Journal of the Korean Association for Science Education, 36(2), 295～302, 2016

Journal of the Korean Association for Science Education
Journal homepage: www.koreascience.org

용해와 용액 개념에 대한 학습발달과정 조사

노태희[1], 이재원[1], 양찬호[1], 강석진[2], 강훈식[3*]
[1]서울대학교, [2]전주교육대학교, [3]춘천교육대학교

Investigation of Learning Progression for Dissolution and Solution Concepts

Taehee Noh[1], Jaewon Lee[1], Chanho Yang[1], Sukjin Kang[2], Hunsik Kang[3*]
[1]Seoul National University, [2]Jeonju National University of Education, [3]Chuncheon National University of Education

ARTICLE INFO

Article history:
Received 11 March 2016
Received in revised form
23 March 2016
26 March 2016
Accepted 28 March 2016

Keywords:
learning progression,
partial credit model, dissolution,
solution

ABSTRACT

In this study, we investigated a learning progression focusing on 5th to 9th graders' performances with dissolution and solution concepts using the construct modeling approach. We designed a construct map describing hypothetical pathways of the concept development of dissolution and solution by analyzing both National Science Curricula and related studies. A conceptions test consisting of ordered multiple-choice items was developed and administered to 826 students. A revised construct map was derived from analyses of the results based on the partial credit model, a branch of polytomous item response theory. The sequence of dissolution and solution concepts presented in the current science curriculum was found to correspond with the learning progression of the students. However, the lower anchor, the concept of the homogeneity of particles in solution, and the factors affecting solubility were not consistent with the expected levels of the construct map. After revising the construct map, we proposed a learning progression for dissolution and solution concepts with five levels: Students of level 1 (the lower anchor) recognize the particles in the solution but misunderstand various concepts; Students of level 2 understand the homogeneity of particles in solution; Students of level 3 understand solubility and the conservation of particles during dissolution; Students of level 4 partially understand the interaction between particles; and Students of level 5 (the upper anchor) understand the interaction between particles and the factors affecting solubility.

Ⅰ. 서론

학습발달과정은 과학 개념에 대한 학생들의 이해나 과학적 탐구 실행 능력이 오랜 기간에 걸쳐 정교해지는 발달 경로를 의미한다(Corcoran *et al*., 2009; NRC, 2007). 학생이 과학적 개념을 형성하는 과정은 복잡하고 교수학습 방법이나 선행 지식 등과 같은 다양한 요인들에 의해 달라질 수 있기 때문에, 학습발달과정은 일종의 가설 또는 추정이라 할 수 있다(Alonzo & Steedle, 2009). 학습발달과정은 학생을 대상으로 한 연구 자료에 근거하여 검증이 가능하다는 점에서 기존의 교육과정 체계와 차별화된다(Corcoran *et al*., 2009; Maeng *et al*., 2013). 또한 학습발달과정은 학생들의 실제 개념 발달 경로를 제공하므로 교사의 교수학습 및 평가 전략 수립에 유용한 준거가 될 수 있다(Stevens *et al*., 2010). 학교 과학 수업은 교육과정을 바탕으로 실행되므로, 과학 교육과정은 학문의 특성과 지식 체계를 반영해야하고 교육과정을 이수하는 학생들의 학습발달과정에도 부합하도록 구성될 필요가 있다(Alonzo & Steedle, 2009; NRC, 2001, 2006).

현행 과학 교육과정의 구성 과정에서는 학생들의 학습발달과정에 대한 고려가 부족하다. 우리나라 과학 교육과정의 내용 체계는 학생들의 개념 이해의 발달 과정에 근거한 것이 아니라 과학자와 과학교육전문가의 협의체를 통하여 이론적이고 논리적으로 구성한 결과물에 가깝다(Paik, 2006). 이는 학생들의 인지 수준과 교과서에 제시된 개념 수준 사이의 불일치를 유발하고, 그 결과 학생들의 개념 이해 및 과학 학습에 대한 흥미 저하의 원인이 될 수 있다(Kang & Yun, 2007). 실제로 과학 교육과정 중에는 학생들의 인지 수준에 적합하지 않아 개념 이해에 어려움을 겪거나 오개념이 유발될 수 있는 내용이 존재한다고 보고되었다(Kang *et al*., 2012; Kang & Yun, 2007; Kim *et al*., 2009; Song *et al*., 2005). 따라서 다양한 학년의 학생들을 대상으로 주요 과학 개념에 대한 이해 수준을 조사하여 학생들의 개념 발달 과정을 확인하고 교육과정을 수정, 보완할 필요가 있다.

학습발달과정에 대한 연구는 힘과 운동, 물질과 원자, 자연선택설, 천체의 운동 등 과학의 핵심 개념들을 중심으로 진행되었다(Alonzo & Steedle, 2009; Furtak, 2012; Plummer & Krajcik, 2010; Stevens *et al*., 2010; Wiser *et al*., 2012). 국내에서는 지구과학 분야에서 천문 시스템이나 판구조론 등의 개념을 대상으로 연구가 이루어졌다(Maeng *et al*., 2014; Maeng & Lee, 2015; Seong *et al*., 2013). 화학 분야에서는 물질의 입자성에 대한 학습발달과정 연구가 일부 이루어진 정도이다(Shin *et al*., 2014). 따라서 화학 분야에서의 다양한 핵심 개념에 대한 연구가 진행될 필요가 있다. 예를 들어, 용해와 용액은 일상생활에서 예를 쉽게 관찰할 수 있고 확산이나 분자 운동과 같은 화학의 주요 개념들과 깊은 관계가 있기 때문에 매우 중요한 개념이

* 교신저자 : 강훈식 (kanghs@cnue.ac.kr)
** 이 논문은 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2014R1A1A4A01008263).
http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2016.36.2.0295

다(Letcher & Battino, 2001). 용해와 용액 개념을 체계적으로 이해하기 위해서는 거시적 현상을 이해하고, 미시적인 입자 수준에서의 상호작용 및 엔탈피와 엔트로피를 이용한 열역학적 관점에서 현상을 해석하며, 화학 기호나 반응식과 같은 상징적 표상을 활용하여 사고할 수 있어야 한다(Johnstone, 1999). 이에 우리나라 과학 교육과정에서 용해와 용액 개념은 거시적 현상에서 점차 추상성이 높고 복잡한 개념으로 학습을 확장시키는 나선형 교육과정의 형태로 다루어지고 있다(Won *et al*., 2008). 따라서 용해와 용액 개념에 대한 학생들의 이해 수준과 학년에 따른 발달 과정을 조사하여 현 교육과정의 적합성 및 개선 방향에 대한 정보를 얻을 필요가 있다. 이에 이 연구에서는 문항반응이론을 활용하여 초・중학생들의 용해와 용액에 대한 개념에 대한 학습발달과정을 조사하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상 및 절차

학습발달과정 조사의 주요 목적은 과학 교육과정에서 용해와 용액 개념의 제시 순서가 학생들의 실제 개념 발달 과정에 적합한지 분석하기 위한 것이므로, 교육과정에서 용해와 용액 개념이 제시되는 순서를 검토하였다. 용해와 용액 개념은 초등학교 5학년의 '용해와 용액' 단원에서 처음 도입되고 중학교 2, 3학년 과학에서 제시되고 있으므로, 이 연구에서는 초등학교 5학년부터 중학교 3학년 학생을 연구 대상으로 하였다. 서울특별시 강북 지역의 인접한 3개 구에 소재한 초등학교와 중학교 각각 두 곳에서 5학년 6개 학급과 6학년 7개 학급, 중학교 1~3학년 각 6개 학급을 고르게 선정하여 총 826명을 대상으로 검사를 실시하였다. 모든 연구 대상 학생들의 용해와 용액 개념 학습이 완료된 12월에 동일한 검사지를 사용하여 검사하였다. 복수응답이나 무응답으로 분석이 불가능한 경우를 제외한 803명의 응답을 분석하였다(Table 1).

Table 1. The number of the participants

Grade	Number of students
5th	138
6th	152
7th	164
8th	178
9th	171
Total	803

2. 검사 도구

학생들의 용해와 용액 개념에 대한 학습발달과정을 조사하기 위한 검사지를 개발하였다. 검사 문항의 제작은 구인 특화, 평가 문항 개발, 평가 결과 기술, 측정 모델 적용으로 이루어진 구인 모델링 방식(construct modeling approach)에 따라 이루어졌다(Maeng *et al*., 2013; Wilson, 2005). 먼저, 구인 특화 단계에서 초기 구인 구성도를 작성하였다(Alonzo & Steedle, 2009). 구인 구성도에는 용해와 용액의 하위 개념과 정의를 위계적으로 배치해야 하므로(Wilson, 2005), 연구 대상 학생들에 적용되는 2007 개정 및 2009 개정 교육과정의 교과서, 지도서와 교육과정 해설서를 분석하였다. 초등학교 5학년 '용해와 용액' 단원에서 용매와 용질 등의 용어가 처음으로 도입되고 용질의 종류에 따른 용해도, 용매의 온도에 따른 용해도, 용해 전후의 질량 보존 등의 개념을 거시적 수준에서 다루고 있었다. 이후 중학교 1학년까지 용해와 용액 개념을 다루지 않으며, 중학교 2학년 또는 3학년의 '물질의 특성' 단원에서 용액에서 입자의 균일 분포 개념을 도입하고 온도에 따른 물질의 용해도 변화를 정량적으로 다루고 있었다. 교육과정 분석 결과와 우리나라 학생들의 용해와 용액 개념에 대한 이해 수준과 오개념을 조사한 선행연구(Kang *et al*., 2001, 2004; Park & Lee, 2008)를 종합하여 초기 구인 구성도에 포함될 개념들을 추출하였다.

초기 구인 구성도에서는 용해와 용액 개념에 대한 학생들의 이해 수준을 입자 관점의 유무, 입자의 보존과 균일 분포, 용해도, 입자간 인력 개념의 이해 여부로 구분하였다. 오개념은 과학적으로 올바르지 않은 개념이지만, 학습발달과정의 관점에서 많은 학생들이 가지는 것으로 확인된 오개념은 구인 구성도의 낮은 단계에 포함시킬 수 있으므로(Alonzo & Steedle, 2009; Maeng *et al*., 2013), 이 연구에서는 개념 사이의 위계를 바탕으로 오개념의 수준을 위계화하여 구인 구성도에 포함시켰다. 용해 현상에서 입자 관점을 가지고 있지 않거나 오개념을 지닌 경우를 가장 낮은 수준 1의 개념인 하위 정착점(lower anchor; Maeng *et al*., 2013; NRC, 2007)으로 정의하였다. 수준 2는 용매와 용질이 입자로 이루어져 있다고 인식하고 있으나 입자의 보존, 균일 분포나 용해도에 대한 오개념을 지닌 경우로 정의하고, 입자의 보존, 균일 분포와 용해도까지 올바르게 이해한 경우를 수준 3으로 정의하였다. 입자간 인력을 고려하지만 오개념을 지닌 경우를 수준 4로 정의하였고, 수준 5는 용해 현상에서 입자의 보존, 균일 분포와 입자간 인력을 모두 올바르게 이해한 수준으로서 학생들이 도달할 수 있는 가장 높은 수준의 개념인 상위 정착점(upper anchor)으로 정의하였다. 용해 과정에서 입자간 인력에 대한 내용은 고등학교 화학에서 주로 다루고 있다. 그러나 중학교 과학의 용해와 용액 단원에서는 입자 개념을 중요하게 다루고 있으며, 분자 운동과 상태 변화 단원에서 '분자 사이에 서로 끌어당기는 힘', 즉, 입자간 인력에 대한 내용이 교과서에 제시되는 경우가 적지 않다. 따라서 용해 과정에서 입자간 인력은 중학생이 추론해낼 수 있는 가장 높은 수준의 개념이라고 판단하여 상위 정착점으로 설정하였다. 용해와 용액 개념에 대한 초기 구인 구성도를 Table 2에 제시하였다.

평가 문항 개발 단계에서는 구인 구성도를 기반으로 6개의 순위정렬 선다형 평가 문항(ordered multiple-choice item; Briggs *et al*., 2006)을 개발하였다. 각 문항은 5개의 선택지 중에서 자신의 생각에 가장 가까운 선택지를 하나만 고르도록 구성하였다. 그리고 학생의 응답에 따라 용해와 용액 개념에 대한 이해 수준을 확인하기 위해 각 선택지는 초기 구인 구성도에서 하나의 수준에 대응되도록 하였다. 또한 학습발달과정 연구 방법의 특성상 모든 연구 대상이 동일한 문항에 응답해야 하므로(Seong *et al*., 2013), 초등학교 과학에서 제시하는 거시적 현상에 대한 선택지와 중학교 과학에서 제시하는 입자 개념이 포함된 선택지를 문항에 모두 포함시켰다. 즉, 문항 1~4는 수준 1에서 3에 해당하는 선택지, 문항 5, 6은 수준 1에서 5에 해당하는 선택지를 모두 포함시켜 제작하였다. 순위 정렬 선다형 평가 문항의 내용과 수준을 Table 3에, 문항의 예시를 Figure 1에 제시하였다. 검사지의 문항은 수차례의 세미나를 통해 수정・보완한 후, 과학교육전문가

Table 2. The initial construct map for dissolution and solution concepts

Level	Concepts
5	**• 입자 관점을 갖고, 입자의 질량 보존, 균일 분포, 용해도 및 입자 사이 인력에 대한 올바른 개념을 보유** - 용액 속 모든 입자들은 골고루 퍼져있으며 서로 끌어당기고 있다. - 용질이 용매에 용해되지 않는 이유는 용매와 용질 입자간 인력이 용질 입자 또는 용매 입자간 인력보다 작기 때문이다.
4	**• 입자의 보존과 균일 분포, 용해도 개념을 이해하고, 입자 사이 인력을 고려하지만 오개념을 보유** - 용액 속에 골고루 퍼져있는 입자들은 용질 입자 또는 용매 입자끼리만 끌어당기고 있다. - 용질이 용매에 용해되지 않는 이유는 용매와 용질 입자가 서로 끌어당기지 않기 때문이다.
3	**• 입자의 보존과 균일 분포, 용해도 개념을 이해하지만, 입자 사이 인력은 고려하지 못함** - 용해 전후의 무게가 변하지 않는다. - 용액에서 용매와 용질 입자가 골고루 분포한다. - 특정 온도에서 일정량의 용매에 용해되는 용질의 양은 일정하다. - 온도가 증가하면 고체의 용해도가 증가한다. - 용액을 저어도 용해도가 증가하지 않는다.
2	**• 입자 관점을 갖고 있지만, 입자의 보존과 균일 분포, 용해도에 대한 오개념을 보유** - 용질이 용매에 용해되지 않는 이유는 용질 입자가 더 작게 쪼개지지 않기 때문이다. - 용액에서 용질 입자는 용매의 아래쪽에 모여 있다. - 용질을 녹이면서 가열하거나 저어주는 경우에는 용질 입자가 계속 녹을 수도 있다. - 용질을 녹이면서 가열하더라도 항상 같은 양의 용질이 녹는다.
1	**• 입자 관점이 없거나 용해 현상에 대한 오개념을 보유** - 물질이 용해되면 사라진다. - 물질이 용해되면 용질이 없어지므로 무게가 줄어든다. - 물질이 용해되면 다른 물질로 변한다. - 용질이 용매에 용해되지 않는 이유는 다른 물질로 변하지 않기 때문이다.

3인과 과학교사 2인으로부터 안면타당도를 점검받았다. 학생들에게 배포한 검사지에는 각 선택지의 수준이 표기되어 있지 않으며 선택지를 무작위로 배치하였다. 평가 결과 기술 단계에서는 문항반응이론의 측정 모델 적용을 위하여 각 선택지마다 점수를 부여하였는데, 수준 1~5를 각각 1~5점으로 채점하였다.

Table 3. The items and level of ordered multiple-choice items

Item	Contents	Level
1	용해시의 질량 보존	1~3
2	용액의 균일 분포	
3	용해도 계산	
4	용해도에 영향을 미치는 요인	
5	용해시의 균일 분포 및 입자간 인력	1~5
6	용해와 입자간 인력	

5. 물이 담긴 비커에 설탕을 넣고 유리막대로 저었더니 잠시 후 용액이 투명해졌다. 이 상태에 대해 올바르게 설명한 것은?

① 설탕이 물에 녹으면 없어지므로 물만 남아 있다. (수준 1)
② 물에 녹은 설탕 입자가 비커 아래쪽에 모여 있다. (수준 2)
③ 물 입자와 설탕 입자가 서로 영향을 주지 않고 골고루 섞여 있다. (수준 3)
④ 물 입자는 물 입자끼리, 설탕 입자는 설탕 입자끼리만 끌어당기고 있다. (수준 4)
⑤ 용액 속에 골고루 퍼져 있는 모든 입자들이 서로 끌어당기고 있다. (수준 5)

Figure 1. An example of ordered multiple-choice item

3. 결과 분석

결과 분석은 구인 모델링 방식의 측정 모델 적용 단계에 해당한다. 이 연구에서는 다분 문항반응 모형 중에서 선택지가 서열 척도인 서열반응 모형의 한 가지인 부분 점수 모형(partial credit model; Masters, 1982)을 사용하였다. 부분 점수 모형은 1-모수 로지스틱 모형(Rasch 모형)을 다분 문항반응 모형으로 확장시킨 형태로, 검사 문항에 부분 점수를 부여하여 채점할 경우 적용할 수 있는 모형이다. 부분 점수 모형은 한 문항 내에 여러 개의 선택지가 있는 경우에도 인접한 두 범주의 선택지만을 고려하여 확률을 정의하고 모형을 구성하므로, 검사 문항의 난이도가 다르거나 선택지의 수준이 서열화되어 있지 않아도 사용이 가능하다는 장점이 있다(Park, 2001). 학습발달과정 연구에서는 선다형 문항의 각 선택지의 수준을 가설적으로 가정하지만 실제 검사 결과에 따라 그 서열이 바뀔 수 있기 때문에 자료 분석을 위한 측정 모델로 부분 점수 모형이 적합하다.

문항반응 분석은 Rasch 모형에 기반을 둔 문항반응이론 소프트웨어인 Winsteps 3.81.0 버전을 사용하였다. 측정 모델을 적용하여 각 문항별 모수 추정치, 문항 특선 곡선, 누적 확률 곡선을 얻었다. 이러한 분석 자료들에 기반하여 전체 문항에 대한 모든 연구 대상의 능력과 선택지별 난이도를 함께 비교하여 하나의 그림으로 나타낸 Wright map을 중심으로 학생들의 학습발달과정을 분석하였다. 또한 현행 교육과정의 개념 제시 순서와 학생들의 학습발달과정 간의 관계를 구체적으로 분석하기 위하여 정규 교육과정에서 용해 관련 개념을 다루는 수준에 따라 학생들을 구분하였다. 즉, 용해 관련 개념을 초등학교 수준에서만 학습한 초등학교 5학년~중학교 1학년 집단과 중학교 수준에서 학습한 중학교 2~3학년 집단으로 학생들을 구분한 후, 각 집단별 Wright map을 추가로 분석하였다. 이를 근거로 초기 구인 구성도를 수정하여 용해와 용액 개념에 대한 학생들의 학습발달과정을 묘사하는 구인 구성도를 도출하였다. 문항반응이론 전문가 1인과 과학교육전문가 4인, 현직 과학교사 2인이 참가한 수차례의 세미나를 통하여 분석 결과와 해석의 타당도를 점검받았다.

Ⅲ. 연구 결과 및 논의

1. Wright map 분석 결과

전체 학생에 대한 Wright map을 Figure 2에 제시하였다. Wright map의 세로선 왼편에 표시된 MEASURE(-5～+4)는 각 문항의 난이도와 학생의 능력을 로그 척도로 나타낸 로지트(logit) 값으로서, 숫자가 높을수록 학생의 능력 수준이 더 높음을 의미한다. 이때, 학생의 능력 수준은 검사의 총점을 환산한 값으로 결정된다. '#' 과 '.' 표시는 각 능력 수준에 해당하는 학생의 수를 나타내는데, Figure 2에서 '#' 1개는 학생 9명을, '.' 1개는 학생 1～8명을 나타낸다. 세로선상의 M은 능력 수준의 평균, S는 1 표준편차 범위(68%), T는 2 표준편차 범위(95%)를 의미한다. 세로선의 오른편에는 문항별 모든 선택지의 래쉬-서스톤 임계(Rasch – Thurstone thresholds)가 표시되어 있다. 알파벳과 숫자의 조합은 문항 번호를 의미하며, 문항 번호 옆의 숫자는 선택지의 부분 점수 즉, 선택지의 수준을 나타낸다. 예를 들어, 'A1 .3'은 1번 문항의 수준 3 선택지를 의미한다. 래쉬-서스톤 임계의 위치는 해당 선택지를 선택할 확률이 50%인 학생들의 능력 수준을 나타내는데, 문항반응이론에서는 문항을 맞힐 확률이 50%인 학생의 능력 수준을 문항의 난이도로 정의하므로, 래쉬-서스톤 임계는 해당 선택지의 난이도를 의미한다(Seong, 2001). 따라서 래쉬-서스톤 임계가 높은 곳에 위치할수록 학생들의 능력 수준이 높다고 할 수 있다.

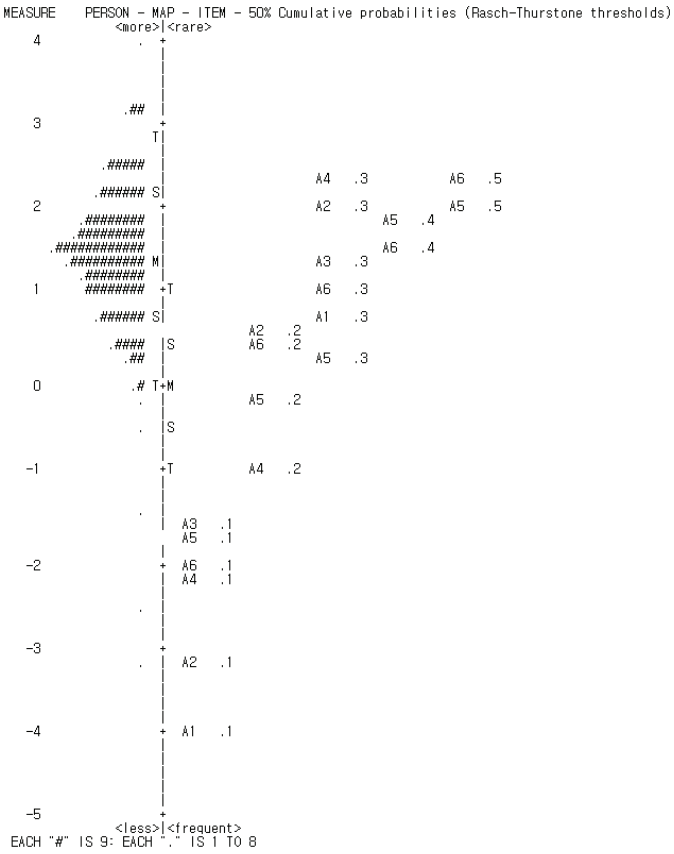

Figure 2. The Wright map for the total respondents

Wright map 분석 결과, 학생들의 능력 수준의 평균은 1.33이고 0.00～3.17 사이에 주로 분포하고 있으므로, Wright map에서 항상 0.00으로 고정되는 전체 문항의 난이도 평균에 비해 학생들의 능력은 비교적 높은 수준이었다고 볼 수 있다. 또한 선택지의 수준이 높아짐에 따라 선택지의 난이도가 높아지는 것으로 나타났으므로, 초기 구인 구성도에서 설정한 선택지 간의 위계는 대체로 적절하다고 할 수 있다. 이는 용해와 용액 개념에 대한 현행 교육과정의 구성은 대체로 학생들의 학습발달과정에 부합한다고 주장할 수 있는 근거가 된다. 그러나 하위 정착점인 수준 1에 해당하는 선택지의 수준은 대다수 학생의 능력 수준보다 훨씬 아래에 위치하므로 학생들에게 매우 쉬운 선택지였다고 볼 수 있다. 따라서 용해와 용액 학습발달과정의 하위 정착점은 수준 1보다 높은 수준에서 설정될 필요가 있다(Maeng *et al.*, 2014).

수준 2에서 수준 5의 경우 일부 선택지에서 초기 구인 구성도의 수준과 실제 검사 결과에 차이가 있었다. 가장 난이도가 높은 선택지는 4번 문항의 수준 3 선택지(A4 .3)와 6번 문항의 수준 5 선택지(A6 .5)였다. 이 중 'A4 .3'은 설탕을 물에 계속 넣어 녹일 때 그대로 두거나 유리막대로 저으면 녹는 설탕의 양이 일정하지만 온도를 높이면 녹는 설탕의 양이 증가한다는 내용으로, 용해도 개념에 대한 이해뿐 아니라 용해 속도와 용해도의 차이를 구별할 수 있어야 한다. 이와 관련하여 초등학교 과학에서 거시적 현상을 관찰하는 실험을 제시하고 있기 때문에 이 선택지는 초기 구인 구성도에서 수준 3으로 설정하였으나 학생들은 이 내용을 이해하는데 어려움을 겪는 것으로 나타났다. 이는 초등학교 과학에서 용해 속도에 영향을 미치는 요인으로 젓는 속도, 용질 알갱이의 크기와 물의 온도 등은 다루고 있으나, 젓는 속도와 용해도의 관계는 명시적으로 다루고 있지 않기 때문으로 보인다. 중학교 과학에서는 초등학교에서 학습한 용해도 개념을 정량적 수준으로 확장시켜 다루지만 용해 속도에 대해서는 거의 다루지 않으므로, 학생들이 용해도와 용해 속도의 구분에 여전히 어려움을 겪었을 수 있다. 한편, 온도에 따른 용해도 변화를 바탕으로 용질의 석출량을 계산하는 'A3 .3' 선택지는 수준 3 선택지 중에서도 중간 정도의 수준으로 나타났다. 이는 용질의 석출량을 계산하는 과정은 정해진 계산 절차를 수행하는 알고리즘적 성격을 띠기 때문에 용해도에 영향을 미치는 요인에 대한 정확한 이해가 없어도 문제 해결이 가능할 수 있기 때문으로 보인다.

용액 속에서 용질 입자가 서로 영향을 주지 않고 고르게 분포한다는 'A5 .3'은 수준 3 선택지들 중에서 가장 난이도가 낮았으나, 설탕 용액에서 여러 부분의 맛을 비교하는 2번 문항에서 설탕 용액의 모든 부분의 맛이 같다는 'A2 .3'은 다른 문항의 수준 5 선택지만큼 난이도가 높은 것으로 나타났다. 이는 설탕 용액을 이용하여 입자의 균일 분포를 거시적 현상의 관점에서 설명하는 것이 학생들에게 상당히 어려울 수 있음을 의미한다. 초기 구인 구성도에서 입자의 균일 분포는 입자 관점을 기반으로 이해할 수 있는 개념이므로 수준 3으로 설정하였다. 이때, 초등학교 과학에서는 입자 관점을 도입하지 않기 때문에 용액 속 입자의 균일 분포 여부를 묻는 5번 문항과 함께 초등학생의 균일 분포 개념의 이해 여부를 알 수 있도록 설탕 용액을 이용하여 거시적 관점에서 용액의 균일성 여부를 묻는 2번 문항을 사용하였다. 그런데 오히려 'A2 .3'의 난이도가 더 높게 나타난 것은 학생들의 일상적 경험에 의한 오개념이 영향을 미쳤기 때문일 가능성이 있다. 실제로 용액의 균일성과 관련하여 용액 아래쪽의 맛이 더 진하다고 생각하는 것은 초등학생이 가지는 흔한 오개념으로 보고되고 있기

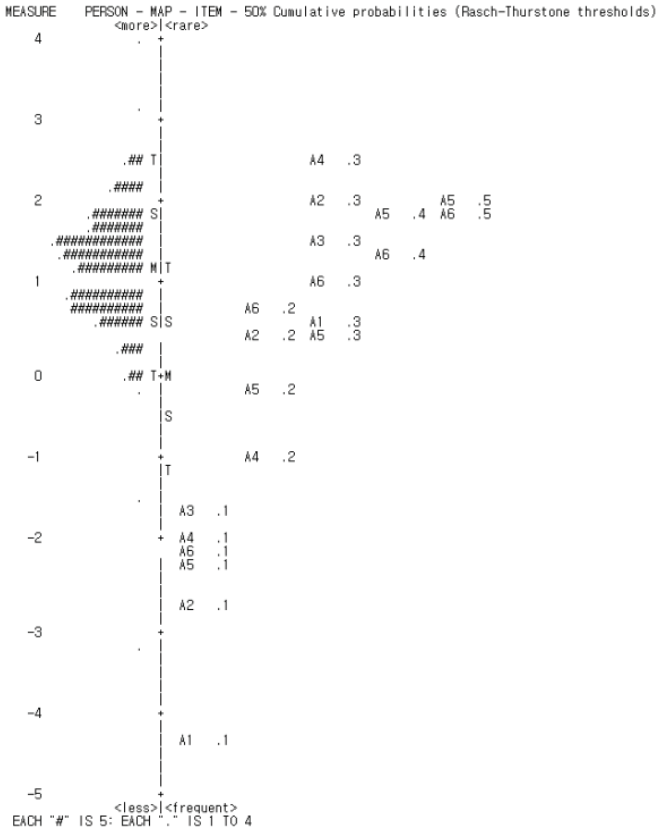

Figure 3. The Wright map for 5th to 7th graders

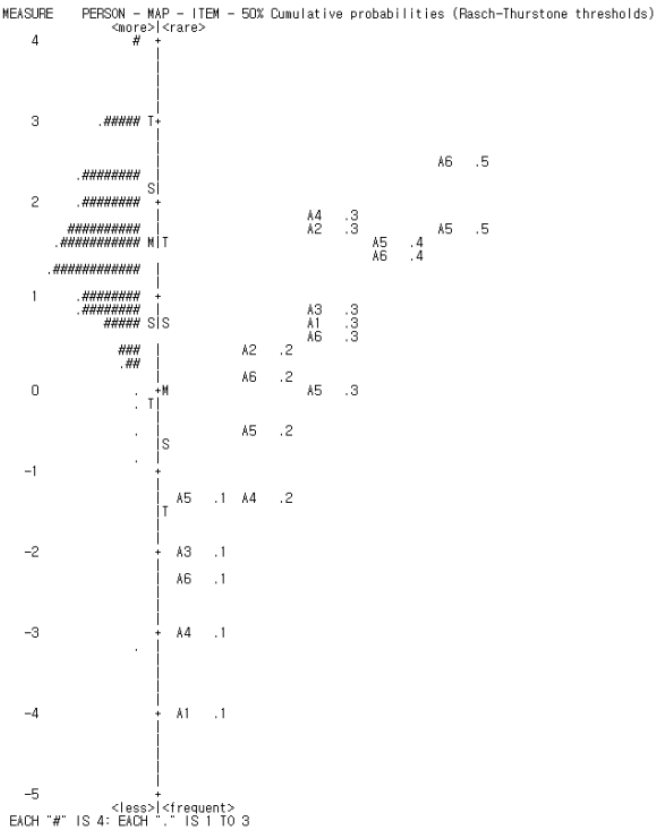

Figure 4. The Wright map for 8th and 9th graders

때문이다(Noh & Kim, 1996; Yang *et al*., 2014).

현행 과학과 교육과정에 제시된 용해와 용액 개념의 위계와 학생들의 능력 수준이 부합하는지를 보다 구체적으로 분석하기 위하여 각 집단별 Wright map을 도출하였으며, 그 결과를 Figure 3과 4에 제시하였다.

분석 결과, 초등학교 5학년~중학교 1학년 학생들의 능력 수준(Figure 3)은 대부분 0.00~2.50 사이에 분포하였고, 평균은 1.16으로 수준 3 선택지의 중간에 가까웠다. 입자간 인력을 이해할 수 있는 능력 수준인 수준 5에 도달한 학생은 전체의 7% 정도로 매우 적었으며, 입자간 인력을 고려하지만 오개념을 일부 포함하고 있는 수준 4 선택지의 난이도도 학생들의 능력 수준의 평균보다 높았다. 즉, 용해와 용액 개념을 입자간 인력의 관점에서 이해하는 것은 초등학교 5학년~중학교 1학년 학생들에게 상당히 어려운 수준이라고 할 수 있다. 중학교 2~3학년 학생들의 능력 수준(Figure 4)은 대부분 0.28~3.00 사이에 분포하고 있었으며 평균은 1.57로 수준 4 선택지의 하위 수준 정도였다. 중학교 2~3학년 학생들의 경우 수준 1에서 수준 5에 이르는 개념의 위계가 초기 구인 구성도를 통해 이론적으로 설정한 것과 대체로 유사하였다. 가장 수준이 높았던 선택지는 'A6 .5'였는데, 이 선택지는 나프탈렌이 물에 녹지 않는 이유를 용매 입자간 인력이 용매와 용질 입자간 인력보다 크기 때문이라고 설명한 것으로, 약 7%의 학생만이 이 수준에 도달하였다. 이는 중학교 2~3학년 학생들도 용해 과정의 입자간 인력 개념을 구체적으로 이해하기 어려움을 의미한다.

2. 구인 구성도 수정 결과

초기 구인 구성도를 학생들의 학습발달과정에 따라 수정하기 위하여 Figure 2에 제시된 학생들의 능력 분포와 각 문항별 선택지의 상대적인 위치를 분석하여 학생들의 학습발달 수준을 나누는 경계인 단계값(step point)을 결정하였다. 먼저, 수준 5 선택지의 난이도는 학생들의 능력 분포 범위의 상단부에 위치하고 있으므로 입자간 인력 개념을 구인 구성도의 상위 정착점으로 설정하였으나, 대다수 학생의 능력 수준보다 훨씬 아래에 위치하는 수준 1 선택지는 삭제하였다. 그리고 한 문항에서 다른 수준을 나타내는 선택지가 동일한 단계에 포함되지 않도록 단계 값을 나누었다(Maeng *et al*., 2014). 예를 들어, 5번 문항의 수준 4(A5 .4)와 수준 5(A5 .5)의 위치를 나누는 경계를 단계값으로 설정하여 새로운 수준 4와 5를 구분하였다. 또한, 5번 문항의 수준 2(A5 .2)와 수준 3(A5 .3)을 나누는 단계 값을 삽입하여 4번과 5번 문항의 수준 2 선택지(A4 .2, A5 .2)를 새로운 수준 1로 설정하였다. 수준 2와 3 및 수준 3과 4의 단계 값은 초기 구인 구성도의 경계를 유지하였다. 이를 Figure 5에 정리하여 제시하였다.

단계 값을 재설정한 결과, 현행 교육과정과 선행연구에 따라 논리적으로 구성한 초기 구인 구성도와 학생들의 실제 학습발달과정 사이에 차이가 있었다. 용액에서 입자의 균일 분포와 용해도에 대한 오개념을 나타내는 'A4 .2'와 'A5 .2'는 새로운 하위 정착점으로, 용액 속 입자의 균일 분포를 나타내는 'A5 .3'는 한 단계 낮은 수준 2로, 'A4 .3'과 'A2 .3'은 새로운 상위 정착점으로 재분류되었다. 수정된 Wright map을 바탕으로 구인 구성도를 수정하였다. 먼저, 선택지에 대한 응답률이 매우 낮아 해당 개념을 지닌 학생이 거의 없다고 판단된 개념은 구인 구성도에 포함시키지 않았다(Seong *et al*., 2013). 예

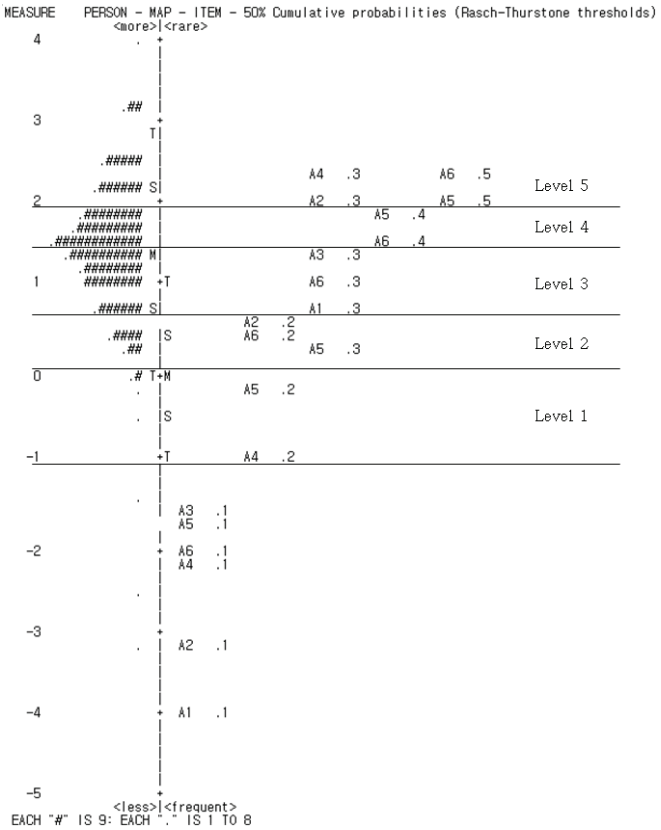

Figure 5. The determination of step point for the revised construct map

를 들어, ‘설탕을 모두 녹인 후 맛을 보면 설탕이 위쪽에 모이므로 위쪽이 더 달다.’는 선택지를 선택한 학생이 전체의 2% 미만이었기 때문에 구인 구성도에 포함시키지 않았다. 또한, ‘A2 .3’와 ‘A4 .3’ 선택지는 상위 정착점에 해당하는 선택지로 나타났는데, 용해도에 영향을 미치는 요인과 관련된 ‘A4 .3’ 선택지는 용해도 개념 자체뿐만 아니라 용해 속도와 용해도의 차이를 구분해야 하는 어려운 개념이므로 상위 정착점으로 설정하였다. 그러나 ‘A2 .3’ 선택지는 입자의 균일 분포를 맛이라는 상황과 연결시키는 것으로서 입자의 균일 분포 개념(A5 .3)보다 개념상 높은 위계를 나타내는 것으로 볼 수 없다. 이 연구에서는 개념의 위계 측면에서 학습발달과정을 분석하였으므로 ‘A2 .3’ 선택지는 구인 구성도에서 제외시켰다.

이상의 기준을 바탕으로 초기 구인 구성도를 수정한 결과는 Table 4와 같다. 수정된 구인 구성도는 각 수준에 도달한 학생들이 이해할 수 있는 개념과 함께 각 수준에서 주로 나타나는 오개념을 기술하는 방식으로 제시하였다(Wilson, 2009). 하위 정착점은 용매와 용질이 입자로 이루어져 있다는 관점을 지니고 있지만 용해 현상에 대한 다양한 오개념이 나타나는 수준으로 설정하였다. 이 수준에서는 가열하면 용질이 계속 녹을 수 있다거나 용액 속 용질 입자가 아래쪽에 모여 있다고 생각하는 등 용해도나 용액 속 입자의 균일 분포에 대한 오개념이 주로 나타날 수 있다. 수준 2는 용액에서 입자의 균일 분포 개념을 이해하는 수준으로 설정하였다. 이 수준에서는 용액 속 입자간 인력을 전혀 고려하지 못하거나 용질이 특정 용매에 용해되지 않는 이유에 대한 오개념이 주로 나타날 수 있다. 수준 3과 수준 4는 초기 구인 구성도와 유사하다. 수준 3은 입자 관점을 기반으로 용해도와 질량 보존 개념을 이해하지만 입자간 인력은 고려하지 못하는 수준으로 설정하였으며, 수준 4는 용해 과정에서 입자간 인력을 인식하지만 입자간 인력에 대해 다양한 오개념을 지니는 수준으로 설정하였다. 마지막으로 상위 정착점에 해당하는 수준 5는 용해 과정에서의 입자간 인력, 용해도에 영향을 미치는 요인까지 정확하게 이해하는 수준으로 설정하였다.

Table 4. The learning progression for dissolution and solution concepts

수준	기술
5	**• 용해 현상에서 입자간 인력을 이해하며, 용해도에 영향을 미치는 요인을 이해** - 용질이 용매에 용해되지 않는 이유는 용매 입자간 인력이 용매와 용질 입자간 인력보다 크기 때문이다. - 용질이 용매에 완전히 용해된 상태에서 용매와 용질 입자들이 서로 끌어당기고 있다. - 용질을 녹이면서 가열하면 그냥 두거나 저어주면서 녹일 때보다 더 많이 용해되지만 여전히 일정량만 용해된다.
4	**• 용해 현상에서 입자간 인력의 영향을 인식하지만 입자간 인력에 대한 다양한 오개념을 지님** 주로 나타날 수 있는 오개념 - 용질이 용매에 완전히 용해된 상태에서 용질 입자 또는 용매 입자들끼리만 끌어당기고 있다. - 용질이 용매에 용해되지 않는 이유는 용매, 용질 입자가 서로 영향을 주지 않기 때문이다.
3	**• 용해 현상에서 입자의 보존을 인식하며, 온도에 따른 용해도 변화를 이해** - 용질을 용매에 용해시키기 전과 후의 질량이 동일하다. - 온도에 따른 용해도 변화를 고려하여 용질의 석출량을 계산할 수 있다. 주로 나타날 수 있는 오개념 - 용질이 용매에 용해되지 않는 이유는 용매 속에 용질 입자가 골고루 퍼질 수 없기 때문이다.
2	**• 용액에서 입자의 균일 분포를 이해** - 용질이 용매에 완전히 용해된 상태에서 입자들은 서로 골고루 섞여있다. 주로 나타날 수 있는 오개념 - 용질이 용매에 용해되지 않는 이유는 용질 입자가 더 작은 입자로 쪼개지지 않기 때문이다. - 용질이 용매에 완전히 용해된 상태에서 입자들이 서로 영향을 주지 않는다.
1	**• 용해와 용액을 입자 관점에서 인식할 수 있으나, 용해와 용액 개념에 대한 다양한 오개념을 지님** 주로 나타날 수 있는 오개념 - 용질이 용매에 완전히 용해된 상태에서 용질 입자가 용매의 아래쪽에 모여 있다. - 용질의 용해도는 일정하지만, 용질을 녹이면서 가열하거나 저으면 계속 용해될 수 있다.

Ⅳ. 결론 및 제언

이 연구에서는 초등학교 5학년~중학교 3학년 학생들의 용해와 용액 개념에 대한 학습발달과정을 조사하였다. 이를 위해 현행 교육과정과 선행연구를 분석하여 용해와 용액 개념 이해의 가설적 발달 경로인 초기 구인 구성도를 설정하였고 이를 바탕으로 검사지를 제작하여 검사를 실시하였으며, 문항반응이론을 활용하여 평가 결과를 해석함으로써 구인 구성도를 수정하였다.

연구 결과, 현행 교육과정에서 학년에 따른 용해와 용액 개념의 제시 순서는 대체로 학생들의 학습발달과정에 부합하는 것으로 나타났다. 그러나 초기 구인 구성도에서 하위 정착점인 수준 1은 대다수 학생의 능력 수준보다 매우 낮은 수준으로 나타났으므로 수정된 구인 구성도에서는 하위 정착점을 수준 1보다 높은 수준에서 설정하였다. 또한, 용액에서 입자의 균일 분포와 용해도에 영향을 미치는 요인에 대한 학생들의 이해 수준은 초기 구인 구성도를 통해 이론적으로 예상한 수준과 달랐기 때문에 구인 구성도에서 두 개념의 위치를 수정하였다. 수정된 구인 구성도에서 하위 정착점인 수준 1은 용해와 용액을 입자 관점에서 인식할 수 있으나 다양한 오개념을 지니는 수준으로, 수준 2는 입자의 균일 분포 개념을 이해하는 수준으로, 수준 3은 용해도와 입자의 보존 개념을 이해하는 수준으로 설정하였다. 또한, 수준 4는 입자간 인력을 인식할 수 있으나 다양한 오개념을 지니는 수준으로, 상위 정착점인 수준 5는 입자간 인력과 용해도에 영향을 미치는 요인을 이해하는 수준으로 설정하였다.

이러한 결과는 초·중등 과학 교육과정에서 학년에 따라 용해와 용액의 하위 개념들을 제시하는 순서와 수준을 설정하는데 중요한 정보를 제공한다. 즉, 현행 교육과정 하에서 용해와 용액 개념을 학습한 초등학교 5학년부터 중학교 3학년 학생들의 이해 수준을 평가한 실증적인 연구 결과를 바탕으로 용해와 용액 개념에 대한 학생들의 개념 발달 경로를 제시하였으므로, 이를 향후 교육과정 개발 과정에서 활용한다면 학생들의 개념 발달을 촉진하는데 도움이 될 것으로 기대된다. 연구 결과를 바탕으로 한 향후 교육과정 개발과 학습발달과정 연구에 대한 구체적인 제언은 다음과 같다.

먼저, 수정된 구인 구성도에서 용해와 용액을 입자 관점에서 인식하는 수준을 새로운 하위 정착점으로 설정한 결과는 해석에 주의가 필요하다. 이 결과를 초등학교 과학에서 용해와 용액 개념을 다룰 때 입자 관점을 도입해야 한다는 의미로 해석하는 것은 문제가 있다. 초등학생들이 입자 개념을 받아들이더라도 용해 현상과 용액을 입자 관점에서 이해하고 설명하는 것은 매우 어렵기 때문이다. 학생들의 학습발달과정에서 용해와 용액 개념을 입자간 인력의 관점에서 이해하는 것이 매우 높은 수준이었던 결과는 이러한 주장을 뒷받침한다. 또한, 용해도에 영향을 미치는 요인을 이해하는 것이 상위 정착점으로 정의된 것도 생각해볼 필요가 있다. 이러한 결과는 초등학교와 중학교 과학 교육과정에서 젓는 속도나 온도가 용해도에 미치는 영향에 대해 거시적인 수준에서 다루고 있음에도, 학생들이 용해도에 영향을 미치는 요인을 이해하는데 어려움을 겪을 수 있음을 의미한다. 용해도의 변화는 화학 평형과 열역학적 개념들에 대한 이해를 바탕으로 할 때 과학적인 이해가 가능한 개념이므로 초등학생 및 중학생들이 그 본질을 이해하는 것은 어렵다. 그러나 이러한 상위 개념들을 학습하기 전에 젓는 속도나 온도와 같은 요인들이 용해 속도와 용해도에 미치는 영향을 구별하는 것은 중요하므로, 향후 초·중등 과학 교육과정에서 용해도와 용해 속도에 대한 개념을 좀 더 명확히 구분하여 제시하는 것이 필요하다고 생각된다.

또한, 학생들이 설탕 용액에서 모든 부분의 맛이 같다는 상황을 이해하지 못하는 경우가 많은 것으로 나타난 결과는 향후 학습발달과정 연구에서의 검사 문항 제작과 관련하여 중요한 시사점을 제공할 수 있다. 화학 분야의 경우 교육과정에서 하나의 개념을 거시적 현상의 수준과 미시적 입자의 수준으로 분리하여 위계적으로 제시하는 경향이 있다. 이 연구에서도 이를 고려하여 용액에서 입자의 균일 분포 개념에 대한 이해를 두 가지 수준으로 나누어 검사하였으나, 학습발달과정 상에서 두 문항의 선택지의 위계가 다르게 나타나는 문제가 있었다. 따라서 개념을 거시적 현상과 연결시키는 문항은 학생들의 개념 이해 뿐 아니라 일상적 경험에 의한 오개념 등이 응답에 영향을 미칠 수 있으므로 학습발달과정 연구에서 주의하여 사용할 필요가 있다고 판단된다.

한편, 학습발달과정은 여러 차례의 반복적인 조사를 통해 학생들의 가설적 개념 발달 경로를 정교화하는 과정이므로, 본 연구의 결과를 바탕으로 검사를 수정·보완하여 용해와 용액 개념에 대한 학생들의 학습발달과정을 반복적으로 조사할 필요가 있다. 또한, 국내에서 화학 분야의 학습발달과정에 대한 연구는 매우 부족한 상황이므로 화학의 핵심 개념에 대한 학습발달단계를 조사하는 연구를 활발히 진행하여 학생들의 학습발달단계에 대한 연구 결과를 축적해 나가야 할 것이며, 이를 향후 초·중등 과학 교육과정에서 내용 구성의 주요 근거로 활용해야 할 것이다.

국문요약

이 연구에서는 구인 모델링 방식을 적용하여 초등학교 5학년~중학교 3학년 학생들의 용해와 용액 개념에 대한 학습발달과정을 조사하였다. 이를 위해 현행 교육과정과 선행연구를 분석하여 용해와 용액 개념 이해의 가설적 발달 경로인 초기 구인 구성도를 설정하였고, 이를 바탕으로 순위정렬 선다형 평가 문항으로 구성된 검사지를 제작하였다. 826명의 학생들을 대상으로 검사를 실시하였으며, 다분 문항 반응이론의 모형 중 부분 점수 모형을 활용하여 분석한 결과를 바탕으로 구인 구성도를 수정하였다. 연구 결과, 현행 교육과정에서 학년에 따른 용해와 용액 개념의 제시 순서는 대체로 학생들의 학습발달과정에 부합하는 것으로 나타났다. 그러나 하위 정착점과 용액에서 입자의 균일 분포 개념, 용해도에 영향을 미치는 요인에 대한 이해는 구인 구성도를 통해 이론적으로 예상한 수준과 달랐다. 수정된 구인 구성도에 따라 초·중등학생의 용해와 용액 개념에 대한 학습발달과정을 도출하였다. 하위정착점인 수준 1은 용해와 용액을 입자 관점에서 인식할 수 있으나 다양한 오개념을 지니는 수준으로, 수준 2는 용액에서 입자의 균일 분포 개념을 이해하는 수준으로, 수준 3은 용해도와 입자의 보존 개념을 이해하는 수준으로 설정되었다. 또한, 수준 4는 입자간 인력을 인식할 수 있으나 다양한 오개념을 지니는 수준으로, 상위정착점인 수준 5는 입자간 인력과 용해도에 영향을 미치는 요인을 이해하는 수준으로 설정되었다.

주제어 : 학습발달과정, 부분 점수 모형, 용해, 용액

References

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

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., 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.

Furtak, E. M. (2012). Linking a learning progression for natural selection to teachers' enactment of formative assessment. Journal of Research in Science Teaching, 49(9), 1181-1210.

Johnstone, A. H. (1999). The nature of chemistry. Education in Chemistry, 36(2), 45-48.

Kang, C., & Yun, S. (2007). An analysis of the first to second grade elementary school children's cognitive development levels and implications for the elementary school curriculum. The Journal of Elementary Education Studies, 14(2), 77-97.

Kang, D.-H., Paik, S.-H., & Park, K.-T. (2001). A study on middle school students' understanding of dissolution. Journal of the Korean Chemical Society, 45(1), 132-138.

Kang, D.-H., Paik, S.-H., & Park, K.-T. (2004). The patterns of students' conceptions and teachers' teaching practices on dissolution. Journal of the Korean Chemical Society, 48(4), 399-413.

Kang, S., Bang, D., & Kim, S.-J. (2012). Analysis of the level of cognitive demands about concepts of elements, the periodic table, and atoms on Science 2 textbooks in junior high school (I). Journal of the Korean Chemical Society, 56(4), 518-529.

Kim, S.-S., Park, S.-Y., Jung, M.-H., Ryu, S.-M., Kang, S.-J., & Park, K.-T. (2009). A comparative analysis of the cognitive level of 10th grade students and the content level of high school science textbook's matter unit and perception of teachers. Korean Journal of Teacher Education, 25(4), 152-167.

Letcher, T. M., & Battino, R. (2001). An introduction to the understanding of solubility. Journal of Chemical Education, 78(1), 103-111.

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 Association for Science Education, 35(1), 37-52.

Maeng, S., Lee, K., Park, Y.-S., Lee, J.-A., & Oh, H. (2014). Development and validation of a learning progression for astronomical systems using ordered multiple-choice items. 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(1), 161-180.

Masters, G. N. (1982). A Rasch model for partial credit scoring. Psychometrika, 47, 149-174.

National Research Council (NRC) (2001). Knowing what students know: The science and design of educational assessment. Washington, DC: National Academy Press.

National Research Council (NRC) (2006). Systems for state science assessment. Washington, DC: National Academy Press.

National Research Council (NRC) (2007). Taking science to school. Washington, DC: The National Academies Press.

Noh, K.-J., & Kim, H.-N. (1996). Elementary school children's conceptions about dissolution according to scientific and everyday context. Journal of Korean Elementary Science Education, 15(2), 233-250.

Paik, N.-J. (2006). Specification of statements on educational contents in the subject curriculum. The Journal of Curriculum Studies, 24(2), 207-233.

Park, J. (2001). Polytomous item response theory model. Seoul: Kyoyookbook.

Park, J.-Y., & Lee, Y.-H. (2008). Identification of college students' understanding of the thermodynamic aspects regarding the dissolution of solids and gases. Journal of the Korean Chemical Society, 52(2), 186-196.

Plummer, J. D., & Krajcik, J. (2010). Building a learning progression for celestial motion: Elementary levels from an earth-based perspective. Journal of Research in Science Teaching, 47(7), 768-787.

Seong, T.-J. (2001). Understanding and application of item response theory. Seoul: Kyoyookbook.

Seong, Y., Maeng, S., & Jang, S. (2013). A learning progression for water cycle from fourth to sixth graders with ordered multiple-choice items. Journal of Korean 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 the Korean Association for Science Education, 34(5), 437-447.

Song, S.-H., Park, K.-S., Kim, D.-J., Kim, E.-S., & Park, K.-T. (2005). A comparative analysis of contents levels required by high school Chemistry II textbooks by the 7th national education curriculum and cognitive levels of 12th grade students. Journal of the Korean Chemical Society, 49(1), 96-104.

Stevens, S. Y., Delgado, C., & Krajcik, J. S. (2010). Developing a hypothetical multi-dimensional learning progression for the nature of matter. Journal of Research in Science Teaching, 47(6), 687-715.

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

Wilson, M. (2009). Measuring progressions: Assessment structures underlying a learning progression. Journal of Research in Science Teaching, 46(6), 716-730.

Wiser, M., Smith, C. L., & Doubler, S. (2012). Learning progression as tools for curriculum development: Lessons from the Inquiry project. In A. C. Alonzo, & A. W. Gotwals (Eds.), Learning progressions in science: Current challenges and future directions (pp. 359-403). Rotterdam: Sense Publishers, The Netherlands.

Won, J.-A., Lee, E.-K., & Paik, S.-H. (2008). Analysis of content structure problems through the textbooks of the elementary and middle school science and students' and teachers' perceptions on dissolution, light, and electricity units in the 7th National Science Curriculum. Korean Journal of Teacher Education, 24(4), 318-343.

Yang, C., Noh, T., Scharmann, L. C., & Kang, S. (2014). A study on the elementary school teachers' awareness of students' alternative conceptions about change of states and dissolution. The Asia-Pacific Education Researcher, 23(3), 683-698.