생리신호를 이용한 연산작업시의 집중도의 평가

윤용현, 고한우, 김동윤*, 양희경, 김묘향
한국표준과학연구원, 연세대학교*

Evaluation of Concentration using Phsiological Signals during Mental Arithmetic Task

Yong Hyeon Yun, Han Wo Ko, Dong Youn Kim*,
Heui Kyung Yang, Myo Hang Kim

Korea Research Institute of Standards and Science, Yonsei Univ.*,

Abstract

집중도 변화와 정신피로는 정의 방향의 평가와 부의 방향의 평가가 있으며, 작업 수행시의 집중변화와 정신피로의 평가는 정의 방향보다 부의 방향으로의 평가가 용이하다. 따라서, 저자들은 먼저 피험자에게 부가할 정신작업부하로 난이도 조정이 용이한 연산작업을 사용하여 작업수행시 가장 높은 집중을 요구하는 하나의 난이도를 선정하고 피험자에게 반복 수행시키면서 생리량과 심리량을 동시에 측정하였다. 측정된 생리량은 뇌파, 심전도, 호흡, 맥파, 말초피부온이며 심리량은 저자들이 개발한 정신피로설문지를 사용하였다.

분석결과 작업수행시 심박변화율의 전력스펙트럼 MF/(LF+HF)비가 감소하였으며, 작업이 반복됨에 따라 집중이 저하되고 정신피로가 증가하였다. 특히, 뇌파의 beta파와 호흡간격이 집중도의 변화를 말초피부온이 정신피로를 잘 반영하였다.

Keywords: 집중도, 뇌전도, 심전도

1. 서 론

현재의 사회는 공업화 사회에서 정보통신의 사회로 급격히 변화하고 있다. 정보통신기기의 발전과 더불어 각 가정까지 보급된 초고속 정보통신망을 기반으로 하여 인간의 업무공간을 사무공간으로 제한하지 않고 주거공간으로까지 확장하였다. 또한 과학기술의 발달은 인간이 환경에 순응하는 피동적인 관계에서 보다 인간 중심적인 쾌적한 환경을 제공해주는 기반이 되고 있다. 쾌적한 환경이란 피로와 스트레스가 적게 유발되는 환경을 의미하며, 이러한 환경은 개인의 능력을 최대화시킬 수 있는 환경이다. 개인의 능력의 최대화는 어떠한 작업이나 행위를 함에 있어서 얼마나 그것에 집중을 했느냐에 따라 크게 변화한다. 즉, 보다 집중하기 쉬

운 환경이란 피로와 스트레스가 적게 유발되며 쾌적한 환경을 의미한다. 이러한 환경을 인간에게 제공하기 위해서는 무엇보다도 먼저 집중에 대한 평가 기술을 확립하는 것이 중요하다.

집중도 평가에 관한 연구로는 첫째, 아동의 주의력 결핍 장애(attention deficit disorder, ADD)와 주의력 결핍 과잉 운동 장애(attention deficit hyperactivity disorder, ADHD)의 진단과 Bio feedback을 이용한 증상개선에 관한 연구가 주를 이루고 있으며, 둘째로 시청각의 선택적 주의 집중시 event related potential(ERP)에 관한 연구가 이루어 졌다[1]. 그러나 전자의 경우는 엄밀히 정상인과 환자간의 구분과 치료를 목적으로 하고 있으며, 후자의 경우는 뇌 기능 자체를 파악하고자함을 목적으로 하고 있다. 따라서 정상인을 대상으로 하는 의식집중에 대한 평가가 필요하다.

정상인을 대상으로 하는 집중도 평가로는 기공사, 장기기사, 향수 감별사의 집중시 α파의 동기가 두피 전 부분에 걸쳐 일어나며, 집중이 커질수록 출현빈도가 많아진다고 하는 보고가 있다. 또 다른 시각에서의 평가로는 집중시 frontal midline θ 파가 증가한다는 연구가 있다[2-3]. 그러나 이들 방법 모두가 topographic mapping에 의한 방법으로 많은 수의 뇌파 측정용 전극장착이 필요하며 이로 인하여 평가 시에 피험자에게 부담을 주게된다. 또한 명상이나 참선 등의 task를 사용함으로서 집중의 대·소 구별을 명확하지 않은 단점이 있다.

본 논문에서는 피험자에게 연산작업을 부가하여 지속적으로 집중도를 감소시켜가며 동시에 생리신호와 주관량, 행동량을 측정하여 보다 객관적인 평가를 도모하였다.

2. 실험 방법

2.1. 평가용 task

평가용 task는 본 저자들이 개발한 연산 task를 사용하여 피험자에게 정신작업부하를 부가하였다. 그림 1은 연산 작업화면의 예이다. 연산 작업 결과가 화면에 제시된 숫자와 같으면 5초 내에 컴퓨터 숫자키보드의 [1]을, 다르면 [2]를 누른다. 또한 팔의 움직임을 적게 하기 위해 키보드 입력시 오른손 검지와 중지만 사용하도록 지시하여 잡음 발생을 최소화하였다.

실험에 사용된 난이도는 예비실험을 통하여 집중이 제일 유발된다고 하는 3단계(한자리수 숫자 4개의 덧셈)를 사용하였다.

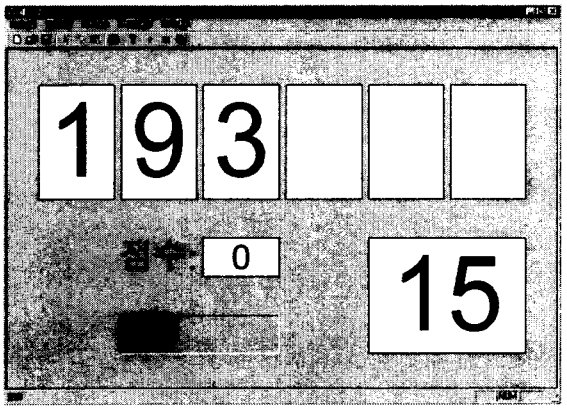

그림 1. 연산 작업화면 예.

2.2. 실험 조건

실험은 한국표준과학원 주거/사무환경 감성 측정평가시설 내 사무환경 챔버(조도 700 lx, 색온도 4000K, 암소음 25 dB이하)에서 실시하였다. 실험 당시 온·습도 조건은 23 ℃, 40% R.H.이었으며 모든 외부 자극으로부터 피험자를 독립시켰다. 피험자의 상태를 모니터링 하기 위하여 CCD camera와 마이크를 설치하였다.

피험자는 과거 정신적 병력이 없고 건강한 남성 2명을 대상으로 실험을 실시하였으며 실험전일 8시간 이상의 수면과 실험 시작 2시간 이전부터는 음식을 섭취하지 않도록 미리 요구하였다.

2.3. 실험 절차

표 1에 전체 실험 절차를 나타냈다. 실험 절차는 피험자에게 실험에 관하여 설명하는 부분과 본 실험 부분으로 크게 둘로 나누어져 있다. 피험자가 실험실에 도착하면 먼저 피험자에게 실험의 목적 및 절차를 설명하고 실험자의 간섭 없이 피험자 독자적으로 실험을 실시하고

표 1. 실험 절차

시간	20분	10분	30분	3분	10분	3분	10분	3분	10분	3분	10분	3분	10분	3분	10분	3분	10분	3분	10분	3분	10분	3분	10분	3분	10분	3분	10분	3분
실험절차	실험절차설명	전극부착및확인	TASK연습	설문지1	REST 0	설문지2	TASK1	설문지3	TASK2	설문지4	TASK3	설문지5	TASK4	설문지6	TASK5	설문지7	TASK6	설문지8	TASK7	설문지9	TASK8	설문지10	TASK9	설문지11	TASK10	설문지12		

피험자는 외부에서 모니터링만 할 수 있도록 충분히 숙지시켰다. 피험자가 실험 절차를 숙지하고 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, 휴식없이 작업을 반복함으로서 정신피로의 증가에 따라 집중감이 감소하도록 설계하였다. 본 실험 부분은 초기안정화구간(REST 0, R_0), 작업 수행구간(TASK 1~TASK 10 : T_1~T_{10})으로 구성되었다.

2.4. 데이터 수집 및 분석

심리량 계측을 위한 설문지는 정신피로를 평가하기 위하여 일본 인체감각측정기술개발연구에서 개발된 일과성 스트레스평가 척도(Phasic Stress Scale, PSS)와 피로/각성 주관평가척도(Roken Arousal Scale, RAS)를 한국의 실정에 맞도록 수정 보완한 설문지를 사용하였다. 설문지는 긴장, 편안함, 전반적 활성, 의욕감퇴, 주의집중곤란, 각성저하, 권태감의 7인자에 해당되는 14가지 설문항목으로 구성되어 있다.

생리신호는 뇌전도(electroencephalogram, EEG), 심전도(electrocardiogram, ECG), 맥파(photoplethysmogram, PPG), 피부온도(skin-temperature, SKT), 호흡 (respiration, RSP)을 Biopac사의 MP-100(16bit A/D 변환)을 사용하여 샘플링 주파수 512Hz로 획득하였다.

그림 2 뇌전도 신호의 분할

뇌전도는 국제 10-20 전극 배치 법에 따라 Fp1, Fp2의 두 곳에서 측정하였으며, 심전도는 Lead Ⅱ법을 사용하여 측정하였다. 맥파와 피부온도는 각각 왼손 검지와 중지 손가락에서 측정하였고, 호흡 간격은 코밑에 sensor를 부착하여 측정하였다.

측정된 뇌전도 신호의 통계적 특성은 임의의 시간간격에 따라 일정하지 않다. 일반적인 뇌전도 신호의 분석방법인 고속 푸리에 변환(fast Fourier transform, FFT)과 자기회귀모델(autoregressive, AR) modeling에 의한 전력스펙트럼 분석은 stationary한 신호에만 적용할 수 있다. 긴 구간의 뇌전도 신호는 stationary하지 않으므로 FFT나 AR model을 적용할 수 없다. FFT나 AR model을 적용하기 위해서는 측정된 뇌전도 신호를 보다 짧은 구간으로 분할하여야 한다. 본 연구에서는 측정된 뇌전도 신호를 2초 간격의 크기 프레임(frame)을 1초 간격으로 이동시켜가며 분할하여 분석에 사용하였다(그림 2).

분할된 뇌전도 신호의 프레임들 중 눈 깜박임이나 눈동자의 움직임에서 유발된 근잡음이 포함된 프레임은 분석 시에 오류를 증가시킨다. 이러한 안구 전위에 의한 잡음의 영향은 전두엽부근에서 크게 발생하며 이를 최소화 하기 위하여 식 1의 표준편차필터를 적용하여 분석에 사용될 프레임을 선정하였다.

$$IF \quad \left(3 \cdot \sqrt{\frac{n_k\sum x_k^2-(\sum x_k)^2}{n_k(n_k-1)}} \geq 50\right) \qquad (1)$$

$$THEN \quad Eblk_k = true$$

$$ELSE \quad Eblk_k = false$$

심전도 신호의 분석은 Biopac사의 Software AcqKnowledge ver.3.5를 사용하여 R-peak를 검출하여 Inter beats Interval(IBI)을 구했다. 이렇게 구해진 IBI에 spline보간을 취하고 4 Hz로 resample하여 전력스펙트럼분석에 사용하였다.

심박변화율(heart rate variability, HRV)의 전력스펙트럼분석은 교감신경계와 부교감신경계의 활동을 파악하는데 유용하다. 본 연구에서는 Fast Fourier Transform을 사용하여 심박변화율의 전력스펙트럼의 저주파성분(LF : 0.01-0.08 Hz), 중간주파성분(MF : 0.08-0.15 Hz), 고주파성분(HF : 0.15-0.5 Hz)을 구했다.

다른 생리신호들은 획득된 데이터의 session 당 평균값을 구하고 R_0일 때의 평균데이터 값을 기준으로 정규화 하였다.

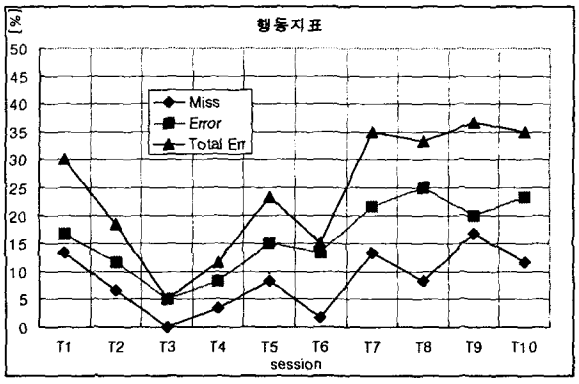

그림 4. 작업 수행 결과

3. 실험결과 및 고찰

그림 3과 4에 각각 집중과 정신피로에 관한 주관평가 결과와 작업수행 결과를 나타냈다. 집중곤란 감은 작업수행 초기 T1에서부터 감소하여 T3에서 최소가 되었다. 이는 연산을 반복함에 따라 습관화가 일어나면서 보다 작업을 용이하게 수행할 수 있었기 때문에 상대적으로 집중이 잘 된 것으로 사료된다. 그러나 T4이후부터 정신피로의 증가 및 누적으로 집중은 점차로 곤란해졌다. 작업수행 결과에서도 집중이 제일 용이했을 때의 작업오류율이 제일 낮았다.

생리신호 중 호흡간격은 휴식에 비하여 작업수행시 약 50%감소하였으나 집중이 제일 잘 되는 T3에서 최고 값을 기록하였으며 T3이후 감소하였다. IBI도 T3에서 제일 짧게 나타났으나 뚜렷한 경향이 나타나지 않았다. 그러나 피부온은 정신피로가 증가함에 따라 꾸준히 감소하였다.

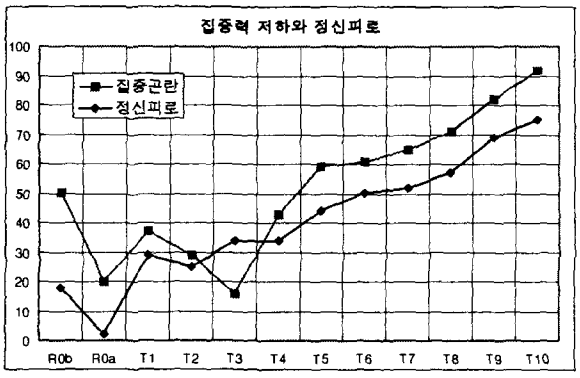

그림 3. 주관평가 결과

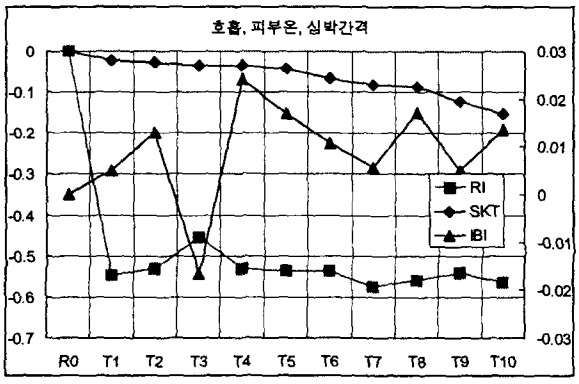

그림 5. 호흡간격, 피부온, 심박간격의 변화

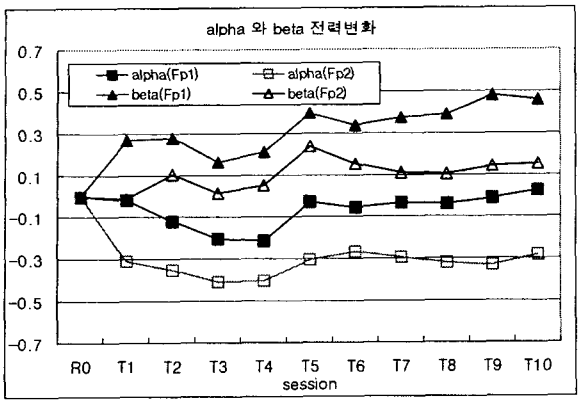

그림 6. Fp1,Fp2에서 α, β 대역의 전력변화

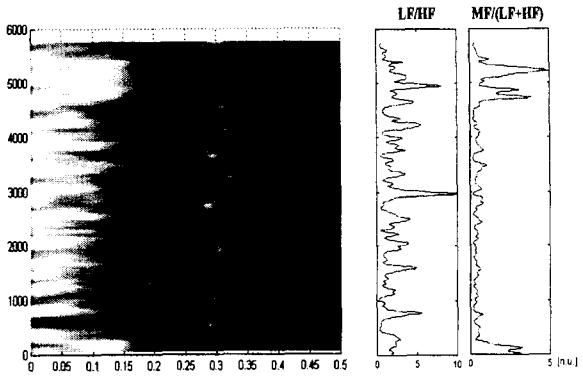

그림 7. 심박변화율의 전력스펙트럼

뇌전도의 전력스펙트럼 변화 비를 그림 6에 나타냈다. 안정시보다 작업수행시 beta대역의 전력이 전반적으로 크게 나타났으며 이는 정신작업부하를 반영하는 것이라 생각된다. 특히 작업수행도중의 beta대역 전력의 크기는 집중이 잘된다고 보고한 T3에서 최소 값을 가졌다. 또한 좌우뇌 전력 비교시 좌뇌의 전력이 더 크게 나타났으며 이는 task에 의한 영향인 것으로 사료된다. 좌뇌의 beta 파는 작업수행시 T3를 최소 값으로 하여 점차로 증가하였다. 특히 주관평가항목 중 집중곤란 항목과 그 경향이 잘 일치하고 있어 추후 이 대역에 대하여 더욱 자세한 분석을 실시할 필요가 있다.

그림 7은 안정과 작업수행시 전반에 대한 심박변화율의 전력스펙트럼 결과이다. 가로축은 주파수를 세로축은 시간을 나타내며 밝게 빛날수록 큰 전력을 어두워질수록 낮은 전력을 나타낸다. 안정 시에 비하여 작업수행시 MF성분이 감소하였으며 이것은 정신작업부하를 반영한 것이라 생각된다. 또한 LF/HF비도 점차로 증가하는 경향을 나타내고 있어 정신피로를 잘 반영하였다.

4. 결 론

집중도가 감소하는 실험절차를 개발하고 기초 평가를 실시하였다. 그때 뇌파와 자율신경계의 생리신호, 주관평가, 작업수행도를 측정하였다. 집중도는 실험 절차에 따라 점차적으로 감소하였으며 이것은 정신피로가 증가하였기 때문이라 사료된다. 동시에 호흡간격과 Fp1에서의 뇌전도 beta대역의 전력이 집중도 변화를 잘 반영하였다. 더욱 자세한 분석이 이루어져야 하겠지만 이들 생리신호와 집중도의 상관관계가 높은 것으로 생각되며 집중도 평가시 정신피로항목을 함께 고려해야함을 알 수 있었다. 추후 더 많은 실험을 실시하여 데이터를 수집하면 보다 정확한 평가가 이루어 질 것이라 생각된다.

*본 연구는 G-7 감성공학 기반기술개발사업에 의해 지원되었음(M1-9817-03-0001)

참고문헌

[1] Gebhard Sammer(1999), "Working memory load and EEG-dynamics as revealed by point correlation demension analysis", International Journal of Psychophysiology, vol.34, pp.89-101.

[2] Yoshiya Shinagawa(1992), "Concentration and EEG", 日本 臨床腦波, Vol.34, No.3, pp.168-173.

[3] Yasutaka Kubota(2001), "Frontal midline theta rhythm is correlated with cardiac autonomic activities during the performance of an attention demanding meditation procedure", Cognitive Brain Research, Vol.11, pp.281-287.