



문화역사적 활동이론을 통한 학부생 연구지원 프로그램 참여자의 과학연구 수행과정의 분석

이지원*
한국교원대학교

Analysis of the Scientific Research Process of a Participant in Undergraduate Research Program by Cultural Historical Activity Theory

Jiwon Lee*
Korea National University of Education

ARTICLE INFO

Article history:

Received 21 March 2018
Received in revised form
12 April 2018
24 April 2018
17 May 2018
Accepted 26 May 2018

Keywords:

undergraduate research program,
novice scientist, cultural
historical activity theory,
scientific research process,
mentoring, gifted

ABSTRACT

In this study, the first experience of the whole research process of a novice scientist (student A) who participated in the Undergraduate Research Program (URP) was analyzed. The data were collected through observation, interviews, and document analysis with the cultural historical activity theory being used as a theoretical lens. At the beginning of novice's research, the mentor guided him in setting a research goal and provided mediating artifacts. Student A formed a research team based on the vertical relationship without a shared mental model. Two major contradictions occurred and they were the sources of changes of student A's activity system. The first contradiction was between the mentor's educational philosophy and the mentee's educational needs, which was resolved in a way that student A asked and used the mentor's network to obtain his needs about task-specific details. The second contradiction arose because the team members wanted horizontal relationship while student A wanted to stick to the vertical relationship. After student A accepted the opinions of the team members, they cooperatively changed the division of labor in the activity system. Student A decided to become a scientist and not a physics teacher, even if his major is physics education after finishing his URP research process. His URP experience also created and expanded his network in the academic field, and his negative attitude toward collaboration changed positively. Through the analysis of the structure and changes in the activity system of URP research, implications for instructional method and support system of the apprenticeship can be obtained.

1. 서론

학부생 연구 프로그램(Undergraduate Research Program: 이하 URP)은 우수한 과학인재의 육성을 위하여 대학 학부생들을 대상으로 이들이 창의적 연구주제를 선정하여 연구계획을 수립하고 관련 교수나 전문가와 같은 멘토의 지도를 받아 자기 주도적으로 연구를 수행하도록 돕는 사사교육 프로그램으로, 세계 각국에서 수행되고 있다. 국내에서도 몇몇 대학에서 자체적으로 재학생들을 대상으로 이 프로그램을 시행하고 있고, 한국과학창의재단에서도 전국의 대학생을 대상으로 프로그램을 운영하고 있다(Lee, 2009). URP는 대학수준 과학 영재를 위한 지원 프로그램으로서 그 효과성을 인정받아 확대 운영되고 있다(Ministry of education, 2013). URP의 장점은 여러 가지가 있지만, 크게 두 가지 영역으로 분류할 수 있다. 첫째, URP는 참여 학부생의 개인적 및 경력 개발과 연구 기술 습득을 지원함으로써 이 프로그램을 수행한 학생들이 이공계 연구와 진로를 더욱 많이 선택하도록 한다는 점이다. URP 참여자는 그렇지 않은 학생에 비하여 과학계통 대학원 진학을 더 많이 하게 된다(Hathaway et al., 2002). 학부

연구 경험의 긍정적 효과는 멘토에 의한 과학 영역에서의 사회화와, 실제 연구 경험을 통해 과학을 수행하는 방법에 대한 이해가 증진되었기 때문으로 보인다(Laursen et al., 2010). 둘째, URP는 학부생들의 과학에 대한 수용성, 즉 과학에 대한 자기 효능감(Robnett et al., 2015), 혹은 연구에 대한 자기 효능감(Adedokun et al., 2013)에 긍정적인 영향을 준다(Chemers et al., 2011; Dolan, Johnson, 2009; Hunter et al., 2007; Lopatto, 2007; Paglis et al. 2006, Thiry, Laursen, 2011) URP는 학생들에게 교실에서는 하지 못하는 학습 경험을 주기 때문에, 학생들을 도전적으로 만든다(Nagda et al., 1998; Villarejo et al., 2008). 또한 이렇게 실제 수행을 통해 과학 하는 방법을 익히게 되면 참여자의 과학 개념의 이해도(Burgin, Sadler, 2016)와 학문적 성취(Slovacek et al., 2012)가 높아진다. URP에 참여한 학부생들은 연구 기술, 작문 기술, 학문적 자신감, 연구 생산성 및 지적 성숙을 경험한다(Kardash, 2000; Laursen et al. 2010; Lopatto, 2004).

하지만 Adedokun et al.(2013)은 URP에 대한 기존 연구가 주로 교육 효과에 대한 대규모 양적 연구방식의 접근에 초점을 맞추고, 학생들이 이러한 교육적 효과에 어떻게 도달하였는지 그 과정에 대한

* 교신저자 : 이지원 (jiwonlee@knue.ac.kr)

** 이 논문은 2017년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2014S1A5B5A02014557).

http://dx.doi.org/10.14697/jkase.2018.38.3.343

맥락은 블랙박스처럼 취급하였다고 지적하였다. 연구가 끝난 뒤의 결과론적 자기평가만으로는 학생들이 URP를 통해 ‘무엇을’ 배웠는가에 대하여 피상적인 이해만 얻을 뿐, URP에 참여한 개인의 특성, 과정, 환경, 상황 맥락 등이 배제되어 있기 때문에 학생들이 ‘어떻게’, 혹은 ‘어떤 과정을 거쳐’ 배웠는가에 대해서는 답을 해주지 못한다. 숙련된 과학자들은 연구를 수행할 때 이미 익숙한 그 분야의 언어를 사용하고, 자신의 선행 지식을 새로운 지식 창출에 이용하며, 분야의 관련자들과의 인적 네트워크를 이용한다. 그에 반해 연구초심자들은 자신들의 연구 시스템을 구성하는 각각의 요소를 어떻게 선정하여 시스템을 생성시키고 이를 어떻게 운영하여 최종 산출물을 도출하여야 하는지에 대한 지식과 경험이 전무한 상태에서 연구를 시작한다. URP의 목적이 과학 하는 방법의 학습이므로, 연구 초심자가 필요로 하는 연구 기반이 무엇인지, URP를 수행함으로써 자신의 연구기반을 만들어가는 과정은 어떠한지, 그리고 연구 초심자 스스로 변화해가는 과정은 어떠한지 등 역동적인 학습의 과정을 추적하면서 분석할 필요가 있다. 또한, 개인은 사회적 상호작용을 통하여 신념을 구현하는 활동에 참여함으로써 점차 자기 자신의 지식과 경험을 획득하게 되므로, URP라는 인간 활동 또한 사회적 맥락 안에서 분석할 필요가 있다. 멘토와 멘티의 관계 뿐 아니라 팀 구성원, 연구조교까지 한 팀이 되어 운영되므로 URP를 통해 수행되는 연구 과정을 인간의 집단적 활동으로 보고 관계적 속성을 이해하여야 한다. 따라서 연구 과정을 통해 무엇을 배웠는가를 제대로 이해하기 위해서는 개인의 내적 조건과 외부 환경과의 상호작용, 또 이들 사이의 내적 연결까지 알아야 한다. 즉 연구 초심자들이 과학자와 같은 실제 연구(authentic research)를 경험하기 위해서 활동 체계를 어떻게 만들지, 활동 체계의 구성요소들은 서로 어떤 관계를 갖는지 알 필요가 있다.

이 연구에서는 문화역사적 활동이론(Cultural Historical Activity Theory: CHAT)을 이론적 분석틀로서 사용하고자 한다. CHAT은 ‘인간의 활동 체계에 대한 구조적인 접근을 통해 학습이 지닌 집단적 속성에 대해 분석하는 이론(Youn, Park, 2012; Engeström, 1987; Sawchuk, 2003)’이다. CHAT에 의하면 행위 주체는 원하는 산출물(outcome)을 얻기 위해 어떤 객체를 다루는데, 여기에는 다양한 종류의 매개체가 사용되며 문화적이고 역사적으로 형성된 매개체에 의해 인간의 행위가 달라질 수 있는 것이다(Engeström, 2000; 2001, 2009; Lompscher, 2006; Roth et al., 2009). CHAT에서는 이러한 인간의 행위 체계를 활동(activity)이라고 정의한다. 이 연구에서 CHAT이 이론적 틀로서 적합한 이유는 다음과 같은 두 가지로 생각해 볼 수 있다. 첫째, 각 요소의 역할과 관계를 함께 다루기 때문에 눈에 잘 보이지 않는 행동체계의 구조, 관계 및 구성을 눈에 보이게 한다. 앞서 살펴본 바와 같이, URP에 대한 기존 연구에서는 주체(subject)의 변화(무엇을 배웠고 어떤 변화, 성장을 이루었는가)와 산출물(outcome)을 주로 다루었다. 하지만 인간의 행위는 종합적이기 때문에, 연구 초심자인 주체(Subject)가 어떤 연구 목표(Object)를 설정하고, 그 목표를 이루기 위하여 어떤 매개물(Mediating Artifacts)을 선택하고 사용하는지, 또 멘토와 팀 구성원을 포함한 연구 공동체(community)와 공동체 구성원 간의 관계는 어떠한지, 공동체의 질서를 유지하기 위하여 생성되는 규칙(Rules)은 무엇인지, 규칙에 따라 분업(Division of labor)은 어떤 방식으로 이루어지는지 등 활동체계의 구성 요소를 중심으로 구체적으로 알아보는 것은 좀 더 현실적이고 실제적이며 연구의 진행

단계에 맞는 도움을 제공하는데 기반이 된다. 즉 CHAT은 전체적인 행위의 과정에서 결과나 산출물만을 본질적으로 보여주는 것이 아니라 전체와의 상호작용으로서 다루고, 일반적으로 잘 고려되지 않거나 보이지 않는 내부 구조 및 구성의 과정에 초점을 맞춘다는 점에서 이 연구에 적합하다(Roth et al., 2009). 이에 따라 이 연구에서 다루려고 하는 URP 참여 학생, 그 학생이 만들어낸 팀, 멘토, 실험 기자재를 비롯한 매개체, 팀 내에서의 역할 분담과 팀 내의 규칙 등 다양한 요소들이 어떻게 서로 관계 맺으며 상호작용 하는지를 균형잡힌 시각에서 보여줄 수 있다. 둘째, CHAT은 시간의 흐름에 따른 활동체계의 변화, 즉 URP 참여 학생과 공동체의 변화를 추적할 수 있다는 장점이 있다. 활동 체계는 역사성을 지니고 끊임없이 변화한다. 이러한 변화를 추적할 수 있는 렌즈로서 CHAT은 매우 적합하다. 첫 번째 근거와 종합하여 보면 CHAT은 연구자가 상황에 참여하여 각 요소에 대하여 매 순간 관찰함으로써 부분과 전체 사이의 관계, 즉 학부생들의 연구 활동에서 각 요소가 상호 연결되어 나타나는 본질과 그 변화의 과정을 드러낼 수 있다는 장점이 있다.

이에 따라 이 연구에서는 연구 초심자의 연구과정에서 초심자 스스로 활동체계를 어떻게 구축해 가는지, 구축한 활동체계는 어떻게 발전하여 가는지, 그리고 연구초심자는 이러한 과정을 통해 어떻게 변하는지를 문화역사적 활동이론이라는 이론적 틀을 기반으로 분석하고자 한다. 이를 위한 연구문제는 다음과 같다.

- 첫째, 연구초심자는 연구과정에서 활동체계를 어떻게 구성하는가?
- 둘째, 연구초심자의 연구 활동체계의 변화 과정은 어떠한가?
- 셋째, 연구초심자는 연구 수행을 통해 어떻게 변화하는가?

II. 연구 방법

1. 연구 참여자

이 연구의 목적은 연구 초심자가 자신의 연구를 수행해 나가는 과정에서 활동 체계를 어떻게 생성하고, 이를 통하여 자신의 학습을 어떻게 확장해 나아가는지를 알아보는 것이다. 활동 체계의 분석은 기본적으로 특정 사례를 기반으로 하기 때문에, 이 연구의 목적에 적합한 연구 참여자를 선정하는 것이 중요하다. 이 연구에서 연구 참여자는 다음 세 가지 조건을 만족하는 학생으로 선택하였다. 그 기준은 다음과 같다. 첫째, 과학 연구에 대한 참여 의지가 높아야 한다. 이 연구에서는 연구초심자가 연구의 계획부터 최종 결과물의 산출까지 활동체계를 어떻게 구성하고 이 활동체계를 이끌어나가는지 파악하는 것이 목표이므로, 학생 스스로 경험해보고자 하는 강한 의지를 가진 학생이어야 한다. 둘째, 이 프로그램으로 인한 효과를 확인할 수 있어야 하므로, 기존에 사사교육의 경험이 없는 학생을 선정하고자 한다. 고등학교 혹은 중학교에서 사사교육을 경험한 학생의 경우는 그 때의 경험이 연구의 결과에 영향을 미칠 확률이 높기 때문이다. 영재 고등학교나 과학 고등학교를 거쳐 대학에 진학하여 이 프로그램에 참여하는 학생들의 경우는 고등학교 재학 시절에 이러한 형태의 사사교육을 받아보았을 가능성이 있다. 최근에는 일반 고등학교에서도 사사교육이 확산되고 있는 추세이므로 사사교육의 경험 여부를 확인하고 결정하였다. 셋째, 과학자로의 진로를 확고하게 선택한 것이 아니라, 아직 진로를 탐색 중인 학생을 선택하고자 하였다. 이는

연구 수행 경험이 진로의 결정에 어떠한 영향을 미치는지를 파악하기 위함이다.

이에 따라 중부권 소재 대학에서 URP에 참여한 연구 초심자 학생 A를 이 연구의 주체로 선택하였다. 조건의 만족 여부를 살펴보면, 첫째, A는 자기주도성이 높고, 연구를 하고자 하는 의지가 강하다. 학생 A는 자발적으로 겨울방학 기간 동안 양자광학 실험실에서 대학원생들의 실험을 관찰하거나 보조하고, 이론 공부를 하는 등의 활동을 하고 있었다. 양자광학 실험실을 이끌고 있는 교수 K로부터 레이저를 만들어 보지 않았냐는 제안을 받고 이를 시도하던 중 URP에 참여하게 되었다. 즉 학생 A는 URP에 지원하기 위하여 연구실에 온 것이 아니라, 레이저 제작이라는 연구목표를 더 잘 달성하기 위하여 URP에 지원한 것이다. 실험실의 대학원생으로부터는 매우 성실하다고 고지식하다는 평을, 또래 친구들로부터는 완벽주의 성향이라는 평을 듣고 있다. 둘째, 검정고시를 통해 대학에 입학하였기 때문에 기존에 사교육을 받아본 경험이 없다. 셋째, 학생 A는 물리교육학과 학부 3학년생이다. 물리를 좋아하기 때문에 물리교육과에 진학하였지만 교사가 적성에 맞는지에 대해서는 스스로 확신이 없는 상태였다. 즉 사례를 선정하기 위한 세 가지 조건을 만족한다고 볼 수 있다.

학생 A의 연구문제를 해결하기 위한 팀의 구성원으로서 연구 책임자인 교수 K, 연구조교 G, 그리고 학생 B와 C의 자료 또한 함께 수집하였다. 팀의 각 구성원들은 다음과 같은 배경을 가지고 있다. 팀 구성원인 학생 B와 C는 2학년이고, 모두 A의 권유로 URP에 참여하였다. A와 달리 사업에 참여할 당시 이 분야에 대한 사전 지식은 전무한 상태였다. 두 학생 모두 물리교사가 되기를 희망하기 때문에 이 사업에 참여하게 된 이유는 ‘재미있을 것 같아서, 좋은 경험이 될 것 같아서’이다. B와 C는 이전까지 실험에 참여한 경험이 없었다. 연구조교인 박사과정 G는 양자광학 실험실에서 가장 연차가 높고 몇 가지 프로젝트를 동시에 진행하고 있다. 이 중 한 가지는 타 기관과의 공동연구 프로젝트로, ○○연구소 소속의 연구원 D가 협의를 위하여 정기적으로 실험실을 방문한다. 학생 A는 URP에 참여하기 이전의 겨울방학부터 실험실에 상주하고 있었기 때문에, 연구조교G와는 매우 친밀한 관계를 유지하고 있었고, 연구조교가 참여하는 프로젝트의 공동연구원 D와도 안면이 있는 상태였다. 연구 책임자인 교수 K는 양자광학 실험실을 운영하고 있다. 실험물리학자로서 활발히 연구를 수행하고 있을 뿐 아니라 교육에 대한 관심이 높기 때문에 영재학교나 과학 고등학교 학생들의 R&E 지도 경력도 많다. 학부생들에게도 학생이 원할 경우 실험에 참여하거나 연구할 수 있는 기회를 주기도 한다.

2. 학생들이 수행한 연구의 맥락

학생 A는 전년도 12월부터 양자광학 실험실에서 3개월 동안 양자광학에 대한 기초적인 이론 학습을 하였지만, 실험도구를 직접 다루어볼 수 있게 된 것은 3월부터이다. 학생 A는 5개월간 양자광학 실험실에서 학습한 내용을 바탕으로 스스로 연구 계획서를 작성하였다. 연구목표는 상용 회절격자 레이저보다 안정적인 간섭필터 레이저 개발과 현대물리 교수자료개발이다. 연구조교와 멘토는 작성된 계획서에 대해서 피드백하고 학생 A가 재수정하는 등의 과정을 거쳐 최종

계획서를 제출하였다. 한국과학창의재단이 재정지원을 하기 때문에 심사를 거쳐 계획서가 선발되었다. 팀 구성원 B와 C는 계획서를 작성하기 시작한 1월부터 합류하였으나 본격적으로 이론 학습을 시작한 것은 6월부터였다. 실험 세팅을 위하여 멘토의 양자광학 실험실 근처에 따로 실험실을 마련하여 사용하였다. 연구 진행을 위해 팀 구성원과 멘토가 참여하는 세미나가 정기적으로 주 1회씩 열렸고, 그 외에도 필요에 따라 상시로 세미나를 하였다. 이외에도 학생 A는 양자광학 실험실의 정규 세미나에도 참여하였기 때문에, 실험상의 어려움이나 이론에 대해 양자광학 실험실 세미나에서 의견을 묻고 도움을 요청하기도 하였다. 연구는 11월의 연구결과 최종보고 때까지 진행되었다. 연구 결과, 최종적으로 학생들은 외부 공진형 다이오드 레이저를 제작해서 원자핵과 전자의 상호작용에 의해서 나타나는 초미세구조를 확인하고, 외부 자기장에 의해 에너지 준위가 변하는 Zeeman 효과를 관측할 수 있었다. 향후 원자물리실험에서 사용하기 위해서 레이저를 특정 파장으로 발진할 수 있도록 고정하는 것에도 성공하였다. 또한 이러한 결과를 바탕으로 현대물리 교수자료를 개발하였다.

3. 자료 수집

이 연구에서는 연구 참여자의 연구 활동 중에 일어나는 학습 과정에서 네트워크의 생성이나 생성된 네트워크 내에서의 상호작용을 포함하여 연구 참여자와 팀 구성원이 일상적으로 직면하는 상황과 이들의 대처 방식을 자연스러운 환경에서 다각도로 알아보기 위하여 참여 관찰, 심층면담, 그리고 문헌분석을 수행하였다. 참여관찰은 이들이 처한 상황에서 수행하는 행동과 언어적 표현을 최대한 객관적인 입장에서 연구자가 관찰하여 참여관찰일지를 작성하였다. 심층면담을 통해서 이러한 경험에 대한 그들 자신의 해석을 수집하였다. 문서분석은 이들이 연구를 수행한 결과를 스스로 정리하고 정교화한 내용을 분석하였다.

가. 참여관찰

참여관찰은 연구 참여자의 계획서 작성 과정, 연구 참여자와 팀 구성원들이 수행하는 실험, 이론적 논의과정, 참가한 학회, 정기 세미나의 참관 등을 통해 이루어졌다. 계획서 작성의 참관은 연구 참여자인 학생 A가 대학생 연구지원 사업 참여를 결심한 2월부터 작성 후 계획서 제출이 끝난 4월까지 1일 1회 1시간씩 실험의 세팅과 이론 학습, 계획서를 작성하는 과정을 관찰하였다. 지원이 결정되고 난 후의 실질적인 연구 수행 과정은 6월부터 11월까지 1일 1회~수회 20분~1시간씩 관찰하였고 이 과정동안 진행된 주 1회의 정기 세미나도 참여하여 관찰하였다. 이들이 한국물리학회 추계학술대회에 참가하여 수행한 포스터 발표 현장 또한 관찰하고 일지를 작성하였다.

나. 심층면담

심층면담은 연구 주체이자 주요 분석대상인 학생 A의 경우 총 4회에 걸쳐 각 회당 1~2시간 정도 이루어졌다. 연구의 구성원과의 사회적 관계와 역할을 다양한 시각에서 파악하기 위하여, 연구책임자, 연구조교, 팀원인 학생 B와 C도 인터뷰하였다. 이들의 경우 일인당 각

1~2차례의 면담이 1시간 정도에 걸쳐 진행되었다. 면담의 전 과정은 녹음되어 전사되었고 면담 참여자들에게 내용 확인을 받았다. 학생 A의 경우, 첫 번째 면담 후 그 내용을 분석하여 이에 기반한 추가질문을 하는 방식으로 진행하였다. 학생 A의 면담 질문은 1) URP에 참여하게 된 계기, 2) 연구 수행을 통해 무엇을 배웠는지, 3) 연구 수행을 위한 팀을 어떻게 구성하였는지, 4) 양자광학을 연구 분야로서 선택하게 된 계기, 5) 진로에 대한 인식의 변화, 6) 연구를 진행하면서 느꼈던 어려운 점, 7) 팀 구성원, 멘토, 연구교사와의 관계, 8) 연구 수행에 대한 인식 등이 있다. 멘토인 연구책임자의 면담질문은 1) 주제의 선정 이유, 2) 멘티에게 제공한 것, 3) 사사교육에 있어서 교육철학 등이다. 연구교사의 면담질문은 1) 연구 수행에서 연구교사의 역할, 2) 연구초심자로서 학생 A에 대한 개인적인 인식, 3) 연구의 수준과 진행상황에 대한 평가 등이다. 연구 팀원인 학생 B와 C에게는 A와 동일한 질문 외에 추가적으로 학생 A의 면담 결과에 대한 그들의 인식을 알아보았다.

다. 문서분석

문서분석은 연구 참여자가 과학창의재단에 제출한 연구계획서, 최종 연구보고서, 그리고 학회에 참여하기 위하여 작성한 포스터가 분석 자료로 사용되었다.

4. 자료 분석

이 연구에서는 연구초심자가 연구를 수행해나가는 과정을 분석하기 위하여 CHAT을 분석의 렌즈로서 사용하고자 한다. 이를 위해서는 활동을 사회적 맥락 내에서 통합적으로 분석하여야 한다. CHAT에 의하면 인간의 활동체계는 끊임없이 재구성되고 변화하기 때문에, 구성 요소 또한 지속적으로 변화한다. 따라서 각각의 구성 '요소'와 이들의 '관계', 그리고 이들의 '변화'가 주요 분석 대상이 된다. 먼저 첫 번째 연구문제인 활동체계의 구성과정 분석은 다음과 같이 이루어졌다. 이 연구에서 활동 체계의 주체는 연구 팀에서 주도적인 역할을 한 학생 A로 규정하였다. 학생 A가 수행하는 연구의 과정을 활동 체계로 결정 한 후, CHAT 모형의 6가지 구성 요소인 주제, 목표, 매개체, 규칙, 공동체, 분업, 성과로 분류하여 코딩하였고, 이들 간의 관계를 분석하였다. 자료는 수집이 완료된 단계가 아니라 수집한 직후의 단계에서, 연구 목적에 따라 검토하고 코딩하여 이를 범주화에 활용하였다. 이 결과는 다음 자료수집에 적용되는 등 순환적인 과정으로 분석되었다(Bogdan, Biklen, 2003). 다음으로 두 번째 연구문제인 활동체계의 변화과정은 '모순'을 중심으로 분석하였다. 시스템 내에 발생하는 모순은 활동 체계 내에 혼란과 갈등을 일으키지만 결국 활동 체계를 변화시키는 혁신적인 힘의 원천으로서 핵심적인 역할을 한다(Engeström, 2000, 2001; Sawchuk, 2006). 모순은 활동 체계 내부와 활동 체계들 사이에 역사적으로 축적된 구조적 긴장이라 할 수 있다. 활동 체계 내의 요소들 간 관계에 의해 발생하는 모순, 모순이 만들어 내는 갈등, 그리고 이들의 해결 과정을 분석함으로써 시간의 흐름에 따른 활동 체계의 변화 과정을 분석하였다. 마지막 연구문제인 연구초심자 개인의 변화는 개인의 내적 변화, 개인의 외적 변화, 개인의 목표 변화를 중심으로 분석하였다. 활동 체계가 만들어지고 정교화하

고 변화하는 과정 속에서 활동 체계의 주체 또한 다양한 변화를 경험하였다. 이러한 변화에는 어떤 것이 있는지를 분석하였다. 수집된 자료에 대하여 연구 참여자들의 내용 확인을 받은 후 분석을 수행하였고, 분석된 결과에 대하여 1인의 물리학자, 2인의 과학교육 전문가에게 3회에 걸쳐 타당도를 검증받았다.

III. 연구 결과 및 논의

1. 연구초심자가 첫 연구 활동체계를 구성하는 과정

가. 멘토에 의한 연구목표 설정과 매개물의 획득

1) 연구목표의 설정

학생 A의 활동 체계가 달성하여야 할 목표는 간섭필터 외부 공진형 다이오드 레이저를 개발하고 최적화 조건을 찾는 것이다. 이 연구 목표는 멘토에 의해서 주어졌다. 왜 학생이 스스로 연구문제를 설정하도록 하지 않고 멘토가 제시해 주었는가는 질문에 대하여 멘토는 다음과 같은 이유를 들었다. 실험실에서 수행되던 일련의 연구와 연장선상에 있는 주제를 지도할 때에는 실험실의 인프라(실험 기자재)와 인적 자원(대학원생)을 활용할 수 있기 때문에 이를 갖추기 위한 별도의 수고를 들이지 않아도 된다는 장점이 있다. 또한 현실적으로 연구의 경험이 전혀 없는 초심자의 경우 무엇이 얼마나 연구되어 있는지 전혀 모르는 상황에서 새롭고 적절한 연구문제를 설정하기 어렵기 때문이다.

연구책임자 K: 일단 학부생은 우리 연구실의 인프라를 잘 모르고, 연구실이 나아가는 방향하고 동떨어진 주제를 잡으면 지도를 따로 해야 되는 점도 있고..연구실에서 하던 연구 주제를 이어서 하면 대학원생들이 도와줄 수 있다는 장점이 있죠. 그리고 학부생 수준에서는 독창적인 아이디어를 발휘할 수 있을 만큼 충분한 내용지식이 없으니까..

다음으로, 멘토에게 왜 레이저 제작이라는 주제를 학생에게 권유하였는지를 질문하였다. 그는 이에 대하여 네 가지 이유를 들었다. 첫째, 레이저 제작이 학부생 수준에 적합하며, 둘째, 학생 A가 레이저 제작에 대해서 흥미를 가질 것이라 생각되었고, 셋째, 양자광학 실험실에서 하고 있는 실험과 관련성이 있기 때문에 여러 측면에서 뒷받침을 해줄 수 있을 뿐 아니라, 넷째, 실험 결과가 실험실에 필요해서라고 응답하였다. 앞의 두 가지는 학생의 입장을, 나머지 두 가지는 실험실의 상황을 고려한 것이다.

멘토가 제시한 레이저 제작이라는 연구목표는 학생에게 있어 빈약하게 정의된 문제(ill-structured problem)에 해당한다. 잘 정의된 문제로 정교화하는 것은 계획서를 작성하는 과정에서 학생 A가 수행하여야 하는 과제로 주어졌다. 멘토에 의해 주어진 구체적이지 않은 연구 목표를 구체화하기 위해서 실험 조건과 연구의 한계 등을 학생이 스스로 세밀하게 고려하여 1개월에 걸쳐 연구 계획서를 작성하였다. 즉, 세부 연구 계획의 수립을 포함하여, 연구 진행 과정에서 문제가 구체화되는 과정 속에서 학생 스스로의 창의성을 발휘할 수 있었다.

또한 이미 멘토와 소속 연구실을 정했다는 것은 어느 정도 연구의

방향을 설정하였다는 것을 의미한다. 연구실을 정함으로써 연구가 속한 세부영역, 영역 내에서의 토픽과 다를 수 있는 연구의 수준까지 거의 결정된다. 특히 실험의 경우는 실험 장비 인프라에 제한을 받기 때문에 많은 부분이 특정지어진다. 즉, 연구분야의 선정은 학생 A에 의해 이루어졌지만, 초기 연구목표의 설정은 멘토에 의하여 이루어졌고, 학생 A는 이 제안을 받아들였다고 볼 수 있다. 이러한 과정을 거쳐 학생 A는 멘토가 제공할 수 있는 물질, 인적 자원을 최대한 활용하는 동시에 학생이 자기 주도적으로 수행하여야 할 여지가 많은 초기 연구목표를 가지게 되었다.

2) 매개물

매개물은 주체가 객체, 즉 목표를 이루기 위하여 필요로 하는 것을 의미하며, 여기에는 언어, 기호와 같은 상징 도구들(symbolic tools), 망치, 연필과 같은 물질 도구(material tools), 그리고 제도와 관습과 같은 사회적 참여 양식 등이 있다(Engeström, 2001).

레이저 제작이라는 연구목표를 달성하기 위하여 학생 A는 크게 두 가지 매개물을 필요로 하였다. 첫 번째는 실험장비와 같은 도구적 매개물, 두 번째는 양자광학에서 사용하는 언어, 기호와 같은 상징적 매개물에 대한 이해이다. 우선, 실험 물리에서 실험 장비의 세팅은 도구적 매개물로서 목표 달성에 매우 큰 영향을 미친다. 연구 초기에는 도구적 매개물의 획득과 세팅이 중요하다. 연구목표가 설정되면서 멘토는 학생 A에게 양자광학 실험실에 있는 실험장비에 대한 부분적인 사용을 허용하였다. 실험 장비는 매우 예민하고 가격이 높기 때문에 다루는 방법에 대한 훈련이 필요하다. 실험장비에 접근할 수 있다 하더라도 당시 실험실에서 수행되고 있었던 과제에 맞추어 세팅되어 있기 때문에, 연구에 맞추어 새롭게 장비를 갖추어야 하는 상황이었다. 일반적으로 실험을 하기 위한 장비는 기성품을 구입하기도 하고 주문 제작을 하기도 하는데, 우선 주문 제작을 쉽게 할 수 있도록 장비 업체를 소개해주었다. 그 이후에 학생 A는 연구조교 G의 도움을 받아 스스로 자신의 실험 환경을 정비하고 이에 필요한 물품을 디자인하여 주문하였다. 안정적인 외부 공진형 다이오드 레이저를 디자인하기 위하여 주문한 물품은 원하는 파장의 빛을 발진할 수 있는 다이오드 레이저, 온도 제어를 위한 펄터어 소자, 파장 선택을 위한 간섭 필터 등이다. 정렬하기 쉽고 안정성을 최적화시킨 하우징을 설계하기 위하여 여러 번의 사전 실험을 거친 후 최종적으로 결정된 디자인을 주문하여 제작하였다.

학생 A는 초심자이기 때문에, 도구적 매개물 뿐 만 아니라 상징적 매개물의 획득 또한 매우 중요하다. 학생 A는 연구가 시작되기 전 겨울 방학기간동안 실험실에 상주하면서 많은 것들을 어깨너머로 배웠다. 하지만 여전히 이론적인 학습 수준은 학부생 수준에 머물러 있기 때문에, 연구목표를 구체화하기 위해서는 양자광학의 상징체계를 이해하고 이를 다룰 수 있는 내용 지식의 이해가 필요하다. 연구주체인 학생 A가 목표를 향해 나아가는데 가장 필요하다고 생각되는 지식을 알려주기 위하여 멘토는 선행연구 논문을 학생 A에게 소개하였다. 이 때 제시한 논문은 주체의 수준과 연구 수행에서 나아갈 방향을 동시에 고려한 것이다.

연구책임자 K: 논문은, 학부생이 읽고 이해할 수 있는 내용? 학부생 수준에서 개발할 수 있고, 관련지식을 넓힐 수 있는 걸로 골라서 주었죠.

종합해보면, 주체인 학생 A의 연구 활동체계는 멘토와의 관계맺음으로부터 시작되었다. 연구의 시작 지점에서 멘토는 학생 A에게 크게 두 가지를 제공하였다. 첫째, 학생에게 초기수준의 연구목표를 제공하였고, 둘째, 도구적 매개물로서 실험 인프라, 그리고 상징적 매개물로서 양자광학의 상징체계와 이론을 익힐 수 있는 선행연구를 소개하였다. 하지만 연구목표와 매개물 모두 기반을 세운 것일 뿐, 구체적이고 세밀하게 구조화된 것이 아니기 때문에 학생이 스스로 배워서 메워나가야 하는 많은 부분이 존재하는 상태이다.

나. 연구 공동체의 구성을 통한 분업 체계와 규칙 생성

1) 공동체의 구성

공동체는 같은 목표를 가지고 이를 달성하기 위하여 노력하는 개인 또는 그룹의 집합을 말한다. 이 연구에서 공동체는 공유된 목표를 위하여 함께 과업을 수행하는 구성원, 즉 연구책임자, 연구조교, 학생 3인을 포함한 팀 구성원 5인을 의미한다. 학생 A가 이 연구실을 선택함으로써 연구책임자가 결정되었다.

연구책임자인 멘토는 팀 구성에 결정권을 가지거나 혹은 의견을 제시할 수 있다. 하지만 멘토는 연구조교만 선정하고 학생 A에게 팀 구성을 일임하였다. 이에 따라 학생 A는 자신이 가지고 있는 활용 가능한 인맥인 같은 학과 선후배 및 동기 중에서 ‘물리 실력’이라는 선택기준을 가지고 팀원을 선정하였다.

학생 A: B형은 저희 동기 중에서 물리를 가장 좋아하고 잘하는 사람이어서 B형에게 연락을 했던 거고, C도 잘한다는 얘기를 많이 들었거든요. 그래서 두 명한테 연락을 했는데 둘 다 하겠다고 해가지고. 그냥 실험한번 해볼 생각 있나고, 했더니 둘 다 긍정적인 반응이 나와 가지고 다행히, 그래서 시작을 하게 되었습니다.

2) 규칙의 생성과 노동의 분담

연구 공동체가 구성되고 난 후, 이들은 특별한 규칙을 정하지는 않았다. 하지만 대부분의 공동체가 그러하듯, 자연스럽게 암묵적인 규칙이 발생하였다. 암묵적인 규칙은 구성원의 역할 분담에 대한 것으로, 이들이 역할을 분담한 공동체의 암묵적 규칙의 증거는 초기 역할분담이 어떻게 이루어졌는지, 그리고 역할 분담에 대한 갈등이 발생하였을 때 왜 갈등이 발생하였는지에 대한 팀 구성원의 인식으로부터 추론하였다. 연구 공동체에서 관찰된 암묵적 규칙은 크게 세 가지로 분류할 수 있었다. 첫 번째는 과제특정 지식 규칙, 두 번째는 연차 규칙, 세 번째는 참여율의 규칙이다. 지식 규칙은 그 연구에 관련된 특정 지식의 수준이 팀 내에서의 의사결정권의 크기를 결정한다는 것이고, 연차 규칙은 어떤 조직에 소속되어 보낸 시간, 즉 연차가 이를 결정한다는 것이다. 참여율의 규칙은 그 일에 투자한 시간과 노력의 수준에 따라 의사결정권의 수준이 결정되는 것이다. 일반적인 경우, 다른 것이 비슷할 때 연차와 참여율은 지식과 정비례한다.

이러한 규칙에 따라 학생들 간에는 수직적인 역할분담 체계가 형성되었다. 팀 구성원인 학생 B와 C는 아직 수평적 분업, 즉 과업의 분담을 시작할 수 있을 정도로 팀원들이 준비된 상태가 아니었기 때문에 수평적 차원에서의 분업은 이루어지지 않았다. 과제에 대한 선행지식이 없어서 팀 구성 후에도 업무 분담이 안 되는 상황은 이들이 연구 초심자이기 때문에 나타나는 특성으로 볼 수 있다.

학생 B: 아예 몰랐죠. 시작할 때는 아무것도 몰랐어요. 광학에 대해서. 그냥 일반물리 지식 정도? 거기서 다루는 건 레이저랑 다른 광학기기를 다루고 그러는데, 그런 거 하나도 모르는데, 광학기가 어떤 특성을 가지고 있는지 레이저가 어떤 원리인지 그런 거 하나도 모르니까, 처음에 이 실험이 A가 처음에 설명을 하는데 하나도 못 알아들었던 거죠. 여름방학 6월 중순부터 부품을 신청해서 부품이 올 때까지 공부를 했었거든요. 논문을 보고 그런 식으로 A 수준까지는 못가겠지만 비슷한 수준으로 맞춰갈 수 있게 공부를 했었어요. 반달? 하루 종일 거의 그것만 했죠.

과업은 비교적 긴 시간 연구 수행을 준비한 A에게 집중되었다. 주제적으로 팀을 구성하여 가장 먼저 연구를 시작하였으며, 지식과 경험이 많고, 가장 많은 일을 맡고 있는 A가 암묵적 규칙에 따라 자연스럽게 리더, 즉 의사결정권자의 지위를 가지게 되었다.

학생 C: A가 정하고, 아무래도 사실상 A가 많은걸 다했죠. 아무튼, A가 레이저 설계도 하고 다 했으니까 설계한 걸 제가 보면서 이런 건 이렇게 하면 되지 않겠느냐, 저런 건 저렇게 하면 되지 않겠느냐 여기는 안 맞지 않느냐 이런 피드백은 했지만, 전체적인 설계 같은 건 A가 했기 때문에. 거의 정해진 상태?

종합해보면, 학생 A가 연구 공동체를 구성하여 규칙에 따라 역할을 분담함으로써 초기에 비하여 학생 A의 활동체계에 확장이 일어났음을 알 수 있다. 하지만 과제관련(taskwork) 지식과 팀관련(teamwork)지식 모두 팀 구성원 간에 공유되지 않았다. 예를 들어 과제관련 지식은 개인의 선행지식 수준에 따라 달라진다. 학생 A의 선행지식 수준은 다른 구성원들에 비하여 높을 뿐만 아니라, 목표(연구문제) 설정의 구체화를 학생 A가 했기 때문에 이해와 표상의 수준이 다른 팀 구성원과 비교하였을 때 매우 다르다. 이 뿐 아니라 문제를 해결하는 방법, 문제에 접근하는 방법, 도구를 다루는 방법 등 다른 요소들도 차이가 난다. 팀관련 지식도 마찬가지로 개인적인 친분이 있는 관계이지만 함께 연구를 해 본 경험이 없기 때문에 서로의 전문성에 대한 지식이 충분하지 않은 상태이다. 이와 같이 공동체가 구성된 직후에는 공유된 정신모형(Converse et al., 1993)이 부족하였기 때문에 수평적 분업에 의한 효율적인 협력이 가능하지 않은 상태라고 할 수 있다.

2. 활동체계 내부에서 발생하는 모순과 갈등의 극복을 통한 연구체계의 발전 과정

가. 멘토의 교육철학과 멘티의 교육적 요구 간의 모순과 극복 과정

1) 모순의 발생과정

활동체계가 구성이 되고 연구를 수행하여 나가면서 학생들은 여러 가지 어려움에 봉착하였다. 특히 연구 초기에 학생 A는 과학 연구가 처음이기 때문에 수많은 선택지 앞에 놓이는 상황과 시행착오를 거치는 과정이 익숙하지 않아서 큰 스트레스를 받았다. 연구초심자이기 때문에 자신이 무엇을 모르고 있는지, 모르는 것을 알기 위하여 어떤 방법을 사용하면 되는지를 잘 모르거나, 알려주어도 여전히 이를 얻

는 방법이 미숙하기 때문에 연구가 진행 되지 않고 교착상태에 빠져 답답해지는 시간이 지속이 되는 경우가 발생하였다. 원자의 포화흡수 분광신호를 이용해서 레이저를 안정화시킬 수 있는데, 첫 번째 시도로서 만들어진 레이저를 이용해서 신호를 관측하는데 실패하였다. 실패한 이유에 관련된 변인이 너무 많기 때문에 이를 특정하는데 어려움을 겪었다. 이 때 학생들은 멘토가 무엇이 문제인지를 특정하여 알려주고 이끌어주기를 바라는 경향이 있었다.

학생 A: 제가 어떻게 설계를 해야 하는지 모르겠더라고요. 사실, 사전실험이 실패를 했었어요. 그래서 이 사전실험을 다시 해보야 할까 아니면 새로 만들어야 될까를 고민하고 있는데.. 새로 세팅해서 하면 시간도 너무 많이 걸리고. 제가 생각한 그 이유 때문인지 다른 이유 때문인지를 모르잖아요. 교수님이나 선생님(연구조교)이 가르쳐주시면 좋죠. 교수님한테 여쭙보면 '일단 니가 생각한대로 해보라고 하시는 경우가 많았어요.'

그에 반해 멘토의 경우는 학생들이 스스로 이러한 과정을 거치면서 문제를 해결해나가는 것이 프로그램의 취지에 맞으며 학생들의 실력을 키울 수 있는 방법이라는 교육적 신념을 가지고 있었다. 큰 방향을 설정하여야 하거나, 심각한 오류가 발생한 상황이 아닐 경우에는 될 수 있으면 최대한 학생들이 스스로 할 수 있도록 독려하고자 하였다.

연구 책임자 K: 물리학자가 가져야할 태도 중에서 하나는 스스로 문제를 해결하는 것이다. 학생들이 실험 설계부터 실험수행, 데이터 처리를 직접 해보기를 최대한 독려하였다. 학생들이 해결하기 어려운 문제도 답을 던져주기보다는 여러 가지 질문을 던져서 스스로 해결하게 유도하였다(최종 지도보고서 중).

즉 멘토의 교육철학과 멘티의 교육적 요구가 서로 모순이 되는 상황이 발생하였다. 멘티인 학생 A는 스스로 연구 하는 법을 배우는 중이다. 연구 초기에 학생 A는 자신을 여전히 제공된 지식을 받아들이는 수동적인 존재로서의 학생으로 인식하고 있었고, 멘토는 학생 A를 독립연구자로서 연구할 수 있도록 이끌고 있는 중이기 때문에, 주제에 대한 인식의 차이가 이러한 모순의 원인이 되었다고 볼 수 있다. 학생들은 지금까지 지식의 소비자였으나, 자신의 연구를 수행하게 되면서부터 지식의 생산자로서 그 역할이 급격하게 전환된다(Bargar, Duncan, 1982; Lovitts, 2001; 2005). 즉 학생에서 독립 연구자로의 전환은 이전 교육과 뚜렷하게 다른 경험이기 때문에 특히 어렵게 인식한다. 학생들은 일반적으로 교수자에게 지식을 전달받는데 익숙하지만, 스스로 결정을 내려야 하는 상황은 익숙하지 않다(Gardner, 2005). 반면 멘토는 학생들의 독립성을 기르는 것이 교육 목표이므로 이 과정에서 모순이 발생한다. 또한 모순의 발생은 학생 A를 비롯한 팀 구성원들이 멘토에게 요구하는 지식의 종류와도 관련이 있다. 학생 A를 포함하여 URP 팀 구성원들이 얻기 원하는 지식은 깊은 수준의 지식보다는, '렌즈를 어떤 각도로 설치하는 것이 좋은가' 처럼 과제에 관련된 매우 세부적인 결정사항인 경우가 많았다. 멘토인 연구 책임자 K는 교육 철학에 근거하여 '직접 부딪쳐보고 실험을 해보면 알 수 있는 문제'라고 판단되는 것에 대해서는 스스로 해보거나 알아보라고 권유하였다. 이렇게 권유하는 이유는 첫째, 멘토의 교육철학 때문이고, 둘째, 학생들이 수행한 실험이 기초적이지만 이 연

구실에서는 처음 해보는 시도였기 때문에 학생들에게 이론적인 가능성과 선택지는 제시할 수 있지만, 실험 연구의 특성상 직접 동일하거나 유사한 조건에서 실험을 수행해보지 않으면 학생들이 원하는 답을 할 수 없기 때문이다.

2) 극복방법

학생 A는 다양한 방식으로 원하는 지식의 부족을 극복하려는 노력을 시도하였다. 문제를 스스로 해결하기 위하여 많은 이론적 가설을 세우고 이를 검증하기 위한 실험을 다양하게 수행하였다. 이를 위하여 많은 시간을 투자하였는데, 연구 기간 동안 학생 A는 오전 9시부터 오후 10시까지 수업 시간을 제외한 대부분의 시간을 실험실에서 보내며 많은 문제를 스스로 해결하기 위하여 노력하였다. 하지만 그럼에도 불구하고 해결되지 않는 문제들이 있었다. 예를 들어, 레이저 파장을 변경하기 위해서 간섭 필터, 온도, 레이저 다이오드 전류 등을 조절했고, 레이저 다이오드에서 원하는 파장의 빛이 나오도록 유도방출을 이용하는 방법으로도 최적화해봤으나, 포화흡수분광신호를 보기 전에 확인할 수 있는 원자의 형광신호조차도 확인할 수 없었다.

학생 A가 원하는 과제 특장적인 세부적 경험지식은 멘토의 네트워크를 전수받음으로써 해소할 수 있었다. 연구책임자 K가 주관하는 연구 프로젝트에 소속된 연구원 D가 마침 학생들이 연구하는 분야를 연구한 경험이 있었다. 그가 프로젝트 진행을 위하여 연구실을 자주 방문하였기 때문에, 학생 A는 그를 직접 만나고 조언을 얻을 기회가 많았다. 즉, 학생 A는 자신의 활동체계에 속해있지 않은 외부 전문가를 만남으로써 네트워크가 확장되었고, 그를 통해 원하던 세부적 경험지식을 전수받아 자신의 활동체계의 매개물을 더욱 구체적이고 실현 가능하도록 다듬어 나갈 수 있었다.

학생 A: 박사님(연구원 D)이 이쪽 분야를 하셔가지고 뭔지 안다고 오셨을 때 저를 도와주셨어요. 논문도 박사님이 추천해주셔서, 둘 다 간섭 필터를 이용해서 레이저 다이오드를 만드는... 석사학위 논문 같은 게 있었어요, 그걸 보고 석사학위 논문에서는 이렇게 하면 되겠다 그런 걸 읽었고, 둘 다, 내용을 배웠어요. 저희가 설계를 할 때도 잘될 거 같으니까 여쭙봤거든요. 오셨을 때, 그 시기에 한 달에 한번? 2월월부터 10월 이때 자주, 한 달에 한번 오셔서 많이 여쭙봤어요. 마침 좋았죠. 교수님이 수행하고 있는 연구에 소속된 연구자가 마침 그 자리에 있어서.

학생 A는 멘토를 통해 전수받은 네트워크를 이용하여 또 다른 활동체계와의 접촉을 통해 노하우를 전수받기도 하였다. 연구책임자 K의 협업자인 연구원 D가 자신의 네트워크를 학생 A에게 소개해줌으로써 학생 A의 네트워크는 한 단계 더 확장되었다. 학생 A는 확장된 네트워크를 통해 유사한 연구 산출물의 예시를 직접 방문하여 눈으로 확인하고 구체적으로 설명을 들음으로써, 장비를 어떻게 만들 것인가에 대한 실질적이고 세부적인 지식을 전수받을 수 있었다.

학생 A: 박사님(연구원 D)이 ○○대학 분을 소개해주셨죠. 그리고 교수님이 연락을 해주셨어요. 박사님이 교수님 통해서 가는 게 제일 좋다고 얘기해주셨어요. 이쪽 실험한 랩 있다던데 연락 좀 해주실 수 있느냐 했더니 연락을 해주셔서 방문 허가를 받았죠. 제가 사전실험 실패한 거 있잖아요, ○○대 갔더니 그걸 알루미늄 판 깎아가지고 파는 것처럼 이쁘게 만들어놨어요. 석사과정 선

생님하고, 포닥분이 설계해가지고 석사과정 선생님이 이걸 만든 거예요. 그래서 포닥분하고 석사과정 선생님이 많이 도와주셨어요. 그리고 제가 거기서 궁금했던 것들이 있었어요. 예를 들어서 여기 이 실험에서는 렌즈 두 개를 사용하는데 왜 쓰는지 모르겠는 거예요. 그런 거 쓰는 것도 왜 쓰는지 알려주시고, 그 외에도 디자인 여러 개가 있잖아요. 그거에 대해서도 설명해주시고. 그거 보고 내부도 보여주시고 그랬거든요. 이미지로. 그래서 이런 식으로 설계를 하면 되지 않을까 생각해서 설계를 했고, 설계를 했죠. 설계하는데 기틀이 된 거예요. 레이저를 만들기 위해서 되게 중요한 포인트 중에 하나죠.

학생들이 제작하고자 하였던 외부 공진형 다이오드 레이저는 일반적으로 사용하는 회절격자가 아닌 간섭 필터를 사용하는 타입이었기 때문에, 이에 관련된 자료를 찾기가 어렵고 제작사도 거의 없었다. 따라서 어떤 방식으로 만들어야 할지에 대한 감을 잡기가 어려웠으나, 다른 연구자들이 실제로 만들어낸 것을 보고 난 후 어떤 방식으로 만들면 되는지에 대하여 대략적인 계획을 세울 수 있는 계기가 되었다.

3) 모순의 극복을 통한 활동체계의 변화

학생 A는 연구에서 부족한 부분의 해결방법에 대하여 주변에 조언을 구하였고, 멘토의 네트워크 내에서 적절한 조언자를 찾을 수 있었다. 유사한 목적을 가지고 연구를 수행하여 이미 산출물을 얻은 다른 활동체계와의 접촉을 통해 원하는 정보를 획득함으로써 A의 활동체계가 변화하게 되었다. 학생 A의 조언을 구하고자 하는 노력과, 멘토의 공동연구자가 마침 동일한 연구를 수행한 연구자를 알고 있었다는 우연적 요소가 결합되어 필요한 정보를 획득할 수 있었고, 이로 인해 활동체계에서 실험도구와 이론, 즉 매개물이 초기에 비해 명확하고 정교해질 수 있었다.

학생 A: 사실 여기 실험실에서는 아무도 이런 레이저를 만들어본 사람이 없고, 간섭 필터를 이용한 거는 본 적도 없는 상황에서, 정말 아무 감도 안 오는 상황에서, 정말 불가능했을 거예요. 레이저를 만드는 방법에 대해서는 ○○대의 도움이 컸죠, 만드는 거의 거의 핵심.. 그리고 연구를 수행하는 거, 어떻게 할 것인가는 박사님(연구원 D)의 도움이 컸죠. 막혔을 때 어떻게 할까, 이것을 보고 이해가 안 되는데 이에 막혀있는 거 같아요. 실행 시험을 할 것을 제안을 해주신 거죠. 이렇게 하면 될 것이라니까, 이론적인 것도 알려주셨고요. 경험자이기 때문에 할 수 있는 조언이죠.

이 접촉의 특징은 멘토가 이 네트워크 확장의 연결고리가 된다는 점이다. 이렇듯 학계에서 다른 사람에게 조언을 얻고 싶을 때 멘토의 네트워크를 이용하면 더 쉽게 접근이 가능하다. 학생들은 기존까지 수동적이고 교수자에게 의존적인 학습 방식을 사용하였기 때문에 (Gardner, 2008), 문제에 부딪혔을 때 멘토에게 의존하려는 경향을 보인다. 이로 인하여 멘토는 여러 가지 측면에서 부담을 느끼게 되고 이것이 멘토링 전반에 악영향을 미칠 가능성도 존재한다(Johnson *et al.*, 2015). 네트워크의 외부 확장 가능성을 열어놓으면, Johnson *et al.*(2015)가 멘토의 개인적 방해물로 지적한 멘토의 시간과 노력, 멘토가 받는 스트레스 등의 부담을 줄일 수 있다. 또한, 멘토가 멘터를 위한 모든 지식과 정보의 원천이 되는 것이 아니라 학계의 구성원들이 서로 필요한 지식과 정보를 공유하는 것을 경험하도록 함으로써

멘토는 이러한 공유의 습관과 행동에 가치를 두는 법을 배울 수 있다 (Fletcher, Ragins, 2007, Johnson *et al.*, 2015). 멘토의 네트워크를 활용한 지식공유를 통해 활동체계의 매개물, 즉 목표 달성을 위하여 필요한 도구의 사용법과 정교화에 대한 지식이 확장되었을 뿐만 아니라, 다른 연구의 최종 결과물을 직접 눈으로 확인하고 설명을 들음으로써 활동체계의 목표 또한 정교화 되었다.

나. 역할분담에 대한 변화의 요구와 기존 역할분담 고수 입장 간의 모순

1) 모순의 발생과정

연구가 점차 진행되어 궤도에 오르기 시작하면서 학생들 간에도 모순이 발생하기 시작하였다. 이러한 모순은 시간의 흐름에 따른 공동체의 성격 변화에 의한 것이다. 팀 구성원의 지식수준이 점점 향상되고 있지만, 역할 분담은 지금까지 움직이던 관성에 따라 여전히 암묵적인 상하관계가 유지되고 있었다. 공동체 구성원들은 자신들의 지식수준의 향상이 지식 규칙에 의거하여 역할 분담에 반영되기를 원하였다. 하지만 지금까지 수직적 역할분담 체계에서 학생 A의 주도 하에 이루어진 대부분의 의사결정이 성공적으로 기능하였고, A 스스로도 자신의 지식과 연차와 참여율이 다른 구성원들보다 높기 때문에 수평적 역할분담으로의 변화에 대한 필요성을 느끼지 못하고 있었다. 양 측의 주장 모두 규칙에 의거한 것이기 때문에 모순적인 상황이 발생하였다. 검증이 완료된 지금까지의 수직적 역할분담 방식을 주장하는 A와, 검증되지 않았지만 자신들의 지식변화가 반영된 수평적 역할분담 방식을 주장하는 B, C 간에 갈등이 발생하였다.

학생 A: 저희끼리 크게 두 개의 갈등이 있었어요. 첫 번째는 맨 처음에 수행을 할 때 먼저 선생님(연구조 G)하고 상의를 하고 애들한테는 이렇게 하겠다고 통보를 한 거예요. B형이 좀 기분이 나빠했어요. 두 번째 갈등은, 레이저에 문제가 있었어요, 저는 제가 생각했던 요인이 옳다고 생각을 하고, B형은 B형이 옳다고 생각을 하고. 근데 제 생각에는 그 요인도 있겠지만 이게 더 크지 않을까 하고 제 거를 더 많이 끌고 나갔어요. 결국은 B형이 맞았어요. 그때 그런 얘기를 했었어요. 그 때 다른 사람 얘기에 귀를 기울였으면 바로 해결이 되지 않았겠냐.. 그래서 그런 갈등이 있었어요. B형은 내가 형이 맞았다고 얘기하기 전까지 안 풀리는 거죠. 애는 왜 자기 생각만 고집하지 이렇게. 결과가 그게 맞다고 나와도 그 과정에서 생긴 불만이 남아있는 거죠.

학생 A는 기존의 규칙 그대로 움직이고자 하기 때문에 공동체와 갈등을 빚게 된다. A가 가지고 있던 규칙, 즉 자신이 의사 결정권을 전적으로 가진 것은 단순히 초기 상태의 팀 구성원들의 지식수준이 낮았기 때문일 뿐만 아니라, 또 다른 두 가지 규칙에 기인하였다. 첫 번째는 연차 규칙이다. 학생 A가 팀을 구성하기 전에 경험과 연차를 중시하는 실험실 문화를 습득한 것이 연차 규칙을 중요하게 여기는 이유이다. 학생 A의 경우 자신이 생각하는 자신의 위치는 ‘실험실 선배’이지만, 생물학적 나이가 더 많은 B와 C가 자신을 ‘실험실 선배’로서라기보다 ‘동생이나 친구’로 생각한다고 인식하고 있었다. 암묵적인 실험실 문화에서 연차가 높다는 것은 그 사람이 경험적인 면에서 우위에 있다는 것을 전제하고, 이에 따른 의사결정권한의 차이를

인정해 준다. 하지만 팀 구성원들의 경우는 이러한 실험실 문화를 공유하고 있지 않을 뿐 아니라 오히려 나이에 의한 서열문화를 따르는 경향이 있었다. 이에 따라서 주체와 공동체 간에는 갈등이 일어날 수밖에 없었다.

학생 A: 지식 편차 처음에는 있는데 나중에는 괜찮아졌어요. 그게 따라 잡았다 라기보다는 이야기를 나눌 수 있게 되었다라고 할 수 있는 데까지. 6월말부터 대화가 되기 시작했어요. 그런데 경험 면에서는 많이 그쪽은 좀 힘들었어요. 아직 그때는 경험을 못해 봤으니까 실험을 안 해봤으니까 실험을 어떻게 할 건가에 대해서는 핵심적인 아이디어 제공은 못했어요. 사전 실험 안 해봤잖아요, 저는 조금은 해봤는데, 경험이 중요해요. 그래도 실험실은 먼저 들어온 그게 있잖아요. 아무래도 먼저 들어오면 경험이 많으니까 존중해주고 그런 게 있잖아요. 나이랑 상관없이 연차가 중요한데. (중략) 제가 대학원생으로 있는데 그 친구들이 새로운 대학원생으로 들어왔으면 상황이 낫지 않았을까 하는 생각도 들었어요. 지금은 동기거나 형인 상황에서 갑자기 관계가 꼬여버리니까.

다음은 참여율 규칙이다. 학생 A는 자신의 시간과 노력을 투자하는 데 있어서도 다른 팀 구성원에 비하여 우위에 있기 때문에, 자신의 의사결정권이 다른 학생보다 더 큰 것이 옳다고 생각하고 있었다.

학생 A: 저는 뭐 거의 주말에 저희가 시작하고 나서 주말에 쓴 게 (손에) 꼽아요. 일을 더 많이 했어요. 약간 좀 그런 거 때문에 그게 생기더라구요. 음. 약간 좀 제 말이 맞을 거라고 생각을 하는 거죠. 제가 더 많이 했으니까, 오랜 시간 이거를 투자를 하니까 제 말이 더 맞을 거라고 생각을 하게 되는 거죠. 그런 거 때문에 또 갈등이 있었고. (중략) 약간 저항은 자세가 다른 게 있었어요. 저 같은 경우에는, 끝나면 그럼 얼른 쉬고 내일 해야지 이런 마인드인데 다른 애들은 끝나면 놀고 내일 해야지 이런 마인드 인거예요. 자세가 좀 달랐죠. 그니까 논다는 게 내일을 생각하고 놀면 괜찮은데 내일을 안생각하고 노는 거예요. 늦게 오고 피곤하고 그런 거 있잖아요. 저는 이 일을 어떻게든 끝내야 하는 상황이고 약간의 중간관리가 된 거잖아요. 이게 안 되면은 큰일이다, 이런 마음이 있는 거예요. 근데 그 친구들은 좀 없으니까, 어떻게 되겠지 이런 마인드니까 그런 것도 좀 있었던 거 같아요.

이렇듯 학생 A는 연차와 참여율 규칙에 의거하여 여전히 자신의 의사결정권을 우위에 놓고 있는 반면, 팀 구성원인 B와 C는 자신들의 지식수준이 높아졌으므로, 지식 규칙에 의해서 의사결정권이 학생 A와 동등해져야 한다고 생각하였다.

학생 B: A가 약간 완벽주의가 있어서, 본인이 계획하고 그거대로 실행이 안되면은 뭐랄까, 도움 같은 것도 구하지 않고 스스로 판단을 내리길 좋아하는 그런 타입이에요. 그러다 보니까 그때는 좋죠, 예를 들어서 저항 C가 지식 자체가 현저히 떨어졌을 때 초반부 같은 경우에는 하나도 모르니까 이렇게 해보자 저렇게 해보자, 그래 그게 좋겠다, 다 맞는 말 같고 그랬었는데 점점 제가 머리가 크다보니까, 이 방법보다는, 실험하는 도중에 예를 들어서 전류를 만지는 방식이라든지, 이 방법보다 저 방법이 낫지 않을까? 제가 생각하기에는 이게 고장난 거 같은데, 이런 식으로 되면 안 되는데, 왜 자꾸 A는 이 방식이 옳는데 자꾸 왜 이 얘기를

하는 거지? 의심이 생기기 시작하더라고요. 그래서 뭐 결정할 때 같이 하자, 의논을 좀 하자고 좀 강하게 얘기했죠.

2) 극복방법

학생들 간의 갈등이 감정적인 것으로 진행되어 연구에 영향을 주는 수준이 되자, 연구조교가 갈등 극복을 위하여 자리를 마련하였다.

학생 A: 대학원 선생님들이 저희 간의 갈등을 조절해주셨어요. 심하지는 않았지만 보일만큼 그랬거든요. 서로 갈등이 있으니까 일도 잘 안되고 그랬는데..대학원 선생님들이 자리를 마련해주시고, 일종의 회식 같은 거죠. 그 때 얘기 많이 하고 풀었어요.

역할분담에 대한 변화의 요구와 기존 규칙 고수 입장 간의 모순에 기인한 이러한 내부 갈등은 주체인 학생 A가 다른 구성원들이 요구한 새로운 분업체계를 받아들임으로서 해결되었다. 이는 두 가지 이유에서 비롯되었다. 첫째, 특정 사건을 경험함으로써 자신이 틀렸고 구성원이 맞을 수 있음을 인지하였기 때문이다. 외부 공진형 다이오드 레이저를 특정 파장으로 발전하기 위해서는 먼저 특정 파장이 나오는 지점에서 피에조 소자를 멈추어야 한다. 하지만 피에조 소자의 떨림이 계속 남아있어서 특정 파장에 고정할 수 없었다. 이 때 학생 A는 떨림의 원인을 레이저에 있다고 보았다. 하지만 이 문제의 원인은 실제로는 스캔 컨트롤러라는 장비의 고장으로 인한 것이었다.

학생 C: 이런 거는 기계가 고장난 거 같다, 아니면 이 방법보다는 저걸 하면 좋겠다, 이런 얘길 했었는데, A는 처음에 하나도 안 받아줬거든요. '아니다, 이거 내가 옛날에 실험 해봤는데 이런 거 때문에 그런 거니까 다시 해보자', 그래서 뜯어가지고 레이저 다시 새로 만들고 막, 아무 이상도 없는 레이저를, 그런 척도 있었거든요. 결국은 그냥 그 기계가 진짜 고장 난 거라는 걸 알게 되고..

둘째, 구성원들이 수직적 역할분담으로 인해 감정이 상하고, 이것이 장기적으로 일에 악영향을 미친다는 것을 인식하였기 때문이다.

학생 B: 제가 약간 빠져서 너는 그럴 거면 뭐 하러 같이 실험하자고 했냐고, 혼자 하지 이리만 올려놓고 혼자하지, 얘기 좀 들어달라고 제가 좀 그때 좀 말을 했었거든요, A한테, 그러니까 A가 미안해하면서 자기가 그런 줄 몰랐다고 진짜 미안하다고 하면서, 그때부터 상호보완적으로 갔던 거 같아요.

3) 모순의 해결로 인한 시스템의 변화

초기의 우려와는 달리, 새 역할분담을 받아들이고 난 이후에 수평적 분업은 다른 구성원들에게 뿐만 아니라, 이를 반대하던 학생 A에게도 만족감을 주었다.

학생 B: 그 전까지는 A가 이렇게 해보자, 아니면 뭐 이걸 이거 때문에 잘못된 거니까 처음부터 다시하자 이런 식으로 A가 주도적으로 했다면은, 그 다음부터는 A가 이런 것 같다 그러면은, 저 같은 경우에는 그것보다는 이런 거 같다, 이러면 회의를 통해가지고 그럼 이거를 먼저 해보고 아니면 저거를 해보자 이러면서 좀 더 나은 결과를 빨리빨리 얻어낼 수 있었던 거 같아요.

학생 A: 후반부에는 되게 의지가 많이 되었어요. 제가 실습을 다니면서 되게 비뻐어요. 그때 B형이 잘하고 있으니까 괜찮겠지 이런 마음이 있었어요. 일적인 것도 있고 심적으로도 의지를 했죠.

이러한 분업 체계는 한걸음 더 나아가 각각의 전문분야를 맡아서 진행하는 방식으로 발전하게 되었다. 학생 A는 평소 코딩에 취미가 있어서 즐겨 하였고, 분업의 효율성을 돕기 위한 시뮬레이션을 개발하는데 큰 역할을 하였고, 학생 B와 C는 자신의 전문분야인 교육자료 개발을 맡아서 하였다.

학생 B: 실험을 마치는데도 가장 큰 도움을 준 게 A죠. A가 컴퓨터 프로그램 같은 거 만들어가지고 자동화를 시켰거든요. 자동화 덕분에 빨리 끝낼 수 있었던 점이 많이 도움이 되었었고, 자동화 할 수 없는 실험 같은 거를 제가 도맡아서 했었고, 그래서 자동화 실험을 A가 도맡아 했고, 그리고 자동화 돌리면서 남은 시간에 A는 마지막 가장 안정적인 레이저 도안을 만들고 있었고요. 그리고 논문에 달려있는 자료가 있어요. 교육자료 개발이거든요. 그건 A가 만드는 것보다는 교육적으로 목표가 있는 내가 만드는 게 훨씬 낫겠다, 그런 생각도 들었고, A가 다하면 그럴잖아요. 제가 좀 한부분이라도 맡고 싶다 그런 생각도 들었고.

종합하면, 팀 구성원인 B와 C의 지식수준이 변화함에 따라, 이들은 규칙에 의거하여 기존의 수직적 역할분담을 수평적으로 바꾸기를 요구하였다. 이는 커뮤니티 내에 공유된 정신모형이 생성된 것이라고 볼 수 있다. 이에 따라 기존의 수직적 역할분담 방식으로 일을 수행하던 A와 갈등이 발생하였지만, A가 역할분담의 변화를 받아들임으로서 역할분담이 수평적으로 바뀌었다. 이러한 수평적 역할분담은 각각의 전문성을 발휘하여 책임을 가지고 주도적으로 수행하는 부분이 생기는 것으로 확장되었다. 즉 공동체의 변화에서 비롯된 모순과 이로 인한 갈등을 해결함으로써 행동체계 내의 역할분담체계가 변화하게 되었다.

3. URP 연구활동의 경험을 통한 연구초심자의 변화

가. 개인의 외적 변화: 학계 내의 인적 네트워크의 생성과 확장

학생 A와 팀 구성원들은 URP를 통해 두 가지 방식으로 인적 네트워크를 생성하고 확장할 수 있었다. 첫 번째는 멘토의 네트워크를 전수받는 방법이다. 앞서 레이저 설계에 대한 세부적이고 실용적인 지식을 얻기 위하여 멘토의 네트워크를 이용하여 연구주체의 네트워크가 확장되는 것을 기술하였다. 두 번째는 학회 참가를 통한 잠재적 네트워크의 형성이다. 산출물을 어느 정도 수준으로 완성하고 난 이후에 이 결과를 발표하기 위하여 URP 팀원들은 한국물리학회 추계학술대회에 참가하여 포스터 발표를 수행하였다. 학생들은 두 종류의 포스터 세션에 참가하였는데, 하나는 연구자들의 일반 세션이고 하나는 대학생 세션이었다. 학회 참여를 통해 다른 연구자들은 첫째, 무슨 연구 하는지 견문을 넓히고 잠재적 네트워크를 형성할 수 있었다. 둘째, 연구에 관련된 직접적인 조언을 획득할 수 있었다. 마지막으로 발표를 통해 자신의 연구를 알릴 수 있었다.

학생 A: 길게 봤을 때는 다른 분야를 좀 알 수 있었어요. J대학도 이쪽 분야 실험을 하고, 그쪽에는 뭐하는지 알 수 있었고, 시야를 넓힐 수 있었어요. 레이저 만들 때, 원자물리 발표할 때, 그분도 사실 ○○ 소속이신데, 그 레이저를 쓰는 사례를 얘기해주셨어요. 자기가 포닥 때 어떤 연구원이 이걸 만들었다. 이게 안정적인 건 좋았는데 열 컨트롤을 잘 못한다, 이런 조언을 해주셨어요. 실제로 적용했을 때 나올 수 있는 문제점에 대해서 조언을 해주셨어요.

학생 B: 특히 K대학에서 그쪽 광학분야 공부했던 사람이 와서 물어본 적도 있고 그러가지고 그런 거 대답할 때가 재밌었죠. 알고 대답할 때, 모르는 사람한테 알려주는 거는 아예 모르니까 하나도 못 알아들을 거 같아서 그냥 기초적인 것만 알려주고, 그냥 이런 실험이었다 라고만 하면 되는데, 진짜 알고 있는 사람이 와서 이런 거는 뭘 썼냐, 데이터 어떻게 뽑았냐, 이런 거 막 물어보니까 신나가지고 설명할 수 있어서 재밌었고.

학회에서 새로운 연구를 접하고 자신의 연구와 관련된 사람들을 만났으로써 다른 연구자들이 무슨 연구를 하는지 전문을 넓히고, 관련된 직접적인 조언도 획득할 수 있었다. 이러한 지식들이 당장은 쓸모없어 보일지라도 이것은 잠재적 네트워크로서 현재 진행 중인 연구 결과를 정교화할 때, 혹은 이 분야에서 새로운 연구를 수행할 때 이용 가능하다는 점에서 의미가 있다. 또한 URP를 통해 학생들이 수행한 연구는 창의성이나 연구의 수준 측면에서 학계에 영향을 미칠 정도는 아니나, 학회 발표를 통해서 학계의 네트워크의 일원이 되었다는 점도 의미가 있다.

나. 개인의 내적 변화: 협업에 대한 생각의 전환

학생 A는 연구수행을 직접 해보기 전까지 협업에 대한 인식이 부정적이었다. 하지만 연구가 종료되는 시점에서는 협업에 대한 생각이 긍정적으로 바뀌어 있었다. 다른 사람의 전문성을 인정하게 되었고 다음에도 협업적으로 연구를 수행하고자 하는 의사를 보였다. 최근 과학연구 수행의 기본 단위는 협업을 기반으로 하므로, 이러한 마음가짐의 변화는 과학자로서의 기본소양으로서 큰 의미가 있다.

학생 A: 사실 원래는 제가 하기 전까지는 함께 일한다는 걸 부정적으로 생각을 했어요. 같이 일하는 걸 안 좋아 하다보니까 처음에 같이 일하는 게 힘들었어요. 사람마다 생각도 다르고 그런데 부정적으로 생각을 했었는데 사람마다 확실히 능력도 다르고, 저는 글을 정말 못써요. 근데 B형이 교육자로 만든 거 보니까 진짜 놀랐던데요. 저는 협업에 대해서 긍정적으로 바라볼 수 있게 되었어요. 원래는 협업 자체를 좋게 안 봤는데. 다음 과제를 만약에 할 수 있는 기회가 있다면 둘이 할 거 같아요. 물론 같이 하는 사람이 교수님이 뽑아 와서 하는 사람이냐, 아니면 진짜 같이 하고 싶어서 하는 사람이냐에 따라 다르겠지만 진짜 같이 하고 싶은 사람이면 둘이 하고 싶어요.

또, 학생 A는 공동체의 일원으로서 협업을 함에 있어서 스스로에게 부족한 점이 무엇인가를 생각하게 되었다. 즉, 새롭게 변한 활동체계에 적응하고, 좀 더 효율적으로 작업을 수행하기 위해서 자신이 어떻게 변화해야 하는지 고민하는 모습을 보였다.

학생 A: 제가 힘들었던 건 리더십이 없어가지고 그게 힘들었어요. 결과가 바로바로 보이고 이런 게 아니잖아요. 그래서 동기부여를 잘하는 사람이 되어야 되겠다 이런 생각을 했어요. 같은 동료에게. 이게 바로바로 결과가 보이는 게 아니니까 지나면 힘들어하는 게 보이더라구요. 저는 동기부여를 잘 못 해줘가지고 좀 그랬는데 동기부여를 잘해주는 게 중요한 거 같아요. 리더십이 필요하다는 생각이 들었어요.

이러한 변화는 팀 구성원들이 무엇을 잘 하는지에 대한 지식이 생성된 것과 어떤 방식으로 함께 일하는 것이 효과적인지를 알게 되었기 때문일 뿐만 아니라, 구성원들에 대한 신뢰가 생겼기 때문에 가능하다. 즉, 팀을 구성하여 단순히 기계적으로 함께 일을 분담하는 것이 아니라, 정신모형을 공유하고 다른 구성원들의 전문성을 외부기억공간처럼 사용하는 교류기억체계(Transactive Memory System: TMS)의 활용을 경험하는 것이 중요하다. 학생 A는 초기에 협업에 대해 부정적 인식을 가지고 있었음에도 불구하고, URP를 통해 정신모형의 공유와 교류기억체계의 활용을 통한 효과적인 협력을 경험하게 되면서 협력에 대해서 긍정적인 인식을 갖게 되었다. 이 뿐 아니라, 협력의 방법을 익히고 인식이 전환된 것에서 더 나아가 협력을 하기 위하여 자신에게 부족한 점이 무엇인지까지 파악할 수 있다는 점에서 더 큰 의미가 있다.

다. 개인의 목표변화: 과학자로서의 장래에 대한 확신

연구를 시작하기 전, 학생 A는 물리교사, 과학자라는 서로 다른 두 진로 모두에 대하여 확신이 없는 상태였다. URP에 참여한 동기도 ‘물리 연구 측면에서 새로운 경험을 해보기 위하여’였다. 연구를 진행하는 과정 속에서 물리교육과 3학년으로서 중학교로 현장실습을 다녀오는 등 교사로서의 장래에 대한 탐색도 경험하였다. 하지만 연구 활동을 경험함으로써 과학자로서의 가능성을 탐색한 결과, 연구 수행에 대한 자신감을 얻고 과학자가 되기로 결심하였다. 즉 연구 활동의 경험은 학생 A에게 있어서 독립된 연구를 할 수 있다는 것을 스스로 확인하는 계기가 되었다. 이에 따라 URP에서 수행한 연구의 연장선 상에 있는 전공의 대학원에 진학하기로 결심하였다.

학생 A: 물리학과 대학원 진학이 목표인데, 진학하기 전에는 많이 경험해보는 것이 좋잖아요, 이 분야가 나에게 맞는지를 확인해야 되잖아요. 그걸 확인하는데 도움이 됐습니다. 국내로 가면 ○○대 아니면 △△대, 해외는 알아보고는 있는데, 돈 문제도 걸려가지고. 군문제가 걸려서 잘 모르겠네요. 해외를 간다면 유럽을 가려고 하고 있어요. □□대, 거기는 광학 중에서 입자 하나 터널링 보고 이런 거해요.

반면, 팀 구성원인 학생 B와 C는 연구 활동을 경험하면서 과학자의 길이 자신들에게 맞지 않는다는 것을 파악하고 교사가 되기로 확고하게 결심을 하게 되었다. 그들은 연구 활동을 통해 경험하게 된 과학 연구의 과정이 답이 정해져 있지 않고 찾아야 된다는 점, 계속되는 시행착오의 답답함, 끊임없는 노력 등의 이유로 인해 힘들다는 것을 알게 되었고, 이것이 자신이 추구하는 인생의 방향과 맞지 않는다는 것을 깨달았다고 하였다. 즉, 연구 활동의 경험은 팀 구성원 모두에게 있어 진로를 결정하는데 결정적인 계기가 되었다. 이는 주체를 비롯

한 참여자 모두가 활동체계의 생성과 변화 과정 속에서 성장하고 변화하였기 때문이다.

IV. 결론 및 제언

URP에 참여한 한 연구 초심자의 연구 수행을 문화역사적 활동이론에 기반하여 분석함으로써 연구 초심자가 연구 방법을 익히는 과정을 알아보았다. 우선 연구초심자가 활동체계를 어떻게 구성하는지는 크게 두 가지로 요약될 수 있다. 첫째, 멘토에 의해서 연구 방향성과 연구의 수준 그리고 한계가 결정된다는 것이다. 즉 멘토는 연구에 있어서 초기 주도권을 가지고 학생이 영역에 발을 들이고 기반을 닦아주는 역할을 한다. 둘째, 주체는 연구 팀을 물리적으로 구성하였지만 화학적인 시너지는 일어나지 않았다. 이는 구성된 팀 내에 과제와 팀에 대한 정신모형이 공유되지 않았기 때문이다.

다음으로 URP의 활동 체계가 변화하여 나가는 과정을 살펴보면, 크게 두 가지 모순에서 비롯된 갈등을 해결함으로써 활동 체계가 발전해가는 것을 알 수 있다. 각 모순은 활동 체계 내부에서 나타난 변화의 요구에 의해 발생하였다. 첫 번째 모순은 목표 달성을 위한 매개물 정교화의 필요성이 대두되었을 때 나타났다. 주체인 학생 A가 필요한 지식과 정보를 멘토에게 직접적으로 요구한 반면, 멘토는 연구의 주도권을 학생에게 전이하여 학생의 독립성을 기르고자 하였기 때문에 이로 인한 갈등이 생겨났다. 이는 멘토가 자신의 네트워크를 주체에게 전수하여 직접 지식과 정보를 찾는 경험을 하도록 함으로써 해결되었다. 이로 인해 주체는 매개물을 정교화 하였을 뿐 아니라, 자신의 네트워크가 생성되었다. 두 번째 모순은 수직적 역할분담 체계의 조정에 대한 팀 구성원의 요구에 의해 발생하였다. 이는 팀 구성원들의 과제 특정 지식수준이 높아짐에 따라 과제 관련 정신모형을 공유하게 되었기 때문에 발생한 요구이다. 학생 A가 이 요구를 받아들임으로서 각 구성원들은 수평적으로 의견을 공유하고 자신의 전문성에 맞는 역할을 수행하여 협력의 시너지 효과를 낼 수 있게 되었다.

마지막으로, 연구초심자는 활동체계를 구성하고 체계를 정교화하여 산출물을 생성하는 일련의 과정을 통해서 크게 세 가지가 변화함을 알 수 있었다. 첫 번째는 연구 활동을 통해 네트워크를 생성하고 확장함으로써 특정 연구 영역으로 진입한 것이다. 이들의 활동 체계는 초보적인 하나의 연구를 수행하는 동안 만들어진 것이기 때문에, 이 영역 내에서의 입지 자체는 약한 상태이다. 하지만 주체인 연구초심자가 대학원으로 진학하게 된다면 이러한 경험이 잠재력을 가진 매우 중요한 씨앗으로 작용할 수 있다. 둘째, 협업에 대한 인식이 바뀌게 되었다. 연구 활동에 참여하기 전에 주체인 학생 A는 협업을 통한 연구를 경험하지 못하였기 때문에 규칙의 결정, 분업, 전문성을 기반으로 한 협력 등의 행동양식 뿐 아니라 팀 구성원을 대하는 마음가짐도 미숙하였다. 하지만 연구 활동에서 정신모형을 공유하고 서로의 전문성을 활용함으로써 시너지 효과를 경험한 후, 협업에 대한 인식이 긍정적으로 바뀌게 되었다. 이는 앞으로의 연구 활동에 큰 도움이 될 것이다. 셋째, 연구 활동의 경험을 통해 주체는 과학자로서의 진로를 확정하였고 팀 구성원들은 과학자로서의 진로가 적성에 맞지 않는다는 것을 확실히 알게 되었다. 이는 URP가 과학자로서의 적성과 소질의 유무를 깨닫게 하는데 큰 역할을 한다는 것을 의미한다.

학생들의 연구 경험을 이끄는 멘토에 대한 시사점은 다음과 같다. 첫째, URP 참여자들의 연구 독립성을 길러주는 과정에서 학계 내의 네트워크 확장을 도울 필요가 있다. 이를 위하여 연구 초심자들이 멘토 혹은 활동체계 내부 구성원들과만 상호작용 하는 것이 아니라 활동체계 외부와도 네트워크를 만들 수 있도록, 멘토 개인의 네트워크를 활용할 뿐 아니라 그 영역의 인력풀에 대한 정보를 URP 운영진 측에서 제공하는 등 제도적인 방안을 마련하는 것을 고려해볼 수 있을 것이다. 연구 초심자가 계속 연구 활동을 수행할 경우 이러한 네트워크는 연구활동에 도움이 될 잠재성을 가진다. 이는 활동체계의 외부적 확장 가능성을 제공할 뿐 아니라 멘토가 가진 한계를 네트워크를 통해 극복할 수 있기 때문에 매우 중요하다. 둘째, 멘토는 URP 참여자들이 활동 체계 내에서 발생하는 갈등을 잘 조절하고 극복할 수 있도록 도와야 한다. 활동 체계 내부에서 발생한 만들어진 활동체계는 내부적으로 계속적으로 변화하기 때문에 갈등이 발생하는 것은 필연적이다. 내부갈등이 해결되지 않거나 요구되는 변화를 이루어내지 못하였다면 활동 체계 자체를 유지하기 힘들거나, 만족스러운 산출물을 도출하기 어렵다. 하지만 이를 건전하게 해결할 경우, 활동체계가 재구조화되면서 더욱 발전하는 방향으로 나아갈 수 있다. 연구 초심자들은 갈등과 이를 극복하는 일련의 과정에 익숙하지 않기 때문에 멘토의 적절한 조력을 해줄 필요가 있다.

국문요약

이 연구에서는 학부생 연구지원 프로그램(Undergraduate Research Program: 이하 URP)에 참여한 물리교육과 3학년인 한 초심자(학생 A)의 연구과정을 질적으로 분석하였다. 자료는 참여관찰, 심층인터뷰, 문서분석을 통해 수집되었고, 분석을 위한 이론적 틀로서 문화역사적 활동이론이 사용되었다. 먼저, 초심자의 연구를 위한 활동체계가 어떻게 구성되었는지를 살펴보았다. 연구 초기에 멘토가 대략적인 연구목표와 목표달성을 위한 매개체를 초심자에게 제공하였다. 연구 주체인 학생 A는 동료 두 명을 모아, 자신이 이끄는 수직적 관계로 연구팀을 구성하였다. 이러한 역할분담은 과제를 특정 지식, 연차, 그리고 참여율이 높을수록 의사결정권이 크다는 암묵적 규칙에 근거한 것이다. 다음으로, 활동체계의 변화 과정을 살펴보면, 크게 두 가지 모순이 변화의 원인이 되었다. 먼저 연구 초기에 멘토의 교육철학과 멘티의 교육적 요구 간의 모순이 발생하였다. 학생 A는 멘토의 인적 네트워크를 이용하여 외부의 활동체계에서 필요한 지식을 얻는 방식으로 모순에 의한 갈등을 극복하였다. 이렇게 획득한 지식을 이용하여 활동체계의 매개물(실험도구와 이론)을 정교화하였다. 두 번째 모순은 수평적 역할분담을 요구하는 팀 구성원들과 기존 역할분담을 고수하는 학생 A 간에 발생하였다. 학생 A가 팀 구성원들의 의견을 받아들인 후, 활동체계의 노동 분담 방식은 협력적으로 변화하였다. 마지막으로, 학생 A의 변화를 살펴보면, 학생 A는 연구 경험을 통해 교사의 길을 포기하고 과학자가 되기로 결심하였다. 또 학계 내의 인적 네트워크를 생성하고 확장하게 되었으며, 협업에 대한 부정적인 마음가짐이 긍정적으로 바뀌게 되었다. 연구 초심자의 연구과정에 대한 활동체계의 구성과 변화의 분석을 통하여 사사교육의 지도 방식과 지원체계에 대한 시사점을 얻을 수 있다.

주제어 : 학부생 연구지원 프로그램, 연구초심자, 문화역사적 활동이론, 과학탐구과정, 멘토링

References

- Adedokun, O. A., Bessenbacher, A. B., Parker, L. C., Kirkham, L. L., & Burgess, W. D. (2013). Research skills and STEM undergraduate research students' aspirations for research careers: Mediating effects of research self-efficacy. *Journal of Research in Science teaching*, 50(8), 940-951.
- Bargar, R. R., & Duncan, J. K. (1982). Cultivating creative endeavor in doctoral research. *The Journal of Higher Education*, 53(1), 1-31.
- Bogdan, R., & Biklen, S. (2003). *Research for education*. Boston: Allyn & Bacon
- Burgin, S. R., & Sadler, T. D. (2016). Learning nature of science concepts through a research apprenticeship program: A comparative study of three approaches. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(1), 31-59.
- Converse, S., Cannon-Bowers, J. A., & Salas, E. (1993). Shared mental models in expert team decision making. *Individual and group decision making: Current issues*, 221.
- Chemers, M. M., Zurbriggen, E. L., Syed, M., Goza, B. K., & Bearman, S. (2011). The role of efficacy and identity in science career commitment among underrepresented minority students. *Journal of Social Issues*, 67(3), 469-491.
- Dolan, E., & Johnson, D. (2009). Toward a holistic view of undergraduate research experiences: An exploratory study of impact on graduate/postdoctoral mentors. *Journal of Science Education and Technology*, 18(6), 487.
- Engeström, Y. (1987). *Learning by expanding: An activity-theoretical approach to developmental research*. Helsinki: Orienta-Konsult.
- Engeström, Y. (2000). Activity theory as a framework for analyzing and redesigning work. *Ergonomics*, 43(7), 960-974.
- Engeström, Y. (2001). Expansive learning at work: Toward an activity theoretical reconceptualization. *Journal of education and work*, 14(1), 133-156.
- Engeström, Y. (2009). The future of activity theory: A rough draft. *Learning and expanding with activity theory*, 303-328.
- Fletcher, J. K., & Ragins, B. R. (2007). Stone center relational cultural theory. *The handbook of mentoring at work: Theory, research, and practice*, 373-399.
- Gardner, S. K. (2005). If it were easy, everyone would have a Ph. D. Doctoral student success: Socialization and disciplinary perspectives.
- Gardner, S. K. (2008). "What's too much and what's too little?": The process of becoming an independent researcher in doctoral education. *The Journal of Higher Education*, 79(3), 326-350.
- Hathaway, R. S., Nagda, B. A., & Gregerman, S. R. (2002). The relationship of undergraduate research participation to graduate and professional education pursuit: an empirical study. *Journal of College Student Development*, 43(5), 614-631.
- Hunter, A. B., Laursen, S. L., & Seymour, E. (2007). Becoming a scientist: The role of undergraduate research in students' cognitive, personal, and professional development. *Science education*, 91(1), 36-74.
- Johnson, W. B., Behling, L. L., Miller, P., & Vandermaas-Peeler, M. (2015). Undergraduate research mentoring: obstacles and opportunities. *Mentoring & Tutoring: Partnership in Learning*, 23(5), 441-453.
- Kardash, C. M. (2000). Evaluation of undergraduate research experience: Perceptions of undergraduate interns and their faculty mentors. *Journal of educational psychology*, 92(1), 191.
- Laursen, S., Hunter, A. B., Seymour, E., Thiry, H., & Melton, G. (2010). Undergraduate research in the sciences: Engaging students in real science. John Wiley & Sons.
- Lee, G. H. (2009). *An Educational Program of Undergraduate Research Participation in Science and Engineering Field*. KAIST.
- Lopatto, D. (2004). Survey of undergraduate research experiences (SURE): First findings. *Cell biology education*, 3(4), 270-277.
- Lopatto, D. (2007). Undergraduate research experiences support science career decisions and active learning. *CBE-Life Sciences Education*, 6(4), 297-306.
- Lovitts, B. E. (2001). Leaving the ivory tower: The causes and consequences of departure from doctoral study. Rowman & Littlefield.
- Lovitts, B. E. (2005). Being a good course-taker is not enough: a theoretical perspective on the transition to independent research. *Studies in higher education*, 30(2), 137-154.
- Lompscher, J. (2006). The cultural-historical activity theory. *Critical perspectives on activity: Explorations across education, work, and everyday life*, 35-51.
- Ministry of Science, ICT and Future Planning. (2013). *The master plan for the identifying and nurturing of the science gifted students*. Gwacheon: Ministry of Science, ICT and Future Planning.
- Nagda, B. A., Gregerman, S. R., Jonides, J., von Hippel, W., & Lerner, J.S. (1998). Undergraduate student-faculty research partnerships affect student retention. *The Review of Higher Education*, 22(1), 55-72.
- Paglis, L. L., Green, S. G., & Bauer, T. N. (2006). Does adviser mentoring add value? A longitudinal study of mentoring and doctoral student outcomes. *Research in Higher Education*, 47(4), 451-476.
- Robnett, R. D., Chemers, M. M., & Zurbriggen, E. L. (2015). Longitudinal associations among undergraduates' research experience, self-efficacy, and identity. *Journal of Research in Science Teaching*, 52(6), 847-867.
- Roth, W. M., Lee, Y. J., & Hsu, P. L. (2009). A tool for changing the world: possibilities of cultural-historical activity theory to reinvigorate science education. *Studies in Science Education*, 45(2), 131-167.
- Sawchuk, P. H. (2003). *Adult Learning and Technology in Working-Class Life*. New York: Cambridge University Press.
- Sawchuk, P., Duarte, N., & Elhammoumi, M. (Eds.). (2006). *Critical perspectives on activity: Explorations across education, work, and everyday life*. Cambridge University Press.
- Slovacek, S., Whittinghill, J., Flenoury, L., & Wiseman, D. (2012). Promoting minority success in the sciences: The minority opportunities in research programs at CSULA. *Journal of Research in Science Teaching*, 49(2), 199-217.
- Thiry, H., Laursen, S. L., & Hunter, A. B. (2011). What experiences help students become scientists? A comparative study of research and other sources of personal and professional gains for STEM undergraduates. *The Journal of Higher Education*, 82(4), 357-388.
- Villarejo, M., Barlow, A. E., Kogan, D., Veazey, B. D., & Sweeney, J. K. (2008). Encouraging minority undergraduates to choose science careers: career paths survey results. *CBE-Life Sciences Education*, 7(4), 394-409.
- Youn, C., & Park, S. (2012). Theoretical development of cultural historical activity theory and implications to lifelong education. *Journal of Lifelong Education*, 18(3), 113-139.