

## 論文

## 이륙최저치 개선에 따른 경제적 효과에 관한 연구

박소희\*, 문우춘\*, 장만희\*

## A Study on Economic Effects caused by Improvement of Take-off Minima

Sohee Park\*, Woochoon Moon\* and Manheui Chang\*

## ABSTRACT

The air traffic are getting a lot of the impact of the weather delays, cancellations, etc. occur frequently. In particular, the phenomenon of global warming, extreme weather events have not experienced one after another and the various damage to users and operators are constantly occurring.

In this respect, Take-off Minima of this study are presented need for standardization of ICAO Doc 9365(All Weather Operations). And Incheon International Airport to the introduction of a comprehensive improvement process will be introduced in the future to look forward to take advantage of domestic and international airport officials. In addition, implementation of the Take-off Minima to get direct and indirect economic effects, and will be introduced.

**Key Words** : Take-off Minima(이륙기상최저치), Take-off Guidance System(이륙안내시스템), Step Down Approach(계단식 접근), Runway Visibility Range(활주로가시거리)

## 1. 서 론

ICAO Doc 9365(All Weather Operations)는 기상 악화 상황에서의 항공기 운항에 관한 기준을 제시하였다. 1991년 2차 개정판 이후 2013년 새로이 개정된 3차 개정판의 내용을 살펴보면, 이륙 기상 최저치를 기존 150m에서 공항 장비에 따라 제한적으로 75m까지 낮출 수 있도록 허용하고 있음을 알 수 있다. 그러나 여전히 이륙 기상 최저치를 설정함에 있어 항공기상의 장비는 언급하지 않아, 발전된 항공기의 성능을 반영하

지 못하고 있는 실정이다.

이에 반해 ICAO Annex 6(항공기 운항)에서는 항공기상 장비까지 고려하여, HUD(Head-Up Displays), EVS(Enhanced Vision Systems)를 장착한 항공기에 대해서는 공항의 운영 최저치 이하에서도 운항이 가능하도록 규정하고 있다.

이에 따라, 미국 및 일부 유럽국가의 공항에서는 이륙 기상 최저치에 대해 RVR(Runway Visual Range) 75~125m를 적용하고 있다.

우리나라 인천공항의 경우, 이륙최저치와 착륙최저치 값을 동일하게 규정하고 있는데 착륙최저치의 경우 CATⅢb에 해당하는 RVR 75m를 적용중이다. 이륙최저치의 경우는 첨단 지상항행시설을 기반으로 HUD, EVS, PVI (Pilot-vehicle interface) 등 TGS(Take-off Guidance System)을 장착한 항공기에 대해서는 75m를 적용하고 있다.

2014년 05월 30일 접수 ~ 2014년 06월 23일 심사완료  
논문심사일 (2014.06.09, 1차)

\* 한국항공대학교

\*\* 한국항공대학교 항공교통물류학과 교수

연락처, E-mail : wmoon@kau.ac.kr

경기도 고양시 덕양구 화전동 200-1



Fig 1. HUD(Head-Up Displays)

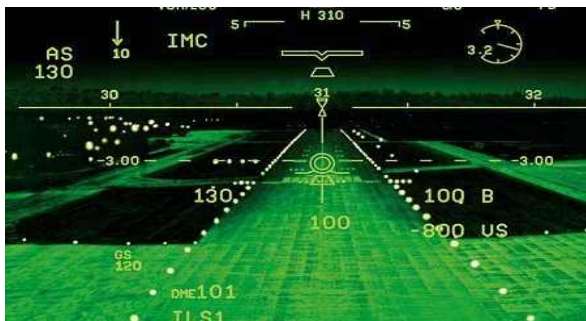


Fig 2. EVS(Enhanced Vision Systems)

인천공항에서 활용하는 PVI는 ILS(Instrument Landing System), MLS(Microwave Landing System)에서 제공되는 신호정보를 이용, 조종사에게 항공기의 이륙방향을 안내하는 장비로, 시정악화로 조종사 시야가 확보되지 않을 경우 비행기가 활주로 중앙 이탈여부를 알려주는 계기이다.

Table 1. Low visibility below RVR of 100m in Incheon international airport

	07시	08시	09시	10시	11시	평균 회수
1월	-	2	2	4	-	2
2월	2	-	5	3	8	4
3월	1	-	2	-	1	1
4월	1	2	2	1	4	2
5월	1	1	-	3	2	2
6월	-	2	-	1	-	1
7월	-	4	-	1	-	1
8월	-	-	-	1	-	-
9월	-	-	1	-	-	-
10월	-	6	-	-	-	2
11월	-	2	1	4	-	2
12월	-	-	-	2	-	1
계	5	20	13	20	15	16

(기상청, 2010)

본 연구는 항공기에 HUD, EVS, PVI 등을 장착하고 지상 항행안전시설 및 안전성을 확보할 경우 RVR 150~75m 이하에서도 이륙이 가능하도록 이륙기상 최저치에 관한 표준화된 국제기준의 수립 필요성을 제시하고 이를 통해 항공사 및 공항의 운영 효율성 증대와 항공교통 흐름 향상에 기여하고자 한다.

## 2. 본론

### 2.1 국내외 적용사례

다음에는 국내외 주요 국가 또는 공항의 적용 사례를 살펴보고 이를 통해 시사점을 도출하고자 한다.

#### 2.1.1 외국 적용사례

미국 및 유럽국가의 일부 공항(히드로, 스키폴, 취리히, 뮌헨 공항)에서는 이륙 기상 최저치에 대해 RVR 75~125m를 적용하고 있다.

Table 2. FAA standard

시설/장비	시정치
HUD, CL & HIRL	300 ft(75m)
CL & HIRL	500 ft(150m)
CL or RCLM & HIRL	1000 ft(300m)
RCLM(주간) or CL or HIRL	1000 ft(300m)

- 1) CL : Runway Centerline Lights
- 2) HIRL : High Intensity Runway Lights
- 3) RCLM : Runway Centerline Marking

Table 3. JAA(Joint Aviation Authorities) standard

시설/장비	시정치
HUD, CL & HIRL	75m~ 125m
CL, HIRL & Multi RVR	150m/200m (125m/150m)*
CL & HIRL	200m/250m
HIRL and/or RCLM	250m/300m

\* 선행조건

- 1) CL 15m 이하 간격, HIRL 60m 이하 간격
- 2) 이륙지점에서 조종사가 최소 90m 육안 시계 확보

### 2.1.2 국내 적용사례

최근 온난화 등으로 인천공항의 저시정 발생 빈도가 증가되고 있는 상황에서, ICAO는 항공기의 운항성능 발전으로 이륙보조장비 사용시 더 낮은 시정에서도 이륙이 가능하도록 Annex 6(항공기 운항)에서 제시하고 있다. 다만, ICAO Doc 9365(All Weather Operations)에서 이륙기상 최저치를 150m까지만 낮출 수 있도록 하고 있어 국가 차원에서 공항 이륙 제한 시정치를 150m만으로 낮추는 대책 마련이 요구되었다.

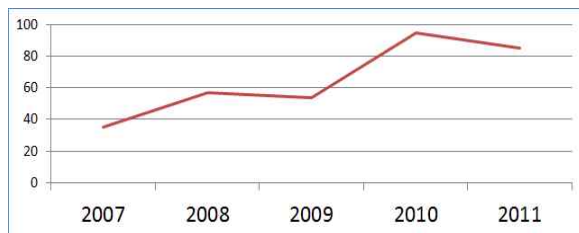


Fig 3. Frequency of low visibility in Incheon international airport

이에 범정부차원에서 다각적인 노력 끝에 2011년 인천공항의 이륙 최저치(Take-off Minima)를 다음과 같이 추진하였다.

Table 4. Improvement of take-off minima in Incheon international airport

이륙기상 최저치	공항운영 기준	적용일
RVR 200m	CAT IIIa	2001.3.29.
RVR 175m		2003.9.4.
RVR 150m		2005.12.22
RVR150m(RVR 100m)	CAT IIIb	2010.12.16
RVR150m(RVR 75m)		2011.11.17

Table 5. Incheon international airport's take-off minima

ALL RWY					
STD					
3 RVR REQ			HIRL& RCLL or RCL	Others	
	TGS*, HIRL, RCLL & RCL	HIRL, RCLL & RCL			
2 or more ENG	75m	150m**	RVR/VIS 500 m	1 or 2 ENG 3 or 4 ENG	1600m 800 m

\* With certified TGS(Takeoff Guidance System)

\*\* When mid-point RVR is not available, apply RVR 350m

Table 6. Incheon international airport's landing minima

CATAGORY		DA(DH)	A	B	C	D
CAT- I	FULL	223(200)	RVR550m VIS800m			
	ALS INOP	340(317)	1200m			
	GP INOP		1600m			
CAT- II		123(100)	300m			
CAT- IIIA		-	175m			
CAT- IIIB		-	50m			
* Circling not authorized						

이륙 최저치 개선을 위한 국내 도입과정을 살펴보면, 먼저 국토부 서항청에서는 이륙 최저치 개선에 대한 추진배경 설명 등 관계기관 협의의 주관을 주관하였다.

공항운영기관인 인천공항공사는 항행안전시설, 항공등화시설, 지상이동관제시스템(SMGCS) 및 소방구조능력 등이 시정치 개선요건에 충족여부를 점검하였으며, 항공사는 항공사별 조종사 자격여부 등 운항 가능여부 제시하였다. 기상청에서는 시정치에 관한 SPECI 전문 발효시점 조정하였다.

안전평가 대상 선정 및 평가를 시행하였는데 주로 공항시설, 우발계획, 관제운영 절차 등 제반사항에 대한 안전평가, 항공사의 운영 및 교육현황 평가에 관한 사항이다.

평가근거는 국가항공안전프로그램(고시), 항공교통안전관리시스템 운영매뉴얼(훈령), ICAO 부속서 11(ATS), Doc4444(ATM) 및 Doc9859(SMM) 이고, 평가방법은 먼저 위험요소 심각도를 다음과 분류하였다.

아울러 발생가능성을 분류하고 위험분류 매트릭스와 안전 평가 점검표(Check list) 마련하고 시행한 것으로 조사되었다.

Table 7. Severity of risk factors

심각도	하나 이상의 미치는 영향에 의한 결과
Catastrophic 사고(A)	하나 이상의 항공기 사고를 야기할 수 있는 정보나 지시를 ATC에서 발부 (조종사가 정보를 확인하거나 위험을 경감시킬 수단이 없음) 안전한 비행이나 착륙이 계속되는 것이 방해됨

Hazardous 위험(B)	활주로 보호구역 내 또는 비행중인 항공기에 갑자기, 특정한 기간 동안, 하나 이상의 섹터에서 ATC 분리업무가 완전히 제공되지 않음  공중이나 지상에서 심각한 근접 비행이 야기될 수 있는 정보나 지시가 제공됨
Major 보통(C)	활주로 보호구역 내 또는 비행중인 항공기에 갑자기, 특정한 기간 동안, 하나 이상의 섹터에서 ATC 분리업무 제공이 심각하게 저하되거나 원치 않은 상황이 발생  (예. 비상대응이 요구되거나, 관제사의 인적 오류 가능성이 증가되는 특정 업무의 증가)
Minor 경미(D)	활주로 보호구역 내 또는 비행중인 항공기에 갑자기, 특정한 기간 동안, 하나 이상의 섹터에서 ATC 분리업무 제공이 상황을 악화시킴  활주로 보호구역 바깥에 있는 지상 항공기에 갑자기, 특정기간 동안 ATC 분리업무의 제공이 심각하게 저하됨  ATS 비상지원능력이 심각하게 저하됨
Negligible 영향없음 (E)	ATC 분리업무가 항공기에 아무 영향을 미치지 않음  활주로 보호구역 바깥에 있는 지상 항공기에 ATC 분리업무 제공이 미약한 영향을 미침  ATS 비상지원능력이 미약하게 영향을 미침

(국토교통부, 2011)

## 2.2 경제적 효과 추정계획

다음은 이륙기상 최저치 개선을 통한 직·간접적인 경제적 효과를 추정하고자 한다.

### 2.2.1 직접편익

직접편익으로 항공기 연료 소모량 절감 및 저탄소 효과 제시하고자 한다. 이를 위해 먼저 연간 저시정 지속시간, 시간당 연료 소모량 및 연간 평균 운항횟수 등을 조사하고 이를 통해 연간 연료절감량 및 탄소절감량 산출한다.

여기서 연간 저시정 지속시간은 인천공항의 RVR 150m 저시정 지속데이터를 말하고, 시간당 연료소모량은 아래 표에서 제시한 기종 가운데 장거리 운항에 활용되는 B747 기종의 시간당 지상연료 소모량((Pounds/Minute)을 기준으로 삼았다.

Table 8. Taxi fuel allowance for each aircraft type

ACTP	B747	B777	A330	B767	A320	B737
Taxi Fuel Allowance (pounds /minute)	100	57	55	44	30	25
Taxi Fuel Allowance (liters /minute)	56	32	31	25	17	14

$$\text{연간연료절감량} = \text{연간운항횟수} \times \text{평균저시정시간} \times \text{시간당연료소모량} \quad (1)$$

위에 제시한 수식에 의거해서 여기서 앞서 제시한 방법에 따라, 인천공항에 이륙 기상 최저치를 개선함으로써 얻은 연간 연료 소모량을 계산해 보면 88000 파운드가 된다. 이를 근거로 전국적으로 시행할 경우를 가정하여 편익을 추정해보면, 우리나라 전국 공항의 교통량 중 인천공항의 교통량이 차지하는 비율은 39.46769%이므로 이러한 비율을 감안하여 추정해 본다면 전국으로 확대할 경우 연간 연료 절감량은 222,785 파운드가 된다. 이러한 절감량은 서울에서 제주를 왕복 약 5회 운항할 수 있는 연료량에 해당된다.

여기에 아래에 수식과 같이 국제적으로 활용되는 항공연료에 의한 이산화탄소 배출계수 3.16을 대입하여 연간 탄소절감량을 추정해 보면, 704,000파운드를 줄일 수 있을 것으로 추정할 수 있다.

$$\text{이산화탄소절감량} = \text{연료절감량} \times \text{이산화탄소배출계수} \quad (2)$$

### 2.2.2 간접편익

간접편익은 항공여행자 비행시간 단축에 편익은 교통시간가치(VOT : Value of Time)을 적용하여 화폐가치로 환산한다.

「국가통합교통체계효율화법」 제18조에 따라 교통시설개발사업의 경제·재무 종합 타당성평가를 함에 있어 근거가 되는 '교통시설 투자평가지침'에서 Deterministic Queueing 모형을 사용하

여 측정하는 것을 원칙으로 아래와 같이 연간 총 승객통행시간 감소에 여객의 시간가치를 곱하여 화폐 단위로 변환한다.

$$B = \sum i \text{ (년간 승객통행시간감소)} \times i \text{ (시간가치)} \quad i \text{ (i 는 업무 는 비업무)}$$

본 연구에서는 항공분야 연구에서 국제적으로 보다 많이 활용되고 있는 미국 TRB연구결과를 통하여 비행시간 단축에 따른 여행자의 시간가치 환산 제시하고 있는데 여기서 항공여행자의 경우 비즈니스 여객의 시간가치는 70달러/시간, 레저 여객의 시간가치는 31달러/시간이라고 제시하고 있고, 여객 비율이 비즈니스 여객 40%, 레저여객 60%라고 가정하고 이 비중을 고려하여 47달러/시간(분당 0.78달러)의 가치 환산하여 추정한다. 이를 적용하여 이륙기상 최저치 개선을 통한 간접편익을 산출하면, 개별 여행자의 시간단축 편익은 0.78\$(VOT/분)이다.

$$\text{여행자시간단축편익} = \text{단축(1분)} \times 0.78\$(VOT/\text{분}) \quad (3)$$

이를 아래와 같이 수식에 의해 인천공항 승객편익을 환산하면 2012년에 연간 24,814만원이 승객편익이 발생한 것을 알 수 있다.

$$\text{인천공항 승객편익} = a \times p \times b \times l \quad (4)$$

a : 항공기횟수  
p : 여객수(B747기준)  
b : 1인당 여객편익  
l : 평균 저시정지속시간

이를 근거로 전국적으로 시행할 경우를 가정하여 편익을 추정해보면, 62,820만원의 승객편익도 발생할 것으로 예측해 볼 수 있다.

### 3. 결론

항공교통의 특성상 항공기의 운항은 기상의 지대한 영향을 받게 된다. 그로 인해 지연, 결항 등 운항 제한상황이 빈번하게 발생하는 것이 현실이다. 특히나 시정은 항공기의 이·착륙 가능여부를 판단함에 있어 중요한 역할을 하게 되는데, 저시정으로 인한 항공기의 지연 및 결항은 서비스적인 측면과, 교통혼잡에 따른 효율성 및 안전성 측면에서 또한 경제적인 측면에서 항공이용자와 운영자에 막대한 영향을 끼치게 된다. 그러나 항공 장비의 성능 역시 유고의 세월을 거치면서 괄

목할만한 발전을 이루었고, 어느 정도의 저시정은 극복할 수 있는 수준에 이르렀다.

이러한 측면에서 본 연구는 이륙기상 최저치 기준 개선의 타당성을 제시하였다. 본 연구에서는 국내 인천공항의 이륙최저치 개선과정을 종합하여 소개하였고, 이에 따른 직·간접적인 경제적 효과까지 분석하였다. 결과를 종합해보면, 222,785파운드의 연료와 704,000파운드의 이산화탄소 배출절감에 따른 직접편익과 62,850만원의 간접편익이 발생할 수 있을 것으로 추정되었다. 이러한 결과로 볼 때, 이륙 기상 최저치를 개선할 상당한 직·간접적인 경제적 효과를 기대할 수 있고 이와 더불어 항공기의 지연 및 결항해소에 따른 효율성 및 안전성 증대와 서비스 만족도 제고 효과를 기대해 볼 수 있다. 본 연구결과가 국내외 관계자에게 이륙기상 최저치 개선의 필요성에 대한 이해와 공감대를 마련하여 첨단 운항장비와 항행시설의 도입 계획이 촉진되기를 기대해 본다.

## 후 기

“이 논문은 2013년도 ICAO 의제대응 연구과제로 수행한 연구내용을 활용하여 작성한 것임”

## 참고문헌

- 1) 국토교통부 정밀접근계기비행 운용지침 제26조(저시정 이륙)
- 2) 국토교통부 운항기술기준 제7장 항공기 계기 및 장비
- 3) 국토교통부 고시 제2009-302호 CAT-II/III 관제 및 운영절차
- 4) 국토교통부 고시 제2009-1047호 항행안전무선시설의 설치 및 기술기준
- 5) 국토교통부 고시 제2010-413호 공항안전운영기준
- 6) 국토교통부 고시 제2010-600호 비행장시설 설치기준
- 7) ICAO Doc9365 All Weather Operation
- 8) ICAO ANNEX 10 VOLUME I Radio Navigation Aids
- 9) European Guidance Material on Aerodrome Operations under Limited Visibility Conditions
- 10) JAR-OPS 41(EU-OPS 1) Subpart E Aerodrome Operating Minima
- 11) ICAO Annex 6 Operation of Aircraft