

비행안전을 위한 조종사의 생체 활성화 평가에 관한 연구

A Study on the Evaluation of Human Alertness for Flight Safety

최승호 · 이달호

군사과학대학원 항공안전공학과

ABSTRACT

Methods of evaluating the physiological activity of the living body are EEG, EOG, Heart rate, and Rectal temperature, etc. In the study of Hagiwara and Araki(1993), they found positive correlations among performance test, physiological measurement, and subjective feeling measurement. Human alertness of pilot directly influences on the flight performance that accomplishes a lot of vigilance task and procedure execution in flight.

Accordingly, this paper deals with the quantitative and objective performance test based on tracking error and reaction time by means of the new computer test program into which the perception-motion system of human beings is applied. Throughout this experiment using performance test, the results suggest that performance capability in state of sleep deprivation 2 hours and alcoholic 0.05~0.06% in blood were more impaired than one in a normal state, and they further showed statistically significant differences between them, which were influenced by impairment factors of body regulation and pilot's grade.

We also obtained the prediction value and the 95% confidence interval of tracking error and reaction time at the normal state for the purpose of distinguishing performance capability between the normal state and the abnormal state. And it is expected that the evaluation of human alertness using performance test will be applied to the quantitative assessment of an each pilot's realistic consciousness/attention, and will lead a flight commander to the accurate decision of mission approval prior to a flight.

1. 서 론

일상생활에서 개인의 생활습성 또는 주위환경의 변화에 따라 일시적이고 단기적으로 생체 활성도가 저하될 수 있다. 생체 활성도는 주어지는 환경자극에 대해 생리적/심리적인 반응이나 행동능력 등에 적응하거나 활발해지는 정도를 말하며, 이를 저하시키는 요인으로는 인체의 24시간 주기리듬의 변화, 수면부족, 알콜섭취, 약물복용, 피로, 그리고 스트레스 등이다. 비행업무는 다른 업무보다 환경변화가 크며, 기 계획된 임무라 할지라도 비행환경(기상, 항공기 상태, 임무변경)은 조종사가 의도하는대로 이루어질 수 없기 때문에 수시로 변하는 환경변화에 적응하고 적절한 조치를 취하기 위해서는 조종사의 적정한 생체 활성도를 유지하여야 한다.

조종사 360명을 대상으로 비행취소와 비행강행에 대해 조사한 자료에 따르면, 지난 3개월간의 비행취소율(몸이나 마음이 불편하여 비행을 취소한 적이 있다)은 20%인데 반하여 비행강행율(몸이나 마음이 불편한데도 불구하고 비행을 한 적이 있다)은 36%로 129명이 심신의 불편함에도 불구하고 비행을 강행하였다고 보고되었다. 이는 현재 각 비행대에서 실시되고 있는 일일 건강점검에 대한 문제점을 지적하는 것으로 주관적인 평가기법에 대한 개선과 더불어 보다 정량적인 평가기법을 요구하고 있다고 생각되어진다.

따라서 본 연구는 조종사의 생체 활성도를 평가하기 위하여 추적과 반응을 동시에 수행하도록 하는 Dual-task로 구성된 컴퓨터용 성능평가 프로그램을 이용하여, 정상상태에서의 수행도를 측정하여 각각의 관측값을 파악하고, 수면부족과 알콜섭취에 의한 수행도를 측정하여 정상상태에서의 수행도와 비교/분석하여 그 상관관계를 규명하고, 조종사의 생체 활성도를 평가하는 기법으로서의 타당성을 검증하였다.

2. 성능평가를 위한 Test Program

Performance Test 프로그램은 마이크로소프트사의 Visual Basic 5.0을 이용하여 개발하였고, Test 항목은 실제 비행임무 수행시 필요로 하는 지각-인식-운동에 초점을 두었으며, tracking control과 reaction이 동시에 수행되도록 하는 Dual-task로 이루어져 있다.

가. Tracking Task

Track은 <그림 1>과 같이 직선, 원호 그리고 대각선으로 구성하였고, 전체길이 84cm, 폭 9mm로 mapping하여 평균 2.4cm/sec의 일정한 속도로 추적하도록 하였다. 실시방법은 처음에 start button을 누르면 지정된 화면과 track이 나타나고, track의 시작점인 작은 원을 mouse의 왼쪽 button으로 누르면 지름 6mm 크기의 노란색 표적이 나타난다. 이것을 mouse로 button누름 없이 track을 따라 끝까지 끌고 가면 되며, 마지막 큰 원에서 mouse의 왼쪽 button을 다시 누르면 종료된다. Tracking Task에서의 관측값은 <그림 2>와 같이 track의 중심으로부터 벗어난 크기를 누진적으로 측정한 전체 오차합계를 구간수로 나눈 평균 오차값이며, 단위는 micron이다.

나. Reaction Task

Reaction Task는 Tracking Control을 수행하면서 병행하여 표적의 색상이 변할 때, 이를 시각적으로 인지하고 반응하는 실험이다. 표적의 색상변화는 2~8초 간격으로 5회 주어지며, 이는 mouse의 위치와 경과시간에 따른 임의의 확률에 따라 주어진다. 피실험자는 추적을 하면서 표적의 색상이 노란색에서 빨간색으로 바뀌면, keyboard의 "space-bar key"를 왼손의 중지와 약지손가락으로 가장 빠르게 누른다. 피실험자의 반응(space-bar key를 누름)후에는 표적의 색은 다시 노란색으로 바뀐다. 반응시간에 대한 측정치는 5회 반응 소요시간에 대한 평균이며, 단위는 msec이다. <그림 3>은 Reaction Task의 측정방법을 나타낸 것이다.

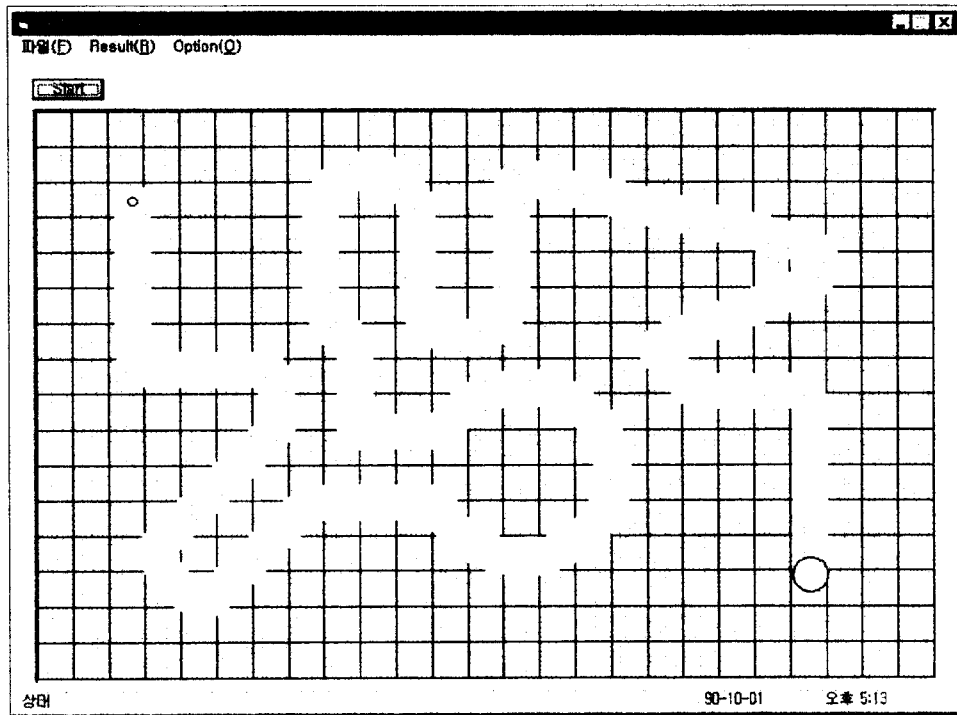


그림 1. 성능평가 프로그램의 구성

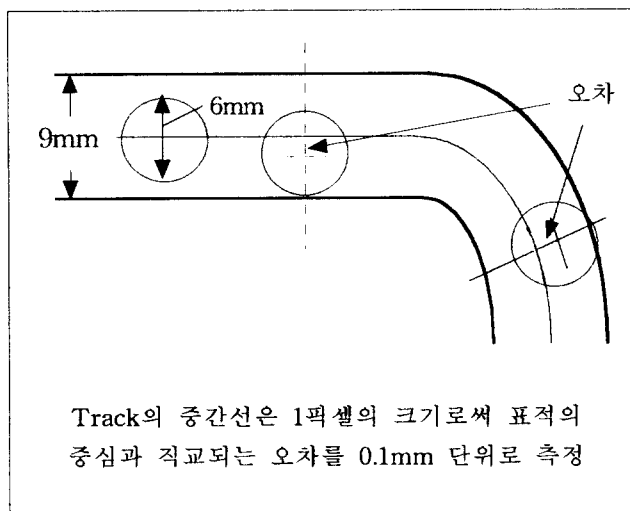


그림 2. Tracking error 측정방법

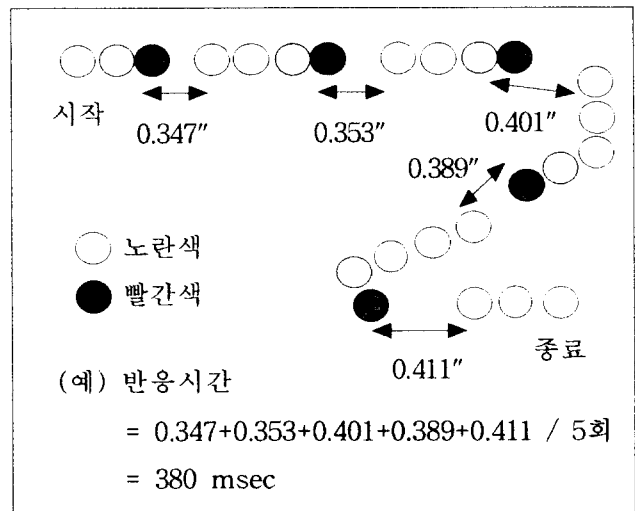


그림 3. Reaction time 측정방법

3. 실험방법

가. 피실험자

본 연구의 실험에는 해군의 xx비행대에서 실험 가능한 조종사중 난수표를 이용하여 정조종사(P)와 부조종사(CP)를 각각 5명씩 선정하였다. 피실험자의 연령은 정조종사가 30세~37세, 부조종사는 25세~29세이며 시력은 1.0이상이다. 피실험자는 실험기간중 생체 활성화도 저해요인에 대한 실험자의 철저한 관리하에서 생활을 하도록 하였으며, 일상적인 비행업무를 수행하는 데는 지장이 없도록 하였다.

나. 실험방법

실험기재는 컴퓨터, 14" 모니터, 마우스, 키보드, 녹음기로 구성된다. 실험은 프로그램의 설계상의 문제점 도출과 변별도를 향상시키기 위하여 대학원생 3명을 대상으로 2회에 걸친 예비실험을 실시하였고 정상상태와 수면부족(-3시간)상태간의 충분한 변별도를 확인한 후에 본 실험을 실시하였다.

인간성능의 저하를 가져다 줄 수 있는 주요요인은 수면부족, 알콜섭취, 질병 및 약물복용, 피로, 스트레스 등이며, 본 실험에서는 항공기 사고원인으로 점유율이 높고, 일상생활에서 가장 변화되기 쉬운 생체 활성화도 저해요인으로 상기 5가지 요인 중 수면부족과 알콜섭취만을 통제요인으로 정하였다. 각 통제요인의 수준은 정상상태와 최소한의 변별도를 가질 수 있는 역치(threshold value)를 기준으로 하여 피실험자의 개인별 평균 수면시간에서 2시간 부족한 수면시간과 0.05~0.06%의 혈중 알콜농도로 정하였다. 이는 이전의 인간공학 실험을 통하여 인간성능의 저하와 오류횟수가 2회 이상 증가되는 시점과 미연방 항공규정(FAR)에서 비행중 인적오류가 발생하는 혈중 알콜농도를 기준으로 하였다.

본 실험은 1997년 9월 22일~10월 9일 동안 매일 아침 08:00~08:30분 사이에 피실험자 10명이 개인별 3분 이내에 1회씩 수행하였다. 실험을 하기 전에 실험의 목적과 프로그램 소개, 프로그램 수행방법과 시범을 실시하고 실험전 이틀동안 개인별 10회씩의 단계적인 훈련을 한 후 다음날부터 실험을 수행하였다. 특히 훈련에 대한 중점은 mouse 사용의 유연성을 위하여 mouse 조작시 손목과 팔을 이용하는 것을 피하고 손가락을 사용하도록 하였다. 피실험자가 도착하면 먼저 당일의 신체적/정신적 상태에 대해 확인하고 컴퓨터 테이블에 위치하여 1명씩 실험을 수행하였다.

4. 결과

가. 실험 결과의 일반 분석

실험자료에 대하여 통제요인 및 group별 결과는 다음의 <표 1>과 같으며, 분석결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 전체적으로 수면부족/알콜섭취상태의 평균은 정상상태 보다 높게 나타나 생체 활성화도 저해요인의 영향에 따라 정상상태와 변별도를 가진다고 볼 수 있다.
- (2) 관측값의 분포를 나타내는 표준편차는 group에 관계없이 추적오차가 반응시간보다 크게 나타나 Tracking-Task가 보다 어려운 과업인 것으로 파악된다.
- (3) 각 통제요인별 추적오차와 반응시간에 대한 평균은 전체적으로 P group이 CP group보다 높게 나타났다. 이는 동일한 훈련기간과 훈련량으로 인해 학습(learning)과 숙련(skill)과정을 거치지 않은 지각-운동 체계에서는 오히려 연령이 적은 CP group의 반응이 뛰어날 수 있다는 것을 보여준다.

표 1 통제요인 및 Group별 일반분석

구 분		추적오차			반응시간		
		정 상	수면부족	알콜섭취	정 상	수면부족	알콜섭취
P group	mean	878.1	987.7	1000.4	374.6	419	439
	std dev	24	40.1	45.3	19.4	15.2	12.5
CP group	mean	858.7	979.7	951.7	362.7	417.7	426.2
	std dev	46.1	43	28.1	20.4	12.7	17.1

그리고 Dual-task로 나타난 모든 관측값들을 보다 정확히 표현하기 위하여 <그림 4>와 같이 x축을 추적오차, y축을 반응시간으로 도시하였다. 추적오차와 반응시간에 대한 각각의 관측값을 적용하면 부분적으로 통제요인간 유사한 값을 가지나, 전체적으로 추적오차와 반응시간의 관측값을 모두 적용하면 정상상태와 수면부족/알콜섭취상태간의 차이가 현저히 구분되는 것을 알 수 있다. 수면부족과 알콜섭취상태에 대한 분포는 전체적으로 밀집된 형태로 유사한 관측값을 보였다. 그러므로 생체 활성화 저해요인의 영향에 대한 성능의 변화를 정상상태와 비교하기 위해서는 추적오차와 반응시간을 모두 적용한 특성치를 기준으로 하여야 할 것이다.

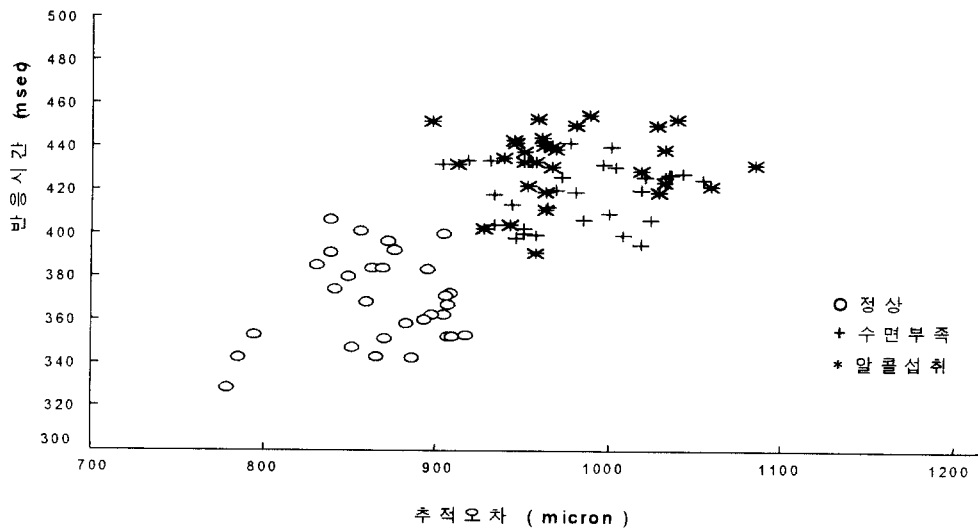


그림 4. 통제요인별 관측값의 plot

나. 자료의 통계적 분석

본 실험결과의 통계적 분석은 SAS 6.08 통계 프로그램을 이용하여 인간성능의 특성치를 나타내는 종속변수인 추적오차와 반응시간에 대한 분산분석을 실시하고, 실험변수인 통제요인별, group별, 피실험자 개인별, 그리고 각각의 교호작용에 대한 인간성능의 차이가 있는지에 대해 다변량 분산분석을 실시하였다.

분산분석 결과를 보면, 추적오차와 반응시간은 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 상당히 유의한 수준($p<0.001$)으로 나타나 인간성능을 평가하는 모형(model)에서 중요한 변수로 작용하는 것으로 나타났다.

또한 실험변수인 통제요인별, group별, 그리고 교호작용에 대한 인간성능의 유의한 차이가 있는지, 그리고 group내 피실험자(pilot)간의 인간성능의 차이가 있는지를 검정하기 위하여 GLM procedure를 이용한 다변량 분산분석을 하였다. Wilks' Lambda의 통계치를 기준으로 할 때 통제

요인별, group별에서는 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 유의하게 나타났다. 이는 수면부족과 알콜섭취에 의해 인간성능의 변화를 가져오며, 정조종사와 부조종사간에도 인간성능의 차이가 있다는 것을 말한다. 그러나 group내의 피실험자별, 통제요인과 group간의 교호작용에 대해서는 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 유의한 차이를 나타내지 않았다.

5. 결론 및 토의

항공기 사고에서의 인적과실을 방지하기 위해서는 안전 프로그램을 이용한 시스템 구축이 이루어져야 하며, 조종사의 비행성능에 영향을 미치는 인적요소에 대한 제반 관리가 필요하다. 특히, 일상생활에서 조종사 개인의 생활습성 또는 주위환경의 변화에 의해 나타나는 수면부족, 알콜섭취 등의 생체 활성화도 저해요인에 의한 영향은 일시적이고 단기적으로 조종사의 건강에는 큰 영향을 주지 않으나, 의식/주의력이 지속적으로 요구되는 비행업무 시에는 적절히 적응하고 대처하는 능력을 저하시켜 인적과실을 초래하게 한다.

본 연구는 생체 활성화도의 평가에 관한 萩原·荒木 등(1993)의 연구를 참고로 하여, 비행대대에서 직접 사용 가능한 컴퓨터를 이용한 평가 프로그램을 개발하였으며, 수면부족과 알콜섭취에 대한 단순한 변화에 대하여 조종사 등급별(P/CP)로 인간성능 평가를 실시하였다.

Test program을 이용한 실험을 통하여 나타난 자료의 분석결과는 다음과 같다.

- (1) 인간성능의 특성치를 나타내는 추적오차와 반응시간은 인간성능의 변화를 평가하는 데 영향을 미치는 것으로 확인되었다.
- (2) 조종사의 인간성능은 통제요인별로 유의한 차이($p<0.001$)를 나타내어 정상상태의 성능치가 수면부족/알콜섭취상태의 성능치와 충분한 변별도를 가지는 것으로 확인되었다. 이는 생체 활성화도 저해요인에 따른 인간성능 평가를 통하여 조종사의 생체 활성화도를 예측할 수 있다는 것을 말해준다.
- (3) 조종사의 인간성능은 Group 별로 유의한 차이($p<0.0015$)를 나타냈으며 Group내의 조종사간 ($p<0.6167$)에는 유의한 차이를 나타내지 않았다. 또한 부조종사(CP) 집단의 성능치가 정조종사(P) 집단의 성능치보다 뛰어난 결과를 보여 skill이 반영되지 않은 지각-운동체계에서는 연령이 인간성능 평가에 영향을 미치는 것으로 분석되었다.
- (4) Test Program을 이용한 인간성능은 피실험자들의 개인별 특성을 고려할 때 연령, 평균 수면시간이 영향을 미치는 요인이며 비행경력, 비행시간, 그리고 시력 등은 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

REFERENCES

1. Hare, D. O and Mark Wiggins, 1994, Cognitive failure analysis for aircraft investigation, Ergonomics Vol 37(11), pp.1855-1869
2. 한국항공진흥협회, 1996, 항공과 인적요소, 평진문화사, pp.19-141
3. 萩原·荒木·小西·道盛·小山, 1993, 生体の 活性化度 評価とその 応用, 計測自動制御學會 論文集 Vol 29(12), pp.1403-1412
4. Bailey, R. W, 1989, Human Performance Engineering, Murray Hill Inc, pp.4-20, 187-300
5. 박항배, 1993, 항공생리의 이해, 항공우주의학 제3권, pp.6-17
6. 이석강, 1997, 인체 생리학, 계축문화사, pp.504-510
8. 이말희·박미숙·문정순, 1996, 건강증진 생활양식의 이해정도와 상병상태의 관계 연구, 항공의학 제 43권, pp.46-65
9. 공군 항공의학 적성훈련원, 1993, 항공생리학 교본, pp.235-250