

A Study on the Neuroscience and Scientific Reasoning

Jun-Ho Jo*
Daejung Elementary School

<ABSTRACT>

Scientific reasoning ability is necessary as a tool for learners to explain observed phenomena and to understand nature through them. Much research has been done to improve this scientific reasoning ability. The purpose of this study is to explore the performance of neuroscience research to improve scientific reasoning ability. In the neuroscience research, we investigated the literature studying brain activation patterns during scientific inference tasks, and tried to investigate the applicability of scientific reasoning and brain activity to improving students' scientific reasoning ability.

Key words : neuroscience, scientific reasoning, science education, science learning, brain training

Introduction

학교에서 교육은 다양한 목적을 달성하기 위하여 이루어진다. 학생들에게 특정 지식을 습득하게 하도록 하고, 사회성을 기르고, 문제 해결력을 기르는 등 다양한 목적을 가지고 교육이 이루어진다. 2015개정 교육과정에 의하면 ‘과학’은 모든 학생이 과학의 개념을 이해하고 과학적 탐구 능력과 태도를 함양하여 개인과 사회의 문제를 과학적이고 창의적으로 해결할 수 있는 과학적 소양을 기르기 위한 교과로 정의하고 있다(Korea Ministry of Education, 2015). 또한 Lawson(1985)은 학생들의 추론 능력 향상은 학교 교육에서 중요하게 다루어져야 할 목표라고 하였다. 현대 사회는 과거 사회와 달리 지식의 양적 증가가 활발한 사회이다. 따라서 과거와는 달리 학교 교육을 통해 모든 지식을 전달하는 것이 불가능하다(임성만 등, 2010). 그러므로 학생들의 사고력 즉, 과학

적 추론 능력을 향상시키기 위한 노력이 필요하다. 과학적 추론 능력은 학업 성취에 미치는 영향뿐 아니라 생활 속에서의 합리적 의사결정에서도 중요하게 작용한다.

하지만 현재 학교 교육에서 학생들의 과학적 추론 능력을 향상시키기 위하여 얼마나 노력하고 있는지에 대해서는 의문이 있다. 과학 교육에서는 탐구 능력 향상을 통해 학생들의 과학적 추론능력을 향상시키고자 한다. 하지만 학생들의 탐구 능력과 추론 능력이 교수자의 의도대로 잘 향상되지 않는다. 과학과에서는 과학적 추론을 향상시키기 위해 탐구 활동을 강조하고 있다. 하지만 학교에서 이루어지고 있는 과학 수업에서 학생들의 과학적 추론 능력과 이를 활용한 탐구 능력을 향상하기 위한 노력이 보이지 않는다. 주로 개념을 습득하게 하는데 집중하여 수업을 진행하고 있다. 과학적 추론이 일어나는 기작을 잘 모르고 단순히 이러한 능력을 학생들에게 가르치기 위해 노력하지 않았는지 반성해볼 필요가

* Corresponding Author : Jun-Ho Jo, Email : ruledesj@naver.com

Received May 4, 2018; Reviewed May 24, 2018 Accepted June 27, 2018; Published June 29, 2018

© 2018. Institute of Brain based Education, Korea National University of Education

있을 것이다.

따라서 과학적 추론이 일어나는 뇌과학적 메커니즘을 뇌기반의 관점에서 탐구해보고자 한다. 과학적 추론을 단순히 관찰 가능한 조작적 지식으로서가 아니라 조금 더 깊이 있게 탐구하여 학생들에게 과학적 추론 능력을 향상시키는 데 있어서의 이론적 기초를 마련할 수 있도록 하고자 한다. 신경과학의 관점에서 과학적인 추론 능력에 대해 탐구함으로써 과학적 추론 능력에 대한 정확한 의미와 그 작동 과정을 탐구하고자 한다.

Materials and Methods

과학 학습에서 과학적 추론과 신경과학적 증거를 알아보기 위해 분석한 주요 문헌은 아래 <Table 1>에 제시되어 있다.

<Table 1> Literatures to review on neuroscience and scientific reasoning

Author (Year)	Title
Lawson et al. (1985)	Review of research on formal reasoning and science teaching
Goel et al. (2000)	Dissociation of Mechanisms Underlying Syllogistic Reasoning
Liao et al. (2009)	Functional Neuroanatomy of Grief: An fMRI Study
Bryck et al. (2012)	Training the Brain: Practical Applications of Neural Plasticity From the Intersection of Cognitive Neuroscience
Kwon et al. (2006)	Evolution of Electroencephalogram in Elementary Pre - service Teachers after Hypothesis Generation Learning

위 문헌들의 연구 결과를 바탕으로 과학 학습에서 추론 능력의 중요성과 과학적 추론 능력 향상에 신경과학이 기여할 수 있는 부분에 대하여 논의해보고자 한다.

Results and Discussions

Scientific Reasoning

과학적 추론은 과학 탐구 활동 속에서 나타나는 지식, 이론, 경험 등의 특정 전제로부터 현상에 대한 새로운 결론을 도출하는 논리적인 인지 기능을 말한다. 일반적으로 과학적 추론은 자연 현상의 정확한 관찰로부터 비롯된 인과적 의문에 답할 수 있는 가설을 창안하고 그 가설을 검증하는 일련의 과정에서 지적 작용(Plat,1964; Lawson & Lawson, 1979)이라고 할 수 있다. 영역 일반적인 과학적 추론은 크게 귀납적 추론, 귀추적 추론, 연역적 추론으로 나눌 수 있다.

Inductive inference - 귀납적 추론은 관찰된 사실로부터 보편적이고 일반화된 원리나 법칙을 발견하는 과정이다. 하지만 귀납적 추론은 추론의 결론이 참임을 증명할 수 없고 참일 가능성도 거의 없다.

Adductive inference - 귀추란 관찰된 상황을 이미 알고 있는 상황과의 유사성에 바탕을 두고 현재 관찰된 현상을 설명하는 것이다.

Deductive inference - 관찰된 현상의 원인에 대한 답을 할 수 없는 귀납적 추론과 달리 현상에 대한 원인을 설명하고자하는 추론 과정이다. 이미 알고 있고 증명된 이론에 바탕을 두고 새로운 판단을 유도한다. 전제가 참이면 정당화를 통해 추론을 참으로 유도할 수 있다.

Learning and Scientific Reasoning

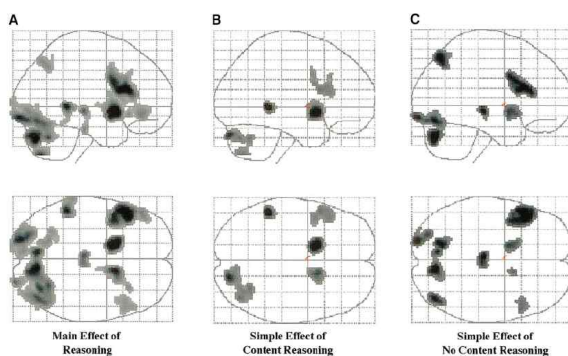
과학적 추론 능력은 훈련을 통해 개발 될 수 있으며 이전 될 수 있다. 또, 과학적 추론을 통한 훈련은 학생의 학업 성취에 장기적인 영향을 줄 수 있다 (Cramer & Post, 1993).

SCCR (Scientific Concept Construction and Reconstruction) Web based course - SCCR 프로그램을 통해 실험군과 대조군의 사전, 사후 검사에서 실험군의 점수가 유의미하게 높게 나왔다. 개념 이해와 과학적 추론 능력의 향상이 프로그램 참여를 통해 이루어졌다. 실험 그룹 학생들이 개념 구축, 개념 변화 및 과학적 추론의 영역에서 기존 그룹 학생들보다 우위에 있음을 보여줍니다. 더욱이 과학적

추리력이 높은 학생들은 그들의 대체 개념을 성공적으로 바꿀 수 있었다. 유지 후 성과는 원자 성취도 테스트 및 원자력 의존 추론 테스트에서 점수에 상관없이 이 연구는 성공적으로 실험 그룹 학생들이 개념 구축, 개념 변화 및 과학적 추론의 영역에서 기존 그룹 학생들보다 우위에 있음을 보여주었다(Liao & She, 2009).

Scientific Reasoning and Neuroscience

Syllogism reasoning experiment - content reasoning과 no content reasoning의 추론 문제를 해결하는 동안 fMRI로 측정한 실험이다. 실험 결과 content reasoning과 no content reasoning을 결합한 뇌 활성화 부위는 left inferior prefrontal cortex(BA 44), left fusiform gyrus(BA 18), right fusiform gyrus(BA 37), bilateral basal ganglia nuclei(accumbens, caudate nucleus, and putamen), right cerebellum으로 나타났다. content reasoning 문제에서 활성화 부위는 left middle/superior temporal lobe(BA 21/22), left inferior prefrontal cortex(BA 44, 45), right cerebellum, bilateral basal ganglia이었다. no content reasoning 문제에서는 bilateral fusiform gyrus(BA 18), left superior parietal lobe(BA 7), left inferior frontal lobe(BA 44, 45), right inferior frontal lobe(BA 45), bilateral cerebellum(R>L), bilateral basal ganglia(L>R), brain stem이 활성화 되었다.

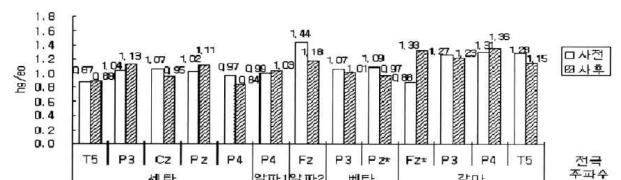


[Figure 8] Sagittal and transverse views of a statistical parametric map (Goel & Dolan, 2000)

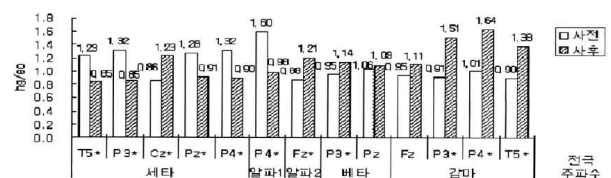
이 연구는 추론의 해부학적인 네트워크를 제공하고 있다. circuits in basal ganglia nuclei,

cerebellum, fusiform gyri, left prefrontal cortical regions 부위에서 추론에서의 공통적인 회로를 공유하고 있다[Figure 8]. content reasoning 문장으로 추론하면 일시적으로(BA 21/22) 및 정면의 영역(BA 44, 8, 9)을 포함하는 left hemisphere ventral network가 고유하게 활성화되었다. 결론적으로, 정신논리 이론은 언어 체계가 연역 추론에 필요충분조건이라는 것을 예측하지만 정신 모형 이론은 시각 - 공간 체계가 필요충분조건이라고 예언한다. 의미론적 내용의 존재는 추론 과정에서 언어 시스템을 사용한다. 의미론적 내용의 부재는 동일한 추론 작업에서 공간 시스템을 사용한다. 논리적으로 관련 있는 정보가 두 조건에서 동일하기 때문에 이러한 해리는 현저하게 나타난다(Goel & Dolan, 2000).

Hypothesis generation learning - 가설 생성 학습 프로그램 실시 전 후에 뇌파를 분석한 연구이다. 학습 후 세타파 활성화도 변화를 살펴보면, 실험 집단은 학습 후 두정엽(P3, Pz, P4)은 감소하고 중앙 부위(Cz)는 증가했다. 반면 통제 집단은 좌측과 중앙 두정엽(P3, Pz)은 증가하고 중앙 부위(Cz)는 감소하였다. 실험 집단은 학습 후 우측 두정엽(P4)의 알파파1의 활성화도가 현저히 감소했으나, 통제 집단은 반대로 약간 증가했다. 알파파2 또한 두 집단이 반대양상을 나타냈다. 베타파에서 실험 집단은 좌측과 중앙 두정엽(P3, Pz)의 활성화도가 약간씩 증가했으나, 통제 집단은 반대로 감소했다. 감마파에서 실험 집단은 두정엽(P3, P4)과 좌측 측두엽(T5)의 활성화도가 크게 증가했으나, 통제 집단은 조금 증가하거나(P4), 조금 감소해(P3, T5) 큰 변화가 없었다(Kwon et al., 2006).



1. 통제 집단의 학습 전·후 뇌파 활성화도 평균 비교.



2. 실험 집단의 학습 전·후 뇌파 활성화도 평균 비교.

[Figure 9] EEG activity in experimental group and control group (Kwon et al., 2006)

brain training

흔히 알려진 것과 같이 인간의 뇌는 유년기에 성장을 끝내는 것이 아니라 성인이 되어서도 가소성(Plasticity)을 가지고 있다. 따라서 뇌 기능의 향상이 훈련을 통해 이루어 질 수 있다.

EF(executive functioning) Training Paradigms - 작업 메모리의 표현 업데이트, 정신 표현 간의 이동(인지 유연성), 경쟁적, 선행적 표현 또는 응답 방식과 같은 관련 있지만 개별적인 구성 요소가 포함된다(Huizinga, Dolan, & van der Molen, 2006; Miyake, Friedman, Emerson, Witzki, & Howerter, 2000). EF의 해부학적 기초는 인간의 전두엽 피질과 밀접하게 관련되어있다(Miller & Cohen, 2001). EF의 발달은 EF 구성 요소가 유아기에 나타나고, 유치원 기간 동안 뚜렷한 변화를 보이며 청소년기 또는 젊은 성인기에 완전한 능력을 발휘하게된다(Carlson, 2005; Huizinga et al., 2006; Zelazo, Carlson, & Kesek, 2008). EF의 발달은 가족, 학교, 동료 및 지역 사회의 맥락에서 건전하게 적응하는 데 중요한 역할을 한다. EF의 발달은 자기 억제, theory of mind, 장기 기억 검색 등 많은 영역에서 중요한 역할을 한다. 반대로 EF의 결핍은 발달적 정신 질환의 원인이 되기도 한다. 현재의 EF 교육 방법은 일반적으로 실험실 기반 교육과 신경 생물학적 생태학 개입의 두 가지 접근 방식을 필요로 한다. 심리 사회적, 행동적 또는 생리학적 측정에 대한 개선이 두 가지 전략으로 증명되었으며, 각 전략에는 구체적인 이점, 한계 및 암시적 가정이 있다(Bryck & Fisher, 2012).

Laboratory-Based Training - 이러한 접근법은 전반적인 심리 사회 복지 향상, 행동 문제 감소 또는 임상 증상의 감소를 목적으로 하는 영역 일반 접근법을 취하기보다는 특정인지 영역(중증 특정 과정 또는 직접 개입이라고 명명)을 목표로 하는 경향이 있다.

Neurobiologically Informed Ecological Interventions - 많은 연구자들이 행동 및 심리 사회

적 기능 변화를 통한 두뇌 훈련의 증거를 보여주었다. 이러한 생태학적인 접근은 예방 및 중재 패러다임을 고안하고 구현하는데 결정적인 요소로서 행동의 신경 기반, 특히 비정상적인 행동을 이해하는 것이 중요하다는 것을 인정한다(Bryck and Fisher, 2012). 생태학적 개입 접근법은 실험실 기반의 훈련 방법, 특히 실제 적용 가능성에 비해 많은 장점이 있다. 또 이 방법은 비교적 구현하기 쉽고 특별한 장비 필요로 하지 않는다. 또한 실제 환경에서 수행되므로 학습된 기술은 비슷한 실제 환경에 일반화될 가능성이 더 높고, 대상 중재 영역에서 상당히 큰 효과가 있다.

Conclusions

이상에서 살펴본 것과 같이 과학적 추론 능력 향상은 학생들의 과학적 탐구능력 향상, 과학적 소양 함양, 일상생활에서의 자연 현상 이해 등에 있어서 중요한 역할을 한다. 단순 지식 암기를 벗어나 학생들의 사고력 향상이 교육의 중요한 목적이 되어야 할 것이다.

과학적인 추론 능력은 학생들의 과학 성취도 향상에 도움이 될 뿐 아니라 과학적인 개념을 형성하고, 유지하고, 대안 개념을 과학적 개념으로 변환하는 것에도 도움이 되었다. 또, 과학적 추론 능력은 그것을 향상시키기 위해 설계된 프로그램을 통해서 충분히 향상될 수 있다는 증거가 많이 있다.

학생들의 과학적 추론 능력의 향상을 위하여 신경 과학적인 증거들을 탐색해 보았다. 다양한 추론 과정에서 두뇌 활동에 대한 연구가 이루어 졌다. 이러한 연구들은 과학적 추론 상황에서 피험자들의 뇌가 어떻게 활성화되는지를 연구하였다. 이러한 연구 결과를 교육 현장에 적용하려는 노력이 필요할 것이다.

다양한 추론 활동에서 활성화되는 두뇌 부위에 대한 정보를 바탕으로 각각의 추론 과정에 대한 정보를 얻을 수 있고 이러한 모델링을 통해 추론 능력에 대한 세분화된 정의가 가능할 것이다. 추론 과정에 대한 뇌 활성 모델을 기반으로 하여 학생들의 추론 활동에 대한 깊이 있는 분석을 통하여 학생들에게

과학적 추론 문제 해결에 있어서 좀 더 효율적인 방향을 제시할 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

지금까지 인간 사고에 대한 검증은 논리적인 유추를 통해서 이루어 질수 밖에 없었다. 하지만 신경과학의 발달과 뇌 활동을 기능적으로 분석할 수 있는 기술이 발달한 현대에는 추상적인 학생들의 추론 과정에 대한 두뇌 활동에 대한 객관적인 정보를 얻을 수 있게 되었다. 따라서 이러한 객관적인 정보를 바탕으로 학교 교육에서 학생들의 사고 과정 향상에 활용할 수 있는 방향으로 교육이 이루어져야 할 것이다. 특정 부위의 활성화를 유도하는 활동을 구성함으로써 관련된 추론 능력을 향상하는 등의 효과를 기대할 수 있을 것이다.

References

- Bryck, R. L., & Fisher, P. A. (2012). Training the brain : Practical applications of neural plasticity from the intersection of cognitive neuroscience, developmental psychology, and prevention science. *American Psychologist*, 67, 87 - 100.
- Carlson, S. M. (2005). Developmentally sensitive measures of executive function in preschool children. *Developmental Neuropsychology*, 28(2), 595 - 616.
- Goel, V. et al. (2000) Dissociation of mechanisms underlying syllogistic reasoning. *Neuroimage* 12, 504 - 514
- Huizinga, M., Dolan, C., & van der Molen, M. (2006). Age-related change in executive function: Developmental trends and a latent variable analysis. *Neuropsychologia*, 44, 2017 - 2036.
- Korea Ministry of Education. (2015). 2015 Revised Course. *Korea Ministry of Education Notice* 2015-74.
- Kwon, Y., Park, J., & Shin, D. (2006). EEG Changes after Learning for Hypothesis-Generation in Elementary Pre-service Teachers. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 25.
- Lawson, A. E. (1985). A review of research on formal reasoning and science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(7), 569- 617.
- Lawson, A.E., & Lawson, C.A. (1979). A theory of teaching for conceptual understanding, rational thought, and creativity. In A.E. Lawson (Ed.), *The psychology of teaching for thinking and creativity* (pp. 104- 149). Columbus, OH: ERIC Clearinghouse for Science, Mathematics, and Environmental Education.
- Liao Y-W, She H-C (2009) Enhancing eight grade students' scientific conceptual change and scientific reasoning through a web-based learning program. *Educ Technol Soc* 12(4) :228 - 240
- Lim, S., Yang, I., Kim, S., Hong, E., & Lim, J. (2010). Investigation on the difficulties during elementary pre-service teachers' open-inquiry activities. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 30 (2), 291-303.
- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. *Annual Review of Neuroscience*, 24, 167 - 202.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex "frontal lobe" tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41, 49 - 100.
- Zelazo, P. D., Carlson, S. M., & Kesek, A. (2008). The development of executive function in childhood. In C. Nelson & M. Luciana (Eds.), *Handbook of developmental cognitive neuroscience (2nd ed.)*, pp. 553 - 574. Cambridge, MA: MIT Press.