

## 초등학생의 지구의 운동과 태양계 학습 발달과정의 타당성 검증: 구인 타당도 및 결과 타당도를 중심으로

이기영<sup>1</sup>, 맹승호<sup>2\*</sup>, 박영신<sup>3</sup>, 이정아<sup>4</sup>, 오현석<sup>5</sup>

<sup>1</sup>강원대학교, <sup>2</sup>서울교육대학교, <sup>3</sup>조선대학교, <sup>4</sup>서울대학교, <sup>5</sup>서울사대부설중학교

### Validation of Learning Progressions for Earth's Motion and Solar System in Elementary grades: Focusing on Construct Validity and Consequential Validity

Kiyoung Lee<sup>1</sup>, Seungho Maeng<sup>2\*</sup>, Young-Shin Park<sup>3</sup>, Jeong-A Lee<sup>4</sup>, Hyunseok Oh<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Kangwon National University, <sup>2</sup>Seoul National University of Education, <sup>3</sup>Chosun University, <sup>4</sup>Seoul National University, <sup>5</sup>Seoul National University Middle School

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received 6 February 2016

Received in revised form

4 February 2016

Accepted 26 February 2016

##### Keywords:

learning progressions,

Rasch analysis

Earth'

motion,

solar system,

construct validity,

consequential validity

#### ABSTRACT

The purpose of this study is to validate learning progressions for Earth's motion and solar system from two different perspectives of validity. One is construct validity, that is whether a hypothetical pathway derived from our study of LPs is supported by empirical evidence of children's substantive development. The other is consequential validity, which refers to the impact of LP-based adaptive instruction on children's improved learning outcomes. For this purpose, 373 fifth-grade students and 17 teachers from six elementary schools in Seoul, Kangwon province, and Gwangju participated. We designed LP-based adaptive instruction modules delving into the unit of 'Solar system and stars.' We also employed 13 ordered multiple-choice items and analyzed the transitions of children's achievement levels based on the results of pre-test and post-test. For testing construct validity, 64 % of children in the experimental group showed improvement according to the hypothetical pathways. Rasch analysis also supports this results. For testing consequential validity, the analysis of covariance between experimental and control groups revealed that the improvement of experimental group is significantly higher than the control group ( $F=30.819, p=0.000$ ), and positive transitions of children's achievement level in the experimental group are more dominant than in the control group. In addition, the findings of applying Rasch model reveal that the improvement of students' ability in the experimental group is significantly higher than that of the control group ( $F=11.632, p=0.001$ ).

## 1. 서론

학습 발달과정(learning progressions)은 “학생들이 한 주제에 대해 오랜 기간 동안 탐구하고 학습함에 따라 그 주제에 대한 이해 및 관련된 사고 능력이 순차적으로 점점 더 정교해지는 경로들을 기술한 것”(National Research Council[NRC], 2007)으로서, 학년이 올라감에 따라 저절로 획득되는 발달이 아니라, 과학 교사의 적절한 교수활동의 도움을 받아 형성되는 발달(instruction-assisted development)을 의미한다(Corcoran *et al.*, 2009). 미국의 Systems for State Science Assessment(NRC, 2006)에서 공식적으로 제안된 학습 발달과정은 이후 Taking Science to School(NRC, 2007)에서 개념적 정의와 초기 연구 사례의 결과를 종합하여 보고되었으며, 미국의 Next Generation Science Standards(NGSS Lead States, 2013)를 구성하는 기본 원리로 적용되었다. 학습 발달과정은 적절한 평가 시스템에 근거한 학습의 순서와 계열이 학생들의 학습 발달의 경로와 일치하는 정도를 파악하려는 문제의식에서 출발하였으며(NRC, 2006), 교사의 적절한 교수활

동에 의해 형성되는 학습의 발달을 지향한다(Corcoran *et al.*, 2009). 학습 발달과정은 과학자나 과학교육자, 또는 과학 정책 입안자들의 전문성에 근거하여 학습 주제의 위계나 학습 내용의 순서를 선형적으로 예단하거나 결정한 것이 아니라 경험적인 학습 평가 연구에 근거하여 도출된 것이며, 따라서 학습 평가를 통해 검증 가능한 가설적 발달경로를 의미한다(Corcoran *et al.*, 2009). 또한, 학습 발달과정은 Piaget의 인지 단계의 발달과 같이 생물학적 성장에 따라 저절로 형성되는 발달이 아니라 학생의 선지식과 상호작용하여 새로운 지식을 구성하는 수업 즉, 교사의 교수활동에 의해 형성되는 발달의 과정을 의미한다. 그러므로 학습 발달과정은 교사가 단순히 학생들의 성취 여부를 판단하기 위함이 아니라, 학습에서 무엇이 문제인지, 다음 단계를 지향하는 발달을 위해 어느 지점을 보완해야 하는지를 도와주는 지도(map)와 같은 역할을 함으로써 효과적인 적응적 교수활동을 개발할 수 있도록 도와준다.

학습 발달과정이 과학교육 연구에 주는 의의와 과학 교육과정 및 과학 교수활동 개선에 주는 역할에 대한 인식이 과학교육계 안팎으로

\* 교신저자 : 맹승호 (smaeng@snue.ac.kr)

\*\* 이 논문은 2013년 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2013S1A5A2A03045044)

http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2016.36.1.0177

점차 확산되고 있으며, 국내 과학교육계에도 물의 순환(Maeng *et al.*, 2013; Seong *et al.*, 2013), 천문 시스템(Maeng *et al.*, 2014), 판구조론(Maeng & Lee, 2015), 물질(Shin *et al.*, 2014), 에너지(Kim *et al.*, 2014) 등과 같이 여러 주제들을 소재로 학습 발달과정 연구가 진행되어 왔다. 학습 발달과정 연구에서, 학생들이 특정한 과학 주제에 대하여 내용 이해와 관련된 과학실험 활용 능력이 발달하는 경로는 단기간에 걸친 1회적인 연구를 통해 확정될 수 있는 것이 아니다. 학습 발달과정 연구에서 반복적인 학습 평가 및 그 결과의 해석, 적절한 교수활동의 적용 및 수정, 임시적인(preliminary) 학습 발달과정의 반복적인 수정 등이 필수적임은 미국을 비롯한 여러 나라들의 학습 발달과정 연구에서 이미 수 차례 논의된 바 있다. 이에 대해 Krajcik(2012)은 학습 발달과정 연구가 갖추어야 할 필수적인 요건으로서 학습 발달과정의 주제로서 핵심 개념(big idea)을 선정하는 것 및 학습 발달과정을 구성하는 각 수준을 학습자의 관점에서 명확히 진술하는 것과 함께, 학습 발달과정에서 학습자의 조사하기 위한 평가 문항을 개발하여 심리측정학적으로(psychometrically) 타당화할 것, 학습자들을 현재보다 높은 단계로 향상시키는데 활용될 수 있는 교수활동의 요소를 개발하고 이를 실제 수업에서 검증할 것 등을 추가로 강조하였다. 즉, 반복적인 연구를 통해 학습 발달과정 연구의 셋째 요건과 넷째 요건을 충족시켜 더 타당성 있고, 실천적인 효과성을 검증받는 것이 학습 발달과정 연구의 질적 수준을 높이는데 중요하다(Wilson, 2009; Maeng *et al.*, 2013).

이 연구는 Maeng *et al.*(2014)의 선행연구를 통해 수행된 천문 시스템 학습 발달과정 개발의 후속 연구로서, 이전 연구에서 개발된 1차 학습 발달과정에 대한 반복 연구를 통해 더욱 심도 있는 타당성을 확보하기 위한 것이다. 선행 연구에서 도출된 천문 시스템 학습 발달과정은 학습 평가의 결과만을 바탕으로 도출된 1차적인 결과물이다. 이것은 Maeng *et al.*(2014)가 이미 언급한 바와 같이 비록 경험적 근거에 기반하고 있지만 여전히 검증 가능한 가설 수준의 결과물이다. 그러므로 이전 연구에서 도출된 천문 시스템의 학습 발달과정이 “학습 발달과정의 본질적 특성을 갖추기 위해서는 학생들의 학습 발달을 유도하는 적절한 교수활동을 제시하고, 그 수업활동의 결과로 형성된 학습의 발전 양상을 제시”(Maeng *et al.*, 2014, p. 717)하여 학습 발달과정 연구의 결과물로서 그 타당성을 구체적으로 확보하는 것이 필요하다. 이 연구에서 타당화 과정 또는 타당성 검증(validation)은 학습 발달과정을 조사하기 위한 평가 문항의 내용 적절성에 근거한 타당성의 근거를 확보하는 소위 내용 타당도(content validity) 검증에 국한된 것이 아니다. 그보다는 학습 발달과정의 타당화 과정에 대하여 Corcoran *et al.*(2009)이 제시한 바와 같이 “제안된 가설적인 학습 발달 경로의 적절성을 검증하기 위한 증거를 얼마나 모을 수 있는가, 그리고 제안된 학습의 발달 경로에 대한 가설이 실제로 학습자의 발달 경로에 대한 결과를 산출하는데 효과적인가”(Corcoran *et al.*, 2009, p. 41)를 검증하고자 하였다. 따라서 이 연구에서는 선행 연구로 도출된 가설적 학습 발달과정에 근거하여 적응적 교수활동(adaptive instruction, Corcoran & Silander, 2009)을 개발하고 이를 실제 수업에 적용하고, 수정된 학습 평가를 실시하여 더욱 경험적이고 구체적인 학습 발달의 과정을 탐색하고자 하였다. 이 연구에서 수행하는 학습 발달과정의 타당화 과정의 첫 번째는 구인 타당도(construct validity)로서 학생들이 해당하는 주제를 학습하는 동안에 학습 발달과정으로

제시한 가설적인 발달 경로가 실제로 나타나는가, 즉 경험적 연구의 결과로 도출된 학습 발달과정이 실질적인 발달의 구인으로서 학습 발달 경로를 나타내는지를 알아보는 것이다. 두 번째는 결과 타당도(consequential validity)로서 학습 발달과정을 바탕으로 고안한 적응적 교수활동이 대부분의 학생들에게 향상된 학습효과를 산출하는가, 즉 연구의 결과로 도출된 학습 발달과정이 기대하는 결과를 가져오는 지 여부를 알아보는 것이다.

## II. 연구의 배경

선행 연구에서 1차적으로 개발된 천문 시스템의 학습 발달과정은 지구의 운동, 지구-달 계, 태양계 및 은하와 우주를 하위 항목으로 포함한 포괄적인 주제를 다루었다. 선행 연구에서는 학습 평가의 대상으로 초등학교와 중학교 학생들을 모두 포함하였기 때문에 천문 시스템의 전반적인 부분을 포함할 수 있었다. 반면에 이 연구를 수행하는 동안(2014년 2학기~2015년 1학기)은 2009 교육과정이 중학교에 시행되면서 중학교에서 천문학 관련 단원을 학습하는 학년이 없어서 부득이하게 연구 대상을 초등학교 5학년으로 제한하였으며, 학습 발달과정의 주제 또한 초등학교 과학 교육과정에 따라 지구의 운동과 태양계로 제한하여 연구를 진행하였다. 아래 Table 1은 이 연구를 위한 기초 연구였던 Maeng *et al.*(2014)에서 정리된 1차적인 천문 시스템 학습 발달과정 중 지구의 운동과 태양계에 해당하는 부분을 정리한 것이다.

이 연구의 내용적 소재인 ‘지구의 운동과 태양계’는 Table 2와 Table 3에 제시된 것처럼 우리나라의 2009 과학과 교육과정(MEST, 2011) 뿐만 아니라, 미국의 NGSS에서도 핵심적인 개념으로 포함되어 있다. 우리나라의 경우, 초등학교 5-6학년군에서 지구의 운동과 관련하여 지구에서 보는 관점에서 지구의 자전과 공전을 다루며, 태양계와 관련하여 태양계 행성의 특징과 구조를 다룬다. 중학교 1-3학년군에서는 지구의 운동과 관련하여 우주에서 보는 관점에서 지구의 자전과 공전을 다루며, 태양계와 관련하여 태양계의 구성과 행성의 분류를 다룬다. 고등학교 지구과학 I에서는 지구의 운동에 의해 나타나는 천체의 일주운동과 연주운동을 다루며, 태양계 행성의 시운동과 이를 설명하는 케플러 법칙을 다룬다. 미국의 경우, K-2학년군에서는 계절에 따른 일몰과 일출의 패턴을 현상적으로 다루며, 3-5학년군에서는 태양 주위를 공전하는 지구와 지구 주위를 공전하는 달의 궤도 운동을 지구 자전축의 기울어짐과 함께 다룬다. 6-8학년군에서는 태양의 중력에 의해 공전하는 태양계 구성 천체들에 대해 다룬다. 9-12학년군에서는 태양 주위를 타원궤도로 공전하는 천체들의 모습을 설명하는 케플러 법칙을 다룬다. 특히, NGSS에서는 ‘지구의 운동과 태양계’ 관련 내용(개념)에 대한 학생들의 점진적인 발달의 과정을 학교급에 따라 가설적으로 제시하였다(NRC, 2012). 그러나 이러한 과학 교육과정의 학교별 내용 체계는 특정 과학 내용에 대한 학생들의 이해가 항상 학교급에 비례하여 정교화된다고 볼 수는 없기 때문에 학생들의 학습 발달과정에 부합되게 선정되고 제시되는 것이 필요하다(Maeng & Lee, 2015). 그러므로 학급별 내용 체계 조직의 근거가 되는 학생들의 학습 발달과정은 구체적인 학습 평가 및 교수활동의 결과에 근거하여 그 적절성과 타당성이 검증되어야 한다.

Table 1. Hypothetical learning progressions for Earth's motion & solar system with spatial and systems thinking (Modified from Maeng *et al.*(2014))

	수준 1	수준 2	수준 3	수준 4
지구의 운동	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 지구가 자전할 때 태양, 달, 별과 지구가 왼쪽에서 오른쪽으로 움직인다.</li> <li>● 지구가 공전할 때 별자리는 동에서 서로 움직인다.</li> <li>● (관점전환 수준1): 지구의 공전에 따른 태양이 뜨고 지는 위치가 같다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 지구가 자전할 때 태양, 달, 별과 지구는 서에서 동으로 움직인다.</li> <li>● 지구와 별자리는 1년 동안 동에서 서로 또는 (반)시계방향으로 움직인다.</li> <li>● (관점전환 수준2): 지구의 공전에 따른 태양이 뜨고 지는 위치가 다르며 그 경로가 수직이다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 우주에서 보는 관점에서 지구의 자전과, 태양, 달, 별의 일주 운동은 동에서 서 방향 또는 (반)시계방향이다.</li> <li>● 지구의 공전 때문에 별자리의 연주운동 방향이 반대 방향이 된다.</li> <li>● (관점전환 수준3): 지구의 공전에 따른 태양이 뜨고 지는 위치가 다르며 그 경로는 비스듬하다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 우주에서 보는 관점에서 지구의 자전 모델을 적용하여 지구에서 바라본 태양, 달, 별의 일주운동을 관점 전환하여 설명함</li> <li>● 지구의공전에 의한 별자리의 연주운동을 우주 기반과 지구 기반 관점을 전환하여 정확하게 설명함</li> <li>● (관점전환 수준4): 지구의 공전에 따른 태양이 뜨고 지는 정확한 위치와 경로를 표현함</li> </ul>
태양계	<ul style="list-style-type: none"> <li>● (시스템 요소 파악): 지구에서 태양, 달, 별의 움직임이 관측됨(지구 기반 관점으로만 파악)</li> <li>● 지구에서 별자리 변화와 태양의 연주 운동이 관측됨</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● (시스템 요소 연관): 지구가 태양 주위를 공전하고 달이 지구 주위를 공전하고 있기 때문에 움직임이 관측됨</li> <li>● 지구의 공전으로 별자리 변화와 태양의 연주운동이 생김</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● (시스템 패턴 파악): 하룻동안 태양, 달, 별의 움직임은 지구의 자전에 의한 주기적인 패턴임을 파악</li> <li>● 계절별 별자리 변화와 태양의 연주 운동이 지구가 기울 채로 공전하는 것에 의한 주기적인 패턴임을 파악</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● (시스템 모델링): 하룻동안 관측되는 태양, 달, 별의 움직임 패턴은 지구의 자전과 달의 공전 궤도 기울어짐에 의한 것임을 설명</li> <li>● 계절별 관측되는 별자리 변화와 태양의 연주 운동 패턴이 지구, 태양, 별자리의 위치 관계에 의한 것임을 설명</li> </ul>
태양계	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 화성과 토성의 운동방향을 2차원 평면 자료에서 보이는 대로 왼쪽과 오른쪽으로 표현함</li> <li>● 지구를 중심으로 지구와 행성이 서로 반대 방향으로 돌고 있어 행성들의 움직임이 관측됨</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 2차원 평면 자료에서 화성과 토성의 운동 방향을 정확한 방위로 나타낼 수 있으나, 지구에서 바라본 관점으로만 이해함</li> <li>● 행성이 공전하는 동안 화성, 토성의 위치 변화를 인식하지만, 배경 별자리에 대한 상대적인 운동 방향을 파악하지 못하고, 2차원 평면에서 보이는 그대로 표현함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 태양 중심의 태양계 모델에 대한 지식을 바탕으로 화성과 토성의 공전 방향을 서술할 수 있음</li> <li>● 우주에서 내려다 본 관점에서 작성된 태양 중심의 태양계 모델에 화성, 토성의 운동 방향을 나타낼 수 있으나, 두 행성의 정확한 상대적인 위치를 파악하지 못함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 2차원 평면 자료에서 화성과 토성의 배경 별자리에 대한 상대적인 위치 변화를 근거로 화성과 토성의 공전 속도와 운동 방향을 설명할 수 있음</li> <li>● 화성과 토성의 운동을 배경 별자리에 대한 상대적 위치 변화로 파악하여, 우주에서 내려다 본 관점으로 작성된 태양계 모델에 두 행성의 운동 방향과 상대적인 위치를 정확히 표현할 수 있음</li> </ul>
태양계	<ul style="list-style-type: none"> <li>● (시스템 요소 파악): 행성들이 거리</li> <li>● 행성들의 무게를 비교한 자료에서 지구보다 무거운 것과 가벼운 것을 구분하여 분류할 수 있음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● (시스템 요소 연관): 행성들이 태양에서 서로 다른 거리에 위치함</li> <li>● 서로 다른 비율로 표시된 행성들의 크기와 무게의 관계를 파악함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● (시스템 패턴 파악): 태양에서 멀수록 행성들의 거리가 점점 멀어지는 경향성 파악</li> <li>● 행성의 크기와 무게가 서로 다른 비율로 표시된 자료에서 크기와 무게의 관계를 파악하여 작고 가벼운 행성들과 크고 무거운 행성들을 분류함</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● (시스템 모델링): 행성들의 거리와 공전궤도를 이용하여 태양계 모형을 표현함</li> <li>● 행성들의 크기와 무게와의 관계를 이용하여 가벼운 행성과 무거운 행성의 구성 물질을 비교함</li> </ul>

※ 음영으로 표시된 항목은 시스템 사고, 나머지 항목은 공간적 사고에 해당함

Table 2. Statements on Earth's motion and solar system in the 2009 Korean National Science Curriculum

학년군	단원	교육과정 내용(성취 기준)
초등학교 5-6학년군	지구와 달의 운동 태양계와 별	낮과 밤을 지구의 자전으로 설명할 수 있다. 하루 동안 달과 별의 위치가 달라지는 것을 지구의 자전으로 설명할 수 있다. 계절에 따라 별자리가 달라지는 것을 지구의 공전으로 설명할 수 있다. 태양계를 구성하는 행성을 조사하고, 태양이 지구의 에너지원임을 안다. 행성의 상대적 크기와 거리를 비교한다.
중학교 1-3학년군	태양계	지구와 달의 모양과 크기를 알고, 자전과 공전으로 인해 나타나는 현상을 이해한다. 태양계를 구성하는 천체를 알고, 태양계 행성을 분류하여 그 특징을 알고, 행성도 위성을 가질 수 있음을 안다.
고등학교 지구과학 I	천체 관측	지구의 운동에 의하여 천체들이 일주 운동과 연주 운동을 함을 설명할 수 있다. 역사적인 관점에서 다양한 태양계 모형을 살펴보고, 이들로 행성의 시운동을 설명할 수 있음을 이해한다. 회합주기, 공전주기, 태양에 의한 행성의 위치에 대해 학습하고 행성의 운동이 케플러 법칙을 따름을 설명할 수 있다.
고등학교 지구과학 II	관련 내용 없음	관련 내용 없음

Table 3. Increasing sophistication on Earth’s motion and solar system in NGSS (NGSS Lead States, 2013. It was written in English so we did not translate the content into Korean in this paper)

Section of Earth and Space Science	ESS1.B: EARTH AND THE SOLAR SYSTEM
Grade band	
K-2	Seasonal patterns of sunrise and sunset can be observed, described, and predicted.
3-5	The orbits of Earth around the sun and of the moon around Earth, together with the rotation of Earth about an axis between its North and South poles, cause observable patterns.
6-8	The solar system consists of the sun and a collection of objects, including planets, their moons, and asteroids that are held in orbit around the sun by its gravitational pull on them.
9-12	Kepler’s laws describe common features of the motions of orbiting objects, including their elliptical paths around the sun.

### III. 연구 방법

학습 발달과정의 타당성 검증은 과학 이론(가설)을 검증하는 것과 유사하다. 일회적인 평가를 통해 검증되는 것이 아니라 반복적인 과정(iterative process)을 통해 가설적 학습 발달과정에 대한 확신을 증가시키는 과정이다. 이에 근거하여 이 연구에서는 Maeng *et al.*(2014)에 의해 개발된 천문 시스템 학습 발달과정 중 ‘지구의 운동과 태양계’ 부분의 타당성을 검증하기 위해 초등학교 5학년 지구의 운동과 태양계 관련 단원을 대상으로 적응적 교수활동을 개발하고, 교수활동 사전과 사후에 평가 문항을 적용하여 그 결과를 비교·분석하였다.

#### 1. 연구 대상

선행 연구에서 개발된 학습 발달과정의 구인 타당도와 결과 타당도를 검증하기 위해 Table 4와 같이 서울, 강원, 광주 지역 소재 6개 초등학교 5학년 학생들과 지도 교사들이 참여하였다. 3개 지역에서 2개 학교씩, 모두 6개 학교를 선정하였으며, 각 학교마다 동일 학년에서 대조군을 선정함으로써 적응적 교수활동 이외의 다른 변인에 의한 효과를 최소화하고자 하였다. 강원 N 학교는 실험군으로 2개 반이 선정되었으나, 수업 진도 차이 문제로 동시에 수업 진행을 할 수 없어 대조군을 선정하지 못하였다.

Table 4. The number of students & teachers participated in this study

		서울		강원		광주		합계
		B	S	C	N	K	Y	
학생	실험군	16	25	27	41	20	25	154
	대조군	31	51	27		39	71	219
교사	실험군	1	1	1	2	1	1	7
	대조군	2	2	1		2	3	10
총 인원								학생: 373 교사: 17

#### 2. 적응적 교수활동 개발

학습 발달과정의 결과 타당도로서 학습 발달과정을 바탕으로 고안한 적응적 교수활동이 학생들의 학습 발달에 대한 기대하는 결과를 도출하는지 여부를 검증하기 위하여, 연구에 참여한 초등학교 교사들

과 연구진들이 교사 학습 공동체(teachers learning community)를 구성하였다. 공동체 모임을 통해 연구자들이 교사들의 교수활동 개발 과정에 적절히 개입(intervention)함으로써 참여 교사들이 적응적 교수활동을 효과적으로 개발할 수 있도록 도와주었다. 세 지역의 교사 학습 공동체 모임은 참여 교사 2~3명과 연구자 1~2명으로 구성되어 각 지역별로 독립적으로 진행하였으며, Figure 1과 같은 4 단계의 동일한 과정을 거쳤다.

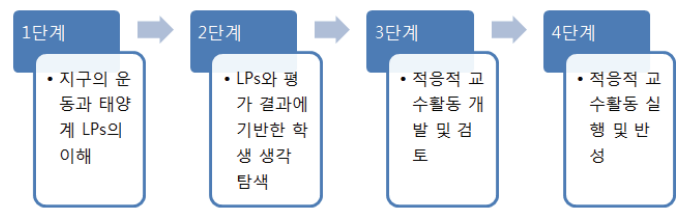


Figure 1. Procedure of developing adaptive instruction module during the teachers learning communities

1 단계는 참여 교사들과 함께 지구의 운동과 태양계 학습 발달과정에 대한 이해를 심화하는 과정이다. 이를 위해 연구자들은 Maeng *et al.*(2014)에 의해 개발된 천문 시스템 학습 발달과정에서 지구의 운동과 태양계 부분(Table 1)을 발췌하여 참여 교사들에게 제공하고, 학습 발달과정의 정의와 개발 과정, 각 수준(하위 정착지, 중간 단계, 상위 정착지)의 의미 등을 공유하였다. 2 단계에서는 지구의 운동과 태양계 학습 발달과정과 Maeng *et al.*(2014)에 의해 수행된 학생 평가 결과를 토대로 지구의 운동과 태양계에 대한 천문학적 내용(개념)과 천문학적 사고(astronomical thinking)<sup>1)</sup>에 대한 초등학교 5학년 학생들의 수준을 탐색하였다. 이 과정에서 참여 교사들은 자신들이 앞으로 가르치게 될 5학년 학생들의 전반적인 수준을 파악하고, 학생들이 가진 오개념과 학습의 어려움을 인식하게 된다. 3 단계는 2 단계에서 파악된 학생들의 수준을 더 높은 수준으로 발달시키기 위한 적응적 교수활동을 개발하고 검토하는 과정이다. 참여 교사들은 학습 평가의 결과를 토대로 초등학교 5학년 ‘태양계와 별’ 단원의 수업에서 활용할 다양한 교수활동을 개발하며 연구자들은 개발된 교수활동을 검토하고 자문하였다. 적응적 교수활동은 두 가지 관점에서 검토되었다. 하나는 학생들의 학습 도달 수준을 향상시키기 위한 방안이 포함되었

1) Maeng *et al.*(2014)의 연구에서는 천문 개념의 학습에 특정한 실행(practice)으로 천문학적 사고를 설정하였으며, 천문학적 사고를 공간적 사고(spatial thinking)와 시스템 사고(systems thinking)로 조작적으로 정의하였다.

는지 여부를 검토하였고, 다른 하나는 지구의 운동과 태양계 내용을 학습할 때 공간적 사고와 시스템 사고의 수행이 반영될 수 있게 구성되었는지 여부를 검토하였다. 4 단계에서는 참여 교사들이 3단계에서 개발한 적응적 교수활동을 단원 수업에 실행하며, 연구자들과 실행에 대한 반성적 고찰을 수행하게 된다. 모든 단계의 활동들은 서울과 강원, 광주 지역에서 비슷한 시기에 진행되었으며, 지역별 담당 연구자가 단계별로 사전 모임을 통해 각 단계에서 수행해야 할 과업들을 공유하고 조율하는 과정을 거쳤다.

### 3. 검사 문항 개발

지구의 운동과 태양계 학습 발달과정의 타당성을 검증하기 위해서 학생들의 학습이 학습 발달과정의 경로에 따라 구현되는지(구인 타당도), 그리고 고안한 적응적 교수활동을 통해 학습 발달과정의 결과가 도출되는지(결과 타당도) 검사할 수 있는 평가 문항이 필요하다. 이를 위해 Table 5와 같이 13개의 순위 선다형(ordered multiple-choice, 이하 OMC) 문항으로 구성된 검사지를 개발하였다. OMC 문항은 앞서 Table 1에 제시한 지구의 운동과 태양계 학습 발달과정의 내용에 따라 위계를 가지고 순위적으로 서술된 선택지(options)를 통해 학생

Table 5. Overview of the ordered multiple-choice items on the contents and practices of Earth's motion & solar system

문항 번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
영역	지구의 자전	지구의 자전	지구의 자전	지구의 자전	지구의 자전	지구의공전	지구의 공전	지구의 공전	태양계	태양계	태양계	태양계	태양계
개념	태양의 일주운동	태양의 일주운동	달의 일주운동	별의 일주운동	태양, 달, 별	별자리 변화	태양의 연주운동	태양, 지구, 별자리	행성의 거리	행성의 특징	행성의 궤도	행성의 운동	행성의 운동
실행	공간적 사고	공간적 사고	공간적 사고	공간적 사고	시스템 사고	공간적 사고	공간적 사고	시스템 사고	시스템 사고	시스템 사고	시스템 사고	공간적 사고	공간적 사고

1. 다음 그림들은 추석날(2014년 9월 8일) 낮 동안 태양을 관찰한 모습을 나타낸 것이다.



▲오전 8시 남쪽 하늘



▲12시 남쪽 하늘



▲오후 4시 남쪽 하늘

하루 동안 태양의 움직임에 대한 다음 설명 중 자신의 생각과 가장 일치하는 것을 하나만 고르시오.

- A. 태양은 동쪽에서 남쪽을 거쳐 서쪽으로 움직인다. ②
- B. 지구는 서에서 동으로 자전하고 태양은 동에서 서로 움직인다. ③
- C. 태양은 왼쪽에서 오른쪽 방향으로 움직인다. ①
- D. 지구가 반시계 방향으로 자전하므로 태양이 그 반대 방향으로 움직이는 것처럼 보인다. ④

Figure 2. Item 1 (an example of OMCs for Earth's motion & spatial thinking).The numbers of ① to ④ stand for the levels of each sentence according to LPs.

11. 다음은 여러 개의 태양계 모형을 나타낸 것이다. [자료 1] [자료 2] [자료 3]을 모두 참고하여 자신의 생각과 가장 일치하는 것을 **하나만** 고르시오.

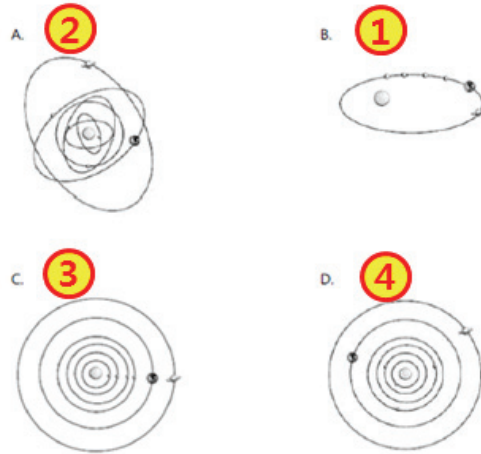


Figure 3. Item 11 (An example of OMCs for Solar system & systems thinking).The numbers of ① to ④ stand for the levels of each sentence according to LPs.

들의 학습 양상을 평가하기 위해 제안된 선다형 문항의 특수한 형태이다(Briggs *et al.*, 2006). 즉, 1개의 정답과 나머지 오답들로 구성된 기존 선다형 문항의 선택지들과 달리 Figure 2에서 보는 바와 같이 모든 선택지들이 학습 발달과정에 진출된 수준에 따라 작성된다. 그러므로 OMCs 문항에서 모든 선택지들은 학생 수준에 대한 정보를 포함하고 있으며, 학생들은 ‘정답(correct answer)’이나 ‘최선답(best answer)’을 고르는 것이 아니라 자신의 생각과 가장 일치하는 선택지를 고르게 하였다(Alonzo *et al.*, 2012).

한편, 앞에서 언급한 것과 같이 이 연구에서 활용한 지구의 운동과 태양계 학습 발달과정은 기존의 많은 학습 발달과정 연구들처럼 평가 구인(construct) 또는 발달 변인(progress variable)으로서 과학의 내용(content)만을 다룬 것이 아니라, 천문학적 개념 이해와 함께 천문학적 사고라는 실행(practice)을 조합한(embedded) 것이기 때문에 OMC 문항 또한 내용과 실행을 함께 평가할 수 있도록 구성하였다(Table 5). 예를 들어, Figure 2의 1번 문항(Item 1)은 천문학적 내용으로서 지구의 자전에 의한 태양의 일주운동을 다루고 있으며, 천문학적 실행으로서 지구에서 보는 관점에서 표현한 관측 결과를 우주에서 보는 관점으로 전환하여 설명할 수 있는 공간적 사고(실행) 수준을 함께 평가하였다. Figure 3의 11번 문항(Item 11)은 천문학적 내용으로서 태양계 행성의 공전 궤도에 대한 이해를 다루었으며, 천문학적 실행으로서 행성의 거리와 공전 궤도에 대한 자료를 종합하여 태양계의 구조에 대한 모델을 형성하는 시스템 사고(실행) 수준을 함께 평가하였다.

#### 4. 타당성 검증

구인 타당도와 결과 타당도의 두 가지 측면에서 지구의 운동과 태양계 학습 발달과정의 타당성을 검증하기 위해 Figure 4와 같이 실험 연구를 설계하였다. 6개 초등학교에서 7명의 5학년 참여교사를 실험군으로 설정하고, 동일 학교와 학년에서 10명의 참여 교사를 대조군으로 설정하였다. 실험군으로 참여한 교사들은 수업 처치 이전에 4~5주에 걸쳐 연구진들과 교사 학습 공동체 모임을 통해 태양계와 별 단원에 대한 적응적 교수활동을 개발하는 과정을 거쳤다. 대조군으로 참여한 교사들은 연구자 및 참여 교사들과 사전 모임을 가지지

않았으며, 이들에게 교과서에 제시된 것과 동일하게 태양계와 별 단원을 수업해줄 것을 요청하였다. 실험 연구를 진행한 시기와 기간은 6개 학교별로 다소 차이가 있었으나, 사전 검사 → 수업 처치 → 사후 검사의 순서에 따라 동일한 과정으로 연구가 진행되었다.

학습 발달과정의 구인 타당도 검증은 학생들이 태양계와 별 단원을 학습하는 동안에 학습 발달과정에서 설정한 경로에 따라 실제로 학생들의 발달이 나타나는가를 분석하는 것이므로 실험군만을 대상으로 하였으며, 검사 문항별로 단위 수업 전과 후의 학생 수준의 변화를 상향, 중립, 및 하향 변화의 빈도에 근거한 기술통계 분석을 실시하였다. 또한, 검사 문항으로 적용한 OMCs의 각 문항별로 선택지의 곤란도 수준에 따라 학생들의 문항 해결 능력을 문항반응이론(item response theory)의 한 갈래인 Rasch 모델(Liu, 2010; Bond & Fox, 2007; Masters, 1982; Ji & Chae, 2000)을 적용하여 학생들의 발달 과정을 분석하였다.

학습 발달과정의 결과 타당도 검증은 학습 발달과정을 바탕으로 고안한 적응적 교수활동이 대부분의 학생들에게 향상된 학습효과를 산출하는 정도, 즉 학습 발달과정에 기반한 적응적 교수활동의 효과를 분석하는 것이므로 실험군과 대조군에서 나타나는 학생 수준의 변화를 비교, 분석하였다. 기술 통계를 활용한 구인 타당도 분석과 달리, 결과 타당도 분석을 위해서는 기술통계에 추가하여 추리 통계 기법을 적용하였다. 추리 통계는 실험군에서 처치된 적응적 교수활동의 통계적 유의성(significance)을 검증하기 위한 것이므로 실험군과 대조군의 사전 검사를 공변량(covariance)하는 공변량분석(ANCOVA)을 실시하였다. 또한, Rasch 모델을 적용하여 사전과 사후에 각각 문항의 곤란도와 피험자 능력간의 관계를 나타내는 Wright map을 산출함으로써 실험군과 대조군을 비교하였다.

O1	X	O2
O3		O4

O1, O3 : OMC 검사지를 적용한 사전 검사  
 X : 적응적 교수활동  
 O2, O4 : OMC 검사지를 적용한 사후 검사

Figure 4. Research design to validate LPs in this study

### III. 연구 결과

#### 1. 구인 타당도 검증 결과

학습 발달과정 연구의 결과로 제시한 가설적인 발달 경로가 적절한 교수활동에 의해 대부분의 학생들에게 실제로 나타나는지 알아보기 위하여 적응적 교수활동을 적용한 실험군 학생들을 대상으로 교수활동 사전-사후 평가 결과를 비교하여 학습 도달 수준이 향상된 학생들의 비율을 조사하였다.

Table 6은 적응적 교수활동의 사전과 사후에 실험군 학생들의 수준 변화를 상향, 중립, 하향으로 구분하여 문항별로 정리한 것이다. 지구의 운동과 태양계 주제에 대한 학습 발달과정에서 설정한 가설적 발달 경로에 따라 수준이 상향 변화된 비율은 평균 40%였으며, 사전과 사후에 수준의 변화가 없는 중립의 경우는 평균 37%, 사후에 수준이 낮아진 하향 변화의 경우는 평균 23%를 차지하였다. Table 7은 사전과 사후에 수준의 변화 양상의 비율을 사례별로 나타낸 것이다. Table 7에서 중립의 사례들 중 사전과 사후 평가에서 수준 3으로 중립을 보인 경우(8%)와 수준 4로 중립을 보인 경우(16%), 그리고 상향 변화

한 경우(40%)들은 모두 지구의 운동과 태양계 학습 발달과정에서 설정한 가설적 발달 경로가 교사의 적절한 교수활동에 의해 유효하게 나타난다고 주장할 수 있는 근거로 볼 수 있다. 즉, 전체 응답 사례들 중에서 64%의 학생들의 경우 이 연구의 학습 발달과정에 따라 발전한다고 볼 수 있으므로 지구의 운동과 태양계에 대한 학습 발달과정의 구인 타당도가 64%의 비율로 확보됨을 의미한다.

Figure 5는 문항별 사전-사후 학생들의 수준별 변화 양상에 대한 예시로서 가장 높은 상향 변화를 보인 3번 문항과 가장 낮은 상향 변화를 보인 10번 문항의 사례를 도표로 나타낸 것이다. 이와 같은 도표는 Plummer(2014)에서 학생들의 수준 변화 양상을 표현한 방법을 차용한 것이다. 도표에서 선의 굵기는 사전 수준에서 사후 수준으로 이동한 학생들의 비율을 나타내며, 선이 굵을수록 이동한 학생 비율이 높은 것을 나타낸다. 예를 들어, 3번 문항의 경우는 4수준에서 4수준으로 이동한 학생들의 비율이 가장 크며, 10번 문항의 경우는 2수준에서 2수준으로 이동한, 즉 수준의 변화가 없는 중립에 해당하는 학생들의 비율이 압도적으로 가장 크다. 전체적으로 살펴볼 때, 3번 문항의 경우는 10번 문항에 비해 1수준과 3수준에서 4수준으로 상향 변화된 학생들의 비율이 상대적으로 높으며, 4수준과 3수준에서 1수준으로 하향 변화된 학생들의 비율이 낮음을 알 수 있다.

Table 6. Proportions and number of cases of upward, neutral, and downward transitions by item

		Item 1	Item2	Item 3	Item4	Item5	Item6	Item 7	Item8	Item9	Item 10	Item 11	Item 12	Item 13	Total
Upward	%	40	40	51	40	36	45	33	45	36	29	33	42	46	40
	number of cases	62	61	78	62	54	68	51	69	54	43	51	61	67	781
Neutral	%	34	41	27	32	44	36	42	31	31	41	53	32	31	37
	number of cases	53	62	42	50	66	54	64	47	47	62	81	47	45	720
Downward	%	25	19	22	27	21	19	25	24	33	30	14	26	24	23
	number of cases	39	28	33	42	31	29	38	36	50	45	22	38	35	466
Total cases		154	151	153	154	151	151	153	152	151	150	154	146	147	1967

Table 7. Proportions of upward, neutral, and downward transitions by the cases

	1 → 4	1 → 3	1 → 2	1 → 1	2 → 4	2 → 3	2 → 2	2 → 1	3 → 4	3 → 3	3 → 2	3 → 1	4 → 4	4 → 3	4 → 2	4 → 1
%	5	5	4	4	9	7	9	2	10	8	5	2	16	7	5	3
	U	U	U	N	U	U	N	D	U	N	D	D	N	D	D	D

U: Upward, N: Neutral, D: Downward. (Shaded areas are the significant cases for validity evidence)

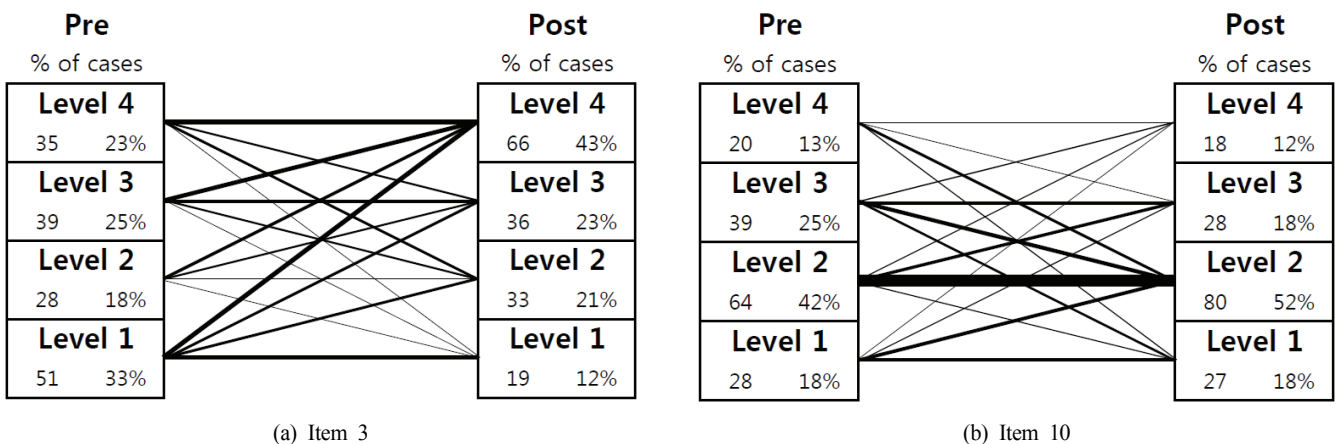


Figure 5. Exemplars of student transitions. (a), (b) are the biggest and smallest upward transition item, respectively. Thickness of the lines stands for the % point of cases which moved from one level to another, that is, the thicker, the more % points. (The way of representation was derived from Plummer (2014).)





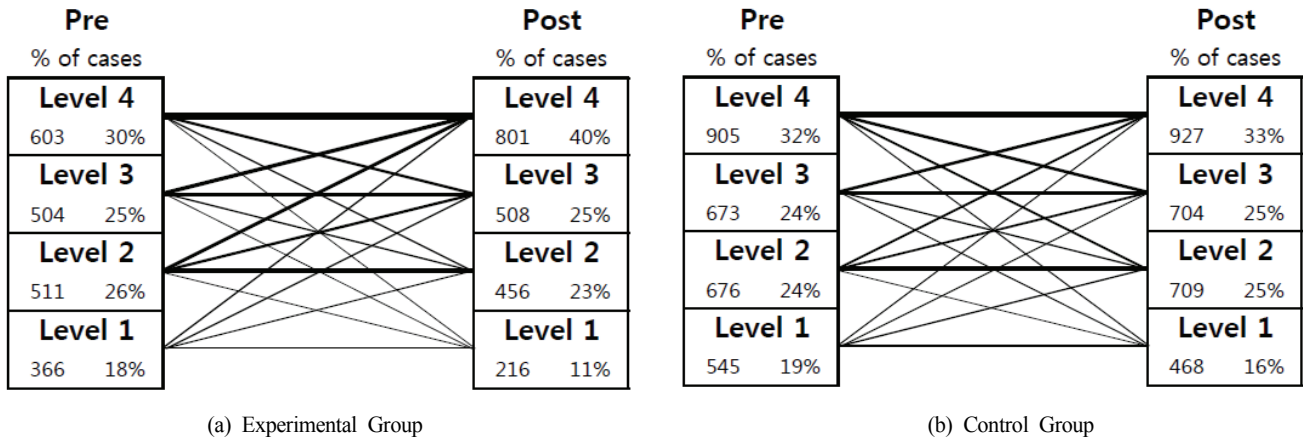


Figure 8. Comparison of student transitions between experimental and control groups. (The way of representation was derived from Plummer (2014).)

Table 8. Comparison of the transitions between experimental and control groups

	1 → 4	1 → 3	1 → 2	1 → 1	2 → 4	2 → 3	2 → 2	2 → 1	3 → 4	3 → 3	3 → 2	3 → 1	4 → 4	4 → 3	4 → 2	4 → 1
Exp. (%)	5	5	4	4	9	7	9	2	10	8	5	2	16	7	5	3
Cont. (%)	4	4	5	6	6	6	9	3	8	7	5	4	14	8	6	4
	U	U	U	N	U	U	N	D	U	N	D	D	N	D	D	D

U: Upward, N: Neutral, D: Downward. (Shaded areas are the significant cases for validity evidence)

집단 간 차이의 통계적 유의성을 검증하였다. 또한 문항 반응 이론에 기반한 Rasch 모델을 적용하여 13개 순위 선다형 문항에 대한 실험군과 대조군 학생들의 응답 반응을 비교하였다.

Figure 8은 지구의 운동과 태양계 학습 발달과정에 기반한 적응적 교수활동을 수행한 실험군과, 학습 발달과정과 무관한 일반적 교수활동을 수행한 대조군 간의 차이를 알아보기 위하여 수업 전후의 학생 수준 변화를 도표로 나타낸 것이다. 표현 방식은 Figure 5의 방법과 동일하다. Figure 8에서 사전/사후 검사에서 학생들의 도달 수준 변화 양상의 비율을 선의 굵기로 표시한 사례들의 구체적인 빈도를 Table 8에 퍼센트 단위로 제시하였다. 전체적으로 볼 때, 사전 검사에서 실험군과 대조군의 수준 1~수준 4에 해당하는 학생들의 인원 비율이 거의 비슷하였으나 사후 검사에는 차이가 남을 알 수 있다. 대조군의 사전/사후 검사에서 4수준에 해당하는 학생들의 비율이 32%에서 33%로 1% 포인트 증가했으나, 실험군의 사전/사후 검사는 4수준에 해당하는 학생들의 비율이 30%에서 40%로 10% 포인트 증가하였다.

Figure 8에서 실험군의 경우 2수준에서 4수준으로, 3수준에서 4수준으로 상향 변화된 비율을 나타내는 선들이 대조군에 비해 시각적으로 더 굵다. Table 8에 제시된 구체적인 % 수치를 보면, 실험군 학생들 중 2수준에서 4수준으로 상향 변화한 학생들은 9%, 3수준에서 4수준으로 상향 변화한 학생들은 10%인 반면, 대조군 학생들 중에서 이 사례에 해당하는 학생들은 각각 6%와 8%였다. 즉, 적응적 교수활동을 통해 실험군 학생들이 대조군 학생들보다 최상위 수준으로 상향 변화한 사례들이 더 많았음을 보여준다. 그리고 Figure 8에서 시각적인 굵기의 차이가 뚜렷하지 않았지만, 1수준에서 3수준으로, 1수준에서 4수준으로, 2수준에서 3수준으로 상향 변화한 학생들의 비율 또한 실험군이 대조군보다 각각 1% 포인트 씩 높게 나타났다. 즉, 실험군의 경우는 대조군에 비해 사전 검사에서 4수준에 해당했던 학생들이 그

수준을 계속 유지하였고(16%), 그 아래 수준에 해당하는 학생들이 대조군에 비해 4수준으로 더 많이 향상했음을 알 수 있다. 또한, 실험군의 사전/사후 검사에서 1수준의 비율이 18%에서 11%로 7% 포인트 감소하고, 2수준도 26%에서 23%로 감소한 반면, 대조군의 사전/사후 검사는 1수준이 19%에서 16%로 3% 포인트 감소하였으나 2수준은 오히려 24%에서 25%로 소폭 증가하는 양상을 보였다. 대조군의 사후 검사에서 2수준에 해당하는 학생의 비율이 소폭 증가한 것은 1수준에서 2수준으로 향상한 비율이 5%인 반면, 2수준을 그대로 유지한 학생들의 비율이 9%, 3수준과 4수준에서 2수준으로 하향 변화한 학생들의 비율이 각각 5%와 6%로 비교적 높게 나타난 것에 기인한다고 보인다. 이것은 대조군의 학생들이 사전 검사에서 자신의 이해 수준보다 높은 선택지를 선택하였지만, 실제 수업 후에 학생들의 이해 수준이 낮아졌거나, 교수활동이 학생들의 이해 수준을 향상시키는데 적절하지 않았음을 보여준다. 이와 같은 결과는 실험군에서 처치된 적응적 교수활동이 대조군에서 적용된 기존의 일반적 교수활동에 비해 학생들의 수준을 상향 변화시키는데 보다 긍정적으로 작용했음을 시사한다.

Table 9는 실험군과 대조군의 차이의 유의성을 판단하기 위해 학생들의 사전 수준을 공변인으로 하는 공변량분석을 실시한 결과를 나타낸 것이다. 학교별로는 S 학교를 제외한 4개 학교에서 실험군의 학생 수준이 대조군보다 통계적으로 유의미하게 높은 것으로 분석되었는데, B 학교가 가장 유의미한 차이가 있었으며, 그 다음은 C, Y, K 학교 순으로 나타났다. 또한, 5개 학교 전체를 합한 경우에서 통계적으로 유의미한 차이가 있는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 Figure 8과 Table 8에 제시한 학생들의 수준별 변화 양상에 대한 빈도 분석의 기술 통계 결과를 바탕으로 학습 발달과정에 기반한 적응적 교수활동이 학생들의 수준을 상향 변화시키는데 매우 효과적이라는

Table 9. Results of ANCOVA for students' level by school

School		N	M	SD	MS	df	F	P
B	Exp	16	3.05	0.32	1.814	1	15.094	0.000***
	Con	31	2.67	0.40				
S	Exp	25	2.72	0.39	0.147	1	1.156	0.286
	Con	31	2.62	0.48				
C	Exp	27	2.99	0.35	1.064	1	8.784	0.005**
	Con	27	2.68	0.44				
K	Exp	20	3.02	0.42	0.593	1	4.580	0.037*
	Con	39	2.76	0.38				
Y	Exp	25	2.94	0.38	0.679	1	4.368	0.039*
	Con	71	2.77	0.45				
Total	Exp	113	2.93	0.39	3.586	1	26.593	0.000***
	Con	219	2.71	0.44				

\*P< .05 \*\*P< .01 \*\*\*P< .001

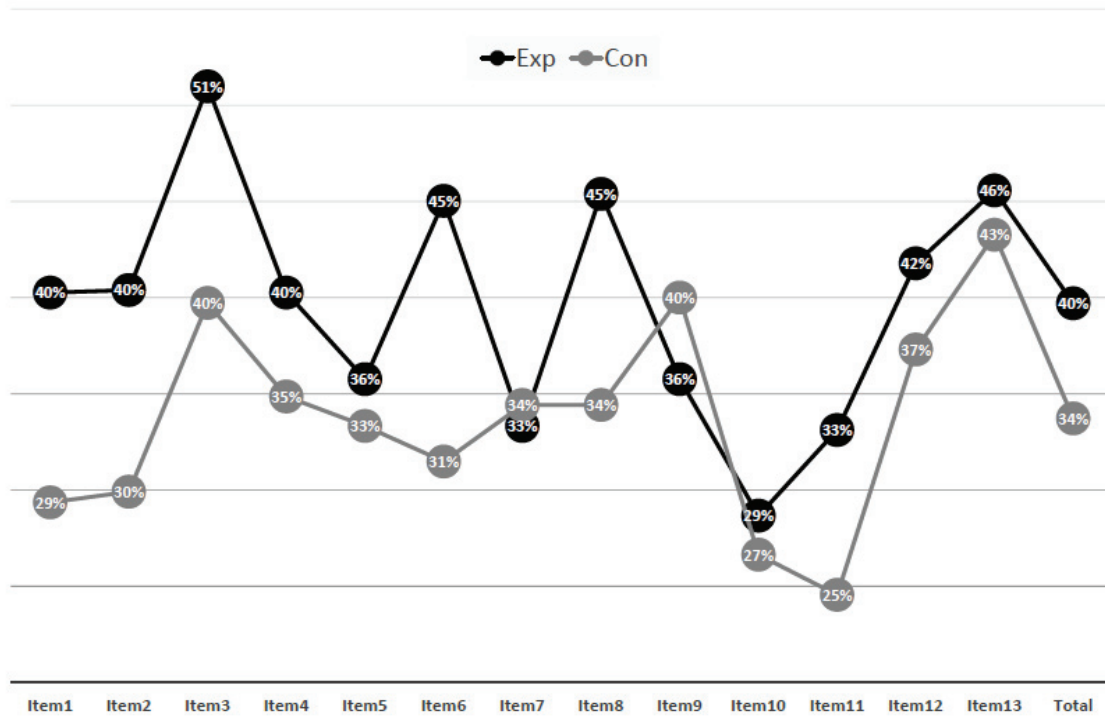


Figure 9. Comparison of the proportion of upward transitions between experimental and control groups by item

주장을 통계적으로 증명해 주는 것이다. 따라서 지구의운동과 태양계 학습 발달과정의 타당성이 결과 타당도 측면에서 검증된 것으로 볼 수 있다.

Figure 9는 사전/사후 검사에서 수준이 상향 변화된 학생 수의 비율을 문항별로 비교한 것이다. 7번과 9번 문항을 제외한 나머지 모든 문항에서 실험군의 상향 수준 변화 비율이 대조군에 비해 높게 나타났다. 문항 전체적으로는 실험군이 40%, 대조군이 34%의 비율을 보였다. 대체로 지구의 운동 주제를 다룬 1번~8번 문항들에 대한 실험군과 대조군의 상향 변화 비율이 태양계 주제를 다룬 9번~13번 문항들에 비해 그 차이가 더 큰 것을 볼 수 있다. 실험군과 대조군에서 상향 변화의 비율이 문항별로 다르게 나타난 결과의 통계적 유의성을 판단하기 위하여 사전 검사 결과에서 도출된 학생들의 수준을 공변인으로 하는 공변량분석을 실시한 결과를 Table 10에 제시하였다. 문항

전체적으로는  $p < .01$  수준에서 통계적으로 유의미한 차이가 나타났으나, 13개 문항 중 7개 문항의 경우는 실험군과 대조군의 차이가 유의미하지 않은 것으로 분석되었다. 특이할 만 한 것은, 지구의 운동에 관한 문항들은(1번~8번) 대체로 유의미한 차이가 있는 반면, 태양계에 관한 문항들은(9번~13번) 모두 유의미하지 않은 결과를 나타낸 것이다. 이와 같은 결과는 학습 발달과정에 기반한 적응적 교수활동이 태양계 주제보다는 지구의 운동 주제에서 더 효과적이었다는 것을 의미한다.

Table 10. Results of ANCOVA for students' level by item

Item		N	M	SD	MS	df	F	P
1	Exp	154	3.1	1.0	13.986	1	13.420	0.000**
	Con	219	2.7	1.0				
2	Exp	154	3.4	0.9	13.871	1	13.428	0.000**
	Con	219	3.0	1.1				
3	Exp	154	3.0	1.1	10.625	1	8.149	0.005**
	Con	219	2.6	1.2				
4	Exp	154	3.2	0.9	5.852	1	5.909	0.016*
	Con	219	2.9	1.1				
5	Exp	154	2.9	1.0	3.592	1	3.339	0.068
	Con	219	2.7	1.1				
6	Exp	154	3.1	1.0	18.938	1	16.662	0.000**
	Con	219	2.7	1.1				
7	Exp	154	2.4	0.9	0.683	1	0.753	0.386
	Con	219	2.3	1.0				
8	Exp	154	3.3	0.9	4.054	1	4.021	0.046*
	Con	219	3.1	1.1				
9	Exp	154	2.8	1.0	1.637	1	1.477	0.225
	Con	219	2.6	1.1				
10	Exp	154	2.2	0.9	0.044	1	0.054	0.816
	Con	219	2.2	0.9				
11	Exp	154	3.4	0.9	2.108	1	2.376	0.124
	Con	219	3.3	1.0				
12	Exp	154	2.6	1.3	3.879	1	2.475	0.117
	Con	219	2.4	1.2				
13	Exp	154	2.8	1.2	0.323	1	0.234	0.629
	Con	219	2.7	1.2				
Total	Exp	154	38.0	4.9	710.484	1	30.819	0.000**
	Con	219	35.2	5.7				

\*P< .05 \*\*P< .01

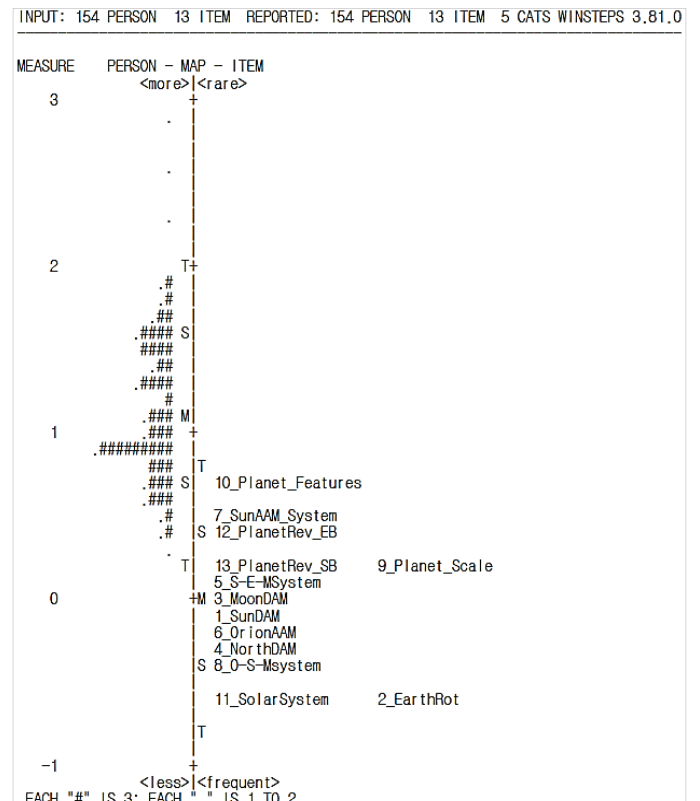
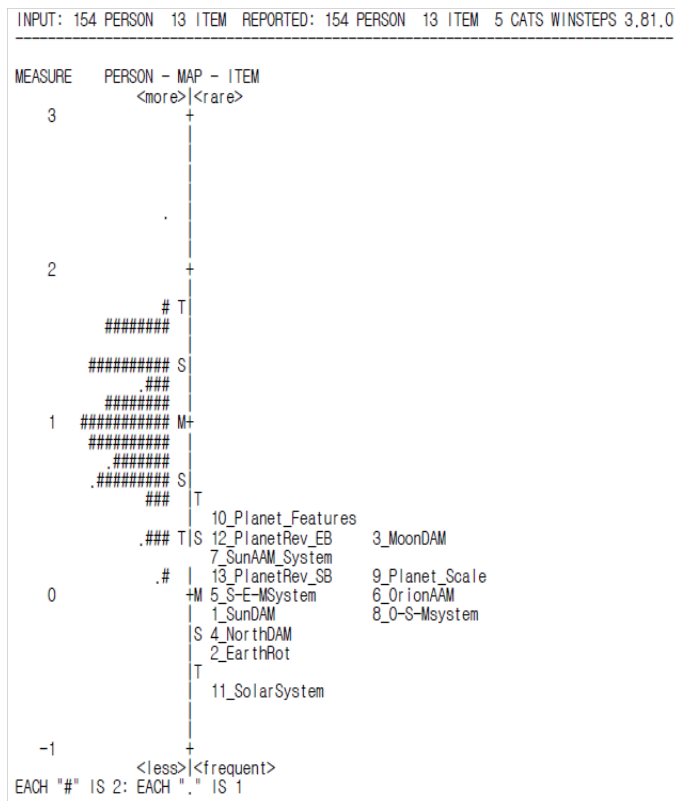


Figure 10. Rasch analysis from the pre-test of experimental group of students

Figure 11. Rasch analysis from the post-test of experimental group of students

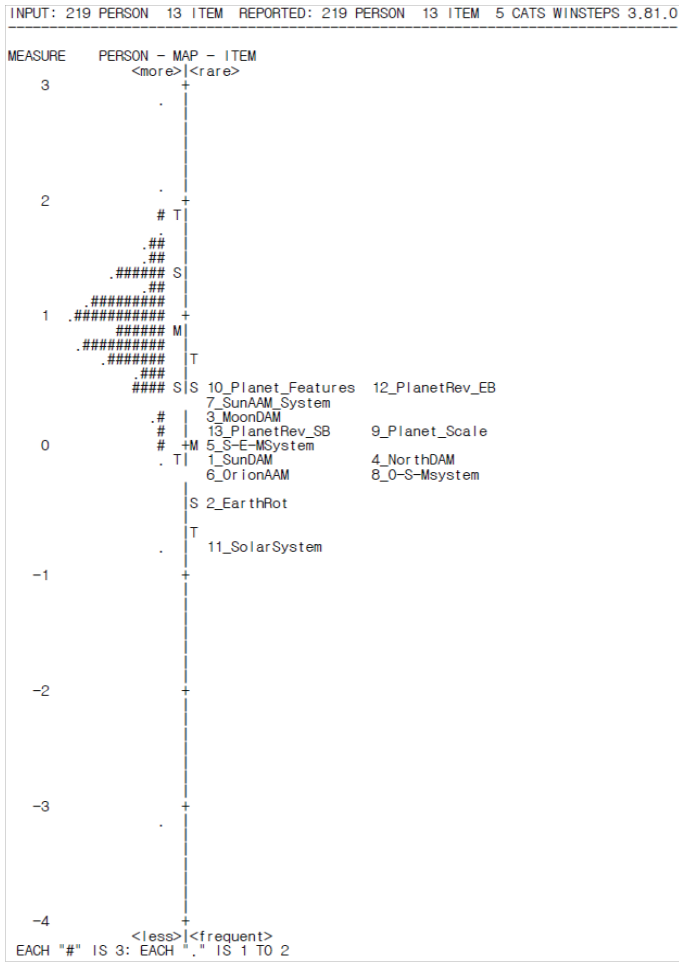


Figure 12. Rasch analysis from the pre-test of control group of students

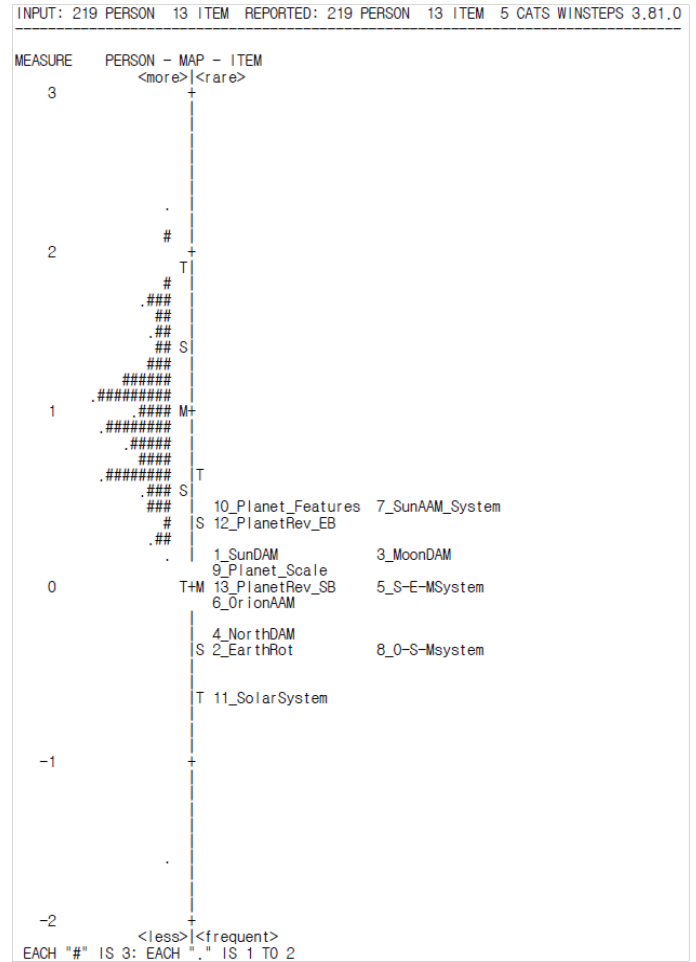


Figure 13. Rasch analysis from the post-test of control group of students

Figure 10~Figure 13은 Rasch 모델을 적용하여 13개 평가 문항에 대한 실험군과 대조군 학생들의 사전과 사후 응답 반응을 Wright map 으로 나타낸 것이다. Figure 6 및 Figure 7과 다른 것은 세로선 오른쪽의 문항 곤란도를 선택지 수준별로 나타내지 않고 문항별 각 선택지들의 평균 곤란도를 계산하여 표시한 것이다. 이 연구에서 사용한 검사 문항들이 OMCs 형태이므로 검사 결과를 Rasch 모델을 적용하여 분석할 때 부분점수 모형(partial credit model, Masters, 1982)을 이용하였다. 부분점수 모형에서 문항의 곤란도는 Figure 6과 Figure 7과 같이 선택지별 곤란도로 표시할 수도 있고, 문항의 평균 곤란도를 표시할 수도 있다. 부분점수 모형에서는 한 문항에서 가장 낮은 점수에 해당하는 문항 특성 곡선과 가장 높은 점수에 해당하는 문항 특성 곡선의 교차점에 해당하는 학생들의 능력값을 그 문항의 평균 곤란도로 결정한다. 실험군 학생들의 능력 평균값을 보면 앞서 Figure 6과 Figure 7에서 본 바와 같이 사전 검사(약 1.0)보다 사후 검사에서 상승하여 1.0을 상회한 반면, 대조군 학생들의 능력 평균값은 사전 검사에서 1.0보다 약간 낮았던 것이 사후 검사에서 1.0 정도를 나타낸다. 두 집단 모두 수업 처치 후 학생들의 능력 평균값이 향상되었지만, 대조군에 비해 실험군이 더 높은 평균값을 보였다.

문항별로 살펴보면, 실험군의 경우 사전 검사에서 3번 문항(하루 동안 달의 겉보기 운동)이 다른 문항에 비해 상대적으로 곤란도가 높았는데 사후 검사에서는 다른 문항과 비교할 때 평균적인 곤란도를 나타냈다. 이 문항은 지구 자전에 의한 달의 위치 변화에 대해 공간적

사고를 바탕으로 달의 겉보기 운동을 이해하는 것인데 실험군에 처치했던 적응적 교수활동에서 공간적 사고를 강조한 결과 이 문항에 대해 학생들이 상대적으로 곤란도를 적게 느끼게 된 것으로 볼 수 있다. 6번 문항(오리온 별자리의 연간 겉보기 운동)도 사전 검사에서는 평균적인 곤란도를 보인 반면 사후 검사에서는 평균보다 낮은 곤란도를 보였는데 이 결과 역시 공간적 사고를 강조한 적응적 교수활동의 처치 효과로 볼 수 있다. 대조군의 경우 3번 문항과 6번 문항의 상대적 곤란도는 사전 검사와 사후 검사에서 그 변화가 크지 않았다. 이러한 결과는 대조군에 비해 실험군에서 공간적 사고를 강조한 적응적 교수활동의 효과가 특히 달의 일주운동과 별자리의 연주운동 주제에 대하여 크게 나타남을 보여준다. 반면에 시스템 사고가 반영된 9번~11번 문항들은 실험군과 대조군에서 모두 상대적 곤란도의 변화가 사전/사후 검사 결과에서 뚜렷하지 않았다. 이러한 특징은 이 연구에서 처치했던 적응적 교수활동이 시스템 사고보다는 공간적 사고를 수행하는데 더 효과가 있었으며, 차후 적응적 교수활동을 수정할 때 시스템 사고의 수행 능력 향상을 더욱 강조할 필요가 있음을 말해준다.

이와 같은 두 집단 간 차이의 통계적 유의성을 판단하기 위하여 전체 학생들의 사전/사후 검사 결과를 Rasch 모델로 측정하여 얻은 학생들의 능력을 로지트 값으로 환산하였다. 그리고 사전 검사에서 얻은 학생들의 능력 로지트 값을 공변인으로 하여 공변량분석을 실시한 결과(Table 11), 실험군 학생들의 평균 능력이(로지트 값) 대조군에 비해 통계적으로 매우 유의미하게 향상된 것으로 분석되었다.

Table 11. Results of ANCOVA for students' ability

	N	M	SD	MS	df	F	P
Exp	154	1.14	0.45	1.845	1	11.632	0.001**
Con	219	0.96	0.46				

\*\*P&lt; .01

#### IV. 결론 및 논의

이 연구에서는 지구의 운동과 태양계 학습 발달과정의 타당성을 구인 타당도와 결과 타당도 측면에서 검증함으로써 학습 발달과정이 포함하고 있는 가설적인 발달 경로에 대해 경험적인 근거를 제공하고자 하였으며, 학습 발달과정이 학습 결과에 미치는 교수학적 효과성에 대해 알아보하고자 하였다. 연구 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

첫째, 구인 타당도 검증을 위해 지구의 운동과 태양계 학습 발달과정에서 설정한 가설적인 발달 경로가 적절한 교수활동에 의해 학생들에게 실제로 나타나는가를 알아본 결과, 13개 문항에 대해 실험군 학생들 중 약 40%가 성취 도달 수준의 상향 변화하였고, 24%의 학생들이 상위 수준(3수준과 4수준)에서 중립을 나타냈다. 이를 통해 이 연구에서 제안했던 지구의 운동과 태양계 학습 발달과정에서 설정한 가설적 발달 경로가 교사의 적절한 교수활동에 의해 유효하게 나타난다고 주장할 수 있으며, 지구의 운동과 태양계에 대한 학습 발달과정의 구인 타당도를 검증하였다. 그러나 이와 같은 결과는 학생들의 학습 발달 경로가 결코 선형적이지 않으며, 중간 단계에서 다양한 변이(variation)가 있을 수 있다는 Alonzo & Steedle(2009)의 주장을 뒷받침하는 것으로서, 이후 반복적인 타당화 과정(iterative validating process)을 통해 지구의 운동과 태양계 학습 발달과정을 보다 정교화할 필요가 있음을 시사한다.

둘째, 결과 타당도 검증을 위해 지구의 운동과 태양계 학습 발달과정에 기반한 교수활동이 교과서에 근거한 전통적인 교수활동에 비해 학생들에게 향상된 학습효과를 산출하는가를 알아본 결과, 전체적으로 실험군에서 처치된 적응적 교수활동이 대조군에서 적용된 기존의 일반적 교수활동에 비해 통계적으로 유의미하게 학생들의 수준을 상향 변화시킨 것으로 나타났다. 또한, Rasch 모델을 적용한 결과에서도 실험군 학생들의 평균 능력이 대조군 학생들에 비해 통계적으로 유의미하게 향상되는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 학습 발달과정에 기반한 적응적 교수활동이 학생들의 수준을 상향 변화에 매우 효과적이었음을 말해주는 것으로, 학습 발달을 도와주는 지도(map)로서 학습 발달과정의 활용 가능성이 확인 것으로 볼 수 있다.

셋째, 타당도 검증 과정에서 지구의 운동 내용(영역)에 해당되는 문항의 경우는 태양계 내용에 해당되는 문항들에 비해 결과 타당도가 상대적으로 높게 나타났는데, 이는 문항 내용 수준 자체의 차이에도 그 원인이 있겠지만 문항 해결을 위해 요구되는 기능인 천문학적 사고(astronomical thinking, Maeng et al., 2014) 중 공간적 사고와 시스템 사고의 차이에서 기인된 것으로 판단된다. 즉 지구의 운동 영역이 주로 공간적 사고 기능을 요구하고 있고, 태양계 영역이 주로 시스템 사고 기능을 요구하고 있는 데, 교사의 적응적 교수활동이 시스템 사고에 비해 공간적 사고의 향상에 주로 초점을 두었음을 시사한다. 이는 참여 교사의 수업 분석을 통해 추후 검증될 수 있을 것이다.

이와 같은 해석은 과학 교사들이 수행한 천문 수업이 시스템 사고보다는 공간적 사고에 집중되고 있다는 연구 결과(Oh et al., 2015)와 같은 맥락으로 이해될 수 있다.

이와 같은 연구 결과를 토대로 추후 연구를 위한 몇 가지 제언을 하면 다음과 같다.

첫째, 학습 발달과정의 타당화를 위해 보다 효과적인 문항이 개발될 필요가 있다. 이 연구에서 사용한 OMC 문항은 근본적으로 선택형 문항이 가지는 제한점을 가지고 있다. 다시 말해 OMC 문항은 높은 수준이 낮은 수준에 비해 보다 과학적인 용어로 작성되는 문제가 있으며, 학생 수준과 무관하게 추측(guessing)에 의해 답을 고를 소지가 있다는 것이다. 그러므로 MTF(multiple true-false), CR(constructed-response), CE(choice-explain) 문항 등 (Alonzo et al., 2012) 이를 보완하기 위한 문항 유형의 개발이 필요하다.

둘째, 효과적인 적응적 교수활동 또는 PCK 발달의 근거로서 학습 발달과정의 역할이 보다 심층적으로 탐색될 필요가 있다. 학습 발달과정은 단순히 학생들의 학업 성취 여부를 판단하는 것이 아닌 학생들의 문제점이 무엇인지, 이를 해결하기 위해 교사는 어떻게 해야 하는지 도와주는 도구가 되어야 한다. 그러므로 학생들의 필요(needs)를 정밀하게 판단하여 이들에 대해 교수적으로 어떻게 반응할 것인지를 결정하는데 있어 학습 발달과정의 역할과 이에 따른 교사의 PCK 발달과정(progression)에 대한 연구가 수행될 필요가 있다.

학습 발달과정 연구는 개발(development), 타당화(validation), 적용(application)이라는 반복적인 과정을 통해 지속적으로 수정되고 보완되어야 한다. 그러므로 이 연구에서의 타당화 결과를 토대로 교수 연수 프로그램을 개발 및 적용을 통한 실행 연구(action research)가 이어진다면 이 연구가 보다 의미를 가질 수 있을 것으로 기대한다.

#### 국문 요약

이 연구는 ‘지구의 운동과 태양계’ 학습 발달과정의 타당성을 2가지 측면에서 검증하고자 하였다. 첫 번째는 구인 타당도로서 학생들이 학습하는 동안에 본 연구의 학습 발달과정에서 설정한 가설적인 발달 경로에 따라 실제로 학생들의 발달이 나타나는가를 조사하였다. 두 번째는 결과 타당도로서 학습 발달과정에 기반한 적응적 교수활동이 대부분의 학생들에게 향상된 학습효과를 산출하는가를 조사하였다. 이를 위해 서울, 강원, 광주 지역 소재 6개 초등학교에서 5학년 학생 373명과 교사 17명이 연구에 참여하였다. 초등학교 5학년의 태양계와 별 단원에서 지구의 운동과 태양계 관련 내용을 포함하는 적응적 교수활동을 개발하고, 교수활동 사전과 사후에 순위 선다형 문항(13개)으로 구성된 검사지를 투입하여 그 결과를 비교·분석하였다. 구인 타당도를 알아보기 위해 실험군 학생들을 대상으로 사전과 사후의 수준 변화를 분석한 결과, 약 64%에 해당하는 학생들이 적응적 교수활동에 의해 가설적으로 설정한 경로를 따라 발달하는 것으로 나타났으며, 사전/사후 검사 결과를 Rasch 모델로 적용한 분석 결과도 이를 뒷받침하였다. 결과 타당도를 알아보기 위해 실험군과 대조군의 사전검사를 공변량으로 한 공변량분석(ANCOVA)을 실시한 결과, 실험군 학생들의 수준 향상이 대조군 학생들의 경우에 비해 통계적으로 유의미하게 높은 것으로 나타났으며(F=30.819, p=0.000), 실험군이 대조군보다 정적(+) 수준 변화 경향이 더 뚜렷하게 나타났다.

또한, Rasch 모델을 적용하여 결과 타당도를 검증한 결과, 실험군이 대조군보다 학생 능력치 상승이 더 높게 나타났으며, 이러한 차이는 통계적으로 유의미한 것으로 분석되었다( $F=11.632$ ,  $p=0.001$ ).

**주제어** : 학습 발달과정, Rasch 분석, 지구의 운동, 태양계, 구인 타당도, 결과 타당도

## References

- Alonzo, A. C., & Steedle, J. T. (2009). Developing and assessing a force and motion learning progression. *Science Education*, 93(3), 389-421.
- Alonzo, A. C., Neidorf, T., & Anderson, C. W. (2012). Using learning progression to inform large-scale assessment. In Alonzo, A. C., & Gotwals, A. W. (Eds.). *Learning science in science: Current challenges and future directions* (pp. 211-240). Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.
- Bond, T. G., & Fox, C. M. (2007). *Applying the Rasch model: Fundamental measurement in the human sciences* (2nd edition). New York, NY: Routledge.
- Briggs, D. C., Alonzo, A. C., Schwab, C., & Wilson, M. (2006). Diagnostic assessment with ordered multiple-choice items. *Educational Assessment*, 11(1), 33-63.
- Corcoran, T., & Silander, M. (2009). Instruction in high schools: The evidence and the challenge. *The Future of Children: America's High Schools*, 19, 157-183.
- Corcoran, T., Mosher, F. A., & Rogat, A. (2009). *Learning progressions in science: An evidence-based approach to reform*. Consortium for Policy Research in Education Report #RR-63. Philadelphia, PA: Consortium for Policy Research in Education.
- Ji, E., & Chae, S. (2000). *Theory and practices of Rasch model*. Seoul: Kyoyook-Kwahak-Sa.
- Kim, Y., Lee, K., Maeng, S., & Lee, J. (2014). Development of assessment items for learning progressions on cross-cutting concepts and its application to physics and Earth science. Report submitted to Korea Foundation for the Advancement of Science & Creativity.
- Krajcik, J. S. (2012). The importance, cautions and future of learning progression research. In Alonzo, A. C., & Gotwals, A. W. (Eds.). *Learning science in science: Current challenges and future directions* (pp. 27-36). Rotterdam, The Netherlands: Sense Publishers.
- Liu, X. (2010). *Using and developing measurement instruments in science education: A Rasch modeling approach*. Charlotte, NC: Information Age Publishing Inc.
- Maeng, S., & Lee, K. (2015). Cross-sectional item response analysis of geocognition assessment for the development of plate tectonics learning progressions: Rasch model. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 35(1), 37-52.
- Maeng, S., Lee, K., Park, Y., Lee, J., & Oh, H. (2014). Development and validation of a learning progression for astronomical system using ordered multiple-choice assessment. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 34(8), 703-718.
- Maeng, S., Seong, Y., & Jang, S. (2013). Present states, methodological features, and an exemplar study of the research on learning progressions. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 33, 161-180.
- Masters, G. N. (1982). A Rasch model for partial credit scoring. *Psychometrika*, 47(2), 149-174.
- Ministry of Education, Science, and Technology. (2011). *2009 revised science curriculum*. Seoul: MEST.
- National Research Council (NRC). (2006). *Learning to think spatially*. Washington, DC: National Academies Press.
- National Research Council. (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8*. (R.A. Duschl, H.A. Schweingruber, & A.W. Shouse, Eds.). Washington DC: The National Academies Press.
- National Research Council. (2012). *A framework for k-12 science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Committee on a Conceptual Framework for New K-12 Science Education Standards. Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. Washington, DC: The National Academies Press.
- NGSS Lead States (2013). *Next Generation Science Standards*. Achieve, Inc.
- Oh, H., Lee, K., Park, Y-S., Maeng, S., & Lee, J-A. (2015). An analysis of systems thinking revealed in middle school astronomy classes: The case of science teachers' teaching practices for the unit of stars and universe. *Journal of Korean Earth Science Society*, 36(6), 591-608.
- Plummer, J. D. (2014). Spatial thinking as the dimension of progress in an astronomy learning progression, *Studies in Science Education*, 50(1), 1-45.
- Seong, Y., Maeng, S., & Jang, S. (2013). A learning progression for water cycle from fourth to sixth graders with ordered multiple-choice items. *Elementary Science Education*, 32(2), 139-158.
- Shin, N., Koh, E. J., Choi, C. I., & Jeong, D. H. (2014). Using a learning progression to characterize Korean secondary students' knowledge and submicroscopic representations of the particle nature of matter. *Journal of Korean Association for Science Education*, 34(5), 437-447.
- Wilson, M. (2009). Measuring progressions: Assessment structures underlying a learning progression. *Journal of Research in Science Teaching*, 46, 716-730.