 항공기와 지면사이의 상대고도(지면고도)를 측정, 타계통 및 조종사에게 고도정보를 제공하는 레이더고도계(이하 RALT)는 지면에 근접하여 비행하는 임무가 많은 헬리콥터의 특성상 매우 중요한 장비로서 자동비행조종장치(이하 AFCS)에 상대고도 정보를 제공하는 등 항공기의 비행과 안전에 필수적인 장비이다. 따라서 임무 능력과 안전을 확보하기 위해 높은 신뢰성이 요구된다.

하지만 수리온의 양산 중 식별된 레이더고도계의 비정상 동작은 항공기 운용의 차질 뿐 아니라 탑승자의 안전에도 심각한 영향을 미치는 문제로 최우선적 해결이 요구되었다.

본 논문에서는 수리온 항공기에 장착된 레이더고도계의 특성을 기술하고 개발종료 이후 발생한 결함에 대해 분류, 서술한다. 또한 각 결함에 대한 고장탐구 결과와 해결방안을 분석하고 비행 시험 결과를 통해 개선안의 적절성을 입증한다.

II. 본 론

2.1 수리온 레이더고도계

2.1.1 레이더고도계 특성

수리온 항공기에 탑재, 장착되는 레이더고도계 세트는 Fig. 1에서 확인할 수 있듯이 송/수신 안테나 각 1개와 측정 신호를 처리하는 본체로 구성되며, RALT 본체는 Fig. 2와 같이 전원부, 인터페이스부, 제어부, 신호처리부 등 총 8개의 모듈로 설계되었다. ARINC-429 통신을 통해 고도 및 RALT 상태 정보가 임무컴퓨터로 전송되며 저고도 경고 생성을 위한 저고도 기준값인 결심고도 역시 동일한 통신 프로토콜을 통해 임무컴퓨터로부터 수신된다. RALT의 주요 특성 및 제한은 Table 1에서 확인할 수 있다.

수리온에 탑재된 RALT는 FMCW 타입의 측정 방식을 사용한다. FMCW는 주파수 변조된 연속파를 방사하여 반사되어 되돌아오는 수신파를 송



Fig. 1. RADAR altimeter set for Surion

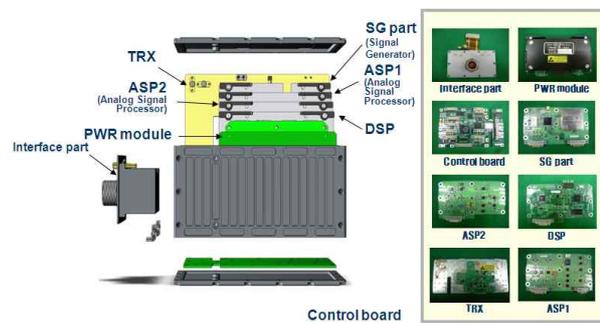


Fig. 2. Components of RADAR altimeter set for Surion

Table 1. Major Specifications and Characteristics of RALT

Category	Spec. and characteristics	
Modulation	FMCW	
Operational range	Up to xxxx ft	
Accuracy	0~100ft	±x ft
	100~2000ft	±x %
Additional Func.	Low Alt. warning (Discrete signal)	

신파와 비교하여 대상과의 거리, 즉 RALT의 경우 지면을 측정하는 방식으로서[3], 레이더고도계 외에도 자동차의 주차보조시스템 혹은 자동주차 시스템, 지질 관측용 얼음 두께를 측정, 선박 탐지 및 추적 등에 응용되어 사용되고 있다[4]. 주파수 변조(FM) 방식은 지면과 같이 넓은 면적의 지면을 높은 정확도로 결정할 수 있으며, 연속파(CW) 특성은 펄스 방식의 전파 신호와 비교할 때 상대적으로 적은 전력으로 측정이 가능하다는 장점이 있다. 다만, FM 특성으로 인해 안테나의 물리적, 신호적 이격이 충분치 않을 경우 방사

된 전파의 고조파가 수신 안테나에 직접적으로 인입될 수 있는 제약이 있다[3]. 또한 시스템의 비선형 특성으로 인해 신호처리를 위한 장비의 복잡성을 증대시키는 단점이 존재한다.

RALT는 타 계통 및 장비와의 통신을 위해 ARINC-429와 이산신호(discrete) 등 2가지 인터페이스를 제공한다[5]. 이 중 ARINC-429 통신을 통해 임무컴퓨터와 연동되며 자체점검 결과 및 고도값, 임무컴퓨터의 RALT 제어 명령 신호 등의 데이터를 송·수신한다. RALT의 저고도 경고 생성 기능에 의해 발생한 저고도 경고 신호는 discrete 통신으로 항공기 구내통신장비(ICS)와 연동되어 경고음을 생성한다.

RALT는 고도의 획득을 위하여 대기모드, 추적모드, 탐색모드로 구분하여 동작한다. 대기모드(Stand-by)는 RF 신호를 방사하지 않고 대기하며 시스템이 부팅되고 자체점검기능(BIT)을 수행할 수 있는 상태로 진입한다. 시스템이 정상적으로 부팅되면 이후 전원인가 후 자체점검기능이 실행되어 장비의 결함을 자체 점검한 후 그 결과를 ARINC-429 인터페이스를 통해 임무컴퓨터로 전송한다. 또한 조종사의 선택에 따라 운용자 실행 자체점검을 수행할 수 있으며 그 결과 역시 동 인터페이스를 통해 임무컴퓨터로 전송되어 조종사가 결과를 확인할 수 있다. 추적(Track) 모드는 정상모드(Normal) 중 하나로 RALT가 정상적으로 고도를 획득, 처리하여 제공하고 있는 상태를 의미한다. 즉, 방사된 RF 신호가 정상적으로 수신 안테나에 도달하여 신호처리 과정을 거친 후 타 계통과 조종사에게 고도 정보를 제공한다. 반면, 탐색(Search) 모드는 RALT의 최초 전원인가 후 또는 추적모드 동작 중 지형·지물에 의한 고도면의 급격한 변화로 인해 진입하며, 현재 고도로 판단되는 최종 추적모드 결과값(고도값)으로부터 일정한 비율로 고도를 내려가며 찾는 기능이다. 이 모드에서는 탐색과정의 모든 고도값은 무효(NCD, Non Computed Data)처리되며, 조종사 및 타 계통/장비에 제공되지 않는다. 추적 및 탐색모드에서도 시스템의 건전성을 확인하기 위하여 주기적으로 운용 중 연속 자체점검이 수행되어 그 결과가 ARINC-429 통신으로 임무컴퓨터로 제공된다.

2.2 레이더고도계 결함유형 및 이력

RALT의 결함은 총 3가지 유형으로 분류할 수 있다. 첫 번째는 RALT와 연동된 'AFCS의 이상 동작'을 야기하는 결함이다. 조종사가 저고도에서 제자리 비행 및 하강기동을 수행하는 중 급작스

Table 2. Defects of RALT history

결함유형	발생 호기	발생일자	발생 횟수	비고
SSM bit 이상동작	PU-A PU-B	'09.11.9 '10.2.4	4회	개발
저고도 경고신호 오경보	PU-A PU-B	'10.2.18 '10.4.1	2회	
고도 이상탐지 (0ft 시현)	PU-B	'11.9.26 '11.9.29	2회	
고도 이상탐지	MU-A MU-B MU-C	'13.1.10~ '13.1.22	4회 이상	초도 양산
저고도 경고음 취소불가	MU-D MU-E	'13.6.28	2회	

럽게 비정상적인 자동상승기동(이하 Fly-Up)이 발생하였으며, 또한 AFCS의 상위모드 중 일부가 정상적으로 동작하지 않아 정상적인 자동비행이 동작하지 않았다. 두 번째는 '고도 이상탐지 현상'으로서, 장비 운용고도인 2000ft 이상의 고도에서 0ft가 탐지/시현되고 운용고도 이내에서 고도값의 떨림(fluctuation)이 발생한 결함이다. 세 번째는 RALT의 '저고도 경고음 취소기능이 동작하지 않는 결함'으로 저고도 경고가 발생하였을 때 이를 취소하여도 지속적으로 저고도 경고음이 청취된 현상이다.

상기와 같은 결함은 체계개발 단계에서부터 간헐적으로 발생한 사항으로, 개발단계와 초도양산 단계에서 발생한 RALT의 결함이력 및 세부 결함내용을 정리하면 Table 2와 같다. RALT의 이상탐지 현상은 체계개발 당시 결함이 발생하였을 때 심층 분석 없이 일부 부품교체 후 결함현상이 재발되지 않는 것을 확인하고 종결처리하여 결과적으로 초도양산단계까지 결함이 내재되어 왔으며, 그 결과 초도양산 기간 중 4회 이상의 동일/유사 결함이 발생되었다. 또한, 저고도 경고음의 취소불가 현상은 양산단계에서 지상 기능점검 중 식별한 결함 현상으로, 체계개발단계에서 설계개념에 대한 검증이 충분치 못하여 발생한 결함이다. 이러한 RALT 비정상 동작은 양산 항공기의 수락시험비행, 수령검사 중 수 차례 반복되어 근본적 문제해결을 위한 심층 고장탐구가 필요하였다.

2.2.1 자동비행조종장치 이상동작

AFCS의 이상동작은 양산 A호기 수락시험비행에서 최초 발생하였으며, 이는 RALT의 결함이

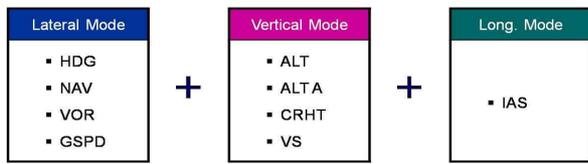


Fig. 3. Possible function combinations of AFCS

비행 안전성 및 작전수행능력과 직결된 AFCS에 직접적인 영향을 미친 사례이다. AFCS는 Fig. 3 과 같이 수평-자동조종모드(Lateral Mode)와 수직-자동조종모드(Vertical Mode), 그리고 장기-자동조종모드(Long. Mode) 등 3가지의 모드의 세부기능을 조합하여 동작시킬 수 있다. 그러나 수리온 양산 과정에서 발생한 AFCS 이상동작은 이러한 자동조종모드 중 상승/하강속도 유지기능인 VS모드와 설정된 고도 유지 기능인 ALT.A 모드가 동작하지 않았으며, 더욱이 충분한 고도가 확보된 상태에서 비정상적인 Fly-Up 기동 현상이 발생하였다.

2.2.2 고도 이상탐지 현상

AFCS 이상동작과 마찬가지로, 초도양산 A, C 호기 수락시험비행에서 식별된 고도 이상탐지 현상은 운용고도 내외에서 지속적으로 고도값 떨림 현상과 순간적인 0ft가 탐지/시현되는 결함으로 거의 동일시점에 초도양산 B호기 수령검사 시험 비행에서도 발생하였다. Fig. 4의 비행데이터에서 RALT 측정 고도값이 4000ft 이상, 즉 고도가 탐지/시현되지 않아야 하는 ‘운용고도 이상’에서 지속적으로 0ft를 탐지, 시현하는 것을 확인할 수 있다. 이러한 이상탐지 현상은 조종사가 확인하는 PFD 계기상의 전파고도에 잘못된 고도가 시현될 뿐 아니라 RALT와 연동된 타 계통/장비의 이상동작에도 직접적인 요인이 된다. 또한 운용고도 이내에서 저고도 hovering 비행 시 순간적으로 0ft가 탐지되었으며, 이는 AFCS의 비정상 동작과도 연관된다. Fig. 5는 측정된 고도값이 지속적으로 고도값 떨림 현상이 발생한 비행데이터로, 마찬가지로 조종사 및 연동 장비에 잘못된 고도값이 제공되어 이상동작과 판단착오의 위험성을 내포하고 있다.

2.2.3 저고도 경고음 취소불가 현상

저고도 경고음은 RALT가 제공하는 주요 기능 중 하나로 조종력이 상실되지 않은 상태에서의 지면 충돌현상인 CFIT(Controlled Flight Into Terrain)를 방지하기 위해 현재 지면고도와 하강속도를 고려하여 비정상적으로 지면에 접근하는 경우 “Pull up”, 즉 기수를 올려서 상승하라는

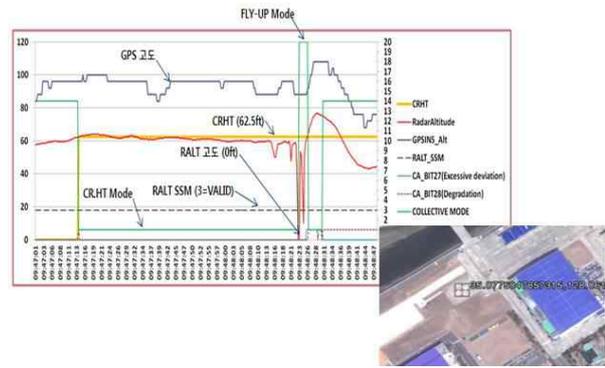


Fig. 4. Zero-foot detection and abnormal 'Fly-up' under low altitude flight for mass prod. unit #2

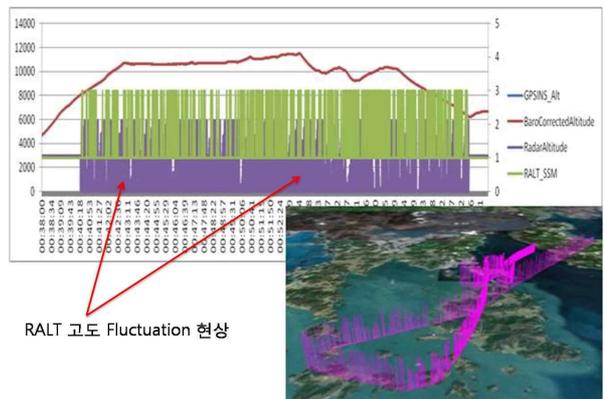


Fig. 5. Radar altitude fluctuated flight data for mass prod. unit #2

경고음을 생성한다. 이러한 경고음은 저고도 비행이 많은 헬리콥터의 운용 특성 상 임무 수행 시 빈번히 발생하며, 수리온 항공기는 임무 특성에 따라 전술지형비행 등 의도된 저고도 비행 임무의 경우 조종사의 판단 하에 해당 경고음을 취소할 수 있는 기능을 보유하고 있다. 그러나 양산 D호기 및 E호기의 지상기능점검 시 'ICS back-up 모드'에서 저고도 경고음을 취소하여도 지속적으로 청취되는 결함이 발생하였다. ICS back-up 모드는 디지털 구동부분을 중지하고 아날로그 구동부분만을 사용하여 내·외부 통신을 동작시키는 기능으로, 과도한 잡음, 전자기파 방해, 시스템의 오류 등 ICS의 'Normal 모드'에서 정상적인 음성통신이 불가할 때를 대비한 고신뢰성 시스템이다. 따라서 이러한 경우에도 정상적인 음성경고 청취 및 취소가 수행되어야 하며, 취소 기능이 정상적으로 동작하지 않을 시 조종사 부하 증가, 통신 불가 등 임무에 악영향을 미치게 된다.

2.3 결함별 고장탐구 결과 분석

AFCS 및 RALT 시스템의 중요성에 기인하여 사안의 긴급성과 해당 결함 때문에 설정된 '비행 제한' 상황을 고려, 효율적이고 적시적인 고장탐구의 필요성이 대두되었다. 이에 기존의 고장탐구 및 개선안 검토의 제한사항을 극복하고자 '데이터/제어 흐름' 방식을 도입하여 고장탐구를 수행하였다.

2.3.1 데이터/제어 흐름 기반의 고장탐구

'데이터/제어 흐름' 방식이란 미 RTCA DO-178B "Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification"에서 소프트웨어 디자인, 특히 Low-level requirement의 기술(description) 방법, 즉 설계 방법으로서 제안하고 있다[6]. '데이터 흐름'은 소프트웨어를 기능 모듈 단위로 세분화하여 데이터, 즉 최초 입력값과 중간 산출값, 최종 결과값(출력값)의 상관관계 및 타당성을 검증하여, 기능모듈 개발의 적절성 혹은 완전성을 검증하기 위한 방안이다. '제어 흐름'은 각 기능모듈이 특정 조건, 입력 등에 의해 '모드' 기능이 존재할 때, 즉 상황에 따라 다른 연산을 수행하는 기능을 구현할 때 사용하는 기술 방법이다[7].

2.3.2 고도 이상탐지-개발품질 분석 및 H/W 측면 고장탐구 결과

AFCS와 RALT의 이상동작 현상에 대한 고장탐구를 위해 우선적으로 검토된 사항은 체계개발 당시 발생하였던 0ft 시현 등의 고도 이상탐지 현상의 원인과 마찬가지로 송신안테나에서 방사된 전파가 수신안테나로 직접 인입되는 가능성이 었다. RALT는 송·수신 안테나 및 RF 케이블의 조합과 성능오차에 따라 시스템 특성이 정해지며, 이러한 특성의 편차를 줄이고 수신되는 전파 신호를 가공하기 위한 수신회로가 Fig. 6과 같이 설계되어있다. 이 회로에서는 대역통과필터(BPF) 등 수신 신호 중 원하는 신호만 추출하여 신호처리 과정을 거친 후 송신 신호 성분을 제거하게 된다. 이 때 처리된 신호는 매우 미약한 신호로 고도값 산출을 위해서는 신호처리가 가능한 크기 까지 증폭 할 필요성이 있으며, 이를 위해 IF Amp.(Intermediate Frequency Amplifier) 소자(IC)를 사용한다. 이 소자와 부속 저항을 이용하여 시스템 특성 및 회로 특성을 고려한 최적 이득값을 규정된 범위(00±2 dB)에서 설정하여 사용한다. 이 때, 규격치 이내의 이득값이 설정되었더라도 RALT 시스템(표시기, 안테나, RF 케이블 등) 특성 및 수신부 회로 특성의 편차가 반영되

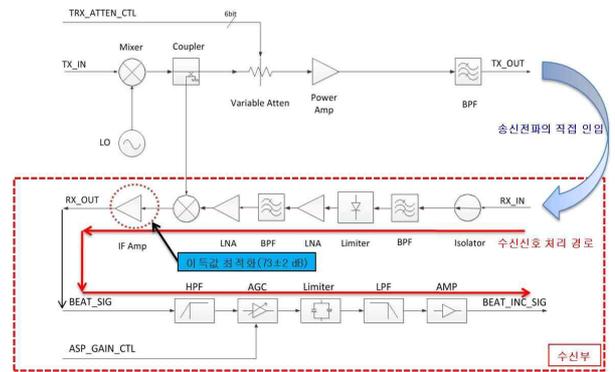


Fig. 6. Received signal processing circuit and diagram of RALT

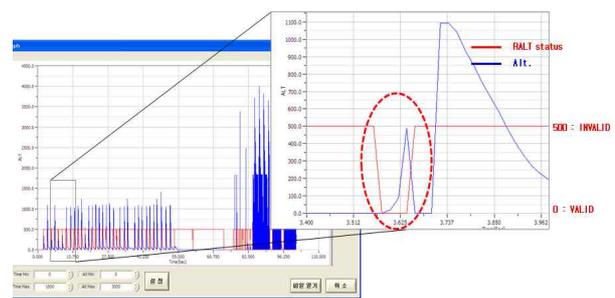


Fig. 7. Test result of outdoor RF emission into the air

지 않는다면 송신 안테나 패턴의 부엽(effective sidelobe gain : x.xx dBi) 신호가 수신 안테나로 직접 인입되는 등의 이상동작을 일으킬 가능성이 존재한다[8]. 이러한 분석결과를 토대로 송신신호의 직접인입이 RALT 고도값 이상탐지 결함요인을 입증하기 위해 항공기 비행데이터를 분석하고 RALT-안테나-케이블을 조합한 레이더고도계 세트를 야외 '허공방사시험'을 통해 실제 송신신호의 수신안테나 직접인입 현상을 확인하였다. Fig. 7은 결함 발생품에 대한 허공방사시험 결과로서 반사 신호가 없으므로 RALT는 '탐색'모드로 진입하여 모든 측정값을 무효로 처리해야 하나 일부 구간에서 수신신호 유무 판단 기준값(threshold)을 초과하여 유효 처리되는 경우가 있음을 확인하였으며, 이는 허공으로 방사된 송신신호가 수신안테나로 직접 인입되어 시스템이 약 0.1초 동안 인입된 신호에 의해 정상 측정 고도값으로 오인한 것으로 확인되었다. Fig. 8은 야외 허공방사시험 시 측정된 수신회로의 RF 비디오 신호 파형으로서 순간적으로 수신신호가 기준값을 초과하는 현상을 확인할 수 있다. 결과적으로 이러한 원인 때문에 제자리 비행 등 일부 비행유형에서 AFCS 비정상 동작 및 고도값 이상탐지 결함이 발생한 것으로 최종 결론지었다.



비디오 신호값 [조정 전]

문턱값



[조정 후]

Fig. 8. The video signal of outdoor RF emission into the air

결함의 개선을 위한 방안으로는 결함이 발생한 RALT 장비에 대해 우선적으로 IF Amp의 이득값을 최적화 하고, 허공방사시험을 통해 조정된 이득값의 적절성을 검증하였다. 또한 향후 추가적으로 발생할 수 있는 동일 원인의 결함을 배제하기 위해 RALT 단품의 수락시험절차서에 허공방사시험 공정을 추가하여 고도계 세트 제작 시 최종적으로 확인토록 국방규격을 보완하였다. IF Amp 이득값 최적화 개선품 적용을 통해 AFCS 비정상 Fly-Up 현상과 운용고도 이상에서의 0ft 탐지 현상을 개선하였으며 비행시험을 통해 입증하였다.

2.3.3 고도 이상탐지-S/W측면 고장탐구 결과

2.3.2절의 H/W (IF 증폭소자 최적화) 결함요

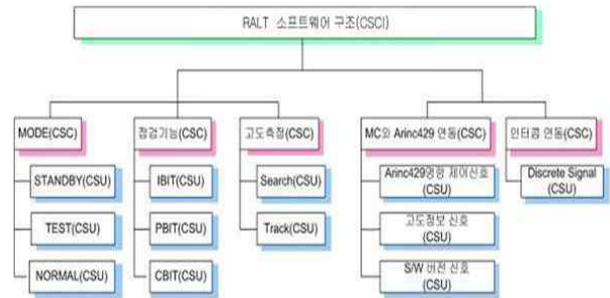


Fig. 9. CSCI structure described in SRS

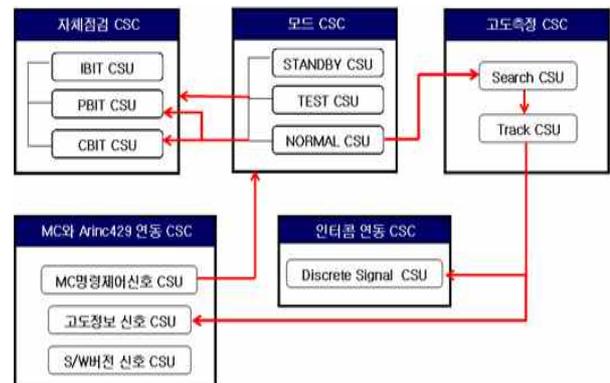


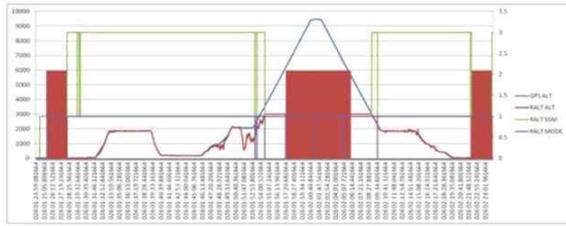
Fig. 10. CSC-CSU relationship described in SDD

인과 더불어 S/W 측면의 고장탐구를 위해 2.3.1 절에서 기술한 '데이터/제어 흐름' 분석방법을 적용하여 결함요인을 추적하였다.

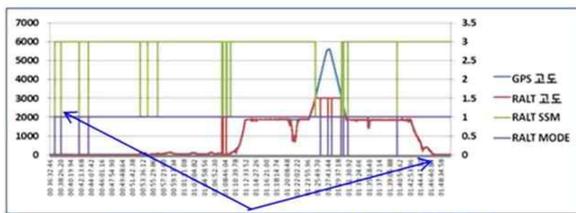
Figure 9와 Fig. 10은 각각 SRS(Software Requirement Specification, 소프트웨어 요구조건 정의 문서)에 기술된 CSCI(Computer Software Configuration Items)와 SDD(Software Design Description)에 기술된 CSC-CSU 관계도이다. RALT에는 5개의 CSC와 각 하부에 총 12개의 CSU가 존재하며, 이러한 구조는 체계개발단계의 RALT CDR(Critical Design Review, 상세설계검토) 단계에서 확정되었다. 각 모드에 대한 기능적 정의는 SDD에 기술되어 있으며, 소프트웨어 공학적인 측면에서 중요한 의미를 갖는다.

Figure 9와 Fig. 10의 CSCI 및 CSC-CSU의 관계도를 기반으로 '데이터/제어흐름' 모델을 도식화하면 Fig. 11과 같다. 최초 추정된 결함요인은 고도추적/탐색을 담당하는 'Search/Track CSU'와 탐지된 고도정보의 유·무효를 제어하는 '고도정보 신호 유·무효 선택 제어신호', 그리고 안테나에서 수신된 신호 자체로 식별하여 상세 분석을 수행하였다. 그 결과 정상적인 고도추적 중 항공기 하단 지형·지물이나 항공기 고도가 급격하게 변하여 RALT가 탐색모드로 동작할 때, 고

■ 개선 전



■ 개선 후



고도 Fluctuation 및 0ft 탐지 개선 확인

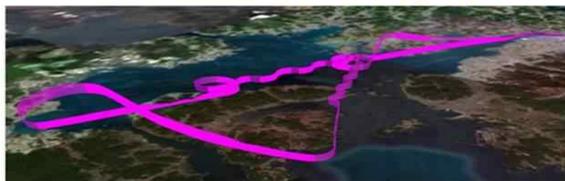


Fig. 14. The flight data - verification of design improvement for abnormal altitude measurement (2/2)

는 사이클릭 조종간에 대한 기술자료 확인결과 저고도 경고음의 취소기능은 음성통신과 경고음을 제어, 관장하는 구내통신장비(ICS) 국방규격서 [9]의 '3.4.12.3. 오디오 경고 제어 항목 이산신호 (Discrete Signal) 경고 메시지 해제' 기능과 RALT 단품 국방규격서[5]의 '3.4.4.1.2. 이산신호 인터페이스' 항목과 연관된 규격 불일치 사항으로 추정하였다.

RALT와 MC 연동시험을 통한 저고도 경고음 이산신호 점검결과, MC와RALT 간 송수신 데이터가 정상일 때에도 저고도 경고가 일시 해제되고 다시 발생한다는 것을 확인하였다. 따라서 보다 심층적인 분석이 필요하였으며, RALT의 개발 장비(회로카드에 장착된 마이크로 컨트롤러 및 레지스터 등 메모리 디버깅 장비)를 활용하여 분석하였다. 그 결과 일시적으로 RALT 내부 레지

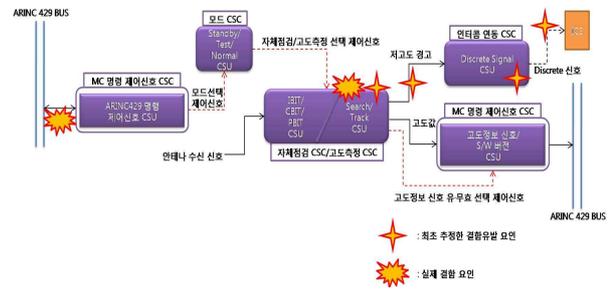


Fig. 15. The 'Data/Control Flow' model - defect in low altitude warning cancellation

스터의 항공기 이착륙 상태 파라미터가 실제와 다른 상태, 즉 실제로는 공중 상태임에도 지상으로 일시적으로 적용된다는 사실이 밝혀졌다. 항공기 이착륙 상태 파라미터는 항공기 착륙장치에 부착된 센서가 바퀴에 걸리는 무게(Weight on Wheel, WOW)를 감지하여 항공기의 이착륙 상태를 확인하여 타계통(장비)에 제공한 데이터로, RALT에서는 항공기 이륙상태(WOW = 0)에서만 저고도 경고가 생성되도록 설계되어 있으며, MC로부터 이 값을 수신하여 저고도 경고 생성에 사용한다. 결국, RALT 내부 레지스터에 저장된 항공기 이착륙 상태 파라미터가 비정상적으로 변경되는 것이 결함의 직접적인 요인으로 확인되었다.

Figure 15는 저고도 취소불가 현상을 분석하기 위한 '데이터/제어흐름' 모델이며, 최초 추정 결함요인과 대비하여 실제 결함유발 요인이 차이가 있으나 큰 맥락으로는 최종적인 결론에 도달하는데 유용한 도구로 활용되었다. 상세 고장탐구 결과, 임무컴퓨터와 RALT의 Arinc-429 통신 시스템 특성에 의한 동기화의 일시적 실패에 기인하여 해당 결함이 발생한다는 결론을 도출하였다. 이는 RALT S/W 측면에서 데이터가 수신되는 시점(160ms 주기)과 임무컴퓨터 및 항공기 체계 측면의 데이터 송신 시점(000.5 ~ 000.8ms 주기)이 상이하여 주기적으로 일시 수신 불량 현상이 발생하게 되며, RALT S/W에는 이러한 경우에 대해 강성(robustness) 로직이 적용되지 않았기 때문에 발생하는 문제로 규명되었다.

따라서 이러한 일시적 데이터 수신 실패에 대해 데이터의 연속 수신실패에 대한 예외처리 로직을 추가하는 것으로 설계개선안을 확정하고 단품 수락시험, MEP SIL 검증, 비행시험 등을 통해 이를 검증하였으며, 그 결과 해당 결함현상이 성공적으로 해소되었다.

III. 결 론

본 논문에서는 현재 체계개발이 종료되고 초도양산이 진행 중인 수리온 헬리콥터에서 발생한 레이더고도계 관련 결함에 대해 그 원인을 분석하고 설계개선안을 검증하는 과정을 기술하였다. 이를 위해 국방무기체계의 사업 특수성을 고려하여 레이더고도계 소프트웨어의 데이터/제어 흐름 모델을 도식화하여 결함요인 분석에 활용하였으며, 그 결과 결함원인의 인지성을 향상시키고 효율적인 개선안을 도출할 수 있었다. 또한 항공기의 전력화 일정 충족과 결함의 파급효과, 즉 항공기 안전성과 작전수행능력의 신뢰성을 향상시키는데 성공적으로 적용하였다.

항공기 안전성에 직결되는 결함인 RALT의 이상고도 탐지현상이나 작전수행능력에 악영향을 미치는 저고도 경고음 취소불가 현상은 무기체계 및 구성품의 개발에서 체계-구성품과 구성품-구성품 간 연동 요구조건 및 검증, 그리고 개발품질의 중요성을 시사한다. 본 논문에서 기술한 고장탐구 방법과 수리온 레이더고도계의 결함 해소 사례를 통해 국방 무기체계 뿐 아니라 민간 분야에서도 참고방안으로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

1) Yeonwoon Yu et al., "Design on Flight-Critical Function of Mission Computer for KUH," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, V.14, n.2, Apr. 2011, pp.213~221

2) YooKyung Kim et al., "Development of the MEP Integration Test Environment for Surion," *Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol.39, No.7, Jul. 2011, pp.666~673

3) Yasar Baris Yetkil, "Design of an FM-CW RADAR Altimeter," Master's degree dissertation, Natural and Applied Sciences of Middle East Technical Univ., Dec. 2005

4) DanBee Hong, ChanSu Yang, "Algorithm Implementation for Detection and Tracking of Ships Using FMCW Radar," *Journal of the Korean Society for Marine Environment and Energy*, Vol.16, No.1, Feb. 2013, pp.1~8

5) Defence Acquisition Program Administration, "Altimeter Set, Elcectronic, APN-12K," KDS 5841-4003, Mar. 2013

6) RTCA Inc., "Software Considerations in Airborne Systems and Equipment Certification," DO-178B, Dec. 1992

7) ByungKyu Jun, "Performance Improvement of the Collision Avoidance Algorithm for the TCAS-II System with Safety Critical Software," Master's degree dissertation, Korea Aerospace Univ., Aug. 2011

8) Jonggil Lee, Changki Lee, "A Study on Interference in a FM-CW Radar," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol.16, No.9, Sep. 2012, pp.1856~1863

9) Defence Acquisition Program Administration, "Intercommunication Set," KDS 5831-4001, Mar. 2013