

생리신호를 사용한 단조 작업 수행시 정신 피로도의 측정과 평가 (I)*

Measurement and Assessment of Mental Fatigue using Biosignals during Monotonous Task (I)*

고한우**, 윤용현**, 김동윤***, 이창미**

Han Woo Ko**, Yong Hyeon Yun**, Dong Youn Kim***, Chang Mi Yi**

요약 단조 작업에 의한 정신적 피로도의 평가를 위하여 피험자에게 1자리수 숫자 3개를 더하는 연산 작업을 수행하게 하였다. 주관적 평가를 통해 단조작업임이 확인된 task를 사용하여 작업 시간이 증가함에 따라 단조감이 증가하도록 실험과정을 설계하고 생리신호를 측정하였다. 측정된 생리신호 중 심전도, 피부온도, 호흡을 분석하였다. 단조 작업을 수행함에 따라 피부온도의 증가 경향이 나타났으며, 심박 변화율의 전력스펙트럼 분석결과 고주파성분의 감소와 power spectrum balance가 증가하였다. 특히 power spectrum balance와 주관적 평가치의 상관관계가 높게 나타났다. 또한 상관관계가 높은 생리신호를 사용하여 정신피로도를 예측한 결과(R=0.945)가 정신피로도를 잘 나타낼 수 있음을 알 수 있었다.

1. 서론

피로와 스트레스는 정신적 요소에 의한 것과, 육체적 요소로 인한 것으로 나눌 수 있으며 현대 사회는 과학 기술의 발달로 육체적 작업들은 점차 사라져가고 정신적 작업에 대한 요구가 증가하고 있다. 이로 인한 정신적 피로 스트레스의 발생은 인간이 쾌적한 삶을 영위하는데 있어 저해요소로 작용하고 있다.

인간은 하루일과 중 대부분을 생활공간(주거공간, 사무공간)에서 보내며 생활공간을 피로와 스트레스가 적게 유발되는 공간으로 만들어 주는 것은 물론 보다 빨리 피로와 스트레스를 회복시킬 수 있는 공간으로 만든다면 생활의 쾌적함 및 질적 향상을 도모할

수 있다. 이러한 생활 공간을 창출하기 위해서는 먼저 피로와 스트레스를 정량적으로 평가할 수 있는 기술이 필요하다.

피로와 스트레스를 정량적으로 평가하기 위한 연구로는 정신적 요소에 의한 영향을 평가하기 위해 신체 조직의 산화도를 측정하는 방법, 안면 피부온도의 차이를 측정하여 평가하는 방법, 심박변화율(heart rate variability : HRV)을 이용한 방법 등이 있으며 육체적 요소에 의한 영향을 평가하기 위해 근전도 신호의 평균주파수, 전력을 이용한 방법 등의 연구가 활발히 진행되고 있다(1-3).

피로와 스트레스를 유발하는 정신적 작업 부하(Mental Work-load : MWL)는 긴장성 작업부하와 단조성 작업부하로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 단조성 작업에 의한 정신 피로감을 평가하기 위하여 피험자에게 단조감을 유발하도록 하는 작업과 실험 과정을 설계하여 평가하였다. 작업 중 생리신호를 측정하여 생리신호와 주관 평가와의 상관관계를 분석하고

* 본 연구는 과학기술부지원 G7 감성공학과의 연구비 지원을 받아 수행되었음. (과제번호: G17-B-01)

** 한국표준과학연구원 인간공학연구그룹
Tel. : (042) 868-5252

E-mail : hwko@kriss.re.kr

*** 연세대학교 의용전자공학과

지하고 있기 때문에 실험 종료에 다가갈수록 실험이 빨리 끝났으면 하는 피험자의 욕구가 부정적인 영향으로 나타난다. 이를 종말효과라고 하며, 피험자에게 전체 작업횟수를 12회라고 하여 종말 효과를 피하도록 하였다. 또한, 실험 시작 전에 작업을 미리 충분히 연습 시켜 작업을 수행함으로써 오는 긴장감을 감소시켰고 휴식 없이 작업을 반복함으로써 단조감이 증대되도록 하였다. 본 실험 부분은 초기안정화구간(REST 0 : R₀), 작업 수행구간(TASK 1~TASK 10 : T₁~T₁₀), 후기안정화구간(REST1 : R₁)으로 구성되었다.

2.3. 데이터 수집

작업의 단조감과 정신적 작업 부하로 인한 피로감을 평가하기 위해 개발된 설문지를 사용하여 주관적 평가를 실시하였다(6-7). 또한 작업수행 시 피험자의 주관량과 행동량의 관계를 살펴보기 위하여 반응시간과 점수를 구하였다.

생리신호는 심전도(electrocardiogram : ECG), 맥파(photoplethysmogram : PPG), 피부온도(skin-temperature : SKT), 호흡(re-spiration : RESP)을 Biopac사의 MP-100 (16bit A/D 변환)을 사용하여 샘플링 주파수 500Hz로 획득하였다.

심전도는 Lead II법을 사용하여 측정하였다. 맥파와 피부온도는 각각 왼손 검지 손가락과 중지 손가락에서 측정하였고, 호흡 간격은 코밑에 sensor를 부착하여 측정하였다. 피부온도센서의 접촉시간 증가에 따른 측정값의 증가를 최소화하기 위해 주변온도를 25℃로 일정하게 유지하였다.

본 논문에서는 측정된 생리신호 중 맥파를 제외한 나머지 자율신경계의 신호를 먼저 분석하였다.

생리신호의 분석은 Biopac사의 소프트웨어 AcqKnowledge 3.5를 사용하여 호흡신호로부터 호흡간격(Respiration Interval : RI)을 구하고, 심전도신호로부터 R-peak를 검출하여 R-R 간격(RRI)을 구하였다. 이렇게 구한 R-R 간격은 일정 시간 간격의 시계열 데이터가 아니기 때문에 spline 보간 후 4 Hz로 resampling하여 순간 R-R 간격을 구한 후 1차 선형 근사화 방법을 이용하여 저주파 선형성분을 제거해 주파수 분석에 사용될 수 있게 하였다.

심박 변화율의 전력스펙트럼분석은 교감신경계와 부교감 신경계의 활동을 파악하는데 유용하며 본 연구에서는 심박 변화율의 전력스펙트럼을 구하는데 적

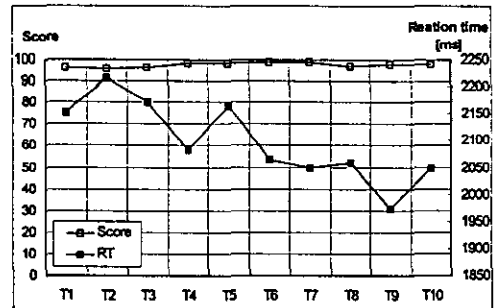
은 데이터에서도 분해능이 높은 스펙트럼 추정이 가능한 20차 자기회귀(autoressive : AR)모델을 적용하여 LF(0.01 - 0.08Hz), HF(0.15 - 0.5Hz) 성분과 LF/HF비를 구하고 초기안정화구간(R₀)을 기준으로 각 작업구간에서 구한 LF/HF비를 나누어 식(1)과 같이 Power Spectrum Balance(PSB)비를 구하였다(8).

$$PSB = \frac{LF_{T_n}/HF_{T_n}}{LF_{R_0}/HF_{R_0}} \quad (1)$$

LF_{T_n}, HF_{T_n} : Taskn의 power spectrum의 LF, HF 성분.

LF_{R_0}, HF_{R_0} : 초기안정화구간(R₀)의 power spectrum의 LF, HF 성분.

다른 생리신호들은 획득된 데이터의 분당 평균값을 구하고 R₀일 때의 분당평균데이터 값을 기준으로 정규화 하였다.

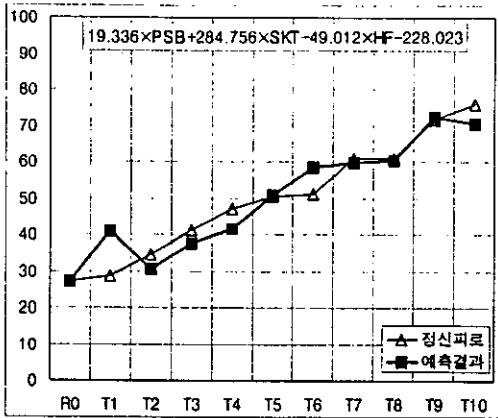


(그림 2) 단조작업 수행 중 평균 반응시간과 점수.
(Fig. 2) Average of reaction time and score during monotonic task.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. Performance 및 생리신호 분석 결과

윤용현 등은 사전 연구를 통하여 설계한 실험과정 및 작업이 단조작업을 평가하는데 적합함을 주관적 평가를 이용하여 확인하였다(6). 그림 2는 작업수행 시 피험자 전체에 대한 반응 시간(Reaction time : RT)과 점수(각 구간 당 100점 만점)의 평균값을 나타내었다. 작업의 횟수를 거듭할수록 반응시간이 짧아지고 연산점수는 전 구간에 걸쳐 만점에 가까운 결과를 나타내었다. 이는 설계한 작업의 난이도가 높지



(그림 5) 정신피로도의 예측 결과.
(Fig. 5) Prediction of mental fatigue.

3.2. 정신피로도의 평가

생리신호로부터 정신피로도를 예측하기 위하여 먼저 측정된 생리신호 데이터들과 주관적 평가치들과의 상관관계를 분석하고 그 결과를 표 2에 나타냈다. 피부온도는 의욕감퇴(0.895), 각성(0.857), 권태감(0.645)에서 상대적으로 높은 상관관계를 보였으며 HRV의 HF성분은 의욕감퇴 각성을 제외한 전체항목에서, PSB는 의욕감퇴를 제외한 전체 항목에서 각각 0.617, 0.668 이상의 높은 상관관계를 나타내었다. RRI, 호흡간격, 심박 변화율의 LF성분은 주관 평가치 전체 항목에서 상대적으로 상관관계가 적었다.

정신피로도와 높은 상관관계를 나타내는 생리신호를 독립 변수로 사용하여 다중회귀식(2)를 구하여 정신피로를 예측하여 그림 5에 나타냈다.

$$\begin{aligned} \text{정신피로} = & 19.3 \times \text{PSB} + 284.8 \times \text{SKT} \\ & + 49.0 \times \text{HF} - 228.0 \end{aligned} \quad (2)$$

생리신호의 평균값을 사용한 예측에서는 예측모델이 정신피로를 잘 예측하였다(R= 0.945). 그러나, 피험자 개인의 데이터를 사용하여 예측한 경우 개인차의 영향이 크게 나타났다. 추후 더 많은 피험자의 데이터를 확보하고 보다 많은 생리신호와의 상관관계를 분석한다면 개인차를 극복할 수 있는 예측모델을 구할 수 있으리라 생각된다.

4. 결론

단조 작업에 의한 정신피로를 측정할 수 있는 작업 개발 및 평가를 하였다. 그때 자율 신경계의 생리신호를 측정하여 단조 작업시의 주관감과의 상호 상관 관계를 살펴보면 피부온도와 심박 변화율의 HF성분, PSB의 생리신호 파라미터가 주관적 평가치와 상관관계가 높게 나타나 이들 생리신호가 단조 작업에서 오는 정신 피로를 평가하는데 적합함을 알 수 있었다. 이러한 생리신호를 사용하여 정신피로를 예측하는 다중회귀식을 작성하여 정신피로도를 예측하였다. 아직 실험 횟수도 많지 않아 데이터 량이 적고 개인차에 의한 영향을 극복할 수는 없지만 추후 데이터가 많이 확보되고 보다 많은 생리신호파라미터를 찾아낸다면 개인차를 극복한 정확한 예측모델을 개발할 수 있으리라 생각된다.

참고문헌

- (1) 人間生活工學研究센터(1999), 人間感覺計測應用技術 研究 開發完了 報告會, 25-47.
- (2) 人間生活工學研究센터(1999), 人間感却 計測 應用技術 project - 研究要約 -.
- (3) Keiko ISHIKAWA, Hirokazu GENNO, Mieko OHSUGA, Takeyoshi KURIHARA, Yasuyuki NISHIO, Maya SUZUKI(1996), Evaluation of mental Stress During a Monotonous Task Using Facial Skin Temperature, 12th Symposium on Human Interface, 349-352.
- (4) ISO-10075 Ergonomic principles related to mental work-load—General terms and definitions.
- (5) ISO-10075-2 Ergonomic principles related to mental work load—part 2 : Design principles.
- (6) 이창미, 고한우, 윤용현(2000), 단조작업시 정신피로도 측정을 위한 한국어판 질문지에 관한 연구, 감성과학회 2000 춘계학술대회 논문집, 195-202.
- (7) 윤용현, 고한우, 김동윤, 이창미(1999), 단조작업에 의한 정신 피로의 평가 -생리신호를 중심으로-, 감성과학회 1999 추계학술대회 논문집, 222-226.
- (8) K. Honda(1999), Influence of Sound Tempo on Heart Rate Variability and Comfort, 生理人類學會誌, 2-1, 33-38.