

생명현상 관찰에서 나타나는 인과적 의문 생성의 ERF 특성 : MEG 연구

권석원 · 권용주*

한국교원대학교

ERF Components Patterns of Causal Question Generation during Observation of Biological Phenomena : A MEG Study

Suk-Won Kwon · Yong-Ju Kwon*

Korea National University of Education

Abstract: The purpose of this study is to analysis ERF components patterns of causal questions generated during the observation of biological phenomenon. First, the system that shows pictures causing causal questions based on biological phenomenon (evoked picture system) was developed in a way of cognitive psychology. The ERF patterns of causal questions based on time-series brain processing was observed using MEG. The evoked picture system was developed by R&D method consisting of scientific education experts and researchers. Tasks were classified into animal (A), microbe (M), and plant (P) tasks according to biological species and into interaction (I), all (A), and part (P) based on the interaction between different species. According to the collaboration with MEG team in the hospital of Seoul National University, the paradigm of MEG task was developed. MEG data about the generation of scientific questions in 5 female graduate student were collected. For examining the unique characteristic of causal question, MEG ERF components were analyzed. As a result, total 100 pictures were produced by evoked picture and 4 ERF components, M1(100~130ms), M2(220~280ms), M3(320~390ms), M4(460~520ms). The present study could guide personalized teaching-learning method through the application and development of scientific question learning program.

Key words: MEG(Magnetoencephalography), ERF(Event Related Fields), Causal question

I. 서 론

최근의 학교 교육은 하루가 다르게 증가하는 지식을 전달하는 역할에서 벗어나 새로운 패러다임으로의 변화가 요구되고 있다(이해두, 2006). 지금까지 학교 교육은 일반적으로 지식 정보를 후세에 전달하는 역할을 담당해왔다. 하지만, 최근 지식의 폭발적인 증가와 더불어 학교 교육에서 새롭게 요구되는 패러다임은 학생들이 기존 지식 정보를 바탕으로 새로운 지식을 생성하고, 이를 가공하는 역할을 수행하도록 하는 것이다(이해두, 2006; 허경철 등, 2001). 이러한 요구에 부합하고 있는 지식 생성 학습은 학생들의 창의적 사고 활동과 능동적 탐구 활동을 촉진하도록 도와주고 있다는 연구가 제시되고 있다(강은미 외, 2006; 신동훈 외, 2007; Gott *et al.*, 1995; Roychoudhury

et al., 1996).

그렇다면, 과학 지식을 생성하고자 하는 마음은 어디에서 오는 것인가? 그것은 바로 과학에 대한 흥미와 호기심이다. 과학에 대한 흥미와 호기심은 과학적 의문을 낳게 되면, 이렇게 생성된 과학적 의문은 새로운 탐구로의 시작을 열어주는 중요한 역할을 수행하고(Chin *et al.*, 2002), 과학적 의문의 종류에 따라 과학적 탐구의 방향과 방법을 결정짓게 된다(권용주 등, 2003; 이해정 등, 2005; Lawson, 1995). 하지만, 이러한 중요성에도 불구하고 과학적 의문에 대한 연구는 매우 부족한 것이 현실이다. 최근 과학적 의문의 중요성에 대해 알리는 몇몇 연구들을 통해 과학적 의문에 대한 후속 연구의 필요성이 대두되고 있다. 과학적 의문은 일반적으로 자연 현상을 관찰하고 현재의 지식으로는 설명할 수 없는 불안정한 문제, 의심,

*교신저자: 권용주(kwonyj@knu.ac.kr)

**2009년 10월 15일 접수, 2009년 12월 14일 수정원고 접수, 2009년 12월 15일 채택

불확실성 등을 인식했을 때 갖게 되는 궁금증이라 정의 내려진다(Christenbury & Kelly, 1983; Lawson, 1995; Spargo & Enderstein, 1997). 이러한 과학적 의문은 주로 선지식과의 모순, 호기심과 놀람, 실제적 필요 등에 의해서 발생한다고 알려져 있다(Christenbury & Kelly, 1983; Thargard, 1998).

이혜정 등(2004)은 과학적 의문을 추측적 의문, 인과적 의문, 예측적 의문, 방법적 의문, 적용적 의문의 5가지 유형으로 나누어 제시하였다. 추측적 의문은 현재의 관찰 결과나 관찰된 일련의 사건 즉, 대상 자체의 명칭이나 성분, 구조, 기능 등에 대한 궁금증이 나타나는 의문을 말한다. 인과적 의문은 관찰 사실을 근거로 어떤 현상이 일어나게 된 원인에 대한 궁금증이 나타나는 의문이며, 예측적 의문은 현재의 관찰 사실에 어떤 변인을 달리 했을 때 나타나게 될 현상이나 일련의 사건에 대한 궁금증이 나타나는 의문을 의미한다. 이혜정 등(2005)의 연구 결과를 살펴보면 초등학교의 경우 인과적 의문이 전체 응답 반응률 중 70.7%를 차지하여, 가장 많이 보고되고 있으며, 이는 초등학교의 57.2%와 비교해 볼 때도 유사한 결과를 보이고 있다. 실제 초등학교 탐구과정에서 나타나는 과학적 의문의 유형 양상이 인과적 의문 위주로 나타남을 알 수가 있다.

이처럼 지금까지 과학적 의문 연구를 위한 것들은 대부분 인지심리적인 부분으로 이 결과들은 구체적이며, 실증적 데이터를 제공해주는 데는 제약이 따를 수 있다. 최근 사용되고 있는 다양한 두뇌영상기법들은 인지심리적 연구의 단점을 보완하고, 정량적이고 실증적 분석을 가능케 하고 있다(Hansen *et al.*, 2002). 권용주 등(2008)은 fMRI 연구를 통해 창의적 과학 지식 생성 교육이 주입식 교육보다 두뇌 활성화와 발달에 기여한다는 것을 신경생리적으로 보여주어 교육학적 적용 가능성을 보여주었다. 하지만, 다양한 PET, CT 등의 두뇌영상기법들은 인체에 침습을 줄 수 있는 가능성이 있어 그 위험성을 보장하기에는 아직 이르다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서 사용한 MEG (Magnetoencephalography)는 비침습적으로 인체에 매우 안전하고, 시공간적 해상도가 높아 시계열적 뇌기능 분석에 효과적이다(David *et al.*, 2006).

MEG는 Invert 과정을 통해 내부 전류원을 추정하여 3D 소스 추정(source localization)이 가능하여 개인별 MRI template와 함께 사용하면 2~3mm 정도의 매우 정확한 공간해상도를 통해 두뇌 활성 위치

와 활성 정도를 확인할 수 있다. 1/1000s 단위 수준으로 측정할 수 있는 높은 시해상도는 MEG의 가장 큰 장점이며, 매우 빠른 속도로 진행되는 두뇌의 인지 수준을 고려할 때 교육학적 활용도는 매우 크다고 할 수 있다.

따라서 본 연구의 목적은 과학적 의문 중 현장에서 가장 많이 보고되고 있는 인과적 의문의 특성을 밝히기 위해 MEG ERF components를 찾는 것이다. ERF components는 인지심리학적으로 규명된 인과적 의문에 대한 고유 특성 확인과 더불어 의문 처리과정의 객관적이고, 실증적 정보를 제공할 수 있다. 이를 위한 구체적인 연구 문제들은 다음과 같다. 첫째, 생명현상을 기반으로 한 인과적 의문 생성 유발 사진 과제를 개발하고, 둘째, 인과적 의문 생성간 나타나는 MEG ERF components를 찾고, 이에 대한 신경생리학적 특성을 분석하는 것이다.

II. 연구 절차 및 방법

1. 연구 대상

이 연구를 위한 대상자는 개인별 MRI template을 가지고 있는 여성 대학원생 5명(M=26.4, SD=2.30)으로 선정하였다. 이는 어린 피험자를 대상으로 MR scan을 하기에는 일정 수준의 위험 요소와 제약이 따르게 되기에 이를 극복하기 위해 성인을 대상으로 하였다. 이들은 모두 이전 정신 병력과 가족력을 갖고 있지 않으며, 신체 건강한 과학교육 전공 대학원생으로 연구에 자발적으로 참여하게 되었다. 생명현상 기반으로 만들어진 MEG 과제를 수행하기 때문에 생물 교육을 전공하지 않았으며, 과학적 탐구 과정과 과학적 의문에 대한 이해를 가지고 있어 어린 피험자들에 비해 해당 의문 과제별 수행능력이 우수할 것으로 예상되는 대학원생을 연구 대상으로 하였다. 성차와 주로 쓰는 손의 차이를 통해 발생할 수 있는 두뇌 활성의 차이(Gazzaniga *et al.*, 2002; Hamann & Canli, 2004)를 통제하기 위해 본 연구에서는 오른손잡이 여성만을 대상으로 하였다.

2. 연구 절차

생명현상 관찰에서 나타나는 인과적 의문 생성의

ERF 특성을 분석하기 위해 과학적 의문 중 인과적 의문을 유발시킬 수 있는 MEG 수행용 사진 과제를 개발하였다. 개발된 인과적 의문 생성 유발 과제를 통해 MEG ERF 과제 패러다임을 구축하고, 이에 따라 ERF 측정 및 분석을 실시하였다. 인과적 의문 생성시 나타나는 MEG ERF components를 찾고, 이의 신경 생리적 특성을 확인하였다.

3. 생명현상 기반 인과적 의문 생성 유발 과제 개발

1) 과제 개발

생명현상 과제의 형태 및 선정, 개발된 과제에 대한 투입 계획들은 모두 과학교육전문가 1명과 과학교육 연구진 7명으로 구성된 인원을 통해 주당 1회의 정기적인 세미나와 워크숍 과정을 통해 R&D 방식으로 개발되었다. 인과적 의문 생성 유발이 높을 것으로 예상되는 사진 자료들을 1차적으로 선별하고, 연구진들과의 세미나 과정을 통해 405장의 사진을 선정하였다. 이는 생물군 유형에 따라 동물(A, animal), 미생물(M, microbe), 식물(P, plant)과제로 분류 형태를 나누고, 생물 개체 수준의 유형에 따라 개체간 상호작용(i, interaction), 단일 개체(a, all), 개체 일부(p, part)로 구분되어 총 9개로 나누어지고, 각 45장의 사진들로 구성되었다(표 1).

본 연구의 개발된 405장의 사진과제를 현장에서 실제적 적용 가능성이 있는 학습자들을 대상으로 투입하여 MEG 과제용 사진을 추출하였다. 이에 따라 초등학교 198명, 중학생 222명, 고등학생 250명 총 670명을 대상으로 인과적 의문 생성 유발 사진이 투입되었으며, 초등학교는 경기권 1개교, 충청권 1개교 각 4개 반으로 하였으며, 중학교의 경우 전라권 1개교, 충청권 1개교 각 4개 반을 선정하였다. 고등학교는 서울권 1개교, 경기권 1개교 각 4개 반을 통해 진행하였다.

2) 과제별 의문 유형 및 latency 측정

본 과정은 선정된 인과적 의문 유발 사진을 통해 MEG 과제 제시 간 사용할 패러다임의 구체적 틀을 마련하기 위한 추가적 행동연구로써 진행되었다. 이를 위해서 서울대학병원 MEG 센터와 협의체를 구성하여 총 5회의 세미나 과정을 통해 과제 사진 별 의문 유형을 나누고, MEG 과제 제시 시간에 대한 사전 정보를 얻기 위해 현직 초등교사이며 과학교육을 전공하고 있는 대학원생들 4명을 선정하여 2명씩 팀을 구성하여 투입 과제 전체에 대한 반응을 2차례에 걸쳐 확인하였다.

4. MEG 측정

1) MEG

이 연구에서는 인과적 의문 생성시 나타나는 두뇌의 시계열적 정보를 높은 시·공간분해력을 통해서 확인하고, 분석하기 위해 MEG를 사용하였다. 본 연구에서 사용된 MEG 장비는 국내에서는 최초로 서울대학병원에 도입된 임상 진단용 MEG로써 Electa Neuromag사의 VectorView로 306채널 MEG이다. 이는 임상용 뿐만 아니라, 서울대학병원 신경외과학교실과의 공동연구를 통해 인지과학과 뇌신경과학을 위한 연구용으로도 사용되고 있다. <그림 1>은 MEG 장비에서의 피험자의 과제 수행모습과 306채널로 구성되어진 MEG map을 보여주고 있다.

인과적 의문 생성 과제 수행간 306채널을 통해서 수집된 데이터들의 Sampling rate는 600Hz였고, 교류 전류를 통한 artifact 제거를 위한Notch filter는 60Hz를 유지하였다. 연구에 사용하기 위해 raw data의 Band-pass filter는 0.1~200Hz로 하였고, ERF band-pass filter는 0.1~50Hz을 유지하여 EEG를 통한 ERPs 연구와 동일한 주파수 대역을 포함시켰다. 또한 raw data 수집시 초기 artifact 제거

표 1 의문생성 유발 과제의 유형 요약

| 생물 개체 수준 유형 | 생물군 유형 | 동물과제 (Animal) | 미생물과제 (Microbe) | 식물과제 (Plant) |
|------------------------|--------|---------------|-----------------|--------------|
| 개체간 상호작용 (Interaction) | | Ai | Mi | Pi |
| 단일 개체 (All) | | Aa | Ma | Pa |
| 개체 일부 (Part) | | Ap | Mp | Pp |



A. 피험자 과제 수행모습



B. 306채널 MEG map

그림 1 인과적 의문을 위해 사용된 MEG 과제 제시의 형태

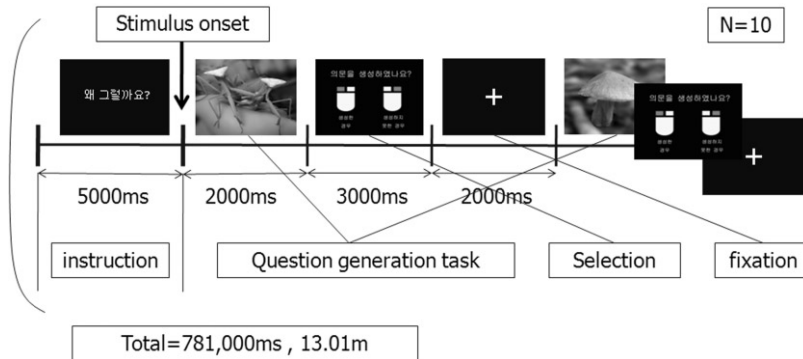


그림 2 인과적 의문을 위해 사용된 MEG 과제 제시의 형태

를 위해 SSP(Signal space processing)를 사용하여 Maxwell filtering을 하였으며, EOG채널에서 수집된 눈 깜박임을 기초로 MEG signal에 포함된 $2e-5fT/cm$ 이상의 데이터는 artifact 요인으로 판단하고 모두 제거하였다. EOG 확인을 통해 제거된 trials의 수는 개인별로 차이가 있으나 전체 100개의 trials 중 10개 미만으로 90개 이상의 trials들이 분석에 포함될 수 있었다. 이는 fMRI 연구에서 통계적 유의성을 높여주는 무선효과분석을 통해 적은 피험자 수에 대한 연구의 타당성을 높이는 것(Friston *et al.*, 1999)과 같이 본 연구에서는 소수의 연구 대상일지라도 100개 이상의 과제를 통해 하나의 사고과정을 확인하는 과정을 통해 피험자 수를 늘리는 효과와 더불어 통계적 유의성을 극대화 하도록 하고 있다.

2) MEG 과제 패러다임

인과적 의문은 관찰 사실을 근거로 어떤 현상이 일어나게 된 원인에 대한 궁금증이 나타난 의문(이해정 등, 2004)을 말하는 것으로 이를 유발할 수 있는 과제는 관찰이후 '왜 그럴까?' 라는 반응이 나올 수 있는

가능성이 높은 과제로 구성되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 현상에 대한 원인을 알고자 하는 바가 자발적으로 유도될 수 있는 사진 과제로 선정하고, 추측적 의문에서 사용한 그래픽 편집 기법을 사용하지 배경에 대한 blur를 처리하였다. 이것은 환경과의 상호작용 요소가 완전히 제거되는 것을 막고, 대상 인식이 명확히 될 수 있도록 하였다. 본 연구에서는 관찰 대상을 220×220 pixel의 원형으로 추출하고, 주변을 photoshop을 통해 feather의 경우 반경 5, Gaussian blur는 반경 10으로 처리하여 사용하였다. 이를 통해 관찰개체 관찰에서 비롯될 수 있는 인과성을 주변 예러 요인의 혼입을 최대한으로 줄였다.

서울대학병원 MEG 센터 팀과 논의하여 인과적 의문 생성 유발 지시문의 형태로 '왜 그럴까요?'를 사용하여 짧고, 명확하여 제시하였다. 지시문은 5초를 유지하였으며, 행동연구에서 파악된 인과적 의문 생성 이후 마우스 반응까지를 고려하여 2초의 사진 제시 시간을 두었다. 또한 3초간 의문 생성 여부를 마우스 반응으로 확인한 후 의문 생성이 되지 못한 사진 과제는 MEG 분석시 제거되었다. 10장의 사진 제시가 10

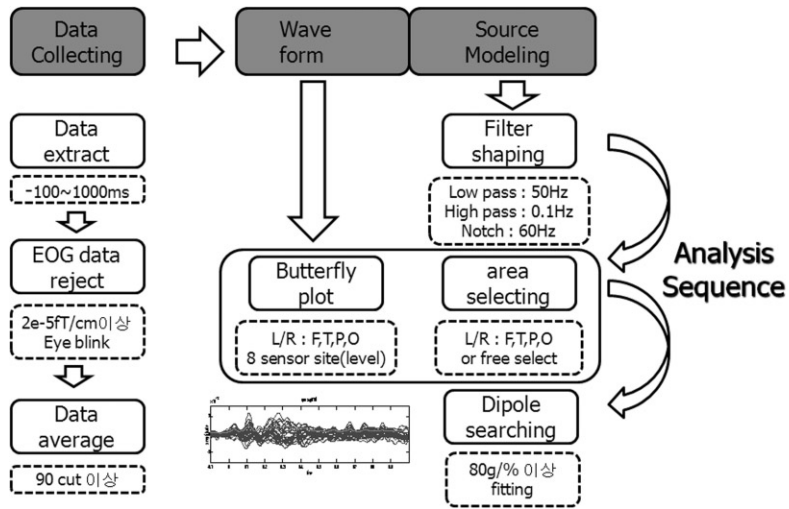


그림 3 MEG data의 analysis sequence

회 반복되는 인과적 의문 과제에 사용된 총시간은 13분 정도를 유지하였다. 인과적 의문의 세부적인 과제 제시 패러다임은 <그림 2>와 같다.

MEG 과제 패러다임에 맞추어 Neuroscan사에서 개발된 상용 자극제시 프로그램 STIM²를 사용하여 MEG 과제를 피험자에게 제시하였다.

3) MEG ERF 분석

과제 수행간 기록된 MEG signal 중 의문 생성에 대한 데이터 수집을 위해 추측적 의문의 경우 -100~1000ms, 인과적 의문과 예측적 의문의 경우 -100~2000ms에 해당하는 부분을 분석에 포함시켰다. 과제별 100장의 수행 과제 중 artifacts로 눈 깜박임을 제거하고 남은 90개 이상의 데이터들을 averaging 하여 MEG ERF components를 찾도록 하였다.

이를 위해 Butterfly plot 형태로 구축된 wave form을 좌우 각 frontal, temporal, parietal, occipital의 8개 구역으로 나누어 확인하였다. 이렇게 확인된 wave form의 형태에서 실제로 dipole이 goodness 80g/% 이상을 보이는 것이 찾아지는지를 source modeling을 통해 8개 구역에서 각각 dipole fitting 작업을 수행하였다. 이는 Neuromag 프로그램을 통해 이루어졌으며, 분석 전 EEG ERPs와 동일한 주파수 영역대인 bandpass로 low pass는 50Hz, high pass는 0.1Hz를 유지하였다. 다음에서 제시되고 있는 <그림 3>은 데이터 수집에서부터 전반적인 ERF의 분석 처리 과정에 대해서 보여주고 있다.

이렇게 찾은 ERF components들마다 고유의 두뇌 활성화에 대한 의미가 지금까지의 ERPs 연구들을 통해서 밝혀져 왔고, 지금도 계속적인 연구가 진행 중이다. <그림 4>는 Psychophysiology(1996)에 Helge Nordby가 ERPs components에 대해 언급한 부분으로 시계열 신호처리로 볼 때 두뇌는 자동적 처리 과정 이후 인지작용에 의한 조절된 처리 과정의 작업을 수행한다고 하였으며, 인과적 의문의 ERF components도 이와 같은 형태로 분석되었다.

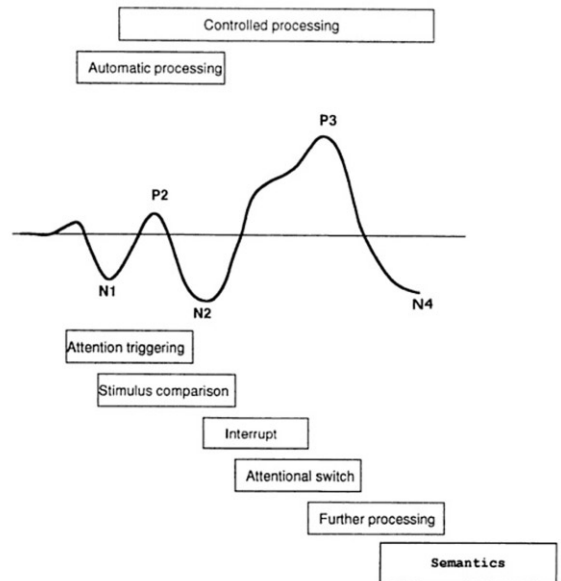


그림 4 ERP components의 요약과 인지 처리 과정 (Psychophysiology, 1996)

III. 연구 결과 및 논의

1. 생명현상 기반 인과적 의문 생성 유발 과제 개발

생명현상에 기반을 둔 인과적 의문 생성 과제는 피험자가 관찰을 하였을 때 자발적으로 의문이 유발되는 과제이어야 한다. 따라서 MEG과제는 학생들에게 인과적 의문을 만들라는 지시문을 통해 억지로 의문을 만드는 것은 인과적 의문 생성 유발 사진을 선별하는 것이 아니라, 과제와 상관없는 창의성을 요구하는 부분이 된다. 따라서 열려진 관찰의 기회와 생각나는 대로 자신의 생각과 느낌을 표현해주는 것이 필요하다.

초중고생 670명의 피험자들이 사진을 관찰하고, 인과적 의문을 생성한 경우를 수치적으로 파악하여 제거될 사진 자료를 선별하였다. 전체 405장의 사진 과제 중 반응 빈도가 떨어지는 130장과 다른 유형의 의문을 유도하는 175장을 제외하고 100장의 사진 자료가 MEG 과제로 선별되었다. 100장의 사진 자료는 관찰을 하였을 때 다른 사진 자료에 비해 인과적 의문 생성 가능성이 높을 것으로 예상되는 것이다.

다음 <그림 5>는 선별된 인과적 의문 생성 유발 과제 예시로써 왼쪽부터 동물, 미생물, 식물 과제를 보여주고 있다. 동물 과제의 경우 두 마리의 사마귀를 관찰하고, 상호 형태나 크기가 같지만, 색이 다른 인과적 원인을 찾고자 하는 의문을 유발시키며, 미생물 과제의 경우 파란색의 버섯을 통해 '왜 버섯의 색깔이 파랗까?' 라는 인과적 의문을 떠올리게 된다. 식물 과제의 경우 일반적인 식물의 주광성과 달리 가지가 아래로 향하는 인과적 의문을 발생시키는 과제가 된다.



그림 5 인과적 의문 유발 사진 과제 예시

2. 인과적 의문 생성시 나타나는 ERF components

생명현상 관찰 기반 인과적 의문 생성 유발 사진을 통해 MEG 과제 수행 간 raw data를 수집하고 이를 바탕으로 ERF 분석이 이루어졌다.

ERF는 positive와 negative 의 극을 갖는 volume current에 따라서 생성되기 때문에 components의

명명시 기존 ERP components 마지막에 small m을 추가하거나 앞에 large M을 붙이는 방법을 사용하는 데 정해진 규칙은 없다. 해당 components의 해석 또한 기존 ERPs 연구에서 보고되고 있는 것을 기반으로 사용하게 되었다. 이에 대한 예로써 P300의 경우 M3, N400의 경우 M4 등으로 표시하여 기존 ERP에서 보고되는 음전위와 양전위의 성분 파형 정보는 제거되고, 시간을 나타내는 정보만을 표시하여 해당 components를 사용하게 된다(Kim *et al.*, 2008).

이에 따라 본 연구에서 인과적 의문 생성시 나타나는 ERF components의 경우 그림 6과 같이 M1, M2, M3, M4의 4개 components의 패턴이 발견되었다. 이는 총 2초가 측정된 인과적 의문 생성에 걸린 시간 중 520ms이내에서 발견된 것으로, 흔히 1초 이후에 발견되는 slow EM effect는 개인별로 상이하며, 기존 연구에서 세부적으로 나뉘어 components로 보고되기 보다는 P300 반응의 연장이나 지연으로 보는 경향이 많다(Fabiani *et al.*, 1986; Karis *et al.*, 1984). 따라서 본 연구에서도 P300, N400 등을 포함하는 M1부터 M4의 4개 components를 추출하였다.

<표 2>에서 보듯 M1 components의 경우 100~130ms 사이에서 관찰되어졌으며, M2 components는 220~280ms, M3 components는 M4 components의 경우 각각 320~390ms와 460~520ms 사이에서 발견되었다. 이는 공간적 위치에 대한 주의 집중시 보여지는 P100(80~130ms), N100(140~200ms), P200(176~200ms)과 공간적 위치와 특성을 조합한 대상 인식시 나타나는 N200(220~300ms), P300(300~600ms), N400(450~600ms)등의 이전 연구(Davis *et al.*, 2002)와 유사한 패턴을 보이고 있다.

인과적 의문 생성시 나타난 MEG Butterfly plot을 통해 찾은 각 ERF components는 <그림 6>과 같다. 그림은 dipole fitting 과정을 통해 5명의 피험자 전체에서 보여지는 components 패턴을 나타내고 있다.

M1과 M2의 경우 각각 ERP연구에서 공간주의집중(Spatial attention)에만 주로 나타나는 것으로 보고되는 P100, 피험자가 주의를 주지않고 무시한 자극에 비해 주의를 준 자극에 더 큰 진폭 발생이 발생하는 선택적 주의력에 관련된 P200과 동일한 개념으로 사용된다(Hillyard *et al.*, 1973). 이는 인과적 의문 사진 과제 제시에 따라 피험자가 관찰하는 동안 보고 되

표 2 인과적 의문 ERF components

| ERF 피험자 | M1 (100-130) | M2 (220-280) | M3 (320-390) | M4 (460-520) |
|------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 1 | 111.6 (3.44E-12, 2.16E-12) | 228.1 -2.16E-12 | 363 -1.74E-12 | 481.2 -1.17E-12 |
| 2 | 114.9 (3.82E-12, 2.39E-12) | 243.1 -3.47E-12 | 371.3 -3.68E-12 | 462.9 -2.89E-12 |
| 3 | 119.9 (7.14E-12, 4.01E-12) | 276.4 -1.22E-12 | 386.3 -2.34E-12 | 466.2 -1.75E-12 |
| 4 | 124.9 (3.38E-12, 3.49E-12) | 223.1 -4.36E-12 | 329.7 -3.23E-12 | 516.1 -2.00E-12 |
| 5 | 106.6 (5.18E-12, 3.33E-12) | 259.7 -2.62E-12 | 353 -2.14E-12 | 512.8 -1.54E-13 |

(ms, amplitude)

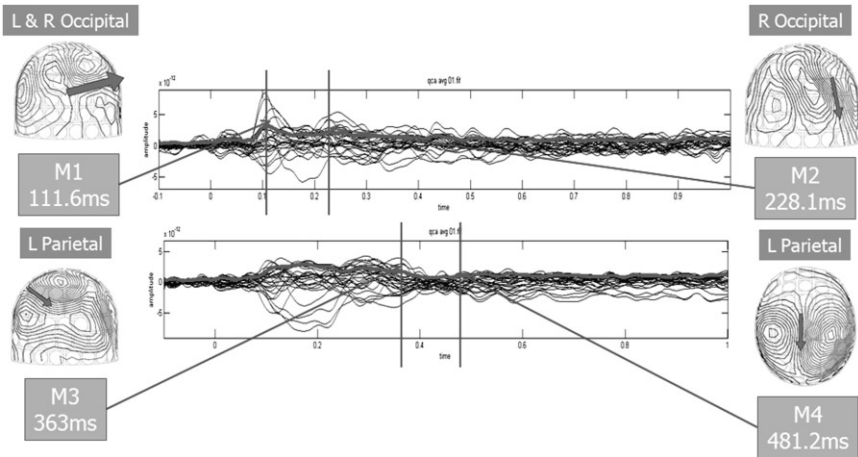


그림 6 인과적 의문의 ERF components

는 것으로 dipole fitting 과정을 통해 두뇌 활성 영역을 확인해 본 것처럼 후두엽에 걸쳐 관찰되고 있다.

M3의 경우 ERP에서 보고되는 P300과 같은 의미로 사용된다. 1960년대 Sutton의 보고이후 뇌의 정보처리기전과 관련하여 전 세계적으로 가장 많이 연구가 되었고, 현재에도 진행되고 있다. 선행연구에 의하면 P300은 정보처리과정 중 자극에 대한 주의력, 자극인지, 기억탐색, 불확실감의 해소 등을 반영하는 것으로 전해진다(Chao, 1995). 즉 주의력, 기억력, 인지능력 등이 높을수록 P300의 진폭이 커지는 경향이 있으며, P300이 발생한 시점(Latency)이 빨리 나타나게 된다. P600, P800의 경우는 P300이 늦게 나타난 것으로 보기도 하며 장기기억에 저장되어있는 정보에 근거하여 자극을 더 정교하게 처리하는 과정의

의미도 포함하고 있다. 본 연구에서 확인된 M3 components의 경우 인과적 의문에 대한 불확실감을 해소하기 위해 장기기억 저장소로부터 경험 상황을 가지고 오는 귀추의 과정을 반영한다고 볼 수 있다. 이는 이해정(2005)이 인과적 의문의 생성 과정을 관찰현상 분석, 경험상황 분석, 설명자 표상, 인과적 의문 생성으로 나타낸 인지심리 연구에 근거해 볼 때 이전 경험상황을 분석하는 단계에 해당한다.

M4의 경우 N400과 동일한 개념이며 흔히 300-500ms 사이에 나타나고 중앙 전두부위에서 가장 두드러지게 관찰되는 음전위를 말한다. N400은 의미적 처리과정을 반영한다고 알려져 있다(Chao, 1995). 재인기억과제(Recognition memory task)동안 N400을 측정할 연구들에 의하면 N400이 장기 기억으로

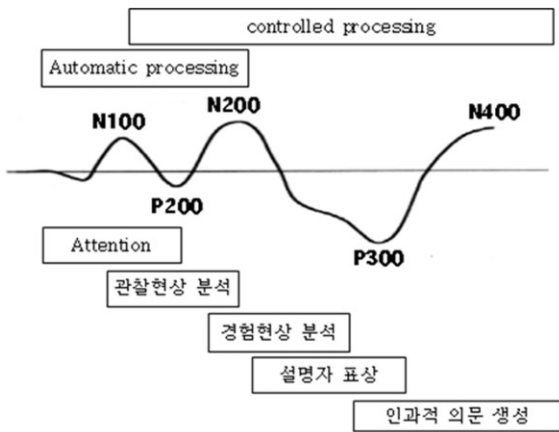


그림 7 인과적 의문의 ERP components와 인지 처리 과정

부터 정보를 인출하는 과정 혹은 장기기억내의 정보를 탐색하는 과정을 반영하는데 이는 기억 탐색을 반영하는 것이라고 할 수 있다(Chao, 1995). 이에 근거하여 M4는 장기 기억 속의 경험 상황에서 인과적 의문에 대한 설명자를 표상하는 단계에 해당한다. 이를 Helge Nordby(1996)의 정리와 이해정(2005)의 인과적 의문 처리 과정에 맞추어 보면 <그림 7>과 같다.

IV. 결론 및 교육적 활용

본 연구의 목적은 생명현상 관찰에서 나타나는 인과적 의문 생성의 MEG ERF 특성 밝히는 것이었다. 이를 위해 생명현상 기반 인과적 의문 생성 유발 가능성이 높은 100개의 사진 과제를 만들었으며, MEG 과제 패러다임에 맞추어 여자 대학원생 5명(M=26.4, SD=2.30)을 대상으로 인과적 의문 생성간 MEG 촬영을 실시하였다.

인과적 의문 생성시 나타나는 ERF components 분석 결과 M1(100~130ms), M2(220~280ms), M3(320~390ms), M4(460~520ms) 총 4개 components 패턴이 발견되었다.

M1과 M2의 경우 인과적 의문 사진 과제 제시에 따라 피험자가 관찰하는 동안 보고 되는 것으로 dipole fitting 과정을 통해 두뇌 활성 영역을 확인해 본 것처럼 시각영역이 위치하는 후두엽에 걸쳐 확인되었다. M3 components의 경우 인과적 의문에 대한 불확실감을 해소하기 위해 장기기억 저장소로부터 경험 상황을 가지고 오는 귀추의 과정을 반영한다고 볼 수 있다.

이는 이해정(2005)이 인과적 의문의 생성 과정을 관찰현상 분석, 경험상황 분석, 설명자 표상, 인과적 의문 생성으로 나타낸 인지심리 연구에 근거해 볼 때 이전 경험상황을 분석하는 단계에 해당하며 학생들이 가설을 생성할 때 가장 큰 어려움을 경험하여 교사의 적절한 도움이 요구되는 부분이다. M4 components는 장기 기억 속의 경험 상황에서 인과적 의문에 대한 설명자를 표상하는 단계에 해당하는 것으로 인과적 의문 생성 후 가설을 만드는 전 단계에 해당한다고 할 수 있다. 이러한 연구 결과로부터 도출된 이 연구의 결론은 다음과 같다.

첫째, 인과적 의문 생성 과정에서도 MEG ERF components 패턴이 확인되었다. 지금까지 고등사고를 반영하는 ERF를 얻는 MEG 패러다임의 구성이 매우 어려워 대부분의 연구가 단순과제를 통해 ERP나 ERF를 찾는 것이 대부분이었다. 이에 본 연구는 고등사고 과정의 ERF 분석이 가능함을 보여주고 있다.

둘째, 인과적 의문 생성시 M1-M4의 단계를 거치며, 이는 인지심리적 연구에서 처럼 인과적 의문 생성 과정이 몇 개의 과정으로 구분되어 일어나는 것임을 알 수 있었다. 이는 인과적 의문 생성시 경험상황을 분석하고 설명자를 표상해 나가는 일련의 과정이 신경생리적으로도 확인할 수 있음을 의미한다.

본 연구는 확인된 인과적 의문 생성시 나타나는 MEG ERF components와 latency 시간을 통해 인과적 의문 생성에 어려움을 호소하는 학생들에 대한 개별적 교수 처치와 더불어 고등인지 영역의 ERF 연구의 기초를 마련하였다는데 의의가 있다.

참고 문헌

- 강은미, 신동훈, 권용주(2006). 과학 지식 생성 학습을 통한 초등학생들의 가설 지식 생성 능력의 발달. *초등과학교육*, 25(3), 257-270.
- 권용주, 정진수, 박윤복, 강민정(2003). 선언적 과학적 지식의 생성 과정에 대한 과학철학적 연구: 귀납적, 귀추적, 연역적 과정을 중심으로. *한국과학교육학회지*, 23(3), 215-228.
- 권용주, 이준기, 이일선, 김용진(2008). 중등예비교사들의 생명현상에 대한 과학적 의문 분석을 통한 의문생성력지수 산출식의 개발. *중등교육연구*, 56(2), 553-576.

- 신동훈, 김석기, 권용주(2007). 과학지식 생성 모형을 기반으로 한 초등학생용 거미 탐구 프로그램 개발. *초등과학교육*, 25(5), 465-475
- 이해두(2006). 지식정보사회와 교육패러다임의 변화. *대구대학교 학술논문집*, vol.1, No.2.
- 이혜정 등, 정진수, 박국태, 권용주(2004). 초등학생들과 초등예비교사들이 관찰활동에서 생성한 과학적 의문의 유형. *한국과학교육학회지*, 24(5), 1018-1029.
- 이혜정 등, 박국태, 권용주(2005). 초등예비교사들의 관찰활동에서 나타난 인과적 의문의 사고 유형과 생성 과정. *한국초등과학교육학회지*, 24(3), 249-258.
- 허경철, 조덕주, 소경희(2001). 지식 생성 교육을 위한 지식의 성격 분석. *교육과정연구*, 19(1), 231-250.
- Chin, C. A., Brown, D. E., & Bruce, B. C. (2002). Student generated questions: A meaningful aspect of learning in science. *International Journal of Science Education*, 24(5), 521-549.
- Christenbury, L., & Kelly, P. (1983). *Questioning: A Path to Critical Thinking*. Urbana, IL: ERIC Clearinghouse on Reading and Communication Skills and the National Council of Teachers of English.
- David, O., Kiebel, S. J., Harrison, L. M., Mattout, J., Kilner, J. M., Friston, K. J. (2006). Dynamic causal modeling of evoked responses in EEG and MEG. *Neuroimage*, 30, 1255-1272.
- Friston, K. J., Holmes, A. P., & Worsley, K. J. (1999). How Many Subjects Constitute a Study? *NeuroImage*, 10, 1-5.
- Gazzaniga, M. S., Ivry, R. B., & Mangun, G. R. (2002). *Cognitive neuroscience: The biology of the mind* (2nd ed.). W. W. Norton & Company, pp. 62-576
- Gott, R., & Duggan, S. (1995). *Investigative work in the science curriculum*. Buckingham, UK: Open University Press.
- Hansen, L., & Monk, M. (2002). Brain development, structuring of learning and science education: Where are we now? A review of some recent research. *International Journal of Science Education*, 24(4), 343-356.
- Lawson, A. E. (1995). *Science teaching: And the development of thinking*. Belmont, CA: 10, Wadsworth Publishing Company, pp. 16-17.
- Roychoudhury, A. & Roth, W. (1996). Interactions in an open-inquiry physics laboratory. *International Journal of Science Education*, 18(4), 23-445.
- Spargo, P. & Enderstein. (1997). What questions do they ask? Ausubel rephrased. *Science and Children*, 34, 43-45.
- Thagard, P. (1998). Ulcers and bacteria 1: Discovery and acceptance. *Studies in History and Philosophy of Science*, 29(1), 107-136.
- Van Petten, C., & Senkfor, A. J. (1996). Memory for words and novel visual patterns: repetition, recognition, and encoding effects in the event-related brain potential. *Psychophysiology*, 33, 491-506.

국문 요약

이 연구의 목적은 생명현상 관찰에서 나타나는 인과적 의문 생성 ERF components를 개발하는 것이다. 이를 위해 우선 인지심리적 방법으로 생명현상 기반의 인과적 의문생성 유발 사진 과제를 개발하였다.

이를 활용해 전기생리적 방법인 MEG (Magnetoencephalography) 두뇌 영상 기기를 이용하여 시계열적 두뇌 처리과정에 기초한 인과적 의문의 ERF(Event Related Fields) 패턴을 확인할 수 있었다. 생명현상 기반의 인과적 의문생성 유발 사진은 과학교육 전문가와 과학교육연구인으로 구성된 인원의 R&D 방식으로 개발되었다. 과제는 생물군 유형에 따라 동물(A, animal), 미생물(M, microbe), 식물(P, plant)과제로 분류 형태를 나누고, 생물 개체 수준의 유형에 따라 개체간 상호작용(i, interaction), 단일 개체(a, all), 개체 일부(p, part)로 구분하여 총 100 장에 대한 인과적 의문 유발 사진을 완성하였다. 이후

서울대학병원 MEG 센터팀과의 세미나 과정을 통해 MEG 과제용 패러다임을 개발하고, 과학교육 전공 여자 대학원생 5명($M=26.4$, $SD=2.30$)을 대상으로 인과적 의문생성간 MEG data를 수집하였다. 이를 통해 인과적 의문 유형별 고유 특성을 확인하기 위해 MEG ERF components 분석을 실시하였다.

인과적 의문 생성시 나타나는 ERF components 분석 결과 M1(100~130ms), M2(220~280ms), M3(320~390ms), M4(460~520ms) 총 4개 components 패턴이 발견되었다. M1과 M2의 경우 인과적 의문 사진 과제 제시에 따라 피험자가 관찰하는 동안 보고 되는 것으로 dipole fitting 과정을 통해 두뇌 활성 영역을 확인해 본 것처럼 시각령이 위치하는 후두엽에 걸쳐 확인되었다. M3 components의 경우 인과적 의문에 대한 불확실감을 해소하기 위해 장기기억 저장소로부터 경험 상황을 가지고 오는 귀

추의 과정을 반영한다고 볼 수 있다. 이는 이전 경험 상황을 분석하는 단계에 해당하며 학생들이 가설을 생성할 때 가장 큰 어려움을 경험하여 교사의 적절한 도움이 요구되는 부분이다. M4 components는 장기 기억 속의 경험 상황에서 인과적 의문에 대한 설명자를 표상하는 단계에 해당하는 것으로 인과적 의문 생성 후 가설을 만드는 전 단계에 해당 한다고 할 수 있다.

본 연구는 확인된 인과적 의문 생성시 나타나는 MEG ERF components와 latency 시간을 통해 인과적 의문 생성에 어려움을 호소하는 학생들에 대한 개별적 교수 처치와 더불어 고등인지 영역의 ERF 연구의 기초를 마련하였다는데 의의가 있다고 하겠다.

주요어 : 뇌자도, 자장, 인과적 의문