

대형 비행기 조종사의 착륙 조작 시의 높이지각

Height perception of large airplane pilots during landing flare

김용석*† · 손영우* · 박수애* · 김철영**

Yong-seok Kim*† · Young Woo Sohn* · Soo-ae Park* · Chil-young Kim**

연세대학교 심리학과*

Dept. of Psychology, Yonsei University

한국항공대학교 항공운항학과**

Dept. of Aeronautical Science & Flight Operation, Korea Aerospace University

Abstract : Pilots of large airplanes have to land their airplanes with insufficient visual information because of high approach speed, high vertical velocity and high location or altitude of the cockpits from the runway intending to touch down. This study verifies that, due to the insufficient information, large airplane pilots can't exactly perceive height of their airplanes during the flare. Study 1 explored whether it's possible for the pilots to accurately perceive height with the static visual cues only. We showed them pictures of the runway taken from the pilot's points of view and asked them to assess the height of the airplanes. They determined exact height of the airplanes at the height of 85 feet, but they could not, at lower than 55 feet which is the flare preparation altitude. Study 2 explored whether it's possible for the pilots to accurately perceive height when dynamic cues were added to the static visual cues. We showed them videos of the runway taken from the pilot's points of view. With more cues they determined exact height of the airplanes at the height of 50 feet, but they could not, at the altitude of lower than 30 feet which is the flare altitude. As experience is believed to be a major factor which affects interpretation of the visual cues, we compared the accuracy of the assessment of the experienced captains and that of the in-experienced first officers. We found there was no significant difference between them.

Key words : Large airplane, flare, dynamic clues, static clues, landing

요약 : 대형 비행기 조종사들은 지상으로부터 높은 조종실의 위치, 빠른 접근속도와 수직강하속도로 인하여 불충분한 시각정보를 바탕으로 착륙 조작을 하여야만 한다. 본 연구에서는 이러한 대형 비행기의 특징으로 인하여 비행기 착륙의 최종 조작인 당김(flare) 조작을 할 때 대형 비행기 조종사들이 정확한 높이지각을 하기 어렵다는

† 교신저자 : 김용석(연세대학교 심리학과)

E-mail : tiigeerr@yonsei.ac.kr

TEL : 02-2123-7503

FAX : 02-2123-7503

사실을 검증하였다. 연구 1에서는 조종석 외부로 보이는 공항에 대한 사진을 제시하고 높이 추정을 하도록 하여 정적 시각 단서만으로 정확한 높이지각이 가능한지를 살펴보았다. 85feet의 고도에서는 정확한 높이지각을 하나 당김 조작을 준비해야 하는 높이인 55feet부터 낮은 고도에서는 정확한 높이를 추정하지 못하였다. 연구 2에서는 착륙의 전 과정을 녹화한 화면을 보여주어 높이 추정을 하도록 하여 동적 시각 단서와 정적 시각 단서를 모두 제공하여 주었다. 시각단서가 연구 1보다 풍부하였으므로 50feet까지 정확한 높이지각을 하였으나 연구 1의 결과와 마찬가지로 당김 조작을 시작하는 높이인 30feet 이하의 저고도에서의 높이지각이 모두 부정확하였다. 시각 단서의 해석에 경험이 중요한 요인이므로 경험이 많은 기장과 경험이 적은 부기장 간의 높이 추정에 차이가 있는지를 연구 1과 연구 2에서 모두 비교하여 보았으나 차이는 유의하지 않았다.

주제어 : 대형 비행기, 당김, 동적 단서, 정적 단서, 착륙

1. 서론

착륙이 비행기 여행의 안전에 결정적임은 재론의 여지가 없다. 그런데 대부분의 조종사들이 비행기의 운항 과정에서 겪는 가장 큰 어려움이 착륙이다[1, 2, 3]. 민간 항공사의 대형 비행기 조종사들은 승객의 안전뿐만 아니라 착륙이 “편안한” 여행의 최종 마무리 단계라는 점에서 매우 중요하게 생각한다. 경착륙(Hard landing)이나 착지대를 벗어난 착륙(overshoot)은 승객들에게 심리적 불편을 끼치고 항공기의 구조에 손상을 주므로 이러한 불완전한 착륙은 바람직하지 못하다. 완벽한 착륙은 모든 조종사들의 희망이고 또한 조종사의 기량이 얼마나 우수한가를 평가하는 항목 중 하나이다[4, 5].

비행기가 진동이나 큰 충격 없이 사뿐히 바퀴를 땅에 내리고 무리 없이 정지하는 것이 이상적인 착륙이며 이를 위해서는 당김(flare)의 조작이 가장 중요하기 때문에 이 당김 단계가 조종사를 가장 긴장시키는 부분이다. 당김은 부드러운 착륙을 위해 비행기의 하강 자세와 속력 조절 조작을 하는 단계로 일반적으로 조종사들이 가장 어렵게 느끼는 단계이다[6]. 보통 착륙이라고 부르는 과정은 항공 용어로는 넓은 의미의 접근(approach) 단계와 실제 착륙(landing) 단계라고 불리는 모든 과정을 의미한다. 이 접근과 착륙 과정은 일반적으로 다시 5단계로 세분되어 설명된다. base leg, the final approach, the roundout, the

touchdown, and the after-landing roll이 그것이다 [7]. 이 중에서 Roundout 단계를 보통 당김 단계라고 하며 비행기가 정상 접근 자세(the final approach)에서 착륙자세로 천천히 매끄럽게 전환하여 비행경로(flightpath)가 점진적으로 활주로와 평행선을 이루게 함과 동시에 활주로서 몇 인치 위로 떨어진 상태가 되도록 하는 것을 말한다[7].

비행기 운항에서 넓은 의미에서의 착륙단계(접근과 착륙)가 집중적인 관심의 대상이 된 것은 이 단계에서 인명피해를 동반한 사고가 많이 발생하였기 때문이다. 1959년에서 1973년까지의 총 비행기 사고 중에서 착륙을 위한 접근과 착륙 단계에서의 사고가 약 50%를 차지하였고 특히 접근 단계에서의 비행기 사고는 대량의 인명손실을 초래하였다[8].

비행기의 착륙 단계에 대한 연구는 Kraft의 야간 시계비행에서 발생하는 착시에 관한 연구[8]가 시발점이 되어 여러 학자들이 연구하여 왔다[9, 10, 11, 12, 13]. 그러나 이들 연구는 주로 접근 단계를 다룬 연구로 당김 지점(flare point) 이전 단계에 집중되어 있다. 접근(Approach) 단계의 착오는 경착륙, 착지대를 벗어난 착륙 정도가 아니라 항공기의 추락으로 곧바로 이어지는 심각한 사태를 초래하게 되는 결과, 주로 접근단계에서의 조종사 시각 착오에 연구가 집중되어 왔던 것이다. 그러나 착륙단계에 따라 비행기 조종사가 사용할 수 있는 정보와 조작이 달라지므로 착륙 단계별 연구가 필요하다.

최근에 와서는 당김 단계에 대한 관심도 점차 고조되고 있다. 미국 NTSB(National Transportation Safety Board)의 통계에 따르면 1995년부터 1998년까지의 착륙 단계에서의 사고 중에서 당김 단계의 사고는 평균 17.88%에 달하고 있다. 이 단계의 사고가 비록 인명손실 사고(fatal accidents)의 수는 적지만 비인명손실 사고(non-fatal accidents)의 발생빈도는 가장 높다(Benbassat, Williams, & Abramson, 2005). 당김 단계에서의 조종사의 조작 실수는 경착륙(硬着陸)이나 착지대를 벗어난 착륙으로 이어져 착륙 사고를 일으킬 수 있다[14]. 그 밖에도 비행기의 실속, 바운싱[15, 16], 한 쪽 바퀴만의 착륙[17,18] 등으로 바퀴와 바퀴 구조물에 지나친 하중을 주어 항공기 손상의 원인이 된다.

완벽한 당김 조작을 위해서는 우선 고도판단이 중요하다. 그림 1은 FAA의 비행매뉴얼[7]과 Boeing747의 비행매뉴얼[19]을 기초로 당김 단계에서 조종사가 수행하는 주요 의사결정 과정을 순서도로 그린 것이다. 착륙 시 조종사는 Final approach를 수행하고 나서 당김 조작을 하기에 적정한 고도가 될 때까지 안정적으로 하강하다가 당김 적정고도(당김 지점)가 되면 pitch 조정여부를 결정한다. 원칙적으로 당김 지점을 결정하는 판단기준은 비행기의 고도이고, pitch의 조정은 하강률에 따라 결정한다. 물론 상황에 따라 역으로 pitch가 하강률의 판단기준이 되는 경우도 있을 것이나 적어도 이론적으로 그림 1과 같다.

즉, 성공적 착륙을 위한 당김 조작에 있어서 가장 중요한 정보는 고도와 속도인 것이다. 당김 단계에서 당김 조작을 시작할 고도를 정확하게 판단하지 못하면 비행기가 활주로부터 너무 높은 고도에 있을 때 당김[20, 21, 22]을 하거나 반대로 너무 낮은 고도에서 당김을[23, 24, 18]하게 되며 이러한 판단착오는 경착륙이나 사고의 원인이 된다.

비행기의 고도 판단에 관한 연구는 비정상적인 특수 환경하의 접근 단계에 대해서는 많이 이루어졌으나 당김 단계에서의 고도판단에 대한 연구는 별로 없다. 당김 단계에서의 높이 판단의 기제를 이해하기

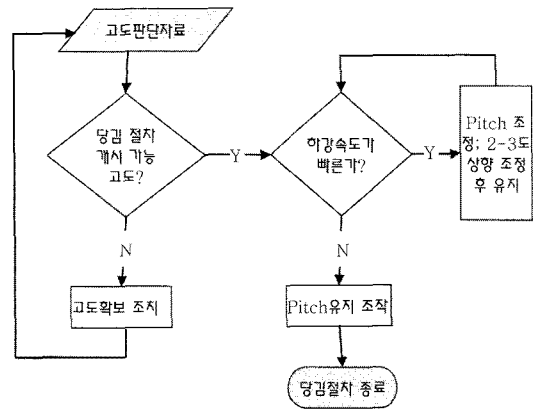


그림 1. 당김 절차 흐름도

위해서는 특히 50feet 이하의 저고도에서의 조종사의 높이지각에 대한 연구가 필요하지만 대다수의 연구들은 이보다는 훨씬 더 높은 고도에서의 착시현상(대표적으로 Kraft의 연구)을 다루고 있다. 당김 단계에서 시각정보를 사용한 높이 판단에 대한 연구는 다음의 세 가지 측면에서 매우 중요하다. 첫째, 비행고도가 1000feet 이상일 때 조종사가 시각정보로 높이를 판단하는 경우는 실제로는 거의 없다. 대개 고도계를 참조하기 때문이다. 그러므로 어떻게 보면 비행에서 조종사가 시각정보에 의해 정확한 높이를 지각해야 하는 시점은 당김 단계의 저고도에서 뿐이라고 해야 할지도 모른다. 둘째, 정확한 높이지각이 갖는 중요성은 저 고도에서 더욱 크다. 20~30feet의 거리판단 오차는 1000feet 이상의 비행고도에서는 큰 문제를 일으키지 않으나 당김 단계인 저고도에서는 착륙사고를 유발할 수 있는 정도의 크기이기 때문이다. 셋째, 당김과 관련한 또 다른 문제는 시계비행(Visual Flight) 상황에서 당김 조작을 하는 과정에 대해서는 숙련된 조종사도 잘 설명을 할 수 없을 정도로 밝혀진 것이 없다는 것이다. 비행교관들이 학생들을 가르칠 때 당김 조작 지점을 제대로 표현하지 못해 '격납고 높이' 혹은 '날개 길이 반쯤 되는 높이'라거나 심지어 '지금이야 너무 높아'와 같은 식으로 가르친다고 한다[14]. 보다 효과적이고 표준화된 교육을 위해서도 당김 과정을 정확하게 이해하기 위한 연구가 필요

하다.

최근에는 넓은 의미에서의 착륙단계에서 발생하는 사고 중에서 접근 단계뿐만 아니라 당김 단계에서의 사고에 대한 연구도 이루어지고 있다. 그러나 접근 단계에 비해 사고의 인명손실이 작은 탓이어서인지 이에 대한 연구가 상대적으로 적은 편이다. 당김 단계에 관한 최근의 연구로는 사고 발생 빈도의 분석과 조종사에 대한 설문문을 통해 당김 높이 판단에서 기준을 삼는 것이 무엇이나를 조사한 연구[6, 14]가 있다. 그리고 당김의 시점 결정에 미치는 그림 단서(pictorial detail)의 효과를 다룬 연구[25]나 당김 조작 시 비행고도 판단에는 양안심도 지각단서보다는 단안심도 지각단서에 의존하고 있다[6]는 연구들이 있다. 그러나 이들 연구들은 기술적(descriptive)인 수준에 그치거나 특정한 시각단서의 효과만을 검증하는 데 그치고 있다.

더군다나 기존의 연구들은 비행기의 크기를 고려하고 있지 않다. 당김 단계의 조작에 대하여 기존 연구들은 당김 조작이 어떤 다른 감각보다도 시각에 의존한다고 한다[7, 26, 27, 3, 28]. 그리고 특별히 대형 비행기와 소형 비행기의 조작에 대해 차이를 두어 설명하고 있지 않다. 그러므로 당김 단계의 시각 지각과 그에 따른 조종사의 조작에 관한 각종 설명은 대형비행기와 소형비행기를 구별함 없이 양자 모두의 적용되는 것처럼 해석하게 된다.

대다수 소형 비행기의 경우 조종사들은 이 과제들의 대부분을 시각에만 의존하여 수행하고 있으며 미국의 3개의 비행학교에서 134명의 조종사를 대상으로 한 설문조사연구에 의하면 소형 비공기의 경우 조종사들은 당김 지점의 결정을 위한 높이판단에 별다른 어려움을 겪지 않는다고 대답하였다[6]. 비행학교에서 사용하는 비행기는 대개 소형 비행기이므로 이러한 연구 결과는 소형 비행기의 경우, 주간의 맑은 날씨에서 시각정보를 근거로 높이를 판단하는 데 어려움이 없다는 것을 의미한다.

대형 비행기의 경우에도 당김 지점과 그 이후의 단계에서는 눈을 활주로에서 뺄 수가 없어 head-down

계기를 볼 수 없는 상황이 되므로 당김 조작은 오로지 시각에 의존하여 이루어진다고 생각할 여지가 많다. 또 근래의 대형 비행기들은 착륙과정에서 시각정보 이외에도 각종 계기와 장비들의 도움을 받을 수 있다. 그러나 이런 장비에도 불구하고 자동 착륙을 실시하는 경우가 아니면 여전히 당김은 조종사의 수동조작으로 이루어진다는 사실은 조종사들이 자신의 시각정보를 바탕으로 당김 조작을 한다고 생각하게 만든다.

그러나 대량 수송에 사용되는 대형 비행기들의 조종사들은 지상으로부터 높은 조종실의 위치, 빠른 접근속도와 수직강하속도로 인하여 당김 조작 시작 높이에 있어서 소형기에 비해 상대적으로 부족한 시각정보를 가지고 조종을 하여야만 한다. 이런 어려움을 극복하기 위한 방법으로 비행기 제작사는 전파 고도계 사용을 추천하고 있고 현재 운항중인 대형 비행기의 대다수에는 전파고도계가 장착되어 있다. 그러나 이와 같은 대형기의 구조적 특징이 조종사의 시지각에 미치는 영향이 어느 정도인가 하는 문제는 지금까지 특별한 주목을 받지 않았다.

앞서 논의한 바와 같이 접근 단계에서의 사고가 가져오는 결과의 심각성으로 인하여 이 단계의 시지각에 대한 연구가 비교적 많이 이루어졌고 이러한 연구의 성과는 곧바로 당김 단계에 일반화되어 적용되고 있다. 예를 들면, 당김 단계의 시지각 단서의 활용도를 조사한 한 연구[6]에서는 조종사의 높이지각은 단안심도지각단서에 의존하고 있다고 단정하고 이 이론에 근거하여 조종사들에 대한 설문지의 질문문항을 작성하였다. 넓은 의미의 접근 단계에서 조종사가 단안심도지각에 의존한다는 가정은 별 문제가 없어 보인다. 비행기와 활주로의 거리가 멀어 양안심도단서가 사용될 여지가 거의 없기 때문이다. 조종사의 착시현상 연구의 모범적 고전이 된 Kraft의 연구는 활주로에서 20마일 떨어진 곳에서 4.5마일 떨어진 곳까지 비행기가 접근하는 동안의 시지각의 문제를 다루고 있다[8].

양안심도단서들 중 가장 멀리까지 어느 정도의 정

확성을 유지한다는 입체시(Stereopsis)조차도 그 이론적 최대 범위가 100feet를 넘지 못하므로 수마일 밖의 물체와의 정확한 거리의 지각이 고려될 여지가 없음은 당연하다. 활주로에서 4.5마일 이상 떨어진 접근 단계에서 정상비행 중이라면 조종사의 눈의 지상고도는 최소 1000feet 이상이며 여기서 20~30feet의 판단 오차가 있다고 해도 이것은 비행기의 안전에 아무런 위협이 되지 않는다.

그러나 당김 단계 이르게 되면 사정은 달라진다. 대형 비행기의 조종실은 지상으로부터 상당한 높이에 위치한다. 또한 실제 당김 조작을 시작할 때의 눈의 높이는 당김 지점의 높이에 비행기 자체의 높이가 더해져 더 높아진다. The Boeing Company의 Training Manual에 따르면 B737-800의 경우[29] 조종사의 눈과 바퀴의 높이 차이는 15feet, 당김의 시작 고도는 15feet이어서 조종사의 눈높이가 활주로로부터 30feet가 되는 시점에서 당김을 시작하며, B777의 경우[30] 정상적인 접근 중 조종사의 눈과 바퀴의 높이 차이는 27feet, 당김의 시작 고도는 20feet로, 당김을 시작할 때의 조종사의 눈높이는 활주로로부터 47feet가 된다. B747-400의 경우[19] 정상적인 접근 중 조종사의 눈과 바퀴의 높이 차이는 35feet이고, 당김의 시작 고도는 30feet이므로 조종사의 눈높이는 활주로로부터 65feet가 된다. 종합하면 보잉 계열의 대형기의 경우 당김 시작 시점에서 조종사의 눈높이는 지상으로부터 30feet에서 65feet 사이이다.

이와 같은 대형기 조종사의 지상으로부터의 눈높이의 의미는 당김 조작의 성격을 고려하면 보다 분명해진다. 문제는 당김 단계에서 허용되는 판단착오의 범위가 크지 않다는 데 있다. FAA 2004 매뉴얼[7]은 당김 고도를 10feet에서 20feet 사이를 유지하라고 권고하고 있다. 다시 말하면 허용오차가 10feet 이내라는 것이다. 인간의 절대거리 지각력은 근거리(1.5m 이내)에서는 대단히 우수하다고 한다. 그러나 2~30m 구간에서는 그 정확성이 어느 정도 감소할 뿐이나 30m를 넘어서면 그 정확성은 대폭 감소하게 된다고 한다[31]. 그러므로 활주로에서 수마일 떨어진 곳

에서 사용할 수 있는 심도지각단서정보는 단안 단서 정보뿐일 것이다. 양안 단서들을 효율적으로 사용할 수 있는 거리가 입체시일 경우 100feet 이하이고 수렴도(convergence)는 6~8feet에 불과하다. 대단히 정확한 단안심도지각단서인 원근조절(accommodation)의 경우도 그 적용범위는 6~8feet가 한계다[32].

그러므로 당김 이전의 접근단계에서 단안심도지각을 사용할 뿐이라는 가정은 지극히 합리적이다. 그러나 당김 단계에서는 문제가 되는 지상과의 높이가 소형기의 경우 불과 10feet에서 20feet 내외이므로 이 높이에서는 양안심도지각단서인 양안부동(binocular disparity), 수렴도 그리고 정확한 단안심도단서이나 그 적용범위가 좁은 원근조절이 사용될 가능성이 있다.

Cutting과 Vishton의 연구[31]에 의하면 생활공간(2-30m)내에서는 원근조절, 수렴, 운동시차가 절대거리(absolute distance) 판단에 약한 심도 단서가 될 뿐이나 양안부동에서 이 수렴도를 척도로 사용하면 2m 이내에서만 정확성을 갖는 수렴도에 의한 절대거리 지각력이 이 한계를 뛰어 넘어 작용한다고 한다. 그러므로 양안부동이 작용하는 30m 범위까지 그 정확성이 확장된다고 보아야 한다. 또 가까운 거리의 지표면의 단서들이 더 먼 거리의 지각을 위한 중요한 단서라는 증거도 있다[33].

정확한 깊이 지각이 가능한 양안단서의 사용이 30m 범위 정도라고 하면 대형 비행기 조종사들은 비행기의 대형화로 인해 정확한 높이지각을 하지 못할 가능성이 높아진다. 왜냐하면 FAA 매뉴얼[7]에 의하면 당김 지점에서 조종사의 시선이 초점(aimpoint)을 만나는 각도는 10~15도이며 이는 비행기의 기종이나 크기와 관계없이 보편적인 것이라고 한다. 그런데 매뉴얼은 당김 고도를 10~20feet로 하고 있으므로 삼각비 공식을 사용하여 거리를 계산하면 이때 조종사의 눈과 초점과의 거리는 소형비행기의 경우는 약 11.6m에서 34.5m 사이이다. 반면, 747-400의 경우 조종사의 눈의 지상고도는 65feet이므로 이때 10~15도의 각도로 초점을 보게 되면 조종사의 눈과 초점의

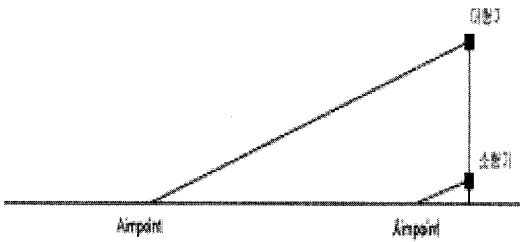


그림 2. 대형기와 소형기의 당김 지점에서의 눈과 활주로 간의 거리 비교

거리는 75m에서 112m 사이가 된다. 이 같은 차이는 아래 그림을 보면 잘 알 수 있다. 그림은 대형기와 소형기 모두 초점과의 각도가 15도이고 대형기의 고도는 당김 지점에서인 눈높이 65feet, 소형기의 고도는 당김 지점에서인 눈높이 10feet일 때를 기준으로 그린 것이다.

이와 같은 계산 결과는 소형비행기의 경우에는 당김 단계에서 정확성이 높은 양안심도지각이 활용될 가능성이 있다는 것을 의미한다. 조종사의 눈과 초점과의 거리가 생활공간의 범위(2~30m) 내에 있기 때문이다. 그러나 747-400 조종사의 경우 조종사의 눈과 초점 사이의 거리는 생활공간의 범위를 벗어나 있다. 그리고 비교적 높은 고도에서 활주로 전체의 조망으로부터 얻을 수 있었던 높이 단서들은 사라지나 이를 대체할 시각정보가 양안심도단서로부터 전혀 제공되지 않는다. 그러므로 당김 단계에서 대형항공기의 조종사는 소형비행기 조종사와는 달리 높이지각에 충분한 시각정보를 갖지 못한다고 가정할 수 있다.

요약해 보면, 단서이론(Cue theory)에 의하면 심도 지각은 크게 단안단서와 양안단서의 두 종류의 단서에 의존하며 단서가 많으면 많을수록 더 정확하게 깊이와 크기를 추론할 수 있다고 한다[34]. 그런데 절대 거리 단서들을 효율적으로 사용할 수 있는 범위가 입체시일 경우 100feet 이하이고 수렴과 원근조절일 경우 6~8feet 이하이므로 747과 같은 대형비행기의 경우 당김 단계에서 이 두 양안 심도지각 단서는 사용하기 힘들다.

그리고 단안 심도 지각에 사용할 수 있는 단서들인 그림단서(중첩, 크기, 높이 대기적 전망, 친숙한 크기, 직선적 전망 결의 각도), 운동생성단서(운동시차, 감소와 증가)들[34]을 대형 비행기의 조종사가 사용할 경우에도 소형비행기 조종사가 사용할 때보다는 그 사용의 정확도가 감소할 것이다. 예를 들어 결의 각도 단서의 경우 가까운 곳(A)과 먼 곳(B)간의 결의 차이를 비교하는 것이 먼 곳(B)과 더 먼 곳(C) 사이의 결의 차이를 비교하는 것보다는 거리의 정확한 측정에 더 용이할 것이기 때문이다. 단서이론의 입장에서 대형항공기의 구조적 특징을 고려하여 판단해보면 대형 비행기 조종사는 소형비행기 조종사보다 사용 가능한 단서의 수가 적으며 또 단서가 사용 가능할 때에도 그 질이 정확도의 측면에서 떨어진다.

또 깊이와 크기 지각에 대한 J. J. Gibson[35]의 생태학적 접근(ecological approach)이론에 의할 경우에도 대형비행기 조종사의 심도/거리 지각의 정확성이 감소할 것이다. 이 이론에 의하면 깊이 지각에 대한 핵심적 정보는 대지표면에 있고(ground theory) 대지표면이 주는 불변정보(invariant information)-예를 들어 활주로 바닥의 결-를 파악하기 위해서는 관찰자의 눈높이가 대지 표면에서 너무 먼 것보다는 적당히 가까운 것이 보다 정확한 정보파악에 유리할 것이기 때문이다.

깊이와 크기에 관한 단서이론에 의하던 생태적 접근에 의하든 간에 지각심리학적으로는 대형비행기 조종사는 비행기의 거대한 크기로 인해 당김 지점에서의 눈의 지상고도차이로 인하여 부족하거나 질이 떨어지는 시각정보를 갖게 되고 그 결과 당김 지점 결정을 위한 높이 판단의 정확도가 떨어질 수밖에 없다.

이러한 판단의 부정확성 문제는 대형 비행기가 당김 지점으로 진입하는 시점에서의 속도가 빠르다는 사실에 의해 증폭된다. 일반적으로 속도가 빠를수록 시각에 의한 순간적 거리판단의 정확도는 감소하기 때문이다. 그러므로 대형비행기의 구조는 조종사의 눈의 지상고도를 높이고 당김 지점에서의 진입속도

를 증가시켜 조종사가 심도/거리 지각에 사용할 수 있는 시각정보의 양과 질을 떨어뜨릴 것이다. 즉, 눈의 지상고도가 높다는 점과 빠른 진입속도가 상승작용을 일으켜 대형비행기 조종사의 시지각에 의한 절대거리 판단의 정확성은 감소할 것이고 이것이 당김 조작에 장애를 일으킬 것이라는 것은 쉽게 예상할 수 있는 것이다.

본 연구에서는 대형 항공기 조종사들이 시각정보만으로는 당김 단계에서 정확한 높이지각을 하기 어렵다는 가설을 검증하려고 한다. 특히 조종사들의 주관적인 보고가 아닌 실험을 통하여 높이지각의 정확성을 객관적으로 검증하였다.

2. 연구 1 : 정적 시각 단서의 검증

조종사들의 높이지각을 설명하는 두 가지 입장 중 하나는 단서이론의 배경을 가진 것이다. 조종사들이 VFR(시계비행규정: visual flight rules)에 따라 비행할 때에는 동적 단서(dynamic cues)와 정적 단서(static cues)를 사용한다고 한다. 이 이론에 의하면 정적 단서는 비행기의 고도와 glide-slope 판단에 사용하며 동적 단서는 초점을 정하고 비행기를 그 지점을 향해 가도록 유지하는 데, 즉 glide path를 정하는 데 사용한다고 한다. 동적 단서는 초점에서 빠르게 바깥쪽으로 팽창하는 전경이다. 정적 단서들 중에서는 특히 활주로의 모양, 크기, 위치가 중요하며 조종사들은 비행기의 창문 밖 모습을 한 순간 보고 이 정보를 얻는다고 한다[3].

연구 1에서는 대형비행기 조종사가 대형비행기의 구조적 특징으로 인하여 부족하거나 질이 떨어지는 시각정보에도 불구하고 위의 이론과 같이 시각정보만에 의존하여 높이지각을 정확히 할 수 있는가를 알아보았다. 정적 단서만으로 높이를 지각한다는 견해의 타당성을 검토하기 위해 높이 결정 단서인 정적 단서만으로 높이지각의 정확성을 실험해 보았다. 조종사들은 비행 중 일정 시점에서 창 밖을 한번 보고 이러한 정보를 얻는다고 보고한다. 그러므로 일체의

다른 맥락 정보 없이 오로지 정적 시각정보만으로 대형비행기에서 높이 판단이 가능한 지를 알아보기 위해 각각의 높이 사진을 섞어 보여 주고 각 사진에서의 비행기 높이를 추정하도록 하였다.

또 단서이론에 의하면 사람들은 단서(양안단서, 단안단서)와 깊이 간의 관계를 환경과의 이전 경험을 통해 학습하고, 학습된 특수한 단서와 깊이 간의 관계는 자동화되어 이러한 단서들이 존재하면 곧바로 3차원의 경험, 즉 깊이지각을 하게 된다고 한다. 또한 단안심도지각에는 단서와 훈련이 필요하다고 한다. 양안심도지각은 단안심도지각과 달리 생래적 특성을 가지기는 하였으나 양안에 의하여 심도를 정확하게 지각하기 위해서는 이 역시 단서와 훈련이 필요하다고 한다. 다시 말하면 심도지각의 정확성은 학습에 의존하다고 할 수 있다.

그러므로 조종사의 경험과 숙련도가 높을수록 높이를 보다 정확하게 지각할 수 있을 것이라고 가정할 수 있다. 만약 대형비행기의 구조적 특징이 높이지각에 영향을 주지 않는다면, 대형비행기의 조종사가 많은 경험과 숙련성을 갖춘 조종사는 적당한 양의 질과 양의 시각 자료를 갖기만 한다면 충분히 정확하게 높이지각을 할 수 있을 것이다.

따라서 본 연구를 통하여 검증한 가설은 구체적으로 다음과 같다.

가설 1 : 대형비행기 조종사들은 정적 단서로 정확한 높이지각을 할 수 없다

가설 2 : 대형비행기 조종사의 경험과 숙련도는 정확한 높이지각에 도움이 되지 않는다.

2.1 참가자

연구 2회 실시하는 B747-400 기종 지상 학술 교육에 참여한 국내 A 항공사의 38명의 현역 B747-400 조종사들이 실험에 참여하였다. 총 38명 중 기장은 14명(총 비행시간 $M=12109.09$, $SD=1331.33$, B747-400 비행시간 $M=4636.36$, $SD=889.56$), 부기장은 24명(총

비행시간 $M=2942.86$, $SD=283.48$, B747-400 비행시간 $M=1842.86$, $SD=215.90$ 이었으며 모두 한국인이었다.

2.2 실험자극

B747-400 Full Flight Simulator를 사용하여 작성한 5장의 사진을 실험 자극으로 사용하였다. B747-400 Full Flight Simulator는 항공사에서 B747-400 조종사들의 신규 및 보수 교육 등에 사용하는 것으로 캐나다 항공국의 인증을 받은 simulator이며 사용 당시 모든 기능은 정상 작동되고 있었다. 일상적인 비행 상황의 재현을 위하여 사용 공항, 비행기 중량, 무게 중심 등 운항에 영향을 미칠 수 있는 요소들은 항공사의 기장들의 의견을 반영하여 결정하였다.

가장 익숙한 활주로를 자극으로 사용하기 위하여 조사 항공사의 모기지인 인천 국제 공항의 가장 자주 사용되는 활주로인 33R을 사용하여 사진을 촬영하였다. 착륙 중량은 일상의 비행에서 쉽게 경험할 수 있는 530,000LBS로 설정하였고 접근 속도는 143 KTS이었다. 구름이 없는 맑은 주간에 시정은 10KM가 넘는 상황을 부여하여 시각적 오류가 발생하지 않도록 고려하였고 무풍 상태로 설정하여 바람의 영향에 따른 오류도 배제하였다. 무게 중심 25%를 적용하였으며 비행기의 모든 시스템은 정상 작동되는 상태로 설정하였다.

조종석에서 창밖을 바라보는 높이를 보정하기 위하여 비행기에 설치되어 있는 Eye level point에 맞추어 사람의 시야각과 같은 시야각을 가지는 렌즈를 사용하는 캠코더를 기장석에 설치하였다. 캠코더의 설치 후 캠코더가 촬영할 시점은 B747-400 조종사인 연구자가 조절하였다. 인천 공항 활주로 33R에 Auto pilot과 Auto throttle을 사용하여 Auto landing을 실시하였으며 성공적인 착륙 장면을 캠코더로 촬영하였다. 초당 29frame으로 촬영된 동영상을 편집 프로그램을 이용하여 1/30초 단위의 frame별로 구분하였으며, 이 구분된 정지 화면에서 실험에 사용할 특정

고도(사진 1: 85feet, 사진 2: 45feet, 사진 3: 25feet, 사진 4: 35feet, 사진 5: 55feet)의 사진들을 작성하였다.

2.3 실험절차

실험은 피험자들이 지상 학술 교육을 받는 강의실에서 이루어졌으며, 100인치 빔 프로젝터를 이용하여 사진을 제시하였다. 조종사들이 강의실에 착석한 위치에 따른 사진을 보는 데 어려움은 없는지를 먼저 확인했다. 사진이 촬영된 모든 조건에 대한 상세한 설명을 선행하였고 기상, 비행기 성능 관련 자료(중량, 무게 중심 등) 등 피험자들의 의문점에 대하여 충분히 설명하였다.

사진은 실제 상황을 재현하기 위하여 각 사진을 약 2초간 제시하였으며 사진을 본 순간 처음 인지한 높이를 적도록 요구하였고 일단 작성한 답은 수정하지 않도록 하였다. 또한 사진에 대한 높이 판단이 명확하지 않을 경우 적절한 추측을 하게 하였으며 이도 불가능한 경우 빈 칸으로 남겨 두도록 하였다. 타인의 답을 참고하지 못하도록 하였으며, 짧은 사진 제시 간격에 따라 이런 현상은 효과적으로 방지되었다. 실험 후 피험자들은 사진 제시 시간의 부족으로 인한 어려움은 호소하지 않았다.

2.4 결과

2.4.1 높이지각의 정확성 분석

대형비행기 조종사들은 정적 단서로 정확한 높이지각을 하는지를 알아보기 위하여 자극으로 제시된 각 사진에 대하여 실제 고도와 실험 참가자들이 추정한 고도간의 차이를 단일표본 t검증을 통하여 차이를 분석하여 보았다.

표 1에서 볼 수 있듯이 사용한 5개의 자극 사진 중 가장 높은 고도인 85feet 사진에 대해서는 평균차이 검증이 유의하지 않았다. 평균적으로 추정한 높이는 79feet로 상당히 정확하게 고도 추정을 하였다. 그러

나 나머지 높이의 사진에 대해서는 정확한 높이 추정을 하지 못하였다. 실제 높이와 추정한 높이 간의 차이가 통계적으로 유의하였다. 이러한 결과는 조종사들이 정지되어 있는 사진만으로는 착륙 단계에서 비행기의 높이를 제대로 판단하지 못한다는 것을 의미한다.

추가로 추정한 높이들 간의 차이가 통계적으로 유의한지를 알아보았다. 실제 비행기 높이와 지각된 높이 간의 차이가 제시된 사진, 즉 고도에 따라 다른지를 검증하기 위하여 실제 높이와 피험자들이 추정한 높이 간의 차이를 구하였다. 각 높이별 실제 높이와 추정 높이간의 평균 차이는 표 2에 제시되어 있다.

표 1. 실제 높이와 지각 높이간의 차이 검증

| 제시 순서 | 피험자 수 | 실제값 | 추정값 평균 | t값 |
|-------|-------|--------|--------------|----------|
| 1 | 31 | 85feet | 79.68(35.35) | -.838 |
| 5 | 31 | 55feet | 71.61(37.60) | 2.460* |
| 2 | 34 | 45feet | 34.41(15.41) | -4.006** |
| 4 | 36 | 35feet | 47.36(33.62) | 2.206* |
| 3 | 37 | 25feet | 68.11(52.85) | 4.961** |

* p<.05 **p<.001
괄호 안은 표준편차

표 2. 실제 높이와 지각 높이간의 차이값

| 제시 순서 | 피험자 수 | 실제값 | 차이값 평균 |
|-------|-------|--------|--------------|
| 1 | 31 | 85feet | 29.03(19.51) |
| 5 | 31 | 55feet | 30.96(23.71) |
| 2 | 34 | 45feet | 15.00(11.00) |
| 4 | 36 | 35feet | 23.75(26.60) |
| 3 | 37 | 25feet | 45.27(50.96) |

괄호 안은 표준편차

만일 사진을 보고 정확하게 높이를 지각하였다면 차이값은 0이 되므로 이 차이값이 적을수록 정확하게 높이를 지각하였음을 의미한다. 제시된 5개 사진의 실제 높이와 지각한 높이간 차이값에 대하여 반복측정 변량분석을 실시하였다. 그 결과, $F(4, 88) = 3.607, p < .01$ 로 유의한 차이가 있었다.

어느 높이에서 높이지각의 오차가 크게 발생하였는지를 검증하기 위하여 실제값과 추정치간의 차이가 유의하지 않았던 85feet의 사진에 대한 차이값을 기준으로 이 차이값과 다른 사진들에 대한 차이값을 단순대비 검증을 하였다. 45feet와 35feet에 대한 높이지각의 차이값이 85feet에 대한 차이값과 유의하게 달랐다($F(1, 22) = 9.368, p < .001$; $F(1, 22) = 10.859, p < .001$). 이는 다른 높이보다 당김 조작을 시작하기 직전의 높이인 45feet 내지 35feet 높이에 대한 지각이 다른 고도에서의 높이지각보다 매우 부정확함을 의미한다.

2.4.2 숙련도에 따른 차이 분석

숙련도에 따른 차이를 살펴보기 위하여 피험자를 기장과 부기장의 두 집단으로 나누어 피험자간 분석을 실시한 결과, 직위의 주효과는 $F(1, 21) = 2.635, p = .119$ 로 유의하지 않았다. 사진과 직위의 상호작용 역시 $F(4, 84) = .442, p = .778$ 로 통계적으로 유의하지 않았다. 표 3에 기장과 부기장 집단의 사진 자극 추정값에 대한 평균과 표준편차를 제시하였다.

이러한 결과는 본 연구의 가설을 지지하는 것으로 정지되어 있는 사진만으로는 기장이나 부기장 모두 정확하게 고도 판단을 하지 못한다는 것을 의미한다. 즉, 대형 비행기의 경우 정적단서만으로는 정확한 높이지각이 어려우며 숙련도와 풍부한 경험도 높이지각의 정확성에 유의미한 영향을 주지 못하였음을 시사하는 결과이다.

표 3. 기장과 부기장의 높이지각

| 제시 순서 | 실제 값 | 기장 | | 부기장 | |
|-------|------|-------|--------------|-------|--------------|
| | | 피험자 수 | 추정값 평균 | 피험자 수 | 추정값 평균 |
| 1 | 85 | 11 | 68.18(32.50) | 20 | 86.00(30.04) |
| 5 | 55 | 11 | 70.00(44.04) | 20 | 72.50(34.77) |
| 2 | 45 | 12 | 30.83(15.64) | 22 | 36.36(12.28) |
| 4 | 35 | 14 | 51.79(35.27) | 22 | 44.55(33.05) |
| 3 | 25 | 14 | 72.14(57.67) | 23 | 65.65(50.88) |

괄호 안은 표준편차

3. 연구 2 : 동적 단서의 검증

연구 1에서는 사진을 이용하여 정적 단서만으로는 저고도에서 높이지각을 정확하게 할 수 없음을 밝혔다. 연구 2에서는 피험자들에게 사진이라는 정적인 단서가 아니라 실제 착륙의 전 과정을 비디오로 보고 높이를 평가하게 함으로써 정적 단서와 더불어 동적 단서, 즉 속도와 tau(두 물체 간의 시야각과 그 시야각의 팽창률 간의 비율) 등의 효과를 검증하였다. 실제 대형 항공기 시뮬레이터에서 착륙을 하는 전 과정을 담은 비디오를 제시하고 높이지각을 하도록 하였다.

만일 이 연구에서 높이지각이 정확하게 이루어진다면 연구 1에서의 부정확한 높이지각은 동적 단서가 제시되지 않았기 때문이라고 결론내릴 수 있을 것이다. 그러나 만약 연구 2에서도 높이지각이 부정확하다면, 대형비행기의 조종사는 시각정보의 부족을 겪고 있으며, 기존의 당김에 대한 이론은 대형비행기에 관한 한은 그 구조적 특징을 고려하지 않고는 그대로 사용될 수 없다는 것을 의미한다. 연구 2에서도 연구 1과 마찬가지로 숙련도를 높이지각에 영향을 줄 주요 변수로 선정하여 그 효과를 검증하였다.

연구 2의 가설은 다음과 같다.

가설 1 : 동적 단서와 정적 단서를 모두 제시해도 높이지각은 정확하지 않을 것이다

가설 2 : 경험과 숙련도에 따른 높이지각의 차이가 없을 것이다

3.1 참가자

연구 2회 실시하는 B747-400 기종 지상 학술 교육에 참여한 항공사의 15명의 현역 B747-400 조종사들이 실험에 참여하였다. 총 15명 중 기장은 7명(총 비행시간 $M=12680.00$, $SD=3120.48$, B747-400 비행시간 $M=4910.00$, $SD=1772.17$), 부기장은 8명(총 비행시간 $M=4300.00$, $SD=1199.55$, B747-400 비행시간 $M=1750.00$, $SD=489.08$)이었다. 기장 중 4명은 외국

인이었으며 나머지 피험자들은 한국인이었다. 연구 1 실시 이후 45일 이후 연구 2를 실시하였으며 연구 1에 참가하였던 참가자 중 연구 2에 다시 중복 참가한 사람은 없었다.

3.2 실험자극

연구 1의 사진을 얻기 위해 사용했던 동영상을 편집하여 연구 2에서 사용하였다. 동영상의 형태로 제시됨에 따라 이전 연구와 비교하여 속도 정보가 추가로 제공되었고 동영상 시작 시점인 350feet에서의 현재 고도를 알려주어 고도 맥락 정보를 1회 제공하고 동영상이 시작한 이후 100feet에서 실제 비행에서와 같이 높이를 알려주는 automatic call-out을 들려주어 고도 맥락 정보를 총 2회 부여하였다. 이는 맥락정보와 함께 실제 비행에서도 조종사가 저고도에서 먼저 고도계를 확인하여 고도를 확인한 이후 외부 환경을 관찰하는 현장 특성을 그대로 반영하기 위한 것이다.

고도추정을 해야 하는 시점을 알려주는 자극으로 8개의 “삑” 소리를 동영상에 삽입하였다. 이 소리가 엔진 소리 등 다른 소음에 간섭 받지 않게 하기 위하여 이 소리와 100feet call-out을 제외한 다른 소리는 삭제하였다. 1/30초의 정확도를 가진 편집 기능을 이용하여 300feet, 250feet, 200feet, 150feet, 50feet, 30feet, 10feet, 0feet에서 추정을 하도록 소리를 삽입하였다. 각 자극 간의 최소 간격은 2초이며 최대 간격은 3.5초 정도였다(그림 3 참조).

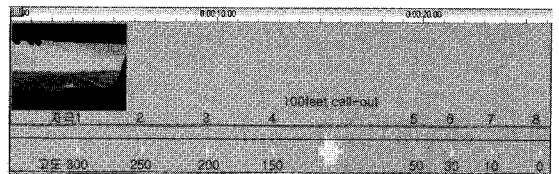


그림 3. 자극물의 음성자극 내용

3.3 실험 절차

연구 1에서와 같은 강의실에서 모든 피험자들이 함께

모인 상태에서 실시하였다. 동영상의 소리가 모든 피험자에게 잘 들리는지 미리 확인하였으며 높이 추정을 하도록 하는 자극인 “뺨” 소리에 충분히 숙달될 수 있도록 시연한 다음, “뺨” 소리가 난 시점의 높이를 판단하여 설문지에 답을 적도록 하였다. 총 길이 26 초 정도의 짧은 시간 내에 8개의 자극에 답하여야 하므로 시간 부족을 고려하여 총 3회 반복하여 보게 하였다. 기타 피험자의 행동 요령 등은 이전 연구에서와 같은 방법으로 실시하였다.

3.4 결과

3.4.1 높이지각의 정확성 분석

정적 단서나 동적 단서 등 모든 시각단서를 제시하여도 대형비행기 조종사들이 높이지각을 하는 데 어려움을 겪을 것이라는 가설을 검증하기 위하여 각 높이에서 실험 참가자들이 추정된 고도와 실제 높이 간의 차이를 단일표본 t검증을 통하여 차이를 분석하여 보았다. 표 4에서 볼 수 있듯이 정확한 높이를 알려주고 시작했던 높은 고도에서는 실제값과 추정값 간의 차이가 유의하지 않았다. 300feet, 250feet 그리고 200feet에서는 실제 높이와 추정된 높이 간의 차이가 전혀 유의하지 않아 대형항공기에서도 높은 고도에서는 시각정보만에 의존하여서도 상당히 정확한 고도 추정이 가능함을 보여준다.

그러나 고도가 낮아질수록 고도 추정의 정확도는 감소하기 시작하여 150feet와 50feet에서는 실제값과 추정값 간의 차이가 통계적인 유의수준에 근접하여($t=2.052, p=.061$; $t=2.004, p=.068$) 점점 지면에 가까워지면서 고도추정의 정확성이 감소하는 경향성을 보였다.

특히 본 연구의 주요 관심사인 저고도에 해당하는 30feet 이하의 고도에서는 실제값과 추정값 간의 통계적인 차이가 유의하여 대형기에서는 낮은 고도에서 정확한 고도지각을 하기 어렵다는 가설이 지지되었다. 이는 대형 비행기 조종사들이 시각 단서만으로는 착륙 중 당김 단계에서 비행기의 높이를 제대로

표 4. 실제 높이와 지각 높이간의 차이 검증

| 추정시점 | 피험자 수 | 추정값 평균 | t값 |
|---------|-------|---------------|---------|
| 300feet | 12 | 297.50(28.00) | -1.309 |
| 250feet | 14 | 250.36(34.33) | .039 |
| 200feet | 14 | 185.71(36.94) | -1.447 |
| 150feet | 14 | 132.50(31.91) | -2.052 |
| 50feet | 13 | 61.54(20.76) | 2.004 |
| 30feet | 14 | 38.57(14.73) | 2.177* |
| 10feet | 14 | 25.36(13.08) | 4.394** |
| 0feet | 14 | 15.00(15.93) | 3.523** |

* $p<.05$ ** $p<.001$
괄호 안은 표준편차

표 5. 자극 추정값과 실제값 차이의 절대값

| 추정시점 | 피험자 수 | 차이값 평균 |
|---------|-------|--------------|
| 300feet | 12 | 22.14(22.93) |
| 250feet | 14 | 25.36(22.05) |
| 200feet | 14 | 24.29(30.81) |
| 150feet | 14 | 26.78(23.99) |
| 50feet | 13 | 38.46(20.75) |
| 30feet | 14 | 12.14(11.72) |
| 10feet | 14 | 15.35(13.08) |
| 0feet | 14 | 15.00(15.93) |

괄호 안은 표준편차

판단하기 어렵다는 것을 의미한다. 이로써 양안단서나 단안단서 혹은 정적단서나 동적단서 등, 어떤 시지각 단서를 활용하는 지의 여부에 상관없이 대형비행기 조종사에게 제공되는 시각정보는 양과 질에서 부족하다고 할 수 있다.

연구 1에서와 마찬가지로 어느 높이에서 높이지각의 오차가 크게 발생하였는지를 검증하기 위하여 자극 추정값과 실제값의 차이의 절대값을 계산하였다(표 5 참조). 이들 8개 차이값들 간에 차이가 있는 지를 알아보기 위하여 먼저 이 차이값에 대한 반복측정 변량분석을 실시하였다. 높이에 따라 추정된 추정값과 실제값 간의 차이는 통계적으로 유의하여($F(7, 84)=2.207, p<.05$), 실제 높이에 따라 고도추정의 정확도가 달라진다는 것을 보여준다.

다음으로 어느 높이에 대한 추정값이 실제값과의

차이가 가장 큰지를 알아보기 위하여 실제값과 추정치 간의 차이가 유의하지 않았던 300 feet의 사진에 대한 차이값을 기준으로 이 차이값과 다른 사진들에 대한 차이값을 단순대비 검증을 하였다. 300feet에 대한 실제 값과 추정값 간의 차이보다 유의하게 더 차이가 크게 난 높이는 50feet였다($F(1, 12)=4.957, p<.05$). 이 이런 결과는 연구 1에서 당김 조작을 시작하기 직전의 높이인 45feet 내지 35feet 높이에서 높이 추정을 한 결과가 특히 실제 높이와의 차이가 컸다는 결과와 일치하는 결과로 대략 50feet에서 35feet 정도가 가장 높이 판단을 하기 어려운 높이를 시사해 준다.

3.4.2 숙련도에 따른 차이 분석

숙련도에 따른 차이를 살펴보기 위하여 기장과 부기장의 직위를 이용하여 피험자간 분석을 실시한 결과 $F(1, 11)=.458, p=.516$ 으로 유의한 차이가 나지 않았다. 자극과 직위의 상호작용 역시 $F(7, 77)=.744, p=.635$ 로 유의한 차이가 나지 않았다. 시각적 단서만으로는 대형기에서 기장 부기장 두 집단 모두 정확하게 고도 판단을 하지 못하는 것으로 나타났다.

4. 논의 및 시사점

본 연구에서는 대형 비행기의 경우 시각정보 수집을 위한 조종사 눈의 지상고도가 높다는 점과 비행기의 빠른 진입속도가 상승작용을 일으켜 대형비행기 조종사의 시지각에 의한 절대 높이 판단의 정확성은 감소할 것이라는 가설을 검증하였다. 보다 정확한 검증을 위하여 연구 1에서는 정적 단서만을 사용하여 대형 비행기 조종사들의 고도 지각의 정확성을 검증한 결과, 대형 비행기에서는 정적 단서들만으로는 정확한 고도지각이 어렵다는 것이 증명되었다.

연구 1에서는 정적 시각 단서만이 제시된 조건하에서의 실험이므로 만약 또 다른 중요한 깊이 지각 단서인 동적 시각단서가 제시될 경우, 대형 비행기에서도 정확한 고도 지각이 이루어질 가능성이 있다. 이

표 6. 직위에 따른 높이별 고도 추정값

| | 기장 | | 부기장 | |
|---------|------|---------------|------|---------------|
| | 피험자수 | 추정값 평균 | 피험자수 | 추정값 평균 |
| 300feet | 5 | 310.00(22.36) | 7 | 288.57(29.68) |
| 250feet | 6 | 241.67(37.63) | 8 | 256.88(32.61) |
| 200feet | 6 | 166.67(40.82) | 8 | 200.00(28.28) |
| 150feet | 6 | 123.33(33.26) | 8 | 139.38(31.21) |
| 50feet | 6 | 65.00(27.38) | 7 | 58.57(14.63) |
| 30feet | 6 | 34.17(14.97) | 8 | 41.88(14.62) |
| 10feet | 6 | 22.50(10.84) | 8 | 27.50(14.88) |
| 0feet | 6 | 14.17(9.17) | 8 | 15.62(15.00) |

괄호 안은 표준편차

러한 가능성을 검증하기 위하여 실제 비행과 유사한 시뮬레이터 장면을 촬영한 동영상 실험을 통해 정적 단서와 동적 단서를 동시에 제공해 주고 고도를 판단하게 한 연구 2를 수행하였다. 그 결과, 정적 혹은 동적인 모든 시각정보가 제공된 조건에서도 조종사들은 고도 판단의 어려움을 보였다.

특히 당김 단계인 저고도에서 높이지각이 부정확하였다. 동적 단서와 정적 단서를 모두 제공한 연구 2에서는 30feet에서 착륙 시까지 저고도에서 높이지각이 부정확하였다. 반면 정적 단서의 효과만을 검증한 연구 1에서는 당김 조작을 시작하기 직전의 높이인 45feet와 35feet에 대한 높이지각은 실제 고도와 추정한 고도간 차이가 통계적으로 유의했던 반면, 더 낮은 25feet에서의 실제 고도와 추정한 고도간의 차이는 통계적으로 유의하지 않았다. 이러한 결과는 정적 단서만을 사용할 때는 단안단서와 양안단서가 모두 사용될 가능성이 높은 가장 낮은 높이인 25feet에서는 상대적으로 정확한 높이지각을 한다는 추론이 가능하다.

그러나 25feet에서의 높이를 추정한 추정값 평균이 68.11feet이었고 표준편차가 52.85임을 고려해 보면, 표준편차가 너무 심하여 통계적 유의성이 나타나지 않았을 가능성이 더 높다. 또한 다른 고도보다 큰 표준편차는 대형 비행기 조종사들이 저고도에서 일관된 고도추정에 어려움을 겪는다는 것을 의미한다고

해석한다면, 심지어 비행기가 지면에 착륙을 한 높이에서도 높이지각이 부정확하게 나타난 연구 2의 결과와 종합하여 볼 때 대형 비행기는 저고도에서 고도지각이 매우 어려우며 정적 단서만을 사용해서는 더욱 어렵다는 사실을 지지해주는 결과로 해석된다.

연구 2에서 실제값과 추정값 간의 차이를 분석한 결과에서는 50feet에 대한 실제값과 추정값 간의 차이가 가장 컸는데 이러한 결과는 50feet 정도의 높이를 추정하기 가장 어렵다는 점을 시사한다. 지면과 바퀴 간 거리인 50feet에 실험에 사용된 비행기 높이인 30feet를 더해보면 대략 80feet로 정확한 높이 지각을 위해 필요한 양안단서를 사용할 수 있는 한계인 100feet와 대략 일치한다.

특이한 결과는 정적 단서만 사용한 연구 1에서 모든 높이에서 피험자들이 높이를 더 높게 지각하는 과다추정을 하였는데 비하여 45feet에서만 과소추정을 한 결과이다. 45feet에서 과소추정을 한 이유는 대비 효과에 기인한 것으로 여겨진다. 연구 1에서는 각 높이에서 찍은 사진을 섞어서 제시하고 높이를 추정토록 하였다. 가장 높은 높이인 85feet를 제일 먼저 제시하여 주었고 다음으로 45feet의 사진을 제시하였다. 나머지 사진들은 모두 10feet 차이로 앞서 사진에 비하여 정적 단서가 큰 차이가 나지 않는 반면, 85feet 다음에 제시된 45feet의 경우 앞서 사진에 비하여 정적 단서가 상대적으로 변화가 심하여 과소추정을 하였을 가능성이 있다. 동적 단서와 정적 단서를 모두 사용한 연구 2에서는 비디오로 전체 시각 단서의 변화가 점진적으로 감소하는 것을 알 수 있도록 제시되었으므로 과소추정이 발생하지 않고 모든 높이에서 과다추정을 한 것으로 여겨진다.

결론적으로 피험자들은 전반적으로 저고도에서 과다추정을 하는 경향성을 갖고 있는 것으로 여겨진다. 과다추정의 경향성에 대한 한 가지 가능한 해석은 저고도에서 피험자들이 상대적으로 정확한 높이 지각을 하고 있다는 것이다. 본 연구에서 실제 높이라고 하는 것은 지면에서부터 비행기 바퀴간의 거리이다. 연구 2에서 실제 높이와 추정 높이간의 평균적인 차

이는 12~38feet로 실험 자극으로 사용한 B747-400에서의 조종사 눈과 바퀴 간의 거리인 30feet를 크게 벗어나지 않는다. 즉, 조종사들은 정확한 높이 지각을 하였다고 볼 수 있다.

만일 조종사들이 정확한 높이 지각을 한 것이라면 본 연구의 결과는 현재 대형 항공기 조종사들이 당김 조작을 위해 비행기 높이를 고려해야 하는 두 번째 수정단계를 제대로 수행하고 있지 못함을 시사하는 결과이다. 즉, 대형 항공기 조종사들은 정확한 당김 조작을 위해서는 자신의 실제 눈 높이가 아닌 지면과 바퀴 간의 높이를 근거로 판단해야 하는데 이를 위해 항공기 높이를 자신이 지각한 높이에서 빼는 수정작업에 실패하고 있다는 것이다. 즉, 당김 조작을 위한 높이 지각에는 일단 자신의 실제 높이 지각을 한 후에 다시 비행기 높이를 그 높이에서 빼는 수정작업이 추가로 필요한데 이 수정작업에 실패하여 연구 1과 연구 2에서 일관되게 고도를 과다추정했을 가능성이 있다.

또 다른 과다추정에 대한 가능성은 높이가 높아지면 속도가 상대적으로 느려지게 느껴지는 것처럼 정확한 높이 지각을 벗어나는 높이에서는(약 30m에서 100m)에서는 상대적으로 높게 지각할 가능성이 있다. 이들 두 가능성에 대한 정확한 결론을 내리기 위해서는 이후 정교한 실험이 더 진행되어야 할 것이다.

추가로 경험이 시지각의 정확성을 촉진시키기도 하므로 연구 1과 연구 2에서 모두 동일한 공항의 착륙 경험이 더 많은 기장과 상대적으로 적은 부기장 집단으로 나누어 높이지각의 정확성을 비교하여 보았다. 그 결과, 두 집단 간 차이는 연구 1과 연구 2에서 유의하지 않아 대형 비행기 착륙 시 경험하게 되는 높이지각의 어려움은 숙련도로 극복되지 않는 것으로 나타났다.

결론적으로 대형 비행기는 구조적 특징상 조종사에게 충분한 시각정보를 제공할 수 없거나 혹은 당김 조작에 필요한 높이를 판단하기 위해 비행기 높이를 고려하는 판단의 수정을 하지 못한다면 현재 수많은 대형 비행기들은 어떻게 충분하지 않은 시각정보에

의존하여 아무 탈 없이 운행을 하는가? 한 가지 가능성은 실제 대형 비행기의 조종사들은 당김 단계에서 시지각보다는 청각에 의존한다는 것이다. 대형 비행기들에는 거의 전파고도계가 장착되어 있고 착륙시 전파고도계는 자동으로 정해진 고도를 음성신호로 전달하게 되어 있다. 전파 고도계는 200ft부터 100ft, 50ft, 40ft, 30ft, 20ft, 10ft마다 비행기가 해당 고도가 되면 그 높이를 음성신호로 알려준다. 이 고도에 대한 음성신호는 조종사에게 두 가지 정보를 알려주는데 첫째는 높이이며 둘째는 속도이다. 비행기의 진입 각도는 정상적인 경우 반드시 3도를 유지하도록 규정되어 있기 때문에 이 음성신호의 간격이 좁으면 비행기의 속도가 빠르다는 것을 반면 간격이 넓으면 비행기 속도가 느리다는 것을 의미한다. 따라서 조종사는 이 두 정보를 종합하여 당김 조작을 수행하는 주요 근거로 삼을 가능성이 있다.

실제로 최근의 청각과 시각의 통합에 관한 연구들 [36, 37, 38]은 공간적 정보(spatial information)를 다룰 때는 시각이 청각을 지배하나, 시간적 정보(temporal information)를 다룰 때는 청각이 시각을 지배함을 보여주고 있다. 접근 단계에서는 주로 항공기를 비행경로(flightpath)에 맞게 활주로에 정대하고 진입하는 각도를 맞추는 것이 주 과제가 된다. 이 과정은 공간적 과제라고 할 수 있다. 반면 당김 단계에서는 조종사가 현재의 하강접근각도를 유지할 경우 비행기가 지면에 접촉할 때까지 남은 시간이 당김 조작 판단의 근거가 되므로 시간적 과제의 속성이 강하다.

대형 비행기 조종사들이 열악한 시각적 정보에도 불구하고 훌륭하게 당김 조작을 수행하는 이유는 전파 고도계가 제공하는 청각적 정보 때문일 수 있다. 경험적으로도 대형 비행기 조종사들은 자신들의 경험을 통해 대형 비행기의 완벽한 당김 조작은 시각정보 만에 의존하는 시계 비행(Visual Flight)에 의해서는 불가능하다고들 한다. 대형 비행기의 당김 조작이 시각적 정보보다는 청각 정보에 의존하는지의 여부를 입증하기 위해서는 차후 연구가 더 필요하다. 그

러나 청각 정보보다 중요하다면 대형 비행기 조종사 훈련에 청각 정보의 활용에 관한 문제를 반드시 다루어야 할 것이다.

본 연구는 대형 비행기의 착륙에 있어서 고도판단에 시각정보가 중요한 역할을 하고 있지 못함을 밝혔다. 이러한 결과는 조종사 교육과 실제 착륙조작에 있어서 중요한 시사점을 내포한다. 현 조종사 교육에서는 착륙 조작에 시각정보를 중요하게 여기고 시각정보를 활용할 것을 교육하고 있다. 또한 이런 교육의 결과로 현업 조종사들도 착륙시 시각정보를 확보하는데 노력하고 있다. 그러나 본 연구의 결과처럼 시각정보가 대형 비행기 착륙에서 핵심적인 역할을 하지 못한다면 오히려 이러한 점을 교육에서 강조하여 부정확한 시각정보를 확보하고 활용하는 데 집중하기보다는 안전한 착륙에 도움이 되는 다른 정보 예를 들어 청각정보에 주의를 기울이고 활용하도록 하는데 주안점을 두어야 할 것이다.

본 연구는 점점 더 대형화하고 있는 비행기의 구조적 특징이 착륙에 어떤 문제를 가져오는 지를 탐색적으로 알아보았다. 본 연구의 한계는 첫째, 사진이나 비디오를 사용하여 높이지각을 조사하였다는 점이다. 따라서 실제 비행과 같은 효과를 내는 시뮬레이터를 사용하여 실제 비행 시에도 본 연구에서와 같이 정확한 높이지각을 하지 못하는지를 검증할 필요가 있다. 둘째, 소형 비행기와 직접적인 비교를 하지 못하여 이러한 시각정보에 의한 부정확한 높이지각이 본 논문에서 제안하는 것처럼 대형 비행기만의 문제인지 혹은 소형 비행기도 마찬가지로 확인하지 못하였다는 점이다. 마지막으로 본 연구는 대형 비행기에 있어서 당김조작을 위한 높이지각이 정확치 못하다는 점을 입증하는 데 머물렀다. 차후 연구를 통하여 보다 세부적으로 부정확한 높이지각이 대형 비행기의 거대한 크기 자체가 가져오는 높이의 문제 때문인지 혹은 빠른 속도 때문인지를 밝혀야 할 것이다. 좀 더 구체적으로는 어떤 시각 자료가 부족하며 또 그것의 보완은 어떤 식으로 하는 것이 효율적인가 그리고 대형비행기의 이러한 구조적 특징으

로 인한 시각자료 부족의 문제를 현재 어떻게 극복하고 있는지를 밝혀야 할 것이다.

참고문헌

- [1] Balfour, A. J. C. (1988). Accident investigation and its management. In J. Ernsting & P. King (Eds.), *Aviation medicine* (2nd ed.), Butterworth Heinemann: Oxford.
- [2] Matson, W. R. (1973). The comparative effectiveness of a prolonged flare and normal flare on student pilot achievement in the landing maneuver and on time to solo. Unpublished doctoral dissertation, Stillwater: Oklahoma State University.
- [3] Nagel, D. C. (1988). Human error in aviation operations. In E. L. Wiener & D. C. Nagel (Eds.), *Human factors in aviation*, San Diego: Academic.
- [4] Collins, L. (1981). *Takeoffs and landings*, New York: Delacorte.
- [5] King. (Producer). (1998). *Takesoffs and landings made easy* [Motion Picture], San Diego: King Schools.
- [6] Benbassat, D., & Abramson, C. I. (2002). Landing flare accident reports and pilot perception analysis, *International Journal of Aviation Psychology*, 12, 137-152.
- [7] Federal Aviation Administration. (2004). *Airplane flying handbook* (FAA-H-8083-3a, Rev. ed.), Washington DC: U.S. Department of Transportation.
- [8] Kraft, C. L. (1978). A psychophysical contribution to air safety: Simulator studies of visual illusions in night visual approaches. In H. Pick, H.W. Leibowitz, J. R. Singer, A. Steinschneider, & H. W. Stevenson (Eds.), *Psychology from Research to Practice*, Plenum, New York.
- [9] Mertens, H. W. (1981). Perception of runway image shape and approach angle magnitude by pilots in simulated night landing approaches, *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 52, 373-386.
- [10] Perrone, J. A. (1984). Visual slant misperception and the 'black hole' landing situation, *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 55, 1020-1025.
- [11] Ferrante, F. (1979). Detection of visual movement through expanding gradient cues, Master's thesis, San Jose: San Jose State University.
- [12] Ahumada, A. J. (1983). Bias and Discriminability in Aimpoint Estimation, NASA Ames Tech. Rep. No. MS239-2), Moffett Field: NASA.
- [13] Knott, k. (1984). Simulated night landing approaches and aim point performance under aerosol and electronically generated fog displays, Master's thesis, San Jose: San Jose State University.
- [14] Benbassat, D., Willams, K. W., & Abramson C. I. (2005). General Aviation Leveloff, Roundout, and Accident Rate Analysis. *The International Journal of Aviation Psychology*, 15(2), 189-203.
- [15] Federal Aviation Administration. (1999). *Airplane flying handbook* (FAA-H-8083-3, Rev.ed.), Washington DC: Department of Transportation.
- [16] Kershner, W. K. (1998). *The student pilot's flight manual*(8th ed.), Iowa: Ames.
- [17] Butcher, R. (1996). *Private pilot flight training manual*, Orange: Skyroamers.
- [18] Love, M. C. (1995). *Better takeoffs & landings*. Columbus: Tab.
- [19] Boeing Company (2004). *747-400 Flight Crew Training Manual* (Rev 3). Seattle: Boeing Company.
- [20] Gleim, I. N. (1998). *Flight/ground instructor* (6th ed.). Gainesville: Gleim.
- [21] King(Producer). (1999). *Cleared for takeoff—Cessna private pilot* [CD-ROM]. San Diego: King Schools.
- [22] Quinlan, E. (1999). *Recreational airplane pilot*,

- Oak Brook: Aviator.
- [23] Christy, J. (1991). Good takeoffs and good landings (2nd ed.). Blue Ridge Summit: Tab.
- [24] Kershner, W. K. (1981). The flight instructor's manual (2nd ed.). Iowa: Ames.
- [25] Mulder, M., Pleijsant, J., van der Vaart, H., & van Wieringen, P. (2000). The effects of pictorial detail on the timing of the landing flare: Results of a visual simulation experiment, *International Journal of Aviation Psychology*, 10, 291-315.
- [26] Jeppesen. (1985). Private pilot maneuvers manual, Englewood: Jeppesen Sanderson.
- [27] Menon, P. K. (1996). Machone-vision aids for improved flight operations, Moffett Field: NASA Ames Research Center.
- [28] Thom, T. (1992). The pilot's manual flight training, Frederic: Center for Aviation Theory.
- [29] Boeing Company (2004). 737-600/700 /800/900 Flight Crew Training Manual (Rev 4), Seattle: Boeing Company.
- [30] Boeing Company (2004). 777 Flight Crew Training Manual (Rev 3), CompanySeattle: Boeing Company.
- [31] Cutting J. E., & Vishton P. M. (1995). Perceiving layout and knowing distance: The integration, relative potency and contextual use of different information about depth. In W. Epstein and S. Rogers, editors, *Perception of Space and Motion*, 69. 117. New York: Academic Press.
- [32] Palmer, S. E. (1999). *Vision Science*, Cambridge: The MIT Press.
- [33] Wu B., He Z. J., & Ooi T. L. (2003). Evidence for a sequential surface integration process hypothesis from judging egocentric distances with restricted view of the ground, *Journal of Vision*, 3(9), 500[Abstract].
- [34] Goldstein E. B. (1999). *Sensation & Perception*, fourth edition. Korean Language edition 감각과 지각, 서울: 시그마프레스.
- [35] Gibson, J. J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception 1* Boston: Houghton Mifflin.
- [36] Kitagawa, N., & Ichihara, S. (2002). Hearing visual motion in depth, *Nature*, 416, 172-174.
- [37] Repp, B. H., & Penel, A. (2002) Auditory dominance in temporal processing: New evidence from synchronization with simultaneous visual and auditory sequences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28, 1085-1099.
- [38] Wada, Y., Kitagawa, N., & Noguchi, K. (2003). Audio-visual integration in temporal perception. *International Journal of Psychophysiology*, 50, 117-124.

원고접수 : 07/09/26

수정접수 : 07/12/04

게재확정 : 07/12/07