

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2023.31.2.001>
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

강하각 유지를 위한 강하율 산정 연구

이경한*, 김성엽**, 최지현***

A Study on the Calculation of the FPM for the Descent Angle

Kyung-Han Lee*, Sung-Yeob Kim**, Ji-Hun Choi***

ABSTRACT

When landing an aircraft descent-speed, wind around the airport, and regulations are important indicators for the pilot to decide whether to land in the Final Approach. In this study, in order to maintain a decent angle accessible to the airport, the pilot predicts an appropriate decent rate suitable for wind direction, wind speed, and speed to make a stable landing. To confirm this, the decent rate according to the speed and speed of wind was calculated using the information actually measured on the B737NG aircraft and compared with the theoretical figures. The purpose of this study is to ensure that the pilot can make a stable landing at a given FPM (Feet Per Minute) when a visual approach and non-normal approach is required at an airport designed with a somewhat higher descent angle.

Key Words : Continuous Descent Final Approach(연속강하 최종접근), Descent Rate(강하율), FPM(분당강하율), Stabilized Approach(안정된 강하), Visual Approach(시계접근)

I. 서 론

국내 비정밀접근을 수행하는 대표적 공항으로 사천 공항, 김해공항, 울산공항, 포항공항은 강하각이 3° 이상으로 설계되어 있고 급변풍의 영향을 많이 받는 공항이다. 이러한 공항에 최종접근시 공항 장애물, 풍향, 풍속의 영향을 고려하여 공항의 설계 강하각을 유지할 수 있는 강하율을 미리 예측할 수 있다면 조종사는 보다 안정적으로 접근 및 착륙할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 B737NG 항공기를 대상으로 강하율, 풍향, 풍속, 접근속도, 강하율을 측정하여 공항접근 설계 강하각을 준수하기 위한 강하율을 분석하였다.

II. 본 론

2.1 이론적 배경

항공기의 안정된 최종 접근은 모든 운항단계 중 가장 중요한 단계이다. 일정한 강하각을 유지한 항공기의 안정적인 접근은 항공기에 탑승한 승무원 및 승객의 안전과 편안함을 보장하며, 운항서비스의 질적 향상을 도모할 수 있기 때문이다. 뿐만 아니라, 적절한 접근 강하율을 통하여 불필요한 에너지 사용을 줄임으로서 연료 절감효과 및 탄소 배출량 감소로 국제항공 탄소배출량 감소 목표치를 달성하는 부가적인 효과도 거둘 수 있다.¹⁾ 계기 정밀접근절차 시설이 없는 일부 지방공항 및 동남아 공항에서의 적절한 강하율을 유지하지 못하여 CFIT(Controlled Flight Into Terrain)사고로 이어지는 사례가 다수 있다.

Received: 14. Jan. 2023, Revised: 10. Mar. 2023,

Accepted: 29. Mar. 2023

* 한서대학교 항공운항관리학과 박사과정

** 한국항공대학교 항공운항관리학과 박사과정

*** 진에어 기장, 한서대학교 항공운항관리학 박사

연락처 E-mail : satbq@naver.com

연락처 주소 : 경기도 고양시 덕양구 항공대학로 76, 403호

1) ICAO, "Environmental Protection CORSIA (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation)".

그리고 시계접근을 수행하는 공항에서는 ILS와 같은 신뢰할 정보가 없어, 여러가지 환경변수를 확인해야 되는 조종사들의 Workload가 증가하며, 잦은 실수를 범하기도 한다.

본 연구의 목적은 항공기가 시계접근시 안정적인 접근을 수행하기 위한 적정 강하율을 선정하는 참조 데이터를 제공하는 것이며, 조종사가 보다 최종접근 구간에서 올바른 조작을 신속하게 수행할 수 있도록 돕는 것이다.

항공기가 안정된 항공기 강하율을 유지하기 위해서는 여러 가지 환경적 요소들을 고려해야 한다. 이러한 것들 중 강하각 판단에 가장 영향을 미치는 요소로, 항공기 속도, 바람의 방향, 바람의 강도에 따는 변수를 가지고 안정된 강하각을 찾고자 한다.

상기의 고려요소를 가지고 기존의 시계접근 절차와 CDFA(Continuous Descent Final Approach)²⁾의 이론 및 각 항공사의 안정된 접근 절차(Stabilized Approach)³⁾ 정책을 본 연구를 이해하는 데 필요한 개념이다. 국토교통부 예규 제315호 비행절차 설계요령(Table 1)에서 최적강하율이란, 운항상 선회되는 강하율이라고 지칭하고 최적강하율을 초과 할 시 장애물회피 요건을 만족시키는 대체수단이 현실적으로 불가능한 경우에만 가능하다고 되어 있다. 또한 최고 경사도는 절대로 초과 할 수 없다고 명시되어 있다. 그리고 최적 및 최대 강하율은 절차 유형과 접근 구간에 따라 지정되고, 절차구축에 사용된 강하율은 고시하게 되어 있다. 이와 같이 고시된 내용을 확인해 보면 안정된 착륙을 하기 위한 강하각은 통상 3°로 되어 있고 강하율은 1,000FPM 이내로 유지하게 권고되어 있다.

Table 1. Speed for procedure calculation

항공기 범주	속도(V_{at})	첫 접근 속도범위	최종접근 속도범위	선회 접근 최고 속도	실패접근 최고속도	
					중간	최종
A	<91	90-150	70-100	100	100	110
B	91-120	120/180	85-130	135	130	150
C	121-140	160-240	115-160	180	160	240
D	141-165	185-250	130-185	205	185	265
E	166-210	185-250	155-230	240	230	275

(출처: 국토교통부예규 제315호, “비행절차설계요령”)

2) ICAO, “DOC 9365 4.5.3 Continue Descent Final Approach”.

3) Jinair, “Flight Operation Manual”, 2020, 6.7.1 (Approach Stabilization).

본 연구자들은 정밀접근시설인 ILS(Instrument Landing System), MLS(Microwave Landing System) 등이 없어 비정밀접근 및 시계접근을 하여야만 하는 공항에서의 안전한 항공기 접근을 위하여 국내 LCC(Low Cost Carrier)에서 가장 많이 운항하고 있는 B737NG 항공기의 적절한 강하각을 계산하여 안전한 항공기 운항에 기여하고자 한다.

2.2 선행연구 검토

항공기의 안정된 접근에 대한 연구논문은 다양한 주제의 형태로 작성되었다.

Chang(2016)은 인천공항의 도착항공기의 안전 및 효율 향상을 위한 연속 강하접근절차를 통해 표준접근절차(Standard Instrument Arrival) 및 최종접근지점(Final Approach FIX)이나, 계기착륙시설(Instrument Landing System)과 같은 착륙 유도시스템에 적용시켜 저고도에서 수평비행구간이나 타항적과의 거리분리를 위한 기동을 최소화하여 안전하고 효율적인 접근을 연구하였다. 또한 표준계기접근절차를 디자인할 때의 강하각을 2°에서 3.3°보다 완만한 경사로 디자인하여 항공기별 착륙외장에 적합한 속도로 감속할 여력을 제공하여, 안정된 접근을 할 수 있도록 하고 있다. 그리고 B737-800기종의 CDFA 접근을 계획할 시 대략 300ft/Nm의 수직경로, 3° 강하를 계획할 것을 추천하는 연구를 하였다. 하지만 인천공항에 한정하여 연구함으로써 비정밀접근 및 시계접근 공항에 연구결과를 적용하기에는 제한사항이 있다.

Lee(2009)는 항공기 운항 구간 중 한 구간인 강하구간에 대하여 연구하였다. 이 연구에서는 강하 구간이 어떤 구간이고 어떤 특이성을 가지고 있는지, 그리고 강하 구간에 대한 이론적 설명과 개념, 용어 정리, 강하 방법, 그리고 조종사마다 상이한 강하 방법에 대한 이유와 종류를 설명하고 있다. 하지만 이 연구는 강하구간에서의 효율적인 연료관리에 중점을 두고 있어 시계접근시 안정된 접근각을 찾기에는 보충 연구가 더 필요할 것이다.

Park(2015)의 연구는 CDO(Continuous Descent Operations)의 기술 동향 및 국내공항 확대적용의 효과에 대한 연구이다.

이 연구는 ASBU(Aviation System Block Upgrade)의 성능개선영역 4가지(Table 2) 중 하나인 CDO에 대하

Table 2. ASBU efficient flight paths

항목	주요 내용	비고
CDO	수평비행 구간 최소화	
TBO	항공기의 4D 궤적기반 항공기 위치 예측	
CCO	항공기 성능에 맞는 연속상승 운영절차	
RPAS	원격 조종 항공기 운영	

여 살펴보았다. 연구의 사례로서 로스앤젤레스 공항과 샌프란시스코 공항의 CDO 사례를 바탕으로 증가하는 항공교통량을 효율적으로 사용하기 위한 방법을 연구하였다.

이 연구는 최적화된 고도 강하 계획은 적절한 속도와 자세로 목적공항에 착륙하도록 계산하여 수행하며, 강하율은 추력과 항력, 속도와 항공기의 무게에 따라 달라지지만, 일반적으로 고도 강하 거리는 무풍에서 경제속도(ECON Speed)를 사용하여 1,000ft 당 3NM 가량으로 계산할 수 있다고 말하고 있다.

사례를 바탕으로 이상적인 고도강하로 우리나라 인천공항, 김포공항, 제주공항, 김해공항에 적용시 연료절감 및 탄소배출량 저감의 환경적 효과 두가지로 기대할 수 있다. 하지만 이 연구는 일부 사례소개에 한정되어 있는 점, 강하단계에서의 연료절감 및 탄소배출량 저감, 소음감소, 조종사와 관제사의 업무량 감소에 중점을 두었다는 점에서 한계가 있다.

2.3 용어의 의미

2.3.1 비행에서의 강하율

강하율은 Feet Per Minute로 1분당 변화되는 고도의 값을 ft로 표현한 것으로 정의되어 있다.

조종사에게 있어서는 주어진 각도를 유지하고 있는지 여부를 기체의 자세등으로 확인할 수 없고, 항공기의 장비들 역시 바람에 따라 속도 및 자세의 변화가 유동적이어서 즉각적인 각도 표현에 어려움이 있다. 그래서 조종사는 단위시간(1분)당 변화되는 고도의 변화로 상승 및 강하 각도의 유지 여부를 판단한다. 이는 항공기 속도에 따라 적절한 강하각을 유지하기 위한 강하율이 상이하여 착륙이 가능한 조건임에도 안전을 위하여 착륙을 포기하는 상황도 발생된다.

통상 1분에 1NM을 이동하는 비행에서 300FPM은 3도 각도로 인지하지만 이는 외부 바람과 속도에 따라 가변적이고 변화되는 요소를 조종사가 암산으로 FPM

을 산출하는 것은 불가능하여 경험치 또는 주어진 제작사 Table의 값에 의존하여 접근을 하고 있다.

접근절차상에서 가장 적합한 강하율은 4.0%, 최대 강하율은 8.0%까지 허용⁴⁾하고 있다. 이는 강하각으로 환산하면 2.29°~4.57°에 해당하는 값이다.

2.3.2 비행에서의 바람

이륙 또는 순항 중에는 바람에 의한 속도의 변화를 고려하지 않고 주어진 상황에서의 최대속도 또는 경제속도 설정하고 비행을 하면 된다. 하지만 착륙단계에서는 양력이 유지되는 범위 내에서 낮은 속도로 비행하는 것이 안전운항에 도움이 되기에 바람의 영향에 민감하다.

실 비행에서 측정된 자료를 기반으로 IAS(Indicated Air Speed)와 GS(Ground Speed)를 비교하여 보면 항공기와 정대한 바람 세기에 따라 GS가 선형적으로 변하고 있다.

Fig. 1을 보면 정풍보다는 배풍에서 IAS와 GS의 차이가 적어진다. 이는 착륙단계에서 배풍으로 인한 양력실손을 보존하기 위한 항공기의 행위로 인한 것이다. 즉, 고양력 장치인 Flap을 통해 날개의 표면적을 넓게 하여 속도의 증속 없이 깊은각(3°) 접근을 가능하게 하여 안정된 강하각 유지 및 CDFA를 달성할 수 있다.

2.3.3 비행에서의 착륙각도

순항구간에서 항공기는 풍향의 영향으로 풍속만큼 빨리 이동을 할 수 있어 경제적이나 이륙시에는 날개에 필요한 양력 확보가 어렵고, 착륙시에는 적절한 강하각을 유지하는 데 어려움이 있어 정풍을 선호한다. 하지만 공항의 상황에 따라 정풍을 확보하지 못하고 부득이하게 배풍으로 착륙해야 될 경우에는 주어진 착륙각도를 유지 하기 위하여 조종사의 많은 노력이 필요하다.

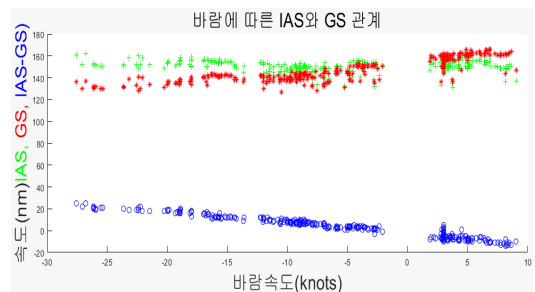


Fig. 1. Changes in GS according to wind

4) 국토교통부예규 제315호, “비행절차설계요령”, 2021.05.31., 제Ⅲ부-제2절-제3장 3.2.3(강하율).

강하각 3°로 권고된 활주로에 착륙시 배풍의 세기에 따라 조종사가 설정하는 강하율이 커질 것이다.

조종사 입장에서는 최대한 낮은 속도로 강하하기를 원할 것이나 항공기의 중량과 기종에 따라 유지해야 되는 속도가 있고 항공기의 속도에 따라 강하각 3°를 유지하기 위한 강하율을 산출하여 보면 130knots에서 690FPM, 최대강하율 1,000FPM에 해당하는 속도는 189knots가 된다. 이는 역설적으로 강하각 3°의 활주로는 배풍을 고려, 실제 항공기의 속도가 189knots 이 내이면 착륙이 가능하다는 것이다.

공항 및 기종, 하중에 따라 다소 차이는 있지만 접근 단계에서 통상 140knots 전후의 속도로 착륙한다면 단순 계산으로는 배풍 49knots까지 착륙이 가능하다.

2.4 분석내용

2.4.1 실측자료와의 비교

Fig. 2에서 실 비행자료를 기반으로 강하각 3°에 대한 GS별 FPM을 살펴보면 GS의 상승에 따라 일정한 비율로 FPM이 상승하고 있다.

Fig. 3에서 강하각 3°의 실측된 강하율과 무풍기준의 제시된 FPM에 따른 차이를 보면 6.2ft/knots와 5.3ft/knots로 150knots로 비행시 FPM의 차이가 135ft가 발생된다. 이는 바람과 같은 외부요소로 인한 차이로 인한 것이다.

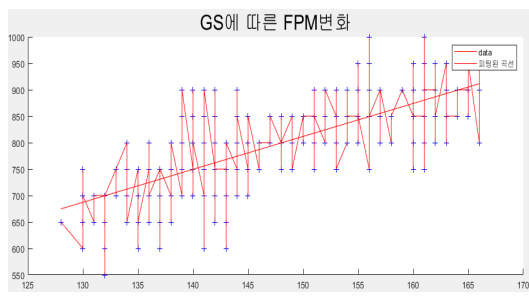
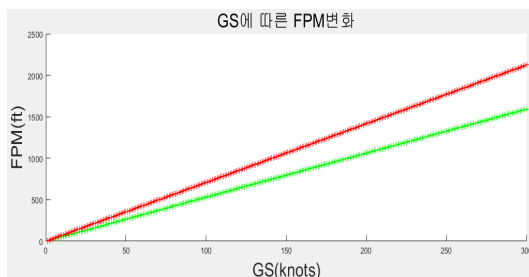


Fig. 2. FPM changes with real data-driven speed



적색선: 실측된 강하율, 녹색선: 계산된 강하율
Fig. 3. FPM change with speed

또한 측정된 FPM과 무풍기준의 FPM값과의 차이에 대한 분포를 확인하면 Fig. 4와 같이 $N(0.02, 54^2)$ 의 정규화된 형태를 보인다. 이를 통해 실 측정 자료에 대한 측정 신뢰도를 확보하여 강하율의 차이가 측정에 따른 오류 가능성보다는 외부요소에 의한 것임을 확인할 수 있다.

이와 같은 분석을 기반으로 조종사의 최고 관심사인 바람에 따라 FPM의 값이 정비례한다는 것을 강하각 3°인 공항에서의 실측자료로 변화를 확인할 수 있다(Fig. 5).

2.4.2 FPM에 따른 착륙가능 조건

강하율 1,000FPM을 넘으면 착륙할 수 없다는 통상적인 조건하에 강하각과 속도로 강하율을 확인하면 항공기의 GS가 140knots 일때는 강하각 4° 이내인 곳은 착륙이 가능하지만 배풍등의 영향으로 이보다 GS가 높아져 150knots가 되면 강하각 3.6° 이내인 곳에서 착륙이 가능하다(Table 3).

2.4.3 강하율 산정결과 분석

Fig. 6은 바람의 영향에 따른 IAS와 GS의 실측치로 정풍에서는 IAS보다 낮은 GS가, 배풍에서는 IAS보다 높은 GS가 나타났고, 다소 높은 배풍에서 GS의 변화가 안정적이지 않음을 보였다. 이는 양력손실을 보전하기

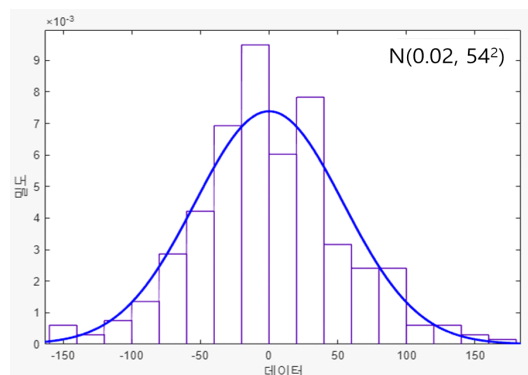


Fig. 4. Normality of FPM change

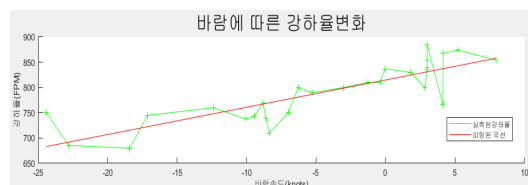


Fig. 5. Variation of descent rate with wind-induced

Table 3. FPM according to speed and angle of descent

GS (knots)	강하율(FPM)					
	3°	3.2°	3.4°	3.6°	3.8°	4°
120	637	679	722	765	807	850
125	663	708	752	796	841	885
130	690	736	782	828	874	921
135	716	764	812	860	908	956
140	743	793	842	892	942	991
145	770	821	872	924	975	1027
150	796	849	902	956	1009	1062
155	823	878	933	988	1043	1098
160	849	906	963	1019	1076	1133
165	876	934	993	1051	1110	1168
170	902	963	1023	1083	1143	1204
175	929	991	1053	1115	1177	1239
180	955	1019	1083	1147	1211	1275
185	982	1047	1113	1179	1244	1310
190	1008	1076	1143	1211	1278	1345
195	1035	1104	1173	1242	1312	1381
200	1061	1132	1203	1274	1345	1416

III. 결 론

국내 공항 및 해외 공항을 운항노선을 살펴보면, 비정밀접근과 시계접근이 요구되는 상황이 발생한다.

특히 국내의 울산, 포항공항은 활주로 길이가 6,000FT에 불과하여 B737-800 기종의 항공기 운항조건이 불리하며 지형환경의 영향으로 급변풍 및 장애물에 의한 위해 요인이 산재하다. 조종사는 이러한 조건내에 항공기의 안전한 접근을 위하여 적절한 조작을 수행하며 가장 중요한 요소가 강하율 산정이다. 최근에는 RNP AR APP로 항공기의 안정된 접근을 수행하고자 간접적인 방법이 강구되고 있으나 RNP AR은 최종접근단계에서 장애물 회피 보장을 제공하지 못하며 접근 강하각이 높게 설계되어 있어 항공기의 착륙단계에서 위험도가 증가된다. 이를 해결하기 위한 안전의 보루는 결국 조종사의 역량에 달려 있다.

이 연구는 이러한 안전관리시스템(Safety Management System) 측면에서 특수공항 접근시 위해요인을 해결하기 위한 방안으로 첫째, 시계접근방법(Visual Approach)으로 접근시 안전성을 높이기 위해 CDF A 방식의 접근 방법을 개발하여 적용하는 방안을 제안한다. 둘째, 공항의 정밀접근과 비정밀접근이 가능한 항행안전시설 설치를 지원하는 방안을 제시한다. 이 방안은 RNAV Approach로 CDF A 방식을 적용하는 방안으로 공항의 장애물과 지형의 안전고도를 확보함으로써 Stabilized Approach가 가능하도록 하는 최적의 설계 및 운영 방안이 될 것이다. 그리고 조종사 입장에서 주어진 조건내 안정적인 GS를 유지할 수 있다면 다소 높은 FPM에서도 공항의 허용된 접근 강하각 기준 내임을 예측함으로써, 여러비행 조건을 확인하는 조종사의 업무량을 감소시켜 인적 실수를 방지하고 항공기의 안정된 접근을 수행하는데 유용할 것이다.

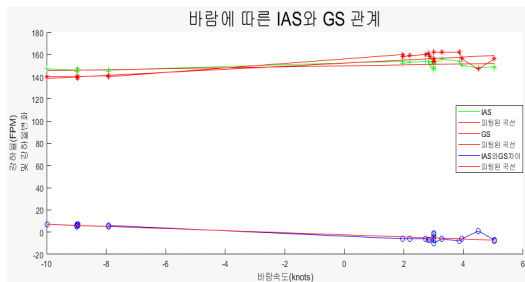


Fig. 6. The relationship between IAS and GS according to the wind

위한 항공기의 움직임으로 배풍에서 많은 변화 요소가 있음을 유추할 수 있다. 이는 공항 접근시 140knots 이상, 3.5° 이상의 강하각에서 배풍을 받게 되면 1000FPM 이상의 강하율이 요구되므로 각별한 주의가 필요하다는 논지와 일치되는 것으로, 조종사는 공항 접근 강하각을 유지하기 위해서 강하율을 변경하는데 1,000FPM 이상일 경우 안정된 접근(Stabilized Approach)을 위한 운항 정 책에 의거 복행을 염두해 두어야 한다.

References

1. Song, B. H., "A study on the approach methods with a constant vertical speed for diminution of CFIT accidents in non-precision approach", Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics, 13(4), 2005, pp.43-57.
2. IATA, "Controlled Flight into Terrain Accident Analysis Report 2008-2017 Data", Inter-

- national Air Transport Association, 2018, pp.1-34.
3. Chang, J. H., "A study on proposed STAR procedure of Incheon International Airport considering safety and efficiency", *Journal of Advanced Navigation Technology*, 20(4), 2016, pp.292-297.
 4. Lee, S. Y., "A study on the fuel efficient decent on aircraft descent phrase", M.S. Thesis, Korea Aerospace University, Goyang, Korea, Feb 2009.
 5. Park, T. H., "A study on technical trends of continuous descent operations and effects of extended CDO for Korean domestic airports", *Journal of Korean Aviation Management Association*, 2015, pp.68-77.
 6. Lee, C. S., "An analysis on the utilization of STAR (Standard Terminal Arrival Route) and CDO (Continuous Descent Operation) flight ratio in the domestic airport", *Journal of Korean Aviation Management Association*, 30(4), 2022, pp.132-144.