

극한 환경 요구도를 충족하는 항공기 탑재용 블랙박스의 소형화 설계 방법에 대한 고찰

Study on the Design Method of Small Black Box for Aircraft that Satisfies Extreme Environment Requirements

손 동 훈[†] · 김 광 민^{*} · 이 종 학^{*} · 유 구 현^{**}

Dong-Hun Son[†], Kwang-Min Kim^{*}, Jong-Hak Lee^{*} and Gu-Hyun Ryu^{**}

(Received February 22, 2024 ; Revised March 25, 2024 ; Accepted April 1, 2024)

Key Words : Black Box(비행기록장치), Recorder(기록장치), Aircraft(항공기), Crash Survival(충격 생존), Extreme Environment(극한 환경)

ABSTRACT

The black box of an aircraft is a device that records its speed, altitude, navigation, and engine characteristics. It must protect important data recorded during flight, even under the extreme environmental conditions that occur in the event of an aircraft accident. Therefore, black box devices must be developed according to the ED-112A standard, which addresses the requirements for extreme environments. The ED-112A standard defines these requirements by considering impact shock, penetration resistance, static crash, high/low temperature fire, deep-sea pressure, seawater immersion, and fluid immersion. In this study, we propose a method to develop a black box device that simultaneously satisfies extreme high- and low- temperature conditions and penetration resistance by designing it with miniaturized and lightweight characteristics and verifying its performance.

기 호 설 명

- a_m : 용해량
- C_p : 비열
- h_m : 잠열
- m : 질량
- Q : 열량
- T_m : 상변화 물질 온도

1. 서 론

항공용 블랙박스는 항공기의 속도, 고도, 항법 및 엔진 특성 등을 기록하는 장치이다. 항공용 블랙박스는 비행데이터를 기록하는 비행자료 기록장치(FDR, flight data recorder), 조종실 음성 녹음장치(CVR, cockpit voice recorder)와 영상기록장치(AVR, airborne video recorder), 데이터 전송장치(DTE, data transfer equipment)로 주로 구성된다.

최근 항공 선진국의 블랙박스 개발 기조는 기존의

[†] Corresponding Author ; Member, LIG Nex1, Chief Research Engineer
E-mail : donghun.son@lignex1.com

^{*} Member, LIG Nex1, Research Engineer

^{**} Member, LIG Nex1, Director

A part of this paper was presented and selected as one of best papers at the KSNVE 2023 Annual Autumn Conference

‡ Recommended by Editor Seong Yong, Wie

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

자기 테이프 방식 저장장치가 도태되고 솔리드 스테이트 메모리를 사용한 디지털 방식의 장비들이 개발되면서 기존의 분리된 형태의 영상기록장치 및 데이터 전송장치가 하나의 기능 모듈로 통합되는 추세이다. 반도체 기술 발전 및 대용량의 메모리 개발로 인해 블랙박스 내부 구성품의 소형화가 가능함에 따라 4가지 기능을 수행하던 모듈이 점차 하나로 통합되는 형태의 기록 장비로 소형화되어 개발되고 있다. 국내에서도 항공 선진국 못지 않게 플래시 메모리 생산능력 및 IT분야의 기술 경쟁력을 확보하고 있으므로 세계적인 추세를 따라 비행자료 기록장치, 조종실 음성 녹음장치, 영상기록장치 및 데이터 전송장치 기능이 하나로 통합된 항공용 기록장치를 개발하여 장비 단일화로 인한 항공기 장착 공간의 효율성, 중량 감소 등의 효과를 충족하기 위한 개발이 완성 단계에 이르렀다⁽¹⁾.

항공용 블랙박스는 항공기 사고시에 발생하는 극한 환경조건에서도 비행시 기록된 중요한 자료를 보호하여야 한다. 사고 원인 분석에 중요한 정보를 제공하는 메모리 보드를 포함하고 있는 자료보호모듈(CPM, crash protected-memory module)이 사고 원인 분석의 핵심 장치이므로 블랙박스는 외부 힘이나 고온의 열로부터 자료보호모듈을 보호할 수 있어야 한다.

이런 극한 환경에 대한 장치의 개발 요구도를 마련하기 위해 미국 및 유럽 등 항공 분야 선진국에서는 1950년부터 많은 연구활동을 수행해서 기술을 확보하여 체계적인 규격을 정립하였다. 유럽에서 정의한 ED-112A가 그 대표적인 규격이고⁽²⁾ 내충격, 관통저항력, 압박, 고온 내화성 및 저온 내화성, 심해압, 해수 침수, 유체 침수 등의 항목으로 구성된다. 국내에서도 ED-112A 규격을 준용하여 블랙박스 장치를 개발하고 있고 요구도를 충족하는 장치를 개발하고자 극한 환경의 고온 내화성 및 저온 내화성 시험 조건을 충족하기 위하여 시험 및 해석을 수행하여 블랙박스의 단일 설계에 대하여 고찰한 연구가 수행한 사례가 있고^(3,4), 블랙박스의 극한 환경시험 조건 및 구조 안정성에 대한 연구를 수행한 사례도 있다⁽⁵⁻⁸⁾.

이 연구에서는 극한의 고온 및 저온 조건과 관통 저항력을 동시에 충족하는 블랙박스 장치를 소형 경량화하여 개발하고 성능을 검증하는 방안을 제안하고자 한다. 블랙박스의 열적 안정성 및 구조 신뢰성 보유 여부를 확인하기 위해 하우징 내부 단열재와 상변화물질의 체적비에 따른 열 특성과 경량 하우징의 관

통 저항력을 시뮬레이션 방법으로 분석하고 최적화하는 개발 방안을 제시한다.

2. 설계 및 요구조건

2.1 블랙박스 구성

항공용 블랙박스는 자료보호모듈 및 비컨, 인터페이스부로 구성되고 형상은 Fig. 1과 같다. 자료보호모듈은 비행 중 기록된 정보를 저장하는 메모리를 장치 내부에 보유하고 있으며 사고 시 발생하는 충격이나 열로부터 메모리를 보호하는 기능을 수행한다. 비컨은 사고로 인해 항공기가 추락할 경우 35.7 kHz의 운용 신호를 90일 동안 발생하여 사고 위치를 알리는 기능을 담당하고, 인터페이스부는 비행체로부터 전원을 공급받고 비행 데이터 및 음성 신호를 메모리로 전달하는 기능을 수행한다.

2.2 극한 환경조건

블랙박스에 기록된 음성 및 비행데이터는 사고 발생 시 원인 조사용으로 활용된다. 따라서 블랙박스는 ED-112A 극한 환경 조건을 충족하도록 제작되어야 한다. 항공 분야 기술 선진국은 비행기록장치 성능 요구에 대한 유럽 표준 규격인 ED-112A의 요구 기준을 따라 블랙박스를 개발하고 있고, 그 조건에 대한 시험 항목은 Table 1과 같다.

내충격시험은 3400 g의 가속도를 장치에 인가하고 인장시험은 직교 방향, 전단시험은 세로 및 가로 축 방향으로 1분간 6000 lb의 하중을 인가한다. 관통저항력시험은 철판 위에 시제를 놓고 경도 HRC 39 ~ C45의 핀이 체결된 500 lb의 추를 3 m 높이에서 시체에 수직 낙하한다. 압박시험은 주면과 주대각선의 4방향으로 5분간 5000 lb의 하중을 인가한다. 고온내화성시험은 상온(25 ± 5°C) 안정화 후 158 kW/m²의

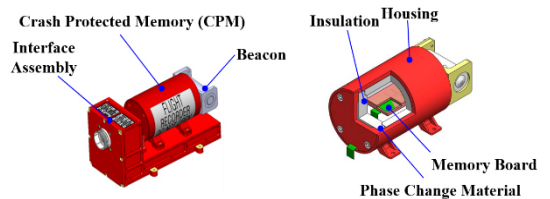


Fig. 1 Configuration of the black box and CPM

열 용량에 장치를 1시간 연속적으로 노출하고 저온내화성시험은 260°C의 온도 조건에서 10시간을 유지한 후 장비를 공랭시킨다. 유체침수시험은 연료, 윤활, 유압 계통의 유체에 48시간, 소화 계통의 유체에 8시간 침수시키고 그 영향성을 판단한다. 극한 환경요구도 시험 항목에 대한 수행 시나리오는 Fig. 2와 같다.

블랙박스 장비는 다양한 조건의 극한 환경 요구도를 충족하기 위해 단열 특성 및 관통 저항력을 최적화하여 설계하고 제작할 필요가 있다. 이 논문에서는 고강도 알루미늄 및 티타늄 재질로 장치를 제작해서 관통저항력을 최대화하고 상변화 물질의 양을 조절하여 고온내화 조건에서도 장치의 온도가 150°C 이하로 유지됨을 확인하는 과정을 기술하고자 한다.

3. 내부 구조에 대한 단열 성능 분석

3.1 요구조건

ED-112A는 EUROCAE(European organization for civil aviation equipment)에 의해 제정되었으며, 블랙박스의 최소 운용 요구조건(MOPS, minimum operation performance specification)을 제시하고 있다. ED-112A에서 규정하고 있는 고온 및 저온 내화성 조건을 충족하기 위해 블랙박스의 하우징 및 단열재, 상변화물질의 소재, 두께, 구성에 대해 연구할 필요가 있다.

하우징은 관통, 충격 등의 극한환경조건을 고려하여 고강도합금인 티타늄합금을 주로 사용한다. 단열재는 열원을 차단하는 역할을 하고 상변화물질은 so-

dium bicarbonate라는 물질을 사용하며 열분해에 의해 열을 흡수하는 특성을 가진다. 블랙박스의 내부를 구성하고 있는 단열재와 상변화 물질은 고온/저온 내화 시험에 있어서 가장 중요한 역할을 한다. 언급한 바와 같이 단열재의 성능은 우수할수록 외부에서 유입되는 열을 차단하여 메모리보드까지 열이 전달되는 속도를 지연시킬 수 있다. 또한, 상변화물질의 열흡수 능력인 잠열이 클 수록 상변화 구간이 증가하며 메모리보드를 보호하는데 유리하다.

이와 같이 1100°C 고온에서 자료보호모듈 내의 메모리 보드를 보호하기 위하여 단열재 및 상변화 물질의 양을 설계할 필요가 있다. 메모리 보드의 운용 최대 온도 조건은 150°C이므로 온도 마진을 고려하여 130°C 이하가 되도록 허용 온도 기준을 설정하였다. 식 (1)은 상변화 잠열을 고려한 열량을 계산하는 식이다. 질량(m) 및 용해량(a_m), 잠열(h_m), 비열(C_p), 상변화 물질 온도(T_m)를 변수로 하여 계산한 결과를 기반으로 상변화 물질의 양을 설계하였다.

Table 1 Summary of crash survival requirements

Test	Requirement
Impact shock	Half sine wave : 3400 g during 6.5 ms
Shear & tensile	6000 lbf for 1 minute
Penetration resistance	Drop weight + Pin [500 lb(227 kg)] from 3 m height
Static crash	5000 lbf for 5 minutes
Temperature fire	High : 158 kW/m ² for 1 hour Low : 260°C for 10 hours
Fluid immersion	The fuel, lubrication, hydraulic system: 48 hours The fluid of the digestive system: 8 hours

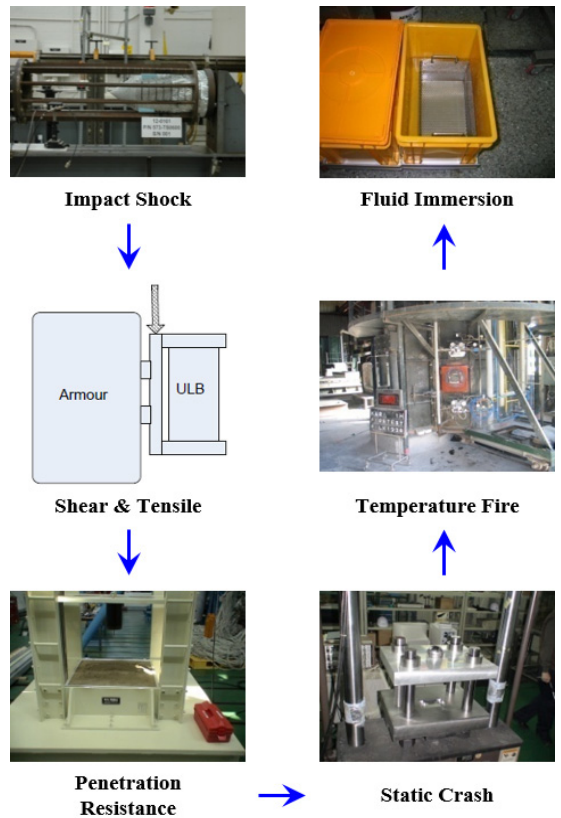


Fig. 2 Extreme environment test scenario

$$Q = ma_m \Delta h_m + \int_{T_1}^{T_m} m C_p dT + \int_{T_m}^{T_2} m C_p dT \quad (1)$$

3.2 해석 목적

이 해석의 목적은 극한환경에서 열적 신뢰성을 높이기 위한 단열 구조를 찾는 데 있다. Fig. 3에 표현된 것과 같이 원통형 블랙박스가 가질 수 있는 내부구조를 크게 3가지로 나뉘어 보았다.

Type 1의 내부구조는 기존의 블랙박스가 가지고 있는 형태로서 단열재가 1차적으로 외부에서 유입되는 열을 차단하고 상변화물질이 상변화를 하며 온도 증가를 막는 구조이다. 한편, type 2와 type 3의 내부구조는 단열재와 상변화물질을 다층으로 배치하여 열 차단과 상변화가 복합적으로 일어나게 되는 구조이다. 기존 type 1 단층 구조를 적용하여 고온/저온 내화 시험을 진행할 때의 단열 메커니즘과 type 2, type 3의 다층 구조를 적용할 때의 단열 메커니즘이 어떻게 다른지 해석을 통해 분석하고자 한다.

3.3 해석 결과

Fig. 4(a)를 보면 type 1, type 2, type 3의 온도 곡선의 형태가 모두 다름을 알 수 있다. 고온시험 해석결과에서 그래프의 기울기는 type 1 > type 2 > type 3임을 알 수 있다. 다층 구조에서는 단열재에 의한 열차단과 상변화물질에 의한 상변화가 복합적으로 일어나

게 되는데, 이 복합적인 현상은 온도상승 기울기의 감소로 나타나게 된다. 그래서 상변화 시작 시점도 1번, 2번, 3번 순으로 진행된다. type 2의 경우엔 A영역, type 3의 경우엔 단열재 사이에 적층된 상변화 물질이 A+B영역 만큼의 열을 먼저 흡수하기 때문이다. Fig. 4(b)에서도 볼 수 있듯이 type 3의 최종 온도가 가장 낮으므로 고온내화시험 해석에서는 type 3의 성능이 가장 우수한 것으로 나타났다.

저온시험 해석결과에서 그래프의 기울기는 type 1 > type 2 ≈ type 3이다. Type 2와 type 3은 type 1과 다르게 기울기가 점차 감소하며 상변화시점이 늦어지고 있음을 알 수 있다. A영역에 해당하는 만큼의 열을 적층된 상변화물질이 흡수했기 때문이다. Type 2와 type 3은 전 구간에서 온도변화가 비슷하고 3번 시점부터는 3가지 케이스 모두 온도변화가 매우 유사하게 진행되고 있다. Fig. 4(b)에서 볼 수 있듯이 600분 이전의 온도는 type 1 > type 2 > type 3이었다. 그러나 600분 부근에서는 비슷한 온도가 측정되었으며 해석

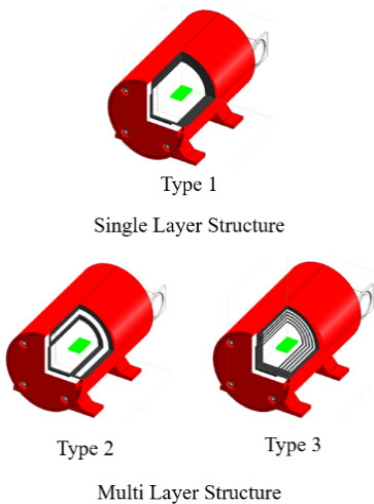
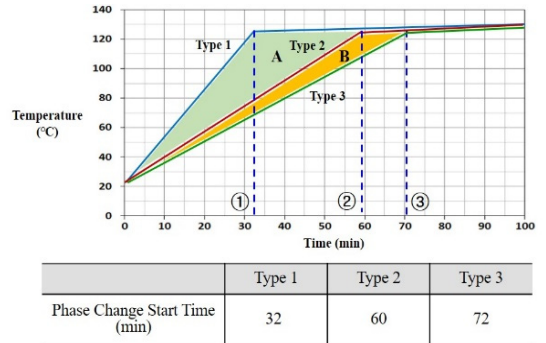
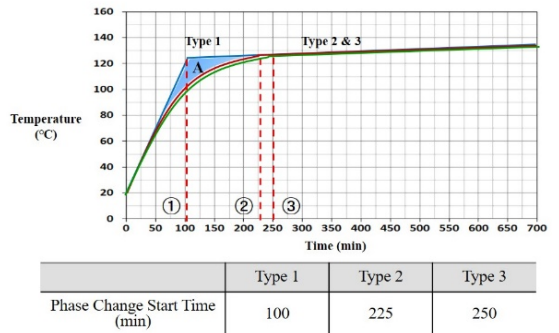


Fig. 3 Inner parts of the cylindrical black box



(a) High temperature fire



(b) Low temperature fire

Fig. 4 High/low temperature fire test results

종료시점에서의 온도는 type 3 > type 2 > type 1이다. 그러므로 저온내화시험 해석에서는 내부구조에 따른 성능 향상은 없다고 볼 수 있다.

고온시험의 1시간 경과 후 메모리보드 온도가 저온 시험의 메모리보드 10시간 경과 후 온도보다 낮게 측정되었다. 저온시험의 온도는 260°C이므로 고온시험의 온도인 1100°C보다 많이 낮지만 시험 시간이 10배 이상이므로 블랙박스가 받는 총 열량은 저온시험이

더 크다는 것을 알 수 있다. 고온시험의 경우, 구조에 따른 단열 효과는 type 1 < type 2 < type 3인 것으로 나타났다. 반면, 저온시험은 type 1 = type 2 = type 3이었다. 그러므로 저온내화시험과 같이 열량이 장시간에 걸쳐서 천천히 유입되는 경우에는 내부구조에 따른 단열효과를 기대하기 어려움을 확인할 수 있다.

4. 극한 저온 및 고온 열해석

항공용 블랙박스는 소형 및 경량 설계가 필수적으로 수행되어야 한다. 따라서 소형 경량화에 대한 최적 설계를 위해하우징 형상과 단열재 및 상변화 물질에 대한 이전 경험치와 프로토타입을 통한 사전 시험 수행 데이터를 바탕으로 총 18가지의 크기 축소모델을 선정하였고 Fig. 5에 축소모델의 제원 및 형상을 나타내었다.

Fig. 6은 원형 및 사각기둥 타입의 열해석 모델링 형상이고, 해석 결과는 Table 2와 같다. 자료보호모델의 형상에 따라 고온 및 저온 조건에서 시간에 따른 메모리보드의 최대 온도를 나타내었는데 온도조건에 따른 형상 간의 열 특성에는 큰 차이가 발생하지 않았다. 사각기둥형이 원통형 형상에 비해 외부 하우징 형상 차이에 의해 열용량이 클 수 있으나 외부 표면적이

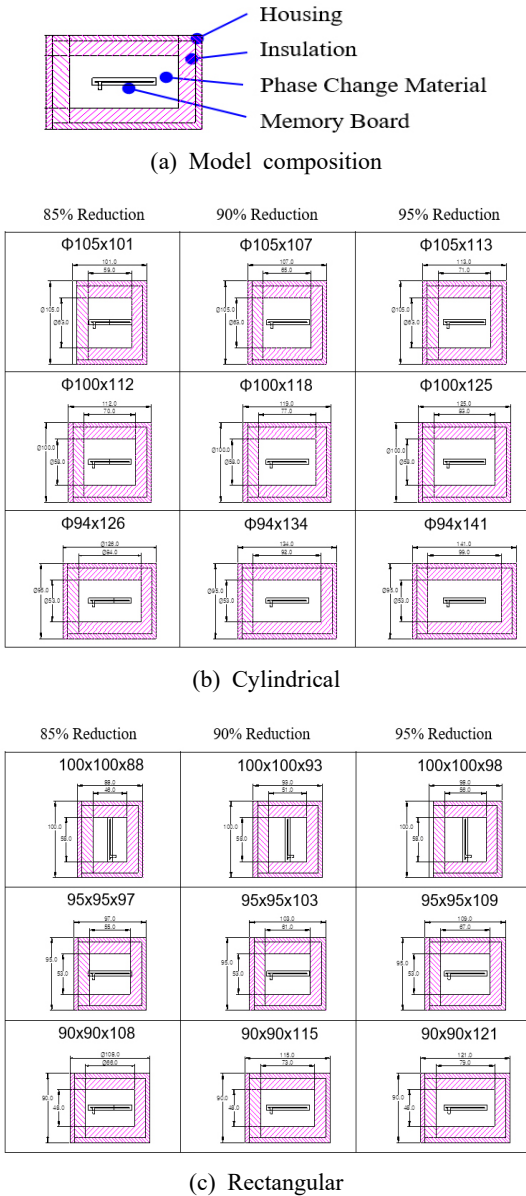


Fig. 5 Reduction model

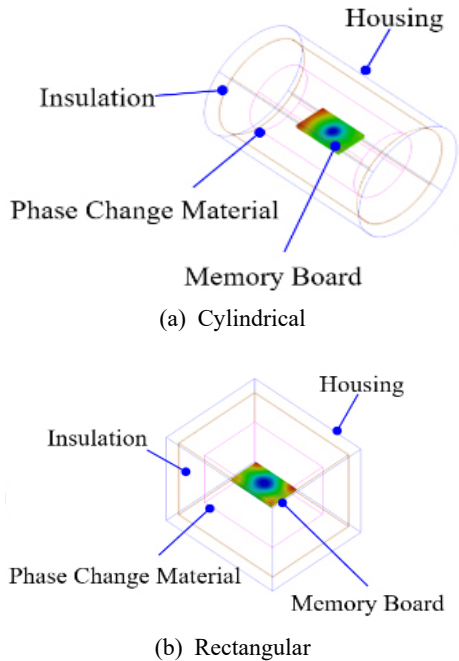


Fig. 6 Thermal analysis model

Table 2 Thermal analysis results

Shape/reduction rate	Size	Max temperature
Cylindrical/85 %	Φ105 × 101	159.6°C
	Φ100 × 112	134.9°C
	Φ94 × 126	134.2°C
Cylindrical/90 %	Φ105 × 107	134.1°C
	Φ100 × 118	133.6°C
	Φ94 × 134	135.8°C
Cylindrical/95 %	Φ105 × 113	132.8°C
	Φ100 × 125	133.2°C
	Φ94 × 141	133.6°C
Rectangular/85 %	100 × 100 × 88	134.1°C
	95 × 95 × 97	134.2°C
	90 × 90 × 108	134.5°C
Rectangular/90 %	100 × 100 × 93	133.5°C
	95 × 95 × 103	143.0°C
	90 × 90 × 115	133.8°C
Rectangular/95 %	100 × 100 × 98	133.0°C
	95 × 95 × 109	133.4°C
	90 × 90 × 121	133.3°C

크기 때문에 흡수되는 열량이 크고 내부 구성 물질의 체적이 유사하기 때문에 분석된다. 18가지 케이스 중에서 동일한 형상 및 축소 비율 중에 낮은 온도가 도출된 6가지 케이스를 적합 모델로 선정하여 관통저항력 분석을 통해 최종 모델을 선정하도록 한다.

5. 관통 저항력 성능 분석

5.1 해석 조건 및 유한요소 모델 구축

소형 및 경량 설계된 블랙박스 장비는 자료보호모듈 내부 메모리를 보호하기 위해 관통저항력을 보유하여야 하고, 요구 조건은 다음과 같다. 3 m 높이에서 227 kg의 무게의 pin이 장착된 weight를 자료보호모듈의 취약 부위로 낙하시킨다. Pin은 직경 6.35 mm, 돌출 길이 40 mm의 steel pin으로 경도는 rockwell C39-C45이다. 자료보호모듈은 모래 위 steel plate 위에 놓여지며, steel plate는 두께 6.35 mm이고, 넓이는 최소 0.06 m²이며 모래 중앙에 위치한다. 모래 깊이는 0.5 m로 아래 입도분포규격을 만족하며, 모래 15 L 당 물 1 L의 비율로 수분을 유지해야 한다. 해석을 위한 유한요소 모델 구축 결과는 Fig. 7과 같다.

블랙박스 하우징 및 하우징을 지지하고 있는 plate

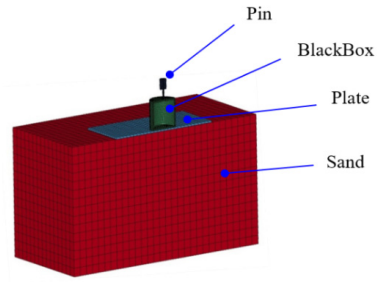


Fig. 7 Finite element model for the penetration resistance

Table 3 Material property

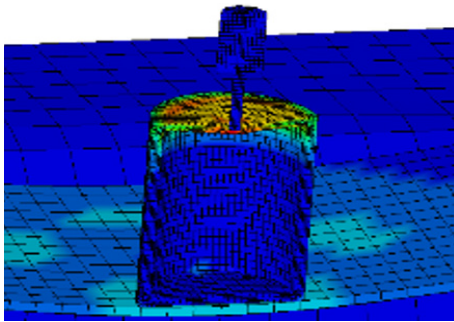
Material	Black box	Steel plate	Pin
Elastic modulus [GPa]	170	200	200
Poisson's ratio	0.3	0.3	0.3
Density [g/cm ³]	7.8	7.8	7.8
Yield strength [MPa]	1100	270	1200
Hardening modulus [MPa]	1600	900	25 000

의 물성치는 일반적인 티타늄과 철의 물성치를 적용하였고 pin은 점질량을 이용하여 rigid 요소로 구성하였고, 물성치 표는 Table 3에 나타내었다. 모래는 모래조건 규격에 따른 모래입도분포 응력-변형률곡선을 추정하여 사용하였다.

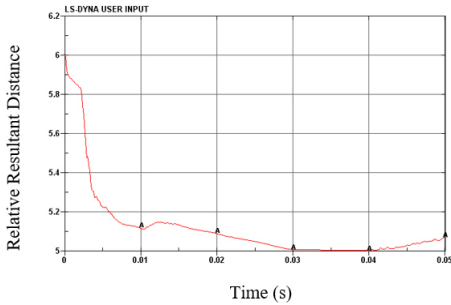
유한요소 모델은 해석시간 단축을 위하여 다음과 같이 symmetric model로 구성하였다. 경계조건은 모래의 최외각 부위의 자유도를 구속하였고 symmetric 면의 수직방향을 구속하였다. 추의 초기 속도는 3 m 높이에서 자유 낙하하여 충돌 시 7.67 m/s를 주었고, contact 조건은 automatic surface to surface contact을 적용하였으며, 모든 시험 물체에 충격가속도 9.8 m/s²을 적용하였다.

5.2 해석 결과

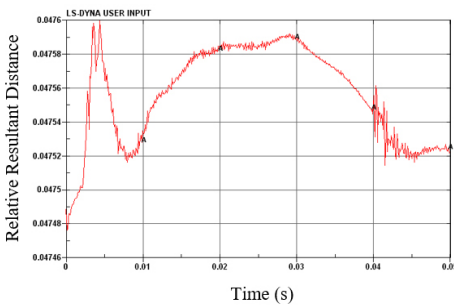
Fig. 8(a)는 원통형 85 % 모델, Fig. 8(b)는 사각기둥형 95 % 모델의 해석결과이고, 관통저항력 전체 해석결과는 Table 4에 정리하였다. 해석결과에서 알 수 있듯이 원통형과 사각기둥형의 두께 변화는 축소 모델의 비율에 따라 각각 0.98 mm ~ 1.21 mm, 1.07 mm ~ 1.12 mm로 유사한 수준을 보인다. 모든 케이스에서



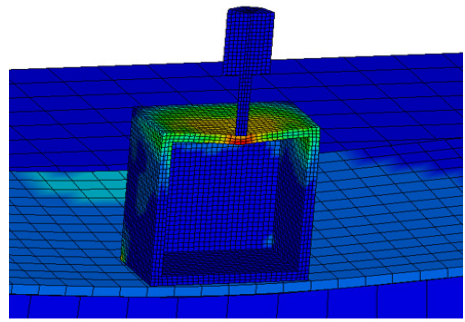
<Thickness Variation>



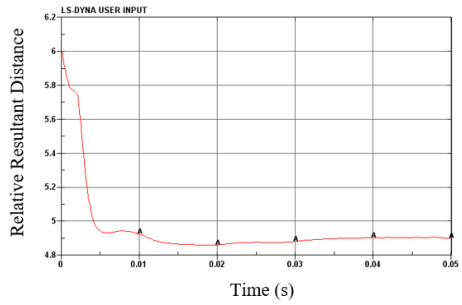
<Deformation Depth>



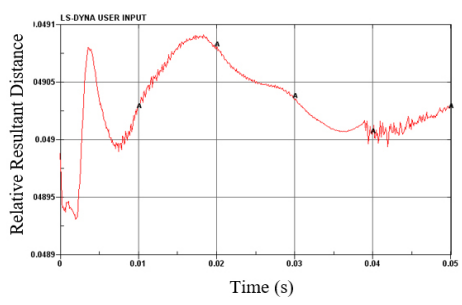
(a) Cylindrical, 85 % reduction



<Thickness Variation>



<Deformation Depth>



(b) Rectangular, 95 % reduction

Fig. 8 Penetration resistance analysis results

Table 4 Penetration resistance analysis results

Shape/ reduction rate	Thickness variation [mm]	Deformation depth [mm]	Max temperature [°C]
Cylindrical/85%	0.98	0.95	134.2
Cylindrical/90%	1.08	1.04	133.6
Cylindrical/95%	1.21	1.19	132.8
Rectangular/85%	1.07	0.18	134.1
Rectangular/90%	1.11	0.23	133.5
Rectangular/95%	1.12	0.32	133.0

국부적인 변형은 발생하지만 관통이 되지는 않는 것을 확인할 수 있다. 그러나 변형 깊이를 확인해 보면 원통형의 경우 0.95 mm~1.19 mm, 사각기둥형은 0.18 mm~0.32 mm 이므로 원통형이 사각기둥형에 비해 변형 깊이가 매우 늘어난 것으로 확인된다. 이는 원통형의 소성변형이 심각한 것으로 판단되므로 사각기둥형중 가장 두께변화량이 적은 85 % 모델을 최종적으로 선정하였다.

6. 결 론

이 논문에서는 극한의 고온 및 저온 조건과 관통

저항력을 동시에 충족하는 블랙박스 장치를 소형 경량화하여 개발하고 성능을 검증하는 방안을 제안하였다. 유럽 표준 규격인 ED-112A의 극한 환경 요구조건을 충족하는 항공용 블랙박스 소형 경량 설계 블랙박스의 열적 안정성 및 구조 신뢰성 보유 여부를 확인하기 위한 최적 설계 방안을 도출하였다. 하우징 내부 단열재와 상변화물질의 체적비에 따른 열 특성과 경량 하우징의 관통 저항력을 해석적 기법을 활용하여 최적화하는 방안을 수립하였다.

고온 및 저온 내화성 요구조건을 만족하기 위하여 상변화 물질의 양을 조절하여 메모리 보드의 온도가 150°C 이내로 설계하였다. 고온시험의 메모리보드 온도가 저온시험의 메모리보드 온도보다 낮게 측정되었지만 시험 시간이 10배 이상이므로 블랙박스가 받는 총 열량은 저온시험이 더 크다는 것을 확인하였다. 또한, 고온시험의 경우 구조에 따른 단열 효과는 저온내화시험과 같이 열량이 장시간에 걸쳐서 천천히 유입되는 경우에는 내부구조에 따른 단열효과를 기대하기 어려움을 확인하였다.

내충격 요구조건을 만족하기 위하여 비컨체결부에 고강도 알루미늄을 적용하였고 메모리 보드의 충격이 흡수될 수 있도록 상변화 물질로 채워지도록 구조 설계가 필요함을 확인하였다. 차후 내화성 및 관통저항력 실험을 수행하여 모델에 대한 실 검증을 수행할 예정이며, 향후 메모리 보드 크기의 최소화와 단열재와 상변화 물질에 대한 추가 연구를 수행하면 더욱 소형 경량화된 블랙박스 연구개발이 가능할 것이다.

References

- (1) Kim, J. P., Kim, J., Kim, J. H. and Kim, T. W., 2019, A Case Study on the Design Requirements of Airborne Black Box Considering the Extreme Environment, *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 36, No. 10, pp. 911~919.
- (2) ED-112A, 2013 Minimum Operational Performance Specification for Crash Protected Airborne Recorder Systems, The European Organization for Civil Aviation Equipment.
- (3) Park, S.-H., Lee, B.-H. and Choi, J.-H., 2010, A Study on Thermal Characteristic for Black Box of the Material, *Proceedings of the Korean Society of Mechanical*

Engineers 2010 Conference, pp. 2659~2664.

(4) Park, S. W., Ryu, G. H., Yang, S. C. and Kim, J. C., 2006, Thermal Insulation Design of Crash Survival Memory Unit, *KIMST Conference*, Inha University, Incheon, Korea.

(5) Lee, S. K., Ryu, G. H., Yang, S. C. and Kim, J. C., 2005, Penetration Resistance Analysis and Test about Blackbox for Small Aircraft, *Proceedings of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, KSAS05-2405, pp. 463~466.

(6) Lee, S. W., Kim, S. J., Kim, S. C., Ryu, G. H. and Lee, S. K., 2006, Impact Shock and Penetration Resistance Test for Flight Data Recorder, *Proceedings of the Korean Society for Aeronautical & Space Science*, KSAS06-1608, pp. 503~506.

(7) Cho, U., Lee, S., Choi, J. and Lee, B., 2011, Optimization of Minimized Blackbox by Penetration Resistance Analysis, *Proceedings of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering 2011 Annual Autumn Conference*, pp. 234~235.

(8) Lee, S.-K., Lee, B. H. and Choi, J. H., 2012, The Study of Analysis and Test for Crash Survival about the Crash Protected Module in Black Box used at Aircraft, *Journal of the Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 40, No. 1, pp. 61~68.



Dong-Hun Son is a chief research engineer at Mechanical Engineering R&D Lab, LIG Nex1. He received the degree of master in Dept. of Mechanical Engineering from Yonsei University in 2011. His research interests are shock/vibration and dynamics.



Jong-Hak Lee is a chief research engineer at Mechanical Engineering R&D Lab, LIG Nex1. He received the degree of master in Dept. of Mechanical Engineering from Yonsei University in 2010. His research interests are shock/vibration and dynamics.