



Received: 2026/04/09
Revised: 2026/04/20
Accepted: 2026/05/22
Published: 2026/06/30

***Corresponding Author:**

SeokJong Lee

416 Main Building, 76 Hanggongdaehak-ro, Goyang-si,
Gyeonggi-do 10540, Republic of Korea

Tel: +82-2-300-0082

Fax: +82-2-3158-5769

E-mail: afleesjgo@kau.ac.kr

소해헬기 해상 운용 호이스트의 감항성과 운용 안전성 분석

Airworthiness Requirements and Operational Safety Analysis of Hoists for Maritime Mine Countermeasure Helicopters

장영현¹, 권종광², 이석종^{3*}

¹해군 전력분석시험평가단 감항인증실 전문군무경력관,

²국방과학연구소 제 1기술연구원 감항인증팀 수석연구원,

³한국항공대학교 항공운항학과 부교수

YeongHyeon Jang¹, JongKwang Kwon², SeokJong Lee^{3*}

¹Senior manager, Office of Airworthiness, Force Analysis Test & Evaluation
Group, ROK Navy

²Chief principal researcher, Airworthiness Certification Team, 1st Technology
Research Institute, Agency for Defense Development (ADD)

³Associate professor, Department of Flight Operations, Korea Aerospace
University

Abstract

헬리콥터 호이스트는 응급구조 및 해상작전 등 다양한 임무에 활용되는 핵심 장비이나, 안전성은 단순한 정격하중 충족만으로 확보되지 않는다. 본 연구는 소해헬기 적용을 중심으로 대표 사고사례, 감항개선지시, 장비 단품기준 및 체계 장착기준을 종합적으로 검토하여 해상 운용 호이스트의 감항 요구와 설계 안전성 쟁점을 분석하였다. 분석 결과, 호이스트의 안전성은 구조강도뿐 아니라 과부하 보호장치의 신뢰성, 케이블 및 훅 계통의 건전성, 장착 적합성, 운용 제한, 지속감항 관리가 함께 확보될 때 성립하며, 특히 해상환경에서는 파랑, 조류, 하강풍, 수면운동 및 반복 진수·회수 운용에 따라 케이블 편각과 장력 변동이 증가하므로, 이를 반영한 통합적 감항평가와 운용 제한 설정이 필요함을 확인하였다.

Helicopter hoists are critical mission equipment for rescue, medical evacuation, and maritime operations, but their safety cannot be assured solely by satisfying rated load requirements. This study analyzes the airworthiness requirements and design safety issues of helicopter hoists for maritime mine countermeasure applications, with emphasis on mine countermeasure helicopters. Representative accident cases, equipment-level qualification standards, installation-level criteria, and maritime operational characteristics were reviewed. The results show that hoist safety is governed not only by structural strength but also by overload protection reliability, cable and hook system integrity, installation suitability, operational limitations, and continued airworthiness management. In maritime operations, waves, currents, rotor downwash, sea-surface motion, and repetitive short deployment cycles can increase cable angle, load fluctuation, and cable degradation. A preliminary assessment indicates that safety margin decreases as cable angle increases under conservative maritime assumptions. Therefore, maritime hoist airworthiness should be assessed through an integrated approach combining equipment qualification, installation criteria, and mission-specific operational limitations.

Keywords

소해헬기(Mine Countermeasure Helicopters), 호이스트(Helicopter Hoists), 감항(Airworthiness), 과부하보호(Overload Protection), 해상운용(Maritime Operations)

1. 서론

헬리콥터 호이스트는 해상·산악·고립지역 인명구조, 응급의료 이송 및 각종 특수임무에서 민·관·군이 공통적으로 활용하는 핵심 장비이다. 그러나 호이스트는 단순한 권상장치가 아니라 케이블, 드럼, 브레이크, 과부하 보호장치, 케이블 비상절단장치, 훅 및 제어장치로 구성된 복합 시스템이며, 주요 구성품의 결함이나 부적절한 운용은 하중 상실, 의도치 않은 케이블 풀림, 케이블 파단 및 구조 손상으로 이어질 수 있다.

실제로 과부하 클러치 고장(overload clutch failure), 훅 수납상태(hook stowage) 불량에 따른 케이블 마모 및 피로 파단, 운용 제한 미준수 등과 관련된 사고와 감항개선지시 사례가 지속적으로 보고되고 있으며[1,2], 이는 호이스트의 안전성이 단품 성능만으로 확보될 수 없고, 항공기 장착 적합성, 운용 제한, 정비 및 수명관리를 포함한 통합적 관점에서 검토되어야 함을 보여준다.

특히 해상 운용 환경에서는 파랑, 너울, 해류, 수면 통과, 염수 및 결빙 등의 영향으로 케이블 편각, 동적 하중, 슬랙-쇼크 전이, 부식

및 윤활 열화가 복합적으로 발생할 수 있다. 이러한 환경은 일반적인 육상 구조 임무보다 가혹하며, 호이스트 시스템의 구조 강도, 기능 신뢰성, 케이블 수명 및 운용 적합성에 직접적인 영향을 미친다. 따라서 해상 운용 호이스트의 감항성 확보를 위해서는 항공기 설치 기준, 장비 단품 성능 기준, 그리고 지속감항성 요구를 종합적으로 검토할 필요가 있다.

Fig. 1은 소해헬기가 호이스트를 이용하여 기뢰탐지 및 처리장비를 진수·회수하는 해상 임무 개념을 나타낸다. 이와 같은 임무에서는 호이스트의 활용 비중이 높으므로, 일반적인 구조 임무와는 구별되는 감항 및 설계 검토가 요구된다. 이에 따라 본 연구는 해상 운용 호이스트 시스템을 대상으로, 소해헬기 적용에 대한 감항 요구사항과 설계 안전성을 분석하고, 감항 개선지시 및 사고사례를 바탕으로 중점적으로 검증되어야 할 핵심 항목을 도출하는 것을 목적으로 한다.

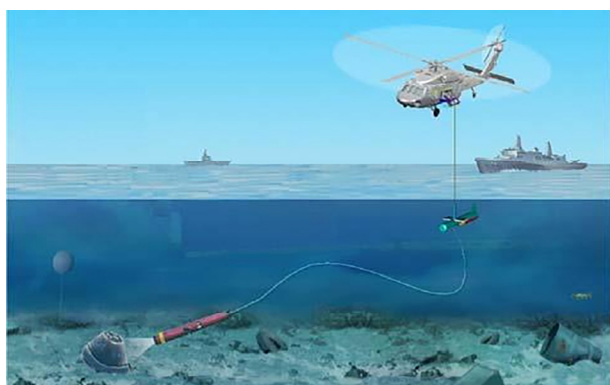


Fig. 1. Mine countermeasure operation using a helicopter hoist[3]

2. 호이스트 시스템 및 주요 사고사례

2.1 호이스트 시스템

헬리콥터 호이스트는 외부하중 또는 구조 대상을 항공기 외부에서 상승·하강시키기 위한 항공용 장치로서, 구동부, 권상부, 하중 전달부 및 제어부가 결합된 시스템이다.

Fig. 2는 전형적인 헬리콥터 호이스트 시스템의 기본 구성을 나타낸다. 구동부는 전기모터와 감속기로 구성되며, 권상 및 권하에 필요한 동력을 생성하여 드럼에 전달한다. 드럼에는 와이어 케이블이 권취되고, 케이블 하단에는 크러셔를 범퍼(crushable bumper),

코니컬 스프링(conical spring) 및 스윙블 훅(swivel hook) 조립체가 연결되어 하중 전달, 충격 완화 및 회전 자유도 확보 기능을 수행한다.

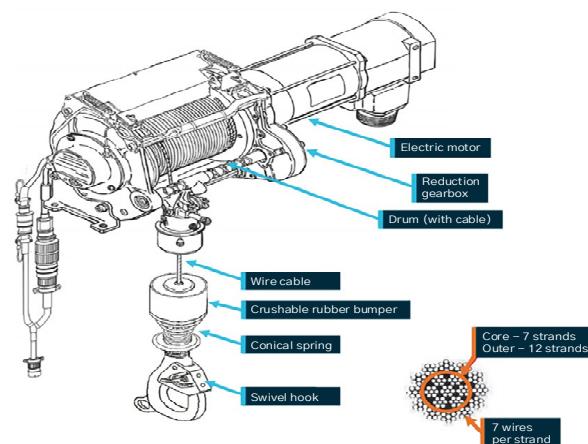


Fig. 2. Configuration of a hoist system[4]

이 중 와이어 케이블은 하중을 직접 지지하는 핵심 부품으로서, 반복적인 권취, 인장 및 굽힘 하중을 동시에 받기 때문에 구조적 건전성과 수명관리가 특히 중요하다. 일반적으로 호이스트 케이블에는 MIL-DTL-83140 계열의 스테인레스 와이어가 적용되며, 중심부 7개 스트랜드와 외측 12개 스트랜드로 구성된 다중 구조를 갖는다[4].

이러한 구조는 드럼과 쉬브(sheave)를 반복적으로 통과하는 운용 환경에서 요구되는 유연성과 강도를 동시에 확보하기 위한 것이다. 반면, 다심 구조의 케이블은 국부 마모, 반복 굽힘 피로, 부식 및 케이블 풀림(looseness)이 누적될 경우 성능 저하가 빠르게 진행될 수 있으므로, 정적 강도뿐 아니라 사용 수명, 반복 사이클(cycle) 및 점검성을 포함한 관리가 요구된다. 호이스트의 안전성은 케이블 자체만으로 확보되지 않으며, 브레이크와 과부하 보호장치의 기능이 함께 충족되어야 한다.

브레이크는 권상 또는 권하 하중을 유지하고 정지 위치를 확보하는 기능을 담당하며, 과부하 보호장치는 허용 범위를 초과하는 장력이 발생할 경우 시스템 손상 또는 기체 위험을 완화하는 역할을 수행한다. 또한 일부 호이스트는 비상 상황에서 하중을 즉시 분리하기 위한 신속 분리(quick release) 또는 케이블 절단장치(cable cutter) 기능을 포함하며, 이러한 기능은 항공기 장착 상태와 실제 운용 절차를 포함한 시스

템 차원에서 검토될 필요가 있다. 특히 해상 운용 환경에서는 호이스트의 구조 강도와 기능 신뢰성, 케이블 수명 및 운용 적합성이 함께 확보되어야 하는 주요 감항 대상 장비이다[5].

2.2 주요사고사례와 감항개선지시

호이스트 시스템의 감항성은 구조 강도만으로 확보되지 않으며, 운용 절차 준수, 과부하 보호장치의 기능 신뢰성, 케이블 수명관리, 비상절단장치의 오작동 방지 설계 등이 실제 운용환경에서 적절히 작동할 때 유지될 수 있다. 실제 운용 중 보고된 사고와 이에 따른 감항개선지시는 이러한 점을 직접적으로 보여준다.

첫째, 과부하 클러치(overload clutch) 고장에 따른 운용 제한 강화 사례이다. EASA AD 2015-0226[2]에 따르면, 정비 확인 비행 중 552 lb 더미 하중을 인양하는 과정에서 운용자의 조작 명령 없이 케이블이 풀렸고, 조사 결과 과부하 클러치의 고장이 확인되었다.

이후 감항당국은 반복적인 호이스트 하중 점검시험과 클러치 교환을 요구하는 한편, 케이블 연장 및 하중 상태에서 최대 허용 뱅크각을 20°로 제한하고, 헬기 수직축 대비 15°를 초과하는 횡방향 진자각(lateral pendulum angle)은 클러치 미끄러움을 유발할 수 있음을 경고하였다. 또한 600 lb 정격 호이스트는 외기온도 0°C 초과 시 최대 인양하중을 550 lb로, 0°C 이하에서는 500 lb로 감축하였으며, 500 lb 정격 호이스트 역시 외기온도에 따라 최대 인양하중을 450 lb 또는 400 lb로 제한하였다[2].

아울러 사용 가능 상태의 호이스트 조건으로 과부하 클러치 조립체가 신품 또는 최종 오버홀 이후 24개월, 또는 1,200회 호이스트 작동 사이클, 또는 1,600회 인양 횟수를 초과하지 않도록 강화된 감항개선지시를 배포하였다[6]. 여기서 ‘호이스트 작동 사이클’과 ‘인양 횟수’가 함께 제시되는 이유는 기종별 기술교범에 따라 관리 기준이 다를 수 있기 때문이며, 즉, 어떤 기종은 작동 사이클을 기준으로, 다른 경우에는 인양 횟수를 기준으로 관리하므로 추적 단위가 달라질 수 있기 때문이다.

Fig. 3은 EASA AD 2015-0226에 따라 요구된 운용 제한 플래카드이며, 과부하 보호장치의 기능 저하가

단순 부품 결함에 그치지 않고, 인양하중 감소, 온도별 제한, 자세 제한 및 부품 수명관리를 포함한 유지감항 관리조치로 이어질 수 있음을 나타낸다.



Placard 1 – Operational Limitations

Operation with extended cable and load on the hook:

- Maximum permissible bank angle in turn is 20°
- Warning: exceeding 15° of lateral pendulum angle/helicopter vertical axis can lead to clutech slippage

Caution: overload clutch is unlikely to function in case of overload

Placard 2 – For 600-lb [272 kg] Rated Hoists

OAT above 0°C : Maximum hoist load 550 lb [249 kg]
OAT at or below 0°C : Maximum hoist load 550 lb [227 kg]

Fig. 3. Hoist operational limitation placard[1]

둘째, 훅 수납상태(hook stowage) 불량에 따른 케이블 마모 및 피로파단 사례이다. 호주교통안전국(Australian Transport Safety Bureau, ATSB)이 조사한 AS350 B3 구조용 호이스트 케이블 파단 사건에서는 훅 조립체가 적절히 수납되지 않은 상태에서 반복 운용되면서 볼 단부(ball-end) 인접부에 국부 마모와 스트랜드(strand) 이완이 누적되었고, 결국 케이블이 파단되었다. 최종 조사에서는 훅 조립체의 반복적인 미세 운동이 케이블 단면적 감소, 피로균열 및 최종 과부하 파단으로 이어졌다고 판단하였다[4]. 또한 비행 후 점검 미흡과 운용자의 잘못된 사이클 관리 방식으로 인해 Airbus가 권고한 500회 수명 한계를 초과한 점도 기여요인으로 지적되었다.

이 사례는 케이블 강도가 단순 정적 하중이 아니라 누적 사용주기, 훅 수납상태, 국부 마모 및 점검체계

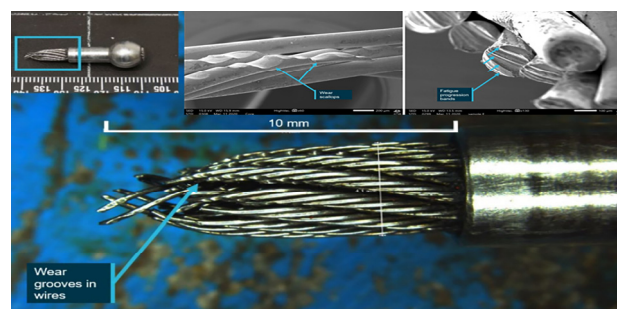


Fig. 4. Close-up of the remnant cable[4]

에 의해 좌우된다는 점을 보여준다.

Fig. 4는 국부 마모로 인해 파단된 호이스트 케이블의 잔존부를 나타낸다. 볼 끝단 인접부의 피로 누적으로 인한 스트랜드 손상은 케이블 손상이 점진적으로 누적될 수 있음을 보여주며, 사용주기 관리와 비행 전·후 점검의 중요성을 보여준다.

셋째, 비의도적 케이블 절단장치(cable cutter) 작동 사례이다. 호주교통안전국 사고조사보고서 AB-2020-017에 따르면, AW139 호이스트 운용 중 작업자가 탐조등(search light) 제어 스위치를 조작하는 과정에서 돌풍으로 자세가 흔들리며 장갑 낀 손이 케이블 절단장치 보호가드와 스위치를 동시에 건드렸고, 그 결과 호이스트 케이블이 절단되어 혹 조립체가 지상으로 낙하하였다[7].

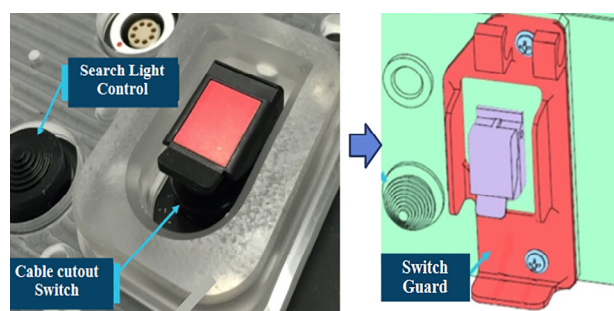


Fig. 5. Guard modification for the cable cutter switch[7]

이후 제작사는 Fig. 5와 같이 케이블 절단장치 스위치의 비의도적 작동 예방을 위한 케이블 보호 프레임 설치 기술변경 회보를 발행하였고, EASA는 AD 2020-0131을 통해 해당 개조를 지시하였다.

이 사례는 비상절단 기능이 단순히 설치되어 있다는 사실만으로 충분하지 않으며, 보호가드 형상, 조작 패널 배치, 작업자 자세 안정성 및 오조작 가능성까지 포함한 인간공학적 설계가 필요함을 보여준다.

3. 감항기준 및 최소설계 요구

3.1 단품기준 및 최소설계 요구

호이스트 단품의 최소성능기준은 AS6342[8]와 ETSO-2C208[5] 체계에서 정의된다. 이 기준들은 항공기 장착 승인 자체를 의미하는 것이 아니라, 호이스트 장비 자체가 갖추어야 할 구조·기능·환경·정비 요

구를 규정하는 최소설계 기준이다.

즉, 호이스트 본체, 케이블 및 혹, 제어·감시 인터페이스, 구조 연결 인터페이스, 과부하 보호장치가 기본적으로 충족하여야 하는 요구를 다룬다.

구조 및 하중 측면에서 단품기준은 한계하중(limit load), 극한하중(ultimate load), 충돌하중(crash load factor), 피로 허용도(fatigue tolerance)를 요구한다. 극한하중은 일반적으로 한계하중의 1.5배로 적용되며, 정적 조건에서는 최소 3 s 동안 이를 지지할 수 있어야 한다.

충돌하중은 상방 1.5 g, 전방 12 g, 측방 6 g, 하방 12 g, 후방 1.5 g 조건을 고려하며, 이는 호이스트 본체뿐 아니라 브래킷과 인터페이스를 포함한 전체 하중경로(load path)의 구조 건전성을 전제로 한다[8].

기능 및 안전계통 요구도 구체적이다. 브레이크 또는 구속계통(arresting system)은 극한하중에서 케이블이 풀리지 않도록 설계되어야 하며, 과부하 보호장치(overload protection device, OLPD)는 $2.2 \times$ rated load까지 하중을 유지하고, $2.2 \sim 3.2 \times$ rated load 범위에서 작동하도록 요구된다.

또한 주 분리계통(primary quick-release subsystem, PQRS)은 모든 운용 조건에서 하중을 분리할 수 있어야 하며, 관련 기준에서는 0.5 s 이내 분리 요구가 제시된다. 이와 함께 오권취(mis-wrap), 꼬임(kinking), 얽힘(fouling), 과도한 마모와 같은 기능 상실 모드는 설계 단계에서 감지 또는 보호 기능으로 통제되어야 한다[8].

케이블 및 혹 계통은 단품기준의 핵심 항목이다. 케이블은 수명 제한 부품(life-limited part)으로 관리되어야 하며, 제조사는 최대 케이블 사용량(maximum cable usage, MCU), 점검 기준, 교환 기준, 보관 및 컨디션닝 절차를 정비 매뉴얼에 명시하여야 한다. 또한 혹은 양 방향 360° 자유 회전이 가능해야 하고, 비의도적 하중 분리 및 장애물 얽힘 위험을 줄이도록 설계되어야 한다.

환경 및 전기전자 적합성 역시 호이스트 단품기준에서 중요한 검토 항목이며, RTCA DO-160G와 연계하여 온도, 습도, 충격, 진동, 강수, 염수분무, 모래/먼지, 유체오염, 뇌우, 유도전압, ESD, 결빙, 본딩 및 접지 항목을 검토하도록 요구한다[5].

따라서 호이스트 단품기준은 단순한 인양 성능 확인에 그치지 않고, 구조 건전성, 과부하 보호, 케이블

Table 1. Minimum design and certification requirements for helicopter hoists

Item	Requirement	Criteria
Equipment structure	Limit / ultimate load substantiation of hoist load path	Ultimate = $1.5 \times$ limit, static hold for 3 s
Overload protection	OLPD performance	Hold to $2.2 \times$ rated load, activate at $2.2\text{--}3.2 \times$ rated load
Cable and hook system	Safe load handling and retention	Cable life limitation, 360° swivel, anti-release design
Environmental qualification	External exposure tolerance	DO-160G based
Continued airworthiness	Maintenance and life management	ICA, TBO, inspection and replacement

수명관리, 혹 및 결속계통 안전성, 환경 적합성까지 포괄하는 기준이다.

Table 1은 AS6342 및 ETSO-2C208 체계에서 공통적으로 도출되는 호이스트 단품 수준의 최소 설계 요구를 구조, 과부하 보호, 케이블·혹 계통, 환경 적합성 및 유지감항 항목으로 재구성하여 요약한 것이다[5]. 여기서 장비 구조는 호이스트 본체, 드럼, 브레이크, 혹 및 장비 측 하중경로를 의미하며, 항공기 기체 구조와 장착부 적합성은 3.2의 체계장착기준에서 별도로 검토한다.

3.2 체계장착기준 및 유지감항

호이스트의 항공기 장착 적합성은 단순 장비 설치가 아니라 항공기 외부하중계통(external load system)의 일부로 검토되어야 한다. AC 29-2C는 외부하중을 비인명 외부하중(NHEC, non-human external cargo)과 인명 외부하중(HEC, human external cargo)으로 구분하고, 운용 목적에 따라 하중, 분리계통, 반복시험 및 유지감항 요구를 차등 적용하고 있다[8]. 외부하중계통은 호이스트 또는 혹 자체뿐 아니라 구조 보강부, 분리장치 및 하중 결속 수단을 포함하는 개념이다.

Table 2는 AC 29-2C에서 제시하는 비인명(NHEC)과 인명(HEC)용 호이스트의 핵심 차이를 요약한 것이다[8].

이 비교는 호이스트가 항공기 외부하중계통의 일부로 인증·운용되어야 함을 보여주며, 임무 목적에 따라 구조강도, 분리계통, 반복시험 및 EMI 보호 수

Table 2. Key certification differences between NHEC and HEC

Item	NHEC	HEC
Vertical limit load factor	2.5 g	3.5 g
Failure severity	At least Major	Catastrophic
Functional test	Minimum 10 cycles	Minimum 30 cycles
Quick-release requirement	PQRS + BQRS	PQRS + BQRS, with two distinct actions for emergency release
EMI protection	20 V/m	200 V/m
Occupant design weight	N/A	223 lb minimum per occupant
Additional equipment	Not required	Approved PCDS required
QRS release time	PQRS < 5 s, BQRS ≤ 30 s	

준이 달라질 수 있음을 나타낸다. 비인명용은 최대 승인 하중의 2.5배, 인명용은 3.5배의 하중을 견딜 수 있어야 한다. 또한 비상투하 가능한 외부하중은 실제 운용 중 달성 가능한 최대 하중 방향까지 고려하여 구조적으로 입증되어야 하며, 그 각도는 최소 30° 이상이어야 한다. 이와 함께 신속 분리장치(quick-release system, QRS), 플래카드 및 비행교범 제한사항도 요구된다. 따라서 체계 장착기준은 정격하중 적합성뿐 아니라 구조 강도, 하중 방향 변화, 외부하중 분리 기능 및 운용 제한을 포함하는 체계 수준의 적합성을 요구한다.

특히 인명용은 외부하중 상실이 치명적 위협으로 이어질 수 있으므로, AC 29-2C는 보다 보수적인 기준을 적용한다. 응급 분리계통은 두 개의 구별된 동작(two distinct actions)을 요구하며, QRS는 주 분리계통(primary quick-release subsystem, PQRS)과 예비분리계통(backup quick-release subsystem, BQRS)으로 구성된다.

주 분리계통(PQRS)는 일반적으로 5 s 이내, 예비 분리계통(BQRS)은 30 s 이내에 외부하중을 분리할 수 있어야 한다. 신뢰성 입증을 위한 반복 기능시험도 차등 적용되어 비인명용은 최소 10회, 인명용은 최소 30회의 반복 시험이 요구된다[8].

또한 환경 적합성 검토에는 일반적으로 온도, 고도, 습도, 염수분무, 진동, 충격, 강우, 곰팡이 및 가속도 조건이 포함되며, 전자기 간섭(EMI) 보호 수준 역시 비인명용은 20 V/m, 인명용은 200 V/m로 구분된다[8].

또한 유지감항은 이러한 체계장착 적합성의 연장선에서 관리된다. 기술교범에는 점검·정비 절차가 포함되어야 하며, 중요 구조부, QRS 및 수명제한 부품에 대해서는 점검 주기와 정비 요구가 명확히 제시되어야 한다.



Fig. 6. Examples of wire rope cable looseness[10]

Fig. 6는 호이스트 케이블의 초기 풀림 단계와 진화된 풀림 특성을 나타내었다. 따라서 체계 장착기준은 초기 설치 적합성뿐 아니라 운용 중 반복 사용과 환경 노출에 따른 꼬임, 풀림, 열화에 의한 변형 등 검사방법까지 포함한 유지감항 기준을 포함하여 제시되어야 한다.

4. 해상 특수성 및 소해장비 허용하중 검토

4.1 해상운용 특수성

해상 운용의 특수성은 호이스트 단품 최소성능기준인 AS6342의 해상(offshore) 관련 시험항목에 직접 반영되어 있다. 이 기준은 케이블 편각, 수면 인접 구간 운용, 반복적인 진수·회수, 케이블 항력, 케이블 유도장치(fairlead)의 기능, 마모 및 열 영향과 같은 요소를 설계 및 검증 단계에서 고려하도록 요구한다.

특히 케이블·드럼·케이블 유도장치 계통에 대해서는 최소 30° 방향 조건에서의 하중경로, 케이블 보호 및 관리, 마모와 열 영향 허용기준까지 포함하여 검토하도록 하고 있으며, 이는 해상 환경의 영향이 단순한 운용상 불편이 아니라 호이스트 단품의 최소성능기준 적합성 검토에서 직접 확인되어야 할 인증 항목임을 의미한다[9].

또한 해상 임무는 케이블 수명관리 측면에서도 육상 운용보다 불리하다. 짧은 길이의 반복적인 진수·회

수, 무하중 사이클, 염분 노출은 케이블 이완, 국부 마모, 부식 및 피로 손상을 촉진할 수 있으며, 실제 사고 조사에서도 혹 수납 불량과 반복적인 단주기 운용이 케이블 손상과 파단의 주요 원인으로 지적되었다[4]. 따라서 해상 진수·회수 임무에서는 정격하중 충족 여부뿐 아니라 케이블 상태 유지, 혹 수납 적정성, 사용 횟수 관리가 함께 중요하게 다루어져야 한다..

Table 3는 이러한 해상 환경요소가 호이스트 계통에 미치는 대표적 영향을 정리한 것이다.

Table 3. Major marine environmental factors and engineering implications for hoist operations

Item	Engineering implication
Waves and sea-surface motion	Relative vertical motion, slack-shock, and transient load variation
Current, tide, and wind	Horizontal drag on payload and submerged cable, cable-angle increase
Rotor downwash and hover-height variation	Payload disturbance, swing growth, and fluctuating relative clearance
Repetitive short deployment / retrieval	Cable looseness, local wear, and fatigue accumulation
Salt spray and moisture	Corrosion, contamination, and lubrication degradation

소해헬기의 경우 진수시스템에 탑재된 무인기뢰처리기(autonomous mine neutralization system, AMNS) 또는 무인기뢰탐색장비(autonomous underwater vehicle, AUV)를 수면 근처까지 하강시킨 뒤, 일정 고도에서 제자리비행을 유지한 상태로 해상에 진수하는 상황을 상정할 수 있다. 이때 호이스트는 단순 인양계통이 아니라 수직 유효하중과 수평 유체력을 동시에 지지하는 계통으로 작동한다. 예를 들어 파도와 너울로 해수면이 상승·하강하는 동안 헬기가 제자리비행을 유지하더라도 상대고도가 지속적으로 변할 수 있고, 하강풍과 측풍이 중첩되면 장비가 흔들리면서 케이블 편각과 스윙이 증가할 수 있다. 또한 일시적인 케이블 이완 이후 급격한 재긴장(slack-shock)이 발생하면 순간적인 케이블 장력 피크가 형성되어, 정적 하중만으로는 설명하기 어려운 추가 하중이 계통에 작용할 수 있다. 따라서 해상 운용에서의 호이스트 평가는 조류·조석에 따른 수평 항력, 파랑 및 상대고도 변화에 따른 상하운동, 하강풍에 의한 자세 교란, 수면 인접 구간에서의 비정상 케이블 거동과 동적 장력 변동을 함께 반영하여 수행될 필요가 있다.

즉, 파랑과 해수면 운동은 상대적 상하운동과 장력 변동을, 조류·바람·하강풍은 케이블 편각 증가와 하중 스윙을, 반복적인 단주기 진수·회수와 염분 노출은 케이블 이완, 마모, 부식 및 피로 누적을 초래할 수 있다.

4.2 소해임무장비 허용하중

본 절에서는 소해헬기가 약 15.2 m(50 ft) 제자리 비행 상태를 유지한 채 소해임무장비를 해상에 진수하는 상황을 가정하였다. 소해임무 중 한반도 해역에서 조우 가능한 보수적인 해상조건은 최대 파고 2.5 m, 풍속 12.35 m/s, 조류 5.92 m/s로 두었다.

또한 소해헬기에 적용되는 600-lb급(약 272 kg 급) 호이스트(Goodrich 44318)에 대해서는 EASA AD 2015-0226[2] 감항개선티시 플래카드에 따라 외기온도 0°C 초과 시 최대 허용하중 249 kg, 외기온도 0°C 이하 시 최대 허용하중 227 kg을 적용하였다[3]. 여기서 케이블과 하중 상태에서 선회 시 최대 뱅크 각은 20°이며, 횡방향 편각이 15°를 초과하면 클러치 미끄럼이 발생할 수 있다는 점을 운용상 고려하였다.

소해임무 중 파도, 바람 및 조류의 영향으로 횡 방향 편각 15° 기준이 항상 유지되기 어렵고, 경우에 따라서는 헬기 설계 운용 제한 범위 내에서 더 큰 편각이 발생할 가능성도 배제할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 감항개선티시에서 요구하는 운용중량과 편각 조건을 함께 고려하여, 편각 변화에 따른 운용 가능 중량을 산출하고 소해임무 호이스트의 허용 중량을 검토하였다.

특히 클러치 미끄럼이 발생할 경우 의도하지 않은 케이블 풀림으로 인해 하중 급강하, 장비 손상, 임무 중단, 기체와 간섭 위험 증가뿐 아니라 작업자 및 승조원의 상해 가능성까지 유발할 수 있으므로, 항공안전 측면에서 직접적인 위험요인으로 판단된다.

현재 예상되는 가장 무거운 소해임무장비 조합은 약 150 kg이며, 해상 운용 하중 검토에서는 조류 직각 방향에 대한 가장 보수적인 형상인 무인기되처리기와 진수장치 조합을 기준으로 대표 투영면적을 약 1.5 m²로 적용하였다. 케이블 편각에 따른 허용 등가질량은 식 (1)과 같이 계산하였다

$$m_{allow} = \frac{m_H}{K_{env}} \cos \theta \quad (1)$$

식 (1)에서 m_H 는 호이스트 최대 허용하중, θ 는 케이블 편각이며, 통합환경계수 K_{env} 는 1.3배를 적용하였다. 이는 관련 규정에서 직접 제시된 값이 아니라, 해상 운용 시 발생 가능한 편각 증가, 유체력, 자세 교란 및 수면 상대운동 영향을 단일 계수로 보수적으로 통합한 가정값이다.

구체적으로는 케이블이 느슨해졌다가 갑자기 팽팽해지며 발생하는 슬랙쇼크(slack-shock)의 동적 하중마진 약 20%(1.2)와 유체항력 및 편각 등 외력 불확실성에 따른 하중 증가분 약 10%(1.1)를 공학적으로 결합하여 산출하였다.

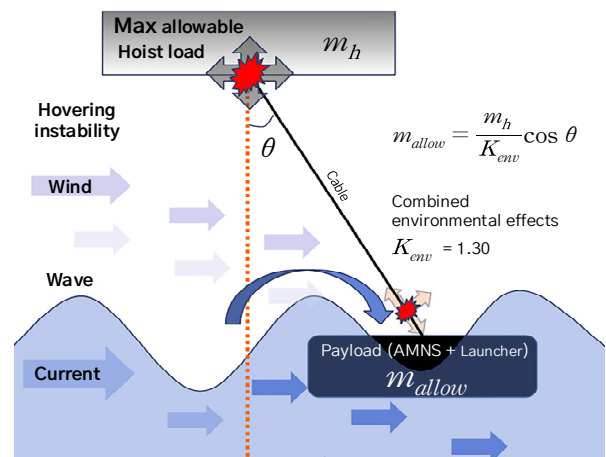


Fig. 7. Cable angle and allowable hoist load in offshore operation

Fig. 7은 해상 운용 중 바람, 파랑, 조류 및 제자리비행 불안정과 같은 복합환경 영향이 케이블 편각을 증가시키고, 이에 따라 식 (1)과 같이 호이스트 허용하중이 감소하는 개념을 도시한 것이다.

Table 4. Allowable mission payload according to cable angle

Cable angle	Allowable mass, OAT > 0°C	Allowable mass, OAT ≤ 0°C	150 kg payload
15°	185.0 kg	168.7 kg	Acceptable
20°	180.0 kg	164.1 kg	Acceptable
25°	173.6 kg	158.2 kg	Marginal
30°	165.9 kg	151.2 kg	Marginal

Table 4는 케이블 편각 증가에 따라 허용 가능한 임무장비 질량이 감소함을 나타낸다. 약 150 kg의 소

해임무장비는 15°와 20° 조건에서는 비교적 충분한 여유를 가지며, 25°에서도 운용은 가능하나 여유가 감소하고, 30°에서는 특히 저온 조건에서 여유가 매우 작아진다. 따라서 소해 임무장비는 중량만 기준으로 보면 운용 가능하지만, 실제 해상 운용은 감항개선 지시를 고려하여 15° 이하 편각 유지를 기본으로 관리하는 것이 타당하다. 반면 20°와 25°는 해상환경에 따른 일시적 편각 증가 가능성을 고려한 비교·관리 기준이며, 30°는 구조 입증 및 한계 검토 기준으로 해석하는 것이 적절하다.

또한 현재와 같이 대표 투영면적이 큰 진수시스템을 포함하는 경우에는, 실제 해상 운용 적합성을 단순 중량 비교만으로 판단하기 어렵다. 특히 조류, 파랑, 하강풍이 중첩되면 케이블 편각과 수평 항력이 동시에 증가하므로, 실제 운용 가능 여부는 중량뿐 아니라 편각 관리와 운용 제한 준수 여부에 의해 좌우된다. 따라서 소해임무장비의 해상 운용은 15° 이하 운용을 기본으로 하고, 20°와 25° 구간은 제한적으로 관리하며, 30°에 근접하는 조건은 회피하는 방향으로 검토하는 것이 합리적이다.

5. 결론

본 연구는 소해헬기에 적용되는 해상 운용 호이스트를 대상으로 사고사례, 단품기준, 체계장착기준 및 해상 운용 특수성을 종합적으로 검토하여 감항 요구와 설계 안전성의 핵심 쟁점을 분석하였다. 검토 결과, 호이스트의 안전성은 단순 정격하중 충족만으로 확보될 수 없으며, 과부하 보호장치, 케이블 및 후계통, 장착 구조, 운용 제한, 유지감항 관리가 함께 성립할 때 비로소 확보될 수 있음을 확인하였다.

또한 해상 운용에서는 파랑, 조류, 조석, 하강풍, 해수면 변화 및 반복적인 진수·회수 운용이 동시에 작용하여 케이블 편각 증가, 장력 변동, 케이블 열화 및 수명 저하를 유발할 수 있음을 확인하였다. 특히 소해 임무장비는 중량 기준으로는 운용 가능 범위에 있더라도, 해상환경에 따라 허용 여유가 빠르게 감소할 수 있으므로, 실제 운용은 보수적인 편각 관리와 운용 제한을 전제로 판단하여야 한다. 즉, 해상 운용 적합성은 단순 정격하중 확인이 아니라 임무장비 형상, 해상 환경, 장착 형상 및 운용 절차를 함께 고려한 통합적 관점에서 검토될 필요가 있다.

마지막으로, 동일 계열 호이스트에서 제작사 안전 개선사항이나 외국 감항당국의 감항개선지시가 제시되더라도, 이를 단순히 해외 적용 사항으로 인식하여 국내 운용체계에 적시에 반영하지 못하는 접근은 개선이 필요하다. 비록 외국 감항개선지시의 법적 적용범위는 해당 당국이 관리하는 항공기 형식과 장착 조건에 의해 결정되더라도, 그 문서가 지적인 단품 수준의 안전 우려는 동일 계열 제품을 사용하는 국내 항공기에서도 기술적 검토 대상이 되어야 한다.

따라서 향후 소해헬기 적용 단계에서는 임무장비의 형상과 운용환경을 반영한 세부 허용하중 기준을 마련하는 동시에, 외국 안전개선정보가 국내 운용 및 정비체계에 실질적으로 반영될 수 있는 절차적 보완이 필요하다.

참고문헌

- [1] A. Duehne & F. Legay, 'Helicopter Hoist,' ICAR 2019, 2019.
- [2] European Union Aviation Safety Agency, Airworthiness Directive: Equipment / Furnishings – Hoist – Test / Replacement (AD No. 2015-0226R4), European Union Aviation Safety Agency, 2019.
- [3] Rendra Hariwibowo & Ruslan Arief, 'Improving the Indonesian's Mine Countermeasure Smart Mine Capability by Analytic Hierarchy Process and Measurement of Effectiveness Methods,' Jurnal Pertahanan: Media Informasi tentang Kajian dan Strategi Pertahanan yang Mengedepankan Identity, Nasionalism dan Integrity, VOL. 8, NO. 2, 2022, pp. 314-328.
- [4] Australian Transport Safety Bureau, Transport Safety Report: Aviation Occurrence Investigation (Defined), AO-2020-013, Australian Transport Safety Bureau, 2021.
- [5] European Union Aviation Safety Agency, CS-ETSO Amendment 17: Subpart B – List of ETSOs (ETSO-2C208), European Union Aviation Safety Agency, 2021.
- [6] European Union Aviation Safety Agency, Airworthiness Directive: Equipment / Furnishings – Hoist – Replacement (AD No. 2025-0051), European Union Aviation Safety Agency, 2025.
- [7] Australian Transport Safety Bureau, Inadvertent Cable Cutter Activation Involving a Leonardo S.p.A. Helicopters AW139, near Tumut, New South Wales, on 22 April 2020 (AB-2020-017), Australian Transport Safety Bureau, 2020.
- [8] SAE International, AS6342: Aircraft Hoist Systems, SAE International, 2018.
- [9] Federal Aviation Administration, Advisory Circular 29-2C:

Certification of Transport Category Rotorcraft, Federal Aviation Administration, 2011.
[10] Civil Aviation Safety Authority, Airworthiness Bulletin

AWB 25-034 Issue 2: Helicopter Rescue Hoist Wire Rope – Wear, Fatigue and Failure, Civil Aviation Safety Authority, 2020.