



## A Study on Countermeasures to Prevent Runway Excursion to Improve Aviation Safety Using RSARA : The case of Ulsan Airport

Hyunsu Kim<sup>1</sup>, Je-hyung Jeon<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Department of Flight Operation, Chodang University*

<sup>2</sup>*Department of Safety and Security, Air Busan*

### ABSTRACT

The Aviation industry has undergone tremendous development through intensive investment and constant research of capital compared to other means of transportation. As the number of airline, aircraft and the size of the aircraft increased, accidents and risks had increased. However, due to the development of aircraft technology and the efforts of aviation workers, the accident rate related to aircraft decreased. Even when a single aircraft accident occurs, it causes many casualties and tremendous property damage. In order to prevent human and material loss due to aircraft accidents, the international community classifies runaway escape accidents into high risk categories together with Loss of Control in Flight (LOC-I) and Controlled Flight into Terrain (CFIT) In order to improve their awareness and improvement. However, the incident of runway deviations has remained at a certain level. Especially, in the case of Veer Off and Overrun at landing, it is the most common type of landing approach. More than half of these aircraft accidents are linked to fatalities. Therefore, To contribute the safety improvement of the aviation industry, this study aims to derive a plan for solving safety hazards of runway deviations accidents by utilizing actual flight data and RSARA algorithm for domestic airports.

© 2018 KKITS All rights reserved

**KEYWORDS :** Declared distance, Runway excursion, Unstabilized approach, Landing distance required runway, Safety area risk analysis, Loss of control in flight (LOC-I)

**ARTICLE INFO:** Received 17 September 2018, Revised 1 October 2018, Accepted 12 October 2018.

## 1. 서 론

최근 항공 안전의 발전 및 사고방지를 위한 끊임없는 연구를 바탕으로 지난 10년간 국제상업 항공 산업의 사고율은 2007년 백만 운항 당 3.53건에서 2016년 백만 운항 당 1.61건으로 약 54% 향상되었고 2016년 사고 발생횟수(총 65건)는 2011년~2015년 평균(82건)에 비하여 약 36.5% 낮은 수치를 나타내고 있다[1][2]. 그러나 이러한 긍정적인 성과에도 불구하고 항공기사고는 단 한건의 사고 발생으로 인적, 물적 피해는 물론 막대한 사회적 비용을 부담 하여야 한다.

유럽항공안전기관(EASA)에 따르면 이러한 항공기사고의 가장 높은 빈도를 차지하는 사고유형으로 활주로관련 사고로 2007~2016년 유럽에서 발생한 항공사고 중 약 44%를 차지하였고 ICAO 보고서에 따르면 2016년 발생한 항공기사고 중 활주روی탈 사고가 전체 19%로 가장 높은 빈도를 차지하였다 [2],[3]. 이에 따라 국제사회에서는 항공기 사고로 인적, 물적 손실을 방지하기 위하여 활주روی탈사고를 Loss of Control in-flight(LOC-I), Controlled flight into terrain(CFIT)와 함께 고위험 사고 카테고리 분류하여 초기 위험요소들을 사전에 인지, 개선하기 위한 노력을 기울이고 있다.

항공사고의 위험 평가는 위험의 발생 가능성을 분석하여 미래에 발생 가능한 손실에 대한 불확실성의 예측이다.

항공기 사고의 위험평가는 3단계로 구분된다. 1 단계, 항공기 운항환경 및 기상조건에 따른 사고확률 추정한다, 2단계, 운항환경 및 지형여건을 고려한 위치확률 추정으로 활주로 위험평가의 경우 활주로종단으로부터 거리에 관한 함수를 활용한다. 3단계, 장애물유형, 위치, 기종에 관한 함수를 활용한 사고위험추정을 통해 최종적인 위험을 고, 중, 저 3단계로 평가하고 해당시설 또는 시스템의 개선을

통해 최대한 기준 충족여부와 항공안전에 저해 가능성을 평가, 검증한다.

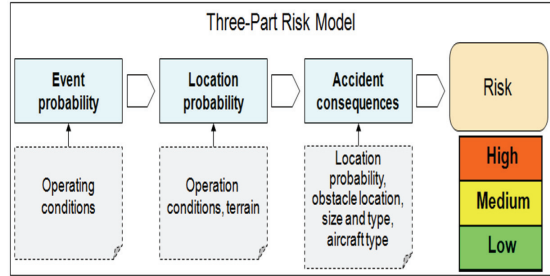


그림 1. 3단계 위험 모델  
Figure 1. Three part Risk Model

국내에서도 항공·철도사고조사위원회 및 교통안전공단을 바탕으로 지속적으로 활주روی탈사고방지를 위한 연구를 활발히 진행 중에 있다.

그러나 활주로 이탈사고의 발생율은 매년 적정 수준을 유지하고 있으며 특히 착륙 시 Veer Off, Overrun의 경우 활주로 착륙 접근 사고의 가장 일반적인 유형으로 발생 사고의 절반이상은 사망 사고(Fatalities)로 연결된다. 이를 평가하기 위한 방법으로 사고위험평가 모델을 기반으로한 RSA 위험평가 모델을 활용하였다. RSA 위험평가 모델은 과거 운항자료를 바탕으로 현재 또는 계획중인 활주로 안전구역의 규격에 대해 위험빈도 및 위험영향을 평가하고 공항에서의 고위험수준의 운항빈도를 계량화할 수 있는 확률분포를 산출할 수 있는 수학적 모델이다. 본 연구에서는 국내 사례공항을 대상으로 기상요인, 시스템의 오류를 포함한 다양한 환경적 요소를 적용하여 RSA 위험평가 모델을 활용한 위험평가를 실시하고 실제 운항 데이터와 비교 분석을 통해 위해요소를 사전 해소하기 위한 방안을 도출하고자 한다. 이를 위해 활주로 및 착륙에 영향을 주는 요소를 이론적 배경으로 제시하고 울산공항을 대상공항으로 선정하여 활주로 위험평

가와 Runway Safety Area Risk Analysis를 실시하였다.

## 2 이론적 배경

### 2.1 활주로

활주로는 공항의 제반시설 중 중요한 하나로서 항공기 이, 착륙을 위해 이용되는 일정한 구역의 공간으로 항공기 운항에 따른 박리현상이나 기상 조건을 충분히 고려하여야 하며 안전한 착륙을 위한 충분한 노면의 강도가 필요하다.

또한 활주로 설계 시 이·착륙 지역에 원칙적으로 장애물이 없도록 하여야하며 풍극 범위(Wind Coverage)를 고려하여 활주로 이용률을 95% 이상으로 설정한다[4],[5].

표 1. 최대 측풍분력  
Table 1. Analysis of crosswind

최소이륙거리	최대 측풍분력
1,500m 이상	37km/h(20knot)
	24km/h(13knot)
1,200m 이상~1,500m 미만	24km/h(13knot)
1,200m 미만	19km/h(10knot)

활주로의 길이산정에 있어서 취향하고자 하는 항공기의 성능 및 운항중량과 기후조건, 특히 지상 풍 및 기온 등이 반드시 고려되어야 하며 경사도 및 표면조건 등 활주로 특성을 확인하여야 하고 항공기 이·착륙에 적합한 공시거리(Declared distance)를 확보하여야한다.

### 2.2 활주로 착륙거리에 영향을 주는 요소

활주로의 상태에 따른 필요 착륙거리(Landing

Distance Required: LDR)는 실제 착륙거리에 여유분을 포함시키도록 규정한 착륙에 요구되는 활주로 길이로서 사용 가능 착륙거리(Landing Distance Available: LDA)보다 작아야 하며 건조, 습식, 오염 등 활주로 표면 조건에 따라 다르게 산정된다[6].

또한, 활주로 배치 및 방향 설정에 있어 장애물 제한표면(Obstacle Limitation Surface)을 고려하여야 하며 공항인근의 기타 소음 민감 영역에 대한 간섭을 최소화하도록 하여야 한다[5].

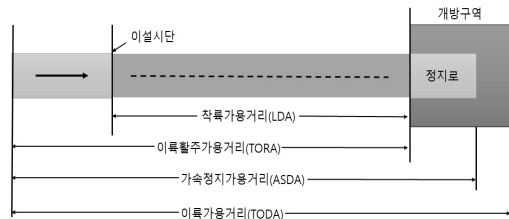


그림 2. 필요착륙거리  
Figure 2. Landing Distance Required

#### Landing Distance Required (dry)

$$= \text{Actual landing distance(dry)} \times 1.67$$

#### Landing Distance Required (wet)

$$= \text{Actual landing distance(dry)} \times 1.92$$

적절한 LDR을 산정하기 위해서는 Flight Crew Operation Manual(FCOM)등에 인쇄된 표나 FMS컴퓨터를 사용하여 운항승무원에 의해 계산되어지는데 정확한 계산을 위한 필요한 착륙 거리를 찾기 위해 안전계수를 고려해야 한다. 안전계수는 비행장, 대체 목적지, 목적지, 항공기 유형(터보제트 또는 터보프롭), 활주로조건(건조, 습식 또는 오염), 출발 전 계획에 따라 달라진다. 예를 들어 터보 제트 엔진의 경우, 사용가능한 착륙거리의 60%이내에서 필수착륙거리(LDAx0.6(제트기) 또는 필수착륙거리 x1.67(LDA를 산정하여야 하며 습윤 활주로 상태일 경우 사용가능한 착륙거리가 요구착륙거리의 115%이상임을 보장해야 한다[4],[6].

또한 환경적인요인에 따라 착륙거리가 달라 질 수 있으며 주로 항공기착륙 질량, 표면 바람 및 온도, 활주로 높이 및 경사도, 항공기제동시스템의 조건 등의 요인들을 이야기 할 수 있다.

### 3. 위협평가

#### 3.1 사례공항의 선정

울산공항은 1970년 11월 총면적 88만3740㎡, 2,000m×45m의 활주로 1본으로 민간항공기의 첫 취항을 시작하였고 연평균 약 5,000편의 항공기가 운항하고 있다.

울산공항의 활주로길이는 다른 국내공항의 활주로에 비하여 비교적 짧은 편으로 아래의 Table 3.1의 공시거리를 통하여 확인할 수 있다[7]. 이외에도 현재 울산공항은 급유시설이 없어 항공기들은 왕복편의 연료를 탑재하여 운항하는데 이러한 연료의 중량으로 활주로 상태에 따라 제동거리가 길어져 안전성에 영향을 미치게 된다.

표 2. 울산공항 활주로 공시거리 [7][8]  
Table 2 (RKPU) AD DECLARED DISTANCES

RWY Designator	LDA(m)	TORA(m)	ASDA(m)	TODA(m)
36	2,000	2,000	2,000	2,000
36	-	840	840	840
36	-	1,020	1,020	1,020
18	2,000	2,000	2,000	2,200
18	-	970	970	1,170
18	-	790	790	990

공항 자체 급유시설이 없어 회항편 연료량을 추가로 탑재한 상황에서 착륙함으로 증가된 착륙중량과 만석일 경우 최대 개인수하물 50 lbs 초과분의 무게까지 고려하면 최소한 2,500m (8,200ft)는 돼야

제동거리를 확보할 수 있다. 따라서 울산공항의 안전한 이착륙을 위해서는 활주로길이의 연장이 필요하지만 활주로 북쪽(RWY 36 이륙)의 경우 동대산(444m)과 삼태봉(629m)의 장애물이 있으며 북쪽으로의 직선거리를 연장하려면 그만큼의 부지가 필요하며 자연하천이 흐르고 있어 매우 어려운 상황이다. 정상엔진 작동(All Engines Operating) 조건하에서 표준계기이륙절차 (SID) 설계 시 기준으로는 6.6% 와 5.8% Gradient로 항공기가 이륙 시에는 0.8%의 Margin 을 포함하여 7.4% 와 6.6% 의 최소상승구배 (Minimum Climb Gradient) 이상으로 상승하여야 한다.[8][9][10]

이는 일반적인 이륙 경로 상 장애물이 없거나 현저히 낮은 장애물만 있는 공항의 경우 2.5% (0.8% Margin 반영한 3.3%)인 것에 비하면 상당히 높은 편이다.[10][11]

또한, 남쪽 (RWY 18 이륙) 으로는 이전에 조성된 주택단지 및 아파트, 물류단지 등 주거 밀집구역으로 확장을 하려면 시설이전 비용을 부담하여야하며 소음, 환경문제 등을 야기 할 수 있다.

#### 3.2 활주로 위협평가

따라서 울산공항의 활주로 안정성 현황을 파악하기 위해서 현재 울산공항을 운항하고 있는 Airbus 320을 바탕으로 필요착륙거리를 산출해 보았다. 최대이륙중량을 142,200lbs, 배풍을 5kts로 설정하여 CONF FULL FLAP을 기준으로 산출하였다.

A320 FCOM을 근거로 계산되었으며, 일반적으로 울산공항을 운항하는 조종사가 Touch down 하는 위치가 1,500~2,000피트 지점이라는 점을 감안해볼 때 울산공항의 활주로는 6,562ft로 건조활주로(Dry Runway)의 필요착륙거리를 산출하였을 때, 5,121ft로 안전마진이 없는 것으로 볼 수 있으며 습윤활주로(wet runway)의 경우에는 5,889ft로 이는 운항승무

원이 약 673ft이내에 Touch down 하지 못하면 여유분이 없는 것으로 계산된다. 또한 이륙경로상의 장애물로 인해 최대이륙중량의 90% 수준의 중량으로 이륙중량이 제한된다. (A320-200, CONF 1+F, 30C 기준) 하지만, 배풍이 없을 경우 건조활주로의 필요착륙거리는 4,211ft, 습윤활주로는 4,979ft로 약 1,000~2,000ft의 여유분이 있기 때문에 비교적 안전하다고 판단된다.

Required landing distances (ft)						
Runway State		Dry	Wet	Compacted snow	Slush	Water
Weight (1000 lb)						
120		4300	4940	4720	4960	5090
130		4510	5180	5000	5310	5480
140		4730	5430	5280	5660	5920
150		4960	5710	5580	6020	6370
160		5190	5970	5830	6400	6800
170		5450	6270	6070	6790	7170
180		5870	6750	6320	7170	7590

Corrections on landing distances (ft)						
Runway State		Dry	Wet	Compacted snow	Slush	Water
Altitude	Per 1 000 ft ABOVE SL	+ 350	+ 400	+ 400	+ 680	+ 760
Speed	Per 5 kt	+ 920	+ 600	+ 470	+ 760	+ 1060
Wind	Per 5 kt TW	+ 910	+ 1050	+ 770	+ 1370	+ 1970
Reverse	Per Thrust Reverser Operative	-	-	- 270	- 340	- 350

그림 3. 에어버스 320 착륙외장에 따른 필요착륙거리[12]  
Figure 3. A320의 RLD CONF FULL

악기상의 영향으로 배풍을 10kt로 가정했을 때, 건조활주로의 필요착륙거리는 6031ft, 습윤활주로는 6799ft로 활주로 여유분이 없으므로 착륙하기에 매우 위험하다고 판단된다.

### 3.3 RSRA 분석

RSARA는 Runway Safety Area Risk Analysis의 약자로 활주로 위험평가(Risk Assessment)를 정량적으로 분석 도구이다. 공항 또는 활주로별의 RSA 면적, 다양한 장애물 등 입력이 가능하며 항공기 기종, 교통량, 전 세계 항공기 과주 및 미착 사고 자료뿐만 아니라 해당 공항의 표고, 온도, 바람, 활주로 표면조건에 따른 필수 활주로 길이(Landing

& Take-off) 등 희귀분석을 통하여 다양한 변수에 따른 확률 모델을 산출할 수 있다[13][14].

RSARA위험모델에 근거하여 선정된 국내공항의 안전구역 위험평가를 실시하였다.

안전수준의 목표치는 1.0E-07의 확률을 기준으로 하였으며 이 값은 0.0000001로서 천만 건의 항공기 이착륙 당 1건의 사고 발생확률을 의미한다.

표 3. 활주로 안전구역 위험 분석 기본 개념[14]

Table 3. RSARA Basic Concept

- Probability =  $N_{ia} / N_n$  (under certain operation conditions)

$$P\{Accident\_Occurrence\} = \frac{1}{1 + e^{b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2 + b_3 X_3 + \dots}}$$

- $P\{Accident\_Occurrence\}$  is the probability (0-100%) of an accident type occur given certain operational conditions.
- $X_i = f(\text{runway friction, ceiling, visibility, crosswind, tailwind, etc.})$

입력되는 변수 값으로는 표고, 교통량, ASDA, LDA, SOFA(Side Obstacle Free Area) 등의 공항 및 활주로 특정 값과 RSA 기하학적 정보 값을 입력하였다.

또한 실제 최근운항 되는 기종별 세부 운항기록 자료를 사용하였으며 항공기상청 자료를 바탕으로 연간 시간대별 세부 기상기록 자료를 입력하였고 운항편수는 최근 10년간 운항량을 고려하였다.

표 4. 울산공항 활주로 구성 입력 데이터

Table 4. RKPU Runway Data

	Runway Configuration	Input	category
Runway 10	ASDA	6,562ft	I
	LDA	6,562ft	I
Runway 28	ASDA	6,562ft	I
	LDA	6,562ft	I
SOFAD	Right Side	633ft	-
	Left Side	633ft	-

Runway Configuration 값의 입력 Data는 AIP에

명시되어 있는 ASDA, LDA값을 사용하였다. 입력 Data중 SOFA(Side Obstacle Free Area)는 항공기 이·착륙 또는 지상 활주 중 항공기간의 측면이격 거리를 의미하며 Runway와 Taxiway의 중심선으로부터 거리와 항공기 Wingspan의 거리를 고려하여 산정하였으며 산정 방법은 다음과 같다.

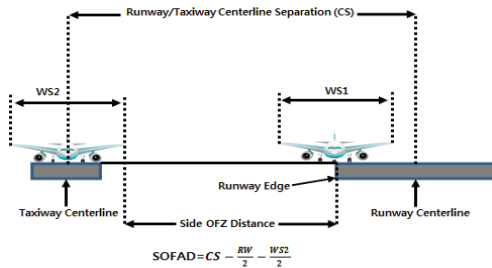


그림 4. 측면 무장애구역 거리  
Figure 4. Side Obstacle Free Area Distance

HOD(Historical Operations Database)의 경우 한국공항공사 및 국토교통부 항공정보시스템 및 내부 Data를 사용하였으며 총 4,995개의 항적 자료를 입력하였다. WD(Weather Database)의 경우 항공기 상정 Metar자료를 사용하여 연간 시간대별 기상자료 총 11,942개의 값을 입력하였다.

Accident	Average Probability	Avg # of Year to Critical Incident	% Ops Above TLS	Avg # of Year to Critical Incident fro TLS
L/D Overrun	7.4E-07	21년	84.6%	63년
T/O Overrun	2.9E-07	26년 이상	83.8%	71년
L/D Under Shoots	1.2E-07	67년	26.3%	99년
L/D Veer Off	2.1E-08	100년 이상	2.0%	100년 이상
T/O Veer Off	3.0E-08	100년 이상	0.0%	100년 이상
Total	5.9E-07	52년	64.4%	87년

그림 5. 울산공항 분석 결과  
Figure 5. Analysis of RKPU

RSARA 알고리즘으로 산출된 U공항의 활주로안

전구역 위험확률이다. 평균 5.9E-07로 천만번 운항당 5.9건의 사고가 발생할 확률이며 목표안전 설정치보다 4.9E-07의 사고발생가능성이 더 높게 산출되었다.

Landing Overrun은 21년, Takeoff Overrun 은 26년 이상 마다 발생할 확률이 높은 편이며 전체 평균 항공기 이탈사고는 평균 52년 마다 발생할 수 있는 확률이다.

전체 항공기 운항 중 약 64.4%는 안전수준 목표치를 초과하여 운항되고 있으며 전체 항공기 운항 중 안전수준 목표치에 대해 사고가 발생하기까지 평균 87년마다 발생할 수 있는 확률로 분석 되었다.

#### 4. 결론

운영기관 및 담당기관은 사례공항인 울산공항 활주로는 길이 2,000m (6,560ft)로 A320-200(162석) 이착륙에 문제가 없다는 의견을 제시하고 있으나, 공항 자체 급유시설이 없어 회항편 연료량을 추가로 탑재한 상황에서 착륙함으로 증가된 착륙중량과 만석일 경우 최대 개인수하물 50 lbs 초과분의 무게까지 고려하면 최소한 2,500m (8,200ft)의 활주로 확장을 요구하고 있다.[9][10]

RSARA 분석 결과 Landing Overrun은 21년, Takeoff Overrun 은 26년, 전체 평균 항공기 이탈 사고는 평균 52년 마다 발생할 수 있는 확률로 전체 항공기 운항 중 약 64.4%는 안전수준 목표치를 초과하여 운항되고 있으며 전체 항공기 운항 중 안전수준 목표치에 대해 사고가 발생하기까지 평균 87년마다 발생할 수 있는 확률로 분석되었다. 활주로 상태에 따라 또는 악기상 착륙에 의한 제동거리 증가와 Overshoot 가능성이 확대될 것으로 예상된다. 따라서 가능하다면 현재 활주로를 확장하거나 급유시설 등을 설치하여 착륙중을 감소시키는 것이 이착륙 안전성 향상 방안으로 제시한

다. 또한 기상조건 등 외부 여건을 고려한 활주로 상태별 공항 운영계획 수립을 제안해 본다.

## References

[1] International Air Transport Association, *Safety Report*, pp. 9-10, 2011.

[2] International Civil Aviation Organization, *Safety Report*, Appendix 1, pp. 18-19, 2017.

[3] Hyunsu Kim, *The design of energy management training using abstraction hierarchy*, Journal of Knowledge Information Technology and Systems, Vol. 12, No. 1, pp. 79-80, 2017.

[4] European Aviation Safety Agency . *Annual Safety Review*, p. 25, 2017.

[5] International Civil Aviation Organization, *Annex 14 Aerodrome Volume I, Aerodrome Design and Operations*, 2009

[6] National Legal Information Center, *Standard for aerodrome physical characteristics and markings*, 2016.

[7] Flight Safety Foundation, *Briefing Note 8.3 Landing Distances*, 2000.

[8] Aeronautical information publication Republic of Korea, GEN. 2017.

[9] Aeronautical information publication Republic of Korea, RKPU AD CHART. 2017.

[10] Aeronautical information publication Republic of Korea, RKPU AD CHART GEN. 2017.

[11] Aeronautical information publication Republic of Korea, RKPU AD CHART AMD. 2017.

[12] Airbus flight crew operation manual, ABL A318/A319/A320/A321 FLEET PER-LDG-DIS-RLDP, 1/14, 2017.

[13] J-H. Jeon, *A study on the risk assessment of runway safety area and countermeasures*, Master's Thesis. pp. 24-45, 2014.

[14] International Civil Aviation Organization *ACRP 04-08: Improved models for risk assessment of runway safety areas* pp. 14. 2015.

[15] J-H. Jeon, *A study on the risk assessment of runway safety area and countermeasures*, Master's Thesis pp. 60-68, 2014.

---

### 활주로안전성 평가를 이용한 활주로 이탈 방지 안전성 향상방안 연구 : 울산공항 사례를 중심으로

김현수<sup>1</sup>, 전제형<sup>2</sup>

<sup>1</sup>초당대학교 항공운항학과 교수

<sup>2</sup>에어부산 안전보안실 대리

---

#### 요 약

항공 산업은 다른 운송 수단과 비교하여 집중적인 투자와 지속적인 연구를 통해 엄청난 발전을 거듭하였다. 신생 항공사의 증설, 항공 교통량의 증가 뿐만 아니라 항공기 크기 확장됨에 따라 사고 위험이 증가해오고 있다. 그러나 항공기 기술 발전과 항공 종사자들의 노력으로 항공기 사고율은 감소했다. 항공사고의 경우 단일 항공기 사고가 발생하더라도 많은 사상자와 엄청난 재산 피해를 초래한다. 항공기 사고로 인한 인적 및 물적 손실을 방지하기 위해 국제 사회는 LOC-I, CFIT 뿐만 아니라 활주로 사고를 고위험군으로 분류하고 사고 예방을 위한 노력을 진행하고 있다.

그러나 이러한 노력에도 불구하고 활주로 사고율은 일정 수준을 유지하고 있으며, 특히 착륙시 Veer Off 및 Overrun의 경우 가장 일반적인 활주로 사고로 이러한 항공기 사고의 절반 이상이 사망자와 관련되어 있다. 따라서 항공 산업의 안전성 향상에 기여하기 위해 실제 공항 데이터와 RSARA 알고리즘을 활용하여 활주로 이탈 사고 위험을 분석하고 활주로 사고예방을 위한 안전방안을 제안하였다.

---



**Hyunsu Kim** received the M.S. degree and processed the Ph.D. degree in the Department of Flight management from Korea Areospace University in 2016, respectively. He was a researcher at Griffith Research Institute from 2013 to 2014. Currently, He is a professor in the Department of Flight Operation at Chodang University since 2015. His current research interests Safety Management System and Flight Training. He is a life member of the KKITS.

*E-mail address:* lanshu@cdu.ac.kr



**Je-hyung Jeon** received the M.S. degree and processed the Ph.D. degree in the Department of Flight management from Korea Areospace University in 2016, respectively. Currently, He is a manager Department of Safety and Security at Air Busan since 2015.

*E-mail address:* hypersonic81@naver.com