

항공기 기반 군용 유류 수송체계 전환에 관한 연구: 블래더 모듈 전환 방안

황현호*, 임대환**

A Study on the Transition of Aircraft-based Military Fuel Transportation Systems: A Bladder Module Conversion Plan

Hwang HyunHo*, Lim DaiHwan**

요 약

한국군은 공중 유류 수송 시 주로 55갤런 철재 드럼 팔레트 방식을 활용하고 있으나, 안전 위험, 누유, 환경 폐기 등의 한계가 존재한다. 본 논문은 미군 및 NATO 사례를 토대로 463L 팔레트 기반 블래더 모듈 체계의 도입을 제안한다. 이를 위해 ICAO 및 AFMAN의 최신 지침과 MIL-STD 규격에 따른 설계 요건을 검토하고, 한국군 지형과 작전 환경에 적합한 단계별 적용 방안을 제시하였다. 연구 결과, 블래더 모듈은 한국군 유류 수송의 신속성, 안전성, 지속가능성을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

Abstract

The ROK military primarily employs 55-gallon steel drum pallets for aerial fuel transport; however, this method entails safety risks, fuel spillage, and environmental disposal challenges. This paper proposes the adoption of a 463L palletized bladder module system, drawing on U.S. and NATO case studies. The latest ICAO and AFMAN guidelines, along with MIL-STD design requirements, are reviewed, and a phased implementation roadmap tailored to the ROK's terrain and operational environment is presented. The findings confirm that bladder modules can significantly enhance the agility, safety, and sustainability of fuel transport in the ROK military.

Keywords

aircraft fuel transport, bladder module, 463L palletization, military logistics, safety and sustainability

1. 서 론

항공기를 이용한 군용 유류 수송은 기동부대에 대한 신속한 연료 보급을 위해 필수적인 요소이다.

한국군은 현재까지 주로 55갤런(약 208리터) 용량의 철재 드럼통에 유류를 담아 수송하는 방식을 유지하고 있으며, 군 관계자에 따르면 육군 항공 및 수송부대는 연간 약 120,000개의 55갤런 드럼을 운용

* 한양사이버대학교 국방융합기술학과 조교수

- ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4065-0943>

** 호서대학교 스마트팜AI데이터센터 교수(교신저자)

- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0749-7983>

• Received: Sep. 15, 2025, Revised: Oct. 15, 2025, Accepted: Oct. 18, 2025

• Corresponding Author: Lim DaiHwan

SFAD lab, Hoseo-ro 64, Baebang-eup, Asan-si, Chungcheongnamdo, Korea

Tel.: +82-41-540-5986, Email: jpeace1226@gmail.com

하고, 이에 따른 헬기 운항은 약 2,500회 수준으로 추정된다. 드럼통 여러 개를 표준 팔레트에 적재한 후 금속 케이지나 화물 그물망으로 고정하여 헬기 외부에 슬링 로드하거나, 수송기에 탑재·투하하는 형태가 일반적이다. 이러한 철재 드럼 팔레트 방식은 초창기부터 널리 사용되어 왔으나, 현대 군수환경에서 몇 가지 한계가 있다[1]. 첫째, 철재 드럼은 헬기 슬링 수송을 염두에 둔 설계가 아니어서 낙하시 진동·충격에 취약하고, 빈 드럼을 포함한 전체 하중 대비 유류 적재율이 낮아 수송 효율이 떨어진다. 둘째, 드럼 취급 과정에서 인력 소요가 크고 중량물 취급으로 인한 부상 위험이 있다. 셋째, 작전 지역에 공중투하된 후 빈 드럼을 회수하지 못하면 현장에 방치되어 환경 폐기물로 남는 문제가 있다.

미군 및 NATO 동맹국들은 최근 항공기 및 헬기 기반의 연료 수송체계를 지속적으로 발전시켜 왔다. 특히 연료 블래더(Bladder)라 불리는 유연한 연료 주머니를 이용한 모듈형 수송체계를 주목하고 있다. 연료 블래더는 고강도 합성고무/나일론으로 제작된 유연 용기로, 내부에 연료를 저장하면서도 외부 충격에 견디고 누유를 방지하도록 설계된다.



그림 1. 미군 항공기 내, 블래더 적재 모습
Fig. 1. U.S. air force aircraft, bladder loading

이러한 연료 블래더 한 개는 약 11개의 드럼통에 해당하는 500갤런(약 1,890리터)의 연료를 담을 수 있어, 다수 드럼 사용 대비 적재 효율이 높다. 또한 비어 있을 때는 접어서 부피를 줄일 수 있어 회수가 용이하고, 반복 사용이 가능한 장점이 있다. 한국군도 더 이상 철재 드럼 중심의 구태의연한 방식에 머물 수 없으며, 국제적 흐름에 맞추어 유류 수송체계의 현대화가 시급하다. 또한, 국내 문헌조사 결과, 블래더를 활용한 유류 수송 및 낙하시험을 통한 비교, 획득 전략체계가 부재하다. 본 논문에서는

블래더 모듈 기반 체계로 전환하기 위한 필요성을 고찰하고, 한국군 적용을 위한 단계별 추진 전략을 제안하고자 한다.

II. 국제 규정 및 표준 검토

2.1 항공 위험물 운송 규정

ICAO Doc 9284는 국제민간항공기구(ICAO)의 항공위험물 안전수송을 위한 기술지침 문서로, 2년마다 개정된다. 2025-2026년도 최신판에서는 UN 기준에 따라 분류된 위험물의 포장, 표시, 운송 절차를 최신화하고 있다. 이를 뒷받침하는 것이 미 공군의 AFMAN 24-604(2025년 개정)의 군사항공 위험물 포장지침이다. AFMAN 24-604는 안보수송체계(DTS)를 통해 군용 항공기로 위험물을 운송할 경우 적용되는 세부 지침을 제공한다[2]. 지침은 위험물이 항공기로 운송될 때 항공기, 승무원, 화물 및 승객의 안전을 극대화하도록 포장, 표기, 적재되어야 한다고 명시하고 있으며, 군용 항공 운영에서 적용 가능한 예외, 특별 승인, 면제 조항도 함께 규정한다. 규정에는 대형 연료 블래더나 특수 컨테이너의 사용을 허용하는 근거가 있다. 따라서 한국군이 블래더 모듈을 도입할 경우, ICAO 및 군사항공 위험물 포장지침에 부합 및 고려되어야 할 요소이다.

2.2 군용 팔레트 및 적재 규격

블래더 모듈은 팔레트화하여 수송하는 것을 전제로 하므로, 국제 표준 군용 팔레트 규격과 적재 고정 요건을 충족해야 한다. 미 공군의 463L 화물팔레트(HCU-6/E)는 전세계 군용 공수작전에 사용되는 표준 플랫폼으로, 크기는 가로 88인치(223cm) × 세로 108인치(274cm), 두께 2.25인치(5.7cm)이다. 팔레트 자체 중량은 약 290파운드(131kg)이며, 순적재하중은 최대 10,000파운드(4,535kg)까지 견딜 수 있다. 팔레트 주변에는 총 22개의 타이다운 D-링이 부착되어 각 방향당 7,500파운드(3,402kg)의 하중을 견디는 래싱(lashing, 화물 고정을 위한 와이어 또는 스트랩 구속작업)이 가능하다[3]. 이러한 463L 표준팔

래트 한 장에 블래더와 보호용 케이지, 보조자재를 포함한 모듈 한 세트를 구성할 수 있다. 한국군도 463L 팔레트 규격을 따르는 공중투하 공용 팔레트를 보유·운용 중이므로, 블래더 모듈 설계 시 이와의 호환성을 확보할 수 있다.

2.3 연료 블래더의 충격흡수

유류는 인화성 물질로, 수송 중 발생할 수 있는 낙하 충격이나 충돌 사고에서 용기가 파손되지 않도록 충격흡수 대책을 강구해야 한다. 특히 항공기에서 연료 블래더를 공중투하 하거나, 헬기가 불시 착륙하거나, 수송 중 사고로 낙하할 경우에 대비하여 충격완화재를 적용해야 한다. 미군의 항공용 연료탱크는 보통 연료 용기의 낙하시험을 통해 내충격 성능을 인증받는다. MIL-DTL-27422의 항공기 연료 탱크, 낙하충격 시험방법은 연료 블래더와 같은 유연 연료용기를 일정 높이에서 낙하시켜 연료 누출 여부를 평가하는 시험 기준을 담고 있으며, 일명 큐브 테스트로 불린다. 이 시험에서 요구되는 성능을 만족하려면, 연료 블래더 자체의 인장강도와 인쇄성뿐만 아니라 외부의 보호구조, 에너지 흡수재의 역할이 중요하다. 표 1은 낙하 높이에 따른 완충재 최소 두께를 단순 계산한 예시로서, 낙하 에너지를 완충재가 10~15g 수준의 감속도로 흡수한다고 가정하여 산출하였다[4]. ($200\text{kg}, \sigma=0.6\text{MPa}, \epsilon=0.6$) 충격흡수재 두께 t 는 다음식으로 산정한다. 여기서 E 는 충돌에너지(0.5mv^2), σ 는 허용압축응력(0.6MPa), ϵ 은 유효압축율(0.6), A 는 접촉면적이다.

$$t = \frac{E}{A\sigma\epsilon} \quad (1)$$

표 1. 낙하 충격흡수재 요구 두께 비교

Table 1. Comparison of falling impact absorbent demand thickness

Impact velocity (m/s)	Drum ($A \approx 0.081 \text{ m}^2$) required thickness (cm)	Bladder module ($A = 1.0 \text{ m}^2$) required thickness (cm)
5	8.6	0.6
7	16.9	1.2
9	28	2.0

III. 블래더 모듈 체계의 한국군 적용 방안

3.1 블래더 모듈 시스템 개념 설계

한국군에 적합한 블래더 모듈 구성은 연료 블래더, 팔레트, 보호용 케이지, 충격흡수재, 연결 하네스 및 부속장비로 이루어진다[4]. 그림 2는 제안하는 모듈 개념과 기존 드럼 방식의 리깅(Rigging) 구조를 비교한 것이다. 기존 방식에서는 여러 드럼통을 묶어 하나의 슬링 화물로 만들지만, 제안 방식에서는 팔레트화된 단일 모듈을 기본 단위로 한다[5]. 블래더는 케이지 또는 컨테이너 내부에 위치하여 형상을 유지하고 외부 충격으로부터 보호된다. 팔레트 바닥면 사이에는 완충재(예: 벌집판)가 설치되어 모듈이 강한 충격과 함께 착지해도 블래더가 직접 충격을 받지 않도록 한다. 팔레트의 D-링과 케이지 프레임에 이용해 헬기 혹은 연결할 슬링 하네스를 결속하며, 필요시 모듈 상부를 덮는 그물망을 추가하여 블래더가 흔들리지 않게 고정한다. 연료 주입 및 배출을 위한 밸브는 케이지 측면에 나와 있어, 모듈을 해체하지 않고도 호스를 연결해 급유/배유가 가능하게 설계한다. 또한 한 번에 여러 모듈을 운송할 때 순차적으로 급유 작업을 수행할 수 있도록, 밸브 인터페이스를 표준화하고 펌프를 모듈 단위 또는 별도 휴대형으로 운용한다. 케이지와 블래더 외피 사이에는 약 50~100mm의 완충공간이 존재하며, 케이지 격자 간격은 150mm 이하로 유지된다. 이러한 간격은 낙하 시 블래더 팽창 여유를 확보하고 충격흡수를 돕는다.

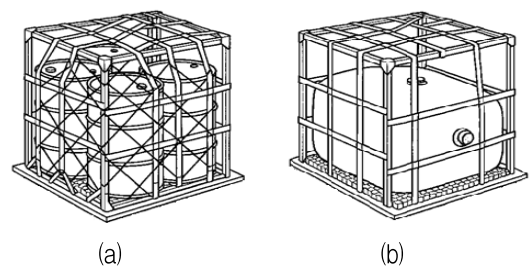


그림 2. 드럼과 블래더 팔레트 구조 비교

(a) 드럼 팔레트 리깅, (b) 블래더 팔레트 리깅

Fig. 2. Comparison of Drum and Bladder Pallet Structures

(a) Drum pallet rigging, (b) Bladder pallet rigging

3.2 도입 전략 로드맵과 도입에 따른 효과

블래더 모듈 기반 체계로의 전환은 단계적으로 이루어져 하며, 표 2는 제안 전략 로드맵이다.

표 2. 한국군의 블래더 팔레트 도입 전략 로드맵
Table 2. South Korea's strategic roadmap for the introduction of the Blad Palette

Phase	Main activities	Performance indicators (KPI)
[Phase 1] Concept study	Derivation of requirements, prototype fabrication	Safety pass rate $\geq 95\%$
[Phase 2] Pilot operation	FARP training and field application	Sortie reduction $\geq 25\%$, Fuel leakage $\leq 0.5\%$
[Phase 3] Full deployment	Force-wide implementation and doctrine revision	LCC reduction $\geq 30\%$, Reuse rate $\geq 80\%$

블래더 모듈 체계 도입에 따른 이점과 고려사항을 정리하면 다음과 같다. 우선 군수 효율성 측면에서, 블래더 모듈은 같은 양의 연료를 수송하는 데 필요한 헬기 비행 횟수를 줄일 수 있다. 예를 들어 CH-47 한 대가 55갤런, 드럼 10개를 나르려면 기체 하부에 여러 개 슬링 로드를 하여 수송기의 하중을 가중시킬 수 있는 부분을 본 제안 방식을 통해 절감 효과(미군 CUBE 사례: 약 40% 비용 절감, 누유율 0.5% 미만)를 기대할 수 있다. 또한 목적지 도착 후 일일이 드럼을 펌프로 옮겨 담는 과정 없이, 모듈에서 바로 차량이나 장비로 급유함으로써 급유시간을 단축할 수 있다. 인력 안전 측면에서는 중량물인 드럼을 수작업으로 적재·하역하는 과정을 줄여 주며, 블래더는 유연한 재질이라 운반 시 충격으로 파열될 위험이 낮다. 특히 블래더 모듈은 이중 구조로 보강되고 2차 격납 기능이 있어 작은 누유도 즉각 포착·격리되어 환경 피해를 최소화한다. 반면, 블래더 모듈은 새로운 장비인 만큼 정비 및 관리에 유의해야 한다. 유연 재질 특성상 장기간 자외선 노출, 연료의 화학적 영향 등으로 재질 열화가 올 수 있으므로 정기적인 검사와 교체 주기 관리가 필요하다. 내용물이 없을 때는 형태를 유지하지 못하므로 보관 시 접는 방법, 취급 요령을 숙지해야 한다.

IV. 결 론

본 논문에서는 항공기 기반 군용 유류 수송체계의 패러다임 전환을 제안하였다. 한국군이 아직까지 유지하고 있는 철재 드럼 팔레트 방식은 국제적인 군수지원 추세와 비교할 때 분명한 한계점이 드러나고 있다. 반면, 블래더 모듈 기반 체계는 연료 보급의 기동성, 안정성, 효율성을 크게 향상시킬 수 있는 대안이다. 문헌 조사와 사례 분석을 통해 블래더 모듈의 우수성을 정량적으로 제시하였으며, 국제 규정 준수 및 국내 적용을 위한 실질적인 방안을 강구하였다. 단계별 로드맵에 따라 시범운용과 피드백을 거친다면 무리 없이 전환을 달성할 수 있을 것으로 판단된다. 궁극적으로 본 논문이 한국군 군수체계 현대화와 미래 합동작전 대비에 일조하기를 기대한다. 향후 실증시험과 경제성 분석 등의 후속 연구를 통해 제안된 블래더 모듈 체계의 실효성을 면밀히 검증하고 보완해 나가고자 한다.

References

- [1] ICAO, "Technical Instructions for the Safe Transport of Dangerous Goods by Air(Doc 9284)", 2025-2026 Edition, 2024.
- [2] USA, "AFMAN 24-604: Preparing Hazardous Materials for Military Air Shipments", Department of the Air Force, 2025.
- [3] USA, "MIL-STD-1791C: Designing for Internal Aerial Delivery in Fixed Wing Aircraft", Department of Defense, 2017.
- [4] D. Cristillo, et al., "On Numerical Models for Cube Drop Test of Bladder Fuel Tank for Aeronautical Applications", Journal of Composites Science, Vol. 6, No. 3, pp. 99, Mar. 2022. <https://doi.org/10.3390/jcs6030099>.
- [5] Z. Wang, D. Xue, L. Wu, and R. Yan, "A reliable predict-then-optimize approach for minimizing aircraft fuel consumption", Transportation Research Part D: Transport and Environment, Vol. 142, pp. 104693, May 2025. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2025.104693>.