

## 論文

## 연속강하접근 도입에 따른 항공사의 경제적 효과에 관한 연구

박선래\*, 문우춘\*

### A Study on Economic Effects of Airlines caused by introduction of Continuous Descent Approach

Sun-Rae Park\*, Woochoon Moon\*

#### ABSTRACT

The procedures of Continuous Descent Approach(CDA) is designed to minimize the thrust required during landing, thereby reducing fuel consumption, noise and emissions compared to conventional approach procedures. Widespread implementation of CDA would result in significant reductions in the environmental impact and aircraft operation costs.

This paper estimated the possible economic effects from the perspective of airliners through cost-benefit analysis, provided that the CDA is introduced. It is now proposed that a more comprehensive analysis model, which includes the reduced ATC communication burden between controllers and pilots, not to mention the economic aspect, should be established for the improvement.

**Key Word** : Continuos Descent Approach(연속강하접근), Step Down Approach(계단식 접근), Top Of Descent(강하시작고도)

#### 1 서론

전 세계의 민간 항공업계는 급격히 증가하고 있는 항공수요와 그에 따른 항공분야의 발전에 따라 전 세계는 일일 생활권에 속하게 되었다. 항공운송산업은 국가의 사회, 경제, 문화 교류를 촉진하고 있으나 급속한 증가로 인한 공역 및 항로상에서의 교통 혼잡을 발생시키고 있다. 또한, 항공운송산업은 유가 및 환율 등락과 경기 변동에 대해 민감도가 높으며, 지난 2008년~2009년 유가와 환율 급등, 글로벌 경기침체의 영향으로 영업손실과 대규모 외환손실을 경험하였다.

최근 전 세계적으로 지구온난화에 대한 관심이 고조되면서 온실가스 배출 억제를 통해 지구 온난화를 방지하는 일환으로 항공부문 배출가스 감축에 대한 논의가 한창 진행되고 있다. 이를 대비하여 국토해양부는 친환경적이고 지속가능한 발전을 위해 다양한 방안을 추진하고 있는데 이중 연속강하접근(CDA: Continuous Descent Approach)이라는 새로운 비행 방식을 국내 주요공항에 도입하여 항공기 연료 소모와 소음, 환경오염물질의 감축을 추진하고 있다. 연속강하접근의 효과를 극대화하기 위해서는 기존의 계단식 접근(Step Down Approach)과 달리 항공기의 침단항법시스템을 이용하여 항공기 성능에 맞춰 TO D(Top Of Descent, 강하가 시작되는 고도) 지점부터 연속적으로 강하가 요구되나, 실제 비행에 있어서는 공역의 혼잡과 각종 제한 사항으로 TO D로부터 연속적인 강하보다는 일정 부분 수평비행이 불가피한 것이 현실이다. 따라서 연속강하

2011년 5월 2일 접수 ~ 2011년 6월 17일 심사완료

\* 한국항공대학교

교신저자, E-mail : airmoon@korea.kr

경기도 고양시 덕양구 화전동 200-1

접근 시행으로 기대되는 항공사의 경제적 효과는 이론적인 기대치와는 다소 차이가 있을 것으로 예상된다. 연속강하접근 방식 도입을 촉진하고 최적의 경제적 효과를 실현하기 위해 먼저, 실제 연속강하접근 비행방식을 조사하여 최적의 비행방식과의 차이점을 제시하고 그 원인과 개선방안을 함께 모색하는 노력이 필요할 것이다. 본 연구에서는 연속강하접근에 관한 이론적 연구를 실시하고 전문가를 대상으로 설문 조사를 통해 실제에 근접한 연속강하비행 방식을 조사하고 이를 바탕으로 항공사에서 기대되는 효과를 산출하고자 한다. 이를 통해 우리나라 주요 공항에서 연속강하접근의 시행에 따라 기대되는 항공사의 경제적 기대치를 보다 면밀하게 추정, 제시함으로써 최적의 연속강하접근 방식 도입과 확대 시행에 기여하고자 한다.

## 2 본론

### 2.1 연속강하접근에 대한 문헌 고찰

연속강하접근은 항공기 소음, 배출가스 발생 및 연료소모가 가장 많은 수평비행구간을 최첨단 항법 장비를 활용, 착륙지점까지 가장 최적의 하강 각도로 비행하여 항공기 소음, 조종사와 관제사 통신 및 연료사용 등을 감소시키는 동시에 안전, 비행에 측 및 공역 수용량을 증가할 수 있는 방안으로 제시되고 있다.

연속강하접근은 STAR, RNAV/RNP가 가능한 공항에서 시행이 가능하고 항공기는 최소한 RNAV기능을 수행할 수 있는 FMS를 탑재해야한다. 최적의 연속강하접근은 TOD로부터 시작하여 IAF(Initial Approach Fix)와 FAF(Final Approach Fix)를 지나 공항에 착륙하기까지의 모든 과정을 의미한다. 최적의 수직 경로 각도는 항공기 유형, 실제 중량, 바람, 온도, 대기압, 결빙 상태 등에 따라 달라진다. (김진호, 2010)

연속강하접근 절차를 이용하여 최적화된 계기 접근 방식을 살펴보면 항공기가 강하를 시작할 수 있는 최고 한계(Top limit)와 최저 한계(Bottom limit)이 정해져 있다. 최고 한계(Top limit)는 대부분의 항공기가 착륙공항의 활주로 말단으로부터 350ft/NM로 강하할 때 충분한 공간을 확보할 수 있는 경사도이고 최저 한계(Bottom limit)는 그보다 작은 200ft/NM이다.

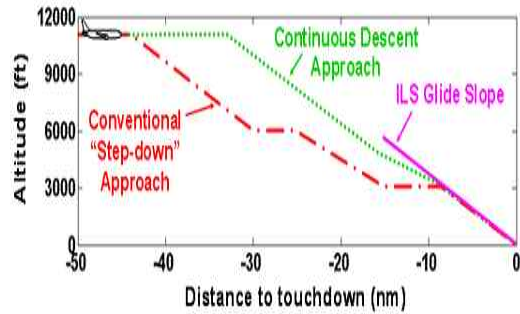
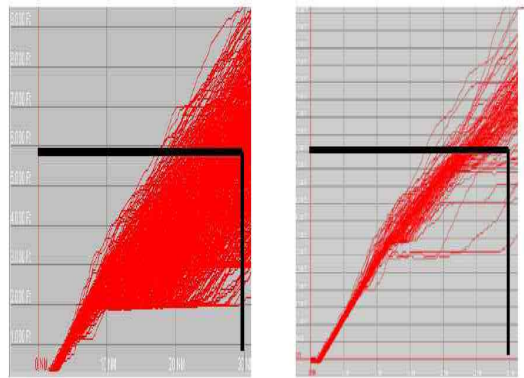


Fig 1. 계단식(Step down)과 연속강하(Continuous Descent) 접근방식 비교



자료 : Continuous Descent Operation Manual (ICAO Doc 9931)  
 가로: 활주로 종단-30NM, 세로: 공항표고-10,000ft

Fig 2. 계단식접근(Step down)과 연속강하접근의 실제 항공기 궤적 비교

예를 들어 해발고도 200ft에 위치한 활주로에서 100NM 떨어진 지점부터 항공기가 강하를 시작한다고 할 때 다음과 같은 식을 적용하여 최고 한계(Top limit)의 고도를 35,200ft MSL라 정할 수 있다.(ICAO, 2010)

- $$(100 \text{ NM} \times 350 \text{ ft/NM}) + 200\text{ft}' (\text{runway elevation}) = 35,200\text{ft}' \text{ MSL}$$

Table 1은 항공기 모형변형(Configuration)에 따른 각 비행단계별 연료소모량을 비교한 것으로 현재 우리나라 운송용으로 등록된 대표적인 항공기인 B737-700기종의 2개 엔진 연료 소모량이다.(Boeing, 2010) 이를 통해 연속강하접근시보

다 계단식 접근시에 항력이 증가하고 플랩(Flap) 각도가 커지는 수평 비행 시에도 항력이 증가하여 많은 연료가 소모됨을 알 수 있다.

Table 1. 연속강하접근과 step down비교

종류	조건	lb/hr	편차
연속강하접근(CDA)	Power Idle descent N2 = 62.3%	1,280	-
계단식 접근(Step Down Approach)	Level+210kt+flaps up	4,780	3.7배
	Level+200kt+flaps 1	4,910	3.8배
	Level+180kt+flaps 5	5,050	4.0배
	Level+170kt+flaps 10	5,690	4.4배
	Level+160kt+flap 15	6,990	5.5배

자료 : Boeing 737-700 technical guide and manual

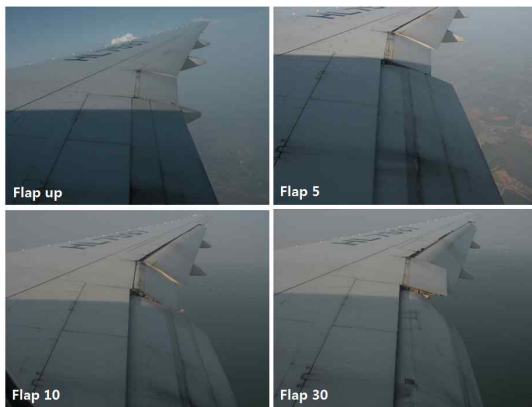


Fig 3. 플랩 사용량에 따른 변화

## 2.2 국내의 적용사례

2010년 8월 방콕에서 열렸던 RASMAG/13에 의하면 ICAO는 체약국들에게 연속강하운항의 참여와 활용을 위해 각 \$16,000를 지원할 것을 제시하였고 미연방항공국(FAA)과 Airbus사 Jeppesen사 등은 자발적으로 연속강하운항 절차를 개발하기 위한 소프트웨어 및 하드웨어 장비와 자금을 지원하고 비행절차를 개발하는데 주력 하고 있다. (ICAO, 2010). 다음에는 우리나라와 주요 국가의 적용사례를 제시하고자 한다.

### 2.2.1 국내 적용사례

연속강하접근(CDA)이라는 새로운 비행 방식을 국내 주요공항에 도입하여 항공기 연료 소모와 소음, 환경오염물질의 감축을 추진하고 있다.

우리나라가 친환경비행절차라고 할 수 있는 연속강하접근을 도입한 것은 아시아태평양항공사연합(APPA) 등과 연속강하접근 아시아 프로젝트를 수행하기 위해 2007년월부터 2008년 6월까지 8개월에 걸쳐 김포공항에서 시범 운용하였으며, 대부분의 우리나라 운송용 항공기가 인공위성 및 자체 탑재장비를 사용하여 연속강하접근 절차 수행이 가능하므로 현재 이 절차를 전국공항으로 확대를 추진하고 있다.

또한, 비정밀접근(NPA)은 기상 영향이 많이 받으며, 조종사가 항공기 정상 제어상태 중 장애물과 충돌직전까지 이를 인지 못하고 비행하여 일어나는 사고인 CFIT(Controlled Flight Into Terrain) 유발 등 비행안전 확보에 문제점을 해소하고자 비정밀접근 방식 착륙에 의존하는 모든 활주로에 APV(Approach Procedure with Vertical guidance)를 도입하여 비행안전도를 개선할 계획에 있다. (국토해양부, 2010)

이러한 절차의 도입에 따라 김포공항의 경우 항공기 연료소모량이 약 6백 84kg(43억원)과 이산화탄소는 2천 2백만kg 절감 등의 효과를 기대할 것으로 발표되어 이를 지속적으로 추진할 경우 급속도로 발전하는 항공수요로 인해 발생하는 부정적인 요소인 운송비 증가와 환경피해를 막을 수 있을 것으로 기대하고 있다. (서울지방항공청, 2007)

### 2.2.2 미국 적용사례

미연방항공청과 보잉에 따르면 CDA의 테스트에 결과, 연료 파운드의 수백만을 저장할 수 있으며 파운드의 수백만에 의해 대기의 이산화탄소 배출량을 줄일 수 있다고 제시하고 있다.

미국의 로스엔젤레스공항(LAX)은 CDA를 2008년 8월 25일부터 단계적으로 시행하여 현재 모든 시간대에 적용한 결과 로스엔젤레스공항(LAX)도 착 교통량의 50%가 연속강하운항 도착절차인 R1V2/SEAVU2/OLDEE1를 이용해 공항에 착륙하고 있으며 하루 평균 300-400대, 현재까지 100,000대 이상 항공기가 혜택을 보고 있다. 그 효과를 분석한 결과 항공관제 무선통신량의 50%가 줄었고 항공기 연료소모량 감소와 CO2 배출량 감소의 축정은 앞으로 풀어야할 숙제로 남아 있다고 제시하였다. (Aviation Journal, 2009)

2009년에 미연방항공청에서 로스엔젤레스공항을 대상으로 실험한 결과에는 경제적 효과를 보다 구체적으로 제시하고 있는데, 연속강하접근 방식이 매년 연료 1백만갤런(약 18백만파운드)의 이산화탄소 배출량을 절감하는 것으로 발표하였다. 보잉이 샌프란시스코공항에서 연속강하접근에 대해 실험한 결과, 연간 연료 1백10만파운드와 이산화탄소 3백60만파운드의 배출을 절감하는 것으로 제시하고 있다. 미연방항공청과 보잉은 유럽연합(EU)이 2012년에 시행할 항공분야 배출가스 규제에 대비하여 배출가스 절감을 위해 연속강하접근 등의 방안을 적극적으로 시행할 계획임을 밝히고 있다.(AVwebFlash, 2009)

### 2.2.3 유럽 적용사례

EU는 연속강하접근이 항공교통관리를 지속 가능한 발전을 하는 하나의 방안으로 선정하고 유럽 전역의 연료와 배출가스 절감과 소음감소 절차로 도입하고 있다. EU내 루마니아 부카레스트, 영국 맨체스터와 스웨덴 스톡홀름의 세 공항을 대상으로 연속강하접근을 시행한 결과에 따르면, 접근당 약 200kg(4백40파운드)의 연료절감과 이산화탄소의 배출을 약 630kg 절감하는 것으로 제시하고 있다. (Air Transport, 2006)

영국의 경우 주요 공항에서 항공교통관제국이 항공기에게 거리를 제공하고 조종사가 항공기의 하강 속도를 계산하여 지속적인 강하 접근을 수행하고 있다. (AVwebFlash, 2009)

## 2.3 연구방법 및 절차

### 2.3.1 조종사 비행형태 조사

표본선정 및 자료수집은 연속강하접근 중 조종사의 비행형태를 살펴보기 위해 항공운항업무 종사자를 연구대상으로 선정하여 비행형태에 대한 설문조사를 실시하였다. 현재 조종사는 양대 정기항공사, 부정기운송업체, 사용사업체, 자가용 조종사를 포함하여 4,000여명이 근무하는 것으로 집계되고 있다. (항공현황, 2010)

본 연구에서는 표본의 동질성을 위하여 정기항공운송사의 조종사를 표본으로 선정하였다. 조사기간은 2011년 4월 11일부터 2011년 4월 20일까지 실시하였고 조사대상은 국내 교통량 통계의 약 78%(2007~2009년 평균)를 차지하고 있

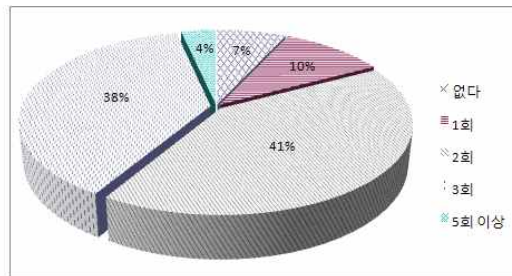
는 인천, 김포, 제주 국제공항을 비행하는 조종사들로 조사대상 인원은 총 30명 이었고 이 가운데 문항 누락이 많은 응답자를 제외한 분석대상 인원은 29명이었다. (유의율 96.7%)

조사내용은 김포, 인천, 제주의 3대 공항에서 항공기 중량이 130,000 lbs(예: B737-700)인 항공기로 연속강하접근으로 강하시작지점(TOD; Top of Descent)으로부터 IAF(Initial Approach Fix)와 FAF(Final Approach Fix)를 지나 공항에 착륙할 때까지 수평비행 여부, 횡수, 시간, 고도 및 IAF와 FAF 지점에서의 FLAP 사용량으로 구성되어 있으며, 총 5개 문항이었다.

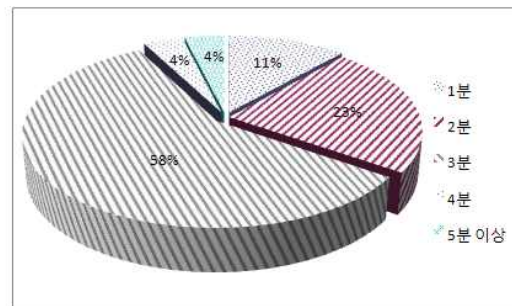
### 2.3.2 자료분석 결과

연속강하접근 중 Step down하는 수평비행횡수는 79% 이상이 평균 2~3회(3회 41%, 2회 38%)를 실시하는 것으로 분석되었고 수평비행시간은 81%이상 평균 2~3분(3분 58%, 2분 23%)을 실시하는 것으로 나타났으며, 수평비행을 하는 고도는 16,000ft, 8,000ft, 12,000ft 순으로 나타났다. 또한 FLAP 사용량은 IAF에서는 FLAP 1(53%)과 FLAP 5(35%)를 사용하는 것으로 나타났고, FAF에서는 FLAP 30(66%), FLAP 40(34%)를 사용하는 것으로 나타났다.

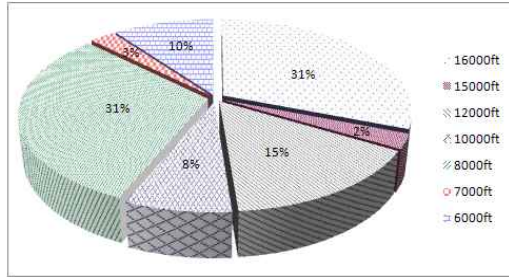
[수평비행 횡수]



[수평비행 시간]



[수평비행 고도]



[IAF 및 FAF 지점에서 FLAP 사용량]

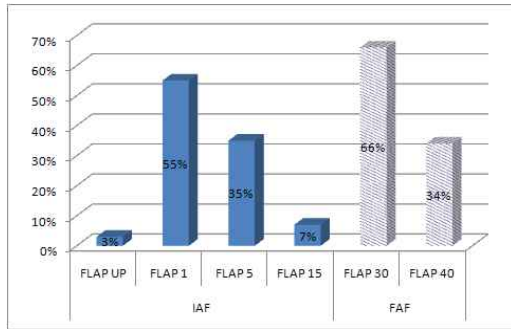


Fig 4. 수평비행 여부에 대한 설문조사 결과

2.4 연속강하접근에 따른 경제적 효과

본 전문가 대상으로 실시한 설문 조사결과를 바탕으로 다음과 같이 “연속강하접근이 아닌 단계별 강하접근(Step Down Approach)는 강하시작지점(TOD)로부터 착륙까지 Clean 모형(Configuration)으로 16,000ft에서 1분, Flap 1 모형으로 12,000ft에서 1분, Flap 5 모형으로 8,000ft에서 1분간 수평비행을 한다.” 시나리오로 단계별 강하접근에서 수평비행을 할때의 연료소모량을 연속강하접근의 편익으로 간주하여 운송용항공기 중 항공기 중량 130,000lbs인 B737-700기종의 Performance Chart(Technical Guide and Manual)를 기준으로 우리나라 주요공항인 인천, 김포, 제주국제공항의 연속강하접근시에 대한 일일 편익을 다음과 같이 구할 수 있다.

Table 2. 수평비행구간분당연료소모량

Flap 사용 여부	고도	연료 소모율 (lb/hr)	수평비행구간 분당연료소모량 (lb/min)
-	16,000ft	2,294	38.2
Flap 1	12,000ft	4,915	81.9
Flap 5	8,000ft	5,050	84.2
총 계			204.3

주1) 16,000ft일때 연료소모율은 B737-700 Holding Performance Chart 기준값

Table 3. 주요공항 연속강하접근 일일편익

공항	연간평균 비행횟수 (도착)	일일 평균비행횟수	일일수평 비행연료 소모량(lb)	일일 편익 (천원)
인천	103,560	283	57,821	32,039
김포	54,026	148	30,238	16,755
제주	47,990	131	26,765	14,830

주1) 1갤런당 3,712.5원(IATA, 달러당 1,100원 적용)  
주2) 1gallon=6.7lbs으로 환산

Table 3은 인천, 김포, 제주국제공항의 일일 평균 교통량을 이용해 연속강하접근과 비교하여 수평비행에서의 연료소비량을 편익으로 추정했을때 연속강하접근을 통한 일일편익을 분석한 결과 인천국제공항 32,039천원, 김포국제공항 16,755천원, 제주국제공항 14,830천원으로 총 63,625천원의 일일편익을 보이고 있어 연간으로 볼때, 232.2억의 경제적 효과를 볼 수 있을 것이다. 또한, 연료 소비 절감량에 국제적으로 인정되는 항공연료에 의한 이산화탄소 배출계수인 3.16를 곱하면 CO2 배출 절감량을 구할 수 있다. (국토해양부, 2010)

주) 1 lb(pound) = 453.6g 으로 환산

3. 결론

본 연구에서는 항공사 측면에서 연속강하접근 도입 시 편익분석을 통해 경제적 효과가 얼마나 나타나는지를 추정하였다.

전문가 설문을 통한 연속강하접근을 단계별 강하접근과 비교 분석한 결과 강하시작지점인 TOD로부터 착륙 시까지 약 2~3회 수평비행을 실시하고 수평비행시간은 2~3분 정도를 실시하는 것으로 파악되어 이를 바탕으로 인천, 김포, 제주국제공항의 연속강하접근 시 편익을 분석한 결과, 일일 63,625천원, 연간 232.2 억원 의 편익 발생한 것으로 연구되었다.

또한, CO2 배출 절감량으로 인한 환경문제 해결과 그로인한 부가적인 효과도 기대할 수 있을 것이다.

다만, 공항별 처리할 수 있는 교통 수용량에 따라 연속강하접근을 실시할 수 있는 항공기의 대수는 달라질 수 있다. 즉, 인천공항의 항공교통량이 가장 많은 시간대에 연속강하운항을 모

든 항공기에게 실시하기란 어려울 것이다.

연속강하접근으로 인한 비행거리 단축, 연료 소비감소는 항공기 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 배출감소에 기여하므로 항공분야 '저탄소 녹색성장'을 이루는데 효과적인 방법이 될 수 있다. 그러므로 연속강하접근을 주요 공항에 우선 도입, 시행하고 점진적으로 확대해 나감으로써 배출감소에 따른 환경 보호와 연료절감에 따른 항공사의 편익 등 경제적 효과가 가능할 것이다.

본 연구에서는 연속강하접근시 외형변수인 교통량, 지형지물에 대한 부분을 배제한 상황에서 경제적 효과를 분석하였으며, 연속강하접근을 위한 미래항법시스템인 ADS-B 등 항법시설 구축이 전제되어야 할 것이다.

앞으로, 경제적인 측면 뿐만아니라 관제사/조종사의 ATC 통신 부담 절감효과 등 보다 폭 넓게 분석할 수 있는 분석모델을 정립하여 개선방향을 제시하여야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] 김진호, “첨단항행기법 도입에 따른 항공사의 비용편익분석” 2010
- [2] ICAO, Doc 9931 “Continuous Descent Operation Manual”, 2010
- [3] Boeing, “Boeing 737 technical guide and manual”, 2010
- [4] RASMAG/13 report, “RASMAG The Thirteenth Meeting of the Regional Airspace Safety Monitoring Advisory Group”, 2009.
- [5] 국토해양부, “첨단비행로 구축용역 보고서”, 2010.
- [6] 서울지방항공청, “연속강하접근(CDA) 국제프로젝트 수행, 2007.
- [7] Air Transport, “Eurocontrol to recommend continuous descent approach across Europe following trials”, 2006.
- [8] AVwebFlash Complete Issue: Volume 15, Number 10a, “Continuous Descents Cut Fuel, Emissions, Noise”, March 2009.
- [9] 한국항공진흥협회, “항공현황”, 2010