인간공학적 헬리콥터 조종실 설계를 위한 종합적인 조종사 작업부하 평가 방법 개발*

Development of a Comprehensive Pilot Workload Assessment Model for Evaluation of Helicopter Cockpit Design

이원섭**, 김수진**, 윤성혜**, 박장운**, 이달호***,
박세권***, 강병길****, 엄주호****, 유희천**

** 포항공과대학교 기계산업공학부
*** 공군사관학교 산업공학과
**** 한국항공우주산업

ABSTRACT

헬리콥터 및 항공기의 운용 시 조종사들에게 높은 작업부하가 유발되므로 조종사의 작업부하 평가 및 인간공학적 조종실 설계 반영이 요구된다. 본 연구는 기존의 작업부하 평가 방법들을 토대로 다양한 측면에서 작업부하를 신속하게 측정 및 분석할 수 있는 종합적 작업부하 평가방법을 개발하였다. 종합적 작업부하 평가 방법 개발을 위하여, (1) 작업부하 평가 관련 기존 연구 조사 및 평가 방법 선정, (2) 평가 방법 별 작업부하 평가 및 분석 절차 수립, 그리고 (3) 평가 및 분석 도구를 개발하였다. 본 연구에서 개발된 종합적인 조종사 작업부하 평가 방법은 복잡한 시스템 운용자의 작업부하를 간편하게 평가하고 인간공학적 개선안을 제시하는 데 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

Keyword: 작업부하 평가, 신체적 작업부하, 정신적 작업부하, 인지능력 평가

1. 서론

오늘날 항공기 및 헬리콥터의 조종 시스템이 복잡해짐에 따라 증가되는 조종사 작업부하(workload)의 평가 및 조종실의 설계 개선이 요구된다. 항공기 및 헬리콥터의 성능과 기능이 향상되고 조종 시스템이 전산화되면서 비행 시의 업무 수행이 복잡해지고 조종사들의 작업부하가 높아지고 있다. 비행 시의 높은 작업부하는 인적 오류를 유발시킬 수 있으며, 큰 안전사고로 이어질 수 있다. 따라서 조종사의 작업부하 측정 및 부하원인을 분석하고, 이를 토대로 작업부하를 감소시키기 위한 비행 시스템의 설계 개선이 필요하다.

조종사의 작업부하를 측정 및 평가하기 위하여 다양한 접근방법이 연구되어 왔다. 작업부하는 크게 신체적 작업부하와 정신적 작업부하로 구분할 수 있다(권오채 외, 2007). 신체적 작업부하를 측정하기 위해서는 OWAS(Karhu 외, 1977),

* 본 논문은 2008년 KHP 위탁연구과제의 지원을 받아 수행되었습니다. 본 내용은 주요 방산기밀자료임으로 무단으로 사진 촬영 및 복제·복사를 할 수 없으며, 업무상 관련 없는 자에게 누설을 금합니다.

RULA(McAtamney 외, 1993) 등의 평가 방법이 개발되었다. 정신적인 작업부하를 주관적으로 측정할 수 있는 방법으로는 NASA-Task Load Index(NASA-TLX; Hart와 Staveland, 1988)와 Subjective Workload Assessment technique (SWAT; Reid 외, 1982)가 주로 사용되고 있다. 또한 정신적인 작업부하를 객관적으로 측정하기 위해 뇌파(EEG), 심전도(ECG), 호흡수(Respiration Rate) 등의 정신생리학적 평가 방법을 적용한 연구가 수행되기도 하였다.

기존 연구는 주로 일부 평가 방법을 중심으로 작업부하를 측정하였으며, 실무적인 측면에서 신속하고 간편하면서 종합적인 평가 방법 개발이 필요하다. 기존 연구는 주로 새로운 평가 방법을 제시하거나 평가 방법 간의 적절성을 비교하였다. 또한 실무적인 측면이 고려되지 않아 평가에 시간과 노력이 많이 소요되거나, 단편적인 측면에서만 평가가 이루어졌다. 따라서 기존 연구에서 확립된 다양한 평가 방법을 비교 및 선정하고 실무적인 측면에서 신속하고 간편하게 사용 가능한 종합적인 평가 방법이 필요하다.

본 연구는 헬리콥터 조종사의 작업부하를 종합적으로 신속하고 간편하게 측정 및 분석할 수 있는 평가 방법을 개발하였다. 종합적인 측면에서 작업부하를 파악하기 위하여 기존의 여러 작업부하 평가 방법들을 조사 및 선정하였다. 또한 신속하고 간편하게 작업부하를 측정 및 분석할 수 있는 평가 시스템을 개발하였다.

2. 종합적 작업부하 평가 방법 개발

헬리콥터 조종사의 작업부하 평가 방법 개발을 위하여 세 단계의 절차를 수행하였다. 첫째, 기존 문헌 검토를 통해 다양한 측면의 작업부하 평가 방법을 조사하고 선별하였다. 둘째, 평가 측면 별 작업부하 평가 절차와 분석 방법을 수립하였다. 마지막으로, 신속하고 간편한 작업부하 평가 및 분석을 위하여 평가 도구를 개발하였다.

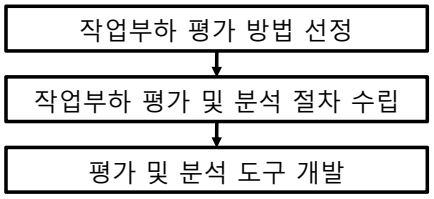

그림 1. 종합적 작업부하 평가 방법 개발 절차

2.1 작업부하 평가 방법 선정

국내외 관련 문헌 조사를 토대로 헬리콥터 조종사의 작업부하 평가 체계를 정의하였다. 다양한 작업부하 평가 방법 파악을 위하여 국내외의 관련 연구 논문 50편을 검토하였다. 문헌 검토를 기반으로 작업부하 유형을 신체적 작업부하와 정신적 작업부하로 구분하고, 평가 유형을 주관적 평가와 객관적 평가로 구분하였다(표 1 참조). 또한 정신적-객관적 작업부하 평가는 인지능력 평가(cognitive test)와 정신생리학적 평가(psychophysicological evaluation)로 구분하였다.

표 1. 헬리콥터 조종사 작업부하 평가 체계

평가 유형 / 작업부하 유형	주관적 평가	객관적 평가	
		인지능력 평가	정신생리학적 평가
신체적 작업부하	- NIOSH 근골격계 질환양성자 분석 - CMDQ	-	-
정신적 작업부하	NASA-TLX	- WinScat - MiniCog - 공군조종사적성연구소 프로그램	- 심전도 - 호흡수

문헌 조사를 토대로 작업부하 평가 측면 별 평가 방법들을 평가 및 선정하였다(표 1 참조). 평가 방법은 기존 연구에서 많이 사용되는 평가 방법 중 신속하고 간편한 평가가 가능한 것을 기준으로 하였다. 신체적-주관적 측면의 작업부하 평가 방법 개발을 위해서는 미국의 국립 직업 안전 건강 연구소(NIOSH; Bernard 외, 1993)의 근골격계질환 양성자 분석 방법과 Cornell Musculoskeletal Discomfort Questionnaire (CMDQ; Hedge 외, 1999)를 선정하였다. 정신적-주관적 측면의 작업부하 평가 방법 개발을 위해서는 널리 사용되고 있으며 여러 연구에 의해 적절성이 검증된 NASA-TLX를 선정하였다. 정신적-객관적 측면 중 인지능력 평가 방법 개발을 위해서는 WinScat(Kane 외, 2005), MiniCog (Shephard 외, 2005), 그리고 공군조종사적성연구소에서 개발한 소프트웨어(공군사관학교, 1998)를 선정하였다. 그리고 정신생리학적 평가 방법 개발을 위해서는 조종사의 정신적 작업부하를 생리학적 측면에서 신속하고 민감하게 평가할 수 있는 심전도와 호흡수 분석 방법을 선정하였다.

2.2 작업부하 평가 및 분석 절차 수립

2.2.1 신체적-주관적 작업부하

신체적-주관적 작업부하 평가를 위하여 신체의 평가 부위 및 평가 척도를 정의하였다. 신체 평가 부위는 총 23군데(전면 11, 후면 12)로, NIOSH 근골격계질환 양성자 분석과 CMDQ를 기반으로 정의되었다(표 2 참조). 또한 헬리콥터 개발자, 헬리콥터 조종 경험자, 그리고 인간공학 전문가의 토의를 통해 평가 신체부위를 추가(예: 양쪽 눈, 양쪽 엉덩이, 발바닥) 및 삭제(예: 위팔, 아래팔, 위다리, 아래다리)하였다. 평가 척도는 11점 척도(0점: 전혀 불편하지 않음, 10점: 극도로 불편함)로 하되 점수 별 verbal anchor는 Borg's CR-10 척도를 참조로 하였다.

표 2. 신체적 작업부하 측정부위

구분	신체부위
신체 전면	양쪽 눈, 어깨관절(좌/우), 팔꿈치(좌/우), 손목(좌/우), 손바닥(좌/우), 손가락(좌/우)
신체 후면	목, 어깨근육(좌/우), 등, 허리, 엉덩이, 허벅지(좌/우), 종아리(좌/우), 발바닥(좌/우)

2.2.2 정신적-주관적 작업부하

정신적-주관적 작업부하 평가 방법은 NASA-TLX를 응용하고 한글화하여 개발되었다. NASA-TLX를 인간공학 전문가 4명이 한글화하고(표 3 참조), 표현의 적절성을 평가하였다. 또한 NASA-TLX는 평가 항목 별 주관적 작업부하를 100점 척도로 평가하였지만 본 연구에서는 간편하게 평가될 수 있도록 11점 척도(0점: 극도로 낮음, 10점: 극도로 높음)로 변경하여 적용하였다.

표 3. 정신적 작업부하 평가 항목

항목	정의
정신적 요구수준	임무 수행 시 지각적/인지적 활동(예: 사주경계, 탐색, 사고, 의사 결정, 연산, 기억 등)이 요구되는 정도
신체적 요구수준	임무 수행 시 신체적 활동(조작, 기동, 힘 사용 등)이 요구되는 정도
시간적 요구수준	임무 완료 허용 시간 제약 및 할당 임무 수 등으로 인해 느껴지는 시간적 압박감 정도
임무 성취도	임무를 성공적으로 완수했다고 생각하는 정도
노력 수준	임무 목표를 달성하기 위해 정신적/신체적으로 노력한 정도
좌절감 수준	임무를 수행하는 동안 불안, 낙담, 화남, 압박감, 불쾌감 등을 느낀 정도

2.2.3 정신적-객관적 작업부하

인지능력 평가는 인지능력 유형을 선정하고 컴퓨터 소프트웨어 개발을 통해 각종 인지적 능력들을 평가할 수 있도록 하였다. WinScat, MiniCog, 그리고 공군조종사적성연구소 프로그램 검토를 통해 5가지의 인지능력의 유형(주의 분배 능력, 즉각 반응 능력, 속도 감지 및 예측 능력, 정밀 조작 능력, 단기 기억 능력)을 정의하고, 각 인지능력 유형 별 평가 방법을 선정하였다(표 4 참조).

표 4. 인지능력 유형 별 평가 방법 (예시)

측정 능력	평가 방법 설명
주의 분배 능력	주의를 분배하여 두 가지 작업을 동시에 수행하는 능력 평가
즉각 반응 능력	신호가 주어졌을 때 즉각적으로 반응하는 능력 평가
단기 기억 능력	공간 및 언어(숫자)와 관련된 단기 기억 능력을 평가

정신생리학적 평가는 심전도와 호흡수에 대한 측정 및 분석 방법을 정의하고 평가 장비를 선정하였다. 심전도는 측정된 심장의 전기신호 중 R-peak 값 간의 간격을, 심박수는 분당 호흡수를 선정하였다. 장비는 착용과 측정이 간편하면서도 심전도와 호흡수를 동시에 측정할 수 있는 BioHarness (Zephyr Inc.)를 채택하였다.

2.3 평가 및 분석 도구 개발

작업부하 평가 방법 별 신속하고 간편한 평가 및 분석을 위한 도구를 개발하였다. 신체적-주관적 평가와 정신적-주관적 평가를 위해서는 평가 설문지를 개발하여 비행 시나리오마다 평가되도록 하였으며, MS Excel을 활용하여 평가된 점수를 입력 받아 간편하게 시나리오 별 작업부하의 차이를 비교할 수 있도록 하였다. 정신적-객관적 작업부하 중 인지능력 평가는 C 언어로 software를 개발하여, 10분 이내에 평가가 이루어지고 분석 결과가 즉시 도출될 수 있도록 하였다. 마지막으로 정신생리학적 평가는 시나리오를 수행하는 중에 측정된 심전도와 호흡수의 변화를 분석할 수 있는 도구를 MS Excel을 이용하여 개발 중이다.

3. 토의 및 결론

본 연구는 다양한 작업부하 평가 방면을 종합적으로 평가하는 방법을 개발하였다. 기존 연구는 주로 작업부하 평가 방법의 개발 혹은 평가 방법 간의 적절성 비교에 관한 연구를 수행하여 단편적인 평가가 이루어졌다. 본 연구는 기존 연구들에서 적립된 다양한 작업부하 평가 방법을 토대로 신체적 및 정신적, 그리고 주관적 및 객관적인 평가 방법을 종합하였다. 본 연구에서 개발된 종합적인 작업부하 평가 방법은 헬리콥터뿐만 아니라 원자력 발전소 조종실과 같은 복잡한 시스템 운용자의 작업부하를 평가하고 인간공학적 개선안을 제시하는 데 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

본 연구는 실무적인 측면을 강조하여 작업부하를 신속하고 간편하게 측정할 수 있는 도구를 제작하였다. 본 연구는 다양한 작업부하 평가 방법 중 활용도가 높고 신속하게 평가가 이루어질 수 있는 평가 방법을 선정하였다. 또한 간편한 작업부하 측정 및 분석을 위해 평가 설문지, 평가 소프트웨어, 그리고 분석 도구 등을 개발하였다.

참조문헌

권오채, 이상기, 조영석, 박정철, 정기효, 유희천, 한성호 (2007). 천장 크레인 운전 작업부하 평가모델 개발. *대한인간공학회지*, 26(2), pp.45- 59.

Bernard, B., Sauter, S., Petersen, M., Fine, L., and Hales, T. (1993). *Health hazard evaluation 90-013-2277*; Los Angeles Times, Los Angeles, CA.

Hart, S.G., and Staveland, L.E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. *Human Mental Workload*.

Hedge, A., Morimoto, S., and McCrobie, D. (1999). Effects of keyboard tray geometry on upper body posture and comfort, *Ergonomics*, 42(10), pp.1333-1349.

Kane, R.L., Short, P., Sipes, W., and Flynn, C.F. (2005). Development and validation of the Spaceflight Cognitive Assessment Tool for Windows (WINSCAT). *Aviation, space, and environmental medicine*, 76(2), pp.B183-B191.

Karhu, O., Kansi, P., and Kuorinka, I. (1977). Correcting working postures in industry: A practical method for analysis. *Applied Ergonomics*, 8(4), pp.199-201.

McAtamney, L., and Corlett, E.N. (1993). RULA: a survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics*, 24(2), pp.91-99.

Reid, G.B., Eggemeier, F.T., and Nygren, T.E. (1982). An individual differences approach to SWAT scale development (Subjective Workload Assessment Technique). *Human Factors Society, 26th Annual Meeting*, Seattle, WA; United States; 639-642.

Shephard, J.M., and Kosslyn, S.M. (2005). The MiniCog Rapid Assessment Battery: Developing a "blood pressure cuff for the mind." *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 76(6), B192-B197.