

조종사 공간능력과 이상자세회복과의 관계에 관한 연구

A Study of Relationship between Pilot's Spatial Ability and Unusual Attitude Recovery

임진혁* 명노해*
Jinhyeuk Lim Roehae Myung

Abstract

In this study, the relationship between military pilot's spatial ability and unusual attitude recovery was investigated. MRT(Mental Rotation Test) was measured with spatial ability whereas recovery time and error rates were measured with respect to 11 unusual attitudes. Eight fighter pilots and eight rear cockpit pilots of F-4E participated in this study. The results showed that MRT response time was significantly correlated with unusual attitude recovery time. The regression equation showed that unusual attitude recovery time was linearly related to MRT response time and could be explained by MRT response time more than 66%. In conclusion, it is recommended that a training is needed to improve the mental rotation ability in a visually restricted environments during maneuvering.

Keywords : Spatial Ability(공간능력), Mental Rotation Test(심적회전테스트), Unusual Attitude Recovery(이상자세회복)

1. 서론

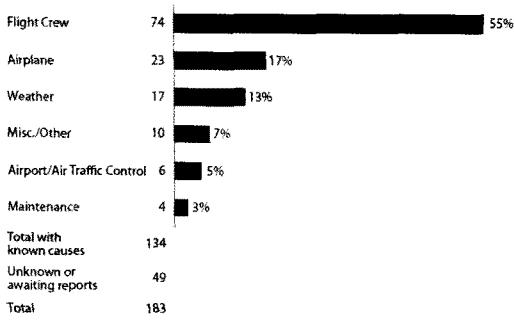
현대에 있어서 항공사고의 원인은 기계적인 결함보다는 항공기를 운항하는 승무원들에 의해서 발생하는 인적요인이 70~80%를 차지하고 있다는 것을 각종 통계자료에서 밝히고 있으며 또한 한국공군에서 인적요인에 의한 사고의 비율은 지난 50년간 약 65%를 차지하고 있는 것으로 나타나고 있다^[1]. 따라서 인적요소에 대한 보다 과학적인 분석과 연구를 하여 사고

의 원인을 근본적으로 제거하는 방안이 필요하다.

민간항공에 있어서 인적요인에 의한 기체손실은 전체 사고 중 55%에 이르고, 1987~2005년까지 전체 비행사고 5957건 중 조종상실(LOC : Loss Of Control)로 인한 비행사고가 2830건으로 CFIT(Controlled Flight Into Terrain)에 이어 두 번째로 높은 원인이다(그림 1)^[2]. 조종상실의 주 원인은 이상자세로서 계기고장, 난기류, 주의산만 또는 조종실 내에서의 부주의에 의해 발생한다. 또한 시계비행 상태에서 계기비행상태로의 전환 시에도 발생할 수 있다. 이상자세를 인지하는 방법은 자세계를 보고 인지하거나, 정상적이지 않은 매우 높거나 낮은 속도를 보고 판단할 수 있다^[3].

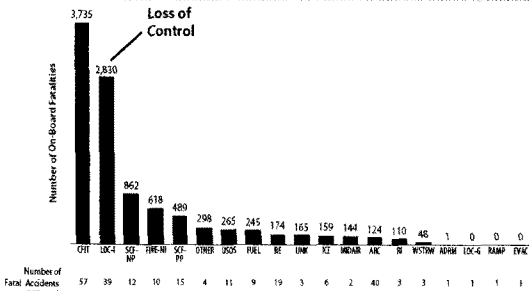
자세계는 조종사로 하여금 시계(Visibility) 조건에 상관없이 항공기 자세를 유지 하는데 있어서 핵심적

† 2008년 11월 3일 접수~2009년 1월 9일 게재승인
* 고려대학교 정보경영 전문대학원(Dept. of Industrial System & Information Engineering, Korea University)
책임저자 : 임진혁(gochuzang20@korea.ac.kr)



Primary cause is determined by the investigating authority as a percent of accidents with known causes.

Source: Boeing Commercial Airplanes



[그림 1] 민간항공사건의 주요 원인^[2]

인 계기이다. 또한 조종사가 이상자세로부터 회복하는 데 있어서 중요한 정보를 제공한다. 이러한 계기 정보를 읽고 항공기 자세를 판단하고 회복 조작을 하는데 있어서 중요한 요인은 조종사의 상황인식(Situation Awareness), 공간능력, 훈련, 경험, 신체적인 조건 등이라 할 수 있다^[4]. 특히 야간이나 기상악화로 인해 시계가 제한된 상황에서 이상자세 발생 시 조종사는 단지 자세계와 속도계에 의존하여 회복조작을 하게 되는데, 고도가 높은 상태에서는 회복조작에 대한 시간적 여유가 있지만, 고도가 낮거나 착륙을 위한 접근 단계에서는 빠른 자세판단 및 정확하고 빠른 반응을 필요로 한다. 특히 조종사의 인지적인 요소로서 공간능력은 임무수행도와 관련된 중요한 인지적인 요소임을 기존 연구결과에서 밝히고 있으며^[5], 이와 관련하여 조종사의 시공간적인 능력에 대하여 다음과 같이 설명하고 있다.

“공군조종사의 경우 다양한 임무를 수행하는 데 있어서 정확하고 빠르게 반응해야 하는데, 이는 높은 수준의 시각 인지(Visual Cognition)를 필요로 하며, 따라서 시공간적인 능력은 조종사의 임무 완수 및 안전에 굉장히 중요한 요소이다.”^[6]”

공간능력은 심적회전(Mental Rotation)과 밀접한 관련이 있으며^[7], 심적회전은 어떤 대상이나 형태를 하나의 각도에서 다른 각도의 방향으로 회전시키면서 심상화하는 활동으로 정의하였다. 심적회전에 있어서 물체의 회전각도가 커질수록 마음속에서도 실제 물리적인 회전의 양만큼 물체를 회전시켜야 하기 때문에 회전의 각도가 커지면 커질수록 반응시간이 길어진다 고 하였다^[8].

따라서 본 연구에서는 공군의 비행사건의 주 원인인 부적절한 조작과 관련하여 조종사의 공간능력과 이상자세 회복과의 상관관계를 분석함으로써 조종사의 인적요인에 의한 사고를 줄이는 것을 그 목적으로 한다.

2. 본 론

가. 공간능력에 대한 이론적 고찰

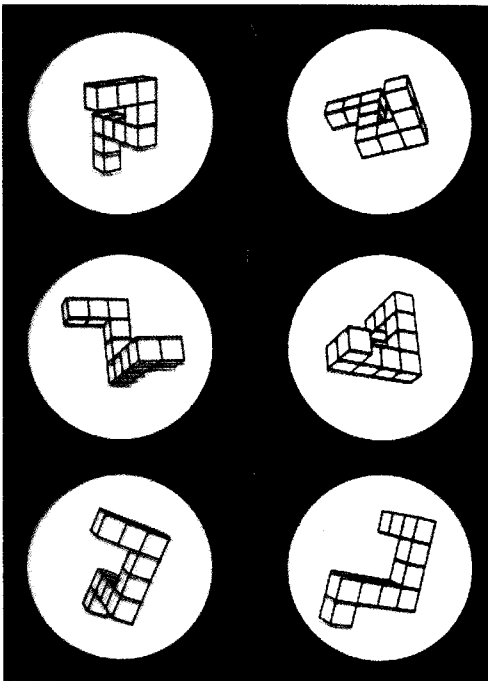
공간 능력(Spatial Ability)은 잘 구조화된 시각적 이미지를 생성하고(Generate), 회상하고(Retrieve), 변환(Transformation)하는 능력으로 정의 할 수 있다. 이러한 공간 능력은 몇가지로 구분할 수 있는데, 각각의 공간 능력은 이미지의 생성, 저장, 회상 및 변환 과정에서의 다른 측면을 강조한다^[8]. 또한 공간능력(Spatial Ability)은 비행에 있어서 수행도와 관련된 인지(Cognitive)적인 요소중의 하나이다. 심적 회전 테스트(Mental Rotation Test)는 회전과 관련된 심적 이미지의 변환을 측정하기 위한 것인데, 공간 능력의 이러한 측면은 일반적으로 공간 능력(Spatial Ability)이 심적인 이미지를 회전시키는 것과 깊은 관련이 있기 때문이다^[5].

정신적 회전(Mental Rotation)이란 어떤 대상이나 형태를 하나의 각도에서 다른 각도의 방향으로 회전시키면서 심상화하는 활동을 말한다. 이러한 정신적 회전 과정에서 일어나는 내적 과정은 세 가지 하위 과정으로 나누어진다.

첫째 단계는 시각적 검사 패턴에 대하여 내적으로 표상을 형성하거나 회전 방향을 수립하는 것과 같은 회전에 기본적으로 요구되는 과정이며, 둘째 단계는 내적으로 표상된 시각적 패턴을 비교 패턴으로 회전시키는 과정 또는 외적인 비교 자극의 심상을 내적 표상으로 회전시키는 과정이다. 마지막 단계는 내적으로 심상화된 패턴과 외적인 비교자극간을 비교하여

판단하는 과정이다. 정신적 회전에 대한 기초가 되는 연구에서는 두 개의 짝 지워진 형태가 같은 물체인지 아닌지에 대한 판단을 요구하였다^[9].

이들의 실험에서 이용된 형태의 쌍들 중 반은 하나를 회전시키면 다른 하나와 동일하게 되는 것이었고, 나머지 반은 거울상으로 좌우가 대칭 되지만 회전시켜도 두 형태가 동일하게 되지 않는 쌍들이었다. 그림 2의 A는 평면적인 회전의 예이고 B는 깊이를 이용한 회전, C는 거울상으로서 깊이를 이용한 회전의 예이다.



[그림 2] 심적회전 자극의 예^[9]

두 형태가 동일한 것인지를 결정하는 데에 소요되는 시간은 한 형태가 취한 방위가 다른 형태의 방위로부터 회전된 각도가 커짐에 따라 직선적으로 증가하였다. 이는 피험자가 이 과제를 수행하기 위해 한 형태의 시각적 심상이 다른 형태의 방위와 동일해질 때까지 그 형태를 정신적으로 회전시켰다는 것을 암시하고 있다. 피험자들은 한 물체의 방위가 다른 물체의 방위와 같아질 때까지 회전하는 상상을 했으며, 물체의 구조를 흐트리지 않기 위해서는 회전 속도를 일정한 수준 이상으로 증가시킬 수 없다고 보고했다. 따라서 이러한 심적인 회전에 소요되는 시간은 개인의

능력에 따라 차이가 발생할 것이라는 가정을 할 수 있다.

나. 이상자세 회복

이상자세는 부주의하게 발생한 항공기 자세로 정의되고 계기고장, 난기류, 주의산만 또는 조종실 내에서의 부주의에 의해 발생한다. 또한 항공기 이상자세는 치명적인 비행사고로 이어지는 조종상실을 가져올 수 있다^[4]. 이상자세 회복절차는 항공기 기종마다 다르지만 공통적으로 상승자세에서는 속도감속을 막기위해 엔진출력을 증가시키고(Add Power), 상승각을 줄인다음(Lower Nose), 날개를 수평으로 만들고(Level Wings), 강하자세에서는 속도증가를 막기위해 엔진출력을 줄이고(Reduce Power), 날개를 수평으로 만든다음, 수평까지 항공기 노즈를 올린다(Raise Nose)^[4]. 본 연구에서는 실험목적에 위하여 엔진출력 조절은 생략하고 실험을 진행하였다.

다. 실험 개요

실험을 위한 피 실험자는 현재 한국공군에서 운용 중인 F-4E 조종사 16명을 대상으로 공간능력 측정 및 이상자세회복 실험을 실시하였다. 조종사 구성은 전방석 8명, 후방석 8명이며, 총비행시간은 167~1275시간이고 평균은 455.1 ± 330.1 시간이었다.

본 연구에서는 조종사의 심적회전 평균 반응시간과 이상자세 회복 시 평균 회복시간과의 관련성을 분석하기 위하여 상관분석과 회귀분석을 이용하여 분석하였다. 상관분석은 어떤 두 변수들 간의 선형관계에 초점을 두고 두 변수가 선형관계를 갖는지, 선형관계를 갖는다면 어느 방향인지, 그리고 그 관계는 얼마나 큰지를 분석한다. 두 변수가 서로 선형관계를 가질 때 선형 상관관계가 있다고 하며, 줄여서 상관관계가 있다고 한다. 회귀분석은 한 변수를 종속변수로 그리고 다른 변수를 독립변수로 설정하여 이들 간의 관계를 분석하는 것이다^[10]. 본 연구에서는 먼저 각각의 조종사의 이상자세 평균 회복시간과 회복 정확도, 심적회전 평균 반응시간과 정확도를 분석 하였고, 최종적으로 개인별 심적회전 평균 반응시간을 독립변수로, 이상자세 평균 회복시간을 종속변수로 하여 회귀분석을 통하여 영향정도를 분석하였다.

라. 실험 장비

조종사 공간능력 측정을 위한 심적회전 테스트는

Laboratory in Cognition and Perception v3 프로그램을 이용하여 각 조종사의 심적회전 반응시간 및 에러율을 측정하였고, 이상자세회복 실험은 Flash MX 2004를 사용하여 구현하였으며, 공간능력 측정 및 이상자세회복 실험을 위해 사용된 컴퓨터는 IBM ThinkPad T43 노트북을 이용하였으며, 실제 비행과 유사한 환경을 조성하기 위해 이상자세 회복 실험은 추가적으로 Microsoft 사이드와인더 조이스틱을 이용하였다.

마. 실험내용

1) 심적회전 테스트

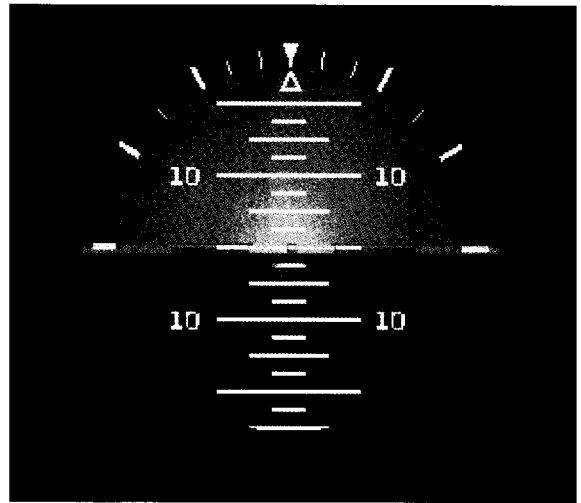
공간능력 측정에서 사용된 두 개의 쌍의 각도 차이는 0도에서 180도까지 30도 간격으로(0, 30, 60, 90, 120, 150, 180)로 이루어져 있으며, 이용된 형태의 쌍들 중 반은 하나를 회전시키면 다른 하나와 동일하게 되는 것이었고, 나머지 반은 거울상으로 좌우가 대칭되지만 회전시켜도 두 형태가 동일하게 되지 않는 쌍들이었다. 피실험자들은 랜덤하게 주어지는 28개의 문항에 대해 각각의 쌍이 같은지 다른지를 판단하였고, 각각의 문항에 대한 반응시간을 측정하여 28개 문항에 대한 평균 반응시간을 측정하였다. 또한 28개의 문항에 대해 정답과 오답에 따라 백분율로 정확도를 구하였다.

2) 이상자세 회복 실험

이상자세 회복 실험은 시계가 제한된 상황에서 외부 참조물이 없는 상태를 전제조건으로 Flash MX 2004로 구현한 ADI(Attitude Directional Indicator)를 이용하여 각 조종사가 조이스틱을 이용하여 11가지 자세에 대해 수평 회복 조작을 실시하였다.

11가지 이상자세는 학습효과를 방지하기 위하여 Counter-Balancing 하였으며, 각각의 자세(Bank/Pitch)는 다음과 같다. (1) -135°/-60°, (2) -90°/-60°, (3) -45°/-60°, (4) 135°/-60°, (5) 180°/-60°, (6) 135°/0°, (7) 180°/0°, (8) -135°/60°, (9) 45°/60°, (10) 90°/60°, (11) 135°/60. 양의 값은 오른쪽경사 또는 상승자세를 나타내고, 음의 값은 왼쪽경사 또는 강하자세를 나타낸다.

그림 3은 실험에 사용된 Flash MX 2004로 구현한 ADI로서 가장 보편화된 표준형 자세계이다. 바깥쪽에 있는 롤(Roll) 스케일은 항공기 경사를 알려주며, 안에 있는 볼 형태의 구는 0도 pitch를 기준으로 두가지 색깔로 구분되어 있어 하늘과 땅을 표현하고 핏치(Pitch) 스케일은 2.5도 간격으로 구현하였다.



[그림 3] Design of the ADI

이상자세 회복절차는 상승자세에서는 먼저 가장 빠른 쪽으로 경사를 180도 배면상태로 만든 후에 핏치를 0도까지 끌어내린 후 다시 롤을 주어 좌우경사 10도 이내, 상승 및 강하 10도 이내에서 2초이상 유지되면 자동적으로 실험이 종료되도록 하였다. 강하자세에서의 회복절차는 먼저 경사를 0도로 만들고 핏치를 들어 상승자세 때와 마찬가지로 조건이 되면 실험이 종료되도록 하였다. 11개의 이상자세에 대해 각각 회복시간을 측정하였고, 개인별 평균 회복시간을 측정하였다. 초기 경사 및 핏치 조작 시 잘못된 자세판단에 의한 반대방향으로의 조작은 에러로 간주하였고, 이에 따라 11개의 자세에 대한 올바른 조작과 에러에 따라 백분율로 정확도를 구하였다.

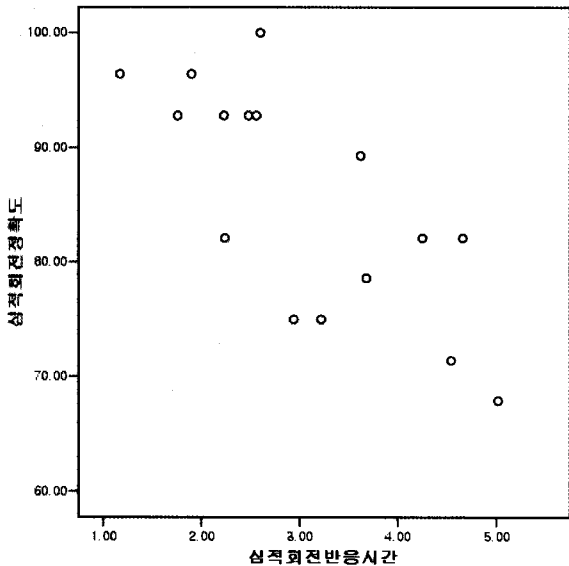
바. 결 과

1) 상관분석

가) 심적회전 반응시간과 심적회전 정확도

심적회전 테스트 결과 조종사 11명의 심적회전 평균 반응시간은 3.05 ± 1.1초였으며, 최소, 최대값은 각각 1.17초, 5.02초였다. 심적회전 평균 정확도는 85.5 ± 9.96%이고 최소, 최대값은 각각 67.9%, 100%이다. 각 조종사의 심적회전 평균 반응시간과 심적회전 정확도 간의 상관관계를 보기위하여 상관분석을 실시한 결과 유의확률 0.01 수준에서 Pearson 상관계수가 -0.751로서 음의 상관관계를 가져 반응시간이 빠른 조종사일수록 정확도가 함께 증가하는 관계를 볼 수 있었다 (그림 4). 이와 같은 결과는 심적회전 반응시간이 평

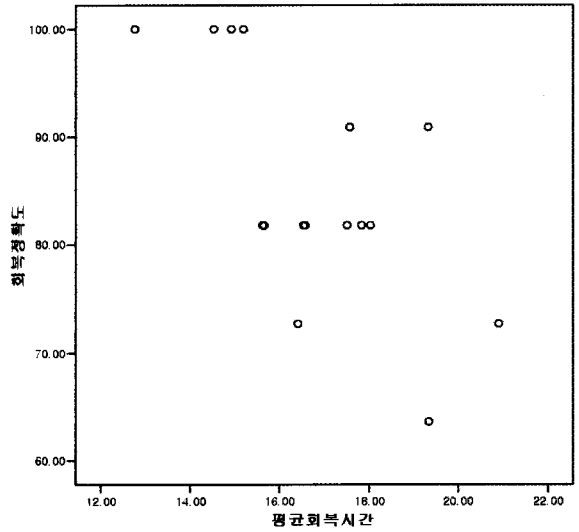
균적으로 빠른 조종사의 경우 정확도가 높고, 심적회전 평균반응시간이 평균적으로 긴 조종사는 정확도가 낮다는 것을 의미한다. 이를 통해 공간능력과 밀접한 관련이 있는 심적회전 능력은 개인별 심적회전 반응시간이 주요한 척도가 됨을 알 수 있다.



[그림 4] 심적회전 평균 반응시간과 심적회전 평균 정확도간의 산포도

나) 이상자세 회복시간과 회복 정확도

이상자세 회복 실험을 통하여 얻은 모든 조종사의 평균 회복시간은 16.8 ± 2.1 초이고 최소, 최대값은 각각 12.77초, 20.9초이다. 모든 조종사의 이상자세 회복 평균 정확도는 $85.2 \pm 11.0\%$ 이다. 개인별 이상자세 평균 회복시간과 개인별 회복 평균 정확도 간의 상관관계를 보기위하여 상관분석을 실시한 결과 유의확률 0.01 수준에서 Pearson 상관계수가 -0.672로서 음의 상관관계를 가져 회복 시 정확도가 높은 조종사일수록 평균 회복시간이 감소하는 관계를 볼 수 있다(그림 5). 이러한 결과는 이상자세 회복시간이 빠른 조종사는 정확한 자세과약을 함으로써 정확한 조작을 했다는 것을 의미하고, 반대로 이상자세 회복시간이 상대적으로 긴 조종사는 잘못된 자세판단으로 인해 반대방향으로 회복조작을 함으로써 평균 회복시간이 길어졌음을 의미한다. 따라서 이상자세 회복시간이 이상자세 회복에 있어서 주된 요인임을 알 수 있다.



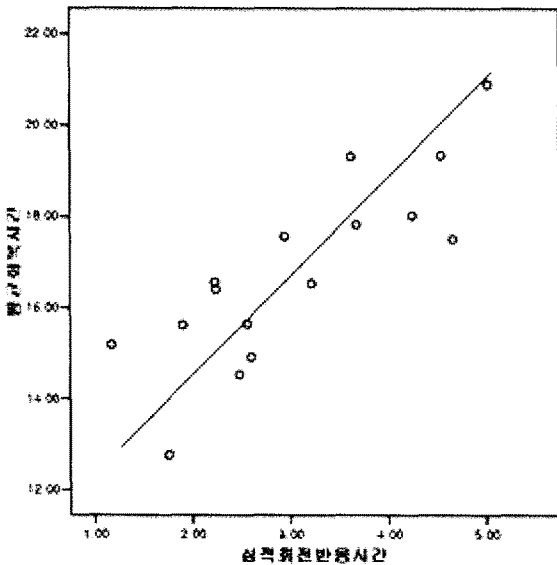
[그림 5] 이상자세 평균 회복시간과 회복조작 시 평균 정확도간의 산포도

다) 이상자세 평균 회복시간과 심적회전 평균 반응시간

이상자세 회복 실험을 통하여 얻은 각 조종사의 평균 회복시간과, 각 조종사의 심적회전 평균 반응시간과의 상관관계를 보기위하여 상관분석을 실시한 결과 유의확률 0.01 수준에서 Pearson 상관계수가 0.828로서 이상자세 회복시간과 심적회전 반응시간이 양의 관계를 가지고 있음을 알 수 있었다. 즉 심적회전 평균 반응시간이 빠른 조종사의 경우 상대적으로 심적회전 평균 반응시간이 느린 조종사에 비해 이상자세 평균 회복 시간이 빠르다는 것을 의미한다(그림 6).

2) 회귀분석

상관관계분석이 두 변수간의 선형관계를 조사하는데 비해, 회귀분석은 한 변수를 종속변수로 그리고 다른 변수를 독립변수로 설정하여 이들 간의 관계를 분석하는 것으로서, 독립변수가 한 개인 경우를 단순회귀분석, 그리고 두 개 이상인 경우를 다중회귀분석이라고 한다^[10]. 본 연구에서는 상관분석 결과 강한 양의 상관관계를 가지는 심적회전 반응시간과 이상자세 회복시간을 각각 독립변수, 종속변수로 하여 회귀분석을 실시한 결과 심적회전 반응시간이 이상자세 회복시간과의 상관계수 r 은 0.828이고 수정된 R^2 는 0.664로서 종속변수인 이상자세 회복시간을 66.4% 설명하고 있음을 알 수 있다.



[그림 6] 심적회전 평균 반응시간과 이상자세 평균 회복시간과의 산포도

단순회귀분석결과 반응시간의 회귀계수는 1.498이며 상수는 12.219이다. 이를 바탕으로 단순회귀식을 표현하면 아래와 같다.

$$\text{이상자세 회복시간} = 12.219 + (1.498 \times \text{심적회전 반응시간})$$

회귀분석 결과 공간능력의 중요한 측정치인 심적회전 평균반응시간의 중요도는 r값이 0.828이므로 이상자세 회복시간을 줄이기 위해서는 조종사의 심적회전 능력을 향상시켜야 함을 의미한다. 또한 도출된 회귀식의 분산분석 결과는 $F=30.632$, $p=0.000$ 으로 이상자세 회복시간에 대한 심적회전 반응시간의 회귀식이 신뢰할 수 있다는 것을 알 수 있다.

3. 토의 및 결론

연구결과 공간능력과 밀접한 관련을 갖고 있는 심적회전 능력이 좋은 조종사가 이상자세 회복시간이 빠르다는 결과가 도출되었다. 이것은 조종사의 공간능력이 비행 임무수행도와 관련된 중요한 인지적 요소를 강조한 기존의 연구와 일치한다. 따라서 조종사의 공간능력과 밀접한 관련을 가지고 있는 심적회전

능력을 향상시킴으로써 임무수행도를 높이고 오류에 의한 비행사고를 사전에 예방할 수 있다는 가능성을 보이는 결과라 할 수 있다.

이상자세 회복시 에러는 피실험자 16명에 의해 발생한 전체 24개의 에러 중에서 75%의 에러가 심적회전 평균 반응시간이 긴 조종사들에서 발생하였다. 이상자세 회복에 있어서 에러는 항공기의 고도, 속도에 따라 실속이나 Out-of-Control, Spin으로 이어질 수 있다는 점에서 심적회전 평균 반응시간이 상대적으로 긴 조종사들에 대한 심적회전 능력 향상을 위한 훈련이 필요하다고 할 수 있다.

비행시간과 이상자세 평균 회복시간과의 관계는 명확하지 않았다. 이는 비상 시 조종사 의사결정에 영향을 미치는 요소로서 1000시간 이상인 조종사들의 경우 항공기 상태와 관련된 요인에 대하여 고도, 속도, 외장을 중요시 한 반면 1000시간 이하의 조종사들의 경우 항공기 자세, 속도를 중요시한다는 연구결과를 바탕으로 할 때^[2], 비행시간이 많은 조종사의 경우 자세를 인식하고 반응하는데 있어서 자동화되어 있는 반면에, 1000시간 이하의 조종사의 경우 항공기 자세에 대한 빈번한 Cross-Check를 통한 훈련에 의해 두 집단간의 이상자세 평균 회복시간에 유의한 차이가 발생하지 않았다고 해석할 수 있다. 또한 평소 이상자세 훈련이 주된 비행임무가 아니며, 본 실험과 같은 높은 상승과 강하자세에서의 이상자세를 경험해 볼 기회가 적었다는 것도 조종사들과의 사후 인터뷰를 통해 의견으로 제시 되었다.

본 연구는 조종사의 공간능력과 밀접한 관련이 있는 심적회전과 이상자세 회복과의 관계에 대해 연구 하였다. 실험결과 조종사의 심적회전 평균 반응시간은 이상자세 평균 회복시간과 관련이 있으며, 특히 심적회전 평균 반응시간이 긴 조종사의 경우 에러의 발생을 또한 높기 때문에 심적회전 능력에 대한 훈련이 필요하다고 할 수 있으며, 추가적인 항공기 계기 인터페이스에 대한 인지공학적 개선을 통한 보완이 항공기 사고를 예방하고 비행 임무 수행도를 높일 수 있는 방안이라고 생각한다.

Reference

- [1] 정영택, 인적요인에 의한 비행사고 유발요인에 관한 연구, 석사학위논문, 경상대학교 행정대학원,

- 2005.
- [2] Darby, R., "Commercial Jet Hull Losses, Fatalities Rose Sharply in 2005", *Aviation Safety World*, pp. 53~55, August, 2006.
- [3] Hartsock, D. C., "Development and Evaluation of a Background Attitude Indicator", *Journal of Aviation Psychology*, Vol. 9, No. 1, pp. 49~71, 1999.
- [4] 항공작전사령부, F-4D/E 기본전술훈련, 작사고범 5-1-2(F-4D/E), 2004.
- [5] Carretta, T. R., "Spatial Ability as a Predictor of Flight Training Performance(Tech. Rep. No. FHRL-TP-86-70)", Brooks Air Force Base, Airforce Human Resources Laboratory, 1987.
- [6] Dror, I. E., Kosslyn, S. M., Waag, W. L., "Visual-Spatial Abilities of Pilots", *Journal of Applied Psychology*, Vol. 78, No. 5, pp. 763~773, 1993.
- [7] Poltrock, S. E., & Brown, P., "Individual Differences in Mental Imagery Processes(AFOSR Technical Report 82-0149)", Bolling AFB, Washington, DC, Air Force Office of Scientific Research., 1982.
- [8] Lohman, D. F., "Spatial Ability and G", *International Spearman Seminar*, University of Plymouth, July 21, 1993.
- [9] Shepard, R. N., & Metzler, J., "Mental Rotation of Three-Dimensional Objects", *Science*, 171, pp. 701~703, 1971.
- [10] 이학식, 임지훈, SPSS 12.0 매뉴얼, 법문사, pp. 256~316, 2005.
- [11] Huber, S. W., "Recovery from Unusual Attitudes : HUD vs. Back-up Display in a Static F/A-18 Simulator", *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, Vol. 77, No. 4, pp. 444~448, April 2006.
- [12] 박상수, 비상시 조종사 의사결정에 대한 분석, 석사학위논문, 고려대학교 산업시스템정보공학과, 2003.