순위 정렬 선다형 평가 문항을 적용한 초등학교 4~6학년 학생들의 물의 순환에 대한 학습 발달 과정

성연선 · 맹승호* · 장신호
(서울교육대학교) · (강원대학교)*

A Learning Progression for Water Cycle from Fourth to Sixth Graders with Ordered Multiple-Choice Items

Seong, Yeonseon · Maeng, Seungho* · Jang, Shinho
(Seoul National University of Education) · (Kangwon National University)*

ABSTRACT

This study investigated elementary students' (grade 4~6) learning progressions for water cycling drawn from iterative assessments using ordered multiple-choice (OMC) items. An assessment system, which consisted of construct map, item design, outcome space, and measurement model, was employed in this study to examine children's learning progressions. At the first stage of the assessment system, a construct map was designed on which children's conceptual understandings from naive to most sophisticated were represented. At the item design stage, 8 OMC items were drawn from the construct map. Each item option of the OMC items was scored from 0 to 3 according to its level of understanding at the stage of outcome space. As a measurement model, Rasch model, a branch of item response theory, was applied to interpreting the outcomes of the OMC items. This cycle of assessment system was furtherly implemented iteratively in order to elaborate on the first version of water cycling learning progression. In conclusion, children's understanding of water cycling could be described in two aspects: water distribution and water movement. We identified children's conjectural developmental pathways about water cycling existed from superficial and naive accounts to more complex and abstract accounts.

Key words : water cycling, learning progressions, ordered multiple-choice items, construct modeling approach, Rasch model

I. 서 론

물의 순환은 물이 지구를 이루는 하위 계(수권, 지권, 기권, 생물권)에서 물이 이동하는 과정과 다른 물질과의 상호작용을 가리킨다. 순환적이며 동시에 역동적인 물의 순환의 성격 및 그 특징을 이해하는 것은 현대 시민의 지구환경적 소양을 신장시키며, 동시에 지구의 시스템적 성격을 파악하는데 매우 중요한 역할을 맡고 있다(Ben-Zvi-Assaraf & Orion, 2005; Covitt *et al.*, 2009). 최근 미국에서 발표된 새로운 초중등 과학교육 체제(A framework for K-12 science education)과 이를 바탕으로 작성 된 차세대 과학교육 기준(The Next Generation Science Standards)에서도 물의 순환을 통합 개념(cross-cutting concepts) 중, 계(system) 및 물질 보존(matter conservation)의 하나로 선정하였으며, 이를 통해 물의 순환이라는 개념의 중요성을 다시 확인할 수 있다. 그러나 물의 순환에 대한 기존의 개념 이해 연구들은 적은 수의 인원을 대상으로 하여 연구 결과를 일반화하기 어렵거나, 단기간의 학습 효과에 대

2013.2.6(접수), 2013.2.22(1심통과), 2013.3.12(2심통과), 2013.5.24(최종통과)
E-mail: seunghom@gmail.com(맹승호)

한 연구들로 진행되어 아동의 발달 경로를 알아보는데 무리가 있었으며, 학생의 오개념을 파악하여 단순히 이를 수정하는 것만을 목표로 하는 경우가 많았다(국동식, 1988; 김효남 등, 1993; 남윤경 등, 2004; 이용복과 배영부, 1994; 정진우와 김윤지, 2008; Bar, 1989; Ben-zvi-Assaraf & Orion, 2005; Osborne & Cosgrove, 1983). 따라서 물의 순환에 대한 아동들의 이해 수준에 따른 실제적인 진술을 바탕으로 교육 과정 및 교사의 교수 활동과 아동의 발달 단계의 적합도 여부를 판단할 수 있는 근거를 제시하여 물의 순환에 대한 교수 학습 활동을 실질적으로 지원할 수 있는 연구가 필요하다.

물의 순환이 시스템적 사고를 함양하기에 적합하다는 인식은 공유된 반면(신동희 등, 2005; 이용복과 배영부, 1994; 조부경 등, 2002), 우리 나라의 현행 2007 개정 교육 과정 중 물의 순환의 내용을 직접 다루고 있는 차시는 4학년의 물질 영역에 포함된 1개 단원 중 1개 차시에 국한되고 있다. 이 외에 물의 순환과 관련 내용을 포함하는 단원은 4학년의 '지표의 변화', 5학년의 '식물의 구조와 기능', 6학년의 '날씨의 변화' 등이 있으나, 해당 단원들에서는 물의 순환과 관련된 내용은 교육 과정에서 뚜렷하게 제시되지 않았다(교육과학기술부, 2008). 이와 같은 교육 과정 구성은 물의 순환을 응결이나 증발과 같은 물의 상태 변화로서 다루고 있어서, 초등학생들이 해당 과정이 기권에 대해서만 이루어진다고 잘못 인식하게 할 수 있다. 뿐만 아니라 물의 순환에 대한 교육 과정 내용 구성을 결정하는 과정에서 교육 과정의 내용 체계를 구성하는 근거로써의 학생들의 학습 성취에 대한 평가 결과나 학생들의 현재 이해 수준과 발달 과정에 대한 경험적 연구의 근거가 충분히 반영된 것으로 보기 어렵다. 실제로 교육 과정 내용 구성 과정에 대한 비판적 연구의 사례를 보면, 교육 과정 구성이 전문가의 논리적 분석에 따른 개념 위계나 교육 과정 개발에 참여한 전문가들의 개인적 교수 활동 경험에 따라 교육 과정에 포함되어야할 주제나 내용, 어느 학년에 어떤 순서로 배치할 것인가가 결정되는 경우가 많은 것으로 보고되기도 하였다(백남진, 2006; 윤현진 등, 2009). 이러한 국내의 현실은 아동의 개념 이해 수준의 발달 상태를 파악할 수 있는 평가의 결과와 교육 과정 개발이 서로 맞물려 진행되도록 지원해 줄 수 있는 방법론적 틀이 제시되지 않았기 때문이다(맹승호 등, 2013).

위와 같은 교육 과정 구성 근거의 문제와 내용 선정과 체계의 준거 문제의 대안으로 학습 발달 과정(learning progressions)을 들 수 있다. 학습 발달 과정은 교육 과정, 교수 활동, 학습 평가의 일관된 운영을 위한 방법적 틀로서, 미국의 차세대 과학교육 기준 개발의 기본 원리와 준거로 적용되기도 하였다(맹승호 등, 2013; National Research Council, 2007; 2012). 학습 발달 과정에 대한 공식적인 정의는 NRC의 보고서 *Taking Science to School*에서 다음과 같이 제시한 바 있다.

> "한 주제에 대한 이해와 사고가 연속적으로 더욱 정교해지는 경로들(ways)에 대한 기술(descriptions)이다. 이 경로들은 아동들이 그 주제에 대해 오랜 기간의 학습 시기에 걸쳐 조사하고, 학습함에 따라 순차적으로 이행할 수 있다. 또한, (연구 결과를 근거로) 제안된 학습의 발달 과정은 혁신적이고 적절한 교수 활동이 장기간에 걸쳐 지속적으로 제공될 때 형성될 수 있다."(NRC, 2007, p. 219).

즉, 학습 발달 과정은 학생들이 나타내는 특정한 개념에 대한 이해 정도를 연구한 실제적이고 경험적인 연구 결과에 근거하여 도출된 것이며, 적절한 교수 활동을 통해 형성된 가설적인 발달의 경로라고 할 수 있다. 따라서 학습 발달 과정 연구의 경우, 아동의 개념 이해 수준의 발달 과정을 추적하고, 정립한 가설적 경로는 이의 발달을 촉진하는 교수 활동의 근거로 사용할 수 있으며, 평가의 구성과 활용, 교육 과정의 내용 구성에서 학생들의 이해 수준에 대한 근거 자료로 활용할 수 있다(Corcoran *et al.*, 2009).

한편, 선행 연구들에서 물의 순환에 대한 학생들의 개념 이해 수준을 조사하기 위해 Ben-Zvi-Assaraf과 Orion(2005)은 리커트 척도를 적용한 검사 문항과 그림 분석, 인터뷰를 사용하였으며, 정진우와 김윤지(2008)는 초등 예비 교사들의 물의 순환 개념을 알아보고자 그림 분석을 활용하였다. Covitt *et al.*(2009)과 Gunckel *et al.*(2012)은 물의 순환에 대한 학습 발달 과정을 제시하기 위해 임상적 인터뷰와 개방형 평가 문항을 적용하였다. 인터뷰, 개방형 문항, 그림 분석 등은 아동들의 개념을 조사하는 데 효과적이지만, 대규모 인원을 대상으로 하기에는 시간적, 경제적 측면에서 효율적이지 못한 것이 사

실이다. 이에 대해 Briggs *et al.*(2006)은 많은 인원을 동시에 동일한 문항으로 평가하여 통계적 경향성을 파악하는 선다형 평가 문항의 장점에 더하여 각 문항별로 다양한 수준을 나타내는 선택지를 제시하여 각 선택지를 선택한 결과를 통해 학생들의 개념 이해에 대한 진단적 정보를 파악할 수 있게 하는 대안적 평가로서 순위 정렬 선다형 평가 문항(ordered multiple-choice assessment items)을 제안하였다. 순위 정렬 선다형 문항은 학생들의 개념 이해는 일상적 수준, 기초 개념 수준, 과학적 개념 수준의 순으로 발전할 것을 전제로 하고, 학생의 이해 발달 수준과 연결된 선택지를 제공하여 학생들이 선택한 답을 통해 한 수준에서 다음 수준으로 발달하는 과정을 진단할 수 있기 때문에(Briggs & Alonzo, 2012) 힘과 운동에 대한 학습 발달 과정(Alonzo & Steedle, 2009), 지구의 운동에 대한 학습 발달 과정(Briggs *et al.*, 2006) 연구에서 이미 사용된 바 있다. 물의 순환과 같이 학생들의 선행 개념에 대한 연구가 많이 진행된 주제는 선행 연구에 제시된 다양한 수준의 개념 사례를 순위 정렬 선다형 평가 문항의 선택지로 사용할 수 있는 장점이 있다.

이상의 논의를 바탕으로 이 연구에서는 물의 순환에 대한 초등학생들의 이해 수준 및 학습 발달의 경로를 조사하기 위한 순위 정렬 선다형 평가 문항을 개발하고, 이를 활용하여 물의 순환에 대한 초등학생들의 학습 발달 과정을 조사하고자 하였다.

II. 연구 대상 및 방법

1. 연구 대상

초등학생들의 물의 순환에 대한 학습 발달 과정을 파악하기 위하여 본 연구는 서울의 한 초등학교 4학년(70명), 5학년(87명), 6학년(119명) 전체 학생(276명)을 대상으로 진행되었다. 연구 대상으로 4~6 학년 학생들을 선정한 까닭은 물의 순환이 교육과정의 중심 내용으로 제시된 학년이 4학년이기 때문이고, 검사 도구로 사용할 순위 정렬 선다형 문항의 선택지의 서술문들을 이해하기에 적합한 학년이 4학년부터이기 때문이다. 또한 만 10세, 즉 초등학교 4~5학년 정도에서 추상적이고 일반화된 단어를 정의할 수 있기 때문이다(이영숙, 1996; Werner & Kaplan, 1952). 한편, 4학년 교육 과정에서 물의 순환을 명시적인 소단원으로 제시한 것과 함께, 5학년과 6학년의 교육 과정에도 물의 순환과 관련된 요소가 그 내용으로 포함되어 있으므로 5학년과 6학년을 포함해 총 3개 학년 학생들을 연구대상으로 선정하였다.

2. 연구 방법

초등학생들의 물의 순환에 대한 학습 발달 과정을 조사하기 위하여 이 연구에서는 최근 맹승호 등(2013)에 의해 국내에 소개된 구인 모델링 방식(construct modeling approach, Wilson, 2005)에 근거한 4단계 평가 시스템을 2회에 걸쳐 적용하였다. 구인 모델링 방식은 '구인 특화(specifying construct) - 평가 문항 개발(item design) - 평가 결과 기술(outcome space) - 측정 모델(measurement model) 적용'의 4 단계 구성단위로 이루어져 있다. 이 4 단계 평가 시스템 구성단위는 학습 발달 과정을 조사하는데 필요한 연구 자료 수집과 자료 분석 및 결과 해석 과정을 모두 포함한다. 즉, 구인 특화 단계, 평가 문항 개발 단계 및 평가 결과 기술 단계는 연구 자료를 수집하는 과정이 될 수 있으며, 측정 모델 적용 단계는 연구 자료를 분석하고, 그 결과를 해석하는 과정에 해당한다고 볼 수 있다. 이 연구에서 수행했던 4 단계 평가 시스템의 실행 과정 및 절차, 실행 기간을 표 1에 제시하였다. 구인 모델링 방식의 4단계 평가 시스템 구성단위의 자세한 내용에 대해

표 1. 이 연구의 절차 및 실행 기간

연구 절차 및 순서	기간
물의 순환에 대한 선행 연구 조사 및 연구 참여자 선정	2011. 11~ 2012. 2
구인 특화 단계의 구인 구성도 작성 1차 순위 정렬 선다형 평가 문항 고안 1차 평가 결과 기술 측정 모델: Rasch 모형의 부분점수 모형 적용 1차 학습 발달 과정 정리	2012. 2~ 2012. 7
평가적응적 교수 학습 과정안 개발 및 적용	2012. 6~ 2012. 9
2차 순위 정렬 선다형 평가 문항 고안 2차 평가 결과 기술 2차 측정 모델 적용 2차 학습 발달 과정 정리	2012. 7~ 2012. 11

서는 맹승호 등(2013)이 학습 발달 과정의 현황과 조사 방법을 소개한 논문에서 자세히 설명하였기에, 이 논문에서는 각 단계별로 수행한 내용들을 이 연구를 위한 자료 수집과 자료 분석의 측면에서 재구성하여 연구 방법으로 기술하였다.

1) 자료 수집

4단계 평가 시스템의 구인 특화 단계에서는 물의 순환을 학습 발달 과정의 중심 주제로 선정하고, 물의 순환에 대한 아동들의 개념을 주제로 한 선행 연구들에 근거하여 지구 시스템의 하위 시스템에 존재하는 물의 분포와 각 하위 시스템 간의 물의 이동을 학습의 구인(construct)으로 결정하였다. 그리고 물의 순환에 대해 아동들이 가진 선개념 및 오개념의 사례들을 조사한 선행 연구들의 연구 결과에 제시되었던 학생들의 개념 이해 사례들을 바탕으로 구인 구성도(construct map, Wilson, 2005)를 작성하였다(표 2). 이 단계의 구인 구성도는 물의 순환에 대한 가장 낮은 수준의 오개념 사례(수준 1)에서 오개념과 과학적 개념을 부분적으로 포함하는 중간 단계(수준 2와 수준 3), 그리고 과학적으로 정확한 개념의 사례에 해당하는 수준 4까지 위계적으로 나열한 것으로서, 아동의 학습 발달에 대한 가설적인 경로를 제시한 것이다.

평가 문항 개발 단계에서는 구인 구성도를 바탕으로 순위 정렬 선다형 문항을 개발하였다. 개발된 평가 문항을 서울의 한 초등학교 4학년(70명), 5학년(87명), 6학년(119명) 전체 학생(276명)에게 적용하여 각 문항에 대한 응답 자료를 수집하였다. 이 연구에서는 평가 시스템이 2회에 걸쳐 반복적으로 수행되어, 1차 순위 정렬 선다형 평가 문항을 2012년 상반기에 적용하였고, 이를 수정한 2차 순위 정렬 선다형 평가 문항을 2012년 하반기에 적용하였다.

평가 결과 기술 단계에서는 아동들이 순위 정렬 선다형 평가 문항에 응답한 결과를 선택지별로 점수를 부여하여 각 문항별 점수를 배당하였다. 각 문항의 선택지는 구인 구성도에 제시된 수준에 근거하여 작성되었으며, 수준 1에 해당하는 선택지를 선택하면 0점을 부여하고, 수준이 높아짐에 따라 각각 1점(수준 2), 2점(수준 3), 3점(수준 4)을 부여하였다. 이 연구의 평가는 각 문항에 대하여 아동들이 어떤 선택지를 선택하는가에 따라 각 개념 이해의 수준을 판단하는 것이므로 총점은 무의미했고, 각 문항별 점수를 연구 자료로 수집하고 분석하였다.

2) 자료 분석

4단계의 평가 시스템에서 마지막 단계인 측정 모델 적용 단계에서는 문항 반응 이론의 단일 모수 로지스틱 모형(one parameter logistic model) 중 하나인 Rasch 모형을 확장시킨 부분 점수 모형(partial credit model)을 적용하여 순위 정렬 선다형 평가의 각 문항에 대한 아동들의 응답 결과를 분석하였다. 문항 반응 분석은 Rasch 모형을 적용한 문항분석 소프트웨어인 ConstructMap을 사용하였다. ConstructMap을 이용하여 Rasch 모형에 기반하여 각 문항별 모수 추정치와 문항 특성 곡선(item characteristic curve), Wright map을 얻을 수 있다. 이 논문에서는 그 중 Wright map의 그래픽을 중심으로 분석하여 아동들의 물의 순환에 대한 학습 발달 과정을 조사하였다.[1)]

Wright map에서는 전체 문항에 대한 응답자의 능력과 각 문항별 선택지들이 응답자의 능력에 비해 어느 정도의 수준에 해당하는가를 하나의 그래픽으로 표현한다. 즉, 평가 문항의 선택지별 곤란도와 피험자의 능력을 로지트(logit) 값으로 변환하여 함께 비교하고, 각 문항별 선택지와 피험자의 능력에 따른 수준을 하나의 다이어그램에 나타낸 것이다. Wright map에서 피험자가 낮은 수준의 선택지를 선택하기보다 그보다 한 수준 위의 선택지를 선택할 확률을 나타내는 피험자의 능력치를 표시하는 단계 값(step point)을 찾고, 각 단계 값의 평균값을 환산하여 학습 수준을 결정할 수 있는 경계를 결정한다. 따라서 단계 값은 각 문항의 선택지들에 대한 피험자 집단의 수준을 구분하는 경계가 될 수 있다(박정, 2001; 지은림과 채선희, 2000; Wu & Adams, 2007). 이를 근거로 각 문항에서 평가하려는 물의 순환의 세부 개념에 대한 아동들의 개념 이해 수준을 파악할 수 있으며, 그 수준들은 아동들의 개념 이해의 발달 경로를 묘사하게 된다.

1차로 실시한 4단계의 평가 시스템 구성단위의

1) 각 문항별 모수 추정치, 문항 특성 곡선의 자세한 분석 내용은 이 논문의 범위를 벗어날 것으로 판단하여 연구 결과로 기술하지 않았으나, 이에 대한 자세한 내용은 성언선(2013)에서 찾아볼 수 있다.

표 2. 물의 순환 구인 구성도

수준	내용	시스템적 사고	발달변인
4	◦ 공기 중의 수증기가 응결하여 구름방울이 되고, 구름방울이 커져서 떨어지면 비가 된다.	기권-지권	물의 이동
	◦ 지표면의 물은 지표 근처의 공기가 건조할 때 더 빨리 증발한다.	지권-기권	
	◦ 바람이 강하면 식물의 잎에서 수증기가 빨리 증발한다.	생물권-기권	
	◦ 수증기가 냉각되어 작은 물방울이 되면 구름이 만들어진다.	기권	물의 분포
	◦ 땅 속에는 지층 입자 사이(공극)가 지하수로 채워진 암석층이 존재한다.	지권:지하수	
	◦ 암석 안에 포함된 지하수는 지표면의 호수와 강물을 합친 것보다 더 많다.	지권	
	◦ 식물체 내의 물은 식물의 광합성에 사용된다.	생물권	
3	◦ 구름의 수증기들이 차가워지며 응결하고, 구름 방울들이 크고 무거워져 비가 내린다.	기권-지권	물의 이동
	◦ 햇볕과 바람은 지표면에 있는 물을 증발시켜 구름이 되게 한다.	지권-기권	
	◦ 비가 많이 내리는 곳은 지하수의 양이 많다.	기권-지권	
	◦ 식물의 잎에서 수증기가 공기 중으로 증발한다.	생물권-기권	
	◦ 식물의 잎에서 증발한 수증기는 이슬이 된다.	생물권-기권	
	◦ 구름이나 안개는 수증기가 응결하여 형성된 작은 물방울들로 이루어진다.	기권	물의 분포
	◦ 땅 속에서 지하수는 암석의 갈라진 틈을 따라 통과할 수 있다.	지권: 지하수	
	◦ 육지에서 대부분의 민물은 빙하나 지하수로 있으며, 아주 적은 양이 시내나 호수에 있다.	수권	
	◦ 강에서 바다로 물이 흘러가기 때문에 바닷물의 양은 계속 증가한다.	수권	
	◦ 물은 식물의 먹이의 원료이다.	생물권	
	◦ 동물이 마신 물은 혈액의 형태로 몸 안에서 순환한다.	생물권	
	◦ 지구 온난화 때문에 물이 더 많이 증발하여 지표의 물의 양이 감소할 것이다.	수권	
2	◦ 구름이 무겁고 검은색으로 변할 때 비로 발전한다.	기권-지권	물의 이동
	◦ 구름이 차가워져서 얼음으로 변하고, 그 얼음이 무거워지면 비가 된다.	기권-지권	
	◦ 지표면의 물이 수증기로 되어 하늘로 올라간다.	지권-기권	
	◦ 식물의 잎에 있는 기공을 통해 증산작용으로 물방울이 나온다.	생물권-기권	
	◦ 식물은 뿌리를 통해 흙에서 물을 흡수한다.	지권-생물권	
	◦ 공기 중에서 물은 수증기가 되어 존재한다.	기권	물의 분포
	◦ 지하수는 땅 속에서 호수나 시냇물 같이 존재한다.	지권:지하수	
	◦ 지하수는 물로 채워진 스펀지처럼 바위의 작은 구멍에 남아 있다.	지권:지하수	
	◦ 물은 바다, 강, 호수, 시냇물로 분포하지만, 대부분은 바다에 있다.	지권:지표수	
	◦ 식물의 뿌리, 줄기, 잎에 물이 저장된다.	생물권	
	◦ 동물이 마신 물은 혈액의 성분으로 몸 안에 저장된다.	생물권	
1	◦ 구름 속의 구멍에서 물이 흘러나온다.	기권-지권	물의 이동
	◦ 구름이 많아지고 무거워지면 비가 된다.	기권-지권	
	◦ 지표에 존재하는 물이 땅 속으로 스며들어 사라진다.	지권 - 기권	
	◦ 지표면의 물이 작은 물방울이 되어 공기 중으로 올라간다.	지권 - 기권	
	◦ 비가 오면 잎을 통해 빗물이 나무에 흡수된다.	기권 - 생물권	
	◦ 피부의 땀은 공기 중의 수증기가 응결한 것이다.	기권 - 생물권	
	◦ 공기 중에서 물은 구름에 담겨 존재한다.	기권	물의 분포
	◦ 구름은 연기나 수증기로 이루어져 있다.	기권	
	◦ 땅 속으로 스며든 물은 사라져서 우리 눈에 보이지 않는다.	지권:지하수	
	◦ 지표에서 고체 상태인 얼음과 액체 상태인 물이 함께 존재한다.	지권:지표수	
	◦ 식물체 내의 물은 뿌리 또는 줄기에 있다.	생물권	
	◦ 동물이 물을 마시면 몸 안에서 모두 흡수된다.	생물권	
	◦ 동물의 몸에 있는 물은 땀과 소변이다.	생물권	

결과를 근거로 1차 학습 발달 과정을 조사하였다. 1차 평가 시스템의 적용 이후, 1차 학습 발달 과정을 근거로 4학년과 6학년을 대상으로 평가 적응적 교수 활동(adaptive instruction, 맹승호 등, 2013; Corcoran *et al.*, 2009)을 위한 교수 학습 과정안을 개발, 적용하였다. 그 후 1차 평가 시스템 구성단위의 적용 결과를 바탕으로 작성된 1차 학습 발달 과정은 2차 평가 시스템 구성단위의 구인 구성도의 역할을 하여 2차 평가 시스템이 동일한 절차를 거쳐 반복하여 시행되었다. 총 2회에 걸쳐 평가 시스템을 반복하여 적용한 까닭은 학습 발달 과정 연구는 일회적인 평가 시스템 적용으로 완성되는 것이 아니라, 지속적인 반복 연구를 통해 평가 문항의 타당성 검증, 평가 결과의 해석, 적절한 교수 활동의 계획 및 구성, 학습 발달 과정의 타당성을 검증받는 것이 필요하기 때문이다(맹승호 등, 2013; Gunckel *et al.*, 2012).

구인 구성도의 작성과 측정 모델을 적용한 결과의 해석에 대한 최종적인 결과는 본 연구의 공동 연구자 간 합의 과정을 거쳐 도출하였다. 구인 구성도는 초등 과학 전담 교사인 제 1저자가 물의 순환에 대한 아동들의 선개념 및 오개념을 조사했던 선행 연구들의 결과를 바탕으로 1차적으로 다양한 수준의 개념 이해 사례를 정리하고, 이것의 위계를 설정하였다. 이것을 제 2저자(지구과학교육 전문가)와 제 3저자(초등 과학교육 전문가)와 협의를 거쳐 내용에 대한 타당성의 근거를 확보하고자 하였다. 협의 과정에서 중점적으로 검토된 것은 각각의 개념 이해 사례들이 구인 구성도의 발달 변인으로 설정한 물의 분포와 물의 이동에 적합한 사례인지, 시스템적 사고의 사례로 분류할 때 타당하게 분류되었는지, 그리고 각각의 개념 이해 사례들을 과학적으로 타당한 개념 이해 수준에 근접한 정도에 따라 배열할 때 그 위계가 적절하게 배치되었는지에 대한 것이었다. 이와 같은 과정을 거쳐 최종적인 구인 구성도를 작성하였다(표 2). 측정 모델의 적용 결과, 해석은 제 1저자와 제 2저자가 먼저 개별적으로 해석하고, 두 연구자 간에 합의된 내용을 바탕으로 1차, 2차 학습 발달 과정 표를 작성한 뒤에 제 3저자와 전체 협의 과정을 거쳐 측정 모델 결과 해석의 오류와 학습 발달 과정 도출의 오류 여부를 검토하여 최종적인 학습 발달 과정을 정리하였다.

3. 순위 정렬 선다형 평가 문항의 개발과 수정

물의 순환에 대한 학생들의 이해 수준을 평가하기 위하여 1차의 4단계 평가 시스템 구성단위 시행 과정에서 개발된 순위 정렬 선다형 문항은 측정 구인으로서 물의 분포와 물의 이동에 대한 개념 이해를 평가하도록 구성되었다. 학생들의 일상생활에서 경험할 수 있는 장면인 '비가 오는 상황', '운동장의 물웅덩이의 물이 증발하는 상황', 그리고 '비가 온 뒤에 나무가 젖어 있는 상황'을 사진과 함께 제시한 후, 그 상황과 관련 있는 문항을 배치하였다. 아래 그림 1은 1차 평가 시스템에 적용되었던 순위 정렬 선다형 평가 문항의 일부를 제시한 것이다.

순위 정렬 선다형 문항의 각 선택지는 구인 구성도를 바탕으로 작성된 것인데, 수준 1은 학습 발달 과정에서 하위 정착점(lower anchor)을 나타내며, 수준 4는 상위 정착점(upper anchor)[2], 그리고 수준 2와 수준 3은 중간 단계(intermediate steps)를 나타낸다. 학생들에게 이 평가 문항을 제시할 때는 각 선택지의 수준 표시는 삭제하였으며, 문항의 '물의 이동: 지표 - 기권' 부분도 삭제하였다. 한편 Briggs *et al.*(2006)의 예시 문항과 같이 1차 순위 정렬 선다형 평가 문항에서는 선택지 끝에 기타 의견을 서술할 공란을 마련하여 선행 연구에서 발견되지 않은 학생들의 개념 이해 진술을 확보하고자 하였다.

순위 정렬 선다형 문항에서는 정답과 오답의 이분화된 구분보다는 학생의 수준을 나타낸 선택지를 고른 학생에게는 낮은 점수를, 상위 수준을 나타낸 선택지를 고른 학생에게는 높은 점수를 부여하였다. 이러한 방법을 통해 각 문항에 대한 학생의 반응을 수치화하였다. 이와 같은 순위 정렬 선다형 문항의 특징은 측정 모델 적용 단계에서 부분 점수 모형을 적용하여 문항을 분석하는 근거가 된다.

한편, 2차 순위 정렬 선다형 평가 문항은 1차 평가 결과 및 1차 학습 발달 과정을 토대로 1차 순위 정렬 선다형 평가 문항을 수정하여 적용하였다. 1차 평가 결과, 제시된 사진을 혼란스럽게 느끼거나 상황에 치중하여 문제에서 요구하는 응답을 하지 못

2) 학습 발달 과정은 일반적으로 학생들의 학습 출발점 역할을 하는 낮은 수준의 이해 수준인 하위 정착점에서 중간 단계를 거쳐 최종적인 학습 목표에 해당하는 상위 정착점으로 점차적으로 발달하는 경로를 중심으로 기술된다. 이에 대한 자세한 내용은 맹승호 등(2013)을 참고.

◆ 아래 사진은 소나기가 내리고 난 후 모습입니다.

3. 운동장에 작은 물 웅덩이가 생겼습니다. 그런데 다음날 아침에는 물 웅덩이에 있던 물이 사라졌습니다. 웅덩이의 물은 어떻게 되었을까요? **(물의 이동: 지표 – 기권)**
① 땅 속으로 스며들어 사라졌습니다. (수준 1)
② 작은 물방울이 되어 공기 중으로 퍼졌습니다. (수준 1)
③ 수증기가 되어 하늘로 올라갔습니다. (수준 2)
④ 햇볕을 받고 바람이 불어 수증기가 되었습니다. (수준 3)
⑤ 건조한 공기를 만나 더 빨리 수증기가 되었습니다. (수준 4)
다른 생각이 있으면 적어 주세요
( )

그림 1. 1차 순위 정렬 선다형 평가 문항의 일부 예시

하는 경우가 있었다. 따라서 1차 순위 정렬 선다형 문항에서 문제 상황의 장면을 제시했던 것과 달리 2차 순위 정렬 선다형 문항에서는 각 문항별로 문두의 제시문 외에 구체적인 장면을 제시하지 않았다.

또한 2차 순위 정렬 선다형 문항에서는 생물권에서 물의 분포를 식물과 동물로 나누지 않고 하나의 문항으로 제시하여 전체 문항 수를 7개로 줄였다.

표 3. 1차 순위 정렬 선다형 문항의 특징

문항 장면	문항 번호	약어*	물의 분포	물의 이동
비가 오는 상황	1	WMAtoS	·	기권-지권
	2	WDinA	기권	·
물웅덩이의 물이 증발하는 상황	3	WMStoA	·	지권-기권
	4	WMGtoS	·	지권:지하수-지권
	5	WDinS	지권, 수권	·
비가 온 뒤 나무가 젖어 있는 상황	6	WMLtoA	·	생물권-기권
	7	WDinLpl	생물권: 식물	·
	8	WDinLhm	생물권: 동물	·

* W는 water, M은 movement, D는 distribution을 가리킨다. A는 atmosphere, S는 soil: lithosphere, G는 ground water, Lpl은 living plant: biosphere, Lhm은 living human: biosphere을 가리킨다.

그리고 1차 순위 정렬 선다형 문항에서는 한 문항 내에 같은 수준을 나타내는 선택지가 복수로 존재하였으나, 2차 순위 정렬 선다형 평가 문항에서는 개념 이해 수준별로 선택지를 한 개 씩만 두어 측정 모델 단계에서 부분 점수 모형을 원활하게 적용할 수 있도록 하였다.

학생들에게는 각 평가 문항별로 자신의 생각과 가장 비슷한 선택지를 문제 당 1 개만 고르도록 하였다. 또한 선택지들의 길이를 최대한 비슷하게 만들고, 수준과 상관없이 무작위로 배열하여 추측에

표 4. 2차 순위 정렬 선다형 문항의 특징

문항 번호	약어*	물의 분포	물의 이동
1	WDinWS_2nd	지권, 수권	·
2	WDinSG_2nd	지권: 지하수	·
3	WDinA_2nd	기권	·
4	WMAtoS_2nd	·	기권-지권
5	WMStoA_2nd	·	지권-기권
6	WMLtoAS_2nd	·	생물권-기권, 지권
7	WDinL_2nd	생물권	·

* L은 living things: biosphere을 나타내며, _2nd는 2차 순위 정렬 선다형 문항이라는 것을 나타낸다.

의한 응답을 하지 않게 하였다. 표 3과 표 4는 1차와 2차 순위 정렬 선다형 문항의 특징을 나타낸 것이다.

III. 연구 결과

1차와 2차에 걸친 평가 시스템 구성단위를 수행한 결과, 초등학생들의 물의 순환에 대한 학습 발달 과정을 조사할 수 있었다. 연구 결과에서는 1차 평가 시스템 구성단위를 시행한 결과로 도출된 학습 발달 과정의 1차 자료와 2차 평가 시스템 구성단위를 시행한 결과로 도출된 학습 발달 과정의 2차 자료를 각각 서술하고, 두 결과를 비교하여 최종적인 물의 순환 학습 발달 과정을 진술한다.

1. 1차 학습 발달 과정

1차 순위 정렬 선다형 문항에 대한 아동들의 응답 결과를 Rasch 모형에 기반한 문항 반응 분석 프로그램 ConstructMap을 사용하여 분석하였으며, 그 결과로 얻은 Wright map을 바탕으로 구인 구성도의 이해 수준 진술들을 수정 또는 삭제하거나 수준을 재설정할 수 있었다. 1차 평가 시스템의 적용 결과로 얻은 Wright map을 그림 2에 제시하였다. 그림 2에서 세로축의 로지트 값이 클수록 높은 곤란도와 높은 피험자 능력을 나타낸다. 수준 1부터 수준 4를 나누는 기준점(cut point)은 문항별로 각 수준의 단계 값의 산술평균치를 사용하였다. 학습자들의 물의 순환에 대한 이해 수준은 수준 2(150명, 68.5%)에 주로 분포하고, 나머지 학생들은 수준 1(48명, 21.9%)과 수준 3(21명, 9.6%)에 분포하였다. 수준 4에 해당하는 학생은 없었다.

문항의 배치 순서대로 Wright map의 결과를 살펴보면 다음과 같다. WMAtoS(물의 이동: 기권-지권)에서 기존의 수준 2에 해당하는 선택지는 수준 1에 해당하는 것을 알 수 있다. 따라서 기존의 수준 1은 수준 1 또는 그 이하의 곤란도를 가진다고 판단할 수 있다. 기존의 수준 4는 실제로는 수준 3에 해당하는 것으로 나타났다.

WDinA(물의 분포: 기권)에서 본래의 수준 2와 수준 3이 함께 수준 2로 판정되는 것을 알 수 있다. 원래의 수준 4는 수준 3인 것으로 드러났다. WMStoA(물의 이동: 지권-기권)의 수준 2, 수준 3은 수준의 변화가 없으나, 수준 4의 곤란도는 실제로 수준 3에 포함이 되는 것으로 나타났다. WMGtoS(물의 이동: 지권-지하수)에서는 변경된 내용이 없었다. WDinS(물의 분포: 수권, 지권)에서 수준 2는 사실 수준 1로 변경되어야 하며, 이후 문항을 수정할 때 수준 2에 해당하는 개념 설명이 추가되어야 함을 알 수 있다. WMLtoA(물의 이동: 생물권-기권)의 수준 2는 수준 1로 변경되었다. WDinLpl(물의 분포: 생물

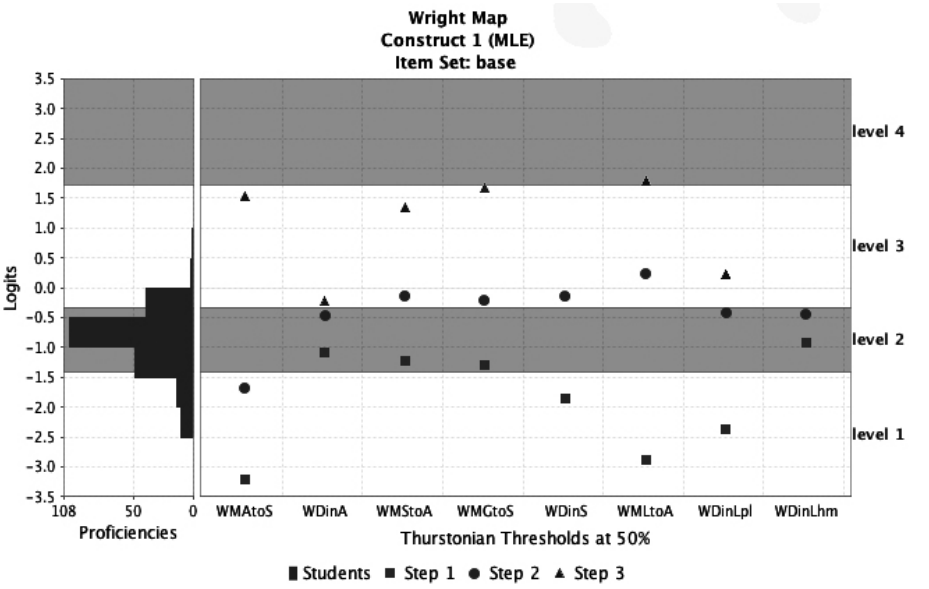

그림 2. 1차 Wright map

권 중 식물)의 수준 2는 수준 1로, 수준 3은 수준 2로, 수준 4는 수준 3으로 각각 한 단계씩 내려갔다. WDinLhm(물의 분포: 생물권 중 동물)의 제 2, 3수준은 모두 수준 2로 분류되었다.

이와 같은 분석을 바탕으로 구인 구성도의 내용을 수정하였는데(표 5), 그 특징은 다음과 같다. 첫째, 중복되거나 응답률이 낮아 무의미하다고 판단된 이해 수준 진술을 삭제하였다. '비가 오면 잎을 통해 빗물이 나무에 흡수된다.'처럼 학생들에게 지나치게 낮은 수준을 나타내거나, '피부의 땀은 공기

표 5. 구인 구성도의 수정

수준	내용	1차 학습 발달 과정
4	◦ 공기 중에서 수증기가 응결하여 구름 방울이 되고, 구름 속의 물방울이 점점 커져서 땅으로 떨어져 비가 된다.	수준 3으로 이동
	◦ 지표면의 물은 지표 근처의 공기가 건조할 때 더 빨리 증발한다.	수준 3으로 이동
	◦ 수증기가 냉각되어 작은 물방울이 되면 구름이 만들어진다.	수준 3으로 이동
	◦ 암석 안에 포함된 지하수는 지표면의 호수와 강물을 합친 것보다 더 많다.	삭제 (응답률 낮음)
	◦ 식물체 내의 물은 식물의 광합성에 사용된다.	수준 3으로 이동
3	◦ 식물의 잎에서 수증기가 공기 중으로 증발한다.	수준 4로 이동
	◦ 식물의 잎에서 증발한 수증기는 이슬이 된다.	삭제 (중복)
	◦ 구름이나 안개는 수증기가 응결하여 형성된 작은 물방울들로 이루어진다.	
	◦ 물은 식물의 먹이의 원료이다.	삭제 (선택지 무의미)
	◦ 동물이 마신 물은 혈액의 형태로 몸 안에서 순환한다.	수준 2로 이동
	◦ 강에서 바다로 물이 흘러가므로 바닷물의 양은 계속 증가한다.	삭제 (응답률 낮음)
2	◦ 구름이 무겁고 검은 색으로 변할 때 비로 발전한다.	삭제 (응답률 낮음)
	◦ 구름이 차가워져서 얼음으로 변하고, 그 얼음이 무거워지면 비가 된다.	삭제 (응답률 낮음)
	◦ 지표면의 물이 수증기로 되어 하늘로 올라간다.	삭제 (응답률 낮음)
	◦ 식물의 잎에 있는 기공을 통해 증산작용으로 물방울이 나온다.	수준 3으로 이동
	◦ 식물은 뿌리를 통해 흙에서 물을 흡수한다.	수준 3으로 이동
	◦ 공기 중에서 물은 수증기가 되어 존재한다.	삭제 (응답률 낮음)
	◦ 지하수는 땅 속에서 호수나 시냇물같이 존재한다.	삭제 (응답률 낮음)
	◦ 지하수는 물로 채워진 스펀지처럼 바위의 작은 구멍에 남아 있다.	삭제 (응답률 낮음)
	◦ 동물이 마신 물은 혈액의 성분으로 몸 안에 저장된다.	삭제 (응답률 낮음)
1	◦ 지표에 존재하는 물이 땅 속으로 스며들어 사라진다.	수준 2로 이동
	◦ 지표면의 물이 작은 물방울이 되어 공기 중으로 올라간다.	수준 2로 이동
	◦ 피부의 땀은 공기 중의 수증기가 응결한 것이다.	수준 2로 이동
	◦ 공기 중에서 물은 구름에 담겨 존재한다.	수준 1로 이동
	◦ 구름은 연기나 수증기로 이루어져 있다.	수준 2로 이동
	◦ 땅 속으로 스며든 물은 사라져서 우리 눈에 보이지 않는다.	수준 2로 이동
	◦ 동물이 물을 마시면 몸 안에서 모두 흡수된다.	수준 2로 이동
	◦ 동물의 몸에 있는 물은 땀과 소변이다.	수준 2로 이동
	◦ 낮 동안 햇볕을 받아 물이 마른다.	추가 (기타 응답 중)

중의 수증기가 응결한 것이다.'와 같이 혼동을 줄 수 있는 경우, 또한 해당 개념을 가진 아동들이 유의미할 정도로 많지 않다고 판단하여 1차 학습 발달 과정을 제시할 때 삭제하였다. 둘째, 시스템적 사고 영역 분류를 수정하였다. 영역의 개수를 7개로 조정되었으며, 기권-생물권으로의 물의 이동을 삭제하였다. 이는 1차 평가 문항을 작성하는데 기초가 되었던 구인 구성도가 선행 연구에서 수집된 아동들의 개념을 정리하여 작성된 구인 구성도를 바탕으로 1차 평가 문항을 작성한 점이라는 것을 고려할 때, 삭제된 영역에 해당하는 아동들의 개념 이해 발달 수준의 정도가 대체로 정교하지 않다고 짐작할 수 있는 근거가 된다.

1차 평가의 결과로 도출한 1차 학습 발달 과정은 표 6과 같으며, 이를 통해서 알 수 있는 학습자의 물의 순환에 대한 이해 수준의 특징은 다음과 같다.

표 6. 1차 학습 발달 과정

수준	물의 분포			
	지권, 수권		기권	생물권
	지표	지하수		
4		◦ 땅 속에는 입자 사이가 지하수로 채워진 암석층이 존재한다.		
3	◦ 육지의 물은 대부분 빙하나 지하수로 있으며, 아주 적은 양이 시내나 호수에 있다. ◦ 지구가 더워지면 물이 더 많이 증발하여 지표의 물의 양이 감소할 것이다.	◦ 비가 많이 내리는 곳은 지하수의 양이 많다. ◦ 지하수는 암석의 갈라진 틈을 따라 통과한다.	◦ 수증기가 냉각되어 작은 물방울이 되면 구름이 만들어진다.	◦ 식물체 내의 물은 식물의 광합성에 사용된다.
2	◦ 물은 바다, 강, 호수, 시냇물로 분포하지만, 대부분은 바다에 있다.	◦ 땅 속으로 스며든 물은 사라져서 우리 눈에 보이지 않는다.	◦ 구름은 연기나 수증기로 이루어져 있다.	◦ 식물의 뿌리, 줄기, 잎에 물이 저장된다. ◦ 동물의 몸에 있는 물은 땀과 소변이다.
1	◦ 지표에서 고체 상태인 얼음과 액체 상태인 물이 함께 존재한다.	◦ 물은 하수구로 들어가 땅 속에 있는 관을 따라 흐른다.	◦ 공기 중에서 물은 구름에 담겨 존재한다.	◦ 식물체 내의 물은 뿌리 또는 줄기에 있다.

수준	물의 이동		
	지권-기권	기권-지권	생물권-지권, 기권
4	◦ 햇볕과 바람이 강하면 더 빨리 증발한다.		◦ 식물의 잎에서 수증기가 공기 중으로 증발한다.
3	◦ 지표면의 물은 지표 근처의 공기가 건조할 때 더 빨리 증발한다. ◦ 햇볕과 바람은 지표면에 있는 물을 증발시켜 구름이 되게 한다.	◦ 공기 중의 수증기가 응결하여 구름방울이 되고, 구름방울이 커져서 떨어지면 비가 된다.	◦ 식물은 뿌리를 통해 흙에서 물을 흡수한다. ◦ 식물의 잎에 있는 기공을 통해 물방울이 나온다.
2	◦ 지표면의 물이 작은 물방울이 되어 공기 중으로 올라간다.	◦ 구름이 차가워져서 얼음으로 변하고, 그 얼음이 무거워지거나, 구름이 무겁고 검은 색으로 변할 때 비가 된다.	◦ 동물이 물을 마시면 몸 안에서 흡수되고, 혈액의 형태로 몸 안에서 순환한다.
1	◦ 낮 동안 햇볕을 받아서 물이 마른다.	◦ 구름의 수증기들이 차가워지면 크고 무거워져 구름 속의 구멍에서 물이 흘러나와 비가 된다.	◦ 비가 오면 잎을 통해 빗물이 나무에 흡수된다.

첫째, 학생들은 보이지 않는 물의 존재를 이해하는 것은 어려워한다. 학생들은 '지표면의 물이 작은 물방울이 되어 공기 중으로 올라간다.', '땅 속으로 스며든 물은 사라져서 우리 눈에 보이지 않는다.'와 같은 1차 학습 발달 과정의 중간 단계인 수준 2의 응답을 주로 선택하는 경향을 보였다. 이는 수증기처럼 눈에 보이지 않는 기체 상태의 물이 공기 중에 존재한다는 개념을 이해하기 어려워하기 때문이다(Bar, 1989; Johnson, 2007a; 2007b). 마찬가지로 지상에서 눈으로 볼 수 없는 지하수에 대한 이해 수준은 다른 영역과 비교할 때 낮은 편으로 파악된 Ben-Zvi-Assaraf와 Orion(2010)나 Covitt *et al.*(2009)의 연구 결과와 일치한다.

둘째, 학년에 따른 수준의 분화가 나타나지 않는다. 연구자들은 구인 구성도의 상위 정착점을 6학년에서 중학교 1학년 학생에게 조사된 개념으로 설정하였으나, 최상위 수준인 수준 4에 해당하는 이해 수준을 가진 학생이 없는 것으로 나타났다. 이와 달리 하위 정착점으로 설정된 4학년 및 4학년 이하 학생의 이해 수준에서 바로 한 단계 위인 수준 2에 전체의 68.5%의 학생이 머무르고 있는 것으로 미루어 볼 때, 4학년과 5학년, 6학년의 물의 순환에 대한 이해 수준은 실제로 크게 차이가 없다는 것을 알 수 있다. 이는 2007 개정 교육 과정 중 4학년 1학기 4단원인 '모습을 바꾸는 물' 이후 물의 순환과 관련한 학습의 기회가 많지 않았기 때문으로 풀이된다.

셋째, 초등학교 4~6학년 학생들의 물의 순환에 대한 이해 수준은 전체적으로 낮은 수준에 머물러 있다. 물의 이동 구인의 지권-기권 영역에서는 구인 구성도에서 설정한 것보다 낮은 수준의 하위 정착점이 필요하였으며, 기타 응답 중 빈도가 높은 진술이었던 '햇볕을 받아 물이 마른다.'는 진술을 추가하여 1차 학습 발달 과정을 제시하게 되었다. 따라서 위에서 지적한 바와 같이 학생들의 보이지 않는 물에 대한 이해와 물의 순환에 대한 전체적인 이해 수준을 높이기 위한 평가 적응적 교수 학습 프로그램과 같은 적절한 교수 학습 활동이 필요하다(Corcoran *et al.*, 2009).

위의 해석을 토대로 평가의 결과가 교사의 교수 활동에 반영되어 학생들의 학습의 발달을 촉진시키는 평가 적응적 교수 활동을 위해 교수 학습 과정안을 개발하였다. 이는 4학년, 6학년의 교과 내용 중 물의 순환과 관련된 차시를 선택하여 해당 단원의 수업에 물의 순환 관련 요소를 반영하여 개발한 것이다. 개발된 교수 학습 과정안은 과학교육 전문가 3인과 5년 이상 경력의 현직 초등 교사 3인의 검토 후 수정을 거쳐 4학년과 6학년에게 각각 적용하였다.

2. 2차 학습 발달 과정

2차 순위 정렬 선다형 문항의 결과를 역시 ConstructMap 프로그램을 사용하여 분석하였으며, 그 결과로 얻은 2차 Wright map을 그림 3에 제시하였다. 1차 Wright map의 분석 방법과 동일하게 각 문항의 단계 값을 활용하여 각 수준의 범위를 결정하고, 그 경계를 나타내는 피험자의 능력 값을 구하였다. 그림 3에서 왼편에 표시된 로지트 값에 따른 응답자의 분포는 1차 Wright map과 비교할 때 정규분포에서 다소 벗어난 것을 알 수 있다. 또한 가장 많은 응답자가 속한 곳은 수준 2로 나타났다.

2차 Wright map의 결과를 통해 각 영역의 실제 수준은 다음과 같이 판정할 수 있다. WDinWS_2nd에서 수준 2를 나타낸 선택지는 실제로는 수준 1을 나타내는 것이며, 수준 3은 변화가 없는 것으로 나타났다. WDinSG_2nd는 유일하게 수준 4에 대해 응답한 학생이 있었으며, 수준 4는 수준 3으로, 제 3, 2 수준은 제 2 수준으로 판정되었다. WDinA_2nd의 수준 2는 수준 1로, 수준 3은 수준 2로 분류되었다. WMAtoS_2nd의 수준 2와 수준 3은 변화가 없었다. WMStoA_2nd은 수준 2는 제1수준을, 수준 3은 수준 2를 실제로 나타내는 것으로 밝혀졌다. WMLtoAS_2nd은 수준 2와 수준 3의 문항 곤란도 차이가 가장 컸으며, 수준 2는 전체 문항의 선택지 중 가장 낮은 곤란도를 기록하며 수준 1로 판정되었다. WDinL_2nd(물의 분포: 생물권)에서는 수준 2가 수준 1로, 수준 3이 수준 2로 한 단계씩 내려갔다. 1차 학습 발달 과정과 마찬가지로 학습자들의 물의 순환에 대한 이해 수준은 수준 2(147명, 53.8%)에 주로 분포하였으며, 나머지 학생들은 수준 1(3명, 1.1%), 수준 3(123명, 45.1%)에 분포하였다.

표 7은 문항 특성 곡선과 Wright map의 결과로 나타난 1차 학습 발달 과정 수정 사항을 정리한 것이다. 첫째, 중복되거나 응답률이 낮은 무의미한 이해 수준 진술을 삭제하였다. 문항 특성 곡선에서 나타난 바와 같이 응답률이 다른 선택지와 비교하

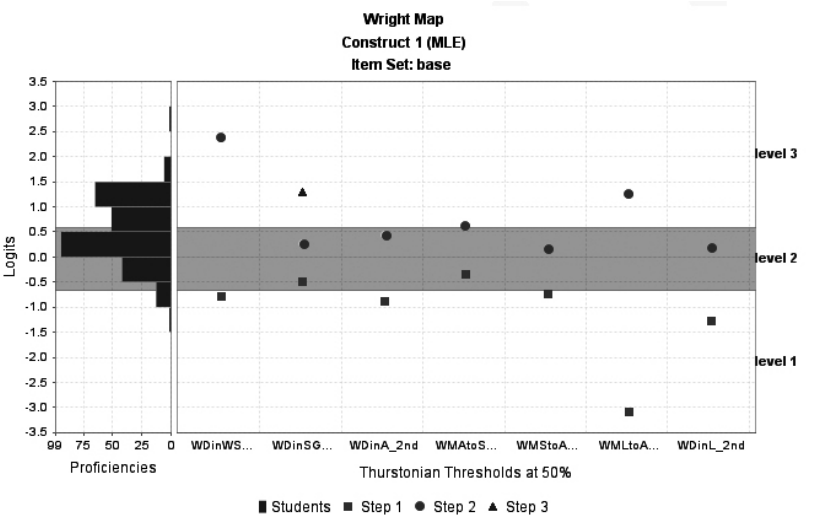

그림 3. 2차 Wright map

표 7. 1차 학습 발달 과정과 2차 학습 발달 과정의 비교

1차 학습 발달 과정	내용	2차 학습 발달 과정
4	◦ 땅 속에는 입자 사이가 지하수로 채워진 암석층이 존재한다.	수준 3으로 이동
	◦ 식물의 잎에서 수증기가 공기 중으로 증발한다. 햇볕과 바람이 강하면 더 빨리 증발한다.	삭제 (응답률 0)
3	◦ 비가 많이 내리는 곳은 지하수의 양이 많다.	수준 2로 이동
	◦ 지하수는 암석의 갈라진 틈을 따라 통과한다.	수준 2로 이동
	◦ 수증기가 냉각되어 작은 물방울이 되면 구름이 만들어진다.	수준 2로 이동
	◦ 식물체 내의 물은 식물의 광합성에 사용된다.	수준 2로 이동
	◦ 지표면의 물은 지표 근처의 공기가 건조할 때 더 빨리 증발한다.	수준 2로 이동
	◦ 햇볕과 바람은 지표면에 있는 물을 증발시켜 구름이 되게 한다.	수준 2로 이동
	◦ 식물은 뿌리를 통해 흙에서 물을 흡수한다.	수준 2로 이동
2	◦ 땅 속으로 스며든 물은 사라져서 우리 눈에 보이지 않는다.	삭제 (응답률 낮음)
	◦ 식물의 뿌리, 줄기, 잎에 물이 저장된다.	수준 1로 이동
	◦ 구름은 연기나 수증기로 이루어져 있다.	수준 1로 이동
	◦ 동물의 몸에 있는 물은 땀과 소변이다.	수준 1로 이동
	◦ 지표면의 물이 작은 물방울이 되어 공기 중으로 올라간다.	삭제 (응답률 낮음)
	◦ 구름이 차가워져서 얼음으로 변하고 그 얼음이 무거워지거나, 구름이 무겁고 검은 색으로 변할 때 비가 된다.	삭제 (응답률 낮음)
	◦ 구름은 연기나 수증기로 이루어져 있다.	수준 1로 이동
	◦ 지하수는 물로 채워진 스펀지처럼 바위의 작은 구멍에 남아 있다.	삭제 (응답률 낮음)
	◦ 동물이 물을 마시면 몸 안에서 모두 흡수된다.	수준 1로 이동
	◦ 동물이 마신 물은 혈액의 형태로 몸 안에서 순환한다.	수준 1로 이동
	◦ 땅 속으로 스며든 물은 사라져서 우리 눈에 보이지 않는다.	삭제 (응답률 낮음)
1	◦ 공기 중에서 물은 구름에 담겨 존재한다.	삭제 (무의미)
	◦ 식물체 내의 물은 뿌리 또는 줄기에 있다.	삭제 (무의미)

여 현저하게 낮은 경우에는 해당 개념을 가진 아동들이 유의미할 정도로 많지 않다고 판단하여 해당 항목을 삭제하였다. 이렇게 삭제된 항목은 '식물체 내의 물은 뿌리 또는 줄기에 있다.', '지하수는 물로 채워진 스펀지처럼 바위의 작은 구멍에 남아 있다.' 등이다. 둘째, 시스템적 사고의 영역 분류를 수정하였다. 2차 학습 발달 과정에서는 기존의 1차 학습 발달 과정의 지권에서 기권으로의 물의 이동, 기권에서 지권으로의 물의 이동을 합하여 6개의 영역으로 조정하였다. 이는 2차 순위 정렬 선다형 문항의 문항 특성 곡선에서 수준 2에 대한 응답률이 낮았으며, Wright map에서 보이듯 수준 1, 수준 3을 나타내는 선택지가 수준 2에 해당이 되거나 거의 근처에 있기 때문이었다. 이에 따라 수준 1, 수준 3을 다시 정선하고, 수준 2를 삭제하는 과정에서 이동하는 방향은 다르지만 같은 계에서 일어나는 점을 고려하였기 때문이다. 셋째, 수준을 총 3개로 구분하였다. 구인 구성도와 1차 학습 발달 과정에서는 총 4개의 수준으로 나누었지만, 생물권에서 기권, 지권으로의 수준 4의 선택지를 응답한 학생이 없었으므로 수준 4는 지하수의 분포를 묻는 문항에서만 해당이 되며, 새로운 기준의 경계로 삼을 단계 값도 의미가 없어지게 되었다. 따라서 수준의 구분은 전보다 단순한 형태를 띠게 되었다.

표 8. 2차 학습 발달 과정

수준	물의 분포			
	지권, 수권		기권	생물권
	지표	지하수		
3	◦ 육지의 물은 대부분 빙하나 지하수로 있으며, 아주 적은 양이 시내나 호수에 있다. ◦ 지구가 더워지면 물이 더 많이 증발하여 지표의 물의 양이 감소할 것이다.	◦ 땅 속에는 입자 사이가 지하수로 채워진 암석층이 존재한다.		
2		◦ 비가 많이 내리는 곳은 지하수의 양이 많다. ◦ 지하수는 암석의 갈라진 틈을 따라 통과한다.	◦ 수증기가 냉각되어 작은 물방울이 되면 구름이 만들어진다.	◦ 식물체 내의 물은 식물의 광합성에 사용된다.
1	◦ 물은 바다, 강, 호수, 시냇물로 분포하지만, 대부분은 바다에 있다.	◦ 물은 하수구로 들어가 땅 속에 있는 관을 따라 흐른다.	◦ 구름은 연기나 수증기로 이루어져 있다.	◦ 식물의 뿌리, 줄기, 잎에 물이 저장된다. ◦ 동물의 몸에 있는 물은 땀과 소변이다.

수준	물의 이동	
	기권-지권, 지권-기권	생물권-지권, 기권
3	◦ 공기 중의 수증기가 응결하여 구름방울이 되고, 구름방울이 커져서 떨어지면 비가 된다.	◦ 식물의 잎에 있는 기공을 통해 물방울이 나온다.
2	◦ 지표면의 물은 지표 근처의 공기가 건조할 때 더 빨리 증발한다. ◦ 햇볕과 바람은 지표면에 있는 물을 증발시켜 구름이 되게 한다.	◦ 식물은 뿌리를 통해 흙에서 물을 흡수한다.
1	◦ 낮 동안 햇볕을 받아 물이 마른다. ◦ 구름의 수증기들이 차가워지면 크고 무거워져 구름 속의 구멍에서 물이 흘러나와 비가 된다.	◦ 동물이 물을 마시면 몸 안에서 흡수되고, 혈액의 형태로 몸 안에서 순환한다.

2차 평가 시스템의 결과로 얻은 2차 학습 발달 과정은 표 8과 같다. 표 8을 통해서 알 수 있는 학습자의 물의 순환에 대한 이해 수준의 특징은 다음과 같다. 첫째, 특히 생물권에서의 물의 분포 영역의 이해 수준이 높지 않다. 1차에서 보이지 않는 물의 존재에 대해서 어려움을 겪는 편이었다면 2차 학습 발달 과정에서는 생물권의 상위 수준에 해당하는 개념 이해 수준을 찾을 수 없다는 것을 알 수 있다. 2차 학습 발달 과정에서 물의 분포 구인의 생물권 영역의 수준 2로 제시된 '식물체 내의 물은 식물의 광합성에 사용된다.'라는 항목의 경우, 교육과정에서 광합성에 물이 필요하다는 내용을 초등과정에서 다루지 않도록 되어 있으며(교육과학기술부, 2011), 아동들은 물을 광합성의 재료로 여기기보다 양분으로 생각하는 경우가 거의 대부분이었다. 둘째, 1차 학습 발달 과정 때와 마찬가지로 학년에 따른 수준의 분화가 두드러지지 않았다. 1차 학습 발달 과정의 결과로 상위 정착점과 하위 정착점을 다시 설정하였으나, 1차와 마찬가지로 수준 2에 53.8 %의 학생들이 분포하였다. 1차와의 차이는 수준 3에 45.1%라는 비교적 많은 학생이 위치한다는 것이다. 이는 4, 5, 6학년의 학년과는 관계가 거의 없었다. 특히, 평가 적응적 교수·학습 활동이 이루어지지 않은 5학년의 경우, WMAtoS_2nd, WDinA_2nd와 같은 문항에서 특히 4학년보다 낮은 이해 수준에 머무르는 것으로 파악되었다. 셋째, 학생들의 이해 수준이 1차에 비해 상승하였다. 1차 학습 발달 과정과 비교할 때, 수준 3에 해당하는 아동이 21명에서 123명으로 늘어났다. 반면, 수준 1로 판정된 학생은 48명에서 3명으로 감소하였다. 1차와 2차에서 전체 응답자의 능력 평균값은 1차 -0.91 로지트, 2차 0.53 로지트로 약 1.4 로지트 가량 상승하였다. 이는 평가 적응적 교수 학습 과정안(Corcoran *et al.*, 2009)을 적용한 것의 효과로 풀이된다. 평가 적응적 수업을 받지 못한 5학년의 경우, WMAtoS_2nd, WDinA_2nd와 같이 수증기나 구름과 같이 공기 중에 포함된 물과 관련하여 특히 4학년보다 낮은 수준에 응답을 한 학생들의 비율이 높았다.

3. 1차, 2차 학습 발달 과정에서 초등학생들의 물의 순환 이해 수준의 비교

구인 모델링 방식에 근거한 4단계의 평가 시스템을 2회에 걸쳐 적용하여 얻은 1차 학습 발달 과정과 2차 학습 발달 과정을 초기에 작성한 구인 구성도와 비교하여 물의 순환에 대한 학생들의 개념 이해 정도의 정선(refinement)과 개념 이해 수준의 발달 경로를 분석하였다. 분석한 결과는 이 연구에서 학습 발달의 변수로 고려했던 물의 분포와 물의 이동에 따라 진술하였다.

아래의 그림 4와 그림 5는 물의 분포에 대한 초등학교 4~6학년 학생들의 1차 학습 발달 과정(표 6의 상단)과 2차 학습 발달 과정(표 8의 상단)을 각각 나타낸 것이다. 그림에서 는 기권의 물의 분포, 는 지하수로서 물의 분포, 는 지표수로서 물의 분포, 는 생물권에서 물의 분포에 대한 진술을 나타낸 것이다. 또, ① ② ③ ④에 연결된 선들은 각각 물의 분포에 대한 개념 이해 진술의 수준을 나타낸 것이다. 즉, ②에 연결된 선에 걸쳐 있는 각 진술들은 수준 2에 해당하는 개념 이해 진술에 해당한다.

표 2의 구인 구성도와 그림 4, 그림 5를 비교해 보면, 초기의 구인 구성도에서 설정하였던 상위 정착점과 하위 정착점이 후기의 2차 학습 발달 과정에서 수정된 것을 알 수 있다. 지표수에 분포하는 물에 대한 초등학생들의 개념 이해 수준에 근거하면, 초기 구인 구성도에서 수준 2로 제시되었던 '물은 바다, 강, 호수, 시냇물로 분포하지만, 대부분은 바다에 있다.'는 단순한 개념 이해의 진술이 1차 평가 시스템과 2차 평가 시스템의 진행 과정에서 하위 정착점인 수준 1로 조정되었다. 지표수의 분포에 대한 2차 학습 발달 과정에서 수준 2에 해당하는 개념 이해가 비어 있는 것은 아동들의 해당 영역에 대한 개념 이해 분화 정도가 상세하지 않음을 말해 주는 것으로 아동들의 시스템적 사고가 발달하지 못한 근거로도 볼 수 있다(이용복과 이성미, 1998). 지표수의 분포에 대한 상위 정착점은 구인 구성도와 1, 2차 학습 발달 과정에서 공통적으로 '육지의 물은 대부분 빙하나 지하수로 있으며, 아주 적은 양이 시내나 호수에 있다.'와 '지구가 더워지면 물이 더 많이 증발하여 지표의 물의 양이 감소할 것이다.'와 같이 지표수의 양에 대한 개념 이해 진술이 제시되었다. 이는 물의 분포에서 양적 비교나 보존의 개념은 상대적으로 추상화된 것임을 말해준다.

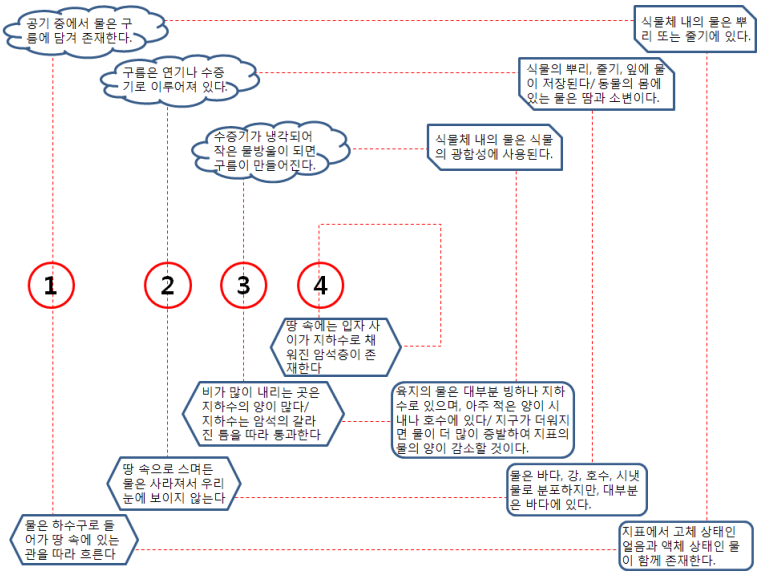

그림 4. 물의 분포에 대한 1차 학습 발달 과정

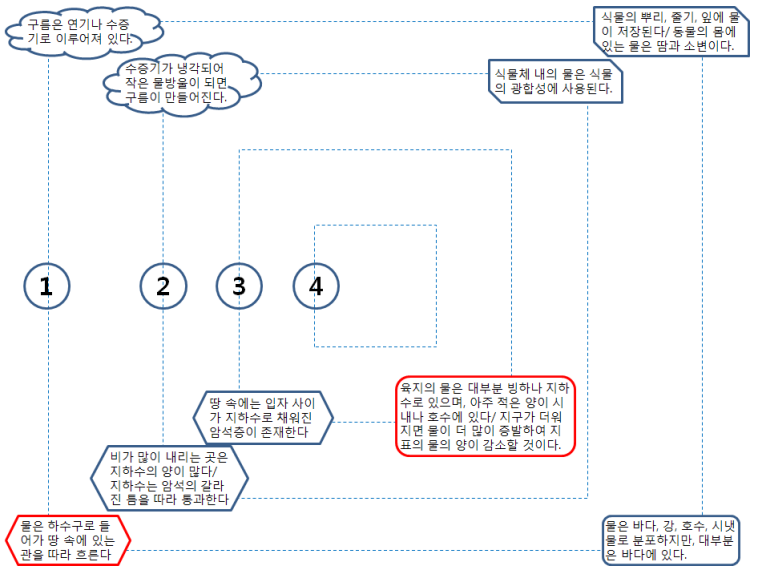

그림 5. 물의 분포에 대한 2차 학습 발달 과정

지하수의 분포에 대한 학생들의 개념 이해 수준은 1차 순위 정렬 선다형 평가 결과의 기타 응답에서 높은 빈도를 보인 '물은 하수구로 들어가 땅 속에 있는 관을 따라 흐른다.'는 진술이 추가되어 2차 학습 발달 과정의 하위 정착점으로 정리되었다. 지하수에 대한 개념 이해 수준의 변화를 보면 아동들이 눈에 보이지 않는 지하수에 대한 이해가 깊지 않으며(Ben-zvi-Assaraf & Orion, 2005; Covitt *et al.*, 2009), 일상의 공간에서 볼 수 있는 관념에 근거한 개념 이해 수준을 나타냄을 알 수 있다. 한편, 구인 구성도에서 수준 4로 설정된 '땅 속에는 지층 입자 사이가 지하수로 채워진 암석층이 존재한다.'는 응답은 1차 검사와 2차 검사 사이에 실시한 물의 순환을 고려하여 구성된 평가적응적 교수 활동의 결과로 2차 검사에는 1차 검사에 비해 응답률이 다소 상승하여 4~6학년 학생들의 학습 발달 과정에서

상위 정착점에 해당하는 것으로 판정되었다.

기권에 분포하는 물에 대한 학생들의 개념 이해 수준은 초기 구인 구성도의 수준 1에 제시된 '구름은 연기나 수증기로 이루어져 있다.'는 진술이 평가 결과 이후에도 지속적으로 낮은 수준의 응답 결과로 남아 하위 정착점을 형성하였다. 이러한 진술은 자연 현상을 보이는 그대로 기술하는 피상적 이해 수준을 나타낸다. 구인 구성도에 수준 4로 제시되었던 '수증기가 냉각되어 작은 물방울이 되면 구름이 만들어진다.'의 경우, 2차 학습 발달 과정에서는 학생들에게 어렵지 않은 개념 이해 수준으로 판정되었는데, 이것은 구름이 기체 상태가 아니라는 것을 학생들이 잘 인식하고 있음을 알 수 있다. 하지만 수준 3에 해당하는 개념 이해 수준을 설정하지 않은 것은 기권에서의 물의 분포에 대한 내용 진술의 대부분이 구름의 생성과 관련된 것으로 한정되어 있으며(김규성과 국동식, 2005), 구름의 생성과 관련된 물의 분포에 대해서는 학생들의 개념 이해가 추상화되어 있지 않음을 말해준다.

생물권의 물의 분포에 대한 학생들의 개념 이해 진술은 구인 구성도에서 1차 학습 발달 과정, 2차 학습 발달 과정을 거치면서 수준의 변동이 있었는데, 최종적으로 '식물의 뿌리, 줄기, 잎에 물이 저장된다, 동물의 몸에 있는 물은 땀과 소변이다, 동물이 물을 마시면 몸 안에서 흡수되고, 혈액의 형태로 몸 안에서 순환한다.'는 진술이 하위 정착점을 형성하였다. 생물권에서의 물의 분포는 초기 구인 구성도에서 수준 4의 '식물체 내의 물은 식물의 광합성에 사용된다.'가 2차 학습 발달 과정에서는 수준 2로 하향 조정되어 상위 정착점이라기 보다는 중간 단계의 개념 이해 수준으로 처리되었다. 또한 지권, 기권에 비해 학생들이 일상생활 속에서 생물권에 속하는 물의 순환을 인지하지 못함을 파악할 수 있다(정진우와 김윤지, 2008).

한편, 물의 이동에 대한 1차 학습 발달 과정과 2차 학습 발달 과정을 초기의 구인 구성도와 비교하여 물의 이동에 대한 학습 발달의 경로를 살펴보면 다음과 같다. 그림 6은 표 6의 하단에 제시된 물의 이동에 대한 1차 학습 발달 과정을 표현한 것이고, 그림 7은 표 8의 하단에 제시된 물의 이동에 대한 2차 학습 발달 과정을 표현한 것이다.

그림 6과 그림 7에서는 먼저 굵게 표시된 생물권, 기권, 지권이 있고, 각 권역 간의 물의 이동에 대한 개념 이해 진술을 표시하였다. 즉, 그림에서 는 기권에서 지권으로 물이 이동하는 것을 나타내며, 는 지권에서 기권으로 물이 이동하는 것을 나타낸다. 는 생물권과 지권 사이의 물의 이동을 나타내고, 은 생물권과 기권 사이의 물의 이동을 나타낸 것이다. ① ② ③ ④ 에 연결된 선들은 그림 4와 그림 5의 경우와 같이 각각 물의 이동에 대한 개념 이해 진술의 수준을 나

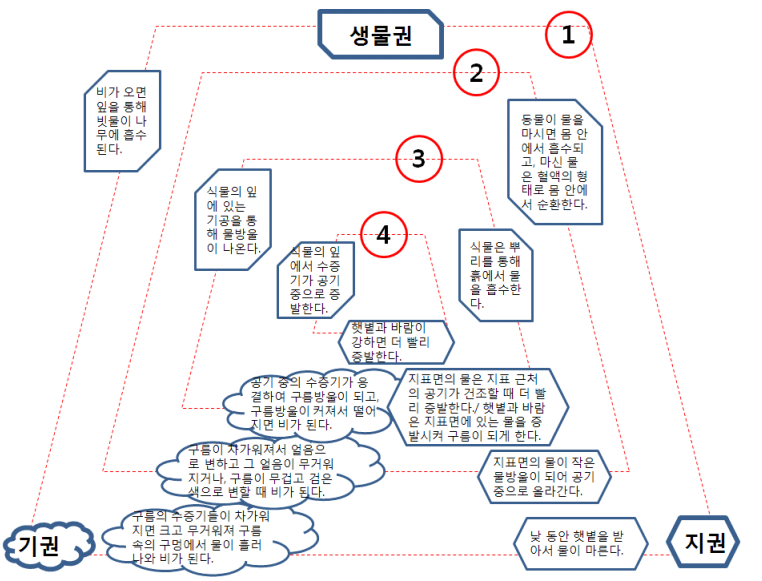

그림 6. 물의 이동에 대한 1차 학습 발달 과정

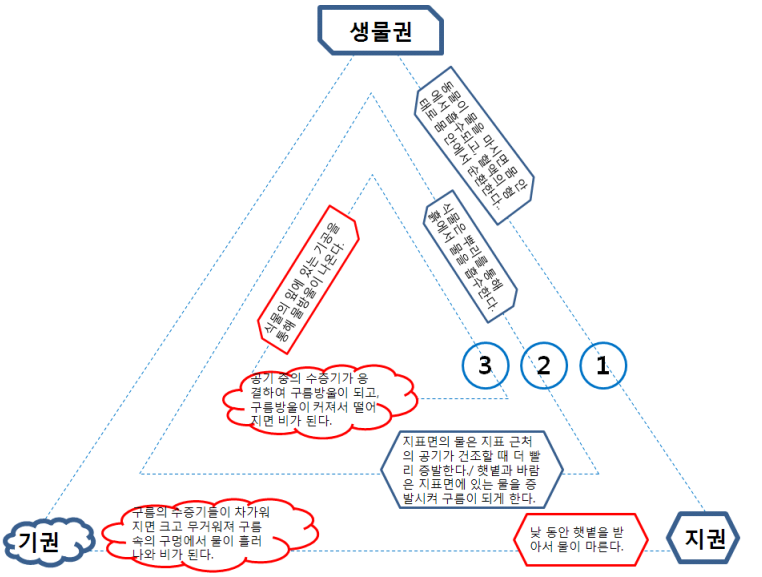

그림 7. 물의 이동에 대한 2차 학습 발달 과정

타낸 것이다.

초기의 구인 구성도나 1차 학습 발달 과정에 비해 2차 학습 발달 과정은 상대적으로 단순해졌는데, 그 이유는 이 연구에서 수행한 평가의 결과, 초등학교 4~6학년 학생들의 물의 순환에 대한 이해 수준의 분포가 세분화되어 있지 않은 것으로 밝혀졌기 때문이다. 하위 정착점과 상위 정착점 사이의 학습 경로가 세분화 되는 정도는 학습 발달 과정에 제시된 상위 정착점의 추상화 정도(abstractness)에 따라 좌우된다(맹승호 등, 2013; Alonzo & Steedle, 2009). 즉, 생물권, 지권, 기권 간의 물의 이동에 대한 학습 발달 과정에서 상위 정착점의 추상화 정도가 크지 않기 때문에, 하위 정착점에서 상위 정착점에 이르는 경로에 포함되는 수준의 개수와 범위를 조정하게 된 것이다.

지권과 기권 간의 물의 이동에 대한 학습 발달 과정을 비교해 보면, 하위 정착점으로 설정되었던 '낮 동안 햇볕을 받아 물이 마른다.'는 진술은 2차 학습 발달 과정에서도 수준 1에 배치되어 하위 정착점으로서 학생들의 인식 수준을 잘 반영한다고 할 수 있다. 또한, 초기 구인 구성도에서 수준 2에 해당하는 진술이었던 '구름이 무겁고 검은 색으로 변할 때 비로 발전한다.'는 2차 학습 발달 과정에서 수준 1에 해당하는 하위 정착점으로 판정되었다. 이러한 진술들은 학생들이 기권에서 지권으로 물의 이동에 대하여 표면적으로 드러난 현상적 모습에 주목하는 것이 학습 발달의 출발점임을 알려준다. 그리고 초기 구인 구성도에서 수준 4이었던 '공기 중의 수증기가 응결하여 구름 방울이 되고, 구름 방울이 커져서 떨어지면 비가 된다.'는 2차 학습 발달 과정의 상위 정착점인 수준 3에 포함되었다. 하지만 같은 수준 4로 설정하였던 '지표면의 물은 지표 근처의 공기가 건조할 때 더 빨리 증발한다.'는 수준 2에 해당하는 중간 단계의 개념 이해 수준에 해당하는 것으로 판명되었다. 아동들은 비록 보이지 않는 물에 대해 이해하기 어려워하는 경향이 있지만(Bar, 1989; Johnson, 2007a; 2007b), 아동들의 물의 순환에 대한 진술 중 많은 비중을 물의 상태 변화, 특히 증발이 차지하고 있으며, 따라서 이해 수준의 정밀도가 증발과 관련하여 가장 높은 것을 알 수 있다(김효남 등, 1993; Gunckel *et al.*, 2012). 반면, 증발한 수증기가 구름을 이루거나, 응결하여 구름이 된 수증기가 비로 내려오는 강우와 같은 순환 과정에 대한 이해 발달 수준은 증발과 비교하여 상대적으로 초등학교 4~6학년 학생이 속하는 만 10~12세의 연령대에서 세분화되지 않았다는 것을 알 수 있다(Bar, 1989).

생물권-기권 및 생물권-지권 간의 물의 이동에 대한 구인 구성도와 1차, 2차 학습 발달 과정을 비교하면, 초기 구인 구성도와 1차 및 2차 학습 발달

과정의 개념 이해 진술의 분류된 수준의 위치는 대체로 큰 변동이 없었다. 초기의 구인 구성도에서 물의 분포 항목의 수준 1이었던 '동물이 물을 마시면 몸 안에서 모두 흡수된다.'는 1차 및 2차 학습 발달 과정에서 지권에서 생물권으로 물의 이동 항목의 수준 1로 변경되어 학습 발달 과정의 하위 정착점으로 파악되었다. 반면에 구인 구성도에서 수준 4의 상위 정착점으로 설정했던 '바람이 강하면 식물의 잎에서 수증기가 빨리 증발한다.'의 경우, 응답률이 매우 낮고 높은 곤란도를 보여서 2차 학습 발달 과정에서는 삭제되었는데, 이 내용이 4~6학년 학생들을 위한 학습 발달 과정의 상위 정착점으로는 부적절함을 말해준다. 반면에 '식물의 잎에 있는 기공을 통해 물방울이 나온다.'는 진술은 초기 구인 구성도에서는 수준 2에 배치되었지만, 1차와 2차 학습 발달 과정에서는 수준 3으로 상향 배치되어 상위 정착점에 해당하였다.

IV. 결론 및 제언

지구환경적 소양의 함양과 시스템적 사고를 익히는데 필수적인 소재인 물의 순환은 지구를 시스템적으로 이해하는데 매우 중요한 개념이다. 하지만 현재의 초등 과학 교육 과정에서는 물의 상태 변화를 중심으로 기술되어 있으며, 시스템 간 순환적 관점에 근거하여 6학년 과정에 이르기까지 발달적 수준에 맞추어 점진적으로 구성되어 있지는 않은 상황이다. 이에 이 연구에서는 물의 순환에 대한 아동들의 이해 수준에 대한 실제적인 진술을 바탕으로 교육 과정 및 교사의 교수 활동과 아동의 발달 단계의 적합도 여부를 판단할 수 있는 근거를 마련하기 위하여 초등학교 4~6학년 학생들의 물의 순환에 대한 학습 발달 과정을 조사하였다.

학습 발달 과정을 조사하기 위하여 구인 모델링 방식에 기반한 4단계 평가 시스템 구성단위를 반복적으로 적용하였다. 물과 관련된 오개념 연구를 수행했던 선행 연구의 결과를 바탕으로 작성된 구인 구성도에 맞추어 1차 순위 정렬 선다형 문항을 제작하였다. 평가 결과를 Rasch 모형의 문항 반응 이론 측정 모델을 적용하여 해석하고, 1차 학습 발달 과정을 도출하였다. 1차 학습 발달 과정의 결과를 근거로 2차 순위 정렬 선다형 문항을 작성하여 2차 평가 및 평가 결과를 동일한 측정 모델을 사용하여 해석하였다. 분석한 결과를 바탕으로 얻어진 2차 학습 발달 과정을 바탕으로 초등학교 4~6학년 학생들의 물의 순환에 대한 학습 발달의 경로와 관련하여 다음과 같은 결론을 정리하였다.

첫째, 선행 연구에서 조사된 물의 순환에 대한 개념 이해 발달 정도를 구인 구성도로 나타낸 결과, 물의 순환에 대한 학생들의 개념 이해 양상은 물의 분포와 물의 이동으로 나눌 수 있었다. 물의 분포와 물의 이동은 다시 지구계의 하위 영역인 수권(바다, 강, 호수, 빙하 등), 기권(비, 눈, 구름, 수증기 등), 지권(지하수, 땅, 암석 등), 생물권(식물, 동물 등)의 영역 내 '물의 분포'와 영역 간의 '물의 이동'으로 세분화할 수 있었다.

둘째, 학습 발달 과정에서 하위 정착점은 물의 분포와 물의 이동에 대하여 단순한 수준의 개념 이해, 일상 공간에서 현상적으로 드러난 피상적인 관념이 학습 발달 과정의 출발점이 되고 있으며, 상위 정착점으로는 물의 양적 비교나 보존, 눈에 보이지 않는 공극수, 수증기의 응결, 증산작용과 같이 과학의 원리가 적용된 추상화된 개념 이해 진술이 학습의 목표로 판정되었다. 하위 정착점과 상위 정착점을 이어주는 중간 단계의 개념 진술로는 지하수가 관찰되는 모습, 구름의 형성될 때 물의 상태, 식물체 내의 물, 물이 증발하는 조건, 식물이 물을 흡수하는 과정 등이 있었다.

위의 결론과 함께 이 연구의 과정에서 도출된 몇 가지 제언을 정리하면 다음과 같다. 첫째, 이 연구에서 규명한 하위 정착점과 중간 단계 및 상위 정착점에 이르는 발달의 경로는 4학년~5학년~6학년에 이르는 학년의 분화와는 관련이 없었다. 이러한 결과는 물의 순환을 물의 상태 변화 단원에서 집중적으로 학습하고, 이후 상급 학년에서 부분적으로 이해하기 보다는 지권, 기권, 생물권의 각 영역에서 물의 분포와 영역 간의 물의 이동을 파악하는 관점에서 점진적으로 물의 순환을 학습할 수 있도록 교육 과정 내용을 구성하는 것이 필요함을 암시한다고 볼 수 있다. 둘째, 본 연구에서 개발한 순위 정렬 선다형 문항을 1차로 적용한 후, 그 결과에 맞추어 평가적응적 교수 활동을 초보적으로나마 실행할 수 있었다. 이 연구는 교수 활동의 효과를 주목적으로 하는 연구가 아니었기 때문에 교수 활동에 근거한 학습의 발달을 명확하게 규명하지는 않았다. 그러나 이 연구에서 밝힌 물의 순환에 대

한 학습 발달 과정을 계기로 학습자의 이해 수준을 파악하고, 가설적인 학습 발달의 경로에 맞추어 아동들의 학습 발달을 촉진시킬 수 있는 교실 단위의 교수 활동 개선을 지속적으로 실행하는 것이 필요하다. 이러한 노력은 역으로 더욱 명료한 학습 발달 과정을 파악하는 또 다른 방도가 될 수 있을 것이다.

학습 발달 과정 연구는 특정 학년의 학생들의 개념 이해를 파악하거나, 단기간의 교수 효과에 의한 개념 이해 정도의 변화를 파악하는 것이 아니라, 학생들의 과학 개념에 대한 이해 정도 및 과학 탐구 실행 능력이 장기간에 걸쳐 정교화 되고 세밀해지는 경로를 밝히는 것이다. 따라서 교육 과정의 구성 또한 학습 발달 과정의 연구 성과에 기반을 두어 그 내용이 배치되어야 하며, 향후 전반적인 과학 교육 과정 구성을 위한 광범위한 학습 발달 과정의 연구가 확산되어야 할 것이다.

참고문헌

교육과학기술부 (2008). 2007년 개정 초등학교 교육 과정 해설. 교육과학기술부.

교육과학기술부 (2011). 과학 5-2 교사용 지도서. 금성출판사.

국동식 (1988). 물의 상태 변화에 대한 중, 고등학생의 개념 형성에 관한 연구. 한국과학교육학회지, 8(1), 33-42.

김규성, 국동식 (2005). 구름형성의 오개념과 교과서 분석. 과학교육연구소논총, 20(1), 15-26.

김효남, 신인철, 최병순, 강순희 (1993). 증발과 응결에 대한 국민 학생들의 개념 조사. 한국과학교육학회지, 13(1), 92-99.

남윤경, 정진우, 장명덕 (2004). '대기와 물의 순환'관련 개념들에 대한 과제 상황에 따른 고등학생들의 응답의 일관성. 한국지구과학회지, 25(8), 656-662.

맹승호, 성연선, 장신호 (2013). 학습 발달 과정 연구의 현황, 방법론적 특징 및 연구사례. 한국과학교육학회지, 33(1), 161-180.

박정 (2001). 다분 문항반응이론 모형. 서울: 교육과학사.

백남진 (2006). 교과 교육 과정에서의 교육 내용 진술의 구체화. 교육 과정연구, 24, 207-233.

성연선(2013). 구인 모델링 방식을 적용한 초등학교 4~6학년 학생들의 물의 순환에 대한 학습 발달 과정. 서울교육대학교 교육대학원 석사학위논문.

신동희, 이양락, 이기영, 이은아, 이규석 (2005). 지구 환경을 고려한 미래 지향적 지구 과학 교육 과정 제안. 한국과학교육학회지, 25(2), 239-259.

윤현진, 이재봉, 김용진, 백성혜, 이기영 (2009). 과학과 교육 내용 개선 방안 연구: 교육 과정 내용 관련 쟁점을 중심으로. 한국교육 과정평가원 연구보고서. RRC 2009-3-4.

이영숙 (1996). 국어과 지도 대상 어휘의 선정 원리에 대한 연구. 서울대학교 대학원 석사학위논문.

이용복, 배영부 (1994). 물의 순환에 대한 아동들의 인식에 관한 연구. 초등과학교육, 13(1), 81-92.

이용복, 이성미 (1998). 초등학교 학생들의 증발과 응결 개념에 대한 연구. 초등과학교육, 17(1), 89-103.

정진우, 김윤지 (2008). 물의 순환에 대한 초등 예비 교사들의 지구 시스템적 인식. 초등과학교육, 27(4), 319-327.

조부경, 고영미, 김효남, 백성혜, 박재원, 박진옥, 임명혁 (2002). 증발과 증발 조건에 관한 활동에서 유 · 초 · 중학교 학생들의 개념 유형 및 학년별 경향성에 관한 연구. 한국과학교육학회지지, 22(2), 286-298.

지은림, 채선희 (2000). Rasch 모형의 이론과 실제. 서울: 교육과학사.

Alonzo, A. C. & Steedle, J. T. (2009). Developing and assessing a force and motion learning progression. *Science Education*, *93(3)*, 389-421.

Bar, V. (1989). Children's views about the water cycle. *Science Education*, *73(4)*, 481-500.

Ben-Zvi-Assaraf, O. & Orion, N. (2005). Development of system thinking skills in the context of earth system education. *Journal of Research in Science Teaching*, *42*, 518-560.

Ben-Zvi-Assaraf, O. & Orion, N. (2010). System thinking skills at the elementary school level. *Journal of Research in Science Teaching*, *47*, 540-563.

Briggs, D. C., Alonzo, A. C., Schwab, C. & Wilson, M. (2006). Diagnostic assessment with ordered multiple-choice Items. *Educational Assessment*, *11(1)*, 33-63.

Briggs, D. C. & Alonzo, A. C. (2012). The psychometric modeling of ordered multiple-choice item responses for diagnostic assessment with a learning progression. In A. Alonzo & A. Gotwals (Eds.), *Learning progressions in science*. Sense Publishers.

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.

Covitt, B. A., Gunckel, K. L. & Anderson, C. W. (2009). Students' developing understanding of water in environmental systems. *The Journal of Environmental Education*, *40(3)*, 37-51.

Gunckel, K. L., Covitt, B. A., Salinas, I. & Anderson, C. W. (2012). A learning progression for water in socio-ecological systems. *Journal of Research in Science Teaching*, *49(7)*, 843-868.

Johnson, P. (2007a), Children's understanding of changes of state involving the gas state, part 1: boiling water and the particle theory. *International Journal of Science Education*, *20(5)*, 567-583.

Johnson, P. (2007b), Children's understanding of changes of state involving the gas state, part 2: Evaporation and condensation below boiling point. *International Journal of Science Education*, *20(6)*, 695-709.

Mohan, L., Chen, J. & Anderson, C. W. (2009). Developing a multi-year learning progression for carbon cycling in socio-ecological systems. *Journal of Research in Science Teaching*, *46*, 675-698.

National Research Council (2007). *Taking science to school: Learning and teaching science in grades K-8. committee on science learning, kindergarten through eighth grade*. R. A. Duschl, H. A. Schweingruber, & A. W. Shouse (Eds.). The National Academies Press.

National Research Council (2012). *A framework for K-12 science education: practices, crosscutting concepts, and core ideas. Committee on Conceptual Framework for the New K-12 Science Education Standards*. The National Academies Press.

Osborne, R. J. & Cosgrove, M. M. (1983). Children's conceptions of the changes of state of water. *Journal of Research in Science Teaching*, *20(9)*, 825-838.

Werner, H. & Kaplan, E. (1952). *The acquisition of word meanings: A developmental study*. Monographs of the Society for Research in Child Development. vol. 15. Evanston: Child Development Publications.

Wilson, M. (2005) *Constructing measures: An item response modeling approach*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.

Wilson, M. (2009). Measuring progressions: assessment structures underlying a learning progression. *Journal of Research in Science Teaching*, *46*, 716-730.

Wu, M. & Adams, R. (2007). *Applying the Rasch model to psycho-social measurement: A practical approach*. Melbourne: Educational Measurement Solutions.