

技術論文

DOI:10.5139/JKSAS.2010.38.8.806

회전익 항공기용 연료탱크 내추락 성능 시험평가

김현기*, 김성찬*, 이종원*, 황인희*, 허장욱**, 신동우***, 전필선****, 정태경****, 하병근****

Assessment of Crashworthiness Performance
for Fuel Tank of RotorcraftHyun-Gi Kim*, Sung Chan Kim*, Jong Won Lee*, In Hee Hwang*, Jang Wook Hue**,
Dong Woo Shin***, Pil Sun Jun****, Tae Kyung Jung**** and Byung Kun Ha****

ABSTRACT

Fuel tanks for rotorcraft have a great influence on the survivability of crews. The philosophy of crashworthy rotorcraft design evolved from the long term effort of the US Army. US army established MIL-DTL-27422D for specifying detail requirements related to crash resistant fuel tank especially for military rotorcraft to prevent post crash fire which is the greatest threat to life in rotorcraft crash. Crashworthiness of the rotorcraft fuel tank could be guaranteed through the crash impact tests which are specified in the MIL-DTL-27422D. Fuel tanks for Korea Helicopter Program have been developed and tested according to MIL-DTL-27422D with minor modifications of flexible fittings. The present study shows some results of the mandatory crash impact tests of the fuel tanks to verify their performances.

초 록

회전익항공기 연료탱크는 추락시 승무원의 생존성과 직결되는 구성품이다. 1950년대부터 미육군에서는 항공기 추락 후 화재에 의한 사상자를 줄일 수 있는 방안으로 내충돌성 연료탱크에 적합한 특성을 갖는 소재를 개발하기 위해 다양한 노력을 기울여왔다. 그 결과로 1961년에 MIL-T-27422A라는 항공기 연료탱크 설계규격이 처음 등장하였고, 1970년부터 2002년까지 수회의 개정을 거쳐 2007년 MIL-DTL-27422D라는 미군사 규격으로 발전되었다. 한국형 기동헬기의 연료탱크는 미군사규격(MIL-DTL-27422D)에 따라 개발 및 성능인증시험이 수행되었으며, 연료탱크의 내추락 성능은 미군사 규격에 구체화된 충돌/충격시험으로 검증되도록 규정되어 있다. 본 연구는 한국형기동헬기 연료탱크의 내추락 성능 검증을 위해 수행된 충돌/충격시험 결과를 제시하고 있다.

Key Words : Fuel Tank(연료탱크), Crashworthiness(내추락성), Rotorcraft(회전익항공기),
Crash Impact Test(충돌/충격시험), MIL-DTL-27422D(미군사규격)

I. 서 론

회전익 항공기에서 연료탱크는 헬기 추락시 승무원의 생존 여부와 직결되며 항공기 기체와의 체결 부위도 매우 많아 체계 연관성이 매우 큰 구성품으로, 미국 등 항공분야 선진국에서 상당한 관심을 갖고 수십년간의 노하우를 축적하면서

† 2010년 5월 6일 접수 ~ 2010년 7월 2일 심사완료

* 정회원, 한국항공우주연구원

교신저자, E-mail : shotgun1@kari.re.kr

대전광역시 유성구 과학로 115

** 정회원, 방위사업청

*** 정회원, 국방과학연구소

**** 정회원, (주)한화

개발해 온 구성품이다. 회전익항공기 연료탱크의 기능과 소재는 일반 탱크와는 상당히 다르며, 전투기와 같은 고정익 항공기와도 제작에 적용되는 소재와 설계 개념이 다르다.

전투기와 같은 고정익 항공기는 보통 수 km 고도에서 운항하기 때문에 추락시 조종사가 살아남을 가능성은 거의 없다. 그래서 추락전 조종사 탈출을 위해 대부분의 고정익 항공기에는 사출장치가 장착되어 있다. 그러나, 대부분의 헬기는 사출장치가 없으며, 전투기보다 훨씬 낮은 고도에서 운항하기 때문에 헬기가 추락했을 때 헬기 자체를 추락에 견디도록 설계하여 승무원의 생존 가능성을 높여야 한다.

그렇다면 추락시 헬기 승무원 사망의 가장 큰 원인은 무엇일까? 미육군에서는 이와 관련한 방대한 데이터를 1950년대부터 갖추어 왔는데, 내추락 설계가 제대로 반영되지 않았던 시기에는 추락 후 연료탱크 누설에 의한 화재로 승무원이 불에 타 죽는 경우가 60% 이상이었다고 한다.

이점을 간과할 수 없었던 미육군에서는 추락 후 화재에 의한 인명손상을 원천적으로 방지하기 위해 연료탱크 내추락 설계규격을 제정/수정 및 보완하여 육군용 헬리콥터에 적극적으로 적용해 왔다.

1950년대 말부터 약 10여년에 걸쳐 미육군이 40대 이상의 회전익기 추락시험을 수행, 생존가능 충돌환경의 상한선을 실험으로 규명함으로써 내충돌성 좌석 및 연료계통 등의 체계적인 개발이 가능해졌다[1~2]. 또한, 미육군은 1960년 7월부터 1965년 7월까지 발생했던 회전익기 및 경비행기 사고 사례와 1971년 1월부터 1976년 12월까지 발생했던 공격용 회전익기 및 수송용 회전익기 사고사례로부터 생존가능 충돌속도를 최종 결정했다[3].

미육군이 수행한 광범위한 내충돌성 실험과 회전익기 사고사례 조사결과에 따라 연료계통에 대해 아래와 같은 4가지의 중요한 사실이 규명되었다.

첫째, 연료탱크가 기체의 하부구조물 또는 외피에 너무 가깝게 장착되어 추락시 연료탱크에 무리한 하중이 가해져 연료탱크를 파괴시키는 경우가 많다.

둘째, 추락시의 충격에 의해 연료탱크에 높은 압력이 걸린 상태에서, 영구변형이 급격히 진행되는 주변구조물이 연료탱크를 찌게 되면 연료탱크의 대규모 파손과 더불어 다량의 연료가 누출된다.

셋째, 연료탱크와 주변구조물의 급격한 상대운동에 의해 피팅이 연료탱크로부터 찢겨져 나간다.

넷째, 연료관 역시 상대운동에 의한 변위 또는 파손이 진행되는 주변구조물에 의해 절단되거나 찢겨진다.

따라서, 추락 후 화재발생의 주원인인 연료탱크의 파손을 방지하기 위한 가장 효과적인 방안의 하나로서 미육군은 강하고 질긴 연료탱크 소재의 개발에 심혈을 기울였다.

이미 1950년대부터 내충돌성 연료탱크에 적합한 특성을 갖는 소재를 개발하기 위해 항공선진국의 여러 회사들이 미육군 및 FAA와 함께 다양한 노력을 기울였으며, 그 결과로 1961년에 MIL-T-27422A라는 규격이 등장하였다[4]. 여러 회사들이 이 규격을 만족하는 연료탱크를 제작, 2대의 CH-21 회전익기에 장착하여 1963년 10월에 내충돌성 시험을 수행하였으나 객실 바닥 하부에 장착된 대부분의 연료탱크가 주변 구조물에 의해 찢히거나 피팅이 찢겨져 뿔뿔이 흩어지므로 MIL-T-27422A는 불충분하다는 것이 확인되었다.

다행히도 Goodyear사의 소재로 제작된 연료탱크는 이 시험을 통과했으며, 이 소재에 대한 집중적인 개량과 추가시험을 통해 Impact, Penetration, 그리고 Tear Resistance 및 물로 100% 채운 연료탱크를 65 ft 고도로부터 자유 낙하시키는 내충돌성 시험 등의 다양한 요구조건이 해당 규격에 추가되었다. 이를 반영하여 1970년 2월 개정된 MIL-T-27422B는 내추락성 연료탱크에 대한 최초의 현대적인 상세규격[5]으로, MIL-DTL-27422C(2002.1.14)[6] 를 거쳐 현재의 MIL-DTL-27422D(2007. 1. 30)로 개정되었다[7].

본 논문은 한국형 기동헬기 연료탱크의 내추락 성능 평가시험의 결과로써, 미군사 규격(MIL-DTL-27422D)에서 규정하고 있는 요구조건에 따라 수행되었다. 본문에서는 한국형 기동헬기 연료탱크에 적용된 적층구조의 소재특성과 성능 요구조건을 설명하고, 요구조건 만족여부를 판단하는 인증시험 방법을 소개하고 있으며, 이에 따른 한국형 기동헬기 연료탱크의 내추락 인증시험의 결과를 제시한다.

2. 내추락 성능 연료탱크 요구조건

미군사규격(MIL-DTL-27422D)은 회전익기(Tilt rotorcraft 포함)에 적용되는 내충돌성 및 내탄성 연료탱크가 갖추어야 하는 요구도와 제반 인증시험에 대한 상세한 내용을 담고 있다. 이 규격에서 정의하고 있는 연료탱크의 Class와 Type 그리고 Protection Level을 Table 1로 정리하였다. 연료탱크를 구성하는 비금속 소재는 연료와 직접 접촉하는 Inner Layer Ply, 피탄시 연료와 접촉

Table 1. Class/Type/Protection Level

Class	A	Flexible fuel cell construction
	B	Semi-rigid or self-supporting fuel cell construction
Type	I	Self-sealing or partially self-sealing
	II	Non-self-sealing
Protection Level	A	Cell is completely self-sealing against .50 caliber and 20 mm (entry wound only for 20 mm).
	B	Part of the cell is non-self-sealing and part is self-sealing against .50 caliber and 20 mm (entry wound only for 20 mm).
	C	Part of the cell is self-sealing against .50 caliber and part of the cell is self-sealing against 14.5 mm.
	D	Cell is completely self-sealing against 14.5 mm and 20 mm (entry wound only for 20 mm).
	E	Part of the cell is self-sealing against 14.5 mm and 20 mm (entry wound only for 20 mm) and part of the cell is non-self-sealing.

하여 부풀어 올라 자체밀폐 내탄기능을 하는 Sealant, 그리고 내추락 성능을 갖는 Fabric Ply로 구성된다. 연료탱크에는 연료배관의 연결 및 주변구조물과의 고정을 위한 금속피팅이 삽입되어야 하며 별도의 Seal이 필요한 관통볼트는 사용할 수 없다. 연료탱크가 항공기 내부에 장착된 상태에서 연료탱크 및 주변구조물은 Table 2의 하중을 견딜 수 있어야 한다.

Table 2. Fuel Cell Strength

a	Flexing resulting from vibration caused by the aircraft
b	Impact loads incident to takeoff, taxiing, and landing (including catapulting and arresting)
c	Hydraulic surge of fuel incident to dynamic conditions of flight
d	Hydraulic surge of fuel incident to gunfire
e	Pressure loads resulting from hydrostatic head of fuel during level flight or maneuvers, and resulting from neutral gases used to pressurize fuel tanks
f	Crash loads as specified in the applicable aircraft documentation.



Fig. 1. Crash Impact Test for Verification of Material(Phase I Test)

입증시험은 소재입증시험인 Phase I과 연료탱크 입증시험인 Phase II로 구분된다. Phase I 시험은 재료시험, 물성치 시험과 금속 피팅 강도시험 및 상자형 표준 시제품에 대한 피탄 및 충돌충격시험 등으로 구성된다. Phase I 시험을 통과한 경우에 한하여 실제 연료탱크를 제작하여 Phase II 시험을 수행한다.

Phase I과 Phase II에서 연료탱크 내추락성의 확인은 내부를 물로 100% 채운 연료탱크를 65ft의 고도에서 콘크리트와 같은 견고한 바닥에 떨어뜨리는 충돌충격시험으로 수행된다. 충돌충격시험 후, 연료탱크로부터 물이 조금이라도 누설된다면 해당시험은 실패로 간주된다. Fig. 1은 Phase I 시험 수행장면이다.

3. 연료탱크 형상 및 소재 특성

한국형 기동헬기의 연료탱크(Fig. 2 참조)는 크게 피팅부와 외피로 구성되어 있다. Fig. 3은 연료



Fig. 2. Fuel Tank of Rotorcraft



Fig. 3. Fittings of Fuel Tank

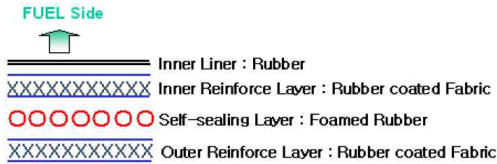


Fig. 4. Material Property of Fuel Tank

Table 3. Materials Function of Fuel Tank

	기능	비 고
Inner Layer	연료 차폐	Rubber
Inner Reinforce Layer	연료탱크 강성 유지	Fabric+Rubber
Self-sealing Layer	연료 자체 밀폐	Sponge
Outer Reinforce Layer	연료탱크 강성 유지	Fabric+Rubber

탱크에 결합되는 피팅들로서, 금속피팅과 고무로 제작된 스커트로 이뤄진다. 피팅부의 역할은 연료탱크 내/외부 배관을 연결하거나 연료탱크를 항공기 기체에 고정시킬 때 사용한다. 이러한 피팅부는 용도에 따라 점검창 피팅, 섀프 피팅, 탱크 간 연결 피팅, 환기용 피팅 등으로 분류된다. 연료탱크 Skin에 사용되는 소재는 Fig. 4와 같은 구조로 설계 및 제작되었으며 각 층별 주요 기능 및 특성은 Table 3과 같다.

연료탱크의 가장 내측에 적용되는 내층은 (Inner Layer)은 연료차폐층(Fuel barrier)과 함께 장기간 동안의 연료침투를 방지하게 되며 자기밀폐층 (Self-sealing Layer)을 중심으로 양 측면에 연료탱크 강성유지를 위하여 섬유가 주 재질인 보강층(Reinforcing Layer)이 적용된다. 또한, 피탄 시 Fig. 4의 적층 구성 중 자기밀폐층이 연료와 접촉/ 급속 팽윤하여 피탄부의 누유를 차단하는 구조로 설계/제작되었다.

4. 연료탱크 내추락성능 시험평가

4.1 시험장 및 시험설비

Fig. 5와 Fig. 6 그리고 Table 4는 충돌충격 시험 (Crash Impact Test)을 수행하는 장소 및 시험설비이다. 우선 충돌충격 시험 수행을 위해 연료탱크가 충돌하는 면은 시험규격에 따라 콘크리트로 구축되어야 한다. 연료탱크 물 충전시 낙하 요구조건을 만족하는 물 부피 측정용 저울과 물 충전 완료 후 피팅 덮개의 체결 상태 확인을 위한 Torque wrench가 필요하다. 또한, 깔판 (Pallet)과 연료탱크를 65ft 높이로 인양하기 위한

기중기, 지상에서 적절한 순간 기중기와 깔판을 분리할 수 있는 분리식 투하기구가 요구된다. 이외에 깔판의 수평도 점검을 위한 수평기, 낙하높이 측정용 줄자, 깔판을 지지하기 위한 끈이 사용된다.



Fig. 5. Site for Crash Impact Test

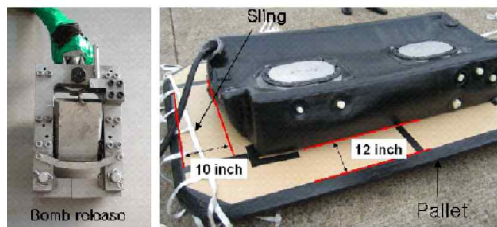


Fig. 6. Bomb release, Sling, Pallet for Crash Impact Test

Table 4. Test Equipment for Crash Impact Test

구 분	장비명	사양(용도)
1	Telescopic Crane	Pallet 낙하높이 인양
2	Bomb Release	낙하시 연결고리 분리
3	Wooden Pallet	
4	Torque Wrench	피팅덮개 체결상태 확인
5	Drum Pump	물 충전
6	저울	물 계량
7	Level Meter	Pallet 수평도 측정
8	높이 측정용 Cord	낙하높이 측정
9	Sling	Pallet 지지

4.2 시험절차

연료탱크 내추락성 검증을 위한 충돌충격 시험은 연료탱크 인증시험계획서 및 절차서에 명시된 방법에 따라 다음과 같이 진행된다.

step1) 연료탱크를 팔레트(Pallet) 위에 위치시킨다.

step2) 연료탱크에 규정된 부피만큼 물을 채우고 주입구는 밀봉한다.

step3) 연료탱크를 팔레트 (Pallet) 위에 올려놓고 분리식 투하기구를 끈과 체결한 후 팔레트가 바닥면과 수평이 되도록 유지시킨다. (수평확인용 수평계를 사용한다.)

step4) 팔레트를 바닥으로부터 65 ft 위치로 들어올린다. (65ft의 길이로 사전 제작된 줄자를 충돌충격 시험용 고정판에 장착하여 높이를 측정 후 낙하 전에 줄자를 제거한다.)

step5) 원하는 고도에 위치한 연료탱크와 팔레트의 자세를 안정시킨다.

step6) 분리식 투하기구의 핀을 제거하여 팔레트를 콘크리트 표면 위로 자유 낙하시킨다.



Fig. 7. Step 1 & Step 2 : Water-feed and sealing



Fig. 8. Step 3 : Pallet Leveling



Fig. 9. Step 4 & Step 5: Lifting up to 65 ft and attitude stabilizing



Fig. 10. Step 6: Onset of Crash Impact of the Fuel Tank

판정기준을 통과하려면 충돌충격 시험 후 연료탱크로부터 어떠한 누설도 관찰되지 않아야 한다. 연료탱크의 누설은 주로 탱크 외피와 피팅부 스킨트(Skirt) 간 접촉부위의 찢김이나 금속 피팅의 파손으로 발생하게 된다. Fig. 11은 초고속 카메라로 촬영된 충돌충격 시험 중 피팅부 손상에 의한 누설 발생 결과를 보여주고 있다. 연료탱크 상면과 하면은 낙하충격에 의한 충격 및 수압램 영향을 완충작용 없이 그대로 받는 영역이므로 낙하 충격량을 고려하여 피팅부 두께 및 본딩 강도를 고려한 설계가 수행되어야 한다. Fig. 12는 충돌충격 시험에 따른 연료탱크 파손 부위를 보여주고 있다.



Fig. 11. Leakage by Damage of Fuel Tank in Crash Impact Test



Fig. 12. Ruptured Fitting Area by Crash Impact Test

5. 인증시험 결과

충돌충격 시험은 2회 실시하였으며 각 시험의 낙하 및 충돌순간은 Fig. 13과 Fig. 14에 주어져 있다. 충돌 중량은 대략 450kg~700kg (깔판 및 물 충전 연료탱크 무게) 이며, 낙하높이는 65 ft 상공에서 자유낙하 하는 것으로 두 시험 조건 모두 동일하다.

분리식 투하기구의 핀 제거는 65ft 상공에 있는 깔판이 바람의 영향으로 흔들리지 않도록 최대한 안정화시킨 후 수행해야 한다.

Fig. 15와 Fig. 16은 충돌충격 시험 후 각 연료탱크 누설검사 결과를 보여주고 있다. 누설검사는 탱크 외피와 바닥면 심프 (Sump) 피팅, 상면 점검창 피팅, 측면의 환기용 피팅/ 탱크간 연결 피팅에 대해 수행되었고, 고무 부위의 찢어짐 등의 손상 여부를 점검하였다.

점검 결과, 탱크 외피 부위의 찢김이나 파손은 발생하지 않았고, 피팅 연결부 또는 금속피팅 자체의 파손도 전혀 발생하지 않았으며, 고무 외피 부위의 찢김도 전혀 없음이 확인되었다. 따라서, 연료탱크에서는 어떠한 누설도 발생하지 않았으며 이는 한국형 기동헬기용 연료탱크는 미군사규격의 요구조건을 만족하는 내추락 성능을 보유하고 있음을 의미한다.



Fig. 13. 1st Crash Impact Test of Fuel Tank



Fig. 14. 2nd Crash Impact Test of Fuel Tank



Fig. 15. Leakage Inspection of 1st Crash Impact Test



Fig. 16. Leakage Inspection of 2nd Crash Impact Test

III. 결 론

전세계에서 운용중인 항공기에 들어가는 연료탱크 관련 내추락 설계는 MIL-DTL-27422D 규격과 DEF-STAN-15-2 규격이 있는데, MIL 규격은 연료탱크의 외피를 매우 질기고 뻣뻣하게 만들어서 추락시 하중을 견디도록 설계하는 방식이고, DEF 규격은 연료탱크를 유연한 소재로 만들어서

추락시 충격을 유연한 탱크 외피와 고무 피팅부의 대변형으로 흡수하도록 설계하는 방식이다.

한국형 기동헬기 연료탱크는 미 군사규격 (MIL-DTL-27422D)를 기반으로 하여 개발되었으며, 성능 입증시험도 미 군사규격의 요구조건에 따라 수행되었다.

충돌충격 시험 결과, 연료탱크에서 어떠한 누설이나 파열의 흔적도 관찰되지 않았고, 금속 피팅부에 대한 내/외부 검사에서도 손상이 발견되지 않았다. 본 내추락 검증시험을 통해 한국형 기동헬기 연료탱크의 우수한 내추락 성능을 확인할 수 있었고, 이로써 헬기 승무원의 생존성을 확보할 수 있게 되었다.

후 기

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

참고문헌

1) FAA, 1994, "Rotorcraft Crashworthy Airframe and Fuel System Technology Development Program", DOT/FAA/CT-91/7,

Final Report.

2) FAA, 2002, "A Study of Helicopter Crash-Resistant Fuel Systems", DOT/FAA/AR-01/76, Final Report.

3) Karen E. Jackson, Edwin L. Fasanella, and Karen H. Lyle, 2006, "Crash Certification by Analysis - Are We There Yet?", American Helicopter Society 62nd Annual Forum, Phoenix, AZ.

4) "Military Specification, Tank, Fuel, Crash-Resistant, Aircraft", MIL-T-27422A, 25 March 1964.

5) "Military Specification, Tank, Fuel, Crash-Resistant, Aircraft", MIL-T-27422B, 24 February 1970.

6) "Detail Specification for the Tank, Fuel, Crash-Resistant, Ballistic-Tolerant, Aircraft", MIL-DTL-27422C, 14 January 2002.

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