

과학적 사고의 발달에서 두뇌 인지 기능의 영향

권용주 · 김영신
(한국교원대학교)

Effects of Cognitive Skills of the Brain in the Development of Scientific Thinking

Yong-Ju Kwon · Young-Shin Kim
(Korea National University of Education)

ABSTRACT

Developing children's scientific thinking skills is one of the main goals in science education. The purpose of this study was to assess the effects of Luria's cognitive skills of the brain in the development of children's scientific thinking skills. To assess the effects, fifty-six 8 grade students (28 boys, 26 girls) were sampled as subjects. The subjects were presented the test of working memory, disembedding ability, memory ability, planning ability, executing ability, which are presumably represented higher functions of the brain. According to the result, cognitive skills of the brain, except for executing ability, were significantly correlated with scientific thinking levels and reasoning levels of constructs of scientific thinking ($p < .05$). Specifically, path analysis showed that disembedding and planning abilities directly had a significant effect on subjects' scientific thinking skills. Furthermore, Working memory and memory ability indirectly had a significant effect on scientific thinking. However, executing ability had no significant effect on scientific thinking skills. Therefore, the present study provided an evident for supporting the notion that the cognitive skills of the brain have a significant effect on the development of scientific thinking skills.

Key Words: Scientific thinking skills, cognitive skills of the brain, working memory, disembedding ability, memory ability, planning ability, executing ability

1. 서 론

과학교육에서 과학적 사고력은 중요한 관심사이며, 중요한 목표 중의 하나이다(Kuhn, et al., 1988). 과학적 사고력의 함양으로 다양한 상황에서의 문제 해결능력 뿐만 아니라 급격한 정보화 물결 속에서 논리성을 띄고 대처할 수 있다(McCormark & Yager, 1989). 이러한 과학적 사고력의 발달에 가장 큰 영향을 미치는 것이 학습자의 인지 구조이다(김영신, 2000; Shayer & Adey, 1981).

최근의 연구는 보다 구체적으로 과학적 사고력 발달이 대뇌의 전두엽연합령의 성숙과 밀접하게 상관되어 있음을 보여 주었다(허명 등, 1997; Stuss & Benson, 1986). 전두엽연합령의 기능 중 계획 기능과 억제 기능도 과학적 사고 활동이나 개념 변화 활동 같은 인지활동 과정에 매우 중요한 변인임을 보여주었다. 그러나 고등사고 기능을 담당하는 전두엽연합령은 계획, 자기조절, 서열적 사고, 판단 그리고 반응의 일시적 조직/통합 등과 같은 기능이 이루어진다(Fuster, 1989; Hudspeth & Pribram, 1990; Kolb & Whishaw, 1996; Thacher, et al., 1987). 그러나 비록 이들 연구들이 두뇌의 고등한 사고 과정과 과학적 사고간의 상관성을 보이고 있지만(정완호, 1998; 허명 등, 1997; Lawson, 1993), 인지 과정과의 관련성을 규명하지 못하였다.

인지는 지각된 자극을 다듬고 저장하였다가 필요에 따라 인출해 내고 통합하는 모든 정신적 처리 과정이라고 할 수 있다. 인지는 사고과정을 거치며 합리적이고 신중한 정보처리 과정이다(Luria 1973). 그러나, 대부분의 선행 연구에서는 인지적 과정에 대해 소홀하였다. 즉, 두뇌 속에서 신경 작용이 학습 메카니즘에 이용해야 한다고 주장하고 있지만(정완호 등, 1998), 학습활동이나 과학적 사고 활동에 이러한 신경학적 기초를 고려하여 적용한 경우는 찾아보기 힘들다.

Luria(1973)에 따르면 뇌는 세가지 기본적인 기능 단위를 필요로 한다. 필수 기능 단위는 대뇌 피질의 각성 상태 혹은 의식 상태를 통제하는 단위와 외부 세계로부터 유입되는 정보를 수용하여 처리하고 저장하는 단위 그리고 정신 작용을 계획하고 통제하며 검증하는 단위로 구성되어 있다. 인간의 정신 과정에서 항상 이 세 가지 기능 단위가 모두 참여하게 되는데 각 기능 단위는 각자의 고유한 역할을 통하여 정신 과정이 일어나는 데에 공헌을 한다.

제 1 기능 단위는 대뇌 피질의 각성 상태와 의식 상태의 조절한다. 이 기능 단위에서는 정보를 받아 분석하고, 정신 작용의 계획, 정신 작용의 경과 검증, 실수의 수정, 정신 작용이 적절한 경로를 유지하게 하는 것 등은 적절한 수준의 각성 상태에서만 가능하다. 제 2 기능 단위는 정보의 수용, 분석, 저장한다. 뇌의 두 번째 기능 단위는 말초 감각 수용기로부터 오는 자극들을 받아들여 이를 수 많은 구성 요소들로 분석하고, 다시 이를 역동적 기능 구조로 통합하는 기능을 갖고 있다. 제 3 기능은 행동의 계획, 통제, 실행 단계이다. 정보를 받아들여 이를 부호화하고 저장하는 것은 단지 인지 과정의 한 측면에 불과하며 인지 과정에는 이외에도 의식작용의 조직화가 필요하다. 이 의식 작용의 조직화를 담당하는 것이 바로 제 3 기능 단위이다. 이 기능 단

위의 주된 역할은 행동을 계획하고 통제하며 실행하는 것이다.

외국에서는 과학 사고력과 관련된 두뇌의 기능에 대한 구체적인 연구들이 진행되고 있지만(Kwon & Lawson, 2000), 국내에서는 뇌와 과학 학습과 관련된 연구들은 뇌기능 분화를 중심으로 이루어지고 있다. 국내에서 이루어진 연구의 결과들은 뇌반구형과 학업성취도와의 관계 분석(강호감, 1991), 설계 기능 및 억제 기능과 과학적 사고력과의 관계 분석(배윤주, 2000; 정완호, 1998; 허명 등, 1997; Kwon & Lawson, 1998) 등이 이루어지고 있다.

과학적 사고력과 두뇌 기능에 대한 국내외의 연구들은 두뇌 속에서 일어나는 인지 과정을 고려하지 못하였다. 따라서 본 연구에서는 Luria가 가정한 인지 과정의 3단계에 기초하여 정보 활성화 능력, 정보 선택 능력, 정보 저장 능력, 계획 능력, 실행 능력과 과학적 사고력과의 관계를 살펴보았다. 본 연구의 구체적인 연구 문제는 다음과 같다. 첫째, 과학적 사고력의 하위 요소의 획득 점수에 따라서 두뇌인지기능에 차이가 있는가? 둘째, 과학적 사고력에 영향을 미치는 두뇌인지기능은 어떠한가? 셋째, 두뇌인지기능이 과학적 사고력에 영향을 미치는 경로는 어떠한가?

II. 연구 방법

1. 연구 대상

두뇌의 인지 과정에 따른 과학적 사고력의 발달 정도를 알아보기 위하여 중학교 2학년 학생을 대상으로 하였다. 피험자는 중학교 중소 도시의 학생을 대상으로 하였으며 남녀 공학 2개반을 대상으로 하였다. 학생은 남학생 28명, 여학생 26명으로, 총 54명의 학생을 대상으로 하였다.

2. 검사 도구

두뇌의 인지 기능은 Luria(1973)의 3단계 과정에 기초하여, 정보 활성화 능력, 정보 선택 능력, 정보 저장 능력, 계획능력, 실행 능력을 측정하였다. 각 검사도구에 대한 설명은 다음과 같다.

1) 정보 활성화 능력(working memory): 정보 활성화를 측정하기 위해서 FIT를 사용하였다. FIT는 Pascual-Leone이 구성적 조작자 이론에 근거하여 개발한 지필검사 형태의 정신용량 또는 주의 집중력을 측정하는 도구이다. 검사 문항은 겹쳐진 도형의 공통 부분에 점을 찍는 것으로, 겹쳐진 도형의 수가 많을수록 문제를 해결하는데 더 큰 정신용량이 요구된다. 본 연구에서는 5개의 연습 문항과 36개의 검사 문항으로 구성된 검사지를 사용하여 정보 활성화 능력을 측정하였다. 사용한 FIT의 신뢰도 Cronbach's α 는 .88이다.

2) 정보 선택 능력(disembedding ability); 정보 선택 능력을 검사하기 위해서 언어 유창성 검사도구를 사용하였다(정애자, 1993). 언어 유창성 검사는 전두엽의 기능 중의 하나로서, 말이나 문장을 유창하게 사용하고 표현하는 능력을 밝혀내는 검사도구이다. 이 검사는 한글 모음 한 글자(예를 들면, ㄱ, ㄴ 등)가 주어지고, 그 글자로 시작하는 낱말을 주어진 시간 내에 얼마나 많이 만들 수 있는가를 검사한다. 따라서 여러 가지의 정보 중에서 주어진 한글 모음으로 시작하는 단어를 선택하는 능력을 측정하기 위한 검사 도구로 사용되고 있다(Lezak, 1995). 검사는 총 3개의 모음과 음식 이름, 동물 이름을 기술하도록 하였다. 채점은 지에에 적합한 단어의 수를 세면된다. 이 검사 도구의 신뢰도는 .78이다.

3) 정보 저장 능력(memory ability); 정보 저장 능력은 시공간 구조 능력과 시각 기억을 평가하도록 구성된 Rey 도형 검사를 사용된다. 이 모양은 지각, 운동, 기억 기능뿐만 아니라 계획, 구조적 기술, 문제 해결 전략 같은 다양한 인지적 과정의 평가를 허용하기 때문에 유용한 검사이다. 이 검사는 Rey가 개발하였으며 Osterrieth가 정교화시켰다. 이 검사는 전두엽의 기능과 깊은 관련이 있는 것으로 나타났다(Lezak, 1995).

4) 계획 능력(planning ability); 계획 능력을 측정하기 위한 TOL(Tower of London) 과제는 전체 과제를 하부 과제로 나누어야만 목표에 도달할 수 있기 때문에 기본적으로 앞일에 대한 구상능력을 보는 퍼즐 게임이며 계획 능력을 측정하기 위한 검사이다(Kwon & Lawson, 2000; Shallice, 1981). TOL 검사는 초기 상태로부터 검사자에 의해 제시된 그림의 상태에 이르기 위해 움직이는 횟수와 순서를 전체적으로 정확하게 계획해야 한다. 계획 능력을 측정하기 위해 TOL을 CAT(computer-assisted test)로 제작하여 사용하였다.

5) 실행 능력(executing ability); 실행 능력은 독립적이고 목적적이며 자조적인 행동을 성공적으로 하도록 하는 능력이다. 실행 능력은 어떤 행동을 할 것인지의 여부와 그것을 어떻게 할 것인지를 결정하는 능력으로 전두엽의 기능과 관련되어 있다(Lezak, 1995). 실행 능력을 측정하기 위한 검사도구로 여러 가지가 있으나 그 중 Porteus(1959)가 개발한 미로 찾기 검사를 사용하였다. 미로 찾기 검사는 총 8문항으로 구성되어 있으며, 학생의 반응에 대한 6가지 기준에 의해 채점한다. 실행 능력은 6가지 기준에서 벗어날 때마다 감점을 주게 된다. 따라서 점수가 높을수록 실행 능력이 떨어진다. 미로 찾기 검사의 신뢰도는 .75이다.

6) 과학적 사고력; 과학적 사고력을 검사하기 위해서 Lawson(1995)의 과학적 추론 검사 도구를 사용하였다. 문항은 물 붓기의 비례논리 2문항, 진자에 대한 변인통제 과제 2문항, 파리의 움직임에 대한 자료해석 과제 2문항, 확률 논리 1문항, 조합논리 및 상관 논리 각 1문항, 개구리 수에 대한 비례논리 1문항, 실험 설계에 대한 2문항으로 구성되어 있다. 과학적 사고력 검사는 총 12문항으로 구성되어 있는데, 1번에서 7번까지 그리고 9번 문항은 이유와 답을 묻는 문항으로 구성되어 있으며, 8번, 10-12번 문항은 서술형 문항으로 구성되어 있다. 과학적 추론 검사의 채점은 이유와 답을 묶어서 채점하여, 정답을 표시한 경우 1점, 오답을 표시한 경우 0점을 부과하였다. 따라서,

과학적 사고력 검사 점수의 범위는 0점에서 12점의 범위를 갖는다. 이 검사의 신뢰도는 Cronbach $\alpha=.85$ 이다(Lawson, 1995). 또한 그는 과학적 사고력 검사에서 0~4점을 획득한 학생은 경험-귀납적(empirico-inductive) 단계로, 5~8점을 획득한 학생은 전이(transitional) 단계로, 9~12점을 획득한 학생은 가설-연역적(hypothetico-deductive) 단계로 구분하였다.

III. 연구 결과 및 논의

과학적 사고력의 5가지 하위 논리의 획득 점수에 따라서 정보 활성화, 정보 선택, 정보 저장, 계획 능력, 실행 능력의 점수를 살펴보았다. 5가지의 두뇌인지 기능과 과학적 사고력과의 상관관계를 살펴보고 과학적 사고력에 영향을 미치는 변인과 경로를 규명하였다.

1. 과학적 사고력의 하위 논리별 두뇌인지기능 점수

과학적 사고력의 8개의 하위 논리의 성취 점수에 따라서 5가지 두뇌인지기능의 획득 점수를 살펴보았다(Table 1). 중학교 2학년 학생들이 확률 논리를 가장 쉽게 해결하였으며, 다음은 비례논리와 변인 통제 논리로 나타났다. 그 외에 자료해석, 조합논리, 상관논리, 실험 설계능력이 형성되지 못한 학생이 더 많은 것으로 나타났다.

비례논리는 피험자 중 32명이 0점, 2문항 모두를 맞은 학생이 19명이었다. 비례 논리에서 2점을 얻은 학생이 0점을 맞은 학생에 비해 정보 활성화, 정보 선택 능력에서 유의미하게 높은 점수를 얻은 것으로 나타났다($p<.05$). 그러나, 정보 저장, 계획 능력, 실행 능력은 비례논리를 얻은 점수 집단에 관계없이 유의미한 차이가 없었다($p>.05$).

변인통제 논리에서는 2점을 맞은 학생이 0점을 맞은 학생에 비해 5가지 인지 과정에서 유의미하게 높게 나타났다. 자료 해석 논리에서는 2점을 맞은 학생이 0점과 1점을 맞은 학생에 비해 정보선택 능력에서 유의미한 차이를 보였다. 조합 논리에서 1점을 얻은 학생이 0점을 얻은 학생에 비해 정보활성화, 정보 선택, 계획 능력에서 유의미하게 높은 점수를 얻었다. 상관 논리에서는 정보활성화와 계획능력에서 유의미한 차이를 보였다. 가설 검증에서는 정보 활성화, 정보 저장, 실행 능력에서 유의미한 차이를 보였다. 그러나, 확률논리와 비례논리에서는 획득 점수에 따라서 5가지 두뇌인지 과정에서 유의미한 차이를 보이지 않았다.

본 연구의 이러한 결과는 선행 연구(전우수 등, 1999; 허명 등, 1997; Lawson, 1993)의 연구와 일치하고 있다. 즉, 비례와 확률 논리와 같이 수학적 연산을 하는 논리에서는 높은 점수를 얻었지만, 변인간의 논리적 사고를 요구하는 문항에서는 낮은 점수를 얻었다. 특히, 실험 설계와 같이 복합적인 사고를 요구하는 문항에서는 매우 적은 학생만이 문제를 해결하고 있는 것으로 나타났다.

Table 1. Mean scores on tests of cognitive skills of the brain by constructs of scientific thinking ():SE

Thinking Skills		Cognitive skills				
		Working Memory	Disembedding Ability	Memory Ability	Planning Ability	Executing Ability
Proportional I	0(n=32)	21.9 a (1.0)	51.8 a (2.8)	31.0 (.9)	17.5 (.7)	13.1 (.5)
	1(n=3)	24.7 (.8)	58.0 (2.6)	32.0 (2.1)	19.0 (1.5)	14.7 (.7)
	2(n=19)	27.0 a (3.8)	67.8 a (4.7)	32.7 (.7)	19.3 (.6)	13.5 (.7)
Control of Variable	0(n=30)	21.2 a (1.0)	50.9 a (2.9)	30.2 a (.9)	18.0 a (.7)	13.2 a (.5)
	1(n=4)	22.3 (2.4)	67.0 (5.6)	32.8 (1.7)	14.7 (1.0)	10.7 (2.5)
	2(n=20)	26.3 a (.7)	66.5 a (4.5)	33.7 a (.6)	19.3 a (.7)	14.1 a (.6)
Interpreting Data	0(n=33)	22.1 (1.0)	55.6 a (2.8)	31.4 (.8)	17.5 (.6)	13.5 (.5)
	1(n=17)	24.3 (1.2)	57.4 b (5.3)	31.4 (1.1)	19.2 (.9)	12.6 (.8)
	2(n=4)	26.7 (.5)	78.5 ab (6.9)	34.8 (.8)	20.5 (1.3)	15.0 (.8)
Probabilistic	0(n=12)	21.4 (2.7)	57.3 (7.8)	28.9 (1.8)	17.7 (1.1)	13.9 (.5)
	1(n=42)	23.7 (.7)	58.0 (2.5)	32.5 (.6)	18.4 (.5)	13.2 (.5)
Combinatorial	0(n=39)	22.6 a (.9)	53.1 a (2.4)	31.3 (.8)	17.6 a (.6)	13.4 (.5)
	1(n=15)	25.5 a (.8)	70.1 a (5.6)	32.6 (.9)	19.9 a (.7)	13.1 (.8)
Correlational	0(n=42)	22.3 a (.9)	55.2 (2.6)	31.7 (.8)	17.8 a (.6)	13.1 (.5)
	1(n=12)	26.3 a (.9)	66.9 (6.3)	31.7 (1.1)	19.8 a (.7)	14.1 (.8)
Proportional II	0(n=50)	23.1 (.8)	56.9 (2.6)	31.7 (.7)	18.2 (.5)	13.3 (.4)
	1(n=4)	24.3 (1.8)	69.0 (12.4)	31.5 (2.2)	19.3 (1.7)	14.0 (2.0)
Hypothesis-testing	0(n=50)	22.8 a (.8)	56.2 (2.5)	31.4 a (.7)	18.2 (.5)	13.2 a (.4)
	1(n=4)	27.8 a (.9)	78.3 (9.3)	34.8 a (.8)	18.8 (1.1)	14.8 a (.5)

한편, 과학적 사고력의 수준에 따라서 두뇌인지기능 사이에 통계적인 차이가 있는지를 살펴보았다(Table 2). 정보 활성화 능력과 정보선택은 과도기 수준의 학생이 경험-귀납적 수준의 학생에 비해 통계적으로 유의미하게 높은 점수를 얻었으며, 가설-연역적 수준의 학생의 학생은 경험-귀납적 수준과 과도기 학생에 비해 정보활성화 능력과 정보 선택 능력이 통계적으로 높은 것으로 나타났다. 계획 능력은 과도기와 가

22 과학적 사고의 발달에서 두뇌 인지 기능의 영향

설-연역적 수준의 학생이 경험-귀납적 수준의 학생에 비해 통계적으로 높은 점수를 얻었다($p < .05$).

Table 2. Mean scores of tests of cognitive skills of the brain across scientific thinking level (): SE

	Empirico-inductive	Transitional	Hypothetico-decuctive	F value
Working Memory	21.8 a-b (.9)	25.9 a-c (.8)	26.3 b-c (.3)	4.13*
Disdembedding Ability	52.3 a-b (2.5)	66.2 a-c (5.3)	82.0 b-c (8.3)	6.8*
Memory Ability	30.8 (.8)	32.9 (.8)	35.3 (.7)	2.20
Planning Ability	17.4 a-b (.6)	19.7 a (.7)	21.7 b (.9)	4.37*
Excuting Abiltiy	13.2 (.5)	13.4 (.8)	15.0 (1.2)	.53

*: The different letters are significantly different at $p = .05$ according to Scheffe test.

정보 활성화, 계획 능력의 인지 과정의 과학적 사고 수준에 따라서 통계적인 차이를 보이는 것은 선행 연구와 일치하는 결과를 보이고 있다(김영신 등, 2000; 나은미, 2000; 배운주, 2000; 정완호, 1998; Kwon & Lawson, 2000). 이러한 연구 결과는 정보 활성화와 계획 능력이 고등 사고 활동에 관여하는 전두엽연합령과 관련된 기능이기 때문으로 사료된다. 정보 저장 능력이 과학적 사고 수준에 따라서 차이를 보이지 않는 것은 정보 저장 능력을 측정하기 위한 검사 도구가 다양한 인지 기능을 측정하기 때문이거나 전두엽외에 측두엽의 저장 능력을 측정하기 위한 검사 도구이기 때문으로 사료된다(정애자, 1993).

실행 능력을 측정하기 위한 Porteus의 미로 찾기 검사는 과학적 사고력의 하위 요소에 따라서 일관된 경향을 보이지 않았다(Table 1). 이는 중학교 학생 이전의 연령에 해당하는 학생이 모두 해결할 수 있는 변별도가 없는 문항이었기 때문으로 사료된다.

2. 과학적 사고력에 영향을 미치는 인지 과정

과학적 사고력의 하위 논리와 정보 활성화, 정보 선택, 정보 저장, 계획 능력과의 상관 관계를 살펴 보았다(Table 3). 비례 논리와 통계적으로 유의미한 상관을 보이는 인지 과정은 정보 활성화 능력, 정보 선택 능력이었다. 변인 통제 논리는 정보 활성화

화, 정보 선택, 정보 저장 능력과 유의미한 상관관계가 있으며, 자료해석은 정보 활성화와 계획 능력과 유의미한 상관을 보였다.

확률논리는 정보 저장 능력과, 조합 논리와 상관 논리는 정보 활성화, 정보 선택, 계획 능력과 유의미한 상관을 보였다. 실험 설계는 정보 선택과 유의미한 상관을 보였지만, 비례논리와 유의미한 상관을 보이는 두뇌인지기능은 없는 것으로 나타났다.

Table 3. Correlation coefficient among study variables

	Working Memory	Disembedding Ability	Memory Ability	Planning Ability	Excuting Ability
Proportional I	.26*	.41*	.18	.25	.07
Control of Variable	.45*	.40*	.36*	.17	.13
Interpreting of Data	.27*	.25	.13	.29*	.00
Probabilistic	.18	.01	.32*	.08	-.10
Combinatorial	.28*	.41*	.13	.30*	-.05
Correlational	.31*	.26*	.00	.25	.14
Proportional II	.05	.17	-.01	.08	.06
Hypothesis-testing	.25	.31*	.19	.04	.14

*: $p < .05$.

정보 활성화 능력은 비례논리를 비롯한 과학적 사고력의 5가지 하위 논리와 유의미한 상관을 보였으며, 정보 선택 능력은 4개의 하위 논리와 유의미한 상관을 보였다. 정보저장 능력과 계획 능력은 각각 2개의 하위 논리와 유의미한 상관을 보였다. 그러나, 실행 능력과 유의미한 상관을 보이는 과학적 사고력의 하위 요소는 없는 것으로 나타났다.

정보 활성화 능력과 비례 논리와 유의미한 상관을 보이고 있는 것은 선행 연구(정완호, 1998)와 같은 결과를 보이고 있다. 그 이외에 과학적 사고력의 하위 요소와 인지 과정과 유의미한 상관 관계를 보이고 있는 것은 과학적 사고력 및 인지 과정이 전두엽연합령의 기능과 깊은 관련이 있기 때문으로 사료된다. 즉, 전두엽연합령에 포함되는 중요한 두뇌인지기능은 외부 세계의 정보와 요구를 통합 조절하여 행동 통제를 담당한다(Thierry et al, 1984).

한편, 과학적 사고력의 하위 요소 중 비례 논리와 인지적 변인과의 상관을 보이지

24 과학적 사고의 발달에서 두뇌 인지 기능의 영향

않는 것은 비례 논리의 획득 점수가 매우 낮기 때문으로 사료된다. 이 비례 논리 과제는 복잡한 과학적 상황에서 비례 논리를 이용하여 문제를 해결하여야 한다. 피험자들의 대부분이 복잡한 과학적 상황에서 비례 논리를 사용하지 못하기 때문에 이 과제를 해결한 학생이 매우 적었다(Table 1 참조). 비례 논리와 마찬가지로 일부의 학생만이 문제를 해결한 실험 설계에서는 인지 과정과 상관이 있었다. 따라서 이에 대한 구체적인 연구가 추가적으로 이루어지길 기대한다.

과학적 사고력의 하위 요소에 영향을 미치는 요인을 회귀분석을 통해서 살펴보았다(Table 4). 정보 활성화 능력은 변인통제, 조합논리, 상관논리에 영향을 미치는 두뇌 인지기능으로 나타났다. 정보 선택은 비례논리, 변인 통제, 실험 설계에 영향을 미치며, 정보 저장은 확률논리에 영향을 미쳤다. 계획 능력은 자료해석, 조합논리를 예언하는 두뇌의 인지적 기능으로 나타났다. 한편, 비례 논리를 예언하는 인지 변인은 없다.

Table 4. Multiple regression analysis for constructs of scientific thinking skills

Reasoning Skills	predictor Variables	R	R ²	B	SE B	β
Proportional	Disdembedding Ability	.41	.17	.02	.01	.37
Control of Variable	Working Memory	.45	.20	.06	.02	.31
	Disdembedding Ability	.53	.28	.01	.01	.28
Interpreting of Data	Planning Ability	.29	.08	.05	.03	.27
Probabilistic	Memory Ability	.32	.10	.03	.01	.37
Combinatorial	Working Memory	.41	.17	.01	.00	.39
	Planning Ability	.49	.24	.04	.02	.28
Correlational	Working Memory	.31	.10	.03	.01	.33
Hypothesis-testing	Disdembedding Ability	.31	.10	.00	.0	.27

전두엽의 기능과 관련된 인지 과정 중 Luria가 제시한 제 1단계에 해당하는 정보 활성화는 3개의 하위 요소를 예언하고 있으며, 2단계에 해당하는 정보 선택과 정보 저장 능력도 3가지의 과학적 사고력의 하위 요소를 예언하였다. 마지막 3단계에 해당하는 계획 능력은 자료해석과 조합논리의 2개의 하위 요소를 예언하였다. 그러나 3단

계에 해당하는 실행 능력은 과학적 사고력의 하위 요소를 예언하는 변인으로 작용하지 않았다.

Table 5. Multiple regression analysis for scientific thinking skills

predictor Variables	R	R ²	Increaseament of R ²	B	SE B	β
Disdembedding Ability	.46	.21	.21	.01	.00	.37
Planning Ability	.57	.32	.11	.05	.02	.30

Table 5는 과학적 사고력의 3가지 수준, 경험-귀납, 과도기, 가설-연역적 단계를 예언하는 다중회귀 분석을 통해 살펴보았다. 그 결과 과학적 사고력의 수준에 영향을 미치는 두뇌인지기능은 정보 선택과 계획 능력으로 나타났다.

이러한 연구 결과는 과학적 사고력에 계획능력을 포함하는 전두엽의 발달과 관련이 있는 것으로 밝힌 Kwon & Lawson(2000)의 연구 결과와 일치한다. 또한, 논리적 사고력의 발달에 전두엽연합령이 영향을 미친다는(정완호 등, 1998; 정완호 등, 2000)의 연구와 같은 결과를 보였다. 본 연구의 이러한 결과는 전두엽연합령이 고등 사고의 통제와 조절을 담당한다는 선행 연구(Thierry et al., 1984)를 뒷받침해 준다.

과학적 사고력에 영향을 미치는 전두엽연합령의 기능이 어떤 경로를 통해서 과학적 사고력에 영향을 미치는 지를 Fig 1에 나타내었다. Fig 1에 의하면 과학적 사고력의 발달에 직접적인 영향을 미치는 정보 선택 능력과 설계 능력이었다. 그 외에 정보 활성화와 정보 저장은 간접적인 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 또한 정보 활성화와 정보 저장은 과학적 사고력 수준과 상관관계가 존재하였다. 경로 분석의 결과 실행 능력은 과학적 사고력 수준에 직·간접적인 영향을 미치지 않을뿐만 아니라 상관관계도 없는 것으로 나타났다.

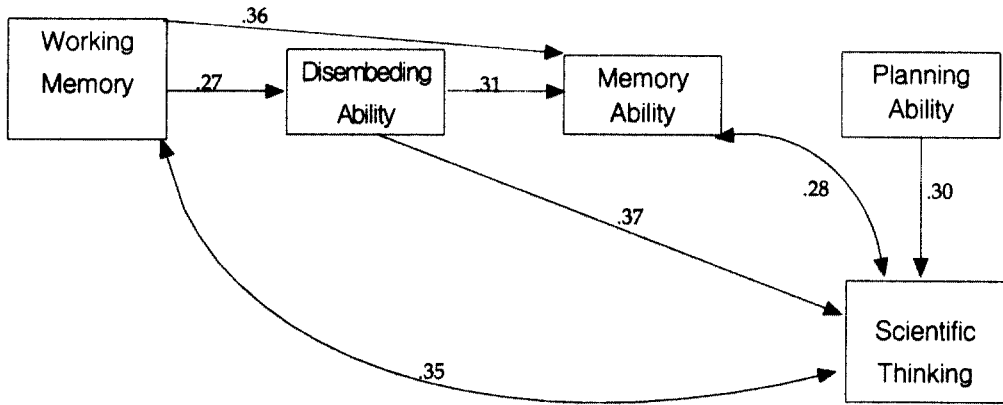


Fig 1. Path analysis of cognitive skills of the brain on the development of scientific thinking

Luria가 제시한 3단계의 인지적 과정에 기초한 정보 처리 과정에 따라서 과학적 사고력의 발달이 어떻게 영향을 미치는 지를 살펴보았다. 그 결과 정보 활성화, 정보 선택, 정보저장, 계획 능력, 실행이라는 일련의 선형적인 과정이 과학적 사고력의 발달에 영향을 미치는 것이 아니라 보다 복잡한 과정이 존재함을 알 수 있다.

IV. 결 론

과학교육에서 중요 관심사 중의 하나인 과학적 사고력은 인간의 고등 사고과정에서 중요한 역할을 담당하고 있는 전두엽연합령과 깊은 관련이 있다고 보고되고 있다 (Fuster, 1989; Kolb & Whishaw, 1996; Kwon & Lawson, 2000; Luria, 1973). 그러나, 과학적 사고력의 발달에 인지 과정이 어떻게 작용하는 지에 대한 연구가 이루어지지 않았다. 따라서 본 연구는 Luria의 가설에 기초하여 5가지의 인지 과정이 과학적 사고력에 어떻게 영향을 미치는지를 살펴보았다.

본 연구의 결과, 정보 활성화, 정보 선택, 정보 저장, 계획이 과학적 사고력의 하위 논리 획득 점수에 따라서 통계적인 유의미한 차이를 보였다. 또한, 과학적 사고력의 수준에 따라서 정보 활성화, 정보 선택, 계획 능력에서 유의미한 차이를 보였다. 한편, 과학적 사고력과 정보 활성화, 정보선택, 정보 저장, 계획 능력과 유의미한 상관 관계가 있었으며, 인지 과정이 과학적 사고력에 영향을 주고 있는 것으로 나타났다. 인지 과정이 과학적 사고력에 영향을 미치는 경로는 정보 활성화 능력→정보 선택 능력→

정보 저장 능력→ 과학적 사고력, 설계능력→과학적 사고력의 경로가 있었다. 이러한 연구 결과에 기초하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 과학적 사고력은 전두엽의 기능과 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다. 본 연구의 결과 전두엽연합령의 기능인 정보 활성화, 정보 선택, 정보 저장, 계획능력과 과학적 사고력과 유의미한 상관 관계가 있었다. 또한, 전두엽연합령의 기능이 과학적 사고력의 하위 요소와 과학적 사고력의 발달을 예언하는 변인으로 작용하였다.

둘째, 과학적 사고력의 발달 과정이 보다 복잡한 과정을 통해서 이루어진다는 것이다. 과학적 사고력에 영향을 주는 전두엽연합령의 기능은 정보 활성화, 정보 선택, 정보 저장, 계획 능력의 선형적인 경로가 아니라 보다 복잡한 경로를 보였다.

셋째, 본 연구에서 설정한 5가지의 인지 과정이 과학적 사고력을 설명력이 30%였다. 더욱이 실행 능력은 과학적 사고력을 설명하지 못하였다.

본 연구로부터 과학적 사고력의 발달 과정에 대한 5단계에 대한 이론적 그리고 경험적인 연구를 통한 수정이 이루어져야 한다. 5단계로 제시한 실행 능력은 과학적 사고력과 상관관계 또는 인과적 관계가 없는 것으로 밝혀졌다. 그리고 Luria의 각 단계를 보다 세분화하여 복잡한 인지적 과정에 대한 추가적인 연구가 이루어지길 기대한다.

개 요

과학적 사고력이 과학교육의 중요한 목적이 되고 있다. 따라서 본 연구에서는 과학적 사고력의 발달에 Luria의 두뇌인지 기능이 어떤 영향을 주는지를 살펴보았다. 이를 위하여 중학교 2학년 학생 56명(남학생 28명, 여학생 26명)을 대상으로 정보 활성화, 정보 선택, 정보 저장, 계획 능력, 실행 능력을 측정하였다. 본 연구의 결과 과학적 사고력의 하위 논리의 수준에 따라서 인지 과정의 획득 점수에 통계적으로 유의미한 차이가 있었다. 또한 과학적 사고력의 수준에 따라서 정보 활성화, 정보 선택, 계획 능력이 통계적으로 유의미한 차이가 있었다. 과학적 사고력과 인지 과정과 유의미한 상관관계를 보였으며, 정보 활성화, 정보 선택, 정보 저장, 계획 능력이 과학적 사고력을 예언하는 변인이었다. 정보 활성화, 저장 능력은 과학적 사고력의 발달에 간접적인 영향을 주었으며, 정보 선택 능력, 계획 능력은 과학적 사고력의 발달에 직접적인 영향을 주었다. 본 연구의 결과 과학적 사고력의 발달과 전두엽연합령의 기능과 밀접한 관련이 있으며, 과학적 사고력의 발달이 복잡한 인지 과정을 통해 이루어진다고 할 수 있다. 본 연구에 기초하여 보다 세부적인 인지 과정과 과학적 사고력과의 관계에 대한 추가적인 연구가 이루어지길 기대한다.

Key Word: 과학적 사고력, 두뇌인지기능, 정보 활성화 능력, 정보 선택 능력, 정보 저장 능력, 계획 능력, 실행 능력

참 고 문 헌

- 강호감(1991). 두뇌의 기능 분화에 따른 교수 전략이 창의력 및 자연과학학업 성취도에 미치는 영향. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 김영신(2000). 과학적 사고력 발달의 인과적 구조 모형에 생태학적 접근. 한국교원대학교 대학원 박사학위 논문.
- 김영신, 권용주, 박윤복, 구수정, 정완호(2000). 과학 성취도에 영향을 미치는 전두엽 연합령의 기능에 대한 종단적 연구. 한국생물교육학회지, 20(2), 123-128.
- 나은미(2000). 초등학교 고학년 학생의 전두엽연합령 기능에 따른 보존논리 형성 정도. 한국교원대학교 대학원 석사학위 논문.
- 배윤주(2000). 초등학교 저학년 학생의 인지적 변인들과 보존논리 형성과의 관계에 대한 연구. 한국교원대학교 대학원 석사학위 논문.
- 전우수, 권용주, Lawson, A. E.(1999). 한국과 미국 대학생들의 과학적 추론 능력에 대한 비교 연구. 한국과학교육학회지, 19(1), 117-127.
- 정애자(1993). 임상 신경심리 검사. 성원사.
- 정완호(1998). 비례논리 형성에 미치는 학습자 요인 및 비례 논리 신장을 위한 프로그램 효과 분석. 한국과학교육학회지, 18(4), 503-516.
- 정완호, 김영신, 권용주(1998). 중학생들의 논리적 사고 발달에 미치는 신경심리학적 요인의 분석. 한국교원대학교 교수논총, 14(2), 105-124.
- 정완호, 김영신, 권용주(2000). 초·중·고등학교의 교과 내용, 평가와 과학적 사고력의 분석에 대한 연구. '99년도 한국생물교육학회 동계 학술대회 및 논문 발표회. 2000년 2월 인천교육대학교.
- 허명, Lawson, A. E., 권용주(1997). 과학적 추론 능력의 발달에서 전두엽연합령의 역할. 한국과학교육학회지, 17(4), 525-540.
- Fuster, J. M. (1989). *The prefrontal cortex: Anatomy, physiology, and neuropsychology of the frontal lobe*(2nd Ed). New York: Raven Press.
- Hudspeth, W. J., & Pribram, K. H. (1990). Stages of brain and cognitive maturation. *Journal of Educational Psychology*, 82(4), 881-883.
- Kolb, B., & Wishaw, I. Q. (1996). *Fundamentals of Human Neuropsychology*(4th Ed). New York: W. H. Freeman and Company.
- Kuhn, D., Amsel, E., & O'Loughlin, M. (1988). *The development of scientific thinking skills*. Academic Press, INC. New York.
- Kwon, Y., & Lawson, A. E. (1998). A plateau and sprut pattern of neurological maturation, scientific reasoning development and conceptual change in Korea secondary school students. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 18(4), 589-600.

- Kwon, Y., & Lawson, A. E. (2000). Linking brain growth with the development of scientific reasoning ability and conceptual change during adolescence. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(1), 44-62
- Lawson, A. E. (1995). *Science teaching and the development of thinking*. Belmont, CA: Wadsworth Publishing.
- 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. (1993). Deductive reasoning, brain maturation, and science concept acquisition: Are they linked? *Journal of Research in Science Teaching*, 30(9), 1029-1051.
- Lezak, M. D. (1995). *Neuropsychological assessment*. New York: Oxford University Press.
- Luria, A. R. (1973). *The working memory: An introduction to neuropsychology*. New York. Basic Books.
- McCormark, A. J., & Yager, R. E. (1989). A new taxonomy of science education. *Science Teacher*, 56(2), 47-48.
- Porteus, S. D. (1959). *Porteus MAZE test fifth year's application*. Palo alto, Pacific Books.
- Shallice, T. (1982). Specific impairments of planning. In D. E. Broadbent, F.R.S., & L. Weiskrantz(Eds), *The neuropsychology of cognitive function: Philosophical transaction of the Royal Society of London, Series B, Vol, 298*. London: The Royal Society.
- Shayer, M., & Adey, P. (1981). *Toward a science of science teaching*. Heineman. London.
- Stuss, D. T., & Benson, D. F. (1986). *The frontal lobes*. New York, NY: Raven Press.
- Thacher, R. W., Walker, R. A., & Giudice, S. (1987). Human cerebral hemispheres develop at different rates and age. *Science*, 236, 1110-1113.
- Thierry, A. -M., Glowinski, J., Goldman-Rakim, P. S., & Christen, Y. (1984). *How to study frontal lobe functions in humans*(Eds.). Springer-Verlag. New York.
-