

RESEARCH ARTICLE

Niche Overlap and Proximity of Photosynthesis Concepts by Middle School Students' Cognitive Level

Hongyeon Kim¹, Soo-min Lim², Youngshin Kim^{3*}¹Daegu On-line School²Science Education Research Institute at Kyungpook National University³Kyungpook National University

중학생의 인지 수준에 따른 광합성 개념의 지위 중복 및 근접성

김홍연¹, 임수민², 김영신^{3*}¹대구온라인학교, ²경북대학교 과학교육연구소, ³경북대학교

ABSTRACT

The purpose of this study is to analyze the niche overlap and proximity of photosynthetic domain concepts according to the cognitive level of middle school students. For this, the subjects were 204 7th grade students. The cognitive level of middle school students was classified using the questionnaire used in GALT. After that, data on the concept relevance score and understanding level were collected using the concept relevance and understanding level questionnaire. The understanding level analysis framework and analyzed using the classification criteria modified and supplemented by Lim et al. The niche overlap of concepts was visualized using McPherson's square method using the concept relevance score and understanding level score, and the proximity between concepts was visualized using the multidimensional scaling method. The results of this study are as follows. First, students in the formal operational stage recognized science concepts closely as a result of learning, and the niche overlap between science concepts was high. Second, even after learning, niche overlap and proximity between concepts unrelated to the domain were presented, which differed according to cognitive levels. Third, the same concept had different niche overlap and proximity according to the domains, and there was a difference according to the cognitive level. Through the results of this study, it is necessary to connect and explain related scientific concepts for students with low cognitive levels. In addition, when the same concept is presented in different domains, it is expected that the properties and characteristics of each domain are clearly distinguished and taught.

Key words: Niche overlap, concept proximity, photosynthesis, cognitive level, middle school students



OPEN ACCESS

Brain, Digital, & Learning
2023, Vol. 13, No. 3, 197-214.

<https://doi.org/10.31216/BDL.20230012>

Received: June 15, 2023

Revised: June 20, 2023

Accepted: June 20, 2023

© 2023. Institute of Brain based Education,
Korea National University of Education



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Introduction

학생들에게 과학의 기본 개념을 이해시키는 것은 과학 교육의 주요 목표 중 하나이다. 학습자는 개념 학습 시에 개념들 간의 경쟁을 통해서 새로운 개념을 통합적으로 이해하게 된다(Southerland et al., 2006). 개념은 단독으로 존재하는 것이 아니라 개념들 간의 관계를 맺고 있기 때문에 학습자의 개념을 정확하게 이해하기 위해서는 학습자의 개념 생태(conceptual ecology)를 이해할 필요가 있다(Park & Lee, 2007). 개념 생태란 개념과 개인의 지적 환경 간의 관계를 의미한다. 개념 생태에 대한 이해를 통해 학생들이 가지게 된 개념의 배경 원인을 이해하고, 새로운 개념이 학생들의 지적 환경과의 관계를 통해 학습된다는 것을 제시하고 있다(Demastes et al., 1995).

학생들이 인지하고 있는 개념들은 독립적으로 존재하는 것이 아니라 관련 개념들 간의 밀접한 관련성 아래서 나름의 지위를 가지고 있다. 즉, 과학 개념은 학생들의 개념 생태 내에서 '생태적 지위(ecological niche)'를 차지하면서 발달해나간다. 이에 학생들이 지닌 개념의 생태적 지위를 파악하는 것은 개념 변화 학습 과정에 도움이 될 수 있다(Song & Chung, 2001). 다시 말해 교수-학습에 있어 학생들이 보유하고 있는 개념 생태의 특성을 파악하고, 고려하는 것은 새로운 개념을 획득하기에 어려운 요소를 없애려는 노력보다 더 효과적일 뿐 아니라 개념의 가소성이 있는 개념 변화 수업에 있어 도움을 줄 수 있는 것이다(Park, 2002; Southerland et al., 2006).

생태적 지위는 어떤 생물종이 그 생물 공동체 안에서 차지하고 있는 분포의 단위로 정의된다. 이러한 생태적 지위는 생태학 분야 외에도 많은 다양한 분야에서 접근 방식으로 활용되고 있다. 예를 들어 마케팅 분야(Milne & Mason, 1989), 동위원소의 생태적 지위(Newsome et al., 2007), 조직 생태학(Hong et al., 2021) 등 다양한 분야에서 생태적 지위 개념을 활용하여 접근하고 있다.

과학 교육 분야에서는 생명과학 개념(Jang & Kim, 2017; Jang & Kim, 2019; Jeong & Kim, 2011; Ko & Kim, 2016; Lim et al., 2013)과 화학 및 물리 개념(Park & Lee, 2007; Weber et al., 1989)에 대한 생태적 지위를 활용한 연구가 이루어졌다. 이 후 성별에 따른 개념의 생태적 지위 중복 및 개념 간 근접성에 대한 연구(Lim et al., 2014)가 이루어졌다. 하지만 이들 선행 연구에서는 학습자 특성에 따른 개념의 생태적 지위에 대해서는 분석이 이루어지지 않았다.

한편, 학습자의 특성 중에서 개념 획득과 과학적 사고에 가장 많은 영향을 미치고 있는 것 중의 하나가 학생들의 인지 수준이다(Kim et al., 2001). 학생들의 인지 수준이 학습과의 연관성에 관한 연구로는 인지 수준과 교과 내용과의 관계(Choi & Hur, 1987), 학습 전략 개발(Kang et al., 1998), 학습자 변인 분석(Kim et al., 2001), 과학 학습 개념의 수준 분석(Shim et al., 2002), 개념 수준 및 연계성 분석(Kim, 2017), 과학 문항의 내용 요소와 인지적 수준 분석(Shin & Kang, 2021) 등으로 다양하다. 이처럼 많은 선행연구에서 학습자의 인지 수준은 개념을 학습하는 방식에 영향을 미친다고 주장하고 있다. 이에 개념을 학습하는 방식 즉, 개념을 인지하고, 개념들 간의 관계를 구성하는 개념의 생태적 지위에도 학습자의 인지 수준이 영향을 미칠 것이라 유추할 수 있다. 이에 학습자의 인지 수준에 따른 개념의 생태적 지위를 분석할 필요성이 제기된다.

광합성은 생물의 기본적인 생명 현상인 물질대사를 이해하기 위한 기본 개념이므로 그 중요도가 매우 높다(Dimec & Strgar, 2017). 광합성은 여러 개념들 간의 연결로 이루어진 복합적인 생명과학 주제로 학생들이 이해에 어려움을 겪으며(Marmaroti & Galanopoulou, 2006; Riemeier & Gropengießer, 2008; Yenilmez & Tekkaya 2006), 오개념이 생기기 쉬운 개념이다. 이에 광합성에 관한 연구는 주로 광합성 개념에 대한 이해(Griffard

& Wandersee 2001; Krall et al., 2009)를 중심으로 이루어졌다. 또한 광합성 개념의 지위 중복(Jang & Kim, 2017; Jeong & Kim, 2011; Lee & Kim, 2012; Lim et al., 2015)에 대한 연구도 진행되었다. 그러나 이들 연구들 역시 학습자의 특성을 고려하지 않았다.

따라서 본 연구에서는 중학생의 인지 수준에 따른 광합성 관련 개념들의 생태적 지위를 분석하였다. 개념의 생태적 지위는 개념의 지위 중복과 개념 간 근접성 변화로 구분하였다. 광합성 영역은 광합성 장소, 필요 물질, 생성 물질, 그리고 광합성에 영향을 미치는 환경 요인으로 구분하였다. 본 연구를 통해 인지 수준에 따른 광합성 영역에 대한 개념의 지도 방안을 제시할 수 있을 것이라 기대한다.

Research Methodology

Participants

연구대상은 D 광역시, J 시, G 군, K 군 소재 6개의 중학교 총 19개의 학급에 640명을 대상으로 하였다. 연구 대상에게 사전에 연구의 목적 및 방법을 설명하고, 참여에 동의한 학생들을 대상으로 연구를 진행하였다. 모든 연구대상들에게 인지 수준 검사지는 제시하였으나 개념 관련성 및 이해 수준 검사지에 있어서는 검사에 대한 피로감을 줄이고자 영역을 무작위적으로 제시하였다. 그 결과 연구대상들은 일부 영역에 대한 검사만을 시행하였다. 이렇게 수집된 자료 중에서 인지 수준 검사지, 개념 관련성 및 이해 수준 검사지 중 하나라도 빈칸이 있거나 개념 이해 수준과 관련성 점수를 동시에 기재하지 않은 436명의 결과를 제외한 204명을 대상으로 분석이 이루어졌다. 이들은 구체적으로 광역시 소재 남학생 94명, 여학생 32명, 시 소재 남학생 21명, 군 소재 남학생 35명, 여학생 22명이었다.

Questionnaire

Concept Relevance and Understanding Level Questionnaire

학생들이 인지하고 있는 광합성 관련 개념들 간의 관련성과 이해 수준을 측정하기 위한 검사지를 개발하였다. 검사지는 제시된 광합성 개념 간의 관련된 정도를 수치화된 점수 1-30점으로 표시하도록 하였다. 그리고 각 영역에 대한 이해 수준을 알아보기 위해 학생들이 알고 있는 과학적 지식과 생각을 문장으로 작성하도록 하였다.

먼저 광합성 영역은 Lim et al. (2012)의 선행연구를 바탕으로 광합성 장소, 필요 물질, 생성 물질, 그리고 광합성에 영향을 미치는 환경 요인으로 분류하였다. 각각의 영역에서 제시한 개념은 선행 연구(Lee & Kim, 2012; Lim et al., 2015)를 바탕으로 각각 5-8개의 개념을 제시하였다(Table 1).

Table 1. Concepts by domain related to photosynthesis unit

Domains	Concepts
Place of photosynthesis	guard cell, H ₂ O, chloroplast, CO ₂ , leaf, palisade parenchyma, spongy parenchyma, light
Products of photosynthesis	H ₂ O, O ₂ , chloroplast, CO ₂ , light
Reactants of photosynthesis	starch, H ₂ O, O ₂ , CO ₂ , glucose, light
environmental factors	H ₂ O, light intensity, O ₂ , temperature, CO ₂ , light

GALT (The Group Assessment of Logical Thinking)

인지수준 검사지는 Roadranga et al. (1983)에서 활용된 검사도구로 보존 논리, 비례 논리, 변인 통제 논리, 확률 논리, 상관관계 논리, 조합 논리로 구성되어 있다. 각 논리별로 2개씩 총 12문항으로 구성되어 있으며, 1-10번까지는 질문과 질문에 답한 이유를, 11-12번은 가능한 모든 경우의 수를 기재하도록 하고 있다. 연구대상들의 구체적인 인지수준은 Table 2와 같다.

Table 2. Composition of participants by cognitive stage of development

Domains	Stage			Total
	Concrete operational	Transitional	Formal operational	
Place of photosynthesis	96	77	16	189
Products of photosynthesis	94	76	24	194
Reactants of photosynthesis	86	64	22	172
environmental factors	92	47	28	167

Framework of Understanding Level

이해수준 분석 틀은 Simpson & Marek(1988)이 개발하고, Lim et al. (2012)이 수정 및 보완한 분류기준을 활용하였다. 학생들이 알고 있는 언어로 진술한 개념은 올바른 이해(Sound Understanding, SU), 부분적인 이해(Partial Understanding, PU), 잘못된 이해를 포함하는 부분적 이해(Partial Understanding with Misunderstanding, PM), 완전히 잘못된 이해(Complete Misunderstanding, CM) 그리고 무응답(No Response, NP)의 5가지로 구분하였다. 개발된 이해 수준 분석 틀은 과학교육전문가 6인과 생물교육 박사과정 1인에게 내용 타당도를 의뢰한 결과 하위 문항들의 타당도는 0.83~0.86이었다.

Data Analysis

Data Collection and Data Analysis

먼저 GALT지를 이용하여 학생들의 인지 수준을 검사하였으며, 개념 관련성 및 이해수준 검사지를 이용하여 개념의 관련성 점수와 이해 수준에 관한 자료를 수집하였다. 검사는 실제 수업을 담당하는 과학 교사의 감독 하에 진행되었다.

GALT지를 이용한 학생들의 인지 수준 검사는 광합성 수업을 시작하기 전에 실시되었다. 검사를 위한 충분한 시간을 제공하였고, 최대 25분에 거쳐 진행되었다. 개념의 관련성 및 이해 수준 검사는 광합성 관련 수업을 하기 전과 후 2회에 거쳐 수행되었다. 각각의 검사는 최대 20분 간 이루어졌다.

학생들의 인지 수준에 대한 검사는 1~10번까지는 정답 뿐 아니라 이유까지 모두 정확한 경우 1점, 그 외의 경우는 0점으로 하였으며, 11~12번은 모든 사례를 제시한 경우 1점, 그 외의 경우는 0점으로 하였다. 이때 12개 문항 중 맞은 개수가 4개 이하면 구체적 조작 단계, 5~7개면 과도기, 8~12개면 형식적 조작 단계로 구분하였다.

개념의 관련성 점수는 학생들이 설문지에 응답한 1~30점 범위의 값으로 하였다. 이해 수준 점수는 이해 수준 분석틀에 기초하여 올바른 이해인 경우 5점, 부분적인 이해인 경우 4점, 잘못된 이해를 포함하는 부분적 이해인 경우 3점, 완전히 잘못된 이해인 경우 2점, 그리고 무응답인 경우 1점으로 채점하였다.

Visualization

개념의 지위 중복은 개념의 관련성 점수와 이해 수준 점수를 이용하여 McPherson (1983)의 사각형 법으로 시각화하였다. 이를 위해 Excel 프로그램을 활용하여 X축은 광합성 각 영역과 개념과의 관련성 점수(x)의 평균과 표준편차의 범위($\bar{x} - s_x$, $\bar{x} + s_x$)를 나타내었고, Y축은 개념의 이해 수준 점수(y)의 평균과 표준편차의 범위($\bar{y} - s_y$, $\bar{y} + s_y$)를 나타내었다(Jeong & Kim, 2011).

개념 간의 근접성은 다차원척도법을 활용하였다. 이해 수준 점수와 개념 관련성 점수 평균을 구한 후 PASW Statistics 18 프로그램의 상관분석 중 거리 척도를 이용하여 유클리디안 거리를 구했다. 유클리디안 거리를 자료로 하여 PASW Statistics 18 프로그램의 척도 중 다차원 ALSCAL 척도를 이용하여 인지도를 작성하였다. 다차원 척도 분석법은 조사 대상의 관계를 하나의 인지도에 나타내는 방법이다(Richardson, 1938). 이는 대상의 근접성이 높을수록 다차원 공간에서 가깝게 나타내어 주어 근접성을 시각화하는 것이다.

Results

Niche Overlap

Place of Photosynthesis

광합성 장소 영역에서 인지 수준별 수업 전과 후의 개념에 대한 지위 중복은 Fig. 1과 같다. 수업 전 광합성 장소 영역에 대한 개념은 전반적으로 관련성 점수와 이해 수준 점수가 낮은 좌측 하단으로 주로 위치하고 있다.

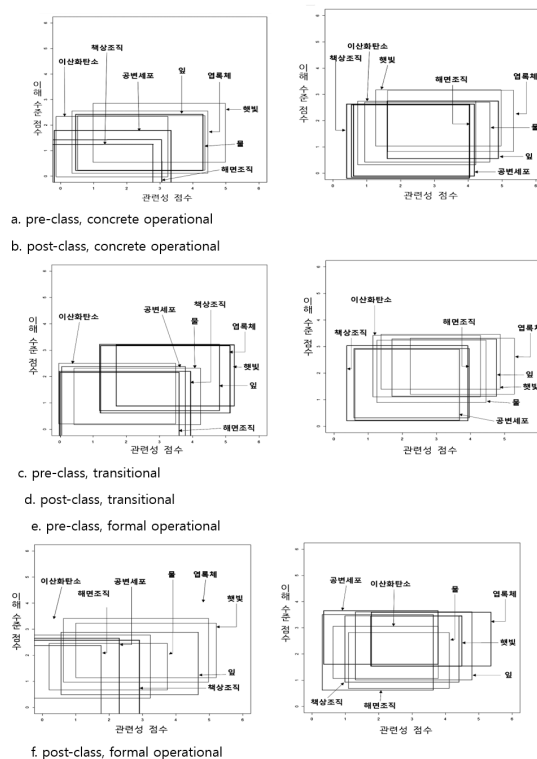


Fig. 1. Niche overlap of concepts on 'place of photosynthesis' by cognitive level

수업 전에는 초등학교에서 이미 학습한 익숙한 개념인 햇빛, 잎, 엽록체, 물을 중심으로 개념 간 지위 중복이 주로 이루어지고 있다. 반면 책상조직, 해면조직, 공변세포와 같이 중학교에서 처음 접한 개념의 경우에는 관련성 점수와 이해 수준이 모두 낮게 나타나고 있었다.

수업 후에는 전반적으로 모든 개념들의 관련성 점수와 이해수준이 상향되었다. 또한 수업을 통한 책상조직, 해면조직, 공변세포 개념과 엽록체나 잎과의 지위 중복이 증가하였으나 광합성 장소 관련 개념과의 햇빛 개념 사이의 지위 중복은 줄어든 것을 확인할 수 있었다. 이는 수업의 결과 개념에 대한 관련성 및 이해의 향상 효과가 있음을 나타내는 것으로, 자극과 반응 관련 개념에 대한 연구 결과(Kim, 2009)와도 일치하는 결과이다.

인지 수준별로 구체적 조작기의 학생들은 수업의 결과 이산화탄소, 물, 잎, 햇빛 개념에서 지위 중복이 증가하였고, 과도기 학생들은 수업의 결과 공변세포, 책상조직, 해면조직의 지위 중복이 증가하였다. 형식적 조작기 학생들은 수업 전에는 햇빛, 엽록체, 잎의 중복이 높게 나타났으나 수업 후에 오히려 이들의 지위 중복이 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

인지 수준에 관계없이 모든 조작기의 학생들이 엽록체를 비롯한 광합성 장소 관련된 개념의 이해 수준과 관련성 점수가 수업 후에 증가하는 양상을 보여주었다. 이를 통해 수업의 결과 학생들의 광합성 관련 개념에 대한 이해 수준이 높아진다는 Lim et al. (2012)의 선행 연구와 동일한 결과를 확인할 수 있다. 그러나 구체적 조작기 학생들은 과도기나 형식적 조작기 학생들에 비해서는 증가하는 정도가 낮게 나타났으며, 특히 수업에 따른 이해 수준의 차이는 변화가 매우 적었다. 이처럼 구체적 조작기 학생들의 이해를 위한 구체적인 지도 방안이 요구된다.

Reactants of Photosynthesis

필요물질 영역에서 인지 수준별 수업 전과 후의 개념에 대한 지위 중복은 Fig. 2와 같다. 필요물질 영역에 대한 개념은 인지 수준에 관계없이 수업의 결과 개념 간의 중복이 증가하는 형태를 보이고 있다. 특히, 구체적으로 관련성 점수 뿐 아니라 이해 수준도 높아지고 있음을 확인할 수 있다.

구체적 조작기 학생들은 수업의 결과 이산화탄소, 물, 햇빛, 엽록체의 관련성 점수와 이해 수준이 높아졌으며, 이들 개념 간의 중복이 증가하는 모습을 보이고 있었다. 과도기와 형식적 조작기 학생들에서도 마찬가지로 이산화탄소, 물, 엽록체의 개념 간 중복이 증가하고 있었다. 그러나 산소 개념의 경우 모든 인지 수준에서 공통적으로 다른 개념들과의 중복이 낮게 나타나고 있었는데, 이는 광합성 결과 생성되는 물질인 산소를 필요물질과는 명확하게 구분하고 있음을 보여주는 결과라 하겠다.

Products of Photosynthesis

생성물질 영역에서 인지 수준별 수업 전과 후의 개념에 대한 지위 중복은 Fig. 3과 같다. 수업의 결과 모든 개념에 대한 관련성 점수 및 이해 수준이 상승하는 것을 확인할 수 있었다. 그 중에서도 이해 수준의 상승 정도는 형식적 조작기에서 가장 두드러지게 나타났다.

구체적 조작기와 과도기 학생의 경우에는 수업 전과 후 모두에서 생성물질 영역에 제시된 대부분의 개념이 한 곳에 모여 지위 중복을 이루고 있었다. 이는 관련성 점수와 이해 수준이 전반적으로 상승하고 있지만 생성물질에 해당하는 포도당, 녹말, 산소와 같은 개념들에 대해 명확하게 인지하지 못하는 것을 나타낸다.

반면 형식적 조작기 학생의 경우는 수업 전에 이산화탄소와 물 두 개념 간의 지위 중복과 녹말, 산소, 빛, 포

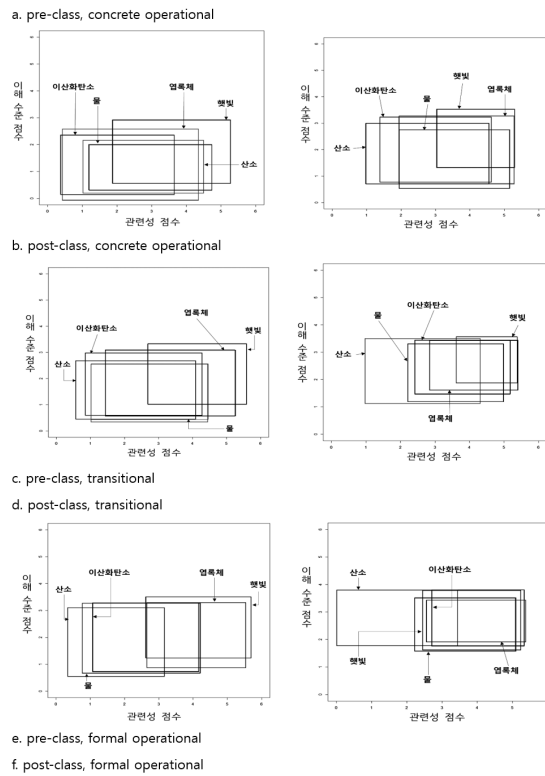


Fig. 2. Niche overlap of concepts on ‘reactants of photosynthesis’ by cognitive level

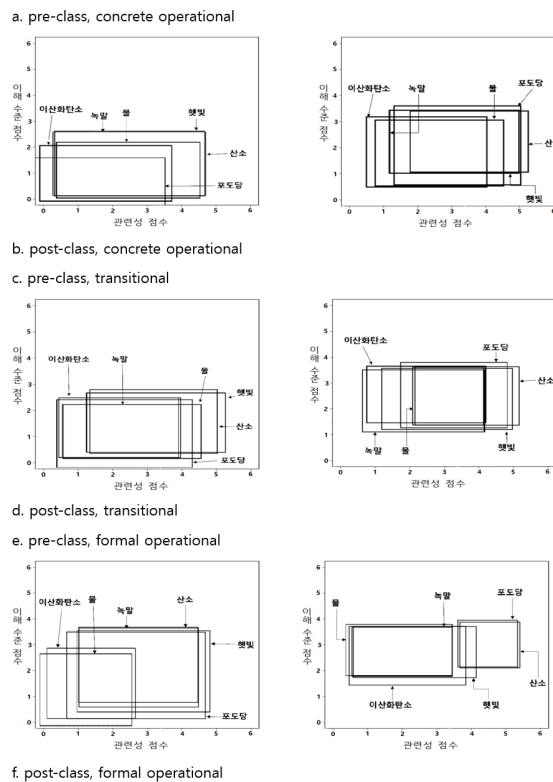


Fig. 3. Niche overlap of concepts on ‘products of photosynthesis’ by cognitive level

도당이라는 네 가지 개념 사이의 중복이 확연히 분리되고 있다가 수업 후에 이산화탄소, 물, 녹말, 빛 개념 간의 중복 및 포도당, 산소 개념 간의 중복으로 확연히 나누어지고 있었다. 즉, 녹말과 빛 개념이 수업의 결과 이산화탄소, 빛, 물과의 중복이 높아지고, 포도당과 산소 개념과의 중복이 낮아지는 형태로 변형되고 있었다. 특히, 녹말과 물 개념의 경우에는 포도당과 산소 개념과는 전혀 중복이 이루어지지 않고 있었다. 이를 통해 형식적 조작기 학생들의 경우에는 생성물질에 대해 포도당과 산소에 대해 명확히 구분지어 이해하고 있음을 확인할 수 있다.

수업의 결과 모든 인지 수준의 학생들에게서 녹말 개념의 지위 면적이 공통적으로 감소하였는데, 이러한 현상은 형식적 조작기 학생들에게서는 더욱 두드러지게 나타났다. 이는 학습에 의한 효과를 나타내는 것으로 학생들이 광합성에 대한 생성물질 중 녹말 개념에 대해 더욱 명확하게 이해하고 인지하기 때문으로 생각할 수 있다. 그러나 또 다른 광합성 생성물질에 해당하는 녹말 개념이 포도당 개념과의 중복은 오히려 감소한 것으로 나타나 녹말과 포도당 개념 간의 관계에 대한 이해는 부족한 것을 확인할 수 있다. 이는 녹말 개념이 광합성 산물을 확인하는 과정에서만 일부 다루어질 뿐 광합성 결과 생성된 포도당과 녹말의 관계에 대해서는 자세히 언급하지 않기 때문으로 포도당이 녹말로 변형되어 저장되는 과정에 대해 보다 자세하게 언급될 필요성이 요구된다.

Environmental Factors

광합성에 영향을 미치는 환경요인 영역에서 수업 전과 후의 인지 수준별 개념에 대한 지위 중복은 Fig. 4와 같다. 수업의 결과 개념들의 지위가 전반적으로 오른쪽 상단으로 이동한 것으로 보아 개념들 간의 관련성 점

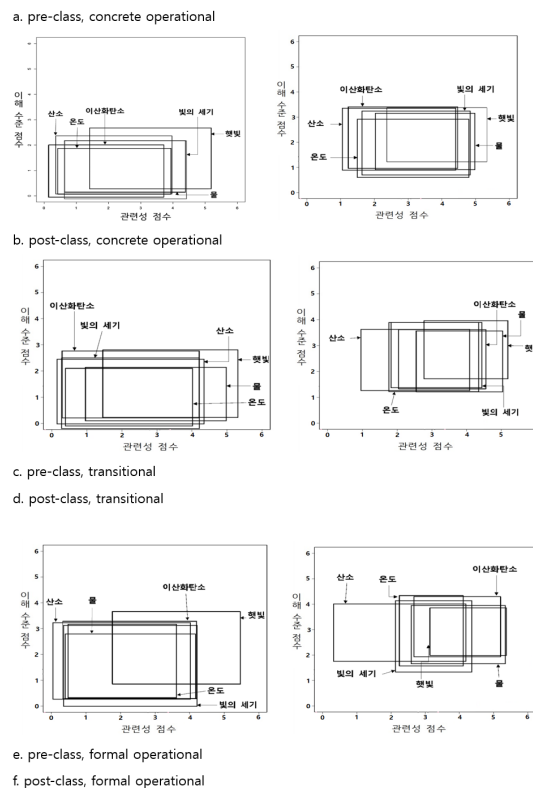


Fig. 4. Niche overlap of concepts on 'environmental factors' by cognitive level

수 및 이해 수준은 향상된 것으로 나타났다.

구체적으로 인지수준별 지위 중복을 살펴보면, 인지수준에 관계없이 모든 학생들이 학습 전에 이산화탄소와 산소 개념 간의 지위 중복이 이루어지고 있었다. 이처럼 수업 전에 인지수준에 관계없이 모든 학생들이 이산화탄소와 산소 개념 간의 지위 중복을 제시하는 이유는 생태계에서 사용되는 생물체를 둘러싼 것을 환경요인이라 정의한 부분에서 혼동을 일으킨 것으로, 광합성에 영향을 미치는 환경요인 영역의 과학 개념과는 다소 거리가 있는 일반적인 자연 현상의 개념으로 제시한 것으로 사료된다(Jeong & Kim, 2011).

수업이 진행된 후에 구체적 조작기의 학생들은 산소, 온도 개념을 포함하여 모든 개념들 사이의 지위 중복이 증가하는 형태로 변화하였다. 반면 과도기의 학생들의 경우에는 온도, 이산화탄소, 물, 햇빛, 빛의 세기에 대한 개념의 중복은 높아지고, 산소 개념의 중복은 상대적으로 줄어드는 경향을 보이고 있다. 형식적 조작기 학생의 경우 역시 수업의 결과 산소 개념의 다른 개념들과의 지위 중복이 감소하는 형태를 나타내고 있다. 이를 통해 과도기와 형식적 조작기 학생들의 경우에는 수업의 결과 산소 개념을 이산화탄소, 물, 햇빛, 빛의 세기, 온도와 같은 실제 광합성에 영향을 미치는 환경요인에 대한 개념들과 분리하여 인식하는 것을 확인할 수 있으며, 이는 과도기 학생들에 비해서 형식적 조작기의 학생들에게서 더욱 확연하게 나타나고 있었다. 이는 수업의 결과 광합성에 영향을 미치는 환경요인에 대한 이해도가 증가되고 있음을 나타내는 결과이며, 인지 수준이 높은 학생일수록 이해도가 더욱 크게 증가하고 있음을 보여주는 결과라 하겠다.

Concept Proximity

Place of Photosynthesis

광합성 장소 영역에서 인지 수준별 수업 전과 후의 개념 간 근접성의 차이는 Fig. 5와 같다. 구체적 조작기 학생들은 수업 전에 잎, 물, 공변세포, 이산화탄소가 중앙에 근접해 있으며, 엽록체, 햇빛, 책상조직, 해면 조직 개념들은 서로 멀리 떨어져 존재한다. 그러나 수업의 결과 전반적으로 개념들이 근접한 형태로 변화된다. 그러나 오히려 수업 전에 중앙에 근접하여 제시되던 잎, 물 개념은 멀리 벗어나고 엽록체, 햇빛, 책상조직, 공변세포, 이산화탄소, 해면조직 개념들이 서로 근접하는 형태도 변화되게 된다. 이는 수업을 통해 광합성이 일어나는 장소에 해당하는 엽록체, 책상조직, 해면조직, 공변세포에 대한 개념들 간의 근접성을 인지하게 되는 것을 확인할 수 있다.

과도기 학생들의 경우에는 수업 전에는 이산화탄소와 햇빛, 잎과 해면조직, 공변세포와 엽록체, 그리고 책상조직이 근접하고 있으며, 물의 경우에는 다른 개념들과 멀리 떨어져서 존재한다. 수업 후에는 물, 책상조직 개념은 다른 개념들과 더욱 멀어지게 되며, 공변세포, 엽록체, 잎, 이산화탄소 개념들이 서로 근접하게 되며, 햇빛, 해면조직이 서로 근접하게 된다. 형식적 조작기 학생들의 경우에는 수업 전에는 엽록체와 잎, 해면조직과 공변세포가 근접하여 나타나다가 수업의 결과 해면조직, 잎 개념이 근접하게 되고, 물, 엽록체, 공변세포, 이산화탄소 개념들이 근접하게 나타난다.

광합성 장소 영역에 대한 근접성을 살펴보면, 중학생들은 물, 이산화탄소, 엽록체와 같은 광합성 정의와 관련된 개념들 간의 근접성이 높아지고 있는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 형식적 조작기 학생들에게서 두드러지게 나타나고 있었다(Fig. 5f). 이는 교과서 차시명이 광합성 장소이지만 광합성 장소보다는 광합성 정의에 중점을 두고 내용이 서술되어 있으며, 수업 역시 광합성 정의에 초점을 맞추어 수업이 진행되기 때문으

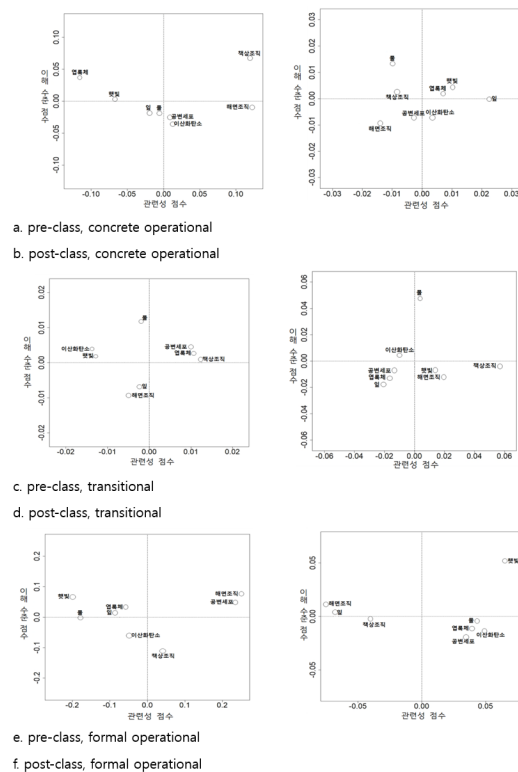


Fig. 5. Concept proximity on 'place of photosynthesis' by cognitive level

로 사료된다. 그리고 수업을 통해서 학생들은 물, 엽록체, 이산화탄소의 광합성 정의와 관련된 개념이 서로 근접하여 덩이지식화(Lim, 2019)되어 인지하고 있음을 확인할 수 있다.

Reactants of Photosynthesis

필요물질 영역에서 인지 수준별 학생들의 개념 간 근접성은 Fig. 6과 같다. 구체적 조작기 학생들은 수업 전에 이산화탄소와 햇빛 개념이 가장 근접하게 제시되고 있으며, 산소, 물 개념도 근접하게 제시된다. 다만 엽록체 개념은 멀리 떨어져 제시되고 있었다. 수업 후에는 이산화탄소는 엽록체 개념과 근접하게 이동하였으며, 물은 산소와 근접하게 제시되며, 햇빛이 동떨어진 위치에 존재한다. 햇빛 개념의 경우 구체적 조작기의 학생들이 수업 후에 햇빛에 대한 이해 수준과 관련성 점수가 증가한 것으로 보아(Fig. 2b) 광합성에 필요한 물질로서 햇빛에 대한 이해는 증가하였지만 물이나 이산화탄소와 같은 다른 관련 개념들과는 연관지어 인지하지 못한 것으로 생각된다.

과도기 학생의 경우에는 수업 전에 이산화탄소, 산소, 물이 근접하여 제시되고 있었는데 수업 후에는 산소 대신에 이산화탄소, 엽록체, 물이 근접하게 제시되는 형태로 변화되었다. 이를 통해 과도기 학생들은 수업 전에는 광합성에 필요한 물질인 공기 성분으로 이산화탄소가 필요한지 산소가 필요한지 명확히 구분하지 못하지만 수업을 통해 이산화탄소를 명확히 인식하게 되는 것을 확인할 수 있다. 또한 광합성이 일어나는 장소인 엽록체와 광합성 필요물질인 이산화탄소가 근접하고 있어서 이를 함께 연결하여 인식하는 것으로 사료된다.

형식적 조작기 학생의 경우에는 수업 전에 엽록체, 이산화탄소, 산소가 근접하여 제시되고 있다가 수업 후

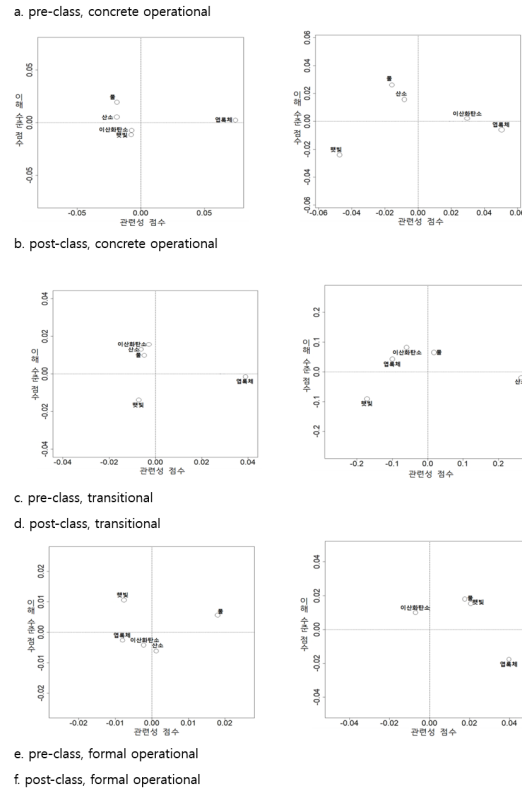


Fig. 6. Concept proximity on 'reactants of photosynthesis' by cognitive level

에 물과 햇빛이 근접하고, 나머지 개념들은 근접성이 떨어지는 형태로 변형되었다. 또한 수업 전에 제시되던 나타났던 산소 개념은 수업 후에 근접성이 너무 낮아 제시되지 않았다. 이는 수업의 결과 형식적 조작기의 학생들이 산소를 광합성에 필요물질로 전혀 인식하고 있지 않았기 때문으로 사료된다.

수업 전 학생들은 광합성에 필요물질로 산소와 이산화탄소를 구분하여 인식하지 못하고 있었으나 수업의 결과 산소와 이산화탄소를 구분하여 인식하고 있었다. 이는 필요물질 영역의 지위 중복(Fig. 2)에서도 수업 후에 산소가 다른 개념들과의 중복이 감소하는 경향을 나타내는 것과 일치한다고 할 수 있다. 광합성에 필요한 물질에 대한 과학적 개념인 물, 햇빛, 이산화탄소 사이의 근접성은 형식적 조작기 학생들에게서 가장 높게 나타나고 있었으며, 구체적 조작기 학생들에게서 가장 낮게 나타나고 있었다. 이처럼 인지수준이 높을수록 수업 후에 관련된 과학 개념들을 정확하게 연결하여 인지하는 것으로 보아 수업의 효과가 더욱 높음을 확인할 수 있었다.

Products of Photosynthesis

생성물질 영역에서 인지 수준별 학생들의 개념 간 근접성은 Fig. 7과 같다. 구체적 조작기 학생들은 수업 전에 산소와 햇빛, 포도당과 이산화탄소, 물과 녹말 개념이 서로 근접하여 있다. 수업의 결과 녹말과 포도당, 물과 햇빛 개념이 근접한 형태로 변화된다. 이를 통해 구체적 조작기 학생들은 수업을 통해서 광합성의 생성물질로서 녹말과 포도당에 대한 개념을 관련지어 인지하게 되는 것으로 사료된다.

과도기 학생들은 수업 전에 모든 개념들이 적절한 거리를 유지한 채 특별히 연관되어 근접한 개념들이 존재하지 않았다. 수업 후에 물과 이산화탄소 개념, 산소와 포도당 개념 간의 근접성이 높아지면서 세포 호흡

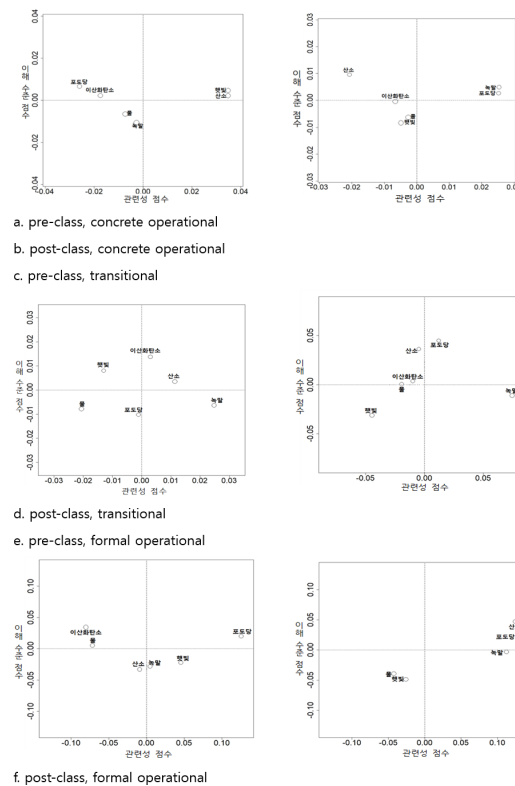


Fig. 7. Concept proximity on ‘products of photosynthesis’ by cognitive level

과 관련된 개념들인 이산화탄소, 산소, 포도당, 물 개념이 근접하는 형태로 변화되었다.

형식적 조작기 학생들은 수업 전은 햇빛이 산소와 녹말 개념, 이산화탄소와 물 개념이 서로 관련지어 인지되고 있다. 수업 후에는 산소와 포도당, 녹말 개념 간의 근접성이 높아졌으며, 물과 햇빛 개념 간의 근접성도 높아졌다. 이산화탄소 개념의 경우에는 수업 후에 다른 개념들과의 근접성이 매우 낮아 제시되지 않았다. 이를 통해 수업의 결과 이산화탄소는 생성물질이 아님을 확실하게 인지하게 되었음을 확인할 수 있다.

수업 후 광합성 생성물질인 산소와 포도당을 관련지어 인지하는 경우는 과도기와 형식적 조작기 학생들로 과도기 학생들은 산소와 포도당이, 형식적 조작기는 산소, 포도당, 녹말이 근접하여 제시되고 있었다. 산소와 포도당이 수업 후에 근접성이 높아지는 것은 지위 중복에서도 유사한 형태로 제시되고 있었다(Fig. 3). 형식적 조작기 학생들은 수업을 통해 광합성 생성물질인 산소와 포도당 뿐 아니라 포도당이 녹말로 전환되는 것까지 인식하고 있지만 구체적 조작기와 과도기 학생들은 녹말과 포도당의 관계까지는 명확하게 이해하지 못하는 것을 유추할 수 있다.

Environmental Factors

광합성에 영향을 미치는 환경요인에서 인지 수준별 학생들의 개념 간 근접성은 Fig 8과 같다. 구체적 조작기 학생들은 수업 전에 물과 산소, 빛의 세기와 햇빛 개념이 근접하여 제시되고 있는 반면 온도와 이산화탄소는 다른 개념들과 근접하지 않는 위치에 존재하고 있었다. 수업의 결과 이산화탄소, 산소, 빛의 세기 개념이 근접하는 형태로 변화되었으며, 물, 햇빛, 온도 개념들은 분리되어 제시되고 있었다.

과도기 학생들은 수업 전에는 햇빛, 이산화탄소, 빛의 세기 개념이 근접하여 제시되고 있었으며, 온도, 물,

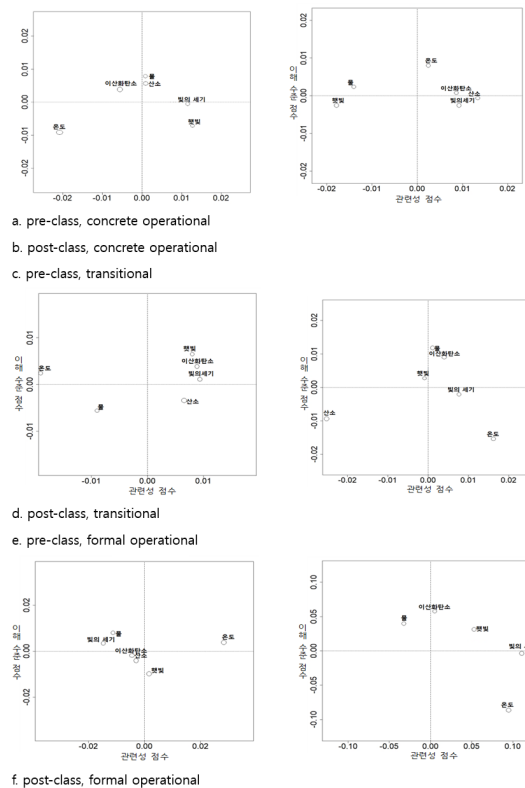


Fig. 8. Concept proximity on 'environmental factors' by cognitive level

산소 개념은 다른 개념들과 먼 거리에 제시되고 있었다. 수업 후에 산소는 다른 개념들과 거리가 더 멀어지는 형태로 변화되었고, 물, 이산화탄소, 햇빛 개념들이 근접하여 제시되고 있었다.

형식적 조작기 학생들은 수업 전에 빛의 세기와 물, 이산화탄소와 산소 개념이 근접하게 제시되고 있었으며, 온도 개념은 다른 개념들과 멀리 존재하고 있었다. 수업의 결과 이산화탄소, 빛의 세기, 물, 햇빛의 개념들이 근접성이 높지 않은 형태로 제시되고 있었다. 여전히 온도는 다른 개념들과 멀리 떨어져 존재하고 있었다. 해 있다. 수업 전 온도는 다른 개념과 거리가 있었다. 이처럼 수업의 결과 광합성에 영향을 미치는 환경 요인에 해당하는 이산화탄소, 빛의 세기, 온도가 서로 떨어져 제시되고 있었다. 이를 통해 광합성에 영향을 미치는 환경요인 영역의 경우에는 수업의 결과 과학적 개념인 햇빛, 빛의 세기, 온도, 이산화탄소의 개념들은 근접하게 인지하지 않고 각각의 환경요인을 분리하여 인지하고 있는 것으로 사료된다.

Discussion

지금까지 중학생들의 인지수준에 따라 광합성 장소, 필요물질, 생성물질, 광합성에 영향을 주는 환경요인에 대한 개념의 지위 중복 및 근접성을 분석하였다. 수업의 결과 각 영역의 주요 개념에 대한 학생들의 이해 수준은 높아졌다. 이는 개념의 지위 중복과 근접성에 대한 선행연구(Jeong & Kim, 2011; Lim et al., 2013; Yeo et al., 2011)와 일치하는 결과이다. 또한 개념의 근접성을 통해 학습 후에 각 영역의 주요 과학 개념들이 더욱 근접하게 위치하는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 학생들은 학습을 통해 영역과 관련된 과학 개념들에 대한 이해 수준의 증가 뿐 아니라 관련성을 높게 인식하는 것을 확인할 수 있었다.

학생들은 학습의 결과 광합성에 대한 각각의 영역에 있어서 관련 개념들을 명확하게 구분하여 인지하는 경향이 나타났다. 예를 들어 필요물질 영역에서 모든 인지 수준의 학생들에게서 이산화탄소, 물, 햇빛, 엽록체 개념의 지위 중복이 증가하였으나 광합성 결과 생성되는 물질에 해당하는 산소 개념은 이들 개념들과의 지위 중복이 감소하였다(Fig. 2). 생성물질 영역에서도 역시 산소, 포도당 개념이 다른 개념과의 지위 중복이 감소하는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 3). 이처럼 개념 간 지위 중복이 감소하는 결과는 관련된 과학 개념들을 구분하여 인지한다는 Jeong & Kim (2011)의 연구와 일맥상통하는 결과이다.

이산화탄소, 물, 햇빛, 산소 개념과 같이 광합성에 대한 4가지 영역에서 공통적으로 포함되어 있는 개념들은 서로 지위가 중복되게 나타나고 있었다. 이는 대부분의 학생들이 각각의 영역 내에서 이들 개념의 속성을 정확히 구분하여 인지하지 못했기 때문으로 사료된다(Marmaroti & Galanopoulou, 2006). 인지수준별로 살펴보면 형식적 조작기 학생들의 경우 다른 수준의 학생들에 비해 지위 중복이 더 적은 것을 확인할 수 있었다. 이는 인지수준에 따른 개념의 범주화 및 학습 방식의 차이로 인해 나타나는 현상으로 사료된다(Kempa, 1991; Kim et al., 2003).

광합성 관련 4가지 영역 중에서 개념의 지위 중복이 가장 많이 나타난 영역은 광합성에 영향을 미치는 환경요인이고, 그 다음으로 광합성 장소, 생성물질, 필요물질 영역 순으로 나타났다. 이는 다른 영역에 비해 광합성에 영향을 미치는 환경요인 영역에서 인지수준별로 개념이 중복되게 제시되는 과학 개념이 많았기 때문이다(Waheed & Lucas, 1992)으로 그 중에서도 형식적 조작기 학생들에게서 구체적 조작기와 과도기 학생들에 비해 수업 전과 후의 개념의 지위 중복이 유의미하게 많이 나타나고 있었다. 이는 형식적 조작기 학생들이 수업의 결과 광합성 관련 개념들을 더욱 명확하게 이해하게 되어 광합성 관련 각각의 영역 사이의 개념들 간의 관련성을 명확히 표현(Bransford et al., 2000)할 수 있었기 때문으로 사료된다. 이는 형식적 조작기 학생들이 다른 인지 수준의 학생들에 비해서 과학 성취도가 우수한(Kim et al., 2002; Vaiopoulou, 2023) 이유 중의 하나로 사료된다.

Conclusion

본 연구에서는 중학생들의 인지수준에 따른 수업 전과 후의 광합성 관련 개념들에 대한 지위 중복 및 개념 간 근접성의 변화를 살펴보았다. 본 연구의 결론은 다음과 같다.

첫째, 형식적 조작기 학생들은 학습의 결과 광합성 관련 과학 개념들을 근접하게 인식하고, 관련 과학 개념들 사이의 지위 중복도 높게 인지하고 있었다. 구체적으로 필요물질 영역에서는 관련 과학적 개념들과 광합성 산물인 산소와의 중복이 감소하였다. 광합성에 영향을 미치는 환경요인에서도 빛의 세기, 이산화탄소, 온도 개념의 지위 중복이 증가하였으나 과학적 개념이 아닌 산소 개념과는 지위 중복이 감소하였다. 이처럼 과학 개념들 간의 지위 중복은 증가하고, 관련 없는 개념들과의 지위 중복이 감소하는 현상은 과도기나 구체적 조작기의 학생들에 비해 형식적 조작기의 학생들에게서 더욱 두드러지게 나타나고 있었다.

개념 간의 근접성에서도 동일한 현상이 나타나고 있었는데, 필요물질 영역에서 형식적 조작기 학생들은 과학적 개념인 물과 빛 개념이 근접하여 제시되고 있었으나 과도기 학생들은 엽록체와 이산화탄소 개념이 근접한 형태로, 구체적 조작기 학생들은 개념들 간에 근접이 나타나고 있지 않은 형태로 제시되었다. 생성물질 영역에서도 형식적 조작기 학생들은 과학적 개념인 산소, 포도당, 녹말 개념이 근접하여 제시되고 있었으나

나 과도기 학생들은 산소와 포도당, 구체적 조작기 학생들은 녹말과 포도당이 근접하여 제시되고 있었다.

둘째, 학습 후에도 영역과 관련 없는 개념들 간의 중복 및 근접성은 제시되고 있었으며, 이러한 현상은 인지수준에 따라서 차이가 있었다. 구체적 조작기 학생들은 광합성 관련 영역별 개념들에 대해 명확한 분류가 되지 않아 수업 후의 지위 중복이나 근접성에 대한 변화가 다른 인지수준의 학생들에 비해 적게 나타났다. 이에 반해 형식적 조작기 학생들은 학습 후에 광합성 관련 영역별 개념들의 분류적 범주화가 명확히 나타났다.

셋째, 동일한 개념이 학습 내용에 따라서 다른 지위 중복과 근접성을 가지며, 인지수준에 따라서 차이가 있었다. 이산화탄소와 엽록체 개념은 광합성 장소와 필요물질 영역에서 모두 제시된다. 광합성 장소 영역에서는 이산화탄소와 엽록체 개념이 서로 근접하고 있다. 반면 필요물질 영역에서는 과도기 학생들은 이들 개념을 근접하게 제시하지만 형식적 조작기 학생들은 이들 개념을 근접하지 않게 분리하여 인지하고 있다. 개념들의 지위 중복을 살펴보면 형식적 조작기 학생들은 이들 개념 간 지위 중복이 많이 나타났으나 구체적 조작기 학생들은 다른 인지 수준에 비해 지위 중복이 적게 나타났다.

본 연구 결과를 통해 구체적 조작기 학생들처럼 인지수준이 낮은 학생들은 관련된 개념을 연결 짓지 못하거나 관련 없는 개념들을 연결하고 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 현상을 줄이기 위하여 좀 더 직접적으로 관련된 개념을 덩이 개념(chunk)으로 연결하여 제시하고, 설명할 필요성이 제기된다. 영역별로 관련된 개념들을 덩이 개념으로 제시함으로써 관련된 개념들 간의 지위 중복 및 근접성을 높이는 효과가 있을 것이라 기대한다. 또한 동일한 개념이 각각의 다른 영역에서 제시될 때에는 영역별 차이를 변별하기 위하여 영역에 따른 개념의 속성 및 특징을 명확하게 구분하여 지도할 필요가 있다.

Conflicts of Interest

The authors declared no conflicts of interest.

References

- Bransford, J., D., Brown, A. L., Cocking, R. R., Donovan, M. S. & Pellegrino, J. W. (2000). *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School* (Expanded ed.). Washington, D.C.: National Academy Press.
- Choi, B., & Hur, M. (1987). Relationships between the cognitive levels of students and understanding of concrete and formal science content. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 7, 19-32.
- Demastes, S., Good, G., & Peebles, P. (1995). Students' conceptual ecologies and the process of conceptual change in evolution. *Science education*, 79, 637. <https://doi.org/10.1002/sce.3730790605>
- Dimec, D. S., & Strgar, J. (2017). Scientific conceptions of photosynthesis among primary school pupils and student teachers of biology. *International Journal of Science Education*, 7, 49-68. DOI: 10.25656/01:12958
- Griffard, P. B., & Wandersee, J. H. (2001). The tow-tier instrument on photosynthesis: What does it diagnose? *International Journal of Science Education*, 23, 1039-1052. <https://doi.org/10.1080/09500690110038549>

- Hong, E., Koo, H., & Choi, J. (2021). A study on the sustainability of industry-university cooperation from the perspective of organizational ecology: Focusing on the case of H university research village operation and utilization of human capabilities. *Korean Journal of Human Resources Development*, 24, 1-29.
- Jang, H., & Kim, Y. (2017). An analysis of effect for grouping methods corresponding to ecological niche overlap of 7th graders' photosynthesis concepts. *Journal of Science Education*, 41, 195-212. DOI : 10.21796/jse.2017.41.2.195
- Jang, J., & Kim, K. (2019). Analysis of elementary revised education curriculum and development of an environmental ecology education program focused on ecological communities concepts. *Journal of Education Science*, 21, 133-160. DOI : 10.15564/jeju.2019.11.21.2.133
- Jeong, J., & Kim, Y. (2011). An approach of ecological niche to analysis of recognition of 5th grade elementary students for conception of photosynthesis. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 31, 513-527. DOI : 10.14697/jkase.2011.31.4.513
- Kang, S., Noh, J., & Park, J. (1998). A comparative analysis of the GALT full version and short version used in the science education researches *Journal of the Korean Association for Science Education*, 18, 399-413.
- Kempa, R. F. (1991). Students' learning difficulties in science: Causes and possible remedies. *Enseñanza de las Ciencias*, 9, 119-128.
- Kim, H. (2017). Analysis of concept level and connectivity of the genetic unit in the middle school science 3 and high school life science I textbooks. *School Science Journal*, 11, 302-313. DOI : 10.15737/ssj.11.3.201710.302
- Kim, W., Lee, M., & Lee, K. (2003). A comparative study of inductive and deductive instructional effects on the learning of population genetic concepts. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 23, 190-199.
- Kim, Y., Cho, E., & Chung, W. (2002). A study on influences of learning environment variables in elementary school student's science process skills. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 22, 1-11.
- Kim, Y., Chung, W., & Lee, J. (2001). The analysis of learn's variables affecting on scientific reasoning and science process skills. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 20, 1-7.
- Kim, Y. (2009). Analysis of 8th grade students' biology concepts for before and after being taught in "Stimulus and Reaction" unit. *Biology Education*, 37, 459-472. DOI : 10.15717/bioedu.2009.37.4.459
- Ko, H., & Kim, Y. (2016). An analysis of niche overlap in nervous system concepts of 9th grade students. *Brain, Digital, & Learning*, 6, 85-99.
- Krall, R. M., Lott, K. H., & Wymer, C. L. (2009). Inservice elementary and middle school teachers' conceptions of photosynthesis and respiration. *Journal of Science Teacher Education*, 20, 41-55.
- Lee, H., & Kim, Y. (2012). Analysis of concept's proximity of 7th grade students' photosynthesis concepts by the level of science attitude. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 32, 1524-1536. DOI : 10.14697/jkase.2012.32.10.1524
- Lim, S. (2019). An analysis of error types of solving the cell division problem based on semantic network analysis. *The Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction*, 19, 249-272.
- Lim, S., Kim, Y., Shin, A., & Kim, Y. (2015). Analysis on the change of niche overlap of elementary school students' photosynthesis concepts through instruction. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 34, 72-85. DOI : 10.15267/keses.2015.34.1.072
- Lim, S., Ko, H., Sohn, J., Kwon, D., & Kim, Y. (2014). An analysis of conceptual niche overlap and proximity of concepts related to sensory system according to gender differences. *Biology Education*, 42, 398-413. DOI : 10.15717/bioedu.2014.42.4.398

- Lim, S., Park, M., & Kim, Y. (2013). Analysis of concept's diversity and proximity for genetics by learning process in high school students. *Biology Education*, 41, 589-600. DOI : 10.15717/bioedu.2013.41.4.589
- Lim, S., Yoon, I., & Kim, Y. (2012). Analysis of level of understanding of 7th and 8th grade students on photosynthesis concepts by curriculum revision. *Biology Education*, 40, 179-194. DOI : 10.15717/bioedu.2012.40.2.179
- Marmaroti, P., & Galanopoulou, D. (2006). Pupils' understanding of photosynthesis: A questionnaire for the simultaneous assessment of all aspects. *International Journal of Science Education*, 28, 383-404. <https://doi.org/10.1080/09500690500277805>
- McPherson, M. (1983). An ecology of affiliation. *American Sociological Review*, 48, 519-532. <https://doi.org/10.2307/2117719>
- Milne, R., & Mason, H. (1990). An ecological niche theory approach to the measurement of brand competition. *Marketing Letters*, 1, 267-281.
- Newsome, D., del Rio, M., Bearhop, S., & Phillips, L. (2007). A niche for isotopic ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5, 429-436. <https://doi.org/10.1890/060150.1>
- Park, H. (2002). Case studies of preservice teachers' conceptual ecologies. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 22, 991-1009.
- Park, J., & Lee, S. (2007). A case study of middle school students' conceptual change on the concept of force: conceptual ecological approach. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 27, 595-611.
- Richardson, M. W. (1938). Multidimensional psychographics. *Psychological Bulletin*, 35, 659-660.
- Riemeier, T., & Gropengießer, H. (2008). On the roots of difficulties in learning about cell division: Process-based analysis of students' conceptual development in teaching experiments. *International Journal of Science Education*, 30, 923-939. <https://doi.org/10.1080/09500690701294716>
- Roadrangka, V., Yearly, R. H., & Padilla, M. J. (1983). The construction and validation of Group Assessment of Logical Thinking (GALT). Paper presented at the 56th annual meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Dallas.
- Shim, K., Park, J., Kim, H., Kim, J., Park, Y., & Ryu, H. (2002). Analysis of level of science learning concepts presented in life and matter fields of the 7th grade science textbooks. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 22, 432-443.
- Shin, Y., & Kang, K. (2021). Analysis of the content elements and cognitive level of the 'science' questions in high school graduate equivalency test (HSGET). *Journal of Education & Culture*, 27, 323-342. DOI : 10.24159/joec.2021.27.6.323
- Simpson, D., & Marek, A. (1988). Understandings and misconceptions of biology concepts held by students attending small high schools and students attending large high schools. *Journal of Research in Science Teaching*, 25, 361-374. <https://doi.org/10.1002/tea.3660250504>
- Song, H., & Chung, W. (2001). Characteristics of middle school students conceptual ecologies on the need of existence of living Things. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 21, 648-657
- Southerland, S. A., Johnston, A., & Sowell, S. (2006). Describing teachers' conceptual ecologies for the nature of science. *Science Education*, 90, 874-906. <https://doi.org/10.1002/sce.20153>
- Vaiopoulou, J., Tsikalas, T., Stamovlasis, D., & Papageorgiou, G. (2023). Neo-Piagetian predictors of students' performance in science learning: Evidence from primary education. *Behavioral Sciences*, 13, 64. <https://doi.org/10.3390/bs13010064>
- Waheed, T., & Lucas, A. (1992) Understanding interrelated topics: Photosynthesis at age 14+. *Journal of Biological Education*, 26, 193-199. <https://doi.org/10.1080/00219266.1992.9655272>

- Weber, H., Depew, J., Dyke, C., Salth, N., Schneider, D., Ulanowicz, E., & Wicken, S. (1989). Evolution in thermodynamic perspective: An ecological approach. *Biology and Philosophy*, 4, 373-405.
- Yenilmez, A., & Tekkaya, C. (2006). Enhancing students' understanding of photosynthesis and respiration in plant through conceptual change approach. *Journal of Science Education and Technology*, 15, 81-87.
- Yeo, C., Jeong, J., Lim, S., & Kim, Y. (2011). Analysis of ecological niche in 9th graders' genetic concepts after instruction. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 31, 680-693. DOI : 10.14697/jkase.2011.31.5.680

Authors' Information

Kim, Hongyeon : Daegu On-line School, Teacher, First Author

Lim, Soo-min : Science Education Research Institute at Kyungpook National University, Research Professor, Co-author

Kim, Youngshin : Kyungpook National University, Professor, Corresponding Author