

생물전공 및 비전공 예비교사들과 생물학자들의 가설 생성 및 이해에서 나타나는 두뇌 활성화 차이

권용주 · 이준기*

한국교원대학교

Brain Activations on the Hypothesis-Generating and Hypothesis-Understanding in Pre-Service Teachers not Majoring in Biology, Pre-Service Teachers Majoring in Biology and Biologists

Yong-Ju Kwon · Jun-Ki Lee*

Korea National University of Education

Abstract: We aimed to examine difference between the brain activation pattern based upon hypothesis-generating and hypothesis-understanding among the pre-service teachers not majoring in biology, the pre-service teachers majoring in biology and the biologists using fMRI. We have designed two sets of task paradigm on the biological phenomena: hypothesis-generating and hypothesis-understanding and thirty six healthy participants (twelve participants per group) performed the tasks. The result was showed that 1) there were significant differences of brain activation patterns in hypothesis-generating on the biological phenomena among three groups, 2) the left middle frontal gyrus in the part of DLPFC region was play an important roles of hypothesis-generating and make a significant differences among three groups. The superior ability of biologists were based upon the activation of middle frontal gyrus which has secondary integration of abstract information, and 3) there were no significant differences of brain activation patterns in hypothesis-understanding on the biological phenomena among three groups. These findings provided that scientist might be skillful in generating a new scientific knowledge.

Key words: Hypothesis-generating, Hypothesis-understanding, pre-service teachers, biologists, fMRI

I. 서론

가설이란 현재 관찰된 현상의 원인이 되는 인과적 설명으로서 잠정적으로 고안된 명제나 명제들의 집합이다(Kwon, Jeong & Park, 2006). 이러한 가설은 자연 현상에 대한 인과적 의문으로부터 자연 현상을 설명하는 원인적 지식을 만들어가는 다리인 임시적 설명의 역할을 하기 때문에 학습에서 매우 중요하게 여겨져 왔다(Lawson, 1995; Wenham, 1993). 특히 과학 수업에서는 학생들의 논리적 사고력과 창의적 사고력의 발달과 밀접하게 관련되어 있기 때문에 가설 지식을 생성하는 활동은 과학교육에서 더욱 중요하게 여겨져 왔다(Adsit & London, 1997; Kwon *et al.*, 2006; Lawson, 1995).

Kwon 등 (2006)에 따르면, 가설은 의문 현상을 구

성하는 하위 요소의 분석을 바탕으로 의문 현상과 유사한 경험된 현상을 탐색해 내고, 이러한 경험 현상을 설명하는 인과적 설명자를 고안하여 이 설명자를 의문 현상의 가설로 차용하여 적용하는 과정으로 생성된다. 특히, 이러한 과정을 거쳐서 가설을 학습자가 직접 생성하는 활동은 ‘가설 생성(hypothesis-generating)’ 이라고 하지만, 이러한 과정이 교사나 교과서 등에 의해 학습자에게 이해되어지는 활동은 ‘가설 이해(hypothesis-understanding)’ 활동이라고 한다. 이러한 가설의 이해와 생성은 과학이나 과학 교육 뿐만 아니라 일상생활에서도 학습자에게 가장 중요한 인지과정 중의 하나이다. 그러나 이러한 가설의 생성과 이해 능력은 학습자의 특성에 따라 다를 수 있다. 예를 들면, 가설 생성의 경우에서 생명현상에 대한 생물학자의 가설 생성 능력은 다른 집단의 구성

*교신저자: 이준기(cryptogams@hanmail.net)

**2009년 09월 08일 접수, 2009년 11월 21일 수정원고 접수, 2009년 11월 22일 채택

***이 논문은 2009년도 한국교원대학교 기성회계 학술연구비의 지원에 의하여 연구되었음.

원에 비해 매우 뛰어난 것으로 조사되었다(권용주와 이준기, 2007).

그러면 생물학자들의 무엇이 그들의 가설 생성 능력을 뛰어나게 만드는가? 이러한 의문에 대해서 일부 연구들이 설명을 시도했지만, 그 설명의 거의 대부분은 뇌과학적 측면과 같은 인간의 내적 측면에서 연구되었다기 보다는 심리적 및 교육적 측면과 같은 인간의 외적 측면에서 연구되어 왔다(권용주, 이준기, 정진수, 2007; 권용주와 이준기, 2008). 그러나 최근의 인지신경학적 연구들은 인간의 다양한 고등인지활동 과정에서 나타나는 두뇌의 내적 활성화에 대해서 다양한 방법으로 연구가 수행될 수 있음을 제시하였다(Ansari & Coch, 2006; Scanderbeg *et al.*, 2005; Lotze *et al.*, 2003; Percio *et al.*, 2008; Chen *et al.*, 2006). 결론적으로 이들 연구들은 모두 두뇌 활성화의 차이가 학습자의 고등인지기능의 차이를 설명할 수 있다는 결론을 제시하고 있다.

특히 권용주와 이준기(2007)는 일반고등학교 학생들과 생물학자의 가설생성 능력에 대한 두뇌 활성화의 차이를 연구하였다. 이들의 연구에 따르면 생물학자의 뛰어난 가설 생성 능력은 많은 부분 그들의 배외측 전두피질부(DLPFC; dorsal lateral prefrontal cortex)의 여러 영역의 활성화에 기인한다는 것을 발견했다. 그러나 이 연구는 가설생성시 나타나는 생물학자와 고등학생의 두뇌활성 차이가 구체적인 영역별 통계적인 차이에 대한 과학적인 설명에 한계를 가지고 있다. 이외에도 권용주와 그의 동료들은 다양한 집단에 대한 연구를 통해서 가설 생성과 관련된 두뇌 활성을 연구하였다(Lee *et al.*, 2008; Jin *et al.*, 2006a, 2006b). 이들 연구들에 따르면 학습자의 전두피질부를 포함한 특정 영역의 활성화가 학습자의 가설 생성 능력을 설명해 줄 수 있다고 하였다.

하지만, 이러한 결론에서 불구하고 이들 연구들은 여전히 학습자의 가설생성 능력이 두뇌의 어떤 영역에서의 얼마만큼의 차이로 인해서 야기되는지에 체계적이고 과학적인 설명을 제공하는데 부족하다. 더 나아가 이들 연구들은 가설의 생성에 관해서 수행된 연구결과를 제시하여 왔지만, 가설 학습의 또 다른 측면인 가설의 이해에 관해서는 연구된 바를 찾아보기 어렵다. 따라서 이 연구는 장차 생명현상에 대한 탐구를 현장에서 교육해야 하는 생물 예비교사와 그들과 비교해보기 위한 대상인 생물을 전공하지 않는 예비

교사 그리고 실제로 생물학을 연구 중인 현장 생물학자의 가설 생성과 이해의 활동에서 나타나는 두뇌 활성화의 차이를 분석하여, 가설 생성 능력의 차이가 두뇌의 어떤 영역의 활성화와 관련되는지를 fMRI를 통하여 체계적이고 과학적으로 제시하고자 하였다.

II. 연구 방법 및 과정

1. 연구대상자

이 연구에서는 36명의 건강한 오른손잡이 남성 지원자를 모집 하였다. 이들은 중부권 소재 교사양성 대학에 재학 중인 생물 비전공 예비교사 12명(평균연령 23.75, 연령범위 22-26), 생물 전공 예비교사 12명(평균연령 23.83, 연령범위 21-26) 그리고 생물학자 12명(평균연령 39.08, 연령범위 36세-42세)으로 구성되었다. 생물학자는 모두 생물학 분야의 박사학위를 소지하고 현재 학술적 연구를 수행하고 있으며, 생물학 논문을 전문 학술저널에 출판한 경험이 있는 대상으로 구성하였다.

모든 연구대상자들은 시력검사, 정신과 치료, 폐쇄 공포증, 의학적 약물복용, 체내 금속물질 검사에서 모두 이상이 없는 대상으로 모집 하였다. 또한 연구진과 한국과학기술원이 제시한 연구 참여 동의서에 서명하였으며 연구기관의 연구생명윤리위원회의 사전승인도 득하였다.

2. fMRI 실험과제의 개발

이 연구에서는 1차로 80개의 '가설 생성' 및 '가설 이해'의 fMRI 과제를 개발한 후, 이들 과제에 대해서 30명(본 실험 대상자와 다른 대상자)을 대상으로 pilot test를 거친 다음 28개 과제를 최종적으로 fMRI 실험과제로 선정하였다. 특히 이 연구에서는 연구대상자들이 가설 생성과 가설 이해에 대한 과제에 모두 참여하기 때문에, 두 영역의 과제 수행에 대해 같은 생물학 현상을 사용하면 기억에 의한 오염 가능성이 존재한다. 그래서 가설 생성과 가설 이해 영역의 각 과제는 같은 생물학 현상을 사용하지 않으면서 유사한 유형의 과제로 된 동형검사를 각 영역의 과제에 적용하였다(각 영역 당 28 과제). 이때 동형검사 신뢰도는 0.92였다.

모든 피험자는 가설 생성 영역의 과제와 가설 이해 영역의 과제를 수행하는 과정에서 일어나는 두뇌의 활성을 fMRI를 측정하였다. fMRI 측정을 위한 가설 생성과 가설 이해 영역별 과제의 제시 순서는 Fig. 1 과 같은 과정으로 측정하였다. 먼저 공조건을 제시한 후, 각 과제에 대해서 과제의 영역을 안내하고, 해당 과제를 수행하고, 과제 수행의 완료 여부를 확인하고, 마지막으로 기저조건을 제시한 후 다음 과제로 넘어 간다. 이런 과정을 각 과제에 대해서 모두 수행하고, 이러한 과제의 수행동안 일어나는 두뇌 활성의 변화를 fMRI로 측정하였다. 이에 대한 보다 상세한 과정은 권용주와 이준기(2007)에 상세하게 설명되어 있으며, 이 연구에서는 권용주와 이준기의 과정에 따라서 과제 수행 중 나타나는 두뇌 활성의 fMRI 데이터를 수집하였다.

3. fMRI 데이터 수집과 분석

피험자들의 두뇌 활성화 상태를 측정하기 위한 자기 공명 영상의 측정은 한국과학기술원 fMRI 연구동 내에 있는 3.0T fMRI scanner (ISOL Tech., Korea)를 사용하였다. 자기공명영상결과는 이준기 등(2006)의 방법과 동일한 과정으로 수집하였다. 이렇게 수집된 결과는 MATLAB 7.0 프로그램 환경에서 구현되는 SPM2 소프트웨어를 사용하여 처리되었다. 세부적인 분석 활성화결과 도출과정은 이준기 등(2006)이 제시한 방법을 따랐다.

연구의 결과는 가설 생성과 가설 이해에 해당하는 과제의 수행 중 나타나는 두뇌의 영역별 활성을 각 집

단별로 분석하여 제시하였다. 이러한 분석 결과의 제시는 먼저, 활성이 일어나는 두뇌를 구분하여 제시하였으며, 이러한 활성이 일어나는 두뇌를 두뇌 모식도에 그림으로 활성을 표시하였다. 더 나아가 이 연구에서는 가설 생성과 이해의 두뇌 활성화에 대한 집단별 각 두뇌 영역의 활성화 차이를 분석하기 위하여, 가설 생성과 가설 이해의 상대적인 두뇌 활성의 차이를 보여주는 ROI(region of interest)를 선정하여 이들 영역의 두뇌 활성화 신호의 집단별 차이를 분석하였다. 이 영역은 이준기(2009)의 연구결과에서 제시된 영역을 사용하였다. 즉, 가설 생성 및 가설 이해 활동의 fMRI 측정에서 의미 있는 두뇌 활성을 보이는 두뇌 영역을 선정한 다음, 이들 두뇌 영역에서 각 집단(생물전공 예비교사, 생물 비전공 예비교사, 생물학자 집단)별 두뇌 활성화 신호량을 측정하여, 가설 생성 및 이해에 대한 각 집단별 두뇌 활성의 차이를 함께 분석하였다.

또한 피험자들이 과제수행에서 의미 있게 가설을 생성했는지에 대해서 확인하기 위하여 fMRI 시스템 내에서 두뇌 활성을 측정하는 중 가설생성 또는 이해의 완료 여부를 확인하는 과정을 포함하였다. 즉, 피험자가 가설 생성 또는 이해 과제의 수행에 대해서 과제를 완료시 좌측 버튼, 미 완료시 우측 버튼을 누르도록 하였다.

III. 연구의 결과 및 논의

1. 행동 연구의 결과

이 연구에서는 피험자들을 fMRI 측정하는 동안 그

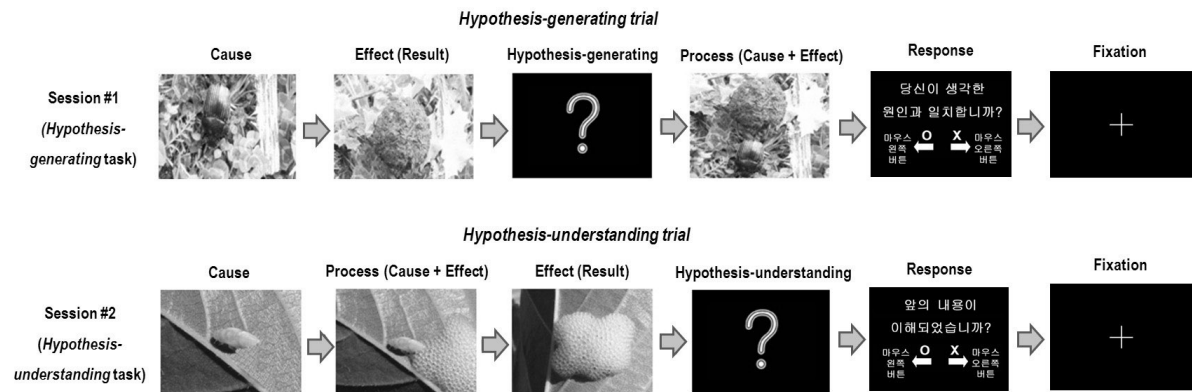


Fig. 1 Schematic representation of fMRI experimental design. The experimental paradigm was consisting of 28 trials. In this figure, a representative trial was presented. See the text for explanation.

들이 가설의 생성 또는 이해 과제를 수행했는지 하지 않았는지를 확인하는 과정을 포함하였다. 만약 피험자들이 가설의 생성 또는 이해 과제의 수행을 완료했을 경우에는 좌측 버튼을 누르도록 하였고, 완료하지 못했을 경우에는 우측버튼을 누르도록 요구하였다. 피험자의 fMRI 측정 데이터에 따르면 모든 피험자들은 가설의 생성 과제에서 자신의 가설을 생성하였으며, 가설의 이해 과제에서는 제시된 가설을 이해하였다고 응답하였다. 따라서 이 연구에서는 모든 피험자들의 fMRI 데이터에 대해 분석을 위한 유효 피험자 및 유효 자료로 인정하고 분석하였다.

2. fMRI 연구의 결과 및 논의

1) 가설 생성 활동에서 나타난 두뇌 활성화의 분석

피험자의 가설 생성 활동에서 나타나는 두뇌 활성을 크게 좌측 영역의 대뇌피질(Cerebral cortex)과 변연계 및 엽하 영역(Limbic and sub-lobar regions)에서 나타났다. 이를 구체적으로 살펴보면, 먼저 생물 비전공 예비교사들의 가설 생성 과제 수행에서 활성화 되는 두뇌 영역은 다음과 같다 : 좌측 상전두이랑, 좌측 중전두이랑, 좌측 중심전이랑, 좌측 상두정소엽, 좌측 중후두이랑 그리고 우측 혀이랑. 또한 이들의 가설 생성 활동에서는 좌측 소뇌정상의 활

성도 나타났다 (Table 1 and Fig. 2A).

생물 전공 예비교사들의 경우, 가설 생성 과제 수행에서 활성화 되는 이들의 두뇌 영역은 다음과 같다 : 좌측 중전두이랑, 좌측 하전두이랑, 좌측 뺨기전소엽, 좌측 방추이랑, 우측 방추이랑 그리고 우측 중후두이랑 (Table 1 and Fig. 2B).

생물학자 집단에서 가설 이해와 비교하여 가설 생성 과제 수행에서 활성화 되는 이들의 좌측 두뇌 영역은 다음과 같다 : 좌측 상전두이랑, 좌측 내측전두이랑, 좌측 중전두이랑, 좌측 하전두이랑, 좌측 띠이랑, 좌측 뺨기전소엽, 우측 상두정소엽, 우측 하두정소엽, 좌측 방추이랑, 우측 방추이랑 그리고 좌측 조가비핵 (Table 1 and Fig. 2C).

이 연구에서는 특히 세 집단의 가설 생성 활동을 가설 이해 활동과 비교했을 때 가설 생성에서 통계적으로 의미 있는 활성을 나타내는 7개의 두뇌 활성 영역을 ROI로 선정하였다: 좌측 중전두이랑, 좌측 상측두이랑, 좌측 중측두이랑, 좌측 해마옆이랑, 좌측 조가비핵, 좌측 중후두이랑, 우측 혀이랑. 그런 다음 이들 7개 ROI 영역에 대해서 세 집단의 각 영역별 두뇌 활성화 BOLD 신호 차이를 비교한 ANOVA 검사 결과는 <Fig. 3> 과 같다.

ANOVA 검사 결과에 따르면 생물학자 집단은 좌측 중전두이랑의 두뇌 활성화에서 다른 집단보다 통계적으

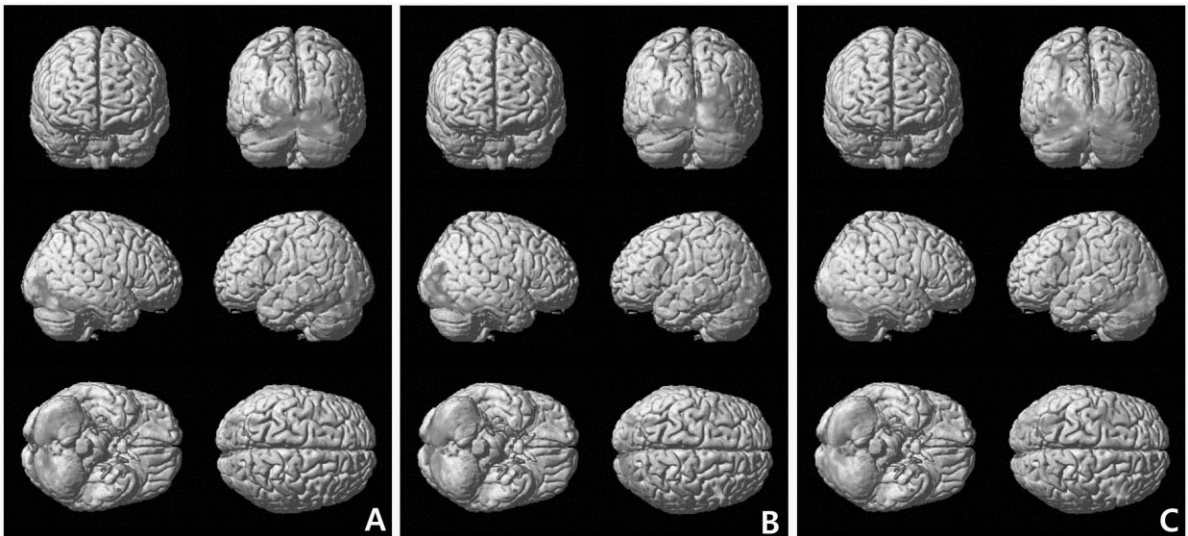


Fig. 2 Graphical renderings of the activations from basic comparison [hypothesis-generating vs. baseline (red) and hypothesis-understanding vs. baseline (green)] of the pre-service teachers not majoring in biology (A), pre-service teachers majoring in biology (B), biologists (C) ($P < 0.001$, FWE corrected). Yellow denotes overlap between the two conditions.

Table 1 Results of direct comparisons between BOLD signals evoked by hypothesis-generating and baseline of undergraduate students not majoring in biology, undergraduate students majoring in biology and biologists.

Lobe	Region of activation	BA & Side	Z score	Talairach coordinates			
				x	y	z	
{(Hypothesis generation – baseline) – (Hypothesis understanding – baseline)}							
Pre-service teachers not majoring in biology							
<i>Frontal</i>	Superior frontal gyrus	6 L	4.58	-6	7	57	
	Middle frontal gyrus	9 L	5.11	-40	11	27	
		6 L	4.45	-38	-1	50	
	Precentral gyrus	6 L	4.89	-36	4	31	
<i>Parietal</i>	Superior parietal lobule	7 L	5.04	-30	-62	44	
<i>Occipital</i>	Middle occipital gyrus	19 L	6.12	-46	-59	-7	
	Lingual gyrus	18 R	6.24	16	-80	-9	
<i>Cerebellum</i>	Culmen	L	4.37	-34	-44	-21	
Pre-service teachers majoring in biology							
<i>Frontal</i>	Middle frontal gyrus	6 L	4.85	-32	0	48	
		9 L	4.84	-46	8	37	
	Inferior frontal gyrus	9 L	5.03	-40	18	18	
<i>Parietal</i>	Precuneus	40 L	4.46	-28	-66	42	
<i>Temporal</i>	Fusiform gyrus	37 L	6.03	-36	-47	-13	
		37 R	5.89	36	-47	-13	
		20 R	5.67	34	-36	-17	
<i>Occipital</i>	Middle occipital gyrus	19 R	6.77	30	-79	22	
Biologists							
<i>Frontal</i>	Superior frontal gyrus	6 L	5.79	-10	9	55	
	Medial frontal gyrus	6 L	5.70	-4	14	47	
	Middle frontal gyrus	6 L	5.83	-38	4	44	
			9 L	5.25	-34	21	25
		Inferior frontal gyrus	9 L	5.90	-42	5	24
			46 L	5.26	-44	24	14
			47 L	4.90	-28	33	-2
	Cingulate gyrus	32 L	5.07	-10	21	34	
<i>Parietal</i>	Precuneus	7 L	6.01	-16	-68	42	
	Superior parietal lobule	7 R	5.58	26	-58	47	
	Inferior parietal lobule	40 R	4.98	34	-52	45	
<i>Occipital</i>	Fusiform gyrus	19 R	6.26	22	-71	-18	
		19 L	5.90	-42	-69	-18	
<i>Sub-lobar</i>	Putamen	L	5.21	-22	-2	4	

BA: Brodmann area, L: left hemisphere, R: right hemisphere

로 의미있는 높은 활성을 보여주었다($F_{(2,35)} = 25.109$, $P < 0.001$). 그러나 사후검증에서 전공여부에 따른 예비교사 집단 간의 차이는 통계적으로 의미 있게 나타나지 않았다. 이 두뇌 영역을 제외한 다른 6개의 ROI 영역(좌측 상측두이랑, 좌측 중측두이랑, 좌측 해마옆이랑, 좌측 조가비핵, 좌측 중후두이랑, 우측 혀이랑)에서는 세집단간 통계적으로 의미 있는 두뇌 활성의 차이를 보여주지 않았다.

이 연구에서 나타난 바와 같이 좌측 중전두이랑, 좌측 중측두이랑, 좌측 하두정이랑, 좌측 조가비핵 등은 다수의 기존 연구에서도 가설 생성과 관련있는 두뇌 활성 영역으로 나타났다(권용주와 이준기, 2007; 이준기 등, 2006; Kwon *et al.*, 2009). 이 외에도 방추이랑, 띠이랑, 소뇌의 일부 영역, 췌기전소엽 등도 기존의 연구에서 가설 생성과 관련있는 두뇌 영역으로 보고되어왔다. 권용주와 그의 동료들의 연구에 따르면, 이들 영역을 각각 가설 생성의 인지 활동에 필요한 하위적인 인지 기능과 관련이 있는 것으로 나타났다.

그런데 가설 생성과 관련된 두뇌 영역들 중, 이 연구에서는 특히 좌측 중전두이랑이 집단별 활성에서 통계적으로 의미있는 차이를 보여주었다(Fig 3). 기존의 연구에 따르면 이 좌측 중전두이랑은 고등인지기능 중 추상적 정보의 2차적 통합에 매우 중요한 역할을 한다는 것이 보고되었다(Green *et al.*, 2006; Kwon *et al.*, 2009). 따라서 이 연구 결과에서 생물학자 집단에서만 이 좌측 중전두이랑의 활성 신호가 높다는 것은 생물학자 집단이 예비교사 집단보다 추상적 정보의 통합에 뛰어난 능력을 가짐으로서 가설 생성을 효과적으로 수행하였다는 것을 의미한다고 볼 수 있다. 즉, 이는 권용주와 이준기(2007)의 연구에서 제시하듯이 생물학자는 해박한 백과사전적 지식을 자랑하는 사람이 아니라 새로운 생물학 지식을 창의적으로 생성해 내는 사람임을 의미한다.

상전두이랑은 여러 가지 기능에 대한 보고가 있는데, 그중에서도 불확실한 상황 하에서의 의사결정에 대한 Blackwood 등(2004)의 연구가 잘 알려져 있다. 상전두이랑은 단독 혹은 우측 소뇌와 함께 활성화 될 때는 언어적 작업기억과도 많은 관련을 보이지만(Fiedman *et al.*, 1998), 좌측 소뇌와 함께 활성화 될 때에는 주로 제한된 정보 하에서 지식을 생성하는 과정에서 나타난다(Blackwood *et al.*, 2004). 이 연구의 결과에서는 생물 비전공 예비교사들에게서만 나타

나는 활성 특징이다. 이는 이들이 생명현상에 대한 경험상황과 배경지식이 부족하여 불확실한 상황 하에서 가설생성을 수행해야하기 때문에 나타나는 현상으로 판단된다.

생명현상에 대한 가설생성과정에서 측두엽의 방추이랑 활성이 나타났는데, 생물 비전공 예비교사들에게서는 보이지 않고, 생물전공 예비교사와 생물학자에게서만 발견된다(Table 1, Fig. 2). 이 영역의 활성은 물체의 상세인식에 관여하는 것이 잘 알려져 있다.

좌측 조가비핵은 기본감산 과정에서 생물학자에게만 그 활성이 나타나는 특이 영역이다. 그러나 ROI를 설정하여 연역적으로 활성 값을 조사해본 결과 세 집단 간에 통계적으로 유의미한 신호 차이가 나타나지는 않았다. 그러나 Fig. 3에서 볼 수 있듯이 이 영역의 활성강도는 [생물 비전공 예비교사 < 생물전공 예비교사 < 생물학자]의 순으로 높다. 이 조가비핵은 인지 기능에서 불확실한 것이나 새로운 것에 대한 문제 해결과 관련이 있는 두뇌 영역으로 보고되었다(Wittmann *et al.*, 2008). 이것은 가설 생성이 인과적 의문에서 대한 감정적 특성을 가진 설명의 제안임을 감안한다면 이 영역의 활성이 가설 생성과 높은 관련이 있으리란 것이 쉽게 납득이 될 수 있다. 또한 이 영역은 도파민 관련 뉴런의 존재로 인한 두뇌의 보상 활동과 관련이 매우 깊은 영역이라는 것이 보고되어 왔다(Wise 1985; Mizuno *et al.*, 2008). 특히, Mizuno 등(2008)은 이 영역이 성취동기와 밀접한 관련이 있다는 연구 결과를 보고하였다. 따라서 생물학자 집단에서 가설 생성 후에 나타나는 상대적인 보상의 가치가 높게 나타난다는 것을 의미한다고 볼 수 있다.

2) 가설 이해 활동에서 나타난 두뇌 활성의 분석

피험자의 가설이해 활동에서 나타나는 두뇌 활성을 크게 대뇌피질(Cerebral cortex)과 변연계 및 엽하영역(Limbic and sub-lobar regions)에서 나타났다. 이를 구체적으로 살펴보면, 먼저 생물 비전공 예비교사들의 가설 이해과제 수행에서 활성화 되는 두뇌 영역은 다음과 같다 : 우측 중전두이랑, 좌측 상두정소엽, 우측 방추이랑, 우측 중후두이랑, 좌측 중후두이랑, 좌측 췌기소엽 그리고 우측 췌기소엽. 또한 생물 비전공 예비교사들의 경우, 가설이해 과정에서도 대뇌영역 이외에 소뇌 영역의 활성도 발견되었다. 소뇌의 활성 영역은 우측 소뇌비탈, 좌측 소뇌비탈 그

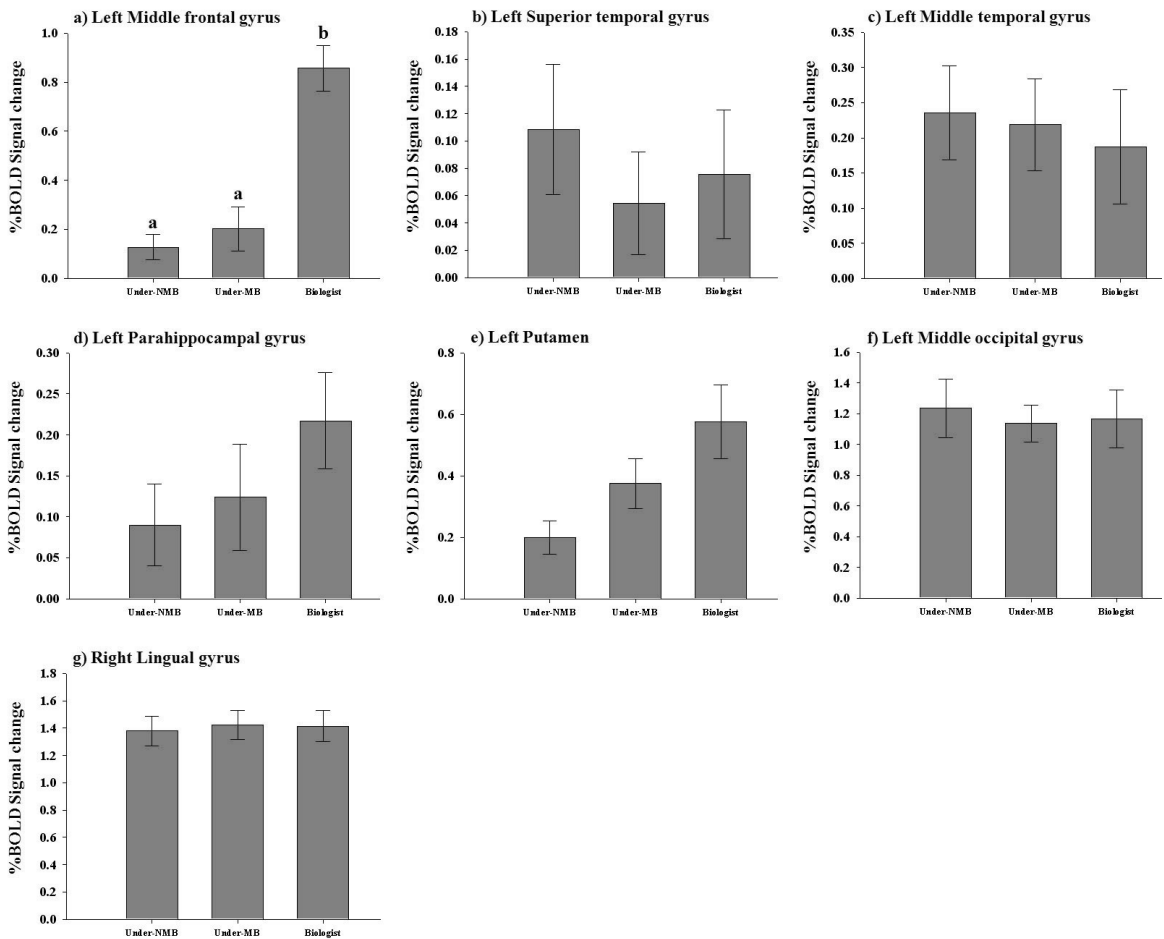


Fig. 3 Plots of percent BOLD signal changes during the hypothesis-generating on seven regions of interest (ROIs) among three groups. Error bars represent standard error of mean. The different character indicates significant difference (Scheffé's post hoc analysis).

리고 좌측 소뇌정상이다 (Table 2 and Fig. 2A).

생물 전공 예비교사들의 경우, 가설 이해과제 수행에서 활성화 되는 이들의 두뇌 영역은 다음과 같다 : 우측 중전두이랑, 우측 중심전이랑, 좌측 상두정소엽, 우측 상두정소엽, 우측 뺨기전소엽, 우측 하두정소엽, 우측 하후두이랑, 우측 뺨기소엽, 우측 중후두이랑 그리고 좌측 중후두이랑 (Table 2 and Fig. 2B).

생물학자 집단에서 가설 이해과제 수행에서 활성화 되는 이들의 좌측 두뇌 영역은 다음과 같다 : 우측 중전두이랑, 우측 하전두이랑, 우측 상두정소엽, 좌측 상두정소엽, 우측 상후두이랑, 우측 혀이랑, 좌측 혀이랑 (Table 2 and Fig. 2C).

가설생성과제 수행 시와는 달리 가설이해 과정에서 ANOVA 검사 결과, 어떤 영역도 세 집단 사이에

서 통계적으로 의미 있는 활성차이를 보여주지 못했다(Fig 4).

생명현상에 대한 가설이해과정에서 나타나는 두뇌 활성의 특징은 집단의 종류에 상관없이 모두 우측으로 편측화 되어 나타난다는 점이다. 일부 시각피질(후두엽)에서의 좌측 활성화나 두정엽에서의 좌측 활성화가 발견되기는 하지만 대부분의 두뇌 활성화는 우반구 쪽의 활성화만으로 나타난다(Table 2, Fig 2). 두뇌 편측화는 언어와 관련된 과제에서 많이 나타나고 이런 경우 대뇌 좌반구의 활성화 편측화는 일반적인 현상이다(Rosenzweig *et al.*, 2005). 또한 도형추론과 관련된 과제에서 간혹 우뇌 편측화가 발견되기도 한다(Corballis, 2003). 그러나 이번 연구에서 제시된 과제는 비언어적 과제임에도 불구하고 가설생성과제에

Table 2 Results of direct comparisons between BOLD signals evoked by hypothesis-understanding and baseline of the undergraduate students not majoring in biology, undergraduate students majoring in biology and biologists.

Lobe	Region of activation	BA & Side	Z score	Talairach coordinates		
				x	y	z
(Hypothesis understanding – baseline)						
Pre-service teachers not majoring in biology						
<i>Frontal</i>	Middle frontal gyrus	9 R	4.83	42	9	35
<i>Parietal</i>	Superior parietal lobule	7 L	4.79	-30	-60	44
<i>Occipital</i>	Fusiform gyrus	19 R	6.12	30	-73	-13
	Middle occipital gyrus	19 R	5.87	36	-78	4
		19 L	5.69	-28	-81	21
	Cuneus	18 L	6.12	-26	-91	1
		17 R	6.01	18	-91	8
<i>Cerebellum</i>	Declive	R	4.93	34	-57	-14
		L	4.49	-12	-79	-16
	Culmen	L	4.96	-34	-42	-23
Pre-service teachers majoring in biology						
<i>Frontal</i>	Middle frontal gyrus	9 R	4.58	50	13	31
	Precentral gyrus	9 R	4.65	38	6	40
<i>Parietal</i>	Superior parietal lobule	7 L	5.12	-30	-60	49
		7 R	5.43	32	-62	49
	Pecuneus	7 R	5.03	22	-67	51
	Inferior parietal lobule	40 R	4.78	36	-54	45
<i>Occipital</i>	Lingual gyrus	18 R	6.14	14	-84	-8
	Cuneus	17 R	6.02	20	-91	5
	Middle occipital gyrus	19 R	5.67	30	-83	13
		18 L	5.48	-36	-87	1
Biologists						
<i>Frontal</i>	Middle frontal gyrus	9 R	5.36	48	12	40
		46 R	5.20	42	18	18
	Inferior frontal gyrus	9 R	5.96	48	11	29
<i>Parietal</i>	Superior parietal lobule	7 R	4.87	32	-54	47
		7 L	5.64	-30	-60	51
<i>Occipital</i>	Superior occipital gyrus	19 R	6.65	34	-76	24
	Lingual gyrus	18 R	5.35	8	-86	11
		18 L	5.21	-14	-88	-12

BA: Brodmann area, L: left hemisphere, R: right hemisphere

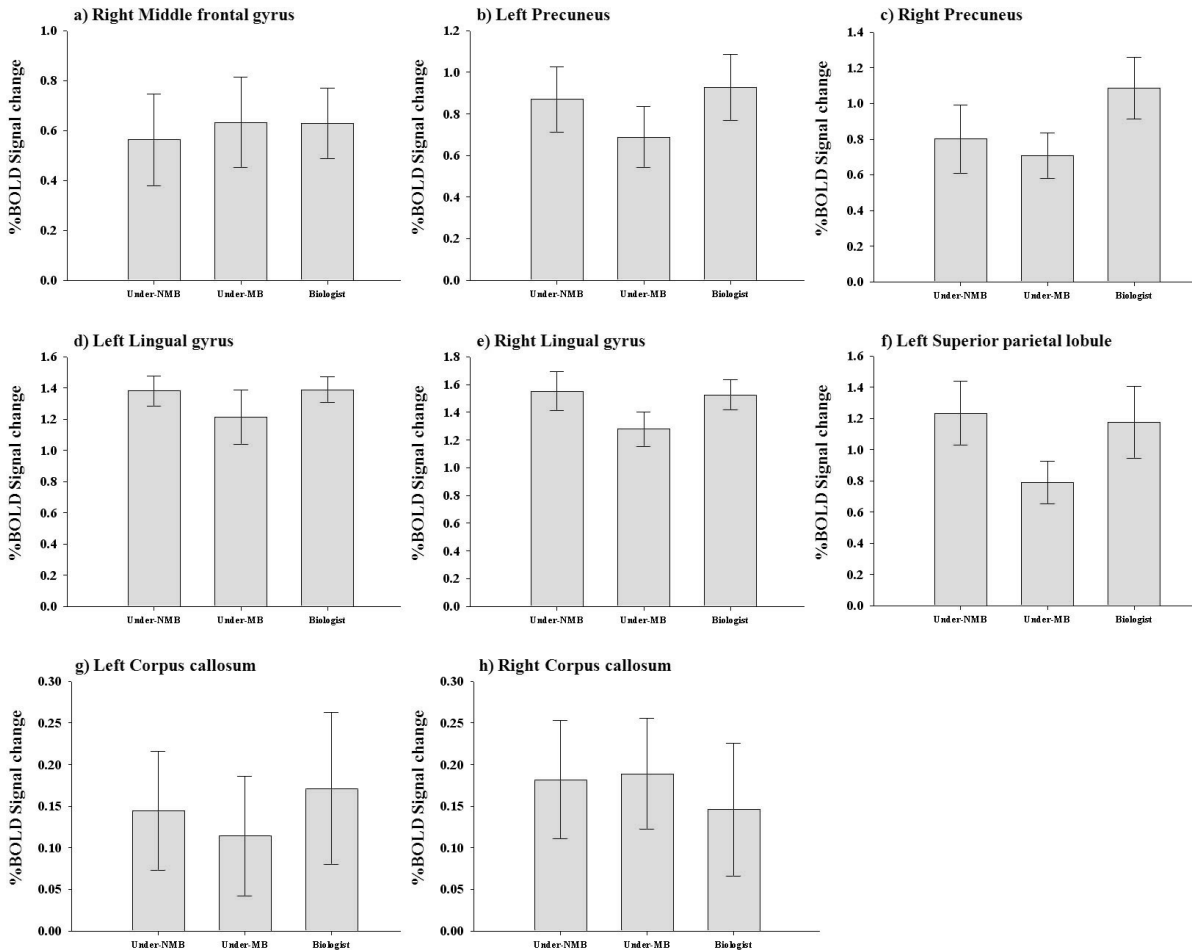


Fig. 4 Plots of percent BOLD signal changes during the hypothesis–understanding on eight regions of interest (ROIs) among three groups. Error bars represent standard error of mean. The different character indicates significant difference (Scheffé’s post hoc analysis).

서는 좌측으로 편측화가, 순서만 바꾼 동형과제인 가설이해에서는 우측으로의 편측화가 발견되었다. 이는 언어매개의 효과라기보다는 사고양식의 차이에 의한 것이라고 볼 수 있다.

또한 생물 비전공 예비교사들에게서는 가설이해 과정에서 소뇌 활성이 나타나는 것으로 보아 (Table 2, Fig 2) 단순 수용적 과정인 이해과정도 이들 집단에게는 쉽지 않은 불확실도가 높은 사고과정을 동반하는 것임을 알 수 있다(Blackwood *et al.*, 2004). 이는 사범대학에서 실시하고 있는 교사양성을 위한 각종 부·복수전공제 및 교양 과정에서 전공자와 비전공자를 위한 교육과정의 차별화가 필요함을 시사하고 있다.

마지막으로 주요영역간의 활성강도 면에서 세 집단 사이에 아무런 의미 있는 차이가 발생하지 않은 것으

로 볼 때에 전공학생과 비전공 학생 그리고 현장 과학자의 차이는 단순히 많은 기존지식을 암기하고 이해하는 것이 아님을 알 수 있다.

IV. 결론 및 교육적 함의

지금까지 생물 비전공 및 전공 예비교사들과 생물학자들이 생명현상에 대한 과학적 가설을 생성할 때와 이해할 때, 그들의 두뇌에서 나타나는 활성 패턴의 공통점과 차이점을 fMRI를 이용하여 알아보았다. 이 연구의 결과를 통해 얻을 수 있는 결론은 다음과 같다.

첫째, 집단에 관계없이 가설생성과정에서는 좌측으로 편측화된 두뇌 활성을, 가설이해 과정에서는 우측으로 편측화된 두뇌 활성을 확인할 수 있었으며 이는

사고양식에 따른 공통성으로 볼 수 있다.

둘째, 가설생성과정에서 생물학자들은 예비교사들과 달리 표상된 정보들을 추상적 수준에서 통합하고 관계 짓는 좌측 복외측전두피질(중전두이랑; BA 9)의 활성화 강도가 높게 나타났다. 반면에 가설이해 과정에서는 생물학자와 예비교사 사이에 두뇌활성 차이가 나타나지 않았다. 이러한 결과로 볼 때에, 숙련된 생물학자와 예비교사의 차이는 지식의 양이나 암기력이 아닌 개별적인 정보들을 효율적으로 관계 짓고 통합하여 새로운 지식으로 재생산해 내는 능력이 있다고 할 수 있다.

동일한 생명현상이더라도 ‘원인-결과-?(학생사고)-과정’으로 진행되는 가설생성식이나 혹은 ‘원인-과정-결과-학생이해 확인’으로 이어지는 가설이해식 중 어느 것을 택해 제시하느냐에 따라 피험자의 두뇌에서 벌어지는 활성 편측화는 매우 다르게 나타난다. 이는 같은 생명현상에 대한 학습목표를 전달한다 하더라도 어떤 교수-학습방식을 택하느냐에 따라 학생의 두뇌는 다르게 발달되어갈 수 있음을 시사한다.

교육의 질은 교사의 질을 넘지 못한다는 말과 같이 미래의 교육의 질을 높이려면 장차 현장으로 나갈 예비교사들의 질을 높여주어야만 한다. 그들의 부족한 부분을 생물학자들이 사고하듯이 바꾸어줄 수 있다면 자라나는 과학 꿈나무들의 교육에 있어 모범이 되는 교육을 실시할 수 있을 것으로 전망된다. 이 연구는 과거 간접적인 방법으로 일관되어 오던 과학탐구 영역에 대해 직접적으로 두뇌를 관찰하는 방법을 통해 생물학을 가르칠 예비교사들이 그들 스스로 얼마나 생물학자가 하듯이 탐구적으로 사고할 수 있는가에 대한 최초의 정보를 제공했다는 데 의미를 가진다. 앞으로의 사범대학 예비교사 교육과정에 이러한 내용들이 반영될 수 있다면 더욱 우수한 미래 교원들이 육성될 것이다.

참고 문헌

권용주, 이준기 (2007). 생물학자와 고등학생의 생물학 가설 생성에서 나타나는 두뇌 활성화: fMRI 연구. *한국생물교육학회지*, 35(4), 601-610.
 권용주, 이준기, 정진수 (2007). 과학고등학교 학생들이 전분 실험에서 생성한 생물학 가설의 설명 경향 분석. *중등교육연구*, 55(1), 275-298.
 이준기 (2009). 생물 학습에서 가설생성과 가설이해

에 관련된 두뇌 활성화 네트워크의 분리: fMRI 연구를 통한 증거. *한국교원대학교 박사학위 논문*.
 이준기, 권용주 (2008). 생명현상에 대한 과학적 가설 생성과 이해과정에서 나타나는 감성의 유형. *중등교육연구*, 56(3), 1-36.
 이준기, 권용주, 정진수 (2006). 생명현상에 대한 가설생성에서 나타나는 과학교사의 두뇌 활성화. *한국생물교육학회지*, 34(4), 453-464.
 Adsit, D. J. & London, M. (1997). Effect of hypothesis generation on hypothesis testing in rule discovery tasks. *Journal of General Psychology*, 124(1), 19-35.
 Ansari, D., & Coch, D. (2006). Bridges over troubled waters: education and cognitive neuroscience. *Trends in cognitive sciences*, 10(4), 146-151.
 Blackwood, N., Ffytche, D., Simmons, A., Bentall, R., Murray, R., & Howard, R. (2004). The cerebellum and decision making under uncertainty. *Cognitive Brain Research*, 20, 46-53.
 Chen, F., Hu, Z., Zhao, X., Wang, R., Yang, Z., Wang, X., & Tang, X. (2006). Neural correlates of serial abacus calculation in children: A functional MRI study. *Neuroscience Letters*, 403, 46-51.
 Corballis, P. M. (2003). Visual grouping and the right-hemisphere interpreter, *International Congress Series*, 1250 447-457.
 Fiedman, L., Kenny, J. T., Wise, A. L., Wu, D., Stuve, T. A., Miller, D. A., Jesberger, J. A., & Lewin, J. S. (1998). Brain activation during silent word generation evaluated with functional MRI. *Brain and Language*, 64, 231-256.
 Green, A. E., Fugelsang, J. A., Kraemer, D. J. M., Shamos, N. A., & Dunbar, K. N. (2006). Frontopolar cortex mediates abstract integration in analogy. *Brain Research*, 1096, 125-137.
 Jin, S., Kwon, Y., Jeong, J., Kwon, S., & Shin, D. (2006a). Differences in brain information

- transmission between gifted and normal children during scientific hypothesis generation. *Brain and Cognition*, 62, 191–197.
- Jin, S., Kwon, Y., Jeong, J., Kwon, S., & Shin, D. (2006b). Increased information transmission during scientific hypothesis generation: Mutual information analysis of multichannel EEG. *International Journal of Psychophysiology*, 62(2), 337–344.
- Kwon, Y. J., Lee, J. K., Shin, D. H., & Jeong, J. S. (2009). Changes in brain activation induced by the training of hypothesis generation skills: An fMRI study. *Brain and Cognition*, 69, 391–397.
- Kwon, Y., Jeong, J., & Park, Y. (2006). Roles of abductive reasoning and prior belief in children’s generation of hypotheses about pendulum motion. *Science & Education*, 15, 643–656.
- Lawson, A. E. (1995). *Science teaching and development of thinking*. Belmont, CA: Wadsworth Publishing Company.
- Lee, I., Lee, J., Jeong, J., Kwon, Y. (2008). Brain Activation during Scientific Hypothesis Generation in Biologists and Non-biologists. In R. Wng, F. Gu & E. Shen (Eds.). Dordrecht, The Netherlands: Springer.
- Lotze, M., Scheler, G., Tan, H. R. M., Braun, C., & Birbaumer, N. (2003). The musician’s brain: functional imaging of amateurs and professionals during performance and imagery. *NeuroImage*, 20, 1817–1829.
- Mizuno, K., Tanaka, M., Ishiia, A., Tanabe, H. C., Onoe, H., Sadato, N. & Watanabe, Y. (2008). The neural basis of academic achievement motivation *NeuroImage*, 42(1), 369–378.
- Percio, D. C., Rossini, P. M., Marzano, N., Iacoboni, M., Infarinato, F., Aschieri, P., Lino, A., Fiore, A., Toran, G., Babiloni, C., & Eusebi, F. (2008). Is there a “neural efficiency” in athletes? A high-resolution EEG study. *NeuroImage*, 42, 1544–1553.
- Rosenzweig, M. R., Breedlove, S. M. & Watson, N. V. (2005). *Biological psychology: an introduction to behavioral and cognitive neuroscience*, 4th Ed, Sinauer associate, Inc.
- Scanderbeg, A. C., Hagberg, G. E., Cerasa, A., Committeri, G., Galati, G., Patria, F., Pitzalis, S., Caltagirone, C., & Frackowiak, R. (2005). The appreciation of wine by sommelier: a functional magnetic resonance study of sensory integration. *NeuroImage*, 25, 570–578.
- Wenham, M. (1993). The nature and the role of hypothesis in school science investigations. *International Journal of Science Education*, 15(3), 231–240.
- Wise, R. A. (1985). The anhedonia hypothesis: mark III. *Behavioral and Brain Science*, 8, 178–186.
- Wittmann, B. C., Daw, N. D., Seymour, B., & Dolan, R. J. (2008). Striatal activity underlies novelty-based choice in humans. *Neuron*, 58(6), 967–973.

국문요약

우리는 기능성자기공명영상을 이용하여 생물전공 및 비전공 예비교사들과 생물학자들의 가설 생성 및 이해에서 나타나는 두뇌 활성화 차이를 검증하고자 하였다. 이를 위해 우리는 생명현상에 관한 두 세트의 과제 패러다임(가설생성 및 가설이해)을 설계한 뒤, 36명의 건강한 연구 참여자들(각 집단별 12명)과 함께 이 연구를 수행하였다. 이 연구의 결과는 첫째, 생명현상에 대한 가설생성에서 나타나는 두뇌활성 패턴에 있어 세 집단 간의 유의미한 차이가 발견되었다. 둘째, 배외측 전전두피질부의 한 부분인 좌측 중전두이랑이 세 집단 모두에서 가설생성에 있어 중요한 역할을 하고 있다는 것이다. 또한 생물학자들에게서 나타나는 우수한 가설 생성능력은 2차적인 추상정보의 통합 기능을 하는 좌측 중전두이랑의 활성화에 의한 것으로 판단된다. 셋째, 생명현상에 대한 가설이해 과정에서는 세 집단 간의 유의미한 두뇌활성 패턴차이가 발견되지 않았다. 이러한 결과들은 과학자들이 새로운 과학적 지식의 생성에 있어 숙련되어있다는 것을 보여주고 있다.

주요어 : 가설생성, 가설이해, 예비교사, 생물학자, 기능성자기공명영상