

Learning Science Concept Words : P300

Ji-Yoon Jang¹⁾ · Il-Ho Yang^{*2)}

¹⁾Seoul Yeongbon Elementary School · ²⁾Korea National University of Education

과학 개념어 학습에 관여하는 P300 연구

장지윤¹⁾ · 양일호^{*2)}

¹⁾서울영본초등학교 · ²⁾한국교원대학교

<ABSTRACT>

The purpose of this study is divided into two main objectives. First, it effectively proves the neurological changes that occur due to science concept learning. By proving the changes in participants' cognitive responses to learning in brain science, it reveals that learning actually results in neurological changes. Second, explore what ERP is involved in high-level cognitive learning, and what are the differences that appear before and after learning. The study results are as follows. First, the P300 amplitude in the abstract nouns is significantly higher on more than half of the channels compared to the scientific concept before learning and the abstract nouns. The P300 amplitude appears to have been significantly high because participants had a lot of prior knowledge of abstract nouns and the task of thinking of the meaning of abstract nouns was relatively low. Second, when you look at science concepts that understand the meaning after learning science concept words and when participants look at simple exposed science concept words, participants don't see significant differences in both P300 amplitude and latency. It is assumed that despite the different learning conditions, there is not much difference because of the effect of fast mapping. Even if you haven't learned the meaning, participants will be exposed to the concept words of science several times, and participants will see P300 amplitude and latency similar to the concept words of science that learned the meaning. Third, whether it is a science concept words that learns meaning correctly or is simply exposed, P300 amplitude was higher than in the pre-learning science concept words. This shows that learning and fast mapping are both involved in P300 amplitude changes.

Key words : P300, ERP, Science Concept Word

※ 이 연구는 장지윤의 2020년 석사학위 논문의 일부를 수정, 보완하였음.

* Corresponding Author : Il-Ho Yang, yih118@knu.ac.kr

Received March 18, 2020; Reviewed May 20, 2020 Corrected June 22, 2020; Accepted June 24, 2020

© 2020. Institute of Brain based Education, Korea National University of Education

I. Introduction

일반적으로 과학 교수학습 과정에서 새로운 현상을 제시하고, 제시된 현상의 원인을 탐색한 후 이에 대한 과학 개념어(science concept word)를 도입하게 된다. 따라서 과학 개념어는 현상과 관련된 용어와 설명과 관련된 용어들이 연결 속에서 특정 관계를 갖는 네트워크적 성격을 지니고 있다. 특정한 과학 개념들 사이의 관계를 도식화하여 나타내는 개념도(concept map)은 교수-학습의 과정 뿐만 아니라 학습의 결과를 평가하는데 사용되는 도구(Usta et al., 2020)로써도 의미를 지는 것은 과학 개념어가 지니고 있는 특징이라고 할 수 있다. 이러한 의미에서 과학 학습에서 해당 개념을 나타내는 과학 개념어와 개념어와 관련된 개념어들의 네트워크가 양적, 질적으로 잘 조직되는 것이 중요하다(Yun, 2020).

과학 학습이 이루어지는 동안 탐구를 통해서 자연스럽게 도입되는 과학 개념어와 서술적 상황에서 노출되는 과학 개념어에 대하여 학습자가 느끼는 어려움은 차이가 있을 것이다. 실제 선행 연구들을 살펴보면, 과학 교과서의 텍스트를 읽는데 읽는데 어려워하며 학습 장애도 겪고 있으며(Miller, 2009) 우리 나라의 초·중학생들도 어려움을 느끼고 있음을(Yun et al., 2015) 알 수 있다. 과학 개념어가 추상적이고 다른 개념어들과 의미적으로 연결되어 있기 때문에 새로운 과학 개념어에 대하여 어려워하는 것으로 보인다.

우리의 어휘 지식이 어떤 방식으로 뇌 속에 기억, 표상되는지를 탐구하는 일은 인간의 언어를 온전히 이해하기 위해 꼭 필요하다(Chae, 2018). 또한 어휘에 관한 정보와 어휘의 의미, 어휘 지식의 질은 어휘를 처리하는 과정에 영향을 주고, 보다 높은 수준의 이해 과정에 중요한 영향을 미친다(Balass et al, 2010). 언어 학습에서 신경학적 매커니즘을 연구하는 것은 언어, 신경가소성, 기억에 관여하는 뇌 기반에 빛을 주는 매력적인 주제이다(Shtyrov, 2012).

단어 학습(word learning)은 보편적인 다면적인 지각과 인지적 과제이다. 새로운 단어의 의미를 배우는 것은 음운학적 인식과 분류, 단기 기억력, 어휘적-근대적 접근성, 집중적 주의력 등 여러 기능에

의존하는 다면적인 과제를 구성한다(Dittinger et al., 2016). 신경과학자들은 새로운 단어의 학습을 고정된 뉴런들의 연결 패턴의 형식으로 뇌의 피질에 정착되는 과정으로 이해하고 있다(Chae, 2018). 새로운 단어 학습에 대한 fMRI 연구(Takashima et al., 2014)에서는 새로운 단어가 해마를 거쳐 일정 시간이 지난 뒤에 피질에 정착되어 기존 단어들의 네트워크에 통합되었음을 밝혔다.

그렇다면 일반적인 단어 학습과 달리 복잡한 네트워크와 위계적 조직을 지니고 있는 새로운 과학 개념어를 학습할 때 뇌 활성화는 어떻게 일어날까? 언어적 정보의 처리 연구에서 폭 넓게 사용되는 뇌파 측정(Electroencephalographic, EEG) 방법이 사건 전위 ERP(Event-Related Potential) 측정기법이다. ERP란 뇌파 중 인간의 인지기능과 관련되어 발생하는 뇌전위로서, 다른 뇌영상 기술과 달리 인간의 인지기능의 시작과 동시에 측정할 수 있다는 장점이 있고 시간해상도가 우수하여 짧은 시간동안 일어나는 선택적 주의, 기억, 인지과정 등을 측정할 수 있는 특징이 있다.

ERP는 N100, N200, P100, P300, N400, LPC(late positive component) 등의 다양한 파형이 있다. 이 중에서 P300은 Sutton 등(1965)의 보고 이후 뇌의 정보처리 기전과 관련하여 가장 활발히 연구되어 왔으며, 정보처리과정 중 자극에 대한 선택적 주의력, 자극인지, 기억 탐색, 불확실감의 해소 등을 반영한다(Polich, 2010). P300은 자극을 제시한 후 250 ms-800ms 사이에 나타나는 양의 피크(positive peak)로서 일반적으로 집중과 기억 처리과정에 관련이 있는 것으로 알려져 있다. 또한 P300은 일반적이지 않은 자극에 큰 진폭을 나타내는데, 인지활동과 집중력이 클 경우 진폭이 크게 나타나며, 출현하는 시기가 짧을수록 인지하는 걸리는 시간이 짧은 특징이 있어 학습 또는 기억과 관련된 많은 연구들이 이루어지고 있다(Kwon & Lee, 2014).

이 연구에서는 새로운 과학 개념어의 학습 전후에 일어나는 뇌의 활성 정도를 비교하기 위하여 생소한 과학 개념어를 피험자에게 제시하고 일어나는 ERP를 분석하고자 한다. 보다 구체적으로 이 연구의 첫째 목적은 과학개념 학습으로 인해 일어나는 신경과학적 변화를 분석하는 것이다. 의미를 알지

못한 새로운 과학 개념어를 학습하기 전과 학습한 후에 brain wave에 차이가 존재한다면 학습으로 인한 신경과학적 변화를 증명할 수 있을 것이다. 학습을 통해 학습자의 인지구조가 달라진다는 인지주의 학습 이론이나 구성주의 학습 이론 등을 뒷받침할 수 있는 증거가 생기는 것이다. 둘째, 고차원적 인지 학습에 관여하는 ERP가 무엇인지, 학습 전후에 ERP 차이가 있다면 변화의 원인이 무엇인지 밝히는 것이다. ERP는 time locked, phase locked된 EEG의 일부분이다(Jung et al, 1999). EEG는 수십 가지의 다양한 신경적 근원으로 인한 복합체이기 때문에 개개인의 신경인지과정을 추출하기 어려우나, ERP를 이용하면 자극에 따른 직접적이고 즉각적인 정보를 얻을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 학습 전후로 나타나는 ERP 비교를 통해 즉각적인 고해상도 정보를 얻고자 한다. ERP의 변화를 살펴봄으로써 신경과학적 변화의 요인이 학습만의 요인지, 아니면 다른 변화 요인이 존재하는지 보다 세밀하게 알아본다.

II. Materials and Methods

1. Participants

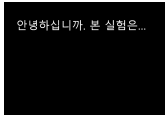
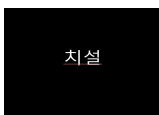
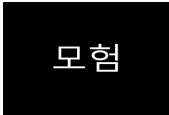
연구 참가자는 대학(원)생 23명으로, 나이는 20-30세 사이이며 평균 연령은 25.62세였다. 과학 개념어에 친숙도가 낮은 성인들이 참가자를 대상으로 하기 위하여 이과대학(원)생보다는 상대적으로 과학 개념어를 접할 기회가 적었던 문과대학(원)생들을 선정하였다. ERP를 측정을 위해서 정신적 질환이나 안구 질환이 없고, 오른손잡이인 사람들을 참가자로 한정하였다. 참가자 23명 중 2명은 연령이

평균과 차이가 커서 제외하였고, 1명은 기계적 오류로 결과가 제대로 기록되지 않아 제외하였다. 다른 2명은 심한 눈 깜빡임과 땀으로 인한 artifact가 발생하여 데이터 분석 단계에서 제외되었다. 최종적으로, 23명 중 18명의 측정 데이터를 분석 대상으로 하였다.

2. Procedure

본 연구에서는 과학 개념어 학습 전후 비교와 더불어, 학습의 유형을 두 가지로 하여 보다 세밀한 비교가 가능하다. 과학 개념어 학습 전과 후에 나타나는 ERP 차이뿐만 아니라, 과학 개념어의 의미를 학습했을 때와 과학 개념어에 단순히 노출된 경우를 비교하고자 하였다. 이에 따라 실제로 학습이 이뤄져야만 ERP의 변화가 일어나는지, 개념의 단순 노출만으로도 ERP 변화가 일어나는지 확인할 수 있다. 연구 절차는 크게 3단계로 이루어졌다(Table 1). 첫째, 학습 전에서는 의미를 알고 있는 추상명사(known abstract noun)와 의미를 모르는 과학 개념어(novel science concept word)를 보면서 ERP를 측정하였다. 이 연구에서 사용한 추상명사와 과학 개념어는 [부록]에 제시하였다. 둘째, 학습 과정에서는 모르는 과학 개념어의 의미를 학습하도록 하였다. 이때, 학습 유형을 두 가지로 나누어 30개의 과학 개념어는 사진, 언어적 자료를 통해 의미를 명확히 학습하고, 다른 30개의 과학 개념어는 어떠한 설명도 없이 개념만 계속적으로 노출시켰다. 셋째, 학습 후 의미를 학습한 과학 개념어와 단순 노출된 과학 개념어를 보면서 ERP를 측정하였다. 모든 절차가 끝난 뒤에는 likert scale 5점 척도를 이용하여 스스로 생각하는 과학개념 학습 정도를 평가하도록 한 후 자료를 수집하였다.

<Table 1> Task Paradigm of before scientific learning and after scientific learning

Step	Baseline	Introduction	Fixation	Concept (Abstract Noun/Novel Science Concept Words)	Fixation	Concept (Abstract Noun/Novel Science Concept Words)
Screen						
Duration	3min	1000ms	500-1000ms	1000ms	500-1000ms	1000ms

3. Data Collect

본 연구에서 사용한 장비는 Electrical Geodesics사의 EEG 시스템이다. 64개 채널을 가진 Hydrocel Geodesic Sensor Net을 이용하였다. Sampling rate는 1000Hz, 고역통과필터는 0.1Hz, 저역통과필터는 70Hz였다. 상용 교류 잡파를 제거하기 위해서 60Hz의 notch filter를 사용하였다.

측정 전, 참가자에게 연구의 목적과 실험 절차를 자세히 설명하고 EEG cap 착용 영상을 보여주어 거부감을 덜 느끼도록 하였다. cap을 착용한 뒤에는 약 3분간 모니터 화면의 fixation을 응시하게 하여 baseline을 측정하였다. 그런 뒤 6개의 예비과제를 해봄으로써 과제에 친숙해지도록 하고 긴장감을 낮추었다.

학습 전 단계에서는 의미를 아는 추상 명사와 낯선 과학 개념어를 보고 의미를 생각하는 과제를 수행한다. 모니터에 추상명사와 과학 개념어가 무작위적인 순서로 나타나고, 참가자는 이를 보면서 의미를 생각한다. 과학 개념어는 1000ms 동안 제시되고, 1000ms가 지나면 fixation point가 제시되어 resting하게 한다. Fixation point 제시 시간은 500-1000ms 사이로, 다음 자극에 대비할 수 없도록 다양하게 주어졌다.

추상명사 30개, 과학 개념어 60개가 사용되기 때문에 비율을 맞추기 위해 추상명사는 2번씩 제시되었다. 과학 개념어는 생명과학 분야 30개, 물질과학 분야 30개로 구성하였고, 참가자가 짧은 시간 안에 읽기 쉽도록 두 글자로 된 개념어만을 선정하였다. 참가자들이 추상명사와 과학 개념어를 보면서 의미를 떠올리는 동안의 brain wave가 측정되었다.

학습 단계에서는 학습 전 단계에서 본 60개의 과학 개념어에 대한 학습을 하였다. 30개는 사진, 언어적 자료를 통해 의미를 명확하게 학습할 수 있었고, 나머지 30개는 어떠한 정보 없이 과학 개념어만 주어져서 의미를 학습하는 것이 불가능했다. 과학 개념어에 대한 설명은 컴퓨터의 모니터 화면에 제시되었고, 30분 동안 참가자가 원하는 만큼 여러 번 보고 학습할 수 있었다. 학습을 두 가지 유형으로 나눈 이유는 실제로 학습이 이루어졌을 때만 ERP 변화가 나타나는지, 단순 노출만으로도 ERP 변화가 나타나는지 확인하기 위함이다.

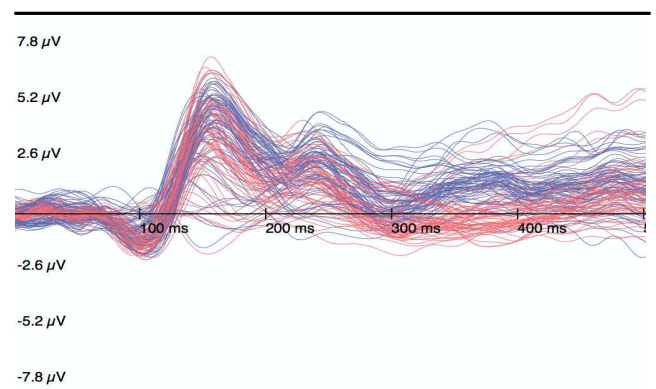
마지막 학습 후 단계에서는 의미를 학습한 과학

개념어와 단순 노출된 과학 개념어를 보고 의미를 생각하는 동안의 ERP를 측정한다. 모든 실험 조건은 학습 전 과정과 동일하다.

4. Data Analysis

학습 전 단계와 후 단계에서 EEG 데이터 분석을 위해 EGI사의 Net Station Tools를 사용하였다. raw data를 0.3-30Hz band pass filter를 이용하여 필터링하였고 자극별로 데이터를 segment하여 notch를 만들었다. 이 과정을 통해 각각의 자극들을 카테고리화하였다. 그 뒤 artifact를 제거하고 bad channel을 replacing하였다. 마지막으로 baseline correction을 실행하였다.

18명의 grand averaging 자료를 이용하여 과학 개념어에 대한 학습이 이루어지기 전후의 butterfly plot과 topomap을 분석하였다[Figure 1].

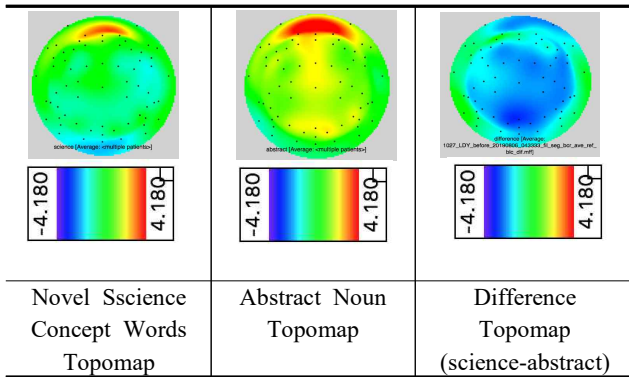


[Figure 1] Grand averaging butterfly plot before learning

Red : novel science concept word

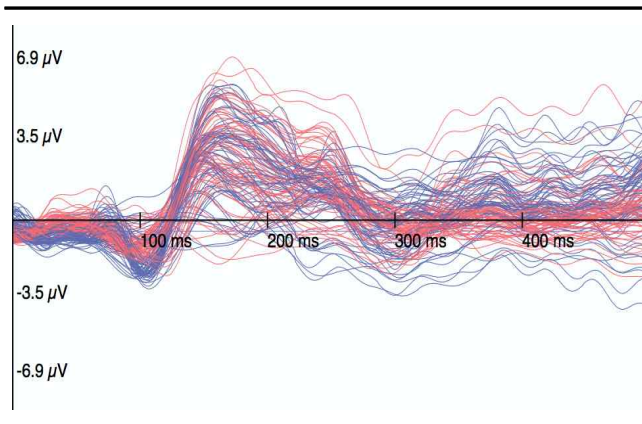
Blue : abstract noun

위의 butterfly plot을 보면 자극 제시 후 200-300 ms 사이에 추상 명사 waveform(푸른색)과 낯선 과학 개념어 waveform(붉은색) 사이의 차이가 커지기 시작하는 것을 알 수 있다. 가장 큰 차이가 보이는 때는 자극이 제시된 후 약 370ms로, 300-400ms 사이의 positive component에서 주목할 만한 차이가 나타난다. 자극이 제시된 후 흐른 시간과 waveform의 형태를 보았을 때 P300이 관여하였음을 알 수 있다[Figure 2].



[Figure 2] Grand averaging topomap before learning

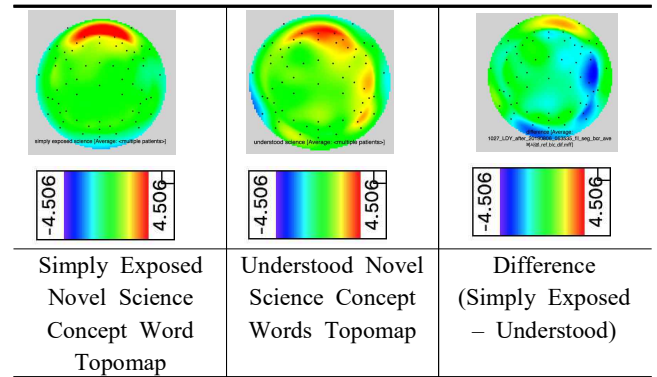
Topomap에서 추상 명사와 낯선 과학 개념어 사이에 큰 차이가 보이기 시작하는 지점 역시 자극 제시 후 260ms 부근으로, butterfly plot과 유사하다.



[Figure 3] Grand averaging butterfly plot after learning
 Red: simply exposed science concept word
 Blue: understood science concept word

[Figure 3]의 butterfly plot을 보면 학습 전 단계와 다른 형태의 파형을 보인다. 의미를 이해한 과학 개념어와 단순 노출된 과학 개념어의 파형 사이에 큰 차이가 없는 것을 확인할 수 있다.

Butterfly plot과 마찬가지로 [Figure 3]에서 볼 수 있는 바와 같이 topomap에서도 큰 차이가 보이지 않는다. 이를 보았을 때 학습 후에 의미를 이해한 과학 개념어에서 P300과 단순 노출된 과학 개념어에서 P300의 차이가 크지 않을 것이라고 예측 가능하다.



[Figure 4] Grand averaging topomap after learning

전체적인 butterfly plot과 topomap 분석 후, 각 참가자들의 P300 mean amplitude와 mean latency를 분석하였다. 학습 전 단계에서 P300이 나타나는 time window는 Frontal, Central 영역에 있는 전극들에서는 290-400ms, Parietal 영역에 있는 전극들에서는 300-530ms이다. 이는 선행연구 결과와도 일치하는데, P300 latency는 Central 영역에서는 짧게, Parietal 영역에서는 길게 나타나기 때문이다(Polich, 2007). 이 time window에서 참가자 18명의 P300 amplitude와 latency를 채널별로 모두 구한 뒤 averaging하여 평균 수치를 비교한다. 학습 후 단계에서도 같은 절차가 진행되는데, P300이 나타나는 time window가 조금 다르다. Frontal, Central 영역에서는 280-420ms, Parietal 영역에서는 350-530ms이다.

III. Results

1. P300 Amplitude and Latency before Learning

학습 전 과학 개념어를 보았을 때와 추상 명사를 보았을 때의 P300 평균 amplitude 값을 비교하면, 추상 명사를 보았을 때의 amplitude가 낯선 과학 개념어를 보았을 때의 amplitude보다 높다. 64개 채널 중 절반 이상이 wilcoxon 부호-순위 검정통계량에서 유의미한 차이($Z < .05$)를 보인다. 주로 Central 영역과 Parietal 영역에 위치한 채널에서 유의미한 차이가 나타난다. 이와 같은 연구 결과는 새로운 의미의 단어 학습과 관련된 뇌 영역에 대한 EEG, MEG 연구를 수행한 Fang(2020)의 결과와도 같다.

Amplitude와 달리, P300 latency에서는 추상명사와 낯선 과학 개념어 사이에 큰 차이가 보이지 않는다. 검정통계량이 유의미하게 나오는 채널은 8개로, 주로 Frontal 영역에 존재한다. 하지만 대다수의 채널에서 유의미한 차이가 나타나지 않기 때문에 P300 amplitude만큼 latency 차이가 유의미하다고 보기는 어렵다.

P300을 이용한 선행연구 결과(eg, Curran & Friedman 2004; Dickson et al., 2018; Kwon & Lee, 2014)에 의하면 과제가 쉬울 때 P300 amplitude가 크고 latency가 짧았다. 반대로 과제 수행에 많은 양의 주의 자원이 필요할수록, 즉 과제가 어려울수록 P300 amplitude가 작고 latency가 길게 나타난다(Folstein, 2011; Polich, 2012; Woodman, 2010). 이에 비추어보았을 때, 낯선 과학 개념어의 의미를 생각하는 과제가 추상명사의 의미를 생각하는 과제보다 난이도가 높고 많은 양의 주의 자원을 필요로 했다는 점을 알 수 있다. 다만 latency에서는 큰 차이가 보이지 않기 때문에 latency보다 amplitude가 개념의 의미를 떠올리는 데 더 긴밀히 관여했을 것이라는 추론이 가능하다.

선행 연구와 달리 P300 latency에서는 유의미한 차이가 나타나지 않는데, 이의 원인은 여러 가지로 추측할 수 있다. 이 연구에서 사용한 과제가 정통적인 ‘oddball task’가 아니기 때문일 수도 있고, 사용한 개념이 일반 명사가 아닌 보다 어려운 의미를 가지는 과학 개념어를 사용했기 때문일 수도 있다. 이에 대한 추후 연구가 필요해 보인다.

2. P300 Amplitude and Latency in Understood Scientific Concept and Simply Exposed Scientific Concept

학습 후 의미를 이해한 과학 개념어와 단순 노출된 과학 개념어의 P300 평균 amplitude를 비교하면 전반적으로 큰 차이가 보이지 않는다. 검정통계량에 따르면 유의미한 차이가 보이는 채널은 5개뿐이다. 즉, 의미를 학습하지 않아도, 단순 노출만으로도 의미를 학습한 것과 비슷한 크기의 P300 amplitude가 나타난다. 다만 Parietal 영역에 존재하는 채널들에

서 유의미한 차이가 발견된 것으로 보아, P300이 두 정엽에서 크게 나타난다는 선행 연구의 결과가 여기서도 나타났다는 것을 알 수 있다(Fang, 2020; Kimppa et al., 2016). Amplitude와 마찬가지로, P300 평균 latency에서도 큰 차이가 발견되지 않았다. 유의미한 채널이 몇 개 존재하기는 했지만, 채널들의 영역이 일관적이지 않고 각 영역의 채널들 중 한두 개가 유의미한 값을 보이는 것이기 때문에 의미를 이해한 과학 개념어와 단순 노출된 과학 개념어 사이에 큰 차이가 있다고 판단하기 어렵다.

의미를 이해한 과학 개념어와 단순 노출된 과학 개념어 사이에 큰 차이가 없는 것은 학습 외에도 다른 요소가 P300에 영향을 미치기 때문이라고 추론할 수 있다. 선행 연구에 의하면, 문장을 이용해 참가자를 같은 단어에 3번 노출했을 때, 이미 알고 있던 단어와 노출된 단어에서 나타나는 waveform이 구분되지 않았다고 한다(Shtyrov et al, 2010). 잠깐의 노출로도 의미를 아는 단어와 비슷한 정도의 반응 진폭이 나타난 것이다. 또한 새로운 단어에 아주 조금 노출된 아이들이 새로운 어휘 항목을 만들고 그 항목을 기억 속에 며칠 간 유지할 수 있다는 연구 결과도 있다(Samuelson et al., 2017). 이러한 과정을 fast mapping이라고 하는데, 아이들은 단어의 의미를 익히기 위해 fast mapping과 extended mapping 과정을 거친다고 한다(Kuckera et al., 2020). 따라서 본 연구에서도 fast mapping의 효과로 의미를 학습한 과학 개념어와 단순 노출된 과학 개념어의 P300 amplitude와 latency가 유사하게 나타났다고 볼 수 있다.

3. P300 Amplitude and Latency after Learning

학습 전 낯선 과학 개념어를 보았을 때와 학습 후 단순 노출된 과학 개념어를 보았을 때를 비교하면, 단순 노출된 과학 개념어를 보았을 때 나타나는 P300 평균 amplitude가 절반이 넘는 채널에서 유의미하게 컸다. 유의미한 차이가 보이지 않는 채널들에서도 대부분 단순 노출된 과학 개념어를 보았을 때 더 높은 P300 amplitude가 관찰되었다. 이는 fast mapping의 큰 효과를 보여준다. 마찬가지로 학습 전 낯선 과학 개념어를 보았을 때와 학습 후 의

미를 이해한 과학 개념어를 보았을 때를 비교하면 의미를 이해한 과학 개념어를 보았을 때 P300 평균 amplitude가 유의미하게 컸다. 단순 노출된 과학 개념어와 비교했을 때보다도 더 많은 채널에서 유의한 차이가 나타났다. 따라서 단순 노출보다도 의미 학습이 P300 amplitude 변화에 보다 큰 효과가 있음을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 Jeong 등(2012)의 연구 결과를 지지한다.

Amplitude와 달리 latency에서는 반대의 결과가 나타났다. 학습 후 단순 노출된 과학 개념어나 의미를 이해한 과학 개념어를 보았을 때보다 학습 전 낯선 과학 개념어를 보았을 때의 P300 latency가 빨랐다. 이는 선행연구 결과와 상반되는 것으로, 원인을 명확하게 규명하기 위해서는 앞으로 더 논의가 필요하다.

IV. Conclusions

본 연구에서는 과학 개념어에 대한 학습이 이루어지기 전후에 나타나는 ERP 형태를 비교하였다. 이로써 과학 개념 학습이라는 고등한 인지학습이 실제로 신경과학적 변화를 불러일으키는지, 변화가 있다면 그에 관여하는 ERP가 무엇인지 밝히고자 하였고, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 과학 개념어 학습은 실제로 신경과학적 변화를 불러일으키며, 이러한 변화를 ERP로 측정할 수 있다. 고등 사고와 관련된 인지학습이 실제로 일으키는 신경과학적 증거를 P300을 통해 발견하였으며, 그 동안ERP가 많이 사용되어왔던 체성감각과 쉬운 인지학습 영역에서 더 나아가 고차원적인 인지학습 영역으로 ERP 사용을 넓혀간다는 점에서도 의의가 있다.

둘째, 과학 개념어 학습에 관여하는 ERP는 P300이라는 사실을 밝혔다. 추상명사와 낯선 과학개념을 보았을 때, 그리고 과학 개념어 학습 전후를 비교했을 때 P300 amplitude에서 유의한 차이가 나타난 것으로 보아 P300이 인지학습에 관여한다는 것을 알 수 있다. 이로써 본 연구는 앞으로 P300이 인지학습 효과를 보여주는 지표로 사용될 수 있음을 시사한다.

셋째, 과학 개념어 학습에서 P300의 변화 원인이 학습과 fast mapping임을 밝혔다. 과학 개념어의 의미가 명확히 학습되지 않더라도 반복 노출만으로도 개념 의미 학습이 시작된다는 것을 알 수 있다. 개념 의미가 확정되려면 extended mapping이 이뤄져야 하지만, 그 전 단계인 fast mapping에서부터 개념 의미 학습을 시작하는 것이다. 이로써 단순한 일반명사 학습만이 아니라 보다 높은 수준의 과학개념 학습에서도 fast mapping이 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다. 새로운 과학개념의 노출이 시작되는 순간, 신경학적 변화 역시 시작되는 것이라고 할 수 있다.

References

- Balass, M., Nelson, J. R., & Perfetti, C. A. (2010). Word learning: An ERP investigation of word experience effects on recognition and word processing. *Contemporary Educational Psychology*, 35(2), 126-140.
- Chae, H. S. (2018). The representation and processing of word information in the brain. *The Journal of Humanities*. 39(1), 365-389.
- Curran, T., & Friedman W. J. (2004). ERP old/new effects at different retention intervals in recency discrimination tasks. *Brain Res Cogn Brain Res*. 18(2), 107-120.
- Dickson, D. S., Cerda, V. R., Beavers, R. N., Ruiz, A., Castañeda, R., & Wicha, N. Y. (2018). When 2×4 is meaningful: The N400 and P300 reveal operand format effects in multiplication verification. *Psychophysiology*, 55(11), e13212.
- Dittinger, E., Barbaroux, M., D'Imperio, M., Jäncke, L., Elmer, S., & Besson, M. (2016). Professional music training and novel word learning: From faster semantic encoding to longer-lasting word representations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 28(10), 1584-1602.
- Dittinger, E., Scherer, J., Jäncke, L., Besson, M., Elmer, S. (2019). Testing the influence of musical expertise on novel word learning across

- the lifespan using a cross-sectional approach in children, young adults and older adults. *Brain and Language*, 128, 10.1016/j.bandl.2019.104678.
- Fang, X. (2020). *How do we learn new meanings for words already known? Evidence from EEG and MEG studies*. Unpublished Doctoral Dissertation, University of Pittsburgh, USA.
- Folstein, J. R., & Van Petten, C. (2011). After the P3: Late executive processes in stimulus categorization. *Psychophysiology*, 48(6), 825-841.
- Jeong, J. S., Kim, S. E., & Kim, S. H. (2012). Comparative analysis of brain activations during the meaningful memorizing of biological terms with reward: A brain wave study using sLORETA. *Biology Education*, 40(2), 225-237.
- Jung, T.P., Makeig, S., Westerfield, M., Townsend, J., Courchesne, E., & Sejnowski, T. J. (1999). Analyzing and visualizing single-trial event-related potentials. *Advances of Neural Information Process*, 11, 118-124.
- Kimppa, L., Kujala, T. & Shtyrov, Y. (2016). Individual language experience modulates rapid formation of cortical memory circuits for novel words. *Scientific Reports*, 6, 30227. <https://doi.org/10.1038/srep30227>
- Kuckera, S. C., McMurray, B., & Samuelson, L. K. (2020). Sometimes it is better to know less: How known words influence referent selection and retention in 18- to 24-month-old children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 189, 104705. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2019.104705>
- Kwon, Y. H. & Lee, M. H. (2014). Effects of massed and distributed practice on P300 latency in a sequential timing task. *The Journal of Korean Society of Physical Therapy*, 26(4), 234-239.
- Linden, D. E. J. (2005). The P300: Where in the brain is it produced and what does it tell us? *The Neuroscientist*, 11(6), 563-576.
- Miller, J. (2009). Teaching refugee learners with interrupted education in science: Vocabulary, literacy and pedagogy. *International Journal of Science Education*, 31(4), 571-592.
- Polich J. (2010). Neuropsychology of P300. In Luck SJ, & Kappenman E.S. *Handbook of event-related potential components* (pp.10-11), Oxford, Oxford University Press.
- Polich, J. (2007). Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, 118(10), 2128-2148.
- Samuelson, L. K., Kucker, S. C., & Spencer, J. P. (2017). Moving word learning to a novel space: A dynamic systems view of referent selection and retention. *Cognitive Science*, 41(1), 52-72.
- Shtyrov, Y. (2012). Neural bases of rapid word learning. *The Neuroscientist*, 18(4), 312-319.
- Shtyrov, Y., Nikulin, V.V., & Pulvermüller, F.(2010). Rapid cortical plasticity underlying novel word learning. *Journal of Neuroscience*, 30(50), 16864-16867.
- Sutton, S., Barren M., Zubin J., & John E.R. (1965). Evoked potential correlates of stimulus uncertainty. *Science* 150, 1187-1188.
- Takashima, A., Bakker, I., van Hell, J.G., Janzen, G., & McQueen, J.M.(2014). Richness of information about novel words influences how episodic and semantic memory networks interact during lexicalization. *Neuroimage*, 84, 265-278.
- Usta, N.D., Ültay, E., & Ültay, N.(2020). Reading the concept map of physics teacher candidates: A case of light. *Science Education International*, 31(1), 14-21.
- Vong, W. K., & Lake, B. M. (2020). Learning word-referent mappings and concepts from raw inputs. arXiv preprint arXiv: 2003.05573.
- Woodman, G.F. (2010). A brief introduction to the use of event-related potentials (ERPs) in studies of perception and attention. *Attention, Perception, & Psychophysics*. 72, 2031-2046.
- Yun, E., Kwon, S. G., & Park, Y. (2015). Analysis of problems of current science textbooks perceived by teachers and students in view of learner-centered classroom. *Journal of Science Education*, 39(3), 404-417.

Yun, E. J. (2020). Exploring teaching method for productive knowledge of scientific concept words through science textbook quantitative analysis. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 40(1), 41-50.

[저자의 소속과 직위]

장지윤 : 서울영본초등학교, 교사, 제1저자

양일호 : 한국교원대학교, 교수, 교신저자

[Appendix] Task words

추상명사

말씀	각오	야유	슬픔	믿음	여유	교훈	자유	주장	고민	변명	짜증	억지
쾌감	비판	욕심	고통	고난	구경	모험	몸짓	전통	감촉	태도	부상	범죄
재주	행운	기척	숨씨	소음	사고							

생명과학 개념어

치조	단안	치설	공막	키틴	육종	주성	우종	폴립	침체	괴경	일액	탈리
수피	타감	모용	옥신	임성	근관	종피	위족	아포	편모	간균	집락	발적
비말	협막	부생	핵산									

물질과학 개념어

살별	레그	부석	건열	메사	현곡	극관	노두	엄폐	호충	연흔	열파	용승
소호	측지	옴열	취성	강체	파원	폐열	돌비	열화	잉곳	전성	펄스	침적
함침	팽윤	호화	조해									