

이러닝 적용을 위한 뇌파기반 인지부하 측정*

김 준 송 기 상†

한국교원대학교 컴퓨터교육과

본 연구는 이러닝 체제에서 상호작용을 개선할 수 있도록 하기 위하여 사용자의 생리적 데이터 가운데서 뇌파를 통하여 학습자의 인지부하 발생을 파악할 수 있는지를 연구하고자 하였다. 뇌파를 통하여 인지부하 발생을 알 수 있게 된다면 실시간 이러닝 체제에서 적절한 피드백 제공에 활용될 수 있기 때문이다. 이를 위하여 EEG를 이용하여 학습자의 뇌파를 측정하면서 인지활동을 수행하는 동안 발생하는 인지부하도를 측정하였고 인지과부하를 판별할 수 있는지를 알아보았다. 뇌파 측정을 위하여 언어 관련 작업기억 능력을 측정할 수 있는 듣기회상과제를 제시하였으며, 실험을 통한 과제 정답률 및 뇌파 분석 결과는 다음과 같다. 첫째, 듣기회상과제의 정답률은 회상반응과제에서 1단계는 84.4%, 2단계는 90.6%, 3단계는 62.5%, 4단계는 56.3%를 보였으며, 통계적으로 유의한 차이가 있음을 확인하였다. 즉, 3, 4단계의 경우는 피험자들이 매우 어려움을 겪었던 단계로 인지과부하가 발생했을 것으로 보인다. 둘째, SEF-95% 지표는 1, 2단계에 비해 3, 4단계에서 더욱 높은 값을 보였으며, 이는 피험자들의 인지부하가 3, 4단계에서 높았음을 객관적으로 보여주는 근거이다. 셋째, 감마파의 상대파위는 3, 4단계에서 파워값이 급격히 올라가는 패턴을 보였으며, 통계적으로 유의한 5개의 채널(F3, F4, C4, F7, F8)을 확인하였다. 5개의 채널은 뇌의 브로카 영역(F7, F8) 주위에 위치하고 있으며, 특히 뇌맵핑 분석을 통해 확인한 결과, F8(우반구의 브로카 영역에 해당하는 위치)에서 단계별 난이도가 올라갈수록 활성화의 차이가 크게 나타났다. 넷째, 19채널에 대한 상호 상관 분석을 통해 1, 2단계에 비해 3, 4단계에서 비동기화가 증가하였다. 위의 결과를 통한 본 연구의 결론은 뇌파를 이용하여 인간이 인지활동을 수행하는 동안 인지부하도를 측정할 수 있으며, 인지과부하를 판별해 낼 수 있음을 확인하였다.

주제어 : 이러닝, 작업기억, 인지부하, 뇌파

* 이 논문은 한국교원대학교 2009학년도 KNUE 학술연구비 지원을 받아 수행하였음

† 교신저자: 송기상, 한국교원대학교 컴퓨터교육과, 연구세부분야: 지능형교수시스템, 멀티미디어의 교육적 이용, 증강인지 및 뇌파기반 교육

E-mail : kssong@cc.knue.ac.kr

서론

정보통신 기술의 발달과 더불어 현대인들은 컴퓨터를 이용한 교육 서비스를 쉽게 이용할 수 있게 되었다. 특히 이러닝 체제의 경우, 인간 교사를 대신해서 컴퓨터와 학습자가 1:1 교육을 할 수 있다는 점, 언제 어디서나 학습을 할 수 있는 독립성을 갖는다는 점, 풍부한 정보를 가지고 있는 점, 학습자가 자기 주도적으로 학습할 수 있다는 장점들을 가지고 있다. 하지만, 교사와 학생들이 얼굴을 마주보며 상호작용하던 전통적인 학습 환경과는 달리 학습자의 상태를 면밀히 파악할 수 있는 지능이나 감정 이해에 제한적일 수밖에 없는 컴퓨터 장치와 대면해야 하는 점에서 단점이 제기되고 있다.

또한, 이러닝 체제가 주로 설계자의 개인적인 신념이나 선호에 의해 제작될 우려가 있으며, 효과에 대한 검증이 제대로 이루어지지 않은 채 활용되는 경우가 많아 개인의 성향에 따라 학습 효과에 크게 차이날 수 있는 문제점이 있다. 즉, 학습에 어려움을 느끼지 않도록 효과적으로 설계가 이루어졌다고 가정하더라도 모든 학습자를 다 고려할 수는 없기 때문에 저마다 학습에 어려움을 느끼는 시기가 다를 수 있으며, 이때 적절한 피드백을 해 줄 수 없다는 문제점이 지적되고 있다.

이러한 단점들을 극복하기 위해 최근에 학습자의 질문이나 답변 내용을 분석하여 적절한 피드백을 제공하는 질의·응답형 지능형 교수 시스템이나 얼굴표정을 이용한 감성인식 기술로 학습자를 실시간으로 파악하고 피드백해줄 수 있는 감성인식 교수 시스템에 관한 연구들이 꾸준히 이루어지고 있다[1~3]. 학습자와 컴퓨터 튜터 간 상호작용을 보다 원활하게 할 수 있는 이들 시스템은 어느 정도 가시적인 성과를 거두고 있으나 학습자의 두뇌에서 일어나는 마음을 직접 읽을 수 있는 기술이 추가적으로 더 필요한 것으로 제기되고 있다.

최근 인간의 마음을 읽기 위한 방법으로 두뇌 활동을 직접 탐구하는 연구들이 빠른 속도로 이루어지고 있다. EEG, MEG, PET, fMRI 등 뇌영상 기법의 발달로 인지신경과학과 인지과학 분야에서 많은 연구 결과들이 축적되고 있으며, 이러한 연구 결과를 토대로 학습과 교육장면에서 적용 가능성을 탐색하고 있는 추세이다 [4~8].

뇌영상 기법 중 비교적 가격이 저렴하고 비침습적으로 알려져 있는 뇌파를 이

용하여 인간의 마음을 읽는 연구들을 살펴보면, 미국의 이모티브사가 개발한 헤드셋 ‘에폭(Epoc)’은 뇌파를 인식해 게임 속 캐릭터를 움직이거나 사용자의 감정을 읽어내 게임 속 캐릭터에 그대로 반영할 수 있는 기술을 보이고 있으며[9], 전신불구 등 장애를 가진 환자들의 원활한 의사소통을 위해 인간의 의사를 컴퓨터가 인지하도록 하는 BCI(Brain Computer Interface) 연구들이 가시적인 성과를 거두고 있다[10~13]. 본 연구 역시 학습자의 상태나 마음을 실시간으로 파악하고 즉각적인 피드백을 줄 수 있는 감성기반 이러닝 체제를 구현하기 위한 첫걸음으로서 학습자가 인지활동을 수행하는 동안 겪는 어려움을 실시간으로 파악하기 위해 뇌파를 이용하여 학습자들의 작업기억에 대한 인지부하를 측정하고 인지과부하를 판별할 수 있는가에 대한 가능성을 알아보고자 한다.

인지부하의 경우, Sweller[14, 15]는 학습하는 동안 인지부하의 원천을 내재적인 것과 외재적인 것으로 구분하였는데, 내재적 인지부하는 정보 그 자체가 많은 부하를 요구하는 내용이다. 자료에 많은 요소를 가지고 있고 서로 복잡하게 연결되어지면 내재적 인지부하는 높아진다. 반대로 자료가 복잡하지 않아서 자료에서 각각의 요소를 분리해서 학습할 수 있으면 내재적 인지부하는 낮아진다. 외재적 인지부하는 설계된 교수 메시지의 특징에 의해 부하가 결정된다. 메시지가 불완전하게 설계되면 학습자는 부적당하거나 불필요한 인지적 처리를 해야 한다. 반면에 잘 설계된 메시지는 외재적 인지부하를 최소화한다. 즉, 학습자들이 학습곤란을 겪는 경우는 학습할 과제 자체의 어려움 때문일 수도 있지만, 교수설계의 잘못으로 발생하는 경우도 많다. 어떤 학습과제는 학습에 방해가 될 수 있는 외재적 인지부하를 필요 이상으로 많이 주도록 설계되어 있어서 학습자들이 정보를 이해하는데 있어서 과도한 작동기억 자원을 요구받게 되어 학습 자체에 몰두하기 어렵다는 것이다.

이처럼 효과적인 교수·학습 시스템을 구현하기 위해서는 인지부하를 고려해야 한다. 학습 효과에 있어서 인지부하를 고려한 기존 연구들을 살펴보면, Mayer[16]는 멀티미디어가 학습자의 인지부하를 줄일 수 있어 학습 효과에 탁월하다고 하였으며, 조경자[17]는 멀티미디어 정보 제시 유형이 단일미디어 정보 제시 유형보다 인지부하를 줄일 수 있어서 더 효과가 크다는 것을 실증연구를 통해 입증하였다. 황혜란[18]은 인지부하 정도가 다른 정적 그래픽 유형과 동적 그래픽 유형을 비교

연구하였으며, 변숙영과 최경숙[19]은 유아를 대상으로 이중 감각양식(modality)이 단일 감각양식보다 인지부하를 줄이는데 더 효과가 있음을 밝혔다. 또한 Schnotz과 Bannert[20]은 다양한 형태로 제시되는 정보는 학습자가 종합하고 처리하는데 필요한 인지처리의 부담 때문에 오히려 학습에 방해가 될 수 있다는 문제를 제기하였다. 하지만, 이들 연구들은 인지부하를 측정하기 위해 주로 지필 평가 방법의 재인 검사, 회상검사, 전이검사 등을 실시하였으며, 평가 결과를 가지고 인지부하의 차이를 설명하였다. 이는 인지부하가 학습 중에 일어난다는 점을 감안해 볼 때, 연구 결과에 한계가 있었음을 시사한다[21]. 본 연구는 기존 연구의 한계를 극복하고 보다 신뢰로운 인지부하 측정을 위해 뇌파를 이용하고자 한다. 뇌파를 이용하여 인지부하를 객관적으로 측정할 수 있는 근거를 마련한다면, 감성 기반 이러닝 체제의 구현뿐만 아니라 효과적인 이러닝 체제 설계를 위한 신뢰성이 있는 기준이 될 수 있을 것으로 본다.

작업기억에 관해서는, Baddeley는 작업기억의 요소를 조음루프(phonological loop), 시·공간 스케치패드(visio-spatial sketchpad), 중앙집행장치(central executive), 에피소딕 버퍼(episodic buffer) 등 크게 네 가지로 제안하였다[22, 23]. 이중 조음루프는 음향정보나 발화정보를 담당하는 등 언어영역과 밀접한 관련이 있다[24]. 조음루프와 관련된 뇌의 영역으로는 하전두회(inferior frontal gyrus)에 해당하는 브로카(Broca) 영역이 가장 잘 알려져 있으며, 언어의 조음에 특히 중요한 영역으로서 되뇌기를 할 때 활성화되는 것으로 알려져 있다[24, 25]. 브로카 영역과 관련된 연구들을 좀 더 살펴보면, Yetkin[26]은 외국어를 구사하는 사람이 단어를 형성함에 있어서 브로카 영역이 관련되어 있음을 fMRI를 통해 검증하였다. 김연희[27]는 한국의 정상 성인 오른손잡이 남자를 대상으로 한국어 명사를 시각적 및 청각적 자극으로 제시한 후 관련된 동사를 생성케 하는 언어과제를 사용하여 한국인의 언어 신경망에 대한 fMRI 연구를 실시한 결과, 두 과제에서 모두 브로카 영역에서 편측화된 뇌 활성화 영역을 얻을 수 있었다. 또한 어린 시절부터 미국생활을 통해 영어를 모국어 수준으로 유창하게 사용하는 초기 이중 언어 습득자와 대학 이후에 본격적으로 영어 공부를 통해 의사소통이 가능한 후기 이중 언어 습득자를 대상으로 fMRI 연구를 실시한 결과, 후기 이중 언어를 습득자의 경우 좌측 브로카 영역의 반대에 해당되는 우측 뇌 전두엽 부위(이후, 본 연구에서는 이 부위를 우측 브로카 영역으로 명명하

고자 함)에서 훨씬 광범위한 활성화가 일어났다[28]. 정상인과 말을 더듬는 환자의 비교실험을 보면, 말을 더듬는 환자의 경우 우측 브로카 영역이 활발해지는 특징을 보였고, 좌·우반구 모두 언어 처리에 있어서 주도권을 잡고자 하여 충돌이 생기는 것으로 추정하고 있다[25]. 언어 발달에 있어서도 진정한 언어가 발달하기 시작하는 시기는 두 살 정도부터인데, 이때 브로카 영역과 베르니케 영역이 활발해진다. 처음에는 좌우 양쪽의 뇌가 같은 정도로 발달하지만, 95%의 사람들은 5살 이전에 좌반구로 주도권이 옮겨가고, 우반구의 브로카 영역은 주로 언어 표현에 있어 몸짓 등의 별개의 작업에 사용된다고 알려져 있다[25]. 이처럼 언어를 담당하는 뇌의 영역은 주로 좌반구에 위치해 있으나 우반구에서도 언어 관련 역할을 담당하고 있으며 이는 좌우 뇌가 언어처리를 위해 연합 작용을 하고 있음을 알 수 있다. 본 연구에서는 언어 관련 자극으로 이루어진 과제를 이용하여 각 단계별 과제 난이도 증가에 따른 인지부하도의 변화 추이 및 특정 두뇌 부위에서 활성화의 차이가 유의하게 나타나는지를 알아보고자 하며, 작업기억의 측정 범위는 언어 영역으로 제한하고자 한다.

뇌파는 주파수 파장대에 따라 일반적으로 델타파(0~4Hz), 세타파(4~8Hz), 알파파(8~13Hz), 베타파(13~30Hz), 감마파(30~50Hz)로 구분하는데, 감마파의 경우 높은 수준의 지각 반응을 요구할 경우 증가되는 등 광범위한 감각양식의 지각력을 포함하고 있는 것으로 보이며 신경생리학적인 측면에서 작업기억 부하 측정의 의미 있는 후보군으로 떠오르고 있다[29~32]. Howard 외[30]는 두 명의 간질 환자를 대상으로 작업기억 과제를 수행하는 동안 감마파의 활성이 선형적으로 증가한다는 연구결과를 보고하였으며, Meltzer 외[33]는 14명의 간질 환자를 대상으로 EEG를 측정된 결과, 작업기억의 인지부하와 함께 후두엽 부위에서 감마파는 전형적으로 증가하는 반면, 서파에 해당하는 세타파와 알파파는 확실한 차이를 나타내지 않았다고 보고하였다. Tao 와 Tian[34]은 경미한 인지 손상자 그룹과 알츠하이머 환자 그룹, 정상인에 해당하는 통제그룹 등 총 세 그룹으로 나누어 휴식상태와 인지수행상태에 따른 감마파의 차이를 비교하였다. 이들 그룹에 대해 시간에 따라 변화하는 뇌파 신호의 위상과 파워 스펙트럼의 상관도를 알아보는 coherence 분석을 실시한 결과, 휴식 상태에서는 알츠하이머 그룹이 다른 두 그룹에 비해 일부 채널 간 coherence 값이 유의하게 낮게 나왔으며, 인지 수행 상태에서는 알츠하이머 그룹

이 두 그룹에 비해 모든 채널에서 coherence 값이 유의하게 낮게 나왔다. 뿐만 아니라 경미한 인지 손상자의 그룹의 경우 휴식 상태에서는 통제 그룹과 별 차이를 보이지 않았으나 인지 수행 상태에서는 일부 채널 간 coherence 값이 유의하게 낮게 나타남을 발견하였다. 이러한 결과를 토대로 연구자들은 감마파의 coherence 값이 인지 수행 상태에서 인지 손상자를 구별해 낼 수 있는 유용한 측정 기준이 될 수 있다고 밝히고 있다. 이상의 연구 결과들을 토대로 인간의 사고 과정이나 감정, 인지 수행에 따른 인지부하 변화 및 인지과부하를 뇌파 측정을 통해 실시간으로 밝혀 낼 수 있을 것으로 본다.

앞서 언급했듯이 본 연구는 기존 이러닝 체제가 가지고 있는 단점을 보완하고 개별화된 교육 서비스를 제공하기 위한 차세대 감성 기반 이러닝 체제 구현을 위한 기초 연구로서 뇌파(EEG) 측정기를 이용하여 학습자가 학습 중 일어나는 인지 상태의 변화를 측정할 수 있는지를 확인하고자 한다. 만약 뇌파를 이용하여 학습자의 인지부하 상태를 측정할 수만 있다면, 학습자가 학습에 어려움을 겪고 있는 인지과부하 상태에서 이러닝 체제가 능동적으로 난이도를 조절하여 줄 수 있고, 적절한 피드백을 제공할 수 있는 등 기존의 이러닝체제를 보완해 줄 수 있는 획기적인 방법이 될 수 있을 것으로 본다.

방 법

참가자

충북 청원군 소재지의 H 대학교 1학년 학생 중 자원자를 대상으로 뇌파측정에 동의한 오른손잡이 남학생 8명을 선발하였다. 연구 대상자들의 평균 연령은 만 19.1세(SD = 0.8)였으며, 사전 설문을 통해 뇌 손상이나 질병 치료를 받은 적이 없음을 확인하였다. 이는 두뇌 관련 질환으로 인한 뇌기능의 이상과 손잡이 차이로 인한 대뇌 좌·우 반구 기능 차이[35]의 영향을 배제하기 위함이다.

과제 및 도구

본 연구에서는 언어영역의 작업기억과 관련된 뇌 활성화 영역을 밝히고 인지과 부하를 판별하기 위해 듣기회상과제를 사용하였다. 본 과제는 Alloway[36]가 4세부터 22세를 대상으로 컴퓨터를 화면을 통해 작업기억 능력을 측정하기 위해 개발한 AWMA(Automated Working Memory Assessment) 프로그램의 12개 과제 종류 중 언어 영역과 관련이 있는 Listening Recall Task를 선택하여 이를 한국어 문법에 맞게 번안하여 사용하였다. 이 과제는 본래 Daneman과 Carpenter가 단순한 기억폭 검사가 아닌 작업기억의 전체 용량을 측정하기 위해 고안된 것으로 읽기폭(reading span) 또는 작업기억폭(working memory span)과제라고도 부르며 읽기폭이 독서능력 또는 언어 이해능력과 높은 상관이 있음을 밝혔다[24]. 듣기회상과제의 측정 방법은 피험자들에게 여러 개의 단순 문장을 음성으로 제시해 주면, 각 문장을 이해하고 문장의 내용이 참인지 거짓인지를 판별(판별반응과제)함과 동시에 각 문장의 마지막 단어를 순서대로 기억(회상반응과제)하도록 지시한다. 즉, 이 과제는 일종의 이중과제(dual task)에 해당 되며, 판별반응과제는 회상반응과제 수행을 방해하는 억제과제라고 할 수 있다. 본래 AWMA 프로그램에서는 1단계에서 6단계로 구분하여 1단계에서 한 세트 당 한 개의 문장이 제시된다. 단계가 올라갈수록 문장의 개수도 한 개씩 증가하여 6단계에서는 6개의 문장이 제시된다. 또한 참, 거짓 판별 및 순서대로 외운 단어를 피험자의 목소리를 통해 응답하도록 설계되어 있다. 하지만, AWMA 프로그램을 그대로 사용할 경우, 피험자의 목소리가 뇌파 측정 간 잡파(Artifact)로 유입될 가능성이 크기 때문에 본 연구에서는 모든 응답 YES, NO 방식의 두 개의 키보드 버튼(‘참’ 버튼, ‘거짓’ 버튼) 중 하나를 눌러 응답하도록 새롭게 고안하였다. 그리고 2명씩 총 두 차례의 예비 실험을 통해 1~6단계의 난이도가 비교적 완만하게 증가한다는 피험자 응답 결과를 반영하여 본 실험에서 1~4단계로 조정하고 1단계에서는 한 세트 당 2개의 문장으로 시작하여 단계가 올라갈수록 문자의 개수를 두 개씩 증가하여 4단계에서는 한 세트 당 총 8개의 문장이 제시되도록 설계하였다. 그림 1은 듣기회상과제 2단계의 예이다.

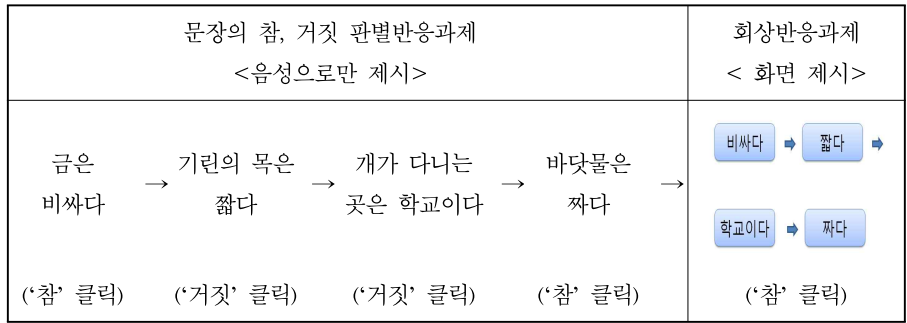


그림 1. 듣기회상과제 제시의 예

듣기회상과제는 표 1에서와 같이 각 단계별 4 세트로 구성되어 있다.

표 1. 듣기회상과제 구성

단계	세트 수	세트 당 문장의 수	판별반응 과제의 수	회상반응 과제의 수	소요 시간 (second)
1	4	2	8	4	61
2	4	4	16	4	103
3	4	6	24	4	152
4	4	8	32	4	198

본 연구에서 사용한 EEG 장비는 Australia Compumedic사에서 개발된 E-series EEG system[37]이며, 뇌파 수집 소프트웨어는 락사에서 개발한 BrainMap-3D Ver 2.0을 사용하였다. 본 측정 장비는 뇌에서 유발되는 미약한 전기신호를 연속적인 아날로그 신호로 모니터에 표시해 줄뿐만 아니라 디지털 신호로 전환시켜 컴퓨터와 여러 소프트웨어를 통해 다양한 분석을 가능하게 해준다.

표본율은 Nyquist 이론에 따라서 측정 주파수는 시계열 신호가 가질 수 있는 최대 주파수의 2배 이상이 되어야 하므로 뇌파에서 최대 주파수로 생각되는 100Hz의 2배 이상인 256Hz로 조정하였다[38].

주파수 필터링은 BrainMap-3D Ver 2.0에서 제공하는 Band Pass FFT-filtering을 사

용하여 4~50Hz 구간만 선택하였다. 두피에 부착하는 전극은 가운데 구멍이 있는 접시 모양의 부착식 plate electrode를 사용했으며, 전극풀은 Nihon-Kohden사의 Elefix를 사용했다. 전극과 두피와의 저항값(impedance)은 10 K Ω 이하로 유지시켰으며, 전극 부착 시 저항값이 높은 피험자는 EEG 전용 세정제를 사용하여 저항값을 낮추었다.

실제 데이터로 사용하는 19개의 전극은 그림 2와 같이 국제전극배치법인 10~20 전극배치법에 따라 부착하였고, 두뇌 양반구의 편차를 보정하기 위해 참조 전극으로 양 귓볼 전극 A1, A2를 부착하였다. 또한, 1개의 접지전극(GND)은 신체에 어디에 붙여도 상관없이 움직임이 가장 적다고 판단된 이마 가운데에 부착하였으며, 1개의 기준전극(REF)은 오른쪽 귓볼 뒤에 부착하여 심전도 신호가 뇌파에 혼입되는 경우를 최소화하도록 하였다. 총 23개의 전극을 두피에 부착하여 뇌파를 측정하였다.

10~20 전극배치법은 가장 널리 사용되는 전극 부착 방법으로 영문자 Fp, F, C, P, T는 각각 전두극(Frontal pole, 전전두부에 해당), 전두부(Frontal), 중심부(Central), 두정부(Parietal), 측두부(Temporal), 후두부(Occipital)를 의미한다. 숫자는 홀수는 좌반구, 짝수는 우반구에 해당되며 z는 두뇌 중심에 해당된다[39].

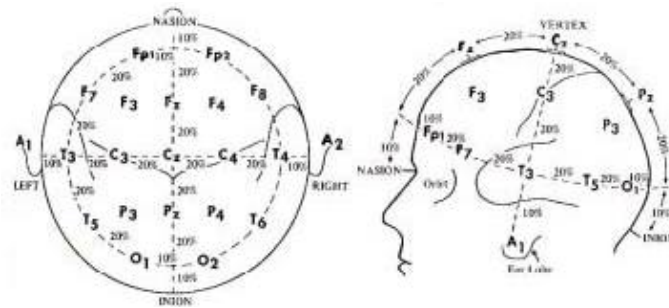


그림 2. 10~20법에 의한 전극 배치도[39]

실험 절차

실험은 하루 중 12시에서 18시 사이에 1~2명을 기준으로 사전에 피험자들과

실험 가능한 날짜와 시간을 미리 약속하여 진행되었다. 뇌파 측정의 경우 조도에 따라서도 측정 데이터의 차이가 발생할 수 있다는 점을 감안하여 되도록 일정한 조도를 유지시킬 수 있도록 측정할 수 있는 시간을 통제하였다. 피험자 한 명당 뇌파 측정에 소요된 시간은 실험 준비 시간을 포함하여 대략 1시간 30분에서 2시간 정도가 소요되었으며, 뇌파를 측정하는 동안 잡파(artifacts)의 혼입을 막기 위해, 피험자들에게 움직임을 최소로 줄이도록 부탁하였다. 전류 공급으로 인한 잡파, 소음으로 인한 잡파는 그 원인을 제거한 후, 측정을 실시하도록 노력하였다.

과제 진행 방식은 시작과 동시에 1단계를 알리는 화면이 3초간 제시된 이후 곧바로 첫 문장이 TTS(Text To Speech) 음성으로 제시된다. 음성의 길이는 문장의 길이에 따라 약간의 차이가 있으나 보통 1.5~2 초 정도 소요된다. 문장을 들은 피험자는 약 2.5초 내에 문장이 참인지 거짓인지를 판별하여 키보드 버튼을 누르게 된다(판별반응과제). 이후 1초간의 공백 이후 두 번째 문장이 음성으로 제시되는 방식으로 진행된다. 각 단계가 끝나면 1분씩 휴식을 취하여 피로효과를 상쇄하도록 하였다. 과제 진행 흐름도는 그림 3과 같다.

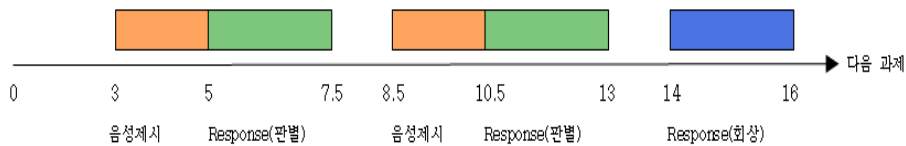


그림 3. 듣기회상과제 진행 흐름도

자료 분석

뇌파 측정을 통해 수집한 데이터는 주파수 필터링을 통해 4~50Hz 구간의 데이터를 얻고, 이를 다시 고속 푸리에 변환(fast fourier transform, FFT)을 통해 뇌전위 파워스펙트럼(EEG power spectrum)으로 나타나게 했다. 이후 SEF(Spectral Edge Frequency) 지표 분석, 상대파워(Relative Band Power) 스펙트럼 분석, 상호 상관(Cross Correlation) 분석 실시하였다.

고속 푸리에 변환

데이터를 측정하게 되면 시간과 진폭이 연속적인 아날로그 형태의 파형으로 데이터를 얻게 된다. 먼저 처리해야 할 과정으로 아날로그 신호를 컴퓨터에서 처리가 가능하도록 이산적인 디지털 신호로 변환하는 작업이 필요하다. 디지털 신호로 변경된 신호는 시계열 신호 즉, 시간에 따라 변화하는 데이터로 이루어져 있는데 시간영역에서 분석하는 것만으로는 충분하지 않은 경우가 대부분이다. 따라서 FFT 방법을 이용하여 시간영역의 신호를 주파수영역으로 변환하면 주파수의 크기에 따라 신호가 그래프에 배열되어 신호의 주파수 성분들을 눈으로 확인할 수 있게 된다[40]. 본 연구에서는 BrainMap-3D 프로그램에서 제공하는 ‘Power Spectrum Estimation by FFT’를 통해 고속푸리에 변환을 실시하였다.

상대파워 스펙트럼 분석

상대파워 스펙트럼은 피험자별 두개골의 두께 차이, 측정 당시 긴장 정도 차이 등으로 인한 개인 간 뇌파 차이를 보정하기 위해 이용한다. 상대파워 스펙트럼은 전체 절대파워 스펙트럼(4~50Hz) 대 각 주파수 대역의 절대파워 스펙트럼 비율을 구한 것이다. 본 연구에서는 이중 감마파의 상대파워 스펙트럼 분석을 실시하였다.

$$\text{감마파의 상대 파워} = \frac{30 \sim 50\text{Hz 구간의 절대파워}}{4 \sim 50\text{Hz 구간의 절대파워}}$$

공식 1. 감마파의 상대 파워

SEF-95% 지표

SEF(Spectral Edge Frequency) 지표는 뇌파의 파워스펙트럼 분포가 저주파에 비해 고주파 쪽으로 얼마나 편향되었는지를 정량화 하는 방법으로 전체 주파수 영역에 대한 면적 비로 표시된다. 종류로는 SEF-25%, SEF-50%(MEF), SEF-90%, SEF-95% 등이 있는데 연구 목적에 따라 다르게 사용된다. 일반적으로 SEF-90% 이상은 과제를 수행할 때 느끼는 인지부하도, 즉 정신적 스트레스 수준 및 과도한 정신적 각성수준을 평가하는 지표로 많이 사용된다. 본 연구에서는 SEF-95% 지표를 선택하였으

며, 지표값이 높을수록 파워 스펙트럼 분포에서 상대적으로 높은 주파수 성분 즉, 감마파가 많이 나왔음을 알 수 있으며 인지부하가 증가하였다고 볼 수 있다.

상호 상관 분석

다수의 신경세포들이 시간적으로 일치해서 활동하는 경우를 동기화(synchronization)라고 하며 뇌파 상에서는 고진폭의 서파가 발생한다. 반면 신경세포들이 시간적으로 각각 활동할 경우를 비동기화(desynchronization)라 하며 저진폭의 속파가 발생한다[41]. 즉, 자극이 복잡하거나 자극에 대한 주의수준이 높아지면, 많은 수의 신경세포가 활성화됨으로 각각의 신경세포에서 발생하는 전위가 비동기적으로 상쇄되어 진폭은 작아지고 진동수는 커진 상태의 속파가 발생한다[38]. 인지적인 과제를 수행하는 경우나 긴장이 되는 상황에서 뇌파를 분석해보면, 베타파나 감마파가 발생하는데 그 원인을 신경세포 활동의 비동기화 또는 활성의 증가로 설명할 수 있다.

동기화도를 알아보는 대표적인 분석 방법으로는 상호 상관 분석이 있다. 상호 상관 분석은 서로 다른 부위에서 측정된 뇌파 신호간의 관련성을 정량화 하는 분석 방법으로 본 연구에서는 19개 채널의 데이터에서 각각의 데이터 쌍 별로 상관관계를 분석하고자 BrainMap-3D 프로그램이 제공하고 있는 All-Pair-Cross Pearson Correlation 분석을 사용하였다.

그림 4처럼 본 연구에서 데이터로 사용하는 채널의 수는 총 19개 이므로 $19 \times 19 = 361$ 개의 행렬 데이터가 구해진다. 이중 같은 채널을 분석하는 경우 19개, 대각선을 기준으로 마주보고 있는 데이터는 같은 값을 의미하므로 실제 상관계수로 활용하는 데이터는 총 171개의 상관계수 값이 나오게 된다.

본 연구에서는 단계별로 피험자들의 상관계수 값의 평균을 낸 후, 이를 시각적으로 분석하기 쉽도록 지형도(topography)로 표현하였다.

또한 뇌의 영역에 따른 단계별 상관계수의 변화율을 알아보기 위해 뇌 영역별 상관계수의 대표 값을 구하였다. 예를 들면, 전전두엽의 상관계수 대표 값을 구한다고 하면, 전전두엽(Fp1, Fp2) 대 모든 영역(19개 채널)과의 상관계수 값의 평균을 구한다. 즉 전전두엽 채널 2개 \times 모든 채널 19개 - (자기 자신끼리 상관관계를 구한 Fp1-Fp1, Fp2-Fp2) 2개 = 36개에 해당되는 상관계수의 평균값을 구하였다.

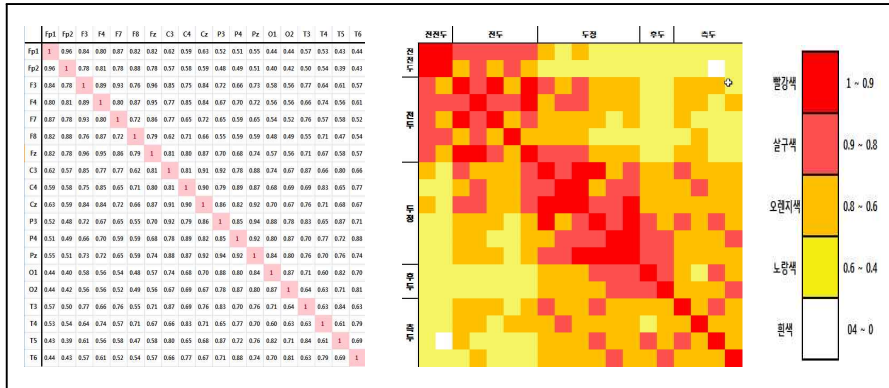


그림 4. 19×19 상관계수 행렬 및 지형도의 예

결과 및 논의

제시된 듣기회상과제의 단계별 난이도를 증가시킴에 따라 피험자에게서 나타난 두뇌의 활성 변화 및 인지부하 차이는 다음과 같았다.

듣기회상과제의 단계별 정답률 분석

듣기회상과제는 두 가지 유형의 과제를 동시에 수행하도록 고안되어있다. 즉, 문장을 듣고 그 문장의 내용이 상식적으로 참인지 거짓인지를 판별하는 판별반응과제와 각 문장들의 마지막 단어를 순서대로 기억하고 있다가 컴퓨터 화면에 단어들들이 순서대로 제시되었을 때 단어의 철자와 순서가 올바른지를 판단하는 회상반응과제로 구분할 수 있다. 전 피험자를 대상으로 단계별 과제의 정답률 평균 결과는 그림 5와 같다.

판별반응과제의 경우, 모든 단계에서 95% 이상의 높은 정답률을 보인 것으로 보아 피험자들 대부분이 각 문장의 내용을 잘 이해하고자 노력하였으며 모든 단계에서 주의 집중이 지속되었다고 볼 수 있다. 반면에 회상반응과제는 1단계가 2단계보다 다소 낮은 정답률을 보였고, 3, 4단계는 1, 2단계에 비해 매우 낮은 정답률

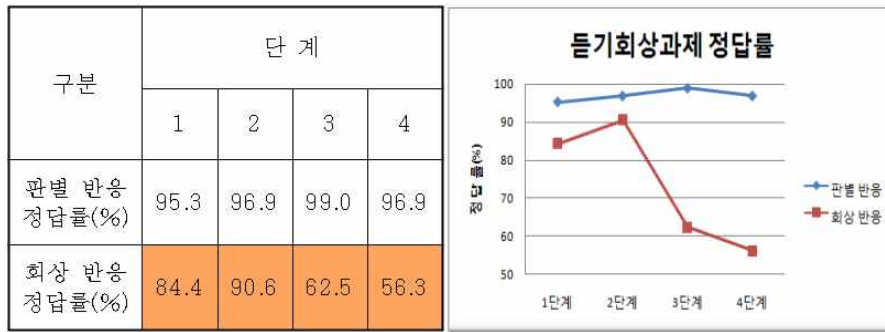


그림 5. 듣기회상과제의 정답률 평균

을 보였다. 최초 설계 시 의도했던 것과는 달리, 1단계의 정답률이 2단계보다 다소 낮게 나온 이유는 시작단계에서 초반 긴장이나 문제 적응 등의 심리적 요인이 반영된 결과로 보인다. 3, 4단계는 본 연구에서 의도한대로 난이도가 크게 높아지는 시기로 피험자들은 문제를 푸는 동안 어려움을 많이 느꼈을 것으로 보인다.

단계별 회상반응과제의 정답률 차이가 통계적으로 유의한지를 알아보기 위해 표 2, 3과 같이 전 피험자를 대상으로 단계별 정답 개수에 대한 기술통계 및 반복 설계(one-way repeated measure ANOVA) 통계분석을 실시하였다.

표 3의 결과는 Mauchly의 구형성 가정이 $\chi^2(5)=12.137, p=.035 < .05$ 으로 수준 간 차이의 변량이 동질하다는 구형성 가정에 위배되었기 때문에 Greenhouse-Geisser의 수정된 값을 사용하였으며, 유의확률(p)= .034 < .05로 단계별 과제 정답률에 대한 차이는 통계적으로 유의하였다. 실제로 어느 단계 간 차이가 유의하였는지를 알아보기 위해 Fisher의 최소유의차 검증법(Least Significant Difference, LSD)을 이용하

표 2. 회상반응과제 정답에 대한 기술통계 분석

단계	평균	표준편차	피험자수
1단계	3.38	0.744	8
2단계	3.62	0.518	8
3단계	2.50	0.535	8
4단계	2.25	1.165	8

표 3. 회상반응과제 정답에 대한 반복설계 통계 분석 결과 ($p < .05$)

	분산원	제곱합	자유도	평균제곱	F	유의확률
	피험자 간	3.875	7	0.554		
과제	단계별 정답	10.625	1.346	7.893	5.561	.034
정답	오차	13.375	9.423	1.419		
	전체	27.875	17.769			

표 4. 단계 간 과제 정답에 대한 사후 분석 결과 ($p < .05$)

구간	평균차	표준오차	유의확률
1단계 - 3단계	0.875	0.227	.006
2단계 - 3단계	1.125	0.227	.002
2단계 - 4단계	1.375	0.375	.008

여 사후분석을 실시하였다.

총 6개 구간(1단계-2단계, 1단계-3단계, 1단계-4단계, 2단계-3단계, 2단계-4단계, 3단계-4단계)에 대한 사후분석 결과, 통계적으로 유의한 차이를 보인 3개의 구간만 표 4에 제시하였다. 예상과는 달리 1-4단계는 통계적으로 유의한 결과를 보이지 않았지만, 1단계와 3단계, 2단계와 3, 4단계 간 통계적으로 유의한 차이를 보였다는 점과 앞서 분석한 과제 정답률의 평균 차이로 비추어 볼 때, 3, 4단계는 난이도가 매우 높은 시기로, 피험자들은 과제 해결 동안 상당히 어려움을 느꼈으며, 인지 과부하 상태에 빠졌을 것으로 추정된다.

SEF-95% 지표 분석

과제정답률을 통해 학습자가 느끼는 난이도나 인지부하 정도는 어느 정도 추측해 볼 수 있다. 하지만, 이는 일종의 지필 평가를 통해 나타난 결과이며, 보다 객관적인 방법으로 인지부하도를 알아보기 위해 다양한 뇌파 분석을 실시하였다.

첫 번째로 실시한 SEF-95% 지표는 각성 상태를 알아볼 수 있는 대표적인 분석

범 중의 하나로 SEF-95% 지표값이 증가할수록 보다 각성된 상태라고 할 수 있으며 인지부하도는 증가하였다고 해석할 수 있다. 전체 피험자들을 대상으로 단계별 SEF-95% 지표의 평균값의 결과는 그림 6과 같다.

안정상태의 경우는 과제 수행에 참여하기 전에 눈을 감고 두뇌활동을 최소화 하도록 요구 받은 상태로서, (그림 11)를 살펴보면, 전체적으로 안정상태에 비해 인지수행(1~4단계) 상태는 SEF-95% 지표값이 상당히 증가함을 알 수 있다. 또한 인지과부하가 발생했을 것으로 추정되는 3, 4 단계는 1, 2단계에 비해 SEF-95%값이 더욱 증가한 결과가 나타났다. 단, SEF-95% 지표값이 1단계>2단계, 3단계>4단계로 약간씩 감소하는 패턴을 보인 점은 듣기회상과제가 단순한 문항 형식의 반복 수행이라는 점에서 시간이 흐를수록 과제수행에 점차 적응하고 편하게 느끼는 습관화 현상[42]이 반영된 결과로 보인다.

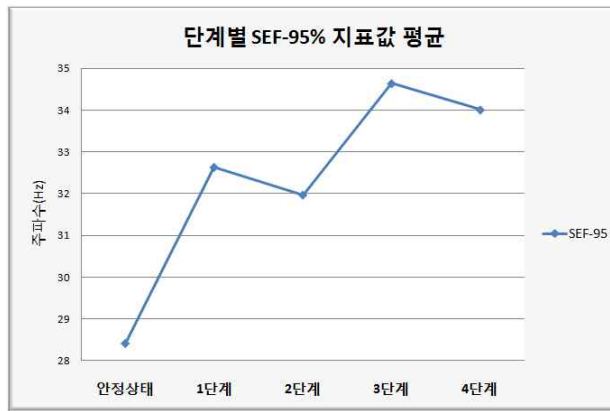


그림 6. 단계별 SEF-95% 지표값 평균

즉, 1단계와 2단계에서는 과제를 수행하는 동안 인지부하가 발생하고 있지만, 난이도는 차이를 보이지 않은 채 점점 익숙해져 갔다고 할 수 있으며, 3단계와 4 단계에서는 난이도가 급격하게 올라가서 인지과부하 상태로 추정되지만, 이 역시 4단계에서 높은 난이도에 적응 또는 습관화 되었을 수 있다. 이러한 점은 인지 과제 수행 시 전혀 생소한 일을 처음 시작할 때 감마파가 나타나지만, 조금 익숙해

지면 베타파가 나타난다는 연구 결과나[9], 과제 수행을 막 시작하는 단계에서 쉽게 나타날 수 있는 초반 긴장 등의 심리상태가 반영된 결과일 수도 있다.

상대파워 스펙트럼 분석

채널별 감마파 상대파워 분석

채널별 상대파워는 뇌의 어느 부위에서 변화가 일어났는지를 알아보기 위한 유용한 방법이다. 본 연구에서는 각 채널별, 단계별 감마파의 상대파워 변화 추이를 알아보았다. 그림 7은 전 피험자를 대상으로 감마파에 대한 각 채널별, 단계별 상대파워의 평균값을 나타낸 것이다.

감마파는 안정상태에 비해 인지수행(1~4단계)상태에서 확실한 차이를 보이고 있으며, 대부분의 채널에서 단계별 난이도가 증가할수록 감마파의 상대파워도 증가하는 패턴을 보이고 있다. 감마파가 전체적으로 높게 활성화된 채널은 T3, T4로서, 이곳은 1차 청각영역, 베르니케 영역에 해당된다. 즉, 듣기회상과제가 음성으로 자극이 제시된다는 점에서 이 부위가 가장 빈번히 사용되었다고 볼 수 있다.

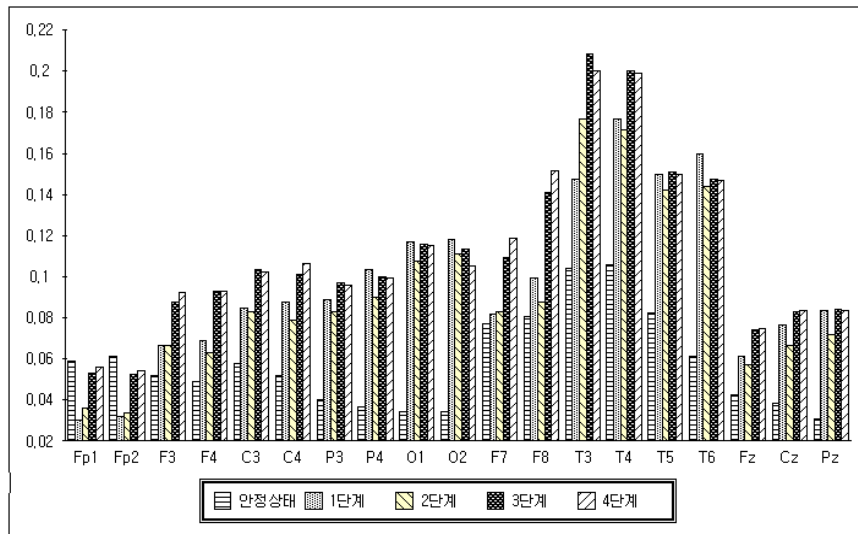


그림 7. 채널별 단계별 감마파의 상대파워 평균

각 채널별로 단계별 난이도에 따른 감마파의 상대파워 변화가 통계적으로 유의한지를 알아보기 위해 채널별 반복설계 통계분석을 실시하였다. 우선, 안정상태를 포함한 채널별 반복 설계 통계분석 결과는 Fp1, Fp2를 제외한 모든 채널에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났다. 이러한 결과는 안정상태에 비해 인지수행(1~4)상태의 뇌파 차이가 컸기 때문이다. 단, 전전두엽에 해당하는 Fp1, Fp2는 듣기회상과제를 수행하는데 상대적으로 크게 관여하지 않았다고 해석할 수 있다.

표 5. 채널별 감마파의 상대파워 기술 통계 분석

채널	단계	평균	표준편차	피험자수
F3	1단계	0.067	0.062	8
	2단계	0.067	0.068	8
	3단계	0.087	0.075	8
	4단계	0.093	0.089	8
F4	1단계	0.069	0.067	8
	2단계	0.063	0.069	8
	3단계	0.093	0.078	8
	4단계	0.093	0.092	8
C4	1단계	0.088	0.083	8
	2단계	0.079	0.082	8
	3단계	0.101	0.082	8
	4단계	0.106	0.099	8
F7	1단계	0.082	0.073	8
	2단계	0.083	0.083	8
	3단계	0.109	0.092	8
	4단계	0.119	0.099	8
F8	1단계	0.100	0.071	8
	2단계	0.088	0.070	8
	3단계	0.141	0.100	8
	4단계	0.151	0.080	8

안정상태를 포함한 반복설계 통계 분석 결과는 안정상태와의 인지수행상태의 차이가 너무 컸던 결과로서, 단계별 난이도 차이가 유의한지를 알아보기 위해 안정상태를 제외한 1~4단계로만 다시 반복 설계 통계분석을 실시하였다. 표 5, 6은 1~4단계에서 통계적으로 유의한 차이를 보인 채널에 대한 기술 통계 및 반복설계 통계분석 결과이다.

표 6. 채널별 감마파의 상대파워 반복설계 통계분석 결과 (P < .05)

채널	분산원	제공합	자유도	평균제공	F	유의확률
F3	피험자 간	0.146	7	0.02	3.667	.029
	단계별 난이도	0.004	3	0.001		
	오차	0.009	21	0.000		
	전체	0.159	31			
F4	피험자 간	0.157	7	0.022	4.393	.015
	단계별 난이도	0.005	3	0.002		
	오차	0.009	21	0.000		
	전체	0.171	31			
C4	피험자 간	0.205	7	0.029	3.719	.027
	단계별 난이도	0.004	3	0.001		
	오차	0.007	21	0.000		
	전체	0.216	31			
F7	피험자 간	0.199	7	0.028	4.110	.019
	단계별 난이도	0.008	3	0.003		
	오차	0.014	21	0.001		
	전체	0.221	31			
F8	피험자 간	0.136	7	0.019	3.278	.041
	단계별 난이도	0.023	3	0.008		
	오차	0.049	21	0.002		
	전체	0.208	31			

총 5개의 채널에서 통계적으로 유의한 결과가 나왔는데, 이들 모두 Mauchly의 구형성 검증에서 $P > .05$ 로 나와서 실험조건 간 변량의 차이가 동일하다는 구형성의 가정을 만족하였으므로 Greenhouse-Geisser 등의 수정된 값을 사용하지 않았다. 어느 단계 간 차이가 유의하였는지를 알아보기 위해 유의한 5개의 채널에 대해 각각 LSD 검증법을 이용한 사후분석을 실시하였다.

표 7을 살펴보면, 주로 1-4, 2-3, 2-4 단계에서 통계적으로 유의한 결과가 나왔으며, 1, 2 단계에 비해 3, 4단계의 감마파의 상대파위에 확실한 차이가 있었음을 알 수 있다. 위의 5개 채널은 뇌의 영역 중 브로카 영역(F7, F8)을 중심으로 인접해 있는 부위에 해당되며, 듣기회상과제를 수행하는 동안 단계가 높아질수록 브로카 영역을 중심으로 뇌 활성화의 변화가 가장 크게 일어났다고 할 수 있다.

표 7. 채널별 감마파 상대파위의 사후분석 결과 ($p < .05$)

채널	구간	평균차	표준오차	유의확률
F3	2단계 - 3단계	0.021	0.006	.015
	2단계 - 4단계	0.026	0.009	.025
F4	2단계 - 3단계	0.029	0.010	.020
	2단계 - 4단계	0.029	0.010	.022
C4	2단계 - 3단계	0.022	0.008	.025
	2단계 - 4단계	0.027	0.008	.011
F7	1단계 - 4단계	0.037	0.014	.037
	2단계 - 3단계	0.026	0.010	.039
	2단계 - 4단계	0.036	0.011	.017
F8	1단계 - 4단계	0.052	0.022	.048
	2단계 - 4단계	0.064	0.017	.008

감마파 상대파위의 뇌맵핑 분석

감마파의 단계별 활성변화를 시각적으로 알아보기 위해 Brain-Map 3D 프로그램에서 제공하는 뇌맵핑(Brain Mapping) 분석을 사용하였다.

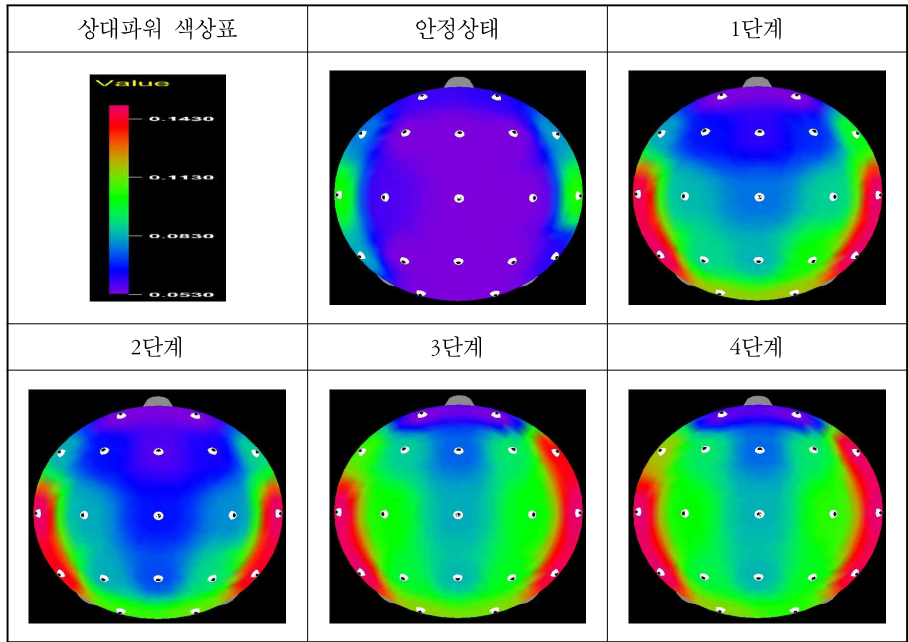


그림 8. 감마파 상대파워의 단계별 뇌맵핑

그림 8은 전 피험자를 대상으로 단계별 난이도가 증가함에 따라 두뇌에서 나타난 감마파의 활성 변화를 시각적으로 보여준 결과이다. 단계별 난이도가 증가할수록 F8번 채널에서 뚜렷한 차이를 보이고 있다. F8은 우반구의 브로카 영역에 해당되는 부위로서 평상시에는 좌반구의 브로카 영역(F7)이 언어 처리를 주로 담당하지만, 한꺼번에 많은 언어 처리 부담이 생기는 경우 즉, 언어와 관련한 인지과부하가 걸렸을 때는 우반구의 브로카 영역이 좌반구의 부담을 줄이기 위해서 연합 작용을 하는 것으로 판단된다. 즉, 언어관련 작업기억의 인지과부하는 우반구의 브로카 영역과 밀접한 관련이 있을 것으로 추정한다.

감마파 상대파워의 시간에 따른 변화 분석

지금까지 과제정답률, SEF-95% 지표, 채널별 감마파 상대파워 분석을 통해 확인한 결과, 3, 4단계에서 피험자들은 인지과부하가 발생했을 것으로 보이며, 브로

카 영역이 인지과부하와 밀접한 관련이 있음을 밝혔다. 특히 우반구의 브로카 영역(F8)은 단계별 활성 변화가 가장 뚜렷한 부위로 보이며, 언어영역 작업기억과 관련된 인지과부하를 판별할 수 있는 부위로 추정된다. 이러한 결과를 토대로 피험자별 채널 F8에 대한 감마파 상대파위의 시간에 따른 변화를 확인하였다. 다수의 피험자들이 단계가 올라갈수록 감마파의 상대파위도 커지는 경향을 보였으며, 3, 4 단계에서 감마파 상대파위 값의 낙차(증가-감소)가 심하게 나타났다. 그림 9는 피험자 A의 F8 채널에 대한 시간에 따른 감마파의 상대파위 변화를 나타낸 것이다. 실제로 3단계 중반 이후 감마파의 상대파위 값이 두 배 이상 증가하는 등 급격한 변화를 관찰할 수 있는데, 이는 인지과부하가 걸려서 감마파의 활성이 급격히 증가된 예라고 할 수 있다.

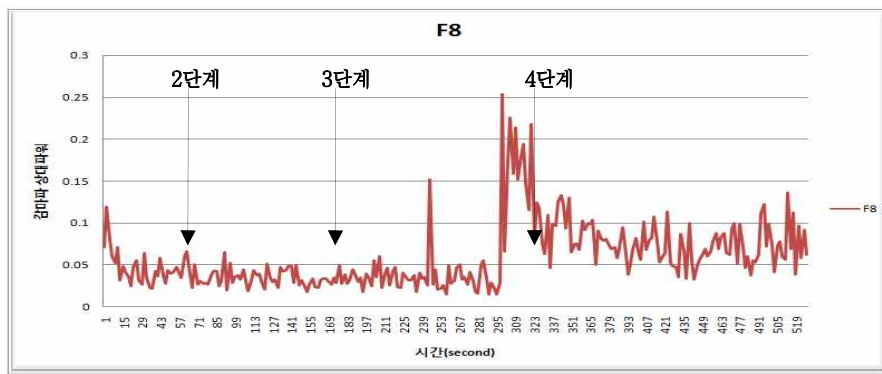


그림 9. 피험자 A의 채널 F8에 대한 감마파의 상대파위 시간 변화

상호 상관 분석

상호 상관(Cross Correlation) 분석은 인지활동이 증가할수록 비동기화도는 증가한다는 가정아래, 상관계수 값을 통해 분석하였다. 상관계수 값이 0에 가까울수록 두 신호는 독자적으로 움직인다고 할 수 있으며, 상관관계가 없음을 의미한다. 또한 두 신호간의 비동기화가 증가했다고 볼 수 있다. 본 연구에서는 전 피험자들을 대상으로 상관계수 값의 평균을 구한 뒤, 시각적으로 분석하기 쉽도록 그림 10처럼 지형도로 표현하였다.

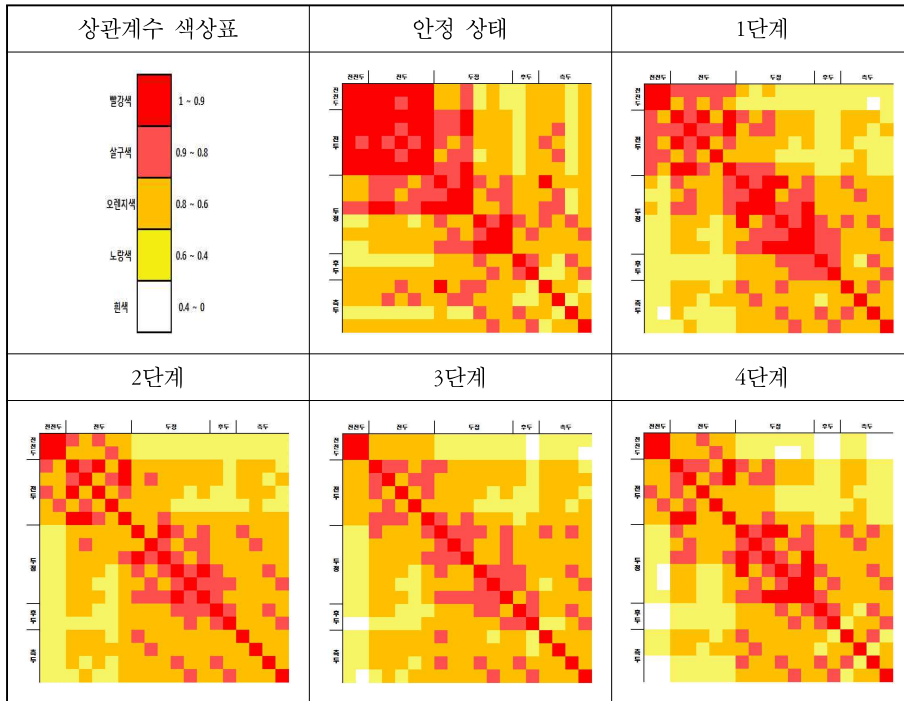


그림 10. 피험자 전체의 상관계수 지형도

안정상태에 비해 인지수행상태에서 붉은 빛이 약해지고 있음을 알 수 있으며, 1, 2 단계에 비해 3, 4단계에서 붉은 빛이 더 약한 것으로 보아 난이도가 증가하여 비동기화도 증가했다고 할 수 있다. 이는 인지부하의 증가가 비동기화와 관련이 깊다는 것을 단적으로 보여주는 예라고 할 수 있다.

뇌의 어느 부위가 비동기화가 높게 나타났는지를 알아보기 위해 그림 11처럼 뇌 영역별 상관계수의 대표 값을 구하였다. 단계별 난이도가 올라갈수록 전전두 영역에서 다른 뇌 영역들과의 상관계수가 큰 차이로 낮아지고 있음을 볼 수 있다. 이 결과는 반복 설계 분석에서 전전두엽이 안정상태나 인지수행상태에서 유의한 차이를 보이지 않았다는 점과 상관계수 지형도에서 전전두엽에 해당되는 부분이 전 단계에서 0.9 이상의 높은 상관을 보이고 있다는 점에서 전전두엽이 듣기회상 과제를 수행하는 동안 크게 관여하지 않았다고 해석할 수 있다. 즉, 단계별 난이도

증가에 따라 전전두엽은 크게 관여를 하지 않았기 때문에 변화가 적었던 반면에 전두엽, 측두엽, 두정엽을 중심으로 단계별 난이도 증가에 따라 변화가 컸기 때문에 전전두엽 대 다른 뇌 영역간의 단계별 상관도는 큰 차이로 낮아진 결과를 보인 것이다. 이 결과 역시 특정 영역의 인지부하가 증가함에 따라 상대적으로 관여하지 않은 영역과의 상관계수가 낮아졌음을 알 수 있고, 인지부하가 증가하고 있음을 알 수 있는 객관적인 예라고 할 수 있다.

단계 뇌 영역	안정 상태	2단계	4단계	6단계	8단계
전전두	0.74	0.61	0.58	0.55	0.53
전두	0.76	0.70	0.69	0.69	0.67
두정	0.74	0.73	0.71	0.69	0.70
후두	0.66	0.65	0.66	0.65	0.62
측두	0.69	0.66	0.66	0.66	0.64

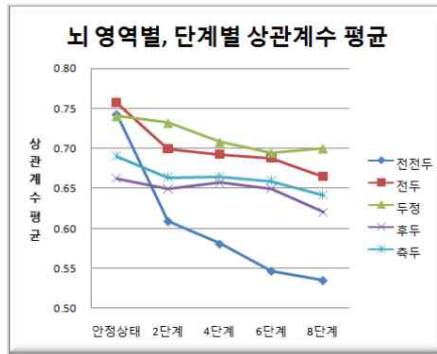


그림 11. 뇌 영역별, 단계별 상관계수 평균

종합 논의

기존 이러닝 체제는 인간교사 만큼 지능화되지 못해 학습자와의 상호작용이 제한되어 있다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 학습자가 키보드 등의 입력기를 통해 질문이나 답변을 하면 이를 프로그래밍 알고리즘으로 분석하여 능동적으로 피드백 하는 지능형 교수시스템 및 사람의 얼굴 표정을 인식하여 학습자의 감정을 읽는 감성 인식 교수시스템 등의 개발로 이를 보완하고자 하는 노력이 최근에 많이 연구되고 있다. 나아가서 인간이 학습중에 보이는 생리적 신호를 이용한다면 비언어적인 반응에 나타나는 학습자의 인지부하를 알 수 있고, 적절한 피드백을 제공할 수 있을 것이다.

본 논문은 생리적 데이터 가운데서 EEG를 이용하여 학습자가 인지적 어려움을 겪고 있을 때 능동적으로 난이도를 조절하거나 적절한 피드백을 줄 수 있는 차세대 감성 기반 이러닝 체제의 기술 확보를 위한 연구로서 뇌파를 이용하여 인간이 인지활동을 수행하는 동안 인지부하도를 측정하고 인지과부하를 판별할 수 있는지를 알아보고자 하였다. 언어 관련 작업기억 능력을 측정할 수 있는 듣기회상과제를 제시하여 피험자가 수행하는 동안 뇌파 측정을 하였으며, 뇌파 분석 결과 요약 및 결론은 다음과 같다.

첫째, 듣기회상과제의 단계별 정답률을 비교해 본 결과, 판별반응과제의 경우는 모두 95% 이상의 정답률을 보였으며, 피험자 대부분 각 문장의 내용을 잘 이해하였으며, 모든 단계에서 주의 집중이 지속되었음을 알 수 있다. 반면, 회상반응과제의 경우는 1단계는 84.4%, 2단계는 90.6%, 3단계는 62.5%의 정답률을 보였다. 1, 2단계 모두 비교적 높은 정답률을 보이고 있는 반면, 3, 4단계는 매우 낮은 정답률을 보이고 통계적으로 유의한 차이가 있음을 확인하였다. 3, 4단계는 실험 설계에서 의도한 대로 난이도가 매우 높아지는 시기로 피험자들은 인지과부하가 발생했을 것으로 보인다.

둘째, 뇌파 분석의 첫 번째 방법으로 SEF-95% 지표 분석을 하였다. 눈 감은 안정 상태에 비해 과제 수행 단계(1~4 단계)에서 지표값이 증가하였다. 그리고 1, 2단계에 비해 3, 4단계에서 더욱 높은 지표값을 보였는데, 이는 과제정답률에서 알 수 있듯이 피험자들이 인지과부하가 발생했음을 알 수 있는 또 다른 근거이다.

셋째, 과장대별 상대파워 스펙트럼 분석을 통해 감마파의 상대파워가 인지부하도와 매우 관련이 있음을 확인하였다. 이는 Fitzgibbon 등[29]의 논문에서 보인 결과와 일치하는 것으로 판단된다. 또한, 채널별 감마파의 상대파워 분석을 하였으며, 단계별 변화에 따른 반복 설계 통계 분석 결과, 5개의 채널(F3, F4, C4, F7, F8)이 통계적으로 유의하게 나왔다. 이 부위들은 모두 브로카 영역(F7, F8)과 인접한 곳으로 듣기회상과제를 수행하는 동안 이 부위에서 주로 인지과부하가 나타났을 것으로 보인다. 특히 좌·우반구의 감마파 상대파워 분석 및 뇌맵핑 분석 결과를 통해 우반구의 브로카 영역(F8)이 본 듣기회상과제를 수행하는 동안 인지과부하와 밀접한 관련이 있다고 본다.

넷째, 상호 상관 분석을 통해 비동기화도를 알아보았다. 시각적으로 구분하기

편하도록 설계한 지형도를 분석해 보면, 안정상태에 인지수행(1~4단계)상태에서 비동기화가 확실히 차이가 났으며, 1, 2단계에 비해 3, 4단계에서도 비동기화가 증가한 결과를 보였다. 또한 뇌의 영역에 따른 단계별 상관계수의 변화율을 알아본 결과, 전전두엽 부위가 다른 뇌 부위들과 단계별 상관계수 평균이 단계별 난이도가 증가할수록 낮게 나와 비동기화가 증가하는 결과를 보였다. 이는 알파파가 뇌의 인지 부하가 증가할수록 비동기성이 증가한다는 결과와 비슷하게 나타난 점으로 미루어 본 실험에서도 인지부하도가 증가할수록 비동기화가 커졌음을 알 수 있다 [43].

위의 결과를 종합하여 볼 때, 인간의 생리적 데이터 가운데서 뇌파를 이용하면 인간이 인지활동을 수행하는 동안의 인지부하도를 측정할 수 있으며, 인지과부하를 판별해 낼 수 있음을 알 수 있다.

참고문헌

- [1] 박정현, 정상목, 이완복, 송기상 (2006). e-Learning 에서 나타날수 있는 학습자의 얼굴 표정 분석. **한국 콘텐츠 학회 종합 학술대회 논문집**, 4(1), 160-163.
- [2] 박정현, 김인욱, 정상목, 송기상, 김종백 (2008). 감성 인식 컴퓨팅 기술을 적용한 이러닝 상호작용 기술 연구. **컴퓨터교육학회 논문지**, 11(2), 89-98.
- [3] 정상목, 송기상 (2007). 이러닝 환경에서 몰입학습 증진을 위한 대화 기반 피드백 시스템의 개발. **한국콘텐츠학회논문지**, 7(2), 150-160.
- [4] 김성일 (2006). 뇌과학이 교육에 대해 말해 주는 것은 무엇인가? **인지과학**, 17(4), 375-398.
- [5] Atherton, M., & Bart, W. M. (2001). Education and fMRI: Promise and Cautions. *Annual Meeting of the American Educational Research Association*.
- [6] Atherton, M., & Bart, W. M. (2002). What the neurosciences can tell educators about reading and arithmetic: *A review of current research*.
- [7] Atherton, M. (2002). A Neurocognitive Model for Students and Educators. *Cognitive Science Society, Fairfax, VA, August*.

- [8] Goswami, U. (2004). Neuroscience and education. *British Journal of Educational Psychology*, 74(1), 1-14.
- [9] 김정훈. 양도 제대로 세야 잠 온다. Kisti, 2008. 4. 23. <http://scent.kisti.re.kr>
- [10] 명현, 김풍민, 이동우, 신동선, 이명철, 배희연, 권혁준 (2003). 뇌파 기반의 차세대 휴먼 인터페이스 개발에 관한 연구. 정보통신부 연구개발보고서.
- [11] McFarland, D. J., Sarnacki, W. A., Vaughan, T. M., & Wolpaw, J. R. (2005). Brain-computer interface (BCI) operation: signal and noise during early training sessions. *Clinical Neurophysiology*, 116(1), 56-62.
- [12] Schalk, G., McFarland, D. J., Hinterberger, T., Birbaumer, N., & Wolpaw, J. R. (2004). BCI 2000: A General-Purpose Brain-Computer Interface(BCI) System. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 51(6), 1034-1043.
- [13] Sellers, E. W., Krusienski, D. J., McFarland, D. J., Vaughan, T. M., & Wolpaw, J. R. (2006). A P300 event-related potential brain-computer interface (BCI): The effects of matrix size and inter stimulus interval on performance. *Biological Psychology*, 73(3), 242-252.
- [14] Sweller, J. (1994). Cognitive load theory, learning difficulty, and instructional design. *Learning and Instruction*, 4(4), 295-312.
- [15] Sweller, J. (1999). *Instructional Design in Technical Areas*, Camberwell Australia: ACER Press.
- [16] Mayer, R. E. (2001). *Multimedia Learning*. New York: Cambridge University Press.
- [17] 조경자 (2000). 정보제시유형과 인지양식이 멀티미디어 학습에 미치는 영향. 연세대학교 대학원 박사학위논문.
- [18] 황혜란 (2003). 학습자료 제시양식과 학습자 인지양식이 멀티미디어 학습에서 정보의 통합과 인출에 미치는 영향. 성균관대학교 대학원 석사학위 논문.
- [19] 변숙영, 최경숙 (2006). 아동의 인지양식과 학습내용 제시형태에 따른 멀티미디어 활용학습의 효과. **한국아동교육학회**, 15(2), 131-147.
- [20] Schnotz, W., & Bannert, M. (2003). Construction and interference in learning from multiple representation. *Learning and Instruction*, 13(2), 141-156.
- [21] Whelan, R. R. (2007). Neuroimaging of cognitive load in instructional multimedia.

- Educational Research Review*, 2(1), 1-12.
- [22] Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417-423.
- [23] Baddeley, A.(2006). Working memory: An overview. Working memory and Education, 1-31.
- [24] 이정모, 김민식, 감기택, 김정오, 박태진, 김성일, 이광오, 김영진, 이재호, 신현정, 도경수, 이영애, 박주용, 조은경, 곽호완, 박창호, 이재식, 이건효 (2008). **인지심리학**. 서울: 학지사.
- [25] Carter, R. (2008). Mapping the Mind. 양영철, 이양희(역). 뇌맵핑마인드. 서울: 달·글빛냄. (원서출판 1998).
- [26] Yetkin, O. (1996). Use of functional MR to map language in multilingual volunteers. *American Journal of Neuroradiology*, 17(3), 473-477.
- [27] 김연희 (2001). Functional MRI 를 이용한 뇌기능 연구. *한국뇌학회*, 1(1), 65-76.
- [28] 과학카페. KBS. 2008년 10월 4일 방영.
- [29] Fitzgibbon, S. P., Pope, K. J., Mackenzie, L., Clark, C. R., & Willoughby, J. O. (2004). Cognitive tasks augment gamma EEG power. *Clinical Neurophysiology*, 115(8), 1802-1809.
- [30] Howard, M. W., Rizzuto, D. S., Caplan, J. B., Madsen, J. R., Lisman, J., Aschenbrenner-Scheibe, R., Schulze-Bonhage, A., Kahana, M. J.(2003). Gamma Oscillations Correlate with Working Memory Load in Humans. *Cerebral Cortex*, 13(12), 1369-1374.
- [31] Tallon-Baudry, C., Bertrand, O., Peronnet, F., & Pernier, J. (1998). Induced γ -Band Activity during the Delay of a Visual Short-Term Memory Task in Humans. *Journal of Neuroscience*, 18(11), 4244-4254.
- [32] von Stein, A., Chiang, C., & Konig, P. (2000). Top-down processing mediated by interareal synchronization. *Proceeding of the National Academy of Sciences*, 97(26), 14748-14753.
- [33] Meltzer, J. A., Zaveri, H. P., Goncharova, II, Distasio, M. M., Papademetris, X., Spencer, S. S., Spencer, D. D., Constable, R. T. (2007). Effects of Working Memory

- Load on Oscillatory Power in Human Intracranial EEG. *Cerebral Cortex Advance Access*.
- [34] Tao, H., & Tian, X.(2005). Coherence Characteristics of Gamma-band EEG during rest and cognitive task in MCI and AD. *Engineering in Medicine and Biology 27th annual Conference*
- [35] 김용진, 김재영, 권치순 (2005). 창의적 과학문제 해결에서 초등학교 과학 영재 아와 보통아의 뇌파 활성 차이. **한국생물교육학회**, 33(1), 23-32.
- [36] Alloway, T. P.(2007). Automated Working Memory Assessment Manual. London: Harcourt Assessment.
- [37] Compumedics(2001). E-series user guides. Australia: Compumedics.
- [38] 이조옥 (2003). 초·중등학생의 과학적 사고과정에서 나타난 뇌파 특성. 한국 교원대학교 대학 석사학위논문.
- [39] 김대식, 최장욱 (2001). **뇌파 검사학**. 서울: 고려의학.
- [40] laxtha(2004). **BrainMap-3D User Manual**.대전: laxtha.
- [41] 한선호, 사이또 쇼지 (1998). **임상뇌파**. 서울: 일조각.
- [42] 김용진, 장남기 (2001). 시청각 학습의 반복 수행에 따른 전두부의 뇌파 활성도 변화. **한국과학교육학회지**, 21(3), 516-528.
- [43] Henriques, J. B. and Davidson, R. J. (1997). Brain Electrical Asymmetries during Cognitive Task Performance in Depressed and Nondepressed Subjects, *Biological Psychiatry*, Vol. 42, no. 11, pp. 1039-1050.

1 차원고접수 : 2009. 2. 16
2 차원고접수 : 2009. 6. 5
최종게재승인 : 2009. 6. 7

(Abstract)

EEG based Cognitive Load Measurement for e-learning Application

Jun Kim

Ki-Sang Song

Dept. of Computer Education, Korea National University of Education

This paper describes the possibility of human physiological data, especially brain-wave activity, to detect cognitive overload, a phenomenon that may occur while learner uses an e-learning system. If it is found that cognitive overload to be detectable, providing appropriate feedback to learners may be possible. To illustrate the possibility, while engaging in cognitive activities, cognitive load levels were measured by EEG (electroencephalogram) to seek detection of cognitive overload. The task given to learner was a computerized listening and recall test designed to measure working memory capacity, and the test had four progressively increasing degrees of difficulty. Eight male, right-handed, university students were asked to answer 4 sets of tests and each test took from 61 seconds to 198 seconds. A correction ratio was then calculated and EEG results analyzed. The correction ratio of listening and recall tests were 84.5%, 90.6%, 62.5% and 56.3% respectively, and the degree of difficulty had statistical significance. The data highlighted learner cognitive overload on test level of 3 and 4, the higher level tests. Second, the SEF-95% value was greater on test3 and 4 than on tests 1 and 2 indicating that tests 3 and 4 imposed greater cognitive load on participants. Third, the relative power of EEG gamma wave rapidly increased on the 3rd and 4th test, and signals from channel F3, F4, C4, F7, and F8 showed statistically significance. These five channels are surrounding the brain's Broca area, and from a brain mapping analysis it was found that F8, right-half of the brain area, was activated relative to the degree of difficulty. Lastly, cross relation analysis showed greater increasing in synchronization at test3 and 4th at test1 and 2. From these findings, it is possible to measure brain cognitive load level and cognitive over load via brain activity, which may provide timely feedback scheme for e-learning systems.

Keywords : e-learning, working memory, cognitive load, EEG(electroencephalogram)