

일반물리학실험에 나타난 대학생의 반성적 사고 특징 분석

김희정 · 최규리¹ · 오윤정^{2*}

이화여자대학교 · ¹한국창의교육연구원 · ²성균관대학교

Analysis of Reflective Thinking Characteristic of College Students in General Physics Experiment

Hee Jung Kim · Kyoulee Choi¹ · Yoonjeong Oh^{2*}

Ewha Womans University · ¹Korea Institute for Creative Education · ²Sungkyunkwan University

Abstract : This study aims to analyze the characteristics of reflective thoughts of students during experiments in general physics experiments. The participants were 32 college students, they submitted 10 experiment reports including answers to questions for reflective thinking. The results were as follows: First, students show reflective thinking broadly in the experiment, levels were followed by practical reflection, technical reflection, and critical reflection. Also, they actively accepted the knowledge related to experiments, but were passive in connecting new knowledge and experiences obtained through the experiments or forming new questions. Second, the reflective thinking of students show high correlation with experiments related to prior knowledge or the easy-to-understand process. Third, through the qualitative analysis of open-ended questions, it was confirmed that technical reflection occurs in individual evaluation, practical reflection in group evaluation, and practical reflection and critical reflection in improvement proposal. While the students' reflective thinking were superficial or mainly functional, however, they recursively examined the learning contents and the experimental process concurrently.

keywords : Reflective thinking, Technical reflection, Practical reflection, Critical reflection, General physics experiment

I. 서론

최근 교육에서는 제4차 산업혁명에 능동적으로 대처할 수 있는 인재 양성을 위해 역량중심 교육과정이 강조되고 있으며 창의적 문제해결력 신장을 주요 교육 목표로 삼고 있다. 창의적 문제해결은 단순한 창의적 사고를 넘어 분석적이고 비판적인 사고가 동반될 때 가능하고 이를 위해서는 반성적 사고가 필수적이다. 반성적 사고는 학습자가 자신의 지식과 경험을 바탕으로 문제를 발견하고 문제를 능동적으로 해결하기 위하여, 기존의 지식 및 지식 구조를 수정 또는 변형

하여 새로운 지식을 형성 및 구조화하는 문제해결 과정이자 인지적 과정이다(Johnsson & Svensson, 2005; Kim, 2016; Roessger, 2014). Dewey (1993)가 반성적 사고를 자신의 신념 또는 행위에 대하여 그 원인이나 결과를 적극적·지속적이고 주의 깊게 고려하는 것으로 규정한 이후, 반성적 사고는 여러 연구자에 의하여 다양하게 해석되어 왔다.

Schon (1983)은 반성적 사고를 지식(앎)과 행위의 상호작용이자 실천이되 단순히 행위를 돌이켜 검토하는 것이 아니라, 행위를 이루는 지식을 비판적으로 재구성하고 이를 다시 행위로 옮겨 검증하는 전문가적 행위로 정의하였다. Van Menon (1977)은 반성적

* 교신저자: 오윤정 (yjoh@skku.edu)

** 이 논문은 한국연구재단의 지원을 받아 수행하였습니다(과제번호 2018R1C1B6005714).

*** 2020년 6월 10일 접수, 2020년 7월 20일 수정원고 접수, 2020년 8월 31일 채택

<http://dx.doi.org/10.21796/jse.2020.44.2.225>

사고를 수행하는 개인의 목표에 따라 기술적 반성, 해석적 반성, 비판적 반성으로 위계화함으로써 반성적 사고를 정교화하였다. Van Manen에 의하면 기술적 반성은 의사결정의 수행에 대한 반성으로 목표 달성에 초점이 맞추어져 있으며, 해석적 반성은 의사결정의 의미에 대한 반성으로 행위의 적절함과 효과를 고려하고, 비판적 반성은 의사결정의 이유 또는 근거에 대한 반성으로 자신의 행위에 의한 효과와 도덕적·윤리적 측면을 고려한다. Pultorak (1996)은 기계적 합리화(문제 혹은 문제 상황에 적용한 지식과 원리에 대한 고려), 실천적 행위(문제 혹은 문제 상황을 해결하기 위한 가정이나 경향에 대한 고려), 비판적 반성(다양한 상황과 도덕적·윤리적 기준을 고려한 실천)의 3단계로 반성적 사고를 구분하였고, Zeichner & Liston (1985)은 신중한 고려과정(자신의 행위에 대한 충고, 조언, 지지에 주목함), 실천적 과정(상황과 문제에 대한 느낌과 이에 대하여 설명하거나 묘사함), 정당화 과정(자신의 행위를 합리화함), 비판적 과정(자신의 행위에 대한 정당성을 이루는 근거의 이면을 탐색함)의 4단계로 규정하였다. Garcia (1996)는 반성적 사고를 인식, 합리적 인식, 비교, 비판의 4단계로 분류하는데 행위자는 인식의 단계에서는 행위에 대한 인식은 가능하지만 행위의 이유는 탐색하지 않으며, 합리적 인식의 단계에서는 자신의 행위 요소와 이에 대한 근거를 제시할 수 있고, 비교 단계에서는 구조화된 사고 내에서 행위의 구성 요소를 비교할 수 있으며, 비판의 단계에서는 이론적 근거를 통해 행위자 자신의 사고의 구성 원리를 인식함과 동시에 구성의 근원적 원인을 검토할 수 있다고 하였다. 또한 Kim (2016)은 자신의 경험을 바탕으로 개인의 문제 또는 상황을 발견하는 첫 번째 단계, 기존의 지식을 동원하여 문제나 상황을 비판적으로 분석·평가하는 두 번째 단계, 문제 또는 상황을 해결하기 위하여 자신의 주관이나 관점을 보유하는 세 번째 단계로 분류하였다.

연구자에 따라 반성적 사고의 위계에 차이가 있지만 동시에 공통점도 발견할 수 있는데 바로 상대적으로 단순하고 낮은 반성적 사고에서 복잡하고 높은 반성적 사고로의 위계이다. 이는 반성적 사고가 일련의 과정인 데서 기인하지만 반성적 사고가 저절로 발달되지 않는다는 의미이기도 하다. 즉 반성적 사고는 자연적으로 발달되지 않으므로 교수자는 학습자의 반성적 사고가 발달할 수 있도록 교수학습 전략의 측면과 과정에서 세심하게 주의를 기울여야 한다.

글쓰기, 토의·토론, 딜레마를 포함하여 교육 현장에서 반성적 사고를 촉진할 수 있는 장면과 환경은 다양하며 과학교육에서는 여기에 실험을 적극 활용할 수 있을 것이다. 이는 실험이 과학의 본성을 이해하고

과학에 대한 흥미와 학습동기, 탐구 능력을 향상시키는 등 과학의 고유한 탐구 방법일 뿐 아니라 학습자가 선지식과 경험을 바탕으로 새로운 발견을 추구하고 이를 기반으로 지식을 새롭게 구성하기 때문이다. 또한 실험은 개념과 지식을 이해하고 결과를 산출하며 결론을 이끌어내는 정신적 활동과 관찰, 실험도구 조작 및 측정을 포함하는 신체적 활동을 긴밀하게 연결해야 하는 복잡한 과제이다. 이는 실험은 정신적 활동과 신체적 활동이 조화를 이루어야 성공적으로 수행 및 완수할 수 있으며 실험의 수행에서 반성적 사고가 필수적임을 의미한다. 실험은 수행과 결과에서 다양한 오류가 발생할 수 있으며 이 과정에서 실험 목표, 실험 방법, 실험 결과 등을 점검 및 평가하는 반성적 사고가 작동한다. 실험 목표·방법·결과 등 반성적 사고의 구체적 대상에 따라 학습자가 사용 또는 작동하는 반성적 사고의 단계와 세부 내용이 상이할 수 있다. 따라서 실험을 통한 반성적 사고의 제고를 위하여 교수자는 학습자 특성, 실험의 특성과 유형, 예비보고서 및 결과보고서의 형태, 실험 수업에서 작동하는 반성적 사고 및 반성적 사고의 수준별 특징 등을 파악할 필요가 있다.

이 연구에서는 일반물리학실험을 수강하는 과학 교육과 1학년의 반성적 사고의 수준과 유형을 확인하고 일반물리학실험에서 학생들의 반성적 사고를 제고하기 위한 방안을 찾고자 하였다. 구체적인 연구문제는 다음과 같다.

1. 일반물리학실험에서 나타난 대학생의 반성적 사고의 수준과 그 특징은 무엇인가?
2. 일반물리학실험에서 나타난 대학생의 반성적 사고의 유형과 그 특징은 무엇인가?

II. 연구 방법

1. 연구 설계

이 연구는 일반물리학실험을 수강하는 대학생의 반성적 사고의 특징을 확인하기 위하여 설계되었다. 이를 위하여 국내외 선행연구를 검토하였으며, 특히 대학생의 실험 교과목을 활용한 국내 연구에 주목하여 일반물리학실험에 적합한 반성적 사고 평가 문항을 개발하였다(Garcia, 1996; Kim, 2016; Lee & Choi, 2016; Lee & Im, 2011; Nam, Lee & Park, 2013; Park et al., 2007; Pultorak, 1996; Van Manen, 1977; Zeichner & Liston, 1985). 특별히 Van Manen (1977)의 제시한 기술적 반성, 해석적 반성, 비판적 반성의 3단계와 Park *et al.* (2007)이 예비

교사를 대상으로 실시한 연구의 기술적 반성, 전문적 반성, 비판적 반성의 3단계를 핵심적으로 활용하였다. Van Manen (1977)의 해석적 반성은 목표를 성취하기 위한 행위와 행위에 대한 결과를 고려하는 반성이고 Park *et al.* (2007)의 전문적 반성은 새로운 대안을 고려하며 교육적 가치갈등의 과정을 거치는 사고 과정이다.

전술한 바와 같이, 반성적 사고는 단순하고 낮은 단계에서 복잡하고 높은 단계로의 위계가 나타난다는 공통점이 있지만 연구자들에 따라 3~4단계 드물게는 5~6단계 등 다양한 위계를 제시한다. 이에 이 연구에서는 ‘실험’이라는 학습 상황에서 발생할 수 있는 사고와 행위에 주목하여 위계를 규정하였다. 즉 개념 이해, 결과 산출 및 요약, 결론 도출이라는 정신적 활동에 의한 반성적 사고뿐 아니라 실험도구를 직접 만지고 조절하는 신체적 활동에 의한 반성적 사고 까지 적절하게 포함할 수 있도록 위계 및 평가 문항을 개발하였다.

이 연구에서 개발한 평가 문항은 3개의 위계, 즉 기술적 반성, 실천적 반성, 비판적 반성으로 이루어져 있다. 기술적 반성(technical reflective thinking)은 당일 실험수업과 관련된 선지식과 학습한 내용을 확인하는 것으로, 학습 내용 및 목표를 간략하게 기술하거나 기능적 측면에 초점을 맞추어 목표 달성 여부를 검토하는 것과 관련되어 있다. 실천적 반성(practical reflective thinking)은 당일 실험수업을 평가하고 문제점 또는 오류를 발견하거나 원인을 파악하여

대안을 모색하는 것과 관련되어 있다. 비판적 반성(critical reflective thinking)은 당일 실험수업의 의미를 스스로 확인하고 수업 경험을 이후 실험수업에 반영하고자 하는 것으로 학습의 의미 재고, 제시된 대안의 비교·분석·선택, 학습 경험의 적용과 관련되어 있다. 이렇게 개발한 반성적 사고의 수준과 검사 문항은 개발 목적에 대한 진술과 함께 과학교육학 박사 2인에게 검토 요청하였고 평정을 거쳐 완성하였다(Table 1).

반성적 사고 평가 문항은 14개의 선택형 문항과 3개의 개방형 문항으로 모두 자기보고식 문항이다. 선택형 문항은 3개 수준으로 구분하였으며 문항1~5가 기술적 반성, 문항6~10이 실천적 반성, 문항11~14가 비판적 반성 문항에 해당한다. 선택형 문항은 1~6점의 리커트(Likert) 척도를 사용하였으며 중립성 선택항을 배제하여 반성적 사고를 명확하게 평가하고자 하였다 (문항신뢰도 Cronbach α = .898).

개방형 문항에서는 학습자 자신에 대한 평가(문항15), 모둠에 대한 평가(문항16), 실험의 개선점 제안(문항17)을 서술하며, 선택형 문항에서 점검하지 못한 사항을 검토하고 실험 전반을 평가하여 개선 방안을 제안하도록 하였다. 선택형 문항과 달리, 개방형 문항은 각각의 문항이 반성적 사고의 위계와 일대일 대응하지 않는다. 그럼에도 개방형 문항을 활용한 것은 자기 보고식 문항이라는 한계를 보완하고, 학생들이 개방형 문항에 대한 답변을 서술하면서 자신의 반성적 사고를 다시 한 번 확인하고 확장하는 기회를 제공하기 위함이었다. 다시 말하여 반성적 사고가 세밀한 진술 과정

Table 1. Closed questions for reflective thinking

Level	Number	Question
1.Technical reflective thinking	1	Do you know any prior knowledge related to today's experiment?
	2	Can you explain the goal of today's experiment?
	3	Do you understand today's experimental process?
	4	Do you understand the concepts and content learned in experiment today?
	5	Do you understand the meaning of today's experiment results?
2.Practical reflective thinking	6	Did you try to understand the concepts and content that you learned today?
	7	Do you distinguish between well-understood and ill-understood concepts and content learned today?
	8	Can you explain the cause of the error in today's experiment?
	9	Can you suggest a way to improve the error that occurred in today's experiment?
3.Critical reflective thinking	10	Can you elaborate on difficulties you experienced in today's experiment?
	11	Can you connect the concepts learned in today's experiment with the meaning of the experiment?
	12	Did today's experiment affect the understanding of the concepts?
	13	Do you have any new questions from today's experiment?
	14	Do you want to reflect the errors or inadequacies experienced in today's experiment in your next experiment?

에서 보다 활성화됨에 따라 선택형 문항을 통해서는 반성적 사고의 수준과 특성을, 개방형 문항을 통해서는 반성적 사고의 유형과 세부내용을 확인하고자 하였다.

2. 자료수집 및 분석

이 연구는 서울 소재 사범대학에서 일반물리학실험을 수강하는 과학교육과 1학년 32명을 대상으로 2019년 1학기에 수행되었다. 해당 학기 15회 수업 중 10개의 실험이 진행되었으며, 10개의 실험은 Table 2와 같다. 학생들은 각각의 실험 후 총 10개의 결과보고서를 작성하여 제출하였으며, 결과보고서 마지막에 반성적 사고 문항을 첨부하여 해당 실험에 대한 반성적 사고를 확인하였다. 해당 학기가 종료된 후 총 320개의 결과보고서를 수거하여 선택형 문항을 코딩하고 개방

형 문항을 전사하는 등 디지털 데이터로 변환하였다. 선택형 문항은 코딩한 데이터를 바탕으로 기술통계 및 상관분석을 실시하였고, 개방형 문항은 전사 자료를 바탕으로 2인의 과학교육 전문가가 질적 분석을 수행하였다. 개방형 문항이 실험 수업을 다면적·종합적·총체적으로 검사함에 따라, 개방형 문항에 대한 질적 분석을 통해 수준에 따른 반성적 사고의 유형을 분석함으로써 학생들의 반성적 사고를 입체적으로 파악하고자 하였다. 개방형 문항 분석을 통한 반성적 사고의 유형에 대한 질적 분석을 위하여 Lee & Choi (2016), Lee & Im (2011), Park *et al.* (2007)의 연구를 참고하여 1차 분석틀을 개발하였으며, 이 분석틀을 바탕으로 개방형 문항을 분석하여 반성적 사고의 수준(기술적 반성, 실천적 반성, 비판적 반성)에 따른 유형(지식, 과정, 태도/행동)의 하위 내용을 최종적으로 Table 3과

Table 2. List of 10 general physics experiment

Experiment title	Object of experiment
Exp.1 Interpretation of the experiment	Analysis of the experiment result graph
Exp.2 length measurement	How to use vernier calipers and micrometers
Exp.3 Young’s modulus of the rod	Copper, Iron, Brass strain measurement
Exp.4 Surface tension measurement	Surface tension measurement of water
Exp.5 Equilibrium of force	Vector analysis of three forces
Exp.6 Moment of inertia	Moment of inertia about the axis of rotation
Exp.7 Gravity acceleration measurement by Borda pendulum	Gravity acceleration measurement using pendulum motion
Exp.8 Ballistic pendulum	Velocity measurement using parabolic motion and law of conservation of momentum
Exp.9 Torque equilibrium	Measurement of two torque equilibrium, three torque equilibrium
Exp.10 Characteristics of electromagnetic waves	Reflection and refraction of electromagnetic waves

Table 3. Qualitative framework of open-ended questions for reflective thinking

Level	Type	Contents
1.Technical reflective thinking	Knowledge	short term and immediate reflection, brief description of the content and objectives, use of pre-knowledge, etc.
	Process	focus on function, review and confirm learning objectives, lack of time, etc.
	Attitude/action	external behavior changes, simple interest, contribution, related to experimental devices, etc.
2.Practical reflective thinking	Knowledge	questioning the goal, review and objectify goals and problems in various perspectives, etc.
	Process	review learning content and process, searching for alternatives, analyzing and evaluating alternatives reasonably, etc.
	Attitude/action	role sharing, trial and error, cooperation, communication within groups, communication between groups, lack of communication, inequality of opportunity, etc.
3.Critical reflective thinking	Knowledge	rethinking the meaning of learning, reset the meaning of learning, etc.
	Process	choosing by comparing and analyzing the suggested alternatives, etc.
	Attitude/action	intending to apply the learning experience to future learning, real-life application, new curiosity, criticism of class, etc.

같이 분류하였다. 질적 분석 과정에서 반성적 사고의 수준 및 유형에 대한 불일치가 발생했을 때는 응답 데이터의 주요 내용과 의미를 비교 검토하여 연구자 간 합의안을 최종 선정하였고, 여러 유형이 동시에 발견될 때는 연구자 2인이 동의하는 유형과 하위 내용만을 채택하였다. 이 연구에서 반성적 사고의 유형 중 지식은 인지적 측면에 초점이 맞추어져 있으며 학습 내용 및 목표와 관련된 반성이다. 과정은 기능적 측면에 초점이 맞추어져 있으며 실험 방법에 대한 대안 탐색을 포함한 실험 과정 전반에 대한 반성이다. 태도/행동은 정의적 및 행동적 측면에 초점이 맞추어져 있으며 흥미, 호기심, 이후 학습에 대한 적용 의지, 실험 과정에서 나타난 행위 등이 해당한다. 개방형 문항 응답에 대한 수준에 따른 유형별 빈도를 분석하여 일반물리학실험에 나타난 대학생들의 반성적 사고 유형의 특징을 살펴보았다.

III. 연구 결과

1. 선택형 문항 분석을 통한 반성적 사고의 특징

1) 반성적 사고의 특징

연구에 참여한 대학생들의 반성적 사고 선택형 문항의 전체 평균은 4.60, 표준편차는 0.09이다(Table 4). 이는 6점 만점인 리커트 척도에서 '약간 그렇다'와 '그렇다' 사이에 해당한다. 14개 선택형 문항 중에서 평균이 가장 높은 문항은 문항6 '오늘 학습한 개념 및 내용을 이해하기 위하여 노력하였는가?'로 평균이 5.25이었다. 문항14 '오늘 실험에서 경험한 오류나 미흡함을 다음 실험에 반영하고자 하는가?', 문항3 '오늘 실험 과정을 이해하는가?', 문항5 '오늘 실험 결과의 의미를 이해하는가?', 문항12 '오늘 실험이 개념의 이해에

영향을 미쳤는가?' 등이 평균이 상대적으로 높게 나타났다. 반면 평균이 가장 낮은 문항은 문항13 '오늘 실험을 통해 새롭게 발생한 의문이 있는가?'이며 문항1 '오늘 실험과 관련된 선지식(이전 지식)을 알고 있는가?'도 다른 문항에 비하여 평균이 낮았다. 평균값이 4.0 이상이지만, 문항9 '오늘 실험에서 발생한 오차를 개선할 수 있는 방법을 제안할 수 있는가?'와 문항7 '오늘 학습한 개념 및 내용 중 잘 이해한 것과 미흡하게 이해한 것을 구별하는가?'도 반성적 사고의 순위가 낮게 나타났다. 반성적 사고의 수준별 평균은 기술적 반성이 4.59(*S.D.* = 0.72), 실천적 반성 4.74 (*S.D.* = 0.68), 비판적 실천 4.36(*S.D.* = 0.65)으로 나타났다.

반성적 사고 평균 결과를 비교 분석하면, 반성적 사고 평균이 높게 나타난 문항은 내용 지식(content knowledge)과 실험 과정 및 결과에 대한 이해 및 노력, 학생 개인의 부족함을 개선하려는 노력 등에 대한 문항이다. 반면에 평균이 낮게 나타난 문항은 실험과 관련된 선지식, 자신의 이해에 대한 구체적 구별, 오차 개선방법 제안, 새로운 의문의 형성과 지식의 재구성 등을 묻는 문항이다. 즉 학생들은 내용 지식, 실험 과정 및 실험 결과 등의 단순한 이해와 자신의 미흡함을 개선하려는 의지에 대한 점검과 반성은 활발하게 일어나지만, 선지식 점검, 내용 지식에 대한 분석적 평가, 개선점 제안, 오차 분석과 대안 제시, 실험과 학습을 통한 지식의 재구성에 대한 반성은 상대적으로 부족하다고 볼 수 있다. 또한 근소한 차이이나, 실천적 반성이 기술적 반성보다 높게 나타났는데 이는 실험 수업의 특성이 반영된 것으로 해석할 수 있을 것이다.

10개 실험 중에서 반성적 사고에 대한 응답이 가장 높은 실험은 실험7 'Borda 진자의 의한 중력가속도 측정'이고 실험3 '막대의 영률 측정'과 실험2 '길이 측정'도 반성적 사고에 대한 응답이 전체 평균보다

Table 4. Result of closed questions for reflective thinking

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Level1	Level2	Level3	Total
mean	3.65	4.77	4.87	4.81	4.82	5.25	4.64	4.66	4.35	4.79	4.66	4.82	2.78	5.14	4.59	4.74	4.36	4.60
<i>S.D.</i>	1.33	0.82	0.84	0.78	0.80	0.73	0.87	0.89	0.99	0.88	0.85	0.81	1.31	0.83	0.72	0.68	0.65	0.09

Level 1: Technical reflection, Level 2: Practical reflection, Level 3: Critical reflection

Table 5. Result of closed questions for reflective thinking by experiments

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	mean	<i>S.D.</i>
mean	4.55	4.63	4.64	4.60	4.58	4.53	4.67	4.60	4.49	4.53	4.60	0.63
<i>S.D.</i>	0.57	0.67	0.57	0.61	0.62	0.59	0.54	0.53	0.60	0.61		

높게 나타났다. 반성적 사고가 가장 낮은 실험은 실험9 ‘토크의 평형’이었으며 실험10 ‘전자기파의 반사와 굴절’, 실험6 ‘회전축에 대한 관성모멘트 측정’은 반성적 사고가 낮은 실험에 해당하였다(Table 5).

이 같은 결과는 중등 과학교육과정과 관련이 있어 보인다. 즉 중고등학교 과정에서 반복하여 학습하였거나 학습한 경험이 있는 내용 지식을 포함하는 실험으로, 중력가속도(실험7)는 중고등학교 과정에서 반복하여 학습한 개념에 해당하고 길이 측정(실험2)과 영률 측정(실험3)은 실험에 그대로 적용할 수 있는 내용 지식(측정도구 사용법)을 포함하는 실험에 해당한다. 반면 토크(실험9), 전자기파(실험10), 관성모멘트(실험6)는 중등 과학교육과정에 포함되어 있지 않거나, 포함되어 있더라도 개념 수준의 접근으로 학습량이 극히 적거나, 과학탐구 선택과목에 해당하는 등 학생들이 처음 접하거나 낯선 내용 지식에 해당한다. 일반물리학실험은 추상적이면서 복합적인 물리 개념을 이해하면서 동시에 구체적인 조작 활동(hand-on activity)을 수행해야 한다. 따라서 실험을 원활하게 수행하려면 학생은 내용 지식(물리 개념, 이론 등)과 절차적 지식(실험의 수행) 중에서 적어도 한 가지 지식은 비교적 친숙하거나 안정적이어야 한다. 선지식이 전혀 없거나 많이 미흡한 실험, 실험 도구를 포함한 실험 방법이 낯선 실험에서 학생은 내용 지식(물리 개념)과 절차적 지식(실험 수행)을 동시에 효율적으로 사용하는 데 어려움을 겪을 가능성이 높고, 이럴 경우 반성적 사고는 제한적

으로 작동할 수밖에 없다. 버니어캘리퍼와 마이크로미터를 이용한 길이 측정(실험2), 막대의 영률 측정(실험3)에서 학생들의 반성적 사고가 높게 나타났는데 이는 기능, 즉 도구의 조작이 강조된 실험에 속한다.

종합하면 학생들은 선지식 또는 관련 지식을 보유한 실험, 비교적 단순하고 명료한 기능의 실험에서는 반성적 사고가 상대적으로 활발하지만 추상적이거나 복잡한 개념을 다루는 실험에서는 반성적 사고가 미흡하였다. 이는 실험 교과목에서 학생들의 반성적 사고를 제고하기 위하여 교수자는 학습자의 선지식을 파악해야 할 뿐 아니라, 실험(학습)의 목표를 명확히 하고 이를 적용하기 위하여 세밀한 수업 전략을 세울 필요가 있음을 시사한다.

2) 반성적 사고 문항 간 및 실험 간 상관관계

동일 단계의 수준별 반성적 사고 사이에 또는 상위 단계의 반성적 사고에 보다 유의미한 영향을 미치는 반성적 사고를 확인하기 위하여 반성적 사고 선택형 문항의 평균과 개별 문항 간 상관분석을 실시하였다(Table 6). 반성적 사고 선택형 문항의 평균과 14개 문항 사이에는 .21(문항13)~.76(문항4)의 상관관계가 나타났다. 가장 낮은 상관을 나타낸 문항은 문항13 ‘오늘 실험을 통해 새롭게 발생한 의문이 있는가?’로 앞의 기술통계에서 가장 낮은 평균을 나타낸 바 있다. 문항1 ‘오늘 실험과 관련된 선지식(이전 지식)을 알고

Table 6. Correlation between closed questions for reflective thinking

Mean of reflective thinking	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Q11	Q12	Q13	Q14	Level 1	Level 2	Level 3	
Mean of reflective thinking	1	.578**	.716**	.721**	.760**	.715**	.682**	.687**	.643**	.697**	.698**	.755**	.749**	.214**	.695**	.870**	.872**	.814**
Question 1	1	.500**	.332**	.417**	.317**	.224**	.285**	.329**	.280**	.255**	.388**	.352**	0.05	.310**	.723**	.353**	.363**	
Question 2		1	.645**	.571**	.548**	.563**	.436**	.379**	.296**	.415**	.510**	.511**	0.02	.426**	.810**	.517**	.467**	
Question 3			1	.716**	.692**	.528**	.448**	.368**	.401**	.398**	.461**	.515**	0.006	.461**	.813**	.540**	.448**	
Question 4				1	.750**	.565**	.437**	.358**	.393**	.481**	.547**	.594**	-0.041	.564**	.836**	.557**	.517**	
Question 5					1	.540**	.440**	.328**	.369**	.376**	.551**	.575**	-0.043	.519**	.790**	.510**	.497**	
Question 6						1	.470**	.397**	.406**	.514**	.533**	.552**	-0.038	.496**	.577**	.673**	.477**	
Question 7							1	.477**	.574**	.554**	.493**	.441**	0.054	.390**	.503**	.782**	.448**	
Question 8								1	.676**	.490**	.367**	.408**	0.047	.409**	.445**	.781**	.393**	
Question 9									1	.536**	.460**	.458**	0.118*	.463**	.432**	.841**	.502**	
Question 10										1	.575**	.515**	0.061	.439**	.470**	.793**	.516**	
Question 11											1	.641**	0.096	.507**	.609**	.613**	.742**	
Question 12												1	0.057	.546**	.624**	.594**	.726**	
Question 13													1	.046	.006	.076	.570**	
Question 14														1	.558**	.570**	.688**	
Level 1															1	.609**	.569**	
Level 2																1	.600**	
Level 3																	1	

* $p < .05$, ** $p < .01$

Level 1: Technical reflection, Level 2: Practical reflection, Level 3: Critical reflection

있는가?’, 문항8 ‘오늘 실험에서 발생한 오차의 원인을 설명할 수 있는가?’도 상관이 낮게 나타났으며 통계적으로 유의하였다. 문항4 ‘오늘 실험에서 학습한 개념과 내용을 이해하는가?’, 문항11 ‘오늘 실험에서 경험한 어려움이 무엇인지 구체적으로 설명할 수 있는가?’, 문항12 ‘오늘 실험이 개념의 이해에 영향을 미쳤는가?’, 문항3 ‘오늘 실험 과정을 이해하는가?’, 문항2 ‘오늘 실험 목표를 설명할 수 있는가?’ 등의 문항이 상관이 높게 나타났으며 통계적으로 유의하였다. 반성적 사고 수준별로는 실천적 반성, 기술적 반성, 비판적 반성 순으로 반성적 사고 평균과 높은 상관이 나타났으며 통계적으로 유의하였다.

반성적 사고(평균) 간 상관관계의 결과를 비교 분석하면, 반성적 사고 간 상관이 낮은 문항은 새로운 의문의 형성과 지식의 재구성, 실험과 관련된 선지식, 오차의 원인 분석 및 규명에 대한 문항이고 상관이 높은 문항은 내용 지식과 실험 과정 및 목표에 대한 이해, 실험을 통한 개념(내용 지식)의 이해, 실험에서 경험한 어려움 지목 등에 대한 문항이다. 특히 문항13과 문항1은 반성적 사고와 반성적 사고 간 상관이 모두 가장 낮게 나타났는데, 이는 실험과 관련된 선지식이 부족하거나 새로운 의문의 형성과 지식의 재구성이 미흡하면 다른 반성적 사고와의 상호작용이 미흡할 수 있음을 의미한다. 또한 내용 지식·실험 과정·실험 목표에 대한 이해, 실험을 통한 물리 개념의 이해, 실험에서 경험한 어려움의 인식을 의미하는 문항의 상관이 높은 것은 학생이 자신의 이해를 세심하게 점검하는 행위가 반성적 사고의 제고와 관련이 있음을 시사한다.

반성적 사고(평균)와 개별 실험의 반성적 사고와의 관계를 확인하기 위하여 상관분석을 실시한 결과(Table 7), 반성적 사고 평균과 개별 실험의 반성적 사고 사이에는 .74(실험1)~.91(실험4)의 높은 상관관계가 나타났으며 모두 통계적으로 유의하였다. 실험4 ‘표면장력 측정’, 실험8 ‘탄동진자’, 실험3 ‘막대의 영률 측정’, 실험7 ‘Borda 진자에 의한 중력가속도 측정’ 등이 상관관계가 특히 높게 나타났으며 실험2 ‘길이 측정’, 실험1 ‘실험의 해석’, 실험9 ‘토크의 평형’은 상대적으로 상관관계가 낮았다. 반성적 사고 수준과 개별 실험 사이의 상관관계는 기술적 반성, 실천적 반성, 비판적 반성 모두 높은 상관관계가 나타났으며 통계적으로도 유의하였다.

반성적 사고와 상관이 높은 실험들 사이에는 실험과 관련된 물리 개념이 추상적이지 않고 비교적 구체적이거나, 학생들에게 익숙한 물리 개념을 확인하거나, 명료한 도식으로 표현할 수 있다는 공통점이 있다. 이는 앞에서 보고한 실험별 반성적 사고의 결과(Table 5 참조) 중에서 반성적 사고가 높게 나타난 실험의 경향과 잘 호응한다. 반면 길이 측정, 그래프 해석 등 기능이 강조된 실험과 반성적 사고 사이에는 상대적으로 상관이 낮았는데, 이는 도구의 조작이 강조된 실험에서 반성적 사고가 높았던 기술통계 경향과 어긋난다.

종합하면 비교적 구체적인 물리 개념과 관련된 실험, 익숙한 물리 개념을 확인하는 실험, 물리 개념과 실험 결과를 명료한 도식을 통하여 가시적으로 비교할 수 있는 실험 등은 반성적 사고를 촉진하는 데 효과적일 수 있다. 이는 실험이 학습자가 물리 개념을

Table 7. Correlation between reflective thinking by experiments

	Mean of reflective thinking	Level 1	Level 2	Level 3	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
Mean of reflective thinking	1	.942**	.892**	.848**	.744**	.761**	.875**	.909**	.821**	.835**	.847**	.889**	.816**	.807**
Level 1		1	.811**	.738**	.623**	.697**	.797**	.848**	.820**	.769**	.752**	.872**	.772**	.849**
Level 2			1	.757**	.694**	.749**	.898**	.823**	.704**	.748**	.796**	.778**	.729**	.685**
Level 3				1	.672**	.636**	.751**	.792**	.690**	.824**	.844**	.755**	.720**	.657**
Experiment 1					1	.618**	.810**	.763**	.348	.635**	.660**	.542**	.448*	.522**
Experiment 2						1	.630**	.725**	.496**	.566**	.584**	.630**	.495**	.557**
Experiment 3							1	.860**	.618**	.795**	.755**	.687**	.638**	.679**
Experiment 4								1	.701**	.773**	.759**	.755**	.661**	.649**
Experiment 5									1	.694**	.656**	.789**	.778**	.707**
Experiment 6										1	.764**	.714**	.617**	.563**
Experiment 7											1	.800**	.665**	.632**
Experiment 8												1	.771**	.736**
Experiment 9													1	.742**
Experiment 10														1

* $p < .05$, ** $p < .01$

Level 1: Technical reflective thinking, Level 2: Practical reflective thinking, Level 3: Critical reflective thinking,

회고하고 확인하거나 지식의 틈새를 인식하도록 돕는 과정에서 반성적 사고가 촉진되기 때문인 것으로 보인다. 반면, 실험 방법이 낯설거나 학습자의 수준에 비해 실험 방법이나 도구가 정교한 실험, 오차가 많이 발생하는 실험 등 실험의 기능적·기술적 측면을 지나치게 강조하면 학습자의 반성적 사고는 상대적으로 위축되거나 협소해질 가능성이 있다. 학습자가 실험의 기능적·기술적 측면에 지나치게 몰입하느라 실험과 지식 사이의 상호작용이 방해받을 수 있기 때문이다. 이에 대한 사례로 실험9 ‘토크의 평형’을 들 수 있다. ‘토크의 평형’은 반성적 사고가 낮았고 반성적 사고와 실험별 반성적 사고 간 상관도 낮았는데, 이는 토크가 학생들에게 낯설 뿐 아니라 추상적인 개념임에 따라 개념의 이해와 실험의 수행에 집중하느라 반성적 사고가 방해받았기 때문인 것으로 보인다.

2. 개방형 문항 분석을 통한 반성적 사고의 유형

1) 기술적 반성 및 지식·과정에 대한 단기적·즉각적 반성 형태의 개인평가

연구에 참여한 학생들의 학습자 자신에 대한 개인 평가(문항15)를 반성적 사고 수준에서 살펴보면 기술적 반성이 가장 빈번하게 나타났으며(69.5%) 실천적 반성(24.8%)과 비판적 반성(5.7%)은 상대적으로 미흡하였다(Table 8). 빈도가 가장 높게 나타난 기술적 반성을 유형별로 세분화하면, 지식에 대한 반성(47.3%)과 과정에 대한 반성(48.5%)이 주로 나타났으며 태도/행동에 대한 반성(4.2%)은 드물게 나타났다. 지식에 대한 반성은 단기적·즉각적 반성이, 과정에 대한 반성은 실험의 기능적 측면, 즉 실험의 조작과 수행에 대한 반성이 주로 이루어졌으며 목표 달성 검토(과정에 대한

반성), 학습 내용 및 목표의 간략한 기술(지식에 대한 반성)도 드물게 이루어진 것으로 나타났다.

지식에 대한 반성 중 단기적·즉각적 반성은 실험을 통하여 지식을 새롭게 획득하거나 선지식과 새로운 지식을 연결시키는 유형으로, 일반물리학에서 배운 개념을 이해하는 데 실험이 도움이 되었다는 서술이 이에 해당한다. 특히 기능 습득이 중심인 실험에서는 학습 내용 및 목표를 간략하게 기술하는 유형의 반성적 사고가 자주 나타났다.

실험 내용 같은 경우에는 일반 물리학 수업 시간에 배운 운동 에너지나 운동량 보존 법칙, 질량 중심의 개념을 바탕으로 이뤄졌기 때문에 평소보다 쉽게 잘 이해할 수 있었던 것 같다. [Exp.8-S1]

관성모멘트를 낙하 시간과 낙하 거리라는 변수로 이끌어낼 수 있다는 점이 신기했으며, 이를 통해 열역학 제1법칙과 관련한 줄의 실험이 떠오르기도 했다. [Exp.6-S29]

버니어캘리퍼스와 마이크로미터의 사용법을 익히고 이를 이용하여 물체의 길이와 두께를 잘 측정하였다. [Exp.2-S4]

마이크로미터를 가지고 추의 질량에 따른 휘어진 정도를 측정했다. 처음 실험을 할 때 전구의 빛이 살짝 들어올 때 측정해야하는 것을 모르고 실험결과가 제대로 나오지 않았다. 점차 진행하면서 원리를 깨닫고 올바르게 실험할 수 있었다. [Exp.3-S8]

Table 8. Responses by reflective thinking level for personal activity (Q15)

Level	Technical reflective thinking		Practical reflective thinking		Critical reflective thinking				
Type	452 (69.5%)		161 (24.8%)		37 (5.7%)				
Knowledge	214 (47.3%)	short term and immediate reflection	173	5	questioning the goal	4	rethinking the meaning of learning	28	
		brief description of the content and objectives etc.	37	(3.1%)	review goals in various perspectives etc.	1	(83.8%)	reset the meaning of learning, etc.	3
		etc.	4						
Process	219 (48.5%)	reflection on function	173	37	review learning content and process	24	choosing by comparing and analyzing the suggested alternatives	-	
		review and confirm learning goals etc.	42	(23.0%)	searching for alternatives etc.	13	0	(0%)	-
		etc.	4						5
Attitude/ action	19 (4.2%)	simple interest	8	119	role sharing	54	intending to apply the learning experience	1	
		contribution etc.	6	(73.9%)	cooperation etc.	31	(16.2%)	new curiosity etc.	-
		etc.	5			34			

이는 선택형 문항의 기술통계 결과 중 문항3과 5의 평균이 높게 나타난 결과와 호응한다. 즉 내용 지식·실험과정·실험 결과 등에 대한 단순한 이해가 활발하게 일어났다고 볼 수 있다. 과정에 대한 반성은 기능적 측면, 즉 실험을 원활하고 성공적으로 진행하는 데 필요한 기능을 중심으로 반성이 이루어졌다. 목표 달성 검토는 기능적 측면에 비하여 진술이 구체적이었는데, 이를테면 확률 오차에 대한 유효숫자 보고법을 정확하게 익히거나 금속의 영률이 물질의 고유값임을 확인함으로써 실험의 목표를 재확인하는 형태이다.

실험해야하는 조건을 바꿀 때 장치가 고장 나거나 훼손되지 않도록 관리하였고, 정확한 평형 지점을 찾기 위해 작은 단위로 추의 무게와 거리를 바꿨다. [Exp.5-S26]

수신기와 송신기의 위치, 프리즘의 각도 등을 고려하여 올바르게 실험을 진행하려고 노력하였다. [Exp.10-S30]

확률오차를 구할 때 유효숫자를 맞추는 것이 다소 어려웠으나 꼼꼼이 생각하며 풀어낼 수 있었고 유효숫자 계산에 조금 적용된 것 같았다. 평소 1mm 이하의 길이들은 측정해볼 기회가 적었지만 직접 측정하고 오차율을 계산하며 정확한 측정의 중요성을 알게 되었다. [Exp.2-S29]

아직 버니어캘리퍼를 사용하는 것이 익숙하지 않았던 건지 처음에 두께와 폭을 측정하는데 실수를 계속 했었다. 잘못하고 있는 것이 무엇

인지 알아낸 후부터 제대로 측정할 수 있었다. 또한 막대의 힘을 측정하는데 황동, 철, 구리 순서로 힘의 정도가 큰 것을 확인할 수 있었다. [Exp.3-S2]

즉 일반물리학실험에서 개인 활동에 대한 반성은 실험을 통해 알게 된 지식, 과정과 밀접하고 기능적 측면에 초점이 맞추어져 있으며 즉각적·단기적으로 이루어지는 특성이 나타났다. 한 가지 주목할 것은 오차와 관련된 진술이다. 개인 평가에서도 오차와 관련된 진술이 다수 발견되지만 ‘오차가 발생하였다, 오차가 발생하여 수정하였다, 오차를 통하여 정확한 측정의 중요성을 인식하였다’ 등으로 진술하는 데서 그친다. 즉 오차의 원인을 학생 자신의 언어로 다시 설명하거나 오차를 개선할 수 있는 방법을 제안하는 등 더 나아간 반성적 사고는 미흡하였다.

2) 실천적 반성 및 기술적인 역할분담과 협동 중심의 모둠평가

연구에 참여한 학생들의 모둠 평가(문항16)를 반성적 사고 수준에서 분석하면, 실천적 반성이 가장 많이 나타났으며 기술적 반성은 상대적으로 미흡하였고 비판적 반성은 매우 드물게 나타났다. 빈도가 가장 높게 나타난 실천적 반성을 유형별로 분석하면 태도/행동에 대한 반성이 가장 빈번하게 나타났으며 그 중에서도 역할 분담과 협동에 대한 평가가 가장 빈번하게 이루어졌다(Table 9).

태도/행동에 대한 반성 중 역할분담은 실험 과정에서 모둠원의 실제 역할과 역할의 수행에 대한 평가 및 반성으로, 대체로 역할 분담이 적절히 이루어짐에

Table 9. Responses by reflective thinking level for group activity (Q16)

Level	Technical reflective thinking		Practical reflective thinking		Critical reflective thinking		
Type	175 (32.4%)		360 (66.7%)		5 (0.9%)		
Knowledge	52 (29.7%)	short term and immediate reflection	47	review goals in various perspectives	3	rethinking the meaning of learning	4
		brief description of the content and objectives	5 (1.1%)	questioning the goal	1 (80.0%)	reset the meaning of learning,	-
		etc.	-	etc.	-	etc.	-
Process	117 (66.9%)	reflection on function	94	review learning content and process	13	choosing by comparing and analyzing the suggested alternatives	-
		review and confirm learning goals	18 (5.8%)	searching for alternatives	7 (0%)	-	-
		etc.	5	etc.	1	etc.	5
Attitude/ action	6 (3.4%)	related to experimental devices	3	role sharing	138	intending to apply the learning experience	1
		simple interest	2 (93.1%)	cooperation	120 (20.0%)	new curiosity	-
		etc.	1	etc.	77	etc.	-

따라 실험이 신속하고 원만하게 진행되었다고 진술하고 있다. 이 연구에서는 협력, 역할 분담 등은 선택형 문항에 포함시키지 않았다. 그럼에도 학생들은 실험 전반을 반성적으로 회고 및 검토하면서 실험의 수행이 원활했던 원인으로 협력과 역할 분담에 대하여 반성적으로 사고하고 평가하였다. 다만 역할 분담의 기준에 대한 진술은 나타나지 않았으며 성공적인 역할 분담이 무엇인지에 대해서도 서술하지 않거나 부분적 또는 피상적으로 서술하였다. 협력의 실패, 역할 분담의 실패에 대한 언급이나 반성도 나타나지 않았다.

역할 분담이 확실히 나누어졌고, 각자가 느끼는 어려운 부분에 대해 솔직하게 공유함으로써 수월한 실험이 가능했다. [Exp.5-S6]

우리 조는 버니어캘리퍼스와 줄자로 폭, 두께, 길이를 재는 사람과 마이크로미터를 조절하고 전구에 불이 들어오는 것을 관찰하는 사람과 마이크로미터에서 값을 읽는 사람으로 나누어 실험했다. 각자가 잘할 수 있는 영역에서 신속하게 실험을 진행했다. [Exp.3-S7]

우리 모둠은 실험을 정확하게 잘 진행한 것 같다. 눈금이 매번 측정할 때마다 거의 비슷하게 나타났고 역할 분배도 원활하게 이뤄져 실험 진행과 정리가 잘 이루어졌다. 조원끼리 협력이 잘 된 것 같아 뿌듯했다. [Exp.4-S1]

역할 분담에 대한 반성은 모둠원 간 협동 및 의사소통에 대한 평가로 연결되었으며, 협동과 의사소통이 원활할수록 실험수업 수행의 몰입과 만족감이 향상된 것으로 나타났다.

실험 과정 자체가 어려운 실험은 아니었지만 실험기구가 생소하기도 하고 우리가 직접 측정해야 하는 것들도 있어서 실험 하나하나마다 모두들 힘을 합쳐서 같이했다. 실험을 도와주면서 틈틈이 기록도 다 해준 조원들이 대단하다고 생각한다. [Exp.7-S2]

우리 모둠은 서로 역할을 먼저 분담하여 수월하게 실험을 진행할 수 있었다. 역할을 서로 분담한 뒤 서로 질문하면서 각자의 역할을 해결해 나갔고, 수업시간 이후에도 서로 모르는 개념들을 공유하고 같이 해결했으며 즐거운 분위기 속에서 실험을 할 수 있었다. [Exp.2-S10]

또한 실험 과정에서 발생한 시행착오에 대한 진술을 일부 발견할 수 있었는데 시행착오를 극복하기 위하여 적절한 역할 분담과 적극적 역할 수행, 협동, 의사소통이 중요함을 의식하게 되었다는 진술이 대표적이다. 적절한 역할분담과 소통이 실험 원리와 물리 개념의 이해에 도움이 되었다는 진술도 발견할 수 있었다.

모둠원들 전부가 한참을 헤매고 또 제대로 하기 위해 여러 번 시도하였다. 그 과정에서 좌절도 낙담도 하였지만 그만큼 서로 의지하면서 발전하였다. 또한 모둠활동이라 각자의 역할이 중요하다는 것도 깨달았다. [Exp.3-S25]

오늘 우리 모둠은 장치 세팅에 어려움을 겪었다. 하지만 처음에 약간의 시행착오를 겪은 후에는 역할 분담을 해 아주 빠른 속도로 실험을 진행했다. 서로 이해하는 과정에서 원리를 설명해 주었던 것이 도움이 된 것 같다. [Exp.5-S8].

즉 일반물리학실험에서 모둠 활동에 대한 반성은 실험 과정에서 이루어지는 역할 분담, 문제해결을 위한 의사소통 및 협동과 밀접하며 이에 따라 실천적 반성(수준), 태도/행동에 대한 반성(유형)을 가장 많이 발견할 수 있었다. 그러나 역할 분담의 기준에 대한 진술, 성공적인 역할 분담에 대한 규정, 협력 및 역할 분담의 실패에 대한 언급과 이에 대한 반성, 의사소통의 어려움과 장애에 대한 진술이 나타나지 않고 시행착오를 극복하는 과정이 구체적으로 드러나지 않아 대체로 피상적이었다.

3) 실천적·비판적 반성과 학습내용 및 과정 검토를 통한 학습 의미 재고의 개선점 제안

연구에 참여한 학생들은 모든 반성적 사고 수준에서 실험수업에 대한 개선점(문항17)을 제안하였다(Table 10). 기술적 반성에서의 개선점 제안을 유형에 따라 세분하여 분석하면, 실험 수행과 관련된 기능적 측면(과정에 대한 반성)과 학습 내용과 목표의 간략 기술(지식에 대한 반성)이 빈도가 높았다. 실천적 반성에서는 학습 내용/과정 검토, 대안 모색(과정에 대한 반성), 다양한 관점에서의 목표 검토(지식에 대한 반성)의 빈도가 높게 나타났으며 비판적 반성에서는 학습 의미 재고(지식에 대한 반성)와 학습 경험 반영을 위한 노력(태도/행동) 유형이 빈도가 높았다.

기술적 반성에서는 기능적 측면인 오차의 원인을 규명하려는 시도를 다수 발견할 수 있었으며, 이때

Table 10. Responses by reflective thinking level to improvements (Q17)

Level Type	Technical reflective thinking		Practical reflective thinking		Critical reflective thinking			
	360 (35.1%)		443 (43.1%)		224 (21.8%)			
Knowledge 94 (26.1%)	brief description of the content and objectives	68	115	review goals in various perspectives	106	132	rethinking the meaning of learning	111
	short term and immediate reflection	26	(26.0%)	questioning the goal	9	(58.9%)	reset the meaning of learning,	21
	etc.	-		etc.	-		etc.	-
Process 256 (71.1%)	reflection on function	239	306	review learning content and process	202	7	choosing by comparing and analyzing the suggested alternatives	7
	review and confirm learning goals	12	(69.0%)	searching for alternatives	87	(3.1%)	etc.	-
	etc.	5		etc.	17		etc.	-
Attitude/ action 10 (2.8%)	simple interest	6	22	trial and error	7	85	intending to apply the learning experience	71
	related to experimental devices	3	(5.0%)	lack of communication	5	(38.0%)	criticism of class	7
	etc.	1		etc.	10		etc.	7

학생들은 실험 기구 작동법, 실험값 확인을 포함하여 실험 과정 전반을 평가하려 노력하는 경향이 나타났다. 또한 실험원리와 실험에서 얻은 경험을 결합하여 오차의 원인을 규명하고자 하였다. 오차에 대한 반성적 사고는 개인 평가와 개선점 제안 문항에서 공통적으로 나타나지만 그 깊이와 폭이 다르다. 개인 활동에 대한 반성에서 나타난 오차 관련 진술은 오차의 발견, 수정, 의미에 대한 인정 또는 확인에 가까웠으나, 개선점 제안에서의 오차에 대한 진술은 보다 구체적이다. 뿐만 아니라 오차의 원인을 학생 스스로 재검토하거나 오차를 개선할 수 있는 방법을 제안하는 등 더 나아가 반성적 사고를 발견할 수 있었다.

오차가 발생한 이유에 대해서 생각해 보았는데 가장 큰 원인은 전구가 불이 켜지는 순간의 눈금을 재는 일이었다. 매번 전구에 불이 들어오려는 순간을 기록하고자 했지만 항상 똑같은 순간에 재기가 어려웠다. 실험을 1회 할 때마다 조금씩 전구에 들어온 빛의 세기가 달랐고 이러한 약간의 차이가 실험값의 큰 차이를 불러일으킨 것 같다. [Exp.3-S1]

또 한 가지 개선점이 있다면 떨어지는 추의 바닥이 책상 바닥과 평형하도록 잘 맞춰주면 더 오차가 줄어들었을 것 같다. 위의 실험을 다시 한다면 100g보다는 200g 사용이 적합하다. 속이 빈 실린더의 관성모멘트를 측정하는 과정에서 100g추를 이용하면 갑자기 추가 낙하하다 멈추게 되는 현상이 일어날 수 있기 때문이다.

[Exp.6-S14]

실이 수평이 되지 않을 경우 평면에서 그래프로 힘을 다시 분석할 때 오차가 발생한다. 두 번째 원인은 질량을 완벽하게 맞추지 못한 점이다. 생각보다 작은 질량에도 링이 잘 움직였는데, 장치가 평형을 이루었는지 확인하려면 링을 한 쪽으로 살짝 당겼다 놓아도 중앙으로 잘 되돌아가야한다. 그런데 실의 마찰이 강해서 인지 한 쪽으로 당겼다 놓으면 잘 되돌아가지 않고 조금씩 원래보다 벗어났다. 최대한 중앙으로 다시 돌아가는 때의 질량을 확인했는데 이 과정에서도 오차가 있었을 것이다.

[Exp.5-S22]

실천적 반성 중 대안 모색은 기술적 반성의 오차 및 오차 원인 규명과 함께 나타났으며, 실험기구 사용 미숙을 포함하여 기능에 의해 발생한 오차를 감소하거나 해결하기 위한 대안이 대부분이었다. 실험장치 불비를 오차의 원인으로 진단하고 실험기구의 개선을 대안으로 제시한 사례도 있었다.

추를 떨어뜨릴 때 사용하는 두 개의 도르레는 각각 질량이 존재하며, 줄과 도르레 사이의 마찰도 존재한다. 또한 초시계로 추가 떨어지는 시간을 잰기 때문에 이 부분에서도 오차가 발생했을 것이다. 아주 가벼운 도르레를 사용하거나 도르레의 질량, 마찰력을 고려하여 실험값을 고찰하는 방법, 여러 번 측정하여 평균값을 사용하는 방법 등이 이번 실험의 오차를 줄일 수 있을 것이라고 생각한다. [Exp.6-S12]

학생들의 안전을 위해 장갑과 눈을 보호하기 위한 실험용 안경을 준비하면 좋을 것 같다. 그리고 발사체의 끝에서 탄환이 떨어진 거리를 정확히 측정하기 어려웠다. 다음에는 포스트잇 같은 것들로 발사체의 끝을 표시하면 더 편할 것 같다. [Exp.8-S15]

회전대가 휘어져있어 오차가 발생하기 쉬웠고, 고정 또한 되지 않아 잘 흔들렸다. 회전대가 판판하고 고정이 잘 되었다면 오차가 줄어들었을 것이다. 또한 프리즘도 잘 고정이 되지 않아 흔들렸는데, 이런 점들이 개선된다면 더 정확한 실험이 될 것이다. [Exp.10-S23]

또한 학생들은 실천적 반성의 실험과 실험 과정에서 학습 내용을 검토하고 새로운 지식을 이해하면서(실천적 반성) 학습의 의미를 재고하였다(비판적 반성). 실험 결과를 해석하는 과정에서 실험 결과에 대한 그래프 작성 경험이 부재했음을 인식 및 반성한 사례, 연습하면서 이해한 개념을 실험을 통해 확인 및 심화한 사례 등이 주목할 만하다. 실험에서는 개념을 이해하지 못했지만 실험이 끝난 후 실험 결과를 정리하고 이론을 다시 학습하면서 해당 개념을 완전히 이해할 수 있었다는 진술도 발견할 수 있었다.

보고서를 쓰며 스스로에게 조금 부끄러웠던 점은 오랜 기간 과학을 공부해왔지만 그래프를 그리고 해석하거나 이해하는 데 익숙하지 않았다는 것이다. 이론적인 공부는 많이 했지만 실제로 실험을 하고 그래프를 그리는 활동은 많지 않았던 것 같다. [Exp.1-S1]

이번 실험을 통해 관성 모멘트의 개념을 새롭게 알게 되었다. 연습을 하면서 관성 모멘트가 병진 운동에서의 질량과 비슷한 역할 같다는 생각을 했는데 실제로 회전운동에서의 질량이라는 점을 알게 되어 한편으로는 신기하고 나의 추측이 적절했다는 생각에 만족스러웠다. [Exp.6-S22]

실험을 할 때 회전과 토크의 개념에 대해 잘 알지 못해서 시간이 오래 걸리고 실험하는 데 어려움을 겪었지만 이론에 대해 공부하고 실험 결과를 정리하면서 토크의 개념과 평형에 대해 이해할 수 있었다. [Exp.9-S4]

비판적 반성에서는 해당 학습 경험을 이후에 반영하려는 의도가 가장 빈번하게 나타났다. 일부 학생은 해당 실험보다 정확한 실험의 존재 여부, 과학 개념 또는 원리가 실생활에서 적용되는 사례 등에 대하여 새롭게 의문을 가지는 경향이 나타났다. 특히 예비 교사로서 미래를 준비하려는 의지와 반성적 사고가 강하게 나타났다.

내가 교사의 입장에서 학생들을 지도할 때는 나의 실험 경험과 아쉬운 점을 알려주고 주의 하라고 해주고 싶다. 그렇게 된다면 학생들이 보다 더 정확한 측정값을 얻을 수 있을 것 같다. 이번 실험을 계기로 실험에 있어서 영향을 줄 수 있는 요인들을 미리 생각하여서 실험을 조심스럽고 더 세심하게 해야 된다는 것을 몸소 깨달을 수 있었다. 다음 실험에서는 오차가 더 적어져 보다 더 정확한 실험을 해보고 싶다. 더욱 더 노력해야겠다. [Exp.3-17]

지구의 중력가속도를 구하는 방법은 이 실험에서 사용된 방법 외에도 여러 가지가 있는 것으로 알고 있는데, 다른 실험들과 비교하여 가장 정확하게 지구의 중력가속도를 측정할 수 있는 실험이 무엇인지 알고 싶다. [Exp.7-S22]

영률이라는 단어를 알게 되었다. 이 영률이 어떻게 실생활에 활용되는지에 대해 알아보아야겠다. [Exp.3-S16]

개인 평가, 모둠 평가에서와 같이 개선점 제안에서도 학생들의 반성적 사고는 기능적 측면에 초점이 맞추어져 있었으며 대체로 피상적이었다. 그러나 실험을 통하여 학습 내용과 실험 과정을 반복적·회귀적으로 검토하면서 개인과 모둠의 실천을 반성하였고 비판적으로 학습의 의미를 재고하려는 노력이 엿보였다.

IV. 결론 및 제언

이 연구는 일반물리학실험을 수강하는 과학교육과 1학년 32명의 반성적 사고의 특징을 확인하기 위하여 수행되었다. 국내외 선행연구를 검토하여 일반물리학 실험에 적합한 반성적 사고 문항(선택형 문항, 개방형 문항)을 개발하고, 이를 바탕으로 학생들의 반성적 사고의 수준과 유형을 확인하였다. 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

첫째, 일반물리학실험에 나타난 대학생의 반성적 사고 수준과 그 특징을 종합하면 학생들은 실험과 관련된 개념, 지식, 내용, 의미 등은 비교적 능동적으로 받아들이며 이 과정에서 자신의 이해와 행위를 반성적으로 사고하고 점검하지만 당일 실험을 통해 얻은 새로운 지식 및 경험을 이전의 지식 및 경험과 연결하거나 더 새로운 앎이나 질문을 형성하는 등 보다 적극적이고 객관적인 형태의 반성적 사고는 취약하였다. 또한 학습자 자신에 대한 점검에 반성적 사고가 집중되고, 지식과 실험의 재구성을 포함하여 자신 이외의 대상에 대한 관심과 반성적 사고는 부족하였다. 이는 가장 낮은 평균을 나타낸 문항인 ‘오늘 실험을 통해 새롭게 발생한 의문이 있는가?’와 다른 문항의 평균을 비교할 때 더욱 분명하다. 또한 학생들은 선지식이나 관련 지식을 보유한 실험, 실험의 수행이 비교적 단순하거나 명료한 실험에서는 반성적 사고가 비교적 활발하지만 실험 과정이 복잡하거나 추상적 개념을 다루는 실험에서는 반성적 사고가 상대적으로 덜 활발하였다. 이는 학습자가 내용 지식과 절차적 지식 중에서 한 가지는 안정적이거나 친숙해야 실험을 원활하게 수행하면서 동시에 반성적으로 사고할 수 있는 여유를 확보할 수 있기 때문이라고 해석할 수 있다.

실험별로는 실험과 관련된 물리 개념이 비교적 구체적이어서 추상적이지 않거나, 학생들에게 익숙한 물리 개념을 실험을 통해 확인하거나, 실험 결과를 통해 물리 개념을 명시적으로 확인할 수 있는 실험이 반성적 사고와 상관이 높게 나타났다. 반면 기능이 지나치게 강조된 실험, 실험 방법이 복잡하여 오차가 많이 발생하는 실험은 반성적 사고와 상관이 낮게 나타났다. 기능을 강조한 실험은 반성적 사고는 높게 나타났으나 상관은 낮았는데, 이는 실험이 과도하게 복잡하거나 정교하면 학습자가 실험의 조작적 수행에 지나치게 몰입하여 반성적 사고가 위축될 수 있음을 의미한다. 또한 내용 지식과 절차적 지식이 모두 낮설 때는 개념의 이해와 실험의 수행에 동시에 집중하느라 학습자의 반성적 사고가 방해받을 수 있음을 시사한다.

둘째, 일반물리학실험에 나타난 대학생의 반성적 사고 유형과 그 특성을 종합하면, 학생 개인 활동에서는 오차의 발견, 수정, 의미에 대한 인정 또는 확인에 해당하는 낮은 수준의 반성적 사고가 주로 나타난 반면, 개선점 제안에서는 보다 구체적이고 오차의 원인을 학생 스스로 재검토하거나 오차를 개선할 수 있는 방법을 제안하는 등 더 높은 수준의 반성적 사고를 발견할 수 있었다. 따라서 실험이 학습 내용을 확인하는 수준을 넘어 실험의 의미를 파악하고 학습 경험을 적용할 수 있는 비판적 사고까지 이어지기 위해서는 실험의 문제점을 파악하고 대안을 모색하여 개선점을

제안하는 기회를 제공할 필요가 있다.

위 결론을 바탕으로 다음과 같이 제안하고자 한다.

첫째, 실험 교과목에서 교수자가 학습자의 반성적 사고를 제고하기 위해서는 학습자의 선지식 파악, 실험 목표의 명시적 지도, 실험과 관련된 내용 지식과 절차적 지식의 균형 조절 등 세밀한 수업 전략을 세워야 한다. 이는 교수자가 실험을 통하여 학생들의 반성적 사고를 촉진하기 위해서는 학생 스스로 물리 개념을 회고하고 지식의 빈틈을 확인할 수 있도록 선지식을 효율적으로 제공하고, 학습자가 새로운 질문과 지식을 형성할 수 있도록 독려하고 단계적으로 접근하는 등 세심한 지도가 필요함을 의미한다. 또한 반성적 사고가 일반물리학실험에서 유의미한 긍정적 영향을 이끌어내기 위해서는 물리학 주요 개념, 원리, 실험의 수준과 학생들의 이해, 발달이 유기적으로 연계되어야 한다. 즉 반성적 사고가 단순하고 낮은 단계에서 복잡하고 높은 단계로 이행함을 고려하여 실험 및 실험과 연관된 이론도 순차적으로 계획, 수행될 필요가 있다.

둘째, 학생들의 반성적 사고를 향상시키기 위한 필요 조건으로 반성적 사고에 대한 이해를 증진시켜야 한다. 이 연구에 학생들은 선택형 문항을 통하여 실천적 반성, 기술적 반성, 비판적 반성 순서로 반성적으로 사고한다고 자기 보고하였으나, 개방형 문항에 대한 응답을 분석한 과학교육 전문가들은 기술적 반성, 실천적 반성, 비판적 반성 순으로 반성적 사고를 발견하였다. 즉 반성적 사고의 수준별 순위와 실행 횟수/발견 횟수에서 학생들 자신의 의견과 전문가들의 분석 사이에 차이가 발생하였다. 반성적 사고가 여러 연구자에 의하여 다양하게 해석되어 온 바와 같이, 반성적 사고는 반성적으로 사고하는 개인의 해석에 의하여 마땅히 차이가 발생할 수 있으나, 반성적 사고에 대한 개인의 이해가 미흡하다면 반성적 사고를 적극적으로 수행하고 적절하게 평가하기 어려울 것이다. 다시 말하여 학생들의 반성적 사고를 제고하기 위해서는 학생들에게 반성적 사고에 대한 이해를 증진시키기 위한 선행 활동과 배려가 필요하다.

셋째, 학생들의 반성적 사고를 향상시키는 데 핵심적 역할을 수행할 쉼돌(keystone) 요소 혹은 활동을 파악하고 이를 바탕으로 교수학습 방법을 개발 및 적용해야 한다. 개방형 문항에 대한 학생 응답에 의하면 실험 장치나 방법에 대한 기술적 반성이 풍부하면, 대안을 모색하는 실천적 반성이 일어나고, 실험 전반을 검토 및 평가하며 학습의 의미를 제고하는 비판적 반성이 뒤따른다. 또한 실험 전반부에 어려움이 발생했으나 모둠원이 효과적으로 의사소통하고 협동하면, 실험수업 수행의 몰입과 만족감이 향상되면서 이 경험을 다음 실험수업에 적용하고자 하는 의지가 나타난다.

따라서 교수자는 학생들이 상위 수준의 반성적 사고, 또는 구체적·심층적 형태로 발전할 수 있도록 돕는 활동과 요소를 파악하고 이를 학습에 적용할 필요가 있다. 뼈기돌 요소와 활동은 실험수업과 관련된 선지식, 자신·동료·교수자에 의하여 적절하게 극복 가능한 오류, 시행착오의 경험, 논리적이면서도 예의 있는 의사소통 기술, 교수자의 적극적 격려 등이다.

넷째, 학생들에게 반성적으로 사고할 수 있는 시간과 기회를 충분히 제공할 필요가 있다. 수업 시간의 제한 등 여러 이유로 인하여, 학생들에게 반성적 사고를 요구하면서도 실제로는 학생들이 반성적으로 사고할 시간을 제공하지 않는다면 반성적 사고는 가능하지 않다. 즉 학생들이 반성적으로 사고할 수 있는 시간과 기회를 제공하기 위하여 교과목의 특성과 현실에 따라 여러 교수학습 방법을 적용, 시도할 수 있을 것이다. 이를테면 모둠 활동이나 토론을 자주 활용하는 교과목에서는 개인 및 모둠 활동 평가의 준거로 반성적 사고를 일부 활용할 수 있으며, 일반물리학실험 등 실험 교과목이나 학습량이 많은 교과목에서는 플립 러닝(Flipped Learning)을 활용하여 수업 전에 핵심 학습 내용을 제공하고 본 수업에서는 학생 중심 활동을 수행함으로써 반성적 사고를 촉진할 수 있을 것이다. 반성적 사고가 저절로 발달되지 않음을 고려할 때, 교수자는 학습자의 반성적 사고 향상을 위하여 교수 학습 방법과 전략에서 주의를 기울여야 한다.

국 문 요 약

이 연구는 일반물리학실험 수업 중 일어나는 대학생의 반성적 사고 특징을 분석하는 데 목적이 있다. 연구 참여자는 32명의 대학생들로 10개의 일반물리학 실험 보고서와 함께 반성적 사고와 관련된 검사 문항을 서술하여 제출하였다. 연구의 결과는 다음과 같다. 첫째, 선택형 문항을 분석한 결과 학생들은 실험에서 대체로 반성적으로 사고한다고 스스로를 평가하였으며, 그 수준은 실천적 반성, 기술적 반성, 비판적 반성 순이었다. 또한 학생들은 실험과 관련된 지식 등은 능동적으로 받아들이지만 당일 실험을 통해 얻은 새로운 지식 및 경험을 이전의 것과 연결하거나 새로운 질문을 형성하는 데는 소극적이었다. 둘째, 학생들의 반성적 사고는 실험 목표의 이해와 선지식과 관련된 실험, 쉽게 수용할 수 있는 과정의 실험일수록 상관관계가 높았다. 셋째, 개방형 문항의 분석을 통하여 개인평가에서는 기술적 반성이, 모둠평가에서는 실천적 반성이 주로 이루어졌으며, 개선점 제안에서는 실천적 반성,

기술적 반성, 비판적 반성의 순으로 동시에 이루어짐을 확인할 수 있었다. 학생들의 반성적 사고는 기능적 측면이 주를 이루며 피상적이었던 반면, 실험을 통하여 학습 내용과 실험 과정을 검토하면서 개인과 모둠의 실천을 반성하여 학습의 의미를 재고하는 특징이 나타났다.

주제어: 반성적 사고, 기술적 반성, 실천적 반성, 비판적 반성, 일반물리학실험

References

- Dewey, J. (1933). *How we think: A restatement of the relation of reflective thinking to the educative process* (2nd ed.). Boston, MA: D. C. Heath.
- Garcia, M. (1996). *The relationship between reflective thinking and level of teacher development as measured in teachers' stimulated recall interviews* (Doctoral dissertation). University of California, Berkeley, CA.
- Johnsson, E., & Svensson, K. (2005). Theory in social work—some reflections on understanding and explaining interventions. *European Journal of Social Work, 8*(4), 419-433.
- Kim, H. (2016). The structural relationship among learning transfer, participation motivation, social capital, and reflective thinking: Based on teachers' continuing professional education for elementary school teachers in the Seoul Metropolitan Office of Education. *The Korean Journal of Human Resource Development Quarterly, 18*(4), 81-117.
- Lee, Y., & Choi, H. (2016). A study on application of reflective thinking-based laboratory report in general physics experiment. *Journal of Science Education, 40*(3), 203-218.
- Lee, Y., & Im, S. (2011). An analysis of pre-service science teachers' reflective thinking about scientific experiment in experimental journal writings. *Journal of the Korean Association for Science*

- Education*, 31(2), 198-209.
- Nam, J., Lee, D., & Park, S. (2013). The impact of reading framework on college students' reflective thinking in argumentation-based general chemistry laboratory. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 57(6), 813-820.
- Park, M., Lee, J., Lee, G., & Song, J. (2007). Conceptual definition and types of reflective thinking on science teaching: Focus on the pre-service science teachers. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 27(1), 70-83.
- Pultorak, E. G. (1996). Following the developmental process of reflection in novice teachers: Three years of investigation. *Journal of Teacher Education*, 47(4), 22-30.
- Roessger, M. K. (2014). The effects of reflective activities on skill adaptation in a work-related instrumental learning setting. *Adult Education Quarterly*, 64(4), 323-344.
- Schon, D. A. (1983). *The reflective practitioner* (1st ed.). New York, NY: Basic Books.
- Van Manen, M. (1977). Linking ways of knowing with ways of being practical. *Curriculum Inquiry*, 6, 205-208.
- Zeichner, K. M., & Liston, D. P. (1985). Varieties of discourse in supervisory conferences. *Teaching and Teacher Education*, 1(2), 155-174.

저 자 정 보

- 김 희 정 (이화여자대학교 강사)
- 최 규 리 (한국창의교육연구원 대표)
- 오 윤 정 (성균관대학교
대학혁신과공유센터 연구교수)