

두 천문학자 집단의 논증과정 분석

이효녕 · 조현준*

경북대학교 · ¹한국지질자원연구원

Analysis of an Argumentation between an Astronomers group and a Counter Astronomers group

Hyonyong Lee · Hyunjun Cho^{1*}

Kyungpook National University, ¹Korea Institute of Geoscience and Mineral Resource

Abstract: The purposes of this study are to analyze an argumentation between an astronomers group and a counter astronomers group that have concluded different results by using the same methods and to find an implication for applying to school science. For this study, two science research papers, which have been interpreted differently, were selected and analyzed in spite of observing same area in Titan and using same data process method. Their key issues are involved in interpretation and explanation, and the credibility of observed data. From this result, scientific argumentation accompanied with the credibility evaluation about the justification process of scientific explanation and experiment results needs to be developed.

Key words: argumentation, astronomer, justification, credibility of data, nature of science

I. 서 론

“학생들을 과학자처럼”이란 말은 이미 1960년대부터 주장되어 왔다. 이 주장은 1960년대와 1970년대 이후 영국의 Nuffield 재단과 미국의 NSF(National Science Foundation)가 지원한 교육과정 혁신 연구들에서 과학자들의 탐구와 같이 학생들에게도 과학적 탐구를 경험하게 하는 결과들로 나타나고 있었다. 그러나 이 연구결과가 교실 교육에 준 영향은 실제로 거의 미비하였으며(Welch, 1979), 그 이유 중 하나로, ‘과학자들과 같은 탐구’를 강조하고 있지만 실제로는 ‘과학 개념’과 관련된 학습 결과물에 더 중점을 두고 연구를 해왔기 때문이라는 지적이 있다(Cros *et al.*, 1987; Gable & Bunce, 1984).

반세기에 걸친 막대한 투자와 노력에도 불구하고 그 효과의 미비로 인해 최근에는 과학적 개념 중심의 교실 수업에서 벗어나 학생들이 과학을 알아가는 방법(science as a way of knowing)으로 이해할 수

있도록 과학적 논증과정(scientific argumentation)에 가치와 강조를 둔 수업이 필요하다는 주장이 제기되고 있다(박영신, 2006; 이효녕 등, 2009; 조현준 등, 2008; Driver *et al.*, 2000; Jimémex-Alexandre *et al.*, 2000; 2005). 즉 과학은 ‘관찰과 기록’에 의해서 보다는 커뮤니티와의 상호작용을 통해 발전하며, 과학적 사고는 논증으로서의 과학(Science as argument) 속에서 발견되기 때문에(Hogan & Maglienti, 2001; Kuhn, 1993; Zohar & Nemet, 2002) 학교 과학교육에서 논증활동¹⁾이 강조될 수밖에 없다는 것이다(Driver *et al.*, 2000; Yore *et al.*, 2007).

과학적 탐구에 의한 결과들을 다양한 이론과 증거를 활용하여 해석하고 과학자 커뮤니티 내에서 그 결과에 대한 해석을 검토하여 수용 또는 거부하는 과정인 논증활동은 과학에서 매우 중요한 의미를 갖는다. 특히 과학 교육에서 논증활동의 의미는 크게 두 가지로 요약될 수 있는데(Erduran *et al.*, 2005), 그 하나

*교신저자: 조현준(hcho@kigam.re.kr)

**2009.12.08(접수) 2010.02.13(1심통과) 2010.04.20(2심통과) 2010.04.27(최종통과)

***이 논문은 2007년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2007-327-B00597).

1) Walton(1990)은 논증과 비슷한 여러 유형을 구분하고 있으며, 국내 연구자들에 따라 논변(활동), 논의(과정) 등 다양하게 사용하고 있으나, 여기에서 논증은 Walton(1990)의 의미를 그대로 사용하였다. 다만, 본 고에서는 논증과정은 ‘천문학자들의 논증’의 과정 자체에 초점을 둔 반면, 논증활동은 ‘학교과학 수업에서의 활동’에 초점을 두고 사용하였다.

는 과학 개념의 협력 활동에 참여할 수 있게 하는 교육적 기능이며, 또 다른 하나는 그 과정에서 학생들의 과학적 사고 과정을 드러나게 함으로써 교사가 관찰을 통한 평가가 가능하다는 평가적 기능이다. 다시 말하면, 학생들에게 과학자와 같은 탐구를 통해 과학 지식이 어떻게 만들어지는지, 그렇게 만들어진 지식이 과학자 사회에서 어떻게 수용되는지에 대한 경험을 제공함으로써 과학자들의 탐구 과정을 체험하게 하는 교육적 기능을 수행함과 동시에 그 과정에서 학생들의 기존 개념과 과학적 개념이 새롭게 조직화되는 과정이 자연스럽게 드러남으로써 교사에 의한 평가가 가능하다는 평가적 기능을 동시에 가짐으로써 논증활동의 교육적 가치는 더욱 배가된다.

그러나 이미 알려진 바와 같이, 과학교육 현장에서는 논증활동을 활용한 수업이 거의 진행되고 있지 않고 있다(김희경 등, 2003; 이범홍 등, 1999; Newton *et al.*, 1999; Osborne *et al.*, 2004). 다시 말해, 과학수업에서 논증활동이 활발하게 사용되고 있지 않으며(강석진 등, 2000; 이효녕 등, 2009), 논증이 일어난다 하더라도 그 속에서 학생들이 사용하는 논증의 질은 매우 낮게 나타나고 있음을 의미한다(송미선, 2009; 위수민 등, 2009; 조현준 등, 2008). 이렇듯 학생들이 과학적 증거가 수반되는 논증활동에 대한 수준이 낮은 이유는 논증활동과 관련된 교사들의 교육 경험이 미흡한 것도 한 원인으로 지적될 수 있다. 실제로, 이효녕 등(2009)의 설문 연구에 따르면, 초등 교사의 경우 응답자의 약 52.7%, 중학교 과학교사의 약 48.5%, 고등학교 과학교사의 약 41.3%가 논증활동에 대해 들어본 적이 없다고 하였다는 응답을 통해 추론할 수 있기 때문이다.

교사들의 이러한 요구와 과학적 절차와 설명을 통한 의사소통을 강조한 2007 개정 교육과정(교육과학기술부, 2008)의 도입과 맞물려 논증을 활용한 교육의 필요성은 증대되고 있다고 할 수 있다. 이효녕 등(2009)의 연구로부터, 초·중·고 현직 교사들의 약 80% 이상이 과학 수업에서 논증활동이 필요하다고 생각하고 있으며, 논증활동을 위한 자료가 보급되면 여건에 맞게 적극 활용할 의사가 있음이 확인되었기 때문이다. 그러나 이러한 교육적 요구와 관련 교육자료의 필요에도 불구하고 논증활동 지원을 위한 자료 개발을 위한 연구는 상대적으로 미흡하다. 최근, 과학사를 이용한 소집단 토론 수업(강석진 등, 2004)과 온라

인을 통한 토론 활용방안에 시사점을 준 일련의 연구들(이봉우, 2004; 이봉우, 김희경, 2004), 그리고 과학 논증활동의 평가를 위한 루브릭 개발 연구(양일호 등, 2009)는 논증활동의 활용 가능성 측면에서 가치 있는 연구결과라 할 수 있다.

그러나 '과학자와 같은 탐구' 활동을 경험하게 한다는 취지(NRC, 2000)에서 볼 때, 그리고 구체적인 논증활동을 위한 교육적 시사점을 얻기 위해서 과학자들은 서로의 연구에 대해 어떻게 논증을 펼치며 또 어떻게 자신의 정당성을 주장하는지에 대해 깊이 있게 살펴볼 필요가 있다. 이러한 연구는 과학 논증활동에 대한 구체적인 근거자료로 활용될 수 있기 때문이다. 하지만, 과학사의 다양한 사례 중에서 경쟁하는 두 이론 간의 논쟁에 대한 이해는 과학의 본성적 측면에서 매우 중요한 위치를 차지하고 있음에도 지금까지 과학사에 드러난 경쟁 이론의 탐색에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 과학사 속의 과학자들 간 논증과정을 직접 살펴본다는 것은 시간적으로 공간적으로 제약이 따르게 되는데, 이것은 상대편 간의 논쟁이 매우 오랜 동안 진행된다는 점, 또 상대적인 의견을 가진 과학자 그룹(counter researcher groups)이 불특정하다는 것 때문이다.

그러나 최근 이러한 제약에 대한 대안으로써 그들의 연구물을 살펴보는 연구방법이 등장하고 있다. 그것은 역사적 자료로 남아있는 과학자들의 논쟁 과정에 초점을 분석하는 역사적 접근법(historical approach)이다(Cohen *et al.*, 2000). 역사적 접근을 취하는 연구들(historical researches)의 특징은 직접적인 관찰과 실험을 통해 결과를 얻어내지는 못하지만, 역사적으로 중요한 사건과 사실들에 관한 정보를 문헌 속에서 얻는 것이며, 이러한 방법은 직접 관찰을 수반하는 다른 일반적인 학술적 연구방법과 동일한 원리와 노력을 바탕으로 한 과학적 연구방법으로서 인정받고 있다(Cohen *et al.*, 2000). 즉, 역사적 접근법은 과거의 사실들이나 사건들(Events)에 대하여 문헌에 드러나는 증거들을 체계적으로 분석하여 새로운 객관적 사실을 발견하거나 또는 과거 사실에 대한 평가를 종합하는 과정으로 정의된다. 이러한 접근법을 취한 대표적인 연구로는 세계적으로 유명한 조직심리학자이자 창의성 연구자인 Gruber(1974)의 Darwin이 자연선택설을 주장하기까지 다윈의 창의성에 대해 연구한 『Dawin on Man』이 있으며, 이 책

은 다윈의 연구 논문은 물론 연구노트, 저서, 주변인들과 주고받은 서신들 등을 바탕으로 연구된 과학 저서로 잘 알려진 도서이다. 또한 형태 심리학자인 Wertheimer(1945)의 아인슈타인의 특수 상대성 이론의 발달과정에 나타난 창의성에 대한 관한 고전적 연구 『Productive Thinking』이 있으며, 인지 심리와 인지 과학 분야의 전문가인 Thagard(1998)의 H. Pylori 균이 밝혀지기까지의 역사적인 과학자들의 주장이 담긴 논문과 서신들을 통해 그 논리를 다룬 연구 논문인 〈Ulcers and bacteria I: Discover and acceptance〉 등이 있다. 특히, Gruber(1974)의 저서인 『Dawin on Man』은 미국의 과학자들이 뽑은 “20 세기의 과학을 대표하는 100대 저서들”로 선정되기도 하였다(Dobry, 2005).

따라서 이 연구에서는 역사적 접근법을 통해, 문헌상에서 관찰되는 두 과학자 집단 간의 논증과정을 교육적 관점에서 과학적 정당화 과정과 두 연구 사이의 쟁점을 분석하고 학교 과학 논증활동을 위한 시사점을 얻는데 목적이 있다.

II. 연구 방법 및 절차

1. 연구 대상

역사적 접근법에 의한 결과의 신뢰성을 위해서는 수집되는 문헌들에 기재된 내용들의 사실적 측면이 담보되어야 한다(Cohen *et al.*, 2000). 따라서 이 연구에서는 SCIENCE 지에 실린 저널과 천문학계의 최고 권위 학술저널인 ASTROPHYSICAL JOURNAL 에 실린 두 논문을 분석 대상으로 하였다(표 1). 이 두 논문은 이미 세계적인 저널에 실린 논문으로써, 연구 과정과 결과에 대한 내용은 심사자들과 편집위원회에서 이미 검증된 논문이기 때문에 논문에 실린 여러 방

법이나 결과에 대한 사실이 담보되어 있다고 판단되므로 논문에 실린 여러 정보의 신뢰성을 가리기 위한 노력은 사실상 요구되지 않는다.

토성 위성 타이탄에 비가 내리는가에 대한 연구 개요

태양계 행성인 수성보다 큰 위성 타이탄은 질소가 풍부한 대기에 메탄이나 에탄 같은 탄화수소가 포함되어 있다고 알려져 있다. 이러한 대기는 원시 지구의 대기와 비슷해 약 40억년전 지구에서 생명체가 탄생하던 순간을 밝혀줄 수 있는 실마리를 제공할 것으로 기대되고 있다. 타이탄은 짙은 대기로 뒤덮여 있어 그동안 표면 관측이 힘들었으나, 지상의 대형 망원경을 활용한 적외선과 전파 관측을 통해 관측되고 있으며, 2004년부터 토성탐사선 카시니가 토성을 탐사하면서 이와 함께 타이탄의 표면을 관측할 수 있게 되었다. 카시니가 타이탄 주위를 돌면서 적외선과 전파 영상 자료를 보내오면서 지구나 화성 표면에서 볼 수 있는 구불구불한 강과 같은 모습이 발견되었고, 곳곳에서 거대한 호수가 관측되기도 하였다. 그리고 타이탄의 남반구에서는 구름이 관측되기도 하였다. 이러한 일련의 관측 데이터를 통해 일부 과학자들은 타이탄에 비가 내리고 있다고 주장했고 이러한 내용은 세계적 학술지인 NATURE나 SCIENCE에 논문으로 실리기도 하였다.

독일 토카노 연구팀은 1년에 약 5cm의 비가 타이탄에 내린다고 2006년 7월에 NATURE 지에 발표하였고, 미국 UC Berkeley Adamkovics 박사팀은 타이탄에 아침 이슬비가 광범위하게 내리는 것을 관측했다고 2007년 11월에 SCIENCE 지에 발표하였다. 이에 반해 수십 년간 목성과 토성, 타이탄을 연구해온 김상준 교수팀은 Adamkovics 박사팀의 결과를 반박하는 논문을 2008년 5월에 ASTROPHYSICAL JOURNAL 에 게재하였다. 이 두 논문에서의 공방은 국내 일간지 등에 소개된 바 있다.²⁾

표 1
선정된 논문

저자	국적	논문제목	저널명	년도	비고
Ádámkovics 박사팀	미국	Widespread Morning Drizzle on Titan	SCIENCE	2007	
김상준 교수팀	한국	No Evidence of Morning or Large-scale drizzle on Titan	ASTROPHYSICAL JOURNAL	2008	

2) 이 내용은 중앙일보(2008)와 세계 천문의 해(IAA2009) 공식 웹진 '이야진' (2009)에 소개되어 있으며, 이 연구의 이해를 돕기 위해 두 글을 요약·제시한 것이다.

2. 맥락적 접근 방법

지금까지 과학적 논증과정을 분석한 연구들(e.g. Driver *et al.*, 2000; Erduran *et al.*, 2004; Jimé mex-Aleixandre *et al.*, 2000; Kelly & Takao, 2002; Niaz *et al.*, 2002; Osborne *et al.*, 2004; Simon *et al.*, 2006)에서 나타난 공통점은 모두 Toulmin의 논증 구조의 패턴(Toulmin's Argument Pattern; TAP)을 기초로 하여 진행되었다는 것이다. 그러나 TAP는 한 사람의 논증 구조, 즉 독백적 형태의 구조에 유용하게 적용된다는 한계가 있다. 한 사람의 논증의 구조에는 적용이 되지만, 과학자들 간의 논증 구조에는 적합하지 않다는 것이다. 왜냐하면, 과학자 사이의 논증은 자신의 주장을 펼칠 상대가 있고 또 자신의 의견이 정당한 근거를 통해 수용될 대상인 커뮤니티가 존재하기 때문이다(Hogan & Maglienti, 2001; Zohar & Nemet, 2002).

따라서 과학자들의 논증의 과정을 분석하기 위해서는 그들이 어떠한 전략을 통해 상대방의 주장에 반박을 전개하는지에 대한 맥락적 접근이 필요하다(Cohen *et al.*, 2000; Patton, 2002). 따라서 하나의 요소보다는 전체적으로 어떻게 연구가 진행되고, 두 집단 간 주요 쟁점은 무엇인지를 분석하였으며, 이를 통해 과학교육에서의 논증활동을 위한 시사점을 도출하고자 하였다.

공동 연구자가 두 편의 논문을 분석한 후 이 두 편의 연구 논문과 함께 이 연구의 흐름에 대해 관련영역의 전파 천문학자에게 조언을 받았다.

Ⅲ. 연구 결과 및 논의

1. 두 논문의 요약과 쟁점

Ádámkovics 박사팀의 연구 요약: Widespread Morning drizzle on Titan

타이탄의 대기에서 강수 현상이 예상되고 있으나, 아직 직접적으로 관측된 적도 없고, 강수 현상이 발생하는 지리적 영역도 알려진 바가 없다. 우리는 칠레 북부의 거대 망원경(Very Large Telescope; VLT)과 하와이 KECK 관측소로부터 볼투명도가 향상되어 타이탄의 대류권이 잘 보이는 아침이 시작되는 반구의 근적외선영상을 얻었다. 영상으로부터 얻은 소광 운

곽선은 고도 30km 부근의 메탄응결구름과 부수적으로 아래 영역의 메탄강수와 일치하고 있다. 수증기는 타이탄의 가장 밝은 반도인 Xanadu를 넘어 적도 부근 까지 에워싸고 있다. 메탄의 상대습도, 바람의 변화에 의한 하루사이 기온 정도와 지형은 각각 응결과정에 기여하는 요인이 될 수 있다. 구름과 강수는 2.0 μ m 영역에서 광학적으로 얇으며, 볼 수 없는(subvisible) 구름은 모델에 따르면 수직은 0.1mm 정도이거나 좀 더 클 것이라고 예상된다.

김상준 교수팀의 연구 요약: No Evidence of Morning or Large-scale drizzle on Titan

Huygens 탐사선에 의하여 탐사선 착륙지점 상부 대류권에 메탄의 포화상태가 측정된 이후 여러 과학자들은 타이탄에 대규모 메탄 강수가 있을 것이라고 추측하여왔다. 최근 지상관측으로부터 얻어진 자료를 이용하여 2mm파장의 스펙트럼 영상을 이용한 표면 제거방법으로 타이탄의 아침에 어두운 부분을 찾아냈고, 이것이 타이탄의 아침에 대규모 새벽이슬비가 내린다는 관측적인 증거로 제시되어있다. 우리는 이전 연구와 유사한 타이탄의 스펙트럼영상을 Gemini-North 관측소에서 여러 장의 자전에 따른 위상각에 따라 얻은 후 이전의 연구자들과 같은 기술적 방법을 이용하여 분석하였다. 서로 다른 위상의 영상들을 비교하여 본 결과, 우리는 표면제거방법으로 어두운 강수 지역으로 여겨졌던 부분들이 오히려 대부분 밝은 표면으로 나타났다. 우리의 구름이 없는 타이탄의 영상에서는 분광학적으로 이슬비를 확인할 수 있는 어떠한 증거도 찾을 수가 없었다. 현재의 부자연스러운 타이탄의 수문순환 모델로는 하루사이의 변화를 예측하기에는 아직은 어렵다고 여겨진다.

그림 1에서 보는 것과 같이 두 연구는 같은 장소를 기술적으로 동일한 방법으로 관측을 하고 수집된 자료를 처리하였다. 그러나 서로 다른 결과를 얻은 후 다른 결론에 이르고 있다. 이 두 연구의 쟁점은 다음과 같다.

쟁점 1 : 관측자료의 해석

Ádámkovics 박사팀 : 관측한 이미지에서 아침이 시작되는 부분에 검은 지역이 관찰되었다. 따라서 이곳에 강수의 가능성이 있고 이론적으로 계산한 모델과 관측으로 얻은 소광 곡선을 비교하여 보니 잘 맞았다. 따라서 타이탄에는 강수 현상이 있다.

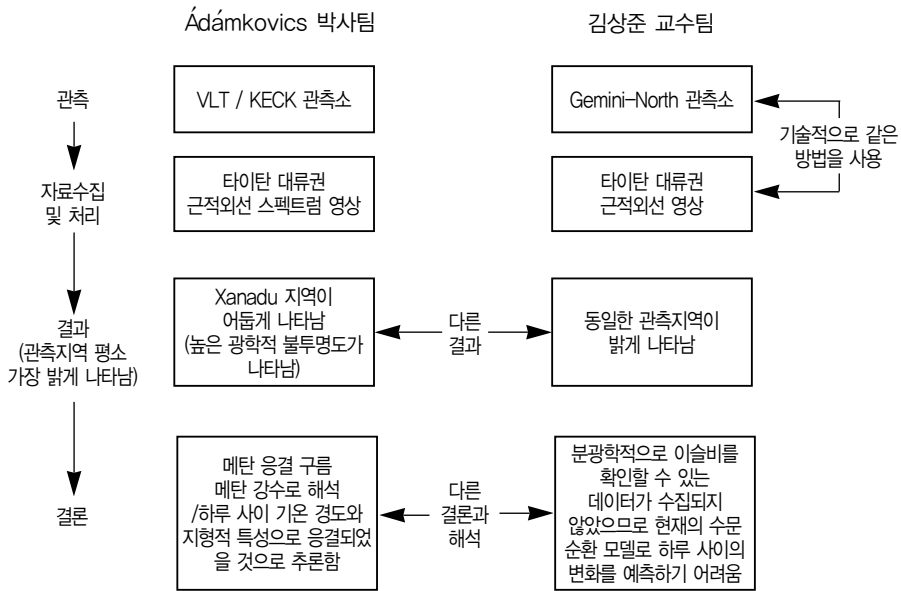


그림 1 두 연구의 흐름과 쟁점

김상준 교수팀 : 관측자료를 해석하는데 신중하여야 한다. 관측으로 얻은 구름의 영상이미지에서 과연 아침이 시작되는 곳에만 검은 지역이 있을까? 지형 때문에 우연히 관측될 수도 있는 것이다. 실제 여러 위상을 관측하여보니 어둡다고 주장한 곳이 오히려 밝은 부분으로 나타났다. 또 관측결과가 이론적 모델과 우연히 맞을 수도 있는 것이다. 너무 이론적 모델에 의존해서 관측자료를 이론적 모델과 일치한다고 전적으로 신뢰를 하면 안된다.

쟁점 2 : 모델 적용의 적절성

Ádámkovics 박사팀 : 관측자료에 대해 수문순환 모델과 잘 일치한다.

김상준 교수팀 : 모델을 단순히 적용시키면 안된다. 모델이 자연현상을 완벽하게 재현할 수는 없는 것이고 관측자료와 우연하게 맞을 수도 있는 것이다. 그리고 현재의 모델로는 하루 사이의 변화를 알아보기에는 아직 충분하지 않다.

2. 두 천문학자 집단의 논증 과정 특징과 교육적 시사점

수집된 자료의 해석과 설명 제안

두 연구팀 모두 같은 파장대로 동일한 지역을 관측

하여 얻은 자료를 사용하였고 또 기술적으로 같은 자료 처리 방법을 사용하였다. 그러나 서로 다른 결론을 이끌어 낸 것에 큰 차이를 갖는다. 다시 말하면, 이 두 연구들은 동일한 관측방법과 동일한 처리 방법으로 상이한 결과를 얻었으며, 그에 따라 서로 상이한 결론을 도출했으며, 그 연구 결과가 모두 과학자 사회에서 승인을 얻었다. 즉 이것은 동일한 대상 혹은 지역에 대한 연구가 서로 다른 결론으로 이를 수 있음을 시사하는 것이다.

Ádámkovics 박사팀이 관측한 결과 검고 어둡게 보이는 지역이 관측되었으며, 해석과정에서 주변 지형적 특성에 맞는 수문순환 모델과도 적절하게 맞아 떨어졌다. 따라서 Ádámkovics 박사팀의 논리적 추론 과정은 논리적으로 적절하다 여겨진다. 그러나 불과 1년이 지나지 않아 김상준 교수팀에 의해 Ádámkovics 박사팀의 결론은 잘못된 것일 수 있다는 주장이 제기되었으며, 이러한 김상준 교수팀의 주장 또한 논리적으로 적절하다.

제한된 설명의 정당성과 한계

Ádámkovics 박사팀은 자신이 얻은 관측 결과가 기존의 모델과 잘 맞아 떨어진다는 것을 들어 자신의 결론을 뒷받침하고 있었다. 그러나 김상준 교수팀은 Ádámkovics 박사팀이 자료해석에 수문순환 모델의

적용에 대해 정말 관측한 자료가 일반적으로 나타날 수 있는가에 대한 자료가 확보되어야 그 현상을 설명할 일반적 모델을 활용할 수 있다는 것을 지적한 것이다. 다시 말하면, 수집된 자료의 부족 그 자체와 그로 인해 발생하는 모델의 적용 또한 적절하지 않은 것이며, 이러한 판단 과정 자체가 설명력이 강하지 않음을 시사함으로써 Ádámkóvics 박사팀의 주장이 신빙성이 높지 않음을 지적하였다.

교육적 시사점: 수집된 자료의 해석과 설명 제안, 그리고 제안된 설명의 한계 인식

과학의 역사는 서로 경쟁하는 두 이론이 공존하는 경우도 있지만, 참이라고 믿어지는 결과가 불과 1~2년 사이에 거짓으로 판정되는 경우도 종종 있다. 그러나 Ádámkóvics 박사팀의 연구 결과가 이후의 김상준 교수팀의 연구 결과에 의해 잘못된 연구로 밝혀졌다 할지라도, Ádámkóvics 박사팀의 연구는 논리적으로 타당한 과정을 거친 것이다. 그렇다면, 어떻게 Ádámkóvics 박사팀의 연구가 학계에 정당한 연구 결과로 승인된 것인가. 결론적으로 틀릴 수 있는 설명이지만, 무엇이 그런 연구 결론으로 이끌었는가.

이 의문은 DNA의 이중나선 구조가 밝혀지기까지의 연구들을 살펴봄으로써 이해가 가능하다.³⁾ Weisberg(2006)는 자신의 저서를 통해 그 당시 Pauling이나 Wilkins, Franklin 등을 포함한 저명한 연구자들이 DNA의 구조에 대해 연구하고 있었음에도 불구하고 어떻게 비교적 젊은 후진 연구자인 Watson과 Crick이 먼저 DNA의 이중나선 구조를 밝혀냈을까에 대해 설명하고 있다. Watson과 Crick이 삼중나선 구조로 접근하다가 이중나선 구조로 방향을 바꿀 때 썸 Pauling은 저널에 DNA 구조가 삼중구조로 설명하였고, 그 당시 X선 회절의 권위자였던 Franklin은 1951년, 1952년에 DNA의 X선 사진으로부터 DNA의 구조가 나선 구조가 아니라는 해석을 내놓았다. 그리고 1953년에는 다시 결정학 분석에서 더 많은 연구능력을 축적한 이후 DNA가 이중나선이라는 결론을 얻고 논문을 완성하던 중 Watson과 Crick이 먼저 발표하게 된 것이다. 여기에서 Franklin은 자신의 X선 실험을 통해 얻은 사진을 해석하면서, 그 후에는 그 사진으로 인해 잘못된 결론임이 판정되었지만, 그 사진을 해석하면서 잘못된 결론으로 이르게

된 것이다(Weisberg, 2006). 즉 Weisberg (2006)의 설명에 따르면, 과학자들은 지식과 논리적 사고가 고도로 훈련된 사람들이며, 또한 자신들의 연구 결과를 커뮤니티에서 입증해야 하므로, 데이터에 대한 해석에 있어서 오류를 범하는 경우는 그리 많지 않다. 따라서 과학자가 어떠한 데이터를 얻게 되느냐에 따라, 즉 그 데이터가 잘못된 데이터이면 잘못된 결론에 이르게 된다는 것이다. 즉 Ádámkóvics 박사팀이 관측하고 해석한 데이터가 우연하게 어둡고 검게 나타난 자료라면 당연히 그렇게 추측할 수밖에 없는 논리적 구조를 갖게 된다는 것이다. 그러므로 Ádámkóvics 박사팀이, Franklin이 그랬던 것처럼 그것이 추후에 잘못된 결론으로 판정되었을 지라도, 수집된 자료를 해석하고 추론한 것이 정당화된 것이므로 그것이 과학자 커뮤니티에서 수용된 것이다.

Franklin과 Ádámkóvics 박사팀의 연구처럼, 당시에는 정당하다고 인식된 연구가 추후에는 다시 기각되는 사례는 역사적으로도 종종 발견된다. 과거 충분한 연구 자료가 수집되기 이전에 달의 운석 구덩이에 대해 지질학자들이 지구의 화산과 같이 형성되었을 것이라고 설명한 화산설이 많은 지질학자들에 의해 지지를 받았다는 것(Wegener, 1975)과 비교적 최근인 20세기 중반까지 많은 과학자들에 의해 인정받고 있었다. 이러한 사실은 제한적으로 수집된 자료와 그 자료를 해석하는 데 있어서 유사하지만 기존의 과학적 근거, Ádámkóvics 박사팀은 지구의 수문순환 모델을, 달의 운석 구덩이에 대한 설명에서는 지구의 화산 메커니즘을 적용한 것이다. 이러한 추론은 최선의 설명을 제안하는 귀추적 추론이 작용한 것이며, 당시의 연구로서는 정당화되는 설명과정이다(Josephson & Josephson, 1994; Paavola, 2004). 이것은 과학적 지식이 여러 가능한 설명 중 가장 설득력 있는 설명을 찾는 과정에 의해 만들어진다는 것을 내포하며, 이러한 과정에 창의적 추론 과정이 작용하므로(Magnani, 2001), 과학적 설명의 제안 과정, 즉 정당화 과정은 과학적 탐구 활동에 핵심활동으로써의 관심이 증대되고 있는 것이다(김영민, 2006; Kim & Conningham, 2003; Kruijff, 2005).

따라서 학생 수준에서, 충분한 연구 능력이 갖춰지지 않았으므로 학생의 과학적 설명이 과학적으로 얼마나 정확하고 타당한가에 관심을 갖기 보다는 학생

3) 자세한 과정은 Weisberg(2006)을 참고하기 바란다.

수준에서 탐구 활동이 체계적으로 진행되는가와 그 결과에 대한 설명을 적절하게 제안하고 있는가에 대한 관점이 강조될 필요가 있다. 왜냐하면 과학의 발전이 기존의 연구가 이후의 연구에 의해 거짓으로 판정될 지라도 이후의 연구는 기존의 연구의 흐름 속에서 시작되기 마련이며, 무에서 창조되지 않기 때문이다(Paavola, 2004). 나중의 연구 결과에 의해 기존의 연구결론이 타당하지 않다고 입증된다 할지라도, 당시의 연구과정인 논리적으로 타당한 것임을 학생들에게 이해시켜야 할 필요가 있다.

한편, Franklin과 Ádámkovics 박사팀의 연구에서처럼 현재 수집된 자료가 일반적으로 흔하게 나타나는 것인지 우연하게 나타난 것인지는 판단하기 어려울 것이다. 고도로 훈련된 과학자가 자신이 직접 수집한 자료가 이러한 문제가 있을 것으로 생각하기는 매우 어렵다. 즉, 과학자들은 자기가 실험을 통해 얻은 데이터는 쉽게 포기하거나 버리지 못해 수용하려는 경향이 있기 때문이다(Weisberg, 2006). 따라서 즉 Ádámkovics 박사팀도 자신이 얻은 데이터가 오류일 수 있다는 판단보다는 참이라는 가정 하에 논리적 전개를 진행한 여겨진다.

따라서 수업 상황에서는 자신들의 관찰사실에 의한 해석과 결론이 타당한지에 대한 평가와 함께, 그 관찰 자료가 얼마나 많은 설명력을 가질 수 있는가에 대한 평가도 함께 이뤄질 필요가 있다. 이 제안은 김경순 등(2008)이 제안한 과학사를 활용한 반성적 과학의 본성 수업과 그 맥을 같이 하지만, 이 연구에서는 김경순 등(2008)의 연구에 실제 실험활동이 수반된 활동으로서 지식의 정당화 과정과 함께 수집된 자료 자체에 대한 반성적 평가가 강조되어야 함을 제안한다.

IV. 결론 및 제언

이 연구는 동일한 관측 현상에 대하여 서로 상반된 결론을 내린 두 천문학자 팀의 연구논문의 논증과정을 분석하여 과학교육의 시사점을 얻는데 목적이 있다. 이 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

이 두 논문은 동일한 관측 방법과 동일한 자료 처리 방법을 사용하였음에도 불구하고 서로 다른 결론에 이르렀는데, 두 연구 팀 간의 쟁점은 다음과 같다. 관측된 자료의 신뢰성과 제시된 설명의 한계에 있었다. 이

두 논문으로부터 얻은 교육적 시사점은 다음과 같다. 과학적 탐구에 의한 결론은 과학적 정당화 과정에 의해 수용되고 만들어 진다는 것이며, 수집된 자료가 신빙성이 있는 것인지에 대한 논증활동의 필요성이다.

따라서 이 연구를 통해 두 가지 유형의 논증활동을 제안한다. 그 한 가지는 관찰이나 실험을 통해 자료를 수집하고, 수집된 자료의 해석과 설명을 제안하는 과정을 따지는 논증활동이다. 이러한 활동은 학생들의 탐구 능력과 논리적 추론 능력 등에 효과적일 것이다. 다른 한 가지는 수집된 자료가 일반적인 자료인가 그리고 이 결론의 일반화 가능성은 어느 정도인가에 대한 논증활동이다. 이 활동은 좁은 범위의 자료를 바탕으로 성급한 결론에 이르는 것을 보완해줄 수 있을 뿐만 아니라, 유사한 다양한 연구 사례를 확인 가능하게 해줄 수 있다는 장점이 있다.

그리고 앞서 제시한 장점을 포함해서 과학의 발전이 혁명과도 같은 과정을 겪을 수도 있지만, 점진적이며 누적적인 과정 혹은 치환의 과정을 통해서도 발전된다(Chen, 2006)는 것을 학습할 수 있는 또 다른 장점이 있기 때문이다.

이 연구는 현 시대의 서로 다른 견해를 갖는 과학자들의 논증과정을 분석함으로써 과학적 논증활동을 위한 교육자료로 사용될 수 있다는 의미를 가짐과 동시에 이 연구를 통해 얻은 시사점이 어떻게 과학적 논증활동에 활용될 수 있는가에 대한 구체적인 방안 마련을 위한 연구가 후속되어야 한다는 과제를 남겨둔다. 따라서 구체적인 수업상황에서 어떤 전략으로 학생들을 과학적 증거에 대한 반성적 평가활동이 수반되는 논증활동에 참여시킬 수 있는가에 대한 후속 연구들을 제안한다.

국문 요약

이 연구는 동일한 연구 방법으로 다른 결론을 내린 두 천문학자 집단 간의 논증과정을 분석하고 학교과학교육 현장에 적용을 위한 시사점을 얻는 데 목적이 있다. 이 연구를 위해, 동일한 관측 대상과 자료 처리 방법에도 불구하고 서로 다르게 해석한 두 논문을 선정하고 분석하였다. 이 두 논문의 쟁점은 결과의 해석과 설명, 그리고 관측된 자료의 신빙성에 관련되어 있다. 이 결과로부터, 과학적 설명의 정당화 과정과 실험 결과에 대한 신빙성 평가활동이 수반되는 과학적

논증활동이 전개될 필요가 있음을 제안하였다.

참고 문헌

강석진, 김창민, 노태희 (2000). 소집단 토론 과정에서의 언어적 상호작용 분석. *한국과학교육학회지*, 20(3), 353-363.

김영민 (2006). Kepler의 망막 상 이론 형성 과정에서의 과학적 문제 발견과 귀추적 사고. *한국과학교육학회지*, 26(7), 835-842.

김희경, 강태욱, 송진웅 (2003). 7차 교육과정에 따른 중학교 과학 교과서 물리단원 실험의 특징. *새물리*, 47(6), 387-394.

교육과학기술부 (2008). *교육인적자원부 고시 제 2006-75호 및 제2007-79호에 따른 중학교 교육과정 해설 Ⅲ*. 서울: 대한교과서 주식회사.

박영신 (2006). 교실에서의 실질적 과학 탐구를 위한 과학적 논증 기회에 대한 이론적 고찰. *한국지구과학회지*, 27(4), 401-415.

양일호, 이효정, 이효녕, 조현준 (2009). 과학적 논증과정 평가를 위한 루브릭 개발. *한국과학교육학회지*, 29(2), 203-220.

이범홍, 이양락, 홍미영 (1999). 토의토론 학습과 중등학교 과학교육. 이홍수 편저. *교수-학습자료 개발: 연구보고 RR 97-II-6*, (pp. 393-414). 한국교원대학교 부설 교과교육공동연구소.

이봉우 (2004). 온라인 물리탐구토론에 나타난 학생들의 상호작용 유형 분석. *한국과학교육학회지*, 24(3), 638-645.

이봉우, 김희경 (2004). 학생들의 인식조사를 통한 온라인 물리탐구토론의 특징. *한국과학교육학회지*, 24(6), 1206-1215.

이야진 (2009). 토성 위성 타이탄에 비가 내리나요? Retrieved June 30, 2009, from http://www.astronomy2009.kr/archive/gallery/scimag/01/pdf/20090202_210515.pdf

이효녕, 조현준, 손정주 (2009). 학교과학교육에서의 논증활동 활용에 대한 교사들의 인식. *한국과학교육학회지*, 29(6), 666-679.

인터넷 중앙일보 (2008). 타이탄에 비 내린다고? 국내외 과학자들 논쟁. Retrieved Aug. 30, 2008, from <http://itview.joins.com/article/itview/>

[article.asp?total_id=3204618](http://itview.joins.com/article/itview/article.asp?total_id=3204618)

위수민, 조현준, 김선홍, 이효녕 (2009). 학생 특성에 따른 소그룹 논증 수준 분석. *과학교육연구지*, 33(1), 1-11.

조현준 (2009). 천문학자의 연구 과정과 추론 분석. *한국교원대학교 박사학위 논문*.

조현준, 양일호, 송윤미, 이효녕 (2008). 초등과학 영재의 논증활동에서 사용된 증거의 수준 분석. *한국과학교육학회지*, 28(5), 495-505.

Chen, S. (2006). Development of an instrument to assess views on nature of science and attitudes toward teaching science. *Science Education*, 90(5), 803-819.

Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2000). Historical research. a chapter in *Research Methods in Education*, fifth edition, (pp. 158-168). New York: Routledge Falmer.

Cros, D., Chastrette, M., & Fayol, M. (1987). Conceptions of second year university students of some fundamental notions of chemistry. *International Journal of Science Education*, 10, 331-336.

Dobry, D. (2005). Remembering a pioneer in cognitive studies. *Teachers College - Columbia University: News*. Retrieved March 30, 2006, from <http://www.tc.columbia.edu/news/article.htm?id=5135&tid=36>.

Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classroom. *Science Education*, 84(3), 287-312.

Erduran, S., Simon, S., & Osborne, J. (2004). TAPping into argumentation: Developments in the application of Toulmin's argument pattern for studying science discourse. *Science Education*, 88, 915-933.

Erduran, S., Osborne, J., & Simon, S. (2005). The role of argumentation in developing scientific literacy. In K. Bosersma, M. Goedhart, O. De Jong, & H. Eijkelhof. (Eds.). *Research and the quality of science education*, (pp. 381-394). Dordrecht.

- Gable, D. & Bunce, D. (1984). Research on problem solving in chemistry. In D. Gabel (Ed.), *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*, (pp. 301-326). New York: Macmillan.
- Gruber, H. E. (1974). *Darwin on Man: A psychological study of scientific creativity with Darwin's early and unpublished notebooks*. New York: E. P. Dutton & Co., Inc.
- Hogan, K., & Maglienti, M. (2001). Comparing the epistemological underpinnings of students' and scientists' reasoning about conclusions. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(6), 663-687.
- Jimémex-Aleixandre, M. P., Rodriguez, A. B., & Duschl, R. (2000). "Doing the lesson" or "doing science": Argument in high school genetics. *Science Education*, 84(6), 757-792.
- Josephson, J. R., & Josephson, S. G. (1994). *Abductive inference: Computation, philosophy, technology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kelly, G., & Takao, A. (2002). Epistemic levels in argument: An analysis of university oceanography students' use of evidence in writing. *Science Education*, 86(3), 314-342.
- Kim, C., & Cunningham, D. (2003). A syllogism for formulating hypotheses. *Semiotica*, 144, 303-317.
- Kruijff, G.-J. M. (2005). Peirces' late theory of abduction: A comprehensive account. *Semiotica*, 153, 431-454.
- Kuhn, D. (1991). *The skills of argument*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Kuhn, D. (1993). Science as argument: Implications for teaching and learning scientific thinking. *Science Education*, 77(3), 319-337.
- Kuhn, D. (2005). *Education for thinking*. Harvard University Press.
- Magnani, L. (2001). *Abduction, Reason, and Science*. NY: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- National Research Council (2000). *Inquiry and the national science education standards*. Washington, DC: National Academy of Science Press.
- Newton, P., Driver, R., & Osborne, J. (1999). The place of argumentation in the pedagogy of school science. *International Journal of Science Education*, 21, 553-576.
- Niaz, M., Aguilera, D., Maza, A., & Liednd, G. (2002). Arguments, contradictions, resistances, and conceptual change in students' understanding of atomic structure. *Science Education*, 86(4), 505-525.
- Osborne, J., Erduran, S., & Simon, S. (2004). Enhancing the quality of argumentation in school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), 994-1020.
- Paavola, S. (2004). Abduction as a logic and methodology of discovery: The importance of strategies. *Foundations of Science*, 9(3), 267-283.
- Patton, M. Q. (2002). *Qualitative research & evaluation methods*, (3rd ed.). California: Sage Publication.
- Simon, S., Erduran, S., & Osborne, J. F. (2006). Learning to teach argumentation: Research and development in the science classroom. *International Journal of Science Education*, 28(2-3), 235-260.
- Thagard, P. (1998). Ulcers and bacteria I: Discover and acceptance. *Studies in History and Philosophy of Biology and Biomedical Science*, 29, 107-136.
- Walton, D. N. (1990). What is reasoning? what is an argument? *Journal of Philosophy*, 87, 399-419.
- Wegener, A. (1975). The origin of lunar craters. *The Moon*, 14, 211-236.
- Welch, W. (Ed.). (1979). *Twenty-five years of science curriculum development*. (Vol. 7).

Washington, DC: American Educational Research Association.

Wertheimer, M. (1945). *Productive thinking*. New York: Harper & Row.

Weisberg, R. W. (2006). *Creativity: Understanding innovation in problem solving, science, and the arts*. John Wiley & Sons.

Yore, L. D., Pimm, D., & Tuan, H. (2007). The literacy component of mathematical and

scientific literacy. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 5, 559–589.

Zohar, A., & Nemet, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(1), 35–62.