

심박변화율과 뇌파를 이용한 단기기억 작업시 집중도의 평가

윤용현*, 고한우*, 김동윤**, 이창미*
한국표준과학연구원*, 연세대학교**

Assesment of Concentration Using Heart Rate Variability and Electroencephalogram During Short-term Memory Task

Yong Hyeon Yun*, Han Woo Ko*, Dong Youn Kim**, Chang Mi Yi*
Korea Research Institute of Standards and Science*, Yonsei University**

단기기억 작업시 집중도를 평가하기 위하여 평가용 task를 설계하고 5단계의 난이도에 대하여 실험을 실시하였다. 난이도에 따른 집중도의 변화를 측정하기 위하여 주관평가를 실시하고 행동 지표와 생리신호를 측정하였다. 측정된 생리신호 중 전두엽(Fp1, Fp2)에서 측정된 뇌전도 신호의 α -band와 β -band의 전력의 비와, 심박변화율의 전력 스펙트럼의 MF/(LF+MF+HF)비를 구하였다. 실험 결과 집중도 높게 보고된 단계에서 task를 수행함에 따라 뇌전도 신호의 α/β 비와 심박변화율의 MF/(LF+MF+HF)비도 점차로 증가하였다.

Keyword : 주의, 집중, 심박변화율, 뇌전도

1. 서론

사무환경은 기능별로 크게 근무공간, meeting 공간, 통로공간, 휴게공간으로 나눌 수 있다. 쾌적한 사무환경이란 그 곳에 근무하는 사람들이 업무를 수행하면서 발생하는 피로와 스트레스가 적으며 업무 효율의 측면에서 개인의 능력을 최대화 시킬수 있는 환경을 의미한다. 이러한 사무환경을 조성하기 위해서는 우선 근무자들이 대부분의 일과를 보내는 근무공간에서 사람들에게 발생하는 피로와 스트레스, 집중도를 평가할수 있는 기술이 필요하다.

인간의 기억체계는 감각저장고(sensory storage), 단기기억(short-term memory) 또는

작업기억(working memory), 장기기억(long-term memory)의 3개의 하부 과정으로 개념화 되어 있으며 감각저장고로부터 정보를 부호화 하여 단기기억으로 이전하기 위해서는 인간이 그 과정에 주의를 집중해야 한다[1]. 즉, 주의의 집중은 단기기억 작업을 수행함으로써 나타나게 된다.

주의는 여러 자극들 중에 적절한 자극을 선택하여 응답하는 과정이다[2]. 또한 뇌파를 이용하여 주의과정을 밝히는 연구가 여러학자들에 의해 진행 되고 있으며 일반적으로 연속적인 performance 시험과 vigilance task를 이용하고 있다[3]-[6].

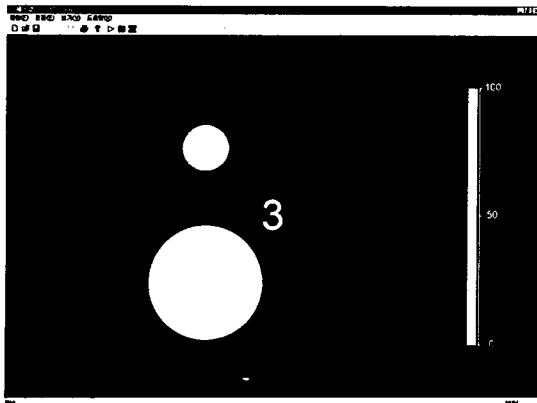
본 논문에서는 난이도에 따른 집중도의 변화를 평가하기위하여 인지(recognition)와 상기(recall)로 구성된 단기 기억 task를 개발하

고, 평가에 사용될 task의 단계를 실험을 통하여 결정하였다. 또한 task 수행시 주관평가, 행동지표, 생리신호를 측정하였다. 피험자로부터 측정된 생리신호는 뇌전도, 심전도, 맥파, 호흡, 피부온도, 피부전도도의 6종류이며, 먼저 뇌전도신호와 심박변화율을 주파수 분석하여 집중도를 평가하였다.

2. 집중도 평가용 task 설계

집중이란 주의가 일정시간 유지되는 것을 의미하며, 인간의 감각기관에서 받아들인 정보가 감각저장을 통하여 단기기억으로 넘어갈 때 주의의 집중이 나타난다고 한다[1].

주의를 평가하기 위한 task로는 TOVA(test of variables of attention)와 ADS(ADHD diagnostic system)가 있으며, 주의력 결핍 장애(ADD : attention deficit disorder)과 주의력 결핍 과잉 운동 장애(ADHD : attention deficit hyperactivity disorder)를 진단하기 위해 사용되고 있다[7]-[8]. 그러나, 본 연구의 목적과 부합되지 않아서 그림 1과 같은 평가용 task를 개발하였다.



(그림 1) 집중도 평가용 task

본 연구에서 개발된 집중도 평가용 task는 task를 수행함으로써 집중을 유발시키기 위하여 4가지 서로 다른 시정각 자극 임의의 순서로 제시하면 피험자가 이들의 순서를 기억하였다가 마우스를 사용하여 추종 입력하는 인지(recognition)영역과 상기(recall)영역로 구성하였다. 제시자극은 서로 다른색으로 구성된 4

개의 원들 중 하나에 원안에 흰색의 작은원이 그원의 색에 해당되는 음과 같이 발생되도록 표 1과 같이 대응 시켰다.

<표 1> 제시된 자극의 색과 음.

색상	적	녹	황	청
음	C ₄	E ₄	G ₄	C ₅
	261.63Hz	329.63Hz	392.00Hz	523.25Hz

행동지표는 응답시간을 측정하고 오입력을 기록하도록 설계하였으며 컴퓨터의 병렬포트를 이용한 간이형 8bit D/A 변환기를 통하여 자극제시와 응답시의 시간 정보를 생리신호와 함께 측정할 수 있도록 설치하였다.

Task의 난이도는 한번의 자극 횟수를 1단계로 하여 단계가 높아질수록 연속 자극의 횟수가 하나씩 증가하도록 설계하였다.

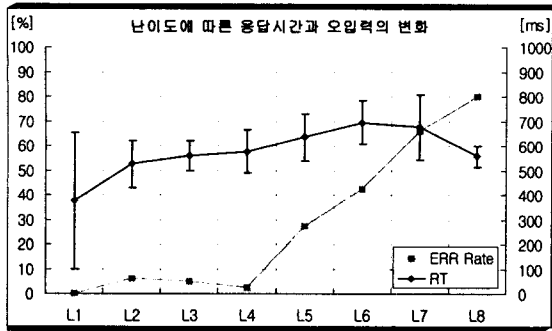
3. 집중도 평가 실험

3.1. 예비 실험

난이도에 따른 집중도의 변화를 평가하기 위한 실험을 실시하기 위해 앞서 평가할 난이도의 범위를 결정하기 위한 실험을 4명의 건강한 20대 피험자(남2: 여2)에게 실시하였다. 실험 환경은 한국표준과학원 인간공학그룹 생리신호측정실험실 내에 설치된 chamber(전자파 차폐, 소음 30 dB이하, 2,930W×2,570H×4,830D)에서 실시하였으며 실험 당시 온·습도 조건은 25 °C, 50% RH로 하였으며, 모든 외부 자극으로부터 피험자를 독립시켰다.

피험자가 수행해야할 task의 난이도는 1단계부터 10단계까지 순차적으로 증가하며 해당 난이도당 제시되는 문제수는 10개로 설정하였다. 또한 자극 제시 시간은 500 ms로 자극 제시 간격은 1000 ms로 설정하고 이에 따른 정각 자극음의 크기는 65 dB로 설정하였다.

실험방법은 task를 1단계부터 시작하여 피험자가 더 이상 수행할수 없는 단계에서 멈추도록 하였다. 그림 2는 실험 중 응답시간과 오



(그림 2) 난이도별 평균응답시간과 오입력의 변화.

입력을 측정된 결과이다.

실험 결과 피험자들의 응답시간은 난이도가 어려워 질수록 점차 증가 하였으며, 오입력은 2단계부터 발생하여 4단계까지는 10%미만을 나타내었으며 5단계에서부터 증가하기 시작하여 7단계이후로는 50%이상이 되었다. 2단계에서의 오입력이 3,4단계보다 높게 나타난 것은 난이도가 낮아 피험자들이 부주의하게 응답하여 생긴 오류이며, 피험자들도 틀린답을 입력하였다는 사실을 인지하고 있었다. 또한 피험자들이 task수행을 중지한 난이도는 7단계~8단계이며 이는 단기기억에 저장할수 있는 최대항목수가 7±2라는 Miller, G.의 연구결과와 일치하였다[9].

따라서, 난이도에 따른 집중도의 변화를 평가하기 위한 단계는 오입력이 거의 발생되지 않고 task수행시 주의를 분산시키지 않은 최소 난이도인 3단계부터 시작하여 피험자들이 task수행을 중지한 최소 난이도인 7단계사이를 평가범위로 결정 하였다.

3.2. 실험방법 및 Data의 수집

난이도에 따른 집중도의 변화를 평가하기 위하여 예비 실험시와 같은 환경조건으로 건강한 20대 피험자 4명(남2:여:2)에게 하루에 임의로 선택된 한가지 난이도를 시행하게 하였다.

피험자가 실험실에 도착하면 실험에 대한 간단한 설명을 하고 긴장을 완화 시켰다. 전극 부착시 집중도 평가용 task 2단계를 수행시켜 전극부착으로 인한 불편한 느낌을 둔화 시키

<표 2> 실험 절차

시간 [min]	10	3	3	3	3	3	3
전극 부착 및 연습	R0	휴식	Ref	휴식	T1	휴식	T2
실험 절차		휴식	암산	휴식	task 수행	휴식	task 수행

고 실험에 대한 두려움을 감소 시켰다. 전극 부착후 2가 나올 때 까지 100에서 7씩 빼는 연산을 수행한 후 같은 단계의 task를 2번 수행하여 task에 대한 긴장감을 줄일수 있도록 표 2와 같은 실험 절차로 실험을 실시 하였다.

피험자의 집중의 정도와 정신피로를 평가하기 위해 제작된 설문지를 사용하여 피험자의 심리지표를 구하였다. 행동지표는 제작된 task 프로그램에 의하여 평균응답시간과 오입력을 구하였다.

생리지표를 얻기위하여 심전도(electrocardiogram : ECG), 맥파(photoplethysmogram : PPG), 피부온도(skin temperature : SKT), 호흡(respiration : RESP), 피부전도도(skin conductance Level : SCL), 뇌전도(electroencephalogram : EEG) 신호를 Biopac사의 MP-100(16bit A/D converter)을 사용하여 초당 256 sample을 획득하였다.

피험자가 task를 수행하는 동안 오른손으로 마우스를 사용하므로 심전도는 Lead III법을 사용하여 측정하였다. 피부전도도는 왼손 검지와 중지에서, 맥파와 피부온도는 각각 왼손 약지손가락과 새끼손가락에서 측정하였고, 호흡은 코밀에 sensor를 부착하여 측정하였다. 뇌전도는 국제 10-20 전극위치에 따라 전두엽(Fp1, Fp2)에 전극을 붙여서 측정하였다.

본 논문에서는 측정된 생리 신호 중 심전도와 뇌전도신호를 먼저 분석하였다.

심전도 신호의 분석은 Biopac사의 Software AcqKnowledge ver.3.5를 사용하여 R-peak를 검출하여 R-R Interval을 구한후 spline보간을 취해 4 Hz로 resample하여 순간 R-R Interval을 구해 저주파 선형성분을 제거하여 심박변화율의 전력스펙트럼분석에 사용하였다.

심박변화율(HRV : heart rate variability)의 전력스펙트럼분석은 교감신경계와 부교감신경계의 활동을 파악하는데 유용하며 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 구해 MF/(LF+MF+HF)비를 구하고 task 수행시 값으로부터 task 수행 직전의 각각의 안정시 값으로 나누어 식 (1)과 같이 정규화 하였다.

$$\frac{T_{nm}}{R_n} \quad (1)$$

T_{nm} : Task 수행시의 값
 R_n : Task 수행직전 안정시의 값
 n : 수행횟수
 m : Task 수행시 시간경과

뇌전도 신호는 task를 수행하는 동안 간이형 8bit D/A를 통하여 출력된 trigger 신호를 참고하여 화면에 자극이 제시되는 구간과 피험자가 답을 입력하는 구간중 눈깜박임으로 인한 잡음 신호가 없는 데이터부분을 1초 단위로 선별하여 전력스펙트럼을 구하고 α -band (7.5-13.0 Hz)와 β -band(13.5-20 Hz)의 전력비를 구하였다.

3.3. 실험 결과 및 고찰

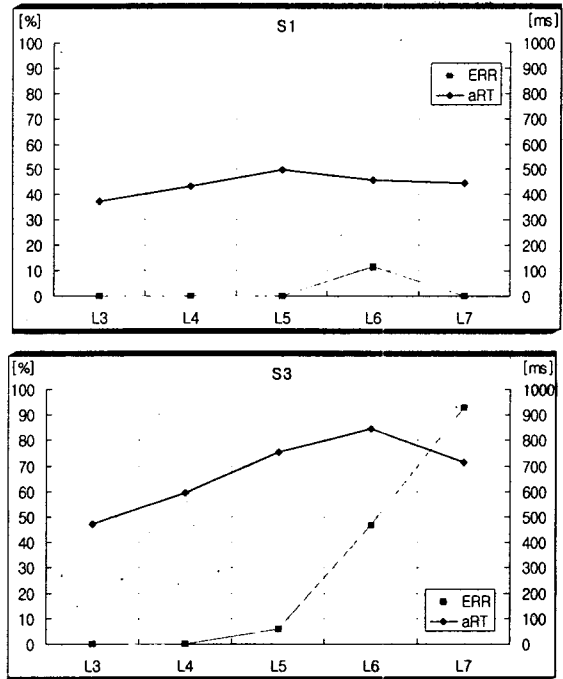
표 3은 피험자들에게 각 작업 구간의 시작 전후로 주관적 평가를 실시한 설문지의 결과이다. 3단계부터 7단계의 난이도중 4단계와 5단계를 수행할 때 다른 단계를 수행할때보다 집중이 잘되는 것을 알수 있다.

<표 3.> 피험자별 작업수행단계의 집중 순위

	1	2	3	4	5
S1	L4	L5	L3	L6	L7
S2	L5	L4	L6	L7	L3
S3	L5	L3	L4	L6	L7
S4	L3	L4	L5	L6	L7

Sn : 피험자 , Ln : 작업단계

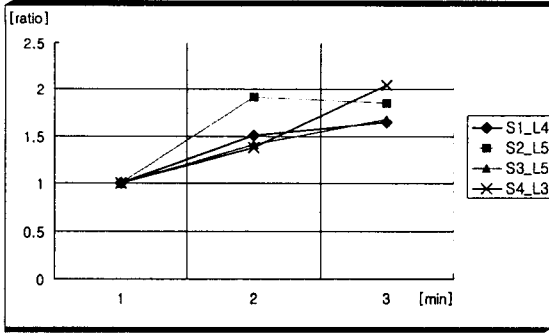
그림 3에 피험자 S1과 S3의 task수행시 행동지표를 나타냈다. S1은 난이도의 모든 단계에서 오입력이 15 %미만이었으나, S3의 경우는 오입력이 5단계부터 증가하기 시작하여 6단계이후 40%이상이 되었다. 따라서 S1의 단기기억 능력이 S3보다 우수하다고 생각되며 평균응답시간의 변화폭도 S1이 S3보다 작았다.



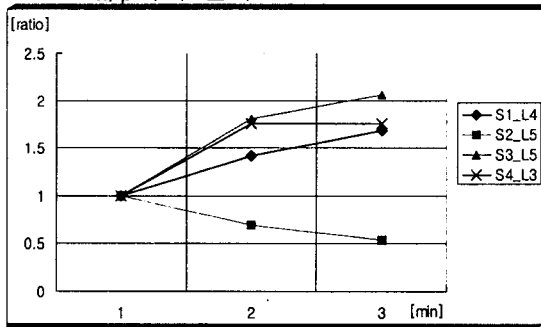
(그림 3) 피험자 S1과 S3의 응답시간과 오입력율.

그림 4와 5는 표 3에서 집중이 제일 잘된다고 보고된 난이도와 잘 안된다고 보고된 난이도에서의 자극 제시 구간에 전두엽(Fp1)에서 측정된 뇌전도신호의 α/β 의 비의 변화를 1분단위로 분석한 결과이다. 집중이 잘 될 경우 전체적으로 모든 피험자가 task를 수행함에 따라 증가하는 경향을 가지며 이것은 주의를 계속 유지시키고 있다는 것을 나타낸다. S2의 경우 증가하였다가 약간 감소하였으나 전체적으로는 증가하였다. 그러나 집중이 잘 안되었을 경우는 S1의 경우처럼 점차 감소하거나 다른 피험자들 처럼 증가하였다 다시 감소하는 경향을 나타냈다.

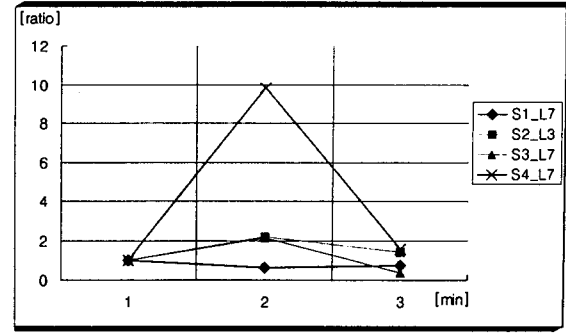
그림 6과 7은 MF/(LF+MF+HF)의 변화를 task 수행시 1분단위로 분석한 결과이다. 집중이 잘된다고 보고된 단계에서 S2를 제외한 전



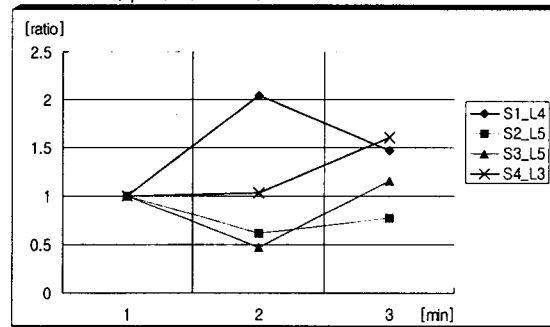
(그림 4) 집중이 가장 잘될 때 시간에 따른 α/β 비의 변화.



(그림 6) 집중이 가장 잘될 때 시간에 따른 MF/(LF+MF+HF)의 변화.



(그림 5) 집중이 가장 안될 때 시간에 따른 α/β 비의 변화.



(그림 7) 집중이 가장 안될 때 시간에 따른 MF/(LF+MF+HF)의 변화.

피험자가 점차로 증가하는 경향을 나타냈다. 그러나, S2는 감소하는 경향을 나타내었다.

반면에 집중이 잘 안된다고 보고된 단계에서는 S2, S3, 감소하였다 증가하였고, S1은 증가하였다가 감소하를 S4는 후반부에 크게 증가를 하였다.

심박변동율의 0.1 Hz성분의 감소는 과제를 수행하려고 하는 피험자의 노력의 증가와 상관이 높다고 보고되어있다[10]. 따라서 S1, S2, S3의 경우 집중이 높게 되었다고 보고된 단계에서의 task 수행에 대한 노력이 집중이 증가함에 따라 상대적으로 감소되었고 S2의 경우는 지속적으로 노력하였다고 생각된다. 그림 4의 나타난 S2가 증가하였다 감소하여 다른 피험자들과 달리 task 수행에 대한 노력이 크게 나타난 것 같다.

4. 결론

집중 잘 된다고 보고된 단계에서는 객관적

인task의 난이도와 상관없이 뇌전도 신호의 α -band와 β -band의 전력비가 task를 수행함에 따라 점차로 증가하는 경향이 나타났다. 또한 뇌전도신호의 α -band와 β -band의 전력비의 증가를 집중도의 증가로 생각할 때, task 수행시 집중도의 변화에 따라 task 수행에 드는 노력의 양의 크기가 변하는 것을 알 수 있었다.

추후, task의 수행시간을 증가시킬 때 뇌전도신호의 변화와 자극제시간격과 자극제시시간을 변화시킬 때 단일 피험자 내에서의 집중도의 변화를 평가할 예정이다. 또한, 사무환경의 능률성을 평가에 설계한 task를 활용하여 온열, 소음, 조명 등에 의한 영향이 집중도의 변화에 어떠한 영향을 미치는가를 조사할 예정이다.

참고문헌

- [1] 박영주(1992), 인간공학, 영지문화사, 서울.
- [2] Tecce, J. C.(1972), "Contingent negative

variation(CNV) and psychological processes in man”, Psychological Bulletin, 77, 73-108.

[3] Born, J., Fehm-Wolfsdorf, G., Lutzenberger, W., Voigt, K., et-al.(1986) “Vasopressin and electrophysiological signs of attention in man”. Peptides, 7:(2) 189-193.

[4] Darbokova, D. and Kolev, P. (1992) “Cognitive and affective relations in perception of auditory stimuli in the presence of music.” Psychomusicology, 11:(2) 141-151.

[5] Molle, M., Marshall, L., Pietrowsky, R., Lutzenberger, W., et al.(1995), “Dimensional complexity of the EEG indicates a right fronto-cortical locus of attentional control”, Psychophysiology, 9:(1) 45-55.

[6] Makeig, S. and inlow, M. (1993) “Lapses in alertness : Coherence of fluctuations in performance and EEG spectrum”. Electroencephalography and Clinical Neurophysiology, 86: 23-35.

[7] <http://www.tovatest.com/frames/tovades.htm>

[8] <http://www.kies.co.kr/>

[9] Miller, G(1956), “The Magical Number Seven, Plus or minus Two: Some limits on Our Capacity for Processing Information”, Psychological Review, vol. 63.

[10] 芳賀 繁(1993), メンタルワークロードの測定と注意リソースの測定, 人間工学, Vol. 29, No. 6, 349-352.