

표집 시뮬레이션을 활용한 비형식적 통계적 추리의 교수-학습: 문화-역사적 활동이론의 관점에 따른 분석

서민주¹⁾ · 서유민²⁾ · 정혜윤³⁾ · 이경화⁴⁾

본 연구에서는 문화-역사적 활동이론에 기반하여, 표집 시뮬레이션을 활용한 비형식적 통계적 추리의 교수-학습 과정을 활동체계로 고려하고, 이러한 활동체계에서 발생하는 모순과 모순에 의한 변화를 확인하고자 하였다. 이를 위해 초등학교 5~6학년 20명을 대상으로 표집 시뮬레이션을 활용한 비형식적 통계적 추리에 대한 수업을 진행하고 활동체계를 분석하였다. 주제분석을 수행한 결과는 다음과 같다. 먼저, 규칙과 목표, 인공물과 목표 사이의 모순이 발생했으며, 이를 해결하는 과정에서 경험적 표집 분포의 시각화라는 새로운 인공물이 도입되는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 규칙과 인공물, 규칙과 주제 사이의 모순이 발생했으며, 이를 해결하는 과정에서 표본 평균들의 평균을 구하는 알고리즘이 새로운 규칙으로 도입되는 것을 확인할 수 있었다.

주요용어 : 문화-역사적 활동이론, 활동체계, 모순, 표집 시뮬레이션, 비형식적 통계적 추리

I. 서론

비형식적 통계적 추리는 형식적이고 통계적인 지식이 없는 학습자가 비형식적인 방법으로 표본으로부터 일반화된 결론을 이끌어내는 것을 의미한다(Makar, Bakker, & Ben-Zvi, 2011; Makar & Rubin, 2009; Pratt & Ainley, 2008). 선행연구들(예를 들어, Makar et al., 2011; Pfannkuch, 2011⁵⁾)은 비형식적 통계적 추리의 교수-학습을 지원하기 위해 학습자를 둘러싸고 있는 사회문화적, 물질적 요소에 주목할 것을 강조하였다. 비형식적 통계적 추리의 학습과 발전은 학습자의 사전 통계적 지식, 과제 맥락에 대한 지식과 같은 인지적 요소뿐만 아니라(Pfannkuch, 2011), 교실 상호작용, 시간이 지남에 따라 개발된 유용한 규범과 습관과 같은 사회문화적 요소, 그리고 탐구 기반의 환경에 적합한 기술적, 물리

* MSC2010분류 : 97C80

- 1) 서울대학교 대학원생 (ann3916@snu.ac.kr), 제1저자
- 2) 서울은빛초등학교 교사 (sym0517@snu.ac.kr)
- 3) 한국교육과정평가원 부연구위원 (hy0501@kice.re.kr)
- 4) 서울대학교 교수 (khmath@snu.ac.kr), 교신저자
- 5) Pfannkuch(2011, p.28)에서는 학습자의 비형식적 통계적 추리의 발전에 영향을 미치는 두 가지 주요 맥락을 '자료 맥락(data-contexts)'과 '학습 경험 맥락'(Learning-experience-contexts)으로 구분한 바 있다. '자료 맥락'은 문제와 관련된 실세계 맥락의 지식, 주어진 자료가 어떻게 수집되었는가에 대한 지식을 포함하는 반면, '학습 경험 맥락'은 학습자의 물질적, 역사적, 사회적 환경과 과제 계열, 과제의 스토리 등을 포함한다. 본 연구에서는 의미하는 '사회문화적, 물질적 요소'는 이러한 두 가지 유형의 맥락을 모두 포괄한다.

적 인공물과 같은 물질적 요소의 지원에 의해 발전되기 때문이다(Makar et al., 2011). 특히, 어린 학생들은 형식적인 지식과 절차에 대한 이해가 부족하다는 점에서, 연구자들은 어린 학생들이 인지적 요소뿐만 아니라 어떤 사회문화적, 물질적 요소들의 지원을 통해 표본으로부터 합리적인 추리를 할 수 있는지 이해하는 것이 필요하다(Makar et al., 2011). 그러나 비형식적 통계적 추리의 학습과 발전을 설명하는 데 있어 사회문화적, 물질적 요소들에 대한 연구는 매우 제한적으로 이루어져 왔다(Pfannkuch, 2011). 또한 기존의 연구들에서는 다양한 요소들의 영향을 유기적으로 고려하기보다는 독립적으로 고려하였으며(지영명, 2020), 특히 기술적 인공물의 영향에 대해서는 특별히 주목하지 않았다(Pfannkuch, 2011).

한편, 최근 통계교육에서는 컴퓨터 시뮬레이션과 같은 공학 도구를 사용하여 학생들에게 자료를 기반으로 추론하는 경험을 제공하는 것을 강조하고 있다(신우진, 고희경, 노지화, 2022). 이러한 관점에서 여러 연구자들(예를 들어, Braham & Benzvi, 2017; Drijvers, & Bakker, 2020; Pfannkuch, Arnold, & Wild, 2015, van Dijke-Droogers, Drijvers, & Bakker, 2020)은 비형식적 통계적 추리의 학습에도 표집 시뮬레이션을 활용하는 방법이 효과적임을 입증해왔다. 표집 시뮬레이션은 학습자가 표집 분포를 경험적으로 다룰 수 있도록 학습의 기회를 제공함으로써(이기돈, 2018; 지영명, 2020; Garfield & Benzvi, 2008), 표본, 표집된 자료의 빈도 분포, 표본의 크기 효과, 표집 분포와 같은 비형식적 통계적 추리의 핵심적인 통계적 개념에 쉽게 접근할 수 있도록 한다(van Dijke-Droogers, Drijvers, & Bakker, 2020). 최근의 연구들은 표집 분포의 기초가 되는 표본 개념과 표집 활동을 초등학교 시기부터 도입할 필요가 있으며(구나영, 탁병주, 강현영, 이경화, 2015; Garfield & Ben-Zvi, 2008), 표본 대표성과 표집 변이성에 대한 이해를 점진적으로 개발하는 것이 필요하다고 주장해왔다(박민선, 고은성, 2014; 이기돈, 2018). 표집 시뮬레이션을 활용한 비형식적 통계적 추리의 교수-학습은 이러한 요구를 반영한 교수-학습 방법이 될 수 있다. 그러나 기존의 표집 시뮬레이션에 관한 연구들에서는 학습 경로를 제안하거나, 학습의 결과를 기술하는 데 주목해왔기 때문에(예를 들어, Lane-Getaz, 2006; Pfannkuch, Arnold & Wild, 2015; van Dijke-Droogers, Drijvers, & Bakker, 2020), 실제 교실 활동의 맥락 내에서 비형식적 통계적 추리의 교수-학습이 어떻게 이루어지는지에 대한 이해와 논의는 간과되었다. Pfannkuch(2011)와 Makar et al.(2011)가 주장했듯이, 비형식적 통계적 추리는 학습자의 통계적 지식뿐만 아니라 사회문화적 맥락과 물질적 요소들의 상호작용을 통해 발전할 수 있다. 그러므로 표집 시뮬레이션을 활용한 비형식적 통계적 추리의 교수-학습이 실제 교실 활동의 맥락 내에서 이러한 영향으로 인해 어떻게 발전할 수 있는지 살펴보는 것이 필요하다.

문화-역사적 활동이론(Cultural Historical Activity Theory)은 표집 시뮬레이션을 활용한 비형식적 통계적 추리의 학습에 영향을 미치는 사회문화적, 물질적 측면을 총체적으로 이해하는 데 유용한 분석틀이 될 수 있다. 그동안 문화-역사적 활동이론은 주체의 행위나 의도와 함께 특정 활동에 개입하는 맥락 요소를 체계적으로 다룰 수 있는 강력한 도구로 주목받아왔다(신소연 외, 2018; 이창윤 외, 2019; Jaworski & Potari, 2009). Engeström(2001)에 따르면, 인간의 활동은 주체, 목표, 인공물, 공동체, 규칙, 분업, 결과물의 요소들로 이루어진 하나의 활동체계라 할 수 있다. 이러한 활동체계는 단일한 요소 내에서 또는 서로 다른 요소 간의 상호작용에서 나타나는 '모순(contradiction)'에 의해 변화한다고 알려져 있다(Engeström, 2001). 최근에는 ICT, 페이스북, 모바일, 온라인 학습 도구와 같은 기술적 인공물의 도입에 의한 교수-학습의 역동적인 변화를 설명하는 데 활동체계의 틀과 모순의 개념이 유용하게 활용되어 왔다(Hardman, 2015; Murphy & Rodriguez-Manzanares, 2008). 이에 본 연구에서는 표집 시뮬레이션을 활용한 비형식적 통계적 추리의 교수-학습을 하나의 활동체계로 고려하고, 모순과 그것의 해결에 초점을 맞추으로써 활동체계의 변화를 설명하고자 한다. 이를 통해 표집 시뮬레이션이 비형식적 통계적 추리의 발전을 어떻게 매개하는지 설명하고, 표집 시뮬레이션을 활용한 비형식적 통

계적 추리의 교수-학습에 대한 시사점을 제시하고자 한다. 본 연구에서 다루는 구체적인 연구 질문은 다음과 같다.

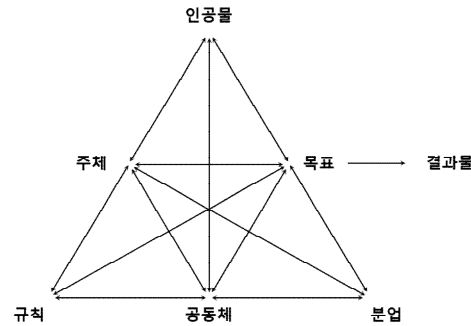
- (1) 표집 시뮬레이션을 활용한 비형식적 통계적 추리의 학습 과정에서 활동체계에는 어떠한 모순이 발생하는가?
- (2) 이러한 모순에 의해 활동체계는 어떻게 변화하는가?

II. 이론적 배경

1. 문화-역사적 활동이론

문화-역사적 활동이론은 인간의 활동을 사회문화적이고 역사적인 맥락에서 총체적으로 이해하는데 유용한 틀을 제공한다(Edwards, 2008; Roth & Lee, 2007). 인간의 활동은 주체(subject), 목표(object), 인공물(mediating artifact), 공동체(community), 규칙(rule), 분업(division of labor)의 상호작용에 의해 결과물(outcome)이 생산되는 하나의 체계로 볼 수 있다(Engeström, 1999). 활동은 '주체'의 욕구에 의해서 추동되고, 늘 외부의 '목표'를 지향하고 있으며(Leont'ev, 1978), 가상적, 유형적, 기호적 인공물에 의해 매개된다. 동시에 활동은 공동체, 규칙, 분업의 요소로 설명되는 사회문화적 맥락에 터하고 있다(성열관, 2018). '공동체'는 하나의 활동 안에서 관심과 목표를 공유하는 복수의 주체들이며, '규칙'은 활동과 관련된 법령, 규범, 도덕, 준거, 습관을 포함한다. '분업'은 집단적 수행의 효율을 높이기 위한 공동체 내의 역할 분담을 의미한다(Kuutti, 1996). 인간의 활동은 이러한 체계 내의 요소들이 유기적으로 작용하여 구체적인 '결과물'을 산출하는 과정이다(김경희, 2011; 박양주, 연은경, 2014).

문화-역사적 활동이론은 인간의 학습을 개인의 인지적 영역에서 이해하기보다 학습의 사회문화적 맥락에서 일어나는 역동적인 과정으로 이해한다(Sawchuk, 2003). 학습자를 둘러싸고 있는 '학습 맥락'들은 인지주의 학습이론이 전제하고 있듯이, 정적이거나 고정된 것이 아니라 역동적이고, 예측하기 힘든 속성을 띠고 있다. 이러한 역동적인 속성을 지닌 학습 맥락에 대응하기 위해서 주체는 자신의 학습 맥락 자체를 변화시키거나, 혹은 더 나아가 새로운 맥락들을 만들기 위해 노력해야 한다. 주체는 역동적이고 예측 불가능한 학습 맥락에 대응해나가며 개념을 이해하고 창의적인 아이디어들을 발전시킬 수 있다. 즉, 주체가 새로운 개념을 이해하거나 새로운 아이디어를 발견하게 되는 것은 귀납적인 문제 해결에 의한 과정이 아니라 자신의 맥락을 초월하여 새로운 맥락을 창조하는 과정에서 가능한 것이다(Engeström, 1987). 이때 주체와 주체를 둘러싼 사회는 함께 재생산되고 변화된다. 그러므로 활동은 개인 내부의 인지적 과정과 외부의 물질적 과정으로 분리되지 않는다고 본다. 문화-역사적 활동이론에서는 개인을 구성주의에서와 같이, 환경에 적응하려고 노력하면서 인지적인 구조를 발전시켜 나가는 존재로 보지 않는다. 오히려 비고츠키가 주장했듯이, 개인의 발전은 문화의 발전과 통합되고 개인은 활동을 통해 새로운 문화적 의미와 추론, 행위를 하게 되는 변화하는 존재로 설명될 수 있다. 이러한 관점에서, 사회와 함께 변화되는 개인의 학습 과정을 활동체계의 변화를 통해 이해할 수 있다(Roth & Radford, 2011).



[그림 II-1] 활동체계(Engeström, 1999, 2001)

문화·역사적 활동이론에서는 주체가 모순을 다루는 과정에서 새로운 목표, 개념 및 동기가 나타날 때, 모순이 활동체계의 확장적 변화를 이끌었다고 판단한다(Engeström & Sannino, 2011). 모순은 활동체계의 변화를 이끄는 원동력이다(성열관, 2018; Engeström, 1999; 2015). 모순은 기존의 활동체계에서 활동의 흐름을 방해하는 요소로 나타나기도 하지만, 더욱 확장된 활동체계로의 발전을 이끄는 이중적인 의미를 가지고 있다(이형상, 2018). 즉, 모순에 의해 변화가 시작되고, 목표가 움직이고, 주체에 새로운 동기가 부여된다. 이 과정은 결국 새로운 활동체계의 출현을 야기하거나(Molina-Toro, Rendón-Mesa, & Villa-Ochoa, 2022), 이미 확립된 활동체계가 ‘확장적’으로 변화하도록 촉진한다(Engeström, 2001; 2005; 2009). 활동체계의 ‘확장적 변화(expansive transformation)’란 활동체계가 새로운 목표를 형성하고, 이러한 목표를 지향하는 새로운 활동 패턴을 구성한다는 것을 의미한다. 이 과정에서 주체들은 동일한 활동체계 내 혹은 서로 다른 활동체계 사이에서 실천의 관계를 새롭게 매개할 수 있는 개념적 인공물이나 아이디어를 찾을 수 있고, 새로운 실천의 틀이나 활동 패턴을 학습할 수 있다(Engeström, 2001). 이처럼 활동체계의 변화는 개인적 수준의 인식적, 실천적 변화뿐만 아니라 집단의 활동 패턴의 변화라는 다양한 수준의 변화를 동반한다. 주체와 주체를 둘러싼 사회는 함께 재생산되고 변화한다는 점에서, ‘확장적 변화’는 단순히 교실 환경의 변화가 아닌 주체의 변화이자 주체를 둘러싼 사회의 변화라 할 수 있다.

모순은 역사적으로 출현하고 체계의 현상이기 때문에, 경험적 자료에서 직접 식별될 수 없으며(Engeström, 2008), 모순이 주체의 말과 행동으로 표현될 때만 식별될 수 있다(Hatch, 1997). 이러한 이유로 Engeström & Sannino (2011)는 참여자의 담화로부터 언어적 단서를 포착하여 활동체계의 모순을 간접적으로 식별할 수 있는 분석 방법을 개발하였다. Engeström에 따르면 모순은 딜레마(dilemma), 갈등(conflict), 결정적 갈등(critical conflict), 이중 구속(double bind)이라는 현상으로 드러난다. 구체적으로, 문제에 대한 상반된 입장, 즉 동일한 상황에 대한 양립할 수 없는 평가가 나타날 때 ‘딜레마’가 발생한다. 주체의 담화에서 “한편으로는 이렇지만..., 다른 한편으로는...”, “그러나”, “네, 하지만...” 등의 표현을 통해 딜레마를 식별할 수 있다. ‘갈등’은 주체들 사이에서 의견 불일치나 논쟁이 있거나 개인이 다른 개인에 의해 저항이나 비판을 받을 때 발생한다. 갈등을 나타내는 표현은 “아니오”, “동의하지 않습니다”, “이건 사실이 아닙니다.” 등이 있다. 이러한 ‘갈등’은 합의에 도달하거나, 권위자에게 복종하거나, 다수의 의견에 따를 때 해결될 수 있다. ‘결정적 갈등’은 주체가 스스로 해결할 수 없는 모순된 상황에 직면하여 내면의 의심에 직면하는 상황으로 정의할 수 있다. 이러한 상황은 ‘사람들이 문제를 해결할 수 없다는 회의적인 생각에 빠진 상황’(성열관, 2018, p.157)으로도 볼 수 있다. 마지막으로, ‘이중 구속’은 바람직하지 않은 두 가지 대안이 제시되는 상황에서 주체가 두 가지

대안 중 어느 것도 선택할 수 없어 무력감을 느끼는 상황을 의미한다. 이러한 상황에서 문제의 해결책을 찾지 못한 주체들(성열관, 2018)은 압박감, 속수무책 또는 난감함을 표현한다(Engeström & Sannino, 2011).

2. 표집 시뮬레이션을 활용한 비형식적 통계적 추리의 학습

비형식적 통계적 추리는 주어진 자료를 넘어서는 더 큰 집단에 대한 결론을 도출하는 것으로, 결과를 뒷받침하는 증거로서 자료에 의존하며, 일반화하는 과정에서 불확실성을 포함한다는 특징을 가지고 있다(Makar & Rubin, 2009). 표본으로부터 모집단에 대한 일반화된 결론을 도출할 수 있으려면 표본의 필요성과 가치를 인식해야 한다. 또한, 표본 자료로부터 모집단의 결론에 대한 근거를 제시할 수 있으려면 서로 다른 표본 결과들 중 모집단의 특성을 반영하는 표본이 있음을 이해할 수 있어야 하는데 이것은 표집 분포와 표본 대표성 개념과 관련된다. 이와 함께 일반화를 위해 불확실성(Makar & Rubin, 2009)의 정도를 표현하고 표집 변이성을 고려할 수 있어야 한다(예를 들어, Pratt & Ainley, 2008). 이처럼 비형식적 통계적 추리의 원리를 이해하기 위해서는 표집 분포와 표본 대표성, 표본 변이성에 대한 이해가 필요하다.

학생들은 표집 시뮬레이션을 통해 이론적이고 확률적인 표집 분포를 경험적으로 탐색함으로써 통계적 개념들과 통계적 추리의 논리를 비형식적으로 이해할 수 있다(지영명, 2020; Kader & Jacobbe, 2019; Rossman, 2008; van Dijke-Droogers, Drijvers, & Bakker, 2020). 표집 분포는 원래 주어진 모집단에 대해 일어날 수 있는 모든 표본 통계량의 무한 확률분포를 의미한다(Shaughnessy, 2007). 그러나 이러한 무한 분포는 직접 관찰될 수 없기 때문에 학습자는 유한개의 표본들을 선택하여 표집 분포와 유사한 근사 표집 분포를 만들고 이를 경험적으로 탐구할 수 있다. 이것을 경험적 표집 분포(empirical sampling distribution)라고 한다(Kader & Jacobbe, 2019). Cobb (2007)에 따르면 학생들은 무작위 표집을 반복하는 표집 시뮬레이션을 통해 표본을 직접 생산하고, 표본 결과들을 누적하여 경험적 표집 분포를 시각화할 수 있다. 이러한 활동을 통해 표본 통계량을 변수로 고려할 수 있고, 표본 통계량 변화의 패턴을 파악하여 특정 표본의 결과의 가능성을 평가할 수 있다(Kader & Jacobbe, 2019). 이처럼 학습자는 무작위 표본 결과들의 상대적인 빈도에 주목하여 표집 시뮬레이션의 모델을 추리해보는 경험을 하는 것이 필요하다. 표집 시뮬레이션은 표본 결과들의 분포를 시각화함으로써 표본 사이의 변이와 안정성에 대한 개략적인 이미지를 얻을 수 있도록 지원한다. 이러한 이미지를 통해 학생들은 가능성이 낮은 표본 결과와 가능성이 높은 표본 결과에 대한 통찰을 얻을 수 있다. 빈도가 높은 표본을 통해 모집단을 추정해보는 활동은 이러한 표본이 모집단의 특성을 반영할 확률이 높다는 확률적인 사고를 발전시킬 수 있도록 한다. 더 나아가 특정 표본 결과가 나타날 확률을 비형식적으로 결정할 수 있도록 지원한다(Rossman, 2008; Watson & Chance, 2012).

앞서 설명했듯이, 표집 시뮬레이션을 통해 경험적 표집 분포를 탐색함으로써 표집 분포, 표본 대표성, 표본 변이성, 표집 변이성과 같은 비형식적 통계적 추리의 핵심인 통계적 개념들을 이해할 수 있다(van Dijke-Droogers, Drijvers, & Bakker, 2020). 그러나 이 과정은 갈등과 충돌 없이 매끄럽게 이루어지는 선형적인 과정이 아님에 유의할 필요가 있다. van Dijke-Droogers, Drijvers, & Bakker (2020)에서 볼 수 있듯이, 비형식적 통계적 추리를 위해서는 표집 변이성과 표본 대표성 개념에 대한 복합적인 이해가 필요하지만 많은 학생들은 이 두 개념 사이에 모순적인 아이디어를 가지고 있다(Braham, & Ben-Zvi, 2017). 그러므로 표집 시뮬레이션을 활용하고자 할 때 이러한 모순적인 아이디어가 학습을 방해하지 않고 학습의 자원으로 활용될 수 있도록 교실 활동을 설계하는 것이 필요하다.

선행연구들(Makar et al., 2011; Pfannkuch, 2011)을 바탕으로 표집 시뮬레이션을 활용한 비형식적

통계적 추리에 대한 교수-학습 과정을 활동체계의 구성 요소로 구분할 수 있다. 먼저, 주체는 수업을 계획하고 실행하는 교사와 수업에 참여하는 학생들이다. 주체는 신념과 동기, 욕구에 의해 활동을 시작하고, 활동의 목표를 추구한다. 활동의 목표는 표집 시뮬레이션을 이용하여 ‘두 표본 자료를 비교하는 것’이며 이를 통해 ‘모집단에 대한 특성을 추리하는 것’이다. 이때 교사와 학생에게 영향을 미치는 공동체는 교실 내에서는 다른 소그룹, 교실 전체가 될 수 있고, 교실 밖에서는 학교, 교과서 교육과정 개발자, 교육부 등이 될 수 있다. 인공물은 변이성, 분포, 추리와 같은 통계적 개념에서부터 과제의 맥락, 시뮬레이션을 이용해 생산한 표본 자료의 그래프, 표집 시뮬레이션의 특정 기능과 이러한 기능을 어떻게 다루는지에 대한 지식이 포함된다. 규칙은 시간의 흐름에 따라 개발되는 유용한 관습과 규범에 해당하며 평균 계산과 같은 알고리즘을 규칙으로 고려할 수 있다. 분업은 표집 시뮬레이션을 실행하고 결과를 분석하는 과정에서의 교사와 학생, 학생들 사이의 상호작용의 형태이다. 활동의 결과물은 표본 비교의 결과나 모집단에 대한 추리, 그리고 통계적 사고와 통계적 개념의 이해가 될 수 있다. 표집 시뮬레이션을 활용한 비형식적 통계적 추리의 교수-학습 과정을 문화-역사적 활동이론의 관점에서 분석함으로써 교수-학습 과정에서 어떠한 모순이 발생하는지, 그리고 이러한 모순을 해결하는 과정에서 주체와 활동체계가 어떻게 확장되어 가는지 설명할 수 있을 것이다.

한편, 일부 연구자들은 학습자가 형식적인 표집 분포의 개념을 고등학교에서 처음으로 접하면서 학습의 어려움(예를 들어, Watkins, Bargagliotti, & Franklin, 2014)이 발생하기 때문에 이보다 더 이른 시기에 표집 분포에 대한 비형식적인 직관을 개발할 필요가 있다고 주장해 왔다. 즉, 표집 분포의 기초가 되는 표본 개념과 표집 활동을 초등학교 시기부터 도입할 필요가 있으며(구나영, 탁병주, 강현영, 이경화, 2015; Garfield & Ben-Zvi, 2008), 표본 대표성과 표집 변이성에 대한 이해를 점진적으로 개발하는 것이 필요하다는 것이다(박민선, 고은성, 2014; 이기돈, 2018). 국외에서는 이미 초등학교 학생들을 대상으로 이러한 교수-학습이 많이 이루어지고 있다. 예를 들어, Watson & English (2016)에서는 초등학교 5학년 학생들을 대상으로 무작위 표본을 추출하는 활동을 수행하고, 많은 학생들이 표본의 변이성과 표본 평균의 변화를 통해 모비율을 예측할 수 있었다고 보고하였다. Lehrer, & Schauble (2004) 또한 5학년 학생들을 대상으로 빛과 비료 등 서로 다른 조건에서의 식물 성장의 분포를 비교하는 과제를 적용하였고, 식물을 다시 재배하는 가상의 상황을 상상함으로써 표집에 대한 아이디어와 통계적 추리의 논리를 도입할 수 있다고 주장하였다. 이러한 연구결과들을 통해 초등학교에게도 표집 시뮬레이션을 활용한 비형식적 통계적 추리를 도입할 수 있음을 알 수 있다.

III. 연구 방법

1. 참여자 및 연구맥락

본 연구의 대상이 되는 수업은 수도권 소재 S시에 소속된 초등학교 5~6학년 학생 20명을 대상으로 진행한 방과 후 온라인 수업이다. 이 수업은 2020년 11월 28일부터 2021년 1월 30일까지 9주간 9차시의 수업으로 진행되었다. 수업은 매주 1회 진행되었으며, 각 차시의 수업은 90분간 이루어졌다. 본 연구에서 초점이 되는 수업은 2021년 1월 9일부터 1월 30일까지 이루어진 6~9차시의 수업에 해당한다. 1~5차시에서 학생들은 자료의 중심과 퍼짐에 주목하여 자료 집합을 비교하는 활동에 참여하였다. 이를 통해 학생들이 자료를 하나의 분포로서 고려할 수 있도록 하였다. 또한 표본 자료와 모자그래프 사이의 관계를 탐색하는 활동을 통해 모자그래프의 중심이 표본의 평균이며, 모자그래프의 길이

가 표본 자료의 변이성의 측도가 된다는 것을 이해할 수 있도록 안내하였다. 그러나 모자그래프의 길이에 해당하는 평균 편차의 개념을 형식적으로 도입하지 않도록 유의하였다. 이와 함께 교사는 ‘순지르기’와 ‘칼슘액비’의 용어의 의미와 식물 성장에 관한 배경지식을 설명함으로써 학생들이 과제의 맥락을 이해할 수 있도록 하였다. 6~9차시에서 학생들은 표집 시뮬레이션을 통해 표본 자료를 생산하고, 표본 자료를 통해 모집단의 특성을 추리하는 비형식적 통계적 추리에 참여하였다.

모든 수업은 본 연구의 주 저자이자 이 수업의 강사인 T1과 보조 강사인 T2~T5에 의해 진행되었다. T1은 과제를 1차적으로 설계하였고, T2~T5는 T1과 함께 수업을 진행하고 성찰하면서 과제를 수정해나갔다. 연구자 R1은 수업을 참여 관찰하고 교사와 학생들이 겪는 어려움이나 갈등 그리고 특징적인 학생 반응에 대해 현장 노트를 작성하였다. 수업 성찰 회의에서는 수업 중 교사와 학생이 직면한 어려움과 갈등에 대해 함께 논의하도록 하였으며, 수업 설계 회의에서는 이러한 문제들을 반영하여 과제와 활동을 설계하고 수정하도록 하였다. 수업 성찰 회의와 수업 설계 회의를 통해 참여자들이 교사와 학생이 겪는 어려움과 갈등, 문제 등에 대해 논의함으로써 모순이 담론적으로 발현될 수 있도록 하였고, 이를 해결할 수 있는 방법을 찾을 수 있도록 기회를 제공하였다.

<표III-1> 차시별 학습 내용

수업 차시	차시별 활동
6차시	<ul style="list-style-type: none"> 표집 시뮬레이션을 활용하여 비료 A 재배한 작물과 비료 B로 재배한 작물의 무게에 대한 표본 자료 생산하기 표본 자료를 근거로 하여 비료 A와 비료 B의 효과 판단하기
7차시	<ul style="list-style-type: none"> 표집 시뮬레이션을 활용하여 순지르기로 재배한 작물과 칼슘액비로 재배한 작물의 무게에 대한 표본 자료 생산하기 표본 자료를 근거로 하여 순지르기와 칼슘액비의 효과 판단하기
8차시	<ul style="list-style-type: none"> 표집 시뮬레이션을 활용하여 비료 C 재배한 작물과 비료 D로 재배한 작물의 무게에 대한 표본 자료 생산하기 표본 자료를 근거로 하여 비료 C와 비료 D의 효과 판단하기
9차시	<ul style="list-style-type: none"> 표집 시뮬레이션을 활용하여 비료 B, 순지르기, 비료 D로 재배한 작물의 무게에 대한 표본 자료 생산하기 표본 자료를 근거로 하여 비료 B, 순지르기, 비료 D의 효과 판단하기

본 연구의 과제는 애플 수박 10만 개를 여러 가지 재배방법(비료 A, B, C, D, 순지르기, 칼슘액비)으로 재배했을 때 어떤 재배방법의 효과가 더 크게 나타날 것인지를 판단하는 것이다. 식물 성장 과정은 변이에 대한 아이디어를 발전시키고 표본을 통해 모집단의 특성을 예측하는 맥락을 제공할 수 있다. 식물의 성장은 염수, 비료 사용 및 토양의 유형과 같은 물리적 조건에 의해 영향을 받기 때문에 이러한 맥락은 시간에 따른 식물의 변화와 변이를 탐구하는 유용한 맥락이 될 수 있다(Watson, Wright, Fitzallen, & Kelly, 2022). 또한 실제 농업과 임업, 환경 과학 분야에서 진행되고 있는 ‘식물 성장 모델링’ 연구는 식물의 성장이 빛, 온도, 비료 사용 등의 요인에 의해 어떻게 변화하는지 예측함으로써 농작물의 수확량을 증가시킬 수 있는 환경적 조건을 분석한다. ‘식물 성장 모델링’을 통해 현장에서는 수년이 걸릴 수 있는 재배 과정을 실제로 수행하지 않고도 식물 성장에 대한 가설을 테스트하고 실험을 수행할 수 있다(Fourcaud et al., 2008). 본 연구에서는 이러한 아이디어를 바탕으로 과제를 설계하였다. 학생들은 다양한 재배 방법에 따른 작물의 성장을 예측함으로써 변이를 탐구하고 표본을 통해 모집단의 특성을 추리하는 비형식적 통계적 추리에 참여할 수 있다. 이와

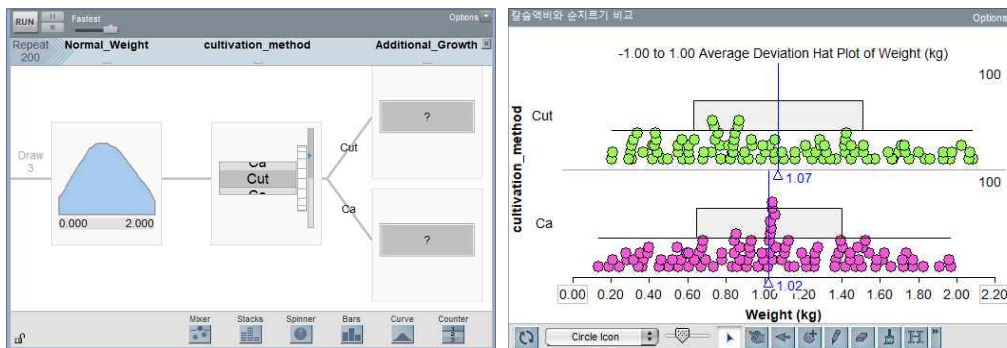
함께 초등학교생들에게 비행식적 통계적 추리를 도입하기에 효과적이라고 알려진 두 집단 비교의 맥락(고은성, 탁병주, 2019)을 도입하여 서로 다른 조건에서의 식물 성장에 대한 분포를 비교하도록 하였다.

한편, 본 연구에서는 Tinkerplots의 샘플러를 표집 시뮬레이션으로 활용하였다. 애플 수박 10만 개의 무게 분포(모집단)를 표집 시뮬레이션의 모델로 설정하였고 여러 가지 재배방법의 효과 크기를 입력하여 블랙박스로 가려두었다. 교사는 학생들에게 모집단의 의미를 ‘특정한 방법으로 재배한 10만 개의 모종 전체의 무게 분포’로 설명하였다. 또한 표집 시뮬레이션에서 생산되는 표본 자료는 ‘전체 모종 중 일부를 선택하여 특정한 방법으로 재배한 뒤 측정된 무게 분포’라고 설명하였다. 교사는 학생들에게 특정한 재배방법에 해당하는 샘플러로 표본 자료들을 생산하고, 표본 자료 기초로 하여 재배방법의 효과를 판단하도록 하였다. 학생들은 RUN과 REPEAT⁶⁾을 활용하여 표집의 횟수와 표본의 크기를 조절하면서 표본 분포와 표집 분포⁷⁾를 탐색하도록 하였다.

<표III-2> 7차시 과제

농부는 이번에 ‘칼슘액비’의 효과와 ‘순지르기’의 효과에 대해 알아보고자 합니다. 마을 이장은 순지르기의 방법을 사용하는 것이 품질 좋은 애플 수박을 얻는 방법이라고 했지만, 옆집 농부는 칼슘액비를 사용하는 것이 품질 좋은 애플 수박을 얻는 방법이라고 말했습니다. 농부는 어떤 재배방법이 더 효과적인지 판단하기 위해 모종의 일부를 선택하여 칼슘액비와 순지르기로 재배한 뒤 두 집단의 애플 수박의 무게를 측정했습니다. 두 가지 방법으로 재배한 애플 수박의 무게에 대한 자료가 다음과 같습니다. 칼슘액비와 순지르기 중 어떤 재배방법이 더 효과적인 방법인지 판단해봅시다.

Cut: 순지르기
Ca: 칼슘액비



[그림 III-1] 블랙박스가 포함된 표집 시뮬레이션(왼쪽)과 표집 시뮬레이션에서 생산된 표본 자료(오른쪽)

- 6) Tinkerplots의 샘플러는 표집을 반복할 수 있는 RUN 기능과 표본의 크기를 조절할 수 있는 REPEAT 기능을 갖추고 있다.
- 7) 표본 분포는 동일한 표본 내의 개별 자료들 사이에서의 변이성을 기술하고, 표집 분포는 서로 다른 표본들의 표본 통계량 사이에서의 변이성을 기술한다(Kader & Jacobbe, 2019).

2. 자료 수집 및 자료 분석

본 연구에서는 사례연구의 타당성과 신뢰성을 높이기 위하여 다양한 출처의 자료를 수집하였다(Creswell, 2017). 첫째, 6~9차시의 온라인 수업에 대한 영상 및 음성 자료를 수집하였다. 연구자는 교실 활동에서 참여자들 사이의 의미 있는 상호작용을 포착하고, 참여자들이 어떠한 맥락에서 시뮬레이션을 활용하고 있는지 판단하기 위해 음성 자료뿐만 아니라 컴퓨터 화면이 녹화된 교실 활동 영상을 분석하였다. 둘째, 수업 시간에 작성된 학생들의 활동 결과물을 수집하였다. 개별 활동지는 텍스트 기반의 한글 파일로 수집하였으며, 학생들이 구성한 표상은 텀플랏 파일과 컴퓨터 화면에 대한 캡처 이미지로 수집하였다. 셋째, 수업 전 시행된 교사와 연구자의 수업 설계 회의와 수업 성찰 회의에 대한 영상 및 음성 자료를 수집하였다.

본 연구에서는 활동체계의 구성 요소를 확인하기 위해 수집된 자료에서 패턴이나 주제를 식별하는데 적합한 주제 분석(thematic analysis)을 수행하였다(Braun & Clarke, 2006, p. 79). 주제 분석은 다음의 4단계로 수행되었다. 1단계에서 연구자들은 영상과 음성, 학생 활동지, 현장 노트 등의 자료를 반복하여 시청하거나 읽으면서 특징적인 사항을 메모하고 자료에 대한 통찰을 얻고자 하였다. 2단계에서는 Pfannkuch (2011)의 연구와 Makar et al. (2011)의 연구를 참고하여 비형식적 통계적 추리의 학습과 관련된 사회문화적, 물질적 요소들을 확인하고, 본 연구의 맥락에 맞도록 활동체계의 요소들로 범주화하였다. 이러한 범주를 예비 분석틀로 하여 자료를 반복 분석하면서 예비 분석틀에서 확인되지 않았던 활동체계의 요소들을 추가하였다(표 III-3). 연구자들은 활동체계의 요소뿐만 아니라 요소들 사이의 연결성에 주목하여 자료를 분석하였으며 추가 분석의 단계에서 새로운 해석이 등장하면 활동체계의 요소들을 수정하였다. 3단계에서는 2단계에서의 분석틀을 이용하여 활동체계의 변화가 나타나는 사례를 중심으로 주제를 도출하였다. 이를 위해, 먼저 선행연구들(Kader & Jacobbe, 2019; Pfannkuch, Arnold, & Wild, 2015; Rossman, 2008; van Dijke-Droogers, Drijvers, & Bakker, 2020)을 검토하여 비형식적 통계적 추리의 학습이나 표집 시뮬레이션을 활용한 학습과 관련된 문화적 관행, 목표에 대한 해석, 교수학적 인공물, 교사의 실천 등에 대한 주제를 문헌으로부터 확인하였다. 이러한 선행 작업 이후 자료를 재검토하였으며, 주제를 참고하여 활동체계의 변화(Roth & Lee, 2007)를 식별하고자 하였다.

<표III-3> 표집 시뮬레이션을 활용한 비형식적 통계적 추리의 활동체계

활동체계의 요소	활동체계 요소의 의미	비형식적 통계적 추리의 학습을 지원하는 요소	예시
주체 (Subject)	활동에 참여하는 주체로서의 개인 또는 그룹(Mwanza, 2001)	신념, 동기, 욕구(Makar et al., 2011)	교사와 학생의 신념, 동기, 욕구, 가설, 기대 등
목표 (Object)	활동에 동기를 부여하고 지시하는 목표, (Engeström, 2001; Kaptelinin & Nardi, 2006; Mwanza, 2001)	과제의 목표, 활동의 목표 (Pfannkuch, 2011)	두 표본 집단의 비교 모집단의 특성 추리
공동체 (Community)	주체와 상호작용하고 있는 사람들(Karakus, 2013), 활동이 나타나는 환경(Mwanza, 2001)	상호작용이 이루어지는 교사와 학생, 협력이 이루어지는 학생 집단(Makar et al., 2011)	교사와 학생, 학생 소그룹, 교사 협력 공동체

<p>인공물 (Mediating Artifact)</p>	<p>동기나 목표를 결과로 변환하는 데 사용되는 것(Kuutti, 1996; Mwanza, 2001)이며, 물질적이거나 비물질적인 것을 모두 포함함(Engeström, 1999)</p>	<p>통계적 개념, 통계적 사고방식, 과제 맥락에 대한 지식, 과제 계열, 과제의 맥락, 컴퓨터 인공물(Makar et al., 2011; Pfannkuch, 2011), 스케폴드(Pfannkuch, 2011), 시각적이고 동적인 이미지(Pfannkuch, 2011)</p>	<p>변이성, 분포, 추리, 표집, 집단적 사고, 교사의 질문 표집 시뮬레이션의 모델과 표집 시뮬레이션에서 생산한 표본 자료 및 그래프, 동적인 이미지, 스케치 표집 시뮬레이션의 특정 기능과 이러한 기능을 어떻게 다루는지에 대한 지식</p>
<p>규칙 (Rule)</p>	<p>활동의 수행을 구속하는 문화적 규범, 법령, 관습, 기술적 규범 또는 공동체의 관습이 될 수 있음(Barab, Schatz, & Scheckler, 2004; Mwanza, 2001)</p>	<p>협력 규범, 탐구 규범, 마음의 습관, 행위의 습관(Makar et al., 2011), 계산 알고리즘 (Pfannkuch, 2011)</p>	<p>동료 합의와 정당화 추구하기, 자료를 기초로 정당화하기, 설명하기, 자료 기반의 주장을 향해 비판적인 입장 취하기, 자료를 그래프화하거나 정리하기, 탐색적 자료 분석 행위들, 표본 평균의 크기 비교, 평균 계산 알고리즘</p>
<p>분업 (Division of Labour)</p>	<p>공동체 구성원의 책무(Karakus, 2013), 주체가 공동체 내에서 수행하는 역할로부터 기인하는 것(Baran & Cagiltay, 2010), 역할 분담(Mwanza, 2001)</p>	<p>교사와 학생의 상호작용(Pfannkuch, 2011), 협력(Makar et al., 2011)</p>	<p>교사의 안내와 학생의 실행, 학생들 사이의 협력, 시뮬레이션 실행하기, 표집 시뮬레이션 실행 결과 공유하기, 발표자의 의견 보충하기, 반박하기, 조별 의견 종합하기</p>
<p>결과물 (Outcome)</p>	<p>활동의 결과로 산출된 구체적이거나 추상적인 인공물(Karakus, 2013)</p>	<p>활동의 결과물</p>	<p>학생들이 구성한 텀커플랏 표상이나 텀커플랏 표상에 대한 학생들의 해석, 재배방법의 효과 판단, 표본, 표집, 표본 대표성, 표집 변이성에 대한 개념 이해</p>

4단계에서는 3단계에서 주목한 장면들을 중심으로 모순을 확인하는 단계를 수행하였다. 먼저, 교실 활동과 교사와 연구자의 수업 설계 및 수업 성찰 회의의 음성과 영상에서 모순의 담론적 발현을 찾고자 하였다. 본 연구에서는 Engeström & Sannino (2011)의 분석 프레임워크를 사용하여 참여자들의 담화에서 딜레마, 갈등, 결정적 갈등, 이중 구속과 같은 언어적 단서를 찾아 모순의 발현이 될 수 있는 담화들을 확인하고(표 III-4 참고) 이를 에피소드로 구분하였다. 단, 이러한 언어적 단서가 전체 활동의 맥락 속에서 어떤 의미를 담고 있는지, 그리고 담론의 주체가 어떠한 상황에 놓여있는지 해석하고자 함으로써 언어적 단서와 모순의 발현을 단순 대응하지 않도록 유의하였다. 그런 다음 Murphy & Manzanares (2008)의 모순의 코딩 규칙에 따라 에피소드가 활동체계의 어떤 요소들의 모순과 관련되어 있는지 분석하였다. Murphy & Manzanares (2008)을 참고하여 본 연구에서는 각 에피소드에 담긴 의미를 활동체계의 요소를 활용하여 주어가 동일한 두 개의 명제로 표현하였다. 이러한 명제들 사이에 부정, 대조, 반대의 의미가 나타날 때, 이것을 활동체계 요소들 사이의 모순으로 분석하였다. 또한 이러한 모순이 주체들의 노력에 의해 해결되어 나간다면 이것을 ‘확장적’인 상황으로 나아간다고 판단

하였다. 문화-역사적 활동이론에서는 주체가 모순을 다루는 과정에서 새로운 목표, 개념 및 동기가 나타날 때, 모순이 활동체계의 확장적 변화를 이끌었다고 판단한다(Engeström & Sannino, 2011). 그러므로 본 연구에서는 주체들이 모순을 해결하는 과정에서 모호했던 기존의 활동의 목표가 분명해지거나 새로운 활동의 목표, 개념 또는 새로운 활동의 동기가 나타난 경우, 활동체계가 ‘모순에 의해 확장적으로 변화했다’고 판단하였다.

<표III-4> 모순의 담론적 발현(Engeström & Sannino, 2011)

모순의 발현	특징	언어적 단서
딜레마	주체들이 상황에 대해 상반된 평가를 내릴 때	“한편으로는…, 다른 한편으로는…” “하지만…”, “맞아요. 하지만…” 등
갈등	주체가 다른 주체들에 의해 저항이나 비판을 받을 때, 주체들 사이에 논쟁이 벌어질 때	“아니오.”, “저는 동의하지 않습니다.”, “이건 사실이 아니에요.” 등
결정적 갈등	주체가 스스로 해결할 수 없는 상황에 직면하여 내면의 의심에 직면할 때	개인적, 감정적, 도덕적 설명, 내러티브 구조, 생생한 은유 등
이중 구속	바람직하지 않은 두 가지 대안이 제시되는 상황에서 주체가 어떤 대안도 선택할 수 없어 무력감을 느낄 때	압박감, 속수무책, 난감함의 표현 등

마지막으로, 연구결과의 타당성과 신뢰성을 높이기 위하여 자료 분석 시 자세하고 풍부한 서술을 하였다. 동료 연구자 간의 의견이 일치하는지 반복적으로 논의하였으며, 서술의 정확성을 높이기 위해 동료 보고와 연구 참여자 검토를 수행하였다. 분석 결과에 대한 동료 간의 의견이 불일치하거나 연구 참여자와의 의견이 불일치하는 경우, 반복적인 논의를 통해 결과에 대한 조정과 합의를 이끌어냈다(Creswell, 2010).

IV. 연구 결과

본 연구에서는 문화-역사적 활동이론에 기반하여, 표집 시뮬레이션을 활용한 비형식적 통계적 추리의 교수-학습 과정을 활동체계의 요소로 분석하고, 이러한 활동체계에서 발생하는 모순과 모순에 의한 변화를 확인하였다. 연구결과에서는 활동체계에서 나타난 모순을 설명하고, 주체가 이러한 모순에 어떻게 대처하고 있는지, 그 과정에서 주체와 활동체계가 어떻게 변화하고 있는지 설명하고자 한다.

1. 규칙과 목표, 인공물과 목표 사이의 모순에 의한 경험적 표집 분포의 시각화 도입

7차시 수업에서 교사는 학생들에게 표본 자료를 통해 순지르기와 칼슘액비의 효과를 판단하도록 하였다. 교사는 학생들이 표집을 반복하면서 변화하는 표본 평균들 속에서 안정적인 특성을 포착하고, 이를 통해 모집단에 대해 추리하기를 기대했다. 그러나 대부분의 학생들은 시간의 흐름에 따른 표본 평균의 변화에 주목하거나, 표집 시뮬레이션을 실행할 때마다 나타나는 두 집단의 표본 평균을 개별적으로 비교하고 있었다. 이것은 학생들이 따르는 활동체계의 규칙이라 할 수 있다. 예를 들어, S6과

S8은 시행 횟수가 작은 상태에서 각 표본 평균들의 시간적 흐름에 따른 변화를 비교하였고(83~91), 표본 평균이 점차 증가할 것이라는 이미지를 가지게 되었다(99). S4는 총 3회의 시행에서 순지르기로 재배한 작물의 무게 평균(표본 평균)이 1.1, 1.1, 1.0이고, 칼슘액비가 1, 1, 0.8이 나왔기 때문에 3회 중 2회 순지르기 표본의 평균이 더 크므로 순지르기의 효과가 좋다고 판단하였다(135~151). 이를 통해 학생들은 모집단을 고려하지 않고, 표본 그 자체를 비교하는 데 집중하고 있음을 알 수 있었다. 학생들은 표본 평균들을 하나의 분포로서 인식하지 못했다.

<7차시 수업의 에피소드 1>

- 83 S6 순지르기는 계속 천천히 조금씩 커졌어요.
- 84 T2 또?
- 87 S6 아, 칼슘이요? 칼슘은 커지다가 작아졌어요.
- 89 S8 순지르기는 작아졌다가 커졌어요.
- 90 T2 작아졌다가 커짐. 칼슘은?
- 91 S8 작아졌다 커졌어요.
- 94 T2 근데 전체 10만 개를 가지고 우리가 이 실험을 해본다면?
- 99 S6 평균이 계속 올라가니까 한 10.20이 아니고, 어 100.20정도는 되지 않을까요.

<7차시 수업의 에피소드 2>

- 134 T1 순지르기? 평균은 어떻게 나왔어?
- 135 S4 평균이요? 첫 번째가 1.1 나왔어요.
- 136 T1 음.. 두 번째 것은?
- 137 S4 두 번째 것도 1.1 나왔어요.
- 140 T1 순지르기? 세 번째는?
- 141 S4 1.0이 나왔어요.
- 142 T1 어.. 칼슘은? 기록했어?
- 143 S4 첫 번째 것 1, 그 다음 두 번째 것 1, 세 번째 것 1.08.
- 144 T1 아 그렇게 해서 평균이 순지르기가 더 클 것 같아?
- 145 S4 네.
- 146 T1 그러면 10만 개를 재배하면 (무게) 평균 어떻게 나올 것 같아?
- 151 S4 평균이 순지르기가 더 높은 건 알 수 있겠는데.. 못 구할 것 같아요.

(1) 딜레마와 모순

교사는 학생들이 표본 평균의 전체적인 변화를 파악하도록 하기 위해 표집 시뮬레이션의 시행 횟수를 반복하며, 표본의 크기를 크게 하도록 안내하였다. 이와 함께 표본과 모집단을 구분할 수 있도록 안내하였다. 그러나 교사의 이러한 시도에도 불구하고 딜레마 상황이 나타났다. 실제 표집 시뮬레이션의 모델은 순지르기의 효과가 더 크게 설정되어 있지만, 표집 시뮬레이션의 시행 횟수가 작을 경우에는 칼슘액비의 평균이 더 크게 나타나 칼슘액비가 더 효과적으로 보일 수 있다. 또한 표본의 크기가 작을 경우에는 표집 변이성이 커지므로 모집단의 특성과 유사하지 않은 ‘희귀성이 있는’ 표본 결과가 자주 나타날 수 있다. 교사는 학생들에게 시행 횟수를 200에서 1000으로 점차 크게 하면서 표본 결과들을 관찰하도록 했고, 학생들은 표본의 크기가 클수록 표집 변이성이 작아진다는 것을 관찰할 수 있었다(237, 238). 그러나 학생들은 여전히 표집 시뮬레이션 실행마다 표본 평균값 그 자체를 비교하거

나, 시간적인 흐름에 따른 경향성을 비교하는 규칙을 따르고 있었다. 이로 인해 S4와 S1은 표집 변이성이 작아지면 두 모집단의 특성이 더욱 비슷해질 것이라고 답하면서 결론을 내리지 못하거나(325, 344), 순지르기의 효과가 더 크다고 판단했다가 칼슘액비의 효과가 더 크다고 답하는 등 동일한 상황에 대해 양립할 수 없는 판단(319)을 내리는 딜레마가 나타났다.

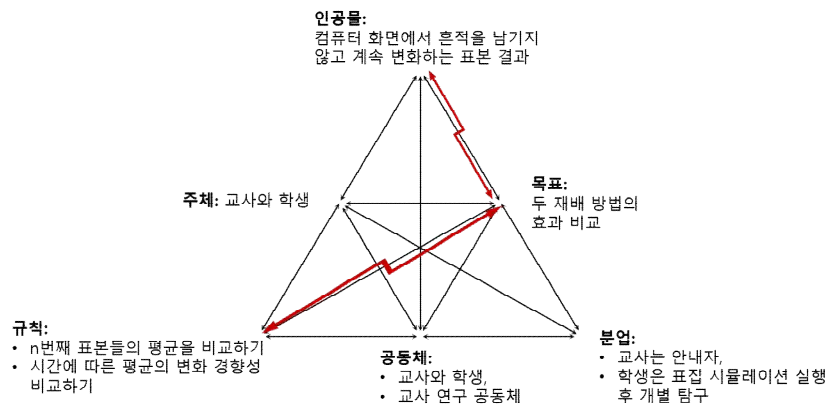
문화-역사적 활동이론의 관점에서 이러한 딜레마는 두 재배방법(모집단)을 비교해야 하는 활동의 목표와 이를 달성할 수 없도록 하는 규칙(n번째 표본들의 평균을 비교하기, 시간에 따른 평균 변화의 경향성을 비교하기) 사이의 모순과 관계된다고 할 수 있다. 또한 표집 시뮬레이션을 실행할 때마다 이전 표본 결과의 흔적이 남지 않고 계속 변화하는 표본 그래프 또한 활동의 목표를 달성하는 데 장애물이 되고 있으므로 이것은 인공물과 목표 사이의 모순이라고 볼 수 있다. 즉, 활동체계 1에서는 규칙과 목표 사이의 모순, 인공물과 목표 사이의 모순을 확인할 수 있었다.

<7차시 수업의 에피소드 3>

- 233 T1 (표본의 크기가) 1000이랑 200이랑 비교하니 뭐가 비슷비슷해진다고?
 234 S1 평균이요.
 236 S1 (표본의 크기가) 1000이요. 200은 세 개 중에 한 개는 진짜 완전히 차이가 났었는데 1000은 이제 많이 간격 차가 줄어든 것 같아요.
 238 S3 약간 평균 폭이 작았어요. 같은 것끼리

<7차시 수업의 에피소드 4>

- 317 S1 저 10번 해봤습니다.
 319 S1 말했듯이, 순지르기랑 칼슘이 거의 무게 평균이 똑같거나 아니면 순지르기가 칼슘보다 무게 평균이 낮아질 수도 있을 것 같아요.
 322 T1 그럼 더 효과가 있는 방법은?
 325 S1 그냥... 거기서 거기
 ...
 343 T1 S4 얼마쯤 나올 것 같아? 만약에 (표본의 크기를) 100000으로 하면?
 344 S4 무게 평균이요? 무게 평균이 순지르기랑 칼슘이랑 같을 것 같아요.



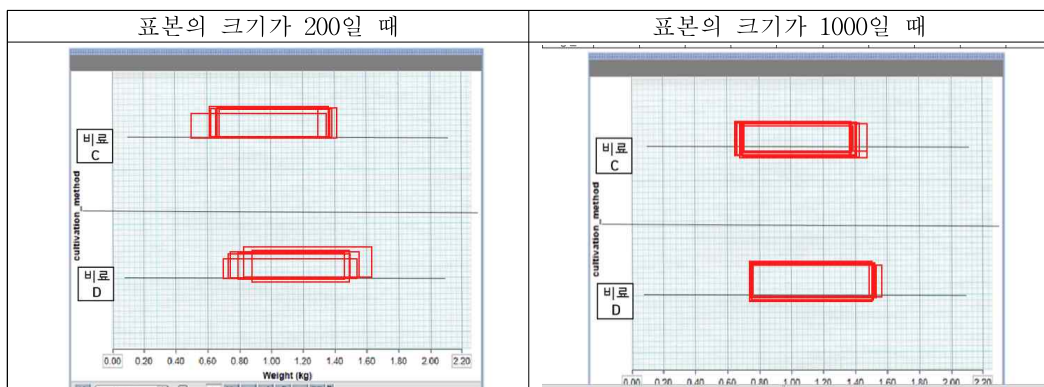
[그림 IV-1] 활동체계 1의 요소들과 요소들 사이에서 나타나는 모순

(2) 모순을 해결하기 위한 교수학적 인공물의 도입

교사는 7차시 수업에서 나타난 모순을 해결하기 위해 표집 시뮬레이션 활동에서 새로운 교수학적 인공물의 필요성을 인식하게 되었다. 이러한 교사의 인식은 8차시 수업 설계 회의에서 확인할 수 있었다. 교사는 학생들의 표집 변이성에 대한 이해를 발전시키기 위해 경험적 표집 분포를 효과적으로 시각화할 방법을 도입하였다. 먼저 학생들이 표본 평균들의 시간에 따른 경향성에 주목하기보다 하나의 분포로 인식할 수 있도록 모자그래프를 겹쳐 그리도록 하였다. 교사는 표집 시뮬레이션을 실행할 때마다 표본 그래프의 흔적이 남지 않고 계속 변화해서 학생들이 표본 결과들의 안정성을 포착하기 힘들다는 문제도 인식하였다. 교사는 이를 해결하기 위해 표집 시뮬레이션을 실행할 때마다 학생들에게 화면 위에 표본 결과들을 누적하여 그리도록 하였다(113). 즉, 표본의 평균과 모자그래프를 함께 겹쳐 그림으로써 표본 값의 변화를 개별 값들의 변화가 아닌 하나의 분포로서 인식하도록 하였다. 개별활동으로 진행하였을 때, 학생들이 시행횟수를 반복하기에 시간이 많이 걸렸고, 표본 결과의 전체적인 변화보다는 일부의 변화에 주목하는 문제가 발생하는 듯 했다. 교사는 시행횟수를 증가시키기 위해 협력이 필요하다고 보고 화면 공유 기능을 통해 표집 시뮬레이션을 공유하도록 하였다. 이를 통해 학생들은 시뮬레이션의 횟수를 더 많이 반복할 수 있게 되었고, 교실 전체의 학생들의 표집 시뮬레이션의 결과의 전체적인 변화를 한 눈에 포착할 수 있게 되었다.

<8차시 수업의 수업 사전 회의 에피소드 5>

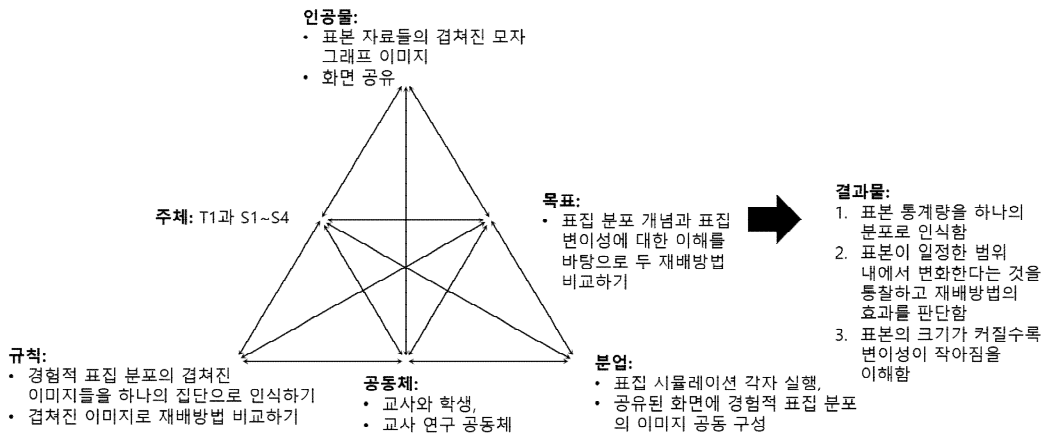
- 113 T1 평균을 애들이 추적하기가 힘들기 때문에 평균의 위치를 표시하는 표와 함께 모자그래프를... 애들이 증가하는 이미지가 있는 것을 아직은 많이들 가지고 있어서, 여기 밑에 모자그래프를 겹쳐서 그리도록 하고..., RUN을 계속 반복할 때 자주 나타나는 모자그래프에 주목해야 하는데 표본 1번부터 10번까지 평균을 적었잖아요. 이게 미세하게는 다 다른 값이어가지고 (표본 평균들의 변화를) 포착하기 어려울 수도 있을 것 같아요. 그래서 모자그래프를 겹쳐서 ..
- 114 T2 근데 이거 3개도 3개를 한 번에 못 보잖아요. 애들이.
- 117 T1 네 맞아요.
- 118 T2 그래서 할 때마다...
- 119 T1 할 때마다 자신의 TinkerPlots에다가... 연필로 그리는 거예요... 모자그래프 해놓고 평균 표시 해놓고... 근데 여기 기록이 남지 않아 이 기록을 모으는 과정이 필요해요.



[그림 IV-2] 공유된 화면에서 협력 활동으로 구성된 모자그래프의 겹쳐진 이미지

(3) 활동체계의 확장적 변화와 활동의 결과물

교사의 새로운 전략(협력 활동)과 인공물(표본 그래프의 겹쳐진 그래프와 화면 공유)의 도입은 활동 체계 1의 모순을 해결하고 새로운 활동체계 2가 형성되도록 하였다. 활동체계 1에서 모순을 인식한 교사는 새로운 인공물(표본 자료들이 겹쳐진 모자 그래프 이미지, 화면 공유 기능)의 필요성을 인식하고, 이를 효과적으로 사용할 수 있는 새로운 분업(경험적 표집 분포 협력적 구성)을 추진하였고, 이를 통해 학생들이 표본을 비교하는 규칙을 변경(경험적 표집 분포의 이미지들을 통해 재배방법의 효과 비교하기)하도록 하였다. 이를 통해 ‘두 재배방법 비교하기’라는 다소 모호했던 기존의 활동목표는 새로운 활동체계 2에서 ‘표집 분포 개념과 표본 변이성에 대한 이해를 바탕으로 두 재배방법 비교하기’라는 활동목표로 확장되었다고 할 수 있다.



[그림 IV-3] 새로운 활동체계 2와 활동의 결과물

이러한 활동을 통해 학생들은 첫째, 표본 통계량들을 하나의 분포로 인식하게 되면서 표집 분포를 비형식적으로 이해할 수 있게 되었다. 표본 자료들(모자그래프)의 겹쳐진 이미지는 학생들이 표본 평균값의 변화 패턴에 주목하는 것이 아니라 표본 통계량들을 하나의 분포로 인식하게 하였다. 일부 학생들은 활동 초기에 시간에 따른 평균값의 변화에 주목함으로써 표본 평균들이 계속 증가하거나 감소할 것이라 생각했지만, 겹쳐진 이미지를 통해 표본 통계량들이 일정한 범위 내에서 변화한다고 설명할 수 있었다. 이처럼 표본 평균들을 개별 값의 변화로서 파악하는 것이 아니라 하나의 분포로서 볼 수 있는 것은 표집 분포의 기초적인 개념이 형성된 것이라 볼 수 있다. 둘째, 학생들은 표본은 변이성이 있지만, 일정한 범위 내에서 변화한다는 것을 통찰하게 되면서 시행 횟수를 반복하면 표본 평균의 변화 속에서 안정적인 신호를 포착할 수 있음을 이해하게 되었다. 이를 통해 비료 C와 D의 재배방법의 효과를 판단할 수 있었다(124~127). 학생들이 표본이 아닌 모집단에 대한 판단을 하고 있는지는 정확하게 확인할 수 없었지만, 이전에는 ‘판단할 수 없다’거나 ‘표본의 평균이 ‘같아지거나 계속 커진다’고 답하였다는 것에 주목할 필요가 있다. 이러한 이미지를 함께 구성한 후, 학생들은 재배방법의 효과를 판단할 수 있었다(127). 셋째, 표본의 크기에 따른 표집 변이성을 인식할 수 있었다. 학생들은 표본

의 크기가 200일 때와 1000일 때의 표본 그래프의 겹쳐진 이미지를 비교함으로써, 표본의 크기가 1000일 때, 표본들의 변이성이 작다는 것을 인식하게 되었다(143~158).

<8차시 수업의 에피소드 6>

- 124 T1 ...비료 C하고 비료 D 중에 뭐가 더 효과 있는 것 같아요?
 125 S4 D요.
 126 T1 D가 효과가 있는 것 같아? 그건 어떻게 알 수 있지?
 127 S1 평균 보고도 알 수 있고, 그 D의 모자그래프 (겹쳐진) 모양이랑 C의 모자그래프 (겹쳐진) 모양이랑 비교하면 D쪽이 조금 더 오른쪽으로 가는 걸 볼 수 있어요.

<9차시 수업의 에피소드 7>

- 143 T1 모자그래프를 겹치니까 REPEAT 작을 때(표본의 크기가 작을 때) 모자그래프가 어떻게?
 144 S3 간격이 좀 멀었어요.
 147 S4 차이가 심했어요.
 148 T1 차이가 심했지... 그다음에 REPEAT이 크면? 1000, 10000을 했을 때는 모자그래프가 어떻게?
 151 S4 비슷비슷하다는거죠 아마?
 157 S3 조금 더 촘촘하게 뭉쳐 있어요.
 158 T1 촘촘하게 뭉쳐 있다.. 좋은 표현이네.

2. 규칙과 인공물, 규칙과 주체 사이의 모순에 의한 평균 구하기 알고리즘의 도입

9차시에서 교사는 학생들에게 B, D, 순지르기 세 가지 재배방법의 효과를 비교하도록 하였다. 학생들은 세 가지 재배방법(비료 B, 비료 D, 순지르기)의 효과를 예측하기 위해 표본의 크기를 1000으로 설정하였고 시행 횟수를 반복하여 표본을 생산하였다. 많은 학생들이 S3처럼 모집단의 평균을 다소 폭넓은 구간으로 예측하였다(163). 교사는 학생들의 예측의 범위를 줄이고 직관적인 신뢰구간의 이미지를 형성하도록 지원하기 위해 겹쳐진 모자그래프의 이미지들 중 자주 나타나는 모자그래프에 주목하도록 하였다. 교사는 이러한 활동을 통해 학생들이 표본 시뮬레이션에서 생산되는 표본 중 자주 나타나는 표본 결과와 희귀하게 나타나는 표본 결과가 있음을 통찰하기를 기대했다.

<9차시 수업의 에피소드 8>

- 160 T1 ...B 사용했을 때 (10만개의) 무게(의 평균)가 얼마쯤 될 것이라는 평균을 예측해야 해.
 161 S3 저 평균 찾았어요.
 163 S3 지금 S1이 한 것을 보니까 최저가 0.99고 최고가 1.12니까 그 사이에 좀 많이 나올 것 같아요.

(1) 갈등과 모순

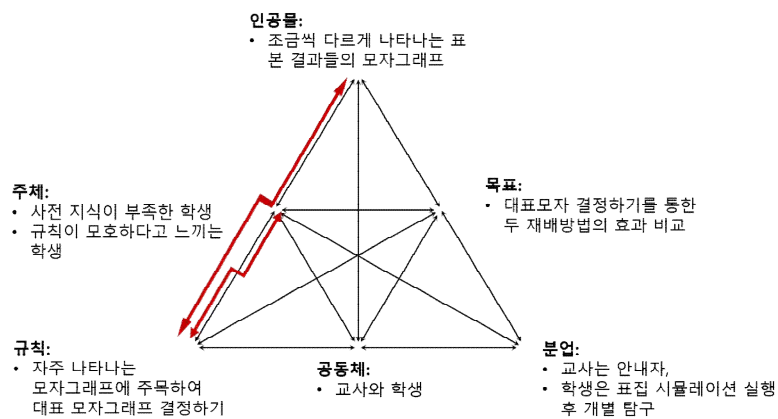
교사는 학생들에게 대표 모자그래프를 결정하고 대표적인 평균을 찾아보라고 요청하였다. 일부 학생들은 여러 표본 평균들 중 가장 많이 나타난 평균을 선택하였지만, 시행을 반복할 때마다 모자그래

프가 변화하고 있었기 때문에 대표 모자그래프를 하나로 결정하는 것은 쉽지 않았다. 교사는 대략적인 값을 기대했지만 학생들은 대체적인 경향을 읽는 통계적 사고방식에 익숙하지 않은 것 같았다. 시행 횟수가 반복되어 겹쳐지는 그래프가 많아지고, 표본의 크기가 커서 표집 변이성이 적어지자 이러한 활동의 규칙에 불편함을 느끼는 학생들이 나타났고 교사와 학생, 학생 사이에서 의견 불일치가 나타났다. 학생들은 교사가 제시한 규칙을 따르기에 사용하는 인공물이 적절하지 않다고 느끼는 것 같았다(223). 이것은 문화-역사적 활동이론의 관점에서 ‘아니오, 동의하지 않습니다.’라는 담화로 나타나는 주체들 사이의 갈등으로 볼 수 있다.

<9차시 수업의 에피소드 9>

- 223 S1 여기 중에 어딘가 있을 거라고 생각하고 그냥 넘어가는 건가요?
 224 T1 ...대표 평균은 얼마일 것 같아?
 225 S3 1.1 정도? 1.1이 대표일 것 같아요.
 226 T1 왜?
 227 S3 1.1이 제일 많이 나왔어요.
 229 S3 네. 그리고 그게 중간값이기도 하고 전체적으로.
 230 T1 전체적으로 중간값이기도 하고.. S1 생각은 어때?
 233 S1 가장 많이 겹쳐진 테를 이렇게 네모로... 거기를 중심으로 생각하고 그냥 대중 찍어서 가운데를 오면 한 1.15 정도 나올 것 같아요.

교사와 학생 사이의 이러한 갈등은 ‘자주 나타나는 모자그래프에 주목하여 대표 모자그래프를 결정하기’라는 규칙과 이러한 규칙을 모호하고 불충분한 것으로 받아들이는 학생 주체들 사이의 모순과 관계되어 있다고 볼 수 있다. 학생들은 표집 변이성을 인식하기는 했지만, 교사가 제시한 규칙이 모호해서 활동에 적용할 수 없다고 생각하는 것 같았다. 이는 학생들이 통계적 사고방식에 익숙하지 않고, ‘대표적’이라는 단어의 통계적 의미를 이해하지 못하기 때문으로 보인다. 이로 인해 교사가 제시한 규칙(대표적인 모자그래프 선택하기)은 학생들이 다루는 인공물(변이성을 가진 표본 그래프)과 부조화를 일으키므로 규칙과 인공물 사이의 모순이 발생했다고 볼 수 있다. 즉, 활동체계 3에서는 주체와 규칙 사이의 모순과 인공물과 규칙 사이의 모순을 확인할 수 있었다.



[그림 IV-4] 활동체계 3의 요소들과 요소들 사이에서 나타나는 모순

(2) 모순을 해결하기 위한 규칙의 도입

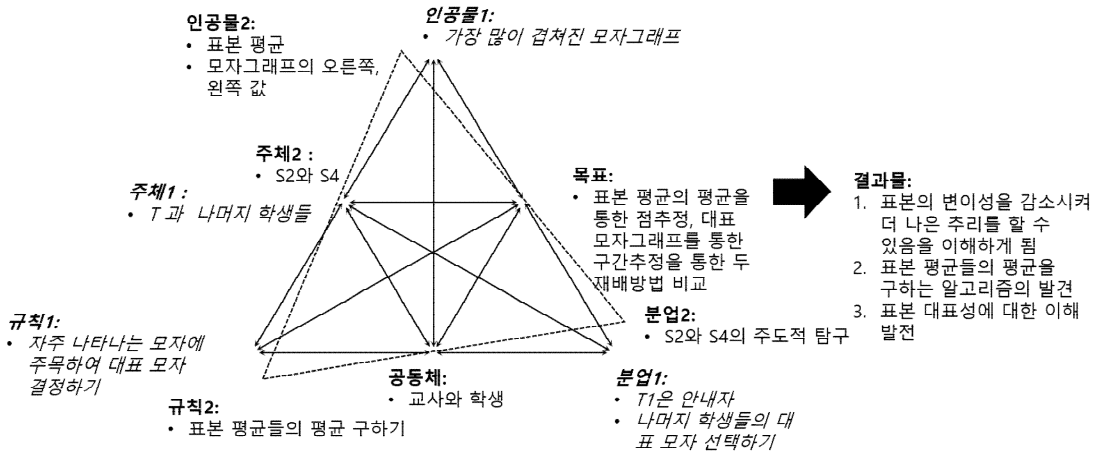
S2와 S4는 활동에 적용되는 규칙이 적절하지 않다고 생각했기 때문에 교사와 다른 학생들과 갈등을 일으켰다. 교사는 대략적인 값을 구하는 것으로 활동의 목표를 설정했지만 S2와 S4는 정확한 값을 구해야 한다는 신념을 가지고 있었기 때문에 모호한 규칙이 아닌 새로운 규칙을 필요로 하였다. 결국 두 학생은 정확한 값을 구하기 위해 표본 평균들의 평균을 구해보기로 했다. 이때, 교실에는 가장 많이 겹쳐진 모자그래프(인공물 1)를 이용하여 대표 모자그래프를 결정하는 규칙(규칙 1)을 따르고, 이를 통해 모집단의 평균을 예측하는 학생 그룹이 발생하였고 이들에 의한 활동체계 4가 일시적으로 나타났다. 동시에 표본 통계량(인공물 2)을 사용하고, 표본 평균들의 평균을 구하는 알고리즘(규칙 2)을 따르는 학생 그룹의 활동체계 5가 일시적으로 나타났다. 교사는 두 가지 활동체계를 잠시 용인하면서 학생들의 활동의 결과를 교실 전체에 공유하였다(263). 이를 통해 전체 학생들은 두 활동체계의 서로 다른 규칙과 그에 따른 결과를 비교할 수 있었다.

<9차시 수업의 에피소드 10>

- 205 S2 선생님 그런데 여기에서 뭐 다 다르게 나오잖아요. 평균이랑 이런 것들이...
- 206 T1 맞아.
- 207 S2 근데 이거 여기 그 평균을 구하면 되지 않아요? 평균이 딱... 많이 나온 것을 그것의 평균을 구해도 돼요?
- ...
- 254 S4 나도 한 번 계산기 돌려볼까?
- 262 S2 가장 대표적인 평균은 1.09 나왔고요. 대표 모자그래프의 오른쪽은 0.69...
- 263 T1 어, 그런데 우리 대표 모자그래프의 왼쪽 겹쳐지는 걸 읽었더니 0.7이었는데 평균 낸 것도 비슷하다. 0.69 그렇지? 대표 모자그래프의 오른쪽도 1.5 나왔는데 평균 낸 것도 1.49

(3) 활동체계의 확장적 변화와 활동의 결과물

활동체계 3에서 나타난 인공물과 규칙, 주체와 규칙 사이의 모순을 해결하기 위해 새로운 활동체계 4와 5가 형성되었다. S2와 S4는 모호한 규칙을 분명하게 하고, 계속 변화하는 표본 결과들을 다루기 위해 표본 평균들의 평균을 구하는 알고리즘을 규칙 2로 도입하였다. 이 과정에서 교사가 제시한 규칙 1과 S2와 S4가 발견한 새로운 규칙 2에 의한 서로 다른 활동체계 4, 5가 일시적으로 형성되었다. 활동체계 4에서 주체들은 인공물 1을 사용하고, 분업 1의 형태로 활동에 참여하였으며 규칙 1을 따른다. 활동체계 5에서 주체들은 인공물 2를 사용하고, 분업 2의 형태로 활동에 참여하였으며 규칙 2를 따른다. 이러한 두 활동체계의 상호작용으로 기존의 활동목표였던 ‘대표 모자그래프 결정하기를 통한 두 재배방법의 효과 비교’는 새로운 활동목표 ‘표본 평균의 평균을 활용한 점추정, 대표 모자그래프를 활용한 구간추정을 활용한 두 재배방법 비교’로 확장되었다고 할 수 있다.



[그림 IV-5] 새로운 활동체계 4, 5와 활동의 결과물

이러한 활동을 통해 첫째, 학생들은 표본의 크기를 크게 하고 시행 횟수를 반복함으로써 표본의 변이성을 감소시켜 더욱 확실한 추리를 할 수 있다는 것을 이해하게 되었다(129~136). 이것은 학생들의 표집 변이성에 대한 이해가 발전한 것이라 할 수 있다. 둘째, 학생들은 표본 평균들의 평균을 구하는 알고리즘을 스스로 발견하였고, 이를 자주 나타나는 표본 평균과 비교함으로써 표본 평균들의 평균이 모집단의 평균을 예측하는데 도움을 줄 수 있다는 것을 통찰하게 되었다(418~423). 셋째, 표본 평균들의 값 중 자주 나타나는 값의 범위를 설정하고 그 범위의 평균을 구함으로써 모집단의 평균을 예측할 수 있었다(428~438). 즉, 학생들은 대부분의 표본 결과가 모집단과 유사하고, 편차가 큰 평균은 상대적으로 적은 빈도로 나타난다는 것을 관찰할 수 있었다. 더 나아가 평균을 구하는 알고리즘을 활용하여 점추정을 하는 방법을 개발하기도 했다. 학생들은 표본 자료의 빈도분포를 시각화하고 상상함으로써 변이와 불확실성을 통제할 수 있었기 때문에 대부분의 학생들이 비료 D의 효과가 가장 크다는 것을 정확하게 추리할 수 있었다(440). 이를 통해 학생들의 표본 대표성에 대한 이해가 발전되고 있음을 확인할 수 있었다. 이전에 학생들은 변화하는 표본 결과들로부터 모집단을 예측할 수 없다고 응답하였으나, 새로운 활동체계에서 학생들은 표본의 상대적인 빈도 분포를 통해 모집단을 추리할 수 있다는 것을 깨닫게 되었다.

<9차시 수업의 에피소드 11>

- 129 T1 처음에 (표본의 크기가) 50이었는데 왜 1000으로 바꿨지?
- 130 S3 오차가 적어져서요.
- 134 S3 조금 촛촛해서 좋아요. 촛촛해서 더 정확하게 알 수 있잖아요
- 135 T1 우리가 지금 목표는 비료 B, 비료 D, 순지르기를 비교하는 거잖아? 비교할 때 (두 집단의) 차이가 더 잘 보일까? 아니면 잘 안 보일까?
- 136 S4 더 잘 보이지 않을까요?
- ...
- 265 T1 S3이 1.10이 대표 평균이고 제일 자주 나타나는 평균인 것 같다고 그랬는데 S2가 평균들의 평균을 구했더니 1.09래. 오, 거의 비슷하네... S2야, 평균들의 평균을 구하는 게 어떤 의미가 있을

- 266 S2 까?
 평균 내는 게. 이거 모두 합해서 (평균을 구하면) 제일 적당한 평균이 나오고 아무리 똑같은 거라도 다르기도 할 수 있으니까 더 자세히 알 수 있을 것 같아요.

<9차시 수업의 에피소드 12>

- 416 T1 자주 나타난다는 의미가 뭘까? 대표 모자그래프, 대표 평균이 왜 중요할까? 우리가 왜 자주 나타나는 것을 찾는 거지?
 417 S2 어디서부터 어디까지 (모집단) 평균이 나타나는지 알고?
 418 T1 자주 나타나는 건 다음 실험할 때도 더 자주 나타나나?
 419 S3 그러겠죠?
 420 T1 S3 그럴 것 같아? 실험 우리가 반복하면 RUN을 계속하면 지금까지 자주 나타났던 게 다음에 또 정말 또 계속 나타날 것 같아?
 421 S3 네.
 422 T1 그렇구나. 내년에 모집단 전체 발에다가 실험을 할 때도 지금 자주 나타나는 값이 나타날 거라 (예측) 할 수 있겠네?
 423 S3 네.
 427 S1 제일 자주 나타나는 거는 아직 다 안 세봤는데... 이것의(모집단 비료D) 평균은 거의 1.13이 나올 것 같아요.
 428 T1 아... 평균을 구해보면 1.13쯤 될 것 같다? S3은?
 429 S3 저도 1.11에서 1.14 그 사이니까 1.12나 1.13?
 437 T1 우리가 지금의 결과를 이용해서 한번 예측을 해본다면 내년에 대체적으로 비료D를 사용한다면 얼마쯤 애플수박의 무게가? 하나로 딱 대답한다면?
 438 S3 1.12, 1.13
 439 T1 오케이. 그러면 우리는 우리 팀은 뭘로 고른 거예요?
 440 S1,S2,S3,S4 D

V. 논의 및 결론

본 연구에서는 표집 시뮬레이션을 활용한 비형식적 통계적 추리의 교수-학습을 문화-역사적 활동이론의 관점에서 탐색함으로써, 교수-학습 과정의 사회문화적 측면들을 이해하고, 특정 현상을 복합적이고 총체적으로 분석하였다. 구체적으로 표집 시뮬레이션을 활용한 비형식적 통계적 추리의 교수-학습 과정을 활동체계(Engeström, 1999, 2001)의 틀로 분석하고 이러한 활동체계에서 어떠한 모순이 발생하는지, 그리고 모순에 의해 활동체계가 어떻게 확장적으로 변화할 수 있는지 설명하였다. 연구 결과, 첫째, 목표(두 재배방법 비교하기)와 이를 달성할 수 없도록 하는 규칙(n번째 표본들의 평균을 비교하기, 시간에 따른 평균 변화의 경향성을 비교하기) 사이의 모순을 확인할 수 있었다. 또한 인공물(표본 그래프의 변이성)과 활동의 목표 사이의 모순을 확인할 수 있었다. 이러한 모순을 해결하는 과정에서 경험적 표집 분포의 시각화라는 새로운 인공물이 활동체계에 도입될 수 있었고, 이를 통해 표본 통계량을 하나의 분포로 인식하게 되고 표본이 일정한 범위 내에서 변화한다는 것을 통찰하게 되었다. 또한 표집 변이성에 대한 이해를 발전시킬 수 있었다. 둘째, 규칙(자주 나타나는 모자그래프에 주목하여 대표 모자그래프를 결정하기)과 주체(규칙을 모호하게 느끼고, 통계적 사고방식에 익숙하지 않은 학생들)사이의 모순과 인공물(표본 평균의 변이성)과 규칙(대표적인 모자그래프 선택하기) 사이의 모순을

확인할 수 있었다. 이러한 모순을 해결하는 과정에서 표본의 대표성을 결정하는 활동체계와 표본 평균의 평균을 구하는 활동체계가 일시적으로 형성되었다. 이 과정에서 학생들은 시행횟수를 반복하고 표본의 크기를 크게 하는 것이 더 나은 추리를 하는데 도움이 된다는 것을 깨달을 수 있었다. 또한 표본 평균들의 평균을 구하는 알고리즘을 발견하고 표본 대표성에 대한 이해를 발전시킬 수 있었다.

첫째, 표집 시뮬레이션을 활용한 활동이 비형식적 추리의 학습을 지원하는 효과적인 교수-학습 방법(지영명, 2020; Cobb, 2007; Garfield & Ben-Zvi, 2008; Rossman, 2008)으로 제안되고 있지만, Chance, delMas, & Garfield (2010)은 학생들이 표집 시뮬레이션의 결과를 시각적으로 관찰하는 것만으로 교육적 목표를 달성할 수 없다고 주장한 바 있다. 본 연구에서도 표집 시뮬레이션에서 표본의 변화를 관찰하는 활동만으로는 교육적 효과를 달성하기 어려우며, 오히려 비형식적 통계적 추리의 학습을 저해할 수 있음을 확인할 수 있었다. 연구결과 1에서 학생들은 표집 시뮬레이션의 활동에 참여하면서 표본의 일부에 주목하거나 표본 그 자체만을 비교하는 규칙을 따르고 있었다. 교사가 이를 해결하기 위해 시도한 교수전략(표본의 크기 증가시키기, 표집 반복하기) 역시 표집 시뮬레이션을 관찰하는 활동에 머물러 있기 때문에 학생들의 실천을 개선시키기에 효과적이지 않음을 알 수 있었다. 학생들은 표본 그 자체에만 주목하는 경향이 있는데(Braham & Ben-Zvi, 2017) 이러한 경향은 표집 시뮬레이션 환경에서 더욱 지속적으로 나타날 수 있는 듯 보인다. 교사는 이러한 경향으로 인해 학생들이 적절하지 않은 판단 규칙을 따를 수 있음을 이해하고 학생들이 이러한 규칙을 수정해나갈 수 있도록 활동의 구조를 변경하는 것이 필요하다. 즉, 교사는 교실에 새로운 실천의 패턴을 형성하기 위해 적절한 인공물(경험적 표집 분포의 겹쳐진 이미지, 공유화면)을 활용하고, 분업의 형태를 변경함으로써 새로운 규칙을 형성하여 활동체계가 확장되도록 할 필요가 있다.

둘째, 교사는 수업 중 직면한 문제들을 동료 교사들과 함께 논의함으로써 이것이 학생 개인의 문제가 아닌 활동목표와 규칙 사이의 모순과 활동목표와 인공물 사이에서의 모순과 관계되어 있으며, 활동의 구조를 변경해야 한다는 것을 더 쉽게 인식할 수 있다. 연구결과 1에서 교사가 7차시 수업에서 시도한 교수전략은 효과적이지 않았지만, 다른 교사들과 함께 이 문제를 논의하면서 학생들이 따르는 규칙을 변경해야 함을 인식할 수 있었다. 또한 이와 함께 표본 그래프를 겹쳐 그리는 활동이 필요하다는 것을 인식할 수 있었고, 이러한 활동이 학생 개인 활동이 아니라 협력 활동으로 진행될 필요가 있다는 것을 깨달을 수 있었다. 표집 시뮬레이션에서 표집의 횟수나 표본의 크기를 변경하는 활동이 학생 개인의 주도로 이루어질 때, 학생들은 변화하는 표본 결과들에서 무엇에 주목해야 하는지, 그리고 자신이 발견한 것이 의미있는 것인지 깨닫지 못하는 것 같았다. 교사 역시 이러한 문제를 다른 교사들과의 함께 논의함으로써 활동체계의 여러 요소들 사이의 모순과 이에 효과적인 교수학적 인공물을 도입해야 할 필요성을 인식할 수 있었다. 학생들에게 낯선 기술적 인공물을 도입할 때 나타날 수 있는 문제는 활동체계의 구조를 변경함으로써 더 잘 해결될 수 있다. 교사는 다른 교사들과의 협력을 통해 이러한 모순을 더욱 잘 인식할 수 있었고, 이에 대한 해결책을 함께 모색할 수 있을 것이다. 교사나 수업 설계자는 활동체계의 요소들을 이용해 교실 활동 내에서 발생할 수 있는 다양한 모순들을 미리 예상해볼 수 있을 것이다. 또한 수업에서 표면적으로 잘 드러나지 않는 모순을 활동체계의 틀을 이용하여 포착할 수 있을 것이다.

셋째, 활동에서 나타나는 참여자들 사이의 갈등으로 인해 교실에 일시적으로 서로 다른 활동체계가 나타날 수 있으며, 교사가 이를 적절히 연계함으로써 새로운 학습의 기회를 창출할 수 있었다. 학생들은 교사가 제시한 규칙을 모호하다고 느끼거나 이러한 규칙을 따르기에 사용하는 인공물의 기능이 부족하다고 느낄 수 있으며 이것은 규칙과 인공물 사이의 모순과 주체와 규칙 사이의 모순과 관련되어 있다고 볼 수 있다. 연구결과 2에서 학생들은 교사가 제시한 규칙과 사용하는 인공물에 불만족을 느끼는 학생들과 교사의 안내를 따르는 학생들 사이에 갈등이 나타났고, 이러한 갈등으로 인해 교실에

는 일시적으로 다른 활동체계가 형성되었다. 교사는 서로 다른 활동체계를 잠시 용인하고 두 활동체계의 결과를 공유함으로써 학생들에게 새로운 학습의 기회를 제공할 수 있었다. 이러한 전략으로 인해 두 개의 활동체계는 확장된 목표를 추구하는 새로운 활동체계로 발전할 수 있었다. 새로운 활동체계에서 학생들은 표본 평균들의 평균을 구하는 알고리즘을 발견하고, 표본 평균들의 평균이 표본들 사이에서 자주 나타나는 대표성 있는 표본 평균과 관련이 있음을 깨달을 수 있었다. 표집 시뮬레이션 활동에서 학생들이 모호하게 느끼는 규칙이나 불만족을 느끼는 특정한 기능에 대해서 교사는 학생들이 이러한 모순에 대처할 수 있는 기회를 허용함으로써 학생들에게 창의적으로 사고할 수 있는 학습의 기회를 제공할 수 있을 것이다.

넷째, 문화-역사적 활동이론은 활동체계에서 주체들이 모순에 어떻게 대처하고 이를 해결해나가는지 주목할 수 있게 함으로써, 교사와 학생이 자신의 변화는 물론 공동체의 변화까지 능동적으로 구성해나가는 역동적이고 주체적인 존재로 고려될 수 있도록 한다. 본 연구에서는 비형식적 통계적 추리의 발전에 핵심적인 역할을 한 경험적 표집 분포의 시각화와 표본 평균들의 평균 구하기 알고리즘은 활동체계의 모순을 이를 해결하고자 하는 교사와 학생들에 의해 도입되었음을 확인할 수 있었다. 본 연구에서는 활동 주체들의 참여방식으로 인해 사회문화적 또는 물질적인 실천이나 인공물이 생산되었으며, 이 과정에서 학습자는 통계적 사고방식과 개념들을 발전시킬 수 있었다. 문화-역사적 활동이론의 관점에서 학습자는 활동의 주체가 될 때, 활동의 새로운 문화적 의미와 추론 방식, 인공물을 생산하는 방식들을 내면화하며 변화한다(Roth & Radford, 2011). 또한 교사는 교수학적 전략을 실천하는 실천가일 뿐 아니라 활동의 변화를 창의적으로 주도하는 주체로 고려될 수 있었다. 이러한 관점에서 시뮬레이션과 같은 공학 도구를 교실에 도입할 때 발생하는 여러 모순을 대처해나가면서 교사와 학생은 교수-학습의 주체로 성장할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 표집 시뮬레이션을 활용하여 초등학생들에게 비형식적 통계적 추리의 학습 기회를 제공하고, 가상의 표집 활동에 참여하게 함으로써 이러한 활동이 표본 대표성, 표집 변이성의 이해를 지원한다는 잠재력을 확인할 수 있었다. 또한 문화역사적 활동이론과 모순의 관점에서 교실 활동체계의 변화를 설명함으로써 초등학생들도 표집 활동에서 주체적인 학습을 할 수 있음을 확인할 수 있었다. 국내에서는 형식적인 표집 분포의 개념을 고등학교에서 처음으로 도입하고 있지만 이보다 더 이른 시기의 학생들이 표집 분포에 대한 비형식적인 직관을 개발할 필요가 있다(구나영, 탁병주, 강현영, 이경화, 2015; Garfield & Ben-Zvi, 2008). 이러한 관점에서 표집 시뮬레이션을 활용한 가상의 표집 활동은 이러한 문제의 대안이 될 수 있을 것이다. 최근 국내의 초등 통계교육의 연구에서는 공학 도구의 활용에 대한 연구가 점차 증가하고 있는데(예를 들어, 이종학, 2022; 탁병주, 이경화, 2017), 문화-역사적 활동이론과 활동체계 분석은 공학 도구를 활용하는 교수-학습의 실재를 이해하는 데 유용한 관점을 제공할 것이다.

참고 문헌

- 고은성, 탁병주. (2019). 점그래프와 상자그림의 교수학적 분석: 통계적 추리 지도를 위한 교육적 효용성 고찰. **수학교육학연구**, 29(4), 577-605.
- 구나영, 탁병주, 강현영, 이경화. (2015). 표본 지도에 대한 고찰: 국외 교육 과정 분석을 중심으로. **학교수학**, 17(3), 515-530.
- 김경희. (2011). 지식사회에서의 평생학습이론의 지향점: 앙스트롬의 확장학습이론 (Expansive Learning Theory) 을 중심으로. **평생교육학연구**, 17(4), 293-321.
- 박민선, 고은성. (2014). 초등학교 4학년 학생들의 표집활동 분석: 사례연구. **학교수학**, 16(3), 503-518.
- 박양주, 연은경. (2014). 문화-역사적 활동이론의 시각을 통한 교수, 학습 매체 도입, 활용 체제 분석-국내 A 원격대학 원격영상강의 시스템 사례를 중심으로. **한국교육공학회 학술대회발표자료집**, 2014(1), 265-275.
- 성열관. (2018). 문화-역사적 문화-역사적 활동이론에서 모순 개념의 중요성. **교육비평**, 42, 145-173.
- 신소연, 박철규, 이창윤, 홍훈기. (2018). 2015 개정교육과정의 '과학탐구실험' 실행에 대한 사례연구: 문화역사적 활동이론(CHAT) 측면에서의 이해, **한국과학교육 학회지**, 38(6), 883-897.
- 신우진, 고호경, 노지화. (2022). 우리나라와 뉴질랜드의 고등학교 통계 교육과정 분석. **한국학교수학회 논문집**, 25(1), 19-38.
- 이기돈. (2018). '달린 상자'에서의 복원추출에 의한 모비율 추측 활동수업 개발 및 적용. **A-수학교육**, 57(4), 413-431.
- 이종학. (2022). 초등수학 교과 기반 첨단 기술 및 ICT 교구 활용형 융합교육 자료 개발에 대한 사례 연구. **한국학교수학회 논문집**, 25(4), 333-352.
- 이창윤, 박철규, 유수형, 홍훈기(2019). 자유학기제에서 중등 과학교사의 플립러닝 실행에 대한 문화역사적 활동이론 측면에서의 이해. **학습자중심교과교육연구**, 19(5), 823-854.
- 이형상. (2018). Engestrom 의 활동 이론에 근거한 지리지식의 협력적 창출 분석. **한국지리환경교육 학회지 (구 지리환경교육)**, 26(3), 73-90.
- 지영명. (2020). 비형식적 통계적 추리 지도를 위한 예비초등교사의 통계지식 연구. 서울대학교 박사 학위 논문
- 탁병주, 이경화. (2017). 우리나라 통계교육 연구의 동향 분석: 2000년 이후 발행된 국내 통계교육 연구논문을 중심으로. **수학교육학연구**, 27(2), 269-289.
- Barab, S., Schatz, S., & Scheckler, R. (2004). Using activity theory to conceptualize online community and using online community to conceptualize activity theory. *Mind, Culture, and Activity*, 11(1), 25-47.
- Baran, B., & Cagiltay, K. (2010). The dynamics of online communities in the activity theory framework. *Journal of Educational Technology & Society*, 13(4), 155-166.
- Braham, H. M., & Ben-Zvi, D. (2017). STUDENTS'EMERGENT ARTICULATIONS OF STATISTICAL MODELS AND MODELING IN MAKING INFORMAL STATISTICAL INFERENCES. *Statistics Education Research Journal*, 16(2), 116-143.
- Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative research in psychology*, 3(2), 77-101.
- Chance, B., delMas, R., & Garfield, J. (2010). 표집 분포에 대한 추론. In D. Ben-Zvi & J. Garfield

- (Eds.). 통계적 사고의 의미와 교육 (pp. 353-384). 서울: 경문사. (영어 원작은 2004년 출판).
- Cobb, G. (2007). The introductory statistics course: A Ptolemaic curriculum? *Technology Innovations in Statistics Education*, 1(1), Article 1. Retrieved from <http://escholarship.org/uc/item/6hb3k0nz>
- Creswell, J. W. (2010). *질적 연구방법론 : 다섯 가지 접근 (조홍식 역)*. 서울: 학지사. (영어 원작은 2013년 출판).
- Creswell, J. W. (2017). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods*. Sage Publications.
- Edwards, J. R. (2008). 4 person - environment fit in organizations: An assessment of theoretical progress. *The academy of management annals*, 2(1), 167-230.
- Engeström, Y. (1999) Innovative learning in work teams: Analysing cycles of knowledge creation in work teams. In Engestrom, Y., Mietrinen, R. and Punamaki, R.L. (eds) *Perspectives on activity theory*, pp. 377-406. Cambridge University Press
- Engeström, Y. (2001). Expansive learning at work: Toward an activity theoretical reconceptualization. *Journal of education and work*, 14(1), 133-156.
- Engeström, Y. (2005). *Developmental work research: Expanding activity theory in practice (Vol. 12)*. Lehmanns media.
- Engeström, Y. (2008). Weaving the texture of school change. *Journal of Educational Change*, 9(4), 379-383.
- Engeström, Y. (2009). Expansive learning: Toward an activity-theoretical reconceptualization. In K. Illeris (Ed.), *Contemporary theories of learning: Learning theorists - In their own words*. Routledge.
- Engeström, Y., & Sannino, A. (2011). Discursive manifestations of contradictions in organizational change efforts. A methodological framework. *Journal of Organizational Change Management*, 24(3), 368 - 387.
- Engeström, Y. (2015). *Learning by expanding*. Cambridge University Press.
- Fourcaud, T., Zhang, X., Stokes, A., Lambers, H., & Körner, C. (2008). Plant growth modelling and applications: the increasing importance of plant architecture in growth models. *Annals of Botany*, 101(8), 1053-1063.
- Garfield, J., & Ben-Zvi, D. (2008). *Developing students' statistical reasoning: connecting research and teaching practice*. New York: Springer.
- Hardman, J. (2015). Pedagogical variation with computers in mathematics classrooms: A cultural historical activity theory analysis. *Psychology in Society*, 48, 47 - 76)
- Hatch, M. J. (1997). Irony and the social construction of contradiction in the humor of a management team. *Organization Science*, 8(3), 275-288.
- Jaworski, B., & Potari, D. (2009). Bridging the macro-and micro-divide: Using an activity theory model to capture sociocultural complexity in mathematics teaching and its development. *Educational Studies in Mathematics*, 72, 219-236.
- Kader, G., & Jacobbe, T. (2019). *통계의 필수 이해: 6-8학년 (강현영, 이동환 역)*. 서울: 교우미디어. (영어 원작은 2013년 출판).
- Kaptelinin, V., & Nardi, B. A. (2006). *Acting with technology: Activity theory and interaction design*. MIT press.

- Karakus, T. (2013). Practices and potential of activity theory for educational technology research. In M. Spector, D. Merrill, J. Elen, & M. Bishop (Eds.), *Handbook of Research on Educational Communications and Technology* (pp. 151-160). New York, NY: Springer
- Kuutti, K. (1996). Activity theory as a potential framework for human-computer interaction research. In B. A. Nardi (Ed.), *Context and consciousness: Activity theory and human-computer interaction*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Lane-Getaz, S. J. (2006). What is statistical thinking, and how is it developed. *Thinking and reasoning about data and chance: Sixty-eighth NCTM Yearbook*, 273-289.
- Lehrer, R., & Schauble, L. (2004). Modeling natural variation through distribution. *American Educational Research Journal*, 41(3), 635-679
- Leont'ev, A. N. (1978). *Activity, Conciosness, and personality*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Makar, K., & Rubin, A. (2009). A framework for thinking about informal statistical inference. *Statistics Education Research Journal*, 8(1), 82-105.
- Makar, K., Bakker, A., & Ben-Zvi, D. (2011). The reasoning behind informal statistical inference. *Mathematical Thinking and Learning*, 13(1-2), 152-173.
- Molina-Toro, J. F., Rendón-Mesa, P. A., & Villa-Ochoa, J. A. (2022). Contradictions in mathematical modeling with digital technologies. *Education and Information Technologies*, 27(2), 1655-1673.
- Murphy, E., & Manzanares, M. A. R. (2008). Contradictions between the virtual and physical high school classroom: A third generation Activity Theory perspective. *British Journal of Educational Technology*, 39(6), 1061-1072.
- Murphy, E., & Rodriguez-Manzanares, M. A. (2008). Using activity theory and its principle of contradictions to guide research in educational technology. *Australasian Journal of Educational Technology*, 24(4), 442 - 457.
- Mwanza, D. (2001). Where theory meets practice: A case for an activity theory based methodology to guide computer system design. *Proceedings of INTERACT' 2001: Eighth IFIP TC 13 Conference on Human-Computer Interaction*.
- Pfannkuch, M. (2011). The role of context in developing informal statistical inferential reasoning: A classroom study. *Mathematical Thinking and Learning*, 13(1-2), 27-46.
- Pfannkuch, M., Arnold, P., & Wild, C. J. (2015). What I see is not quite the way it really is: Students' emergent reasoning about sampling variability. *Educational Studies in Mathematics*, 88, 343-360.
- Pratt, D., & Ainley, J. (2008). Introducing the special issue on informal inferential reasoning. *Statistics Education Research Journal*, 7(2), 3-4.
- Rossmann, A. (2008) Reasoning about informal statistical inference: One statistician's view. *Statistics Education Research Journal*, 7(2), 5-19.
- Roth, W. M., & Lee, Y. J. (2007). "Vygotsky's neglected legacy": Cultural-historical activity theory. *Review of educational research*, 77(2), 186-232.
- Roth, W. M., & Radford, L. (2011). A cultural-historical perspective on mathematics teaching and learning (Vol. 2). Springer science & business media.
- Sawchuk, P. H. (2003). Informal learning as a speech-exchange system: Implications for knowledge

- production, power and social transformation. *Discourse & Society*, 14(3), 291-307.
- Shaughnessy, M. (2007). Research on statistics learning and reasoning. In F. K. Lester (Ed.), *Second handbook of research on mathematics teaching and learning* (pp. 957-1009). Charlotte, NC: Information Age Publishing.
- van Dijke-Droogers, M., Drijvers, P., & Bakker, A. (2020). Repeated sampling with a black box to make informal statistical inference accessible. *Mathematical Thinking and Learning*, 22(2), 116-138.
- Watkins, A. E., Bargagliotti, A., & Franklin, C. (2014). Simulation of the sampling distribution of the mean can mislead. *Journal of Statistics Education*, 22(3).
- Watson, J., & Chance, B. (2012). Building intuitions about statistical inference based on resampling. *Australian Senior Mathematics Journal*, 26(1), 6-18.
- Watson, J. M., & English, L. D. (2016). Repeated random sampling in year 5. *Journal of Statistics Education*, 24(1), 27-37.
- Watson, J., Wright, S., Fitzallen, N., & Kelly, B. (2022). Consolidating understanding of variation as part of STEM: experimenting with plant growth. *Mathematics Education Research Journal*, 1-39.

Teaching and learning about informal statistical inference using sampling simulation : A cultural-historical activity theory analysis

Seo Minju¹⁾ · Seo Yumin²⁾ · Jung Hye-Yun³⁾ · Lee Kyeong-Hwa⁴⁾

Abstract

This study examines the activity system of teaching and learning about informal statistical inference using sampling simulation, based on cultural-historical activity theory. The research explores what contradictions arise in the activity system and how the system changes as a result of these contradictions. The participants were 20 elementary school students in the 5th to 6th grades who received classes on informal statistical inference using sampling simulations. Thematic analysis was used to analyze the data. The findings show that a contradiction emerged between the rule and the object, as well as between the mediating artifact and the object. It was confirmed that visualization of empirical sampling distribution was introduced as a new artifact while resolving these contradictions. In addition, contradictions arose between the subject and the rule and between the rule and the mediating artifact. It was confirmed that an algorithm to calculate the mean of the sample means was introduced as a new rule while resolving these contradictions.

Key Words : Cultural-historical Activity Theory, activity system, contradiction, sampling simulation, informal statistical inference

Received February 22, 2023

Revised March 27, 2023

Accepted March 27, 2023

* 2010 Mathematics Subject Classification : 97C80

1) Seoul National University Graduate School (ann3916@snu.ac.kr)

2) Seoul Eunbit Elementary School (sym0517@snu.ac.kr)

3) Korea Institute for Curriculum and Evaluation (hy0501@kice.re.kr)

4) Seoul National University (khmath@snu.ac.kr), Corresponding Author