

# 과학적 추론 능력의 발달에서 전두엽연합령의 역할

허 명 · Anton E. Lawson\* · 권용주\*  
(이화여자대학교) · (Arizona State University)\*

(1997년 10월 9일 받음)

## I. 서 론

과학적 추론(scientific reasoning)은 그것의 과정적 및 논리적 특성 때문에 학습과 사고에서 가장 중요한 요인 중의 하나로 인식되어 왔다 (Lawson, 1995; Lawson *et al.*, 1991). 본 연구에서 정의된 과학적 추론 과정은 자연현상의 관찰 후에 발생하는 의문에 대한 가설을 제시하고, 그 가설을 검증할 수 있는 과학적 실험 방법을 고안하고, 고안된 방법에 따라 실험을 수행했을 때의 결과를 예상하며, 예상결과와 실제결과를 비교하여 결론을 내리는 추론 과정을 의미한다 (Lawson, *et al.*, 1991; Yore, 1993; Lawson, 1995). Lawson(1985)에 따르면, 과학적 추론 능력의 결핍은 과학, 수학, 사회, 역사, 및 영어 학습에서 학습부진의 원인이 될 수 있음은 물론이고, 개인의 일상생활 및 사회적 문제와 관련된 의사결정과 문제해결에서도 가장 중요한 제한요인의 하나가 될 수 있다. Piaget(Piaget & Inhelder, 1958)와 Evans(1995)역시 과학적 추론은 학습과 지적 사고에 매우 중요한 제한요인이라고 언급하였다.

과학적 추론 능력이 갖는 이러한 중요성 때문에 지금까지 많은 과학교육학자와 인지심리학자들은 아동들의 과학적 추론 능력의 발달에 미치는 요인을 연구해 왔다. 예를 들면 정신용량(Pascual-Leone, 1970; Case, 1985; Niaz & Lawson, 1985), 학습 유형(Lawson, 1985), 장독립성 정도(Witkin, *et al.*, 1967; Blake, 1976; Lawson, 1976; Witkin, *et al.*, 1977; Linn, *et al.*, 1981), 그리고 사회적 제한 환경(Lawson, 1985) 등이 아동들의 과학적 추론능력에 영향을 미치는 중요한 요인으로 밝혀져 왔다. Piaget (1961)역시 과학적 추론 능력을 포함한 인간의 지적 발달은 성숙,

경험, 사회적 상호작용, 그리고 평형화 등의 4가지 요인에 의존한다고 주장하였다. 여기서 Piaget는 비록 지적 발달에서 성숙을 하나의 요인으로 언급했지만, 그는 성숙의 일반적인 가능성을 다루었을 뿐 구체적인 생물학적 발달의 영향에 대해서는 더 이상의 구체적인 언급을 하지 않았다. 그리고 추론 능력의 발달이 신경학적 요인이라기보다는 구체적으로 사회적 요인에 의해서 발달된다고 함으로서 지적발달의 사회적 요인을 강조하였다. Pascal-Leone 또한 아동의 정신용량은 3세에서 16세까지 직선모양으로 성장하는 주의력의 상태로 정의하였다(Pascal-Leone, 1970; Case, 1985). 즉, 그는 아동의 그러한 성장이 생물학적 성숙보다는 단선적 정신용량을 요구하는 간단한 임무 수행 능력의 발달로 조절된다고 주장하였다.

이렇게 지금까지 수행되어온 추론 능력의 발달에 대한 연구들은 대부분 사회심리학적 요인들에 국한되어져 왔다. 그러나 과학적 추론과 같은 인간의 모든 정신활동은 실질적으로 두뇌활동에 의해서 이루어진다고 할 수 있다. 그러므로 그 정신활동을 보다 많은 면에서 이해하기 위해서는 사회심리학적 요인에 대한 이해도 필요하지만, 뇌의 활동과 관련된 생물학적 요인을 이해하는 것이 필요하다고 하겠다. 하지만 지금까지 인지발달, 특히 과학적 사고의 발달에서 뇌의 역할에 대한 연구는 '연령 증가로 기인한 일반적 성숙으로 설명되어지는 요인(Piaget, 1961)'으로 표현되는 일반적 범주의 연구에 국한되어 왔다. 따라서 과학적 추론 또는 연역적 추론을 보다 구체적으로 이해하기 위해서는 사회심리학적 요인뿐만 아니라 그런 추론을 담당하는 뇌의 구체적인 부분과 그 부분이 그런 추론에 어떻게 영향을 주는가에 대한 생물학적 연구가 요구된다.

이 논문은 1996년도 한국교원대학교 부설 교과교육공동연구소의 자유공모과제연구비에 의해 연구되었음.

최근의 신경심리학적 및 신경생리학적 연구는 인간의 고등 인지기능이 대뇌 피질의 전두엽연합령(prefrontal lobes)의 발달에 기인한다고 밝혔다 (Luria, 1973; Fuster, 1981; Thatcher, 1990; Gibson & Peterson, 1991). 신경심리학 및 신경생리학적 연구에 따르면 전두엽연합령은 뇌에서 가장 풍부한 신경조직의 연결망을 가지고 있을 뿐만 아니라 뇌의 진화에서 보아도 가장 최근에 진화한 뇌의 영역이다(Luria, 1973; Fuster, 1981). 따라서 신경심리학자들은 이 전두엽연합령이 인간의 고등인지 기능, 예를 들면 계획, 자기조절, 또는 시간에 따른 연속적 사고 같은 사고 활동을 담당한다고 가정하여 왔다.

신경심리학적 연구에 따르면 전두엽연합령은 인지과정에서 몇 가지 중요한 고등 사고과정을 담당한다는 것이 밝혀졌다. 예를 들면 서열적 사고, 계획, 판단, 그리고 반응의 일시적 조직/통합 등과 같은 기능이 전두엽연합령에 의해 수행되는 대표적인 몇 가지 기능들이다 (Fuster, 1981; Kolb & Whishaw, 1996). 특히 Luria (1973)는 그의 임상신경학적 연구에서 전두엽연합령이 사람의 목표 지향적 활동에서 일어나는 복잡한 사고의 조절에서 중요한 역할을 담당한다고 논하였다. 이 기능이 적절하게 수행되면 목표수행 과정에서 부적절한 자극을 제거하기에 충분한 계획과 주의 행동이 수행될 수 있다. 이런 사고 유형들은 연역적 추론의 실행에 필요한 사고 유형에 포함된다고 할 수 있다.

임상적 관찰 역시 고등 인지활동에서 전두엽연합령이 중요한 역할을 담당한다는 주장을 지지한다. 예를 들면 전두엽연합령의 손상은 서열적 및 연속적 행동의 수행을 제한하는 중요한 원인이 된다 (Luria, 1973). Milner(1963)는 전두엽연합령이 손상된 환자는 목표 지향적 임무의 실행 동안 자신이 한때 옳다고 생각했던 아이디어에 과도한 집착을 나타내며, 새로운 아이디어를 창안 및 테스트하는 능력이 현저하게 부족한 '과도한 집착성 반응 (perseverative response)'을 나타냄을 발견했다. Kolb & Whishaw(1996)은 전두엽연합령 손상 후 목표선택, 계획, 수행과정의 점검, 오류의 억제 활동 수행에 장애가 있다고 논하였다. 그들에 따르면, 전두엽연합령이 손상된 환자는 연속적으로 된 서열적 사고활동의 수행에는 어려움을 나타냈으나, 일반적 지능검사는 잘 수행하였다고 기술하였다.

이상과 같은 연구로 볼 때, 과학적 추론 능력이 바로 이 전두엽연합령의 기능에 따라서 제한된다는 것이 본 연구자들의 가설이다. 비록 Lawson (1993)은 전두엽이 이 추론의 제한 요인이라고 가정하였으나, 전두엽이 전두엽연합령과 운동령으로 구성되어 있음을 고려할 때 전두엽 전체라기보다는 전두엽연합령이 과학적 추론 사고의 중요한 요인이라는 것이

본 연구자들의 가설이다. 과학적 추론은 인간의 가장 고등한 인지기능 중의 하나이다. 위의 논의에서 전두엽연합령은 고등 인지기능을 담당한다고 하였다. 따라서 그것의 계획, 연속적 사고, 그리고 비관련정보의 통제 기능들이 과학적 추론의 일부과정과 관련이 되어 있음을 우리는 유추할 수 있다. 이러한 내용을 고려하여 본 연구자들은 전두엽연합령의 역할이 과학적 추론에 매우 중요하리라고 생각하였다.

전두엽연합령이 연역적 또는 과학적 추론에서 중요한 제한 요인일 것이라는 가설에 대해서 본 연구는 두 가지 방법으로 그 가설을 검사하였다. 첫째는 임상신경학적 관찰연구로 검사하였다. 먼저 뇌를 손상당한 환자들을 대상으로 MRI 영상 촬영을 통해서 특별히 전두엽연합령만 손상된 환자를 찾아내었다. 그런 다음 이 환자에게 두 가지 연역적 추론능력 검사를 실시하였다. 만약 전두엽연합령이 연역적 및 과학적 추론 능력에 중요한 역할을 담당한다면 이 환자는 두 가지 추론 능력 검사에서 현저하게 낮은 수행능력을 보일 것으로 예상되었다.

본 연구에서 적용한 두 번째 검사방법은 학생들의 연역적 및 과학적 추론 능력과 전두엽연합령 기능 발달간의 상관관계를 조사하는 것이었다. 연역적 및 과학적 추론능력을 조사하기 위하여 본 연구에서는 'Melinark형 도형판별검사 (Lawson *et al.*, 1991)'와 '과학적 추론능력 검사 (Lawson, 1987)'를 사용하였다. 이들 두 검사 모두 *If ... and ... then ... therefore* 양식의 연역적 및 과학적 추론 능력을 검사하는데 적절한 도구로 사용되어 왔다. (Lawson *et al.*, 1991; Lawson, 1993). 또 학생들의 전두엽연합령 기능 발달 정도를 알아보기 위하여 본 연구에서는 '위스칸스 카드 분류 검사 (WCST: Milner, 1963)'를 사용하였다. Milner (1963)에 따르면, WCST는 전두엽연합령의 기능을 측정하는데 매우 타당성 있고 유용한 도구로 밝혀졌다. 특히 이 검사에서 측정되어지는 '과도한 집착 반응 (perseverative response)'은 전두엽연합령의 기능을 평가하기 위해서 WCST를 통해 얻은 정보들 중에서 가장 타당성이 높은 요소라는 것이 판명되었다 (Milner, 1963). 만약 전두엽연합령이 연역적 또는 과학적 추론능력에 중요한 역할을 담당하는 부분이라면 추론 능력 검사와 WCST사이의 의미 있는 상관관계가 나타날 것으로 예상하였다.

본 연구는 연역적 및 과학적 추론능력 발달의 또다른 2가지 대체가설도 조사하였다. 첫째는 '나이에 의한 일반적 성숙' 또는 Pascual-Leone의 '나이에 따른 정신용량의 증가' 가설이고, 다른 하나는 '장독립성 정도'가 학생들의 추론 능력에 제한요인이라는 가설이다. 나이에 의한 일반적 성숙 가설은 피검자의 나이로 정량화 하였으며, 장독립성 가설은 학생들에

계 잠입도형검사(Group Embedded Figure Test: GEFT, 전윤식과 장효표, 1995)를 실시하여 장독립성 정도를 정량화하였다.

## II. 연구 방법 및 과정

### 1. 전두엽연합령 손상 환자

본 연구는 전두엽연합령이 손상된 환자에게 연역적 및 과학적 추론 능력을 검사해 봄으로서 전두엽연합령이 이 추론 능력에 제한요인이 되는가를 테스트하는 연구이다. 본 연구에서는 실제로 전두엽연합령만 손상된 많은 수의 피검자를 발견하기가 쉽지 않아서 사례연구로서 한 명의 전두엽연합령 손상 피검자를 조사하였다. 본 연구를 위한 피검자를 찾기 위하여 먼저 18명의 뇌 손상환자를 대상으로 MRI 영상 촬영을 실시한다. 영상 촬영으로 얻은 네거티브 필름을 신경과학 전공 의사에게 정확하게 전두엽연합령이 손상된 대상자의 판별을 의뢰했다. 신경과학 전공 의사의 분석에 따르면 정확하게 전두엽연합령에 해당되는 부분만이 손상된 환자는 18명 중 1명에 불과했다. 따라서 본 연구는 연구 대상의 수가 1명인 관계로 일반화하기에는 제약이 있다고 판단되며, 사례연구로서 활용되어질 수 있다고 판단된다.

전두엽연합령이 손상된 이 피검자는 43세의 남성이다. 피검자는 오른쪽 전두엽중 전두엽연합령이 대부분 손상되었고, 왼쪽 부분은 전두엽연합령의 극히 일부분만 손상되었다. 피검자는 교통사고로 전두엽연합령이 손상되기 이전에는 교도관으로서 근무했으며, 학력은 고졸이다. 그 대상자의 진료일지를 살펴본 결과 교통사고를 당하기 전에 정신적인 질환을 앓은 병력이 없었다. 피검사에 대한 예비검사로써 몇 가지 기초적인 인지검사를 실시하였다. 첫째, 기본적인 한자리 숫자의 덧셈, 뺄셈, 곱셈, 그리고 나눗셈에서 피검자는 문제를 어려움없이 해결했다. 둘째, 손 운동과 다리운동도 어려움 없이 수행했다. 특히 오른쪽 손으로 작은 점을 찍는 행동도 어려움 없이 수행했다. 이것은 피검자가 대뇌피질의 운동조절영역의 기능이 손상되지 않았음을 시사한다. 셋째, 언어이해력과 의사전달력에 있어서 어려움은 없었다. 이것은 피검자의 언어 기능을 담당하는 두뇌 영역은 손상되지 않았음을 시사한다. 실제로 신경학 전문가에 의한 MRI 영상자료 분석 결과도 언어기능을 담당하는 영역에 대한 손상은 나타나지 않은 것으로 판명되었다. 넷째, 피검자에게 비행기, 소나무, 그리고 고양이의 세 가지 단어를 보고 소리내어 읽은 다음, 5분 후에 다시 회상하게 해보았더니, 피검자는 세 가지 단어를 성공적으로 이야기하였다.

이 피검자에게 과학적 추론 능력 검사지인 '도형 판별 검사 (Lawson et al, 1991)'와 '과학적 추론 능력 검사 (Lawson, 1987)'을 투여하였다. 아울러 Milner (1963)에 의해 타당하고 유용한 전두엽연합령 검사 도구로 밝혀진 WCST를 이 피검자에게도 조사하여 보았다.

### 2. 신경심리학적 연구의 대상

과학적 추론 능력 검사와 전두엽연합령 기능을 측정하기 위한 검사도구인 WCST를 98명의 중학교 3학년으로부터 고등학교 2학년 사이에 해당되는 중·고등학교 학생들을 대상으로 실시하였다. 피검자의 평균 연령은 15.71세이고, 표준편차는 0.85, 그리고 범위는 14.33세에서 17.25세까지이다. 표집지역은 충북 청주시내의 고등학교 1개교와 중학교 1개교이다. 1개학년당 33명을 무작위로 표집 하여 WCST를 먼저 실시한 다음, 연역적 및 과학적 추론 검사를 실시하였다. 그러나 피검자중 한 명은 듣기 장애자로서 WCST의 수행과정에서 의사소통이 원활하게 이루어지지 않아서 최종자료에서 제외하였다.

### 3. 검사도구

본 연구에서는 피검자의 추론능력, 전두엽연합령 기능, 그리고 정신용량을 조사하기 위하여 몇 가지 검사도구를 사용하였다. 본 연구에서는 도형 판별 검사 (Melinark Type Task: MTT, Lawson et al., 1991)와 과학적 추론 검사 (Classroom Test of Scientific Reasoning: CTSR, Lawson, 1987)의 두가지 과학적 추론 검사가 사용된다.

과학적 추론 능력 검사로서 MTT는 일련의 카드로 된 도형들을 판별하는 문제이다. 이 검사에서 피험자는 판별한 도형의 예와 그 도형이 아닌 예를 통해서 정확한 도형의 보기를 고르는 과제이다. 이 과제는 3부분의 연역적 추론 과정이 포함된다(Lawson, 1993a; Yore, 1993). 첫 번째는 학생들은 보기를 분류하기 위해 사용된 속성을 찾아낸다; 두 번째, 학생들은 속성의 필요조건과 충분조건을 찾는다; 세 번째, 학생들은 혼합된 상태에서 보기를 식별하기 위한 규칙을 적용한다.

이 과제는 히죽이(Gligs), 찌그러기(Skints), 유들이(Mellinarks), 쿼크(Quarks)로 구성되었다. 이 과제들은 Elementary Science Study(1974)에 있는 15개 과제중에서 4개 과제를 선별해서 Lawson (Lawson et al., 1991)이 사용한 것을 이 연구에서도 사용한 것이다. 히죽이, 찌그러기, 유들이, 쿼크는 도형의 종류를 의미한다. 히죽이, 찌그러기, 유들이, 쿼크는 특별한 의미가 있는 용어들은 아니다. 예를 들

면, 히죽이과제는 첫 번째 줄과 두 번째 줄에서 히죽이인 도형과 아닌 도형을 토대로 세 번째 줄에서 히죽이인 도형을 찾는 것이다. 도형을 정확하게 판별하기 위해서 피험자는 도형의 점, 작은 점, 꼬리 또는 이 도형요소들의 혼합을 찾을 수 있어야 한다. MTT는 학생들의 과학적 추론 기술을 측정하기에 유용하다(Lawson, 1991).

피험자의 과학적 추론 능력을 측정하기 위해서 MTT는 다음과 같은 지시에 따라 시행된다(Lawson, 1993a).

연속적 도형을 포함하는 4가지의 과제가 4쪽으로 구성된다. 각 과제의 과정은 동일하기 때문에 한가지만을 예를 들고자 한다.

첫 번째 임무를 예를 들면, 그림의 첫 번째 줄은 모두 히죽이이다. 두 번째 줄은 히죽이가 가지고 있는 어떤 특징을 가지고 있지 않지 때문에 모두 히죽이가 아니다.

이러한 정보에 기초하여 세 번째 줄에서 히죽이인 것을 선택하는 것이 수행해야 할 과제이다.

세 번째 줄에서 히죽이라고 생각하는 것을 모두 고르시오. 나머지 3개도 동일한 방식으로 실시하시오. 정확한 예를 모두 선택하고, 예가 아닌 것을 선택하지 않은 피험자에게 1점을 부과한다. 만약 그렇지 못하면 0점으로 처리한다. 그러므로 전체 점수는 0점에서 4점 사이가 된다.

또다른 하나의 추론 검사는 과학적 추론 검사이다 (Class-room Test of Scientific Reasoning: CTSR, Lawson, 1987). 이 검사는 과학적 추론 능력을 테스트하는데 타당성을 갖춘 유용한 검사로 사용되어 왔다 (Lawson, 1987). 이 검사는 다음 12개의 문항으로 구성된다: 무게와 부피보존에 관련된 2개의 문항, 물의 부피를 응용한 2개의 비율 과제, 진자의 주기에 대한 2개 과제, 파리의 반응에 관한 2개의 과제, 2개의 확률 과제, 하나의 조합 추론 과제, 2개의 상관 추론 과제. 본 연구에서는 Lawson의 CTSR를 한국어로 번역하여 사용하였다.

본 연구는 연역적 및 과학적 추론 검사뿐만 아니라 전두엽연합령의 기능을 측정하기 위하여 위스칸슨 카드 분류 검사 (Wisconsin Card Sorting Test: WCST)를 사용하였고, 학생들의 정신용량을 나이로 나타냈고, 장독립성을 잠입도형검사 (Group Embedded Figure Test: GEFT, 전윤식과 장혁표, 1995)로 측정하였다.

WCST(Wisconsin Card Sorting Test)는 4개의 기본카드와 다양한 형태(십자가, 원, 삼각형, 별), 색깔(빨강, 노랑, 파랑, 녹색), 그리고 그림의 수(1, 2, 3, 4)의 다양한 도형들로 구성된 128개의 반응 카드로 구성되었다. 피험자들은 자극 카드에 반응카드를 정확하게 분류하는 것이다. 먼저 환자에게 4개의 자극 카드를 보여준다. 자극 카드는 색, 형태, 수가 다르

다; 하나의 적색 삼각형, 2개의 녹색 별, 3개의 노란 십자가, 4개의 파란색 원. 피험자에게 128개의 반응카드 중 1개가 주어진다. 피험자는 주어진 반응카드를 앞에 놓인 자극 카드 중의 하나 앞에 맞춘다. 검사자는 그 분류가 맞았는지, 틀렸는지만 말하고 그렇게 맞게 또는 틀리게 분류하는 기준 또는 원칙(예, 색깔)에 대해서는 이야기하지 않는다. 검사자는 피검자에게 이 정보를 이용하여 가능한 한 많은 카드를 올바르게 분류하라고 이야기한다.

학생들의 나이는 Piaget (1961)의 이론에 대한 일반적 성숙과 Pascual-Leone (Pascual-Leone, 1970; Pascual-Leone & Smith, 1969)의 이론에 따른 구조적 정신용량의 척도로 사용되었다. 또한 학생들의 장독립성 정도는 잠입도형검사 (GEFT, 전윤식과 장혁표, 1995)로 측정하였다. 이 잠입도형검사는 복잡한 배경에 숨겨져 있는 관련성 있는 정보를 찾아내는 능력을 측정하는 도구이다. 이것은 제한된 시간 내에 복잡한 도형에 숨겨져있는 간단한 도형을 찾는 검사이다. 검사는 16문항으로 구성된 제 1부(section)와 다른 16문항으로 구성된 제 2부로 되어있다. 피검자의 장독립성 정도는 복잡하게 오도된 배경상황에서 단순한 도형을 찾아내는 능력으로 가정하였다.

#### 4. 자료 분석

전두엽연합령 손상 환자를 대상으로 한 사례연구에서는 피검자의 과학적 추론 검사의 수행 능력을 분석하였다. 즉, 이 피검자의 점수를 다른 정상인의 점수와 비교해서 이 피검자가 특히 부족한 능력을 분석하였다.

학생들을 대상으로 수행한 신경심리학적 연구에서는 학생들의 과학적 추론 검사와 WCST 간의 상관관계와 회귀계수를 분석하였다. 아울러 대체가설의 측정 방법인 나이와 잠입도형검사 결과도 과학적 추론 검사 결과와도 비교하였다. 모든 통계처리에는 SPSS 프로그램이 이용되었다.

### Ⅲ. 연구 결과 및 논의

#### 1. 전두엽연합령 손상환자의 사례연구

전두엽연합령 손상 환자를 대상으로 두가지 추론능력 검사를 실시한 결과 이 피검자는 도형판별검사의 한 개 문항을 제외하고는 도형판별검사의 나머지 문항과 과학적 추론 검사의 모든 문항에서 문제를 해결하지 못했다. 특히 이 환자를 대상으로 인터뷰한 결과 이 피검자는 두 가지 검사의 어느 문항에서도 *If ... and ... then ... therefore* 형태의 연역적 및 과학

적 추론을 사용하지 못한 것으로 나타났다. 이 피검자가 수행한 두가지 과학적 추론 검사의 결과는 다음과 같다

1) 도형판별검사 결과

도형판별검사의 4개 과제에서 피검자는 히죽이 과제는 정확하게 과제에서 요구하는 도형을 판별했지만, 나머지 과제에서는 과제에서 요구하는 도형을 판별하지 못했다. 히죽이 과제에서 피검자는 1, 4, 5, 6번 도형이 히죽이라고 응답했다. 물론 피검자는 정확하게 히죽이를 골라내었지만, 그러나 "왜 그들이 히죽이라고 생각하느냐? 그렇게 생각하는 기준이 있는가?"라는 검사자의 질문에 대해서 피검자는 1, 4, 5번 도형에 대해서는 "첫 번째 줄에 있는 도형들과 비슷하게 생겼으니까"라고 응답했고, 6번째 도형에 대해서는 "음, 약간 비슷하니 그럴 것 같은데 ..."라고 응답했다. 이 과제에서 히죽이가 되는 기준은 각 도형이 완전히 밀폐되어 있지 않고 도형의 일부가 끊어져 있는 상태로 되어 있는 것이 히죽이가 되는 기준이다. 그러나 피검자는 그러한 기준을 찾기보다는 비슷한 형태로 된 도형을 골랐다. 히죽이 과제에서 피검자와 검사자가 주고받은 대화내용은 다음과 같다.

검사자: 이 검사는 히죽이라는 도형은 찾는 과제입니다. 찾는 방법을 설명하면 다음과 같습니다. (첫 번째 줄을 가리키며) 이 줄에 있는 그림도형은 모두 히죽이입니다. 그러나, (두 번째 줄을 가리키며) 여기에 있는 그림도형들은 모두 히죽이가 아닙니다. 이 두 줄에 있는 그림들을 가지고 잘 생각하시면 히죽이라는 도형이 될 수 있는 기준을 생각하실 수가 있을 겁니다. 그런 다음, 세 번째 줄에서 히죽이가 될 수 있는 것을 있는 대로 모두 골라 보세요.

피검자: 글썸 ..., 이거 어렵네 ...

검사자: (세 번째 줄의 1번 도형을 가리키며) 이것이 히죽이인가요?

피검자: 음, 그런 것 같네요 ...

검사자: (2번 도형을 가리키며) 그럼 이것은 어떻습니까?

피검자: 아닌 것 같네요.

(이렇게 검사자가 3, 4, 5, 그리고 6번 도형을 가리켰을 때 피검자는 3번 도형은 아니라고 응답하고, 4, 5, 그리고 6번 도형은 히죽이라고 응답했다)

검사자: 그럼 왜 1번 도형이 히죽이인지 혹시 아십니까?

피검자: 음, 이것은 (첫 번째 줄의) 1번 도형과 방향만 반대이고 모양은 비슷하므로 그런 것 같네요.

검사자: 그럼 2번 도형은 왜 아니죠?

피검자: 그것은 두 번째 줄에 있는 삼각형과 비슷하니까 그런 것 같네요. 아, 이젠 이런 것 잘 몰라요 ...

(피검자는 3, 4번 도형에 대해서도 이런 전략으로 약간은

의심하면서 과제를 해결했다고 응답했다. 그러나 5번 도형에 대해서는 확실성을 가진 듯 자신 있게 응답했다. 그 5번 도형은 첫 번째 줄의 4번 도형과 방향만 다를 뿐 모양이 동일했다.)

검사자: 그럼 (6번 도형을 가리키며) 이것은 비슷한 게 없는데요? 왜 히죽이일까요?

피검자: 글썸..., 그렇구나. 비슷하게 없는데 .... 그러나 비슷한 것 같은데 ...?

도형판별검사에서 히죽이 과제를 제외한 다른 3개의 과제에서는 피검자가 과제를 해결하지 못하였다. 왜냐하면, 그 과제들은 모양이 비슷하다는 속성만 가지고는 해결할 수 없도록 구성되어 있기 때문이다. 예를 들면, 유들이 과제를 해결하기 위해서는 피검자는 한 개의 큰 점, 수많은 작은 점들, 그리고 꼬리를 모두 갖춘 도형을 골라야 한다. 그러나 피검자는 이러한 기준을 찾지 못하고 겉모양에 의존해서 문제를 해결하려고 시도하였다. 이를 뒷받침하는 증거로서 피검자는 세 번째 줄의 1번 도형을 두 번째 줄의 1번 도형과 비슷하므로 유들이가 아니라고 응답하였고, 세 번째 줄의 2, 5, 6번 도형은 첫 번째나 두 번째 줄에 있는 도형 가운데 모양이 비슷한 것이 없으므로 알아낼 수 없다고 응답하였다. 반면에 세 번째 줄에 있는 4번 도형은 첫 번째 줄에 있는 5번 도형과 비슷하므로 유들이라고 응답하였다. 그러나 유들이 과제에서 세 번째 줄에서 정확한 유들이는 1, 2, 그리고 6번 도형이다.

그러나 만약 피검자가 앞의 과제에서 문제의 의미를 이해하지 못했다면 이들 과제에 대해서 해결하지 못했을 가능성도 있다. 이 가능성을 테스트하기 위하여 연구자들은 다음과 같은 실험을 다시 실시하였다. 즉, 이번에는 '히죽이 과제'에서 히죽이가 될 수 있는 기준을 찾는 방법과 기준을 알려준 다음, 메롱이, 유들이, 그리고 퀴크 과제를 해결할 수 있는 기준을 찾아보라고 하였다. 만약 피검자가 연역적 또는 과학적 추론 능력은 있으나, 문제에서 요구하는 의미를 이해하지 못해서 과제를 해결하지 못했다면, 이러한 방법을 사용하여 문제를 해결하라고 한다면 해결할 수 있어야 할 것이다. 참고로 문제해결을 위해서 메롱이 과제는 두 개의 기준이 필요하고, 유들이와 퀴크는 각각 3개씩의 기준이 필요했다. 그러나 피검자는 히죽이가 될 수 있는 기준을 알려준 다음, 메롱이, 유들이, 그리고 퀴크 과제들을 해결할 수 있는 기준을 찾아보라는 연구자의 요구에 "잘 모르겠는걸"이라고 응답하였다.

이상의 결과에 대해 연구자들은 다시 메롱이, 유들이, 그리고 퀴크 과제들이 문제를 해결하는 기준이 1개보다 많은 기준을 가지고 있어서 피검자가 문제해결에 실패하였을 가능성에 대해서도 테스트하였다. 즉, 문제를 해결하기 위해 1개만의 기준을 갖는 과제(뽀글이 과제: 원제 Bleeps)하나를 Crea-

ture Card Task (Elementary Science Study, 1974)에서 밝혀져 추가로 피검자에게 투여하여 보았다. 이 과제의 문제 해결 기준은 수많은 작은 점이다. 이 과제의 첫 번째 줄에는 과제에서 요구하는 옳은 도형들이 나열되어 있는데, 이들 중 1번 도형은 세 번째 줄의 4번 도형과 그려진 방향은 다르지만 모양이 같다. 그러나 세 번째 줄의 4번 도형은 수많은 작은 점으로 도형이 채워져 있는 것이 아니라, 여러 개의 평행선으로 채워져 있다. 두 번째 줄에 있는 도형들은 과제에서 요구하는 옳은 도형이 아니다. 그런데 두 번째 줄에 있는 한 도형은 도형의 안쪽 부분이 세 번째 줄의 4번 도형과 같은 종류의 평행선으로 채워져 있다. 만약 피검자가 연역적 추론을 적용할 수 있다면, 이 과제에서 세 번째 줄의 4번 도형이 이 과제에서 요구하는 옳은 도형이 아니라고 응답해야 할 것이다. 그러나 피검자는 세 번째 줄의 4번 도형이 과제에서 요구하는 옳은 도형이라고 응답하였다. "왜 그것이 옳은 것이냐?"라는 검사자의 질문에 피검자는 "비슷하게 생겼잖아!"라고 응답했다.

이상의 결과를 볼 때 피검자는 도형판별검사의 문제해결 전략이 '연역적 또는 과학적 추론 전략'을 적용하기보다는 '비슷한 것 고르기 전략'을 사용하였다고 결론을 내릴 수 있다. 즉, 피검자는 11세 이상의 형식적 조작기에 있는 인간이 적용할 수 있는 (Inhelder & Piaget, 1958) *If ... and ... then ... therefore*의 연역적 또는 과학적 추론을 사용하지 못하는 것으로 나타났다. 그러나 본 연구의 다음 절에 제시될 신경심리학적 연구에서도 15세 학생들은 도형판별검사의 4개 과제 중 평균적으로 3개, 14세 학생들은 4개 과제중 평균 2.3개 과제를 해결하는 것으로 나타났다. 즉, 임상적 관찰연구의 전두엽연합령 손상환자는 도형 판별 검사에서 15세 학생들보다는 평균 2개 적게, 그리고 14세 학생들보다는 평균 1.3개 적게 과제를 해결하는 것으로 나타났다. 아울러, 인터뷰 연구 결과가 전두엽연합령 손상환자는 도형판별검사서 명백히 과학적 추론 전략을 적용하지 못하는 것으로 나타났다.

또한 Lawson (1993b)에 따르면, *If ... and ... then ... therefore* 형태의 연역적 추론을 아동들에게 훈련시킨 후 도형판별검사를 해결하도록 요구하였을 때, 8세 이상의 거의 모든 아동이 과제를 해결할 수 있었다. 그러나 본 연구의 피검자인 전두엽연합령 환자는 비록 과제의 기준을 찾는 방법과 기준을 가르쳐 주었지만, 다른 상황의 문제를 해결하도록 요구하였을 때 피검자는 기준을 찾지 못하였을 뿐만 아니라 과제를 해결하지 못하였다. 이상의 결과를 고려할 때, 45세 된 전두엽연합령 손상환자는 8세 아동의 연역적 추론 능력과 비교하여 결코 추론적 과제에 대한 문제해결 능력이 높다고 하기가 어렵다.

## 2) 과학적 추론 검사 결과

과학적 추론 능력 검사에서 피검자는 12개의 모든 과제에서 과제를 해결하지 못하였다. 첫 번째 과제인 무게보존 과제에 대해서 피검자는 공 모양으로 된 찰흙이 더 무겁다고 반응했다. 왜 공 모양으로 된 찰흙이 더 무겁냐는 검사자의 질문에 피검자는 그냥 무거운 것 같다고 응답했다. 두 번째 과제인 부피보존 과제에 대해서도 피검자는 쇠구슬이 유리구슬보다 물이 더 많이 올라갈 것이라고 반응했다. 왜 쇠구슬을 넣었을 때 물이 더 많이 올라갈 것이라고 생각하느냐라는 검사자의 질문에 피검자는 "쇠가 더 무겁잖아!"라고 응답했다. 이상의 반응 결과를 고려할 때, 피검자는 무게뿐만 아니라 부피보존 과제에서 무게 및 부피보존 추론을 적용하지 않는다는 결론을 내릴 수 있다.

물 부피에 대한 비율추론 과제에 대해서 피검자는 처음에는 24가 된다고 응답하였다가, 잠시 후 10이 된다고 하였다. 왜 24가 되느냐는 검사자의 질문에 피검자는 " $4 \times 6 = 24$ 잖아"라고 응답하였다. 그런 다음 검사자는 다시 "왜 여기서  $4 \times 6$ 을 하느냐?"라고 질문하였더니, 피검자는 "음 아니군  $4 + 6$ 을 해야하는군. 답은 10이야"라고 응답했다. 이상의 피검자의 응답으로 볼 때 피검자는 과제에서 요구하는 것의 의미를 알지 못하는 것으로 판단되었다. 그래서 검사자는 피검자에게 문제가 요구하는 내용을 검사실에 있는 크기가 다른 두 개의 컵을 사용하여 다시 한번 설명해 주었다. 그러나 약 1분간의 생각 후에 피검자는 다시 "잘 모르겠는걸"하고 반응하였다. 이상의 반응 결과를 고려할 때, 피검자는 비율추론 과제에서 비율추론을 적용하지 못한다는 결론을 내릴 수 있다.

과학적 추론 검사의 나머지 과제들에 대해서도 피검자는 적절하게 과제를 해결할 수 있는 추론을 사용하지 못하였다. 그러나 피검자가 과제를 해결할 때 한가지 특이한 전략을 보였다. 그 전략은 한가지 단서에만 집착하고 여러 상황을 종합해서 고려하지 못한다는 것이다. 예를 들면, 진자운동 과제에서 피검자는 줄의 길이가 미치는 영향을 알아보려면 2번 줄만 조사하면 된다고 하였고, 무게의 영향을 알아보려면 3번만 조사하면 된다고 응답하였다. 또한 파리의 반응에 대한 변인 통제 과제에서도 파리는 빛을 따라 움직였다고 반응했다. 이 반응에 대해서 검사자는 다시 "그럼 중력에 대해서는 움직이지 않았느냐?"라는 질문에 피검자는 "중력은 없는데 ... 그냥 빛 따라 움직였어"라고 응답했다. 특히 이 과제에서는 중력을 나타내는 어떤 단서도 문제에 표지되어 있지 않았으므로 피검자는 중력의 영향은 없다고 단정하였다. 나머지 확률, 조합, 그리고 상관추론 과제들에 대해서는 모르겠다고 반응하였다.

이상의 결과를 고려할 때, 전두엽연합령 손상환자는 보존,

비율, 확률, 변인통계, 조합, 또는 상관 추론을 적용할 수 있는 능력이 없다는 결론을 내릴 수 있다. 그러나 Piaget에 따르면 11세 이상의 형식적 조작 단계에 있는 대부분의 아동들은 이들 추론을 적용할 수 있다고 하였다 (Piaget & Inhelder, 1958). 특히 다음절의 신경심리학적 연구 결과에서 대부분의 14세 이상의 아동이 적용할 수 있는 보존 과제 (과학적 추론 검사의 1, 2번 과제) 및 변인통계 과제 (과학적 추론 검사의 5, 6번 과제)에 대해서도 이 뇌 손상환자는 적용 능력이 없음이 밝혀졌다.

### 3) WCST 검사 결과

본 연구에서는 유용한 전두엽연합령 기능검사의 하나인 WCST를 사용하여 사례연구 대상자의 사고 기능을 조사하였다. 피검자에게 이 카드분류검사의 수행 방법을 상세하게 알려주고 난 다음 검사를 진행하였다. 이 검사에서 피검자는 처음의 기준을 찾지도 못하였다. 또한 피검자는 숫자기준에 과도한 집착을 가지고 카드를 분류하였다.

그래서 검사자는 피검자에게 처음 기준인 색깔 기준을 알려주고 피검자의 분류과정을 관찰하였다. 그런 후 열 번의 정확한 분류 후 기준을 모양으로 변화하였더니, 피검자는 다시 숫자기준으로 돌아왔다. 숫자에 의한 피검자의 분류에 검사자는 계속 “틀렸습니다”라고 알려주었지만, 피검자는 숫자기준을 계속 유지하였다. 이 검사에서 피검자는 128개의 카드분류에서 한 번도 기준을 찾아내지 못하였으며, 틀린 횟수가 128중 85회이며, 바르게 분류한 것도 대부분이 우연에 의한 분류이다 (예를 들면 숫자로 분류하였으나 그 분류가 숫자뿐만 아니라 색깔기준도 함께 포함하고 있는 경우). 또한 피검자가 수행한 카드분류의 128회의 분류중 80회가 과도한 집착성 반응에 따른 분류이었다. 즉, 숫자에 과도한 집착성 반응을 나타낸 것이다.

카드분류에서 처음 피검자는 모양 또는 숫자에 의거해서 카드를 분류하였다. 그러나 피검자는 그후의 분류가 모두 숫자에 의거해서 분류했음을 감안해 볼 때 처음의 분류도 숫자에 의거해서 분류하였다고 결론지을 수 있다. 처음 피검자는 검사자의 계속된 “틀렸습니다”라는 피드백에도 불구하고 계속해서 숫자에 의거해서 카드들을 분류하였다.

이상의 결과를 고려할때 피검자는 *If …… and … then … therefore* 형태의 연역적 및 과학적 추론을 적용하여 카드를 맞게 분류하지 못한다고 생각할 수 있다. 그러나 한편으로 피검자는 기준이 무엇을 의미하는지 이해하지 못해서 처음 여러 번의 카드분류에서 정확한 분류를 하지 못하였다고 가정할 수도 있다. 이 두가지 가설들을 테스트하기 위하여 연구자들은 피검자에게 처음에 기준이 색깔이라고 알려준 다음, 피

검자가 이 색깔기준에 따라 열 번의 정확한 분류를 하도록 유도한 후 기준을 피검자에게 알리지 않고 모양으로 변화하여 보았다. 만약 피검자가 *If …… and … then … therefore* 형태의 연역적 추론을 적용할 수 있지만 기준이 무엇을 의미하는지 이해할 수 없어서 처음 여러 번의 과제를 해결하지 못하였다면, 이렇게 색깔이라는 기준의 예를 알려주고 여러 번 정확하게 분류한 다음 기준을 변화시킨다면 피검자는 그 변화된 기준을 찾을 수 있을 것이다. 그러나 기준이 무엇을 의미하는지 몰라서 라기 보다는 그런 연역적 추론을 적용할 수 없어서 카드를 올바르게 분류하지 못하였다면 피검자는 변화된 기준을 찾지 못할 것이다. 실제로 피검자에게 실시해본 결과, 색깔이 틀렸다는 검사자의 피드백을 들은 후부터는 모양기준을 찾기보다는 계속해서 숫자기준으로 카드를 분류하였다. 이상의 결과를 분석할 때, 전두엽연합령이 손상된 피검자는 *If …… and … then … therefore* 형태의 과학적 추론을 적용할 수 없어서 카드분류과제를 올바르게 수행할 수 없다는 가설이 지지된다고 결론지을 수 있다. 특히 이러한 연역적 추론능력의 부족은, 피검자가 틀렸다는 검사자의 피드백에도 불구하고 계속해서 숫자에 집착하는 것을 볼 때, 자신이 처음에 마음에 품었던 어떤 한 기준(숫자)에 대한 과도한 집착성 반응에서 오는 정보판단 능력의 부재로 야기된 결과라고 할 수 있다.

## 2. 신경심리학적 연구

본 연구에서 과학적 추론 능력과 전두엽연합령 기능간의 상관성을 조사하기 위하여 중학교 3학년으로부터 고등학교 2학년에 해당되는 학생들에게 추론능력 검사와 WCST를 검사하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 아울러 본 연구는 장독립성 정도가 추론 능력에 미치는 영향을 조사하기 위하여 실시한 잠입도형검사의 결과도 함께 제시하였다.

### 1) 각종 검사의 결과

본 연구의 종속변인들은 도형판별검사(MTT), 과학적 추론 검사 (CTSR), 그리고 이들 두 검사를 합한 종합 점수 (MC)이다. 본 연구의 독립변인들은 연령, WCST의 과도한 집착성 오류, 그리고 잠입도형검사 (GEFT)이다. 각 연령층에서 이들 변인들의 평균과 표준편차는 <표 1>과 같다.

학생들의 연령이 14, 15, 16, 그리고 17세인 각 집단에서 MC의 평균은 7.71, 11.09, 11.09, 그리고 12.17이다. MC는 도형판별검사의 4점과 과학적 추론검사의 12점을 합한 16점이 이론상 도달 가능한 최대점수이다. 14세 그룹의 MC 평균은 다른 집단들보다 통계적으로 유의미하게 ( $p < .01$ ) 낮은 점

〈표 1〉 학생들의 연령별 검사결과

연령	MC		MTT		CTSR		WCST		GEFT	
	평균	표준 편차	평균	표준 편차	평균	표준 편차	평균	표준 편차	평균	표준 편차
14	7.71	3.69	2.25	1.36	5.46	2.71	19.79	11.19	11.79	4.97
15	11.09	3.83	2.97	1.18	8.11	3.01	14.20	8.742	17.83	6.94
16	11.09	3.17	2.67	0.99	8.42	2.80	13.36	8.07	15.03	6.88
17	12.17	2.64	2.66	1.03	9.50	1.87	14.50	7.61	16.00	6.48

MC: MTT and CTSR, MTT: Melinark Type Task, CTSR: Classroom Test of Scientific Reasoning, WCST: Wisconsin Card Sorting Test, and GEFT: Group Embedded Figure Test.

수를 기록했다. 그러나 나머지 15, 16, 그리고 17세 집단간에는 통계적으로 유의미한 차이를 발견할 수 없었다. 도형판별 검사와 과학적 추론검사의 평균도 MC의 평균과 비슷한 분포를 나타내었다. 이들 두 검사에서도 14세 집단이 통계적으로 유의미하게( $p < .01$ ) 다른 그룹보다 낮은 점수를 보여주었다. 14, 15, 16, 그리고 17세 집단에서 카드분류검사의 과도한 집착성 오류는 각각 19.79, 14.20, 13.36, 그리고 14.50을 나타내었다. 과도한 집착성 오류 역시 14세 집단이 다른 집단보다 통계적으로 유의미하게( $p < .05$ ) 낮은 점수분포를 보여주었다. 잠입도형검사의 평균은 14, 15, 16, 그리고 17세 그룹에서 11.79, 17.83, 15.03, 그리고 16.00을 나타내었다. 잠입도형 검사 역시 14세 그룹이 다른 그룹의 평균점수 보다 통계적으로 유의미하게( $p < .01$ ) 낮은 평균점수를 기록했다.

본 연구의 결과는 모든 검사의 평균점수에서 14세 집단이 다른 집단보다 통계적으로 유의미하게 낮은 점수를 기록했다. 그러나 15, 16, 그리고 17세 집단 사이에서는 통계적으로 유의미한 차이를 발견할 수 없었다. 무엇이 이같이 14세 그룹이 다른 집단보다 의미 있는 낮은 점수를 기록하게 하였을까? 거기에는 두가지 가능한 설명이 그 원인으로 제공될 수 있리라라고 본 연구자들은 생각한다. 첫째는 최근의 신경학적 연구에 따르면 (e.g., Thatcher, 1990) 두뇌의 발달은 Piaget 이론에 따라 14세에서 완성되는 것이 아니라 그 이후 15세에서 성인기까지 또다른 발달단계를 거친다는 것으로서 이 원인을 설명할 수 있다. 다른 한가지 설명은 거의 모든 14세 피검자들은 중학생이고 15세 이후 피검자들은 고등학생이므로, 이 학교 교육 기간의 차이 때문에 위와 같은 현상이 나타났으리라고 고려할 수도 있다.

Thatcher(1990)는 뇌전도(Electroencephalograph: EEG)에 나타나는 뇌파를 이용해서 2달된 유아로부터 17세 된 청소년 577명을 대상으로 대뇌피질의 성숙도를 조사하였다. EEG는 두피의 19개 부분지역에 뇌파를 감지할 수 있는 장치를 한 다음, 특정 사고 활동 중에 나타나는 두뇌의 뇌파 측정

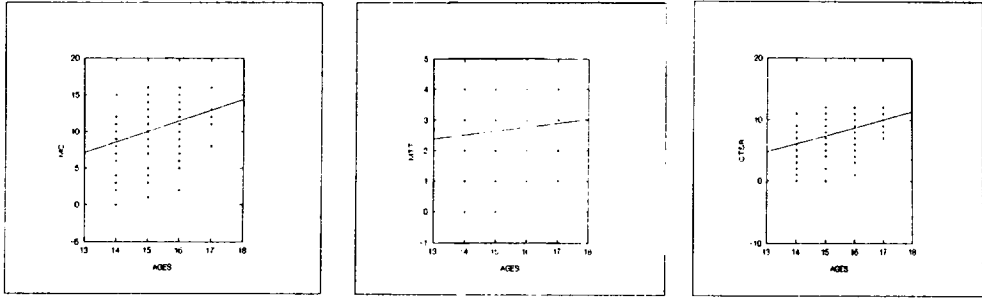
측정결과이다. Thatcher의 연구결과는 11세와 14세 사이에서 의미 있는 대뇌피질간 연결망의 급속한 발달뿐만 아니라, 15세에서 성인기까지의 사이에서도 의미 있는 대뇌피질간 연결망의 급속한 발달도 아울러 보여주었다고 진술했다. 이 연구결과를 토대로 Thatcher는 15세 이후의 두뇌발달이 14세 이전의 두뇌발달과는 의미 있는 차이를 보인다고 결론지었다. 즉, 15세 이후의 두뇌활동(예를 들면 고등인지기능)이 14세 이전의 두뇌활동보다 기능에서 유의미한 발달을 보여준다는 것을 의미할 수도 있다. 그러므로 본 연구에서 나타난 것처럼, 몇 가지 검사에서 14세 집단의 평균이 15세 이후의 집단의 평균보다 유의미 하게 낮은 것은 바로 이 두뇌기능의 미발달에서 오는 차이일 수도 있다는 것이다.

본 연구에서 나타난 14세 집단의 낮은 평균에 대한 또다른 설명은 학교교육 기간의 차이에서 올 수도 있다. 실제로 과학적 추론 검사는 본 연구에서 사용한 다른 검사에 비해서 학교에서 배우는 교육내용과 훨씬 더 밀접하게 관련되어 있다. 그러므로 과학적 추론 검사의 결과는 14세보다 15세, 15세보다 16세, 그리고 16세보다는 17세 그룹에서 보다 높은 평균점수를 보여주고 있다 (표 1). 따라서 학교교육이 본 연구에서 조사한 각종 검사에서 14세 집단이 다른 그룹에 비해 상대적으로 유의미하게 낮은 원인은 학교교육 기간의 차이에서 기인하였을 수도 있을 것이다. 하지만, 비록 14세 그룹이 모든 검사의 평균에서 유의미 하게 낮지만, 이러한 학교교육의 기간차이에도 불구하고 도형판별검사는 15세가, 과도한 집착성 오류에서는 16세가, 그리고 잠입도형검사에서는 15세의 점수가 가장 높게 나타났다 (표 1). 따라서 이런 검사의 결과는 학교교육의 기간차이에서 기인된다는 가설로는 설명하기는 어렵다.

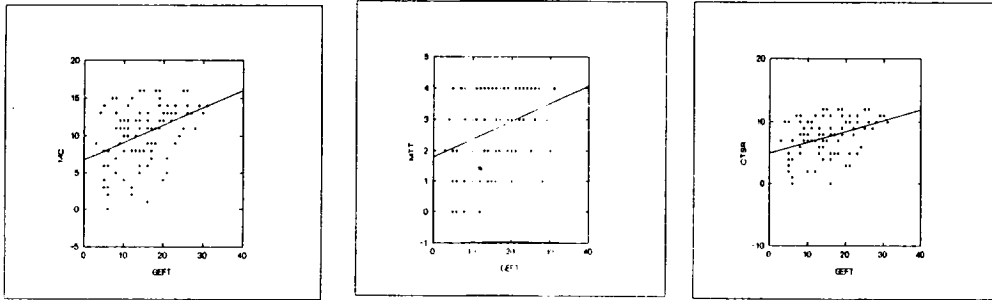
## 2) 변인측정치의 분포

본 연구에서 검사된 각종 종속변인들과 각종 독립변인들간의 분포상태는 〈그림 1〉, 〈그림 2〉, 〈그림 3〉에 나타내었다.

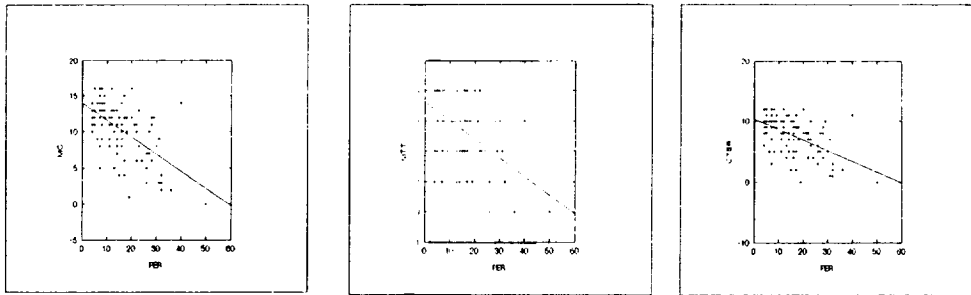




<그림 1> 연령에 따른 종속변인의 점수 분포



<그림 2> GEFT(잠입도형검사)점수에 따른 종속변인의 점수 분포



<그림 3> PER(과도한 집착성 오류)점수에 따른 종속변인의 점수 분포

<그림 1>은 피검자의 연령에 따른 MC, MTT, 그리고 CTSR 점수사의 분포도를 나타낸 것이다. 이 분포도는 나이로 인한 일반적 성숙이 과학적 추론 능력의 발달과 부분적으로 정적 상관이 있음을 나타내어 주고 있다.

<그림 2>는 잠입도형검사와 MC, MTT, 그리고 CTSR 점수의 분포도를 나타낸 것이다. 이 분포도는 연구대상의 장독립성 정도가 과학적 추론 능력의 발달과 밀접한 상관이 있음을 나타내어 주고 있다.

<그림 3>은 카드분류검사의 과도한 집착성 오류와 MC, MTT, 그리고 CTSR 점수의 분포도를 나타낸 것이다. 이 분포도는 연구대상의 전두엽연합령의 기능이 과학적 추론 능력의 발달과 명백하게 부적 상관이 있음을 나타내어 주고 있다.

이상의 결과를 볼 때, 비록 나이에 의한 일반적 성숙이 MTT와 다소 약한 관련이지만, 위의 3가지 분포도는 나이에 의한 일반적 성숙, 장독립성 정도, 그리고 전두엽연합령의 기능이 과학적 추론 능력의 발달에 대한 가능성 있는 원인이 될

수 있다는 가설들을 지지해 준다.

3) 독립변인들과 과학적 추론 단계.

Lawson의 과학적 추론 발달 단계의 분류에 따르면(Lawson, 1995), 학생들의 과학적 추론 능력은 과학적 추론 검사 결과를 바탕으로 다음 세 단계로 나눌 수 있다고 하였다. 첫째 단계는 경험적-귀납적(empirico-inductive) 단계, 두 번째 단계는 전이(transitional) 단계, 그리고 세 번째 단계는 가설-연역적(hypotheticodeductive) 단계로 분류할 수 있다고 하였다. 이 분류체계에 따라 본 연구에서 조사한 학생들을 위의 3가지 단계중 하나로 분류하였다. 과학적 추론 검사에서 0-4점을 획득한 학생은 경험-귀납적 단계로, 5~8점을 획득한 학생은 전이 단계로, 그리고 9~12점을 획득한 학생은 가설-연역적 단계로 구분하였다. 경험-귀납적 단계는 16명, 전이 단계는 36명, 그리고 가설-연역적 단계는 46이었다.

본 연구는 위에서 언급한 과학적 추론의 3가지 각 단계에서 분포된 독립변인들인 나이, 잠입도형검사의 점수, 그리고 카드분류의 과도한 집착성 오류를 비교하였다. 각 과학적 추론 단계에 있는 학생의 숫자를 나이, 잠입도형검사의 점수, 과도한 집착성 오류에 따라 분류하여 분할표로 나타내었다(표 2~4).

〈표 2〉, 〈표 3〉, 그리고 〈표 4〉는 과학적 추론 능력과 위에서 언급한 3가지 독립변인들 사이에 매우 유의미한 빈도 분포의 차이가 있음을 보여주고 있다 ( $\chi^2 = 20.36, p < .002, \chi^2$

〈표 2〉 과학적 추론 능력과 연령의 관계

과학적 추론 능력	연 령				계
	14	15	16	17	
경험-귀납적 단계	8	4	4	0	16
전이 단계	14	10	10	2	36
가설-연역적 단계	2	21	19	4	46
계	24	35	33	6	98

〈표 3〉 과학적 추론 능력과 GEFT로 측정된 장 독립성의 관계

과학적 추론 능력	GEFT로 측정된 장 독립성			계
	0~10	11~21	22~32	
경험-귀납적 단계	8	8	0	16
전이 단계	12	20	4	37
가설-연역적 단계	8	22	16	45
계	28	50	20	98

〈표 4〉 과학적 추론 능력과 WCST로 측정된 과도한 집착성 오류점수의 관계

과학적 추론 능력	WCST로 측정된 과도한 집착성 오류 점수			계
	0~10	11~20	21~	
경험-귀납적 단계	1	5	10	16
전이 단계	6	18	12	36
가설-연역적 단계	28	14	4	46
계	35	37	26	98

$= 14.56, p < .005, \chi^2 = 31.90, p < .00001$ ). 비록 세 가지 독립변인 중에서 카드분류검사의 과도한 집착성 오류가 과학적 추론 단계와 가장 강한 빈도분포의 차이를 보여주고 있지만, 그러나 chi-square검증은 세 가지 가설 모두 연역적 및 과학적 추론 능력에 대한 타당한 설명이 될 수 있음을 보여주고 있다. 그러므로 이 단계까지의 연구결과를 토대로 하여 보면, 전두엽연합령의 기능은 물론이고 나이에 따른 성숙과 장 독립성 정도는 연역적 및 과학적 추론 능력의 발달의 원인에 대한 설명을 제공할 수 있음을 보여주고 있다.

4) 종속변인과 독립변인간의 상관관계

이 연구의 주된 목적은 학생들의 과학적 추론 능력을 제한하는 요인은 무엇인가라는 질문을 설명하는 것이다. 이 질문에 대해서 좀더 상세하게 설명하게 하기 위하여 본 연구는 종속변인과 독립변인사이의 상관관계를 조사하였다.

Piaget 이론에 따르면(Wadsworth, 1976; Pascual-Leone, 1970; Ginsburg & Opper, 1976), 아동의 일반적 성숙은 나이에 따라 증가한다. 나이에 따른 성숙은 바로 인지 발달의 4가지 중요한 요인중의 하나이다(Piaget, 1961). 그러므로 본 연구의 연역적 및 과학적 추론 능력의 발달은 이러한 나이에 따른 일반적 성숙으로 설명할 수 있을 가능성을 배제할 수 없다. 장 독립성 역시 지적 및 과학적 추론 능력의 발달에 가장 중요한 요인으로 여겨져 왔다(Witkin, et al., 1967; Pascual-Leone, 1970; Case, 1976; Blake, 1976; Lawson, 1976; Lawson & Wollman, 1977; Linn et al., 1981). 따라서 본 연구는 연역적 및 과학적 추론 능력의 발달에 대한 본 연구의 중심가설인 전두엽연합령의 기능 가설뿐만 아니라 이들에 의한 일반적 성숙 및 장 독립성 가설의 가능성도 테스트하였다.

〈표 5〉는 종속변인과 독립변인사이의 Pearson 상관계수를 나타낸다. MC와 카드분류검사의 과도한 집착성 오류사이의 계수가  $-0.58$ 로서 모든 상관계수가운데 가장 높게 나타났

〈표 5〉 각 변인들간의 Pearson 상관계수

	MC	MTT	CTSR	PER	GEFT	연령
MC	1.00					
MTT	0.72	1.00				
CTSR	0.94	0.50	1.00			
PER	-0.58	-0.49	-0.53	1.00		
GEFT	0.41	0.33	0.39	-0.30	1.00	
연령	0.35	0.10	0.40	-0.28	0.15	1.00

다. 또한 MTT와 과도한 집착성 오류, 과학적 추론 검사와 과도한 집착성 오류는 각각 -0.49와 -0.53으로서 통계적으로 유의미한 상관을 보여주었다. 비록 과도한 집착성 오류보다는 낮지만, 나이와 잠입도형검사 역시 MC 및 과학적 추론 검사와 통계적으로 유의미한 상관관계를 보여주었다. 아울러 잠입도형검사는 MTT와도 통계적으로 의미 있는 상관을 보여주었다.

상관관계 연구의 결과는 과학적 추론 발달에 대한 나이에 의한 성숙, 장독립성 정도, 그리고 전두엽연합령 기능의 가설들을 지지해 준다. 그러나 상관관계 연구는 세 가지 변인, 즉 전두엽연합령의 기능을 나타내는 WCST의 과도한 집착성 오류가 MTT, 과학적 추론 검사, 그리고 MC의 결과와 가장 높은 상관관계를 나타내고 있음을 보여주었다. 그러므로 상관관계 연구는 비록 나이에 의한 성숙이나 장독립성 정도도 추론능력의 발달에 대한 유의미한 설명이 될 수도 있지만, WCST의 과도한 집착성 오류로 측정된 전두엽연합령의 기능이 추론능력의 발달에 보다 더 많은 설명을 제공해 줄 수 있

다는 가능성을 지지하여 주었다.

### 5) 다중회귀분석

본 연구에서 제시된 가설들에 대한 테스트의 마지막 단계로서 연구자들은 종속변인과 독립변인들의 자료들을 단계적 다중 회귀(stepwise multiple regression)를 적용하여 분석하였다. 이 분석 방법은 종속변인들에 대한 독립변인의 설명 정도를 제시해 줄 수 있으므로, 과학적 추론에 대한 본 연구의 가설들의 설명 정도를 정량화 해줄 수 있으리라 기대된다. 즉, 과학적 추론에 대한 각 독립변인들의 단일 설명량을 제시해 줄 수 있으므로, 이 분석의 결과는 추론 능력에 대한 보다 중요한 요인을 밝혀낼 수 있으리라 기대된다. 이 분석의 결과는 MC 변인에 대해서는 〈표 6〉, MTT에 대해서는 〈표 7〉, 그리고 CTSR에 대해서는 〈표 8〉에서 나타내었다.

〈표 6〉에서 나타난 것처럼 MC변인에 대해서 나이, 잠입도형검사, 그리고 과도한 집착성 오류 변인 모두 통계적으로 유의미한( $p < .05$ ) 상관을 나타내고 있다. 이들 세 변인은 MC

〈표 6〉 MC변인과 다른 변인 사이의 다중회귀 분석

#### 가. 회귀분석

다중상관계수 (R): 0.660, 결정계수 (R<sup>2</sup>): 0.436

변인	계수	표준오차	표준계수	계	T	P
상수	-2.06	5.84	0.00	0.00	-0.35	0.724
PER	-0.19	0.03	-0.46	0.86	-5.46	0.000
GEFT	0.14	0.05	0.25	0.91	3.06	0.003
연령	0.07	0.03	0.19	0.92	2.32	0.023

#### 나. 변량 분석

변량원	자승화	자유도	평균자승화	F	P
회귀	605.71	3	201.90	24.15	0.000
잔여	785.84	94	8.36		

**<표 7> MTT변인과 다른 변인 사이의 다중회귀 분석**

**가. 다중 회귀분석**

다중 상관계수 (R):0.527 결정계수 (R<sup>2</sup>):0.278

변인	계수	표준오차	표준계수	계	T	P
상수	2.98	0.36	0.00	0.00	8.40	0.000
PER	-0.05	-0.01	-0.43	0.91	-4.72	0.000
GEFT	0.04	0.02	0.20	0.91	2.20	0.030

**나. 변량 분석**

변량원	자승화	자유도	평균자승화	F	P
회귀	37.03	2	18.51	18.22	0.000
잔여	96.53	95	1.02		

점수의 약 43.5%를 설명해주고 있다.

그러나 종속변인에 대한 독립변인의 설명정도를 나타낼 때 다른 독립변인의 영향을 제외한 상태에서 분석한 결과는 세 변인들 사이에서 많은 차이를 나타낸다. 첫째, MC점수의 변산에 대해 과도한 집착성 오류에 관련되어 있는 나이와 잠입도형검사의 영향을 배제한 다음 WCST의 과도한 집착성 오류만의 상대적인 공헌도인 부분 표준계수(standard coefficient)는 -0.46으로 분석되었다. 이 부분 표준계수를 보면 그 변인의 상대적 공헌도를 이해할 수 있다. 본 연구에서 MC에 대한 과도한 집착성 오류의 부분 표준계수는 -0.46인 반면, 잠입도형검사와 나이의 표준계수는 각각 0.25와 0.19이다. 여기서 음의 부호는 단지 방향만 나타낸다. 그러므로 전두엽연합령의 기능을 의미하는 과도한 집착성 오류의 MC에 대한 상대적인 공헌도는 다른 독립변인들 보다 훨씬 크다고 할 수 있다.

<표 7>은 도형판별검사(MTT) 변인에 대해서 과도한 집착성 오류와 잠입도형검사의 점수가 통계적으로 유의미한(p<.05) 상관관계를 나타내고 있음을 보여준다. 이들 두 독립변인이 MTT변인변량의 약 27.7%를 설명해 준다.

그러나 종속변인에 대한 독립변인의 설명정도를 나타낼 때 다른 독립변인의 영향을 제외한 상태에서 분석한 결과는 WCST의 과도한 집착성 오류가 훨씬 많은 영향을 미치고 있음을 나타내고 있다. MTT점수의 변산에 대해 과도한 집착성 오류에 관련되어 있는 잠입도형검사의 영향을 배제한 다음, 이 MTT에 대한 WCST의 과도한 집착성 오류만의 상대적인 공헌도인 부분 표준계수는 -0.43으로 나타났다. 그러나 그와 반대로 과도한 집착성 오류가 잠입도형검사에 관련되어 있는 영향을 배제한 상태에서 MTT점수의 변산에 대한

잠입도형검사의 상대적 공헌도인 부분 표준계수는 0.20으로 과도한 집착성 오류의 공헌도보다 훨씬 적다. 이것 역시 전두엽연합령의 기능이 장독립성보다 과학적 추론에 더 많은 영향을 미쳤음을 나타내 주고 있다.

<표 8>은 과학적 추론 검사(CTSR) 변인에 대해서 과도한 집착성 오류, 잠입도형검사, 그리고 나이의 변인이 통계적으로 유의미한(p<.05) 상관관계를 나타내고 있음을 보여준다. 이들 세 독립변인이 CTSR변인에 대해서 약 40.1%를 설명해 준다.

여기서 CTSR점수의 변산에 대해 과도한 집착성 오류에 관련되어 있는 나이와 잠입도형검사의 영향을 배제한 다음 CTSR에 대한 WCST의 과도한 집착성 오류만의 상대적인 공헌도인 부분 표준계수는 -0.40으로 분석되었다. 그러나 그와 반대로 다른 변인의 영향을 배제한 CTSR점수의 변산에 대한 잠입도형검사와 나이의 상대적 공헌도인 부분 표준계수는 각각 0.23과 0.26으로 과도한 집착성 오류의 공헌도보다 적게 나타났다. 이것 역시 전두엽연합령의 기능이 나이에 의한 일반적 성숙이나 장독립성보다 많은 부분에서 과학적 추론 능력에 많은 역할을 하였음을 의미한다고 할 수 있다.

이상의 결과는 비록 나이에 의한 일반적 성숙이나 장독립성이 중등학생의 과학적 추론 능력의 발달에 영향을 미쳤음을 의미하지만, 아울러 그 추론 능력의 발달에 전두엽연합령의 역할이 이들 두 변인의 역할보다 더 많이 관련되어 있음을 의미한다. 따라서 이는 전두엽연합령 기능의 발달이 과학적 추론 능력의 발달에 중요한 제한요인이 될 수 있다는 본 연구의 중심가설을 지지해준다. 그러므로 이것으로부터 전두엽연합령 기능의 결합은 곧 과학적 추론 과정의 수행과 그 추론 능력의 발달에 중요한 문제를 야기시킬 수도 있음을 의미한다

**<표 8> CTSR변인과 다른 변인들 사이의 다중회귀분석**

**가. 다중회귀분석**

다중 상관계수 (R): 0.633 결정계수 (R<sup>2</sup>): 0.401

변인	계수	표준오차	표준계수	계	T	P
상수	-6.35	4.86	0.00	0.00	-1.31	0.194
PER	-0.13	0.03	-0.40	0.86	-4.57	0.000
GEFT	0.10	0.04	0.23	0.91	2.74	0.007
연령	0.08	0.03	0.26	0.92	3.06	0.003

**나. 변량 분석**

변량원	자승화	자유도	평균자승화	F	P
회귀	363.92	3	121.95	20.95	0.000
잔여	544.28	94	5.79		

고 할 수 있다.

**IV. 결 론**

인간의 사고는 심리학과 교육학은 물론이고 철학에서조차 가장 흥미 있는 수수께끼의 하나로 간주되어 왔다. 최근에 이 수수께끼는 신경학적 및 심리학적 연구의 발달에 의해 부분적으로 밝혀지고 있다. 그런 연구의 일부는 전두엽연합령이 인간의 고등 사고과정에서 중요한 역할을 담당한다고 논의해 왔다(e.g., Luria, 1973; Fuster, 1981; Thatcher, 1990; Kolb & Whishaw, 1996).

인간의 과학적 추론 능력은 가장 고등한 인지사고과정의 하나이며, 아직까지 우리 인간에게 많은 부분에서 비밀에 싸여있는 분야이기도 하다. 많은 연구자들이 연역적 및 과학적 추론의 발달에 대해서 연구해 왔지만, 이들 추론의 발달에 대한 신경학적 설명은 부족하다. 그러나 부분적으로 최근의 여러 연구들은 문제해결, 계획, 연속적인 인지과정의 모니터링, 관련 정보의 활성화, 그리고 비관련정보의 억제 등과 같은 사고과정에서 전두엽연합령이 중심적인 역할을 한다고 논의하였다(Luria, 1973; Fuster, 1981; Knight & Graboweky, 1995). 그리고 이들 사고과정들은 실제로 과학적 추론의 수행 과정에서도 필요한 사고 기능들이다.

따라서 본 연구는 과학적 추론 과정에서 중요한 역할을 수행하는 제한요인에 대한 의문에서 전두엽연합령이 중요한 역할을 한다는 가설을 테스트하였다. 이 가설을 테스트하기 위하여 본 연구는 먼저 전두엽연합령 손상환자를 인터뷰하여 피검자의 과학적 추론 능력을 조사하여 보았다. 다른 한편으

로 본 연구는 전두엽연합령 기능의 측정도구인 WCST와 과학적 추론 검사들을 학생들에게 투여하여 점수 사이의 상관관계를 조사함으로써 임상학적 관찰법뿐만 아니라 신경심리학적 방법으로도 본 연구의 가설들을 테스트하였다. 본 연구는 아울러 WCST뿐만 아니라 나이와 잠입도형검사와 추론기능 검사사이의 상관관계를 조사함으로써 본 연구의 대립가설인 일반적 성숙 가설과 장독립성 가설을 테스트하였다.

본 연구의 결과들은 전두엽연합령이 과학적 추론 발달에 중요한 역할을 한다는 본 연구의 가설을 지지했다. 전두엽연합령 손상환자는 과학적 추론 능력 검사에서 현저한 문제해결 능력의 결함을 보여주었다. 또한 이 피검자에 대한 후속된 인터뷰에서 피검자는 과학적 추론 검사의 모든 과제에서 *If ... and ... then ... therefore* 형태의 추론 과정을 전혀 적용하지 못하는 것으로 나타났다. 과학적 추론 검사들과 전두엽연합령 기능 검사 사이의 상관관계 연구 역시 유의미한 부적 상관관계를 나타내었다. 물론 일반적 성숙이나 장독립성 역시 과학적 추론 검사와 유의미한 정적 상관관계를 나타내고는 있지만, 상관계수에서 전두엽연합령 기능의 상관계수보다는 적었다. 그리고 다중회귀분석 역시 전두엽연합령의 기능이 일반적 성숙이나 장독립성보다 과학적 추론 능력에 상대적으로 더 많이 기여하는 것으로 나타났다. 이상의 결과들은 종합할 때, 전두엽연합령이 과학적 추론에 중요한 역할을 담당한다는 본 연구의 가설은 지지되었다고 할 수 있다.

그러면 전두엽연합령의 어떤 기능이 연역적 및 과학적 추론의 수행에 중요한 역할을 담당했을까? 본 연구자들은 이 의문을 설명하기 위하여 먼저 본 연구에서 사용된 과학적 추론 과제 및 카드분류검사의 과제를 해결하기 위하여 요구되는

사고형태(thinking patterns)를 알아보았다. 먼저, 과학적 추론 과제를 해결하는데 요구되는 사고형태는 의문에 대한 가설을 제안하고, 가설을 테스트할 수 있는 방법을 고안하고, 테스트를 수행했을 때 일어나는 결과를 예상하며, 예상결과와 실제결과를 비교하여 결론을 내리는 과정을 포함한다. 예를 들어 MTT에 적용되는 추론형태는 다음과 같다고 할 수 있다 (Lawson, 1993a):

*If*... 꼬리가 유들이 도형을 결정하는 특징이라면,  
*and*... 두 번째 줄에 있는 모든 도형을 조사해 보면,  
*then*... 어느 것도 꼬리를 가지고 있지 않을 것이다.  
*but*... 그러나 어떤 도형을 꼬리를 가지고 있기도 하다면,  
*therefore*... 꼬리의 유무는 유들이 도형을 결정짓는 특징이 될 수 없고 유들이 도형을 결정짓는 다른 특징을 고안해야 한다.

그리고 과학적 추론 검사(CTSR)의 물의 부피에 관한 비율 과제에서 적용된 추론 형태는 다음과 같이 표현할 수 있다.

*If*... 여기서 물이 넓은 실린더에서 4단위이건 물이 좁은 실린더에서 6단위로 상승했으니까 이들의 관계는 아마 넓은 실린더에서 보다 좁은 실린더에서 '2단위만큼 더해진' 관계일 것이다.

*and*... 좁은 실린더에 있는 2단위인 물을 넓은 실린더에 붓는다고 생각하면,

*then*... 항상 넓은 실린더가 2단위만큼 적으니까, 물이 좁은 실린더에서 넓은 실린더로 부어졌을 때 2단위만큼 줄어들어야 하므로  $2-2=0$ 이 될 것이다.

*but*... 그러나 물은 이렇게 직접 붓는다고 가정했을 때 없어지지 않으므로,

*therefore*... 이들의 관계는 '2만큼 더해진' 관계가 아니라 다른 관계일 것이므로, 그 관계를 찾아내야 한다.

또한 WCST에서 적용된 추론형태를 살펴보면 다음과 같다.

*If*... 만약 기본카드와 반응카드사이에서 색깔이 같은 것이 옳게 맞추는 기준이라면,

*and*... 내가 반응카드를 똑같은 색깔을 가진 기본카드와 맞춘다면,

*then*... 이렇게 맞춘 것에 대해 검사자는 올바르게 맞추었다고 이야기 할 것이다.

*but*... 검사자가 이렇게 맞춘 것에 대해서 틀리다고 한다면,  
*therefore*... 색깔이 옳게 맞추는 기준이라는 가설은 분명히 틀렸으며, 나는 카드를 옳게 맞추는 다른 기준을 생각해 내야 한다.

위의 MTT와 CTSR 과제와 WCST 과제에서 사용된 추론 형태는 *If* ..... *and* ... *then* ... *therefore* 형태의 추론이다. 과도한 집착성 반응은 이전에는 맞게 맞추는 기준이었으나 이제는 더 이상 맞게 맞추는 기준이 아닌 정보에 문제해결자가 과도하게 집착하는 경향을 의미한다. 즉, 이전에는 이 정보가 옳은 정보이었으나, 이제는 틀린 정보로 판명된 것이다. 예를 들어 내가 색깔 기준에 의해서 카드를 분류했을 때 바로 앞의 분류에서는 맞다는 판정을 받았으나, 지금은 틀렸다는 판정을 받은 것이다. 과도한 집착성 경향이 거의 없는 문제해결자일수록 이러한 틀렸다는 판정을 듣고서는 이제까지의 맞게 분류하는 기준(그러나 지금은 맞게 분류하는 기준이 아님)을 억제하고, 맞게 분류하는 다른 기준을 찾을 것이다. 그러나 과도한 집착성 경향을 가진 문제 해결자는 이제는 틀린 정보가 되어버린 과거의 분류기준을 억제하는 능력이 부족할 것이다. 그러므로, 과도한 집착성 반응은 문제해결자가 과제를 해결하는 과정에 있어서 비관련정보 또는 틀린 정보(task-irrelevant information)를 능동적으로 억제(inhibiting)하는 능력의 결여에서 초래된 결과라고 볼 수 있다.

따라서 본 연구결과를 토대로 본 연구자들은 전두엽연합령이 비관련정보를 억제하는 능력이 연역적 및 과학적 추론 과제 해결을 위한 중요한 요인중의 하나라고 생각한다. 많은 신경심리학적 연구는 전두엽연합령의 손상이 WCST에서 이러한 과도한 집착성 오류를 많이 일으킨다고 보고하여 왔다 (Milner, 1963; Chelune & Baer, 1986; Knight & Grabowecy, 1995). 이것은 곧 전두엽연합령의 손상이 비관련정보의 억제 능력의 결함을 초래한다고 할 수 있다. 따라서, 도형판별검사(MTT) 및 과학적 추론 검사(CTSR)에서 적용된 연역적 및 과학적 추론 능력의 부족은 곧 전두엽연합령의 비관련정보 억제 능력의 결여에서 초래되었다고 할 수 있다.

## 참고문헌

- 전윤식과 장혁표, (1995). 잡입 도형 검사. 서울: 코리아 테스트링 서비스.
- Blake, A. J. D. (1976). An examination of relationships between cognitive preferences, field-independence, and level of intellectual development. Paper presented to the Annual Meeting of the Australian

- Science Education Research Association.
- Case, R. (1985). *Intellectual Development: Birth to Adulthood*. London: Academic Press, Inc.
- Chelune, G. J., & Baer, R. A. (1986). Developmental norms for the Wisconsin Card Sorting Test. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 8(3), 219-228.
- Elementary Science Study. (1974). *Attribute Games and problems: Teacher's Guide*. McGraw-Hill, New York.
- Fuster, J. M. (1981). *The Prefrontal Cortex: Anatomy, Physiology, and Neuropsychology of the Frontal Lobe*. Raven Press, New York.
- Gibson, K. R., & Peterson, A. C. (1991). *Brain Maturation and Cognitive Development: Comparative and Cross-Cultural Perspectives*. Aldine De Gruyter, New York.
- Ginsberg, H., & Opper, S. (1979). *Piaget's Theory of Intellectual Development (2nd Ed.)*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Inhelder, B., & Piaget, J. (1957). *The Growth of Logical Thinking*. Basic Book, Inc.
- Knight, R. T., & Grabowecy, M. (1995). Escape from linear time: Prefrontal cortex and conscious experience. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The Cognitive Neuroscience*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Kolb, B & Whishaw, I. Q. (1996). *Fundamentals of Human Neuropsychology (4th Ed.)*. Freeman, New York.
- Lawson, A. E. (1976). M-space: Is it a constraint on conservation reasoning ability? *Journal of Experimental Child Psychology*, 22, 40-49.
- Lawson, A. E. (1976). Formal operation and field independence in a heterogeneous sample. *Perceptual and Motor Skill*, 48, 71-78.
- Lawson, A. E. (1985). A review of the research on formal reasoning and science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(7), 569-617.
- Lawson, A. E. (1987). *Supplement: Classroom Test of Scientific Reasoning*. Arizona State University.
- Lawson, A. E. (1993a). Inductive-deductive versus hypothetico-deductive reasoning: A reply to Yore. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(6), 613-614.
- Lawson, A. E. (1993b). Deductive reasoning, brain maturation, and science concept acquisition: Are they linked? *Journal of Research in Science Teaching*, 30(9), 1029-1051.
- Lawson, A. E. (1995). *Science Teaching and the Development of Thinking*. Belmont, CA: Wadsworth Publishing Company.
- Lawson, A. E., & Wollman, W. T. (1977). Cognitive level, cognitive style, and value judgment. *Science Education*, 61(3), 397-407.
- Lawson, A. E., McElrath, C. B., Burton, M. S., James, B. D., Doyle, R. P., Woodward, S. L., Kellerman, L., & Snyder, J. D. (1991). Hypothetico-deductive reasoning skill and concept acquisition: Testing a constructivist hypothesis. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(10), 935-970.
- Lezak, M. D. (1983). *Neuropsychological Assessment, 2nd Ed.* New York: Oxford University Press.
- Linn, M. C., Pulos, S., & Gans, A. (1981). Correlates of formal reasoning: Content and problem effects. *Journal of Research in Science Teaching*, 18, 435-447.
- Luria, A. R. (1973). *The Working Brain: An Introduction to Neuropsychology*. Basic Book, New York.
- Milner, B. (1963). Effects of Different Brain Lesions on Card Sorting. *Archives of Neurology*, 9, 90-100.
- Niaz, M., & Lawson, A. E. (1985). Balancing chemical equations: The role of developmental level and mental capacity. *Journal of Research in Science Teaching*, 22(1), 41-51.
- Pascual-Leone, J. & Smith, J. (1969). The encoding and decoding of symbols by children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 8, 328-355.
- Pascual-Leone, J. (1970). A mathematical model for the transition rule in Piaget's developmental stages. *Acta Psychologica*, 32, 301-345.
- Piaget, J. (1961). The genetic approach to the psychology of thought. *Journal of Educational Psychology*, 52, 275-281.
- Thatcher, R. W. (1990). *Nonlinear Dynamic of Human Cerebral Development*. Paper presented at the First International Congress on Machinery of Mind, Havana, Cuba.
- Wadsworth, B. J. (1979). *Piaget's Theory of Cognitive Development: An Introduction for Students of Psychology and Education, 2nd Ed.* New York: Longman.

Witkin, H. A., Goodenough, D. R., & Karp, S. A. (1967). Stability of cognitive style from childhood to young adulthood. *Journal of Personality and Social Psychology*, 7, 291-300.

Witkin, H. A., Moore, C. A., Goodenough, D. R., & Cox, P. W. (1977). Field-dependent and field-independent

cognitive styles and their educational implications. *Review of Educational Research*, 47(1) 1-64.

Yore, L. D. (1993). Comment on "Hypothetico-deductive Reasoning Skills and Concept Acquisition: Testing a Constructivist Hypothesis". *Journal of Research in Science Teaching*, 30(6), 607-611.

(ABSTRACT)

## The Role of The Prefrontal Lobes in Scientific Reasoning

Myoung Hur · Anton E. Lawson\* · Young-Ju Kwon\*  
(Ewha Womans University) · (Arizona State University)\*

The present study tested the hypothesis that maturation of the prefrontal lobes is a crucial factor determining the performance of scientific reasoning tasks. Functions of the prefrontal lobes, such as activating relevant information, sequential planning and monitoring, and inhibiting irrelevant information, are related thinking patterns with scientific reasoning. Therefore, we inferred the idea that the prefrontal lobes play an important role in scientific reasoning. To test the hypothesis, the present study investigated a prefrontal lobe patient's task solving procedures in scientific reasoning tasks and the correlation and regression analysis between a test of prefrontal lobe function and two scientific reasoning tasks. The perseverative errors in the Wisconsin Card Sorting Test(WCST) was used as a measure of the prefrontal lobe function. The Melinark Type Task and the Classroom Test of Scientific Reasoning were used as measures of scientific reasoning abilities. Ages and Group Embedded Figure Test were also used as measures of two alternative hypotheses, general maturation and field independency respectively.

The prefrontal lobe patient showed a crucial deficiency in solving scientific reasoning tasks. In the tasks, the patient could not used the reasoning of *If ... and ... then ... therefore* pattern. In correlation study, the perseveration errors of the WCST showed a significantly negative correlation with two scientific reasoning tasks. Multiple regression study also showed that the perseveration errors measured as a function of the prefrontal lobes have more contribution to scientific reasoning ability than contributions of alternative hypotheses. Therefore, the present study supported the hypothesis that prefrontal lobes play a crucial role in scientific reasoning ability. What function of the prefrontal lobes do play crucial role in scientific reasoning? The present study provided an explanation for the question, which inhibiting ability of the prefrontal lobes is responsible for the scientific reasoning ability, in a part at least. That is, perseverative tendency in task-solving procedures causes a deficiency of an ability to inhibit the wrong information to solve a task.

The present study provided a possibility of neuropsychological approach in science education research. The present study also showed an importance of the prefrontal lobe development in the performance of scientific reasoning task.