

## 헬기용 연료탱크 Slosh & Vibration 인증시험

정태경 · 장기원 · 전필선 · 하병근\* · 김성찬 · 김현기\*\* · 이기천\*\*\* · 신동우\*\*\*\*

### Slosh & Vibration Qualification Test for Fuel tank of Rotorcraft

Tae Kyong Jung · Ki Won Jang · Pil Sun Jun · Byoung Geun Ha\* · Sung Chan Kim · Hyun-Gi Kim\*\* · Gui Cheon Lee\*\*\* · Dong Woo Shin\*\*\*\*

#### ABSTRACT

Slosh and vibration effects of fuel inside of fuel tank can be occurred due to the acceleration and flight speed during the rotorcraft flight. It can lead to the failure of internal fuel component and fuel tank skin can be damaged. This is directly related to human survival. Military specification (MIL-DTL-27422D) specifies that stability of aircraft fuel tank and internal component against slosh & vibration load shall be verified through the qualification test procedures. This report shows the establishment of slosh and vibration test facility and KUH fuel tank qualification test result.

#### 초 록

헬기의 급격한 기동은 연료탱크 내부연료의 출렁임 현상을 발생시키며 연료가 한쪽으로 쏠리는 경우에는 연료탱크 내부 구성품 및 장착부에 큰 하중을 가하게 된다. 이는 연료탱크의 손상(소재의 찢어짐 등) 및 내부 구성품 파손을 유발한다. 이는 항공기 조종사 및 승무원의 생존성 문제와 직결되는 사안으로써, 미 군사규격(MIL-DTL-27422D)에서는 Slosh & Vibration 인증시험을 통하여 연료탱크 및 내부 구성품 장착의 건전성을 검증하도록 규정하고 있다. 본 논문은 미 군사규격의 요구조건을 만족시키는 한국형 기동헬기 용으로 개발된 연료탱크의 Slosh & Vibration 시험설비 구축결과 및 연료탱크 Slosh & vibration 인증시험 결과를 제시한다.

Key Words: 한국형기동헬기(KUH, Korea Utility Helicopter), 연료탱크(Fuel Tank), 출렁임(Slosh), 압력시험(Pressure Test), 누설(Leakage)

#### 1. 서 론

\* (주)한화 항공우주기계연구소

\*\* 한국항공우주연구원 KHP 세부계통팀

\*\*\* 한국기계연구원

\*\*\*\* 국방과학연구소

연락처, E-mail: asctk@hanwha.co.kr

헬기의 연료탱크는 각종 섬유 및 고무를 여러 층으로 적층하여 제작하는 복합기능을 보유한 연료저장 탱크로써, 크게 세가지의 요구성능을

보유하고 있다. 첫째, 연료탱크는 헬기 추락 및 전복 시 연료누설이 없어야 하는 내충격성이며 둘째, 피격 시 내부 소재가 연료와 접촉하여 급속한 팽창으로 연료의 누설을 차단하는 자기밀폐기능을 보유하고 있다. 셋째, 헬기 기동 시 슬로시 효과에 의한 내부 장착구성품의 건전성이 확보되어야 한다. 본 논문은 한국형 기동헬기용으로 개발된 연료탱크의 Slosh & vibration 시험 수행 결과를 제시하고 있다.

## 2. 헬기용 연료탱크 소재 특성

연료탱크에 사용되는 소재는 Fig. 2와 같은 구조로 제작되었으며 각 층별 주요 기능을 보유하고 있다. 연료탱크 내측에 적용되는 내부층 (Inner Liner)은 연료 차폐층(Fuel barrier)과 함께 장기간 연료침투를 방지하게 되며 자기밀폐층(Self-sealing Layer)을 중심으로 강성유지를 위하여 보강층(Reinforcing Layer)이 적용된다.



Fig. 1 Fuel Tank of Rotorcraft

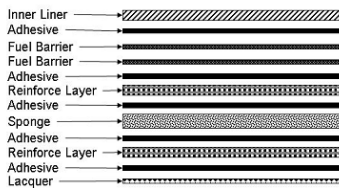


Fig. 2 Material Property of Fuel Tank

## 3. 연료탱크 제작공정

연료탱크는 Fig. 2에 나타난 구조의 순서대로 내부분할 금형 외부에 내유성 접착제를 3회 코팅하여 Fig. 3과 같이 적층 후 최종적으로 Fig. 4와 같이 진공 비닐백으로 감싼 후 진공 펌프로 내부의 공기를 제거하여 규정된 열과 압력을 인가

한 상태에서 16시간동안 가류과정을 통해 제작 완료되게 된다.



Fig. 3 Layer cutting and Layout



Fig. 4 Vacuum Bagging

## 4. 시험절차 및 요구조건

### 4.1 시험조건

미 군사규격은 Slosh & vibration 시험 수행을 위해 네 가지 시험조건을 규정하고 있다.

- 시간 : Slosh & Vibration(25시간) + Slosh 시험(15시간)
- Rock :  $\pm 15^\circ$  (총  $30^\circ$ ) / 주기 분당 10회
- 진동진폭 :  $0.032(+0.01/-0.00)$  inches
- 진동 주파수 :  $2,000 \pm 100$ rpm

### 4.2 시험 절차

Slosh & vibration 시험은 아래의 절차에 따라 수행한다.

- 1) 연료탱크를 실기체 모사 구조물에 장착 후 내부 배관과 장착물을 장착한다.
- 2) 내부 누설확인을 위해 갈색 종이를 부착한다.
- 3) 연료탱크에  $110^\circ\text{F}(43.3^\circ\text{C})$ 의 ASTM D471 Ref fuel B를 2/3 가량 채우고 시험을 실시한다.
- 4) 시험 종료 후 압력 시험과 육안 검사를 실시하고 결과를 기록한다.

### 4.3 시험수행 장비

Slosh & vibration 시험 치구의 구성도는 Fig.5 와 같으며 Vibration 용 실린더는 가진 방향에 따라 위치변경이 가능하도록 설계되었다. 또한 연료탱크 내부의 압력과 온도측정을 위해 연료 탱크 점검창에 각각 2개소와 1개소에 압력센서 와 온도센서가 설치되었다. 해당 센서위치는 Fig.6에 주어져 있다.

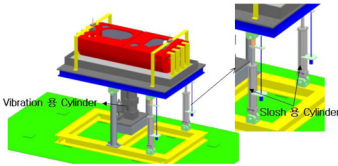


Fig. 5 Test configuration for slosh & vibration

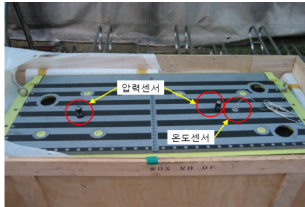


Fig. 6 Sensor position

## 5. 시험결과

Slosh & vibration 인증시험은 X,Y,Z 축에 대해 각각 9시간, 8시간, 8시간 수행되었고, 완료 후 slosh 시험만 15시간 추가로 수행한다.

### 5.1 Slosh & vibration 시험

Z축 방향의 Vibration과 Slosh 를 9시간 동안 동시에 부과하였다. Fig.7은 시험체의 Slosh 시험 장면을 보여주고 있다.



Fig. 7 Snapshot of slosh test

또한, 시험규격에서 요구하는 가진 주파수는 2000rpm± 100rpm(약 33Hz ±1.7Hz) 및 진동 주파수, 진동폭이 만족하도록 가진 되었음을 확인할 수 있다. 또한, Fig.10과 같이 온도조건 (43.3±3℃) 에 대해서도 시험수행 동안 44℃가 잘 유지되고 있음을 확인할 수 있다.

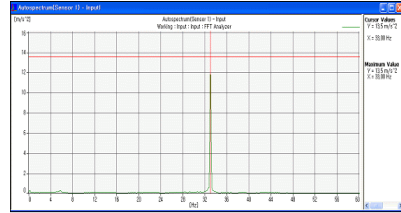


Fig. 8 Frequency range for vibration

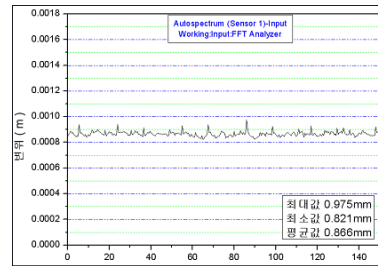


Fig. 9 Amplitude on the displacement sensor

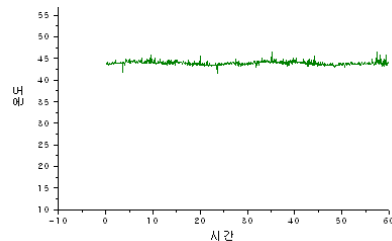


Fig. 10 Measured temperature value

### 5.2 가압시험

Slosh & vibration 시험 후 연료탱크 누설확인 위해 가압시험을 수행하며, 내부에 유체를 채우고 연료탱크 바닥에서 측정된 정상 수두의 1.5배 이상의 압력을 가한 후 30분 안정화 후 15분동안 압력변화를 기록한다. 연료탱크에 가해질 압력은 다음과 같이 계산한다.

- 연료탱크 수두=  $h = 0.380m$

- 시험 압력=  $\rho gh \times 1.5 = 840 \times 9.81 \times 0.380 \times 1.5 = 4697\text{Pa} = 0.681\text{psig}(15.37\text{psi})$  이상

Fig.11은 가압시험을 수행하는 현장이며, Fig.12에서 15분간 연료탱크 내부의 압력변화가 없음을 확인하였다.



Fig. 11 Pressure test after slosh & vibration test



Fig. 12 Pressure comparison before and after the pressure test (unit : psi)

### 5.3 시험체 검사

Slosh & vibration 시험 및 가압시험 수행 후 연료탱크 누설여부, 연료탱크 자체 손상, 내부 구성품 파손여부에 대해 수행된다. 연료탱크 누설여부는 갈색종이에 기름흔적 유무로 판정하며 어떠한 누설 흔적도 발견되지 않았다.

또한, 항공기 구조물로부터 연료탱크를 분해한 후, 연료탱크 및 내부 구성품에 대한 이상여부를 검사하였으며, 구조적인 손상이나 변형이 없음을 확인하였다.(Fig.13~Fig.14)



Fig. 13 Inspection of leakage

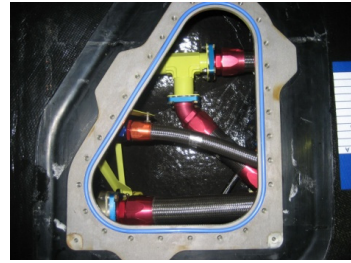


Fig. 14 Internal inspection for LRU(Forward)

## 6. 결 론

한국형 기동헬기 연료탱크는 미 군사규격 (MIL-DTL-27422D)를 기반으로 하여 개발되었으며, 성능 입증시험도 미 군사규격의 요구조건에 따라 수행되었다. 본 논문의 Slosh & vibration 시험은 연료탱크 인증시험 항목에 해당하며, 항공기 기동 시 연료 출렁임에 의한 연료탱크 및 내부 구성품 장착의 건전성을 검증하기 위한 시험이다.

시험체는 40시간의 Slosh & Vibration 시험 기간 동안 누유 또는 연료탱크의 손상, 부품 장착 부에서 이상 징후가 발견되지 않았다. 또한, 이어진 가압시험 및 분해 후 육안검사를 통해서도 구조적인 변형이나 파손의 흔적이 없음을 확인하였다. 따라서 본 KUH 연료탱크는 항공기 운용 시 발생하는 내부유체의 출렁임 및 진동에 의한 연료탱크 안정성 및 내부 구성품 장착의 건전성이 검증되었다.

## 후 기

본 연구는 지식경제부 한국형헬기 민군겸용 구성품 개발사업의 일부이며, 지원에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. Detail Specification for the Tank, Fuel, Crash-Resistant, Ballistic-Tolerant, Aircraft, MIL-DTL-27422D, 30 January 2007