JESK J Ergon Soc Korea 2024; 43(3): 205-216
https://dx.doi.org/10.5143/JESK.2024.43.3.205
https://jesk.or.kr eISSN:2093-8462

Development and Validation of a Daily Multidimensional Fatigue Inventory (DMFI)

Sungho Kim[1], Seunghoon Yoo[2], Dongsoo Kim[3], Yongkyun Lee[4]

[1]R.O.K. Air Force Academy, Department of Systems Engineering, Chungcheongbuk-do, 28187
[2]R.O.K. Air Force Academy, Department of Computer Science, Chungcheongbuk-do, 28187
[3]R.O.K. Air Force Academy, Department of Physics/Chemistry, Chungcheongbuk-do, 28187
[4]R.O.K. Air Force Academy, Department of Mathematics, Chungcheongbuk-do, 28187

일일 다원적 피로 척도 개발 및 타당화 연구

김성호[1], 유승훈[2], 김동수[3], 이용균[4]

[1]공군사관학교 시스템공학과
[2]공군사관학교 컴퓨터과학과
[3]공군사관학교 물리/화학과
[4]공군사관학교 수학과

Corresponding Author
Yongkyun Lee
R.O.K. Air Force Academy, Department of Mathematics, Chungcheongbuk-do, 28187
Email : mathyouth@gmail.com

Received : April 16, 2024
Revised : April 26, 2024
Accepted : June 10, 2024

Objective: The purpose of this study is to develop a Daily Multidimensional Fatigue Inventory (DMFI) to effectively assess workers' fatigue levels in daily life.

Background: Systematic fatigue management is crucial for ensuring worker productivity and safety. Current methods lack efficient measurement of daily workers' fatigue levels.

Method: A total of 13 DMFI questionnaire items were designed to measure multifaceted aspects of daily fatigue for workers. The survey was self-administered by 274 participants. To evaluate the DMFI's reliability and validity, exploratory and confirmatory factor analyses, reliability analysis, and correlation analysis were conducted in this study.

Results: The DMFI demonstrated a three-factor structure model (physical fatigue, situational fatigue, and mental fatigue) with a high degree of fit, effectively capturing the multidimensionality of fatigue. The 13 DMFI items exhibited internal consistency both overall and within sub-factors, and showed high correlations with established fatigue scales.

Conclusion: This study developed the DMFI and verified its validity and reliability.

Application: The DMFI offers a reliable and valid tool for measuring workers' daily fatigue. This tool can be implemented in programs to manage fatigue risk and prevent fatigue-related accidents through measuring of workers' fatigue levels.

Keywords: Multidimensional fatigue, Scale development, Reliability and validity

Copyright@2024 by Ergonomics Society of Korea. All right reserved.

1. Introduction

작업자의 생산성, 안전 및 건강을 보장하기 위해서는 피로에 대한 체계적인 관리가 필요하다. 피로는 명확히 합의된 정의는 없으나 정상적인 작업 수준을 유지하는 데 필요한 에너지가 충분하지 못한 상태를 의미할 수 있다(Job and Dalziel, 2000). 일반적으로 피로는 장시간 작업 수행, 수면이나 휴식의 부족, 스트레스 누적 등과 같은 다양한 원인으로 발생할 수 있다(Kim, 2010). 한편, 산업안전 분야에서는 작업자 피로 누적에 따른 사고 발생 위험이 지속적으로 증가하고 있다. 피로도가 높은 작업자들은 작업 수행도가 저하되고 주의력을 유지하기 어려우며 인적오류로 인한 사고 발생 위험이 높아질 수 있다(Park et al., 2023). 특히, 만성적인 피로는 근골격계 질환, 심혈관계 질환, 우울증 등의 건강 문제를 야기할 수도 있다. 따라서, 작업자의 업무 효율을 향상시키고 안전사고를 예방하기 위해서는 일상생활에서 피로를 효과적으로 관리하는 것이 요구된다.

체계적인 피로 관리를 위해서는 작업자의 피로 수준을 정확하게 파악하는 것이 선행되어야 한다. 피로 수준을 탐색하기 위한 방법으로는 설문 조사, 생리적 검사, 인지행동 검사, 생화학적 방법 등이 있다(Park and Kim, 2007). 특히, 피로는 일반적으로 주관적인 경험으로 개인에 따라 차이가 발생할 수 있고 신체적, 생리적, 정신적, 그리고 감정적 측면을 포함하는 다각적 속성을 지니고 있어(Mota and Pimenta, 2006), 자기보고식 설문을 활용하여 측정하는 것이 필수적이다. 또한, 자기보고식 설문을 활용한 피로 측정 방법은 비교적 간편하고 실용적으로 사용 가능하며 다른 측정 방법들과 상호 보완적으로 활용할 수 있다는 특징을 가지고 있다. 따라서, 피로 관리 시스템 구축의 기반을 마련하기 위해서는 작업자의 피로 수준을 효율적으로 측정할 수 있는 설문지 개발이 중요하다.

작업자의 피로 수준을 측정하기 위해 다양한 주관적인 설문지들이 개발되어 왔다. 지금까지 개발된 피로 측정 설문 도구는 크게 단일차원 측정 도구와 다차원 측정 도구로 구분할 수 있다. 먼저, 단일차원 측정 도구의 대표적인 예로는 Pearson and Byars (1956)의 Fatigue Feeling Checklist, McNair et al. (1971)의 Profile of Mood States, Brook et al. (1979)의 Rand Index of Vitality, Montgomery (1983)의 Tiredness Scale, Krupp et al. (1988)의 Visual Analogue Scale (VAS), Krupp et al. (1989)의 Fatigue Severity Scale, Aaronson et al. (1993)의 EORTC-Quality of Life Questionnaire 등이 있다. 이러한 단일차원 측정 도구들은 간단하고 사용이 쉽다는 장점이 있지만, 피로의 다양성을 반영하지 못하고 설문 문항의 구성 및 설계에 따라 결과가 편향될 수 있어 타당도(validity) 및 신뢰도(reliability)에 문제가 발생할 수 있다는 한계가 있다.

한편, 다차원 측정 도구는 단일차원 측정 도구의 문제들을 보완하기 위해 피로 수준을 다각적인 측면에서 포괄적으로 파악하도록 개발되어 왔다. 다차원 측정 도구의 대표적인 예로는 Kogi et al. (1970)의 Fatigue Symptom Checklist (FSCL), Piper et al. (1989)의 Piper Fatigue Scale (PFS), Chalder et al. (1993)의 Fatigue Scale, Schwartz et al. (1993)의 Fatigue Assessment Inventory (FAI), Smets et al. (1995)의 Multidimensional Fatigue Inventory (MFI), Vercoulen et al. (1996)의 Checklist Individual Strength (CIS), Stein et al. (1998)의 Multidimensional Fatigue Symptom Inventory (MFSI) 등이 있다. 그러나, 기존의 다차원 피로 측정 도구들은 주로 특정 질환을 가진 환자를 대상으로 하거나 약물 복용 또는 수면의 질과 관련된 항목에 집중하는 경향이 있어 일상생활에서의 작업자의 피로 효과를 측정하는 측면이 미흡하였다. 또한, 대부분의 다차원 피로 측정 도구들은 측정문항의 수가 과다하여 응답자의 부담이 커지고 측정 및 분석에 필요한 시간 및 비용이 상당히 소요되는 것으로 알려져 있다.

따라서, 본 연구의 목적은 피로가 원인이 되어 발생할 수 있는 생산성 저하와 안전사고 발생 예방을 위해 일상생활에서 작업자의 피로 수준을 비교적 신속하고 정확하게 측정할 수 있는 일일 다원적 피로 척도(Daily Multidimensional Fatigue Inventory, DMFI)를 개발하는 것이다. 이를 위해 본 연구는 국내·외 선행연구 검토 및 전문가들의 자문을 통해 DMFI 설문항목들을 구성하였다. 또한, 다양한 직종을 가진 설문 참가자들의 일상생활 피로 수준이 DMFI 척도를 활용하여 측정되었다. 수집된 설문 데이터는 탐색적 요인분석, 확인적 요인분석, 상관분석, 그리고 신뢰도 분석을 수행하여 DMFI 척도의 타당도와 신뢰도를 검증하는데 활용되었다.

2. Method

2.1 Participants

본 연구는 DMFI 기초문항의 적절성을 검증하기 위해 일반인 274명을 모집하여 설문을 시행하였다. 표본의 수는 문항 수의 20배 이상

을 확보하여 측정 도구의 검증에 적절한 것으로 판단하였다(Stevnes, 2002). 이 중 데이터 누락이 존재하거나 문항의 응답편향이 심하다고 판단되는 14개의 데이터를 제외하여 최종적으로 총 260명(남성: 138명, 여성: 122명; 연령: 39.2±10.0세)에 대한 데이터를 통계분석에 활용하였다. 설문 참가자들은 학생, 사무직, 기술직, 전문직 등으로 다양한 직종에서 무작위로 모집하여 피로 수준이 상이한 환경에서의 일상적인 피로 수준을 측정하고자 하였다. 한편, 본 연구는 데이터 분석에 참고하기 위해 설문 참가자들의 만성 질환에 의한 약물 복용 여부를 추가 조사한 결과, 설문 참가자 중 22명(8.5%)이 고혈압, 당뇨, 갑상선 질환과 관련된 약물을 평소 복용하고 있음을 확인하였다. 모든 설문은 연구 목적 및 방법, 데이터의 익명성, 연구의 자발적 참여 및 중단, 데이터 처리 및 분석 과정에서의 비밀보장 등의 내용에 대해 참가자들에게 사전에 충분히 설명하고 참여동의를 받은 후 진행되었다.

2.2 Procedure

본 연구는 DMFI 척도를 개발하기 위해 문헌 조사, 문항 검토, 그리고 설문지 개발의 3단계 연구 절차를 수행하였다. 먼저, 문헌 조사 단계에서 본 연구는 기존 개발된 다차원 피로 수준 측정 설문지와 국내에서 적용되고 있는 피로 관련 안전 관리 지침들을 검토하여 기초문항을 선정하였다. 다차원 측정 도구들에는 FAI, MFI, CIS 등과 같이 현재까지 다양한 분야에서 전통적으로 널리 사용되는 설문지들을 검토 대상으로 포함시켰다. 한편, 피로 관련 안전 관리 지침들에는 한국산업안전보건공단과 같은 유관기관에서 발행한 안전보건 일반 지침, 건강진단 및 관리 지침 등의 내용들을 검토하여 척도 개발 적용 가능성을 판단하였다. 구체적으로, 기존 연구들을 통해 타당도와 신뢰도가 입증된 MFI 설문문항을 토대로 하되, 그 외 피로 수준 측정 설문지들과 피로 관련 안전 관리 지침들을 추가 검토하여 수정 반영하였다. 다음으로, 문항 검토 단계에서 본 연구는 기초문항들에 대해 7명의 인간공학 전문가들을 대상으로 내용 타당도(content validity)를 검증하였다. 전문가 집단의 내용 타당도 검증 과정에서는 각 문항에 대해 피로 측정을 위한 척도로서의 적절성 여부를 Likert 5점 척도(1점: 매우 타당하지 않다, 3점: 보통이다, 5점: 매우 타당하다)로 측정하였고 평균 4점 미만인 문항은 삭제를, 평균 4점 이상이지만 내용이 중복되거나 서술 표현이 부적절하다는 등의 별도 의견이 존재하는 문항은 수정 및 보완하였다. 최종적으로, 설문지 개발 단계에서 본 연구는 내용 타당도 검토 결과를 바탕으로 일상생활에서 작업자의 피로를 다면적으로 측정할 수 있는 총 13개 설문문항을 선정하였다. 설문지에 포함된 문항들은 Table 1과 같으며, Likert 5점 척도(1점: 매우 그렇지 않다, 3점: 보통이다, 5점: 매우 그렇다)를 활용하여 측정되도록 하였다(Appendix 1 참조).

Table 1. Items for the daily multi-dimensional fatigue inventory (DMFI) questionnaire

Item number	Contents
1	I think physical conditions are affecting my job.
2	I feel more physically strained than usual.
3	I feel like I'm getting less sleep than usual.
4	I feel more tired than usual.
5	I feel like I'm not getting much work done.
6	I feel more exhausted than usual.
7	I think I have a lot of work in a day.
8	I feel like I need a break.
9	I feel more anxious than usual.
10	I feel less able to concentrate on tasks than usual.
11	I have personal concerns.
12	I feel like I'm having trouble with my relationship at work.
13	I don't feel like doing my job.

2.3 Statistical analysis

본 연구는 피로의 다면적 속성을 나타낼 수 있는 요인들의 구성 타당도(construct validity)를 검증하기 위해 탐색적 요인분석(exploratory factor analysis)을 수행하였다. 수집된 데이터의 탐색적 요인분석 조건 충족 여부는 데이터 상관행렬 값들의 유의성을 나타내는 Bartlett 값과 데이터의 전체 상관행렬이 요인분석에 적합한지를 나타내는 Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) 값을 산출하여 확인하였다. 요인 추출 및 회전은 주성분 분석(principal components analysis)과 직교회전 방법 중 하나인 베리맥스(varimax) 방법을 적용하였으며, 요인의 수는 카이저 규칙(Kaiser rule)에 기반하여 eigenvalue가 1 이상인 값의 개수로 결정하였다(Kaiser, 1960). 한편, 본 연구는 탐색적 요인분석으로 도출된 피로 측정 척도 모형의 적합도를 검증하기 위해 확인적 요인분석(confirmatory factor analysis)을 수행하였다. 모형 적합도는 절대적합지수(absolute fit index)와 증분적합지수(incremental fit index) 값들을 기준으로 판단되었다. 또한, 측정 척도들의 신뢰도를 분석하기 위해 내적 일관성(internal consistency)을 측정하는 대표적인 방법 중 하나인 Cronbach-α 값이 적용되었다. 추가적으로, 도출된 요인들과 피로 측정 총합 점수간 상관분석을 실시하여 상호 관계성을 확인하였고 준거 타당도(criterion validity)의 하위 개념 중 하나인 공인 타당도(concurrent validity)를 검증하기 위해 본 연구에서 개발된 DMFI 척도의 피로 측정 종합 점수와 기존에 타당도를 널리 인정받은 VAS 피로 척도를 0점(참을 수 없는 극심한 피로 있음)에서 100점(피로 없음) 범위로 병행하여 측정한 점수 간 상관분석을 수행하였다. 모든 통계 분석은 IBM SPSS Statistics version 25.0과 R version 4.1.3을 사용하여 수행되었다.

3. Results

3.1 Exploratory factor analysis

먼저, KMO 값은 0.881이었고, Bartlett 구형성 검정 근사카이제곱값은 1559.217 (p < 0.001)로 이는 문항간 상관관계 행렬이 단위행렬이 아닌 것을 나타낸다. 따라서, 13개 문항에 대해 수집된 데이터가 탐색적 요인분석 조건을 충족한다는 것을 확인할 수 있었다(Field, 2009; Snedecor and Cochran, 1989). 다음으로, 주성분 분석을 통해 eigenvalue가 1 이상인 요인은 3개임을 확인하였으며, 요인별 포함된 설문항목의 내용을 토대로 '상황적 피로', '정신적 피로', 그리고 '신체적 피로'로 명명할 수 있었다. 상황적 피로 요인에는 문항 3부터 문항 8까지 총 6개 문항이 포함되었다. 문항 내용은 주로 수면의 질, 휴식, 업무 특성 등으로 인해 유발되는 피로에 관한 것들로 파악되었다. 정신적 피로 요인에는 문항 9부터 문항 13까지 총 5개 문항이 포함되었다. 문항 내용은 주로 불안, 집중력, 사회적 관계 등으로 인해 유발되는 피로에 관한 것들로 파악되었다. 신체적 피로 요인에는 문항 1과 문항 2의 2개 문항이 포함되었다. 문항 내용은 주로 건강 상태, 육체적 부담으로 인해 유발되는 피로에 관한 것들로 파악되었다. 마지막으로, 요인들의 누적 설명률은 63.9%이었으며, 각 요인별 요인적재량은 모든 문항에서 0.4 이상인 것으로 나타났다. 구체적으로, 상황적 피로 요인은 eigenvalue가 5.582로 42.9%를, 정신적 피로 요인은 eigenvalue가 1.469로 11.3%를, 그리고 신체적 피로 요인은 eigenvalue가 1.261로 9.7%를 설명하였다. 탐색적 요인분석의 결과는 Table 2와 같다.

Table 2. The result of exploratory factor analysis and reliability analysis

Item number	Factors		
	Situational	Mental	Physical
3	**0.809**	-0.029	0.082
8	**0.742**	0.374	0.079
6	**0.723**	0.478	0.146
4	**0.707**	-0.015	0.093
5	**0.693**	0.436	0.126
7	**0.638**	0.320	0.032
9	0.316	**0.761**	0.042

Table 2. The result of exploratory factor analysis and reliability analysis (Continued)

Item number	Factors		
	Situational	Mental	Physical
12	-0.039	**0.702**	0.181
11	0.110	**0.681**	0.115
13	0.331	**0.637**	0.065
10	0.568	**0.592**	-0.002
2	0.048	0.067	**0.898**
1	0.197	0.221	**0.828**
Eigenvalues	5.582	1.469	1.261
% of variance	42.940	11.297	9.700
Cumulative % of variance	42.940	54.237	63.937
Reliability (Total = 0.883)	0.867	0.786	0.728

3.2 Confirmatory factor analysis

본 연구는 획득된 데이터에 대한 3가지 요인으로 구성된 피로 측정 척도 모형의 적합도를 확인하기 위해 2가지 절대적합지수와 2가지 증분적합지수를 확인하였다. 본 연구에서 활용된 절대적합지수는 Standard Root Mean Residual (SRMR)과 Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA)로, 일반적으로 SRMR은 0.08 이하 그리고 RMSEA는 0.1 이하인 경우 모형이 높은 적합도를 보이는 것으로 해석한다(Browne and Cudeck, 1993). 한편, 증분적합지수는 Tucker-Lewis Index (TLI)과 Comparative Fit Index (CFI)가 활용되었는데, 일반적으로 TLI와 CFI는 0.8 이상인 경우 모형의 적합도가 높다고 판단한다(Kline, 2005). 본 연구의 모형 적합도는 SRMR = 0.058, RMSEA = 0.090, TLI = 0.892, CFI = 0.914로 나타나, 도출된 피로 측정 척도 모형이 전반적으로 수용할만한 적합도 지수 값을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 확인적 요인분석의 결과는 Table 3과 같다.

Table 3. The result of confirmatory factor analysis

Fit index	Criteria	Value
SRMR	≤ 0.08	0.058
RMSEA	≤ 0.1	0.090
TLI	≥ 0.8	0.892
CFI	≥ 0.8	0.914

SRMR: Standard Root Mean Residual; RMSEA: Root Mean Square Error of Approximation; TLI: Tucker-Lewis Index; CFI: Comparative Fit Index

3.3 Reliability and correlation analysis

신뢰도 분석 결과, 전체 문항에 대한 Cronbach-α 값은 0.883으로 매우 높은 신뢰도를 가지는 것으로 나타났으며 각 요인별 Cronbach-α 값 역시 상황적 피로 0.867, 정신적 피로 0.786, 그리고 신체적 피로 0.728로 높은 신뢰도 분포를 확인할 수 있었다(Table 2 참조). 한편, 피로의 다면적 속성을 나타내는 3가지 요인은 피로 측정 총합 점수와 높은 수준의 상관관계(상황적 피로: r = 0.921, 정신적 피로: r =

0.806, 신체적 피로: r = 0.567)를 나타냈으며, 이는 피로의 내적 구조가 '신체적 피로', '정신적 피로', 그리고 '상황적 피로'의 3가지 요인으로 구성될 수 있다는 가정을 지지함을 보여준다. 또한, 3가지 요인간의 상관관계는 낮은 수준의 범위(r = 0.296~0.441)로 현저히 높지 않아(0.850 이하) 비교적 서로 독립적인 관계라 판단할 수 있었다(Kline, 2005). 마지막으로, 공인 타당도 검증을 위해 피로 측정 총합 점수와 참여자들에게 병행하여 측정한 VAS 점수와의 상관분석 결과, 높은 수준의 상관관계(r = -0.678)를 보여주었다. 상관분석의 결과는 Table 4와 같다.

Table 4. The result of correlation analysis

		Factors			Total	VAS
		Situational	Mental	Physical		
Factors	Situational	1.000	–	–	–	–
	Mental	0.441**	1.000	–	–	–
	Physical	0.296**	0.302**	1.000	–	–
Total		0.921**	0.806**	0.567**	1.000	–
VAS		-0.661**	-0.563**	-0.251**	-0.678**	1.000

VAS: Visual Analogue Scale; **p < .01

4. Discussion

본 연구는 작업자의 안전을 보장하고 건강한 생산활동을 유지할 수 있는 기반을 마련하기 위해 일상생활에서 작업자의 피로 수준을 측정할 수 있는 DMFI 척도를 개발하고 타당도 및 신뢰도를 검증하였다. DMFI 척도는 문헌 조사, 문항 검토, 그리고 설문지 개발의 3단계 연구 절차를 걸쳐 총 13개 설문문항으로 개발되었다. 다양한 직종을 가진 일반인을 대상으로 일상생활에서 피로 수준에 대한 설문 데이터를 수집 및 분석한 결과, DMFI 척도는 작업자의 피로 수준을 상황적 피로, 정신적 피로, 그리고 신체적 피로의 3개 하위 요인으로 측정할 수 있음을 확인하였다. 또한, 요인분석, 상관분석, 신뢰도 분석을 포함한 통계적 방법을 통해 DMFI 척도의 타당도 및 신뢰도를 검증하였다. 본 연구에서 개발된 DMFI 척도는 작업자들의 일상 피로 수준을 효율적으로 측정할 수 있으며 피로 유형을 세부 분류하여 이해 및 관리하는 데 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구에서 개발된 DMFI 척도는 하위 구성 개념 측면에서 기존 연구 결과와 부분적으로 유사한 것으로 나타났다. 특히, 작업자 피로의 하위 요인 중 신체적 피로와 정신적 피로는 다양한 선행 연구에서 제시한 피로의 하위 구성 개념과 일치하는 것으로 파악되었다(Chalder et al., 1993; Smets et al., 1995; Stein et al., 1998). 신체적 피로와 정신적 피로는 상호 밀접하게 연관되어 영향을 미치는 요인들로 이전 피로 측정 설문지 개발 연구들에서 그 타당성이 널리 입증되어 왔다. 따라서, 신체적 피로와 정신적 피로 요인이 DMFI 척도의 하위 구성 개념으로 포함된 것은 기존의 연구들이 제시하는 피로의 대표적인 다차원적 속성을 DMFI 척도가 충실히 반영하고 있음을 보여준다.

또한, 본 연구는 신체적 피로와 정신적 피로 외에 DMFI 척도의 하위 구성 개념으로 상황적 피로를 확인할 수 있었다. 대부분의 이전 피로 측정 설문지들은 피로의 다차원적 속성으로 신체적 피로와 정신적 피로 외에 집중력, 동기, 휴식/수면에 대한 반응 등의 요인들이 포함된 것으로 파악되었다(Schwartz et al., 1993; Smets et al., 1995; Stein et al., 1998; Vercoulen et al., 1996). 이는 기존의 다차원 피로 측정 도구들이 근육통성 뇌척수염/만성피로증후군(myalgic encephalomyelitis/chronic fatigue syndrome)이나 암(cancer)과 같은 특정 질환을 가진 환자 대상의 임상적 활용 목적으로 주로 개발되었기 때문인 것으로 판단된다. 그러나, 본 연구에서는 DMFI 척도의 하위 구성 개념 중 상황적 피로 요인이 제 1요인으로 파악되었다. 이는 상황적 피로가 일상생활에서의 작업자의 피로 수준에 대한 설명력이 가장 높았음을 의미하며, 일상생활에서 작업자의 피로 수준이 휴식 및 수면, 작업부하량, 작업환경 등과 관련된 작업 특성에 따라 상대적으로 민감하게 측정되었음을 나타낸다.

한편, 본 연구에서 개발된 DMFI 척도는 일상생활에서 작업자의 피로 수준을 측정하는 데 적합한 것으로 나타났다. 기존 설문지들은 설문 문항의 수가 많아(CIS: 20문항, FAI: 29문항, MFI: 20문항, MFSI: 83문항, PFS: 40문항) 응답하기가 매우 까다롭고 시간이 많이 소요되어 작업현장에 적용하기에는 어려움이 존재하였다. Gawron (2016)에 따르면, 항공 분야 종사자와 같이 일상에서 전체 설문 응답을 완료할 시간이 충분하지 않은 집단의 자가 피로를 측정하는 경우 항목이 10개 이상이면 문제가 발생할 수 있다고 주장하였다. 그러나, 본 연구에서 개발한 DMFI 설문지는 총 13개 문항으로 10개 미만은 아니지만 대체적으로 일반 작업자들이 다양한 상황에서 쉽고 간편하게 피로 수준을 측정하는 데 활용할 수 있을 것으로 사료된다. 또한, 단순하고 직관적인 문항 표현으로 작업자들이 문항을 이해하고 훈련 숙달하는데 필요한 시간을 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 이는 설문의 응답률과 피로 수준의 정확도를 향상시키고 측정 및 분석 비용을 절감하는 데 이점을 가질 것으로 예상된다. 향후 추가적인 연구 수행을 통해 문항 수가 10개 미만이면서 피로 수준 측정 성능이 우수한 설문 문항도 식별할 수 있을 것이다.

본 연구는 내적 일관성을 확인하기 위해 전체 문항 및 각 요인별 문항에 대한 Cronbach-α 값을 산출하여 신뢰도를 검증하였다. DMFI의 신뢰도 분석 결과, 전체 13문항에 대한 Cronbach-α 값은 0.883이고 각 요인별 Cronbach-α 값의 범위는 0.728~0.867인 것을 확인하였다. Cronbach-α 값은 산출하는 과정에서 문항 수에 영향을 받을 수 있기 때문에 문항 수가 적은 경우 그 값이 낮아지는 경향이 있다(Kim, 2013). 그러나, 본 연구에서 개발된 DMFI 척도의 13개 문항은 전체뿐만 아니라 하위 요인별로도 내적 일관성을 유지하는 것으로 나타났다.

본 연구는 탐색적 요인분석에서 추출된 피로 측정 척도 모형의 적합도를 검증하기 위해 확인적 요인분석과 도출된 하위 요인 및 피로 측정 총합 점수간 상관분석을 수행하였다. 그 결과, 확인적 요인분석의 적합지수 값과 상관분석의 상관계수 값 측면에서 탐색적 요인분석에서 추출되었던 3요인 모형이 타당한 것으로 확인되었다. 이는 일상생활에서의 작업자 피로 수준을 측정하기 위한 척도가 신체적 피로, 정신적 피로, 그리고 상황적 피로의 3가지 하위 요인 구조로 나타낼 수 있음을 보여준다. 즉, DMFI 척도는 3가지 하위 요인들이 일상생활에서 전반적인 작업자 피로 수준을 일관성 있게 측정함과 동시에 하위 요인들 간에도 독립성을 유지하는 도구임이 검증되었다.

한편, 본 연구는 DMFI 척도의 공인 타당도를 검증하기 위해 DMFI 척도의 총합 점수와 VAS 점수간 상관관계를 분석하였다. 공인 타당도는 신규 검사 도구를 개발하였을 때 기존에 타당성을 보장받고 있는 검사 도구와의 유사성이나 상관성을 비교하여 신규 검사 도구의 타당성을 검증하는 것을 말한다(Roy et al., 2023). DMFI 척도의 공인 타당도 검증 결과, DMFI 척도의 총합 점수와 VAS 점수는 통계적으로 유의한 수준의 높은 상관관계를 나타냈다. 이는 기존에 널리 쓰이는 VAS 척도를 기준으로 살펴보았을 때, DMFI 척도의 타당성이 확인되었다고 판단할 수 있다.

그러나, 본 연구는 다음과 같은 몇 가지 한계 및 향후 연구 방향이 존재한다. 첫째, DMFI 척도에 대한 타당도 및 신뢰도 검증이 다각적으로 수행되지 못하였다. 향후 고위험 작업자, 산업현장 근로자 등 피로 수준이 상이한 집단 간 점수 비교, VAS 외 다양한 피로 측정 도구와의 상관관계 분석, Psychomotor Cognitive Test (PCT) 점수, 코티졸(cortisol) 값, C-Reactive Protein (CRP) 값 등과 같은 객관적인 피로 측정 지표와의 상관관계 분석 등을 추가 수행하여 DMFI 척도의 타당도를 보다 검증할 필요가 있다. 또한, 도구의 신뢰성 검증 측면에서는 내적 일관성 외에도 안정성 검증이 필요하기 때문에 추후 연구에서는 검사-재검사(test-retest) 신뢰도 검증을 추가 수행할 필요가 있다. 둘째, 제 3요인인 신체적 피로 요인이 2개 문항으로만 구성되어 이론적으로 그 결과에 대해 안정적인 해석이 어렵다는 한계가 있다. 일반적으로 하나의 잠재 요인을 구성하는 측정 변수가 최소 3개 이상일 때 강건하고 의미 있는 요인이 될 수 있다고 알려져 있으므로(Zwick and Velicer, 1986), 향후 이에 대한 보완 연구가 요구된다. 셋째, 본 연구를 통해 개발된 DMFI 척도가 일상생활에서 작업자의 피로 수준을 일반화하는 것으로 보기에 다소 제약이 따를 수 있다. 예를 들어, 본 연구에서 도출된 상황적 피로 요인은 특정 과업 상황에 의존적으로 발생할 수 있기 때문에 구체적인 작업조건, 작업환경, 작업방식 등의 상황 변화에 상당한 영향을 받을 것으로 판단된다. 따라서, 작업 특성에 따라 작업자의 피로 수준을 보다 세부적이고 면밀하게 파악하려는 노력이 중요하다. 예를 들어, 직군, 직무, 직종 등에 따라 피로 판별 기준이 상이할 수 있음을 감안하여, 추후 지속적인 설문 데이터 수집을 통해 각 그룹별 피로 수준의 normative database를 구축할 수 있을 것이다. 이러한 normative database를 바탕으로 피로 위험 등급 산출, 개별 또는 종합 피로 관리 가이드 제공 등의 설문 결과 분석 및 해석 프로토콜이 함께 정립된다면, 본 연구에서 개발된 DMFI 척도는 피로 누적으로 인한 사고를 예방하고 피로 위험을 관리할 수 있는 프로그램 개발이나 피로 수준을 개인 맞춤식으로 측정할 수 있는 시스템 개발에 충분히 활용될 수 있을 것이다.

Acknowledgement

본 연구는 민군협력진흥원(Institute of Civil-Military Technology Cooperation, ICMTC)의 민군협력연구지원사업(20-CM-BD0-18)의 지원을 받아 수행되었습니다.

References

Aaronson, N.K., Ahmedzai, S., Bergman, B., Bullinger, M., Cull, A., Duez, N.J., Filiberti, A., Fletchtner, H., Fleishman, S.B., de Haes, J.C.J.M., Kaasa, S., Klee, M., Osoba, D., Razavi, D., Rofe, P.B., Schraub, S., Sneeuw, K., Sullivan, M. and Takeda, F., The European Organization for Research and Treatment of Cancer QLQ-C30: A quality-of-life instrument for use in international clinical trials in oncology. *JNCI: Journal of the National Cancer Institute*, 85(5), 365-376, 1993.

Brook, R.H., Ware, J.E., Davies-Avery, A., Stewart, A.L., Donald, C.A., Rogers, W.H., Williams, K.N. and Johnston, S.A., Overview of adult health status measures fielded in Rand's Health Insurance Study. *Medical Care*, 17(7), suppl: 1-55, 1979.

Browne, M.W. and Cudeck, R., Alternative ways of assessing model fit. In K.A. Bollen & J.S. Long (Eds.), Testing structural equation models (pp. 136-62), Newbury Park, CA: Sage, 1993.

Chalder, T., Berelowitz, G., Pawlikowska, T., Watts, L., Wessely, S., Wright, D. and Wallace, E.P., Development of a fatigue scale. *Journal of Psychosomatic Research*, 37(2), 147-153, 1993.

Field, A., Discovering statistics using SPSS (3rd ed). London, UK: Sage Publications Ltd, 2009.

Gawron, V.J., Overview of self-reported measures of fatigue. *The International Journal of Aviation Psychology*, 26(3-4), 120-131, 2016.

Job, R.S. and Dalziel, J., Defining fatigue as a condition of the organism and distinguishing it from habituation, adaptation, and boredom. In Stress, workload, and fatigue (pp. 466-476). CRC Press, 2000.

Kaiser, H.F., The application of electronic computers to factor analysis. *Educational and Psychological Measurement*, 20(1), 141-151, 1960.

Kim, D., Countermeasures for stress and fatigue in war field and its limitation. *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, 13(5), 924-932, 2010.

Kim, E., Accessing Factor Structure and Construct Validity of the Successful Aging Inventory. *Journal of Korean Academy of Nursing*, 43(4), 568-578, 2013.

Kline, R.B., Principles and practice of structural equation modeling (2nd ed). New York, NY: Guilford Press, 2005.

Kogi, K., Saito, Y. and Mitsuhashi, T., Validity of three components of subjective fatigue feelings. *The Journal of Science of Labour*, 46, 251-270, 1970.

Krupp, L.B., Alvarez, L.A., LaRocca, N.G. and Scheinberg, L.C., Fatigue in multiple sclerosis. *Archives of Neurology*, 45(4), 435-437, 1988.

Krupp, L.B., LaRocca, N.G., Muir-Nash, J. and Steinberg, A.D., The fatigue severity scale: Application to patients with multiple sclerosis and systemic lupus erythematosus. *Archives of Neurology*, 46(10), 1121-1123, 1989.

McNair, D.M., Lorr, M. and Doppelman, L.F., Manual for the Profile of Mood States. San Diego, CA: Educational and Industrial Testing Service, 1971.

Montgomery, G.K., Uncommon tiredness among college undergraduates. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 51(4), 517-525, 1983.

Mota, D.D. and Pimenta, C.A., Self-report instruments for fatigue assessment: A systematic review. *Research and Theory for Nursing Practice*, 20(1), 49-78, 2006.

Park, H., Jeong, B. and Park, M., Comparison of exposure time to hazard factors and health problems among office, Craft and Elementary Construction Workers. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 42(2), 149-162, 2023.

Park, S. and Kim, D., Relationship between physiological response and salivary cortisol level to life stress. *Journal of the Ergonomics Society of Korea*, 26(1), 11-18, 2007.

Pearson, R.G. and Byars, G.E., *The development and validation of a checklist for measuring subjective fatigue* (report no. 56-115). School of Aviation. USAF, Randolf AFB, Tex, 1956.

Piper, B.F., Lindsey, A.M., Dodd, M.J., Ferketich, S., Paul, S.M. and Weller, S., The development of an instrument to measure the subjective dimension of fatigue. In *Management of Pain, Fatigue and Nausea* (pp. 199-208). Macmillan Education UK, 1989.

Roy, R., Sukumar, G.M., Philip, M. and Gopalakrishna, G., Face, content, criterion and construct validity assessment of a newly developed tool to assess and classify work-related stress (TAWS-16). *PloS ONE*, 18(1), e0280189, 2023.

Schwartz, J.E., Jandorf, L. and Krupp, L.B., The measurement of fatigue: a new instrument. *Journal of Psychosomatic Research*, 37(7), 753-762, 1993.

Smets, E.M.A., Garssen, B., Bonke, B.D. and De Haes, J.C.J.M., The Multidimensional Fatigue Inventory (MFI) psychometric qualities of an instrument to assess fatigue. *Journal of Psychosomatic Research*, 39(3), 315-325, 1995.

Snedecor, G.W. and Cochran, W.G., Statistical Methods (8th ed). Iowa State University press, Ames, 1989.

Stein, K.D., Martin, S.C., Hann, D.M. and Jacobsen, P.B., A multidimensional measure of fatigue for use with cancer patients. *Cancer Practice*, 6(3), 143-152, 1998.

Stevens, J., Applied multivariate statistics for the social sciences (Vol. 4). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 2002.

Vercoulen, J.H.M.M., Hommes, O.R., Swanink, C.M.A., Jongen, P.J.H., Fennis, J.F.M., Galama, J.M.D., van der Meer, J.W.M. and Bleijenberg, G., The measurement of fatigue in patients with multiple sclerosis: a multidimensional comparison with patients with chronic fatigue syndrome and healthy subjects. *Archives of Neurology*, 53(7), 642-649, 1996.

Zwick, W.R. and Velicer, W.F., Comparison of five rules for determining the number of components to retain. *Psychological Bulletin*, 99(3), 432, 1986.

Author listings

Sungho Kim: sunghokim1123@gmail.com
Highest degree: Ph.D., Department of Industrial Engineering, Seoul National University
Position title: Associate Professor, Department of Systems Engineering, R.O.K. Air Force Academy
Areas of interest: Human Factors in Aviation and Aerospace, Human Performance and Workload Assessment, User Interface Design and Evaluation

Seunghoon Yoo: shyoo.rokafa@gmail.com
Highest degree: Ph.D., Department of Computer Science and Engineering, Seoul National University
Position title: Professor, Department of Computer Science, R.O.K. Air Force Academy
Areas of interest: Visual Analytics, Information Visualization, Human-Computer Interaction, Modeling and Simulation

Dongsoo Kim: dongsookim04@gmail.com
Highest degree: Ph.D., Department of Environmental Health Sciences, SUNY at Albany
Position title: Professor, Department of Physics/Chemistry, R.O.K. Air Force Academy
Areas of interest: Human Stress and Fatigue Assessment, Psychophysiology

Yongkyun Lee: mathyouth@gmail.com
Highest degree: Ph.D., Department of Mathematics, Hanyang University
Position title: Associate Professor, Department of Mathematics, R.O.K. Air Force Academy
Areas of interest: Computational Statistics, Reliability Analysis, Nonparametric Statistics, Deep Learning, Bio Signal Processing

Appendix 1. Daily multidimensional fatigue inventory (DMFI) questionnaire

일일 다원적 피로 척도(Daily Multidimensional Fatigue Inventory) 설문지

안녕하십니까? 바쁘신 중에도 소중한 시간을 내어주셔서 감사합니다.

본 설문은 **일상생활에서의 피로 수준을 효과적으로 관리할 수 있는 방안에 대한 연구**를 수행하기 위하여 제작되었습니다.

설문지는 **총 13개 문항**으로 구성되어 있으며, 설문내용을 읽고 **응답하는데 소요되는 시간은 약 5 ~ 10분**입니다.

자신이 느끼는 피로 수준을 각 항목에 따라 선택해 주시기 바라며, 응답하지 않은 문항이 있으면 해당 설문지는 분석할 수가 없으니 **한 문항도 빠짐없이 성의있게 응답**하여 주시기를 부탁 드립니다.

설문 결과는 익명으로 처리되므로 특정 개인의 정보는 노출되지 않으며, 통계법 제8조에 의거하여 통계자료 목적 이외에는 사용되지 않음을 약속 드립니다.

끝으로 바쁘신데도 불구하고 귀중한 시간을 내어 설문에 응해주심에 다시 한번 감사드립니다.

1. 나는 신체 상태가 나의 업무에 영향을 주고 있다고 생각한다.
(I think physical conditions are affecting my job.)

매우 그렇지 않다 (Strongly disagree) — 보통이다 (Neutral) — 매우 그렇다 (Strongly agree)

① ② ③ ④ ⑤

2. 나는 평소보다 육체적 부담을 느낀다.
(I feel more physically strained than usual.)

매우 그렇지 않다 (Strongly disagree) — 보통이다 (Neutral) — 매우 그렇다 (Strongly agree)

① ② ③ ④ ⑤

3. 나는 평소보다 수면이 부족하다고 느낀다.
(I feel like I'm getting less sleep than usual.)

매우 그렇지 않다 (Strongly disagree) — 보통이다 (Neutral) — 매우 그렇다 (Strongly agree)

① ② ③ ④ ⑤

4. 나는 평소보다 피곤하다고 느낀다.
(I feel more tired than usual.)

매우 그렇지 않다 (Strongly disagree) — 보통이다 (Neutral) — 매우 그렇다 (Strongly agree)

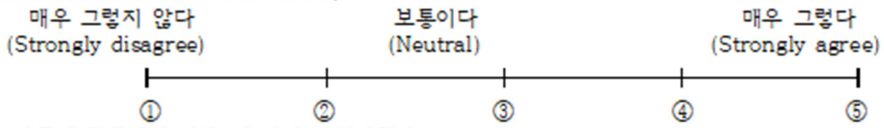
① ② ③ ④ ⑤

5. 나는 업무를 거의 하지 못하고 있다고 느낀다.
(I feel like I'm not getting much work done.)

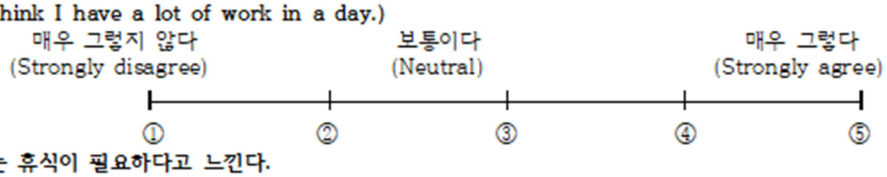
매우 그렇지 않다 (Strongly disagree) — 보통이다 (Neutral) — 매우 그렇다 (Strongly agree)

① ② ③ ④ ⑤

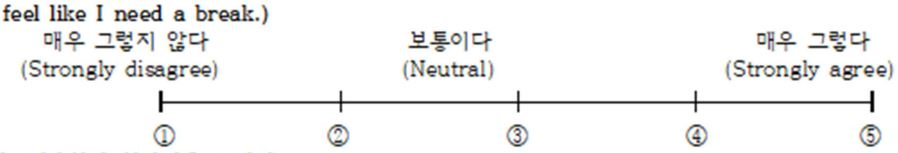
6. 나는 평소보다 지쳐있다고 느낀다.
(I feel more exhausted than usual.)



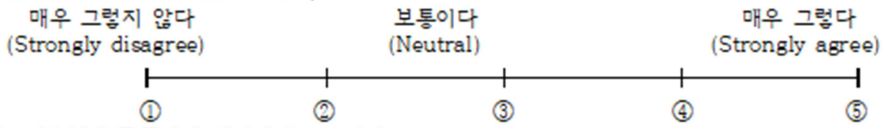
7. 나는 하루에 업무량이 많은 것 같다고 생각한다.
(I think I have a lot of work in a day.)



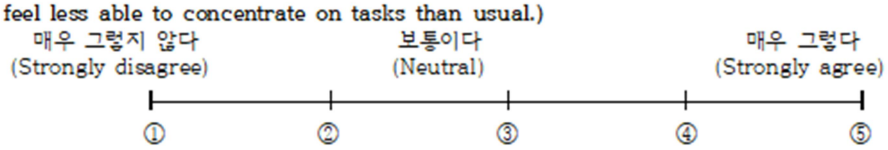
8. 나는 휴식이 필요하다고 느낀다.
(I feel like I need a break.)



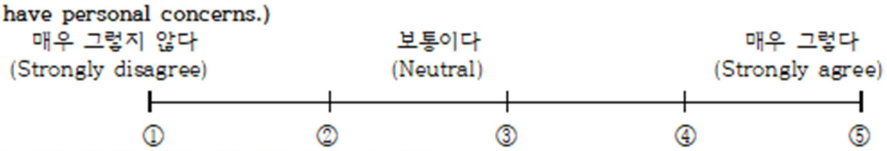
9. 나는 평소보다 불안감을 느낀다.
(I feel more anxious than usual.)



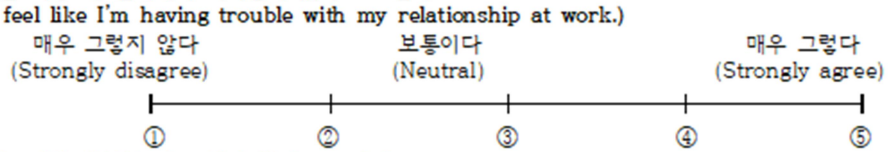
10. 나는 평소보다 집중력이 떨어진다고 느낀다.
(I feel less able to concentrate on tasks than usual.)



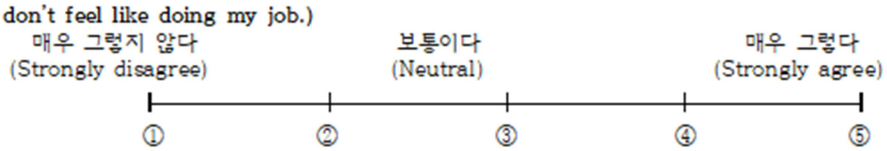
11. 나는 개인적인 고민이 있다.
(I have personal concerns.)



12. 나는 직장 내 관계에서 어려움이 있다고 느낀다.
(I feel like I'm having trouble with my relationship at work.)



13. 나는 맡은 업무를 하고 싶지 않다고 느낀다.
(I don't feel like doing my job.)



▶ 설문에 응해주셔서 대단히 감사합니다 ◀