

계층적 분석을 통한 항공기 격납고 소화시스템의 화재위험 요인별 가중치 산정

Weight Calculation of Risk Factors of Aircraft Hangar Fire Suppression System using AHP

이종국* · 김학중**

Lee, Jong Guk*, and Kim, Hak Joong**

Abstract

Aircraft hangars are used to store and maintain aircraft. Although the frequency of fires in such hangars is low, the physical damage caused by a fire can be extremely large, and thus it is important to verify the reliability of an automatic fire suppression system. For intensive fire management, it is necessary to identify the risk factors of an automatic fire suppression system and calculate the weights for each factor. In this study, through a hierarchical analysis, fire risk factors of an automatic fire suppression system used in aircraft hangars were identified and the weights for each risk factor were calculated. As the analysis results indicate, the risk of failing in the initial fire suppression factor of foamhead fire suppression system was the highest among the 26 items considered and the calculated weight can be used as basic data necessary for a future quantitative fire risk assessment of an aircraft hangar fire suppression system.

Key words : Aircraft Hangar, AHP, Automatic Fire Suppression System

요 지

항공기 격납고는 항공기를 보관하고 정비하는 시설로 화재 발생빈도는 낮지만 화재로 인한 물적 피해가 매우크기 때문에 자동소화시스템의 신뢰성을 검증하는 것이 무엇보다 중요하다. 따라서 자동소화시스템의 화재위험요인을 식별하고 위험요인별 가중치를 산정하여 집중 관리할 필요가 있다. 본 연구에서는 계층적 분석을 통해 항공기 격납고 자동소화시스템의 화재위험 요인을 식별하고 위험요인별 가중치를 산정하였다. 분석결과 26개 항목 중 포헤드 소화시스템 초기화재 진압실패 위험도가 가장 높은 것으로 분석되었으며, 산정한 가중치는 향후 항공기 격납고 소화시스템에 대한 정량적 화재 위험성 평가에 필요한 기초자료로 활용할 수 있는 것으로 판단된다.

핵심용어 : 항공기 격납고, 계층적 분석, 자동소화시스템

1. 서 론

오늘날 민간 항공기가 대중적인 교통수단으로 자리하게 되면서 대당 항공기 운항횟수의 비약적인 증가와 함께 항공기의 수명연장과 안전 확보를 위한 계획 및 비계획 정비작업이 필수 요소가 되었다. 군용 항공기 역시 항공력이 현대전의

성패를 결정짓는 핵심전력이 되면서부터 군사력 증강 및 항공전력 유지를 위해 고가치 자산인 항공기의 수명을 연장하고 안전을 담보하기 위한 정비작업의 중요성이 대두되어 항공기 정비 목적의 최신설비를 갖춘 대형 항공기 격납고 건립을 지속적으로 추진하고 있다.

항공기 격납고에는 높은 열방출을 가지고 있는 항공유

*정회원, 경기대학교 도시방재학과 겸임교수(E-mail: airce77@gmail.com)

Member, Professor, Department of Urban Disaster Management, Kyonggi University

**교신저자, 정회원, 숭실사이버대학교 소방방재학과 교수(Tel: +82-2-708-7841, Fax: +82-2-708-7749, E-mail: khj4513@hanmail.net)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Fire Disaster Management, Soongsil Cyber University

의 누출 가능성이 상시 존재하고 다양한 잠재적 점화원을 가지고 있는 정비활동이 이루어지기 때문에 화재로 인한 피해를 최소화하기 위한 높은 수준의 신뢰성 있는 소화시스템이 반드시 필요하다. 항공기 격납고는 A(일반), B(유류)급 화재가 모두 발생할 수 있는 장소로, 특히, 항공유 누출에 의해 발생하는 B(유류)급 화재는 유류탱크 화재와 같이 밀폐된 공간이 아닌 건축물 내에서 발생하기 때문에 방호공간의 특성을 고려한 포 소화시스템 설치가 매우 중요하다. 최근 군용 항공기에 대부분 사용하고 있는 JP-8 항공유의 경우 실험결과 점화 후 20초~30초 이내에 화재가 확대(Wells et al., 1997)되어, 단시간 내에 최성기에 도달하므로 초기화재 진압을 위한 허용 시간은 20초~30초에 불과하다. 즉, 항공유 누출화재에 있어서 초기화재는 점화 후 20초~30초 이내의 화재로 초기화재 진압을 실패하면 항공유 격납고에 설치된 자동 소화시스템에 의존할 수밖에 없다. 그러므로 국가 화재안전기준에 따라 설치된 소화시스템이 화재발생 시 얼마나 효과적이고 어느 정도의 신뢰성을 갖추고 있는지에 대한 확인 또는 검증이 필요하지만 현재까지 어떤 연구도 이루어지지 않고 있다. 작게는 수백억 원에서 크게 수천억 원의 고가치 항공기를 대상으로 한 소화시스템의 성능실험이 불가능하고, 항공기 격납고 화재관련 통계 자료도 없어 소화시스템의 신뢰도를 검증하기도 현실적으로 매우 어렵기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 항공기 격납고 소화시스템의 정량적 화재위험성 평가에 필요한 기초자료를 제시하기 위해 계층적 분석(Analytic Hierarchy Process, AHP)기법을 적용하였다. 계층적 분석을 통해 신뢰도 검증에 필요한 화재위험 요인을 식별하고 위험요인별 가중치를 산정하여 제시하고자 한다.

2. 계층적 분석(AHP)의 개념 및 절차

2.1 계층적 분석의 개념

시스템 안전에 대한 우선순위는 시스템 설계단계에서 위험요소들을 제거하는 것이며, 위험요소의 중요성을 고려한 위험평가 절차는 초기 설계단계에서의 위험을 최소화하는 것이다. 위험요소들이 초기 설계단계에서 제거되지 않았을 경우, 위험요소들에 대한 대안설정 또는 제거에 대한 우선순위를 판단하기 위하여 발생빈도(확률)와 위험영향(심각도)에 기초한 위험평가가 수행된다(Kim, 2010).

계층적 분석(AHP) 기법은 사람의 뇌가 단계적 또는 위계적 분석과정을 활용한다는 사실에 착안하여 Satty 교수에 의해 고안된 계산 모델이다. Satty는 특정 문제에 대하여 서로 다른 27개의 수치 척도를 사용하여 실제거리와 상대적 거리감 사이의 관계를 분석하는 실험을 행하였는데, 이 실험에서 1~9까지의 척도가 실제 수치에 가장 근접한 결과를 나타내었다(Cho et al., 2003). 또한 심리학의 경험에 대한

실증연구에서 제시된 것과 같이 사람은 7개 이상의 대상(7 ± 2)을 동시에 비교할 수 없다는 내용에 의거한 것으로 Satty는 9점을 가장 높은 수치로 그리고 1점을 가장 낮은 수치로 제시하였다. 따라서 쌍대비교에서 사용되는 척도의 범위는 1에서 9까지의 수 또는 이의 역수들로 구성된다(Satty and Vargas, 1991). 계층분석과정 또는 계층화 분석법이라고도 불리는 이 기법은 상대적 중요도 또는 선호도를 체계적으로 척도화 하여 정량적인 형태로 결론을 도출하는 집단 의사결정기법으로, 의사결정의 계층구조를 구성하고 있는 요소간의 쌍대비교(Pair-wise comparison)에 의한 판단을 통하여 평가자의 지식, 경험 및 직관을 포착하고자 하는 방법이다. AHP의 가장 큰 특징은 복잡한 문제를 계층화하여 주요 요인과 세부 요인으로 분류하고, 각 요인들에 대한 쌍대비교를 통해 가중치를 도출한 후, 도출된 가중치의 일관성을 검증하여 주관적 판단을 합리적으로 표현 또는 계량화하여 적용할 수 있다(Kwon, 2008).

2.2 계층적 분석 절차

AHP를 적용하기 위해서는 4단계의 분석과정을 거쳐 수행하는데 AHP의 적용에 있어 가장 중요한 단계인 1단계는 최상위에 있는 목표에 기초한 의사결정 요소를 상호 관련된 의사결정 기준별로 구체화하여 계층 구조를 설계한다(Satty, 1978). 계층의 최상위에는 가장 포괄적인 의사결정의 목적이 놓여지며, 그 다음의 계층들은 의사결정의 목적에 영향을 미치는 다양한 요소들로 구성된다. 이들 요소들은 낮은 계층에 있는 것일수록 구체적인 것이 된다. 그러나 계층을 구성하는 것이 AHP의 첫 단계이며 가장 중요한 단계임에도 불구하고, 의사결정 문제를 계층화 하는 방법에 대한 이론적 틀은 정형화 되어 있지 않으므로 타 연구 분야에서 사용되는 계층설계 기법을 적용하는 것도 가능하다(Zahedi, 1990).

2단계에서는 상위계층에 있는 요소들의 목표를 달성하는데 공헌하는 직계 하위 계층에 있는 요소들을 쌍대 비교하여 행렬을 작성한다. 즉, 각 계층에 있는 한 기준이 관점에서 하위 계층에 있는 요인에 대한 상대적 중요도를 평가하기 위해 각 요인간의 쌍대비교 행렬을 작성하는 것이다. 작성된 쌍대비교 행렬 A는 Eq. (1)과 같이 행렬의 대각을 중심으로 역수의 형태를 취하게 된다.

$$A = \begin{pmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} \dots a_{1n} \\ a_{21} & 1 & a_{23} \dots a_{2n} \\ a_{31} & a_{32} & 1 \dots a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} \dots 1 \end{pmatrix} \text{여기서 } a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}, a_{ij} = 1 \quad (1)$$

쌍대비교의 과정에는 평가기준 등에 대한 의사결정권자의 선호(Preference) 정도를 먼저 서술적 표현에 의해 나타내고 이를 계량화 과정에 포함시킨다. 이때 쌍대비교 행렬에서

사용되는 척도의 범위는 1~9 척도를 주로 사용하며, 1에서 9까지의 수 또는 이의 역수들로 구성된다(Satty and Vargas, 1991).

3단계는 쌍대비교 행렬을 이용해 각 계층에 있는 기준들에 대한 상대적 가중치를 추정한다. AHP의 가중치 산정은 평가 항목 간의 상대적 중요도 또는 선호도를 나타내는 쌍대비교를 통해 이루어진다. 즉, AHP는 쌍대비교 척도에 따른 계층적인 분석으로 얻어낸 각각의 요소 및 대안간의 쌍대비교(1:1 비교)를 통하여 각각의 요소 및 대안들이 상위요소 및 기준에 대하여 얼마나 많은 영향을 미치는지 또는 중요성을 갖는지 등을 찾아내는 과정이다(Lee, 2012).

한 계층 내에서 비교 대상이 되는 n 개 요소의 상대적 중요도를 w_i 라 한다면 Eq. (2)와 같은 식이 성립한다.

$$a_{ij} = \frac{w_i}{w_j} \quad (i, j = 1, \dots, n) \quad (2)$$

여기서 행렬의 모든 요소를 나타내면, $\sum_j^n a_{ij} \cdot w_j = n \cdot w_i$ 와 같이 나타낼 수 있다. 이것은 요소 a_{ij} 로 구성되는 행렬 A 를 나타낼 때, Eq. (3)과 같다.

$$A = \begin{pmatrix} \frac{w_1}{w_1} & \frac{w_1}{w_2} & \frac{w_1}{w_3} & \dots & \frac{w_1}{w_n} \\ \frac{w_2}{w_1} & \frac{w_2}{w_2} & \frac{w_2}{w_3} & \dots & \frac{w_2}{w_n} \\ \frac{w_3}{w_1} & \frac{w_3}{w_2} & \frac{w_3}{w_3} & \dots & \frac{w_3}{w_n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{w_n}{w_1} & \frac{w_n}{w_2} & \frac{w_n}{w_3} & \dots & \frac{w_n}{w_n} \end{pmatrix} \quad (3)$$

고유치 방법(Eigenvalue method)에 따라 $A \cdot w = n \cdot w$, $w = [w_1, w_2, w_3, \dots, w_n]$ 은 행렬 A 의 우측 고유벡터이고 n 은 행렬 A 의 고유치로 여기에서 w 를 구할 수 있다. 그런데 쌍대 비교행렬 A 의 각 요소에 대한 가중치 w 를 모를 때, 이 행렬을 A' 라 하고 이 행렬의 가중치의 추정치 w' 는 Eq. (4)에서 구한다.

$$A' \cdot w' = \lambda_{\max} \cdot w' \quad (4)$$

(여기서, λ_{\max} : 행렬 A' 의 가장 큰 고유치)

단계 4에서는 평가대상이 되는 여러 대안들에 대한 종합순위를 얻기 위하여 의사결정 요소들의 상대적 가중치를 종합한다. 구체적으로 최상위 계층에 대하여 k 번째 하위계층에 있는 대안들의 종합 중요도는 Eq. (5)를 통하여 구할 수 있다.

$$C[1, k] = \prod_{i=2}^k B_i \quad (5)$$

여기서, $C[1, k]$ 는 첫 번째 계층에 대한 k 번째 계층 요소의 종합 가중치이고, B_i 는 추정된 w 벡터를 구성하는 행을 포함하는 $n_{i-1} \cdot n_i$ 행렬이고, n_i 는 i 번째 계층의 요소 수이다. 쌍대 비교행렬에서 응답자가 각 평가 항목의 상대적 중요성에 일관된 응답을 하지 못할 경우는 쌍대 비교행렬 A 의 정확성이 낮아 w 의 추정정도가 낮아지게 된다. 따라서 일관성지수(Consistency Index, CI)와 일관성 비율(Consistency Ratio, CR)을 이용하여 쌍대비교에 의한 가중치가 논리적으로 일관성이 있는지를 검토한다. 일관성 검증은 일관성지수(CI)를 이용하는데 수식은 Eq. (6)과 같다.

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (6)$$

일관성이 높을수록 0에 가까운 값을 나타내며 일관성 비율의 임계치는 0.1(10%)로 사용하고 있다(Satty, 1982). 일관성지수(CI)를 경험적 자료에서 얻어진 평균 무작위 지수(Random Index, RI)로 나눈 일관성 비율(CR)로 검증한다(Cho et al., 2003).

3. 항공기 격납고 소화시스템 선정 및 특성

항공기 격납고는 철골조의 건축물로 항공기를 정비, 보관 또는 점검하기 위한 시설물로 고가의 항공기를 포함하는 높은 천정과 넓은 개방공간이 있고, 다량의 항공유와 다양한 잠재적 점화원을 갖는 항공기 정비 활동이 이루어지는 곳이다. 또한 항공기 날개와 정비용 작업대는 화재탐지 및 진압에 장애 요인으로 작용하고 있다. 이러한 특성을 가지고 있는 항공기 격납고에는 대부분 유류화재에 효과적인 포 헤드 소화시스템과 고발포 방출구 소화시스템을 설치하고 있으며, 화재를 진압하는 방식이 다르기 때문에 포헤드 소화시스템과 고발포 방출구 소화시스템이 각각 설치된 항공기 격납고를 실증 사례 연구 대상으로 선정하여 분석하였다.

4. 위험요인 식별 및 가중치 산정

4.1 기초자료 수집

항공기 격납고 소화시스템과 관련하여 포워터스프링클러설비, 포헤드설비 또는 고정포방출설비, 압축공기포소화설비 중 하나의 시스템만으로 적용이 가능한 국가화재안전기준(NFSC 105)과 항공기 격납고에 Foam Water Deluge System + Low Expansion Foam System or High Expansion Foam System, 또는 Automatic Sprinkler System + Low Level Low expansion Foam System, 또는 Automatic Sprinkler

System + Automatic Low Level High Expansion Foam System 과 같이 2개의 시스템을 적용하여 건물화재와 항공기 날개 (동체)하부 화재를 동시에 고려하고 있는 미국의 NFPA 409 “Standard on Aircraft Hangars”, 선행연구 자료를 통해 확인된 위험요소(Hazard)와 20년 이상 근무한 소방분야 전문가 설문에 의해 확인된 위험요소를 정리하여 분류하면 다음과 같다.

- (1) 항공기 날개하부 화재제어 실패: 소화약제 부족, 화재 플럼에 의한 소화약제 침투차단, 포헤드 방사압력 저하, 소화약제 도달시간 지연, 항공기 날개에 의한 소화약제 공급차단
- (2) 건물(천정)화재로 확대: 화재 플럼 차단실패, 항공기 내부에서 화재발생, 전기적 요인, 인적 요인
- (3) 소화시스템 작동실패: 소화시스템 방출실패, 소화약제 이송실패, 부적정 혼합비 소화약제 이송, 화재감지기 감지실패, Pre-Action 밸브개방실패, Check 밸브폐쇄, Gate 밸브폐쇄, 소화배관 파열, Selection 밸브 개방실패, 펌프 오동작, 혼합비 조절기 오동작, 혼합장치 오동작

위험요인에 대한 기초자료 수집 및 분석 결과, 항공기 격납고 포 헤드 소화시스템은 천정에 설치된 포 헤드에서 방출되는 시스템의 특성으로 항공기 날개에 의한 소화약제 침투 차단 등으로 날개하부 화재제어를 실패할 가능성이 있고, 1분 이내에 전체 방호면적을 0.9 m까지 소화약제로 덮어 질식소화(FM DS 7-93, 2017)하는 고평창포 방출구 소화시스템은 소화약제 도달시간 지연 등으로 건물(천정)화재로 확대될 가능성이 있으며, 소화시스템 작동실패 위험이 있는 것으로 나타났다.

4.2 AHP 계층구조

계층적 분석은 여러 개의 목표, 의사결정 주체가 포함된 의사결정 문제, 평가 기준 등을 계층화하여 해결하고자 하는데 목적이 있다. 주어진 의사결정 문제를 계층화하여 상위계층의 한 요소(또는 기준)의 관점에서 하위계층에 있는 요소들의 상대적 중요도 또는 가중치를 쌍대비교를 통해 측정하여 결과적으로는 최하위 계층의 대안들의 가중치 또는 우선순위를 구할 수 있다. 또한 계층적 분석은 의사결정권자의 오랜 경험이나 직관을 중요시하기 때문에 계량적인 정보뿐만 아니라 의사결정에서 다루기 곤란하면서도 반드시 고려하지 않으면 안 되는 질적인 정보도 비교적 쉽게 처리할 수 있고, 분석과정도 직관적이고 비교적 쉽다는 장점이 있다 (Kwon, 2008).

항공기 격납고 소화시스템의 화재 위험성은 항공기 정비 격납고 화재를 전제로 평가해야 하지만 원자력 발전소와 같이 항공기 격납고의 화재 사례가 극히 적다는 것과 국가마다 소화시스템의 기준과 설치 여건이 다르기 때문에 새로운

접근방법에 의한 분석을 시험할 수 있는 대상이 될 수 있다. 계층적 분석기법은 항공기 격납고 소화시스템의 가장 치명적인 요인 또는 중요한 요인을 항공기 격납고 소화시스템에 익숙한 소방분야 전문가들에 의해 보다 정확히 평가할 수 있고, 각각의 요인에 대한 가중치를 결정하여 발생빈도를 추정할 수 있다. 따라서 항공기 정비 격납고 소화시스템과 관련하여 전문가들을 대상으로 평가대상이 되는 위험요소들의 가중치를 산출하고 이를 통하여 위험완화 대안의 우선순위를 선택할 수 있는 확률론적 위험성 평가의 기초자료로 활용이 가능하므로 계가를 통하여 사전 설문항목을 검토하였고 이를 바탕으로 설정한 항공기 격납고 소화시스템의 화재제어 실패가 대형화재로 확대되는 AHP 계층구조는 Fig. 1과 같다.

5. 계층적 분석(AHP)

5.1 설문 응답자의 일반적 특성

AHP 분석을 적용하기 위해 자료를 수집하는데 있어서 실무지식과 전문적 경험이 있는 집단의 규모는 집단의 특성이 동질적일 때 10명 이내로도 충분(Lee, 2002)하다고 하였으나, 전문성과 공정성 확보를 위해 근무경력 5년 이상 항공기 격납고 관련 소방분야 근무 인원을 대상으로 설문지 107부를 배부하여 67부를 회수하여 AHP 분석에 이용하였으며, 설문 응답자의 일반특성은 Table 1과 같다.

5.2 자동소화시스템의 화재제어 실패 위험요인에 대한 계층적 분석(AHP)

본 연구는 항공기 격납고 소화시스템의 화재제어실패가 대형화재로 확대되는 핵심요인들의 상대적 중요도와 우선순위를 파악하기 위하여 소방분야 전문가 69명으로 하여금 쌍대비교를 수행하게 한 후 회수된 설문지 가운데 일관성 비율(Consistency Ratio)이 0.1 미만인 설문지 69부를 대상으로 AHP 프로그램인 Expert Choice 2000을 활용하여 상대적 중요도와 우선순위를 분석하였으며, 분석결과는 Table 2와 같다.

본 연구에서 사용한 AHP 전용 프로그램인 Expert Choice 2000을 활용하여 쌍대 비교 데이터를 입력하면, 가중치 계산, 일관성 지수, 일관성 비율 등이 자동으로 계산되므로 별도의 처리과정이 필요하지 않다. AHP 분석을 통해 도출된 가중치는 Global (G)과 Local (L)로 구분되는데 Global은 하위계층의 값을 종합한 가중치를 말한다. 즉, 하위계층의 Global 가중치를 모두 더하면 그 상위계층의 Global 가중치의 값이 되는 것이다.

반면에 Local은 해당 항목이 지니고 있는 가중치로서 그 계층의 Local 가중치 값을 모두 더하면 1의 값을 가지게 된다. 즉, Table 2에 나타난 것과 같이 계층 2의 가중치의 합은 1이 되며, 계층 3의 각 영역별 가중치의 합(Local의 합)도 1이 된다. 또한 상위 단계, 동일 영역의 하위영역

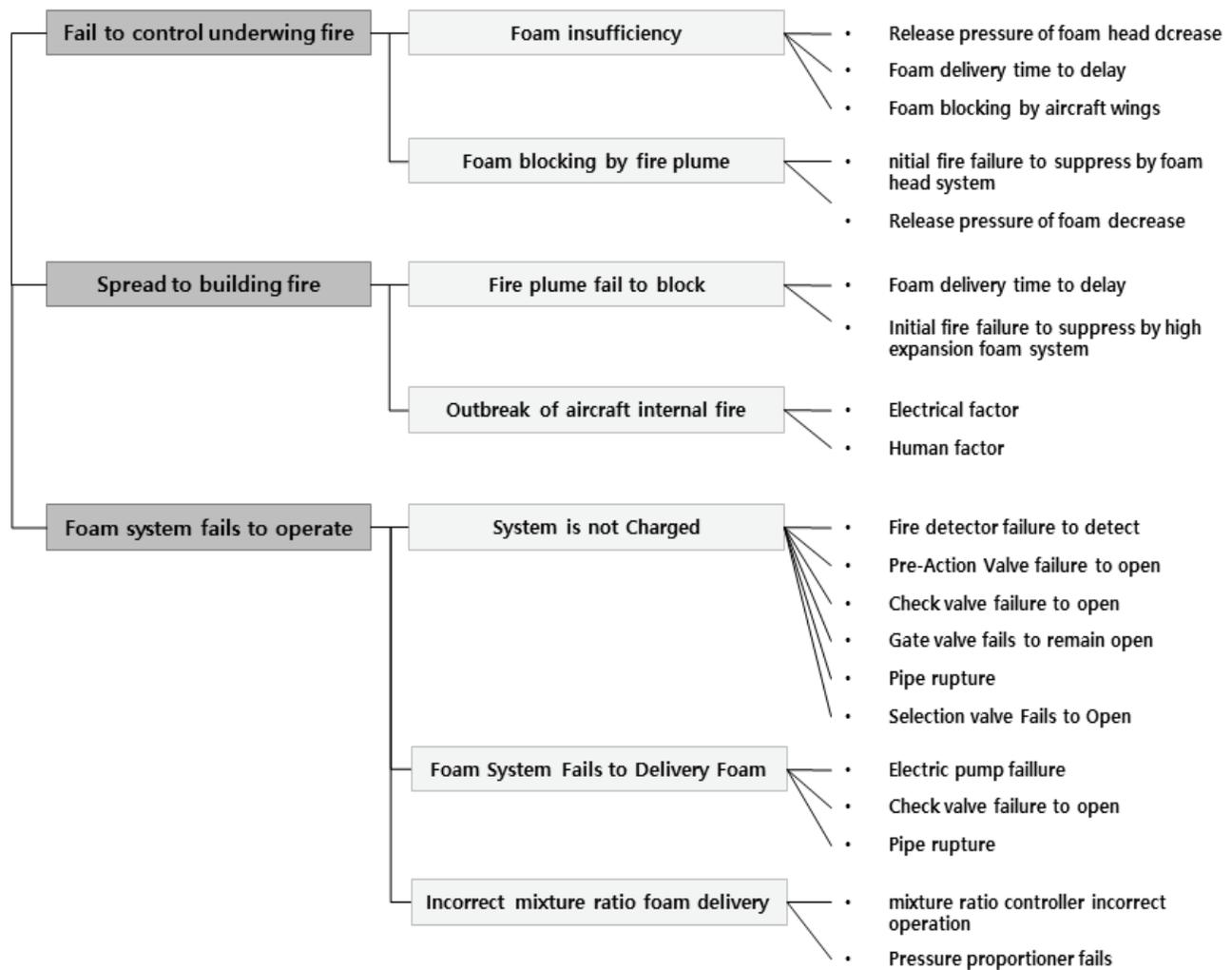


Fig. 1. AHP Hierarchical Structure of Aircraft Hangar Fire Suppression System

Table 1. General Characteristic of Survey Respondent

	Division	Frequency	Ratio (%)
Age	Twenty	14	20.3
	Thirty	20	29.0
	Forty	25	36.2
	Fifties	10	14.5
	Sum	69	100
Field	Fire fighting facilities operation	42	60.9
	Fire fighting rescue	27	39.1
	Sum	69	100
Career	10 year	24	34.8
	10~20 year	15	21.7
	20~30 year	25	36.2
	30 year over	5	7.3
	Sum	69	100

Table 2. Total Analysis Result of the Weights

Hierarchy 1	Hierarchy 2	Hierarchy 3	Hierarchy 4	Ranking
Fails to Control Underwing Fire (0.285)	Foam insufficiency (L:0.515, G:0.147)	Release pressure of foam head decrease (L:0.395, G:0.058)		5
		Foam delivery time to delay (L:0.287, G:0.042)	Foam head operation by area (L:0.418, G:0.018)	22
			Fire detector delay to detect (L:0.582, G:0.024)	19
		Foam blocking by aircraft wings (L:0.318, G:0.047)		9
	Foam blocking by fire plume (L:0.4850, G:0.138)	Initial fire failure to suppress by foam head system (L:0.749, G:0.103)		1
		Release pressure of foam decrease (L:0.251, G:0.035)		13
Spread to building fire (0.195)	Fire plume fail to block (L:0.531, G:0.104)	Foam delivery time to delay (L:0.326, G:0.034)	Fire source and discharge outlet location separation (L:0.448, G:0.015)	25
			Fire detector delay to detect (L:0.552, G:0.019)	20
		Initial fire failure to suppress by high expansion foam system (L:0.674, G:0.070)		2
	Outbreak of aircraft internal fire (L:0.469, G:0.091)	Electrical factor (L:0.649, G:0.059)		4
		Human factor (L:0.351, G:0.032)		15
Foam system fails to operate (0.520)	System is not Charged (L:0.630, G:0.328)	Fire detector failure to detect (L:0.210, G:0.069)	Detector device damage (L:0.586, G:0.042)	12
			Solid state device damage (L:0.414, G:0.027)	16
		Pre-Action Valve failure to open (L:0.195, G:0.064)		3
		Check valve failure to open (L:0.133, G:0.044)		10
		Gate valve fails to remain open (L:0.176, G:0.058)		6
		Pipe rupture (L:0.135, G:0.044)	Decrepit pipe (L:0.596, G:0.026)	17
			External factor (inpect) (L:0.404, G:0.018)	21
	Selection valve Fails to Open (L:0.151, G:0.049)		7	
	Foam System Fails to Delivery Foam (L:0.230, G:0.119)	Electric pump failure (L:0.491, G:0.059)	Main electric pump failure (L:0.649, G:0.042)	11
			Sub electric pump failure (L:0.351, G:0.017)	23
		Check valve failure to open (L:0.281, G:0.033)		14
		Pipe rupture (L:0.227, G:0.027)	Decrepit pipe (L:0.618, G:0.017)	24
	External factor (inpect) (L:0.382, G:0.010)		26	
Incorrect mixture ratio foam delivery (L:0.140, G:0.073)	Mixture ratio controller incorrect operation (L:0.343, G:0.025)		18	
	Pressure proportioner fails (L:0.657, G:0.048)		8	

가중치의 합(Global의 합)은 상위 영역의 가중치와 동일하며, 이는 AHP의 분해의 원리로서 차 상위 계층의 가중치가 그 하위단계로 그대로 이전되었음을 의미한다(Kwon, 2010).

또한 일관성 비율은 모두가 0.1 미만으로 나타나 응답자가 모두 논리적 일관성을 확보한 것으로 나타났다.

5.3 전체항목의 우선순위 분석

위에서 분석된 항공기 격납고 소화시스템의 화재제어 실패가 대형화재로 확대되는 위험요인에 대한 계층 1, 2, 3, 4의 중요도에 따라 각 계층의 가중치(Local)를 활용하여 계층 간의 가중치를 최종적으로 종합한 Global 값으로 우선순위를 도출하였으며, 중요도에 따른 우선순위는 Table 3과 같다. 세부항목별 우선순위를 살펴보면 초기화재 진압실패(0.104)부터 충격 등 외부요인(0.010)까지 26개의 요인이 우선순위에 따라 분석되었다.

분석결과 전체 26개요인 중에서 화재 플럼에 의한 소화약제 침투 차단위험의 하위계층 위험요인인 포 헤드 소화시스템

초기화재 진압실패(0.104)가 가장 중요한 것으로 나타났다. 다음으로 화재 플럼(상승 열 기류) 차단 실패의 하위계층 위험요인인 고발포 소화시스템 초기화재 진압실패(0.070), Pre-Action Valve 개방실패(0.064), 전기적 요인(0.059), 포 헤드 방사압력 저하(0.058)의 순으로 상위 5개 요인을 형성하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 Table 3에 나타난 것처럼 AHP 분석을 통해 도출된 우선순위에 의해 중요도가 높은 상위의 요소들만을 고려하여 항공기 격납고 소화시스템의 대형화재 확대위험을 감소시킬 수 있는 대책을 수립하고 설계하는 것이 바람직할 수도 있으나, 도출된 26개의 세부 위험요인은 1차 소방분야 전문가의 토의와 자료 조사를 통해 중요하다고 판단된 항목들이므로 AHP 분석의 가중치 값이 낮다고 해서 배제될 수 있는 항목은 아니다. 2차 쌍대비교 결과, 분석을 통해 우선순위는 낮지만 중요도 측면에서는 검증된 요인들이므로 항공기 격납고 소화시스템의 화재 제어실패가 대형화재로 확대되는 위험을 줄이기 위한 검토 시 반드시 고려해야 하는 요인들이라 할 수 있다.

Table 3. Order of Priority Per Item

Evaluation Field	Weight	Order
Initial fire failure to suppress by foam head system	0.104	1
Initial fire failure to suppress by high expansion foam system	0.070	2
Pre-Action Valve failure to open	0.064	3
Electrical factor	0.059	4
Release pressure of foam head decrease	0.058	5
Gate valve fails to remain open	0.058	6
Selection valve Fails to Open	0.050	7
Pressure proportioner fails	0.048	8
Foam blocking by aircraft wings	0.047	9
Check valve failure to open	0.043	10
Main electric pump failure	0.042	11
Detector device damage	0.042	12
Release pressure of foam decrease	0.035	13
Gate valve fails to remain open	0.034	14
Human factor	0.032	15
Solid state device damage	0.027	16
Decrepit pipe	0.026	17
Mixture ratio controller incorrect operation	0.025	18
Fire detector delay to detect	0.025	19
Fire detector delay to detect	0.019	20
External factor (inpect)	0.018	21
Foam head operation by area	0.018	22
Sub electric pump failure	0.017	23
Decrepit pipe	0.017	24
Fire source and discharge outlet location separation	0.015	25
External factor (inpect)	0.010	26

6. 결 론

화재빈도가 낮고 성능시험이 어려워 화재위험성을 평가하기 어려운 항공기 격납고 소화시스템의 화재위험성 평가를 정량적으로 시행하기 위해 AHP 분석기법을 적용하여 화재위험도 평가 항목별 가중치를 산정하였으며, 본 연구에서 도출된 결론은 다음과 같다.

- (1) 항공기 격납고 소화시스템은 한번 설치 후 화재위험성에 대한 정량적 평가가 어려웠으나, 본 연구에서 제안한 AHP기법은 자동소화시스템의 화재위험 요인별 가중치를 쉽게 산정할 수 있으며, 해당 전문가의 의견을 반영하여 정량적으로 가중치 값을 산정할 수 있는 기법으로 판단되었다.
- (2) 계층적 분석기법을 적용한 결과 26개 항목 모두 일관성 비율이 0.1 이하로 의사결정 요소들 간의 산정된 가중치 값이 적합한 것으로 나타났다.
- (3) 일관성 지수의 결과를 바탕으로 계층적분석 기법을 적용하여 26개 화재위험 요인별 가중치를 산정하였다. 산정결과 포헤드 소화시스템 초기화재 진압실패의 가중치값이 0.104로 1순위, 고발포 소화시스템 초기화재 진압실패, Pre-acton valve 개방실패, 전기적 요인이 2, 3, 4순위 등으로 나타났다.
- (4) AHP 분석기법을 적용하여 산정한 가중치는 항공기 격납고 소화시스템에 대한 정량적 화재 위험성 평가에 필요한 기초자료로 활용할 수 있는 것으로 판단된다.

References

Cho, K.T., Cho, Y.K., and Kang, H.S. (2003). *The analytic hierarchy process*. Seoul: Donghyeon Publishing Company.

FM DS 7-93. (2017). *Aircraft hangars*. Aircraft Manufacturing and Assembly Facilities.

Kim, D.H. (2010). *A study on the probabilistic risk assessment to runway sight distance*. Ph.D. dissertation, Korea Aerospace University.

Kwon, K.J. (2010). *A study on relative importance and*

priority of physical environment for the successful small business restaurants: Using AHP method. Ph.D. dissertation, Sejong University.

Kwon, T.I. (2008). *Study on drawing priority of the influence factors of tourist resort remodeling business: Delphi technic & analytic hierarchy process*. Ph.D. dissertation, Sejong University.

Lee, C.H. (2002). *Multi-criteria decision making*. Pusan: Sejong Publishing Company.

Lee, D.C. (2012). *A study on relative importance and priority about core competencies of supervisors in foodservice franchise: Using AHP method*. Ph.D. dissertation, Sejong University.

Satty, T.L. (1978). Exploring the interface between hierarchies, multiple objectives and fuzzy sets. *Fuzzy Sets and System*, Vol. 1, No. 1, pp. 57-68. doi:10.1016/0165-0114(78)90032-5

Satty, T.L., and Vargas, L.G. (1982). *The logic of priorities*. Kluwer-Nijhoff Publication.

Satty, T.L., and Vargas, L.G. (1991). *The logic of priorities: applications in business energy, health, and transportation*. AHP series, Vol. III, Pittsburgh, PA, USA: RWS Publications.

Wells, S.P., Cozart, K.S., Mitchell, M.B., and Dodsworth, R.D. (1997). *Aircraft hangar fire threat study and analysis*. HQ AFCWSA, ADA344628. Fort Belvoir, VA, USA: Defense Technical Information Center. doi:10.21236/ADA344628

Zahedi, F. (1990). A method for quantitative evaluation of expert systems. *European Journal of Operational Research*, Vol. 48, No. 1, pp. 136-147. doi:10.1016/0377-2217(90)90070-R

Received	October 28, 2020
Revised	October 29, 2020
Accepted	November 19, 2020

Appendix. An Expert Survey on Fire Safety Analysis of Fire Suppression System for Aircraft Maintenance Hangar

『항공기 정비 격납고 소화시스템 화재 안전성 분석』 관련 전문가 설문조사

본 설문조사는 『항공기 정비 격납고 소화시스템 화재 안전성 분석』을 위해 최근 항공기 정비 격납고에 주로 설치하고 있는 포 헤드(Foam Head) 소화시스템과 고발포 방출구(High Expansion Foam Generator) 소화시스템의 화재위험 요소를 파악하기 위해 관련 분야 전문가를 대상으로 시행하는 것입니다. 많은 업무로 매우 바쁘신 줄은 알고 있습니다만 끝까지 설문조사에 응해주시기를 부탁드립니다. 본 설문조사 내용은 설계 및 연구 목적으로만 사용할 것을 약속드립니다.

■ AHP 분석 쌍대비교 요령

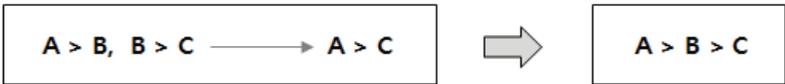
- 두 요인의 중요도가 같다면 “동등함”에 표시하여 주십시오.
- 왼쪽에 있는 요인이 오른쪽에 있는 요인보다 중요하다면, “동등함” 왼편에 표시하시기 바랍니다. 오른쪽에 있는 요인이 왼쪽에 있는 요인보다 중요하다면, “동등함”오른쪽에 표시하시기 바랍니다.

◀ 예 시 ▶ 자동차의 디자인이 연비보다 매우 중요하다고 생각할 경우

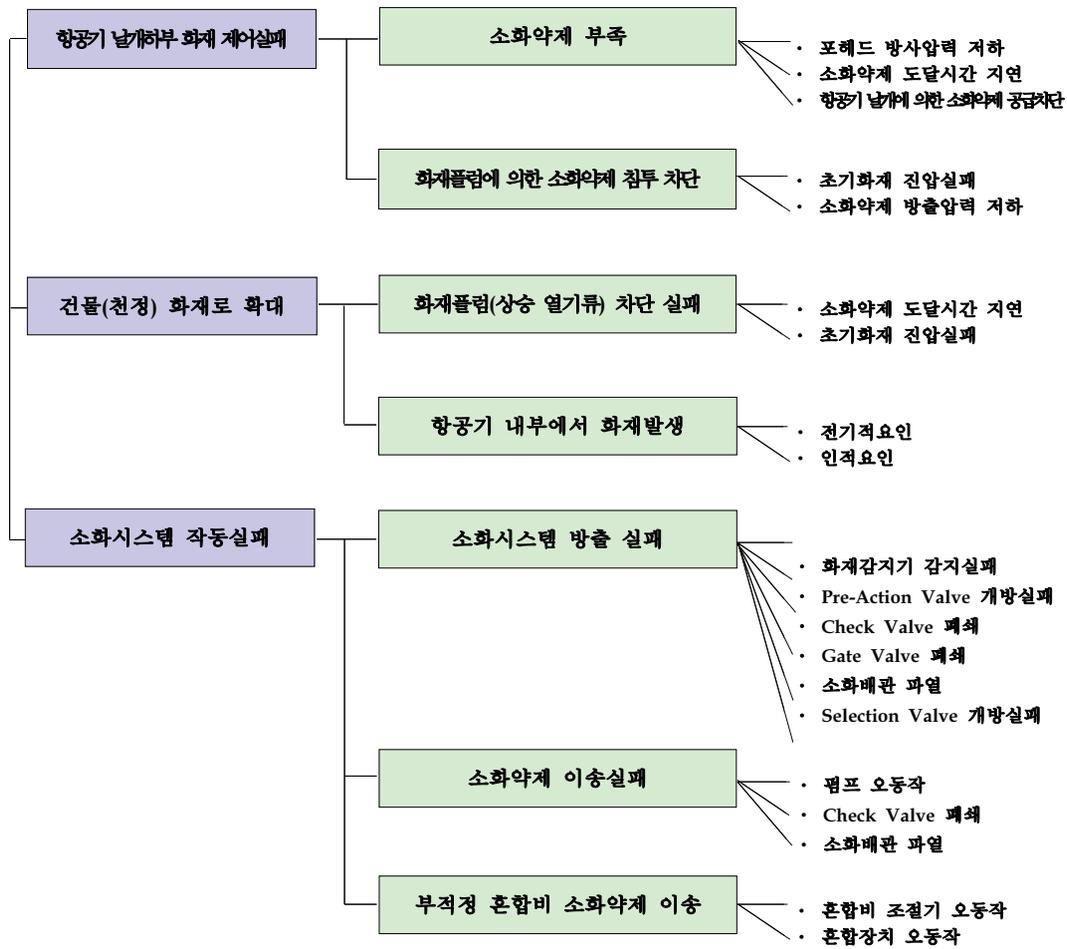
기준	⑨	⑦	⑤	③	①	③	⑤	⑦	⑨	기준
		V								
디자인	----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- -----									연비

① 동등함, ③ 약간 중요, ⑤ 중요, ⑦ 매우중요, ⑨ 절대적 중요

- 쌍대비교 문항들은 모두 연계되어 있습니다.
- 예로 ‘A > B’, ‘B > C’인 경우 ‘A > C’로 추정됩니다. 즉, 응답 전 각 항목들의 우선순위를 미리 염두에 두시면 더 일관성 있는 설문조사가 가능합니다.



■ 평가 항목 및 세부요소



1. 응답자 일반사항

1) 귀하의 연령은 어떻게 되십니까 ?

- ① 20대 ② 30대 ③ 40대 ④ 50대

2) 귀하의 전공(분야)은 무엇입니까 ?

- ① 기획/계획 ② 소방시설 운영 ③ 소방구조 ④ 기타

3) 귀하의 학력은 어떻게 되십니까?

- ① 전문학사 ② 학사 ③ 석사 ④ 박사

4) 귀하는 귀 기관에 입사 하신 지 얼마나 되십니까?(타기관 경력 포함)

- ① 10년이내 ② 20년이내 ③ 30년이내 ④ 40년이내

2. 화재제어 실패 위험성 평가

1) 상위요인 중요도

평가 항목	중요	<----	1	---->	중요	평가 항목
항공기 날개하부 화재제어 실패	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ①				② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	건물(천정)화재로 확대
항공기 날개하부 화재제어 실패	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ①				② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	소화시스템 작동실패
건물(천정)화재로 확대	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ①				② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	소화시스템 작동실패

- 항공기 날개하부 화재제어 실패: 천정에서 방출되는 포헤드 소화시스템 설치 시 항공기 날개하부에서 발생하는 화재 제어 불가
- 건물(천정)화재로 확대: 고발포 방출구에서 방사된 소화약제가 화원에 도달하여 소화 전에 화재 플림에 의해 건물화재로 확대
- 소화시스템 작동실패:
포헤드 및 고발포 방출구 소화시스템 작동실패

2) 하위요인 중요도

(1) 항공기 날개하부 화재 제어 실패 부문의 하위요인

평가 항목	중요	<----	1	---->	중요	평가 항목
소화약제 부족	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ①				② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	화재플림(상승 열기류)에 의한 소화약제 침투 차단

- 소화약제 부족:
항공기 날개하부 화재 발생 시 소화약제 부족
- 화재플림(상승 열기류)에 의한 소화약제 침투 차단:
격납고 천정 상부에 설치된 포헤드에서 방사된 소화약제가 상승 열기류에 의해 화원 침투 차단

(2) 건물(천정)화재로 확대 부문의 하위요인

평가 항목	중요	<----	1	---->	중요	평가 항목
화재플림(상승 열기류)차단 실패	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ①				② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	항공기 내부에서 화재 발생

- 화재플림(상승 열기류)차단 실패: 화재 플림의 조기 차단 실패
- 항공기 내부에서 화재 발생: 격납고 바닥 pool 화재가 아닌 항공기 자체에서 화재 발생

(3) 소화시스템 작동실패 부문의 하위요인

평가 항목	중요	<----	1	---->	중요	평가 항목
소화시스템 방출실패	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ①				② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	소화약제 이송실패
소화시스템 방출실패	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ①				② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	부적정 혼합비 소화약제 이송
소화약제 이송실패	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ② ①				② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨	부적정 혼합비 소화약제 이송

- 소화시스템 방출실패: 소화시스템의 소화약제 방출 실패
- 소화약제 이송실패: 소화약제 탱크로부터 포소화약제 이송 실패
- 부적정 혼합비 소화약제 이송: 적정하지 않은 혼합비의 포 소화약제 이송

3) 세부요소 중요도

(1) 소화약제 부족 세부요소

평가 항목	중요	<----	①	---->	중요	평가 항목
포헤드 방사압력 저하	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ②		①	② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨		소화약제 도달시간 지연
포헤드 방사압력 저하	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ②		①	② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨		항공기 날개에 의한 소화약제 공급 차단
소화약제 도달시간 지연	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ②		①	② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨		항공기 날개에 의한 소화약제 공급 차단

- 포헤드 방사압력 저하: 노후 등 원인으로 인한 포헤드 방사압력 저하
- 소화약제 도달시간 지연: 항공기 주변 격납고 바닥에 방사된 소화약제 도달시간 지연
- 항공기 날개에 의한 소화약제 공급 차단:
격납고 천정 상부에 설치된 포헤드로부터 소화약제 방출 시 항공기 날개로 인해 소화약제의 화원 도달 불가

(2) 화재플럼(상승 열기류)에 의한 소화약제 침투 차단 세부요소

평가 항목	중요	<----	①	---->	중요	평가 항목
초기화재 진압실패	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ②		①	② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨		소화약제 방출압력 저하

- 초기화재 진압실패: 화재 초기 진압실패
- 소화약제 방출압력 저하: 포헤드의 소화약제 방출압력 저하

(3) 화재플럼(상승 열기류)차단 실패 세부요소

평가 항목	중요	<----	①	---->	중요	평가 항목
소화약제 도달시간 지연	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ②		①	② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨		초기화재 진압실패

- 소화약제 도달시간 지연: 고발포 방출구에서 방사된 소화약제가 화원에 도달하는데 소요되는 시간 지연
- 초기화재 진압실패: 화재 초기 진압실패

(4) 항공기 내부에서 화재 발생 세부요소

평가 항목	중요	<----	①	---->	중요	평가 항목
전기적 요인	⑨ ⑧ ⑦ ⑥ ⑤ ④ ③ ②		①	② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨		인적요인

- 전기적 요인: 스파크, 단락, 단선, 접촉불량 등 전기적 원인
- 인적요인: 담뱃불, 방화, 정전기 등 인적요인