

Original Article

대형기 착륙과정의 지면효과에 대한 인식과 대응에 관한 연구

문봉섭*, 최연철**

A Study on Perception and Reaction of Ground Effect during Landing of Large Airplanes

Bong-Sup Moon*, Youn-Chul Choi**

ABSTRACT

Ground effect includes a reduction of induced drag, increase of lift, and nose-down moment during landing. These phenomena, occurring late in the landing maneuver, are considered to be of little significance because they tend to counteract and/or compensate in this respect. Even though it is unlikely to affect any flare profile variations appreciably, some pilots have reversed perception about such phenomenon and overestimate during landing. It is becoming a negative factor and is making an adverse effect on landing maneuver. This study examines the perception of ground effect of large aircraft pilots, reviews literature regarding ground effect, and makes suggestions that pilots can correctly recognize and respond to the effect during landing flare maneuvers.

Key Words : ground effect(지면효과), Induced Drag, lift(양력), drag(항력), pitch down moment, Round out (Flare)

I. 서론

항공기가 착륙을 하는 과정에서 지면에 근접하게 되면 공기의 역학적 성질이 바뀌어 변화된 힘을 받게 된다. 이것을 지면효과(Ground Effect; GE)라고 하며 이러한 현상의 영향은 일반적으로 ①양력증가 ②피치다운 모멘트(pitch down moment), ③항력 감소로 나타난다.

Edward Seckel(1975)은 통상 이런 현상들이 속도 변화에는 크게 작용하지는 않지만, 플로팅(floating)이 되므로 비행조작에 영향을 주거나 침

하에 도움이 된다고 언급하였다. 이러한 영향들은 대부분 착륙 마무리 과정에서 일어나고, 항력 감소와 양력의 증가, 피치다운 모멘트 등의 요소들은 서로 상쇄된다. 지면 가까운 곳에서 일어나는 양력 증가는 쿠션작용을 하여 수직 안정성을 제공하기도 하고, 특히 자체적으로 일어나는 기수 다운현상은 플로팅 현상 극복에 도움을 주기도 한다[1].

이러한 Ground Effect에 대한 설명과 영향의 결과에 대해서 조종사들은 항공역학 서적, 비행 훈련과정의 지상학술, 소속 항공사의 교육교재나 규정 등을 통해서 학습하고 이를 인지하고 있다.

운송용 항공기는 자체 중량은 물론, 승객과 화물 무게가 매우 높아서 Hard landing으로 인한 위험한 착륙의 문제가 왕왕 발생하였다.

항공사들은 해결방안으로 Hard Landing 방지 Task Team(2009년)을 운영하였는데 B747-400에 의해서 발생된 Hard Landing의 Case별 자료를

Received : 02. Feb. 2018. Revised : 22. Feb. 2018.

Accepted : 25. Mar. 2018

* 대한항공 운항승무원

** 한서대학교 항공산업대학원

연락처, E-mail : pilot@hanseo.ac.kr

충남 태안군 남면 한서대학교 태안비행장연구실226호

분석과 조종사들을 대상으로 인터뷰를 하였는데 그 과정에서 대형기 조종사들이 알고 있는 지면효과(GE)현상이 실제와 다르고, 그것이 항공기 착륙 과정에 미치는 영향에 대해서도 필요 이상으로 과장되게 알고 있어, 착륙에 부정적 요인으로 작용하고 있는 것을 확인하였다.

본 연구는 이와 관련하여 조종사들이 접하는 관련 서적과 manual, 교재 등의 문헌고찰을 통하여 GE 이론을 재해석하여, 대형 항공기를 운용하는 조종사들이 알고 있는 본 현상에 대한 이해와 영향에 관한 설문과 심층면담을 통해 현 실태를 파악함으로써 운송용 대형항공기를 운영하는 조종사들이 GE현상을 올바르게 인식하고 착륙과정에서 잘 대응할 수 있는 대안을 제시함에 있다.

II. 본론

2.1 Ground Effect에 대한 인식과 대응

(1) 대형기 조종사의 설문 결과

대형 항공기를 운용하는 조종사들이 인지하고 있는 GE 현상에 대한 이해도와 영향을 확인하기 위하여 2017년 5월부터 10월까지 112명의 조종사를 대상으로 설문과 심층면담을 시도하였다. 즉, 연구자가 설계한 설문지를 현업에 종사하는 대형 운송용항공기 조종사들에게 배포 및 회수를 한 후 지면효과에 관한 심층 면담을 수행하였다. 설문 문항은 첫째, 지면효과에 대한 이해도, 둘째, 착륙과정에서의 지면효과에 대한 느낌, 셋째, 지면효과에 대한 경험, 넷째, 지면효과가 착륙에 주는 영향, 마지막으로 지면효과에 대한 대응으로 구성되었다. 대상자는 B747(66명), B777(20명), A330(6명), B737(20명)으로 총 112명이었다. 조종사의 인식에 대한 설문이므로 기종에 따른 차이점 분석이나 인구통계적인 분석은 시행하지 않았는데 이는 응답자의 90% 이상이 유사한 응답을 하고 있으므로 통계적으로 유의미한 차이가 없다는 점을 고려하였다.

분석결과, 첫째 문항에 대한 응답으로 모든 조종사가 지면효과에 대해서 명확하게 이해하고 있다고 응답하였다. 다음으로 착륙과정에서의 지면효과에 대해서 응답자의 97%가 느낌을 받고 있고(가끔 45%, 언제나 52%), 96%가 착륙에 영향을 주며(약간 영향 76%, 중대한 영향 20%), 96%가 실제로 경험했고 발생한다고 인지하는 고도는

200ft 41%, 100ft 45%, 상황에 따라 200~100ft의 범위에서 발생 7%, 50ft가 3%로 응답하였다. 한편, 지면효과의 느낌은 기체가 떠오름 62%, 기수가 들리는 느낌 27% 그리고 둘 다 느낀다는 7%, 이에 대한 대응으로 기수를 눌러준다 73%, 그대로 둔다 10%, 기수를 들어 준다 3%, 추력을 줄여 준다 41%, 그대로 둔다 45%로 응답하였다.

(2) 조종사의 대응

설문과 심층면접 조사결과와 Hard Landing 방지를 위한 Task Team에서 분석한 결과, 대형기를 운항하는 조종사들은 대부분 지면효과를 경험하고, 200~100ft에서 발생하는 현상으로 이해하고 있으며, 항공기가 떠오르고, 기수가 들린다고 인식하고 있었다. 또한, 이런 현상은 착륙에 영향을 주기 때문에 대응 조작으로 기수를 눌러주는 것으로 나타났다.

2.2 Ground Effect 관련 문헌 고찰

(1) 국내 문헌 고찰

지면효과와 관련된 국내문헌을 고찰한 결과, 조용욱과 서욱은 1992년에 발간된 항공역학에서 “일반적인 항공기 형태에서 지면효과를 마주치면 피칭 모멘트에서 기수 하방변화를 만든다(p.642)”로 기술하였다.[2] 또한, 조옥찬은 비행역학의 기초(1993)에서 “착륙과정에서 비행기는 지면효과로 인해 (a)양력계수 증가 (b)필요추력 감소 (c)nose down의 피칭모멘트 (d)속도계기 오차 등이 일어나며, 지면효과에 의한 착륙비행에서 (a)~(d)의 경과는 바람직한 것이다(p.378)”로 착륙관련 지면효과를 기술하였다.[3]

또한, 지면효과와 관련하여 박용환은 조종사 지식심사지침서(1997)에 “지면 위 1/2 날개폭 높이에서 가장 효과가 크다(p.7). 통상적으로 항공기의 1/2 날개 폭 이하의 고도에서 체험하게 된다(p.233).”로 표현하였다.[4]

윤용현은 비행역학(2008)에서 날개 길이 1~2배인 고도, 즉, $h/b=1\sim 2$ 높이부터 나타나기 시작한다. 따라서 원만한 착륙을 위해서 조종사들은 이러한 지면효과 특성을 잘 숙지해야 한다(p.240-242). 아울러 수평꼬리 날개의 양력이 상대적으로 증가하여 기수 내림 모멘트가 크게 작용하게 된다. 착륙할 때 고도를 낮출 경우 지면에 가까워지면 어떤 순간부터 빠르게 기수 내림이 작용하여..., 기수가 감소하기 때문에 당김효과가

적어지며 실속착륙이나 hard landing의 원인이 된다고 지면효과를 설명하였다(pp. 242-243).[5] 또한 비교적 최근 권재상(2017)은 알기 쉬운 항공역학에서 수평꼬리 날개의 양력 증가에 의해 기수가 내려가는 모멘트가 작용하는 지면효과를 설명하였다(p. 220).[6] 이와 관련하여 국외 문헌을 검토한 결과는 Table 3과 같다.

Table 3. Ground Effect 관련 국외 문헌 검토

연구자 (년도)	지면효과 관련 내용
Hurt, JR. (1965)[7]	ground effect will produce a nose-down change in pitching moment. (Aerodynamics for Naval Aviators, P.381)
C. Dole (1987)[8]	Reduced induced drag, Thrust require, increase lift and speed, nose down moment(Flight Theory for Pilot, P.71)
Smith (1992)[9]	nose-down pitching motion, increase speed, reduce drag (Illustrated Guide to Aerodynamics, p.82)
Wood, Sweginnis (1995)[10]	Tail Wing AOA Reduce and Airplane Nose Down(Aircraft Accident Investigation, p.206)
Pendleton (1996)[11]	nose down pitching moment, increase speed, reduce drag (Flying Jets, p.30)
Pinsker (1969)[12]	generally increasing the lift, reducing the drag and generating nose down pitching moments.(Landing Flare of Large Transport Aircraft p.12)
Edward Seckel (1975)[13]	These so-called ground effects are usually an increase of lift, a nose- down moment, and a reduction of drag. (Landing flare: analysis and flight-test investigation, P. 11)
FAA (2016)[16]	Ground effect decreases elevator control effectiveness and increases the effort required to raise the nose. Not enough elevator or stabilator trim can result in a nose low contact with the runway and a porpoise develops. (Airplane Flying Handbook)

(2) 문헌검토 결과 종합

지면효과를 다루고 있는 항공역학과 관련된 국내의 문헌을 종합하면 “유도 항력 감소, 추력 요구, 양력과 속도 증가, 기수 하강 모멘트, Tail Wing의 받음각을 줄여 항공기의 항력 감소, elevator의 효과를 감소시키고 기수를 상승시

키는 노력을 요구하게 된다. elevator 또는 stabilator trim이 없으면 기수가 활주로에 접촉할 가능성이 높아진다.” 라고 기술되고 있다.

이와 관련하여 대형 운송용항공기 B747-8 정비 교범에서는 지면효과와 Elevator System, Pitch Augmentation Control System, Functional을 다음과 같이 설명하고 있다.1)

“B747-8항공기에 설치된 지면효과 보상 시스템은 ‘지면효과 구간에서 항공기 기수가 내려가려는 경향성을 없애주기 위해서 Flap 30에서 기수가 들러지도록 Elevator Input를 제공하도록 작동한다.’로 정리가 된다.

또한 2008년에 발간된 A항공사의 MANUAL 가운데 “Landing Technique”에서는 지면효과와 관련된 내용은 다음과 같다.[14]

- 지면에 가까워지면서 Ground effect(GE)에 의해 기수가 들리는 경향이 발생한다.
- 항공기의 GE를 고려하라.
- GE가 발생하는 지점을 정확히 알고 적용하라.
- GE는 항공기 wing span의 2배가 되는 고도에서부터 발생하기 시작하며, 지면에 접근할수록 증가되며 wing span 1/2지점에서 최대가 된다.
- B744, 777, A330항공기에서는 대략 400ft에서 시작하며, 100ft에서 최대가 되며, B737 항공기는 200feet에서 발생하기 시작하여 50feet에서 최대가 된다.
- GE가 발생하는 정확한 고도를 알고 이를 예상하고 있어야 한다.
- GE로 기수가 들림을 허용하지 말아라.

이러한 자료들을 종합하여 검토한 결과, 과거부터 현재까지 오랫동안 지면효과와 관련된 항공운항분야의 정설은 “착륙과정에서의 지면효과는 날개 폭 고도부터 일어나기 시작하는 현상이고, 유도항력의 감소에 기인한 양력 증가, 총 항력

1) Ground effect compensation gives nose-up elevator input for flaps 30 to counteract the airplane nose-down tendency in ground effect. This function gives additional pitch up near landing flare by removing the airplane nose-down elevator bias gived by the flap/trim augmentation function. (Aircraft Maintenance Manual 27-31-00 p.52, D633U8101-KAL, 2014)[15]

감소, 그리고 피치다운 모멘트(구체적인 표현으로 기수가 낮아지는 현상) 현상이 나타난다. 또한, 3가지 주요 현상들은 착륙 조작 마무리 단계에서 일어나고, 서로 반대로 작용하는 성향이 있어 상쇄되거나, 기대만큼 큰 영향을 주는 것은 아니며, 마지막 과정에 쿠션 작용 통한 종적 안전성으로 작용하여 착륙에 도움이 되는 경향으로 나타난다고 설명하고 있다.”

이와 다소 차이가 있는 내용으로 운용현은 “지면효과는 비행기 날개길이 1~2배인 고도, 즉 $h/b = 1\sim 2$ 높이부터 나타나기 시작한다.”는 것과, 박용환의 “지면효과는 지면 위로 1/2 날개 폭 높이에서 가장 효과가 크다.”이고 검토된 내용 모두에는 기수가 들린다는 내용이 존재하지 않았다.

2.3 Ground effect(GE) 이론 재검토

(1) 항력과 Ground effect

대형기 조종사 면접조사과정에서, 조종사들은 Fig 1과 2의 그래프들을 근거로 양력과 필요추력(require thrust)에 차이가 일어나는 것이 지면효과 현상이라고 주장하였다.

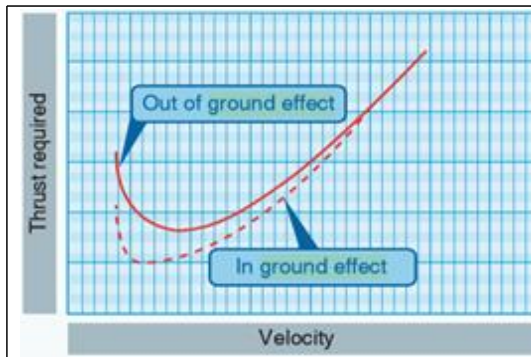


Fig 1. speed Vs Require Thrust

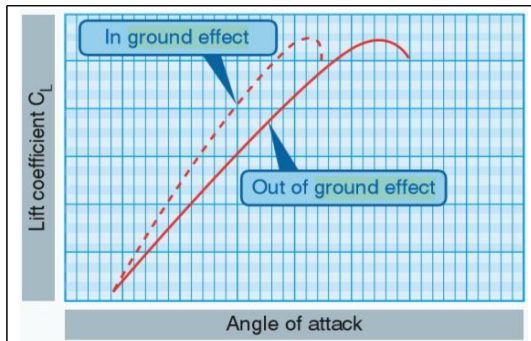


Fig 2. AOA & Lift

즉, Fig 1처럼 받음각이 변하면 양력계수가 변하고, Fig 2처럼 속도가 변하면 필요 추력이 변하는데, 그래프들이 표시하는 것처럼, 항공기가 지면효과 구간(Air plane in ground effect)에 있을 때 값과 지면효과를 벗어난 구간(out of ground effect)에 있을 때 값을 서로 비교하여, 지면 효과 구간에서 양력 그래프는 높은 값이고, 요구 추력 값은 낮은 것으로 나타난다. 그러므로 지면효과 구역에서는 양력이 증가되어 항공기는 떠오르게 되고, 필요 추력이 감소되는 만큼 항공기 기수가 들린다고 이해하고 있었다.

그러나 연구결과 기존에 조종사들이 이해하고 있는 부분은 다음과 같은 모순점을 가진다.

Fig 1,2에 있는 그래프의 특징은, x축 값이 변할 때, y축 값의 변화를 나타낸 것이다.

그러므로 x축의 값이 변하지 않으면 y축의 값도 변하지 않는다.

여기서 x값은 받음 각과 속도다. 따라서 받음 각이나 속도가 변할 때 양력이나 필요추력이 변한다. 그런 관점에서 실제 항공기가 지면효과 구간으로 알려진 고도를 강하하는 동안 그 값들이 어떻게 변화되는 가를 보여 주는 것이 Fig 3과 Fig 4 이다.

Fig 3은 B747-400 항공기가 wind calm 조건에서 stabilized approach segment 시작 지점부터 접지과정까지 속도와 body angle의 변화를 보여주는 것이다. 이 그림처럼 지면효과 발생 고도에서 Flare를 시작하는 고도까지 유지하는 속도는 1.3Vs를 의미하는 Vref에 5 KIAS를 더한 값을 유지한다.

받음각(AOA)을 결정하는 Body angle도 일정하므로 AOA 변화도 없다. 그리고 4~7초가 소요되는 플레어(flare)동안에서도 불과 5KIAS 만 감소시키므로 속도변화는 거의 없다고 볼 수 있다.

따라서 Fig 1과 Fig 2에 있는 그래프의 x축 값의 변화가 없다. 그러므로 y값도 변화가 없기 때문에 2 가지 그래프를 가지고 지면효과를 설명할 수 없다.

그러나 Fig 3과 같이, 소형기의 경우는 앞에서 설명한 대형기 경우와 다르다.

소형기는 안정접근구간에서 1.3Vs속도를 유지한다. 그 속도를 위해 nose gear가 main gear보다 낮은 body angle을 자세로 강하접근을 한다.

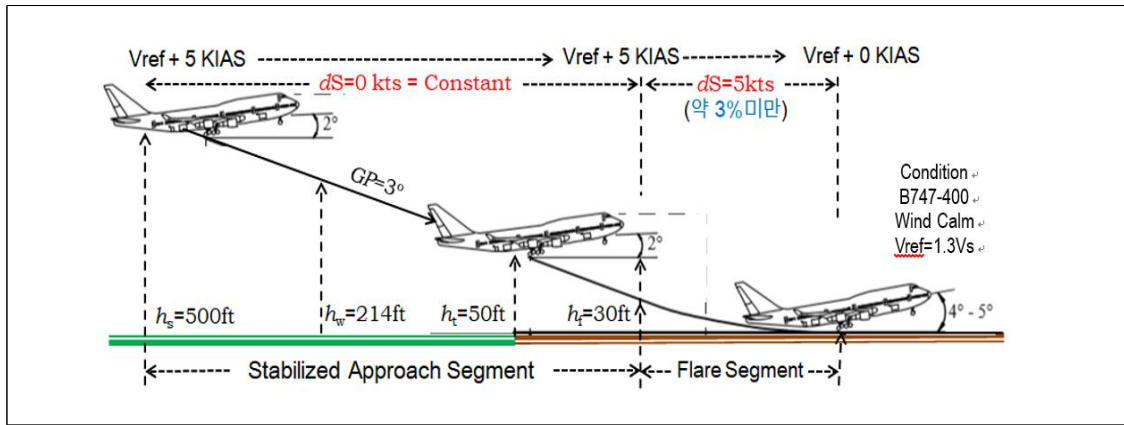


Fig 3. B747-400 Speed and Body Angle during Approach for Landing Profile (연구자 작성)

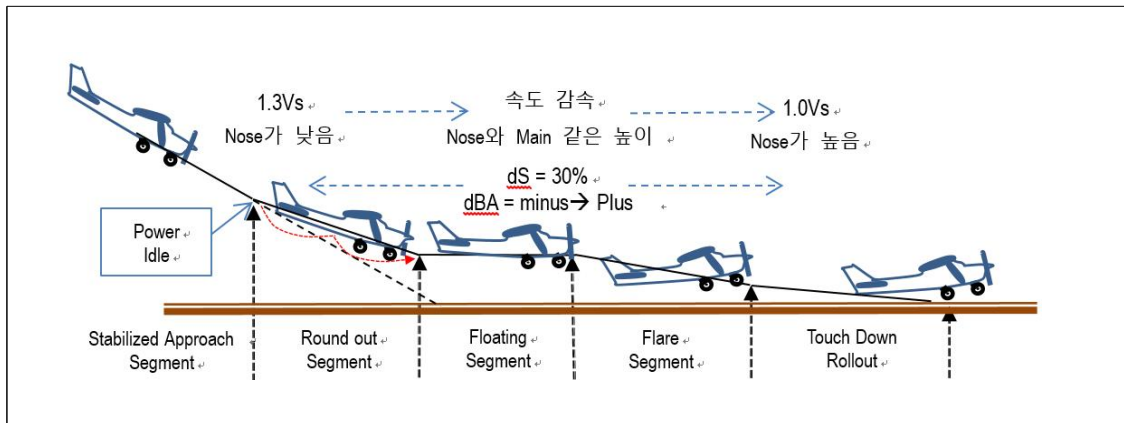


Fig 4. Cessna-172 Speed and Body Angle during Approach for Landing Profile Russell. Still(2007)의 p.17과 Rod Machado의 Chapter 10, Fig 2를 근거로 연구자가 작성

그러다가 대략 날개 폭 고도가 되면 엔진 추력을 Idle(최소 회전)로 줄인다. 그러면 항공기는 추력이 없으므로 아래로 떨어지는 현상(침하; sink)이 일어난다. 이 침하현상(sinking)에 따라 조종사는 조종간을 당겨 올려 항공기 받음 각을 증가시켜 보상하는데 이것을 Round out이라고 한다. 이 과정에서 Body Angle(AOA)이 증가하여 nose gear와 main gear가 같은 높이가 된다. 이 자세에서 항공기는 엔진 추력이 최소회전 상태이므로 속도가 줄어드는데, 이것이 Floating 과정이다[7]. 속도가 줄어드는 동안 조종간을 당겨 올려 기수 각을 증가시키는 조작을 통해 nose gear가 main gear보다 높은 착륙 자세를 만들게 되는데, 이 조작이 flare이다.

이 과정이 연속 진행되는 동안 속도는 더욱 줄어들어 Stall Speed(1.0Vs)에 접근했다는 Warning

Horn을 들으면서 Main Gear가 지면에 닿게 된다. 이런 착륙조작과정에서 속도는 약 30%가 변하고, AOA로 나타나는 Body Angle도 Minus 값인 강하자세에서 Plus 값인 접지자세로 변하게 된다. 이 모든 과정이 불과 활주로 수 피트 상공에서 일어난다[8].

따라서 Fig 1과 2의 그래프에서 x값이 변하므로 y값도 변한다. 그러므로 대형기와 달리 소형기는 속도와 AOA가 변하므로 2 가지 그래프로 지면효과에 대한 설명이 가능하다.

(2) 항공기 고도 변화와 유도항력의 변화

항공기가 지면에 가까워지면 날개 끝의 Vortex가 변하여 유도항력(induced Drag)의 감소로 나타나는데 그래프로 나타내면 Fig 5와 같다.

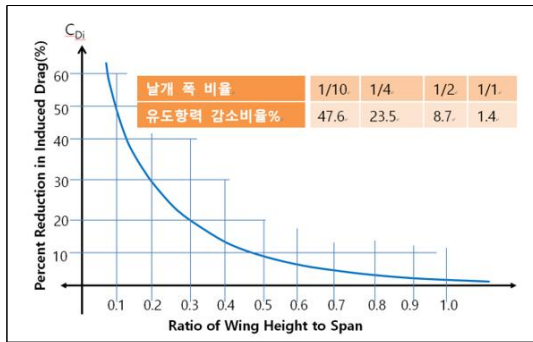


Fig 5. Induced Drag Vs Wing span Ratio

즉, 항공기가 지면에 가까워져서 날개 폭 고도에 도달하면, 유도항력 1.4%가 줄어들기 시작하여, 1/2고도 8.7%, 1/4고도 23.5%, 1/10고도에서 47.6%의 감소로 나타난다.

이 기준으로 볼 때 착륙 과정에서 일어나는 지면효과(GE)는 날개 폭 36ft인 Cessna-172와 같은 소형 항공기는 고도 36ft부터, 날개폭이 213ft인 B747-400와 같은 대형 항공기는 213ft부터 시작되는 현상이다. 그리고 그 것이 느낌으로 경험할 수 있는 고도에 대해서 Hurbert "Skip" Smith(1992)는 날개폭 30피트 항공기는 9피트에서 나타나기 시작하고, 3피트가 되면 확실해진다 고하고[9], Pinker(1969)는 이런 GE효과는 지면에 매우 근접한 고도에서 경험하게 되는데, 대형기 라해도 Landing gear 고도 60피트 이하가 되어야 느낄 수 있는 현상이라고 한다[14].

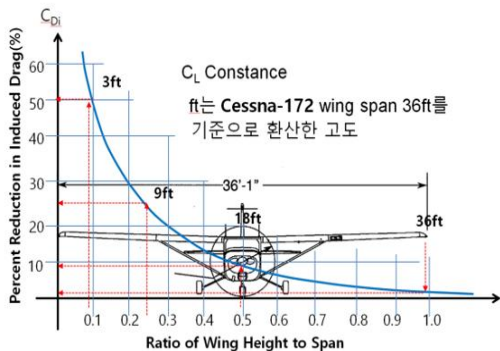


Fig 6. Cessna-172 Altitude & Induced Drag

그러므로 소형기는 대형기와 달리 짧은 시간에 일어나므로 유도항력의 증가는 양력증가로 나타

나는 것을 몸으로 느낄 수 있고, 쿠션 역할을 하는 점에서 당김 과정에 유리한 작용을 한다.

그러나 날개폭이 200ft에 이르는 대형항공기에서는 상황이 다르다.

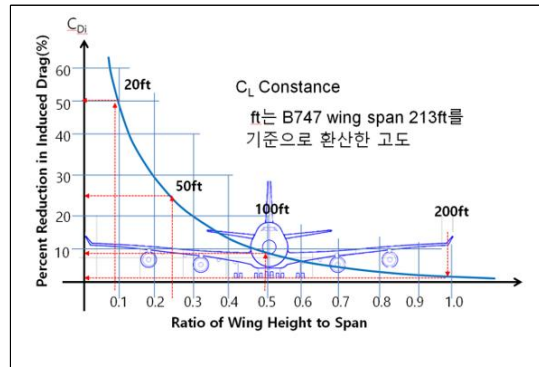


Fig 7. B747-400 Altitude & Induced Drag

200ft의 날개폭을 갖는 대형기의 경우, 약 100ft에 도달하면 이론적으로 약 8.7%의 유도 항력이 감소한다. 여기서 감소된 8.7%가 모두 양력 증가로 반영 된다고 가정하여도, 0%에서 8.7%로 순간적으로 변하는 것이 아니라 점진적으로 일어나는 현상이므로 조종사가 실제 비행 중에 떠오르는 것처럼 느끼거나, 기수가 들리는 것을 알아차릴 정도는 아니다.

예컨대, 날개 폭 200ft 항공기가 안정점근구간에서 800fpm으로 정률 강하 중인 경우에, 고도 100ft에 도달할 때 8.7%감소를 반영하면, 800fpm x (1-0.087)=730fpm으로 변한다. 즉 800fpm으로 강하하던 것에서 730fpm으로 70fpm의 변화가 일어난다. 그런데 70fpm이 한꺼번에 일어나는 것이 아니라 Fig 5~7에서 보여 주는 것처럼 200ft부터 점진적으로 일어나는 변화였으므로 조종사가 시각적이나, 감각적으로 느낄 수 있는 정도의 변화량은 아니다.

따라서 항공사의 FCRM의 landing Technique에서 기술하고 있는 것처럼 'B747, B777, A330 항공기는 대략 400ft에서 발생하기 시작하며, 100ft에서 최대가 되거나, 기수가 들리므로 이것을 예상하고, 기수가 들리지 않도록 해야 하는 것은 사실과 다르다. 또한 조종사 면접 조사에서 나타난 것처럼 200ft 또는 100ft에서 떠오르는 현상을 느낀다든가, 이것을 예상하고 기수를 눌러 주어야 된다는 것은 잘못된 것이다.

그리고 Fig 8은 소형기와 대형기 간의 지면효과 발생고도를 비교한 것이다. 이 그래프에서 보여주는 것처럼 소형기와 대형기는 지면효과를 경험하는 공간의 차이가 크다.

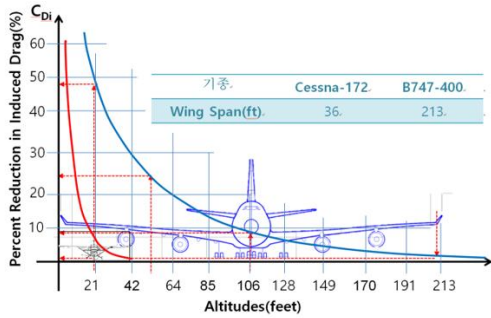


Fig 8. Change of Induced Drag, B747 & C-172 (연구자작성)

그러므로 Fig 8의 두 기종간의 결과 값 곡선이운데 Cessna 172의 곡선은 Fig 6에서 보여 주는 것과 다른 형태가 된다. 이 차이는 소형기와 대형기 간의 차이로 초급과정의 소형기에서 쌓은 경험을 그대로 대형기에 적용하면 안 된다는 것을 보여 주는 것이다.

(3) Pitch Down Moment in Ground Effect

비행 중인 항공기는 양력에 대해서 반대 방향으로 작용하는 중력과 항공기 뒷부분에 위치한 Elevator Down Force로 중적 안정성을 유지한다. 그런데 지면에 가까이 오면 날개 뒤로 흐르는 공기의 흐름 각도가 줄어든다.

따라서 Elevator전면의 받음 각이 줄어들고, 이것은 Elevator Down Force의 감소로 나타난다. 그래서 항공기는 기수가 내려가는 현상으로 나타난다. 이것이 Nose Down Moment이며, 항공기에는 Nose Down Tendency가 나타나는 것이다.

그러므로 이런 현상을 보완하기 위해서 B747-8 항공기는 Ground Effect Compensation System이 있다. “이것은 Flap 30상태로 Flare를 할 때 지면효과에 의한 Nose Down Tendency의 보상을 위해 Elevator nose up input을 제공하는 기능을 한다.”라고 기술하고 있다. 이러한 장비의 설치 목적과 기능을 보아도 지면효과에 의해서 기수가 들린다고 말하는 것은 검토되어야 할 내용이다.

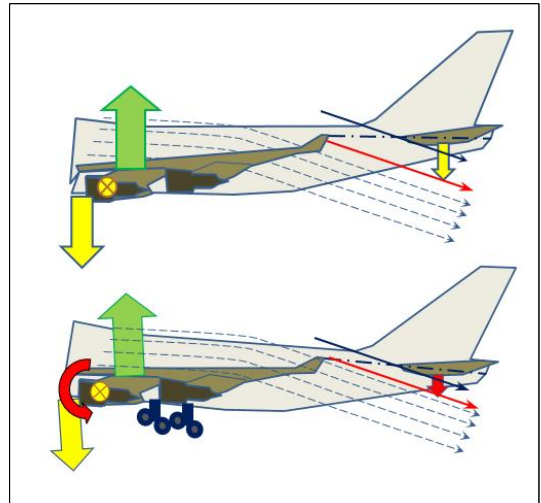


Fig 9. B747 Pitch Down Moment, R. Wood & Seginnis(p.204)를 근거로 연구자 작성

(4) Ground effect에 대한 검토 소결론

이상에서 살펴본 것처럼 항공기 착륙과정에서 지면에 가까워짐에 따라 공기역학적 특성 변화로 발생하는 지면효과는 ①항력감소 ②양력증가 그리고 ③기수강하라는 3가지 현상으로 나타난다.

소형기와 달리 대형기는 착륙과정에서 유도항력의 감소현상이 시작되는 Wing Span 고도부터 Flare 고도까지는 속도와 받음 각의 변화가 없다. 기종별로 Training Manual에 기록된 flare고도는 Table. 5와 같다.

Table 5. flare Altitude on Training manual

기종	B747-400/8	B787 B777	B737	A330
Flare 고도 (실고도 ft)	30	30~20	20	40

그러므로 Flare 전까지는 Wing span 비율에 따른 유도항력 감소현상만 일어나므로 큰 변화가 아니므로 미리 대응하고 있어야 할 만큼 증대한 현상은 아니다.

이러한 3가지 현상들 가운데 피치 다운과 양력 증가, 또는 피치 다운과 항력 감소현상처럼 서로 성향이 다른 2가지는 서로 상반된 현상으로 서로 상쇄되어 나타나지 않거나, 기대되는 것보다 효과가 미미하여 느낄 수 없거나, 상호보완 작용으로 착륙에 유리한 요인으로 작용 한다.

그리고 Flare과정에서 일어나는 현상도 불과

활주로 수 피트 상공에서 나타나고, 접지 전에 쿠션 작용이라는 유리한 현상이 대표적이며 전반적으로 긍정적 요인으로 작용 하는 것으로 정리 된다.

이러한 논리는 이미 1960년대부터 항공분야의 정설이었다. 그럼에도 불구하고 한국의 항공운항 분야에서는 1970~1980년대 발간된 항공역학 관련 서적에서 Fig 1과 2에서와 같은 그래프 위주로 설명하고 있고, 기수 하방, 피칭 모멘트 등과 같이 모호하게 기술하고 있어, 그것을 읽는 초기 진입과정의 학생조종사들이 정확히 이해하지 못하거나, 반대로 인식하게 된 원인이 되었다고 보여 진다. 그 결과 1970~80년대에 그런 내용을 기준으로 훈련을 받고 배출된 조종사들이 항공관련 대학의 비행교육기관이나 공군의 비행훈련교관이 되었다. 그들은 그러한 논리에 근거한 교수법으로 학생들을 교육하고, 경험을 근거로 항공사의 교재나 교범, 그리고 규정 등을 저술하였다. 그 결과 항력 감소, 양력 증가, 잉여추력 발생, 기수 들림, 떠올림 현상으로 이어진다는 가상(pseudo) 논리가 정설처럼 자리 잡게 된 것으로 추정된다.

그러한 관행이 한국의 항공운항 분야 전반에서 오랫동안 지속되는 과정에서, 대형기 조종사들이 지면효과 현상에 대해서 잘못 인식하게 되고, 항공기 착륙에 필요 이상의 중대한 영향을 주는 것으로 이해하고, 그것을 미연에 대응하도록 학습 되었음은 물론, 그 현상에 대해서 필요 이상으로 강조되어 오히려 착륙조작에 부정적인 요소로 작용하고 있다.

그 결과는 최종 접근 가운데 Critical Phase에서 주의산만의 요인이 되고, 안정되어 잘 하강하는 항공기의 기수를 미리 눌러주는, 필요 없는 역 조작으로 나타나, 안정 접근을 방해하고 불안정을 초래하여 착륙에 부정적인 요인으로 작용하는 결과를 낳고 있다

III. 결론

본 연구는 대형기 조종사들의 지면효과에 대한 인식과 항공기 착륙에 어떻게 대응하고 있는 지를 알아보기 위해 수행되었다.

연구결과 항공사에 대형기를 조종하는 조종사들은 항력의 감소현상으로 양력이 증가되고, 요구 추력이 감소하고, 항공기 기수가 들린다고 인

식하고 있었다. 또한 착륙과정에 영향을 주기 때문에, 사전에 인지하고 미리 대응해야 하는 것으로 강조되어 왔다. 이는 실제보다 과장된 현상으로 착륙에 부정적인 요인으로 인식하고 있어서, 실제 현상과 차이가 있거나 반대로 알고 있었다.

이 문제는 과거 1970~80년대에 국내에서 발간된 항공역학 관련 서적들이 착륙과정에서 일어나는 지면효과에 대한 기술 내용이 명확하지 않고, 모호하게 되어 있었던 것에서부터 기인된 것으로 보여 진다.

따라서 연구자를 비롯한 당대 비행교육을 받았던 조종사들은 그런 내용을 기준으로 학습한 결과에서 시작된 문제로 판단된다.

현재 항공사에서 대형 항공기를 운항하는 조종사들은 소형기를 이용한 초급비행교육과정에서 학습한 데로, 양력증가, 기수 들림이라는 기본개념으로 시작된 지면효과에 대한 인식을 중급과정의 중형기, 그리고 항공사에 진출하여 운용하는 대형기로 변화되는 훈련과정에서 무비판적으로 수용하고 있었다.

이러한 분위기는 나아가 항공사의 비행이나 정비 관련 교범이나 교재를 만드는 업무 담당자들도 이 개념을 바탕으로 집필하여 성문화된 자료로 발간하고, 그것이 전파됨으로써, 항공업계 전반에 정설처럼 자리 잡게 됐다.

그러므로 본 연구에서 정리한 지면효과 이론에 대한 재해석과 설명내용에 따라, 지면효과에 대한 새로운 인식이 이루어져야 되고, 항공사의 Landing technique나 지면효과 관련내용은 수정되어야 할 것이다.

따라서 항공사의 실무담당자들은 교범이나 관련 교재에 있는 지면효과에 대한 내용을 검토해보고, 올바른 내용으로 수정하는 작업이 요구된다. 조종사들은 해당 내용에 대한 학습을 통해서 지면 효과에 대해 올바른 이해를 하고, 착륙 과정에서 부적절한 대응을 하지 않도록 해야 할 것이다.

Reference

- [1] Edward Seckel, 1975, The landing flare: an analysis and flight-test investigation, NASA CR-2517, p.11

- [2] Jo Jong-wook, Seo wook 1992 aerodynamics p. 642
- [3] Jo Ok-chan 1993 Basic Flight Dynamics p.378
- [4] Park Yong-Han 1997 1997 Pilot Knowledge Review Guidebook p.7, p.233
- [5] Yoon Yong-hyun 2008 Flight Dynamics p.242, pp. 242-243
- [6] Kwan JI-SAN 2017 Easy Understand Aviation dynamics, p.220
- [7] Hurt, JR. 1965 AERODYNAMICS FOR NAVAL AVIATORS p.381
- [8] C. Dole 1987 Flight Theory for Pilot p.71
- [9] Smith 1992 Illustrated Guide to Aerodynamics p.82
- [10] Wood, Sweginnis 1995 Aircraft Accident Investigation p.206
- [11] Pendleton 1996 Flying Jets p.30
- [12] W. Pinsker 1969 Landing Flare of Large Transport Aircraft. p.12
- [13] Edward Seckel 1975 THE LANDING FLARE: AN ANALYSIS AND FLIGHT-TEST INVESTIGATION p.11
- [14] Korean air FCRM 2008 Landing technique
- [15] B747-8 Aircraft Maintenance Manual 27-31-00, 2014, p.52 D633U8101-KAL Mar 15/2014, (Elevator System, Pitch Augmentation Control System, Functional Description)
- [16] FAA, 2016, Airplane Flying Handbook