

## 技術論文

DOI:10.5139/JKSAS.2010.38.5.477

## 회전익 항공기용 연료탱크 내탄성능 시험평가

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

## Assessment of Self-sealing Performance of the Fuel Tank of the Rotorcraft against Gunfire Projectiles

Hyun-Gi Kim\*, Sung Chan Kim\*, Jong Won Lee\*, In Hee Hwang\*, Jang Wook Hue\*\*, Dong Woo Shin\*\*\*, Tae Kyung Jung\*\*\*\* and Byoung Geun Ha\*\*\*\*

## ABSTRACT

Some rotorcraft fuel tanks are required to be self-sealing and crashworthy for enhancing the survivability of crews. Self-sealing capability prevents the fuel leakage through contacting fuel with self-sealing material when the tank wall is penetrated by projectiles such as bullets. US army established MIL-DTL-27422D which specifies the detail requirements related to gunfire resistant fuel tank especially for military rotorcraft. The Fuel tanks for Korea Helicopter Program have been developed in accordance with MIL-DTL-27422D. The Self-sealing capability of the fuel tanks has been confirmed by the gunfire resistance test which specified on the MIL-DTL-27422D.

## 초 록

회전익 항공기의 연료탱크는 피탄 시 기체 및 승무원의 생존성 확보를 위하여 연료누설을 차단하는 자기밀폐기능과 충돌 및 전복에 대처하기 위한 내충돌성이 대표적으로 요구된다. 그 중 자기밀폐 기능은 연료탱크 피탄 시 내부에 적층된 자기밀폐 소재가 누설되는 연료와의 접촉을 통해 급속한 부피팽창을 일으켜 연료누설을 감소시켜주는 역할을 함으로써 군용 회전익기의 생존성을 향상시킨다. 본 연구는 미군사규격(MIL-DTL-27422D) 기준으로 국내에서 수행한 회전익 항공기의 연료탱크 내탄성능 시험평가 결과를 제시한다.

**Key Words** : Fuel Tank(연료탱크), MIL-DTL-27422D(미군사규격), Gunfire Resistance Test(내탄시험), Self-Sealing(자기밀폐)

## 1. 서 론

회전익항공기의 연료탱크는 산 또는 독성물질, 오염성 물질 등의 화학 약품에 저항성이 큰 합성

섬유 및 고무를 여러 겹 쌓아서 만든 고기능 저장 탱크로서, 다양한 항공용 액체 연료를 저장 또는 수송하는데 사용된다. 일반적으로 연료저장 탱크는 방어능력에 따라 세가지로 분류되는데, 첫째 가벼우면서 최대의 연료 저장력을 가지는 저장 위주의 유연성 cell(일반 헬기의 연료탱크), 둘째, 충격이나 전복 시에 연료 누설에 의한 화재부터 기체 및 승무원을 보호하는 내충돌성 cell(원거리를 움직이는 모든 민항기 혹은 다목적 헬기의 연료탱크), 적의 화기 공격에 의해 피격되어 연료탱크에 구멍이 났을 경우, 연료의 유출

† 2010년 2월 22일 접수 ~ 2010년 4월 29일 심사완료

\* 정회원, 한국항공우주연구원

교신저자, E-mail : shotgun1@kari.re.kr

대전광역시 유성구 과학로 115

\*\* 정회원, 방위사업청

\*\*\* 정회원, 국방과학연구소

\*\*\*\* 정회원, (주)한화

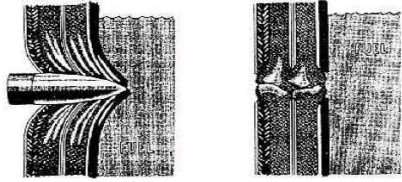


Fig. 1. Bullet Sealing Action

을 최소화 할 수 있는 내탄능력을 가진 cell(군용 헬기, 전투기 등의 연료탱크)이 있다. 이 중 내탄능력은 자기밀폐 성능을 의미하는데, 자기밀폐형 cell은 작은 규모의 손상을 스스로 메우는 능력을 지닌 연료저장 용기이다. 즉, 탄환이나 파편 등에 의해 Cell 벽에 뚫린 구멍을 규정된 시간 내에 스스로 밀폐하는 기능을 가진 탱크이다.

Fig. 1은 자기밀폐 과정을 나타낸 것이다. 탄환이 탱크 외벽에 침투하면 점도가 높고 탄성적인 밀폐제가 탄환 주위로 모여들고 탄환이 통과한 후 벽과 벽 사이의 밀폐제가 연료로 인해 팽윤되어 빠르게 구멍을 메워 연료의 누출을 차단하게 된다. 따라서 이러한 자기밀폐 기능을 가진 연료탱크를 장착하면 연료누설에 의한 화재 또는 폭발의 위험 없이 적진에서 작전을 계속 수행하거나 기지로 안전하게 귀환할 수 있다.

연료탱크 내탄성능 기술은 민군이 공용할 수 있는 첨단 신기술로써 외국에서는 헬기, 전투기 등의 항공기는 물론 경주용 자동차 등의 연료탱크에 적용되고 있으며, 다량의 연료를 운송하는 차량의 전복 시 유발될 수 있는 환경오염을 최소화할 수 있다.

본 논문은 미 군사규격(MIL-DTL-27422D)의 요구조건에 따라 수행된 한국형 헬기용 연료탱크의 내탄성능 평가시험 결과를 다루고 있다. 본문에서는 한국형 헬기 연료탱크에 적용된 적층구조의 소재 특성과 성능 요구조건을 설명하고, 요구조건 만족여부를 판단하는 인증시험 방법 및 시험결과를 제시하였다.

## II. 본 론

### 2. 내탄시험 조건 및 적층구조

#### 2.1 내탄시험 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 규격에

Table 1. Class/Type/Protection Level of a Fuel Tank in MIL-DTL-27422D

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.

서 정의하고 있는 연료탱크의 Class와 Type 그리고 Protection Level을 Table 1로 정리하였다.

본 연구에서는 Table 1과 같이 자기밀폐 영역, 기능 및 유연구조에 대해 Class A, Type 1 Level C를 대상으로 하였다.

연료탱크를 구성하는 비금속 소재는 연료와 직접 접촉하는 내층(Inner Layer Ply), 피탄시 연료와 접촉하여 부풀어 올라 자체밀폐 내탄기능을 하는 Sealant, 그리고 내충돌 기능을 갖는 섬유층(Fabric Ply)으로 구성된다. 연료탱크에는 연료배관의 연결 및 주변구조물과의 고정을 위한 금속 피팅이 삽입되어야 하며 별도의 Seal이 필요한 관통볼트는 사용할 수 없다.

미 군사규격은 연료탱크의 자기밀폐 성능 검증을 2단계 (Phase I 및 Phase II)에 걸쳐 수행하도록 요구하고 있다.

소재에 대한 성능 입증을 위한 Phase I Test는 30"x30"x24" Size의 육면체 형상에 연료탱크에 적용되는 대표적 피팅을 반영하여 시험을 수행하며 Fig. 2와 같은 알루미늄 구조물에 장착한 상태에서 수행된다.

Phase I 시험을 통과한 재료로 실제 연료탱크를 제작하여 Phase II 시험을 수행한다. Phase II Test는 연료탱크 장착 구조물을 모사한 조건에서

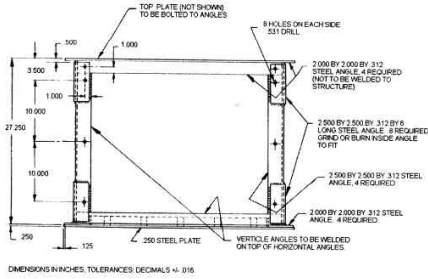


Fig. 2. Phase I Test Structure

수행되며 탄환 수는 연료탱크 용량 15gallon당 1 발을 적용하되 최대 10발 이하로 제한하고 있다.

2.2 연료탱크 형상 및 소재특성

한국형 기동헬기의 연료탱크(Fig. 3 참조)는 크게 피팅부와 외피(Skin)로 구성되어 있다. Fig. 4는 연료탱크에 결합되는 피팅들로써, 금속피팅과 고무로 제작된 Skirt로 이뤄진다. 피팅부의 역할은 연료탱크 내/외부 배관을 연결하거나 연료탱크를 항공기 기체에 고정시킬 때 사용한다.

연료탱크 외피(Skin)에 사용되는 소재는 Fig. 5와 같은 구조로 설계 및 제작되었으며 각 층별 주요 기능 및 특성은 Table 2와 같다.



Fig. 3. The Fuel Tank for Rotorcraft



Fig. 4. The Fittings of the Fuel Tank

Table 2. The Materials Function of the Fuel Tank

	기능	비고
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

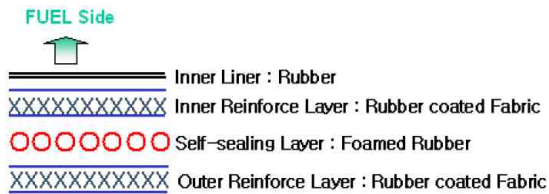


Fig. 5. The Material Property of the Fuel Tank

연료탱크의 가장 내측에 적용되는 내층(Inner Layer)은 연료차폐층(Fuel barrier)과 함께 장기간 동안의 연료침투를 방지하게 되며 자체밀폐층(self-sealing layer)을 중심으로 양 측면에 연료탱크 강성유지를 위하여 섬유가 주 재질인 보강층(Reinforce Layer)이 적용된다. 또한, 피탄시 Fig. 5의 적층구조 중 자체밀폐층 (self-sealing layer)과 연료와의 접촉으로 급속적인 팽윤이 유도되어 피탄부의 누유를 차단하는 구조로 설계/제작 되었다.

3. 내탄성능 인증시험

3.1 인증시험 개략도

연료탱크의 자기밀폐 성능시험은 국방과학연구소 종합시험장에서 수행되었으며 시험장의 개략도는 Fig. 6과 같다.

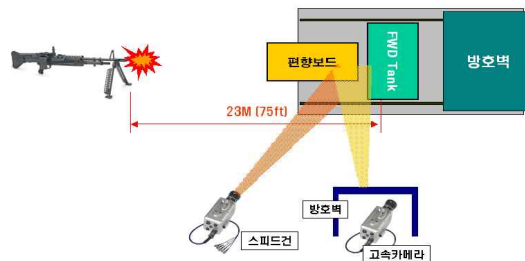


Fig. 6. The Configuration of the Gunfire Test

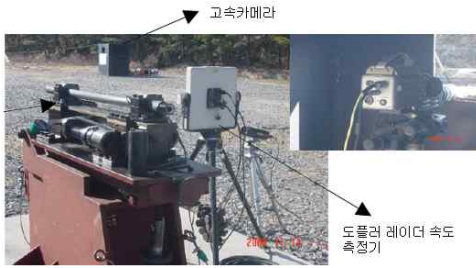


Fig. 7. The Site for the Gunfire Test

### 3.2 Tumble 조건 모사시험

미군사 규격은 연료탱크 내탄시험 항목 중 탄환 전도(Tumble) 조건에서의 수행을 규정하고 있다. 탄환전도 조건이란 포탄의 파편(Shrapnel)을 묘사하기 위한 것으로 발사된 탄환이 연료탱크를 타격하기 전 편향보드를 사용하여 회전시키는 시험이다. Fig. 8과 같이 탄환전도 조건에서는 연료탱크에 더 큰 상처가 나므로 직사조건 시험보다 더 가혹한 시험이다.

연료탱크에 대한 탄환전도 조건을 모사하기 위해 2가지 각도(45°, 60°)로 배치된 편향판으로 사전 시험을 수행한 결과, 본 시험에 적용될 편향판의 각도는 45°로 결정되었다. Fig. 8은 탄환전도 조건 모사시험에 사용된 편향보드 및 피탄 후 탄환전도 결과를 보여주고 있으며, Fig. 9는 내탄시험에 사용된 치구의 형상이다.



Fig. 8. The Tumble Condition Test



Fig. 9. The Test Structure for the Fuel Tank

### 3.3 성능시험 평가

한국형 기동헬기 연료탱크는 12.7mm 철갑탄(AP) 및 14.5mm(일부 영역) AP에 대한 자체밀폐 성능 요구조건에 따라 상기 2종의 탄을 시험에 적용하였으며 연료탱크 시험 탄종 형상은 Fig. 10과 같다.

시험 탄환 수는 MIL-DTL-27422D에 따라 15gallon 당 1발의 탄환을 배정하였으며 피탄 거리는 75ft거리에서 수행되었다. 또한 요구되는 탄속은 탄종(12.7mm AP/14.5mm AP)에 따라 각각 다른 기준속도를 적용하였으며 피탄 영역에 따라 아래 Table 3에 제시된 순서대로 발사되었다.

본 시험평가에 사용된 총 9발의 탄환 중에서 9번째 탄환은 'Coring' 현상(탄환 직경 10% 이상 뚫린 상처)을 발생시켰으므로 평가대상에서 제외되었으나 나머지 8발의 탄환에 대해서는 2분 이내에 연료 누설이 차단되는 성공적인 결과를 얻을 수 있었다. Fig. 11 ~ Fig. 14는 각 탄환(Round)에 대한 피탄부의 위치 및 형상을 나타낸다.



Fig. 10. The Bullet for the Gunfire Test (14.5mm/12.7mm AP)

Table 3. Bullet Shooting Order and Test Result

순서	탄종	영역
1	12.7mm AP	S/S
2	12.7mm AP	S/S
3	12.7mm AP	S/S
4	12.7mm AP	S/S
5	12.7mm AP	N/S*
6	12.7mm AP	N/S
7	14.5mm AP	S/S
8	12.7mm AP	S/S
9	12.7mm AP	S/S

\* S/S : Self-Sealing Area

\*\* N/S : Non Self-Sealing Area





Fig. 11. Round 1 ~ Round 4(12.7mm AP)



Fig. 12. Round 5 ~ Round 6(12.7mm AP)



Fig. 13. Round 7(14.5mm AP)



Fig. 14. Round 8 ~ Round 9 (12.7mm Tumbled AP)

### III. 결 론

회전의 항공기에서 연료탱크는 체계 연관성이 높은 구성품이므로 기체와의 체결부위가 상당히 많을 수 밖에 없다. 또한 연료탱크는 그 내용물인 연료 자체가 인화성과 가연성이 높은 물질이므로 연료탱크에 누설이 발생하면 승무원의 안전에 치명적인 영향을 미치는 중요한 구성품이다.

한국형 기동헬기 연료탱크의 자기밀폐 성능에 대한 검증은 기체 내부 장착조건을 모사한 구조물을 이용하여 미군사규격(MIL-DTL-27422D) 요구조건에 따라 수행되었다.

내탄성능 시험 결과, 미군사규격 요구조건을 모두 만족하는 우수한 자기밀폐 성능을 확인하였으며, 이는 회전의 항공기의 임무수행 시 기체 및 승무원의 생존성을 확보하게 되었음을 의미한다.

### 후 기

본 연구는 지식경제부 한국형헬기 민군겸용구성품 개발사업(한국항공우주연구원 주관)의 일부이며, 지원에 감사드립니다.

### 참고문헌

- 1) Detail Specification for the Tank, Fuel, Crash-Resistant, Ballistic-Tolerant, Aircraft, MIL-DTL-27422D, 30 January 2007.
- 2) “KS W 2201 :항공기용 자체 밀폐형 연료탱크”, 한국표준협회, 2005.
- 3) 오정민, 최용훈, 김두만, 배재성 “연료탱크의 성능평가 기준수립에 관한 연구”, 항공우주시스템공학회, 2007년도 춘계학술대회 논문집, pp. 1-4.
- 4) 김성찬, 김현기, 정태경, 이창현, 신동우, “회전의 항공기 연료탱크 내탄 인증시험”, 2009 항공우주공학회 추계학술대회