군용 항공기를 위한 음성/톤 경고 시스템 설계

[1] 나하나, [2*] 김도균

Voice/Tone Warning System Design for Military Aircraft

[1] Hana Na, [2*] Do Gyun Kim

요 약

고속의 군용 항공기는 인명피해 최소화를 위해 생존 장비들과 경고 시스템으로 적의 위협 또는 내부 구성품 불량을 조종사가 파악하고 해결할 수 있어야 한다. 경고 전달은 디스플레이에 심볼 전시를 통한 시각적 방법과 통신 장비의 소리를 통한 청각적 방법으로 구분되는데, 청각적 방법이 반응 시간이 짧고 단순한 메시지 청취를 통해 조종사 혼란을 유발하지 않는다는 점에서 우월하다. 이에 본 논문은 군용 항공기용 음성/톤 경고 시스템의 효과적인 설계방법을 생명주기 관점에서 제시하고 평가하였다. 안전에 민감한 군용 항공기이므로 각 경고에 우선순위와 Inhibitible, Interruptible, Deactivatable의 세 가지 속성들을 적용하여 중대성과 긴급성을 반영했다. 그 결과 음성경고 재생까지 40ms가 소요되었으며, V모델 기반 개발 및 테스트를 통해 요구도를 모두 충족했고 제품 신뢰성이 향상됨을 확인하였다.

Abstract

High-speed military aircraft shall be able to identify and resolve enemy threats or internal component defects with survival equipment and warning systems to minimize casualties. Warning system is divided into visual method with symbolic display and auditory method with communication equipment, which is superior in that they it has a short response time and does not cause pilot confusion by listening to simple messages. Thus, this paper suggested and evaluated effective design methods of voice/tone warning systems for military aircraft based on a life cycle perspective. Since military aircraft is safety-sensitive, priorities and three properties(Inhibitible, Interruptible, and Deactivatable) were applied to each warning to reflect criticality and urgency. As a result, we confirmed that it took 40ms to play the voice warnings, satisfying all requirements through V model-based development and testing, and improving product reliability.

Keywords: *Warning System, Voice/Tone Message, V-Model, Verification, Validation*

1 한화시스템 항공시스템팀 선임연구원 (hana9044@hanwha.com)
*2*교신저자 한화시스템 항공시스템팀 연구원 (dogyun.kim@hanwha.com)*

Received: Aug. 31, 2021, Revised: Sept. 27, 2021, Accepted: Sept. 27, 2021

I. 서론

고속 운송수단인 항공기는 신뢰성과 안전성이 필수적으로 요구된다. 추락사고 발생시 많은 인명 피해와 금전적 손해를 초래할 수 있기 때문이다[1]. 항공기내 경고 시스템을 완비하여 발생 가능한 다양한 위협과 상황들을 조종사가 신속하게 인지하고 해결하여 생존성을 향상시킬 수 있도록 해야한다. 이로 인해 군용 항공기에는 적과의 전투에 대비할 수 있도록 항공 생존 장비(Aircraft Survivability Equipment, ASE)들을 갖추고 있다. 레이더 경보 수신기(Radar Warning Receiver, RWR), 레이저 경보 수신기(Laser Warning Receiver, LWR), 미사일 경보 수신기(Missile Warning Receiver, MSR)가 포함되며, 적으로부터의 위협을 경고하는 역할을 한다[2].

이 외에도 항공기 엔진에 화재가 발생했을 때, 비행 고도가 낮을 때 등의 위급 상황들을 경고해야 하는데, 이는 시각 또는 청각적으로 가능하다. 인간공학적 측면에서 시각적 경고(Visual Warning)보다는 청각적 경고(Auditory Warning)가 선호된다[3-4]. 조종사에게 시각적으로 경고를 전달한다면 이를 인지하지 못하거나 파악 도중에 과도한 부하로 조종사 집중력을 저해하거나 혼란을 유발할 수 있다. 반면에 청각적 경고는 짧고 단순한 메시지의 반복적인 청취를 통해 시각적 경고의 단점이 보완된다. 또한 적절한 음성 경고의 속도, 억양, 음높이 등의 주관적인 요소들이 반응시간(Reaction Time)의 단축으로 이어질 수 있다 [5].

본 논문은 군용 항공기를 위한 음성/톤 경고 시스템의 효과적인 설계 방법을 제안한다. 효율적인 상황 인지를 위해 반복적인 메시지 반복을 통한 청각적 경고 방법을 채택했으며, 중대성(Criticality)과 긴급성(Urgency) 요소 반영을 위해 각 경고 메시지에 우선순위와 속성들을 할당하였다. 또한 V&V(Verification and Validation) 개념을 전체 생명주기(Life Cycle)에 적용하여 효율적인 개발 및 테스트를 거쳐 제품의 신뢰성을 향상시켰다[6]. 마지막으로 경고 재생까지의 소요시간을 분석하고 시스템 요구도 만족 여부로 설계한 시스템을 평가하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 군용 항공기의 일반적인 경고 시스템에 대하여 기술한다. 3 장은 설계한 시스템을 설명하기 위해 시스템 요구도, 경고 메시지 속성을 언급한 후, 하드웨어, 소프트웨어 설계 세부사항을 기술한다. 4 장에서는 실험 및 결과를 기술하며, 마지막으로 5 장에서 결론 및 향후 계획을 도출하는 것으로 본 논문은 마무리된다.

II. 배경 지식

비행 중 적의 위협을 받거나 내부 구성품의 기능적 불량 발생으로 위험한 상황에 대한 인지가 필요한 경우, 경고 시스템의 작동이 요구된다. 경고시스템은 그림 1 에서 볼 수 있듯이 시각적 경고를 위한 디스플레이와 청각적 경고를 위한 통신 제어 장비로 나뉜다. 본 논문에서 제안하는 음성/톤 경고 시스템은 통신 제어 장비 일부이며, 생명주기 기반으로 설계 방법에 대해 제안한다.

경고 시스템은 위험 파급력 정도와 신속한 상황 대처가 필요한 정도에 따라 경고 목록들이 우선순위에 따라 구성된다. 경고 신호는 이산신호(Discrete Signal) 또는 MIL-STD-1553B 데이터 버스를 통해 전달되는데, 시스템에 직접 전달되거나 항공기 제어 시스템인 임무컴퓨터(Mission Computer, MC)를 통해 전달된다. 그림 1 에서 볼 수 있듯이 시각적 경고는 화면에 글자 또는 심볼을 통해 표시 되며, 청각적 경고는 헤드셋을 통해 소리로 전달 된다.

일반적인 경고 시스템은 경고 신호를 통해 Trigger 된다. 만약 적의 레이더 전파를 수신해 항공기 탐지 상황을 조종사에게 통보할 시, 항공기는 특정 RWR 경고 신호를 출력한다. 이때 시각 경고 시스템은 해당 신호를 통해 디스플레이에 특정 심볼을 전시하는 구조이며, 음성 경고 시스템은 입력 받은 신호를 토대로 특정 음성 경고를 재생하는 구조를 갖는다. 이를 통해 조종사에게 통합적인 경고 인지가 가능하다.

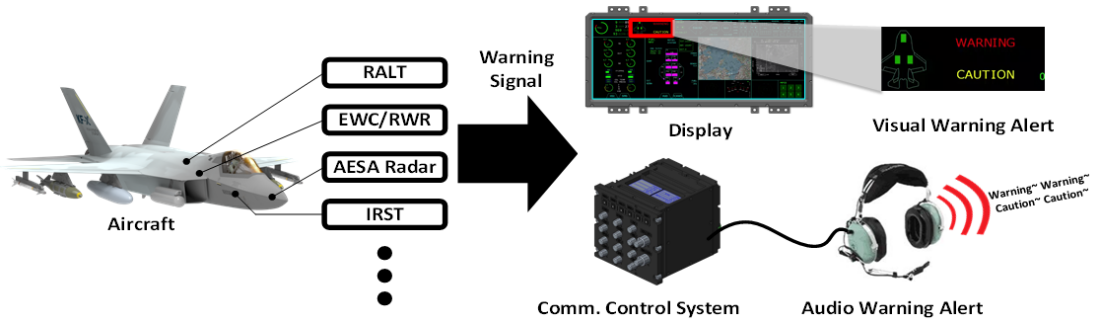


Figure 1. A typical structure of warning system
그림 1. 경고시스템의 일반적인 구성도

III. 음성/톤 경고 시스템

군용 항공기는 특정 임무를 수행하는 여러 계통들이 통합되어 운용되며, 통신/식별, 항법, 생존, 임무관리/시현 계통들로 구분된다[7]. 기체 내부 각 계통들은 MC 를 중심으로 MIL-STD-1553B 데이터 버스 연동을 통해 각 장비들의 상태 파악을 통한 실시간 제어와 통합적인 상황 시현이 이루어진다. 음성/톤 경고 시스템과 타장비들과의 인터페이스는 그림 2 와 같다. 본 시스템은 MC 와의 MIL-STD-1553B 통신으로 각 장비들과 이산신호와 오디오 신호를 주고받고, 경고 상황 발생시 MIL-STD-1553B 통신 또는 타 장비의 이산신호 입력을 통해 경고 재생이 명령 된다. 생존 계통 장비인 RALT(Radar Altimeter)는 시스템으로 이산신호가 직접 입력되는데 만약 해당 신호가 ON 일 때 “Altitude Altitude”의 음성 메시지가 재생된다.

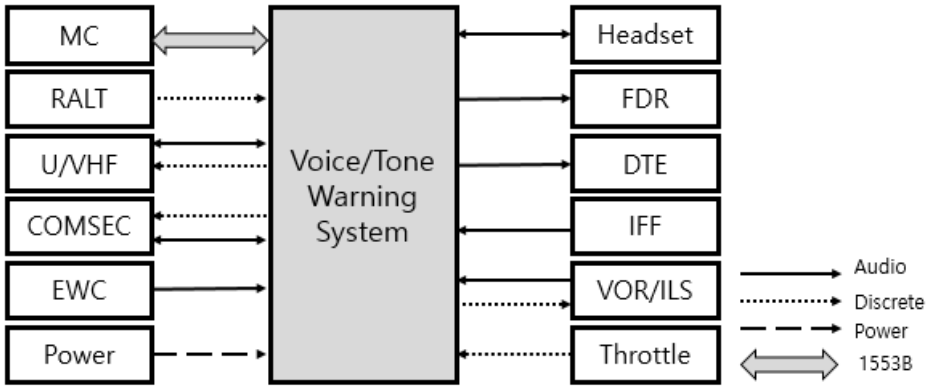


Figure 2. Interface of Voice/Tone warning system
그림 2. 음성/톤 경고시스템의 인터페이스

3.1 시스템 요구도 및 음성/톤 경고 속성

본 논문에서 제안하는 음성/톤 경고 시스템의 고객 요구도와 시스템 요구도 추적성은 표 1 과 같다. V 모델을 통해 고객 요구도로부터 시스템 요구도가 도출되고, 하드웨어/소프트웨어 요구도가 도출되어 설계에 사용되는데, V 모델은 4 장에서 설명한다. 이후 4 장에서 하드웨어 및 소프트웨어가 고객 요구도를 기반으로 잘 설계가 되었는지 Verification 을 진행 한다. 그리고 본 논문에서 제안하는 재생되는 목록은 표 2 와 같다. 각 경고들에 우선순위(Priority)를 할당했으며 우선순위에 따라 더 긴급한 것들이 먼저 재생되도록 설계했으며, 긴급성과 중대성을 반영하기 위해 우선순위 외에도 Inhibitible, Interruptable, Deactivatable 총 3 가지의 속성들이 존재한다.

Table 1. Requirement Traceability

표 1. 시스템 요구도 추적성

Customer Req.	System Req.	Description
CUS-REQ-001	SYS-SPEC-001	The Voice Warning System shall provide the control of enabling/disabling the inhibit function with button.
CUS-REQ-002	SYS-SPEC-002	The Voice Warning System shall control the volume of the voice message/tone.
CUS-REQ-003	SYS-SPEC-003	The Voice Warning System shall play the voice messages by MIL-STD-1553B data bus transaction or triggered discrete signal.
CUS-REQ-004	SYS-SPEC-004	The Voice Warning System shall play the voice message/tone within 100msec after receiving the playing command.
CUS-REQ-005	SYS-SPEC-005	The Voice Warning System shall use the voice message queue for playing of the voice message/tone independently.
CUS-REQ-006	SYS-SPEC-006	The Voice Message queue shall be capable of storing up to 24 voice messages.
CUS-REQ-007	SYS-SPEC-007	The Voice Warning System shall store the voice messages based on the priority and play them placed at the top of queue.
CUS-REQ-008	SYS-SPEC-008	The Voice Message queue shall not store duplicate voice messages.
CUS-REQ-009	SYS-SPEC-009	The Voice Warning System shall provide Interruptible property for voice messages
CUS-REQ-010	SYS-SPEC-010	The Voice Warning System shall provide Deactivatable property for voice messages
CUS-REQ-011	SYS-SPEC-011	The Voice Warning System shall play the tone by MIL-STD-1553B data bus transaction or triggered discrete signal.
CUS-REQ-012	SYS-SPEC-012	The Voice Warning System shall play the Voice Message first when a higher priority voice message is received.
CUS-REQ-013	SYS-SPEC-013	The Voice Warning System shall provide BIT(Built In Test).
CUS-REQ-014	SYS-SPEC-014	The PBIT(Power-on BIT) shall start automatically when Voice Warning System is turned on.
CUS-REQ-015	SYS-SPEC-015	The CBIT(Continuous BIT) shall run continuously and concurrently with system operation.
CUS-REQ-016	SYS-SPEC-016	The IBIT(Initiated BIT) shall be initiated or terminated through MIL-STD-1553B data bus.
CUS-REQ-017	SYS-SPEC-017	A result of the BIT shall be transmitted to Mission Computer through the MIL-STD-1553B data bus.
CUS-REQ-018	SYS-SPEC-018	The Voice Warning System shall provide MIL-STD-1553B interface and discrete signal interface based on ICD(Interface Control Document).

표 2 의 각 속성들은 아래의 의미를 가지고 있다.

1) Inhibitable: 사용자 조작에 의해 해당 경고가 재생되지 않을 수 있음
2) Interruptable: A 경고가 B 경고보다 우선순위가 낮을 시, B 경고 재생 명령이 A 경고 재생 도중에 들어왔을 경우, A 경고의 재생을 멈추고 B 경고를 재생 됨
3) Deactivatable: 경고 재생 도중 재생 중지 명령을 통해 경고의 재생을 멈출 수 있음

Table 2. Voice Warning Information

표 2. 음성 경고 정보

Priority	**Type**	**Voice Message**	**Repeat**	**Property**		
				Inhibitable	**Interruptible**	**Deactivatable**
1	VM	Pull-Up	4	FALSE	TRUE	TRUE
2	VM	Altitude	2	FALSE	TRUE	FALSE
	VM	Left Engine Fire	2	FALSE	TRUE	FALSE
	VM	Right Engine Fire	2	FALSE	TRUE	FALSE
3	VM	Warning	4	TRUE	TRUE	TRUE
4	Tone	Landing Configuration Warning	250Hz Sine Wave (Repetition)	FALSE	TRUE	TRUE
5	VM	Caution	2	TRUE	TRUE	TRUE
6	VM	Bingo	2	TRUE	TRUE	TRUE
7	VM	Low	1	TRUE	TRUE	TRUE
8	VM	Joker	2	TRUE	FALSE	TRUE

3.2 하드웨어 구조

본 시스템의 하드웨어 구조는 그림 3 과 같으며, CM(Control Module)과 APM(Audio Processing Module)이 경고 재생 프로세스에 주로 관여된다. 먼저 CM 에는 제어 역할을 위해 Zynq[8]와 주변 장치들이 포함되고, APM 에는 오디오 신호 입출력, DSP(Digital Signal Processing), 헤드셋 출력 회로 등이 포함된다. Zynq[8]는 ARM 사의 Cortex 프로세서를 기반의 PS(Processing System) 영역과 FPGA 하드웨어 프로그래밍이 가능한 PL(Programming Logic)으로 구분되는데, PS-PL 간 인터페이스는 AMBA 를 통해 이루어진다. Zynq 는 50MHz 클럭으로 구동되고 주변 장치들 제어 및 통신을 위해 SPI, I2C, I2S 등이 포함된다.

특히, CM 내부의 CODEC 은 동작 모드에 따라서 ADC(Analog-to-Digital Converter) 또는 DAC(Digital-to-Analog Converter) 가 스위치 제어를 통해 작동된다. Normal mode 에서는 경고 재생을 위해 DAC 가 사용되고, BIT(Built In Test) mode 에서는 ADC 를 통해 회로 정상 여부를 판단한다. Normal mode 에서 경고가 재생되는 음원 정보는 표 3 과 같으며, 재생을 위한 흐름은 그림 3 의 파란색 음영에 해당되는데 자세한 설명은 다음과 같다. 먼저 1553 통신 또는 항공 타장비를 통한 재생명령을 입력받으면 48kHz 로 샘플링된 음성메시지/톤을 eMMC 에서 읽어온다. 그러면 I2S 프로토콜을 통해 음원을 전달하면, DAC 를 통해 음원을 아날로그로 변환하고 증폭한 후, AMP 내부 헤드셋 출력회로를 거쳐 경고가 재생된다. 음성메시지/톤이 CODEC 과 AMP 로 동시에 입력되고 병합된 채로 APM 에 전달되는 구조로 인해 본 시스템은 음성과 톤 경고가 동시에 청취 가능하다.

Table 3. Warning Specification
표 3. 경고 음원 정보

Aspect	Property
eMMC Storage	8GB
ADC Channel	4 Channel
DAC Channel	8 Channel
Sampling Rate	48kHz

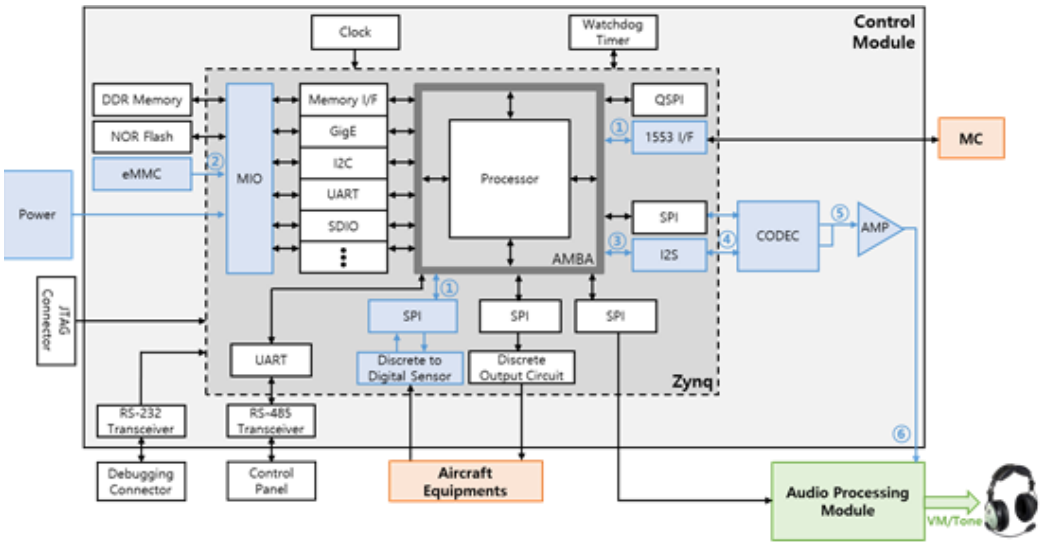


Figure 3. Hardware Architecture
그림 3. 하드웨어 구조도

3.3 소프트웨어 구조 및 흐름

군용 음성/톤 경고 제어 소프트웨어의 구조는 그림 4 에서 볼 수 있듯이 음성 관리 모듈, BIT 모듈, 시스템 제어 모듈, 인터페이스 관리 모듈로 이루어져 있으며 각 모듈은 응급성 및 긴급성을 보증하기 위하여 RTOS 기반으로 동작한다. 또한 항공기 소프트웨어는 안전이 우선되므로 각 태스크별 스택영역보호 등의 safety critical 기능들이 들어간 WITTENSTEIN 사의 SafeRTOS[9]를 사용한다. 각 모듈에 대한 설명은 다음과 같다.

먼저 인터페이스 관리 모듈은 음성/톤 경고 제어 소프트웨어로 들어오거나 나가는 신호들을 관리하는 모듈이다. 인터페이스 관리 모듈은 역할에 따라 주기적으로 신호를 주고받는 기능들은 시간 기반 태스크로 구성되어 있으며, 비주기적 또는 이벤트 기반으로 신호를 주고 받고 하는 기능들은 이벤트 기반 태스크 또는 일반 함수로 구성되어 있다. 1553 인터페이스 는 일정 주기를 가지고 MC 와 통신을 진행하기 위하여 시간 기반 태스크로 구성되며, 이산신호를 탐지하기 위한 태스크 또한 시간 기반 태스크로 구성되었다. 이외의 SPI 및 I2S 통신과 메모리 인터페이스는 이벤트 기반 태스크 또는 일반 함수로 구성되어있다.

시스템 제어 모듈은 음성/톤 경고 제어 소프트웨어 전체를 제어하는 모듈로 크게 부팅 제어, 운용 제어, 로그 관리 기능으로 이루어져 있다. 먼저 부팅 제어 기능은 음성/톤 경고 시스템에 전원이 인가 되었을 경우, 주변 장치 초기화 및 BIT 를 수행하는 역할을 하며, 운용 제어 기능은 인터페이스 모듈로부터 받은 신호를 처리하여 음성 관리 모듈, BIT 모듈로 제어 신호를 내보내는 역할을 한다. 마지막으로 로그 관리 기능은 BIT 모듈로부터 받은 결과를 1553 통신을 통해 MC 로 송신 또는 메모리에 저장하는 역할을 한다. 시스템 제어 모듈은 인터페이스 모듈 또는 음성 관리 모듈, BIT 모듈로부터 신호를 받아 동작하며, 이벤트 기반 태스크로 구성되어있다.

오디오 관리 모듈은 외부 신호로부터 음성/톤 경고를 재생하기 위한 모듈로 볼륨 제어, 음성/톤 경고 제어 기능으로 이루어져 있다. 볼륨 제어 기능은 음성/톤 경고의 볼륨을 제어하기 위한 기능으로 조종사로부터 볼륨 제어 신호가 들어왔을 경우 동작한다. 음성/톤 경고 제어 기능은 외부로부터 들어온 신호들을 기반으로 음성/톤 경고를 재생하고 각 경고들의 속성들에 따라 제어하는 기능을 제공한다.

마지막으로 BIT 모듈은 BIT 수행 및 보고 기능으로 이루어져 있으며, PBIT 은 부트-업 제어 기능에서 호출하여 수행되는 BIT 로 최초 전원 인가 이후 수행되는 BIT 를 의미하며, IBIT 은 외부 사용자(조종사 또는 정비사)에 의해 수행되는 BIT 를 의미한다. 마지막으로 CBIT 는 음성/톤 경고 재생 시스템 운용 중에 수행되는 BIT 를 의미하며, 주기적으로 수행된다.

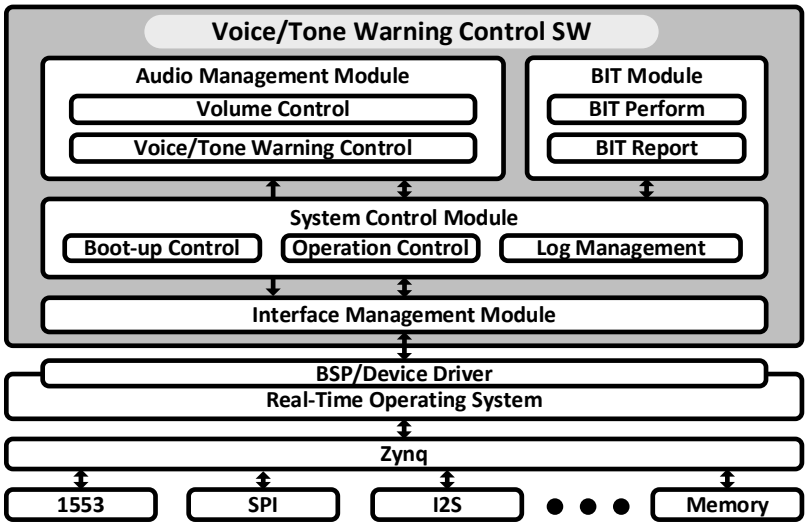


Figure 4. Architecture of Voice/Tone Warning Control Software
그림 4. 음원/톤 경고 제어 소프트웨어 구조도

군용 음성/톤 경고 제어 소프트웨어의 흐름은 그림 5 와 같다. 먼저 MC 또는 다른 계통 장비로부터 1553 또는 이산신호를 입력으로 받는다. 그리고 BSP/디바이스 드라이버 단에서 해당 신호를 인터페이스 관리 모듈로 전달한다. 인터페이스 관리모듈에서는 해당 신호가 유효한지 검증한 이후 유효 하다면, 해당 신호를 시스템 제어 모듈로 전달한다. 시스템 제어 모듈에서는 해당 메시지가 어떤 음성/톤 경고를 재생하는 신호인지 처리하여, 해당하는 음성/톤 경고를 재생하기 위하여 오디오 관리 모듈로 신호를 재생 신호를 전달한다. 오디오 관리 모듈에서는 그림 5 에 표시된 Play Warning 블락의 행동을 반복 한다. Play Warning 블락에서는 먼저 음원 파일을 읽어 오기 위해 eMMC 메모리에 접근하여 재생 신호가 들어온 음원 파일을 읽어온다. 그리고 읽어온 음원 파일 데이터를 I2S 프로토콜 형태로 바꾸어 I2S 장치에 해당 음원 데이터를 전송한다. Play Warning 블락은 음원이 모두 재생이 끝나거나 또는 3 장에서 언급된 각 음원들의 속성에 따라 재생이 중지되기 전까지 반복된다.

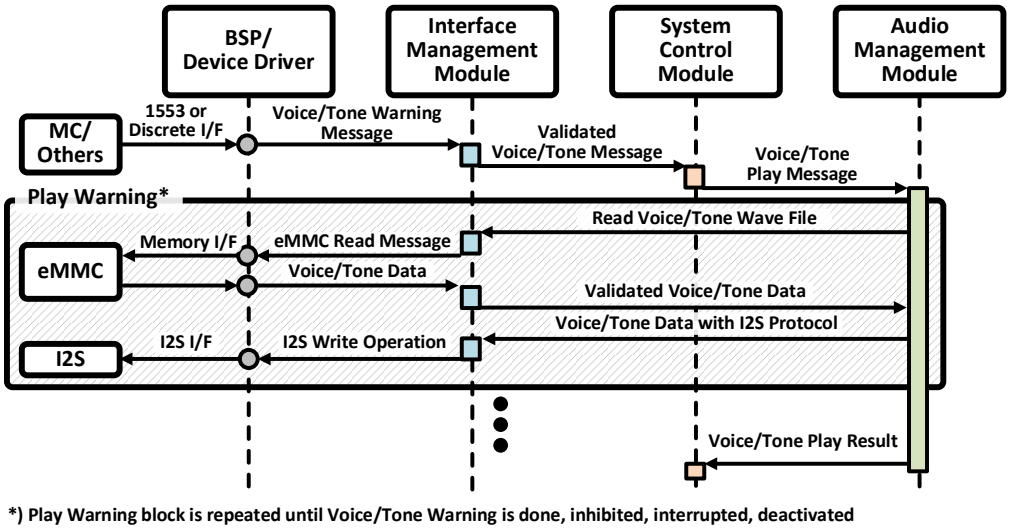


Figure 5. Sequence Diagram of Software
그림 5. 음성/톤 경고 제어 소프트웨어의 흐름도

IV. 실험 및 결과

본 연구는 서론에 언급한 바와 같이 설계부터 테스트까지의 과정에 V&V 개념이 반영된 V 모델을 적용하였다[10]. 시스템 특성과 개발 환경을 고려한 V 모델을 그림 6 처럼 적용하였으며, 크게 Verification 과 Validation 으로 구분된다. 먼저 Verification 은 각 단계 요구도를 준수하여 설계 했는지 확인하는 것이며, Validation 은 최종 시스템이 고객 요구도에 부합되는지 확인하는 과정을 의미한다. 즉, V&V 는 모든 생명주기에 걸쳐 Verification 의 프로세스 관점과 Validation 의 시스템 관점의 검증 과정을 통해 제품의 신뢰성 및 품질 향상이 가능하다[6].

본 시스템 설계를 위해 먼저 주어진 고객 요구도를 분석하여 시스템 요구도를 정의하고 도출하였다. 하향식(Top down)의 설계를 위해 시스템 요구도를 바탕으로 시스템 아키텍처를 설계한 후, 하위 모듈의 구체적으로 설계를 진행했다. 전체적인 구현이 완료되면 상향식(Bottom up)으로 모듈 별 단위 테스트, 시스템 구성요소들의 통합 테스트 단계를 순차적으로 수행한 후, 시스템 테스트와 수락 검사 진행을 통해 설계 일련의 과정에 V&V 개념을 적용하였다. 본 장절은 시스템이 올바르게 설계되었는지 입증하기 위해 하드웨어와 소프트웨어 구성요소들의 요구도 추적성 분석 결과와 경고 속성별 동작과 재생지연시간을 분석하였다.

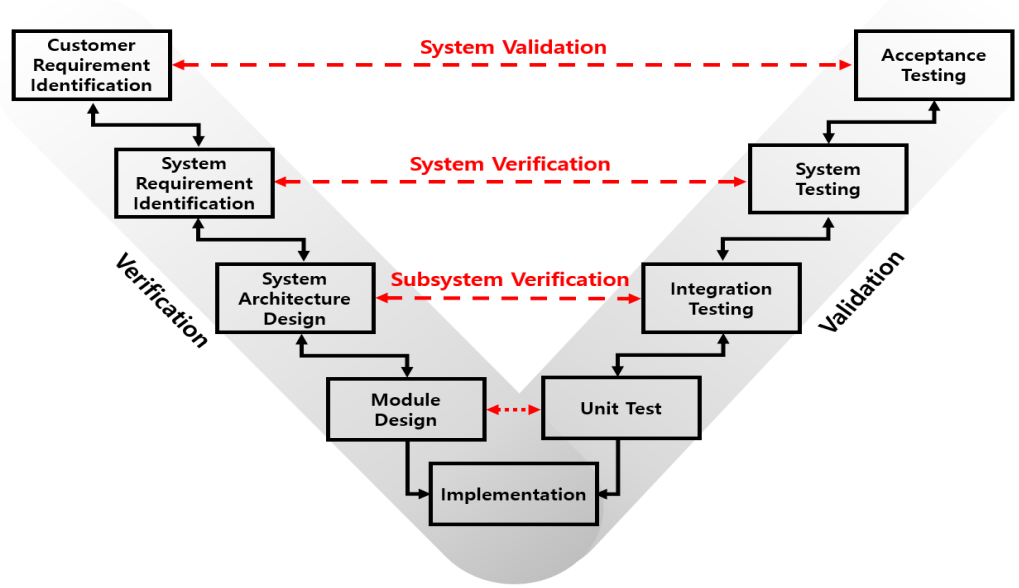


Figure 6. Concept of V&V
그림 6. V&V 개념도

4.1 요구도 추적성 분석

V 모델을 기반으로 한 설계 형상 구성요소들은 그림 7 와 같으며, 각 구성요소 별로 몇 개의 요구도가 할당이 되어있는지 확인할 수 있다. 표 4 는 각 하드웨어/소프트웨어 구성요소들이 어떠한 하드웨어/소프트웨어 요구도를 만족하고 있는지 확인할 수 있으며, 하드웨어 소프트웨어의 각 요구도들을 기반으로 하여 설계 요구도, 고객 요구도를 만족하는지 확인할 수 있다. 각 구성요소들은 중복된 요구도를 가지고 있는 경우도 있는 반면에, 하드웨어의 경우 메시지 큐와 같은 소프트웨어와 관련된 고객 요구도를 가지고 있지 않는 경우도 있다.

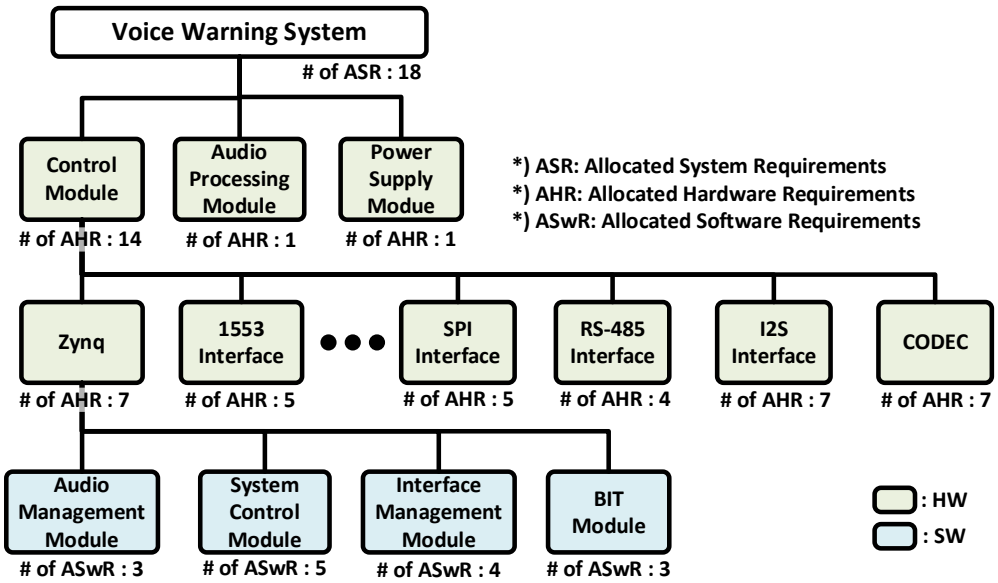


Figure 7. HW/SW Configuration Item and Allocated Requirements
그림 7. 하드웨어/소프트웨어의 구성요소별 요구사항

Table 4. HW/SW Requirement Traceability
표 4. 하드웨어/소프트웨어 요구사항 추적성

HW Requirement Traceability			
Component	**HW Req.**	**Design Req.**	**Customer Req.**
Zynq	HW-SPEC-004~006	SYS-SPEC-003	CUS-REQ-003
	HW-SPEC-007~009	SYS-SPEC-011	CUS-REQ-011
	HW-SPEC-010	SYS-SPEC-013	CUS-REQ-013
	HW-SPEC-011~014	SYS-SPEC-018	CUS-REQ-018
1553 Interface	Same as Zynq Component		
SPI Interface	Same as Zynq Component		
RS-485 Interface	HW-SPEC-001	SYS-SPEC-001	CUS-REQ-001
	HW-SPEC-002~003	SYS-SPEC-002	CUS-REQ-002
	HW-SPEC-010	SYS-SPEC-013	CUS-REQ-013
I2S Interface	Same as Zynq Component		
CODEC	Same as Zynq Component		
Others	HW-SPEC-010	SYS-SPEC-013	CUS-REQ-013
SW Requirement Traceability			
Component	**SW Req.**	**Design Req.**	**Customer Req.**
Audio Management Interface	SW-SPEC-001	SYS-SPEC-001	CUS-REQ-001
	SW-SPEC-002	SYS-SPEC-002	CUS-REQ-002
	SW-SPEC-003	SYS-SPEC-003~012	CUS-REQ-003~012
System Control Module	SW-SPEC-001	SYS-SPEC-001	CUS-REQ-001
	SW-SPEC-002	SYS-SPEC-002	CUS-REQ-002
	SW-SPEC-003	SYS-SPEC-003~012	CUS-REQ-003~012
	SW-SPEC-005~007	SYS-SPEC-014~017	CUS-REQ-014~017
Interface Management Module	SW-SPEC-008	SYS-SPEC-018	CUS-REQ-018
BIT Module	SW-SPEC-004	SYS-SPEC-013	CUS-REQ-013
	SW-SPEC-005~007	SYS-SPEC-014~017	CUS-REQ-014~017

4.2 실험 환경

음성/톤 경고 시스템은 그림 8 처럼 Break-out Box 를 통해 시험장비, 오실로스코프와 연결된다. 시험 장비는 전원 공급 모듈, 인터페이스 모듈, 통신 모듈로 구성되며, 1553 통신 또는 이산신호를 통해 경고 재생을 명령한다. 본 시스템은 Control Panel 으로 볼륨 조절과 Inhibit 등의 모드 제어가 가능하다. 모드와 경고 속성에 따른 결과를 동시에 비교하기 위해 2 개의 Control Panel 을 사용했으며, Break-out Box 의 Probe Point 와 오실로스코프 Probe 를 연결하여 측정하였다. 총 2 개의 Probe Point 로 실험 케이스에 따라 헤드셋 음성경고 파형 또는 이산신호를 측정하였다.

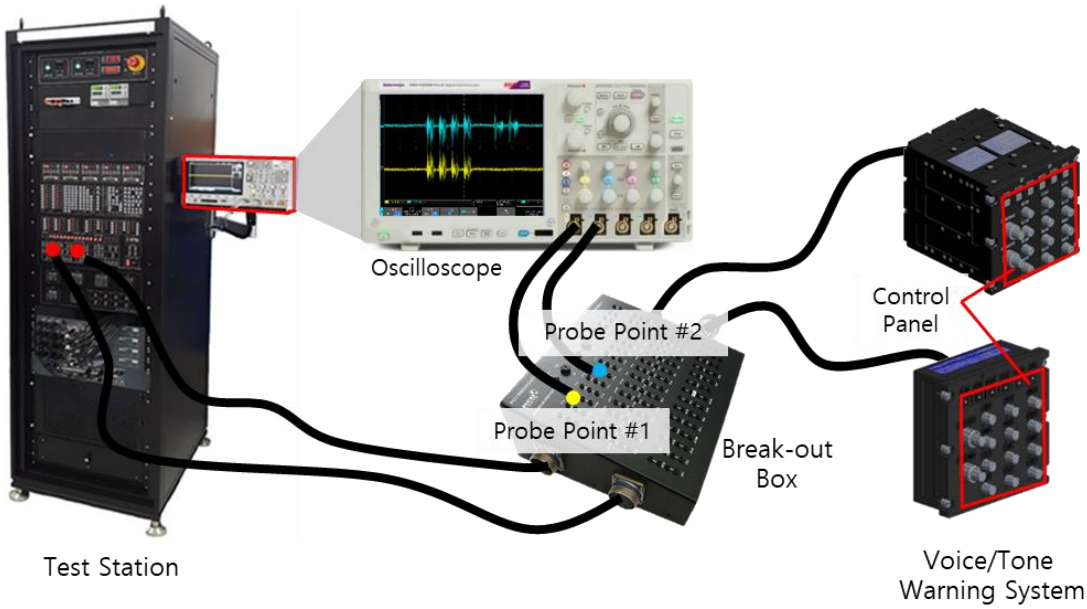


Figure 8. Test Environment
그림 8. 테스트 환경

4.3 실험 결과

실험은 각 속성들과 재생되기까지의 시간을 측정하는 경우들로 표 5 처럼 구성하였다. 우선 Case 1 은 Inhibitible 속성 시험으로 두 장비에 각 Inhibit 모드와 Inhibitible 메시지 속성을 다르게 설정한 채로 두 음성메시지를 순차적으로 재생시킨 경우이다. Case 2 는 Interruptable 속성 시험으로 1553B 통신으로 해당 속성이 FALSE 또는 TRUE 인 메시지를 순차적으로 활성화 한 경우이며, Case 3 은 Deactivatable 속성 확인을 위해 Pull-Up 메시지를 재생하자마자 명령을 해지한 경우에 해당한다. 마지막으로 Case 4 는 이산신호를 통해 경고 재생 명령을 내린 후, 음원이 출력되기까지의 시간을 측정하였다.

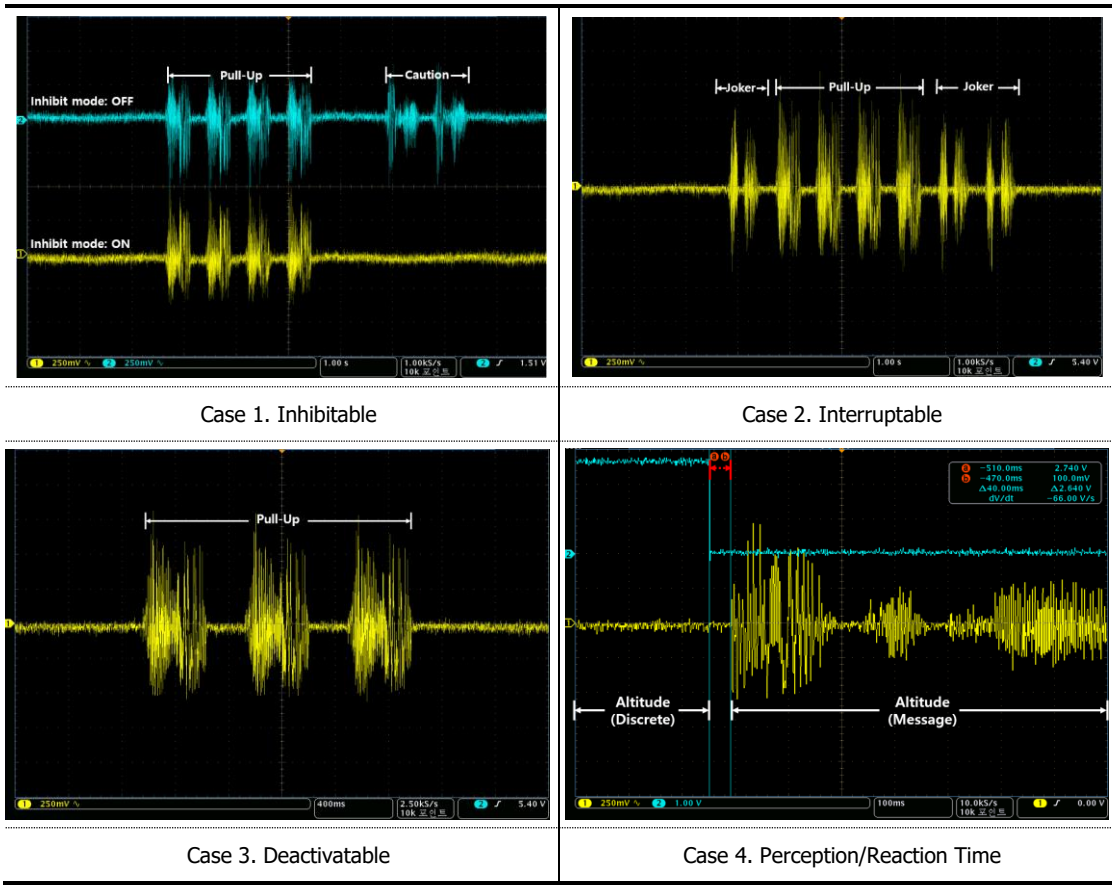
Table 5. Experimental Case
표 5. 실험 케이스

Aspect	System Requirement	Description
Case 1. Inhibitible	CUS-REQ-001	Two voice messages are sequentially played on both systems through 1553B. One System is set to Inhibit mode, while the other is not. - Voice Warnings: Pull-up → Caution
Case 2. Interruptable	CUS-REQ-009	Two voice messages are sequentially played on a system through 1553B. One message is applied with Interruptable property and the other isn't. - Voice Warnings: Joker→Pull-up
Case 3. Deactivatable	CUS-REQ-010	A message applied with deactivatable property is played on a system through 1553B. Release as soon as you issue a play command. - Voice Warning: Pull-up
Case 4. Message Generation time	CUS-REQ-004	A message is played through discrete signal. Measure the time between when the discrete signal is triggered and when the waveform comes out. - Voice Warning: Altitude

실험 결과는 표 6 과 같다. 먼저 Case 1 의 경우, Inhibit 모드 여부와 상관없이 "Pull-Up"은 Inhibitible 속성이 FALSE 이기 때문에 두 시스템에 모두 재생되지만, "Caution"메시지는 속성이

FALSE 이기 때문에 Inhibit 모드가 OFF 인 시스템에서만 재생됨을 확인할 수 있다. Case 2 에서는 “Pull-Up”보다 Interruptable 속성이 FALSE 이고 우선순위가 낮은 “Joker”가 먼저 재생되었기 때문에, 재생 도중 중단되고 “Pull-Up”이 재생이 완료된 후 재생된다. 그리고 Case3 에서는 Deactivatable 속성이 TRUE 인 “Pull-Up”이 재생 도중에 명령을 해지하자마자 3 회만 메시지를 반복하는 것을 확인할 수 있다. 마지막으로 “Altitude” 메시지를 이산신호를 통해 재생을 명령한 후 파형이 출력될때까지는 약 40ms 가 소요됨을 확인할 수 있으며, 이는 본 시스템의 경고가 출력될 때까지의 측정시간을 의미한다. 이 측정 시간은 고객 요구도 중 “CUS-REQ-004”의 100ms 보다 약 60% 빠른 시간으로, 조종사가 본 시스템을 통해 충분히 위험요소를 판단하고 반응할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 6. Experimental Result
표 6. 실험 결과



Case 1. Inhibitable | Case 2. Interruptable

Case 3. Deactivatable | Case 4. Perception/Reaction Time

V. 결론

본 논문에서 제안하는 음성/톤 경고 시스템은 음성/톤 메시지의 Inhibitable, Interruptible, Deactivatable 의 세가지 속성들과 우선순위를 통해 경고의 중대성 및 긴급성에 따라 재생을 할 수 있도록 설계하였다. 또한 조종사가 해당 경고 상황을 충분히 인지하고 반응 할 수 있도록 시스템의 설계를 진행하였으며 경고 재생까지 약 40ms 소요되는데 이는 고객 요구도 대비 약 60% 빠르다. 또한 V 모델을 기반으로 개발 및 테스트를 진행하여, 고객 요구도 및 하위 요구도들에 대하여 모두 만족 시켰으며 이를 통해 제품의 신뢰성을 향상 시켰다. 따라서 본 논문에서 제시하는 음성경고 시스템을 통해 항공기 내 구성품 불량 또는 적의 위협을 빠르게 인지하여 해당 위험을 회피할 수 있으며, 제품의 신뢰성 향상을 통해 항공기의 안전성 또한 향상되었다.

VI. 참고문헌

[1] K.Lee, “A Study on the System Safety Assessment of Aircraft”, Journal of Applied Reliability, Vol. 7, No. 2, pp.89-100, June. 2007
[2] E.Go, “Algorithm for Threat Data Integration of Multiple Sensor and selection of CounterMeasures”, Journal of KIMST, Vol. 14, No. 3, pp. 474-481, June. 2011
[3] J.Edworthy, “Improving Auditory Warning Design: Relationship between Warning Sound Parameters and Perceived Urgency”, Human Factors, Vol. 33, No. 2, pp. 205-231, April. 1991
[4] J. Jung, “Ergonomic Design of Voice Warning Sounds Used in Utility Helicopter”, IKEEE, Vol. 17, No. 2, pp. 189-201, June. 2013
[5] C.Suied, “Evaluating Warning Sound Urgency with Reaction Times”, Journal of Experimental Psychology: Applied, Vol. 14, No. 3, pp. 201-212, October. 2008.
[6] O.Balci, “Verification, Validation, and Certification of Modeling and Simulation Applications”, Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, Vol. 1, pp. 150-158, December. 2003
[7] S.Kim, “Design and Verification of Mission Equipment Package System for Korea Utility Helicopter”, Journal of KIMST, Vol. 14, No. 3, pp.388-396, June. 2011
[8] Xilinx. 2021 [Online]. Available: https://www.xilinx.com
[9] WITTENSTEIN. SafeRTOS. 2021 [Online]. Available: https://www.highintegritysystems.com/safertos
[10] B.Cho, “Design and Application Method of Software Life Cycle”, The Korean Institute of Information Scientists and Engineers, Vol. 19, No. 2, pp.725-728, October. 1992

저자소개

나하나*(Hana Na)*

2014 년 2 월 광운대학교 컴퓨터공학 학사
2016 년 2 월 광운대학교 컴퓨터공학 석사
2015 년 12 월 ~ 현재 한화시스템 항공시스템팀 선임연구원

관심분야 : 항공전자, 임베디드 시스템, 상위수준 설계

김도균*(Do Gyun Kim)*

2017 년 2 월 충남대학교 전자공학 학사
2019 년 6 월 서울과학기술대학교 전기정보공학 석사
2019 년 7 월 ~ 현재 한화시스템 항공시스템팀 연구원

관심분야 : OFP(Operation Flight Program), 임베디드 시스템, 인공지능