

Aircraft Operational Risk Assessment Model Using Fuzzy-FMEA

Ji-Hyun Park* · Chang-Soon Park** · Sun-Eung Ahn*†

*Department of Industrial and Management Engineering, Hanyang University

**Department of Mechanical Engineering, Hanyang University ERICA Campus

Fuzzy-FMEA를 이용한 항공기 운영 리스크 평가 모형

박지현* · 박창순** · 안선웅*†

*한양대학교 산업경영공학과 · **한양대학교 ERICA캠퍼스 기계공학과

Abstract

The major issue in aircraft industry is constructing risk management system for safety management because of increasing demand and advancement of the aircraft. This study is to assess the operational risks of aviation using IRPN(importance risk priority number) which is added to importance coefficient from RPN(risk priority number). In FMEA, RPN requires the factors like the occurrence (O), Severity (S), and Detection (D) of each failure mode. Therefore, the severity and detection is derived by the value from Fuzzy-FMEA of expert group. The occurrence is calculated from the accident statistics of IATA(international air transport association) database. Particularly, this study introduces importance coefficient to prevent from RPN distortions. The RPN distortions are decreased by introducing importance coefficient in the result of an experiment. It is also derived from Fuzzy-FMEA. Finally, the critical ranking of risk factors according to IRPN is similar with the existing research.

Keywords : Safety Management, Risk Assessment, Fuzzy-FMEA, RPN(Risk Priority Number)

1. 서론

현대사회에서 지역간, 국가간 자원교류의 활성화로 항공교통 수단은 교류의 핵심적 기능을 담당하고 있다. 이에 따라 항공교통에 대한 수요 증가 및 항공기의 대

† To whom correspondence should be addressed.

Corresponding Author: sunahn@hanyang.ac.kr

©2016 The Korean Institute of Plant Engineering

Received 26 January 2016; Revised 4 March 2016; Accepted 11 March 2016

형화 및 고도화 추세가 나타나고 있다[5, 12]. 또한, 최근 항공전자기기(avionics)가 많아지면서 전자장비 및 시스템 운영으로 인한 사고발생이 증가하고 있다. 그러므로 항공기 운영상 리스크(operational risk)가 증가함에 따라 항공기 안전관리를 위한 리스크 관리시스템의 구축이 필요하다[2, 8].

본 연구에서는 대표적인 리스크 평가로 FMEA(failure mode and effect analysis)의 RPN(risk priority number)과 중요도 계수를 도입한 IRPN(importance risk priority number)을 제안한다. <Table 1>의 기존 RPN평가를 살펴보면, 요인 A의 RPN이 높아 관리 우선에 있다고 할 수 있다. 그러나 심각도(S: severity)를 고려해볼 때, 요인 B는 발생도(O: occurrence)와 적발도(D: detection)에 의해 RPN이 왜곡되었음을 알 수 있다. 즉, RPN이 높다고 요인 A를 우선 관리한다면, 요인 B의 발생했을 때 더 큰 위험이 될 수 있음을 간과하는 것이다.

<Table 1> RPN distortion phenomenon

Factor	S (severity)	O (Occurrence)	D (Detection)	RPN
A	4	5	4	80
B	8	3	3	72

전통적인 FMEA는 발생가능한 모든 고장모드를 찾고 고장모드의 위험수준을 심각도, 발생도, 적발도 세 평가기준을 수치화하여 RPN을 도출한다[13]. 그러나 리스크 평가 요소에 대한 심각도, 발생도, 적발도 속성이 다르므로 정확한 리스크 평가를 위해서는 리스크에 대한 중요도를 도입할 필요가 있다[10, 16]. 그러므로 RPN 왜곡 현상을 최소화하기 위해 본 연구에서는 리스크의 상대적 중요도를 고려한 중요도 계수를 도입한다. 또한, 전문가 집단의 주관적 평가에만 의존하는 기존 FMEA의 문제점을 보완하기 위해 Fuzzy 이론을 결합한 Fuzzy-FMEA 방법을 적용한다[1, 11, 14, 15, 17]. 본 연구의 목적은 항공기 안전관리를 위한 운영 리스

크 평가 모형으로 Fuzzy-FMEA 방법을 제안하는 것이다.

2. IRPN 산출

2.1 RPN 산출

FMEA는 정성적 신뢰성 예측기법 또는 고장분석 기법으로 주로 사용되며, 리스크 평가에 주로 사용되는 방법이다. FMEA 분석을 통해 도출되는 RPN(risk priority number)은 시스템을 구성하고 있는 요인에 대한 심각도(S: severity), 발생도(O: Occurrence), 적발도(D: Detection)을 1에서 10 사이의 수로 평가하고 이를 하나의 통합된 수치로 표현한 값이다[6, 10]. RPN 결과를 통해 리스크 관리 순위에 대한 정보를 제공한다. 정성적 평가 위주인 FMEA 분석은 전문가집단의 주관적 평가에 의존한다. 그러나 주관적 평가에 의존하면 결과 값에 대한 신뢰성이 떨어지는 문제점이 있다. 그에 따라 본 연구에서는 FMEA 분석 방식에 Fuzzy 이론을 혼합한 Fuzzy-FMEA 방법을 사용한다.

Fuzzy-FMEA 방법은 FMEA 평가과정에 퍼지(Fuzzy) 언어규칙{very high, high, middle, low, and very low}에 따라 수치화하는 방법으로, 퍼지 연산을 이용한 RPN 계산을 위해 리스크 요인 별 삼각 퍼지 연산을 이용한다[1, 14]. 전문가 집단의 평가에 따라 퍼지연산을 적용하면 심각도와 적발도는 식 (1), 식 (2)와 같이 주어진다.

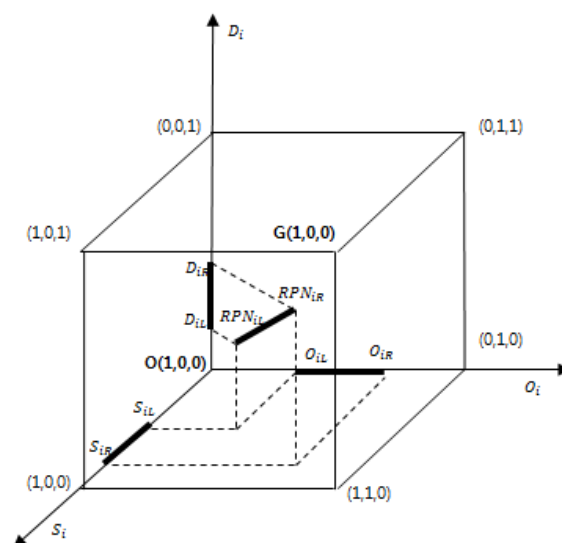
$$\tilde{S}_i = (S_{iL}, S_{iM}, S_{iH}) = \frac{\sum_{j=1}^J (S_{ijL}, S_{ijM}, S_{ijH})}{m} \quad (1)$$

$$\tilde{D}_i = (D_{iL}, D_{iM}, D_{iH}) = \frac{\sum_{j=1}^J (D_{ijL}, D_{ijM}, D_{ijH})}{m} \quad (2)$$

$$i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m$$

식 (1), 식 (2)에서 전체 전문가 평가자가 m 일 때, j 번째 전문가가 평가한 경우, \tilde{S}_i 는 i 번째 리스크 요인의 삼각 퍼지 집합을 나타내고, (S_{iL}, S_{iM}, S_{iH}) 는 \tilde{S}_i 의 삼각 퍼지 연산자에 대한 하한값, 중심값, 상한값을 나타낸다.

여기에 기존 연구와 같이 S, O, D 범위에 따른 RPN 도출 과정에서 극단값 배제를 위한 α -level 알고리즘을 적용한다. 또한, S, O, D에 대한 3차원 평면으로 분석하기 위해 RSD(risk space diagram)을 적용한다[11, 17]. 본 연구에서는 α -level 알고리즘을 이용하여 하한값과 상한값을 식 (3), 식 (4), 식 (5), 식 (6)과 같이 표현한다.



[Figure 1] Risk Space Diagram of ith risk factor

$$S_{iL}^{\alpha} = S_{iL} + \alpha(S_{iM} - S_{iL}) \quad (3)$$

$$S_{iR}^{\alpha} = S_{iR} + \alpha(S_{iR} - S_{iM}) \quad (4)$$

$$D_{iL}^\alpha = D_{iL} + \alpha(D_{iM} - D_{iL}) \quad (5)$$

$$D_{iR}^\alpha = D_{iR} + \alpha(D_{iR} - D_{iM}) \quad (6)$$

$$0 < \alpha \leq 1$$

식 (3), 식 (4), 식 (5), 식 (6)에서 도출한 하한값과 상한값을 RSD로 표현하면 [Figure 1]과 같다. [Figure 1]은 S, O, D 각 하한값과 상한값 범위와 그에 따른 RPN 값의 범위를 표현한 것이다. 결국, 리스크 요인별로 각각 다른 RSD를 갖는다.

RPN 도출을 위해 기존에 사용하던 S, O, D를 곱하는 형태로 표현하면, RPN의 편차가 커져 명확한 RPN 비교가 어렵다. 그러므로 본 연구에서는 [Figure 1]에서 점 O와 점 G 선상의 RPN값의 상대적 위치로 RPN을 도출한다. 즉, RPN값이 크면 점 G에 가깝고, RPN값이 작다면 점 O에 가까워진다. 그 값은 그 값은 점 O에서의 거리이고, 점 O에서 유클리드(Euclidean) 거리를 통해 도출한다.

$$RPN_{iL} = \frac{\sqrt{\sum_{x=1}^X (x_{iL}^\alpha - x_{i,\min}^\alpha)^2}}{\sqrt{\sum_{x=1}^X (x_{i,\max}^\alpha - x_{i,\min}^\alpha)^2}} \quad (7)$$

$$RPN_{iR} = \frac{\sqrt{\sum_{x=1}^X (x_{iR}^\alpha - x_{i,\min}^\alpha)^2}}{\sqrt{\sum_{x=1}^X (x_{i,\max}^\alpha - x_{i,\min}^\alpha)^2}} \quad (8)$$

식 (7)과 식(8)은 점 O와 점 G 선상에서 점 O에서 상대적 위치를 값으로 나타낸 것이다. 3차원 평면에서 분모는 점 O와 점 G사이의 거리인 $\sqrt{3}$ 을 나타낸다. 또한, 변수 x값은 평가요소인 S, O, D를 나타낸다. 그러므로 심각도, 적발도 평가에는 Fuzzy-FMEA 방법을

적용하고, 발생도 평가에는 실제 사고 통계를 이용함으로써 분석에 신뢰성을 높인다.

2.2 중요도 계수

기존 RPN 평가에서는 RPN 왜곡현상이 발생할 수 있어, 본 연구에서는 리스크의 상대적인 중요도를 고려한 중요도 계수를 도입한다. 중요도 계수를 도출하기 위해 리스크 요인 별 중요도 평가를 실행해야 한다. 중요도 평가는 앞서 심각도와 적발도 도출과정과 같이 Fuzzy-FMEA 방법을 적용한다.

Fuzzy-FMEA 방법을 적용하면 리스크 요인 별 중요도가 상한과 하한으로 제시된다. 중요도 비교를 위해서는 상한과 하한의 범위를 상수 값으로 변환시키는 과정이 필요하다. 변환시킨 값을 중요도 계수라 정의하고 식 (9)를 통해 계산된다. 즉, 리스크 요인에 대한 중요도 평가 결과, 중심값이 높고 평가자간의 편차가 적을수록 중요도 지수는 높아진다.

$$\text{중요도 계수}(I_i) = \frac{\text{중심값}(I_{iM})}{\text{상한값}(I_{iR}) - \text{하한값}(I_{iL})} \quad (9)$$

최종적으로 도출하고자 하는 IRPN은 심각도, 발생도, 적발도를 고려한 RPN 값에 중요도 계수를 곱한 값이다. 결국, IRPN이 높을수록 관리 순위가 높고, 중점적으로 관리해야 할 리스크 요인임을 의미한다.

3. 실험

3.1 실험 자료

국제항공운송협회(IATA: international air transport association)에 따르면 항공운항에 발생할 수 있는 안전 관련 리스크 요인을 human, organization, machine, environment, insufficiency로 구분하였다[3]. 그 중 기

계(machine) 관련 리스크 요인을 14개를 추려 분석에 사용한다. 추린 리스크 요인은 다음과 같다.

- Factor1 - Airplane structure: 항공기 기체 관련 요인
- Factor2 - Engine system: 항공기 엔진 관련 요인
- Factor3 - Landing gear and tire system: 항공기 랜딩 기어 및 타이어 관련 요인
- Factor4 - Flight control system: 항공기 운항 관련 요인
- Factor5 - Navigation system: 항공기 네비게이션 관련 요인
- Factor6 - Hydraulic pressure system: 항공기 동력 발생 유압계통 관련 요인
- Factor7 - Fuel system: 항공기 연료 관련 요인
- Factor8 - Automatic driving system: 자동운항 시스템 관련 요인
- Factor9 - Defending ice, eradicating ice or rain system: 기후변동 대응 시스템 요인
- Factor10 - Fire and smog warning system: 화재 및 경보 시스템 관련 요인
- Factor11 - Cabin pressure, lubrication, and electricity system: 객실차압 및 기타 항공전자시스템 관련 요인
- Factor12 - Ground proximity warning system (GPWS): 지면 접근 경보장치 요인
- Factor13 - Auxiliary approaching system: 보조 접근 시스템 요인
- Factor14 - Early-alarm measures (TCAS, ASDE): 조기 경보시스템(충돌 및 지상레이더 등) 관련 요인

FMEA 평가를 위한 전문가 집단은 총 55명으로 항공사내 안전 전문가 21명, 항공안전 관련 학계 10명, 항공안전위원회 위원 13명, 항공안전 관련 정부 관계자 11명으로 구성한다. 총 55명 중 45명이 응답하여 Fuzzy 분석을 시행한다. 전문가 집단에 의한 Fuzzy-FMEA

<Table 2> Severity, Detection, Occurrence, and RPN Calculation

Factor	Severity		Detection		Occurrence	RPN	
	Left-hand	Right-hand	Left-hand	Right-hand		Left-hand	Right-hand
F1	0.773	0.892	0.576	0.724	0.044	0.557	0.663
F2	0.725	0.860	0.471	0.652	0.049	0.499	0.623
F3	0.652	0.810	0.356	0.575	0.033	0.429	0.573
F4	0.726	0.864	0.415	0.627	0.124	0.488	0.620
F5	0.631	0.781	0.394	0.587	0.022	0.429	0.564
F6	0.629	0.781	0.359	0.561	0.004	0.418	0.555
F7	0.679	0.826	0.381	0.580	0.024	0.449	0.582
F8	0.544	0.700	0.366	0.584	0.042	0.379	0.526
F9	0.717	0.857	0.392	0.566	0.053	0.472	0.593
F10	0.775	0.889	0.390	0.585	0.026	0.501	0.614
F11	0.636	0.786	0.374	0.582	0.022	0.426	0.564
F12	0.705	0.839	0.341	0.542	0.345	0.494	0.610
F13	0.630	0.774	0.354	0.555	0.203	0.433	0.562
F14	0.672	0.821	0.350	0.545	0.335	0.478	0.601

<Table 3> Importance and Importance coefficients

	Importance		Importance Coefficients
	Left-hand	Right-hand	
F1	0.735	0.873	5.826
F2	0.752	0.887	6.070
F3	0.682	0.836	4.928
F4	0.737	0.874	5.879
F5	0.656	0.804	4.932
F6	0.65	0.798	4.891
F7	0.667	0.815	5.006
F8	0.567	0.730	3.978
F9	0.691	0.833	5.366
F10	0.771	0.903	6.340
F11	0.628	0.780	4.631
F12	0.675	0.832	4.799
F13	0.621	0.789	4.196
F14	0.663	0.823	4.643

<Table 4> IRPN and critical ranking of this study

	IRPN		Critical Ranking
	Left-hand	Right-hand	
F1	3.246	3.867	2
F2	3.035	3.786	3
F3	2.115	2.828	8
F4	2.869	3.648	4
F5	2.119	2.783	10
F6	2.045	2.715	11
F7	2.251	2.918	7
F8	1.509	2.096	14
F9	2.537	3.186	5
F10	3.177	3.897	1
F11	1.973	2.615	12
F12	2.372	2.928	6
F13	1.818	2.359	13
F14	2.222	2.791	9

분석 결과는 Lee[11]를 일부 인용한다.

발생도 분석을 위한 실제 사고 통계자료는 국제민간 항공기구(ICAO: international civil aviation organization)의 사고통계 데이터베이스인 Aircraft Accident Digests를 이용한다[4]. 사고 중 1952년부터

2014년까지 발생한 민간 항공기에 대한 사고자료를 분석하여 리스크 요인 별 발생도를 도출하였다. 위험도, 적발도, 발생도에 대한 Fuzzy 이론을 적용한 값은 <Table 2>와 같이 나타난다.

3.2 IRPN 산출

리스크 요인별 위험도, 적발도, 발생도 산출한 값을 RSD로 표현하여 식 (8), 식 (9)의 유클리드 거리분석을 통해 도출한 RPN값은 <Table 2>의 우측에 표현할 수 있다. 본 연구에서 α 는 0.5로 설정하였다. Fuzzy-FMEA 분석을 통해 도출한 중요도의 하한값, 상한값, 중심값을 통해 식 (9)를 이용해 중요도 계수를 도출하면 <Table 3>과 같이 나타난다. RPN값과 중요도 계수를 이용하여 IRPN을 도출하면 <Table 4>와 같이 나타난다.

3.3 RPN왜곡현상

최종적으로 도출되는 IRPN값을 통해 리스크 요인별 관리우선 순위는 <Table 6>에 나타난다. 본 연구에서는 결과에 대한 RPN왜곡 현상을 최소화하기 위해 중요도 계수를 도입하였다. 그러므로 RPN왜곡 현상이 축소되었는지 알아보기 위해 민감도 분석(sensitivity analysis)을 시행한다. 민감도 분석이란 매개변수가 결과에 얼마나 영향을 주는지를 나타내는 방법이다. 본 연구에서는 중요도 계수의 도입으로 IRPN 결과에 영향을 주는 정도인 민감도를 유사성(similarity)으로 표현한다.

본 연구에서 시행하는 민감도 분석은 중요도 계수, RPN, IRPN의 관리순위를 통해 유사성을 분석한다. 중요도 계수와 IRPN사이의 유사성이 RPN과 IRPN사이의 유사성보다 높다면, 중요도 계수가 RPN보다 IRPN에 더 많은 영향을 미친다고 할 수 있다. 즉, 중요도 계수가 IRPN에 더 많은 영향을 주어 RPN현상이 축소되는 것을 확인할 수 있다. 본 연구에서는 유사성의 확인은 MSE(mean square error)와 상관계수(correlation coefficient)를 통해 IRPN에 영향을 주는 정도로 살펴본다. 따라서 두 수치 간에 유사성이 높을 때, MSE 오차율의 적고 상관계수가 1에 가까워진다[9]. 결과는 <Table 5>에 나타나고, 중요도 계수와 IRPN사

이에 MSE가 낮고 상관계수가 높은 것으로 보아 RPN 왜곡현상이 축소되었음을 확인할 수 있다.

<Table 5> MSE Error rate and correlation coefficient

	RPN & IRPN	Importance Coefficient & IRPN
MSE	28.57	14.00
Correlation	0.916	0.947

3.4 결과 분석 및 비교

Lee[11]은 리스크 관리 순위 설정을 위한 평가지표로 기존 RPN 대신 Risk gradient(RG)을 설정하였고, Fuzzy값 형태로 도출하였다. <Table 6>은 전통적인 RPN을 통해 도출한 관리 순위와 Lee[11]의 RG를 통해서 도출한 관리 순위와 본 연구에서 도출한 관리 순위를 비교한 것이다. 또한, Lee[11]와 본 연구에서 도출한 관리 순위의 변화를 나타낸다.

<Table 6> Critical ranking of GR and IRPN

Critical ranking	RPN	GR	IRPN	Variation
F1	1	1	2	1 ↓
F2	2	2	3	1 ↓
F3	7	7	8	1 ↓
F4	3	4	4	-
F5	8	10	10	-
F6	12	12	11	1 ↑
F7	6	8	7	1 ↑
F8	14	14	14	-
F9	5	5	5	-
F10	4	3	1	2 ↑
F11	9	11	12	1 ↓
F12	10	6	6	-
F13	13	13	13	-
F14	11	9	9	-

본 연구와 Lee[11]연구를 비교하면, 대부분의 리스크 요인의 관리 순위가 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

<Table 6>에서 살펴보면 리스크 요인 F1, F2, F3, F6, F7, F10, F11에서 차이가 나타났고, 변동 정도를 살펴 보기 위해 군집분석(cluster analysis)을 시행한다. Lee[11]의 결과와 본 연구의 결과를 바탕으로 유사도 90%의 군집분석을 시행한 결과 {F1, F10, F2}, {F4}, {F3, F5, F14, F7, F12}, {F6, F11}, {F9}, {F8}, {F13}으로 7개 집단이 형성되었다. 집단 내 리스크 요인 간에는 관련성이 높은데, 군집분석 결과 변화가 발생한 리스크 요인은 집단 내에서만 변동하였음을 확인할 수 있다.

기존 Lee[11] 연구와 본 연구에서 리스크 요인에 대한 관리 순위 차이에 원인을 살펴보면 발생 가능한 원인으로 두 가지가 있을 수 있다. 첫째, 발생도 산출 방법에 따른 차이로, Lee[11] 연구에서는 발생도를 Janic[7] 연구를 이용하여 발생도를 0.0198로 모든 리스크 요인에 대해 동일하게 적용하였다. 본 연구에서는 실제 사고 통계자료를 통해 <Table 2>와 같이 도출되었다. 그러므로 각 리스크 요인에 대한 발생도 산출 방법의 차이로 관리순위의 변화가 발생할 수 있다. 구체적으로 살펴보면, 최근 전자기술의 발달로 항공운항 및 보조 시스템에 대한 전자장비가 강화되었고, 이로 인해 사고 발생 빈도도 눈에 띄게 증가하고 있다. 최근 전자장비가 많이 강화된 시스템으로 자동운항시스템과 보조시스템이 있다. 자동운항과 관련된 F4 - Flight control system, 보조접근장치와 관련된 F12 - Ground proximity warning system과 F13 - Auxiliary approaching system, 항공관제 과정에서 조기경보(TCAS, ASDE)와 관련된 F14-Early alarm measurers에 대한 요인이 전부 0.1 이상의 발생도로 기존 0.0198에 비해 높게 도출되었다. 그러나 <Table 6>에 결과에 따르면, F4, F12, F13, F14는 Lee[11]연구와 본 연구에서 관리 순위에 변화가 없는 것으로 확인된다. 즉, IRPN 산출과정에서 발생도에 대한 영향이 적어서, 변화가 발생하지 않은 것을 추론 할 수 있다.

둘째, 중요도 계수 도입에 따른 Lee[11]과 본 연구의 결과가 차이 날 가능성이 있다. F1, F2, F10사이 변동

인 경우, F10의 중요도 계수에서 약 6.34로 F1과 F2에 비해 확연히 높은 수치를 나타낸 것을 확인해 볼 수 있다. 항공기는 기체와 부품이 화재에 취약할 뿐만 아니라 화재 진압이 어렵고, 그로 인한 유독가스가 배출되기 어려운 구조로 화재발생은 항공 안전에 심각한 위협을 초래한다. 그에 따라 F10-Fire and smog warning system에 중요도는 다른 리스크에 비해 매우 높은 것을 <Table 3>에서 확인해 볼 수 있고, Lee[11]에서 3위에서 본 연구에서 1위로 관리 순위가 상승하였다고 추론할 수 있다.

<Table 7> The variation of F3, F7, F6, F11

	RG Right-hand (Ranking)	IRPN Right-hand (Ranking)
F3	0.6492 (7)	2.828 (8)
F7	0.6487 (8)	2.918 (7)
F6	0.6248 (12)	2.715 (11)
F11	0.6255 (11)	2.615 (12)

<Table 7>을 살펴보면, F3, F7, F6, F11의 결과와 관리순위의 변동을 볼 수 있다. F3과 F7의 변동인 경우, Lee[11]에서 F3의 GR 상한값은 0.6492이고, F7의 GR 상한값은 0.6487로 거의 차이가 없었다. 마찬가지로, F6과 F11의 변동인 경우, Lee[11]에서 F6의 RG 상한값은 0.6248이고, F11의 RG 상한값은 0.6255로 거의 차이가 없었다. 결국, F3-Landing gear and tire system보다 F7-Fuel system이 중요하기 때문에 관리 순위가 변했다는 것을 확인할 수 있다. 마찬가지로, F11-Cabin pressure, lubrication and electricity system보다 F6-Hydraulic pressure system이 중요하기 때문에 관리 순위가 변했다는 것을 확인할 수 있다.

본 연구에서는 RPN왜곡 현상을 최소화하기 위해 중요도 계수를 도입하였다. 그에 따라, Lee[11] 연구와 본 연구에서 7개의 리스크 요인에 대한 관리 순위 차이가 발생하였다. 관리 순위 차이가 발생한 F10-Fire and smog warning system, F7-Fuel system, F6-Hydraulic

pressure system 리스크 요인에 대한 중요도 계수를 분석하여 보니, 해당 리스크 요인에 중요도 계수가 높게 도출되어 Lee[11] 연구와 본 연구에서 관리순위의 차이가 발생하였음을 추론할 수 있다.

4. 결 론

항공교통이 증가와 더불어, 항공기가 대형화 및 고도 화합에 따라 항공기 운영상 리스크(operational risk)가 증가하고 있다. 그에 따라 항공기 운영상에 발생하는 리스크의 체계적인 관리가 대두되고 있다. 본 연구에서는 항공 안전을 위해 항공기의 운영 리스크를 평가하는 방법을 제안하였다. 리스크 평가 방법으로 Fuzzy-FMEA(failure mode and effect analysis)을 적용하고, Fuzzy-FMEA를 통해 도출되는 RPN(risk priority number)에 중요도 계수를 결합한 I(importance)RPN을 제안하였다.

RPN의 구성요소인 심각도, 적발도, 발생도를 산출하기 위해, 심각도와 적발도는 Fuzzy-FMEA 방법을 통해 도출하고, 발생도는 ICAO에서 제공하는 실제 사고 통계자료를 통해 산출하였다. 심각도, 적발도, 발생도를 3차원 평면으로 표현하고 유클리드(Euclidean) 거리를 이용해 RPN을 산출하였다. 또한, 이 과정에서 발생할 수 있는 RPN 왜곡 현상을 최소화하기 위해 리스크 요인 별 중요도 계수를 도입하였다.

본 연구의 실험에서는 총 14개의 항공기 운영상 리스크 요인을 분석하였다. 그 결과 대부분의 리스크 요인에서 Lee[11] 결과와 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 F1, F2, F3, F6, F7, F10, F10 7개 리스크 요인에서 차이가 발생하였다. 변동 정도를 확인하기 위해, 군집분석 결과 집단 내에서의 변동으로 나타났다. 또한, IRPN과 중요도 계수 간에 MSE와 상관계수를 측정하여 RPN 왜곡현상이 축소되었음을 확인하였다. 변동이 발생할 원인으로 발생도 산출방법과 중요도 계수의 도입이 있었다. 원인을 분석한 결과, 발생도 산출

방법이 아닌 중요도 계수의 도입이 Lee[11]연구와 관리 순위에 변화가 나타난 것을 확인하였다. F1, F2, F10사이 변동인 경우 F10의 중요도 계수가 확연히 높게 나와 변화가 발생하였고, F3과 F7, F6과 F11의 변동인 경우 F3과 F7의 중요도가 높게 산출되어 변화가 발생하였음을 확인하였다. 실제 운영상에 발생하는 리스크 요인은 다양하게 존재할 수 있다. 그러므로 추후 연구에서는 리스크는 다양하고 복잡하게 존재할 때, 본 연구의 방법론을 적용해 보는 것이다. 또한, 계층화되고 복잡한 형태에 대한 리스크 분석으로 확장할 수 있다.

참고문헌

- [1] Bowles, J. B. and Peláez, C. E., "Fuzzy Logic Prioritization of Failures in a System Failure Mode, Effects and Criticality Analysis", Reliability Engineering and System Safety, 50(2), pp. 203-213, 2005.
- [2] Hong, S. J., and Kim, Y. M., "Modeling the Aviation Safety Risk Management", Journal of Korean Society of Transportation, 24(1), pp. 19-28, 2006.
- [3] International Air Transport Association, Annual Safety Report, 2014.
- [4] International Civil Aviation Organization, Aircraft Accident Digests Database.
- [5] Irwin, D. A. and Pavcnik, N., "Airbus Versus Boeing Revisited: International Competition in the Aircraft Market", Journal of International Economics, 64(2), pp. 223-245, 2004.
- [6] Jang, J. S., "A Study on Performing FMEA Effectively", Journal of the Korean Institute of Plant Engineering, 4(4) pp. 69-77, 1999.
- [7] Janic, M., "An Assessment of Risk and Safety in Civil Aviation", Journal of Air Transport

- Management, 6(1), pp. 43-50, 2000.
- [8] Jeong, J.-W., Lee, Y.-H, and Jung J.-W., "Optimization of Collaborative Risk Management in Supply Chain", 8(3), pp. 121-130, 2003.
- [9] Kim, K. O., "Consistency Test in the House of Quality using Permutation Test", Journal of Korean Institute of Industrial Engineers, 34(1), pp. 42-48, 2008.
- [10] Lee, E. Y., and Jang, J. S., "Assessment Criteria for Process FMEA in Assembly Process of Semiconductor", Journal of the Korean Institute of Plant Engineering, 18(1), pp. 5-18, 2013.
- [11] Lee, W. K., "Risk Assessment Modeling in Aviation Safety Management", Journal of Air Transport Management, 12(5), pp. 267-273, 2006.
- [12] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Transportation Safety Annual Report, 2015.
- [13] Ryu, S. W., "Mixed Usage of Different Fuzzy AHP Methods and Its Application to FMEA", Journal of the Korean Institute of Plant Engineering, 18(4) pp. 15-22, 2013.
- [14] Xu, K., Tang, L. C., Xie, M., Ho, S. L., and Zhu, M. L., "Fuzzy Assessment of FMEA for Engine Systems", Reliability Engineering and System Safety, 75(1), pp. 17-29, 2002.
- [15] Wang, Y. M., Chin, K. S., Poon, G. K. K., and Yang, J. B., "Risk Evaluation in Failure Mode and Effects Analysis using Fuzzy Weighted Geometric Mean", Expert Systems with Applications, 36(2), pp. 1195-1207, 2009.
- [16] Yang, Z., Bonsall, S., and Wang, J., "Fuzzy Rule-based Bayesian Reasoning Approach for Prioritization of Failures in FMEA", IEEE Transactions on Reliability, 57(3), pp. 517-528, 2008.
- Yang, Z., Xu, B., Chen, F., Hao, Q., Zhu, X., and Jia, Y., "A New Failure Mode and Effects Analysis Model of CNC Machine Tool using Fuzzy Theory", 2010 IEEE International Conference on Information and Automation (ICIA), pp. 582-587, 2010.

