

대형 비행기 조종사의 착륙 조작 시의 높이 지각

The Height Perception of the Large Airplane Pilots during Flare Maneuver

김용석(연세대학교)*, 손영우(연세대학교)

I. 서론

오늘날의 비행기는 초창기의 비행기 제작자나 조종사가 상상을 할 수 없을 정도로 거대해졌다. 이러한 거대한 비행기의 출현은 당연히 비행의 이론이나 교육에 있어서도 비행기의 크기에 걸맞은 발전과 진보가 있을 것을 요청한다. 비행기 여행의 안전에 가장 중요한 요소는 착륙이고 실제 이 단계에서 일어나는 사고가 가장 많다. 착륙의 과정에 대한 연구가 비행기의 거대한 크기를 고려하여 이루어져야 할 이유이다. 착륙과정은 몇 개의 세부 단계로 나눌 수 있으며 그 중에서 당김(Flare) 단계가 조종사를 가장 긴장 시키는 부분이다. 당김은 부드러운 착륙을 위해 비행기의 하강 자세와 속력을 조절하는 조작이다.

기존 연구에서는 당김은 시각정보를 통해 파악한 비행기의 고도, 하강률, 피치(pitch)조작에 의해 이루어진다고 한다. 그러나 본 연구는 대형비행기의 경우 비행기 자체의 거대한 크기와 당김 지점으로 진입할 때의 상대적으로 빠른 속도로 인해 소형비행기의 조종에서와는 달리 조종사가 충분한 시각 정보를 입수할 수 없다는 점에 주목하였다. 대형 비행기 조종사들이 비행기를 착륙 시키기 위한 최종 조작인 당김(flare)에서 실제로 사용하고 있는 인지 기제를 밝혀 내기 위한 준비단계로서 본 연구는 대형 비행기 조종사들의 높이 지각의 실상을 파악하고자 한다.

II. 본론

1. 연구의 배경

1) 착륙단계에서 발생하는 문제들과 그에 대한 연구

비행기 운항에서 넓은 의미에서의 착륙단계(approach와 landing)가 집중적인 관심의 대상이 된 것은 이 단계에서 인명피해를 동반한 사고가 많이 발생하였기 때문이다. 1959년에서 1973년까지의 총 비행기 사고 중에서 착륙을

위한 approach와 landing 단계에서의 사고가 약 50%를 차지하였고 특히 approach 단계에서의 비행기 사고는 대량의 인명손실을 초래하였다(Kraft, 1978).

최근에 와서는 Approach 단계에서뿐만 아니라 flare 단계에 대한 관심도 점차 고조되고 있다. 미국 NTSB (National Transportation Safety Board)의 통계에 따르면 1995년부터 1998년까지의 착륙단계에서의 사고 중에서 flare 단계의 사고는 평균17.88%에 달하고 있다(Benbassat, Williams, & Abramson, 2005). Flare 단계에서의 조종사의 조작 실수는 경착륙(硬着陸)이나 착지대를 벗어난 착륙으로 이어져 착륙 사고를 일으킬 수 있다(Benbassat & Abramson, 2002). 그 밖에도 비행기의 실속, 바운싱(FAA, 1999; Kershner, 1998), 한 쪽 바퀴만의 착륙(Butcher, 1996; Love, 1995) 등으로 바퀴와 바퀴 구조물에 지나친 하중을 주어 항공기 손상의 원인이 된다.

Flare와 관련한 또 다른 문제는 시계비행(Visual Flight, 이하 VF라고 한다)에 의해 flare를 하는 과정에 대해 숙련된 조종사도 잘 설명을 할 수 없을 정도로 밝혀진 것이 없다는 것이다. 비행교관들이 학생들을 가르칠 때 flare 지점을 제대로 표현하지 못해 '격납고 높이' 혹은 '날개 길이 반쯤 되는 높이'라고 표현하거나 심지어 '지금이야' '너무 높아'와 같은 식으로 가르친다고 한다(Benbassat, Williams & Abramson, 2005). 항공산업의 발달과 항공여행의 보편화로 비행기 여행의 안전이 어느 때보다도 중요해진 오늘 날 이와 같은 상황은 바람직하지 못하다. 그러므로 Flare 과정을 보다 정확하게 이해하기 위한 연구가 어느 때보다도 절실히 요구된다.

2) 기존 연구와 문제점 Approach 단계의 연구

1959년에서 1967년까지 인명피해를 가져온 제트기의 사고의 약 17%가 야간 VF중 발생하였다는 점과 approach와 착륙 중에 발생한 제트비행기 사고 중에 약 46.3%가 야간에 도시의 조명을 향한 접근 비행중 수면 위나 불빛 없는 땅 위에서 발생하였다는 점에 주목한 Kraft의 야간 VF 착시에 관한 연구는 이 분야 연구의 고전적 모범이 되었다 (Kraft, 1978). 착륙단계에서의 시각정보처리의 오류에 관한 Kraft의 이 연구 이후로 이루어진 여러 학자들의 착륙에 관한 연구들도 Kraft의 연구와 비슷한 관심에서 수행되었다.

Kraft의 연구대상인 비행구간은 활주로에서 20마일 떨어진 지점에서 10000 feet 고도에서 시작하여 활주로 4.5마일 전까지의 Approach 단계이며 이 단계에서의 높이 지각이 주된 연구의 초점이었다. 조종사의 착시에 관한 그 밖의 연구도 주로 flare point 이전 단계에 집중되어 있다. 접근(Approach) 단계의 착오는 Hard landing, long landing정도가 아니라 항공기의 추락으로 곧바로 이어지는 심각한 사태를 초래하게 되는 결과, 주로 접근단계에서의 조종사의 시각착오에 연구가 집중되어 왔던 것이다. 그러나 착륙단계에 따라 비행기 조종사가 사용할 수 있는 시각정보가 달라지므로 착륙단계에 따른 연구를 해야 할 필요가 있다.

Flare 단계의 연구

비행기의 고도 판단에 관한 연구는 비정상적인 특수 환경하의 Approach 단계에 대해서는 많이 이루어졌으나 Flare 단계에서의 고도판단에 대한 지각과 인지과정에 대한 연구는 별로 없다. flare 단계에서의 높이 판단의 기제를 이해하기 위해서는 특히 50 feet 이하의 저고도에서의 조종사의 높이 지각에 대한 연구가 필요하다. 대다수의 연구들은 이보다는 훨씬 더 높은 고도에서의 착시현상(대표적으로 Kraft의 연구)을 다루고 있다. 비행고도가 1000feet 이상일 경우에 조종사에게 요구되는 높이 지각의 정확성과 50feet이하의 저고도에서의 높이지각의 정확성은 그 수준이 다르다. 20-30feet의 거리 판단 오차는 1000feet 이상의 비행고도에서는 큰 문제를 일으키지 않으나 flare 단계인 저고도에서는 착륙사고를 유발할 수 있는 정도의 크기이기 때문이다.

그리고 approach 단계에서는 비행기의 고도 판단이 문제가 되는 것은 glidepath를 제대로 판단하기 위해서이다. Glidepath의 결정에는 활주로의 모양, 조종석 창문에 비친 활주로의 위

치, 지평선 등이 주된 판단자료(Galanis, Jennings & Beckett, 1998)이라고 한다. 이런 시각 정보가 항공기의 지상고도를 결정하는 자료가 된다. Flare 단계에 이르기 전 고도 (보잉 747의 조종사 눈의 지상고도를 기준으로 65 feet 이상)에서는 소형비행기나 대형비행기의 조종사가 사용하는 시각정보의 양과 질이 큰 차이를 보이지 않으리라고 예상할 수 있다. 비교적 높은 고도에서는 glidepath를 정하기 위해 참조하는 위의 단서들이 소형비행기나 대형비행기 모두에서 큰 차이를 보이지 않을 것이기 때문이다.

Flare 단계의 기존연구들이 flare단계의 시각정보처리과정과 관련하여서 아직은 기술적(descriptive)인 수준에 그치거나 특정한 하나의 시각단서의 효과에 대한 연구는 있으나 flare 조작 전반의 인지 기체에 관한 체계적 연구가 없다. 또한 높이 지각에 대한 지각심리학의 연구 성과를 충분히 반영하고 있지 못하는 것으로 보여 진다.

문제점과 제언

Flare 과정에 대한 체계적 연구를 위해서는 우선 flare의 절차가 어떻게 이루어지는지를 밝히고 이로부터 관련되는 지각의 처리과정을 살펴보아야 한다. 완벽한 Flare를 위해서는 우선 고도판단이 중요하다. 이 판단 및 결정흐름도에 의하면 조종사가 능숙한 비행기 조작 능력을 가진 경우에 성공적인 flare는 비행기의 높이 판단 과 하강률 판단이 얼마나 정확한가에 달려 있다. 이것이 flare에 관한 연구들이 높이 지각과 하강률 지각에 집중하는 이유다.

Flare point를 결정하는 것은 비행기의 높이이므로 flare 과정에 대한 연구는 당연히 높이 지각에 대한 연구로 바뀌게 된다. 이와 관련한 첫번째 문제는 flare과정을 연구하는 사람들이 높이지각에 사용되는 시각단서들에 대한 분류를 혼동하여 사용하고 있다는 점이다. 한 연구에서는 Flare 단계에서의 비행고도 판단에는 양안심도지각단서 보다는 단안심도지각단서에 의존하고 있다고 하는 반면 (Benbassat & Abramson, 2002), 다른 연구(Nagel, 1988)에서는 정적 단서(static cues)와 동적 단서(dynamic cues)라는 분류를 사용하고 있다. 그러나 정적 단서와 단안단서는 같은 것이 아니며 또 양안단서와 동적단서도 같은 것이 아니다. 또 조종사들이 flare 단계에서 단안심도지각 단서를 주로 사용하여 높이를 판단한다는 것도 현대 지각심리학의 입장과는 차이가 있어 보인

다. 또 다른 문제는 아직 입증되지 않은 시지각 이론에 근거하여 비행기 착륙단계를 설명하고 있다는 점이다. Mulder, Pleijsant, Vaart 와 Wieringen (2000)은 TTC이론이 비행기 착륙에 관해서는 입증되었다고 하면서 이에 기초하여 논의를 전개시키고 있다. 그러나 이는 성급한 결론으로서 지각 심리학계에서 일반적으로 인정되는 견해는 아니며 아직 논란이 많은 부분이다 (Palmer, 1999).

정보원	안구/시각	양안/단안	정적/동적	상대적/절대적	질적/양적
조절	안구	단안	정적	절대적	양적
수렴	안구	양안	정적	절대적	양적
양안불일치	시각	양안	정적	상대적	양적
운동시차	시각	단안	동적	상대적	양적
결의 감소/증가	시각	단안	동적	상대적	질적
평행선의 수렴	시각	단안	정적	상대적	양적
지평선과의 상대적 위치	시각	단안	정적	상대적	양적
상대적 크기	시각	단안	정적	상대적	양적
천축한 크기	시각	단안	정적	절대적	양적
결의 밀도	시각	단안	정적	상대적	양적
모서리 해석	시각	단안	정적	상대적	질적
그늘과 그림자	시각	단안	정적	상대적	질적
대기적 전망	시각	단안	정적	상대적	질적

표 1. 시각 정보 자료 (Palmer, 1999)

지각 심리학의 연구성과를 종합하면 flare 단계에서의 조종사의 높이 지각이 단안심도지각단서에 주로 의존한다고 할 수도 없고, 아직은 TTC이론에 의해 조종사가 flare point를 결정한다고 단정하기도 힘들다. 표1은 높이지각에 관계하는 양안/단안, 정적/동적, 상대적/절대적, 질적/양적, 안구/광학 정보를 분류한 표이다. 이 표에서 알 수 있듯이 양안/단안 정보와 정적/동적 정보는 전혀 다른 기준이다. 그리고 TTC이론은 Motion Parallax의 일종으로서 빛의 흐름(optic flow) 이외의 다른 단서를 배제하고 flare point를 결정하려는 시도이다. 그러나 현재까지의 지각심리학의 연구성과에 의하면 다양한 심도단서들이 동일한 심도를 가리키는 것으로 해석될 때 인간은 정확한 심도지각을 갖게 되는 것이라고 한다. 즉, 서로 상충하지 않는 한 심도단서들은 많으면 많을수록 조종사가 정확한 높이지각을 하는데 도움이 되는 것이다.

다양한 서로 독립적인 단서들이 어떻게 통합되어 하나의 심도 정보를 주게 되는가에 대해서는 Marr의 2.5D 스케치 이론이 잘 설명해 주고 있다 (Marr, 1982).

조종사가 높이 지각을 하는 인지기제를 밝히는 것은 비행기의 안전한 착륙을 가능하게 하기 위해서이다. 그러므로 하나의 이론적 입장에 따라 논리적으로 설명하는 것이 중요한 것이 아니라 안전한 착륙을 가능하게 할 정도로 실제로 높이 지각을 향상시키는 데 도움이 되는 방법을 찾아내는 데 연구의 목적을 두어야 할 것이다. 본 연구는 대형비행기의 flare 실험을 통해 위와 같은 단편적인 이론적인 입장이 오류일 수도 있음을 보이고자 한다.

2. 본 연구의 목적과 방법

본 연구는 접근(Approach)단계가 아니라 flare point와 그 이후 비행기가 착지할 때까지의 구간에서의 시각정보처리를 연구대상으로 한다. 이 단계가 일반적으로 조종사들이 가장 어렵게 느끼는 단계이고(Benbassat, & Abramson, 2002) 앞서 본 바와 같이 이 단계의 사고가 비록 인명손실 사고(fatal accidents)의 수는 작지만 비인명손실 사고(non-fatal accidents)의 발생빈도는 가장 높기 때문이다. 본 연구에서는 이 단계에서의 정상적인 비행의 인지 기제를 밝히기 위한 첫걸음으로써 대형비행기의 flare 단계에 기존 이론 내지 설명방식이 여전히 적용될 수 있는 지도 검증해보려고 한다. 현대 항공기제작 기술의 비약적 발전으로 말미암아 초기 비행기에 비하여 비행기의 크기가 비약적으로 커진 점에 주목하여 이러한 비행기의 대형화와 이에 동반하는 flare 시작점에서의 진입속도의 상대적 상승이 시지각에 미치는 영향에 대해서 알아보려고 한다.

1) Flare 단계에서 비행기의 크기와 속도가 시각 지각에 미치는 영향

비행기의 안전한 착륙을 위해 조종사들은 몇 가지의 과제를 동시에 수행하여야 한다. 활주로에 비행기를 정대 시키기, 속도와 고도를 낮추며 안정된 강하를 유지하기, 강하률을 당김을 통하여 줄이기, 활주로에 닿기와 비행기를 정지 시키기 등이 그것들이다.

Flare 단계의 조작에 대하여 기존 연구들은 조종사들이 당김 조작을 어떤 다른 감각보다도 시각에 의존하여 행한다고 한다 (FAA 2004; Jeppesen, 1985). 그리고 특별히 대형비행기와 소형비행기의 조작에 대해 차이를 두어 설명하

고 있지 않다. 그러므로 기존 연구들의 flare 단계의 시각 지각과 그에 따른 조종사의 조작에 관한 각종 설명은 대형비행기와 소형비행기를 구별함 없이 양자 모두의 적용되는 것처럼 해석하게 된다.

그러나 대량 수송에 사용되는 대형 비행기들의 조종사들은 지상으로부터 높은 조종실의 위치, 소형기에 비해 빠른 접근속도와 수직강하속도로 인하여 당김 조작 시작 시기에 소형기에 비해 상대적으로 부족한 시각 정보를 가지고 조종을 하여야만 한다. 이런 어려움을 극복하기 위한 방법으로 비행기 제작사는 전파 고도계 사용을 추천하고 있고 현재 운항중인 대형 비행기의 대다수에는 전파고도계가 장착되어 있다. 이와 같은 대형기의 구조적 특징이 조종사의 시지각에 미치는 영향이 어느 정도인가 하는 문제는 지금까지 특별한 주목을 받지 않았던 것 같다. 만약 그 영향이 크지 않다면 조종사가 flare 단계에서 시각 정보를 입수하고 처리하는 과정과 관련하여 소형기와 대형기를 달리 취급하여 설명하고 연구할 필요는 없을 것이다. 그러나 그 영향이 크다면 flare 단계의 시지각 연구에서는 대형비행기의 구조적 특징을 고려하여 대형비행기의 flare와 소형비행기의 flare를 달리 취급하여야 할 것이다. 또 조종사의 비행훈련교육에서도 대형비행기와 소형비행기의 차이를 지금까지보다는 좀 더 체계적으로 고려하여야 할 것이다.

2) Flare의 인지 기제를 위한 출발점: 공간지각

넓은 의미의 Approach 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 (Kraft, 1978). 양안심도단서들 중 가장 멀리까지 어느 정도의 정확성을 유지한다는 Stereopsis 조차도 그 이론적 최대 범위가 100feet를 넘지 못하므로 수마일 밖의 물체와의 정확한 거리의 지각이 고려될 여지가 없음은 당연하다. 활주로에서 4.5마일 이상 떨어진 approach 단계에서 정상비행 중이라면 조종사의 눈의 지상고도는 최소 1000feet 이상이며 여기서 20-30feet의 판단 오차가 있다고 해도 이

것은 비행기의 안전에 아무런 위협이 되지 않는다. 그러나 flare 단계에서 이정도 범위의 판단오차는 성공적인 flare에 심각한 위협을 주는 요소가 될 수도 있다. 활주로에서 이렇게 멀리 떨어진 곳에서 활주로를 내려다보는 시지각에는 조종사가 조종하고 있는 비행기의 크기가 고도판단에 영향을 미칠 가능성은 거의 없다고 보아야 한다. 그러므로 approach 단계에서는 소형기와 대형기의 구별이 큰 의미를 갖지 않는다. 그러나 flare 단계 이르게 되면 사정은 달라진다.

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

이와 같은 대형기 조종사의 지상으로부터의 눈높이(이하 눈의 지상고도라고 한다)의 의미는 소형기 조종사의 눈의 지상고도가 10 - 20feet 남짓이라는 점과 flare의 성격을 고려하면 보다 분명해진다. Flare 단계에서 대형기와 소형기 조종사의 눈의 지상고도의 차이는 적게는 10feet, 많게는 45feet에 달한다. 그런데 문제는 flare단계에서 허용되는 판단착오의 범위가 크지 않다는 데 있다. FAA 2004 매뉴얼은 flare 고도를 10에서 20feet사이를 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 (Cutting & Vishton, 1995). 그러므로 활주로에서 수 마일 떨어진 곳에서 사

용할 수 있는 심도지각단서정보는 단안 단서정보뿐일 것이다. 양안 단서들을 효율적으로 사용할 수 있는 거리가 Stereopsis일 경우 100feet 이하이고 convergence는 6-8feet에 불과하다. 대단히 정확한 단안심도지각단서인 accommodation의 경우도 그 적용범위는 6-8feet 가 한계다. (Palmer, 1999)

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

Cutting과 Vishton의 연구(Cutting & Vishton, 1995) 에 의하면 생활공간 (2-30m) 내에서는 accommodation, convergence, motion parallax가 절대거리(absolute distance) 판단에 약한 심도 단서가 될 뿐이나 양안부동(binocular disparity)에서 이 convergence를 척도로 사용하면 2m이내에서만 정확성을 갖는 convergence에 의한 절대거리 지각력이 이 한계를 넘어 작용한다고 한다. 또 가까운 거리의 지표면의 단서들이 더 먼 거리의 지각을 위한 중요한 단서라는 증거도 있다 (Wu, He, & Ooi, 2003). 이 같은 시지각 분야에서의 연구성과를 고려할 때 flare 단계에서의 심도지각단서는 단안심도지각단서에 국한된다는 기존 flare 연구의 입장은 재고의 여지가 있다.

FAA 매뉴얼에 의하면 flare point에서 조종사의 시선이 aimpoint를 만나는 각도는 10-15이며 이는 비행기의 기종이나 크기와 관계없이 보편적인 것이라고 한다. 그런데 매뉴얼은 flare 고도를 10-20feet로 하고 있으므로 이때 조종사의 눈과 aimpoint와의 거리는 소형비행기의 경우는 약 11.6m에서 34.5m 사이이고 747-400의 경우 조종사의 눈의 지상고도는 65feet이므로 이때 10-15도의 각도로 aimpoint를 보게 되면 조종사의 눈과 aimpoint의 거리는 75m에서 112m사이가 된다.

이와 같은 계산 결과는 소형비행기의 경우에는 flare 단계에서 정확성이 높은 양안심도지각이 활용될 가능성이 있다는 것을 의미한다. 조종사의 눈과 aimpoint와의 거리가 생활공간의 범위 (2-30m) 내에 있기 때문이다. 그러나 747-400 조종사의 경우 조종사의 눈과

aimpoint사이의 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. 이러한 지각심리학적 배경에서 flare 단계에서의 대형항공기의 조종사는 소형비행기 조종사와는 달리 높이 지각에 충분한 시각정보를 갖지 못한다고 가정할 수 있다. 그러므로 flare의 단계에서의 시각 지각에 대해 양안심도지각이 아니라 단안심도지각이 주된 지각방법이라고 단정하는 기존 연구의 일부 이론적 입장은 성급한 결론일 수도 있다. 소형기 조종사의 경우 지각심리학의 연구성과에 따르면 절대거리 판단에 양안심도단서를 활용하고 있을 가능성이 크다는 것을 보여주기 때문이다.

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 (Goldstein, 1999). 그런데 절대거리 단서들을 효율적으로 사용할 수 있는 범위가 Stereopsis일 경우 100feet 이하이고 convergence와 accommodation일 경우 6-8feet 이하이므로 747과 같은 대형비행기로 flare를 할 경우 후자의 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(Goldstein, 1999)을 대형 비행기의 조종사가 사용할 경우에도 소형비행기 조종사가 사용할 때보다는 그 사용의 정확도가 감소할 것이다. 예를 들어 결의 각도 단서의 경우 가까운 곳과 먼 곳간의 결의 차이를 비교하는 것이 먼 곳과 더 먼 곳 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. Gibson의 생태학적 접근(ecological approach)이론에 의할 경우에도 소형비행기 조종사에 비해 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 것보다 정확한 정보파악에 유리할 것이기 때문이다.

깊이와 크기에 관한 단서이론에 의하던 생태적 접근에 의하든 간에 지각심리적으로는 대형비행기 조종사는 비행기의 거대한 크기로 인해 flare point에서의 눈의 지상고도차이로 인하여 소형 비행기 조종사에 비해 부족하거나 질이 떨어지는 시각 정보를 갖게 되고 그 결과 flare point 결정을 위한 높이 판단의 정확도가 떨어질 수 밖에 없다.

더구나 이러한 판단의 부정확성 문제는 대형비행기가 flare point로 진입하는 시점에서의 속도가 소형항공기 보다 훨씬 더 빠르다는 사실에 의해 증폭된다. 일반적으로 속도가 빠를수록 시각에 의한 순간적 거리판단의 정확도는 감소하기 때문이다. 그러므로 대형비행기의 구조는 대형비행기의 구조는 조종사의 눈의 지상고도를 높이고 flare point로의 진입속도를 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 flare에 장애를 일으킬 것이라는 것은 쉽게 예상할 수 있는 것이다.

Flare단계에서 당김조작을 시작할 고도를 정확하게 판단하지 못하면 비행기가 활주로로부터 너무 높은 고도에 있을 때 당김(Gleim, 1998; King, 1999; Quinlan, 1999)을 하거나 반대로 너무 낮은 고도에서 당김을(Christy, 1991; Kershner, 1981; Love, 1995)하게 되며 이러한 판단착오는 경착륙이나 사고의 원인이 된다.

III. 연구1 : 정적 시각 단서의 검증

연구 1에서는 대형비행기의 조종사들이 비행기의 구조적 특성에 의해 시각정보처리에 어려움을 겪을 것이라는 본 연구의 가설과 조종사의 높이 지각을 설명하고 있는 기존의 항공심리학의 이론적 전제들이 대형 비행기의 당김조작 시에도 그대로 적용될 수 있는지를 검증하였다.

높이 지각에 대해 크게 대별되는 두 가지 입장 중 하나는 단서이론의 배경을 가진 것이다. 조종사들이 VFR (visual flight rules)로 비행할

때 동적 단서(dynamic cues)와 정적 단서(static cues)를 사용한다고 한다. 이 이론에 의하면 정적 단서는 비행기의 고도와 glide-slope를 판단하는 데 사용하며 동적 단서는 aimpoint를 정하고 비행기를 그 지점을 향해 가도록 유지하는 데, 즉 glide path를 정하는 데 사용한다고 한다. 동적 단서는 초점(aimpoint)에서 빠르게 바깥 쪽으로 팽창하는 전경이다. 정적 단서들 중에 특히 활주로의 모양, 크기, 위치가 중요하며 조종사들은 비행기의 창문 밖의 모습을 한 순간 보고 이 정보를 얻는다고 한다(Nagel, 1988).

연구1에서는 대형비행기 조종사가 대형비행기의 구조적 특징으로 인한 부족하거나 질이 떨어지는 시각정보에도 불구하고 위의 이론과 같이 시각 정보 만에 의존하여 높이지각을 정확히 할 수 있는가를 알아보았다. 정적 단서만으로 높이를 지각한다는 견해의 타당성을 검토하기 위해 높이 결정 단서인 정적 단서(static cues)만으로 높이 지각의 정확성을 실험해 보았다. 조종사들은 비행의 일정 시점에서 창 밖을 한번 보고 이러한 정보를 얻는다고 하므로 일체의 다른 맥락 정보 없이 오로지 정적 시각 정보 만에 의해 대형비행기에서 높이 판단이 가능한지를 알아보기 위해 각각의 높이에서 찍은 창문 밖의 사진을 섞어 보여 주었다.

1. 참가자

연구 2회 실시하는 B747-400 기종 지상 학술 교육에 참여한 항공사의 38명의 현역 B747-400 조종사들이 실험에 참여하였다.

2. 실험자극

B747-400 Full Flight Simulator를 사용하여 작성한 5장의 사진을 사용하였다.

3. 실험절차

실험은 피험자들이 지상 학술 교육을 받은 강의실에서 이루어졌으며, 100인치 빔 프로젝터를 이용하여 사진을 제시하였다. 순서에 따른 효과를 없애기 위하여 서로 다른 높이의 사진을 섞어서 제시하였다.

4. 결과

아래 표 2의 결과를 살펴보면 지상에서의 거리가 85feet 이하인 경우 모두 실제 높이와 다르게 추정했음을 알 수 있다. 특히 항공기의 높이를 실제보다 높게 과대추정하고 있었다. 이는 조종사들이 정지되어 있는 사진만으로는 착륙 단계에서 비행기의 높이를 제대로 판단하지 못함 의미한다. 이를 기존의 시각 중심의 단서 이론에 의하여 설명하면 높이 지각 판단의 자료

가 되는 단서가 대형 비행기에서는 부족한 것을 의미한다.

IV. 연구 2: 동적 단서의 검증

이 연구에서는 피험자들에게 사진이라는 정적인 단서가 아니라 실제 착륙의 전 과정을 보고 높이를 평가하게 함으로써 정적

표 2 t-검증 결과

	피험자 수	실제값	판독 평균값	표준 편차	t값
사진1	31	85feet	79.68	35.35	-0.838
사진2	34	45feet	34.41	15.41	-4.006**
사진3	37	25feet	68.11	52.85	4.961**
사진4	36	35feet	47.36	33.62	2.206*
사진5	31	55feet	71.61	37.60	2.460*

* p<.05, **p<.001

인 단서가 높이 지각 단서라는 이론과 대비되는 동적 단서, 즉 속도와 tau(두 물체간의 시야각과 그 시야각의 팽창률 간의 비율) 등을 고려해야 한다는 이론적 입장을 검증하였다. 연구 2에서는 가능한 모든 시각단서인 정적인 단서와 동적인 단서가 모두 함께 주었을 때 고도 추정이 정확하게 이루어지는 지를 알아보고자 한다. 이를 위하여 실제 대형 항공기 시뮬레이터에서 착륙을 하는 전 과정을 담은 비디오를 제시하고 높이 추정을 하도록 하였다. 만일 이 실험에서 고도추정을 정확하게 한면 연구 1에서의 부정확한 고도 지각은 연구 1에서 제시된 시각 단서에 결함이 있어서이지 대형비행기의 구조적 특징으로 인한 것이 아니라고 해야 할 것이다. 그러나 만약 연구 2에서도 고도 추정이 부정확하게 이루어진다면, 어떤 이론적 입장에 의하는 간에 대형비행기의 조종사는 비행기의 구조적 특징으로 인하여 시각자료 부족을 겪을 것이고 이러한 부족이 있는 이상 기존의 flare에 대한 이론은 대형비행기에 관한 한은 그 구조적 특징을 고려하지 않고는 그대로 사용될 수 없다는 것을 의미한다.

1. 참가자

연구 2회 실시하는 B747-400 기종 지상 학술 교육에 참여한 항공사의 15명의 현역 B747-400 조종사들이 실험에 참여하였다

2. 실험자극

연구 1의 실험자극이었던 사진을 얻기 위해 사용했던 동영상들을 편집하여 연구 2에서 사용하

였다. 동영상의 형태로 제시됨에 따라 이전 실험과 비교하여 속도 정보가 추가로 제공되었고 동영상 시작 시점인 350feet에서의 현재 고도를 알려주어 고도 맥락 정보를 1회 제공하고 동영상 시작 이후 100feet에서 automatic call-out을 들려 주어 고도 맥락 정보를 총 2회 부여 하였다. 이는 맥락정보와 함께 실제 비행에서도 조종사가 저고도에서 먼저 고도계를 확인하여 고도를 확인한 이후 시각 정보를 사용하는 현장에서의 특성을 그대로 반영하기 위한 조작이었다.

고도추정을 해야 하는 시점을 알려주는 자극으로 8개의 “뵁” 소리를 동영상에 삽입하였다.

3. 실험 절차

연구 1에서와 같이 강의실에서 모든 피험자들이 함께 모인 상태에서 실시하였다. 동영상 소리가 모든 피험자에게 잘 들리는 지 미리 확인하였으며 추정을 하도록 하는 자극인 “뵁”소리에 충분히 숙달될 수 있도록 시연한 다음, “뵁”소리가 난 시점의 고도를 판단하여 설문지에 답을 적게 하였다.

4. 결과

1) 높이지각의 정확성 분석

정적 단서나 동적 단서 등 모든 시각적 단서를 제시하여도 대형비행기 조종사들이 높이지각을 하는데 어려움을 겪을 것이라는 가설을 검증하기 위하여 각 높이에서 실험 참가자들이 추정한 고도와 실제 높이 간의 차이를 단일표본 t검증을 통하여 차이를 분석하여 보았다.

정적 단서나 동적 단서 등 모든 시각적 단서를 제시하여도 대형비행기 조종사들이 높이지각을 하는데 어려움을 겪을 것이라는 가설을 검증하기 위하여 각 높이에서 실험 참가자들이 추정한 고도와 실제 높이 간의 차이를 단일표본 t검증을 통하여 차이를 분석하여 보았다. 정확한 높이를 알려주고 시작했던 높은 고도에서는 실제값과 추정값 간의 차이가 유의하지 않았다. 300feet, 250feet, 그리고 200feet에서는 평균 차이가 전혀 유의하지 않아 대형항공기에서도 높은 고도에서는 시각 정보 만에 의존하여서도 상당히 정확한 고도 추정이 가능함을 보여준다.

그러나 고도가 낮아질수록 고도 추정의 정확도는 감소하기 시작하여 150feet와 50feet에서는 실제값과 추정 값간의 차이가 통계적으로 각각 t=2.052 (p=.061), t=2.004 (p=.068)로 나타나 점점 지면에 가까워 지면서 고도추정의 정확성이 감소하는 경향성을 보였다. 그리고 특히 본 연

구의 주요 관심사인 저고도에 해당하는 30feet 이하의 고도에서는 실제값과 추정값 간의 통계적인 차이가 유의하여 정확한 고도지각을 하지 못하는 것으로 나타났다.

이는 대형 조종사들이 시각 단서로서는 착륙 중 flare 단계에서 비행기의 높이를 제대로 판단하기 어렵다는 것을 의미한다. 이로써 어느 이론적 입장에 의하든 간에 대형비행기 조종사에게 제공되는 시각정보는 양과 질에서 부족하다고 할 수 있다.

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.

V. 논의 및 시사점

본 연구에서는 대형 비행기의 경우 조종사간의 지상고도가 높다는 점과 빠른 진입속도가 상승작용을 일으켜 대형비행기 조종사의 시지

각이 이루어질 가능성이 있다. 이러한 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 시각 정보가 제공된 조건에서도 조종사들은 고도 판단의 어려움을 보였다. 특히 flare 단계인 저고도에서 고도지각이 부정확하다고 나타난 본 실험의 결과는 대형비행기의 경우 소형 비행기와는 다른 기체를 사용하여 고도 지각이 이루어지고 있음을 시사하고 있다.

본 연구의 결과 대형비행기는 구조적 특성상 조종사에게 부족한 시각 정보자료를 제공할 수밖에 없다고 밝혀졌다. 이러한 결론이 사실이고 이러한 시각 정보의 부족을 보충하는 기체가 존재하지 않는다면 현재 수 많은 대형비행기들이 안전하게 운행 중인 사실을 설명할 수 없게 된다. 본 연구는 원래 이러한 의문에서 시작되었다. 비행학교나 비행 교범이나 심지어 비행에 관한 심리학 이론에서조차 flare는 시각정보만에 의존하여 이루어 진다고 설명하고 그렇게 교육한다. 그런데 현재 운행 중인 대형비행기는 어떻게 충분하지 않은 시각정보에 의존하여 아무 탈 없이 운행을 계속할 수 있는가? 본 연구는 이 문제를 이론적으로 규명하기 위한 첫 시도이다. 연구자의 개인적 견해로는 이는 대형비행기의 구조적 결함이라기 보다는 비행이론이나 비행연구자, 혹은 항공심리학계의 구조적 결함이다. 대형 비행기 조종사들은 자신들의 경험을 통해 대형비행기의 완벽한 flare는 시각정보만에 의존하는 Visual Flight에 의해서는 불가능하다고들 한다. 그러나 이론가들은 가능하다는 전제하에서 복잡한 이론을 전개하고 설명한다. 이제는 이론을 현실과 일치시킬 때이다.

대형 비행기의 거대한 크기 자체가 가져오는 시각 자료 부족의 문제 - 조종사의 눈의 지상고도가 높아지는 문제와 빠른 속도로 착륙해야 하는 문제-로 기존의 시각 중심의 높이 지각 이론들이 이러한 구조적 특징을 고려함 없이 대형비행기에는 그대로 바로 적용될 수 없다는 것은 밝힐 수 있었으나 구체적으로 어떠한 시각 자료가 부족한지 또 그것이 조종사의 인지에 구체적 어떠한 영향을 미치는 지는 밝히지 못했다. 다만 야간이나 안개, 비와 같은 기상적 요인 이외에 항공기술과 산업의 발달로 이루어진 대형항공기의 출현이 단순히 그 크기 때문에 flare 과정에서 기존의 소형비행기와는 다른

표 4 t-검증 결과 * p<.05, **p<.001

추정시점	피험자 수	추정값 평균	표준편차	t값
300feet	12	297.50	28.00	- .309
250 feet	14	250.36	34.33	.039
200 feet	14	185.71	36.94	-1.447
150 feet	14	132.50	31.91	-2.052
50 feet	13	61.54	20.76	2.004
30 feet	14	38.57	14.73	2.177*
10 feet	14	25.36	13.08	4.394**
0 feet	14	15.00	15.93	3.523**

각에 의한 절대거리 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.

그러나 연구 1에서는 정적 시각 단서만이 제시된 조건하에서의 실험이므로 만약 또 다른 중요한 값이 지각 단서인 동적 시각 단서가 제시될 경우, 대형 비행기에서도 정확한 고도 지

방식으로 각종 공간지각이 처리될 수 밖에 없고 또 그렇게 되고 있음을 밝혔다는 점이 이 연구의 의의이다.

본 연구에서 제한적으로 밖에 실험하지 못한 대형비행기의 구조적 특성으로 인한 조종사의 시각자료의 양과 질의 부족 문제를 소형비행기와의 비교 연구를 통해 좀 더 구체적으로 어떤 시각 자료가 부족하며 또 그것의 보완은 어떤 식으로 하는 것이 효율적인가에 초점을 맞추어 연구하여야 할 것이다. 그리고 대형비행기의 이러한 구조적 특징으로 인한 시각자료 부족의 문제를 현재 어떻게 극복하고 있는지를 밝혀야 한다.

참고문헌

- 이정모 외(2002). 인지 심리학, 서울: 학지사.
- Benbassat, d. & Abramson, C.I.(2002). Landing flare accident reports and pilot perception analysis. *International Journal of Aviation Psychology*, 12, 137-152.
- Benbassat, d. Willams, K.W, & Abramson C.I.(2005). General Aviation Leveloff, Roundout, and Accident Rate Analysis. *International Journal of Aviation Psychology*, 15(2), 189 - 203.
- Benson, A. J. (1999). Spatial disorientation-General aspects. In J. Ernsting, A. N. Nicholson, & D. J. Rainford (Eds.), *Aviation medicine* (3rd ed., pp. 419-454). Oxford, England: Butterworth Hernemann.
- Boeing Company (2004). 737-600/700/800/900 Flight Crew Training Manual (Rev 4). Seattle, WA: Boeing Company.
- Boeing Company (2004). 777 Flight Crew Training Manual (Rev 3). Seattle, WA: Boeing Company.
- Boeing Company (2004). 747-400 Flight Crew Training Manual (Rev 3). Seattle, WA: Boeing Company.
- Bond, N. A., Bryan, L. G., Rigney, J. W., & Warren, N. D. (1962). *Aviation psychology(aero-space science series)*. Los Angeles: Aviation and Missile Safety Division, University of Southern California
- Bramson, A. (1982). *Make better landings*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Butcher, R. (1996). *Private pilot flight training manual*. Orange, CA: Skyroamers.
- Christy, J. (1991). *Good takeoffs and good landings* (2nd ed.). Blue Ridge Summit, PA: Tab.
- Collins, L.(1981). *Takeoffs and landings*. New York: Delacorte
- Conrad. L. Kraft (1978) *Simulator studies of Visual Illusions in Night Visual Approaches*. in Herber L. Pick, Jr, Jerome E. Singer, Alfred Steinschneider and Harold W. Stevenson (Eds). *Psychology: from Research to Practice* (pp. 363 - 385) Plenum Press, New York
- Cutting J. E. and Vishton P. M. *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*, pages 69.117. Academic Press, New York, 1995.
- Federal Aviation Administration.(1999). *Airplane flying handbook(FAA-H-8083-3, Rev. ed.)*. Washington, DC: U.S. Department of Transportation
- Federal Aviation Administration.(2004). *Airplane flying handbook(FAA-H-8083-3a, Rev. ed.)*. Washington, DC: U.S. Department of Transportation
- Fox, R., Aslin, R. N., Shea, S. L., & Dumais, S. T. (1980). Stereopsis in human infants. *Science*, 207, 323-324
- Galanis, G., Jennings, A., and Beckett, P. (1998) *A mathematical model of glide-slope perception in the visual approach to landing*. The international journal of aviation psychology, 8(2), 83-101.
- Gleim, I. N. (1998). *Flight/ground instructor* (6th ed.). Gainesville, FL: Gleim.
- Goldstein E. Bruce. *Sensation & Perception*, fourth edition 1999 Korean Language edition 감각과 지각, 시그마프레스.
- Grosz, J., Ryskkyk, R., Bootsma, R. J., Mulder, J. A., van der Vaart, J. C., &

- van Wieringen, P. W. (1995) *Perceptual support for timing of the flare in the landing of an aircraft*. In P. Hancock, J. Flach, J. Caird, & K. Vicente (Eds.), *Local applications of the ecological approach to human machine systems* (pp. 104-121). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Jeppesen. (1985). *Private pilot maneuvers manual*. Englewood, CO: Jeppesen Sanderson.
- Jorgensen, C. C., & Schley, C. (1990). Aneural network baseline problem for control of aircraft flare and touchdown. In M. W. Miller & R. S. Sutton (Eds.), *Neural networks for control* (pp. 403-425). Cambridge, MA: MIT Press.
- Kalat, J. W. (1998). *Biological psychology*. Pacific Grove, CA: Brooks/Cole.
- Kershner, W. K. (1981). *The flight instructor's manual* (2nd ed.). Ames: Iowa State University Press.
- Kershner, W. K. (1998). *The student pilot's flight manual*(8th ed.). Ames: Iowa State University Press.
- King. (Producer). (1988). *Takesoffs and landings made easy* [Motion Picture]. San Diego, CA; King Schools.
- King. (Producer). (1999). *Cleared for takeoff-Cessna private pilot* [CD-ROM]. San Diego, CA: King Schools.
- Langewiesche, W. (1972). *Stick and rudder*. New York: McGraw-Hill.
- Love, M. C. (1995). *Better takeoffs & landings*. Columbus, OH: Tab.
- Marieb, E. N. (1995). *Human anatomy and physiology*(3rd ed.). Redwood City, CA: Benjamin/Cumming.
- Marr, D. (1982). *Vision*. San Francisco: Freeman.
- Nagel, D. C. (1988). Human error in aviation operations. In E. L. Wiener & D. C. Nagel (Eds.), *Human factors in aviation* (pp. 263-303). San Diego, CA: Academic.
- NIRE. (2004), *Visual Distance Perception & Depth Perception: Improving People's Perception Skills with Optical Aids and/or Training ... for Specialized Occupations, Safer Driving and Safer Use of Machinery*, National Institute for Rehabilitation Engineering.
- Palmer, Stephen E. (1999). *Vision Science*. The MIT Press.
- Reading, R. W. (1983). *Binocular vision: Foundations and applications*. Woburn, MA: Butterworth.
- Quinlan, E. (1999). *Recreational airplane pilot*. Oak Brook, IL: Aviator.
- Reinecke, R. D., & Simons, K. (1974). A new stereoscopic test for amblyopia screening. *American Journal of Ophthalmology*, 78, 714-721.
- Sharon E. Guttman, Lee A. Gilroy, and Randolph Blake (2005). *Hearing What the Eyes See*. PSYCHOLOGICAL SCIENCE. Vol 13-number3 228-235
- Tiffin, J., & Bromer, J. (1943, April). *Analysis of eye fixations and pattern of eye movements in landing a piper cub J-3 airplane* (Rep. No. 14). Washington, DC: CAA Division of Research.
- Tredici, T. J. (1996). Ophthalmology in aerospace medicine. In R. L. DeHart (Ed.), *Fundamentals of aerospace medicine* (2nd ed., pp. 519-566). Baltimore: Williams & Wilkins.
- Warren, R., & Owen, D. H. (1982). Function optical invariants: A new methodology for aviation research. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 53, 977-983.
- Wu B., He Z. J., & Ooi T. L. *Evidence for a sequential surface integration process hypothesis from judging egocentric distances with restricted view of the ground*. Journal of Vision, 2003. Abstract.