

힘과 운동에 대한 연역추론 과제 수행에 대한 중등학생의 반응분석

서정아 · 박승재 · 박종원
(서울대학교) (전남대학교)

(1995년 11월 16일 받음)

I. 서론

과학자가 보편적인 법칙이나 이론을 알고 있다면 그는 그 법칙이나 이론으로부터 다양한 현상에 대한 설명과 예측을 이끌어 낼 수 있다. 과학적 설명과 예측의 구조는 연역논리에 기초하므로(Hempel, 1966) 연역추론은 과학적 활동의 중요한 부분을 차지하고 있다. 과학교육과정에서는 서술적인 탐구과정뿐만 아니라 가설 연역적인 탐구과정을 다룬다는 측면에서도 연역추론은 과학학습에서도 중요한 역할을 하고 있다.

연역 추론은 주어진 두개의 전제로부터 결론을 이끌어내는 데에 필요하다. 만일 연역 추론에만 의존한다면, 비록 전제로부터 얻은 연역적 결론이 자신의 기대나 예상과 다르다 하더라도 결론을 받아들여야 할 것이다. 이것이 연역추론을 통해 인지적 갈등을 일으키게 할 수 있는 근거가 된다.

그러나 연역적 사고가 과학 학습에서 항상 중요한 역할을 하는 것은 아니다. 예를 들면, 연역적인 사고가 인간의 경험, 선개념에 영향을 받는다는 연구결과가 발표된 바 있다(Evans, 1989). 박종원 등(1994)이 중학생을 대상으로 조사했을 때 물리적으로 틀린 개념을 가진 경우 논리적으로 따라가면 올바른 응답을 할 수 있는 과제에 대해서도 자신의 선개념을 고집 하는 학생이 과반수를 넘는다는 것을 발견할 수 있었다.

학생들이 연역적 추론을 하게 되는 과정에서 오류를 범하게 되는 원인은 여러 가지로 설명될 수가 있다(Nisbett & Ross, 1980; Evans, 1989; 박종원 등, 1994). 인간의 확증 경향성, 학생의 선개념의 견고함, 논리능력의 부족 등이다.

확증 경향성이란 인간이 자신의 선입견을 지지하는 자료만을 수용하려는 경향성을 지니고 있음을 뜻한다. 피험자들은 자신의 이론을 확증해 주는 증거를 우선적으로 찾으려

하고 자신의 이론을 반증할 가능성이 있는 예들은 회피하려는 경향이 있다. 또 학생의 선개념이 견고하여 실험을 통하여 학생의 오개념을 수정하려고 했으나 많은 수의 학생들이 오개념 수정은 하지 않고 오히려 그 증거들을 왜곡하여 해석한다는 연구결과도 있다(Kim & Park, 1995).

더우기 학생들이 가진 선개념은 수많은 일상생활 속에서 경험에 의한 것이며 자신의 인지구조 속에 정착되어 있기 때문에 바꾸기가 매우 어렵다. 자신의 선개념이 물리적으로 옳지 않다는 논리적인 설명이나 증거를 제시받는다 하더라도 학생들은 이를 무시하거나 왜곡하여 자신의 선개념을 고수하려는 경향이 있다는 것이다(Kuhn, 1988).

따라서 학생들에게 물리개념을 논리적으로 제시했을 때 이를 받아들인다는 것은 쉬운 일이 아님을 예측할 수 있으며 그들이 어떻게 논리적 설명을 통하여 추론을 하며 선개념이나 논리적 능력등이 개념 변화에 어떤 영향을 미치는지에 대해서는 연구해야 할 것이다.

이에 대해 박종원 등(1994)은 중학생을 대상으로 힘과 운동에 대한 학생의 오개념을 변화시키기 위해 연역추론 과제를 제시하고 이에 대한 내용을 분석한 바 있다. 본 연구에서는 연역 추론의 이론적 측면을 보다 더 자세하게 다루고 학생들의 연역추론 과제에서 미치는 선개념과 논리력의 영향력을 비교하기 위해 각 영향력을 정량적으로 비교할 수 있는 방법을 제안하고 제안한 방법을 중학생과 고등학생에게 각각 적용하여 비교하였다.

연구목표를 항목화 하면 다음과 같다.

첫째, 과학적 설명과 예측, 그리고 가설 검증 과정에서의 연역 추론의 역할을 논의한다.

둘째, 연역 추론 과제에서 학생의 선개념의 영향력, 논리력의 영향력, 그리고 기타 영향력을 지수화 하고 그 값을 구한다.

셋째, 지수화 방법을 중학생과 고등학생의 경우에 적용하고 비교한다.

II. 이론적 배경

연역 추론의 추상적인 구조와 인간의 추론의 경향 및 과학적 사고로서의 연역 추론의 역할에 대해서, 첫째, 과학적 설명과 예측에서의 연역 추론의 역할에 대해, 둘째, 가설 검증 과정에서의 연역 추론의 역할에 대해 논의 하겠다.

1. 연역적 사고에서의 추상적 구조와 내용

심리학의 연구들은 사람들이 내용에 상관없이, 즉 전제나 결론이 참인지 아닌지에 상관없이 논리적으로만 생각하는 것은 아니라는 것을 보고하고 있다. 에반스 등(Evans, Barston, & Pollard, 1983)은 연역 논리구조가 옳은 경우와 틀린 경우, 그리고 결론이 믿음만한 경우와 믿기 어려운 경우로 나누어서 각 경우에 대한 사람들의 반응을 연구한 바에 의하면, 논리구조가 옳으나 결론이 믿음만하지 못한 경우에는 단지 56%의 응답자들만이 결론이 옳다고 하였으며, 논리구조가 틀리는데에도 불구하고 결론이 믿음만한 경우에 결론이 옳다고 한 경우는 71%나 있었다. 이러한 결과는 응답자의 배경 지식에 의해 연역 논리가 영향을 받는다는 것을 의미한다. 이것은 또 논리와 믿음간의 상호작용으로도 해석될 수 있다. 왜냐하면, 결론이 옳은 경우보다 틀린 경우에 믿음에 의한 오류 정도가 더 크게 나타났기 때문이다.

과학 교육 연구 분야에서도 연역적 사고가 상황에 의존하거나, 내용에 영향을 받는다는 것을 보인 연구가 있으며(박종원 외, 1993), 피아제도 연역적 사고가 어떤 한 상황에서는 성공하였음에도 불구하고 다른 상황에서는 실패하는 사례를 관찰하였다(Linn, 1981).

2. 과학적 사고로서의 연역적 추론

(1) 과학적 설명과 예측에서의 연역적 사고

논리경험주의자들에 의하면(Brown, 1988), 연역 추리는 과학 법칙과 이론들로부터 자연 현상을 설명하거나 예측할 때, 연역적인 구조를 가진다고 한다.

설명과 예측의 연역적 구조를 간단히 나타내면 다음과 같다.

- 전제 1 : 법칙과 이론들
- 전제 2 : 초기 조건들
- 결론 : 자연 현상

설명과 예측의 경우에는 자연 현상이 먼저 일어났을 때, 왜 그런 현상이 일어나는지를 전제 1과 전제 2를 통하여 설명하게 되는데, 이때 설명의 형태가 위와 같다. 험펠(Hempel, 1966)은 결론에서의 자연 현상을 "설명되는 것"(explanandum)이라고 하였고, 전제 1과 전제 2를 "설명하는 것" (explanans)이라고 하여, 설명은 바로 이 두 가지로 이루어진 것이라고 하였다.

이와 같이 논리 경험주의자들에 의하면, 기본적인 과학적 설명이나 예측은 본질적으로 연역적인 형태를 가진다. 위의 설명에서는 구체적인 현상이 일반 법칙에 의해 설명되는 경우를 예로 들었다. 그러나 법칙이 다시 큰 이론으로 설명되는 경우와 그 이론이 다시 더 포괄적인 이론에 의해 설명되는 경우에도 설명은 연역적인 형태를 갖게 된다(Brown, 1988).

(2) 가설 검증에서의 연역 논리와 내용

연역적 사고에서 두개의 전제와 결론이 주어지면, 전제나 결론이 참인지 아닌지를 결정하기 전에 연역적으로 옳은 결론인지 아닌지를 판단하는 것이 중요하다. 그러나 과학적으로는 결론이 연역적으로 옳은가 아닌가가 아니라, 실제로 결론이나 전제들이 참인가 아닌 가도 중요하다. 만일 결론이 연역적으로 옳지만 실제로 참이 아닌 경우에는 전제가 참이 아니기 때문이다. 예를 들면, 다음과 같은 두 개의 전제가 있다고 하자.

전제 1 : 모든 중성자는 입자이다.

전제 2 : 모든 입자는 슬릿을 지날 때 간섭을 일으키지 않는다

위 전제로부터 얻을 수 있는 옳은 결론은 '따라서, 모든 중성자는 슬릿을 지날 때 간섭을 일으키지 않는다'가 될 것이다. 그러나 실험에 의하면 명백하게 중성자들은 슬릿을 지날 때 간섭을 일으킨다. 따라서, 전제가 참이 아니라는 것이 판명되었으므로, 전제 1이나 전제 2는 수정되어야 한다.

이와 같이 결론이 참이 아닌 경우 전제가 수정되는 과정은 포퍼가 말한 반증의 과정과 유사하다. 즉, 포퍼의 반증의 과정을 요약하면 아래와 같다.

전제 1 : 만일 A라면 B이다.

전제 2 : B가 아니다.

결론 : 따라서, A가 아니다.

위 경우에서 A는 과학적 가설이나 이론이고, B는 관찰될

수 있는 현상을 의미한다. 즉, 과학적 가설 A에 의하면 어떤 현상이 B와 같이 일어나야 하는데 만일 현상이 B와 같이 일어나지 않는다면, 가설 A가 틀리다는 것이다.

따라서 중성자의 경우에 사용한 논리를 원래의 포퍼의 반증 논리로 고치면, 다음과 같게 된다.

전제 1 : 중성자가 입자이면, 중성자는 슬릿을 지날 때 간섭을 일으키지 않는다.

전제 2 : 중성자는 슬릿을 지날 때 간섭을 일으킨다.

결론 : 따라서, 중성자는 입자가 아니다.

즉, 제한된 숫자의 개별 관찰 사실로부터 일반화된 이론이나 법칙을 얻는 과정은 논리적으로 옳다고 보장받을 수 없지만, 단 한 개의 관찰 사실만으로 이론이나 법칙을 부정하는 것은 논리적으로 옳다. 즉, 포퍼의 반증은 연역에 기초하고 있다.

그러나 과학사의 많은 연구들은 포퍼가 말한 반증의 과정에 위배되는 과학자들의 행동들을 보고하고 있다. 예를 들면, 찰머스(Chalmers, 1978)는 그의, 'What is this thing called science?' 라는 책에서, 뉴턴의 중력 이론이 처음에 나온지 얼마되지 않아 달의 궤도에 대한 관찰에 의해 반증되었지만, 폐기되지 않았고 결국 50년 뒤에는 반증의 원인이 이론에 있지 않고 다른 곳에 있다는 것이 밝혀진 바 있다는 것을 예로 들었다. 또, 코페르니쿠스의 탐의 논증을 예로 들었는데, 즉, 코페르니쿠스가 지구는 지축을 중심으로 상당한 속도로 자전한다고 하였을 때, 그 이론을 반대하는 사람들은 탐 위에서 물체를 떨어뜨리면 물체가 떨어지는 동안 지구가 자전하므로 물체는 수직 아래로 떨어지지 못하고 멀리 다른 곳에 떨어져야 하지만 실제로는 수직 아래로 떨어지므로 지구는 자전하지 않는다고 반박하였다. 또, 회전하는 곳에 있는 물체는 회전 중심에서 뿜겨나갈려고 하는데 지표면 위의 어떤 물체도 뿜겨나가지 않으므로 역시 지구는 자전하지 않는다고 반박하였다. 그 당시 코페르니쿠스 지지자들은 심각한 곤경에 직면하게 되었고, 코페르니쿠스 자신도 그러한 반론에 적절한 대답을 하지 못하였다고 하였다. 그럼에도 불구하고 그 이론은 수학적으로 단순하다는 이점과 함께 폐기되지 않았고 결국은 옳은 이론으로 판명되었다.

물리학자 디락은 반증 사례가 있어도 이론을 폐기하지 않는 것이 오히려 현명하다고 하였으며(Gorman, 1989), "가장 중요한 것은 아름다운 이론을 만드는 것이다. 만일 어떤 관찰 사실이 그 이론을 지지하지 않는다고 하여도 상심하

지 말고 기다리면, 그 관찰 사실에 잘못이 있었음이 판명될 것이다"라고 하였다.

그리고 아인슈타인의 중력 이론을 예를 들면서, "아인슈타인이 중력 이론을 만들었을 때 그는 어떤 관찰 결과를 설명하려고 한 것이 아니다. 아름다운 이론, 자연이 선택한 이론을 찾기 위한 것이었다. 만일 이론을 적용한 결과 어떤 불일치가 나타난다면, 아인슈타인은 그러한 불일치는 적용할 때 생긴 부차적인 문제를 아직 적절하게 해결하지 못해서이지, 이론의 일반 원리가 잘못되었기 때문이라고 생각하지는 않을 것이다."라고 하였다(Dirac, 1981)

디락은 또 실험 결과에 의존하여 이론을 폐기한 것이 결국 중대한 실수였던 예를 들기도 하였다(Dirac, 1963). 슈뢰딩거는 전자에 대한 비상대론적 파동 방정식을 그의 이름을 붙여 발표한 사람이다. 후에 슈뢰딩거는 전자의 상대론적 방정식을 발견하였으나, 발표하지 않았다(후에 전자의 상대론적 방정식은 클레인 고든 방정식이라고 불려졌다). 그는 상대론적 방정식이 이전의 비상대론적 방정식에 의해 해석되었던 실험 결과와 잘 맞지 않기 때문에 발표하지 않은 것이다. 그러나 그러한 이론과 실험간의 괴리는 실험 결과를 잘못 해석하였기 때문이지 상대론적 방정식이 틀리기 때문은 아니었다.

이 외에도 파우스트(1984)도 과학자들이 보여주는 논리적인 결점에 대한 많은 증거들을 제시한 바 있는데, 예를 들면, 과학자들이 복잡한 자료를 처리하는 능력의 부재나 논리적 추론 원리에 위배되는 경향 등에 대해서 연구하였다.

이에 대해, 켄(Kern)등은 과학자들은 논리실증주의자들이 과학에서의 핵심이라고 말하는 명제적 논리를 실제로는 사용하지 않는다고도 하였고 포퍼가 말한 과학적 발견 논리의 핵심이 되는 반증 원리도 과학자들은 이를 체계적으로 사용하지 않는다고 하였다(Shadish & Neimeyer, 1987).

빛과 그림자에 대한 박종원 등(1993)의 연구에서도, 학생의 선개념을 가설이라고 할 때 가설과 불일치하는 증거가 주어졌을 때 증거를 보고 평가하는 과정에서 증거를 왜곡하거나 의심하는 반응을 볼 수 있었다.

가설 검증과정에서 나타난 실제 학생들의 반응을 보고, 드라이버(Driver, 1988)는 논리적인 사고보다 경험에 기초한 지식들이 먼저 학생들의 행동이나 이해에 영향을 미친다고 하였다.

이상에서 논의한 바와 같이 연역추론은 과학적 사고로서 매우 핵심적인 역할을 해왔다. 그러나 사람들이 연역추론을 할 때에는 종종 선개념의 영향을 받는다는 사실이 많은 선행 연구로 뒷받침됨을 알 수 있다.

III. 연역 추론 과제에 학생의 선개념 및 논리력의 영향력 지수화

지수에는 다음 3가지 종류가 있다. 선개념의 영향력을 나타내는 지수 α 와 논리력의 영향력을 나타내는 지수 β 그리고 기타 영향력을 나타내는 지수 δ 가 그것이다.

여기에 나타내는 지수는 그 절대치에 의미가 있는 것이 아니고 단지 분석한 결과를 쉽게 보여주기 위한 것이며 개인의 성격이 아니다. 집단의 성격을 나타내는 지수이다. 본 연구에서는 중학생과 고등학생으로 대상을 달리하였을 때 그 차이를 비교하기 위해 지수를 사용하였다.

선개념의 영향력 지수 α 는 학생이 연역추론을 할 때 선개념의 영향력이 어느 정도인지를 나타내는 지수인데 어느 집단에서 선개념을 그대로 유지한 학생이 많으면 α 값은 커지게 된다. 추상적인 상황에서 연역 논리 능력을 조사하였을 때 논리점수 평균이 매우 낮을 때는 물론이고 논리능력이 매우 높음에도 불구하고 개념을 유지한 학생 수가 많을 때 α 값은 커지게 된다.

β 는 학생이 연역추론을 할 때 그 학생의 논리력이 어느 정도의 영향을 미치는가를 나타내는 것이다. β 값은 연역추론 과제를 통해서 선개념이 변화한 학생이 많을 때 커진다. 특히 추상적 상황에서 연역논리 능력을 조사하였을 때 점수가 높고 개념변화를 일으킨 학생 수가 많을 때 커지는 값이다.

기타 영향력 δ 는 학생의 선개념이 불안정하거나 추론 능력이 상황에 따라 달라지기 때문에 생기는 효과 등을 나타내는 것이다. 예를 들어 생각 기초 반응을 하였는데 즉, 전체를 잘 보지도 않은 것으로 판단됨에도 불구하고 물리적으로 옳은 답을 한 학생수가 많을 때 커지게 된다. 또는 논리력이 적음에도 불구하고 추론과제를 훌륭하게 수행한 것으로 나타나는 경우에도 커지는 값이다. 따라서 이 값은 연구상의 한계의 정도를 나타내는 것이라고 할 수 있다.

먼저 개념유지 혹은 개념변화 여부와 생각기초 반응 혹은 증거기초 반응 여부에 따라 4개 칸으로 나누고 그 칸의 이름을 아래 <표 1>과 같이 정했다.

<표 1> 각 칸의 학생수 기호와 논리력 평균 점수 기호

	개념유지	개념변화
생각기초	$A_1 (r_1)$	$B_1 (r_3)$
증거기초	$A_2 (r_2)$	$B_2 (r_4)$

<표 1>에서 A_1, A_2, B_1, B_2 는 각 칸에 속하는 학생 수이

다. 즉 A_1 은 생각기초 반응을 하여 개념이 유지된 학생의 수이다. r 는 각 칸에 속하는 학생들의 논리력 평균을 만점으로 나눈 값이다. 예를 들어 A_1 칸에 속하는 학생들의 논리력 평균 점수가 4점 이라면 논리력 만점은 8점이므로 그 칸의 r_1 은 $4/8 = 0.5$ 이다.

영향력 지수의 값을 구하는 방법은 각 칸마다의 선개념, 논리력, 기타 영향력 등을 구하여 전체적으로 더한 것이다. 각 칸의 지수는 아래 <표 2>와 같이 명명했다.

<표 2> 각 칸별 지수 표현

	선개념의 영향력	논리력의 영향력	기타 영향력
A_1 칸	α_1	β_1	
A_2 칸	α_2	β_2	
B_1 칸	α_3	β_3	δ_3
B_2 칸		β_4	δ_4

다음은 각 칸별로 선개념의 영향력 지수값과 논리력의 영향력 지수값 등을 계산하는 방법이다.

1. A_1 칸(생각기초 반응을 한 학생 중 개념이 유지된 학생)의 경우

$$\alpha_1 = (10.5 - r_{11} + 0.5) \times (A_1/N)$$

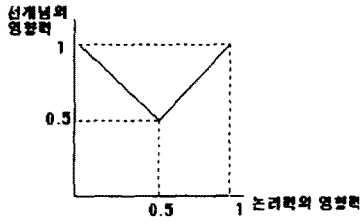
$$\beta_1 = (A_1/N) - \alpha_1$$

(단 여기서 N은 전체학생수이다.)

위와 같은 관계가 나오게 된 과정은 다음과 같다.

논리력 점수가 최고점일 때, 즉 r 가 1일 때 논리력이 높은데도 불구하고 생각에 기초한 반응을 하여, 즉 전체를 잘 보지도 않아 선개념이 그대로 유지되었으므로 선개념의 영향력은 최대라고 할 수 있다. 또 논리력 점수가 최저인 0일 때 논리력이 영향을 줄 수가 없으므로 이 경우 역시 선개념의 영향력은 최대라고 할 수 있다. 논리력이 0.5라면 논리력이 절반정도 영향을 미치고, 선개념이 절반정도 영향을 미쳤다고 할 수 있다. 정리하면 이 칸의 경우 만일 선개념의 영향력의 최대값을 1, 최소값을 0으로 놓는다면 개념이 유지된 경우이므로 선개념의 영향력은 0.5보다는 커야 할 것이다. 이런 양상을 보여주는 가장 간단한 그래프는 <그림 1>과 같을 것이다.

그리고 논리력의 영향력은 선개념의 영향력과 반대로 나타나게 된다. 따라서 전체를 1로 놓으면 β_1 는 위의 식과 같이 된다.



<그림 1> 논리력과 선개념의 관계

2. A₂칸(증거기초 반응을 한 학생 중 개념이 유지된 학생)의 경우

이 칸에서 선개념의 영향력 및 논리력의 영향력을 계산하는 식은 A₁의 경우와 동일하다. 식은 아래와 같다.

$$\alpha_2 = (|0.5 - \gamma_2| + 0.5) \times (A_2/N)$$

$$\beta_2 = (A_2/N) - \alpha_2$$

논리력이 높을 때 증거기초 반응을 했음에도 불구하고 선개념을 그대로 유지했으므로 선개념의 영향력은 0.5보다 높을 것이다. 그리고 논리력 점수가 최고점일 때, 즉 γ 가 1일 때 논리력이 높고 증거기초 반응을 했음에도 불구하고 개념을 유지했으므로 선개념의 영향력은 최대이라고 할 수 있다. 또 논리력 점수가 최저인 0일 때에는 논리적인 과정을 따르지 못하여 증거기초 반응을 했음에도 불구하고 선개념이 유지되었으므로 이 경우 역시 선개념의 영향력은 최대라고 할 수 있다. 양상을 보여주는 그래프는 A₁에 해당하자는 <그림 1>과 동일할 것이다.

3. B₁(생각기초 반응을 통하여 개념이 변화한 학생)의 경우

생각기초 반응을 했음에도 불구하고 개념이 변화한 학생이 이에 해당한다. 이에 해당하는 학생은 선개념이 불안정하여 1차 검사에선 물리적으로 옳지 않은 응답을 했으나 2차 검사에선 증거로 제시된 전제 혹은 기타 영향으로 말미암아 물리적으로 옳은 응답을 한 학생들이다. 여기에서 학생들은 자신의 생각을 제대로 표현하는 표현력이 부족하여 사실은 증거기초 반응을 통하여 생각이 변했음에도 불구하고 생각기초로 응답한 경우도 있을 수 있다. 그러나 이 학생들은 분석하기에 애매하므로 기타 영향력 지수 δ 로 포함시켰다.

$$\delta_3 = (B_1/N)$$

$$\alpha_3 = \beta_3 = 0$$

4. B₂(증거기초 반응을 통하여 개념이 변화한 학생)의 경우

증거기초 반응을 통하여 개념이 변화한 학생들이 이 칸에 해당한다. 논리점수가 최고점인 1인 경우 증거기초 반응을 통하여 논리적으로 합당한 추론을 하여 개념을 변화시켰으므로 논리력의 영향력은 최대라고 할 수 있다. 반대로 논리력이 0인 경우 논리력이 적음에도 불구하고 올바른 추론을 하고 개념을 변화시켰으므로 설명할 수 없는 부분이 된다. 이를 수식화 한 것은 아래와 같다.

$$\beta_4 = \gamma_4 \times (B_2/N)$$

$$\delta_4 = (B_2/N) - \beta_4$$

여기에서 그 집단의 전체적인 선개념 및 논리력, 기타 영향력은 각 칸에 대해 구한 것의 총 합이 된다. 즉

$$\text{전체 선개념의 영향력 } \alpha = \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3$$

$$\text{전체 논리력의 영향력 } \beta = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 + \beta_4$$

$$\text{기타 영향력 } \delta = \delta_3 + \delta_4 \text{ 이다.}$$

IV. 중학생과 고등학생의 연역 추론 과제 수행 비교를 위한 지수화의 적용

박종원 등(1994)의 연구에 의하면 중학교 학생 103명을 대상으로 했을 때 물체가 위로 올라가는 동안 힘이 위로 작용한다고 응답한 학생은 59%였고 최고점에선 힘이 작용하지 않는다고 응답한 학생이 42%였다. 이 중 위로 올라가는 경우에 대한 두번째 설문, 즉 연역 추론 과제에 대해 60%의 학생이, 그리고 최고점에 대한 연역 추론과제의 경우에는 24%의 학생이 개념을 바꾸었다.

본 연구는 힘과 운동에 대해서 이미 배운 고등학교 2학년 문과, 이과 여학생 97명을 대상으로 했다. 1차 조사는 학생의 선개념과 논리적 사고 능력을 측정된 것이며 2차 조사는 연역 추리 과제를 주고 그 결과를 분석한 것이다. 지필 검사로 측정했는데 1차 조사를 실시한 후 곧바로 2차 조사를 실시했다. 1차 조사와 2차 조사에 사용된 문항과 과제는 모두 박종원 등(1994)의 연구에서 사용된 것과 동일하다.

고등학교 학생을 대상으로 1차 조사에서 위로 던진 물체에 작용하는 힘의 방향에 대한 학생의 선개념과 추상적인 연역과제에서 학생의 연역논리 능력을 조사한 결과는 다음과 같다.

<표 3> 힘과 운동에 대한 학생의 선개념

학생의 선개념별 분포(N=97)	학생수 (괄호안은 %)
공이 위로 올라가고 있는 중, 작용하는 힘의 방향은 위다	73(75.2)
작용하는 힘의 방향은 아래이다*	13(13.4)
작용하는 힘이 없다	3(3.1)
기타	7(7.2)
무응답	1(1.0)
공이 최고점에 있을때, 작용하는 힘의 방향은 위다	3(3.1)
작용하는 힘의 방향은 아래이다*	18(18.6)
작용하는 힘이 없다	64(66.0)
기타	11(11.3)
무응답	1(1.0)

정답율은 물체가 위로 올라가고 있는 경우가 최고점에 있는 경우보다 낮게 나타났다. 2차 조사 대상자(97명)은 위로 올라가는 중, 힘이 위로 작용한다고 객관식 답을 선택한 학생 73명과 기타에서 합력이 위로 작용한다고 한 학생 5명을 합친 78(80.4%)명이다. 힘의 방향이 위라는 객관식 답을 선택한 73명의 학생 중에도 위의 방향 힘과 아래 방향 힘의 합력이 위이기 때문에 그 답을 선택한 경우가 많았다. 최고점에 있는 순간에 대해서는 힘이 작용하지 않는다는 객관식 답을 선택한 학생 64명과 기타에서 합력이 0이라고 응답한 학생 8명을 합친 72명이 분석대상이었다. 이 경우에도 힘이 작용하지 않는다고 객관식 답을 선택한 64명의 학생중의 많은 수가 합력이 0이기 때문에 작용하는 힘이 없기 때문에 그런 답을 선택한 것이다. 고등학생의 오답율은 위의 두 문항에 대해 중학생보다 높았는데 이는 학교에서 배운 과학지식을 이용하여 자신의 오개념을 더욱 견고히 했기 때문이라고 생각된다. 예를 들면 중력을 언급한 학생이 고등학교의 경우 훨씬 많았으나 위로 올라가는 추진력과 합하여 물체가 위로 올라가는 경우 합력이 위로 작용한다고 생각한 것이다. 학교에서 배운 중력과 합력 개념은 이 경우 학생의 오개념을 더욱 견고히 하는 데에 사용된 것이다.

1차 조사에서 실시한 연역 논리 점수 결과는 다음 <표 4>와 같다.

<표 4> 연역 논리 점수 결과

점수(8점 만점)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
학생 수	0	0	0	0	0	4	10	30	53

(X=7.36, Sd = 0.83)

전반적으로 8점 만점에서 4점 이하의 학생은 없고 7점과 8점에 많은 학생이 몰려 있다. 고등학교 학생의 경우 많은 학생이 이 추상적인 논리과제를 쉽게 해결함을 볼 수 있었다.

중학생의 평균 점수는 6.485(Sd=1.50)였는데 고등학생의 평균 점수가 중학생보다 높았다 ($t=-5.06, p < .00$).

2차 조사에서 실시한 연역과제는 수직 위로 던진 물체가 위로 올라가는 중과 최고점에 있는 순간, 각각에 대하여 전제를 제시하여 결론을 선택하게 하고 이유를 설명하도록 했는데 첫번째 연역 과제 (위로 올라가는 중)와 두번째 연역 과제 (최고점)를 통해 학생의 개념이 변화한 정도를 각 과제별로 나타내면 다음 <표 5>와 같다.

<표 5> 개념 유지 또는 변화 학생수
(괄호속 단위 %)

연역과제	개념	
	변화	유지
위로 올라가는 중 (N=78)	48(61.5)	30(38.5)
최고점에있는 순간(N=72)	18(25.0)	54(75.0)

첫번째 과제의 경우 약 62%의 학생이 옳은 개념으로 변화한 것에 반하여 두번째 과제에서는 25%의 학생만이 변화했다. 두번째 과제의 설명이 복잡한 것등의 원인에 의해 위와 같은 결과가 나왔다고 보인다. 이에 대해 중학생의 경우 개념이 변화한 학생은 첫번째 과제의 경우 62%, 두번째 과제의 경우 24%였다. 두가지 과제 모두에 대해서 개념 변화 및 유지율이 중학생과 고등학생에게 비슷하게 나타남을 볼 수 있다.

<표 6>에서는 학생들이 각 과제에 대해 얼마나 전제를 보고 반응했는지를 나타내었다.

<표 6> 과제별 생각기초, 증거기초 반응수
(괄호속 단위 %)

연역과제	설명유형	
	생각기초	전제기초
위로 올라가는 중 (N=78)	32(41)	46(59)
최고점에있는 순간(N=72)	53(73.6)	19(26.4)

첫번째 과제에 대하여 학생들이 전체에 기초한 설명을 더 많이 한 데 반하여 두번째 과제에 대하여는 생각기초 반응을 한 학생의 수가 훨씬 많음을 볼 수 있다. 두번째 과제에 대하여 전제를 잘 보지 않고 응답한 것을 알 수 있는데 이는 첫번째 과제보다 두번째 과제가 더 추론하기 어려웠기

때문이라고 여겨진다. 이러한 반응 분포는 개념 변화율에도 그대로 반영되어 <표 5>에서 본 바와 같이 두번째 과제에서 개념변화율이 더 저조하게 나타났다.

이에 대해 중학생의 경우는 위로 올라가는 과제의 경우는 생각기초 반응율이 42.7%, 전제기초 반응율이 57.4%였다. 최고점 과제의 경우는 생각기초 반응율이 85.8%, 전제기초 반응율이 14.3%로 나타났다. 중학생의 반응율과 고등학생의 반응율을 비교한 결과 첫번째 과제, 즉 위로 올라가는 과제의 경우 생각기초 반응 및 전제기초 반응율이 중, 고 거의 비슷함을 알 수 있다. 그러나 최고점에 대한 과제, 즉 약간 어렵고 복잡한 과제의 경우는 고등학생의 전제기초 반응율이 다소 높음을 볼 수 있었다. 즉 어려운 추론과제의 경우 논리능력이 높다는 것은 전제기초 반응율을 높이는 것에 영향을 줄음을 알 수 있다.

다음은 설명 유형별 개념 변화정도를 과제별로 나타낸 것이다. 첫번째 연역과제의 결과는 <표 7>부터 <표 8>까지 나타나 있고 두번째 과제의 경우는 <표 9>부터 <표 10>까지 나타내었다.

<표7> 위로 올라가는 과제에 대한 고등학생의 설명 유형별 개념변화 정도

개념(N=78)	설명유형	
	생각기초	전제기초
유지된 경우	16(20.5)	14(18.0)
변화된 경우	16(20.5)	32(41.0)

($\chi^2=3.052, p=.0806$)

<표8> 위로 올라가는 과제에 대한 전체학생의 설명 유형별 개념변화 정도

개념(N=139)	설명유형	
	생각기초	전제기초
유지된 경우	30(21.6)	23(16.5)
변화된 경우	28(20.1)	58(41.7)

($\chi^2=7.797, p=.0052$)

<표9> 최고점 과제에 대한 고등학생의 설명 유형별 개념변화 정도

개념(N=72)	설명유형	
	생각기초	전제기초
유지된 경우	44(61.1)	10(13.9)
변화된 경우	9(12.5)	9(12.5)

($\chi^2=6.888, p=.0087$)

<표10> 최고점 과제에 대한 전체학생의 설명 유형별 개념변화 정도

개념(N=114)	설명유형	
	생각기초	전제기초
유지된 경우	72(63.2)	14(12.3)
변화된 경우	17(14.9)	11(9.6)

($\chi^2=6.53, p=.0106$)

첫번째 연역과제의 경우 전제에 기초한 설명을 한 경우가 생각에 기초한 설명을 한 경우보다 개념변화 정도가 높았지만 통계적으로 유의미하지는 않았다. 그러나 전체 학생을 대상으로 이에 대해 분석한 결과 유의미한 결과가 나왔는데 이는 전제기초 반응을 한 경우 자신의 선개념을 바꾸는 율이 높고 생각기초 반응을 한 경우엔 선개념을 그대로 유지하는 율이 높음을 의미한다고 하겠다. 다시 말해 이 연역추론 과제는 학생이 전제를 잘 보지만 하면 학생의 개념을 변화시키는데 도움이 된다는 것을 드러낸 것이다.

두번째 연역과제의 경우 생각기초 반응을 한 학생의 대다수가 개념이 유지했지만 전제에 기초한 반응을 한 경우 유지된 경우와 변화된 경우가 거의 비슷함을 볼 수 있다. 전제기초 반응을 했는데도 불구하고 개념이 유지된 고등학생의 이유를 분석해보면 전제에 의하면 힘이 아래로 작용하지만 뒷방향 힘과 상쇄되어 전체적인 힘은 0이라고 한 학생이 많았다. 만일 전제가 순간적으로 정지한 물체에 힘이 작용하고 있지 않다는 학생들의 오개념을 수정해 줄 수 있는 전제들이 주어진다면 위와 같은 학생의 개념유지율을 줄일 수 있을 것이다. 두번째 과제의 경우 역시 학생들이 전제기초 반응을 했을 때 생각기초 반응을 했을 때보다 개념을 변화시키는 율이 유의미하게 높음을 알 수 있다.

박종원의 중학생을 대상으로 한 결과와 본 연구의 고등학생을 대상으로 한 결과를 사용하여 선개념, 논리력, 기타 영향력의 지수값을 계산한 결과는 다음과 같다.

<표11> 첫번째 추론과제에서의 지수값 (%)

	α	β	δ
중 학생	30	42	28
고등학생	35	40	25

<표12> 두번째 추론과제에서의 지수값 (%)

	α	β	δ
중 학생	63	17	20
고등학생	68	19	13

이 연구에서 조사한 연구대상의 경우 고등학생에게 선개념의 영향력 지수값이 조금 높게 나타났는데 이는 고등학생이 중학생에 비해 논리점수가 높음에도 불구하고 선개념을 유지하는 경향이 높았고 선개념을 약간 수정하여 고수하려는 경향이 많았음을 나타낸다.

또한 첫번째 추론과제 보다는 두번째 추론과제에 대한 선개념의 영향력 지수값이 두배 정도 커짐을 볼 수 있는데 이는 추론과제의 난이도가 추론에 영향을 미침을 보여준다고 하겠다.

전반적으로 추론 과제에 대한 선개념의 영향 정도와 논리력의 영향 정도는 중학생의 경우나 고등학생의 경우에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

V. 요약, 결론 및 계속 연구과제

연역 논리적 사고는 자연 현상의 설명이나 예측에서 중요한 과학적 사고의 하나이다. 특히 한국과 같은 다인수 학급에서의 설명식 수업에서는 논리적 설명이 지도 방법의 하나로 사용될 수 있다. 그러나, 학생들에게 연역적 추론 과제를 주었을 때 학생들이 항상 연역적으로만 사고하는 것이 아니며, 그와 관련된 학생의 선개념이 영향을 미친다는 것이 심리학 분야와 과학교육 연구에서 밝혀져 왔다. 따라서 본 연구에서는 과학적 설명이나 예측, 논리적 추론과제에 대해 학생의 선개념의 영향과 논리적 사고의 영향을 비교하기 위해 이론적으로 각각의 영향력을 지수화하였다. 이 지수화 방법을 직접 중학생과 고등학생의 실제 반응에 적용하여 분석하였다.

연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 연직위로 던진 물체가 위로 움직이고 있을 때 힘이 위로 작용한다고 응답한 학생은 80%였고 최고점에 있을 때엔 힘이 작용하지 않는다고 응답한 학생은 74%로서 비교적 많은 학생이 오개념을 가지고 있었다. 각각에 대한 정답율은 전자가 13%, 후자가 19%였다.

둘째, 학생들의 논리점수는 고등학생이 중학생보다 높았다.

셋째, 학생들의 개념 변화율은 연직 위로 던진 물체가 위로 올라가는 중에 작용하는 힘에 대한 추론과제의 경우 62%, 최고점에 있을 때 힘의 방향에 대한 추론과제의 경우 25%로 그리 높지 않았다. 전체에 기초한 반응 역시 첫번째 과제의 경우 59%, 두번째 과제의 경우 26%로서 전체에 기초한 반응율이 높은 첫번째 과제의 개념 변화율이 두번째 과제에 비해 더 높았다.

넷째, 선개념의 영향력 α 값은 최고점에 대한 과제(67%)가 위로 올라가는 동안에 대한 과제(33%)보다 매우 높았다. 논리력의 영향력 β 값은 위로 올라가는 동안에 대한 과제(41%)가 최고점에 대한 과제(17%)보다 매우 높았다.

힘과 운동에 대한 연역 추론과제를 수행할 때 선개념은 항상 적지 않은 영향을 미치고 있으며 이는 중학생과 고등학생에게 비슷하게 나타났다. 따라서 수업 현장에서 논리적으로 옳게 제시된 설명만으로 학생이 가진 오개념을 수정하는 것은 쉬운 일이 아님을 예측할 수 있다. 그러나 첫번째 과제(위로 올라가는 경우)에 대한 학생의 개념 변화율이 62%에 달하는 것을 볼 때 과제에 따라 학생이 개념변화를 일으킨다는 것을 시사한다. 두번째 과제(최고점)의 경우 개념변화율(25%)이 저조한 것은 여러가지 이유가 있지만 그중 하나는 과제의 전체가 길어 과제 자체의 난이도에 기인한 것으로 여겨진다. 따라서 학교 현장에서 학생이 연역 추론을 하게 될 때 선개념은 매우 큰 영향을 미치나 추론 과제를 효과적으로 만들 때 선개념의 영향이 줄어들 가능성이 있음을 시사한다.

계속 연구 과제로는 다음과 같은 것이 있다.

본 연구가 역학 분야의 추론과제였기 때문에 다른 물리 분야에 대한 연구가 필요하다. 문제의 상황이나 문제의 난이도를 여러 가지로 다양화해야 할 것이다. 본 연구에서 사용한 추론과제의 논리형식과 다른 논리형식의 과제를 사용해볼 필요도 있다.

본 연구는 논리적 과제를 학생이 수행할 때 영향을 미치는 요소들을 알아보아 앞으로 과학 수업에서 논리적 설명을 하게 될 때 어떻게 하면 더 효과적인 수업이 이루어지는가를 알아내기 위한 기초작업이라고 할 수 있다. 따라서 보다 효과적인 수업을 위한 이와 관련된 연구들을 계속해야 한다. 예를 든다면 논리적 훈련을 한 학생과 그렇지 않은 학생이 추론 과제를 수행하는 능력을 비교하는 것, 교사의 구두 설명과 지필형 자료에 대한 학생의 수행 비교분석등이 그것이다. 한편 기초적인 자료로서 나이에 따라 물리적 상황이 아닌 일반적 상황인 경우 추론 과제에 대한 능력이 달라지는 지도 조사해 보아야 할 것이다.

연구 방법면에서 학생의 반응을 좀 더 정확하게 분석하기 위해서 면담이 실시되어야 할 것이다. 생각기초 반응을 했음에도 불구하고 개념이 변화한 학생이 어떻게 하여 그런 결론을 내리게 되었는지에 대한 자세한 조사가 필요하며 또 전체기초 반응을 했음에도 불구하고 개념이 유지된 학생은 어떻게 설명될 수 있는지에 대한 조사가 필요하다.

참 고 문 헌

- 박종원, 서정아, 정병훈, 박승재(1994). 힘과 운동 개념 변화를 위한 연역 논리 과제에 대한 중학생들의 반응 분석. *한국과학교육학회지*, 제14권, 제2호, pp.133-142
- 박종원, 장병기, 윤혜경, 박승재(1993). 중학생들의 빛과 그림자에 대한 증거평가. *한국과학교육학회지*, 제13권, 제2호, pp.135-145.
- 신중섭 옮김(1988). *논리실증주의의 과학철학과 새로운 과학철학*, 서광사(Brown, H. I. (1977). *Perception, theory and commitment: The new philosophy of science*, The University of Chicago Press.)
- 한규석, 박상철 공역(1991), *인간의 추론: 판단발달과 그 결함*. 성원사.(Nisbett, R., & Ross, L. (1980), *Human inference: Strategies and shortcomings of social judgement*),
- Chalmers, A.F. (1978). *What is this thing called science ?* Open University Press.
- Dirac, P. (1981) The test of Einstein, In *conceptions of inquiry* by S. Brown, J. Fauvel, & R. Finnegan (pp.88-93), The Open University Press.
- Driver, R. (1988). *The pupils as scientists?* Open University Press.
- Evans, J.B.T. (1989). *Bias in human reasoning: causes and consequences*. Lawrence Erlbaum Associates Ltd. U.K.
- Evans, J. St. B.T., Barston, J.L, & Pollard, P. (1983) On the conflict between logic and belief in syllogistic reasoning. *Memory & Cognition*, 11(3), 295-306.
- Faust (1984). *The limits of scientific reasoning*, Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Gorman. M.E. (1989). Error and scientific reasoning: an experimental inquiry. In the *cognitive turn* by S. Fuller, M. De Mey, T. Shinn & S. Woolgar, Kluwer Academic Publishers, pp.42.
- Hempel, C.G. (1966). *Phylosophy of Natural Science*. Prentice-Hall.
- Inhelder, B., & Piaget, J. (1958). *The growth of logical thinking : from childhood to adolescence*. Basic Books, Inc.
- Johnson-Laird, P.N., & Steedman, M.J. (1978). *The psychology of syllogisms*. *Cog.Psychol.*, 10, 64-99.
- Kim, I., & Park, J. (1995). *The students' responses on the conflict observation, data and result in electricity experiment*. Presented paper in ASERA, Australia.
- Linn, M.C., Pluos, A., & Gans, A. (1981). A correlates of formal reasoning: content and problem effects. *Journal of Research in Science Teaching*, 18(5), 435-447.
- Shaddish, W., & Neimeyer, R. (1989). Contributions of psychology to an integrated science studies: the shape of things to come. In the *Cognitive turn* by S. Fuller, M. De Mey, T. Shinn & S. Woolgar, Kluwer Academic Publishers, pp.17.

(ABSTRACT)

An Analysis of Secondary School Students' Responses to the Deductive Reasoning Task for Change of Their Conceptions about Force and Motion

Jungah Suh · Sungjae Pak · Jongwon Park*
(Seoul National University) · (Chonnam National University)*

In this study, students' performances on the reasoning tasks dealing with physical situations were analyzed. Through these analysis, the influences of students' preconceptions and logical abilities in reasoning process were described.

For this study, 97 high school students were randomly selected. Among them, the number of the students who changed their misconceptions is 62% for the first task(force acting on the upward moving body), and 25% for the second task(force acting on the body when it is on the top of its motion).

The students who show the premise-based response changed their conceptions in both of the tasks are more than those who responded in the idea based responses.

The index of the influence of prior knowledge, α is 33% for the first task, and 67% for the second task. and β is 41% for the first task, and 17% for the second task.

When students performed the reasoning tasks about force and motion, the misconcepts frequently influenced their performances. But for the first task, the percentage of students who changed their concepts is about 62%. It shows the possibility that if the task is simple and appropriate, students can change their concepts.