

한국과 미국 대학생들의 과학적 추론 능력에 대한 비교 연구

전우수 · 권용주¹ · Anton E. Lawson²
(공주교육대학교) · ¹(경북대학교) · ²(Arizona State University)

A Comparative Study on Scientific Reasoning Skills in Korean and the US College Students

Jeon, Woo-Soo · Kwon, Yong-Ju¹ · Anton E. Lawson²
(Kongju National University of Education) ·
¹(Kyungpook National University) · ²(Arizona State University)

ABSTRACT

The present study investigated Korean and the US college students' scientific reasoning skills involving hypothesis-testing skills and tested the hypothesis that hypothesis-testing skills are more advanced ones than other scientific reasoning skills investigated in this study. Seven hundred and seventy-four(774) Korean and five hundred and sixty-eight(568) the US students were sampled in university level. The Test of Scientific Reasoning was used as a scientific reasoning test. The test is consisted of two conservational reasoning, two proportional reasoning, one pendulum, two probability reasoning, two controlling variable, one correlational reasoning, and two hypothesis-testing reasoning tasks. Korean students showed a significant higher score in proportional and probability reasoning tasks than the US students. However, the Korean showed a significant lower score in conservation and correlation reasoning tasks than their American counterparts. Further, Korean and the US college students showed a notably poor performance in hypothesis-testing skills comparing with other scientific reasoning skills, which supported the hypothesis that hypothesis-testing skills are more advanced ones than other scientific reasoning skills. In addition, the Korean showed a severe deficiency in candle-burning task which required the skill that students have to design a scientific test-procedure to test theoretical hypotheses. This study also discussed on the educational implications of the results of the present study.

Key words : scientific reasoning skills, college-level science education, hypothesis-testing skills, test of scientific reasoning, comparative study

1. 서 론

우리 나라는 최근의 국제 과학성취도 비교연구
(Third International Mathematics and Science

Study)에서 초등학생은 가장 우수한 성취도(3학년
은 표집조건이 타당한 15개국중 1위, 4학년은 표집조
건이 타당한 17개국중 1위)를 보여 주었고(Martin
et al., 1997). 중학생은 대체로 우수한 성취도(7학년

*1998년 11월 25일 받음

은 표집조건이 타당한 27개국중 2위, 8학년은 표집조건이 타당한 25개국중 4위)를 보여주었다(Beaton et al., 1996). 그러나 고교의 경우는 TIMSS에는 참여하지 않았지만, SISS (Second International Science Study)에서 거의 최하위권을 기록한 것으로 보고되었다(한중하, 1994). 비록 대학생에 대한 평가연구가 구체적으로 이루어진 경우는 없었지만, 우리나라 대학의 연구경쟁력이나 창의적인 연구생산력이 세계 30위권 밖의 수준으로 나타나고 있는 실정을 감안할 때(한중하, 1994), 우리나라의 학생들은 대체로 초등학교로부터 학년이 높아질수록 과학학력 수준과 창의적 과학사고 수준은 상대적으로 낮아지는 경향을 나타낸다고 할 수 있다. 특히 우리나라는 봉제기술 같은 단순 수공적 산업기술력에 관한 기능대회에서 매년 가장 탁월한 성적을 나타내지만, 창의적이고 독창적인 사고를 요하는 특허상품개발 등과 같은 분야에서는 언제나 외국에 높은 기술 사용료를 지불하고 또 외국의 기술에 의존해야 하는 현상을 보여주고 있음을 감안하면(한중하, 1994), 고등학교 이후 집단의 고등사고력, 즉 과학적 추론능력(scientific reasoning skills)의 향상을 위한 노력이 절실히 요구된다. 실제로 강순희 등(1998)이 수행한 과학적 추론능력 검사의 하나인 '논리적 사고력 검사'의 87편에 대한 메타연구에서도 대학생에 대한 연구는 제시되지 않았다.

과학적 추론이란 일반적으로 자연현상의 정확한 관찰과 이것에서 비롯된 인과적 의문에 대답할 수 있는 가설을 창안하고 그 가설을 검증하는 일련의 과정으로 정의된다(Chamberlin, 1898; Lawson & Lawson, 1979; Platt, 1964). 이러한 과학적 추론은 가설-연역적 추론으로도 알려져 있는데, 여기서 과학자들은 정확하게 관찰한 자연현상에서 인과적 의문을 발상하고, 이 인과적 의문에 답할 수 있는 잠정적인 설명(i.e., 가설)을 창안한다. 그런 다음 이들 가설을 검증할 수 있는 방법 또는 실험을 고안하고, 예상되는 결과를 연역한다. 그런 후, 과학자들은 예상되는 결과와 실제 실험결과를 비교·분석하여 최초의 가설을 기각하거나 받아들이는 결론을 내린다(c.f., Lawson & Lawson, 1979; Kwon, 1997; Kwon

& Lawson, in press). Lawson & Lawson에 따르면, 일반적으로 변인 분류와 통제, 조합논리, 비례논리, 확률논리, 그리고 상관논리 역시 과학적 추론의 하위 범주에 포함된다. 이러한 과학적 추론은 창의적이고 비판적 사고에 매우 중요한 요소이기도 하다(Burmeister, 1952; Lawson, 1994).

Piaget에 따르면 일반적으로 인지발달은 대략 4단계 과정을 거친다. 그러한 4단계 사고과정중 Piaget는 가설-연역적 사고를 적용할 수 있는 형식적 조작단계를 가장 고등한 인지발달 단계로 여겨왔다(Inhelder & Piaget, 1958). 그러나 Lawson (1996)은 인간의 사고발달이 Piaget가 주장한 4단계가 아니라 5단계를 거쳐서 발달한다고 주장하였다. 즉, Lawson은 인간의 사고는 "기본적으로 *If . . . and . . . then . . . therefore*의 연역적 사고과정이 사실상 생후부터 존재한다는 것이며, 사고능력의 발달은 연령에 따라 사고양식(thinking pattern) 자체가 변화되는 것이 아니라, 어떤 내용에 이 사고양식을 적용할 수 있는가에 대한 변화를 의미한다"고 주장하였다. 따라서 그는 인간의 가장 고등한 사고능력을 바로 '가설검정능력(hypothesis-testing skills)'이라고 제시하였으며, 특히 구체적 내용의 가설을 검정하는 능력(제 4단계 추론과정)보다 이론적 가설을 검정하는 능력(제 5단계 추론과정)이 보다 고등한 사고과정이며 아울러 가장 고등한 사고과정이라고 주장하였다. 즉, 제 4단계 추론과정은 관찰가능한 속성을 인과적 의문의 원인으로 제시하였지만, 제 5단계 추론과정은 관찰이 불가능한 이론적 속성을 인과적 의문의 원인으로 제시하였다. 예를 들면, 제 4단계 추론과정에서는 진자의 주기운동에서 주기를 변화시키는 원인으로서 추의 무게나 실의 길이와 같은 관찰가능한 속성을 제시하여 검정하여야 한다.

그러나 제 5단계 추론과정에서는 훗불연소실험에서 실린더안에서 훗불이 꺼지면서 물이 올라오게 하는 원인으로서 직접 관찰가능한 속성과는 다른 기체의 상태 변화에 의한 또는 분자의 운동에너지 변화에 의한 압력변화와 같은 이론적 속성을 원인으로서 제시하여 검정하여야 한다. 더 나아가, 제 4단계 추론과정은 제안된 원인과 그 원인을 검정하기 위해 고안된

실험의 독립변인이 하나이면서 같은 것이지만, 제 5 단계 추론과정에서는 제안된 원인과 그 원인을 검정하기 위해 고안된 실험의 독립변인이 다르다. 즉, 제 4단계 추론과정에서 진자의 흔들림 비율의 변화를 일으키는 원인이 추의 무게이면서, 실험에서 조작하는 독립변인도 추의 무게이다.

그러나 제 5단계 추론과정이 포함된 촛불연소실험에서는 조작할 독립변인은 '양초의 수'이지만, 물이 올라오게 하는 원인은 이 양초의 수가 바로 '산소의 연소에 의해 생성된 부분적 진공이 일으키는 압력 변화'인 것이다. 이렇게 제 5단계 추론과정에서는 제시된 원인과 조작될 변인이 다르기 때문에 추론자는 이러한 이론적 원리와 조작되는 변인사이를 결합해서 논리적인 검정을 해야 하므로 보다 고차적인 사고기능이 요구되리라 본다.

지금까지 초·중등 학생들의 과학적 사고에 대한 조사연구는 비교적 다양하게 수행되어 왔다(c.f., 강순희 등, 1998). 그러나 이들 과학적 사고에 관련된 연구들에 거의 모두 Piaget의 형식적 조작 과제를 토대로 수행되어온 연구들이다.

즉, Lawson이 제시한 가장 고등한 사고과정인 이론적 개념의 가설-연역적 추론을 배제한 연구들이 수행되어 왔다고 할 수 있다. 예를 들면, 지금까지의 연구들에 포함된 진자의 주기 과제나 물받기 과제와 같은 피아제의 형식적 조작 과제들은 '이론적 개념의 가설-연역적 사고를 적용하는 과제'라기 보다는 '관찰 가능한 속성으로서의 가설을 검정하는 과제'나 '연산적 사고를 적용하는 과제' 등에 치우친 과제들이므로 이를 가장 고등한 과학적 사고를 평가하는 과학적 추론 과제로 적용하는 데는 제한점이 따른다. 실제로 Naiz & Robinson(1992)의 연구에 따르면, 이러한 이론적 가설의 검정능력을 측정하는 과정이 상대적으로 부족한 피아제식 형식적 조작과제(i.e., Group Assessment of Logical Thinking)는 화학 문제해결에서 연산 공식을 적용하여 해결하는 문제에는 통계적으로 의미있는 상관과 예측을 보여주었지만, 개념에 대해서 가설-연역적 사고를 적용하여 설명하는 문제의 해결에는 통계적으로 의미있는 상관과 예측을 보여주지 못하였다.

즉, Inhelder & Piaget(1958)에 따르면, 형식적 조작의 가장 두드러진 특징의 하나가 가설-연역적 사고로 여겨지는데 비해 정작 가설-연역적 사고의 적용이 요구되는 개념적용 문제의 해결에 이들 형식적 조작능력을 평가하는 검사(i.e., GALT)가 의미있는 상관과 예측을 보여주지 못하는 것은 피아제식 형식적 조작능력의 과제들이 가장 고등한 사고의 하나인 과학적 추론 능력의 평가에 부족함을 보여준다는 것을 암시한다. 이러한 것을 보완하기 위하여 Kwon(1997)과 Lawson 등 (in press)은 기존의 Lawson(1987)의 Classroom Test of Scientific Reasoning을 수정한 이론적 가설의 검정능력을 평가하는 '과학적 추론능력 검사(Test of Scientific Reasoning)'를 제시하였다.

따라서 본 연구는 우리나라 대학생들에게 이론적 가설의 검정 과제가 포함된 '과학적 추론능력 검사'를 적용하여, 1) 지금까지의 과학적 사고 발달 연구에서 소외되었던 대학생들의 과학적 추론능력을 과학적 추론의 하위요소별로 조사하여 우리나라 대학생들의 과학적 추론 능력에 대한 경향성을 조사하고자 하였고, 2) 우리나라 대학생들의 과학적 추론 능력에 대한 경향을 미국 대학생들의 경향과 비교하여 우리나라 대학생들이 부족한 과학적 추론의 하위요소를 분석하고자 하였다. 또한 3) 본 연구는 이론적 가설의 검정 능력이 과학적 추론의 기타하위요소들 보다 고등한 사고라는 가설을 검정하였다. 즉, 대학생들의 사고능력이 일반적으로 고등학생들보다 고등하고 또 이들의 많은 비율이 형식적 조작단계에 해당되므로, 만약 이론적 가설의 검정능력이 고등하다는 가설이 옳다면 이론적 가설을 검정하는 과제에 대한 이들의 성취도가 기타과제에 대한 성취도 보다 낮아야 할 것이다.

II. 연구 방법

1. 조사대상

본 연구에 참여한 대상은 우리나라 대학생 774명(여학생 706명과 남학생 68명)과 미국 대학생 568명(여학생 310명과 남학생 258명)이 표집되었다. 우리

나라 대학생은 중부지역 소재 교육대학교 학생을 전공에 상관없이 모든 학년에서 무작위로 표집하였으며, 연구에 참여한 대상의 평균연령은 21.1세이고 표준편차는 1.73이다. 표집은 1998년 봄학기의 초기에 이루어졌다. 미국 대학생은 미국의 남서부 인구 100만 정도의 대도시에 위치한 한 주립대학교 학생들을 대상으로 전공에 관계없이 '교양생물학'을 수강하는 모든 학생들을 대상으로 표집하였다. 표집은 1997년 가을학기의 첫째주와 둘째주에 이루어졌으며, 연구에 참여한 대상의 평균연령은 23.4세이고 표준편차는 4.69세이다.

그러나 본 연구는 양국 대학생들의 다양한 인지적 특성을 고려한 유효표집을 실시하지 않았으므로 양국 대학생들의 전체평균을 직접적으로 비교하기에는 많은 제한점이 따른다고 할 수 있다.

2. 과학적 추론 능력 평가도구

본 연구에서는 학생들의 과학적 추론능력을 평가하기 위하여 12문항으로 된 지필검사를 사용하였다. 이 검사는 Lawson(1987)의 Classroom Test of Scientific Reasoning를 수정, 보완한 검사도구이다. 원래의 검사 역시 총 12문항으로 되어있는데, 새로 수정, 보완된 검사도구는 원래의 검사도구에 있던 12문항중 10문항을 그대로 사용하였고, 여기에 다시 새로 2문항을 추가하였다. Lawson의 검사도구는 피아제식 과제를 적용한 검사도구로서, 보존적 추론, 비윤리적 추론, 변인 통제, 확률적 추론, 상관적 추론, 그리고 조합적 추론을 평가하는 문항으로 구성되어 있었다. 그러나, 본 연구에서는 변인통제에 관련된 1문항과 조합논리에 관련된 1문항을 제외한 10문항과 함께, Kwon(1997)에 의해 사용된 가설검정기능(hypothesis-testing skills)에 관련된 2개의 문항을 새로이 추가하여 총 12문항으로 구성된 검사도구를 사용하였다.

이들 2개의 문항 가운데 하나인 11번 문항은 물이 담긴 수조 위에 촛불을 켜 다음 촛불 위에 집기병을 덮었을 때 촛불이 꺼지면서 물이 올라오는 현상에 대한 가설을 검정하는 것과 관련된 문항이다. 나머지

하나인 12번 문항은 적혈구세포를 소금물에 적셨을 때 적혈구세포가 수축하는 현상에 대한 가설을 검정하는 것과 관련된 문항이다. 이들 두 문항에 대한 더 자세한 사항은 Kwon(1997)의 논문에 소개되어 있다. 이들 두 문항은 이론적 속성을 가진 가설을 검정하기 위하여 학생들이 가설-연역적 과학 추론을 사용하는 것을 요구하고 있다. 예를 들면, 촛불연소 문항에서 학생들은 집기병내부의 물이 올라온 이유가 촛불의 연소로 발생한 이산화탄소가 급속히 물에 녹아서 물에 녹은 이산화탄소의 부피만큼 압력차가 생겨서 물이 올라온다는 가설을 제시한 다음, 이 가설을 검정하는 방법을 고안하도록 문제는 요구하고 있다. 또한 적혈구 문항에서는 적혈구가 수축된 원인으로 소금 이온과 물의 역할에 대한 가설을 제시한 다음 이 가설을 검정하는 방법을 고안하고 예상결과를 제시하도록 문제는 요구하고 있다.

모든 문항에서 학생들은 답을 기술한 다음, 어떤 과정으로 그 답을 얻었는지에 대해서도 설명을 하도록 요구하고 있다. 정확한 답과 적절한 설명을 한 경우에는 1점을 부여하고, 부적절한 답이나 설명은 0점을 부여했다. Kwon(1997)의 연구에서 본 과학적 추론 검사 도구의 Cronbach α 신뢰도는 0.75로 나타났으며, 본 연구에서는 0.65를 나타내었다.

본 연구에서는 결과를 분석하기 위하여 SPSS7.5 통계처리 패키지를 사용하였다.

III. 연구 결과 및 논의

본 연구에서 나타난 우리나라와 미국 학생들의 과학적 추론 능력은 Table 1과 같다. 과학적 추론 능력 검사에 참가한 두 나라 학생 1,342명의 전체평균은 가능한 총 12점에 대해 7.49(SD = 2.12)로 나타

Table 1. Korean and the US students' mean scores in a scientific reasoning test.

Country	Mean	SD	t
Korea	8.06	1.83	12.24*
US	6.70	2.24	

Note. *: $p < .001$

났다. 국가별로 보면 미국의 대학생이 Table 1에 나타난 것처럼 6.70(SD = 2.24)을 나타냈고, 한국의 대학생은 8.06(SD = 1.82)이었다. 이들 양국 학생들의 평균비교에서 한국의 대학생이 통계적으로 유의미하게 높은 점수를 보여주었다 ($t = 12.24, p < .001$). 그러나 이 점수는 표집된 양국 대학생들의 갖가지 인지적 특성이 고려되지 않은 점수이므로, 직접적인 비교를 하기에는 많은 제한점이 따른다고 하겠다.

예를 들면, 한국의 표집대상 대학교는 고등학교의 성적과 대학수학능력시험에서 적어도 평균이상이고 대부분 중상 이상의 성취도를 보인 학생들에 한해 입학이 허용되는 학교이다. 이에 비해 미국의 표집대상 대학교는 입학이 한국의 표집대학 만큼 제한되어 있지 않고, 또한 개인차도 다양하다. 실제로 양국 대학생들의 평균의 표준편차를 보면, 미국 학생들의 평균 점수가 낮음에도 불구하고 그들의 표준편차가 한국 학생보다 크게 나타난 것이 이를 의미한다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서 비록 한국의 대학생들의 과학적 추론 능력이 미국의 대학생보다 높게 나타났더라도 이를 전체대학생들에게 일반화하기에는 다소 제한점이 따른다.

그러므로 본 연구에서는 양국의 대학생들의 전체 평균을 직접적으로 비교하기보다는, 각 문항의 개별 평균 점수를 비교해 봄으로써 양국 대학생들의 과학적 추론 능력의 경향을 비교하였다. 먼저 양국 대학생들이 보여준 과학적 추론 능력의 전체적인 경향은 Fig. 1과 같다. Fig. 1에서 나타나듯이 비록 우리나라 대학생들이 전체평균에서 미국 대학생들보다 높은 점수를 보여주었지만, 과학적 추론과제의 모든 하위 요소에서 높은 평균을 보여준 것은 아니다. 예를 들면, 우리나라 학생들은 특정과제에서 극단적으로 우수한 수행능력을 보여주는 반면, 다른 몇 과제에서는 극단적으로 저조한 과제수행정도를 보여주고 있다. 이는 물론 미국의 학생들도 유사한 경향을 보여주고 있지만, 이러한 경향의 정도가 국가에 따라 또 과제의 번호에 따라 매우 뚜렷한 차이를 보여주고 있다. 즉, 우리나라 대학생들은 3, 4, 6, 그리고 7번 과제에서 미국 대학생들보다 월등하게 뛰어난 수행능력을 가지고 있음을 보여주고 있다. 이들 4개의 과제는 양

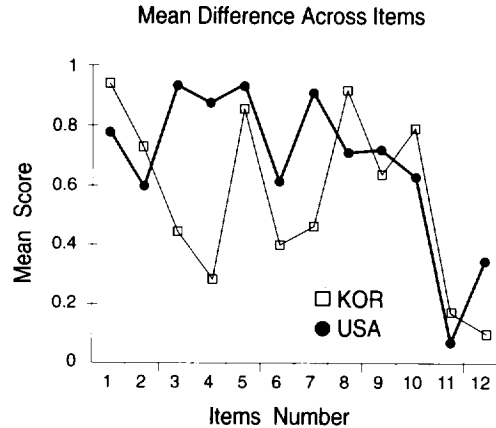


Fig. 1. Students' performance patterns in scientific reasoning tasks

국간의 평균비교에서 그 차이가 각각 0.48($t = 22.93$), 0.58($t = 27.24$), 0.21($t = 7.76$), 그리고 0.44($t = 19.89$)로서 우리나라 학생들이 월등하게 뛰어난 수행능력을 보여주었다(Table 2 참조). 이렇게 우리나라 학생들이 뛰어난 능력을 보인 과제를 살펴보면 3번과 4번 과제는 '물뿜기 과제' 들로서 비율적 추론능력을 평가하는 과제이고, 7번 과제는 가방에서 공을 집어낼 때 예상되는 가능성을 알아보는 확률적 추론에 대한 과제이다. 더 나아가 우리나라 대학생들은 또 다른 확률적 추론 과제인 6번 과제 역시 미국 학생들보다 뛰어난 수행정도를 보여주었다.

이상의 결과는 우리나라 대학생들이 과학적 추론 과제에서 미국의 대학생보다 비교적 높은 수행정도(한국: 8.06, 미국: 6.70)를 보여주는 것은 대체로 비율적 추론 과제와 확률적 추론 과제에서 뛰어나게 높은 점수를 기록하였기 때문이라고 해석할 수 있다. 즉, 우리나라 대학생들이 평균에서 높은 점수를 나타낸 이유는 비율적 추론 또는 확률적 추론과 같이 수학적 연산과 관련된 과학 추론에서 미국학생들에 비해 월등하게 뛰어났기 때문이라는 것을 본 연구의 결과는 보여주었다.

그러나 수학적 연산과의 관련이 비교적 적은 과제에서 우리나라 대학생들의 수행정도는 수학적 연산과 관련된 과제에 비해 상대적으로 저조하였을 뿐만아니

Table 2. Korean and the US students' performances across scientific reasoning tasks.

Item number	Reasoning skills	Mean(SD)		Mean difference	t
		Korea	US		
1	Conservational	0.78(0.42)	0.94(0.24)	-0.16	8.13**
2	Conservational	0.60(0.49)	0.73(0.44)	-0.13	5.06**
3	Proportional	0.93(0.25)	0.45(0.50)	0.48	22.93**
4	Proportional	0.87(0.34)	0.29(0.45)	0.58	27.24**
5	Control of variable	0.93(0.25)	0.85(0.36)	0.08	5.24**
6	Control of variable	0.61(0.49)	0.40(0.49)	0.21	7.76**
7	Control of variable	0.90(0.30)	0.46(0.50)	0.44	19.89**
8	Probabilistic	0.70(0.46)	0.91(0.29)	-0.21	9.72**
9	Probabilistic	0.71(0.46)	0.63(0.48)	0.08	3.08*
10	Combinatorial	0.62(0.49)	0.78(0.41)	-0.16	6.23**
11	Hypothesis-testing	0.07(0.26)	0.17(0.37)	-0.10	5.59**
12	Hypothesis-testing	0.34(0.47)	0.10(0.30)	0.24	10.63**

Note. *: $p < .01$ **: $p < .001$

라, 미국 대학생들보다 통계적으로 의미있는 낮은 수행정도를 보여주었다. 예를 들면, 우리나라 대학생들은 본 연구의 과학적 추론 과제중 가장 하위단계 추론(c.f., Inhelder & Piaget, 1958; Lawson, 1995)으로 여겨지는 보존적 추론에 관련된 과제들 1번(무계보존)과 2번(부피보존)에서 미국 대학생들의 평균보다 통계적으로 의미있게 낮은 수행정도를 보여주었을 뿐만 아니라, 심지어 자신들의 문항당 평균인 68%(8.06/12문항)의 부근인 각각 78%와 60%의 수행정도를 보여주었다. 또한 실험과정상의 변인통제에 관련된 문항인 8번, 9번, 그리고 변인간 상관성의 진술에 관련된 10번 문항에서도 우리나라 대학생들은 자신들의 전체 평균 수행정도(68%)와 비슷하거나 저조한 70, 71, 62%의 수행정도(Table 2)를 보여주었다. 특히 8번과 10번은 미국 대학생들보다 통계적으로 의미있게 낮은 수행정도를 보여주었다. 실제로, 이제까지의 과학적 사고검사에서 제외되어 왔고, 또 본 연구에서 극단적으로 저조한 수행정도를 보인 11번과 12번 과제의 점수를 제외한 우리나라 대학생들의 평균성취도가 76.5%(7.65/10문항)임을 감안하면, 이들 2, 8, 9, 10번 문항의 수행정도는 전체평균보다 훨씬 저조한 수행정도를 보여주었고, 1번은 겨우 평균과 비슷한 수행정도를 보여주었다. 즉, 수학적 연

산과 관련이 많은 과학적 추론과제보다는 수학적 연산과 관련이 적고 논리적인 관계성에 대한 설명을 요구하는 과학적 추론과제에서 우리나라 대학생들은 대체로 평균이하의 저조한 수행정도를 보여주었을 뿐만 아니라, 미국의 대학생들보다 저조한 수행정도를 보여주었다.

더 나아가, 가설을 창안하고 검증하는 과정의 설계와 관련된 가설검정능력을 평가하는 문항(11, 12번)에서 양국 대학생들은 다른 문항에 비해 현저하게 저조한 수행정도를 보여주었다. 두 문항에 대해 한국학생들은 11번과 12번에서 각각 0.07과 0.34를 보여주었으며, 미국학생들은 0.17과 0.10의 평균을 보여주었다. 한국학생들의 경우 1-10번 문항가운데 가장 낮은 점수를 보여준 문항이 2번 문항(0.60)인데, 이 문항과 11-12번 문항가운데 높은 점수를 보여준 12번 문항과의 평균비교에서 통계적으로 의미있는 차이($t=10.83$, $p<0.001$)를 보여주었다(Table 3 참조). 또한 미국학생들의 경우에서도 1-10번 문항가운데 가장 낮은 점수를 보여준 문항이 4번 문항((0.29)인데, 이 문항과 11-12번 문항가운데 높은 점수를 보여준 11번 문항과의 비교에서 역시 통계적으로 의미있는 차이($t=5.64$, $p<0.001$)를 보여주었다(Table 3 참조). 더 나아가 양국 대학생의 전체 평균에 대한 비

Table 3. t-test results between hypothesis-testing tasks and other tasks

country	compared items		mean difference	t
	items-ot	items-ht		
Korea	2	12	0.26(0.60-0.34)	10.81*
US	4	11	0.12(0.29-0.17)	5.64*
Total	6	12	0.28(0.52-0.24)	16.65*

Note. items-ot : items with minimum score among other tasks, rather than hypothesis-testing one. item-ht : items with higher score between two hypothesis-testing tasks.

*: $p < .001$

교에서도 가설검정능력을 평가하는 문항 가운데 높은 점수를 기록한 12번은 기타 문항 가운데 가장 낮은 점수를 기록한 6번에 비해 통계적으로 의미있게 낮은 점수를 보여주었다($t = 16.65$, $p < 0.001$). 이러한 결과는 가설검정능력을 평가하는 과제들이 피아제식 형식적 조작능력을 측정하는 과제들보다 상대적으로 고등한 과학적 사고기능을 평가하는 문항이라는 주장을 지지하는 증거의 하나로 제시될 수 있다. 즉, Lawson(1996)과 Lawson 등(in press)에 따르면, 이들 두 문항(11과 12번 문항)은 과학적 사고에서 이론적 가설을 검정하는 능력과 관련된 제 5단계(또는 형식적 조작후 단계) 사고과정에 속하는 고등사고기능을 측정하는 문항들이다. 따라서 이들 두 문항이 본 연구에서 사용된 과학적 추론 검사의 다른 문항들에 비해서 통계적으로 의미있는 낮은 점수를 보여주고 있다는 사실은 이들이 본 연구의 과학적 추론 검사에 제시된 다른 10문항보다 인지적으로 보다 고등한 사고력을 요구한다는 Lawson과 그의 동료들의 이론을 지지하는 하나의 증거가 될 수 있다.

아울러 촛불연소시 물이 올라오는 원인으로서 이산화탄소가설을 검정하는 과정을 고안하고 결과를 예상하는 11번 문항에서는 우리나라 대학생들은 약 7% 정도만 과학적인 검정과정을 고안하고 논리적인 예상 결과를 제시했다. 더 나아가, 이는 미국 대학생들의 약 17% 정도가 과학적인 설명을 제시한 것에 비해서 통계적으로 의미있는 낮은 설명정도를 보인 것이다($t = 6.23$, $p < .001$). 그러나 적혈구가 소금물에서

수축하는 원인으로서 소금의 이온에 관련된 가설들을 검정하는 과정을 고안하고 결과를 예상하는 12번 문항에서는 우리나라 대학생들이 약 34%가 과학적 설명을 제시했으나, 미국의 대학생들은 약 10%만 타당한 설명을 보였다. 이렇게 같은 제 5단계 사고단계에 속하는 것으로 밝혀진 두 문항이 양국 공히 과학적 추론과제의 다른 문항보다 낮은 수행정도를 보여준 것과 함께, 다른 한편에서는 같은 가설검정능력을 측정하는 이들 두 문항과 문화 및 경험 차이(한국과 미국)가 뚜렷한 상호작용(Fig. 1 참조)의 효과를 보여주었음을 알 수 있다.

IV. 결론 및 적용

본 연구는 우리나라 대학생들 774명과 미국의 대학생들 568명을 대상으로 가설검정기능이 포함된 과학적 추론능력을 조사하였다. 본 연구의 조사결과는 전체적으로 한국의 대학생들이 비록 미국의 대학생들보다 평균에서 높은 점수를 보여주었지만, 이는 표집 대상의 인지적 특성이 통제되지 않은 상황이어서 자료의 해석에서 제한점이 존재할 것이다. 그러나, 과학적 추론의 각 하위요소에 대한 두 나라 대학생들의 수행정도를 분석해보면, 서로 특이한 경향을 나타낸다. 즉, 한국의 대학생들은 비율적 추론, 확률적 추론 등의 수학적 연산이 많이 관련된 과학적 추론 과제에서 월등하게 높은 점수를 나타내었고, 반면에 미국의 대학생들은 이들 추론 과제에서 아주 저조한 수행정도를 보여주었다. 그러나, 보존적 추론, 변인간의 관련성을 논리적으로 진술하는 추론, 그리고, 변인간의 상관관계를 논리적으로 진술하는 추론 등을 살펴보면, 이들 과제에서 한국의 대학생들은 상대적으로 미국의 대학생들보다 통계적으로 의미있는 낮은 점수를 보여주었다.

이상의 연구결과를 살펴볼 때, 우리나라 대학생들의 과학적 사고능력은 상당한 부분에서 뛰어난 수학적 연산 능력에 의해서 설명되어질 수 있다 하겠다. 이와 함께, 우리나라 대학생들의 과학적 사고는 변인간의 관계성을 논리적으로 설명하는 추론 기능에서는 상당히 저조하다는 것을 보여주었다. 특히 본 연구의

결과에 따르면, 창의적인 과학사고에 매우 중요한 역할을 하는 것으로 알려진 가설검정기능에서는 우리나라의 대학생들은 매우 저조한 수행정도를 보여주었다고 할 수 있겠다.

더 나아가 가설검정능력을 평가하는 두 개의 과제에 대해서는 국가에 관계없이 양국 대학생 모두 본 연구의 다른 과제들에 비해서 극히 저조한 수행정도를 나타내었다. 이러한 결과는 가설검정능력에 관련된 과제를 수행하는데 요구되는 과학적 사고가 본 연구의 다른 과제를 수행하는데 요구되는 과학적 사고에 비해서 보다 고등한 추론과정이라는 가설을 지지하는 증거로 해석될 수 있다. 더 나아가, 이들 가설검정능력에 관련된 과제에서 국가 사이에 뚜렷한 상호작용의 효과가 존재함을 본 연구는 보여주었다. 이러한 결과들을 고려할 때, 과학적 추론 능력의 발달이 Piaget가 제시한 4단계보다 그 이상의 추론단계가 존재한다는 가설(c.f., Lawson et al., in press)을 지지함과 동시에, 이들 과학적 추론 기능은 연령의 증가에 의한 일반적인 성숙의 영향 뿐만 아니라 환경요인에 의해서도 많은 영향을 받는다는 주장을 지지하는 증거로 제공될 수 있다.

또한 본 연구결과는 현행의 과학수업에서 비율추론이나 확률추론에 관련된 교수·학습보다는 상관추론 및 변인통제에 관련된 논리적 관계의 진술기능과 가설-연역적 추론에 바탕을 둔 가설검정에 관련된 추론기능의 향상을 위한 교수·학습과정의 제공에 보다 많은 관심을 기울이도록 요구하고 있다. 먼저 본 연구의 결과를 살펴보면, 우리나라 대학생들이 사물과 사물 또는 사건 사이에 관련성에 대해서 논리적이고 합리적인 진술을 통한 설명이 부족한 것으로 나타남으로서, 우리의 학교과학이 자연현상들 사이의 관련성에 대해서 논리적으로 진술 또는 설명할 수 있는 교수학습과정을 제시하는 것을 요구하고 있다. 예를 들면, 학교 과학이 수학적 공식과 관련된 문제 풀이나 서술적 개념의 암기보다는 관찰이나 실험과정에서 제기된 변인간의 관계 또는 관련성에 대해서 논리적으로 설명하는 과정을 제공하는 교수·학습과정을 제공하도록 요구하고 있다. 실제로 대학수학능력이 이들 추론적 기능에 대한 평가를 시행하므로 현행 과학

교육에서 이들 기능의 교육을 요구해왔다 할지라도, 본 연구의 대상들이 모두 대학수학능력을 치른 세대임을 감안할 때, 현행 과학 교수·학습이 자연현상에 대한 학생들의 과학적이고 논리적인 설명능력을 향상시키는데 성공적이었다고 하기는 어렵다 하겠다. 따라서 앞으로의 과학 교수·학습은 이들 사고기능에 대한 보다 강화된 프로그램을 제공하여야 할 것이다.

더 나아가, 과학적 추론 기능과 문제해결에 관련된 연구에 따르면, 가설-연역적 설명이 요구되는 과학의 이론적 개념(c.f., Lawson et al., in press)에 대한 이해에서도 이러한 피아제식 형식적 조작과제(본 연구에서 과제 1-10과 유사한 사고) 관련 과학적 추론은 유의미한 역할을 수행하는 변인중의 하나로 분류되기 어렵다는 연구가 제시되었다(Niaz & Robinson, 1992). Niaz & Robinson의 연구결과에 따르면, 비율적, 확률적, 상관적 추론등의 등의 피아제식 과제를 바탕으로 구성된 논리적 사고기능검사(i.e., GALT, Rodranka et al., 1983)에서의 수행능력이 과학의 이론적 개념(conceptual gestalt)을 적용하는 과제에 대해서는 통계적으로 유의미한 상관성을 보여주지 못하였고, 다만 수학적 연산공식에 대입해서 문제를 해결하는 연산적 방식(algorithmic mode)의 과제수행능력에만 의미있는 설명을 보여주었다고 보고하였다. 따라서 과학적인 논리성에 기초한 올바른 개념이해 또는 설명을 위해서 과학교육은 본 연구의 과학추론기능에 포함되어 있는 피아제식 형식적 조작과제에서 요구하는 사고기능보다는 가설-연역적 논리를 적용한 기능 또는 가설검정능력을 강조한 추론능력의 발달에 관심을 두어야하는 것을 의미한다.

실제로 과학적 사고와 탐구의 가장 주된 본질이 자연 현상에 대한 의문의 발상에서 가설을 창안하고 그 가설의 검정 과정의 고안 및 실행을 통해서 미지의 자연 현상에 대한 과학적 설명 체계를 제시하는 것이라고 볼 때(Chamberin, 1898; Platt, 1964), 우리나라의 과학교육은 이러한 가설의 창안과 검정과정을 접하고 그러한 능력을 습득할 기회가 부족하다는 것을 본 연구의 결과는 보여주었다. 이러한 연구결과를 이미 과학적 사고에 대한 많은 연구들의 결과들과 일

치하는 경향을 나타내는 결과이다(김효남, 1994; 최경희 등, 1998; 현충기, 1994). 가설검정에 관련된 추론 기능의 향상을 위해서는 과학 교수·학습을 '관찰된 현상에 대해서 의문이 생길 때 자신의 인지구조에 친숙한 가장 타당성 있는 가설을 창안하고, 그런 다음 그 가설을 검정해 가는 과정을 통해 학습자가 최초로 가졌던 의문에 대해 보다 과학적이고 이론적인 설명 또는 개념 체계를 획득해 가는 교수·학습 전략'으로 구성하는 것이 학생들의 가설검정능력(hypothesis-testing skills)을 향상시키는 한 방안이 될 수도 있다. 예를 들면, Lawson(1994, 1995), Lawson 등(1989)에 제시된 '순환적 교수·학습과정(learning cycle)', 그리고 Kwon(1996)에 의해 제시된 '과학적 추론을 적용한 순환적 교수·학습과정'은 학생들에게 이러한 가설검정능력을 향상시킬 수 있는 기회를 제공하는 전략의 예들이 될 수 있다. 즉, 구체적으로 학생들에게 '자연현상의 관찰(observing natural phenomena) → 의문의 발상(raising questions) → 대체가설의 창안(creating alternative hypotheses) → 테스트 방법 고안(designing test procedure) → 결과의 예상(predicting expected results) → 실제 결과의 수집(collecting actual results) → 예상과 실제 결과의 비교를 통한 결론진술(Stating conclusion through comparing actual results with expected results)'의 과정을 경험하는 교수·학습 과정(c.f., Kwon, 1996)을 적용하면 학생들의 가설검정능력과 관련된 과학적 추론을 발달시킬 수 있을 것으로 기대된다.

적 요

최근의 보고에 따르면 우리 나라 학생들은 학년이 높아질수록 과학적 수준은 반대로 떨어지는 경향을 보이고 있지만 고등학교 이후 집단의 과학적 추론 능력에 대한 연구는 체계적으로 이루어지지 않고 있다. 특히 가설검정능력과 관련된 과학적 추론은 가장 고등한 인지기능의 하나로 여겨지고 있고, 또 창의적이고 비판적인 사고에 매우 중요하다고 보고되어 왔다. 따라서 본 연구는 우리나라 대학생들의 과학적 추론

능력을 조사하고, 이를 미국 대학생들의 과학적 추론 능력과 비교하여 분석하였다. 아울러 본 연구는 가설검정능력이 과학적 추론능력의 다른 하위요소에 비해 고등한 추론기능이라는 가설도 검정하였다. 고등학교 이후의 과학적 추론에 대한 경향을 조사하기 위하여 본 연구는 한국의 대학생 774명과 미국의 대학생 568명에게 과학적 추론 검사를 실시하여서 비교·분석하였고, 이 자료를 토대로 가설검정능력이 과학적 추론의 다른 하위요소에 비해 고등한 추론이라는 가설도 검정하였다. 본 연구에 사용된 과학적 추론 검사는 보존논리, 비례논리, 변인통제, 확률논리, 상관논리, 그리고 가설검정기능에 관련된 12개의 과제로 구성되어 있다. 본 연구의 결과는 한국 대학생들이 비례 및 확률논리를 평가하는 과제에 대해서는 미국 학생들보다 월등하게 높은 점수를 기록하였고, 보존이나 변인통제, 그리고 상관논리를 평가하는 과제에 대해서는 반대의 경향을 나타내었다. 또한 가설검정능력을 평가하는 문항에서는 양국 모두 다른 과학적 추론 과제에 비해서 뚜렷하게 낮은 점수를 보여주었다. 본 연구는 이들 결과에 대해서 본 연구의 목적과 관련해서 논의하였고 이의 교육적 적용에 대해서도 논의하였다.

References

- 강순희, 노정원과 박종윤 (1998). 과학교육 연구에 사용된 GALT 원본과 축소본에 대한 조사연구. 한국과학교육학회지, 18(3), 399-414.
- 김효남 (1995). 아동, 예비교사, 중견교사의 과학지식, 과학적 탐구능력, 인지수준의 비교. 한국과학교육학회지, 15(1), 97-115.
- 한종하 (1994). 우리나라 과학교육의 혁신과 발전과제. 학교과학교육의 혁신과 실천 방안(학술심포지움). pp. 171-178. 한국과학교육학회.
- 최경희, 조연순, 조덕주 (1998). 창의적 문제해결력 신장을 위한 중학교 과학 교육과정 연구 - 현행 교육과정과 수업현장 분석을 중심으로. 한국과학교육학회지, 18(2), 149-160.
- 현충기 (1994). 중학교 과학교사를 위한 과학 실험연

- 구 교재에서 생물분야 분석. 석사학위 논문. 한국교원대학교 대학원.
- Beaton, A.E., Martin, M.O., Mullis, I.V.S., Gonzalaz, E.J., Smith, T.A., & Kelly, D.L. (1996). *Science Achievement in the Middle School Years: The IEA's Third International Mathematics and Science Study (TIMSS)*. Chestnut Hill, MA.: Boston College.
- Burmester, M.A. (1952). Behavior involved in critical aspects of scientific thinking. *Science Education*, 36(5), 259-263.
- Chamberlin, T.C. (1965). The method of multiple working hypotheses. *Science*, 148, 754-759. (Originally published in 1898).
- Kwon, Y. (May, 1996). *A Teaching Model Applying Scientific Reasoning Process: Candle Burning Experiment (Teacher's Guide)*. Unpublished paper. Tempe, AZ: Arizona State University.
- Kwon, Y. (1997). *Linking Prefrontal Lobe Functions with Reasoning and Conceptual Change*. Unpublished Doctoral Dissertation. Tempe, AZ: Arizona State University.
- Kwon, Y., & Lawson, A.E. (1998). A plateau and spurt pattern of neurological maturation, scientific reasoning development, and conceptual change in secondary school students. *Journal of the Korean Association for Research in Science Education*, 18(4), 589-600.
- Kwon, Y., & Lawson, A.E. (in press). Linking brain growth with scientific reasoning ability and conceptual change during adolescence. *Journal of Research in Science Teaching*.
- Lawson, A.E. (1987). *Classroom Test of Scientific Reasoning*. Unpublished paper. Tempe, AZ: Arizona State University.
- Lawson, A.E. (1994). *Biology: A Critical Thinking Approach (Teacher's Guide)*. Menlo Park, CA: Addison-Wesley.
- Lawson, A.E. (1996). *The Development of Thinking skills through Science Education: A Five-Stage Theory*. An invited address in the 20th anniversary of KARSE international seminar and workshop in science education. Chungbuk, Korea: The Korean Association for Research in Science Education.
- Lawson, A.E., & Lawson, C.A. (1979). A theory of teaching for conceptual understanding, rational thought, and creativity. In A.E. Lawson (Ed.), 1980 *AETS Yearbook: The Psychology of Teaching for Thinking and Creativity* (pp. 104-149). Columbus, OH: ERIC Clearinghouse for Science, Mathematics, and Environmental Education.
- Lawson, A.E., Abraham, M.R., & Renner, J.W. (1989). *A Theory of Instruction: Using the Learning Cycle to Teach Science Concepts and Thinking Skills*. Cincinnati, OH: National Association for Research in Science Teaching.
- Lawson, A.E., Drake, N., Johnson, J., Kwon, Y., & Scarpone, C. (in press). The development of hypothesis-testing skills: What happens in college? *The American Biology Teacher*.
- 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 and concept acquisition: Testing a constructivist hypothesis*. *Journal of Research in Science Teaching*, 28(8), 953-970.
- Martin, M.O., Mullis, I.V.S., Beaton, A.E., Gonzalaz, E.J., Smith, T.A., & Kelly, D.L. (1997). *Science Achievement in the Primary School Years: The IEA's Third*

- International Mathematics and Science Study (TIMSS)*. Chestnut Hill, MA.: Boston College.
- Niaz, M., & Robinson, W.R. (1992). From 'algorithmic mode' to conceptual gestalt' in understanding the behavior of gases: An epistemological perspective. *Research in Science and Technological Education*, 10(1), 53-64.
- Novak, J. (1977). An alternative to Piagetian psychology for science and mathematics. *Science Education*, 61(4), 453-477.
- Platt, J.R. (1964). Strong inference. *Science*, 146, 347-353.
- Roadranka, V., Yeany, R.H., & Padilla, M.J. (1983). *Validation of Group Assessment of Logical Thinking(GALT)*. Paper presented at the annual meeting of NARST, Texas.