

Original Article

https://doi.org/10.12985/ksaa.2024.32.2.001
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

김포국제공항 B747-8 수용성에 관한 연구

강성현*, 박윤철**

A Study on B747-8 Compatibility at Gimpo International Airport

Seong-hyun Kang*, Youn Cheol Park**

ABSTRACT

Gimpo International Airport is only available for alternate airport for code F aircraft and it is difficult to operate larger aircraft capable of transporting more passengers than B747-400. This study has conducted to review the compatibility based on risk assessment to introduce the B747-8 operation procedures, excluding the A380 for practical reasons. Risk factors for main gear deviation when driving on curved sections of the taxiway was identified. The risk was analyzed as "high" level. As a risk reduction measure, the proceduralization of specific taxiing method "judgemental oversteer" was reviewed, and the result of the risk re-evaluation was lowered to a "low" level. As a result, the B747-8 was analyzed to be compatible. Additionally, It is suggested that review of pavement strength, de/anti-icing facilities, and passenger boarding bridge is necessary for actual operations.

Key Words : Code F Aircraft(F급 항공기), B747-8, Existing Airport(기존공항), Compatibility(수용성), Risk Assessment(위험평가), Taxiway(유도로)

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

김포국제공항은 서울특별시 강서구에 위치한 국제공항으로 1939년 일본에 의해 김포비행장으로 개항한 이후 1958년 국제공항으로 승격하였고, 1988년 서울올림픽을 대비한 활주로 연장과 증설, 국제선 청사 신축 등의 확장을 거쳤다. 1989년 해외여행자유화 이후 항공수요 급증과 공항시설 포화로, 2001년 인천국제공항이 개

항하면서 국내선 전용공항이 되었다가¹⁾, 2003년 도쿄 노선 취항 이후 현재는 국내선과 함께 중국, 일본, 대만 등 2,000km 내 단거리 국제선²⁾을 운영하고 있다.

1990년대 초반, 당시 최대 여객기인 B747-400의 크기와 수송능력을 뛰어넘는 초대형 항공기의 개발계획이 발표되었고, 국제민간항공기구(이하 "ICAO")에서는 1999년, 최대 E급이었던 기존 육상비행장 분류기준³⁾에 F급을 신설하였다. 이후 출시된 에어버스사의 A380과, 보잉사의 B747-8은 Table 1에 나타난 바와 같이 B747-400에 비해 표준 좌석수가 각각 155석, 115석 증가하였으며, 주 날개폭은 각각 14.83m, 3.48m 증가하였다.

Received: 26. Feb. 2024, Revised: 05. Mar. 2024,

Accepted: 26. Mar. 2024

* 대학원생, 국립제주대학교 기계시스템공학과

** 교수, 국립제주대학교 기계시스템공학과

연락처 E-mail : ycpark@jeju.ac.kr

연락처 주소 : 제주 제주시 제주대학로 102(공과대학 4호관) 218호

1) 출처 : 항공정보포털시스템(www.airportal.go.kr).

2) 『김포공항의 국제선 전세편 운영규정』 제5조 관련.

3) 항공기 주 날개폭과 주륜외곽의 폭에 따른 분류. 현재는 주 날개폭으로만 분류한다.

Table 1. Major specification of A380 and B747-8 compared with B747-400

기종	분류문자	표준좌석 수	주 날개폭(m)
B747-400	E	400	64.92
B747-8	F	515(+115)	68.4(+3.48)
A380	F	555(+155)	79.75(+14.83)

주1) 분류문자 E는 주 날개폭 52m 이상 65m 미만, 분류 문자 F는 주 날개폭 65m 이상 80m 미만을 말한다.

주2) 괄호는 B747-400 대비 증감 수치.

(출처 : Boeing company, Airbus company : Aircraft characteristics for airport planning)

기존 최대 항공기의 물리적 특성을 초과하는 항공기에 대한 국내 공항 수용성 검토 결과, 2008년 인천공항을 유일한 F급 취항가능 공항으로 결정하였으며, 김포공항은 2009년, 비상시 긴급 회항을 위한 교체공항으로서 지정하였다.

김포공항은 도심에 위치하여 인근 주거지역 등으로 시설확장 한계가 있지만, 접근성이 높아 취항지 제한에도 불구하고, 여전히 높은 수요를 보이고 있다. 한 예로서 2023년 일본 하네다 노선은 인천공항 대비 7배 이상 여객실적을 기록하였다⁴⁾. 이런 고수요 노선에 대한 공급좌석 확대는 일반 국민에 대한 항공서비스 품질향상으로 이어질 수 있을 것이나, 기존 대형기인 B747-400의 운항은 대부분 중단되었고, A380과 같은 대형기 취항을 위해서는 현재 사용을 제한하고 있는 유도로 등에 대한 재검토가 필요하다.

최근에는 F급 항공기 시설기준은 최초제정 후 계속적인 안전성 검증을 통해 완화되어 왔다. 또한, 미국 등에서 보다 정밀화된 위험평가를 통해 성공적으로 기존공항에서 F급 항공기를 운영하고 있는 사례⁵⁾를 찾아볼 수 있는 바, 김포공항 F급 항공기 수용성을 재검토하고, 운영절차 도입을 위한 의견을 제시하고자 본 연구를 수행하였다.

1.2 선행연구 고찰

공항수용성 검토사례로서, Guarani International Airport(2013)⁶⁾는 기존 공항의 운항한계인 B747-400

을 초과하는 B747-8의 수용성 검토를 하였다. ICAO 부속서 14(공항설계 및 운영)의 기준에 미달되는 시설과 항공기 성능의 비교분석을 통해 발생 가능한 위험요소를 식별하고, 안전운영을 위한 대체절차를 제시하였다.

신민영(2020)은 김포국제공항의 초대형항공기 수용 방안과 경제적 효과를 분석하였다. 분석결과, A380은 장거리 위주로 취항하는 특성상 취항가능성이 낮으며, B747-8은 B747-400과 매우 유사한 물리적 특성으로 인해, 주기장과 제방빙장을 제외한 기존 시설에서 수용 가능하다고 하였다. 이에 따라 항공학적 검토 및 안전 평가를 거쳐 최소 수준의 안전을 확보한 후, B747-8에 특별 적용되는 절차도입이 필요하다고 하였다.

F급 항공기 연구 사례로서, 장성우 외(2022)는 쌍발기 대비 A380의 연료효율성을 분석하였고, A380 운영 경제성 확보를 위해서는 장거리 인기 노선/비경쟁 노선에 집중적으로 투입하여야 한다고 하였다.

관련문헌 고찰 결과, 공항의 안전운영과 여객서비스 향상을 위해서는 “F급”이라는 일괄적 기준적용에서 벗어나서 운영하는 것이 타당함을 확인하였다. 다만, 사례연구에서 적용한 비행장 설치기준은 최근 2022년까지 계속적으로 개정되어 왔으므로, 현행규정을 기준으로 새롭게 검토할 필요성을 확인하였다.

1.3 연구방법

수용성 검토의 기본 지침은 국토교통부 『공항안전운영기준』과 한국공항공사 『공항안전관리시스템(SMS) 매뉴얼』을 따랐으며, 공항시설 기준은 국토교통부 『공항·비행장시설 및 이착륙장 설치기준』(이하 “비행장 시설 설치기준”)과 관련지침을 참고하였다.

김포공항 시설현황과 절차분석을 위해 한국공항공사 『김포국제공항 공항운영규정』과 항공정보간행물 『Aerodromes(RKSS Gimpo)』을 인용하였으며, 규정에서 확인할 수 없는 도면분석은 Google Earth Pro 이미지와 거리측정 기능을 활용하였다. 항공기 지상주행 검토는 Google Earth Pro 이미지를 기반으로, 항공기 이동 시뮬레이션 프로그램인 Transport社 “AVI PLAN - airside pro”를 활용하였다.

II. 이론적 배경

2.1 수용성 검토

공항안전운영기준 제165조에 따라 공항시설의 물리

4) 김포 ↔ 하네다 1,537천 명, 인천 ↔ 하네다 204천 명(출처 : 항공정보포털시스템; www.airportal.go.kr).

5) 미국에서는 A380은 16개 공항, B747-8은 26개 공항에서 운항을 허가하였음.

6) 남미 파라과이 소재 국제공항.

적 특성을 초과하는 형식의 항공기 운항을 위해서는 수용성 검토를 해야 하며, 이는 동 조 제7항 4호와 같이 네 단계로 이루어진다. 첫번째는, 안전 고려사항을 정의하고, 규정을 준수 여부의 확인이다. 공항시설이 도입하고자 하는 항공기의 기준에 따라 구비되었는지 여부를 검토한다. 두번째는, 위험요소 식별절차 이행으로 규정미달 시설로 인한 위험요소를 예측하는 것이다. 세번째는, 위험평가 및 위험저감절차 이행으로써 위험도를 정량적으로 평가하고, 수용 또는 불수용 여부를 결정하며 필요한 경우에는 경감 조치수준을 결정한다. 네번째는, 위험저감방안 이행계획을 수립하고, 안전평가에 대한 결론을 도출한다. 이 단계에서 최종적으로 항공기 수용 여부를 결정할 수 있다.

2.2 위험평가

수용성 평가의 핵심은 위험요소의 존재 여부와 위험 정도, 위험요소의 수용 여부와 위험경감을 위해 필요한 조치사항을 판단하는 것이다. 위험평가는 식별된 위험요소로 인해 발생 가능한 사고의 심각도와 발생가능성을 조사, 분석, 예측하고, 위험평가 매트릭스에 따라 위험도와 조치수준을 결정하는 절차이다.

심각도는 매우 경미에서 매우 심각까지의 5등급으로 평가하며, Table 2에 나타낸 바와 같이 인적·물적 피해 및 공항운영제한 여부를 고려한다.

발생가능성은 Table 3과 같이 아주 낮음에서 매우 높음까지 5등급으로 평가한다.

검토된 심각도와 발생가능성을 식 (1)과 같이 곱하면 위험요소의 위험도를 산출할 수 있다.

$$R = S \times P$$

R : risk(위험도)
 S : severity(심각도)
 P : probability(발생가능성) (1)

산출된 위험도를 Table 4의 위험평가 매트릭스에 적용하면 위험수준을 판정할 수 있다.

판정된 위험수준을 위험도 및 조치수준 매트릭스에 대입하여 Table 5와 같이 위험요소 수용 여부를 결정 후, 위험경감 조치수준을 판단한다.

위험도 수준에 따라 위험경감 또는 제거계획을 수립한 경우, 동일 절차에 따라 위험 재평가를 하고, 수용 여부를 재결정한다.

Table 2. Severity criteria

기호	심각도	판정기준	
5	매우 심각 (Catastrophic)	인적피해	10명 이상 사망자 발생
		물적피해	100억 원 이상 손실
		공항운영 제한	공항 폐쇄 또는 공항운영중단
4	위험 (Hazardous)	인적피해	1명 이상 10명 미만 사망자 발생
		물적피해	10억 원 이상 100억 원 미만
		공항운영 제한	활주로 폐쇄(24시간 이상), 유도로, 계류장 등 주요 공항시설 일부 폐쇄(72시간 이상)
3	중요 (Major)	인적피해	중상자 발생
		물적피해	1억 원 이상 10억 원 미만
		공항운영 제한	활주로 폐쇄(24시간 미만), 유도로, 계류장 등 주요 공항시설 일부 폐쇄(72시간 미만)
2	경미 (Minor)	인적피해	전치 4주 이상 경상자 발생
		물적피해	1,000만 원 이상 1억 원 미만
		공항운영 제한	항공기 운항지연(3시간 이상) 또는 항공기 운항취소
1	매우 경미 (Negligible)	인적피해	전치 4주 미만 경상자 발생
		물적피해	1,000만 원 미만
		공항운영 제한	영향 없음

(출처 : 한국공항공사, 안전관리시스템(SMS) 매뉴얼)

Table 3. Probability criteria

기호	발생가능성	판정기준
5	매우 높음 (Frequent)	1주 이내 발생이 가능할 수 있을 것으로 예상
4	높음 (Occasional)	1월 이내 발생이 가능할 수 있을 것으로 예상
3	보통 (Remote)	1년 이내 발생이 가능할 수 있을 것으로 예상
2	낮음 (Improbable)	10년 이내 발생이 가능할 수 있을 것으로 예상
1	아주 낮음 (Extremely Improbable)	10년 이내 발생이 거의 희박할 것으로 예상

(출처 : 한국공항공사, 안전관리시스템(SMS) 매뉴얼)

Table 4. Risk assessment matrix

발생 가능성 \ 심각도	심각도				
	매우심각 5	위험 4	중요 3	경미 2	매우경미 1
매우높음 (5)	매우높음 (25)	매우높음 (20)	높음 (15)	높음 (10)	보통 (5)
높음 (4)	매우높음 (20)	매우높음 (16)	높음 (12)	보통 (8)	보통 (4)
보통 (3)	높음 (15)	높음 (12)	높음 (9)	보통 (6)	낮음 (3)
낮음 (2)	높음 (10)	보통 (8)	보통 (6)	보통 (4)	낮음 (2)
아주낮음 (1)	보통 (5)	보통 (4)	낮음 (3)	낮음 (2)	낮음 (1)

(출처 : 한국공항공사, 안전관리시스템(SMS) 매뉴얼)

Table 5. Risk and action level matrix

위험도		위험 수용여부	위험경감을 위한 조치수준
25 ~ 16	매우 높음	수용 불가	해당 위험요인 즉시 제거, 제거 불가시 운영중단
15 ~ 9	높음	수용	해당 위험요인 제거, 위험요인의 즉시 제거가 어려운 경우에는 위험도가 보통 이하가 되도록 위험경감 대책을 수립 후, 조건부 사용
8 ~ 4	보통		수용 가능하나, 추가적인 위험경감대책 또는 안전조치 필요
3 ~ 1	낮음	허용 가능	조치사항 없음

(출처 : 한국공항공사, 안전관리시스템(SMS) 매뉴얼)

III. 현 황

3.1 주요 시설

3.1.1 활주로

김포국제공항의 평행활주로는 Fig. 1과 같이 2분이 있다. 이착륙 방향⁷⁾과 위치⁸⁾에 따라 14L-32R와 14R-32L이라 하며, 일반적으로 제1활주로, 제2활주로라고도 한다.

제1활주로는 Table 6에 나타난 바와 같이 길이 3,600m, 폭 45m, 갓길⁹⁾ 포함 포장면 폭은 60m이다.

- 7) 방위각을 10도로 나누고, 소수점 첫째 자리에서 반올림한 정수 두 자리로 표현.
- 8) 평행활주로 상대위치 : L(left; 좌측), R(right; 우측).
- 9) 포장면과 인접 지면 사이를 구분하기 위하여 포장면의 가장자리에 설정된 구역.



Fig. 1. Runway designations

Table 6. Major dimensions of runway

구분		규격(m)
14L-32R (제1활주로)	길이	3,600
	폭(갓길포함 폭)	45(60)
	무장애구역	120
14R-32L (제2활주로)	길이	3,200
	폭(갓길포함 폭)	60(70)
	무장애구역	120

(출처 : 항공정보 간행물(AD RKSS), 한국공항공사(김포국제공항 공항운영규정))

포장부 인접면에는 잔디가 식재되어 있다. 무장애구역¹⁰⁾은 120m 폭으로 설정되어 있다. 제2활주로는 길이 3,200m, 폭 60m, 갓길 포함 포장면 폭은 70m이다. 포장부 인접면에는 잔디가 식재되어 있다. 무장애구역은 120m 폭으로 설정되어 있다.

3.1.2 유도로

총 32분이 있으며, Fig. 2에 나타내었다. 활주로 연결 유도도로 17본, 평행유도도로 1본, 주기장 유도선¹¹⁾ 14본이다.

길이는 구간별로 상이하며, Table 7과 같이 폭은 F1을 제외하고 최소 30m 이상이며, 포장된 갓길 폭은 좌우측 각 10m로 전구간 동일하다.

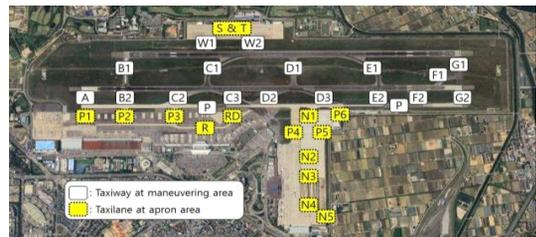


Fig. 2. Taxiway layout

- 10) 운항중인 항공기 보호를 위해 설정한 침범제한 구역. 활주로의 횡방향 기준으로 폭 설정.
- 11) 유도도로로 지정된 계류장의 일부로서 항공기 주기장진·출입만을 목적으로 설치된 것.

Table 7. Dimensions of taxiways

구분	시설	규격
폭 (갓길)	A, B2, C1, C2, C3, D2, D3, E1, E2, F2	35m(10m × 2)
	B1, D1, G1, W1, W2, P	30m(10m × 2)
	F1	23m(10m × 2)
	G2	40m(10m × 2)

주) 계류장내 주기장유도선은 별도 폭이 없음.

(출처 : 항공정보간행물(AD RKSS), 신민영(2020))

3.1.3 계류장

계류장은 Fig. 3과 같이 4개소가 있으며, 국내선 터미널의 중앙/동측계류장과 국제선 터미널의 북측계류장, 활주로 서편의 경항공기 지역인 서측계류장이다.

3.2 F급 교체공항 운영 절차

F급 항공기는 제2활주로에서만 이착륙할 수 있으며, Fig. 4에 나타내었다.

이·착륙 전후 지상이동은 동측계류장내 P1, 평행 유도도로 P, 활주로 시단과 연결된 B1, B2, G1, G2를 통해서만 가능하다¹²⁾. 제1활주로, D1, 급커브 구간을 제외한 D2, D3는 운항목적 외 지상이동시 사용할 수 있으며, Fig. 5에 빨간색으로 나타낸 바와 같이 그 유도도로는 전부 사용이 제한된다.



Fig. 3. Apron layout



Fig. 4. Runway available/unavailable for code F aircraft

12) 저시정 운영절차에도 동일하게 적용한다.



Fig. 5. Code F aircraft available/unavailable taxi route

F급 항공기는 P유도로 F2와 P6 구간에서 17kt 이하로 주행해야 하며, F급 항공기가 P유도로 주행시 Fig. 6에 표시한 바와 같이 N1 유도도로에는 어떤 항공기도 점유할 수 없다.

F급 항공기는 Fig. 7과 같이 P1과 R 일부를 통하여 121F와 123F 주기장에 진출입한다.

IV. 결과 및 고찰

4.1 수용성

본 연구의 수용성 검토는 현재 “F급 교체공항 운영 절차”에서 사용이 제한된 시설 중, 원활한 운항과 주기장 접근에 필수적인 시설을 대상으로 하였다. 활주로는 제1활주로, 유도도로는 C1, E1, F1, A, C2, C3, D2, D3, E2, F2이다. 진출입이 가능하나 속도제한, 점유제한이 있는 F2와 N1 구간의 P유도로도 검토대상에 포함하였다.

4.1.1 활주로

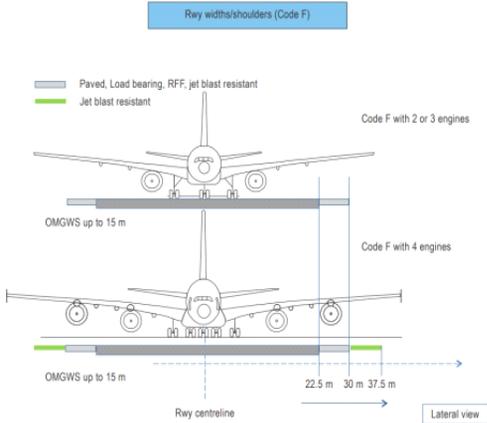
Fig. 8은 활주로의 폭을 나타낸 것으로 활주로는 폭



Fig. 6. Limitation at P between N1 and F2



Fig. 7. Code F aircraft available stands



(그림 출처 : ICAO, “DOC 9157, part-1, runway”, 2020)

Fig. 8. Runway shoulder requirement

45m, 갓길포함 폭 75m 이상이어야 한다. F급 항공기 이면서 엔진 4개 이상인 경우는 60m 폭 이상이 포장되어야 한다. 포장 외부 갓길의 표면에 대하여 국내규정에는 별도 기준이 없으나, ICAO에서는 “적절한 지지력을 갖춘 안정화된”(ICAO, 2004), 후류 저항성을 갖춘 표면으로 제시하였다.

A380 제작사인 에어버스社에서는, 영국 맨체스터공항의 사례를 들면서, 60m 폭의 포장과 “느슨한 자갈이 없는 잔디”가 설치된 활주로에서는 이물질 흡입과 후류 위험 없이 A380운항이 가능함을 설명하였다(Airbus, 2015)

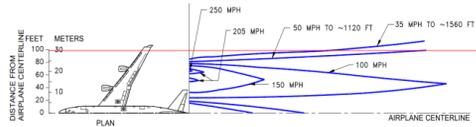
제1활주로는 폭 45m, 갓길포함 포장구역은 60m이며, 포장 외부는 잔디가 식재되어 있다. 이는 활주로 포장 기준과 그 외 갓길의 안정화 조건에 부합한다.

보충적으로, Fig. 9에 나타낸 바와 같이 B747-400 보다 B747-8의 이륙 시 후류범위가 감소함에 따라 기존 활주로시설에서 수용 가능한 것으로 확인할 수 있다.

4.1.2 무장애구역

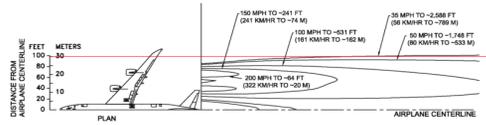
F급 항공기의 무장애구역은 활주로 중심을 기준으로 140m 폭으로 설정해야 한다. 다만, 항공기 복행기동¹³⁾시 경로를 유지할 수 있는 자동항법장치(digital avionics)를 장착한 경우 120m로 운영할 수 있다(공항시설법 시행규칙, 별표 2).

13) 착륙접근 실패 시 활주로에서 재상승하는 동작.



a. B747-400

(그림 출처 : Boeing company, “B747-400 Aircraft characteristics for airport planning”, 2023)



b. B747-8

(그림 출처 : Boeing company, “B747-8 Aircraft characteristics for airport planning”, 2023)

Fig. 9. Comparison of take-off blast velocity

B747-8 형식인증서에는 Flight Management Computer(FMC)를 포함한 Avionics가 장착되어 있음을 나타낸다(FAA, 2016). 해외의 공항안전평가에서도, 이를 근거로 B747-8의 무장애구역 축소를 승인한 사례가 있다(Guaraní International Airport, 2013). 따라서, B747-8 무장애 구역은 120m가 필요함을 확인할 수 있다.

제1활주로의 무장애구역은 E급 항공기 기준인 120m로 설정되어 있어, B747-8 운항에 적합하다고 할 수 있다.

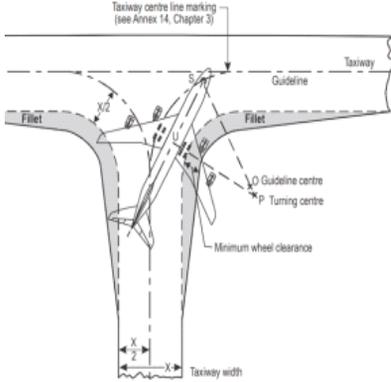
4.1.3 유도로

유도로는 Fig. 10과 같이 직선부 폭 23m이상으로 설치해야 한다. 곡선부는 항공기 조종석이 유도로 중심선을 따라 주행한다는 가정 하에 “주기어 이탈”이 발생함에 따라, 유도로 폭을 확장하여 주기어 외측부터 가장자리까지 4m¹⁴⁾ 이상 확보하도록 설치해야 한다.

유도로 실제 주행시 주기어 이탈범위 확인을 위하여 AVI PLAN 시뮬레이션을 수행한 결과, Fig. 11 및 Fig. 12와 같이 D2 유도로에서 북측방향 P 유도로 진입구간에서 약 0.25m, 제1활주로에서 G1 유도로로 향하는 F1 유도로 구간에서 약 2.39m가 기준치에 미달하는 것으로 확인되었다.

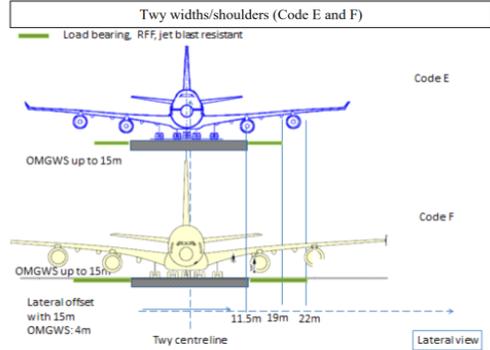
유도로는 Fig. 13과 같이 직선부에서 갓길포함 44m

14) 유도로 중심선 이탈 주행에 대한 검토결과 제시된 최소 확보거리(ICAO 9157, part 2).



(그림 출처 : ICAO, “DOC 9157, part-2, taxiway, etc.”, 2020)

Fig. 10. Concept of main gear deviation at taxiway curveside



(그림 출처 : ICAO, “Proposals for the amendment of ANNEX 14, volume I and PANS-AERODROMES”, 2017)

Fig. 13. Taxiway shoulder requirement

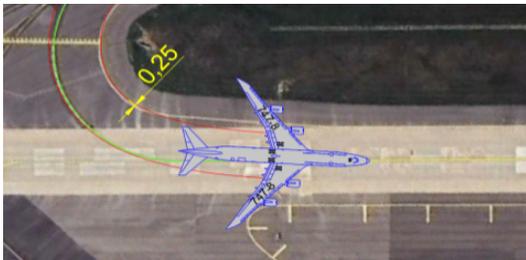


Fig. 11. Taxi simulation from D2 to north direction P



Fig. 12. Taxi simulation from 14L-32R to G1 via F1

이상의 폭으로 해야 한다. 곡선부에서도 직선부 이상의 갓길이 제공되어야 한다. 유도로 갓길 표면의 포장규정은 없으며, 엔진흡입과 후류에 의한 표면침식을 방지해야 한다. 국내 지침으로서 국토교통부 『공항·비행장설계 세부지침』 제27조에서는 “어떤 경우에는 잔디식재가 충분하나,”라는 표현이 기재되어 있다.

A380 제작사인 에어버스社에서는 프랑스 샤를드골 공항의 갓길운용을 사례로 들고 있다. Fig. 14에 보이는 바와 같이 사례공항은 22m의 폭과 편측 5m의 포장 갓길 및 잔디갓길을 A380 경로로 운영한다. 이는 활주로와 같은 맥락으로 “느슨한 자갈이 없는 잔디” 갓길의 안전성을 설명하고 있다(Airbus Company, 2015).

김포공항의 유도로는 포장 가장자리부터 10m의 포장 갓길이 설치되어 있으며, 그 인접면에는 잔디가 식재되어 있다. 따라서, 주행구간의 갓길은 관련 규정과 항공기 보호 요건을 충족하는 것으로 확인하였다.

4.1.4 이격거리

유도로 중심선과 장애물 간의 이격거리는 F급 기준 최소 51m 이상 확보해야 한다. 그러나 이 수치는 최대 항공기 1/2 날개폭인 40m에 안전거리 11m를 더한 수치로서, 일반화하였을 경우 항공기 크기의 1/2에 11m를 추가한 안전거리를 요구하고 있는 것이다. 따라서 B747-8의 절반폭은 34.2m이고, 안전거리 11m



(그림 출처 : Airbus company, “A380 airport operations”, 2016)

Fig. 14. A380 taxiway operation at CDG airport

를 더하면 최소 45.2m의 안전거리를 필요로 한다.

유도로 이격거리 검토결과, Fig. 15와 같이 P유도로의 F2와 P6구간에서는 장애물까지의 거리가 47.5m로서, 최대 F급 기준인 51m에는 미달하지만, B747-8은 최소 여유공간인 항공기로부터 11m 이상을 요구하는 규정을 충족한다.

P 유도로와 N1 유도로 중심 이격거리는 Fig. 16과 같이 신민영(2020)의 연구에서 제시한 81.5m보다 16.47m 증가한 97.97m로 나타났다. 이로써, N1 유도로에 최대 기종 점유시(E급 최대폭의 1/2 : 32.5m), B747-8 여유거리인 45.2m가 확보되는 것을 확인하였다.

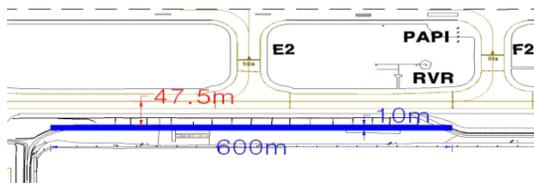
종합적으로, 항공기 운항을 위한 활주로와 무장애구역, 일부 유도로의 곡선부분을 제외한 모든 시설에서 규정 및 안전요건을 충족함을 확인하였다.

4.2 위험성

위험평가 대상은 규정미달로 확인한 D2 유도로 곡선부와, F1 유도로를 대상으로 하였다.

4.2.1 위험성평가

관련 연구에서는 유도로 포장면 부족으로 인한 상호연관된 위험요소들을 제시하고 있다. 첫번째 요소로서,



(그림 출처 : 신민영, 2020, “초대형항공기 도입에 따른 수용능력 확보방안과 경제성 연구”, 2020)

Fig. 15. Taxiway strip of taxiway P between F2 and P6



Fig. 16. Taxiway separation between P and N1

하중미달 표면에 항공기 통과 시 포장면 침식(“rutting”)이 발생할 수 있다(Guaraní International Airport, 2013). 두번째는, 부족한 지지력으로 인한 항공기 손상과 갓길 침식으로 인한 FOD 흡입이다(Navkorea, 2014).

해당 위험은 포장면 손상과 이로 인한 항공기 구조, 엔진손상까지 유발할 수 있다. 따라서, 심각도는 “위험(4)” 수준인 것으로 분석된다.

유도로 주행시 중심선 이탈 확률에 대하여, ICAO에서 제시한 관측 결과에서는 회전반경 내측으로 발생하는 이탈이 외측 이탈보다 높은 빈도를 나타내고 있다(ICAQ, 2020). B747-8의 운항횟수를 최소 연 500회라고 가정했을 때 위험의 위험 발생빈도는 “보통(3)” 수준으로 분석된다.

Table 8에 나타낸 바와 같이 심각도와 발생가능성 분석결과를 토대로한 위험수준은 “높음(12)” 수준인 것으로 분석되며, 이는 “수용” 가능하지만, “위험요인을 제거하고, 즉시제거가 어려운 경우 위험경감 대책수립 후, 조건부 사용”할 것으로 판정하였다.

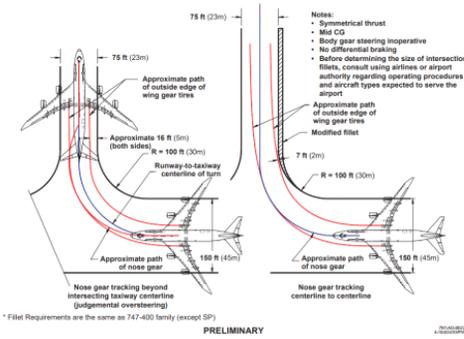
4.2.2 위험경감대책 및 재평가

대형항공기의 조종사는 유도로 곡선부 주행시, 주기어의 이탈방지를 위한 “과조종(oversteer)” 기술을 사용한다고 한다(ICAQ, 2020). 과조종 기술이라 함은, 주기어 중심을 유도로 중심에 위치시키는 조종 방법이다. 이는 Fig. 17과 같이 조종석이 유도로 중심선을 다소 지나쳐서 주행하게 되며 유도로 중심이탈범위를 상당한 수준으로 낮출 수 있다.

위험 경감대책으로서 이런 조종방법을 의무적으로 이행하도록 “절차화” 하는 것이 바람직할 것이다. 해외 다수의 공항의 절차에서도 적용 사례를 확인할 수 있으며, 미국 캘리포니아 온타리오 국제공항에서는 특정 유도로에서 과조종기술을 의무적으로 사용할 것을 명시하였다. 추가적으로, 인적오류에 의한 절차 미이행에

Table 8. Risk assessment

위험 평가			
심각도	발생가능성	위험도	수용 여부
4(위험)	3(보통)	12(높음)	수용
위험경감 조치수준	해당 위험요인 제거, 위험요인의 즉시 제거가 어려운 경우에는 위험도가 보통 이하가 되도록 위험경감 대책을 수립 후, 조건부 사용		



a. 과조종 주행 b. 일반 주행

(그림 출처 : Boeing company, "747X Airport Compatibility", 2002)

Fig. 17. Concept of judgemental oversteer and normal taxiing method

따른 위험요인 방지를 위해, 항공사에서는 B747-8 취항 시 과조종기술이 검증된 조종사에 한하여 투입해야 할 것으로 사료된다.

위험경감대책 적용 시에는 위험요소가 상당한 수준으로 감소되어 심각도는 "매우 경미(1)"한 수준으로 분석된다. 일반적인 조종관행과 조종사의 실제 절차를 고려하였을 때 발생가능성은 "낮음(2)" 수준으로 분석된다. 종합적으로, 상기 위험경감대책 수립에 따른 위험도는 Table 9에 나타난 바와 같이 "낮음(2)"로서 수용 가능하며, 추가 조치사항은 없는 것으로 분석되었다.

4.2.3 위험성 평가절차 적용

D2 유도로는 곡선부 외측으로 공간이 있어, 과조종 기술의 적용이 가능하다. 그러나 F1 유도로는 단일 경로에서 방향 변화가 생기는 경우로서 과조종 기술 적용이 어렵다. 그러나, F1 유도로는 통상의 운항경로가 아니다. 따라서, 현행의 사용제한상태로 유지하는 것이 바람직하다.

Table 9. Risk reassessment

위험경감 조치 후 위험평가			
심각도	발생가능성	위험도	수용여부
1(매우경미)	2(낮음)	2(낮음)	허용가능
위험경감 조치수준	조치사항 없음		

V. 결론

5.1 연구결과

본 연구에서는 B747-8 운영절차 도입을 위한 수용성 검토를 하였다. 공항시설은 육상비행장 분류기준에 따라 설치하는 것이 기본이지만, 확장이 어려운 기존 공항에서는 취항하고자 하는 항공기의 특성을 고려한 절차를 마련하는 것이 필요할 것이다.

검토 결과, 유도로 곡선부 공간부족으로 인한 포장면과 항공기 손상이 발생할 수 있으며, "높음" 수준의 위험도를 나타냈다. 위험경감대책으로서 조종사의 "과조종 기술의 절차화"가 검토되었으며, 절차 적용 시 위험도를 "낮음" 수준까지 경감할 수 있는 것으로 분석되었다. 결론적으로, 초기 위험평가의 "위험경감대책 수립 후, 조건부 사용"을 충족하므로, B747-8의 김포공항 취항은 가능한 것으로 판단된다.

5.2 추가 고려사항

실제 운항계획 시에는 운항중량에 따라 결정되는 활주로 길이, 이동지역 포장강도 등 시설조건 충족 여부에 대한 검토가 필요하다.

동절기에는 공항운영자의 제설계획에 따라 활주료가 운영되지만, 제1활주로를 비롯한 전체 활주로 중 일부 활주로의 폭이 완전하게 제설되지 않았을 경우, 4발기의 특성에 따라 FOD 흡입 위험요소가 있음을 고려해야 한다.

김포공항은 높은 접근성과 동시에 인근 지역사회에 대한 소음민감성을 내포하고 있다. B747-8은 B747-400에 비해 30% 적은 소음 발자국을 만들어낸다(Boeing Company, 2011). 그러나, B747-8과 같이 대형 항공기에 대한 일반적 소음 인식도에서는 차이가 없을 수 있다. 따라서, 노선별 최대 계획중량 수송 시 소음영향성에 대한 구체적인 분석을 바탕으로한 지역사회와의 소통도 필요할 것이다.

후 기

이 논문은 2024학년도 제주대학교 교원성과지원사업에 의하여 연구되었음.

References

1. Guarani International Airport, "Aeronautical

- (Safety) Study of Airfield Items for the 747-8 Operations", 2013.
2. Shin, M. Y., "A Study on Accommodating New Large Aircraft at An Existing Airport", Master's Thesis, Graduate School of Hankuk Aviation University, 2020.
 3. Jang, S. W., Lee, Y. J., and Yoo, K. E., "A case study of aircraft taxi fuel consumption prediction model(a380 Case)", Journal of Korean Society for Aviation and Aeronautics, 28(2), 2021.
 4. ICAO, "Operation of New Larger Aeroplanes at Existing Aerodromes", 2004, pp.16.
 5. Airbus company, "A380 Airport Operations", 2015, pp.15.
 6. Department of transportation, "Type certification data sheet no. A20WE", Federal Aviation Administration, 2016, pp.58.
 7. Guaraní International Airport, "Aeronautical (Safety) Study of Airfield Items for the 747-8 Operations", 2013, pp.29-34.
 8. Airbus company, "A380 Airport Operations", 2015, pp.17.
 9. Guaraní International Airport, "Aeronautical (Safety) Study of Airfield Items for the 747-8 Operations", 2013, pp.26.
 10. Navkorea, "Final report 『Cheongju Airport code F aircraft replacement airport designation promotion plan research service』", 2014, pp.95-96.
 11. ICAO, "DOC 9157, Aerodrome Design Manual fifth edition, part 2-Taxiways, Aprons and Holding bays, Appendix 4", 2020, pp.3-4.
 12. ICAO, "DOC 9157, Aerodrome Design Manual fifth edition, part 2-Taxiways, Aprons and Holding bays, Appendix 4", 2020, pp.1-24.
 13. Boeing Company, "Boeing 747-8 Receives ICAO 'Heavy' Designation for Separation", Boeing company, 2011, Available from: https://boeing.mediaroom.com/2011-09-13-Boeing-747-8-Receives-ICAO-Heavy-Designation-for-Separation?_gl=1*1w3ou-bo*_ga*Mjk0MzU2MTk5LjE3MDIyMTk1Njc.*_ga_3N2PEGZ4HD*MTcxMDc0NTQ2MS41LjEuMTcxMDc0NTkyOS4wLjAuMA.