Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 17, No. 3 1998

비행안전 프로그램으로서의 생체 활성도 활용방안 연구

A Study on the Practical Use of Human Alertness for Flight Safety Program

이 달 호* · 최 승 호**

ABSTRACT

Aircraft and the three-dimensional environment in which they operate are not user-friendly for human beings. As a result, maintaining the proficiencies necessary to safely and efficiently fly an airplane are difficult, and costly. The physiological and emotional status of the human element remains crucial in maintaining safe performance by all crew members.

In the study of Hagiwara et al.(1993), they called the physiological and emotional status of the human element into the human alertness or physiological activity and stress, fatigue, circadian rhythm, alcohol, smoking, and self-medication are known the major factors that deteriorate the human alertness.

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.

* 공군사관학교 산업공학과
** 해군 항공대

1. 서 론

미국의 Wright 형제가 1903년 최초의 비행에 성공한 이래 항공기는 급속한 속도로 발전되어 왔다. 더욱이 최근 전자산업 분야의 급속한 발달과 이를 응용한 새로운 기술개발은 항공기를 더욱 복잡한 체계로 만드는 촉매로 작용하고 있다. 이에 따라 최근에 운용되는 각종 항공기는 성능 면에서 현저히 향상되었을 뿐만 아니라 다양한 기능을 발휘하는데 필요한 표시장치와 조종장치가 매우 복잡하게 구성되어 있어 조종사의 업무부하를 가중시키고 있다(이달호, 1992). 이러한 상황으로 인하여 항공기 사고의 대부분이 조종사 과실에 의한 결과로 나타나고 있어 항공기를 운용하는 조직은 조종사의 인적사고 예방을 위한 안전프로그램에 각별한 관심을 기울이고 있는 실정이다(Cohn, 1994 ; Hawkins, 1987).

비행업무는 다른 업무에 비해 환경변화에 따른 영향을 많이 받으며, 기 계획된 임무라 할지라도 비행환경(기상, 항공기 상태, 임무변경)은 조종사가 의도하는 대로 이루어질 수 없기 때문에 임무에 투입된 조종사가 변화하는 환경에 신속하게 적응하고 적절한 조치를 취하기 위해서는 조종사의 신체적 condition을 최상상태로 유지하는 문제가 대단히 중요하다(Krause, 1996). 이러한 점을 감안하여 각 비행부대는 출근하는 조종사로 하여금 자신의 신체적, 정서적 상태를 주어진 양식에 기재하도록 하여 그날의 비행임무 투입을 위한 판단자료로 활용하고 있다.

조종사 360명을 대상으로 하여 비행취소와 비행강행에 대해 조사한 자료에 따르면, 지난 3개월간 신체적인 불편으로 인하여 비행임무를 취소한 비행취소율은 20%인데 반하여 신체적 불편에도 불구하고 비행임무를 수행한 비행강행율은 36%로, 130명이 심신의 불편함에도 불구하고 비행을 강행하였다고 보고되었다(이말희 등, 1996). 이러한 사실은 현재 각 비행부대에서 매일 아침마다 실시하고 있는 조종사의 신체적 condition의 점검방법에 대한 개선점을 시사하는 것으로써, 조종사 개개인의 자의적 판단에 의존하는 현재의 방법을 탈피하고 생체 활성도 측정과 같은 계량적 방법을 도입하여 보다 객관적인 판단을 지원하는 방안이 모색되어야 할 것이다.

따라서 본 연구는 간단한 tracking작업과 reaction작업을 수행할 수 있는 컴퓨터 프로그램을 시험적으로 개발하여 이를 신체적 condition이 최상상태에서의 수행도와 신체적 condition을 저하시키는 중요한 인자로 알려지고 있는 수면부족과 알콜섭취상태에서의 수행도를 비교 분석해 봄으로써 본 연구결과가 비행안전 프로그램으로 활용될 수 있는지 여부를 검증하였다.

2. 생체활성도 저해 요인

생체 활성도는 주어지는 환경자극에 대해 생리적, 심리적으로 적응하거나 활발해지는 정도라고 정의되고 있다. 인간은 일상생활에서 개인의 생활습성 또는 주위환경의 변화에 따라 일시적이고 단기적으로 생체 활성도가 저하될 수 있는데, 이를 저하시키는 요인으로는 인체의 24시간 주기리듬의 변화, 수면부족, 알콜

섭취, 약물복용, 피로, 그리고 스트레스 등이 있다(萩原 등 1993).

萩原 등의 정의에 입각하여 조종사가 비행임무를 수행할 때에 조종사의 생체활성도를 저하시키는 요인들을 정리하면 다음 표 1과 같다.

표 1. 조종사의 생체활성도를 저하시키는 요인

문 헌	생체활성도 저해 요인
항공생리학 교 본	스트레스, 피로, 일일생활 주기, 운동부족, 알콜, 흡연, 영양부족, 약물복용
항공과 인적요소	스트레스, 피로, 알콜, 영양부족, 약물
Pilot Judgemen and Crew Resource Management	스트레스, 피로, 수면부족, 영양부족

표 1에서 보듯이 조종사의 비행임무 수행에 영향을 미치는 생체활성도 저해요인은 스트레스, 피로, 알콜, 수면부족, 흡연, 영양부족, 일일 생활주기, 약물복용 등이다. 그러나 일일 생활주기는 시차증을 유발하는 장거리 비행이나 휴가 등을 통한 불규칙적인 생활리듬으로 인해 발생하기 때문에 우리 나라 군에 근무하고 있는 조종사와는 해당사항이 적다. 또한 영양, 흡연이 생체활성도를 저하시킬 정도로 영향을 주기 위해서는 장기간이나 혹은 과도한 변화가 필요하며 일시적인 식사 걸림이나 소량의 흡연은 인간성능에 크게 영향을 미치지 못한다(萩原 등, 1993 ; 곽인호 등 1995). 따라서 비행임무를 수행할 때 영향을 미치는 생체활성도 저해요인들은 약물복용, 스트레스, 피로, 알콜, 수면으로 요약할 수 있다.

3. 성능평가를 위한 Test Program

성능평가 프로그램은 마이크로소프트사의 Visual Basic 5.0을 이용하여 개발하였으며, 사용환경은 Windows 95 운영체계, 해상도는 800×600 픽셀, 용량은 524KB이다. Test 항목은 Tracking Control Task를 수행하면서 또다른 작업인 Reaction Task를 수행하도록 하는 것으로 이루어져 있다.

3.1 Tracking Control Task

Tracking Control Task는 그림 1과 같이 직선, 원호 그리고 대각선으로 구성된 전체길이 84cm, 폭 9mm의 track을 평균 2.4cm/sec의 일정한 속도로 추적하는 과업이다. 이러한 속도로 움직이면 35초가 소요되는데 일정 율의 속도가 유지되도록 녹음기를 이용하여 5초 간격으로 시간 정보를 제공하였다. Tracking Control Task는 처음에 start button을 누르면 지정된 화면과 track이 나타나고, track의 시작점인 작은 원을 mouse의 왼쪽 button으로 누르면 지름 6mm 크기의 노란 색 표적이 나타난다. 이것을 mouse로 button누름 없이 track을 따라 끝까지 끌고 가다가 마지막 큰 원에서 mouse의 왼쪽 button을 다시 누르면 종료된다. Tracking Control Task에서의 관측값은 그림 2에서와 같이 track의 중심으로부터 벗어난 크기를 누진적으로 측정하고 이 값을 1050개의 구간수로 나눈 평균값이며, 단위는 micron이다.

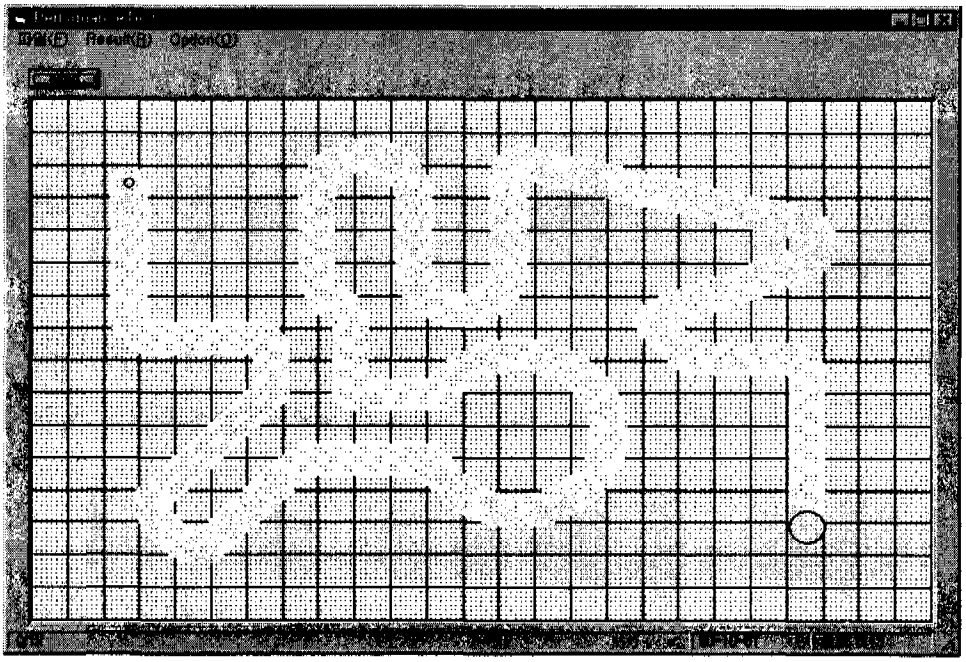

그림 1. Tracking Control Task의 track 구성

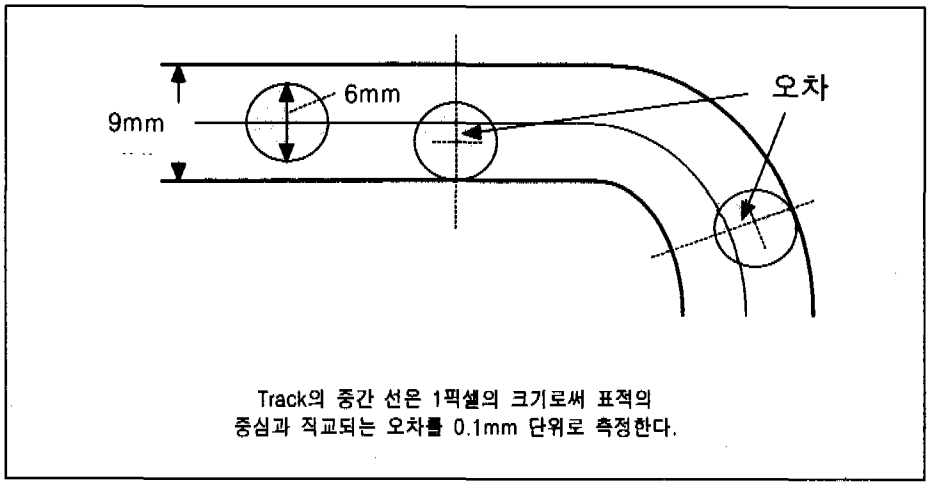

그림 2. Tracking Control Task에서의 관측치 측정방법

3.2 Reaction Task

Reaction Task는 Tracking Control Task를 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 빨간 색으로 바뀌면 keyboard의 "space-bar key"를 왼손의 중지와 약지손가락으로 가장 빠르게 누른다. 피실험자의 반응(space-bar key를 누름)후에는 표적의 색은 다시 노란 색으로 바뀐다. 반응시간에 대한 관측치는 그림 3에서와 같이 5회 반응시간에 대한 평균치이며, 단위는 msec이다.

4. 실험방법

4.1 피실험자

본 연구의 실험에는 해군의 xx비행대대에서 실험 가능한 조종사중 난수표를 이용하여 정조종사(P)와 부조종사(CP) 각각 5명씩을 선정하였다. 피실험자의 연령은 정조종사가 30세~37세, 부조종사는 25세~29세이며 평균 수면시간은 전체적으로 6~7시간, 시력은 1.0 이상이다. 피실험자는 실험기간중 생체 활성도 저해요인에 대한 실험자의 철저한 관리하에서 생활을 하도록 하였으며, 일상적인 비행업무를 수행하는데는 지장이 없도록 하였다.

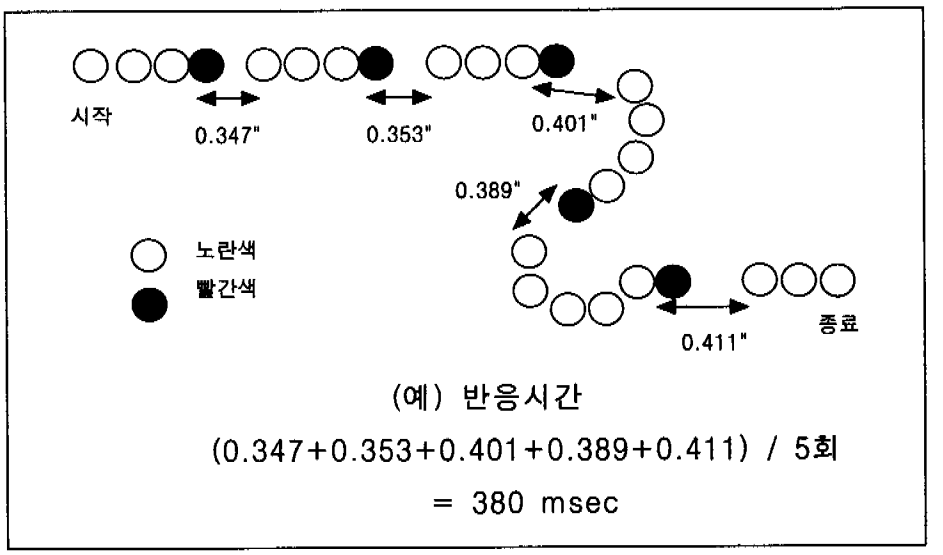

그림 3. Reaction Task에서의 관측치 측정방법

4.2 실험방법

실험에 사용된 기재는 컴퓨터(IBM PC 100MHz), 14"모니터, 마우스, 키보드, 녹음기이다. 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.

인간의 생체활성도를 저하시키는 주요요인은 수면부족, 알콜섭취, 질병 및 약물복용, 피로, 스트레스 등인데 본 실험에서는 항공기 사고원인으로 점유율이 높고, 일상생활에서 가장 변화되기 쉬운 생체 활성도 저해요인으로 상기 5가지 요인 중 수면부족과 알콜섭취만을 통제요인으로 정하였다. 각 통제요인의 수준은 정상상태와 최소한의 변별도를 가질 수 있는 역치(threshold value)를 기준으로 하여 설정하였는데 수면부족은 피실험자의 개인별 평균 수면시간에서 2시간이 부족하도록 하였고 알콜섭취는 0.05~0.06%의 혈중 알콜농도로 정하였다. 이는 이전의 연구를 통하여 확인된 바 있는 인간성능의 저하를 유발하는 수면부족 시간(Hawkins, 1987 ; Nguyen, 1993 ; Reinhart, 1996)과 비행중 인적오류가 발생하는 혈중 알콜농도를 기준으로 한 것이다 (Billings, 1973 ; Reinhart, 1996).

통제요인에 따른 피실험자의 추적오차, 반응시간을 측정하기 위하여 10명의 피실험자를 랜덤하게 3~4명씩 나누어서 3일 동안 각 통제요인별로 1회씩을 수행하도록 하였으며, 이를 하나의 블록으로 하여 표 2에서와 같이 개인별 3회의 반복실험을 하도록 계획하였다.

실험을 하기 전에 실험의 목적과 프로그램 소개, 프로그램 수행방법과 시범을 실시하고 실험전 이틀동안 개인별로 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 앉게 한 후 1명씩 실험을 수행하였다.

본 실험은 피실험자에 대한 관리가 중요하기 때문에 실험기간동안 실험자의 통제하에 주어진 실험순서에 따라 수면과 알콜섭취를 하도록 하였다.

표 2. 난괴법에 의한 실험순서

R1

실험일 / 통제요인	제1일	제2일	제3일
정 상	CP1, CP2, P1, P2	CP3,CP4, CP5	P3,P4,P5
수면부족	P3,P4,P5	CP1,CP2, P1,P2	CP3,CP4, CP5
알콜섭취	CP3,CP4, CP5	P3,P4,P5	CP1,CP2, P1,P2

R2

실험일 / 통제요인	제4일	제5일	제6일
정 상	CP_1, CP_2, P_1, P_2	CP_3, CP_4, CP_5	P_3, P_4, P_5
수면부족	P_3, P_4, P_5	CP_1, CP_2, P_1, P_2	CP_3, CP_4, CP_5
알콜섭취	CP_3, CP_4, CP_5	P_3, P_4, P_5	CP_1, CP_2, P_1, P_2

R3

실험일 / 통제요인	제7일	제8일	제9일
정상	CP_1, CP_2, P_1, P_2	CP_3, CP_4, CP_5	P_3, P_4, P_5
수면부족	P_3, P_4, P_5	CP_1, CP_2, P_1, P_2	CP_3, CP_4, CP_5
알콜섭취	CP_3, CP_4, CP_5	P_3, P_4, P_5	CP_1, CP_2, P_1, P_2

* R1, R2, R3 : 반복횟수
* P1, P2, …, P5 : 정조종사의 일련번호
* CP1, CP2, …, CP5 : 부조종사의 일련번호

5. 결과 및 분석

5.1 실험결과

실험을 통하여 얻은 결과는 표 3과 같고 이를 그림 4와 그림 5로 나타내었다.

표 3. 통제요인 및 Group별 관측치

구 분		추적오차(micron)			반응시간(msec)		
		정상	수면부족	알콜섭취	정상	수면부족	알콜섭취
정조종사그룹	mean	878.1	987.7	1000.4	374.6	419	439
	std dev	24	40.1	45.3	19.4	15.2	12.5
부조종사그룹	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

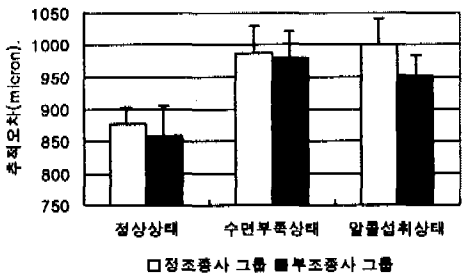

그림 4. Tracking Control Task의 관측치

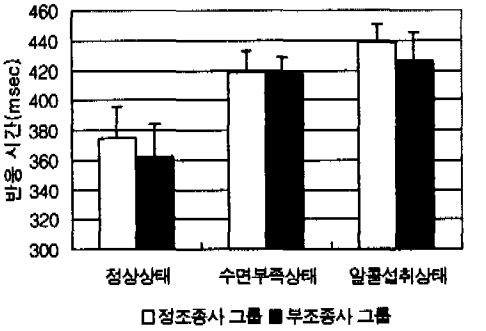

그림 5. Reaction Task의 관측치

실험결과를 통하여 다음과 같은 사실을 확인할 수 있다.

(1) 전체적으로 수면부족, 알콜섭취상태에서의 평균은 정상상태보다 높게 나타나, 생체 활성도 저해요인으로 추정된 수면부족과 알콜섭취가 정상상태와 변별도를 가진다고 볼 수 있다.

(2) 각 통제요인별 추적오차와 반응시간에 대한 평균은 전체적으로 정조종사 그룹이 부조종사 그룹 보다 높게 나타났다. 이는 학습(learning)과 숙련(skill)과정을 거치지 않은 단순한 지각-운동 체계에서는 오히려 연령이 적은 부조종사 그룹의 수행도가 뛰어날 수 있다는 것을 보여준 것으로 해석된다.

5.2 결과의 통계적 분석

본 실험결과에 따른 통계적 분석은 SAS 6.08 통계 프로그램을 이용하여 인간성능의 특성치를 나타내는 종속변수인 추적오차와 반응시간에 대한 분석과 실험변수인 통제요인별, group별, 피실험자 개인별, 그리고 각각의 교호작용에 대하여 인간성능의 차이가 있는지에

대해 다변량 분산분석을 실시하였다.

종속변수별 분산분석은 다음의 표 4, 표 5와 같다. 또한 Wilks' Lambda 값을 표 6에 제시하였다.분산분석 결과를 보면, 추적오차와 반응시간은 유의수준 $\alpha=0.05$에서 상당히 유의한 수준($p<0.001$)으로 나타나 생체활성도를 평가하는 모형(model)에서 중요한 변수로 작용하는 것으로 나타났다. 통제요인별, group 별에서는 유의수준 $\alpha=0.05$에서 유의

표 4. 추적오차에 대한 분산분석 결과

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr >F
Model	17	274922.92	16171.94	9.56	0.0001
Error	72	121737.13	1690.79		
Total	89	396660.05			
통제요인	2	249429.49	124714.74	73.76	0.0001
그 룹	1	14465.34	14465.34	8.56	0.005
피실험자	4	3157.67	789.42	0.47	0.76
통제요인*그룹	2	6630.0	3315.01	1.96	0.15
통제요인*피실험자	8	1240.40	155.05	0.09	0.10

표 5. 반응시간에 대한 분산분석 결과

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr >F
Model	17	73015.79	4295.05	15.60	0.0001
Error	72	19828.67	275.40		
Total	89	92844.46			
통제요인	2	67653.62	33826.81	122.83	0.0001
그 룹	1	1698.68	1698.68	6.17	0.02
피실험자	4	856.29	214.07	0.78	0.54
통제요인*그룹	2	611.49	305.74	1.11	0.34
통제요인*피실험자	8	2195.71	274.46	1.00	0.45

표 6. Wilks' Lambda 값

구 분	Value	F	NumDF	Den DF	Pr >F
통제요인	0.14	58.23	4	142	0.0001
그 룹	0.83	7.27	2	71	0.001
피실험자	0.93	0.61	8	142	0.77
통제요인*그룹	0.92	1.50	4	142	0.21
통제요인*피실험자	0.89	0.52	16	142	0.93

하게 나타났다. 이는 수면부족과 알콜섭취에 의해 생체활성도의 변화를 유발하며, 정조종사와 부조종사간에도 인간성능의 차이가 있다는 것을 의미한다. 그러나 group내의 피실험자별, 통제요인과 group간의 교호작용에 대해서는 유의수준 $\alpha=0.05$에서 유의한 차이를 나타내지 않았다.

5.3 정상상태에서의 신뢰구간

본 연구에서 시험적으로 개발한 test program을 이용하여 조종사의 생체 활성도를 평가한 결과가 정상상태인지를 알기 위해서는 추적오차와 반응시간에 대한 성능치가 정상상태의 신뢰구간내에 들어있는지를 확인하면 된다. 표 4와 표 5에서 보는 바와 같이 관측치가 group별로 유의한 차이를 가지므로 SAS 통계 프로그램의 GLM procedure를 이용하여 정상상태에 대한 group별 개인의 평균을 적용하여 신뢰구간을 구하였다. 신뢰수준 95%를 적용할 때, 개인의 추적오차와 반응시간에 대한 예측값과 잔차를 적용한 정상상태에서의 group별 신뢰구간은 다음의 표 7과 같다.

표 7. 정상상태에서의 Group별 신뢰구간

변수 \ group		P(정조종사)	CP(부조종사)
추적오차	예측값	878 micron	859 micron
	Lower CL	828 〃	809 〃
	Upper CL	928 〃	909 〃
반응시간	예측값	375 msec	363 msec
	Lower CL	351 〃	339 〃
	Upper CL	398 〃	386 〃

6. 결론 및 토의

항공기 사고에서 인적과실을 방지하기 위해서는 안전 프로그램을 이용한 시스템 구축이 이루어져야 하며, 조종사의 임무수행에 영향을 미치는 인적요소에 대한 제반 관리가 필요하다. 특히 일상생활에서 조종사 개인의 생활습성 또는 주위환경의 변화에 의해 나타나는 수면부족, 알콜섭취 등과 같은 생체 활성도 저해요인에 의한 영향은 일시적이고 단기적으로 조종사의 건강에는 큰 영향을 주지 않으나, 주의력이 지속적으로 요구되는 비행임무를 수행할 시에는 비정상상황에 적절히 적응하고 대처하는 능력을 저하시켜 인적과실을 초래할 수 있다.

본 연구는 생체 활성도의 평가에 관한 萩原 등(1993)의 연구를 참고로 하여 비행대대에서 짧은 시간 안에 간편하게 사용할 수 있도록 컴퓨터를 이용한 테스트용 측정기구를 개발하였으며, 수면부족 상태와 알콜섭취상태를 통제요인으로 설정한 후 정조종사와 부조종사를 구분하여 측정기구의 성능평가를 실시하였다.

테스트용 측정기구를 이용한 실험을 통하여 정상상태의 성능치가 수면부족과 알콜섭취상태의 성능치와 충분한 변별도를 가지는 것으로 확인되었다. 이는 본 연구에서 시험적으로 개발한 테스트용 측정기구가 조종사의 생체활성도를 저하시키는데 있어 중요한 요소로 알려진 수면부족 상태 그리고 알콜섭취상태를 판별하는데 있어 유용한 감지 도구로 활용될 수 있음을 말해 준다고 할 수 있다.

이러한 연구결과를 바탕으로 하여, 현재 시행하고 있는 조종사 개개인의 자의적 판단에 의한 일일건강상태 점검형식을 지양하고, 보다

계량적인 방법을 동원하여 객관적인 판단이 이루어질 수 있도록 일선 비행부대에서 실용화한다면 비행안전프로그램으로 크게 기여할 것으로 생각한다.

참 고 문 헌

[1] 공군 항공의학 적성훈련원, 항공생리학 교본, 1993.

[2] 곽인호 · 서일 · 조승연 · 이용호, "공중 근무자의 흡연과 10년간 혈청지질 수준과의 관계", 항공 우주의학 제5권, 97-116, 1995.

[3] 이달호, "조종사 선발용 검사기구의 개발에 관한 연구", 박사학위논문, 서울대학교, 1992.

[4] 이말희 · 박미숙 · 문정순, "건강증진 생활양식의 이해정도와 상병상태의 관계 연구", 항공의학 제43권, 46-65, 1996.

[5] 한국항공진흥협회, 항공과 인적요소, 1996.

[6] 萩原 · 荒木 · 小西 · 道盛 · 小山, "生体の 活性度 評価とその 応用", 計測自動制御學會 論文集 29(12), 1403-1412, 1993.

[7] Billings, C. E., "Effects of Ethyl Alcohol on Pilot Performance", Aerospace Medicine 44, 95-96, 1973.

[8] Cohn, R. L., They Called It Pilot Error, McGraw-Hill : New York, 1994.

[9] Hawkins, F. H., Human Factors in Flight, Ashgate : Vermont, 1987.

[10] Jensen, R. S., Pilot Judgement and Crew Resource Management, Ashgate : Vermont, 1995.

[11] Krause, S. S., Aircraft Safety, McGraw-Hill : New York, 1996.

[12] Nguyen, G. D., "Age, Circadian Rhythms and Sleep Loss in Flight Crews", Aviation Space & Enviromental Medicine Vol. 64, 189-194, 1993.

[13] Reinhart, R. O., Basic Flight Physiology, McGraw-Hill:New York, 1996.