Review Article

피로위험관리를 위한 조종사 피로측정방법 고찰

김 대 호

공군항공안전단

A Study on the Pilot Fatigue Measurement Methods for Fatigue Risk Management

Daeho Kim, Ph.D.

Republic of Korea Air Force Aviation Safety Agency, Seoul, Korea

Received: July 12, 2020

Revised: July 28, 2020

Accepted: August 3, 2020

Corresponding Author

Daeho Kim
Republic of Korea Air Force Aviation Safety
Agency, P.O. Box 8, Yeouidaebang-ro 22-
gil, Dongjak-gu, Seoul 07056, Korea
Tel: +82-2-827-7735
Fax: +82-2-827-7735
E-mail: daehoda@hanmail.net

ORCID

<https://orcid.org/0000-0001-9013-3381>

ABSTRACT Pilot fatigue is a great hazard to aviation safety. In recent years, long-distance flights have been increasing and flight hours have been increasing, which has made fatigue issues important. International organizations in the aviation sectors (ICAO, FAA, IATA etc.) recommend management of fatigue within the SMS (Safety Management System) framework. A scientific and systematic approach to measuring fatigue is required as a prerequisite to preparing safety management measures for pilot's fatigue. Therefore, in this study, I would like to consider recent trends and implications for fatigue measurement. First, I aimed to consider recent the accident cases related to fatigue. Second, I also considered how to measure the pilot's fatigue. Finally, the direction of the countermeasures against fatigue through fatigue measurement was developed and suggested.

Keywords: Fatigue, Pilot, Safety management, Risk management

1. 서 론

항공기사고는 발생시 심각성이 크기 때문에, 항공분야는 안전 관리시스템(SMS, Safety Management System)을 정착하고 안전정책(Safety Policy), 위험관리(Risk Management), 안전보증(Safety Assurance), 안전증진(Safety Promotion) 활동을 체계적으로 수행하고 있다[1,2].

항공기사고의 원인 중 인적요인(Human Factors)은 사고의 대부분을 차지하고 있으며, 그 중 비행사고 유발 생리학적요인 중 피로가 가장 높은 것으로 보고되고 있다[3]. 따라서 항공관련 국제기구에서는 피로를 중요 관리요인으로 삼고, 피로위험관리시스템(FRMS; Fatigue Risk Management System)을 SMS의 위험관

리항목으로서 선제적으로 관리할 것을 권고하고 있다[4-6].

민간항공 조종사의 주된 피로의 원인은 장거리(장시간) 비행과 불규칙한 비행스케줄 등으로 인한 Circadian Rhythm의 교란이며, 군 항공 조종사의 경우는 군 작전 임무환경의 변화로 항공기의 장시간운항(제공)하는 임무특성에 기인한다. 그러나 항공산업의 발전과 군 작전 임무환경의 변화는 항공기의 장시간운항(제공)을 끊임없이 요구하고 있다.

매년 집계되는 항공통계현황을 살펴보면, 민간항공산업의 발전과 항공여행객의 수의 증가로 항공교통량은 계속해서 늘어나고 있으며, 승객 탑승률과 비용측면을 고려하여, 일반적으로 장거리 노선은 12시간~14시간을 비행하며, 최근에는 비행시간 20시간 정도 걸리는 최장거리노선도 운영 중이다[7]. 이와 같이 장시간 비

행과 비행시간의 연장이라는 피로요인들이 새로운 문제로 나타났으며 점차로 늘어나는 추세이다.

미래 전쟁은 빠른 작전 템포 요구로 인해 속전속결로 이루어지는 특징과 전투공간이 확장되어 지상·해상·공중·우주·정보영역 등 다차원적인 측면에서 수행될 것을 예상한다[8]. 현대 항공작전 임무특성은 항공기와 무기체계의 발전으로 인해 전천후주·야간 임무수행은 물론, 장기간 임무진행 및 합동훈련 등으로 그 범위가 날로 확대되고 있다.

조종사의 피로는 항공안전에 있어서 커다란 위험요소이다[9]. 조종사 피로의 안전관리 대책을 마련하기 위한 최우선 전제조건으로는 피로측정에 대한 과학적이고 체계적인 접근방식이 필요하다. 본 연구에서는 피로측정에 대한 최근까지의 동향과 시사점을 고찰하고자 한다. 우선, 피로관련 항공기사고 사례를 고찰하고, 다음으로, 조종사 피로에 대한 측정방법을 고찰하고, 마지막으로 피로측정을 통한 피로대응방안의 발전방향을 제시하였다.

II. 조종사 피로와 항공사고

1. 피로관련 항공사고

CAA (Civil Aviation Authority) (CAP 1756)에서 실시한 NTSB 사고 데이터 분석에 의하면, 1980년부터 2013년까지 항공기사고 중 항공종사자의 피로와 직·간접적으로 관계되는 사고는 26건이었다[10]. 이 중에서 14건이 조종사와 관계가 되는 사례이고, 객실승무원(Cabin)과 관계된 사례는 1건, 관제사(ATC, Air Traffic Controller)와 관계된 사건은 2건, 지상 조업자(Ground Crew member)와 관계된 사건은 2건, 그리고 나머지 7건은 비행관련 임무요원 수행도(Flight Crew Performance)와는 직접적

으로 관계가 있지 않은 사례로 나타났다. 이러한 대부분의 피로관련 항공사고는 조종사와 직간접적으로 관련이 있음을 보여준다. 피로관련 항공사고 중 국내 민간항공사 2건의 사고(D항공여객기 801편(광), A항공여객기 214편(샌프란시스코))도 포함되어 있다 [11,12]. 본 논문에서는 2건의 국적사 사고사례를 피로관련 사항을 중심으로 고찰하였다.

첫째, D항공여객기 801편(1997년 8월 6일) 광 추락사고의 피로 관련사항을 사고조사보고서를 통해 고찰해보면, 사고는 자정 이후 발생하였는데(한국시간 기준 오전 0시 42분경), 사고 발생시간은 하루 중 각성상태 유지가 어려운 시간대인 것으로 나타났다. 도착시간은 기장의 평상시 취침시간(오후 10시에서 11시 사이)보다 약 2시간 뒤였으며 평소 기장의 신체리듬이 수면상태에 있을 시간대이었던 것으로 나타났다. 해당 항공기의 기장은 비행 당일 낮잠 이후 사고 당시까지 약 11시간 동안 깨어 있는 상태였다. 실제로 블랙박스상 CVR 녹취 내용 결과에도 기장의 졸음 및 피로를 호소하는 내용이 포함되어 있다(Fig. 1).

둘째, A항공 214편(2013년 7월 7일) 샌프란시스코 추락사고의 피로관련 사항을 사고조사보고서를 통해 고찰해보면, 출두시간 및 비행일정에서 사고발생 당시의 시각은 조종사들의 평소 수면 시간대에 해당하였으며, 사고 당시에 조종사들은 비행 및 판단 능력이 저하된 상태였다고 사고조사기구인 NTSB는 판단하고 있다(Fig. 2). NTSB는 사고의 주원인은 조종사의 비행능력 저하(속도·고도조절 실패, 늦은 복행선언 등)이며, 조종사의 피로가 이에 기여했다고 밝히고 있다.

그 외 민간항공의 피로관련 해외 주요사고사례 중 ASN (Aviation Safety Network)에 등록된 2000년대 이후 발생한 '조종사 피로'가 직접적인 원인이 된 7건을 중심으로 분석하였다[13].

INTRA-COCKPIT COMMUNICATION		AIR-GROUND COMMUNICATION	
TIME & SOURCE	CONTENT	TIME & SOURCE	CONTENT
1520:28 CAM-1	probably, this way (unintelligible words), hotel expenses will be saved for cabin crews, and maximize the flight hours. anyway, they make us (B747) classic guys work to maximum. 이게 아마, 웨이레 되면 (알아 들을 수 없는 말...), cabin승무원들 호텔비 아껴가자요. 비행시간 maximum으로 대우요. 그래서, normal jumbo 만 알아먹는 거야.		
1520:35 CAM	[sound similar to that of seat movement]		
1521:13 CAM-1	eh.... really ... sleepy . . . (unintelligible words) 어... 정말로... 졸려서... (불분명)		
1521:15 CAM-2	of course. 그럼요.		
1521:59 CAM-2	captain, Guam condition is no good. 콰이 안좋네요. 기장님.	1522:06 CTR	Korean air eight zero one information uniform is current at Agana now .. altimeter two niner eight six.
		1522:11 RDO-2	Korean .. eight zero one is checked uniform.

Fig. 1. Fatigue-related recordings in the accident investigation report (CVR Recording) [NTSB, 1997, AAR-00-01].

Fatigue

There were nearly a dozen fatigue-related cockpit crew errors throughout the approach, landing, and delayed go-around phases of Asiana flight 214, and these errors involved all three members of the cockpit crew over an extended period of time throughout the accident sequence. The degraded performance associated with sleep disruption and circadian rhythms is well established, with reduced vigilance and attention being classic decrements. Monitoring as expressed by the crew's vigilance and attention would be affected by fatigue as would other basic elements of human performance such as memory, reaction time, and decision-making. The report establishes a solid foundation for fatigue's effects on degraded performance, reduced vigilance, and decreased monitoring across a variety of functions that contributed to the crash.

This accident underscores the importance of acknowledging the distinction between the role of sleep and circadian rhythms, with emphasis on the circadian component and its inevitable biological nature. Sleep disruption was created through acute effects associated with this flight, while the circadian-related performance challenges were associated with operating during the hard-wired and physiologically programmed low-point of the circadian cycle.

Fig. 2. Fatigue-related content in the accident investigation report [NTSB, 2013, AAR-1401].

Fig. 3. Contributors to and expressions of fatigue [CAA, 2019].

첫째, 스위스 Crossair 3597편(2001년 11월 24일) 충돌사고에서는, 해당 항공기 조종사의 사고 발생 전날 비행근무시간은 15시간 31분인 것으로 나타났다. 또한, 사고발생 당일 오전에도 학생 조종사 교육비행을 약 4시간 정도 실시하는 등 조종사 비행스케줄 관리 및 피로관리가 제대로 이루어지고 있지 않았음을 알 수 있다.

둘째, 캐나다 Georgian Express 126편(2004년 1월 17일) 추락사고에서는, 해당항공기조종사가 1월 13일 휴가차 미국 LA로 떠나 여행 후 사고 발생 전날인 16일 토론토 공항에 오후 8시 47분에 도착하였고, 오후 10시 30분경 취침하였으며, 비행 스케줄 관계로 오전 3시 45분에 기상하여 오전 4시 45분 사무실에 출근한 것을 알 수 있다. 즉 사고 전날 수면시간은 약 5시간 정도로 아주 부족한 것으로 보고되었다.

셋째, 가나 MK Airlines 화물기 1602편(2004년 10월 14일) 사고에서는, 사고 항공편 조종사 비행일정은, 10월 13일(사고 발생 전날) 룩셈부르크를 출발하여 미국 브래들리 공항에 도착한 후 (MKA 1601편), 미국 브래들리 공항을 출발하여 캐나다 해리팩스

공항을 거쳐 스페인 사라고사 공항까지 운항하는(MKA 1602편) 여정이었다. 기장은 시차로 인해 수면리듬이 깨진 상태로 브래들리행 항공기 내에서 제대로 휴식을 취하지 못한 것으로 나타났으며, 브래들리 공항에 도착한 후, 약 1시간 42분간의 휴식시간이 있었으나 수면을 취하지 못하고 비행준비를 위해 조종석으로 들어간 것으로 나타났다.

넷째, 미국 American Connection 5966편(2004년 10월 19일) 충돌사고는, 누적피로가 원인으로 발생한 대표적인 사고사례이다. 해당조종사는 4일간의 비행일정(1set)을 시작하였고, 사고는 3일째인 10월 19일 발생하였다. 비행 중 승무원 교대가 제대로 이루어지지 않은 점이 사고의 주원인이며, 조종사들의 누적된 피로가 비행수행능력을 저하시키는데 기인하였다고 나타났다.

다섯째, 미국 Pinnacle Airlines 4712편(2007년 4월 12일) 활주로 이탈사고를 고찰해보면, 사고발생시간은 자정을 넘긴 시간이었으며, 조종사들의 누적비행시간은 8.35시간, 누적근무시간은 14시간이상, 깨어 있는 동안의 시간은 16시간 이상인 것으로 나타났다. 사고 당시 블랙박스 녹음영상에서도 기장이 피곤하다

고 말하는 것이 나타났다.

여섯째, 아이슬란드 JetX AEU804편(2007년 10월 28일) 활주로 이탈사고도 유사한 경우이다. 케플라비크와 안탈리아로 계획된 비행근무시간은 14시간 15분이었는데 조종사들의 실제근무시간은 17시간 20분으로, 규정상 최대근무시간인 16시간보다 1시간 20분 초과되었으며, 또한 두 비행 사이에 적절한 휴식을 취하지 못한 것으로 나타났다.

마지막으로 미국 Colan Air 3407편(2009년 2월 12일) 충돌사고를 고찰해보면, 해당 항공기 조종사는 평소 오후 10시 잠자리에 들어 오전 9시 기상하여 평균 8시간~10시간 정도의 수면을 취하는 것으로 나타났는데, 사고발생 3일전부터 밤샘 근무 및 7시간이상의 비행근무로 인해 피로가 누적된 상태였음이 밝혀졌다.

2. 피로의 증상 및 현상

사고사례 고찰에서 나타났듯이, 피로 관련 사고원인은 대부분 수면과 근무시간의 내용을 차지하는데, 이로써 조종사 피로의 발생요인은 비행 자체의 요인으로서 비행임무강도(Workload)와 길이(량)인 것을 확인할 수 있었다. 그 외, 환경적 요인으로 비행 환경조건(기온, 습도, 소음, 조명, 공기 오염 등)과 조종사 개인의 내적요인인 작업자 의욕, 적성, 숙련도, 건강상태 등이 있으며, 위와 같은 요인이 복합적으로 작용하고, 수시로 다르게 나타난다[14]. Fig. 3의 CAA (2019) CAP 1756의 자료에 의하면, 조종사의 경우 장거리 비행로 시차가 바뀔 경우, 생체리듬/일주기리듬(Circadian Rhythm) 교란과 수면(Sleep) 장애로 인한 피로가 작용하게 되는데, 이러한 상황은 개인의 상황과 특성(Individual Characteristics)에 기인하게 된다. 또한 임무 준비 격정, 파견 및

전개속소 등 익숙하지 않은 환경에서 맞이하는 불편한 수면, 이러한 심리적 스트레스(Stress)와 환경적(External Condition) 조건이 원인으로 작용하게 된다. 피로관련 사고사례의 경우 위와 같은 요소들의 복합적 원인으로 작용하게 되는 것으로 나타났다.

III. 피로 측정 방법론 고찰

1. 피로의 측정

조종사의 수행도(Performance) 측면에서 피로측정은 비행시간과 휴식시간을 설정하는데 도움을 주며, 개인 및 조직의 피로관리를 위해서 필요하다. 앞서 고찰한 피로의 원인은 생체리듬(Circadian Rhythm) 교란과 수면(Sleep) 장애, 개인의 상황과 특성(Individual Characteristics), 환경적(External Condition) 조건, 그리고 심리적 스트레스(Stress) 등이 있는데, 대부분이 수면과 직간접적으로 관련 있다. 수면 부족은 집중력, 기억력, 의사결정 능력 등에 영향을 미치며, 반응시간 등 수행능력에 영향을 준다. 실제로 수면시간 박탈이 수행능력 저하에 영향을 주는 것이 알려져 있다[15]. 수면시간과 수행능력의 관계에 관한 연구를 참고하면, 하루 수면을 취하지 않으면 정신능력이 평소의 30%가 저하되고, 이를 수면을 취하지 않으면 평소보다 60% 정도가 저하된다고 보고되고 있다[16]. 또한 수면부족은 근육협조 운동상실과 주의력 저하를 일으켜, 활동을 둔화시켜 알코올을 섭취한 상태와 같게 된다. 또한, 각성 상태가 18시간이상 지속되면 혈중 알코올 농도 0.05%와 같은 증상이 되고, 지속상태가 24시간이상 되면 알코올의 0.1%의 상태와 동일한 상태로 정신적, 육체적 능력이 저하된다[17].

Element		Measurement method
Contributors to fatigue	Sleep	Actigraphy
	Circadian rhythm	Actigraphy
	Individual characteristics	Sleep registry Post illumination pupil response
	External conditions	Electrocardiography (ECG) & blood pressure Posture Skin temperature Ambient temperature Light Humidity
	Stress	Ecological Momentary Assessment (EMA)
Expressions of fatigue	Simple cognition	Reaction test Psychomotor Vigilance Task (PVT)
	Complex cognition	Flight simulator 2-back task
	Subjective fatigue	Questionnaire
	Eye	Saccadic velocity
	Brain	Electroencephalography (EEG)
	Heart	ECG & blood pressure
	Other	Skin temperature gradient

Fig. 4. Overview of techniques included in the protocol [CAA, 2019].

Fig. 4에 나타나듯이 피로측정에 있어서 수면 관련지표를 측정하는 방법은 일반적으로 Actigraphy를 활용하여 수면과 일주기 리듬(Circadian Rhythm)교란 현상에 대해서 측정, 평가하는 경우가 많다. 그 이외 요소들은 ECG (ElectrocardioGraphy), 피부 온도(Skin Temperature), EMA (Ecological Momentary Assessment)등 일반적으로 스트레스와 피로를 측정하는 도구들이 사용되고 있다. ECG의 측정은 심장박동을 측정하는 방법으로써, 심장변위도(HRV, Heart Rate Variability), 심박수, 맥파(PPG, Photo PlethysmoGraphy) 등이 주지표가 되며, 작업(임무)에 따른 신체부담도 및 피로 등 시간경과의 변동(변화)에 대한 평가에

주로 사용된다[18,19].

피로의 표출(Expressions)은 단순 과제인 경우 PVT (Psychomotor Vigilance Task)를 통해서 단순반응시간을 측정하여 그 결과를 활용하고, 복잡과제는 시뮬레이터를 활용하여 수행도를 측정할 수 있다. 이 때 주관적 피로 설문조사를 병행하고, 안구동작분석을 위해 안구전위도(EOG, Electro-OculoGram)등을 검사에 사용하기도 한다. 인지기능과 운동, 수면상태 등 뇌의 다양한 활동상태를 측정하기 위해서 뇌파(EEG, Electro-EncephaloGram)를 측정하며, 수면에 의한 피로의 정확한 정도를 파악하기 위해서는 수면다원검사(Polysomnography) 중에 수면 뇌파 결과를 확인하기도 한다[20]. 다만 뇌파는 측정하기가 상당히 불편하고, 다른 생체신호에 비해 신호 강도가 약하여 다른 신호에 의해 간섭 받는 경향이 있다. 체온의 경우, 심부 온도 및 피부 온도를 신체의 생리적 변화를 관찰하는데 활용하며, 체온과 호흡, 맥박, 혈압 등 지표를 함께 측정하는데 일주기리듬과 같은 신체내부 조절 능력과, 식사나 운동, 흥분, 세균감염 등 외부요인에 의한 변동이 나타나기 쉬워 지표로 적용하기에 다소 제한이 있다[21,22].

Fig. 5. Fatigue risk data collection steps [ICAO, 2016].

2. 조종사 피로측정 프로토콜

ICAO 및 IATA 등 국제항공관련기구에서는 조종사 피로위험 데이터의 수집을 위해 과학적 연구방법에 기반을 둔 피로측정 데이터 수집 프로토콜을 제시하고 있다. Fig. 5와 같이 5단계로 구성되어 있으며 다음과 같이 기술할 수 있다[23].

첫 번째 단계는 기초배경조사로서 기본적인 인구통계학적 요소 및 비행경력과 관련한 요인을 측정하는 것으로서, 데이터 수집기간 1~2주전의 평상시 휴식기간 중 일반적인 수면, 근무기간 중 수

The form is a detailed log for flight activity and sleep. It includes a timeline from 0000 to 2400 UTC. The log is divided into sections for 'In Flight' and 'Sleep'. Each section contains a table for recording data at 'START' and 'END' times. The 'In Flight' section includes fields for 'PDA test score', 'Fatigue rating', 'Sleepiness rating', and 'Sleep Quality'. The 'Sleep' section includes fields for 'PDA test score', 'Fatigue rating', 'Sleepiness rating', and 'Sleep Quality'. The form also includes a legend for 'Fatigue rating' and 'Sleep Quality'.

In Flight

Date: / / 0000 0200 0400 0600 0800 1000 1200 1400 1600 1800 2000 2200 2400

Date: / / 0000 0200 0400 0600 0800 1000 1200 1400 1600 1800 2000 2200 2400

REST 1

START: PDA test score: Fatigue rating: Sleepiness rating: Sleep Quality: Total duration of sleep (excluding awakenings):

REST 2

START: PDA test score: Fatigue rating: Sleepiness rating: Sleep Quality: Total duration of sleep (excluding awakenings):

REST 3

START: PDA test score: Fatigue rating: Sleepiness rating: Sleep Quality: Total duration of sleep (excluding awakenings):

REST 4

START: PDA test score: Fatigue rating: Sleepiness rating: Sleep Quality: Total duration of sleep (excluding awakenings):

REST 5

START: PDA test score: Fatigue rating: Sleepiness rating: Sleep Quality: Total duration of sleep (excluding awakenings):

REST 6

START: PDA test score: Fatigue rating: Sleepiness rating: Sleep Quality: Total duration of sleep (excluding awakenings):

Fatigue rating:

1= fully alert, wide awake.
2= very lively, responsive, but not at peak.
3= okay, somewhat refreshed.
4= a little tired, low time left.
5= moderately tired, let down.
6= extremely tired, very difficult to concentrate.
7= completely exhausted, unable to function.

Sleep Quality:

1= extremely good
7= extremely poor

Sleepiness rating:

1= extremely alert
2= alert
3= alert
4= alert
5= neither sleepy nor alert
6= sleepy, but no difficulty remaining awake.
7= extremely sleepy, fighting sleep.

Fig. 6. Sleep/activity log sample [IATA, 2015; ICAO, 2016].

면패턴 등을 측정한다. 이 때 피로를 유발하는 요인에 대해 주관적으로 보고하는 것이다.

두 번째 단계는 주관적 졸음 및 각성평가단계이다. 조종사가 자신의 졸음 정도 및 각성 정도를 주관적으로 평가하는 단계로서, 일반적으로 The Karolinska Sleepiness Scale (KSS)과 The Samn-Perelli Fatigue Scale을 사용한다. KSS는 9점 척도(1=매우 각성, 9=매우 졸림)로 작성 5분전의 졸음수준을 측정하고, Samn-Perelli는 7점 척도(1=매우 각성, 7=심각하게 피곤)로 주관적인 각성 상태를 측정한다. 연구기간(예: 근무 3일 전부터 근무 3일 후까지) 동안 연구목적에 맞게 정해진 시간(예: 수면 전, 수면 후, 근무 전과근무 후)에 실시간으로 작성한다.

세 번째 단계는 수면 및 활동일지를 작성하는 단계이다. 일지는 수면에 들어간 시간(입면시간), 기상시간, 수면의 주관적 질(Quality), 음주량, 낮잠 등 다양한 정보를 기재한다. 수면 및 활동일지 작성을 통해, 연구기간 동안 개인의 수면 및 활동패턴과 특이사항 등을 이해할 수 있다. 대표적인 수면 및 활동일지는 Fig. 6과 같다.

네 번째 단계는 수면데이터를 수집하는 단계이다. 수집 단계는 과학적 연구에 기반한 객관적인 데이터를 수집하는 단계로서 개인의 주관적 데이터(현황 설문과 일지 등)를 보완하기 위함이다. 과학적인 피로측정은 대부분 이 과정에서 진행되는데, 현재 수면 데이터 수집장치는 편의성을 고려한 손목형 수면-각성측정장치인 Actigraphy를 많이 사용하고 있다. Fig. 7에 의하면 Actigraphy 결과는 객관적인 수면데이터(총 수면시간, 평균수면시간, 평균수면잠복기, 수면효율, 수면 중 뒤척임 빈도 등)를 수집한다[24]. 자료의 정확한 분석을 위해 수면일지와 함께 일치시켜 분석하는 것이 유용하다.

마지막 단계로 수행능력 측정단계이다. 피로의 영향으로 나타나는 수행도 측정은 간단한 반응속도를 측정하는 실험으로 각성상태에 따른 집중도 수준을 살펴볼 수 있다. 항공자료 수집에서 인지적 수행수준을 측정하는 평가로 PVT가 주로 사용되고 있다. 수

행을 통해 한 시도당 평균반응시간, 총 실패한 빈도(수행능력 측정 시 제시된 자극탐지 및 수행이 지연되거나 실패한 빈도) 등의 데이터를 수집하게 된다.

IV. 고찰 및 결론

비행 임무 환경은 나날이 변화하고 있으며, 이러한 임무환경에 적응해야 하는 조종사는 항상 피로에 노출된다. 이러한 관점에서 FAA에서는 비행임무와 수면 관련내용을 중심으로 조종사의 피로관리 요소를 비행근무시간(Flight Duty Time), 추가운항 승무원(Augmented Crew), 비행/승무시간(Flight time), 일주기 리듬(생체리듬; Day/Night Circadian Rhythm), 타임존(Time Zone Crossings), 휴식시간(Rest Period), 섹터별 비행(Sector Flow), 그리고 비행 중 휴식(In Flight Rest) 8가지 항목으로 중점 관리할 것을 권고하고 있다[25]. 이러한 관리요소들은 피로의 측정을 통한 객관적인 위험도를 사전에 확인하여 비행임무와 계획 시 반영되어야 할 것이다.

피로관련 항공기 사고사례를 분석한 결과, 피로가 원인인 항공 사고의 대부분이 조종사의 비행근무시간 관리미흡 등으로 발생하였다. 즉, 조종사의 수면부족 및 과도한 비행일정에 따른 불충분한 휴식이 피로의 가장 큰 영향요인으로 나타났다.

피로관련 비행사고사례를 통해 배운 교훈으로써, 항공기사고를 예방하기 위해서는 피로에 대한 인식이 무엇보다도 중요하다는 것을 알 수 있다. 피로를 정확하게 인식하기 위해서는 Human Factors 기본 개념이해와 피로에 대한 이해가 필요하다. 피로에 대한 올바른 인식은 과학적이고 객관적인 피로의 측정을 통한 위험데이터를 확인하는 것부터 시작한다. 측정하여 확인된 객관적인 데이터는 피로대응방안을 마련하는데 도움이 된다.

피로의 관리는, 개인적 측면에서는 장기적인 수면방해요소, 예를 들면, 불면증, 늦은 시간까지의 업무 및 취미생활 또는 회식 등 같은 개인의 일상에서 발생 가능한 일에 대하여 개인 자기관리

Fig. 7. Sleep-arousal measurement report sample [IATA, 2015].

(Self Control)와 모니터링이 필요하다. 피로측정도구(수면/각성 측정도구)가 현재 많이 개발되어 응용영역을 넓히고 있는데, 기존의 의료용으로 제작된 도구를 스마트 워치에도 적용하고 있다.

피로 대응의 조직적 측면에 있어서 선결조건은 개인의 피로를 자기관리 미흡 등 개인의 잘못으로 취급하는 것이 아니라, 조직의 업무 프로세스 상에서 나타나는 현상으로 조직이 인정하는, 즉 피로에 대한 인식변화와 안전의사 소통이 무엇보다도 중요하다. 무엇보다도 긍정적 피로관리를 위해서는 선진적이고 긍정적인 안전 문화가 기초되어야 한다고 사료된다. 또한 피로를 과학적이고 객관적으로 측정하고 평가하는 시스템의 정착이 필요하다. 보다 과학적이고 전문성 있게 피로를 대응해야 한다. 이러한 대응을 위해서 피로에 대한 자발보고 활성화와 조직 특성에 맞는 과학적인 피로위험관리시스템(FRMS) 도입 등을 고려해야 할 것이다.

CONFLICTS OF INTEREST

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

ORCID

Daeho Kim, <https://orcid.org/0000-0001-9013-3381>

REFERENCES

1. ICAO. *Annex 19, Safety Management*. 2016
2. ICAO. *Doc9859, Safety Management Manual*. 2018
3. Craig PA. *The killing zone: How and Why Pilots Die*, New York, NY McGraw-Hill. 2001.
4. ICAO. *Fatigue Risk Management System (FRMS)*, ICAO Annex 6 part 1. 2010.
5. EASA. *Draft Opinion of the European Aviation Safety Agency for a Commission Regulation Establishing the Implementing Rules on Flight and Duty Time Limitations and Rest Requirements for Commercial Air Transport(CAT) with Aeroplanes*, Technical Report EASA NPA 2010-14. 2010.
6. IATA. *Flight & Duty Time Limitations Fatigue Risk Management*. 2009.
7. KCA. *Aviation Statistics*. 2017.
8. Kwon PJ. *A Study on the Necessity of Strategic Transport Appropriate to the Korean peninsula*, Mokwon University. 2009.
9. Li G, Baker SP, Grabowski JG, Rebok GW. *Factors Associated with Pilot Error in Aviation Crashes*, *Aviation, Space, and Environmental medicine*. 2001;72(1):52-58.5.
10. CAA. *CAP 1756, Independent Research on Pilot Fatigue Measurement by the Netherlands Aerospace Centre*. 2019.
11. NTSB. *AAR-00-01(PB00-910401)*. 1997.
12. NTSB. *AAR-1401(PB2014-105984)*. 2013.
13. ASN (Aviation Safety Network). <http://www.aviation-safety.net>.
14. Kim DH. *How Critical is the Fatigue Management for Pilots in Aviation Safety? - A Review, an Investigation and Some Critical Needs-*, *The Korean Journal of Aerospace and Environmental Medicine*. 2013;23(2):31-38.
15. Dinges DF. *An overview of sleepiness and accidents*, *Journal of Sleep Research*, 1995;4 Suppl 2:4-14
16. Miller K, Finnigan F, Hammersley RH. *Is Residual Impairment after Alcohol an Effect of Repeated Performance?*, *Aviation, Space, and Environmental medicine*. 1999;70(2):124-130.
17. Park HB. *Flight and Human Body*, GyeochukMunwhasa. 1991.
18. Choi JH, Barde S, Kim JH. *Trend of Convergence Technology between Healthcare and the IoT*, *Information & Telecommunication*. 2014;10-16.
19. Kim KH, Lim CY. *Wearable Health Device Technology in the IoT Era*, *The Korean Institute of Electrical Engineers*. 2016;18-22.
20. Kim SY, Han SB, Kim HR, Jung YS, Jung JS, Park SJ. *Development of Fatigue-Stress Measurement Technique and DB*, KAIST. 1998.
21. Kim HS. *The effect of Different Types of Shift Work on the Sleep and Body Temperature of Circadian Rhythm*, Seoul University. 1992.
22. Kim DS. *Optimal Application of Pilot Biometric Signals to Field*, ROKAF Report of Combat Experiment Task. 2013.
23. ICAO. *Doc 9966, Manual for the Oversight of Fatigue Management Approaches*. 2016.
24. IATA. *Fatigue Management Guide for Airline Operators*. 2015.
25. FAA. *Fatigue Risk Management Systems for Aviation Safety*. FAA AC 120-103A. 2013.