

피로누적에 따른 최적 비행시간 산출에 관한 연구

(A Study on the Optimal Flight Time According to the Amount of Fatigue)

이 승 훈*, 윤 봉 수**

Abstract

Since the aircraft has a property of moving in the three-dimensional space, it may cause personally and financially critical damage in the case of an accident. Among the causes of aircraft accident, human factor has occupied about 70% of all accidents. Specially, fatigue among human's problems has been studied earlier than any other factor. Fatigue has been the cause of 75% of accidents that are related to human factor. So many studies have been conducted. But the direction of these studies mainly attach importance to the sleep loss and circadian rhythm.

Limitation for flight time of ICAO is 8 hours per day, and civil airlines in domestic line also adopt the limitation. But this rule is not based on human's performance but compromise between labor and management.

The long-haul flight brings about a mental block to pilot. This mental block decreases performance of pilot and loses a lot of important information. So this may cause many accidents. This paper is to offer optimal flight time according to the amount of fatigue due to increasing flight time. The optimal flight time is searched through the field experiment. The experiment has adopted two methods. One is to examine pilot's objective fatigue accumulation rate through the critical fusion frequency, and another is to investigate pilot's subjective fatigue feeling through the fatigue subjective symptoms investigation table.

* 군사과학대학원 항공우주공학과 석사과정

** 공군사관학교 산업공학과 부교수

1. 서 론

항공기는 3차원 공간이라는 특수성으로 인해 사고발생 시 엄청난 결과를 초래한다. 이는 귀중한 인명뿐 아니라 막대한 재산상의 손해를 가져오게 되며 군에 있어서 사기 저하에 큰 영향을 끼친다. 이러한 사고 발생 원인 중 인적 요소는 매우 큰 비중을 차지하고 있다. 1957년부터 1993년까지 발생한 민간항공의 중사고 건수는 총 194건으로, 이 중 조종사 실수는 113건으로 약 60%를 차지하며[12], 공군에 있어서도 과거 10년간 발생한 중사고는 33건으로 인적 요인으로 인한 사고는 25건, 약 75%였다[2]. 이에 따라 항공기를 조종하는 인간에 대한 문제가 끊임없이 제기되고 있으며, 수많은 연구가 행해지고 있다[15,16,17,18,19].

특히, 피로에 대한 문제는 다른 어떤 요인보다 일찍 연구가 시작되었다. 미국 항공 우주국(NASA:National Aeronautics and Space Administrations)의 항공안전 보고서에 의하면, 보고된 전체 사고의 21%가 피로와 관련되어 발생했으며, 미국 운송 안전 기구(NTSB:National Transportation Safety Board)에서는 “항공기 수송사고에서 피로, 수면 부족, 생체(circadian) 요인의 심각한 증가”에서 많은 수송사고가 검토되었고[17], 장거리비행에서 발생한 사고의 75%가 피로와 관련되었다고 보고되었다[16]. 물론 이것은 보고된 사고만을 다룬 것이며, 미보고된 사고와 사고가 발생할 뻔한 사건을 감안한다면, 피로와 관련된 요인은 훨씬 증가할 것이다. 공군에서도 현재까지 발생한 사고 중 피로가 직접적인 원인이 된 것은 모두 8건이었다[2]. 이렇듯

피로는 비행 사고에서 큰 비중을 차지하고 있지만, 연구 방향은 주로 수면부족이 일으키는 현상과 생체의 주기(Circadian rhythm)에 치중되었다.

인간은 어떠한 작업을 하고 나면 작업후에는 피로를 느끼게 된다. 일반적으로 산업 사회에서 노동시간은 8시간으로 규정되어 있으며, 이런 규정은 운항승무원에게도 동일하게 적용되고 있다. 국제 민간 항공 기구(ICAO : International Civil Aviation Organization)의 일일 비행시간 한계는 8시간이며, 국내 민간 항공사에서도 이 규정을 적용하고 있다[4]. 하지만, 이러한 규정은 인간의 신체적, 정신적, 신경적인 현상에 기초를 둔 것이 아니며, 단지 노사의 합의에 따라 결정된 것이다. 또한, 이런 규정을 군용 항공기 승무원에 적용하는 것은 많은 문제점을 안고 있다. 일정한 계기비행만을 하는 민간 항공기에 비해 군용 항공기는 임무의 특성상 잦은 이착륙과 전술비행을 주로 하고 있다. NASA의 비행 중 작업 부하의 근원으로 인한 조종사의 실수에 대한 연구에서, 작업부하가 증가할수록 스트레스가 증가하며 조종사의 능력은 현저히 떨어진다는 결과가 나왔으며[22], Alan의 비행 중 및 시뮬레이션의 작업부하 변동에서, 조종사의 작업부하는 이륙과 착륙, 특히 착륙단계에서 가장 크다고 보고하였다[13]. 그러므로, 군용 항공기는 민간 항공기에 비해 더 많은 작업부하를 받는다고 할 수 있으며, 군용 항공기에 대한 ICAO의 일일 비행시간의 적용은 하향 조정되어야 한다.

NASA의 연구에 의하면, 수면부족으로 인한 피로는 비행 중에 몇 초 내지 몇 분의 졸음을

초래하며, 그 단계에서 조종사는 외부 환경으로부터 떨어져 외부의 정보에 무반응하게 되어 중요한 정보를 상실할 수 있으며, 실험 결과 인간의 능력, 경계심과 주의 집중력, 일에 대한 기분의 구성요소를 감소시킨다. 특히, 성능 감소는 피로의 직접적인 결과이며 사고 또는 재난을 발생시키는 중대한 요인이 될 수 있다[15].

이렇듯 비행에 있어서 피로는 중차대한 현상이 아닐 수 없으며, NASA를 중심으로 계속적인 연구가 진행되고 있다. 하지만, 이런 연구는 본질적으로 피로의 발생현상과 시뮬레이션에서의 비행 중 졸음의 발생 시기, 장거리 비행에서 Circadian rhythm의 변화가 인체에 주는 영향에 대한 것이 대부분이며, 비행시간과 피로에 대한 연구는 미흡하며, 국내에서도 이런 실정은 마찬가지다. 이는 앞서도 언급했듯이 비행시간은 조종사의 효율에서 항공사의 이익과 직관되며 현재까지 발생한 사고 원인 중 비행시간과다가 직접적인 원인으로 밝혀진 것이 없기 때문이다[23]. 그렇지만, 지속적인 경계와 주의 집중을 요하는 업무에서 과도한 시간은 이런 업무의 능력을 감소시켜 사고를 유발할 수 있다.

따라서 본 연구는 비행시간과 피로와의 관계를 파악하여 적절한 비행시간을 산출하는 것이다.

2. 조종업무에서 인간의 자극 반응과 피로의 관계

2.1 인간의 자극-반응 체계

인간의 행동과정은 외부환경으로부터의 생리,

심리적 자극을 받아 인체의 심리과정을 거쳐 행동으로 표출되는데, 이러한 과정을 S → O → R(Stimulus→Organism→Response)로 나타낸다.

이러한 과정의 단계를 보면, 조종사는 항공기 운항 중 시각과 청각 및 촉각 등 인체 감각기를 이용, 주변 환경으로부터 각종 정보를 수집하고, 지각과정에서 수집한 정보의 형체와 규모 및 물체의 본질을 파악하며, 자신의 행동목적과 관련 있는 정보를 선택하게 된다. 인지과정에서는 선택된 정보가 “현재의 상황 또는 자신의 행동목적과 관련성이 있는가?”를 규정하고, 판단과정에서는 해당 정보의 시비, 혹은 그 이용방법 등을 결정하며, 의사결정과정에서는 정보를 이용하는데 필요한 구체적인 행동방법과 방향을 결정하고, 그 결정에 따라 손, 발 등의 인체의 운동기를 이용, 행동반응으로 이어져 기기조작 행동으로 표출된다. 또한, 기기조작 행동과정에서도 수집된 정보가 부정확하거나 행동반응이 적합한 것인가를 다시 확인하기 위해 해당 정보에 대한 지각과 인지과정을 반복하면서 기기조작 행동으로 옮겨진다[20]. 이와 같은 인체기능상 일련의 정보처리 과정의 반응소요 시간과 필요한 거리는, 조종사가 물체를 처음으로 감지해서 피하는 데 소요되는 시간이 5.84초이며, 고정된 물체를 피하는 데 필요한 거리는 속도 400kts에서 약 6000ft정도 된다[14].

2.2 비행시간증가가 조종사의 정보처리 과정에 미치는 영향

모든 업무는 정신적, 육체적 활동을 수반하므로 인체의 피로가 뒤따르며, 특히 항공기 조종 업무는 환경적 차이가 나는 공중의 제한된 공간

에서 장시간 반복동작을 계속적으로 하면서 많은 주의를 기울이는 작업이기 때문에 피로가 쉽게 가중된다. 즉, 각종 계기를 계속 모니터하여 판독하고, 필요시 신속하고 정확한 기기조작을 해야 한다. 그러므로 이러한 작업의 장시간 반복은 정신적 피로를 누적시키며 협소한 공간에서의 소음과 진동, 산소부압 등은 육체적 피로를 쉽게 느끼게 한다. 장시간의 비행으로 인한 피로는 감각기관의 기능을 저하시켜 행동에 필요한 정보를 제대로 입수(자극)할 수 없게 하고, 이어서 지각기능을 감퇴, 둔화시켜 인지부족과 판단착오를 유발, 조종사들의 조종행동 오류 또는 과실을 발생시키는 등 인체 정보처리 과정에 이상을 초래한다.

조종사는 시각, 청각 및 촉각 등의 감각기관을 통해서 외부환경에 대한 각종 정보를 수집하며, 감각기관에 투시된 정보는 신경계통을 통해 중추신경에 전달되고, 지각, 인지된 정보는 다른 기억된 정보와 종합되어 중추신경 내에서 판단과 행동결정 과정을 거쳐 운동기관으로 전달되는데, 항공기 조종 중에는 이러한 과정이 지체되거나 중단없이 계속적으로 진행됨으로 감각기의 정보수집 기능은 항공기 조종행동을 위한 첫 과정으로서 이후에 발생하는 과정과 행동에 중대한 영향을 미친다. 따라서 항공기 조종사의 감각기능의 저하는 정보수집능력에 영향을 미치고 이는 곧 조종사의 기기조작 행동오류 유발원인으로 작용할 수 있다. 수집된 정보의 80% 이상은 시각을 통해 획득되며, 정보수집시간도 시각은 0.15-0.20초로 청각의 0.12-0.16, 촉각의 0.11보다 길다. 따라서 조종사에게 있어 눈은 제일 중요한 부분이며, 눈의 피로는 정보수집능력

과 직관된다. 이러한 눈의 역할은 크게 시력과 시야, 주시의 세 부분으로 나눌 수 있다. 시력은 정지된 상태에서 고정된 시표를 시간이 충분한 상태에서 측정하는 정지시력을 말한다. 하지만, 항공기 조종에 있어서 자신이 이동하면서 정지 혹은 이동된 물체를 보고 짧은 시간에 그 정보를 정확히 수집해야 하는데, 시력은 속도에 의해 급격히 감소하며 피로는 동일한 속도에서 시력을 저하시킨다. 시야는 전방을 주시한 상태에서 좌우 외계에 대한 가시범위를 말하는데, 중심시와 주변시로 구분된다. 주변시는 물체의 움직임에 민감하여 조종사가 중심시를 계기판에 두더라도 주변시를 통해 다른 움직임을 감지할 수 있는 습성을 가지고 있는데, 중심시가 양호하더라도 주변시가 나쁘면, 정보입수 기능이 크게 저하되고 외부 물체에 대한 상호거리가 잘 파악되지 않아 시각기능을 저하시킨다. 여기서 피로는 주로 주변시의 기능을 저하시켜 한곳에 시선이 고정되게 한다. 주시는 정신의 내부활동을 외부의 대상 물체에 집중시키는 정신적 시각기능으로서 시중추신경 이외에 대뇌활동과도 관련되어 있다[1]. NASA의 연구에 따르면, 피로는 조종사에게 정신적 공백을 초래하는데, 이런 정신적 공백은 일종의 주시기능의 저하에 따른 결과이다. 이 결과, 조종사는 정보를 잘못 인지하거나 오판하기 쉽고, 의사결정, 정보를 처리하여 행동하기까지의 반응시간이 지연되며, 기억과 정신운동의 조화능력을 저하시킨다[15]. 또한, 장시간의 비행은 반복적인 동작을 계속함으로써 대상 물체에 대한 주시가 태만해지고 경형적, 반사적 행동으로 무확인 동작이 이루어지기 쉬우며, 주의분배의 소홀로 안전에 영향을 줄

수 있는 장애요소를 놓치지 쉽다.

2.3 피로도 측정을 위한 방법 및 적용

작업부하(workload)는 피로와 직관되며, 따라서 피로도를 측정하는 방법으로 작업부하 분석 방법이 사용되고 있다. Rorter는 이를 크게 피실험자의 주관적인 느낌을 조사하는 주관적 견해(subject opinion)과 객관적인 실험을 통해 피실험자의 피로도를 측정하는 객관적인 실험(primary task)로 분류하였다[21].

2.3.1 주관적인 견해(subject opinion)

Rating scale은 일반적으로 10 개의 동등한 범주를 가지고 있으며 피실험자가 작업후에 그 정도를 표기한다. 가장 대표적인 것은 Cooper & Harper scale이며 시험비행조종사에 주로 사용되었다. 설문지/인터뷰 방법은 Rating scale을 발전시킨 것으로 피로자각증상 조사표, 운동자각도, 포인트 테스트법등이 있다. 최근에는 거의 이 방법이 사용되고 있는데, 다양한 생리적 측정방법과 병용되어 상관관계를 분석하는데 사용된다. 따라서, 본 연구에서도 피로자각증상 조사표를 사용한다.

2.3.2 객관적인 실험(primary task)

객관적인 실험방법에는 지각감각능력을 측정하는 CFF(Critical Fusion Frequency), 피부의 저항을 측정하는 skin impedance, 심장의 전기적 전위를 측정하 EKG(Electrokardiogram), 근육의 긴장을 측정하는 EMG(Electromyogram), 뇌파를 측정하는 EEG(Electroencephalogram) 등[24]의 13가지 방법이 주로 사용되고 있는데

본 실험에서는 CFF방법을 사용한다. 이 방법은 깜박이는(on-off) 주기적인 광원을 피실험자에 의해 일정하게 인지되는 가장 낮은 빈도수를 결정하는 정신물리학적 실험이며, 피실험자의 작업전, 후 또는 작업과 동시에 실시한다. CFF는 인간의 피로, 신진대사율 같은 변수에 지배를 받으며, 어떤 종류의 작업성능점수의 변화를 측정하는데 사용되고 있다. CFF방법의 원리는 인간의 지각감각능력을 검사하는 것으로, 인간이 피로를 느끼기 시작할 때, 제일 먼저 눈에 의해 나타나므로 눈의 기능저하를 측정하여 인간이 수행한 작업이 인간의 피로에 어떻게 작용했는가를 측정하는 것이다. Flicker value란 광을 단속시켜 그것이 연속광으로 보이는지 단절광으로 보이는지의 경계역치를 그때의 단속횟수로 나타내며, 그 값이 높을수록 식별을 잘 하고 있음을 의미한다. 이런 단속광에 대한 반응은 망막으로부터 시신경을 통해 대뇌피질의 시각중추로 전달된다. 또한, CFF는 시간에 따라 작업이 조종사에게 어느 정도의 피로를 가중시켰는지를 명확하게 판정할 수가 있다. Flicker value의 변동은 육체작업과 정신작업에 있어서 기본적으로 완전히 동일한 법칙성을 따르는 것으로 인정된다. 비행에 있어 조종사는 정보의 80% 이상을 시각을 통해 획득하므로 눈의 피로는 정보의 획득을 저하시키며, 잘못된 정보를 획득할 수도 있다. 그러므로 조종사의 눈의 피로측정은 조종사의 피로도를 측정할 수 있는 매우 의미있는 실험이며, CFF방법을 이용한 실험은 시간에 따른 피로누적의 관계를 명확히 파악할 수 있다. Jenney의 2 명은 공중 교통관제(air-traffic) 모의 실험에서 작업자가 작업전후에 CFF값에

있어 유의한 차이가 있음을 발견하였다.

3. 연구 방법

3.1 실험 설계

3.1.1 요인 배치법(Factorial Design)

피로의 누적을 측정하기 위한 요인 배치법으로 반복이 있는 이원배치법을 사용한다[5]. 본 실험은 2 인자가 모두 모수인 모수모형으로 계획한다. 임무에 따라 비전술비행임무에서 7 단계, 전술비행임무에서는 4 단계의 비행시간과 2 단계로 나누어진 비행등급(Pilot, Copilot)을 조합하여 비전술비행임무에서는 14 개, 전술비행임무에서는 8 개의 실험 수준을 구성한다. 실험에서 비행등급을 구분한 것은 수송기는 정조종사와 부조종사의 한 편조가 임무를 수행하며 위치에 따라 역할과 책임이 다르기 때문이다. 요인 배치법의 선택은 각 임무에서 비행시간과 비행등급의 변화에 따른 가설의 검증과 피로의 변화양상을 보려는 것이다.

3.1.2 실험 변수

실험 변수에서 작업변수는 비행임무와 비행등급을 선정하였고, 작업변수에 의해 주어지는 종속변수인 비행시간에서 피로를 측정하기 위해 CFF값과 주관적 피로자각 증상값을 사용한다. 작업변수로 주어진 비행등급은 작업내용에 대해 정조종사(Pilot)와 부조종사(Copilot)로 구분하였고 임무구분은 아래와 같다.

가. 전술비행임무

(1) 임무비행 : 저고도 화물투하, 공정투하

(2) 훈련비행 : 공중조작

나. 비전술비행임무

● 임무비행 : 정기공수

종속변수인 비행시간은 전술비행임무인 경우 1-4 시간을, 비전술비행임무인 경우에는 1-7 시간으로 구분한다. 비행시간의 계산은 조종사가 항공기의 엔진을 시동하는 시간부터 엔진을 정지하는 시간으로 잡았다.

3.2 실험 방법

3.2.1 피실험자

본 실험에서는 모집단을 공군에서 운영하는 수송기 조종사 중 일선 비행대대에서 비행을 하고 있는 조종사 가운데 작업내용이 경험에서 오는 영향을 최소화 하기 위해 고속련자와 저속련자를 제외한, 경험이 비슷한 중간계층의 조종사를 선정하였으며, 이를 다시 두 개의 등급인 정조종사와 부조종사로 나누어 10 명을 실험한다. 피실험자에 있어 또한, 수면과 음주, 약물복용이 CFF값과 주관적 피로자각 증상치에 영향을 주므로[7], 실험에 앞서 전날의 피로가 실험에 영향을 주는 것을 피하기 위해 8 시간 이상의 수면을 취하도록 통제하며, 음주 및 약물 복용을 금지시킨다. 또한, 실험을 위해 비행중에 비행업무이외의 작업은 하지 않도록 한다. 실험은 현재 공군에서 정기공수임무와 전술임무를 가장 많이 수행하고 있는 모비행단의 00비행대대로 선정한다.

나. 피실험자의 특성 및 조건

피실험자의 특성은 <표 3-1>과 같다. 나이가 피로에 영향을 줄 수 있으므로, 그 차이가 없도록 하며, 신체적인 특징도 기록한다. 비행시간과 40 세 이전의 나이는 피로의 누적에 영향이 없는 것으로 나타났지만[7], 시력은 CFF 값의 변화에 영향을 줄 수 있다고 생각된다.

<표 3-1> 피실험자의 특성

A. 정조종사

피실험자	나이	비행 시간	키	몸무게	시력
A	32	2500	170	59	정상
B	32	2200	169	58	정상
C	31	2100	175	64	정상
D	31	1800	172	58	정상
E	31	1600	174	62	정상

B. 부조종사

피실험자	나이	비행 시간	키	몸무게	시력
A	30	1400	172	64	정상
B	30	1400	173	67	정상
C	29	1300	173	65	정상
D	28	1100	174	68	정상
E	28	1100	178	67	정상

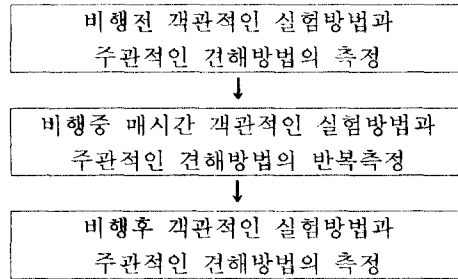
피실험자의 선정조건은 다음과 같다.

- (1) 해당 비행대에서 정상적으로 비행임무를 수행하는 자.
- (2) 정기 신체검사에서 합격한 자.
- (3) 평소 다음과 같은 증세가 없는 자.
 - (가) 감기를 비롯한 호흡기 계통의 질환
 - (나) 소화기 계통의 질환 및 빈혈
 - (다) 신장 질환 및 관절 계통의 이상(디스크, 관절염)

- (4) 정서적으로 안정된 자.
- (5) 시력이 나안 1.0 이상인 자.

3.2.2 실험 절차

본 실험은 조종사의 등급에 따라, 비행임무에 대해 비행시간이 증가함에 따라 피로의 증가가 어떻게 누적되는가를 알아보는 실험으로 객관적인 실험방법과 주관적인 견해를 이용하여 측정하고자 한다. 실험의 절차는 <그림 3-1>과 같다.



<그림 3-1> 실험의 절차

비행전 바로 피로자각 증상 조사표를 작성한 후 CFF를 측정한다. 이후 조종사와 동승해서 매 비행 1시간마다 동일한 실험을 하였으며 비행을 종료하자마자 다시 두 가지 측정을 실시한다.

3.2.3 실험내용의 사전교육

실험에 앞서 정확한 측정자료를 얻기 위해 피실험 조종사를 대상으로 실험의 목적과 방법, 기기의 사용에 대해 충분히 인지시켰으며, 본 실험전에 예비실험을 통해 충분히 익숙하도록 하였다.

3.3 실험장치

3.3.1 Subject opinion

가. 방법

피로자각증상 조사표는 일본의 산업위생성의 산업 피로연구회가 처음으로 고안하여 현재는 가장 많이 쓰이고 있으며, 이를 기초로 해서 포인트 테스트법 등이 개발되었다. 공군에서 실시한 관제사 및 정비특기의 분야별 피로분석에서 이 방법을 사용하였다[7,8,9,11]. 피로자각증상 조사표는 신체적, 정신적, 신경감각적 증상을 조사하여 각 항목에 대한 호소율과 연령에 따른 피로감지수뿐 아니라 수량을 근거로 피로를 판정한다.

나. 측정의 판정

피로자각증상 조사표는 작업의 전과 후의 일정한 시간에 조사하여 <표 3-2>와 같은 방법으로 판정한다. 이 판정은 초기에는 단순히 호소율과 피로감 지수만을 구했는데, 여기서는 피로자각증상 조사표를 변형한 포인트 테스트법의 판정을 응용하여 이용한다[3].

<표 3-2> 피로자각증상 조사표의 판정

호소한 증상의 개수	판정
5 개 이하	아무런 문제가 없다.
5 개 이상 10 개 미만	하루쯤 쉬어야 한다.
10 개 이상	의사의 진단이 필요하다.

3.3.2 객관적인 실험방법

가. 측정방법

Flicker value의 측정은 상향법과 하향법의 두 가지가 있다. 상향법은 크게 단속된 광원이 점차 깜박이는 횟수를 증가시켜 실험대상이 깜박임이 없다고 여기는 순간의 계기값을 읽는 것이며, 하향법은 그 반대가 된다. 본 실험에서는 하향법을 사용하였다. 이렇게 측정한 Flicker value의 고저는 개인차가 있으므로 문제가 되지 않으며 개인의 Flicker value가 어떤 기준시점의 측정값에 대하여 어느 정도 변동하는가를 분석하는 것이 대상이다. 측정방법은 먼저 Flicker Fusion Tester를 책상에 고정시킨 후 피실험자는 앉은 자세에서 눈을 Eyehole에 대고 시작 스위치를 누른다. 피실험자는 깜박임의 상태를 관찰하여 깜박임이 나타나는 순간에 정지 스위치를 누른다.

나. 피로의 판정

Flicker value를 가지고 피로를 판정하는 방법은 아래의 방법을 이용하여 저하율을 구한다.

$$\text{저하율} = \frac{\text{작업 후의 값} - \text{작업 전의 값}}{\text{작업 전의 값}} \times 100$$

이렇게 해서 구해진 Flicker value의 변동률의 판정은 <표 3-3>과 같은 기준값에 의해 판정한다[10].

<표 3-3> Flicker value의 변동률판정

노동의 종류	일간 변동률	
	바람직한 한계	가능한 한계
육체 노동	- 10 %	- 20 %
중간 노동	- 7 %	- 13 %
정신 노동	- 5 %	- 10 %

<표 3-3>에서 바람직한 한계는 인간이 업무를 수행할 때, 업무상 실수를 범하지 않고 신체에 무리를 주지 않는 범위로, 가능한 한계는 해당 업무를 수행할 수는 있지만, 업무 수행에서 실수를 범할 수도 있으며 인간이 업무를 수행할 수 있는 신체적인 한계를 나타낸다. 항공기 조종업무는 다른 업무와는 달리 조종사의 사소한 실수가 경우에 따라 치명적인 결과를 초래할 수 있으며, 본 실험에서는 항공기의 안전을 위한 시간산출이 목표이므로 바람직한 한계를 적용한다. 또한, 항공기 조종업무의 대부분이 고도의 경계력과 주의집중을 요하는 업무이므로 정신노동에 해당된다고 생각됨으로 이에 대한 변동률을 적용한다.

4. 실험 결과 및 분석

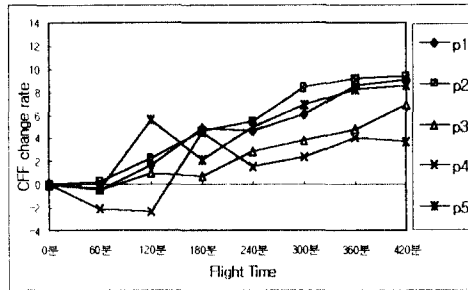
본 장에서는 비전술비행임무와 전술비행임무로 나누어 실험계획에서 선정된 객관적인 실험방법과 주관적인 견해방법으로 수행한 실험결과를 그림을 이용하여 시간의 흐름에 따른 변화율을 제시하고 통계적인 방법을 이용하여 실험결과를 분석한다. 분석은 컴퓨터 프로그램인 SAS(Statistical Analysis System)을 사용하며, 분산분석(ANOVA : Analysis of Variance)를 통해 각 요인의 유의성을 검토하고 상관관계 분석으로 객관적인 실험방법과 주관적인 견해와의 관계를 조사한다. 또한, 회귀분석(regression analysis)을 통해 피로의 누적에 따른 적절한 비행시간을 산출한다.

4.1 비전술비행임무

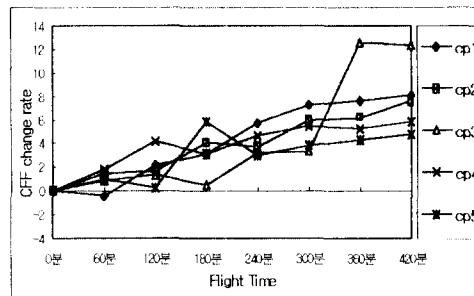
4.1.1 자료의 분포

가. 객관적인 실험

객관적인 실험방법으로 선정된 CFF값의 분포는 <그림 4-1>과 <그림 4-2>와 같다.



<그림 4-1> 비전술비행임무에서 정조종사의 CFF값의 변화



<그림 4-2> 비전술비행임무에서 부조종사의 CFF값의 변화

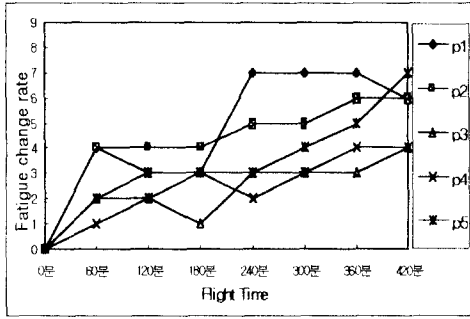
나. 주관적인 견해

주관적인 견해방법으로 선정된 피로자각증상의 변화는 <그림 4-3>과 <그림 4-4>와 같다.

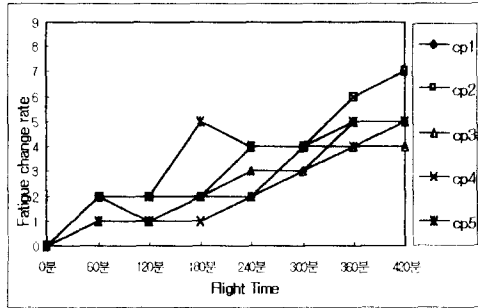
4.2.2 자료의 분석

가. 분산분석

SAS를 통한 정조종사와 부조종사의 분산분석을 요약한 것은 <표 4-1>과 같다.



<그림 4-3> 비전술비행임무에서 정조종사의 피로자각증상의 변화



<그림 4-4> 비전술비행임무에서 부조종사의 피로자각증상의 변화

<표 4-1>에서 교호작용을 포함한 이원 분산 분석 모형이 자료에 적합한가를 나타내는 유의 확률값 p-value는 두 종류 모두 값이 0.0001이므로 유의수준 0.05에서 극히 적합하다고 할 수 있다. 각 모수에 대한 주효과와 교호효과에 대한 유의성 검정은, Group은 p-value가 CFF의 변화에서는 0.512이므로 정조종사와 부조종사간에는 비행시간에 따른 피로의 누적에 차이가 없지만, 피로자각증상의 변화에서는 0.0003이므로 극히 유의한 차이가 존재하고 있다.

<표 4-2>는 피로자각증상의 분산분석의 단순통계값을 나타낸다. 이 표에서 시간에 대한 피로자각증상의 평균값은 정조종사가 부조종사

<표 4-1> 비전술비행임무에서 측정자료의 분산분석

종류	Source	DF	SS	MS	F	p-value
CFF의 변화	Model	24	686.06	28.59	9.69	0.0001
	Group	1	1.29	1.29	0.44	0.512
	Time	7	596	85.14	28.85	0.0001
	Group*Time	7	5.33	0.76	0.26	0.9674
피로자각증상의 변화	Model	24	276.4	11.52	22.39	0.0001
	Group	1	7.8125	7.8125	15.19	0.0003
	Time	7	208.99	29.86	58.05	0.0001
	Group*Time	7	4.2875	0.6125	1.19	0.3233

보다 크지만, 표준편차도 크다는 것을 알 수 있다.

이는 조종업무에서 항공기의 안전과 전반적인 업무책임, 이륙과 착륙을 포함한 대부분의 조작을 정조종사가 수행함으로써 장시간의 비행에서는 정조종사가 부조종사보다 심리적, 정신적 부담이 크다는 것을 보여준다. 또한, 표준편차가 큰 것은 정조종사가 받는 작업부하는 편성된 부조종사의 skill과 관련되며, 노련한 부조종사일수록 정조종사의 작업부하를 감소시켜 준다. Time은 값이 둘 다 0.0001이므로 극히 유의

<표 4-2> 비전술비행임무의 피로자각증상 변화의 단순통계값

Group	P		CP	
	Mean	SD	Mean	SD
60	2.6	1.3416	1.6	0.5477
120	2.8	0.8337	1.4	0.5477
180	2.8	1.0954	2.4	1.5166
240	4.0	2.0	3.0	1.0
300	4.4	1.6733	3.6	0.5477
360	5.0	1.5811	4.8	0.8367
420	5.4	1.3146	5.2	1.0954

하며 비행시간에 따라 CFF값과 피로자각증상의 값이 증가한다고 할 수 있다. Group과 시간간의 교호효과는 각각 0.9674과 0.3233이므로 교호작용을 하지 않는다.

나. 상관관계

CFF값의 변화와 피로자각증상의 변화는 <표 4-3>에서 보는 바와 같이 서로 상관관계가 성립함을 알 수 있다. 이것은 CFF값이 증가하면, 피로자각증상의 값도 증가한다는 것을 나타내며, 주관적으로 느끼는 피로감과 객관적으로 보이는 피로증세는 서로 관계가 있음을 의미한다.

<표 4-3> 비전술비행임무에서 측정종류값간의 상관관계

Pearson Correlation Coefficients / Prob > R under H ₀ : R _h =0/N=80	
	피로자각증상의 변화
CFF값의 변화	0.74045
	0.00010

다. 회귀분석

비행시간 증가에 따른 피로의 누적을 알아보기 위해 단순선형회귀분석을 실시한다. 분산분석결과 정조종사와 부조종사의 피로자각증상의

<표 4-4> 비전술비행임무의 선형회귀분석

측정종류	p-value	Variable	Parameter Estimate	Standard Error	Prob> T
CFF 변화	0.0001	Intercept	-0.475917	0.373864	0.2068
		Time	0.019698	0.001489	0.0001
피로자각증상의 변화(P)	0.0001	Intercept	1.050000	0.393776	0.0112
		Time	0.011071	0.001569	0.0001
피로자각증상의 변화(CP)	0.0001	Intercept	0.266667	0.24683	0.2868
		Time	0.011825	0.00098	0.0001

변화가 다르므로 각각 회귀분석을 실시한다. 분석결과는 <표 4-4>과 같다.

위의 <표 4-4>에서 두 가지 측정종류의 회귀모형에 대한 유의확률인 p-value가 모두 0.0001이므로 비행시간이 증가함에 따라 피로도도 증가한다는 것을 알 수 있으며 회귀선 적합이 아주 잘 들어맞고 있음을 나타낸다. 따라서 회귀식은 다음과 같다.

$$CFF의\ 변화 = -0.475917 + 0.019698 * Time$$

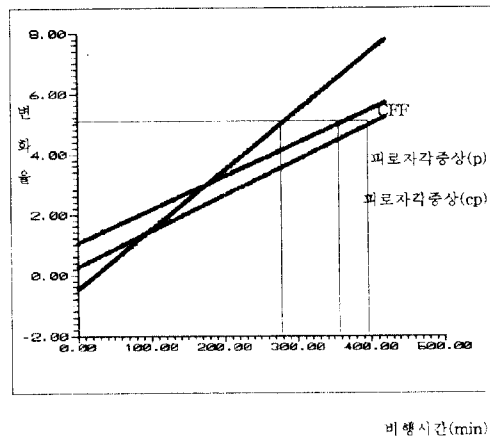
$$피로자각증상의\ 변화(P) =$$

$$1.050000 + 0.011071 * Time$$

$$피로자각증상의\ 변화(CP) =$$

$$0.266667 + 0.011825 * Time$$

주어진 회귀식을 FORTRAN을 이용하여 시간 0에서 420분까지 회귀하여 GRAPHER를 이용하여 그린 모형은 <그림 4-5>와 같다. 이 그림에서 CFF와 피로자각증상 변화에 대한 판정을 이용하면, CFF방법(<5%>에서는 대략 280



<그림 4-5> 비전술비행임무의 비행시간에 따른 변화율의 적합된 회귀선

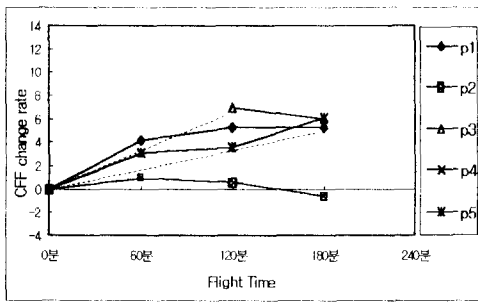
분, 피로자각증상에서는 정조종사가 대략 360분, 부조종사가 대략 400분이 바람직한 한계(<5)로 산출된다.

4.2 전술비행임무

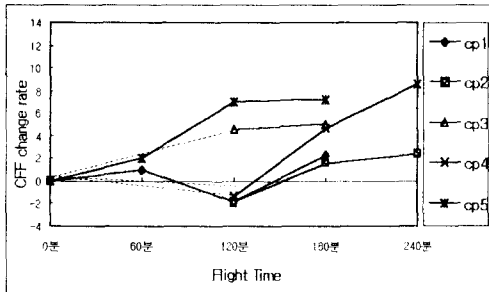
4.2.1 자료의 분포

가. 객관적인 실험

객관적인 실험방법으로 수행된 CFF값의 분포는 <그림 4-6>과 <그림 4-7>에 나와 있다.



<그림 4-6> 전술비행임무에서 정조종사의 CFF 값의 변화

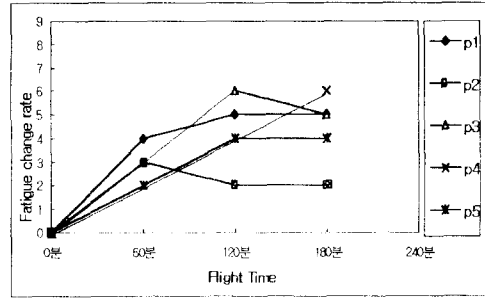


<그림 4-7> 전술비행임무에서 부조종사의 CFF 값의 변화

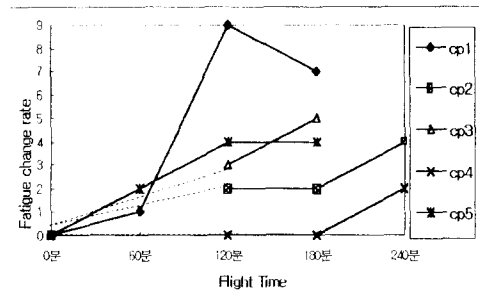
나. 주관적인 견해

주관적인 견해방법으로 수행된 피로자각증상의 변화는 <그림 4-8>과 <그림 4-9>와 같다.

자료에서 점선은 결측치를 나타내지만, 통계적인 방법을 이용하여 계산하지 않고 결측치리



<그림 4-8> 전술비행임무에서 정조종사의 피로자각증상의 변화



<그림 4-9> 전술비행임무에서 부조종사의 피로자각증상의 변화

를 하였다. 하지만, 이런 결측치와는 무관하게 사료는 시간 0분에서 측정된 시간까지의 변화를 나타낸다.

4.2.2 자료의 분석

가. 분산분석

다음의 <표 4-5>는 정조종사와 부조종사의 분산분석을 요약한 것이다.

<표 4-5>에서 교호작용을 포함한 이원 분산분석 모형이 자료에 적합함을 나타내는 유의확률값 p-value는 CFF값의 변화가 0.0237, 피로자각증상의 변화가 0.0199로 유의수준 0.05에서 적합하다고 할 수 있으며, 모형에 지정된 주요과에 대한 유의성 검정에서, Group은 p-value가

<표 4-5> 전술비행임무에서 측정자료의 분산 분석

종류	Source	DF	SS	M	F	p-value
CFF의 변화	Model	17	216.02	12.7	2.65	0.0237
	Group	1	2.87	2.87	0.60	0.4493
	Time	4	113.13	28.28	5.89	0.0033
	Group* Time	3	16.02	5.34	1.11	0.3701
피로자 각 증상의 변화	Model	17	147.82	8.695	2.75	0.0199
	Group	1	1.858	1.858	0.59	0.4533
	Time	4	102.66	25.67	8.11	0.0006
	Group* Time	3	3.38	1.127	0.35	0.7852

CFF의 변화에서는 0.4493, 피로자 각증상의 변화에서는 0.4533으로 정조종사와 부조종사간에는 비행시간에 따른 피로의 누적에 차이가 없다. Time은 값이 각각 0.0033, 0.0006이므로 극히 유의하며 비행시간에 따라 CFF값과 피로자 각증상의 값이 증가한다고 할 수 있다. Group과 Time간의 교호효과는 각각 0.3701과 0.7852로 교호작용을 하지 않는다.

나. 상관관계

CFF값의 변화와 피로자각증상의 변화는 <표 4-6>에서 보는 바와 같이 서로 상관관계가 성립함을 알 수 있다. 하지만, 상관계수가 0.48471이므로 상관성은 다소 낮다.

<표 4-6> 전술비행임무에서 측정종류값간의 상관관계

Pearson Correlation Coefficients / Prob > R under H ₀ : R _{bc} =0/N=80	
피로자각증상의 변화	
CFF값의 변화	0.48471 0.00270

다. 회귀분석

전술비행임무에서의 단순 선형회귀 분석결과

는 <표 4-7>과 같다. <표 4-7>에서 두 가지 측정종류의 회귀모형에 대한 유의확률인 p-value가 둘 다 0.0001이므로 비행시간에 따라 피로도도 증가하며 회귀선 적합이 아주 잘 들어맞고 있음을 나타낸다. 회귀식은 다음과 같다.

<표 4-7> 전술비행임무의 선형회귀분석

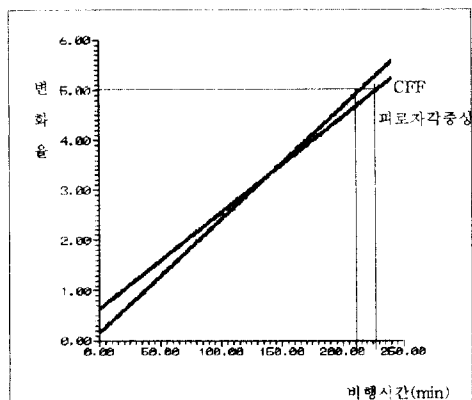
측정 종류	p-value	Variable	Parameter Estimate	Standard Error	Prob> T
CFF 변화	0.0001	Intercep t	0.159548	0.65707	0.8096
		Time	0.022543	0.00515	0.0001
피로 자각 증상 의 변화	0.0001	Intercep t	0.639497	0.53097	0.2368
		Time	0.019120	0.00416	0.0001

$$\text{CFF의 변화} = 0.159548 + 0.022543 * \text{Time}$$

$$\text{피로자각증상의 변화} =$$

$$0.639497 + 0.01912 * \text{Time}$$

주어진 회귀식을 FORTRAN을 이용하여 시간 0에서 240분까지 회귀하여 GRAPHER를 이용하여 그린 모형은 <그림 4-10>와 같다. 이 그림에서 CFF와 피로자각증상 변화에 대한 판



<그림 4-10> 전술비행임무의 비행시간에 따른 변화율의 적합된 회귀선

정을 이용하면, CFF방법에서는 대략 215분 (<5%), 피로자각증상에서는 대략 230분(<5)이 바람직한 한계로 산출된다.

4.3 분석 요약

비전술비행임무와 전술비행임무에서 객관적인 실험과 주관적인 견해의 실험결과를 분석한 것을 요약하면, 정조종사와 부조종사간의 피로의 누적은 비전술비행임무의 피로자각증상의 변화에서만 유의한 차이가 났고 나머지 결과는 차이가 없었다. 이는 객관적으로 보여지는 피로의 누적에는 정조종사와 부조종사간에는 차이가 없지만, 주관적으로 느끼는 피로는 정조종사가 부조종사보다 큼을 보여준다. 이런 이유는 장시간의 비행업무에서 항공기에 대한 전반적인 책임과 안전한 비행에 대한 심리적인 부담, 조종업무에서 작업부하가 가장 큰 이륙과 착륙 및 대부분의 비행조작이 정조종사에 의해 이루어지며 부조종사는 정조종사의 원활한 조종을 위한 안전조언 및 checklist와 기재취급의 수행이라는 점에서 정조종사가 부조종사보다 더 큰 작업부하와 정신적, 심리적 부하를 받기 때문인 것으로 해석된다. 하지만, 전술비행임무에서는 유의한 차이가 나지 않았으며 이것은 비행시간이 비전술비행임무에 비해 상대적으로 적으며 임무자체가 갖는 위험도때문인 것으로 분석된다. 또한, <표 4.2>에서 표준편차를 보면, 정조종사가 부조종사보다 큰 것을 알 수 있는데, 이는 랜덤하게 짝지워진 피실험자에서 부조종사의 skill에 따라 정조종사의 심리적인 부담으로 인한 것으로 추정된다. Primary task방법과 Subject opinion방법의 결과는 서로 상관관계를 갖고 있

으며, 피로의 누적에 따른 최적 비행시간은 Subject opinion이 Primary task보다 크게 산출되었는데, 이는 피실험자의 실험에 대한 인지 때문인 것으로 사료된다. 또한, 피로는 비행시간이 증가함에 따라 누적된다. 이를 바탕으로 회귀분석을 한 결과, 조종사의 피로에 대한 바람직한 한계는 <표 4-8>과 같았다.

<표 4-8> 비행시간과 피로의 바람직한 한계

종류		바람직한 한계(분)
비전술비행 임무	Primary task	280
	Subject opinion	360-400
전술비행 임무	Primary task	215
	Subject opinion	230

참고로 비전술비행임무와 전술비행임무간에 비행시간에 따른 피로의 누적에 있어 차이가 있는지 알아본 결과 유의수준 $p > 0.05$ 에서 Primary task에서는 0.0053, Subject opinion에서는 0.0065로 모두 극히 유의한 것으로 나타나 전술비행임무가 비전술비행임무보다 훨씬 피로의 누적이 심했다. 이런 결과는 <표 4-8>를 보아도 알 수 있다.

5. 결 론

인간이 항공기를 만든 지 채 100년이 되지 않았지만, 항공기의 발달추세는 하루가 다르게 변하고 있다. 하지만, 항공기 사고는 끊임없이 발생하고 있으며, 사고의 발생은 귀중한 인명의

사상과 엄청난 재산상의 손실을 가져오고 있다. 특히, 장거리 장시간을 비행하는 항공기의 경우에는 대부분의 사고가 조종사의 실수에 의한 것이며, 이런 실수는 조종사의 피로와 깊이 관련되어 있다. 그러므로, 조종사의 실수를 방지하기 위해서는 비행 전의 충분한 휴식뿐 아니라, 비행 중에 조종사가 피로로 인해 실수를 유발할 수 있는 시점 이전에 휴식을 할 수 있도록 하는 것이 무엇보다 중요하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 이러한 점에 중점을 두어 비행시간과 조종사의 피로누적에 대해 연구하였으며 실험의 결과는 다음과 같다.

첫째, 비전술비행업무에서 조종사의 피로누적에 대한 바람직한 한계는 객관적인 실험방법(<5%)에서는 280분, 주관적인 견해방법(<5)에서는 정조종사가 360분, 부조종사가 400분인 것으로 나타났다.

둘째, 전술비행업무에서는 조종사의 피로누적에 대한 바람직한 한계가 객관적인 실험방법(<5%)에서는 215분, 주관적인 견해방법(<5)에서는 230분인 것으로 나타났다.

셋째, 비행등급간의 피로의 누적은 비전술비행업무의 주관적인 견해에서 정조종사가 부조종사보다 크게 나타났지만, 객관적인 실험방법과 전술비행업무에서는 차이가 없었다.

넷째, 비행업무간에는 피로의 누적이 있어서 차이가 나며, 전술비행업무가 비전술비행업무보다 피로의 누적이 훨씬 심한 것으로 나타났다.

이상의 실험결과에서 현재 ICAO의 일일 8시간의 비행업무는 군용기 조종사의 피로누적에

있어서 바람직한 한계를 넘고 있음을 알 수 있으며, 위의 결과에 따른 비행운영은 비행안전뿐 아니라 조종사 개인의 건강관리에 도움을 줄 것으로 기대된다. 추후 연구과제로는 본 연구대상이 군용항공기의 조종사를 대상으로 하였기에 임무의 특성도 민간항공기와는 차이가 있다. 그러므로, 민간항공기의 조종사에 대한 연구와는 결과가 다를 수도 있으며 민간항공기의 조종사에 대한 연구가 기대된다. 또한, 주관적인 견해 방법으로 사용한 피로자각증상 조사표의 평가를 전체 항목의 개수에 의존하였기 때문에 각 항목의 정도를 파악하지 못했으므로 추후 연구에서는 각 항목에 대한 정성적인 분석과 함께 객관적인 방법과 주관적인 방법간의 적절한 조합이 기대된다.

참고문헌

1. 강 현철, 비행안전과 Human Factors에 관한 고찰, 항공안전과 Human Factors 세미나, pp.50-59, 1996.
2. 공군본부 감찰관실, 유형별 항공기사고사례집, 1993.
3. 김 용수 외 2명, 안전공학론, 한울출판사, pp.382-386, 1996.
4. 대한항공 및 아시아나 항공 항무부, 운항승무원의 근무 및 휴식, 대한항공 및 아시아나항공, pp.4.24-4.27, pp.3.17-3.21, 1995.
5. 박 성현, 현대실험계획법, 민영사, pp.139-150, 1996.
6. 성 내경, 분산분석 & 회귀분석, 자유아카데미

- 미, 1996.
7. 이 민철 외 4명, 조종사의 피로도 측정에 관한 연구, 항공의학 36(1), pp.76-78, 1988.
 8. 이 세훈 외 3명, 공군레이다 기지 작전실 근무자들의 피로도에 관한 조사연구, 항공의학 31(1), pp.1-65, 1983.
 9. 조 승현 및 이 원창, Radar실 근무자들에 대한 피로도조사, 항공의학 12(2), pp. 7-12, 1964.
 10. 조 엄, 인간공학실험, 녹원출판사, pp.63, 1992.
 11. 조 영국 및 이 원창, 공군 각종 정비공장 근로자들의 피로도 조사, 항공의학 13(2), pp. 23-29, 1965.
 12. 홍 순길 및 이 강석, 문화적 요인이 항공안전에 미치는 영향, 항공안전과 Human Factors 세미나, pp.69, 1997.
 13. Alan H. Roscoe, Heart rate as a psychophysiological measure for in-flight workload assessment, Ergonomics 36(9), pp.1055-1062, 1993.
 14. Ko sim-jae, A basic concept of a quantitative control method for managing pilot's fatigue in the R.O.K air force, The graduate college university of Wisconsin -Stout, p9-26, 1991.
 15. Mark R. Rosekind et al., Alertness Management in Long-Haul Flight Operations In Proceeding of the Thirty-Ninth Corporate Aviation Safety Seminar, Flight Safety Foundation, pp.1-9, 1994.
 16. Mark R. Rosekind et al., Alertness, Management in Flight Operations NASA Technical Memorandum 1993 draft, pp.5-7, 1993.
 17. Philippa H. Gander et al., Crew Factors in Flight Operations : Psychophysiological Responses to Helicopter Operations, NASA Technical Memorandum 1993 Final Draft, pp.2-3, 1993.
 18. Philippa H. Gander et al., Age, Circadian Rhythms and Sleep Loss in Flight Crews, Aerospace Medical Association volume 64, number 3, section 1, p.189, 1993.
 19. Philippa H. Gander et al., Factors influencing Sleep Timing and Subjective Sleep Quality in Commercial Long-haul Flight Crews, NASA technical Memorandum 103852, pp.1-34, 1991.
 20. Randel HW, Aerospace Medicine 2nd ed. Williams & Wilkins, Baltimore, pp.577-600.
 21. Robert C. Williges and Walter W. Wierwille, Behavioral Measures of Aircrew Mental Workload, Human Factors 21(5), p.551, 1979.
 22. Sandra G. Hart and Michael R. Bortolussi, Pilot errors as a source of workload, Human Factors 26(5), pp.545-556, 1984.
 23. Shreuder OB, Medical aspects of aircraft pilot fatigue with special reference to the commercial jet pilot, Aerospace Medical Association April section 2, pp.1-44, 1996.
 24. Walter W. Wierwille, Physiological

Measures of Aircrew Mental Workload,

Human Factors 21(5), pp.575-593, 1979.