Original Article

https://doi.org/10.12985/ksaa.2023.31.2.046
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

AHP 방법을 통한 헬리콥터 다빈도 사고의 인적오류 위험도 분석에 관한 연구

유태정*

A Study on Human Error Risk Analysis of Helicopter Frequent Accidents through AHP Method

TaeJung Yu*

ABSTRACT

Helicopter pilots are required to perform many visual workloads in topographical avoidance, flight path modification and navigation, because helicopters operate at very low altitudes. The helicopter-specific instability also require the pilot to have precise perception and control. This has caused frequent human error in helicopter accidents. In Korea, two to three cases have occurred annually on average over the past 10 years, and this trend has not decreased. The purpose of this study was to identify human error risks in advance to prevent helicopter accidents and to help develop measures for missions and mission phases with high risk of human error. Through the study, the tasks and mission phases where accidents occur frequently were classified and the risk of human error was calculated for each mission phases. To this end, the task of frequent accidents during helicopter missions was first identified, detailed steps were classified, and the number of accidents was analyzed. Next, the AHP survey program was developed to measure the pilot's risk of human error and the survey was conducted on the pilots. Finally, the risk of human error by helicopter mission and by mission phases calculated and compared with the actual number of accidents.

Key Words : Human Error(인적오류), Risk Analysis(위험 분석), AHP Method(계층적분석방법), Helicopter Accident(헬리콥터 사고), Helicopter Pilot(헬리콥터 조종사)

Ⅰ. 서 론

헬리콥터는 운항 환경에 있어서 일반적인 관제권에서 운용되는 비행기와는 달리 산 정상, 야지, 외딴 섬, 빌딩 옥상 등 매우 다양한 지역에서 임무를 수행하고 있다. 헬리콥터 임무는 인원 이송부터 산불진화, 항공방제, 화물이송, 환자이송(Hoist) 등 여러 형태로 이루어진다. Earl L. Wiener(1988)은 헬리콥터는 어떠한 방향으로든 이동이 가능하고, 공중 정지 비행, 수직 이착륙 비행 등을 수행해야 하므로 고정익 항공기보다 다양한 항공기 조작 범위와 조종 기술이 필요하다고 하였다. 또한 헬리콥터는 매우 낮은 고도에서 운용되기 때문에 지형회피, 비행경로 수정, 항법에 있어서 고정익 조종사에 비해 많은 시각적 업무 부하가 요구되며, 헬리콥터 특유의 불안전성으로 인해 정밀한 조종사의 지각과 조종능력이 요구된다고 하였다.

Received: 27. Feb. 2023, Revised: 08. Jun. 2023,
Accepted: 18. Jun. 2023
* 극동대학교 헬리콥터UAM조종학과 부교수
연락저자 E-mail : tjyu@kdu.ac.kr
연락저자 주소 : 충북 음성군 감곡면 대학길 76-32

이와 같은 헬리콥터의 운항특성과 불안전성으로 인해 헬리콥터 사고는 매년 지속적으로 발생되고 있다. 유태정 외(2020)는 국내 헬리콥터 사고의 75%는 조종사의 인적오류에 의해 발생되며, 비행 중 발생된 조종사 오류는 기술기반오류 47.7%, 의사결정 오류 32.3%, 지각오류 20.0%를 차지한다고 밝혔다. 이에 따라 헬리콥터 조종사의 인적오류 위험도를 사전에 식별하고 대책을 강구하는 것은 안전관리에 있어서 매우 중요하다고 하겠다. 인적오류 위험도를 산출하기 위한 위험평가 방법은 여러 기법과 도구가 사용되고 있으나, 본 연구에서는 헬리콥터 임무 수행에 있어서 조종사들의 주관적 위험도를 평가하기 위해 AHP 방법을 적용하였다.

AHP 방법을 통한 위험도 평가 사례를 살펴보면 다음과 같다. Padma and Balasubramanie(2009)는 어깨와 목의 근골격계 문제 발생과 관련된 위험 요인의 순위를 정하기 위해 AHP를 사용하여 의사결정 보조 시스템을 개발했다. 또한 Zhang et al.(2009)은 인간의 오류 관련된 위험 요소와 해상 운송 분야의 사고 원인을 비교하는데 AHP 분석을 채택하였다. Lee et al.(2010)은 전문가 조사와 AHP를 활용한 건설현장의 위험영향 요인을 고려한 안전위험도 평가 방법론을 제시했다. Badri et al.(2012)는 다중 기준 분석 기법(예: AHP)과 전문가 판단에 근거한 OHS 위험 평가 절차를 제안했다. Saman et al.(2013)은 건설사업 계획 및 예산편성 시 AHP를 이용한 안전위험도 평가를 수행하였다.

본 연구에서는 위와 같은 연구 배경을 바탕으로, 헬리콥터 사고조사 결과를 바탕으로 불안전행동과 불안전조건을 식별하고, AHP 설문조사를 통해 조종사들의 임무 중 인적오류 위험도를 측정하여 상호 비교 분석하였다. 이를 위해 먼저 국내 헬리콥터 사고 중 사고가 빈번하게 발생되고 있는 임무를 도출하고, 임무별로 세부적인 단계를 분류하여 임무 단계별 사고 건수와 불안전행동을 분석하였다. 다음으로 AHP를 통한 인적오류 위험도를 산출하기 위해 웹 기반의 AHP 프로그램을 개발하여 해당 임무 조종사들을 대상으로 설문을 수행하였다. 마지막으로 각 임무 단계 중 인적오류 위험도가 높은 임무 단계별로 불안전 조건을 도출하였다.

II. 헬리콥터 임무 단계별 사고현황

2003년부터 2022년까지 최근 20년간 국내에서 발생된 헬리콥터 사고 및 준사고는 총 49건으로, 연평균 2.5건씩 발생되고 있으며, 이 추세는 계속 유지되고 있다(Fig. 1). 임무별로 분류해보면 항공방제 14건(28.6%), 공중산불진화 11건(22.4%), 외부화물이송 11건(22.4%), 인원 이송 5건(10.2%) 등으로 분석되었다. 항공방제와 공중산불진화, 외부화물이송 임무가 36건으로 전체 사고 및 준사고의 73.5%를 차지하고 있다.

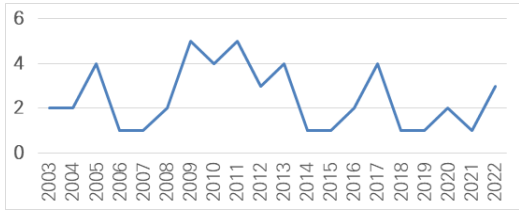

Fig. 1. Helicopter accident per year: 2003-2022

본 연구에서 분석한 헬리콥터 임무 단계별 사고현황은 헬리콥터 임무 중 사고빈도가 높은 3가지 임무 즉, 항공방제와 외부화물이송, 항공산불진화에 대해서 분석하였다. 헬리콥터 임무 단계는 산림청 산림항공본부에서 발간한 산림항공 직무 매뉴얼과 승무원 훈련 매뉴얼(ATM)의 임무 단계 분류 방법을 참고하였다. 사고분석은 세부적인 임무 단계별 분류 및 오류 분류를 위해 국토부 항공기·철도 사고조사위원회에서 사고조사 보고서를 통해 수행하였으며, 2005년부터 2022년까지 발생된 25건을 대상으로 하였다.

2.1 헬기 임무별 단계

2.1.1 공중산불 진화

공중산불 진화 시에는 진화용 물을 담기 위해 항공기에 밤비바켓 또는 스노클 물탱크를 장착한다. 밤비바켓을 이용하는 경우 호수 또는 강물에 바켓을 담근 후 물이 채워지면 상승하여 진화지역으로 이동한다.

스노클 물탱크를 장착한 경우에는 담수지 상공에서 스노클 호스를 물에 담그고 호스를 통해 물탱크가 자동으로 채워지게 된다. 진화 시에는 두 방식 모두 조종석에 있는 물투하 버튼을 눌러 물을 투하하게 된다. 임무 단계는 스노클 장착 이륙, 담수지 접근 및 담수, 담수지 이륙, 현장 진입 및 물 투하, 스노클 장착 착륙 등 5단계로 분류한다(Fig. 2).

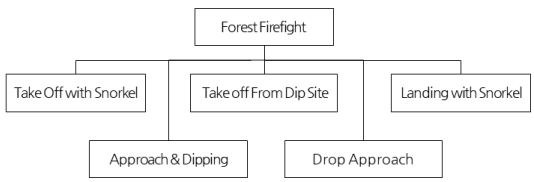

Fig. 2. Helicopter firefighting mission phase

2.1.2 항공 방제

항공방제 임무 시에는 방제액 탱크와 방제용 붐대를 설치하여 임무를 수행한다. 이륙 시 방제액 탱크와 방제용 붐대를 장착한 후 방제 임무 지역에 이동 시 방제 지역에 대한 예찰 비행을 실시한다. 착륙 후 지상에서 방제액과 물을 주입한 후 방제 임무를 수행한다. 임무 단계는 급수지 접근 및 착륙, 급수지 이륙, 약제 살포 등 3단계로 분류한다(Fig. 3).

2.1.3 외부화물이송

외부화물이송 임무시는 항공기에 설치된 Cargo Hook와 화물망, 인양줄, 컨테이너 등이 사용된다. 화물망 또는 컨테니어, 화물줄을 사용하여 화물을 고정하고 인양줄을 Cargo Hook에 걸은 후 화물을 이동시키게 된다. 외부화물이송은 화물 인양이륙과 공중이동, 접근 및 하화 등 3단계로 구분하며, 공중 이동 시에는 화물 유동에 주의해야 하며, 유동을 통제하는 방법을 이해하고 있어야 한다(Fig. 4).

2.2 비행 임무 단계별 사고 현황

조사 기간 중 3가지 임무에서 발생된 총 사고는 25건이며, 인적오류에 의해 발생된 사고는 20건으로 80.0%를 나타냈으며, 기체 고장은 5건으로 20.0%으로 분석되었다(Table 1).

비행임무 단계별 사고 현황을 보면 공중산불 진화의 경우 기간 중 8건의 사고가 발생되었는데 이륙 후 이동 단계에서 꼬리날개 탈락 1건, 담수지 접근 및 담수 단계에서 담수지 추락 4건, 현장 진입 및 물 투하 단계에서 연료 고갈과 송전선 충돌로 2건이 각각 발생되었다. 8건의 사고 모두 조종사의 인적오류에 의해 발생되었다. 항공방제 임무의 경우 기간 중 7건의 사고가 발생되었으며, 7건 모두 인적오류에 의한 사고로 분석되었다. 임무 단계별로 살펴보면 약제 살포 중 송전선 충돌로 6건, 급수지 접근 중 수면 충돌에 의해 1건이 발생되었다. 외부화물 이송임무의 경우에는 기간 중 10건의 사고가 발생되었으며, 이 중 인적오류에 의한 사고는 5건, 기체고장에 의한 사고는 5건이 발생되었다. 화물인양 이륙단계에서 4건, 하화지 공중 이동 중 4건, 접근 및 하화 단계에서 2건 발생되었다.

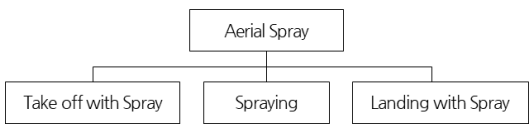

Fig. 3. Helicopter aerial spraying mission phase

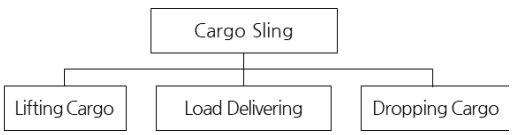

Fig. 4. Helicopter cargo sling operation mission phase

Table 1. Helicopter main mission accident status

Mission	Mission phases	Accident	Cause	
			Error	Fail
Fire fight	Take off with snorkel	1	1	-
	Approach & dipping	3	3	-
	Take off from dip site	-	-	-
	Drop approach	4	4	-
	Landing with snorkel	-	-	-
Aerial spray	Take off with spray	-	-	-
	Spraying	6	6	-
	Landing with spray	1	1	-
Cargo sling	Lifting cargo	4	1	3
	Load delivering	4	2	2
	Dropping cargo	2	2	-
Total		25	20	5

Ⅲ. 헬리콥터 임무별 인적오류 위험도 측정

헬리콥터 임무 별 및 임무 단계별 인적오류 위험도를 산출하기 위해 헬리콥터 조종사를 대상으로 계층적 분석방법(AHP)을 적용하여 설문을 수행하였다. 설문방법은 먼저 공중산불진화, 항공방제, 외부화물이송 등 세 가지 임무에 대한 인적오류 위험도에 답변하고 다음으로 각 임무 단계별 인적오류 위험도에 대한 평가를 수행하였다.

3.1 AHP 방법 소개

계층적분석방법(AHP)은 구조화된 다중 속성 의사결정 방법이다(Saaty, 1990). AHP에서 의사결정 문제는 대개 하위 문제의 계층으로 나뉘는데, 각 계층은 독립적으로 분석할 수 있다. 계층 구조가 구축되면 전문가에 의해 n 대안의 각 쌍(Ai, Aj)에 수치 척도가 할당된다(Table 2). 수치 척도는 계층 구조에서 상위 수준 요인에 미치는 영향과 관련하여 대안들 간의 쌍방향 비교에 의해 귀속된다(Saman et al., 2013).

Table 2. AHP scale for combinations

Scale	Definition
1	Equal significance of the two elements
3	Low significance of one element compared to another
5	Strong significance of one element compared to another
7	Confirmed dominance of one element over another
9	Absolute dominance of one element over another
2, 4, 6, 8 Intermediate values between two neighboring levels	

계층적분석방법의 산출 과정은 다음과 같다.

기하학적 평균(1)을 사용하여 전체 전문가 판단을 작성하고 계산한 후에는 비교 행렬 D(2)에 삽입한다.

$$a_{ij} = \sqrt[n]{a_{ij1} \times a_{ij2} \times ... \times a_{ijn}} \quad (1)$$

$$D = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \cdots a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} \cdots a_{2n} \\ \cdots & \cdots \cdots \cdots \\ a_{n1} & a_{n2} \cdots a_{nn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

행렬 D는 비교 행렬이며 다음과 같은 특성을 갖고 있다.

$$a_{ij} > 0; a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}; \forall\ i\ \ where\ j = 1,2,...,n. \quad (3)$$

행렬 D는 해당 요소가 조건 (3)을 만족시키면서 조건 (4)을 충족할 때 일관성이 있는 것으로 간주된다.

$$a_{ij}.a_{jk} = a_{ik}; \forall\ k\ \ where\ \ \ ij = 1,2,...,n. \quad (4)$$

대안의 순서는 행렬 P를 사용한 비교 행렬 D의 근사값의 결과로 취해진다.

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} \cdots p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} \cdots p_{2n} \\ \cdots & \cdots \cdots \cdots \\ p_{n1} & p_{n2} \cdots p_{nn} \end{bmatrix} \quad (5)$$

행렬 P의 요소들은 대안들 간의 가중치 비율 형태로 제시되는 일관성 있는 판단을 나타낸다.

$$p_{ij} = \frac{p_i}{p_j} \quad where \quad i,j\ = 1,2,...,n. \quad (6)$$

pi는 순서 벡터 p의 대안에 대한 가중치를 나타낸다.

$$p = (p_1 p_{1,} ..., p_n)^T \quad (7)$$

산술 정규화 이후의 표준화된 순서 벡터는 다음과 같이 산출한다.

$$p^* = (p^*_1 p^*_{2,} ..., p^*_n)^T \quad (8)$$

where

$$p^*_i = \frac{p_i}{\sum_{i=0}^{n} p_i} \quad (9)$$

Saaty(1990)는 다음과 같이 판단 매트릭스를 결정하기 위해 최대 고유값 방법을 사용할 것을 제안했다.

$$Dp = \lambda_{\max} p \quad (10)$$

여기서, 여기서; λmax는 행렬 D의 최대 고유값이다. 신뢰성 있는 비교를 위해서는 비교 행렬 D의 불일치가 10% 미만이어야 하며, 즉 조건(4)가 충족되지 않는 횟수가 10% 미만이어야 한다는 점에 유의해야 한다. Saaty(1990)에 따르면, 의사결정의 일관성은 수식 (11)을 사용하여 산출할 수 있다.

$$\text{일관성 비율} = CR = \frac{CI}{RI} \quad (11)$$

또한,

$$\text{일관성 지수} = CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \quad (12)$$

무작위 지수(RI: random index)란 1부터 9까지의 이원비교척도를 무작위로 생성하여 이원비교행렬을 구성했을 때의 일관성 지수(CI)를 말한다. 즉, 매우 비일관적인 이원비교행렬의 일관성 지수이다. Table 3은 행렬의 크기가 n일 때의 무작위 지수를 나타낸다.

Table 3. Random consistency index

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
RI	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

3.2 AHP 위험도 평가 프로그램

본 연구를 위해 개발한 프로그램은 조종사들을 대상으로 각 임무별 상대적 위험도 및 임무 단계별 위험도를 측정하기 위해 AHP의 쌍대비교 척도를 활용하였다. AHP 위험도 평가 프로그램은 PC와 스마트폰으로 평가를 수행할 수 있도록 웹용으로 개발하였다. 프로그램 개발언어는 HTML, javascript, jQuery, JSP를 사용하였으며, 데이터베이스는 MySQL를 설치하였으며, 서버는 Tomcat 서버를 사용하였다(Fig. 5).

3.2.1 위험도 평가 방법

개발한 프로그램은 자동 로그인 후 공중산불진화, 항공방제, 외부화물이송 등 3가지 임무에 대한 인적오류 위험도를 평가한다. 먼저 3가지 임무에 대한 위험성 평가를 수행하고 다음으로 공중산불 진화, 항공방제, 외부화물이송 각 임무 단계별 평가를 수행한다. 평가 항목별로 쌍대 비교를 한 후 저장을 하면 평가 요소에 대한 위험도를 산출하고 일관성 지수를 확인한다. AHP에서 답변의 신뢰도를 위해 통상 일관지수(CI)가 0.1 이하인 경우에만 채택을 하게 된다. 본 프로그램에서도 일관성이 0.1을 이하인 답변만 채택하도록 프로그램 되어 임무별 및 임무 단계별 평가 모두 일관성이 0.1 이하를 유지해야 평가가 완료된다(Fig. 6). AHP 방법에서 각 평가별로 일관성 지수가 0.1을 초과하면 평가 결과와 일관성이 부족하다는 메시지와 함께 다시 평가를 수행하도록 하였다(Fig. 7).

3.2.2 평가 프로그램 정확도 검증

개발된 프로그램의 정확도를 검증하기 위해 영국의 SCB Associated 사에서 AHP 분석을 위해 제공하는 엑셀 프로그램 “AHP Template SCBUK.xls”을 활용하였다(Fig. 8).

두 프로그램 모두 동일하게 선택을 한 후 결과를 비교하여 정확도를 검증하였다. 공중산불진화에 대한 위

Fig. 5. Error risk assessment of helicopter mission

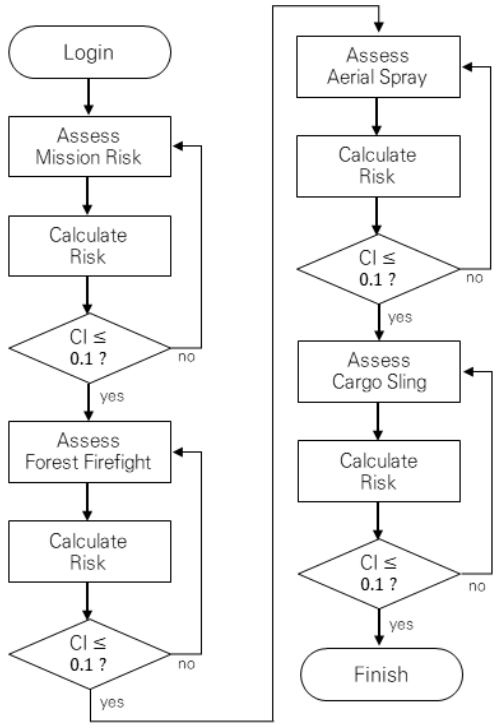

Fig. 6. AHP program flowchart

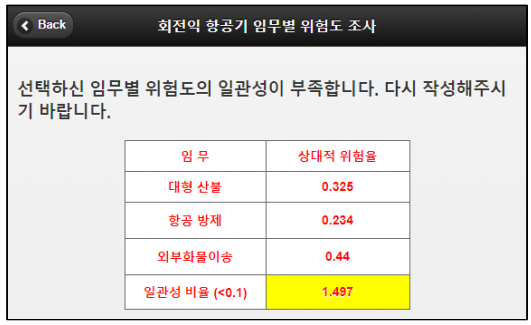

Fig. 7. Alert message of lack of consistency

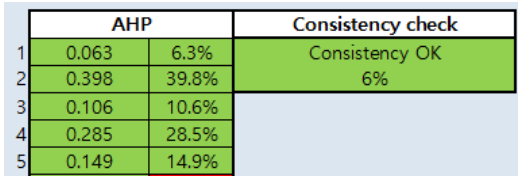

Fig. 8. Result of SCBUK

험도 평가 결과를 동일하게 적용하여 가중치와 일관성에 대한 값을 비교 검증하였다. 검증결과 AHP 결과값은 동일하게 산출되었으며, 일관성 비율에서는 평균 0.009의 오차가 나타났다(Fig. 9).

임무단계	상대적 위험율
스노클(밤비) 장착 이륙	0.063
담수지 접근 및 담수	0.398
담수지 이륙	0.106
현장 도착 및 물투하	0.285
스노클(밤비) 장착 착륙	0.149
일관성 비율 (<0.1)	0.048

Fig. 9. Result of AHP program

3.3 계층 및 표본 설정

3.3.1 인적오류 위험도 계층 설정

AHP를 통한 위험도 평가는 2계층으로 수행되었다. 1계층은 3가지 임무(공중산불 진화, 항공방제, 외부화물 이송) 수행 중 인적오류 위험도가 높은 임무에 대해 조사를 실시하였다. 2계층은 세부 임무 단계별로 인적오류 위험도가 높은 임무 단계를 선택하도록 하였다. 공중산불 진화는 스노클 이륙, 접근 담수, 담수지 이륙, 현장 물 투하, 스노클 착륙 등 5단계로 임무를 구분하였다. 항공방제 임무는 급수지 착륙, 약제 살포, 급수지 이륙 등 3단계로 구분하였으며, 외부화물 이송임무는 인양 이륙, 이동, 접근 하화 등 3단계로 분류하였다(Fig. 10).

3.3.2 표본 구성

본 연구에서 수행된 AHP 설문 조사는 현역 조종사 31명을 대상으로 실시하였다. 표본 구성은 항공산불진화와 항공방제, 외부화물이송 임무를 수행하는 공공기관 및 사용 사업체의 조종사를 대상으로 실시하였다(Table 4).

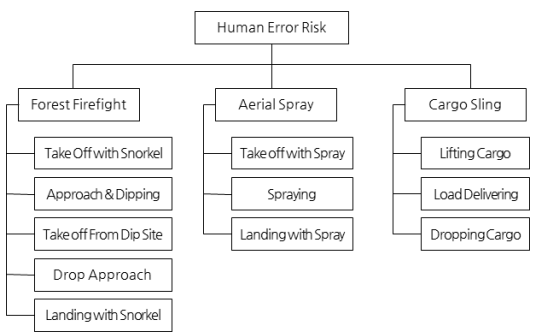

Fig. 10. Hierarchy of risk of helicopter pilot

Table 4. Subjects participating in AHP method

Classification		Number	Ratio(%)
Total		31	100
Organization	Forest service	26	83.9
	Commercial	5	16.1
Flight career (year)	- 10	-	-
	11 - 20	2	6.5
	21 - 30	17	54.8
	31 -	12	38.7
Flight time (hour)	- 2,000	-	-
	2,000 - 4,000	13	41.9
	4,000 - 6,000	9	29.0
	6,000 -	9	29.0

조종사 특성 분석을 위해 소속 기관, 비행경력, 연평균 비행시간, 조종 기종 대수 등에 대해 조사하였다. 설문 참여자는 공공기관 소속 26명과 사용사업 소속 5명으로 구성되었다. 이들은 10년 이상의 경력자로서 비행시간은 2,000시간 이상인 현역 조종사로서 해당 임무를 수행하고 있는 조종사들이다.

3.4 분석 결과

3.4.1 1계층 위험도 측정

임무별 위험도 측정은 공중산불 진화와 항공방제, 외부화물 이송 임무에 대해 어느 임무가 인적오류 발생 위험성이 높은지를 측정하게 하였다. 조사 결과 임무별 인적오류 위험도에 대한 AHP 조사 결과 일관성 비율(CR)의 평균은 0.0258를 보였다. 세 가지 임무 중 인적오류 발생 위험도가 가장 높은 임무는 외부화물이송(0.417)이며, 항공방제(0.296)와 공중산불진화(0.286)는 유사한 수준을 나타냈다(Fig. 11).

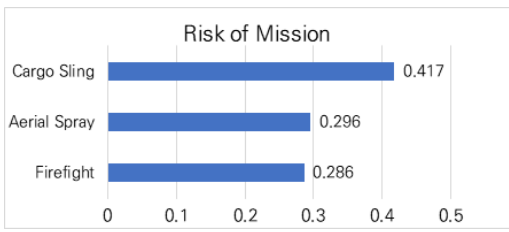

Fig. 11. Result of risk assessment of mission

3.4.2. 2계층 위험도 측정

2계층 위험도는 각 임무 단계별 위험도를 산출하였다. 공중산불 진화 임무는 스노클 이륙, 접근 담수, 담수지 이륙, 현장 물 투하, 스노클 착륙 등 5단계로 구분하여 AHP 평가를 실시하였다.

각 임무 단계별로 쌍대 비교를 통해 인적오류 위험도 높은 임무 단계를 선별하였다. 조사결과 공중 산불 진화 임무 단계별 인적오류 위험도 평가의 일관성 비율(CR)은 평균 0.0498를 나타냈다. 공중산불 진화의 임무 단계 중 인적오류 발생 확률이 가장 높은 임무 단계는 현장진입/물투하(0.266)였으며, 그다음으로 접근 담수(0.260), 담수지 이륙(0.186), 스노클 착륙(0.172), 스노클 이륙(0.116) 순이었다(Fig. 12).

항공방제 임무는 급수지 착륙, 약제 살포, 급수지 이륙 등 3단계로 구분하였다. 항공방제 임무 단계별 인적오류 위험도에 대한 AHP 조사결과 일관성 비율(CR)의 평균은 0.0275을 나타냈다. 항공방제의 임무 단계 중 인적오류 발생 확률이 가장 높은 임무 단계는 약제 살포(0.523)였으며, 그다음으로 급수지 이륙(0.269), 급수지 착륙(0.208) 순이었다(Fig. 13).

외부화물이송 임무는 인양 이륙, 이동, 접근 하화 등 3단계로 구분하였다. 외부화물이송 임무 단계별 인적오류 위험도에 대한 AHP 조사 결과 일관성 비율(CR)의 평균은 0.0378을 나타냈다. 외부화물이송의 임무 단계 중 인적오류 발생 확률이 가장 높은 임무 단계는 접근 하화(0.500)이였으며, 그다음으로 인양 이륙(0.312), 이동(0.188) 순이었다(Fig. 14).

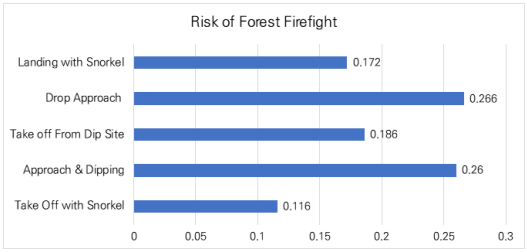

Fig. 12. Result of risk assessment of forest firefight

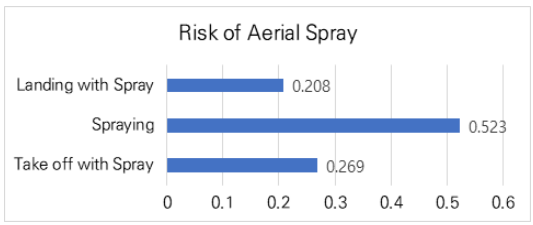

Fig. 13. Result of risk assessment of aerial spray

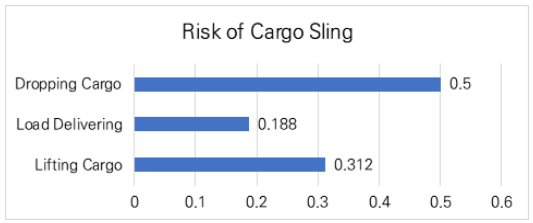

Fig. 14. Result of risk assessment of cargo sling

임무별 위험도를 반영한 임무 단계별 가중 위험도를 산출해보면 외부화물이송 임무 중 접근 및 하화가 0.2085로서 인적오류 위험도가 가장 높은 것으로 분석되었다(Table 5). 다음으로 항공방제 중 약제 살포 단계(0.1548), 외부화물이송 중 화물인양 이륙(0.1548)으로 나타났다.

3.4.3 사고건수와 위험도 측정 비교

해당 기간 중 발생한 사고건수와 비교해보면 Table 5와 같다. 항공기 사고 건수는 외부화물 9건, 항공방제 7건, 공중산불진화 6건이며, 이 중 조종사 인적오류에 의한 사고는 항공방제 7건, 외부화물 4건, 공중산불진화 4건을 나타냈다. 인적오류 위험 분석 결과는 1계층 위험도 측정결과에서는 외부화물(0.417) > 항공방제(0.296) > 공중산불진화(0.286) 순으로 분석되어 전체 사고 건수와 유사한 결과를 보였다.

임무별로 살펴보면 공중산불진화의 경우 임무 단계별 사고 건수는 접근 및 담수 3건, 현장진입 및 물투하 2건, 스노클 이륙 1건으로 나타냈으며, 이 중 조종사 인적오류에 의한 사고는 접근 및 담수 2건, 현장 물투하 2건을 나타냈다. 공중산불진화 임무에 대한 위험 분석 결과는 현장 물 투하(0.266)와 접근 및 담수(0.260)가 높게 나타나 사고 건수와 유사한 결과로 산출되었다.

항공방제의 임무 단계별 사고 건수는 약제살포 6건, 급수지 착륙 1건으로 나타냈으며, 모두 조종사 인적오류에 의해 발생되었다. 공중산불진화 임무에 대한 위험 분석 결과는 약제살포(0.523)가 가장 높게 나타나 사고 건수와 유사한 결과를 보였다.

외부화물이송의 임무 단계별 사고 건수는 인양 이륙 4건, 이동 4건, 접근 하화 1건으로 나타났으며, 이중 조종사 인적오류에 의한 사고는 인양 이륙 1건, 이동 2건, 접근 하화 1건으로 분석되었다. 외부화물이송 임무에 대한 위험분석 결과는 접근 하화(0.500)으로 가장 높은 수치를 보였으며, 다음으로 인양이륙(0.312), 이동(0.188)순을 보여 사고 건수와는 차이를 나타내었다.

Table 5. Helicopter accident status

Mission	Mission phases	Risk rate	Weighting	Rank	Accident (HE)
Fire fight (0.286)	Take off with snorkel	0.116	0.0332	11	1
	Approach & dipping	0.260	0.0744	7	2(2)
	Take off from dip site	0.186	0.0532	9	-
	Drop approach	0.266	0.0761	6	3(2)
	Landing with snorkel	0.172	0.0492	10	-
Aerial spray (0.296)	Take off with spray	0.269	0.0796	4	-
	Spraying	0.523	0.1548	2	6(6)
	Landing with spray	0.208	0.0615	8	1(1)
Cargo sling (0.417)	Lifting cargo	0.312	0.1301	3	4(1)
	Load delivering	0.188	0.0784	5	4(2)
	Dropping cargo	0.500	0.2085	1	1(1)

Ⅳ. 결론 및 고찰

본 연구에서는 국내 헬리콥터 임무 중 사고가 발생된 임무 단계별 사고를 분석하고 인적오류 위험도를 측정하고자 하였다. 먼저 국내 헬리콥터 사고 분석을 통해 사고 다빈도 임무를 선별하고 각 임무별 세부 단계를 세분화하여 임무 단계별 사고 건수와 인적오류에 의한 사고 건수를 분류하였다. 다음으로 항공기사고 및 준사고 조사보고서를 통해 인적오류 사고와 관련된 불안전행동과 불안전한 조건을 도출하였다.

다빈도 사고 임무에 대한 인적오류 위험도를 산출하기 위해 AHP 기법을 적용하였으며, 해당 임무들을 수행하고 있는 10년 이상의 조종사들을 대상으로 위험도 측정 설문을 수행하였다. 조종사 설문을 위해 웹 기반의 AHP 설문 프로그램을 개발하여 일관성을 확보하면서 다수의 인원이 설문에 참여할 수 있게 하였다. 설문을 통해 임무별 및 임무단계별로 인적오류 위험도를 정량화하여 상대적 위험 수준을 분석하였다.

해당 연구 결과는 헬리콥터 안전관리에 있어서 각 임무별 및 임무 단계별 위험 수준을 평가하고 위해요인을 도출하는 데 있어서 실질적인 도움이 될 것으로 예상되며, 특히 위험 수준과 요인들을 반영한 교육/훈련과 인원 편성, 임무 절차 개선 등에 있어서 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 다만, 인적오류 위험도가 높은 임무 및 임무 단계에 대한 실질적인 위험 저감대책을 수립하기 위한 세부적인 연구와 분석되지 않은 임무들에 대한 추가적인 분석이 요구된다.

References

1. Alberto P., “Applying analytic hierarchy process (ahp) to choose a human factors technique: choosing the suitable human reliability analysis technique for the automotive industry”, Safety Science, 119, 2017, pp.229-239.
2. Badri, A., Nadeau, S., and Gbodossou, A., “Proposal of a risk-factor-based analytical approach for integrating occupational health and safety into project risk evaluation”, Accident Analysis and Prevention, 48, 2012, pp.223-234.
3. Chen, B. C., and Chen, J. G., “Fuzzy AHP-based safety risk assessment methodolgy for tower-crane”, Jounal of Applied Sciences, 13(31), 2013, pp.2598-2601.
4. Coleman, M. E. and Marks, H. M., “Qualitative and quantitative risk assessment”, Food Control, 10(4-5), 1999, pp.289-297
5. Freivalds, A., “Comparison of United-States (NIOSH lifting guidelines) and European (ECSC force limits) recommendations for manual work limits”, American Industrial Hygiene Association Journal, 48(8), 1987, pp.698-702.
6. Henderson, R. D., and Dutta, S. P., “Use of

the analytic hierarchy process in ergonomic analysis", International Journal of Industrial Ergonomics, 9(4), 1992, pp.275-282.
7. Kim, H., Lee, H. S., Park, M., and Lee, K. P., "Influence factor-based safety risk assessment methodology for construction site". Construction Research Congress 2010-ASCE, 2010, pp.1356-1365.
8. Kirwan, B., "A Guide to Practical Human Reliability Assessment", Taylor and Francis, 1994, pp.236-244.
9. Locke, E. A., Zavala, A., Fleishman, E. A.,, "Studies of helicopter pilot performance. II. The analysis of task dimensions", Hum Factors, 7(3), 1965, pp.285-302.
10. Norcio, A. F., Stanley, J., "Adaptive human-computer interfaces: A literature survey and perspective", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 19(2), 1989, pp.399-408.
11. Padma, T., and Balasubramanie, P., "Knowledge based decision support system to assist work-related risk analysis in musculoskeletal disorder", Knowledge-Based Systems, 22(1), 2009, pp.72-78.
12. Park, K. S., "A new method for estimating human error probability: AHP-SLIM, Reliability Engineering and System Safety 93(4), 2008, pp.578-587.
13. Rivolier J., "Stress et Situations Extremes", Paris (France): Presses Universitaires de France, 1995.
14. Saaty, T. L., "How to make a decision: The analytic hierarchy process", European Journal of Operational Research, 48(1), 1990, pp. 9-26.
15. Saman, A., Murat, G., and Rifat, S., "Safety risk assessment using analytic hierarchy process (AHP) during planning and budgeting of construction projects", Journal of Safety Research, 46, 2013, pp.99-105.
16. Yu, T. J., Kwon, Y. G., and Song, B. H., "Classification and analysis of human error accidents of helicopter pilots in Korea", Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics, 28(4), 2020, pp.21-31.
17. Zhang, Y., Zhan, Y. L., and Tan, Q. M., "Studies on human factors in marine engine accident", Second International Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling: KAM, 1, 2009, pp.134-137.