



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

교육학석사학위논문

과학자 논문 기반 학습이 학생들의
과학 탐구 활동에 미치는 영향
:온도에 따른 머리카락 손상 탐구 실험
Effect of Scientific Paper-Based Teaching to
Scientific Inquiry of The Science of Students
: Experiment of Damage of hair according
to the temperature

2012년 8월

서울대학교 대학원
과학교육과 물리전공
강 선 영

국 문 초 록

이 연구에서는 학생들과 함께 다양한 과학자 논문을 공부하고 논문을 바탕으로 탐구실험을 진행하였고, 이러한 과정 속에서 학생들을 관찰하여 과학자 논문을 바탕으로 한 학습이 학생들에게 어떤 영향을 주는지 알아보고자 하였다.

과학 교육에서 과학적 탐구를 강조함에도 불구하고 탐구 활동 대부분은 탐구 학습을 강조할 뿐 실험문제, 실험방법과 절차를 제시하여 매뉴얼을 따라가기만 하면 ‘예측되는’ 실험 결과를 얻도록 한다. 실제 과학자들은 실험 시작 전에 연구문제를 설정하고 구성하는데 많은 시간을 보내는데 학생들은 스스로 연구문제를 설정하는 경우가 드물 뿐 아니라 실제 과학자의 활동을 경험할 기회가 많지 않다. 과학자의 연구 논문을 통해 학생들은 실제 과학자의 활동을 따라갈 수 있는데, 과학자 논문에는 과학자들의 사고과정과 연구과정, 연구방법들이 완결된 형태로 드러나 있다. 그리고 과학자 논문은 연구의 발생 배경과 연구 방법에 대한 학문적 배경 지식을 제공할 뿐 아니라 과학사회의 언어와 구조에 익숙해지도록 돕는다. 이점에 착안하여 학생들에게 여러 편의 논문을 제공하고 함께 공부하면서 과학자의 사고 과정을 따라가며 실제 과학자의 탐구활동을 이해하도록 하였고, 더 나아가 공부한 논문들을 바탕으로 학생들 스스로 탐구 실험 주제를 정하고 소논문의 형태로 정리하는 것 까지 하도록 하였다. 프로그램 진행은 4월 오리엔테이션을 시작으로 1월까지 10개월간 총 31회 학생들과 모임을 가졌고, 과학자 논문은 머리카락과 관련된 다양한 주제의 실험 논문이 제공되었다. 과학자 논문을 공부하기 전, 학생들은 탐구실험을 하기 위한 실험 가설과 실험 설계안을 작성했고 과학자 논문을 공부한 후 동일하게 탐구 실험 가설과 실험 설계안을 작성하여 이는 분석 자료로 사용되었다. 또한 토론과 대화 내용은 녹음되어 학생들이 작성한 활동지와 함께 분석 자료로서 전사되었다. 이러한 자료들로 관찰하고 분석한 결과, 학생들이 과학자 논문을 공부한 것에 의해 영향을 받은 부분은 다음과 같이 크게 세 가지로 분류될 수 있었다.

첫째, 과학자 논문이 과학적 탐구 각 단계에 미치는 영향

과학자 논문을 공부하기 전 학생들이 세웠던 가설들은 구체적이지 않고 연구의 가치 적으며, 논리적 근거 부족하였다. 그리고 탐구 실험의 단계 중 가설 설정하는 것을 가장 어려워 한다는 기존의 많은 연구와 부합하게 학생들은 새로운 가설들을 다양하게 제안하는 것을 어려워하였다. 그러나 과학자 논문을 공부한 후 학생들은 가설을 설정할 때 과학자들이 사용하는 전문적인 용어를 사용하며 구체적으로 정의해서 표현하였고, 단순 나열을 넘어서서 조작 변인과 종속 변인의 유기적 관계 고려하여 변인들 방향성 있게 제시하였다. 과학자 논문을 공부한 후 가설 설정의 근거를 제시할 때는 외부 출처를 찾아보려는 적극성 보이면서 자신들이 참고하고 있는 자료가 신뢰할 만한 출처인지를 고민했고 타당한 근거에 기반을 두려는 모습을 보였다.

이전에 학생들은 한두 줄로 간략하면서도 애매모호하게 실험을 설계하였는데 과학자 논문을 공부한 후 학생들은 막연한 설계가 아니라 숫자를 사용하며 구체적으로 설계를 했다. 그리고 사용할 장비를 언급하며 어떻게 조작할 지를 표현하였고 조작해야 할 변수가 드러나도록 하였다. 또한 같은 방법으로 실험을 했을 때 비슷한 결과 값이 나오도록 재현성에 대해 고려하며 조작적인 형태로 실험을 설계하려 했다.

실험수행 시 학생들은 자신이 보고자 하는 조작변인과 그 외에 제한해야 할 통제변인을 구분하고 어떻게 해야 주요 영향 이외의 다른 것들을 통제할지 고민하며 철저히 제한하려 했다. 그리고 여러 개 머리카락의 다양한 곳을 측정해서 실험 결과의 신뢰도를 높이며 실험 결과를 일반화시키려 하였다.

결과를 분석할 때는 논문들 결과를 다시 보며 논문들에서는 어떻게 이미지를 잘 표현했는지 확인했고 참고한 항목들을 무비판적으로 수용하여 따라하는 것이 아니라 자신들의 실험 주제에 맞게, 강조하고자 하는 결과 부분이 잘 드러나도록 제시했다.

둘째, 과학자 논문이 과학적 지식에 대한 인식에 미치는 영향
학생들은 연구를 위한 기본 배경지식으로 논문을 활용하는 것이 좀 더
깊이 있고 다양한 정보를 얻을 수 있을 뿐 아니라 신뢰할 수 있다는 것
을 배웠다. 그리고 학생들은 과학자 논문을 통해 선행 연구에 대해 인식
하며 논문들 간의 연관성에 대해 생각했고, 각각의 논문들은 개별적으로
존재하는 것이 아니라 서로 영향을 주고받으며 실험을 발전시킨다는 것
을 알았다. 또한 학생들은 여러 논문을 보면서 과학 지식이 불면의 진리
가 아니라 유동적임을 인식하는 모습을 보였고, 논문을 검색하고 참고할
때 연구의 흐름을 살피며 최신 과학지식을 참고하려 했다.

셋째, 과학자 논문이 과학자와 과학 사회에 대한 인식에 미치는 영향
처음에는 논문의 형식과 논문 속에 나오는 영어로 된 과학 전문 용어를
낮설어 했지만 논문 공부를 지속할수록 과학사회의 언어와 구조에 익숙
해지는 모습을 보였다. 그리고 실험을 수행하면서 학생들은 예상과 다른
결과가 나오는 문제 상황에 부딪혀서 다시 실험을 설계 했었는데 이때
선행 연구의 결과와 자신들이 실험한 결과를 비교하며 개선하려했고, 실
제 과학자들이 문제를 풀어내기 위해 어떤 방식으로 노력하는지 인식하
는 모습을 보였다.

이처럼 학생들은 연구의 기본 배경 지식부터 결론 도출에 이르기까지
탐구의 모든 일련 과정을 논문이라는 완전한 형태로 익힐 수 있었고, 논
문을 통하여 과학자의 소통 공간에 대해 인식하며 과학자와 과학 사회가
어떠한지를 간접적으로 알 수 있었다. 학생들 스스로 과학자와 같이 실
험을 수행하고 실험에 접근하려 하는 모습을 보면서 과학자 논문이 학생
들이 탐구 활동을 수행하고 과학 사회를 인식하는데 영향을 미침을 확인
할 수 있었다.

주요어 : 과학자 논문, 과학적 탐구, 머리카락 탐구실험

학 번 : 2010-21514

목 차

국문 초록	i
목차	iv
표 목차	vi
그림 목차	vii
I. 서론	1
1.1 연구의 필요성.....	1
1.2 연구 문제	5
II. 이론적 배경	6
2.1 과학적 탐구	6
2.1.1 과학적 탐구의 정의	6
2.1.2 과학 탐구의 목적	7
2.1.3 과학 탐구의 기본 요소	10
2.1.4 과학적 탐구 과정	11
2.2 과학자의 연구 활동	13
III. 연구방법	16
3.1 사사 프로그램 수행	16
3.1.1 연구 대상 및 일정	17
3.1.2 자료 수집 및 분석.....	18
3.2 연구 분야 및 과학자 논문 선정.....	20
IV. 연구결과	23
4.1 프로그램 적용 전 분석	23

4.2 프로그램 적용 및 실험 수행	25
4.2.1 과학자 논문 공부.....	25
4.2.2 오리엔테이션 및 실험 장비 다루기.....	28
4.2.3 실험 주제 선정.....	29
4.2.4 실험 설계	42
4.2.5 실험 수행	47
4.2.6 실험 결과 및 분석	55
4.2.7 결론	64
4.2.8 토의	65
V. 결론 및 제언	71
5.1 결론	71
5.1.1 과학자 논문이 과학적 탐구 각 단계에 미치는 영향.....	71
5.1.2 과학자 논문이 과학적 지식에 대한 인식에 미치는 영향	75
5.1.3 과학자 논문이 과학자와 과학 사회에 대한 인식에 미치는 영향	76
5.2 연구의 한계점	78
5.3 제언	79
참고문헌	83
부록	89
【부록 1】 학생들이 작성한 소논문	89
【부록 2】 학생용 설문지.....	99
Abstract.....	104

표 목 차

[표 II-1] 과학적 탐구에 대한 다양한 정의	7
[표 II-2] 과학 탐구를 수행하기 위한 기본 능력	9
[표 II-3] 과학 탐구의 이해	10
[표 II-4] 과학 탐구의 기본 요소	11
[표 III-1] 사사반 활동 진행 일정	17
[표 III-2] 자료 수집 및 분석	18
[표 III-3] 배경 지식을 위해 학생들에게 제공한 과학자 논문 목록	21
[표 IV-1] 과학자 논문 활동지 내용	26
[표 IV-2] 프로그램 적용 후 설정한 실험 가설	31
[표 IV-3] 프로그램 적용 전과 후의 실험 가설 변인 설정의 변화	32
[표 IV-4] 프로그램 적용 전과 후의 실험 가설 근거 출처의 변화	35
[표 IV-5] 프로그램 적용 전과 후의 실험 설계 변화	36
[표 IV-6] 실험 가설과 설계를 정교화하기 위하여 참고한 머리카락과 온도 관련된 논문 목록과 참고 내용	39
[표 IV-7] 추가 검색한 논문들을 참고하여 구체화 한 실험 가설	42
[표 IV-8] 실험 설계 시 고려할 사항과 실험 설계 구체화하기	46
[표 IV-9] 실험 설계 수정	51
[표 V-1] 사사반 활동을 하면서 느낀 점	80

그림 목 차

[그림 II-1] 허명 (1984)의 전통적인 탐구 과정	12
[그림 II-2] 허명 (1984)의 탐구 과정 모형	12
[그림 II-3] White & Frederiksen (1998)의 탐구 과정 모형	13
[그림 III-1] 연구 절차 및 방법	16
[그림 IV-1] 과학자 논문 공부 후 가설 설정 진행 과정	30
[그림 IV-2] 상온에서와 100℃에서 5분간 가열했을 시 큐티클 변화···	50
[그림 IV-3] 20℃와 95℃ 온도에서 SEM을 통한 큐티클 표면 관찰···	53
[그림 IV-4] 상온에서와 100℃에서 5분간 가열했을 시 큐티클 변화 (2μm에서 확인)·····	53
[그림 IV-5] 24, 40, 70, 100℃에서 5분간 가열했을 시 큐티클의 선 프로파일 변화	59
[그림 IV-6] 24, 40, 70, 100℃에서 5분간 가열했을 시 큐티클의 선 프로파일 변화 (200nm에서 확인)·····	60
[그림 IV-7] 80℃에서 시간에 따른 큐티클의 평균 거칠기(Ra) 변화···	61
[그림 IV-8] 80℃에서 시간에 따른 큐티클의 최대 단차값(Rpv)변화···	62

I. 서론

1.1 연구의 필요성

현대 사회는 무엇보다도 창의적인 지식 생산이 강조되는 지식정보화 사회이다. 이러한 사회를 주도하는 핵심요체는 과학기술이며, 과학기술 발전의 원동력은 창의성이기에 두뇌경쟁 사회에서 창의적 탐구력과 문제 해결력을 지닌 인재를 양성하며 그들로 하여금 과학적 탐구와 과학의 본성을 잘 이해하게 하는 것은 국가의 미래를 결정할 만큼 중요한 사안이 되었다(AAAS, 1989; NRC, 1996; 동효관 등, 2002). 이에 선진국들은 국가적인 차원에서 지원을 아끼지 않고 조기에 과학영재들을 발굴하고 육성하여 다가오는 미래를 대비하고 있다. 우리나라도 이러한 세계적 추세에 발맞추어 영재교육진흥법이 2000년 1월에 제정되어 2002년부터 시행되었고, 과학 영재교육에 대한 새로운 시도와 다양한 프로그램의 운영이 가능하게 되었다. 영재교육에 대한 관심이 증대되면서 뛰어난 재능을 가진 과학영재를 위한 교육이 진흥되었고 이를 통해 영재들은 잠재력을 최대한 계발할 수 있도록 도움을 받게 되었다.

영재교육이 활성화되면서 고도의 지식과 기술을 갖춘 창조적 생산자 양성을 위한 잠재능력과 창의성 개발을 위해 다양한 학습 프로그램들이 개발되어 실시되었고(김대진 등, 2008) 과학 영재 교육의 질적 개선과 전문성 신장을 위해 노력하고 있다. 그러면서 체계화된 전문적인 지식의 학습을 바탕으로, 예비 과학자로서 실질적인 연구 프로젝트 수행 능력을 신장해야 할 교육적 필요성이 제기되고 있다. 왜냐하면 상상력만으로 과학을 창조할 수 없기 때문에 학생들에게 제기되는 많은 과학적 문제들이 어떻게 해결되는지 그 과정을 경험할 수 있는 실제적인 연구 기회를 제공하는 것이 중요하기 때문이다.

이런 연구 기회 제공을 위한 몇몇 프로그램 중 하나인 사사 프로그램은 대학교수(또는 연구원)와 영재학생의 사사연구팀이 공동으로 진행하

는 멘토링 프로그램을 말한다. 학생들은 전문가들로부터 개별화된 맞춤형 교육을 통해 연구 주제를 설정하여 연구와 활동 중심으로 교육을 받는다. 사사 프로그램은 영재 학생들로 하여금 전문가와 함께 공동 연구를 경험하면서 자신의 관심분야를 지속적으로 대학교와 대학원에 이르기까지 연계하여 연구가 가능하게 하고 조기에 창의적인 전문가가 될 수 있게 한다(김종득 등, 2005). 그리고 학생들의 연구 경험이 장래의 진로에 영향을 주어 대학교육과 연계된다면 교수는 일찍부터 고급인력을 양성할 수 있다. 대학교수의 전문적 지도와 첨단 과학 실험 기자재를 활용한 교육을 체험함으로써 학생들의 과학 연구 능력, 인내력과 창의적인 문제해결 능력이 향상될 것을 기대하며, 여러 학자들은 영재 교육을 위한 사사 프로그램의 가치에 대해 꾸준히 언급하고 있다. 그리고 과학자와 함께 수행하는 프로젝트 형태의 과학 연구 활동과 같은 다양한 교과외의 활동에 참여할 것을 권장하고 있다. (Tassel-Baska & Kulieke, 1987; Lie & Lederman, 2002; Schwartz et al., 2004) 대학교 현장과 첨단 연구실을 연결하여 학생들에게 연구 기회를 제공하는 프로그램을 적용한 Edwards et al.(2007)은 학생들은 과학적 연구방법 습득, 과학에 대한 열정 증가, 미래의 과학자처럼 사고하는 습관이 형성되었다고 보고하였다.

그러나 과학 영재들에게 특별한 교육 프로그램을 받을 수 있는 기회가 제공되기는 하였으나 프로그램의 내용과 수준, 프로그램 개발의 원칙과 방향, 교수.학습 방법 등에 대한 연구가 부족한 실정이다(임길선, Yager, 2007). 사사 프로그램의 효과에 대한 여러 연구들이 있고 그 중 긍정적인 인식되는 측면도 있으나(김경대, 2008; 윤희숙, 2007), 강성주 (2009)는 사사 프로그램의 수동성에 대해 언급하면서 현재 이루어지는 대부분의 사사 프로그램이 과학자인 대학 교수의 연구 과제에 학생과 교사가 수동적으로 참관하는 방식이 대부분이라 하였다. 이러한 사사 프로그램은 학생들에게 대학원 수준 이상의 연구 경험을 그대로 적용하므로 학생들은 이미 메뉴얼화 된 간단한 실험만 경험하게 된다. 그리고 학생들은 자기 주도적으로 실험을 진행하지 못하면서 스스로 문제를 해결할 기회를 얻

지 못하고 프로그램 자체에 대한 흥미를 잃기도 한다.

학생들이 연구 과제를 수행하고 과학지식을 습득하는 과정에서 과학적인 연구 방법을 배울 수 있도록 해야 하며, 스스로 문제를 찾고 이를 합리적으로 해결할 수 있는 능력을 길러주어야 한다. 지식의 생성에 중심을 둔 영재 과학 교육에서 가장 효과적인 교수 학습 전략은 학생들이 과학자의 연구 과정을 학습 상황에서 직접 경험할 수 있도록 하는 것이라 연구된 바 있다(양일호, 2006). 과학자의 사고 과정을 분석하려는 여러 연구들이 진행되었으며(Dunbar, 1996; 양일호, 2006; 정선희, 2007; 신호심, 2010), 과학자의 사고 과정을 적용한 영재 교육 프로그램이 과학 영재의 탐구 능력 및 문제 해결력 향상에 효과가 있음이 보고되었다(오창호, 2008; 이현정, 2009; 김명희, 2010). 과학자가 실제로 연구를 수행하는 과학탐구에서 과학자의 연구과정과 그 속에서 그들의 사고과정을 알아보는 것은 의미가 있다(이선길, 2006). 과학자의 연구과정은 문제를 발견하고 정보를 수집하여 가설을 설정하고 이를 검증하여 결론에 이르는 것을 공통된 개념으로 하고 있으며, 문제해결의 과정과 이와 관련된 사고과정을 의미한다(권재술, 김범지, 1994). 과학의 기초적인 지식을 학습하는 것도 중요하지만 과학자들의 연구과정을 살펴보면서 과학 지식의 생성과정을 알아가는 것은 매우 의미가 있다(하지희 등, 2009; 권용주 등, 2003). 이런 과학자의 연구과정과 그에 따른 지식 생성과정을 알기 위해 가장 기본이 되는 것은 해당 분야의 논문이다. 과학자의 논문은 과학자의 사고 과정이 그대로 드러난 완결된 과학적 탐구 과정으로, 실제 과학자의 연구 활동에 동기를 제공하거나 문제 해결의 실마리를 찾는 원천이 된다. 따라서 과학 영재들에게 과학자의 논문을 적용하는 것은 과학적으로 생각하는 기술을 향상시키는데 좋은 연습이 된다(Kuhn, 1988). 또한 과학자의 논문은 하나의 가설이 과학적으로 검증됨으로서 새로운 과학 지식을 성립해 가는 과정이 포함되어 있으므로 과학 및 과학 지식의 본성을 이해하는데 도움을 줄 수 있다(Brill, 2004). 그리고 과학자들의 논문을 통해 연구에 대한 아이디어를 얻고, 실험 방법을 정교화하는 것과 아울러 연구 결과물이 과학적으로 진정한 의미를 갖도록 하는 과정 등을

경험할 수 있고 과학적 연구에 대한 실제적인 이해를 갖도록 돕는다(심규철, 2009).

사사 교육에서 중요한 것은 연구실에서 무작정 실험을 시작하기보다는 과학 영재들이 이전에 갖고 있던 구체적인 경험을 바탕으로 그와 연관된 주제를 선택하여 과학적 연구 기반 교육을 하는 것이 중요하다(김정민, 2008). 이를 위해 과학자 논문을 토대로 학습하는 것은 도움이 되고, 실제로 과학자 논문을 적용한 교육 프로그램을 개발하여 효과를 검증한 연구들이 있다. 그러나 대부분 한편의 논문을 수업지도안 형식으로 만들어 적용하거나 교과서에 등장하는 유명한 과학자의 논문 내용을 재구성하여 교과 지식의 이해도를 높이는 방식에서 그치는 경우가 많다. 이 연구에서는 사사 프로그램 진행 시 학생들의 학습을 위해 11개의 과학자 논문을 미리 선정하였다. 그리고 사사 프로그램을 진행하면서 필요할 때 마다 학생들이 도움을 얻을 수 있도록 추가적으로 논문을 제공하였고 학생들이 스스로 참고할 논문을 검색하기까지 안내하였다. 여러 편의 과학자 논문들을 통해 학생들이 앞으로 진행하게 될 탐구실험 분야에 대한 배경지식을 습득하는 데 도움을 얻도록 하였고, 교사가 제공한 과학자 논문을 읽고 배경지식을 축적해 나가도록 하였다. 또한 학습한 논문을 기반으로 탐구 실험 주제를 학생들로 하여금 직접 선정하게 하였고 직접 실험을 설계하고 진행하게 하였다. 그리고 결과는 논문 형태로 정리함으로써 실제 과학자들이 연구하는 과정을 따라가도록 하였고 학생들 스스로 예비 과학자로서 주도적으로 실험을 하도록 하였다.

1.2 연구 문제

이 연구에서는 여러 편의 과학자의 논문을 바탕으로 사사 프로그램을 진행하고 그 과정이 다음과 같은 관점에서 과학 영재에게 어떤 영향을 미치는지 알아보려 한다.

첫째, 과학적 탐구 각 단계에서 어떤 변화를 보이는가?

둘째, 과학적 지식에 대한 인식이 어떻게 변화였는가?

셋째, 과학자와 과학 사회에 대한 인식이 어떻게 변화였는가?

Ⅱ. 이론적 배경

2.1 과학적 탐구

2.1.1 과학적 탐구의 정의

과학교육에 있어서 과학 탐구는 매우 중요한 의미를 갖는다. 탐구라는 말은 찾는 과정, 또는 이보다 더 구체적인 의미로는 지식과 이해의 추구로 정의할 수 있는데(Chiappetta et al., 1998), 과학 탐구는 경험, 관찰, 사고, 추리, 연구 등을 통해 과학적 진리를 추구하는 활동, 또는 자연세계에 대한 질문을 던지고 자연현상을 조사하는 일련의 통합적 과정을 의미한다(NRC, 1996). 탐구는 사실에 관한 정보를 수집하기 위한 사실적·경험적 탐구, 사고의 명료화와 개념의 명확한 조작을 위한 형식적·논리적 탐구, 가치의 추구나 평가 그리고 실천적 규범과 그 원리를 정립하기 위한 규범적·평가적 탐구 등으로 구분할 수 있다(서울대학교 교육연구소, 1994). 또한 조희형, 박승재(1994)는 탐구를 넓은 의미와 좁은 의미로 정리하여 제시하고 있다. 넓은 의미의 탐구는 진리와 지식 또는 그와 관련된 정보를 추구하고 이해하는 일반적인 사고 과정과 방식으로 정의하였고 좁은 의미의 탐구는 흔히 과학자와 과학 교육자에 의해 인식되고 있는 것으로서, 다시 과학적 탐구, 과학적 지식과 기술을 응용한 문제해결, 신념에 따른 의사결정, 가치의 명료화 등의 영역으로 나누어 정의될 수 있다고 하였다.

과학을 크게 과정(process)과 산물(product)로 나누어 정의한다면 과학교육은 다양한 수단과 방법을 통하여 과학의 과정능력을 체득하게 하고 나아가 뜻있는 과학의 원리나 법칙을 개발하도록 지도하며 과학에 대하여 긍정적인 태도를 기르며 과학적 사고를 길러주는 것이다(한안진, 1987). 특히 NRC(National Research Council)는 과학 학습의 중심은 탐구에 있다고 강조하고 있다.

탐구 활동에 참여하는 학생들은 사물과 사건을 기술하고, 문제를 찾아내고 비판적이고 논리적으로 사고하며, 대안적인 설명을 고려한다. 이 과정에서 학생들은 추론능력, 사고 기능을 결합하여 과학을 능동적으로 이해하게 된다(서혜애 등, 2000). 이는 과학이 단순한 개념의 축적이 아니라 이러한 과학 개념이 산출되기까지의 과학적 탐구과정이 무엇보다 중요함을 강조하고 있는 것이다. 과학적 탐구는 자연에서 얻어지는 객관적 자료로부터 논리적이고 창의적인 사고력을 이용하여 과학지식을 창출하는 과정이라고 볼 수 있다. 이런 과학적 탐구에 대해 여러 학자들이 다양한 정의를 내렸다. ([표 II-1])

주장한 사람	과학적 탐구
Falk (1971)	과학자들이 자연현상에 대해 질문하고 자료를 수집하는 등 과학자들이 조사하고 연구하는 활동과 방법
Gallagher (1971)	환경으로부터 지식을 획득하고 이를 조직화하는 과정
Wilson (1974)	문제를 유발하는 자극에 관하여 그 변인과 속성을 탐색하고 발견해 나가기 위하여 수행되는 광범위한 활동
Mayer (1982)	이해와 응용을 증대할 수 있는 개방적 문제들을 해결하는데 목적이 있는 일련의 활동
Aikenhead (1983)	자연현상에 대한 탐구의 과정 및 그 전략과 과학의 본성에 대한 이해
Trowbridge & Bybee (1986)	문제의 정의조사, 가설설정, 실험설계, 자료수집, 그리고 결론 도출 등의 관계로 이루어진 과정
Collette & Chiappetta (1989)	토의, 읽기, 야외실습, 실험조사 등 다양한 학습활동을 통한 수행. 찾는 과정 또는 지식과 이해의 추구

[표 II-1] 과학적 탐구에 대한 다양한 정의

2.1.2 과학 탐구의 목적

미국의 국가과학교육기준(NRC, 2000)에서는 과학 탐구를 이렇게 정의하고 있다. 과학 탐구란 실천(doing)과 이해(understanding)를 포함하는 것으로 학생들은 이 2가지를 적절히 경험하면서 탐구 능력을 개발해야 한다. 따라서 과학 탐구의 목적은 탐구의 수행과 탐구의 이해로 볼 수 있고, 탐구를 통해 실천과 이해에 대한 능력이 길러져야 한다. 실천(doing)에 해당하는 능력은 실험 설계와 수행을 위한 절차적 기술이며 이해(understanding)에 해당하는 능력은 탐구 과정에서 일어나는 학생들의 과학적 사고 기술이다. 실천(doing)에서 말하는 절차적 기술이란 실험과 같은 단순한 수공적(hands-on)조작 기능이 포함된다. 현재 우리 교실에서 행해지는 대부분의 탐구 수업은 이런 절차적 기술을 수행하고 있으며 이를 자칫 과학탐구의 전부라고 오해하는 경우가 있다. 또 다른 탐구 능력은 학생들의 과학적인 사고기술이다. 이것은 여러 현상에 대하여 추리적 사고능력과 비판적 사고능력이 포함되며 이를 정신적(minds-on)조작 기능이라 말한다. 탐구를 직접 수행함으로써 과학탐구의 본성, 과학의 본성, 과학적 지식의 본성을 이해할 수 있다. 하지만 이 부분은 학생 스스로가 터득하기는 어렵기 때문에 교사가 도와줘야 학생들의 이해도가 높아진다.

NRC (2000)에서는 학습자의 수준에 따라 과학 탐구 수행에 필요한 능력을 제시하였다([표 II-2]). 초등학교에서는 단순하고 기초적인 수준이 필요하다면 고등학교에서는 점차 복잡하며 고차원적인 능력을 요구한다. 그리고 초등학교부터 과학 탐구에 대한 인식을 올바르게 잡고 꾸준히 접해야 고등학교 수준의 과학 탐구에서 잘 수행할 수 있는데 이것은 기초적인 과학 탐구를 토대로 이루어지는 것이므로 과학을 배우는 때부터 탐구에 대한 인식을 바로 잡는 것이 얼마나 중요한지 알 수 있다. 또한 NRC (2000)에서는 학습자의 수준에 따른 과학 탐구에 대한 이해를 [표 II-3]에서와 같이 나타내었다. 과학 탐구를 이해하는 것에도 학습자의 연령에 따라 다르다는 것을 보여주는데 이는 고차원적인 사고를 하는 연령으로

갈수록 그 이해하는 정도의 범위도 넓어지고 다른 학문과 연결되는 모습도 보여준다.

초등학교 수준의 과학 탐구 능력
주위의 상황에 질문을 할 줄 안다.
간단한 실험을 설계할 수 있다.
자료를 수집하기 위하여 실험도구를 사용할 줄 안다.
수집한 자료를 가지고 설명을 세울 수 있다.
설명을 남들에게 발표할 수 있다.
중학교 수준의 과학 탐구 능력
실험을 통해 해답을 찾을 수 있는 연구가치가 있는 문제를 제기할 수 있다.
실험을 설계하고 수행할 수 있다.
자료를 수집하고, 분석하고, 해석하는데 있어서 도구와 과학기술을 사용할 줄 안다.
모든 자료, 즉 증거물을 이용해서 묘사, 설명, 또는 추측을 할 수 있다.
증거와 설명의 관계를 비판적이고 논리적으로 사고할 수 있다.
다른 사람의 설명이나 추측을 인식하고 분석할 수 있다.
실험과정이나 실험으로 인해 나온 설명이나 추측을 다른 사람에게 발표할 수 있다.
과학탐구에 있어서 수학적 기술을 사용할 줄 안다.
고등학교 수준의 과학 탐구 능력
과학탐구와 연관된 문제와 개념들을 인식한다.
실험을 설계하고 수행할 수 있다.
효과적인 탐구수행과 동료간의 토론을위해 과학기술과 수학을 사용할줄안다.
논리와 증거를 가지고 과학적 설명이나 모델을 창안하거나 정립할 수 있다.
다른 설명과 모델이 있음을 인식하고 분석할 줄 안다.
과학의 논증을 이용해 토론하고 변론한다.

[표 II-2] 과학 탐구를 수행하기 위한 기본 능력 (NRC, 2000)

초등학교 수준의 과학 탐구 이해

과학탐구는 문제제기를 하고 해답을 추구하며 기존의 과학자들이 알고 있는 지식과 비교하는 과정을 담고 있다.

과학자들은 해결을 위한 문제에 따라 다른 종류의 탐구과정을 사용한다.

과학자들은 오감을 이용하는 것보다 간단한 도구, 즉 확대경, 온도계, 또는 자를 이용하여 더 많은 정보를 얻을 수 있다.

과학자들은 관찰과 이미 알고 있는 지식으로 자연 현상에 대한 설명을 창안한다.

과학자들은 탐구의 결과를 공인화시키고 다른 사람들이 검증할 수 있도록 탐구과정을 기술할 수 있다.

다른 과학자들의 결과에 대해 의문을 가질 수 있다.

중학교 수준의 과학 탐구 이해

다른 질문은 다른 탐구과정을 제안한다.

현 과학적 지식과 이해가 과학 탐구의 방향을 제시한다.

수학은 과학 탐구를 위해 중요하다.

공학의 사용은 자료를 수집하는데 정밀성을 높이고 과학자들로 하여금 탐구 결과를 분석하는 것을 용이하게 한다.

과학적 설명은 증거를 강조하고 일관성 있는 논증을 보여주며, 과학원리, 모델, 또는 이론으로 이루어진다.

과학은 의구심이 있는 데에서 발전이 된다.

과학탐구는 새로운 이론, 새로운 탐구과정, 또는 자료 수집을 위한 새로운 공학의 발전을 가져온다.

고등학교 수준의 과학 탐구 이해

과학자들은 자연현상에서 발견되는 계가 어떻게 작동이 되는지에 대한 탐구를 많이 한다.

여러 가지 이유로 탐구가 이루어진다.

과학자들은 자료수집과 자료응용을 위해 공학을 사용한다.

수학은 과학탐구에 있어서 필수이다.

[표 II-3] 과학 탐구의 이해 (NRC, 2000)

2.1.3 과학 탐구의 기본요소

실질적인 과학 탐구가 교실에서 이루어지려면 [표 II-4]와 같이 학생들 스스로 어떤 현상에 대해 문제제기를 할 수 있는 기회가 주어져야 한다. 이는 매우 중요한 부분이며 학생들 스스로 문제제기를 할 수 있을 때 과

학 탐구는 좀 더 활발히 진행될 것이다. 문제제기가 있으면 그 다음으로 는 그 문제에 대한 답을 얻기 위해 현상에 대한 자료를 수집하고 정리해야 한다. 이 부분은 대부분의 교실에서 이루어지고 있는 부분이며 실험을 통한 증거수집이 이 부분에 해당한다고 볼 수 있다. 이런 증거들이 수집된 다음에는 그러한 증거를 가지고 해답이 될 수 있는 설명을 형성하여야 한다. 이렇게 형성된 설명은 논리적인 사고 과정을 거쳐 정당화되고 다른 사람에게 발표하는 기회를 갖는다. 이 과정에서 동료의 반증이 있을 수 있고 이는 과학적 특성(과학자는 정확하게 기록하고, 동료의 비판을 받아야 하며, 반복실험이 가능하도록 연구의 결과를 자세하게 발표해야 한다)에도 해당하는 부분이다. 마지막으로 이러한 과정을 거쳐 제기한 문제에 대한 해답을 얻었다면 여러 동료들의 비판을 수용하여 발표하고 정당화하는 기회를 가져야 한다.

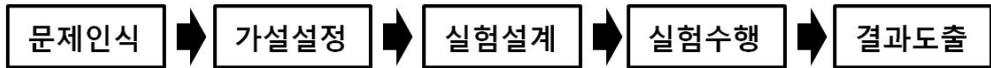
교실 과학 탐구의 기본 요소

1. 학습자는 과학적으로 문제제기하는데 참여한다.
2. 학습자는 문제에 해당하는 설명을 형성하고 평가하는데 필요한 증거를 수집한다.
3. 학습자는 그러한 증거를 가지고 문제에 해답이 될 수 있는 설명을 형성한다.
4. 학습자는 다른 관점에서의 설명으로 자신이 세운 설명을 평가할 수 있어야 한다.
5. 제안된 설명을 다른 사람에게 발표하면서 전체적으로 정당화하는 기회를 갖는다.

[표 II-4] 과학 탐구의 기본 요소 (NRC, 2000)

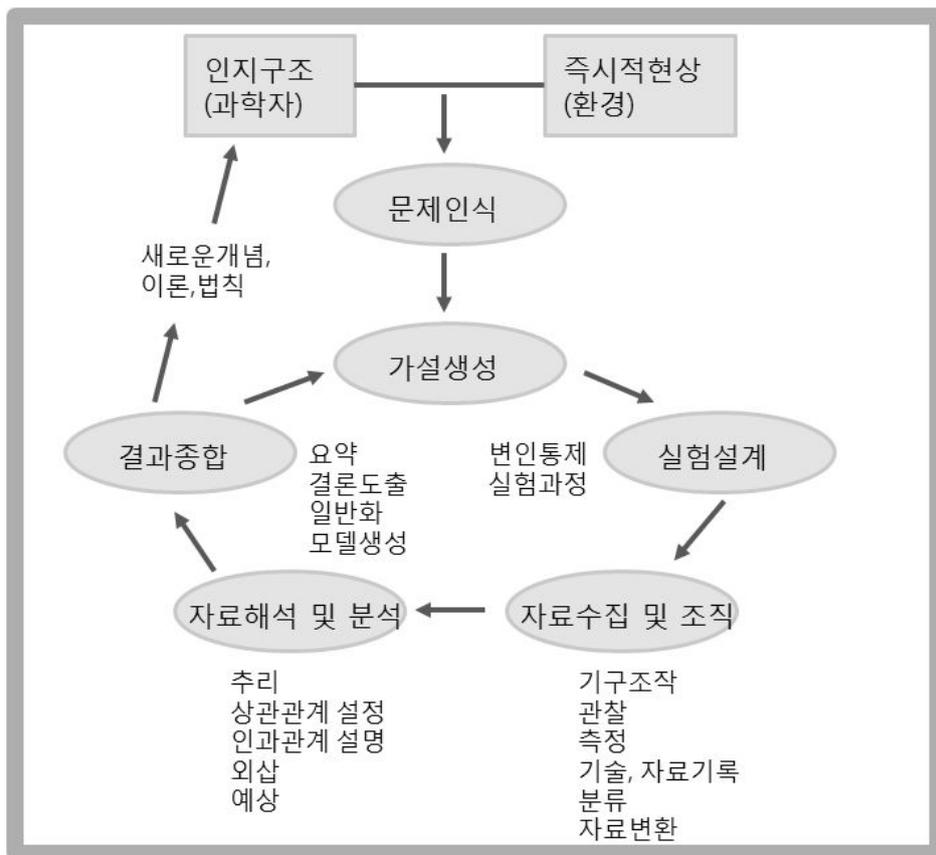
2.1.4 과학적 탐구 과정

과학적 탐구는 상황과 탐구의 맥락에 따라 방법이 다양하다. 따라서 탐구 과정을 간단히 정의하는 일은 어렵지만 전통적으로 문제 인식, 가설 설정, 실험 설계, 실험 수행, 결과 분석 및 논의의 단선적 과정을 통하여 새로운 지식이 산출된다.



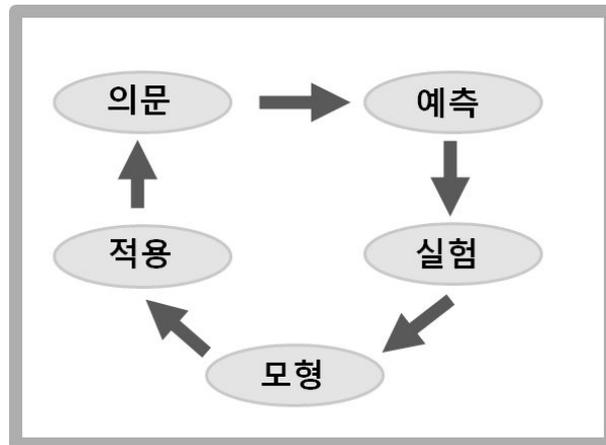
[그림 II-1] 허 명 (1984)의 전통적인 탐구 과정

허명(1984)은 과학적 탐구 과정을 [그림 II-1]과 같이 전통적인 단선적 과정을 제시하였으며 탐구 과정에서 문제의 인식이 갖는 중요성을 강조하기 위해 [그림 II-2]와 같이 탐구 과정을 수정하여 제시하였다.



[그림 II-2] 허 명 (1984)의 탐구 과정 모형

이 모형에서는 탐구가 진행되는 과정에서 필요한 요소인 탐구 능력을 각각 단계에 맞게 배치하였고 전통적 탐구 과정 모델에서 언급되지 않은 순환적인 형태를 지니고 있다. 또한 탐구 과정에 의해 만들어진 새로운 지식이 기존 패러다임에 영향을 주어 계속하여 변화하거나 대체되는 과정을 포함시켜 과학 지식의 유동성을 반영하였다. 과학자들이 즉시적 현상으로부터 문제를 인식하는 것과 과학 지식의 유동성을 부각시켜 역사에 근거한 과학적 탐구의 패턴에 좀 더 근접한 모델이라고 할 수 있다. White & Frederiksen (1998) 역시 과학적 탐구 과정을 순환적인 것으로 봤지만 허명 보다는 매우 단순화된 형태로 모형을 제시하였다. 그러나 탐구의 목적을 과학적 모형 형성 및 적용으로 보고 있으므로 다른 탐구 모형에서 찾아볼 수 없는 ‘모형’과 ‘적용’이 강조되었다.



[그림 II-3] White & Frederiksen (1998)의 탐구 과정 모형

2.2 과학자의 연구 활동

학생들의 탐구 활동을 고취시키기 위한 많은 프로그램들이 있지만 프로그램의 대부분은 탐구학습을 강조할 뿐 실험 문제, 실험 방법과 절차를 제시하여서, 학생들로 하여금 매뉴얼을 따라가기만 하면 ‘예측되는’ 실험 결과를 얻을 수 있도록 한다. 그러면서 탐구 활동을 통해 실제 과학자의 연구 과정과 특성을 이해하여야 함에도 불구하고 학생들은 프로그램을 통해 실제 과학자의 활동을 경험할 기회가 거의 없는 경우가 많다.

Hmelso-Silver et al. (2002)은 과학자들이 실험을 시작하기 전에 연구 문제를 설정하고 구성하는데 대단히 많은 시간을 보낸다고 하였으나, 실제로 학생들이 연구문제를 스스로 설정하는 경우는 드물다. 또한 이론 속에서 또는 이론들 간에 논리적 일관성을 추구하는 활동(Thagard, 1992; Meheus, 2002), 또는 자연 현상이나 다른 이론들에 대한 새로운 논리적 설명 이론을 고안하는 활동(Park and Han, 2002; Hempel, 1965)과 같은 연구과정은 탐구 과정에 있어서 중요함에도 불구하고 학생들은 이런 경험을 하기가 힘들다.

실제 과학자의 연구를 경험하도록 하기 위해 과학자의 연구 논문을 이용하여 교육하는 것은 학생들로 하여금 과학자의 사고 과정을 따라가도록 하기에 과학적 탐구 과정을 학습하도록 하는 것에 유익하다.

과학자들은 항상 연구 논문으로 그들의 연구 업적을 알린다. 그렇기에 연구 논문 속에는 과학자들의 사고과정과 연구과정, 연구방법들이 포함되어 있다. 또한 연구논문은 현재의 연구 업적보다 선행된 연구의 발생 배경과 실험을 기술하는 학문적 배경지식을 제공한다. 따라서 과학자 논문을 통해서 연구 계획의 근본원리에 대해 숙지할 수 있으며, 연구방법의 노출과 연구적 의문에 대한 적합성을 판단할 수 있고, 과학사회의 언어와 구조에 익숙해진다. 그리고 과학적 탐구의 목표와 결론을 비판적으로 바라보는 능력을 개발할 수 있으며 특정 분야에서의 문제들과 과학자들이 그것을 풀기 위해 노력하는 방법을 볼 수 있고 과학적 탐구방법의 연속성에 대해 알 수 있으며, 과학에서 축적된 지식과 학교에서 가르치

는 지식의 차이를 좁힐 수 있다(Brill, 2004).

이런 과학자 논문의 이점과 중요성이 있음에도 논문을 읽는 초보자들은 논문의 구조에 익숙하지 않아서 인지적인 활동을 수행하는데 어려움을 느낄 수 있다(Brill, 2004). 과학자 논문을 과학영재들에게 교육시키는 것은 복잡한 과정이기에 학생들이 논문에 익숙해질 수 있도록 특히 교육 초반에 교사가 적절히 개입하고 지혜롭게 학생들을 안내하는 것이 중요하다. 그리고 초보자인 과학영재들은 논문을 읽을 때 자신이 무엇을 이해하고 있는지 반문할 필요가 있고, 이런 반문을 통한 학습은 과학적 사고를 개발시킨다(Brill & Yarden, 2003).

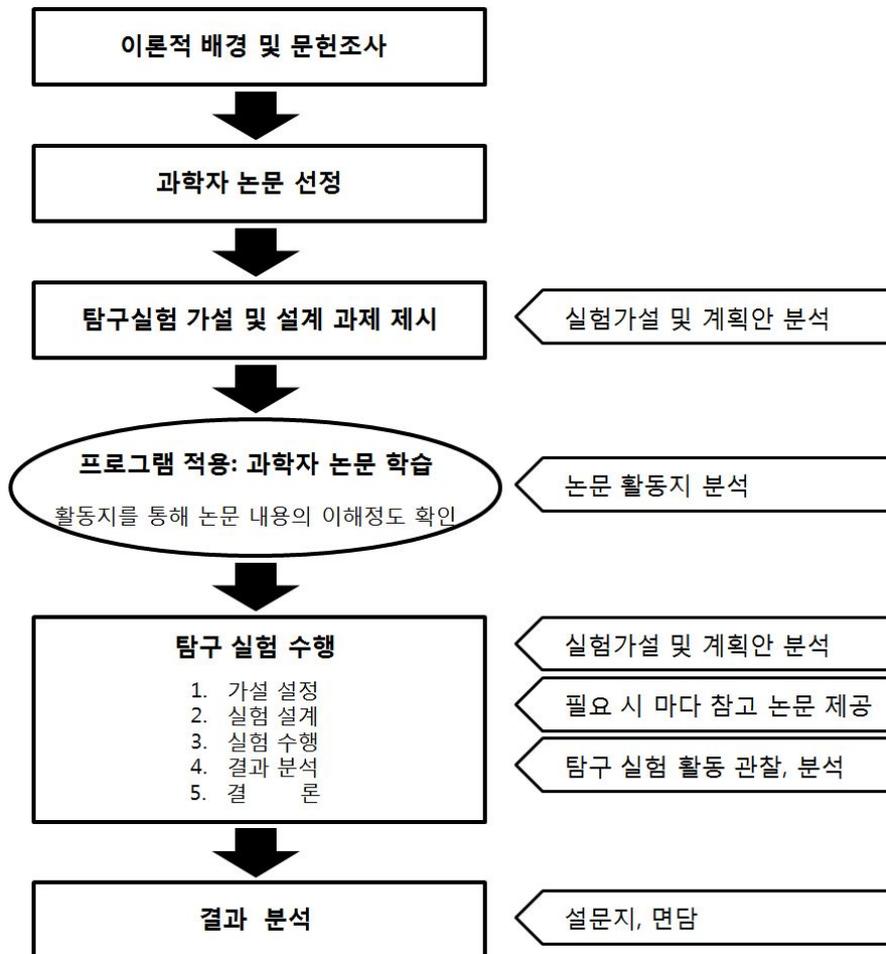
Baram-Tsabari & Yarden(2005)은 동일한 과학적 내용의 글을 과학자의 연구 논문을 통해 학습하는 학생들과 교과서처럼 정리되어진 글로 학습하는 학생들로 나누어 논문과 정리된 글이 학생들에게 미치는 효과를 연구하였는데, 과학자의 연구 논문을 읽은 학생 그룹이 그렇지 않은 학생 그룹에 비해 탐구 기술이 더 좋아졌으며, 과학적 방법으로 생각하는 능력이 발달되었다고 보고하였다. 또한 과학자가 실제로 연구를 수행하는 과학탐구에서 과학자의 연구과정과 그 속에서 그들의 사고과정을 알아보는 연구가 진행되었고(이선길, 2006), 과학자의 사고 과정을 적용한 영재 교육 프로그램이 과학 영재의 탐구 능력 및 문제 해결력 향상에 효과가 있다는 여러 연구들이 있다(오창호, 2008; 이현정, 2009; 김명희, 2010).

선행 연구들을 토대로, 과학자의 연구 논문은 과학 영재들에게 과학적 사고 능력과 과학사회의 지식, 활동, 사고방식에 친숙해지도록 만드는 교육 자료가 될 수 있다. 또한 연구 논문에는 과학자들의 사고 과정과 데이터 분석 및 해석 방법 등이 구체적으로 서술되어 있어 학생들이 과학적 탐구가 무엇인지 자연스럽게 이해하도록 한다. 그리고 더 나아가 실제 과학자의 사고 과정을 따라가며 문제 제기부터 결론 도출까지 완결된 형태의 탐구 과정을 익힘으로써 예비 과학자로서 과학자 논문을 통해 탐구 자세에 대하여 배울 수 있다.

Ⅲ. 연구방법

3.1 사사 프로그램 수행

이 연구의 목적은 과학자의 논문에 기반을 둔 학습이 과학 영재들의 과학적 탐구활동과 과학적 지식에 대한 인식, 과학자와 과학 사회에 대한 인식에 어떤 영향을 주는지 질적 방법으로 알아보는 사례 연구이다. 연구 절차 과정은 [그림 Ⅲ-1]의 개요도에 구체적으로 나타내었다.



[그림 Ⅲ-1] 연구 절차 및 방법

3.1.1 연구 대상 및 일정

날짜	연구 활동	활동 내용	날짜	연구 활동	활동 내용
4/9	오리엔테이션	탐구소재설명 및 실험실장비 설명	12/17	가설 설정 및 실험 설계	실험계획서작성. 서로 피드백. 추가적인 참고논문 제공. 실험 주제와 설계의 정교화. 최종 실험 가설 선정 및 실험 설계.
5,6월	탐구소재 관련하여 실험 가설 및 설계 제안	12/18			
7/29	과학자 논문 학습	탐구실험 주제에 대해 각자 생각. 온라인에서 탐구 주제 토론. 실험 가설과 실험 설계안 제출. 논문 읽고 활동지 작성. 각자 작성한 것을 바탕으로 토론하며 논문내용 정리.	12/24		
8/3			12/29	실험 수행	처음 계획한 실험 수행. 실험 계획을 수정, 보완 해가며 실험 진행.
8/10			12/30		
8/17			12/31		
9/9			1/4		
10/7			1/6		
10/13			1/11	결과 분석	측정한 데이터 정리, 분석 후 그래프로 표현. AFM 이미지 정리 및 분석.
10/22			1/12		
11/4			1/13	보고서작성	논문 형식으로 보고서 작성
11/11			1/14		
12/3			1/15		
12/5			1/16		
12/10					1/17

[표 III-1] 사사반 활동 진행 일정

이 연구에 참여한 학생들은 중학교 3학년 3명으로 남학생 2명과 여학생 1명이다. 이들은 서울의 각 학교에서 교사 추천을 받은 학생들 중 20명에 선발되어 2009년 12월에 서울대학교 과학영재교육센터를 수료한 학생들이다. 그리고 20명 중 7~8월 여름방학 집중 기간 동안 이루어진 자유 탐구 활동과 역학개념시험(FCI), 교수님의 면접을 통해 최종 선발된 3명

의 학생이다. 편의상 3명의 학생은 G, L, J 로 표시를 하였다.

2011년 4월 오리엔테이션을 시작으로 1월까지 10개월간 총 31회의 모임을 가졌고, 구체적인 일정 진행사항은 [표 III-1]과 같다. 학기 중에는 학교 수업이 끝난 후 저녁에 모여서 논문을 공부했고, 방학 때 집중적으로 실험을 진행했다.

3.1.2 자료 수집 및 분석

분석한 자료는 프로그램 적용하기 전과 후에 학생들이 작성한 실험가설 및 설계 계획서, 프로그램 적용하기 전과 후의 학생들 토론 내용 전사본, 프로그램 적용 시 과학자의 논문을 공부하며 작성한 활동지, 프로그램 적용 후 설문지와 인터뷰 내용이다. 그리고 프로그램 전반에 걸쳐서 학생들의 대화에서 나타나는 특징을 관찰하였다. 구체적인 내용은 [표 III-2]에 제시되어 있다.

적용 시점	자료 형태	분석 기준
프로그램 적용 전	실험 가설 및 설계계획서	<ul style="list-style-type: none"> · 가설 설정 1) 주제가 실험 가능하고 의미 있는가? 2) 조작, 종속 변인이 구체적으로 드러나는가? 3) 가설설정 근거로 신뢰할 수 있는 지식을 이용하는가?
	토론 내용 전사본	<ul style="list-style-type: none"> · 실험 설계 1) 가설 검증을 위해 구체적으로 설계를 하는가? 2) 실험 재현성에 대한 고려가 나타나있는가? 3) 실험을 일반화시키기 위한 고려가 포함되었는가?
프로그램 적용	활동지	<ul style="list-style-type: none"> · 용어의 뜻을 묻는 질문을 얼마나 하는가? · 어떤 질문에 대답을 잘하는가? · 학습한 논문을 바탕으로 탐구 실험에 반영할 만한 것을 찾는가?
프로그램 적용 후	실험 가설 및 설계계획서	<ul style="list-style-type: none"> · 가설 설정 1) 주제가 실험 가능하고 의미 있는가? 2) 조작, 종속 변인이 구체적으로 드러나는가?

	토론 내용 전사본	<ul style="list-style-type: none"> 3) 가설설정 근거로 신뢰할 수 있는 지식을 이용하는가? · 실험 설계 <ul style="list-style-type: none"> 1) 가설 검증을 위해 구체적으로 설계를 하는가? 2) 실험 재현성에 대한 고려가 나타나있는가? 3) 실험을 일반화시키기 위한 고려가 포함되었는가?
	설문지 및 인터뷰	<ul style="list-style-type: none"> · 과학자와 과학 사회에 대한 인식에의 영향 <ul style="list-style-type: none"> 1) 과학 사회의 언어와 구조에 익숙해졌는가? 2) 특정 분야에서의 문제점을 과학자들이 풀기 위해 어떤 방식으로 노력하는지 인식하는가? 3) 실제 과학자의 참 연구과정을 인식하는가?
프로그램 전반	그 외 대화 내용	<ul style="list-style-type: none"> · 실험 수행 <ul style="list-style-type: none"> 1) 한 번의 실험으로 일반화 시키는 것이 아니라 여러 번 측정하는가? 2) 실험 시 문제가 발생하였을 때 유연하게 대처하는가? 3) 측정 시 실험 오차에 대해 고려하는가? · 결과 분석 <ul style="list-style-type: none"> 1) 실험 오차에 대해 인식하고 나타내고자 하는가? 2) 그래프나 이미지에 단위를 나타내며 데이터 결과를 잘 표현하고자 하는가? · 결론 <ul style="list-style-type: none"> 1) 선행 연구들과의 연관성을 고려하는가? 2) 실험의 가치에 대해 고려하는가? · 과학적 지식에 대한 인식에의 영향 <ul style="list-style-type: none"> 1) 학문적 기본 배경지식으로서 논문을 인식하는가? 2) 선행 연구에 대한 인식과 연관성, 연속성에 대한 이해가 생겼는가? 3) 과학 지식의 유동성에 대해 인식하는가? 4) 연구의 최신 경향을 파악하려 하는가?

[표 III-2] 자료 수집 및 분석

3.2 연구 분야 및 과학자 논문 선정

본 프로그램 진행 시 학생들의 학습을 위해 11개의 과학자 논문을 미리 선정하였다. 그리고 사사반 활동을 진행하면서 필요할 때 마다 학생들이 참고할 수 있도록 추가적으로 논문을 제공하였다. 구체적인 논문 목록은 [표 III-3]에 제시하였다. 이 논문들은 학생들이 앞으로 진행하게 될 탐구실험 분야에 대한 배경지식을 습득하는 데 도움을 주는 것이 목적이다. 학생들은 교사가 제공한 과학자 논문을 읽고 배경지식을 축적해 나갈 것이다.

과학자 논문의 내용으로는 실생활 소재인 머리카락 분야로 선정하였다. 학교에서의 과학교육과정은 교육목표만 탐구학습을 강조할 뿐 정작 교과서 내의 실험은 90%가 실험 문제, 실험 방법과 절차, 실험 결과를 제시해 ‘요리책과 같은 실험’이다. 이런 실험들은 학생들이 실험기구를 손으로 조작만 하는 무미건조한 활동으로, 학생들에게 탐구적 사고의 기회를 주지 못한다고 비난받아왔다(Kyle, 1980). 그리고 기존의 학문 중심에 기초한 과학교과는 과학적 이론을 지나치게 강조한 반면 일상생활과는 거의 관련이 없는 내용으로 구성되어, 학생들은 이론 중심의 어렵고 추상적인 내용을 배우면서 과학과목에 흥미를 잃게 되었고 학생들의 과학 성취도도 하락하게 되었다(Collette & Chiappetta, 1989). 이러한 문제점에 대한 인식이 생기면서, 학생들이 탐구할 과학기술 관련 주제를 실생활과 연관된 소재에서 찾는 탐구실험이 점차 강조되었다(Yager, 1997). 이러한 실생활 소재의 탐구실험을 통해 과학 수업에서 실제적인 탐구활동이 이루어질 수 있으며, 이는 탐구활동을 통한 과학개념 이해와 탐구 능력의 신장이라는 우리나라 교육과정의 목표(교육부, 1999)에 더욱 다가갈 수 있게 한다. 실생활 소재를 통한 탐구실험은 학생들의 과학 탐구 능력 향상에 효과적이고 실험활동에 대한 태도를 긍정적이게 하며, 실생활 소재의 탐구실험에 대한 학생들의 인식 또한 긍정적임이 연구되었다(김수경, 2005).

탐구실험의 소재로 머리카락을 선택한 이유는 첫째, 머리카락 소재의

과학자 논문은 다른 논문에 비해 전문적인 지식을 요구하지 않는다. 영어로 된 논문을 보다 보면 처음엔 용어가 낯설 수 있지만 머리카락 구조와 관련된 용어들을 익히기만 하면 다른 실험 논문에 비해 학습하기 쉽다. 둘째, 실생활과 연결되므로 동기부여 쉽다. 생활 속에서 머리카락과 관련하여 궁금했던 것을 실험으로 연결시킬 수 있어서 다소 의욕적이 될 수 있다.

실생활 소재를 통한 탐구실험의 중요성과 유용성을 인식하며 이 연구는 머리카락을 실생활 탐구실험 소재로 삼았고, 실험을 통해 학생들에게 흥미를 주면서 머리카락에 대해 학습하게하고, 더 나아가 탐구능력을 기를 수 있도록 하였다.

분류	논문
머리카락의 기본개념, 물리적 특징	1. Carmen Anthony LaTorre, B.S. (2005) nanotribological characterization of human hair and skin using AFM
	2. Leszek J. Wolfram (2003) human hair: a unique physicochemical composite, American Academy Dermatology 48(6): 106-114
나이에 따른 머리카락의 물리적 변화	3. Ki Heon Jeong (2011) investigation of aging effects in human hair using AFM, Skin Research and Technology 17: 63-68
머리카락 측정의 정형화	4. S.P.Gurden (2004) quantitative analysis and classification of AFM images of human hair, Journal of Microscopy 215: 13-23
AFM과 SEM을 통한 머리카락 비교	5. G. Poletti (2003) a comparative study between AFM and SEM imaging on human scalp hair, Journal of Microscopy 211: 249-255
머리카락 표면의 물리, 화학적 손상 관찰	6. Carmen LaTorre (2005) nanotribological characterization of human hair and skin using atomic force microscopy, Ultramicroscopy 105: 155-175

머리카락과 수분	7. Clara Barba (2010) Restoring important hair properties with wool keratin proteins and peptides., Fiber and polymers 11: 1055-1061.
	8. C.Barba et al. (2010) Effect of wool keratin proteins and peptides on hair water sorption kinetics, J therm anal calorim 102: 43-48
머리카락의 탈색에 따른 물리적 변화	9. Leszek J. Wolfram (1970) The mechanism of hair bleaching, J. Soc. Cosmet. Chem., 21, 875-900
	10. 장병수 (2006) 탈색된 머리카락의 미세 구조적 변화, 한국전자현미경학회지 제36권 제1호
	11. 이귀영(2008) 탈색모발의 인장강도에 관한 연구, 한국현미경학회지 제38권 제3호
머리카락과 온도에 따른 물리적 변화	12. YoonheeLee(2011)_hair shaft damage from heat and drying time of hair dryer, Ann Dermatol., Vol. 23, No. 4
	13. Gamez-Garcia M. (1998) the cracking of human hair cuticles by cyclical thermal stresses, J. Cosmet. Sci., 49, 141-153
	14. Rebenfeld L.(1966) temperature dependence of the mechanical properties of human hair in relation to structure, J. Soc. Cosmetic Chemists, 17, 525-538
	15. 장병수 (2003) 미용을 위한 일상적인 열처리에 의해서 손상된 모발의 미세구조, 한국전자현미경학회지 제33권 제3호

[표 III-3] 배경 지식을 위해 학생들에게 제공한 과학자 논문 목록

IV. 연구결과

이 연구에서는 과학자의 연구 논문이 학생들의 탐구 과정에 있어서 어떠한 영향을 미치는지 학생들과 함께 자유 탐구 실험을 하면서 관찰하였다. 탐구 실험을 진행하면서 수집한 실험 가설 및 계획안, 토론 과정 자료의 분석은 탐구 실험 상황과 연결될 수 있도록 실험 진행에 맞추어 제시되었다. 그리고 이를 통해 탐구 실험 단계별로 학생들에게 나타나는 특징들을 나타내었다.

4.1 프로그램 적용 전 분석

프로그램 적용에 앞서서 학생들이 스스로 탐구 실험 가설을 얼마나 잘 설정하고 실험을 설계하는지 확인하기 위하여 실험 가설 및 계획안을 작성하도록 하였다. 학생들이 실험 가설을 설정하는데 있어서 그 범위를 완전히 자유롭게 허용하지는 않았다. 실험 가설을 설정하는 것은 자유롭게 하되, 실험의 소재는 학생들의 흥미를 높일 수 있고 평소에 궁금했던 생각들을 접목 시킬 수 있는 실생활 소재인 머리카락으로 제한하였다. 그리고 이렇게 함으로써 한 소재 내에서 3명의 다양한 생각들을 서로 비교할 수 있도록 하였다. 또한 학생들이 어떤 실험 장비를 사용할 수 있는지 알아야 실험 가설과 설계를 설정할 때 현실적으로 실험이 가능한 제안을 할 수 있기에 연구실의 실험 장비들에 대하여 간략히 소개를 해주었다.

한편, 실험 가설 및 계획안에는 1) 실험 가설, 2) 실험 가설 선정 이유, 3) 실험 설계, 4) 실험 가설 뒷받침 근거와 근거의 출처에 대해 작성하도록 하였다. 그리고 실험 전 아이디어를 모으는 단계이기에, 실험 가설을 가능한 많이 생각하도록 15개의 가설을 작성하기를 제안하였다. 결과, 한 학생만 3개의 가설을 작성하는 데에 그쳤고 나머지 두 학생은 제안한 가설의 개수 15개를 모두 채웠다. 하지만 두 학생의 15개 가설 중 여러 개

는 새로운 아이디어라기보다는 내용만 약간 바꾸었을 뿐 측정하고자 하는 부분은 비슷하였다. 설정한 실험 가설은 대체적으로 구체적이지 않고 연구의 가치가 적으며 논리적 근거가 부족하였다. 이는 과학적 탐구에 있어서의 시작인 가설 설정은 중요하나 가설 설정하기를 어려워 한다는 Germann (1996), Swatton (1992), 권용주 (2000, 2003), 이혜원 (2005)의 연구와 일치하는 모습이였다. 가설의 뒷받침 근거와 근거의 출처는 경험이나 상식에 의존하고 추측에 그치는 경우가 대부분 이였고, 외부의 자료를 찾는 경우에는 인터넷에 떠도는 글을 믿을 만 한 자료인지에 대한 판단 없이 그냥 수용하였다. 그리고 실험 설계는 구체적이지 않고 현실적인 실험 가능성을 고려하지 않았으며 변인들이 불완전하게 표현되었다. 프로그램 적용 전 학생들이 작성한 실험 가설과 설계안은 과학자의 논문을 공부 한 후 설정한 실험 가설과 설계안과의 좀 더 확연한 비교를 위하여 뒤에서 같이 제시하였다.

교사: 너희들이 작성한 가설들은 어떻게 작성한거니? 실험 주제를 떠올리기 위해 참고한 것 들이 있니?
 G : 전 검색보다는 그냥.. 궁금한거나 해보고 싶은거를 적었어요.
 교사: 그냥 생각했다고? 왜 다른 외부 자료를 찾아보지 않았어? 그럼 생각하기 어렵지 않았니?
 G : 아.. 찾아볼 생각을 못했어요. 그냥 생각했어요
 L : 인터넷에서 머리카락으로 검색해서 좀 봤어요
 교사: 좀 봤다는게 뭘 봤다는거야?
 L : 음.. 머리카락에 대해서.. 기본적인거요.. 어떤구조인지 뭐 이런거요
 교사: 인터넷 어떤 사이트에서 검색하고 참고한거니?
 M : 주로 네이버로 하고 아니면 구글이요
 교사: 네이버에서 너희가 검색한 자료가 얼마나 믿을 만 한 정보인지 생각해 봤니?
 M :
 교사: 전문 서적이거나 논문을 본 적은 있니?
 L : 아니요.. 뭔가 어려워 보이고 찾기도 어려운거 같고.. 인터넷 검색하면 빨리 나오니까.... 인터넷이 익숙해요

가설 작성 후, 각자 세 명이 작성한 가설을 모두 읽은 후 온라인의 메신저 상에서 토론을 하면서 서로에게 피드백을 하는 시간을 가졌다. 실험 가설 뒷받침 근거와 근거의 출처에 대해 작성할 때 “그럴 것 같다” “내 생각이다” “추측” “인터넷에서 검색” 의 답변이 대부분 이었고 아예 근거의 출처에 대해 작성하지 않은 경우도 있었다. 함께 토론하며 참고 문헌에 대해 학생들이 어떻게 생각하는지에 대해 알 수 있었다. 학생들은 경험을 바탕으로 궁금한 것을 막연히 생각하거나 외부 자료를 찾더라도 자신이 자주 이용하여 눈에 익고, 검색하기에 빠르고 익숙한 유명 인터넷 포털 사이트를 이용하였다. 그리고 자신이 참고하고 있는 자료의 생성 과정이나 신뢰도에 대해 생각해 본 적이 거의 없음을 알 수 있었다. 전문 서적이거나 논문을 이용한다는 학생은 한명도 없었고 그 이유로 전문 서적과 논문을 접해본 적이 없었다고 하였다. 또한 전문 서적과 논문은 낯설고 어렵다 생각되어 참고하기 꺼려하였고, 기존의 익숙한 검색 통로를 그대로 유지하려는 경향도 있었다.

4.2 프로그램 적용 및 실험 수행

학생들은 과학자 논문 기반 자유 탐구 실험을 진행하면서 실험 가설부터 토론을 통해 직접 정하였다. 그리고 실험 설계, 실험 수행, 실험 결과 및 분석, 결론 도출의 과정을 거치며 실생활 소재인 머리카락 탐구 실험을 수행했다.

4.2.1 과학자 논문 공부

프로그램 적용 전 실험 가설 및 계획안 작성과 토론을 통해 학생들은 아직 자신들이 말하는 것의 근거 출처의 생성 과정이나 신뢰도에 대해 고려하지 않음을 알 수 있었다. 탐구 실험의 시작인 가설 설정에 앞서, 학생들과 함께 실험 소재인 머리카락에 관련하여 과학자 논문 11편을 공

부하였다. 공부한 11편의 과학자 논문 목록은 연구 방법의 [표 III-3]에 명시되어있다.

학생들은 10편의 영어로 된 논문과 1편의 한글로 된 논문을 읽었고 학생들이 얼마나 논문의 내용을 파악했는지 확인하고, 논문 내용을 다시 한 번 정리하기 위해 활동지를 작성하게 하였다. 활동지는 주로 연구의 목적과 중요한 데이터, 표, 그래프, 이미지에 대한 해석과 의미, 연구의 결과와 결론에 대한 확인이었고, 샘플의 처리 방법 등과 같은 좀 더 깊이 들어가는 질문도 있었다. 활동지의 주요 내용은 [표 IV-1]에, 활동지 예시는 【부록1】에 제시되어있다.

분류	내용
주요내용	<ul style="list-style-type: none"> · 연구의 목적 · 중요한 데이터, 표, 그래프, 이미지에 대한 해석과 의미 · 연구의 결과와 결론 · 연구 내용 중 중요한 세부 내용에 관한 질문 (예>실험에 사용된 샘플을 어떤 방식으로 처리했는지 쓰고 각 방식에 대해 설명해보시오) · 과학자가 실험하기 전 세웠을 가설을 역으로 유추하여 가설 작성
참고부분 및 발전방향	<ul style="list-style-type: none"> · 논문에서 우리의 연구에 반영할 만한 것은 무엇이 있는가? · 논문에서 더 발전된 형태로 연구를 진행할 수 있는 부분은 어떤 것이 있는가?
어려운 점	<ul style="list-style-type: none"> · 논문에서 이해하기 어려운 부분은 무엇이었는가? · 앞으로 논문을 보기 위해 자신이 어떤 부분을 준비해야 할 것 같은가?

[표 IV-1] 과학자 논문 활동지 내용

학생들은 논문을 읽는 데에 있어서 처음에는 영어라는 것에 대해 다소 두려움도 나타냈고 영어로 읽고 해석해야 한다는 것에 대해 어려움을 말하기도 했다. 그리고 과학 전문 용어에 대한 생소함도 표시하였다. 그러나 10편의 영어 논문을 다 공부하고 나서, 마지막 10번째 논문 주제였던 '머리카락의 탈색에 따른 물리적 변화'와 비슷한 주제의 한글 논문을 주었을 때, 학생들은 오히려 영어 논문이 더 좋다고 말하였다. 머리카락 관련된 단어와 과학 전문 용어가 이미 영어로 익숙해져 있었기에 한글 보

다 영어로 된 논문이 더 좋다고 말하며, 과학사회 언어와 구조에 익숙해지는 모습을 나타냈다.

<p>프로그램 적용 시작 시</p>	<p>교사: 근데 이번엔 뭐가 어려웠니? 논문 읽으면서? J : 단어. 교사: 단어가? J : 이게... 모르는 단어가 나오면 검색해서 단어 뜻 보고 해석 하면 되는데 이번 논문에 나온 combability는 검색해도 안 나오고 해가지고.... 교사: 그래서 어떻게 했어? J : 그냥.. 임의로 해석했어요. comb이 빗질 이길래.. 먼가 빗질이 잘 되는 정도? 이런 느낌인거 같아요. L : 그리고 영어라서 읽는데 시간도 오래 걸리고 G : 모르는 단어 나오면 찾아서 해석하는데 그 다음 문장 읽으면 전에 읽었던 문장이 가물가물 할 때도 있어요. 그리고 영어라 눈에 확 들어오지도 않고...</p>
<p>프로그램 적용 후</p>	<p>교사: 영어논문하고 한글 논문을 비교했을 때는? 지금 두개가 다 탈색관련 된 거였는데 하나는 영어를 찼고 하나는 한글을 찼거든. G : 영어가 더 좋아요 교사: 영어가 더 좋아? G : 어우 한글은요~ J : 한글은 용어가 익숙하지 않아서 오히려 영어를 많이 보다 보니까.. 머리카락 구조에서 수질? 피질? 이런거 너무 어색해요. 차라리 큐티클 콜텍스 이런 말이 더 편하지.. G :근데 진짜 이거 한글로 친거예요 사람이? 아니면 한글로 해석한거예요? 교사: 아니 이걸 한글로 써서 낸거야 G : 어우 근데 왜 이렇게 어렵게 썼지?</p>

이는 영어로 된 논문 공부를 2-3개월간의 과제와 면대면 교육을 통해 학생들이 영어 논문에 익숙해지고 기본개념 익힐 수 있다는 선행 연구에 일치한다. (심규철, 2009) 학생들이 영어 논문을 보는 것에 있어서, 영어의 어려움에 의한 문제는 익숙해지면서 점차 해결 가능성을 보였다. 그

러나 내용 파악을 확실히 하지 못할 수 있으므로 교사가 정리해주며 조력자의 역할을 잘 수행해야 할 필요가 있다.

4.2.2 오리엔테이션 및 실험 장비 다루기

4월 첫 모임 때 오리엔테이션과 함께 실험실의 장비에 대해 소개를 했었으나, 탐구 실험 주제를 정할 때 학생들이 사용할 수 있는 장비에 대해 알게 하기 위함이 목적이었기에 직접 장비를 다루보지는 않았다. 그래서 다시 한 번 학생들과 실험실을 둘러보며 실험 가능한 장비들을 확인했고 실험실 이용수칙에 관한 설명을 하였다.

교사: 저번에도 잠깐 봤었지? 이거 피라미드 모양처럼 생긴 큰 장비는 AFM, 원자 힘 현미경이야.
G : 오오오오!!! AFM이다!
M : 오, 그러네? 신기하다. 이거 논문에서 나왔던 거잖아. 이렇게 큰 거였구나. 쌤 우리가 이거 직접 사용할 수 있는 거죠??
교사: 응. 너희가 어떤 실험 주제를 잡느냐에 따라 다르긴 하겠지만 작동법을 익히고 나서는 너희가 직접 사용할 수 있어. 그리고 이거 저번에도 한번 설명 들었었잖아. 너희들 처음 본 것처럼 얘기한다?
M : 아, 그땐 처음본거라.. 사실 그냥 지나친 부분도 있었고.....
L : SEM도 있어요?? 여기 실험실에? AFM, SEM 둘 다 사용해보면 좋겠다.

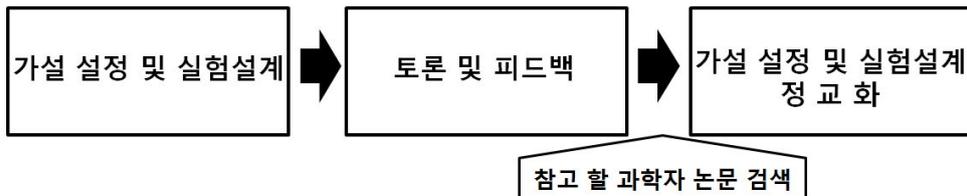
실험실의 장비들 중 학생들은 원자 힘 현미경 (AFM, Atomic Force Microscope)에 특히 많은 관심을 보였다. 과학자 논문을 공부하기 전에도 실험실 장비에 대해 소개를 했었는데 그때는 볼 수 없었던 AFM에 대한 관심이었다. 이는 앞서 공부한 논문 중 AFM을 이용하여 실험한 논문들을 봤던 것에 기인한 것으로, 학생들은 논문에서 봤던 장비를 직접 보고 사용할 수 있다는 것에 신기해하였다. 그리고 학생들은 공부했던 논문 중 AFM과 SEM으로 시료를 찍어서 차이점을 나타낸 논문을

떠올리며 SEM 장비도 사용할 수 있는지 적극적으로 관심을 나타냈다. 과학자의 논문을 통해 학생들은 실험 장비들을 간접적으로 접하며 익혔고, 논문에서 보았던 실험 장비를 직접 보았을 때 친숙해 했으며 많은 관심과 열정을 드러냈다.

4.2.3 실험 주제 선정

“아주 적절한 시기에 문을 열어주는 사람이 없어서 자신의 재능과 자기 달성(self-fulfillment)이 잠자고 있는 경우가 얼마나 많겠는가?” 와 같이 표현하며 Schatz(2000)는 사사교육의 중요성을 강조했다. 특히 과학 분야에서는 경험이 많은 전문가의 안내와 지원이 매우 중요한 것으로 지적되어 왔다. (Feldman, 2007) 우리나라도 최근 과학영재교육과 관련하여 사사 교육을 강조하면서 앞으로 계속 확대해 나갈 것을 기획하고 있다. 이렇게 사사 프로그램의 중요성이 커지면서 사사 프로그램의 효과에 대한 연구도 증가했는데, 실제로 사사 프로그램을 체험한 과학 영재들의 프로그램에 대한 효과 인식 연구에서 과학 영재 학생들은 전문 과학지식의 습득, 과학자의 생활과 자세에 대한 이해, 과학에 대한 흥미, 과학적 탐구 방법 등에 대하여 긍정적인 인식을 나타냈다. (김경대, 2008; 윤희숙, 2007) 이렇듯 사사 프로그램의 긍정적인 역할과 기대가 있는 반면, 과학 영재들은 사사 교육 과정에서 가장 어려웠던 점으로 난이도가 높은 연구주제를 꼽았다. (최용석, 2006) 또한 사사 프로그램의 연구 주제가 지도 교수나 교사에 의해 정해지고 학생들은 그저 통보를 받기에 연구주제의 선정 과정에서 학생들이 배제되는 경우가 많으며, 이런 수준 높은 연구 주제에 의해 학생들의 능동적인 참여가 이루어졌는지 회의적이라는 연구도 있다. (김명환, 2003; 지명근, 2005; 강성주, 2009) 사사 프로그램의 연구 주제 선정은 탐구 실험의 가장 중요한 출발점임에도 불구하고 학생들의 의지와 상관없이 결정되는 경우가 많다. 이런 방식은 학생들의 연구하고자 하는 열정과 흥미까지도 저하시킬 수 있기에 연구 주제를 선

정할 때 학생들 주도로 진행하는 것이 중요하다. 그렇지만 아무리 과학 영재들이라도 과학자의 실제 연구에 대한 경험이 없는 것은 사실이고 그래서 과학 탐구 과정 중 연구 주제 선정 하는 것을 많이 어려워하기도 한다. (Germann, 1996; Swatton, 1992; 이해원, 2005) 그렇기에 학생들 주도로 실험 주제를 선정하되 교사가 개입하면서 진행상황을 살펴주고 적절한 조언을 하여 방향을 잡아주는 것이 필요하다. (강성주, 2009; 윤기상, 2010) 그래서 과학자 논문을 공부한 후 실험 가설을 설정할 때, 학생들의 사고 수준과 실험실 여건 및 활용 가능한 장비를 고려하여 실험을 구현할 수 있을 만한 연구 주제를 선정할 수 있도록 교사는 학생들의 토론 과정에 개입하면서 적절한 피드백을 주었다. 탐구 실험 소재인 머리카락과 관련된 과학자 논문을 공부한 후 학생들은 탐구 실험 가설을 다시 작성했고 그 후 교사와 함께 토론과 피드백 과정을 거쳤다. 그리고 나서 여러 개의 가설 중 탐구 실험을 진행할 최종 가설을 선정하고 실험 가설과 설계를 정교화 하였다. 진행 과정은 [그림 IV-1]과 같다.



[그림 IV-1] 과학자 논문 공부 후 가설 설정 진행 과정.

1) 가설 설정 및 실험 설계

프로그램을 적용하여 과학자 논문을 공부한 후, 앞서서 학생들이 실험 가설 및 계획안을 작성한 것처럼 다시 한 번 작성하도록 하였다. 다시 두 번째 작성할 때 실험 가설 및 계획안에는 1) 실험 가설, 2) 실험 가설 선정 이유, 3) 실험 설계, 4) 실험 가설 뒷받침 근거와 근거의 출처에 대해 작성하도록 하였다. 그리고 실험 전 아이디어를 모으는 단계이기는 하나 실험 가능성을 고려해야 하기에 양과 질을 함께 생각하여 실험 가

설 작성하기를 제안하였다. 작성한 가설들을 보면, 머리카락 구조를 정형화 시킨 논문을 통해서 큐티클의 각도를 손상의 한 척도로 실험할 수 있음을 알고 변인으로 도입하거나, 공부한 논문들 중 여러 작용들에 의한 큐티클의 손상 정도를 큐티클 이미지와 거칠기로 나타낼 수 있음을 배워 가설 설정 시 도입함을 볼 수 있다. 프로그램 적용 후 학생들이 작성한 실험 가설은 [표 IV-2] 와 같다.

-
- 머리카락의 온도가 높아질수록 큐티클 층이 거칠어질 것이다.
 - 버블비 같은 폼 염색제를 사용하면 일반 염색약을 사용했을 때 보다 머리카락 표면 큐티클 각도가 작을 것이다.
 - 탈색후 봉숭아물을 들인 것과 탈색후 일반 염색에 있어서 공포생성의 차이가 있고, 봉숭아물이 더 공포가 많을 것이다
 - 종이 과마를 했을 시 일반 과마에 비해 머리카락의 표면 마찰력이 작을 것이다
 - 물속에서의 머리카락의 수분 흡수량 변화는 공포의 생성에 의한 것이 큐티클이 벌어진 것보다 요인이 클 것이다.
 - 조작성 가하지 않은 아시아인(한국인)의 머리카락을 직모, 곱슬(반지름 3cm이하), 반곱슬(반지름 5cm이상)로 나뉘었을 때 곱슬거릴수록 신장길이 가 길어질 것이다.
 - 왁스, 무스, 젤을 이용하면 머리카락의 표면 거칠기가 커질 것이다.
-

[표 IV-2] 프로그램 적용 후 설정한 실험 가설

프로그램을 적용하기 전과 후에 학생들이 작성한 실험 가설에서 나타난 변화를 비교해보면 [표 IV-3], [표 IV-4] 와 같다.

프로그램 적용 후 학생들이 실험 가설을 작성할 때 크게 두 가지의 변화가 나타났다.

<p>프로그램 적용 전</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 머리카락은 <u>저온보다 고온</u>에서 많이 <u>손상 될 것이다.</u> ■ 머리카락은 고대기로 가열하는 것이 헤어드라이어로 가열하는 것보다 많이 <u>손상될 것이다.</u> ■ 염색, 파마, 탈색으로 인해 머리카락은 <u>상할 것이다.</u>
<p>프로그램 적용 후</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 머리카락의 <u>온도가 높아질수록 큐티클 층이 거칠어질 것이다.</u> ■ 버블비 같은 폼 염색제를 사용하면 일반 염색약을 사용했을 때 <u>보다 머리카락 표면 큐티클 각도가 작을 것이다.</u> ■ 조작성 가하지 않은 아시아인(한국인)의 머리카락을 직모, 곱슬(반지름 3cm이하), 반곱슬(반지름 5cm이상)로 나눴을 때 <u>곱슬거릴수록 신장길이가 길어질 것이다.</u>

[표 IV-3] 프로그램 적용 전과 후의 실험 가설 변인 설정의 변화

첫째, 실험 가설 설정 시 좀 더 전문적인 용어를 사용하면서 구체적으로 변인을 나타냈고, 단순 나열을 넘어서서 조작 변인과 종속 변인의 유기적 관계를 생각하며 변인들을 방향성 있게 제시하였다.

실험 가설을 설정할 때 가설 안에서 변인에 대해 얼마나 잘 나타내지는 중요하다. 변인 사이의 관계에 기반을 둔 연구는 좋은 연구의 형태로, 조작 변인과 종속 변인이 실험 가설 안에 구체적으로, 실험 가능한 형태로 표현 될수록 어떤 데이터를 찾아야 하는지를 보여줌으로써 실험할 때 주요 목적을 생각할 수 있게 한다. 즉, 변인을 잘 나타낼수록 1) 실험을 할 때 무엇을 관측해야할지 알고 2) 무엇을 변화시키며 실험을 해야 할지 알며 3) 실험하면서 가설의 진위 여부를 바로 확인할 수 있게 한다. (Peter Swatton, 1992) 학생들이 설정한 가설에서 변인의 변화를 살펴보면, 학생들은 프로그램 적용 전에는 머리카락에 어떤 작용을 하였을 때 머리카락이 “손상될 것이다.” “상할 것이다.” 와 같이 막연하게 표현을 했다. 그러나 프로그램 적용 후에는 “큐티클 층이 거칠어질 것이다.”

“보다 머리카락 표면 큐티클 각도가 작을 것이다.” “곱슬거릴수록 신장 길이가 길어질 것이다.” 와 같이 손상에 대한 정의를 내리면서 구체적으로 표현하였고, 자신들이 어떤 변화를 보고 싶은지를 좀 더 자세히 나타내면서 조작 변인과 종속 변인을 작성했다. 또한 “저온보다 고온” “머리카락은 고대기로 가열하는 것이 헤어드라이어로 가열하는 것 보다” 와 같이 애매하고 단순히 나타냈던 모습에서 “머리카락의 온도가 높아질수록 큐티클 층이 거칠어질 것이다.” 와 같이 조작 변인과 종속 변인을 좀 더 방향성 있게 제시하고자 하였다. 이는 과학자 논문을 공부하면서 작성하는 활동지 중에 이 논문을 쓴 과학자는 처음에 어떤 가설을 가지고 이 실험을 했을지 역으로 추정하여 실험 가설을 작성해보도록 하는 문제가 있었는데, 이 과정을 거치면서 변인에 대한 인식이 더욱 생길 수 있었다. 또한 ‘큐티클 층의 거칠기’ ‘큐티클 층의 각도’를 실험을 통해 확인하고자 하는 등 논문에서 봤었던 변인들을 기억해냈고 그것들을 통해서 자신들이 무엇을 실험할 수 있고, 손상에 관하여 어떤 것을 측정하고 봐야 하는지 아이디어를 얻었다. 그리고 이전과는 다르게 논문에서 보았던 ‘큐티클’ ‘공포’와 같은 전문적이고 구체적인 용어를 사용하는 모습도 나타났다.

G : 실험 결과가 있는 논문 봐도 가설 쓰는건 어려워요.. 이걸 역으로 추정하는 거잖아요..

교사: 응. 실험을 보고 이 사람은 무슨 가설을 세웠을까.. 생각해보는거지 여태까지 한것 보면 잘 쓴것도 있는데 그런건 어떻게 쓸 수 있었니?

J : 그래프랑..

교사: 그래프?

J : 실험한거... 그래프랑.. 표같은거..

L : 그러니까요..가설이 뭐였다 주어지는게 아니잖아요 안에 들어가있잖아요.. 그것만 뽑기도 좀 그렇고.. 그런게 좀 있어요

교사: 그러면 그동안 찾은건 어떻게 찾았어?

L : 그래프. 그래프 같은거 자료 보려면 x축 y축 나오잖아요. x축이 이렇게 바뀔 때 y축이 이렇게 변했다.. x축 y축에 대한거 찾으면 가설을 쓸 수 있더라구요.

과학자가 ‘어떤 가설을 토대로 실험을 했을까?’ 논문을 보면서 어떻게 역으로 추정하였는지 학생들에게 질문했을 때, 일단 학생들은 논문에서 ‘이것이 가설이다’ 하고 주어지는 것이 아니라 속에 숨어 있기 때문에 가설 찾는 것이 쉽지 않았다고 하였다. 그래도 가설을 역으로 생각할 수 있었던 것은 실험 결과를 한 눈에 보기 쉽게 제시한 그래프 때문 이었다고 했다. 그래프의 X축을 보면서 조작 변인이 무엇인지 파악하고 Y축을 보면서는 종속 변인이 무엇인지를 알아냈다. 그리고 조작 변인과 종속 변인을 단순히 알아내는 것에서 그치지 않고 X축에서의 조작 변인이 증가할 때 Y축에서 종속 변인이 어떻게 대응 되는지를 보면서 조작 변인과 종속 변인 사이의 연관성에 대해 생각하였다. 이런 과정을 거치면서 가설 속에서 변인을 구체적으로 제시할 뿐만 아니라 방향성 있게 나타낼 수 있었다. 논문 속의 데이터나 그래프는 시각적이면서도 집약된 단순한 형태로 결과를 제시함으로써 학생들로 하여금 보다 편하게 결과를 볼 수 있게 하였고, 그 결과 속에서 변인들을 쉽게 파악하게끔 도왔다. 결과적으로, 논문은 학생들에게 무엇을 측정해야 할지에 대한 아이디어를 줄 뿐만 아니라 자신들이 실험하고 싶은 변인들을 좀 더 구체적으로 설정하게끔 도움을 주었다. 그러나 학생들은 여전히 가설 설정하는 것을 어려워했고 효율적인 탐구 주제를 선정하는 데에 시간이 걸렸다.

둘째, 설정한 가설을 뒷받침 하는 근거의 출처가 자신의 내부적인 생각에서 외부의 신뢰할 수 있는 자료로 옮겨졌고, 타당한 근거에 기반을 두려는 모습을 보였다.

이전에 학생들은 자기가 생각했을 때 웬지 그럴 것 같다, 그렇게 되지 않을까? 하는 막연한 생각으로, 자신이 궁금했던 것을 단순히 가설로 적었다. 외부의 자료보다는 자신의 경험이나 생각 속에서 가설을 도출했다. 간혹 외부 자료를 참고한다 하더라도 자신이 평소에 이용하던 유명 포털 사이트에서 검색했고, 검색하는 것도 이전에 진행된 연구를 검색하는 것이 아니라 머리카락의 구조와 같은 단순한 정보를 검색하는 것에 그쳤다. 그리고 이렇게 검색한 지식에 대해 어느 정도 믿을 수 있는 것인가

에 대한 고민 없이 그냥 수용하는 모습이였다. 과학자 논문을 공부한 후 학생들은 가설을 뒷받침 하는 근거의 출처에 대해 좀 더 신중해졌고 가설을 설정하기 위해 참고 자료를 찾으려했다. 그 예로, “탈색으로 머리카락 표면 큐티클이 떨어지고 거칠기가 거칠어지는 논문을 봤는데, 전 염색 시간이나 농도에 따라 한번 해보고 싶기도 하거든요. 혹시 이런 부분에 관련된 논문이 있을까요?” 하는 질문을 하는 등 외부로부터 정보를 찾아보려는 적극성을 보였다. 그리고 자신들이 참고하고 있는 자료가 신뢰할 만한 출처인지를 고민하였다. 이는 논문의 형식 상 맨 뒤에 항상 따라 오는 참고 문헌들을 보면서 단순히 머릿속에서 아이디어가 나와서 실험을 하는 것이 아니라 연구가 진행되기까지 그 전에 여러 연구들을 보고 참고하고 공부해야 한다는 것을 학생들은 몸으로 익혔다. 그러면서 학생들은 이전에는 인식하지 못했던 참고 문헌이라는 것에 대해 생각할 수 있는 계기를 가진 것으로 보인다. 프로그램 적용 전과 적용 후 학생들이 작성한 실험 가설 뒷받침 근거의 출처들은 [표 IV-4]와 같다.

<p>프로그램 적용 전</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 추측 ■ 나의 경험에서 나왔다. ■ 머리카락은 단백질이므로 열에 약할 것이다. ■ 상식 ■ 음 아직 못찾았음
<p>프로그램 적용 후</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 논문에서 머리의 색을 결정짓는 것이 피질에 있다 해서.. ■ 머리카락의 무게가 온도에 따라 달라지는 것.. (논문) ■ Hair a unique physicochemical composition (논문) ■ 버블비 안내서

[표 IV-4] 프로그램 적용 전과 후의 실험 가설 근거 출처의 변화

프로그램 적용 후 학생들이 실험 설계를 작성할 때 역시 변화가 나타났다. 첫째, 학생들은 막연하고 짧게 실험을 설계했던 이전 모습과 다르게 매우 구체적으로 실험을 설계했다. 1) 정확한 숫자를 사용하여 표현했고, 2) 사용할 장비를 언급하며 어떻게 조작할 지를 나타냈으며, 3) 조작해야

할 변인을 제시했다. 둘째로는 ‘머리카락에 문지르는 것을 일정한 강도로, 모든 문지르는 과정을 똑같이 하기 위해’ 와 같은 말을 하면서 실험의 재현성에 대해 고려하는 모습을 보였다. 셋째, 한 번의 실험으로 일반화 시키는 것이 아니라 여러 번 실험해서 측정해야 함을 인식하면서 실험의 일반화에 대한 생각도 보였다. 프로그램 적용 전과 후의 실험 설계 변화 모습은 [표 IV-5]에 제시하였다.

<p>프로그램 적용 전</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ 여러사람의 곳곳의 털을 수집하고 AFM으로 굵어서 관찰해 본다 ■ 생머리를 탈색하며 강도를 측정한다 ■ 생머리의 머리카락을 일정시간 동안 염색 약, 과마, 탈색 약에 담그고 AFM으로 관찰한다 ■ 서양인과 동양인의 머리 밀도를 비교 해 보면 될 것 같다.
<p>프로그램 적용 후</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 80%;"> <ul style="list-style-type: none"> ■ 같은 사람의 머리카락을 열 가닥을 준비하고 5개는 버블비 5개는 일반염색으로 염색한다. 손으로 문지를 때는 모근에서 뿌리 쪽으로 버블비와 일반염색 모두 문질러준다. ■ 같은 사람의 머리카락 5개는 탈색 후 봉숭아 물을 5개는 탈색 후 일반 염색을 한다. 5개는 봉숭아 물을 일반적으로 들이는 시간인 6시간을 담그고, 5개는 일반 염색시간인 한 시간 동안 처리한다 <p>공포 확인방법</p> <p>1.머리카락을 반으로 잘라 잘린 단면을 AFM 으로 측정한다 2.머리카락 끝에 용수철 저울을 달아 같은 힘으로 당기다가 끊어지는 순간의 힘을 측정한다 3.수분을 달리했을 때 머리카락의 무게 변화를 확인한다. 이 방법으로 할 때는 30가닥씩 한번에 잰다</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ 머리카락을 두 몽치로 나눠서 한 쪽은 탈색시간을 짧게 해 표면만 영향을 받게 하고 한 쪽은 시간을 길게 한 다음 트리트먼트를 해서 큐티클을 회복시킨다.(전 논문에서 트리 </div> <div style="width: 15%; text-align: center; vertical-align: middle;"> <p>구체적인 설계</p> </div> </div>

<p>트먼트를 해도 머리카락은 물을 흡수함) 같은 시간 동안 머리카락을 물에 담근 후 수건으로 잘 말려서 무게의 변화를 비교한다.</p>	
<p>■ 머리카락에 문지르는 것을 일정한 강도로, 모든 문지르는 과정을 똑같이 하기 위해 집게에 스펀지를 달고 고정시킨 후 집게발 사이에 머리카락을 넣고 같은 속도로 문지른다.</p> <p>■ G: 매번 같은 크기의 힘으로 해야 할 텐데.. 어떻게 그렇게 할 수 있을까? L: 일정한 크기의 종이로 머리카락의 감은 횟수를 같게 하고, 고무줄로 일정하게 묶어서 같은 힘을 가해주면 되지 않을까?</p> <p>■ L: 논문에서는 머리카락 장력 측정 장치에 머리카락을 장착해서 실험했네.. 우리는 그런 장비가 없는데.. 어떻게 측정하면 좋지 그럼? 여러 번 반복해도 똑같이 나올 수 있게 힘을 줄 수 있는 방법은 없나? J: 음.. 머리카락을 수평으로 놓고 한쪽에 용수철 저울로 당겨서 무게를 재는 건 어떨까? L: 근데 웬지 머리카락이 끊어질 때 필요한 힘이 그렇게 크게 차이가 나진 않을 것 같거든.. 그러면.. 용수철 저울로 그 미세한 힘을 측정할 수 있을까?</p>	<p>재현성에 대한 고려</p>
<p>■ 머리카락이 흰 부분의 반지름으로 머리카락을 분류한 다음에 물에 담귀 놓은 후 100개 정도를 한쪽에 고정된 후 다른 쪽에 실을 묶고 모터를 이용해 늘린 후에 늘어난 길이를 비교한다.</p> <p>■ 머리카락을 직모, 곱슬, 반곱슬로 나눠 잡아당겨 장력을 측정하고 반복하여 평균값을 구한다.</p>	<p>실험의 일반화</p>

[표 IV-5] 프로그램 적용 전과 후의 실험 설계 변화

2) 가설 설정 및 실험 설계 정교화

과학자 논문을 공부한 후 작성한 가설들 역시 실험하기에는 보완할 필요가 있었다. 학생들은 토론을 통해서 실험 가치가 있고 실험 가능성이 있는 가설을 하나 선정하였고 그 가설을 정교화 하는 과정을 거쳤다. 학생들이 선정한 가설은 G 학생이 제시한 ‘**머리카락의 온도가 높아질수록 큐티클 층이 거칠어질 것이다.**’ 였다. 이 가설을 처음 생각한 계기는 평소에 사용하던 헤어 드라이기와 고데기에 의한 열에 의해 머리카락이 손상되지 않을까 하는 의문에서 출발하였다. 그리고 자신이 공부한 과학자 논문들을 토대로 큐티클 층의 거칠기가 손상의 지표가 됨을 배워서 열에 의한 손상을 확인하는 종속 변인으로 선택하였다. 그리고 조작 변인으로는 온도를 증가시키면서 확인하고자 하였다. 학생들은 이 실험 가설을 가지고 좀 더 정교화하기 위해 토론을 하였다. 그동안 공부한 논문은 머리카락과 관련된 논문 이었지만 주로 화학적 손상에 의한 머리카락의 물리적 변화나 수분과 관련된 머리카락의 특징 위주여서 온도와 머리카락 관련된 논문은 접할 기회가 없었다. 그래서 학생들은 토론을 하면서 머리카락과 온도 관련된 논문을 찾아야 할 필요성에 대하여 이야기 했고 검색하여 참고할 만한 논문을 찾았다. 실험 가설과 설계를 정교화 하기 위하여 추가로 검색하여 참고한 논문 목록과 참고한 내용은 [표 IV-6]에 제시하였다.

- | | |
|----|---|
| L | : 일단 실험 주제가 뭐냐면 온도의 영향을 보는거잖아. 손상이 될거 같은데.. <u>손상을 뭘로 정의를 해야하지? 뭘 보지?</u> |
| G | : 수분흡수정도? 아니면 <u>저번에 논문에서 봤던 큐티클 각도? 온도 관련된 논문이 있지 않을까?</u> |
| 교사 | : 머리카락에 가해지는 온도 범위는 어떻게 하면 좋을까? |
| L | : 우리가 일상생활에서 사용하는 드라이기 온도 범위로 하면 좋지 않을까요? 실제 영향도 확인하고... |
| G | : <u>그것도 논문을 좀 더 찾아보면 참고할 수 있을 거 같아요 다른 사람이 실험한 온도 보면.....</u> |

1	논문	YoonheeLee(2011) hair shaft damage from heat and drying time of hair dryer, Ann Dermatol., Vol. 23, No. 4
	참고내용	헤어드라이기 거리가 (5, 10, 15cm) 머리카락에 미치는 영향 1) SEM, TEM으로 온도에 따른 머리카락 표면 변화 비교 관찰 2) 온도 증가에 따른 머리카락 내 수분 함량 변화 3) 헤어 드라이기 온도는 5, 10, 15 cm 거리에 따라 각각 47, 61, 95℃ 정도 됨
2	논문	장병수 (2003) 미용을 위한 일상적인 열처리에 의해서 손상된 모발의 미세구조, 한국전자현미경학회지 제33권 제3호
	참고내용	1) 헤어 드라이기 온도 거리에 따라 온도 차이가 있지만 일반적으로 평균 40℃ ~ 70℃ 2) SEM, TEM으로 머리카락 표면 관찰. 열이 지속될수록 큐티클이 탈락되어 피질 노출, 피질 속 멜라닌도 관찰됨. 열에 의한 손상으로 큐티클 층이 들떠서 거친 모양으로 나타남.
3	논문	윤선아 (2008) 직열식 퍼머넌트 웨이브시 가열시간과 온도에 따른 모발의 손상 및 웨이브 형태 비교 연구, 호남 대학교 석사논문
	참고내용	1) 퍼머넌트의 효과가 개입되었지만 그 안에서 온도와 시간 변화에 따른 큐티클의 표면 변화에 주목 2) 샘플 채취 시 손상이 가장 덜 된 두피로부터 15cm 해당되는 부분 사용 3) 표면 손상 SEM으로 확인, 인장강도 측정 <1> 100℃ 로 일정하게 두고 10, 15, 20, 25 가열시간 변화시킴 <2> 10분간 가열시간 일정하게 두고 80, 90, 100, 110℃ <3> 15분간 가열시간 일정하게 두고 80, 90, 100, 110℃

[표 IV-6] 실험 가설과 설계를 정교화 하기 위하여 참고한 머리카락과 온도 관련된 논문 목록과 참고 내용

실험 주제를 구체화하기 위해 토론할 때, 학생들은 논문을 공부하면서 배웠던 것을 떠올렸고 1) 연구를 위한 기본 배경지식으로 논문을 활용하였다. 그리고 공부했던 논문 중 머리카락의 손상 정도의 확인을 위해

서 측정했던 지표들을 기억하면서 2) 선행 연구에 대한 인식과 연관성, 과학적 탐구의 연속성에 대해 인식하는 모습을 보였다. 또한 머리카락과 온도 관련된 실험 가설을 세울 때 이전처럼 막연히 자신들의 머릿속에서 생각하는 것이 아니라 3) 논문을 검색하자는 제안을 하면서 과학자들의 세계에서 검증된, 믿을만한 출처인 논문을 근거로 하여 실험하려 하였다. 그리고 4) 손상에 대한 실험 가설의 변인을 설정할 때 좀 더 구체적으로 자신들이 측정하고자 하는 것을 나타내려 하였다. L 학생 같은 경우에는 “일상생활에서 사용하는 드라이기 온도 범위로 하면 좋지 않을까요? 실제 영향도 확인하고...” 라고 말하면서 헤어 드라이기를 사용하는 실제 상황에 맞추어 실험하면서 실험 가치성을 높이려 하는 모습도 보였다.

G	: 근데.. 이게 영어라서 좀 더 믿을만 해보여
교사	: 영어면 왜 믿을만 해 보이니?
G	: 어... 영어로 했다는건 왠지 많은 사람들이 볼 테니까.. 음.. 더 잘 하지 않았을까요?
L	: 근데 영어 논문 보니까 <u>올해 나온거야 올해꺼는 못봤었는데 신기하다</u>
교사	: 올해 나온거면 더 좋은거야?
L	: 그게요 당연히 <u>옛날꺼 보다는 올해 나온게 더 믿을만하지 않나..요..?</u>
교사	: 왜 그렇게 생각하는데?
L	: <u>옛날꺼는 바뀔 수 있으니까.. 최근꺼가 더 참고하기에 좋은 거 같아요</u>

머리카락과 온도 관련된 논문을 검색한 후 각자 읽을 시간을 가졌다. 그런 후 자신들이 읽은 것을 바탕으로 실험 가설을 정교화 하기 위하여 토론을 하였다. 토론하면서 보였던 특징은, 자신들이 검색하여 참고하고 있는 논문이 올해 게재된 논문임을 보면서 가장 최근에 나온 것일수록 참고할 만하다는 언급을 했고 1) 연구의 흐름을 살피고 최신 경향을 파악하려는 시도를 했다. 그리고 예전에 게재된 논문은 바뀔 수도 있으니 최근 것을 참고하는 것이 좋다 말하면서 2) 과학 지식의 유동성에 대해 인식하는 모습도 나타냈다.

G : 논문 SEM 사진에서 보면은 온도가 높아지니까 큐티클 등에 상처가 점점 더 생기더라구.

L : 어 웬지 표면이 까칠까칠해 보여. 표면 거칠기가 거칠어질거 같애. 근데 이 사람은 거칠기를 숫자로 보게 실험한건 아니니까 해보면 좋을거 같은데... 그리고 이 사람은 SEM으로만 찍어봤으니까 AFM으로 찍어봐도 좋을거 같고.. 비교도 하고

실험 가설을 정교화 하는 데에 추가로 검색한 논문의 내용을 반영했다. YoonheeLee (2011) 논문에서 헤어 드라이기를 사용할 때 머리카락으로부터의 거리에 따라 온도가 달라지고, 온도가 증가함에 따라 큐티클 표면에 상처가 많아지는 SEM 이미지를 확인했다. 온도가 증가할 때 큐티클 표면에 생기는 상처가 증가하는 것을 보면서 학생들은 큐티클 표면의 거칠기가 거칠어 질 것이라고 생각했고 그것을 실험해보기로 결정했다. 또한 검색한 나머지 두 개의 논문에서도 온도가 증가함에 따라 머리카락 표면의 큐티클이 떨어져 나가거나 거칠어지는 모습을 SEM, TEM 이미지를 통해서 확인했다. 학생들은 이미지 상에서 보이는 거칠어진 느낌을 정말 거칠어지는지 수치화 하여 확인하자고 했고, 확인하는 방법으로는 AFM을 사용하여 큐티클 표면의 평균 거칠기 (Ra)를 측정하기로 했다. 그리고 AFM으로 머리카락을 찍으면서 표면 이미지까지 동시에 보고, 논문에서 봤던 SEM에서의 이미지와 어떻게 다른지 비교하자고 결정했다. 실험 가설을 구체화 시키면서 학생들이 보인 특징을 정리하면 1) 과학자들의 세계에서 검증된, 믿을만한 출처인 논문을 배경지식으로 활용하며, 2) 선행 연구를 인식하고 참고하여 연구를 발전시키려 하면서 연구의 연속성에 대한 태도를 보였다. 학생들이 정리한 실험 가설은 [표 IV-7] 과 같다.

온도에 따른 머리카락의;

- 1) 이미지를 통해 큐티클 끝의 모양 변화 관찰
⇒ 온도가 증가함에 따라 큐티클 끝의 톱니 개수가 더 늘어날 것이다.
- 2) 거칠기를 통해 큐티클 표면의 평균 거칠기 (Ra) 변화 관찰
⇒ 온도가 증가함에 따라 큐티클 표면의 평균 거칠기 (Ra)가 거칠어질 것이다.
- 3) 선 프로파일을 통한 큐티클의 각도 변화 관찰
⇒ 온도가 증가함에 따라 선 프로파일의 큐티클 각도가 커질 것이다.

[표 IV-7] 추가 검색한 논문들을 참고하여 구체화 한 실험 가설

4.2.4 실험 설계

온도에 따른 머리카락의 손상 정도를 확인하는 실험으로 주제를 잡았고 손상을 확인하는 지표로는 1) 큐티클 이미지의 변화, 2) 큐티클 표면의 평균 거칠기(Ra)의 변화, 3) 큐티클의 각도 변화를 보는 것으로 정했다. 그리고 실험 가설을 진행하기 위하여 학생들은 토론을 통해서 실험 설계를 구체화 하였다. 먼저 학생들은 실험 설계 시 무엇을 고려해야할지에 대해서 크게 세 가지 고려사항 1) 측정할 온도의 범위와 간격 정하기, 2) 머리카락의 샘플 수와 측정횟수 정하기, 3) 머리카락의 측정 위치와 측정 면적 크기 정하기를 토론을 통하여 도출해냈다.

실험 설계 시 토론 진행 과정을 통해서 학생들에게 보였던 가장 두드러진 특징은 자신이 하는 말의 근거를 믿을만한 출처에 두려 한다는 점이다. 학생들은 매우 자주 논문에 대해 언급을 하면서 1) 논문을 참고했고 논문을 배경지식으로 활용하였다. 활용하는 방식으로는 (1) 기존 연구된 **실험 논문의 결과**를 실험 설계하는 데에 반영시켜서 진행하거나, (2) 기존 연구된 **실험 논문의 결과**를 **비교**하고 더 나은 방법을 수용하여 실험 설계에 반영하는 등 선행 연구 결과를 비교하고 참고하여 더 나은 방법으로 연구를 발전시키고자 하였다.

토론 전사	특징
<p>1. 실험 온도</p> <p>교사: 머리카락에 가해지는 온도 범위는 어떻게 하면 좋을까?</p> <p>L : 우리가 일상생활에서 사용하는 드라이기 온도 범위로 하면 좋지 않을까요? 실제 영향도 확인하고...</p> <p>G : 그거도 <u>논문을 좀 더 찾아보면 참고할 수 있을 거 같아요</u> 다른 사람이 실험한 온도 보면... <u>참고한 논문들 보니까 헤어드라이기 온도가 보통 40도~100도 사이인거 같아요</u></p> <p>L : 일반적으로 사용하는 고데기가 130도에서 200까지 있고요 헤어드라이기가 냉풍이 30도 약이 70도 강이 100도 되요.</p> <p>-----</p> <p>교사: 각 온도별로? 10분동안씩? 그렇게 정한이유는?</p> <p>G : <u>논문에서 10분하고 15분 해봤는데, 15분 했을 때 조금 많이 손상된게 보여서.. 그래서.. 손상 전 10분이 딱 적당한 것 같아요</u></p> <p>교사: L 은? 1분이라고 한 이유는? 1분에서 효과를 볼 수 있을까?</p> <p>L : 근데.. 머리 말릴때요 10분동안 말리는 건 아니잖아요 한곳만.. 실제로는 드라이기를 그렇게 오래 사용하지 않으니까 1분정도로 해서 드라이기로 말릴 때의 실제 영향을 보면 좋을거 같아요</p> <p>-----</p> <p>G : 머리카락을 다 나눠서 온도별로 따로 해요</p> <p>교사: 각 온도별로 다 따로따로? 머리카락 한 개로 30도, 40도, 50도, 이렇게 온도 증가시키면서 안하고? 왜 온도별로 머리카락 샘플을 따로 하려고해?</p> <p>G : 머리카락 하나 가지고 하면은.. 단백질도 있잖아요 머리카락에~ 그래서 온도에 민감한데... 일단은 만약에 한 머리카락으로 온도를 점점 높여가면은 <u>온도의 영향 뿐만이 아니라 시간의 영향도 겹치게 되</u></p>	<p>논문 참고, 논문을 배경지식으로 활용</p> <p>논문을 배경지식으로 활용, 기존 연구된 실험 논문의 결과를 실험 설계하는 데에 반영시켜서 진행</p>

<p><u>니까</u> 어.. 만약 30도에서 1분 놔두고 40도에서 영향을 본다고 또 1분 놔두면은 30도에서의 영향이 추가 된거로 우리가 실험을 하게 되니까... <u>온도만의 영향을 보려면 각 온도별로 머리카락을 놓고 실험하는게 좋을거 같아요. 통제를 잘해야 보고싶은 영향만 볼수 있고 나중에 논문에서 본 그래프처럼 x축 y축을 명확히 나타낼 수도 있구...</u></p> <p>-----</p> <p>교사: 너희 둘다 10도 간격을 했으면 좋겠다고 정했네? G : <u>이 논문 보니까</u> 드라이기 거리를 변화시켰는데 머리카락으로부터 5, 10, 15cm 멀어지게 했더라고요. 그러니까 온도는 47, 61, 95도가 되구요. 근데 실험한 온도가 세 개밖에 안되서 너무 적은거 같고.. 전 10도 간격으로 해보고 싶어요 교사: 간격을 더 좁혀서 측정하는 온도를 많이 하면 더 좋을까? J : <u>이 논문에선 10도 간격으로 하더라고요. 아무래도.. 간격을 작게해서 자주 하니까 좀 더 미세한 변화를 관찰할 수도 있는거 같아요.</u> 나중에 그래프를 그린다고도 <u>x축이 세 개 있는 것 보다는 10개 있는게 더 믿을만하고 안정감 있을 것 같고</u> G : 근데 만약에 30도하고 40도 했는데 30도랑 40도랑 별로 차이가 안보일 수도 있을거 같은데.. 그러면 어떻게하지? 실험 해보고 간격을 바꾸냐? 15도 20도 차이로? L : 일단 해보면 되지. <u>해보고 차이가 별로 안 나면 조정 하던지 하자.</u> 일단 해봐야지 알거같은데.. 교사: 학교에서 실험할 때랑은 좀 다르지? J : 네.. 우리가 설계부터 하니까 지금 우리가 한게 좋게 나올지 잘 모르겠어요.. L : <u>예비실험을 하면서 조금씩 조정해 가면 좋을 것 같아요</u></p>	<p>조작 변인과 통제 변인 고려. 논문에서의 그래프 표현 인식.</p> <p>논문을 배경지식으로 활용, 기존 연구된 실험 논문의 결과를 비교하고 더 나은 방법을 수용하여 실험설계에 반영</p> <p>데이터의 신뢰도에 대한 고려.</p> <p>예비실험의 필요성 인식</p>
<p>2. 샘플 수</p>	

<p>L : AFM으로 머리카락 찍는게.. 계속 동일한 지점을 찍는게 필요할까?</p> <p>G : 조금..? 그래도 같은 지점을 찍으면 좋을거 같긴 한데..</p> <p>L : 정확히 같은 지점을 찍는건.. 많이 어려울거 같고 차라리 샘플 수를 늘린 다음에 나중에 평균을 내는게 낫지않나? <u>한 개만 하면 신뢰도도 너무 떨어지고.. 그리고.. 머리카락 수가 증가하면 오차막대도 어느정도 작아질 것 같고..</u> 그렇지만 그렇다고 너무 많으면.. 너무 많이 실험하고 AFM을 찍어야 하니까.. 적당한 개수를 정해서 해야할거같아</p> <p>J : 많이 찍으면 그래도 평균을 내니까 <u>어느정도 오차가 감소할거야.</u></p>	<p>오차에 대한 인식, 같은 조건에서 실험 결과 값이 항상 같지는 않을 수 있음을 인식, 오차를 줄이기 위한 방법으로 샘플 수를 많게 하자고 제안</p>
<p>3. 샘플 측정 위치와 측정 크기</p> <p>J : 어.. <u>뿌리쪽이 손상이 덜 되어있으니까 뿌리쪽에서 2cm정도의 길이</u>를 잡아가지고 실험을 하고 AFM을 찍어보면 될거같아요</p> <p>L : 응, <u>이번에 찾은 논문에서도 그렇게</u> 하더라. 머리카락 끝쪽 보다는 두피에 가까운 쪽이 손상이 제일 덜되었을 테니까..</p> <p>J : <u>여기선 (논문) 스캔 사이즈가 5μm\times5μm고 여기선 10μm\times10μm이잖아.</u> 근데 큐티클 한 개의 크기가 5~10μm니까 20μm\times10μm으로 하는건 어때? 직사각형으로 찍으면 길쭉한 머리카락 모양도 살리고 큐티클도 2~3개정도 보이지 않을까? 5μm\times5μm로 하면 한 개도 다 나오기 힘들어</p> <p>L : 응.. 그리고 머리카락 샘플을 한 사람꺼로 다 하자</p> <p>G : 그냥 한 사람걸로..</p> <p>교사: 한 사람꺼로 하는게 좋을 것 같아? 왜 그럴까?</p> <p>L : 최대한, 응.. 그래도 성질이 비슷할 거 아녜요. <u>온도에 의한 영향만 볼 수 있게... 처음 기본이 되는 샘플은 다 같은 사람꺼로 하는게 나아요</u></p>	<p>샘플에 대한 인식, 처음 손상에 대한 영향을 최소한으로.</p> <p>선행 연구 결과를 비교하고 참고하여 더 나은 방법으로 발전시키고자 함, 막연한 설계가 아니라 큐티클의 크기라던지 스캔 사이즈 등의 수치들을 들어가면서 구체적으로 설계 조작변인과 통제변인의 구분.</p>

■ 실험 설계 시 고려사항

1. 측정할 온도의 범위와 간격 정하기
□℃ ~□℃ □℃간격으로 □ 분 동안
2. 머리카락의 샘플 수와 측정횟수 정하기
3. 머리카락의 측정 위치와 측정 면적 크기 정하기

■ 실험 설계 구체화하기

1. 온도 정하기

: 실제 사용하는 헤어 드라이기 온도 참고

⇒ 머리카락과 헤어 드라이기 사이의 거리에 따라 달라지지만 냉풍에서 30℃, 평균 40℃ ~ 100℃

⇒ 논문에서도 확인하고 온도 범위와 온도 간격 결정

⇒ 상온 (24℃), 30℃~100℃ 까지, 10℃ 의 간격으로 5분간 가열

2. 샘플 수 정하기

: AFM으로 머리카락의 같은 위치를 정확히 찍는 것 어려움

⇒ AFM을 찍는 샘플 수를 많게 하여서 평균을 내어 일반화시킴. 샘플 수가 증가하면 기존 논문에서 봤던 그래프의 오차막대 줄일 수 있음.

⇒ 그렇지만 샘플 수가 너무 많으면 그만큼 AFM을 많이 찍어야 하니까 적당한 샘플 수를 정해야 함

⇒ 각 온도별 10개의 샘플

3. 샘플 측정 위치

: 논문 중 머리 뿌리 쪽으로부터 15cm의 길이를 사용하여 실험한 것 참고

⇒ 머리카락의 뿌리 쪽의 물리적 손상이 가장 적으므로 뿌리 쪽에서 1cm 를 AFM으로 확인. 20μm×10μm 스캔 사이즈.

[표 IV-8] 실험 설계 시 고려할 사항과 실험 설계 구체화하기

또한 2) 조작 변인과 통제 변인을 고려하고 구분하여 자신들이 보고자 하는 영향이 아닌 것은 확실히 통제해서 실험에 영향을 미치지 않도록 하려는 모습을 보였다. 3) 데이터의 신뢰도에 대해서도 고려하였는데, 논

문의 그래프를 통해서 보았던 오차 막대를 기억하면서 오차에 대해 인식했고 실험할 때 언제나 정확히 일치하는 실험 값이 나오지 않을 수 있음을 언급했다. 그리고 더 나아가 오차를 줄이기 위한 방법으로 샘플 수를 많게 하자고 제안하는 등 실험 결과 값에 대한 신뢰도를 생각했다. 4) 실험을 설계할 때 막연한 설계가 아니라 논문에서 봤던 큐티클의 크기라든지 스캔 사이즈 등의 수치들을 들어가면서 구체적으로 설계했다. 마지막으로 5) 예비실험의 필요성에 대해 언급하면서 기존에 매뉴얼을 따라가며 한 번에 성공하는 실험과는 달리, 실제 과학자들은 예비실험을 거치면서 많은 시도를 함을 인식하며 실제 과학자의 참 연구과정을 배우는 모습을 나타냈다. 토론을 통하여 학생들이 실험 수행 전 최종적으로 구체화 한 실험 설계는 [표 IV-8]와 같다.

4.2.5 실험 수행

1) 실험 진행

학생들은 자신들이 처음 설계한대로 실험을 진행하기 시작했고, 실험을 수행할 때 학생들에게서 세 가지의 특징을 보였다.

첫째, 조작변인과 통제변인에 대해 인식하며, 이 둘을 확실히 구분지어서 자신들이 보고자 하는 요인만 머리카락에 영향을 미치도록 하려 했다.

G :머리카락 씻을 때 아예 한 번에 다 해놓자. 그럼 같은 시간에 같은 방법으로 한거니 똑같은 조건에서 시작할 수 있잖아.

(중략)

G :이거 가열하고 다시 짚을 때 아무리 핀셋으로 조심스럽게 움직인다고 해도 머리카락 또 건드리면 안좋을거같은데..

J :머리카락 건드리지 말고 포스트잇 자체로 옮기고 가열하자 그럼 머리카락 가열만 되지 다른건 변하는거 없으니까

학생들은 실험을 설계할 때 참고했던 논문들을 보면서 조작 변인과 통제 변인을 구분하려는 모습을 보였는데, 변인들을 구분하려는 이런 모습은 실험 수행 때도 계속해서 보였다.

학생들은 염색이나 탈색 등 화학적인 기술을 받지 않은 머리카락을 사용했고, 머리카락 부위 중 물리적인 손상을 가장 덜 받은 두피 쪽 머리카락을 1cm로 잘랐다. 그리고 표면에 있을 수 있는 먼지를 제거하기 위하여 증류수로 세척한 후 자연건조 시켰다. 온도를 제외한 다른 어떤 것도 머리카락 샘플들 사이에 차이를 주지 않기 위해서 모든 기본 샘플들은 동일한 과정으로 세척했고 한 번에 같은 방법으로 준비하였다. 그리고 세척 후 손상을 최소화하기 위하여 핀셋을 사용하여 샬레에 보관하였다. 아무 처리를 하지 않은 머리카락 샘플의 큐티클을 24℃에서 AFM을 통해 20 μ m×10 μ m 크기로 관찰하였다. 상온에서의 큐티클 모양을 관찰한 후, 온도의 영향을 보기 위하여 100℃에서 5분간 가열했고 AFM을 통해 20 μ m×10 μ m 크기로 관찰하였다. 학생들은 100℃ 가열한 온도의 영향을 제외하고는 다른 어떤 영향도 주지 않기 위하여 24℃에서 머리카락 샘플에 최대한 손을 대지 않으려 했고, 방법을 생각한 것이 포스트잇 뒤의 끈적끈적한 면에 머리카락 샘플을 올려놓고 상온에서 관찰한 후 포스트잇 자체를 오븐에 넣어 100℃에서 5분간 가열하는 것이었다. 그렇게 함으로써 머리카락 샘플 자체를 건드리지 않고 온도 이외의 다른 차이점을 두지 않고, 샘플을 건드리면서 생길 수 있는 물리적 손상을 최소화 하려 했다. 학생들은 자신이 보고자 하는 조작변인과 그 외에 제한해야 할 통제변인을 구분하고 어떻게 해야 주요 영향 이외의 다른 것들을 통제할지 고민하며 철저히 제한하려 했다.

둘째, 공부한 논문들을 통해 머리카락마다 특성 차이가 날 수 있다는 것을 알았고, 그래서 여러 개 머리카락의 다양한 곳을 측정해서 실험 결과의 신뢰도를 높이고 일반화를 시키려 하였다.

학생들은 지금까지 참고한 논문을 보면 머리카락 표면이나 물리적 특성은 각 사람마다 다를 뿐 아니라 한 사람의 머리카락일 지라도 제각기 다

를 수 있음을 언급했다. 그리고 이런 것을 고려했을 때 한 샘플로 한번만 찍으면 안 되고 한 샘플에서 여러 군데 찍고 다른 샘플에서도 찍어 봐야 한다고 얘기했고, 학생들은 데이터 측정 횟수를 증가시키면서 실험을 일반화 시키려는 태도를 보였다.

L :이거 (머리카락 샘플) 하나에서도 여러부분 찍어보자 세군데? 다섯군데?

교사: 여러 곳 찍어보려고?

L :머리카락 어딜 보느냐에 따라서 결과가 많이 달라질수도 있을거 같아요.

교사: 왜 그렇게 생각해?

J :논문 봤을 때 그래프들 보니까 오차막대가 생각보다 꽤 컸어요. 그니까 어딜 보느냐에 따라서 차이가 생기겠죠. 사실 이렇게 편차 범위가 큰데 실험 논문으로 나온거 보고 좀 놀라기도..

셋째, 실험을 본격적으로 진행하기 전 예비실험을 함으로써 자신들이 세운 실험 설계를 진행해도 될지 실험 가능성을 미리 알아보았다.

G : 일단.. 어떻게 하면 좋을까? 상온에서부터 차례대로.. 24도 30도 40도 10도씩 온도 높여가면서 머리카락이 어떻게 되는지 볼까?

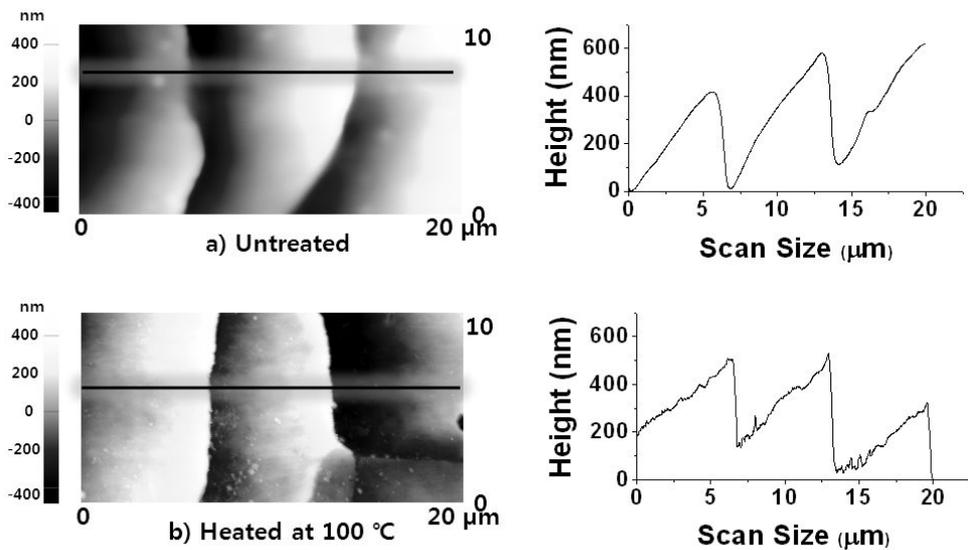
L : 근데 그렇게 차례대로 해보는거 보단 제일 강하게 한번 해보는게 낫지 않나? 아예 100도나 아님 더 높게 120도? 강하게 확 열을 가하고 상온에서랑 얼마나 차이가 나는지 보는게 더 낫거 같은데? 아, 이거 좀 아니다 싶으면 다시 온도를 낮춰가면서 하면 되고..

교사: 처음부터 차근차근 단계를 밟기 보다는 일단 최대치를 적용해보고 조정해 나가게 좋을 것 같아? 왜 그렇게 생각해?

J : 온도 범위나 간격을 정하는거랑 관련이 있는데 L 말대로 우리가 머리카락을 확 많이 손상시켜서 측정 불가능이 언제가 되는지 불가능한 시점을 먼저 빨리 파악하면 그 시점 전까지 실험을 하면 될거같고.. 그리고 지금 10도 간격으로 실험 한다고 정하긴 했는데 근데 만약에 30도와 40도 했는데 30도랑 40도랑 별로 차이가 안보일 수도 있을거 같아요. 그러면 실험을 해보고 차이를 보일 수 있게 온도 간격을 바꿔야할 것 같아요 15도 20도로? 차이가 많이 보이게. 그래서 일단 온도를 높게해서 측정해보는게 맞는거 같아요. 시간도 절약하고

실험을 시작하면서, 가열한 머리카락을 측정할 때 설계한대로 온도를 10도씩 높이면서 AFM을 통해 순차적으로 관찰하자고 G 학생이 제안했다. 거기에 L 학생은 온도를 증가시키면서 단계적으로 관찰하기 보다는 상온에서의 머리카락 표면과 자신들이 실험하고자 했던 온도 범위 중 가장 높은 온도인 100도 정도에서 가열한 머리카락의 표면을 먼저 비교해 보자고 했다. 그리고 학생들은 높은 온도로 가열했을 때와 아무 처리를 하지 않았을 때의 머리카락을 비교함으로써 손상의 차이가 가장 크게 났을 경우를 먼저 확인 한 후, 가열시킬 온도의 범위와 간격을 정하는 것이 시간도 절약하면서 효율적이라고 생각했다. 실험을 차근차근 수행하기에 앞서서 자신들이 설계한 실험이 유의미한 차이를 보이는지, 그래서 실험이 진행 가능할지를 예비 실험을 통해 먼저 확인하려는 모습을 보였다.

[그림 IV-2]은 상온에서와 100℃에서 5분간 가열했을 때 머리카락 큐티클의 차이를 보기 위해 학생들이 AFM으로 찍은 이미지와 큐티클 표면의 선 프로파일이다.



[그림 IV-2] 상온에서와 100℃에서 5분간 가열했을 시 큐티클 변화

2) 실험 설계 수정 및 실험 진행

학생들이 예상했던 것과는 달리 상온에서와 100℃에서 5분간 가열했을 때 큐티클 표면의 이미지는 큰 차이를 나타내지 않았다. 큐티클의 선 프로파일에서는 100℃에서 5분간 가열했을 때를 아무처리하지 않았을 때와 비교하면 큐티클 등쪽 부분 표면에 약간씩 톱니 모양의 모습이 보였지만 그 또한 두드러지게 차이를 나타내진 않았다. 결국 20 μ m×10 μ m 사이즈로 머리카락의 큐티클을 관찰했을 때 상온에서와 100℃에서 5분간 가열한 것 사이에 크게 눈에 띄는 차이는 없었다. 처음엔 기대했던 결과가 나오지 않은 것에 대해 받아들이지 않고 실험 과정 중 잘못이 있다고 생각했고 다시 실험을 하면 자신들이 예상했던 결과가 나올 것이라는 태도를 보였다. 하지만 여러 번 AFM을 찍고 계속해서 비슷한 결과를 얻은 학생들은 실험 과정 중 조작이나 측정의 문제가 아니라 실험 설계의 수정이 필요하다는 결론에 도달했고, 다시 한 번 선행 연구를 참고해야 하겠다 말하였다.

■ 온도에 따른 큐티클 표면 변화 관찰

- 1) AFM 이미지 크기 20 μ m×10 μ m에서 2 μ m×2 μ m로 줄여서 관찰
- 2) 24℃(상온)과 100℃에서 큰 차이 보이지 않아서 10℃ 온도간격 조정
=> 24, 40, 70, 100℃에서 관찰
- 3) 온도 변화에 따른 큐티클 간 각도의 변화에는 영향이 없을 것으로 추정되어 실험 설계에서 제외

■ 시간에 따른 큐티클 표면 거칠기 변화 관찰

- 1) AFM 이미지 크기 1 μ m×1 μ m로 관찰. 100도에선 너무 큰 손상 확인
=> 80℃에서 시간에 따라 변화 관찰 결정
- 2) 80℃에서 5분~30분까지 5분 간격으로 머리카락 가열 후 큐티클의 표면 거칠기 변화 관찰

[표 IV-9] 실험 설계 수정

L :우리가 저번에 찾았던거 이거 논문보면 드라이기로 온도 점점 높이니까 큐티클 층이 상하는데 사실 보면 큐티클 간에 변화보다는 큐티클 등에서 변화가 나타나는거 같거든.. 그렇게 안보이나? 등쪽에 점점 상처가 생기잖아 그러니까 이미지를 크게 보는거 보다 작게 해서 큐티클 등을 관찰 하는게 더 낫지 않나?

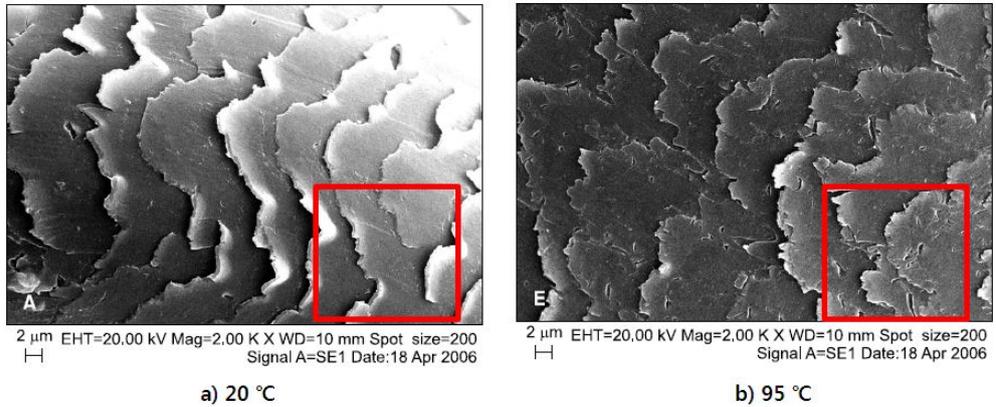
G :근데 얼마나 작게 해야 되?

J : 이거(논문) 보면 되지. 보니까 이만큼이 2 μ m라고 표시가 되있네. 우리도 2 μ m로 볼까? 아님 더 작게 봐도 되고. 1 μ m? 0.1 μ m? 일단 해보자 어떤거에서 차이가 잘 보이나.

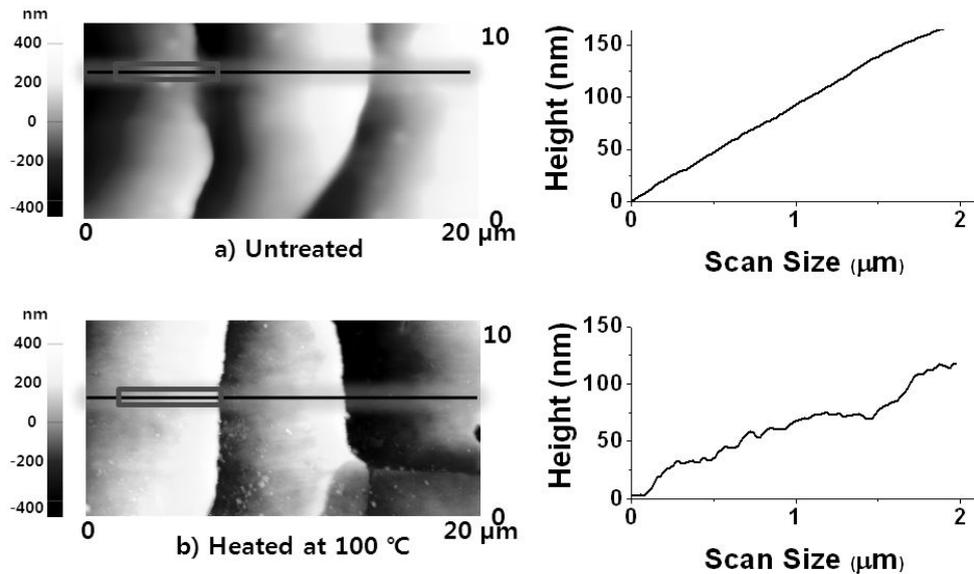
여기에 L 학생은 온도에 따라 머리카락 큐티클을 SEM으로 관찰한 논문을 언급하면서 온도를 증가시켰을 때 큐티클 간의 차이보다는 큐티클 등쪽 표면에 상처가 생긴다고 얘기했고, 관찰하는 면적을 작게 해서 등쪽 부분의 변화를 중심으로 확인하면 좋겠다는 의견을 제시했다. 그리고 참고한 논문을 토대로 토론을 하면서 스캔할 이미지의 크기를 작게 줄이되, 줄이는 크기 또한 논문에 실린 이미지의 척도를 참고로 하여 0.1 μ m, 1 μ m, 2 μ m로 찍어보기로 했다. 그런 후, 그 중 가장 차이를 크게 보이는 크기로 결정하기로 했다. 다시 실험하기 전 일단 20 μ m \times 10 μ m 사이즈의 큐티클 표면 선 프로파일 중 2 μ m 길이만 확인했고 실제로 100 $^{\circ}$ C에서 선 프로파일 모습이 상온에서보다 더 굴곡 있고 거칠어진 양상을 나타내는 것을 보았다. 학생들은 AFM을 사용하여 머리카락의 표면을 상온과 100 $^{\circ}$ C에서 0.1 μ m, 1 μ m, 2 μ m 크기로 스캔해 보았는데 0.1 μ m나 1 μ m의 크기에서는 스캔한 크기가 너무 작아서 유의미한 차이가 보이지 않았고, 사이즈를 2 μ m \times 2 μ m 로 했을 때 차이가 가장 잘 보였다. 그래서 온도를 증가시키면서 2 μ m \times 2 μ m 크기로 큐티클 표면을 관찰해보자는 결론을 냈다. 학생들은 문제가 생겨서 예상했던 대로 실험 결과가 나오지 않았을 때 논문을 참고하려 했고, 다시 실험을 설계할 때도 막연히 하는 것이 아니라 논문을 참고하여서 선행 연구의 결과와 자신들이 실험한 결과를 비교하고 선행 연구 결과를 바탕으로 새롭게 실험을 설계 하려 하였다. 학생들이 참고한 SEM 관련 논문 이미지는 [그림 IV-3]에, 상온에서와 100 $^{\circ}$ C에서 5분간 가열했을 시 큐티클 선 프로파일의 변화를 2 μ m 에서

확인한 이미지는 [그림 IV-4] 에 제시하였다.

YoonheeLee(2011)_hair shaft damage from heat and drying time of hair dryer Ann Dermatol., Vol. 23, No. 4



[그림 IV-3] 20°C와 95°C 온도에서 SEM을 통한 큐티클 표면 관찰



[그림 IV-4] 상온에서와 100°C에서 5분간 가열했을 시 큐티클 변화 (2 μm 에서 확인)

또한 24℃(상온)과 100℃에서의 이미지 관찰 결과 많은 차이를 보이지 않았기에 처음 실험 설계 시 정한 10℃ 온도 간격으로는 의미 있는 차이를 보이지 않을 것이고, 그래서 이것에 대해 조정할 필요성을 느껴서 온도 간격을 더 크게 하여 24, 40, 70, 100℃에서 관찰하기로 하였다. 그리고 큐티클 이미지의 선 프로파일 관찰 결과, 온도 변화에 따른 큐티클 각도의 변화에는 영향이 없을 것으로 추정되어 실험 설계에서 제외하기로 했다.

G :우리 온도 증가시키면서 실험하는거 말고 가열 시간을 증가시키면서 실험해볼까? 당연히 시간에도 영향을 받을꺼잖아 손상되는게. 이 논문 봐도 그렇고..

L :근데 여기서는 10분, 15분 이렇게만 했네? 온도를 여러군데 하고.. 우리 차라리 온도 한군데서 가열하는 시간 범위를 넓게 해서 하는건 어떨까? 그니까 시간의 영향에 대해서 더 보는거지

한편, 실험을 수행하면서 학생들은 온도 증가에 따른 머리카락의 손상에 대하여 가열하는 시간에 따른 머리카락 손상 정도를 추가로 보고자 했고 헤어 드라이기의 사용시간이 실제로 머리카락의 손상과 관련이 있는지 확인하고자 하였다. 온도 관련하여 찾은 논문 중 80, 90, 100, 110℃에서 각각 10분과 15분 가열을 해서 비교한 논문이 있었는데 학생들이 이 논문을 토대로 실험을 발전시켜서 계획을 세우려했다. 온도는 일정하게 유지하고 가열하는 시간을 증가시켰을 때, 머리카락 큐티클의 표면 거칠기 값이 증가할 것이라는 가설을 세웠고 가열 시간에 따른 실험을 진행하면서 머리카락의 손상되는 것을 확인하는 추가적인 실험을 설계했다.

AFM의 스캔 이미지 크기는 $1\mu\text{m}\times 1\mu\text{m}$ 로 관찰하였다. 온도에 따른 손상 실험을 할 때 100℃에선 너무 큰 표면 손상이 보였기에 100℃ 이전의 온도에서 가열 시간을 증가시키면서 표면 거칠기를 확인하기로 했고, 가열 온도는 일반적으로 사용하는 헤어드라이기의 온도인 80℃로 일정하게 하고(YoonheeLee 2011, 장병수 2003, 윤선아 2008), 가열 시간은 5분씩

증가시키며 5분, 10분, 15분, 20분, 25분, 30분으로 하기로 결정했다. 그리고 같은 샘플의 머리카락에 5분 씩 추가로 가열하여 샘플의 영향이 아닌 가열 시간의 영향만 보도록 하였다. AFM으로 $1\mu\text{m}\times 1\mu\text{m}$ 크기로 측정하여 머리카락 표면의 중심선 평균 거칠기 Ra와 최대단차값 Rpv를 기록했고, 각 시간 별로 한 샘플에서 12~13회 측정하여 평균 거칠기와 최대 단차값의 평균을 구했다.

실험을 수행하면서 학생들은 본격적인 실험 전에 예비실험을 진행했고 예상과 다른 결과가 나오는 문제 상황에 부딪혔으나 이때 추가적인 참고 자료로 논문을 찾으려 했고, 자신들이 봤던 논문들을 다시 한 번 검토하면서 더 자세히 보았다. 그런 후 자신들이 얻은 결과와 비교하며 선행 연구 결과를 바탕으로 더 발전시켜서 실험 계획을 수정하였다. 이렇듯 학교에서 교과서의 매뉴얼에 따라 실험을 하고 항상 예상되는 결과가 잘 나왔던 실험과는 달리, 한 번에 실험이 안 되고 문제 상황에 봉착하는 경험을 했다. 하지만 학생들은 여러 번 시도를 하면서 계획을 수정하고 방법을 다양화하며, 자신들이 세운 가설을 좀 더 확실하고 명확하게 보여줄 방법을 강구하였다. 그러면서 학생들은 1) 특정 분야에서의 문제점을 과학자들이 풀어내기 위해 어떤 방식으로 노력하는지 인식하며, 2) 기존에 매뉴얼을 따라가며 한 번에 성공하는 실험과는 달리, 실제 과학자들은 예비실험을 거치면서 많은 시도를 함을 인식했고 실제 과학자의 참 연구과정 학습하였다.

4.2.6 실험 결과 및 분석

1) 온도에 따른 머리카락의 표면변화

먼저 24°C 상온에 있던 머리카락과 100°C 에서 5분간 가열한 머리카락의 $20\mu\text{m}\times 10\mu\text{m}$ 이미지를 관찰하였는데 상온에서의 큐티클과 100°C 에서 가열한 큐티클의 이미지 상에서는 큰 차이를 보이지 않았다. (그림 IV-1)

1) 100°C 온도에서 머리카락 선 프로파일의 거칠어지는 모습이 $2\mu\text{m}$ 크

기에서 좀 더 잘 관찰되고 2) 큐티클 전체보다는 큐티클 등쪽 표면에서의 변화가 나타남을 확인한 후, 가열하는 온도를 조정하여서 24℃, 40℃, 70℃, 100℃에서 가열한 큐티클의 표면을 2μm×2μm 크기로 찍으며 선 프로파일의 변화를 관찰했다. AFM으로 찍은 머리카락 표면 이미지는 XEI 프로그램을 사용하여 분석했다.

G : 어.. 또 여기에 뭘 표시해야지?
 L : 이거(논문)보니까 일단 이미지가 크기가 얼마지 나타내줘야겠네. 우리 2로 하면 될거같고
 J : 마이크로 단위도 표시해야지
 L : 어. 그리고 옆에 이거 이름이 뭐지? 이미지 옆에 막대 표시도 해서 Z 축 높낮이 정도도 알 수 있게 해야하고
 J : 여기(논문)서는 이미지들 중간에 막대를 하나만 표시했고 여기(다른논문)서는 이미지들 각각 옆에 막대를 표시했네.
 G : 각각 하는게 날거같다. 각각하자.

학생들은 XEI 프로그램으로 확인한 이미지를 어떻게 제시할까에 대해 토의하기 시작했다. 처음에는 막연하게 AFM 이미지를 잘 제시할 수 있다고 생각했는데 막상 이미지를 정리해서 배치하고 보니 무언가 빠진 느낌이 든다 했고 어떻게 제시해야 이미지를 잘 표현할 수 있는지 참고했던 논문들 결과를 다시 보면서 체크했다. 논문들의 이미지에는 이미지의 크기와 단위가 제시됐고, 팔레트(palette) 막대로 2차원 이미지의 높낮이를 알 수 있게 하였음을 학생들은 논문들을 다시 보면서 알 수 있었다. 그리고 팔레트 막대를 표현하는 방법도 논문마다 다름을 보고 비교하면서 자신들이 생각하기에 더 나은 표현방식을 선택하였다.

L : 여기 논문에서는 이미지 위에 선프로파일을 작게 보여줬네. 근데 우리 사실 이미지 상에서는 100도에서 빼고는 크게 차이 없잖아. 메인이 선프로파일이니깐 이걸 좀 크게 보여주자. 이미지를 작게 하고 오른쪽에 선프로파일 크게 보여주고. 또 다른 온도는 그 아래에 배치하고.

(중략)

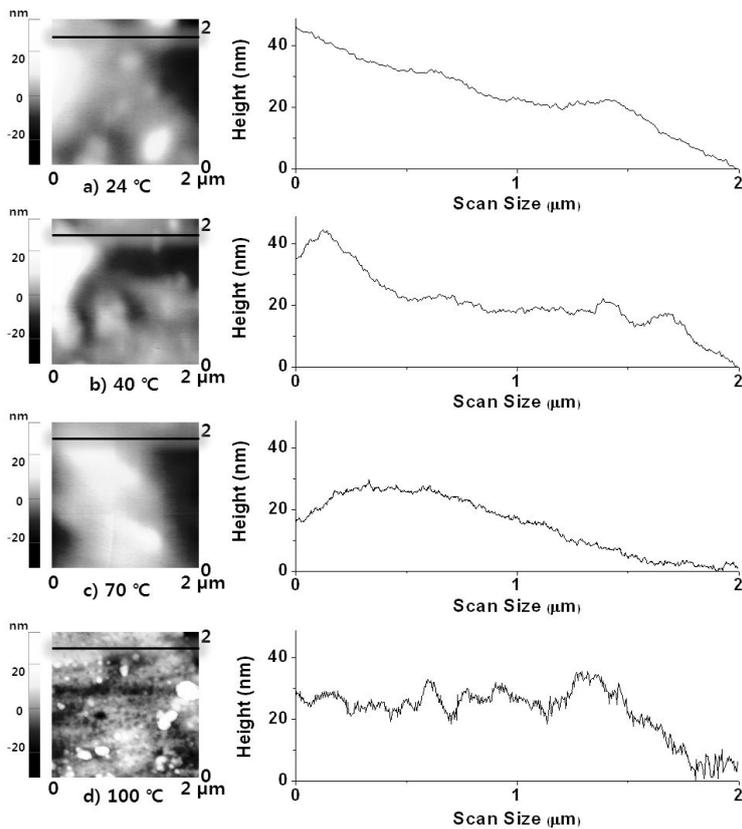
J : 이거(논문에서) 동그렇게 표시한거처럼 우리가 어느 부분 선프로파일을 보는지 알 수 있게 이미지에 표시를 해주자. 근데 어느 지점을 보고 나타내야하냐..

G : 전부 비슷한 위치 보는데 낫지않나? 눈으로 보기에든 먼가 깔끔하고 안정감 있어보이고

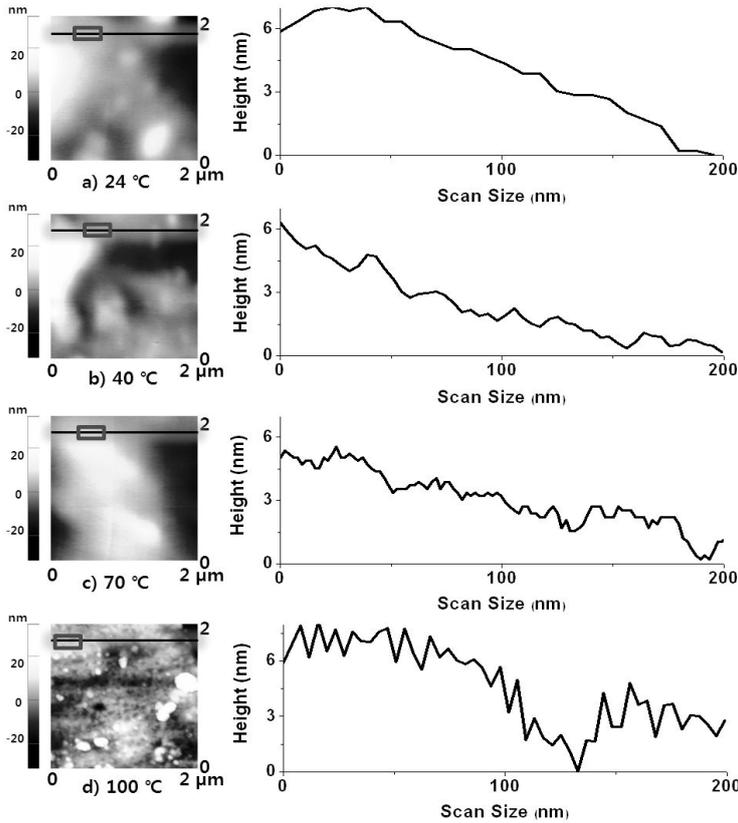
또한 온도별 AFM의 이미지와 함께 표면의 거칠어지는 것을 보여주기 위해 선프로파일도 같이 제시하기로 했다. 제시하는 방법을 정하는데 있어서도 학생들은 논문을 참고하였다. 참고한 논문에서는 AFM의 이미지는 크게, 선프로파일은 이미지 위에 작게 제시했지만 자신들은 선프로파일이 중요하니까 이미지는 작게 하고 선프로파일을 크게 보여주자 이야기했다. 그리고 또 다른 논문 결과의 이미지에서는 논문을 쓴 과학자가 자신이 강조하고 싶은 부분을 이미지에 표시한 것을 보았고 학생들은 선프로파일을 제시할 때 이미지의 어느 부분에 해당되는지 표시하자고 하였다. 학생들은 참고한 논문을 무조건 수용하고 똑같이 따라하는 것이 아니라 자신들의 실험 주제에 맞게, 강조하고자 하는 결과 부분이 잘 드러나게끔 나타내려 했다.

온도에 따른 머리카락의 표면 변화를 보면, AFM으로 찍은 이미지 상에서는 24°C, 40°C, 70°C는 큰 차이를 보이지 않았으나 100°C에서는 표면이 크게 거칠어진 모습을 보였다 (그림 IV-5). 그리고 각각의 이미지에서 선프로파일의 변화 모습을 관찰했는데 온도가 증가할수록, 특히 100°C에서 큐티클의 표면이 거칠어짐을 알 수 있었다. 학생들은 조금 더 자세하게 관찰하기 위해 각각의 AFM 이미지에서 선프로파일의 일부를 200nm 길이로 보았다 (그림 IV-6). 결과, 온도가 증가할수록 표면의 형

태가 거칠어짐을 좀 더 자세히 볼 수 있었고, 특히 100℃에서 변화가 크게 나타남을 알 수 있었다. 이렇듯 온도가 증가할수록 머리카락의 표면의 선프로파일이 거칠어짐을 통해 실제로 높은 온도가 머리카락 표면에 손상을 줌을 확인했고, 특히 100℃에서 확연히 변화가 나타나는 것을 관찰했다.



[그림 IV-5] 24(상온), 40, 70, 100 °C 에서 5분간 가열했을 시 큐티클의 선프로파일 변화



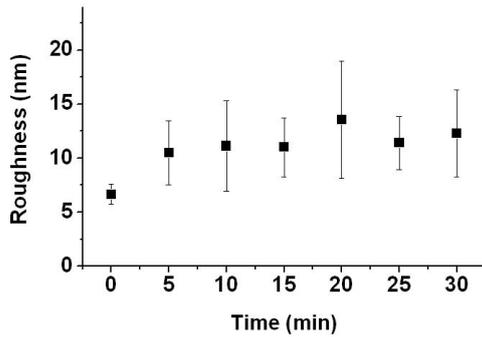
[그림 IV-6] 24(상온), 40, 70, 100 °C 에서 5분간 가열했을 시 큐티클의 선프로파일 변화 (200 nm 에서 확인)

2) 시간에 따른 머리카락의 표면 거칠기 변화

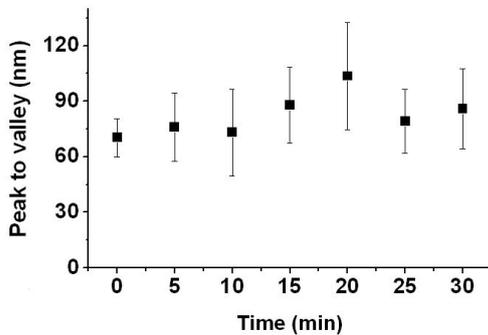
학생들은 헤어 드라이기의 사용시간이 실제로 머리카락의 손상과 관련이 있는지 확인하기 위해 가열하는 시간에 따른 머리카락의 표면 거칠기의 변화를 알아보는 실험을 하였다. 가열 온도는 일반적으로 사용하는 헤어드라이기의 온도인 80°C로 일정하게 했고, 가열 시간은 5분씩 증가

시키며 5분, 10분, 15분, 20분, 25분, 30분으로 했다. 그리고 가열 시간에 따른 실험에서는 Excel로 데이터를 정리하고 Origin 프로그램을 사용하여 분석하고 그래프를 나타냈다.

측정결과 가열시간이 증가할 때 평균 거칠기와 최대 단차값이 증가하는 경향을 보였으나 (그림 IV-7, 그림 IV-8) 오차 범위가 매우 컸으며, 20분 동안 가열한 머리카락의 평균 거칠기가 25분 동안 가열한 머리카락의 평균 거칠기보다 커서 선형적인 형태를 나타내지 않았다.



[그림 IV-7] 80°C에서 시간에 따른 큐티클의 평균 거칠기(Ra) 변화



[그림 IV-8] 80°C에서 시간에 따른 큐티클의 최대 단차값(Rpv)변화

- G : 같은 시간에서는 거칠기값이 똑같이 나오면 좋는데 이견 뭐...너무 범위가 크니...
- J : 거칠기 값이 (같은 가열 시간에서) 같은값이 나올 필요는 없잖아. 편차가 좀 적으면 좋는데
- L : 이 논문에서도 그렇고 이것도 그렇고 보면 머리카락으로 데이터 측정할 때 편차가 다 커. 그만큼 머리카락마다 너무 다른 거 같긴 하고 특성이.
- J : 편차는 조금? 있기는 한데.. 사실 조금보다 많이 있기는 한데 그래도 어느 정도 경향성은 보이는 거 같고..
- G : 각각 시간마다 AFM으로 찍는 샘플 수를 많게 하면 일단 샘플수가 많아졌으니까 오차도 줄고 경향성도 좀 더 선형적으로 나타날 수도 있을 거 같은데?

같은 가열 시간에서 같은 실험값이 나오지 않는 것에 대해 이야기하면서 학생들은 오차와 경향성에 대하여 이야기했다. 비록 같은 조건에서 정확히 같은 결과값이 나오지 않았지만 자신들이 참고했던 논문들을 보게 되면 머리카락 특성상 오차 범위가 폭 넓게 나타날 수 있음을 언급했다. 그리고 비록 같은 조건에서 실험 결과값의 오차 범위가 생겼지만 전체적으로 보게 되면 시간이 증가하면서 평균 거칠기값이 증가하는 그런 경향성을 보인다고 이야기하면서 오차와 경향성에 대한 인식을 보였다. 그러면서 가열하는 시간이 증가할수록 전체적으로 평균 거칠기와 최대 단차값이 증가하는 것으로 볼 때 더 많은 샘플을 찍으면 전체적으로 선형성을 가지며 증가하는 형태를 나타내고 오차막대의 범위도 줄어들 것으로 생각한다고 언급하면서 편차 정도를 줄이는 방법을 생각하려 했다. 실제로 학생들과 면담했을 때, 학생들은 같은 조건에서 반복 실험했을 경우 실험 데이터가 거의 완전히 일치되어야만 성공한 실험이라 생각했었는데, 여러 실험 논문을 접하고 학생들 스스로도 여러 번 실험을 해본 결과, 실험할 때는 불가피하게 오차가 생기게 되고 같은 조건 하에서 실험 데이터가 정확히 일치하지 않아도 오차 막대가 작고 적절한 경향성만

된다면 제대로 된 실험이라는 것을 알았다고 했다.

학생들은 이 실험으로부터 머리카락을 가열하는 시간이 증가할수록 머리카락 표면의 평균 거칠기가 증가하면서 거칠어짐을 확인했고, 온도뿐만이 아닌 가열하는 시간에 의해서도 표면의 손상 정도가 달라질 수 있음을 확인했다.

데이터를 분석하고 결론을 도출할 때 학생들은 결과 이미지를 표현하는 데에 있어서 어떻게 결과 이미지를 제시하였고, 어떤 것들을 이미지에 표시했는지 다른 논문들을 참고하고 도움을 얻었고, 자신들의 결과를 제시할 때 반영하였다. 또한 학생들은 분석한 데이터를 표현하는 데에 있어서 논문들의 표현 방식을 참고하긴 했지만 참고 논문을 무조건 수용하고 똑같이 따라하는 것이 아니라 자신들의 실험 주제에 맞게, 강조하고자 하는 결과 부분이 잘 드러나게끔 나타내려했다. 그리고 논문들의 결과 데이터들을 보고 비록 같은 조건이여도 정확히 같은 실험값이 나오지는 않고 어느 정도 오차 범위를 가지고 있으며 오차가 생겼다 하더라도 경향성을 가지고 있으면 괜찮다는 것을 알았고 스스로 실험을 해서 얻은 데이터들을 통해서도 확인하면서 오차 범위와 경향성에 대해 인식하였다.

4.2.7 결론

실험 결과의 데이터를 분석한 후 학생들이 낸 실험 결론이다.

우리가 일상생활에서 헤어드라이기로 머리카락을 말릴 때, 헤어드라이기의 온도나 헤어드라이기로 머리카락을 말리는 시간이 실제로 머리카락의 손상과 관련이 있을까 하는 궁금증에서 이 실험은 시작되었다. 헤어드라이기의 온도가 증가하면 머리카락의 손상이 증가하는지 확인하기 위하여 먼저 24℃ 상온에서와 100℃에 5분간 가열한 머리카락의 표면을 20 $\mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$ 크기로 관찰하였다. 20 $\mu\text{m} \times 10 \mu\text{m}$ 이미지에서는 24℃ 상온에서와 100℃에서 가열했을 때 눈으로 구분할 수 있을 정도의 머리카락 표면

변화를 볼 수 없었으나, 선프로파일을 관찰했을 때 큐티클 등쪽에서 거칠어지는 변화가 보였고 그래서 $2\mu\text{m}\times 2\mu\text{m}$ 의 작은 크기로 24℃, 40℃, 70℃, 100℃에서 5분간 가열한 후 자세히 비교하고 관찰하였다. 결과, $2\mu\text{m}\times 2\mu\text{m}$ 이미지를 촬영했을 때 머리카락 표면의 선프로파일은 온도가 증가하면서 좀 더 거친 형태를 보였고, 특히 100℃의 고온에서는 손상 정도가 확연히 커짐을 볼 수 있었다. 이를 통해 머리카락에 가해지는 온도가 증가함에 따라 실제로 머리카락이 더욱 거칠어져서 손상도가 커짐을 알 수 있었다.

또한 머리카락에 열이 가하여 지는 시간이 머리카락의 손상 정도에 영향을 주는지 확인하기 위해 80℃의 일정한 온도에서 시간이 증가함에 따라 머리카락의 평균 거칠기와 최대 단차값을 측정했다. 결과, 시간이 증가함에 따라 평균 거칠기와 최대 단차값이 증가하는 경향을 보였으며, 특히 열을 가하지 않았을 때와 5분 동안 열을 가했을 때의 평균 거칠기 변화가 이후에 가열한 시간을 증가시켰을 때의 평균 거칠기 변화보다 큼을 알 수 있었다. 이것으로 보아 가열하는 시간에 의한 머리카락 표면의 손상은 머리카락이 가열되기 시작한 후 5분 안에 크게 일어나고 그 이후로도 조금씩 손상되는 것으로 여겨진다.

온도와 가열하는 시간에 따른 머리카락 표면 손상 실험을 통해 머리카락 표면은 100℃ 이상의 온도에서 크게 손상되며 열을 가한 후 5분 동안 손상이 크므로 헤어드라이기로 머리카락에 열을 가할 때에는 100℃ 이하의 비교적 낮은 온도에서 5분 이하로 최대한 빨리 건조 시키는 것이 좋을 것으로 생각된다.

4.2.8 토의

학생들은 탐구실험을 마친 후, 실험 결과물의 정리를 자신들이 공부해 왔던 논문의 형태로 소논문을 작성하며 마무리했다. 학생들이 작성한 논문은 【부록1】에 제시하였다. 모든 일정이 마무리 된 후 학생들에게 설문지를 돌렸고, 설문지를 토대로 면담을 하면서 학생들이 프로그램을 진

행하면서 어떤 것들을 느끼고 배웠는지 확인했다. 학생들이 응답한 설문지는 【부록2】에 제시하였다.

학생들은 5단계로 된 리커트 척도로 응답하였고 1: 매우 아니다. 2: 아니다. 3: 보통이다. 4: 그렇다. 5: 매우 그렇다. 로 응답하였다.

1. 탐구 실험을 위한 가설을 설정할 때 논문이 실제로 도움이 되었다.
- 구체적으로 어떤 점이 도움이 되었는가?/되지 않았는가?

L (4점): 가설을 설정하기 전 기초적인 지식을 주고, 변인 등을 나타내는데 도움을 주었다

G (5점): 올바른 가설을 설정할 수 있도록 하게 된 점이 도움이 되었다.

J (4점): 기본적인 지식이나 측정하는 법 같은 것을 배울 수 있었다.

탐구실험 단계 중 가설 설정하는 것을 학생들이 가장 어려워 한다는 연구가 있었는데 ‘과학자 논문을 공부한 것이 가설을 설정하는 데에 있어서 도움이 되었느냐’에 대한 질문에 학생들은 전부 4점 이상의 높은 점수를 주었고 ‘구체적으로 어떤 점이 도움이 되었는가?’ 라는 질문에 과학자 논문으로 인해 가설 설정을 위한 기초적인 배경지식을 얻을 수 있었고 머리카락의 무엇을 측정할 수 있는지, 그리고 어떤 방법이 있는지 측정하는 방법을 배울 수 있었다고 했다. 그리고 가설에 변인을 나타내는데 도움을 주었다고 대답했다.

2. 연구주제는 흥미로웠다.

- 구체적으로 어떤 점이 흥미로웠는가?/흥미롭지 않았는가?

L (3점): 육안으로는 전혀 구별되지 않을 만한 시료의 변화를 알아본다는 것이 흥미로웠다.

G (4점): 우리가 가장 가까우면서도 잘 모르는 머리카락을 소재로 한다는 것이 흥미로웠다.

J (3점): 잘 모르겠다.

3. 실험 과정은 흥미로웠다.

- 구체적으로 어떤 점이 흥미로웠는가?/흥미롭지 않았는가?

L (4점): 기기를 사용하는 기회 자체가 흥미로웠다. 오차가 많이 나므로 여러 번 한다는 것도 흥미로웠다.

G (4점): AFM이라는 실험 기구를 사용하는 것이 흥미로웠다.

J (4점): 실험을 많이 해보지 않아서 그 자체도 재미있었고 장비를 만지는 것도 꽤 흥미로웠다.

4. 논문 공부과정은 흥미로웠다.

- 구체적으로 어떤 점이 흥미로웠는가?/흥미롭지 않았는가?

L (3점): 영어로 된 논문을 공부한다는 신기함(?)도 있었고, 서론 준비를 하면서 과학자들의 지식과 실험은 서로 연관되어 영향을 끼치므로 서론의 내용이 비슷비슷하다는 것도 흥미로웠다.

G (4점): 내가 몰랐던 것을 아는 것? 그냥 애들과 함께 서로 생각을 나누며 공부한 것이 흥미롭다.

J (3점): 오랜만에 해석하는 작업도 괜찮았고 표나 그래프를 읽는 부분도 그럭저럭 괜찮았다.

탐구 실험을 진행하면서 연구 주제, 실험 과정, 논문 공부 과정은 흥미로웠는지에 대한 질문에 연구 주제와 논문 공부 과정에 대한 흥미는 평균 3.3점으로 보통이다 에서 약간 넘는 정도였고 실험 과정은 모두 4점으로 흥미 있었다고 응답하였다. 실험 과정이 흥미로웠던 가장 큰 이유

는 AFM이라는 이전에 보지 못했던 장비를 작동해보고 또 AFM을 통해 나노 단위로 머리카락을 직접 관찰할 수 있었던 것이라고 세 명 다 대답하였다. 탐구 실험하기 전 과학자 논문을 공부했던 과정은 사실 재밌지는 않았다고 하였다. 하지만 논문 속에 있는 표나 그래프를 보며 실험 결과를 해석하는 부분이 좋았다고 대답했다. 그리고 논문을 공부하면서, 특히 서론 부분을 보면서 과학자들은 서로 영향을 끼치며 연구를 한다는 것을 새롭게 알았다고 말하였는데 이런 대답을 통하여 과학 지식의 연속성에 대해 학생들이 인식하였음을 엿볼 수 있었다. 덧붙여 J 학생은 또래 친구들이 아직 접하지 못한 과학자 논문을 영어로 본다는 것에 우월감을 느낀다 말하였는데 논문이 어렵긴 하지만 그만큼 학생들에게 성취감을 주었음을 알 수 있었다. 그에 이어 학생들이 논문을 어려워하는지, 어려워한다면 난이도는 어느 정도로 느끼고 있는지 설문을 통해 물어보았다.

5. 영어로 된 과학자 논문을 보는 것은 어려웠다.

1) 구체적으로 어떤 점이 어려웠는가?/쉬웠는가?

L (4점): 해석이 안될 경우 이해하기 어려웠으며, 세계 모든 사람들이 다 봐야하는 것이기에 영어 논문의 중요성을 느꼈지만 그래도 어려웠다.

G (4점): 그냥 영어도 어려운데 전문용어로 되어있어서 더 어려운 것 같다. 그래도 시간이 지나면서 익숙해지는 거 같음.

J (3점): 다른 부분은 해석하는데 크게 어려움이 없었는데 가끔 사전에 나오지 않는 단어들 나와서 의역을 해야 하는 부분이 어려웠다.

2) 과학자 논문의 난이도는 어떠했는가?

L : 영어 논문과 한글 논문의 이해하기에 어려움의 차이가 컸다. 논문이 확실히 책보단 어려운 것 같다.

G : 상

J : ★★★☆

3) 과학자 논문의 주제는 어떠했는가?

L : 예를 들어 머리카락을 들자면, 머리카락에 대한 연구 주제는 비슷하지만 실험 방법이 다르거나 관점이 다르는 등, 비슷하면서 다양했다.

G : 다양했다.. 나는 주제를 정하는 것이 어려웠는데 이렇게 실험 주제를 다양하게 정할 수 있다는 게 놀라웠고 과학자들이 대단해 보였다.

J : 전체적으로 재미있었다.

영어로 된 논문을 보기 어려웠냐는 질문에 한 학생은 보통이다(3점)로 응답하였고 나머지 두 학생들은 그렇다(4점)로 응답했다. 영어로 된 과학자 논문을 보는 것에 대해서는 세계 많은 사람들이 공통 언어로 과학 연구 과정을 볼 수 있게 하기에 중요하다고 생각은 하지만 역시나 영어라는 것에 대해 부담감을 느낀다고 하였다. 그리고 무엇보다도 영어로 된 논문을 보는 것에 있어서 가장 어려웠던 점은 세 명 모두 낯선 과학

적 전문 용어라고 하였다. J 학생은 “영어가 좀 어려웠어요.. 요즘 영어가 좀.. 감이 없어진거 같긴 해요.. 가끔 한 개씩 틀려요.. 논문이 영어라서 좀 어려웠어요. 영어 단어 찾아도 안나오는 것도 있고... 일상 생활에서 쓰는 용어가 아니라 전문 용어여서.. *combing*은 아예 나오지도 않더라고요.. 그냥 감으로 알아서 읽었어요. 논문은.. 한 80% 이해한 것 같아요.” 라고 말하였다. 이런 응답을 통해 학생들이 과학자 논문을 공부할 때 특히나 영어로 된 과학자 논문을 공부할 때는 학생들이 과학적 전문 용어에 익숙해지도록 교사가 정리해주고 지도해 주면서 이끌어 줄 필요가 있음을 알 수 있었다. 실제로 학생들과 과학자 논문을 공부하였을 때, 어느 정도 시간이 지나면 학생들이 논문의 구조와 용어에 익숙해지기에 이런 교사의 개입의 정도는 줄어들었고, 학생들 또한 시간이 지나면서 많이 적응되었다고 대답했다.

‘학생들이 본 여러 과학자 논문의 주제는 어땠는가?’ 라는 질문에 대해 학생들은 같은 소재인 머리카락이지만 다양한 실험을 할 수 있다는 것을 알았고 그렇게 다양한 주제를 생각할 수 있다는 것이 신기했다고 하였다. 또 비슷한 주제로 실험을 하는데 다른 방법을 사용하는 것도 다양하게 볼 수 있어서 좋았다고 하였다. 학생들은 실험 가설을 정하는 것을 가장 어려워하였는데, 과학자 논문은 학생들로 하여금 같은 소재 속에서도 실험 가능한 다양한 주제들을 선행 연구와 연관 지으며 발전시켜서 떠올릴 수 있도록 아이디어를 제공하는 역할을 하였다.

6. 과학자 논문을 공부할 때 교사의 역할이 크다 생각한다.

- 구체적으로 어떤 점에서 교사의 도움이 컸는가?/부족했는가?

L (4점): 논문도 교사를 통해 접하게 되고, 해석과 이해에 영향을 받기에 교사의 영향이 컸다. 평소에는 받을 수 없는 수업 활동이다 보니 내가 알지 못하는 경우가 많다. 그렇기에 교사의 역할이 중요한 것 같다.

G (5점): 모르는 부분이 많았는데, 이런 부분을 잘 알려주신 점. 특히 과학 용어가 뭐를 의미하는지 잘 모를 때 선생님을 통해 알 수 있었음.

J (4점): 모르는 부분이나 관련된 자료를 찾아주시려고 한 부분이 도움이 되었다.

7. 교사와의 상호작용은 좋았다.

- 구체적으로 어떤 점이 좋았는가?/좋지 않았는가?

L (4점): 심화반 때보다 교사와의 상호작용이 훨씬 많았다. 소그룹이어서 모르는걸 물어보는데 부담이 없어서 좋았다.

G (5점): 친절하게 알려주시고, 또 많은 점에서 도움을 주셔서 좋았다.

J (3점): 궁금한 것을 물어봤을 때 관련 자료나 정보를 얻을 수 있어서 도움이 됨. 크게 트러블이 없었던 점에서 좋았던 것 같다.

영어로 된 과학적 전문 용어는 처음엔 낯설기에 어려움이 있고 그만큼 교사의 역할이 시작시기엔 중요하다. 교사의 역할에 대한 학생들의 생각을 물어보았다. 학생들은 모두 4점 이상으로 응답하였고 교사의 역할이 중요하다고 생각함을 알 수 있었다. 학생들이 교사의 역할로 중요하게 여기는 부분을 정리하면 크게 세 가지로 ‘과학자의 논문을 교사를 통해서 접할 수 있다.’ ‘과학적 용어의 의미나 논문 내용을 모를 때 교사를 통해 명확히 알 수 있다.’ ‘추가로 필요한 관련된 자료를 교사를 통해 얻을 수 있다.’ 였다.

또한 프로그램을 진행하면서 교사와의 실제 상호작용은 좋았는가에 대해 학생들은 보통 이상으로 긍정적으로 대답하였다. 그리고 좋았던 점으로는 학생들 자신들이 궁금한 점에 대해 해결을 받을 수 있었다는 점, 친절하게 도움을 주었다는 점에서 긍정적으로 평가를 하였다.

V. 결론 및 제언

5.1 결론

이 연구에서는 학생들과 함께 다양한 과학자 논문을 공부하고 논문을 바탕으로 탐구실험을 진행하였고, 이러한 과정 속에서 학생들을 관찰하여 과학자 논문을 바탕으로 한 학습이 학생들에게 어떤 영향을 주는지 알아보고자 하였다. 4월 오리엔테이션을 시작으로 1월까지 10개월간 총 31회 학생들과 모임을 가졌고, 과학자 논문은 머리카락과 관련되지만 다양한 주제로 실험한 내용의 논문이 제공되었다. 과학자 논문을 공부하기 전, 학생들은 탐구실험을 하기 위한 실험 가설과 실험 설계안을 작성했고 과학자 논문을 공부한 후 동일하게 탐구 실험 가설과 실험 설계안을 작성하였다. 작성한 자료들은 과학자 논문을 공부하기 전과 후 탐구실험의 가설 설정과 실험 설계에 있어서의 변화의 비교를 위한 분석 자료로 사용되었다. 과학자 논문을 공부한 후 학생들은 논문 내용을 정리하기 위해 활동지를 작성하였고 다 작성한 후에는 활동지를 토대로 토론을 하였다. 토론과 대화 내용은 녹음되어 학생들이 작성한 활동지와 함께 분석 자료로서 전사되었다. 그리고 탐구실험을 수행하고 분석하는 실험 진행 과정 또한 학생들의 특징 관찰을 위한 자료로 전사되었다. 이러한 자료들로 관찰하고 분석한 결과, 학생들이 과학자 논문을 공부한 것에 의해 영향을 받은 부분은 다음과 같이 크게 세 가지 분류될 수 있었다.

5.1.1 과학자 논문이 과학적 탐구 각 단계에 미치는 영향

학생들은 과학자 논문을 공부한 후 오리엔테이션 때 자신들이 논문에서 봤었던 장비가 눈앞에 있음에 많은 관심을 보였다. 그러면서 실험 첫 시작을 흥미 있게 진행하였다.

1) 가설설정

과학자 논문을 공부하기 전 학생들이 세웠던 가설들은 구체적이지 않고 연구의 가치 적으며, 논리적 근거 부족하였다. 그리고 탐구 실험의 단계 중 가설 설정하는 것을 가장 어려워 한다는 기존의 많은 연구와 부합하게 학생들은 새로운 가설들을 다양하게 제안하는 것을 어려워하였다. 그러나 과학자 논문을 공부한 후 학생들은 가설을 설정할 때 변인 설정과 가설 설정의 근거를 제시하는 부분에 있어서 변화를 보였다.

학생들은 가설 내에서 변인을 나타낼 때 큐티클, 공포 등 과학자들이 사용하는 전문적인 용어를 사용하였다. 그리고 큐티클의 표면 거칠기, 각도 변화 등 손상에 대해 구체적으로 정의해서 표현하였고, 단순 나열을 넘어서서 조작 변인과 종속 변인의 유기적 관계 고려하여 변인들 방향성 있게 제시하였다. 학생들의 이런 변인에 대한 인식은 가설을 설정할 때만에서 그치지 않았고 가설을 정교화 할 때, 실험을 설계할 때 그리고 실험을 수행할 때 역시 지속적으로 관찰되었다. 본격적인 실험 진행을 위해 가설을 정교화 할 때 논문을 통해서 손상 정도의 확인을 위해 측정했던 지표들을 배우며 어떤 손상을 측정할 수 있는지 알게 되었고, 그것들을 토대로 손상에 대한 가설의 변인을 구체적으로 설정하였다. 실험 설계 시에는 자신들이 보고자 하는 영향이 아닌 것은 확실히 통제해서 실험에 영향을 미치지 않도록 하려는 모습을 보이면서 조작 변인과 통제 변인 구분하려 했다. 실험을 수행하면서는 샘플의 초기 조건을 동일하게 유지하려 하고, 샘플에 온도의 영향을 줄 때도 온도 이외의 영향은 절대 가해지지 않도록 신경을 쓰는 등 조작변인과 통제변인에 대해 인식하고 이 둘을 확실히 구분 지어서 자신들이 보고자 하는 요인만 머리카락에 영향을 미치도록 하는 모습을 보였다. 논문 속의 데이터나 그래프가 시각적이면서도 집약된 단순한 형태의 결과로 제시되는데 이는 학생들로 하여금 보다 편하게 결과를 볼 수 있게 하였고, 그 결과 속에서 변인들을 쉽게 파악하게끔 도운 것으로 보인다. 결과적으로, 논문은 학생들에게 무엇을 측정해야 할지에 대한 아이디어를 줄 뿐만 아니라 자신들이 실험하고 싶은 변인들을 좀 더 구체적으로 설정하게끔 도움을 주었다.

과학자 논문을 공부한 후 가설 설정의 근거를 제시할 때 학생들은 외부 출처를 찾아보려는 적극성 보이면서 근거의 출처가 자신의 내부적인 생각에서 외부 신뢰 있는 자료로 옮겨갔다. 그리고 자신들이 참고하고 있는 자료가 신뢰할 만한 출처인지를 고민하면서 믿을 만한 정보를 바탕으로 탐구활동을 하려하며, 타당한 근거에 기반을 두려는 모습을 보였다. 이전에는 외부의 자료보다는 경험을 바탕으로 궁금한 것을 막연히 생각하고 외부 자료를 찾더라도 자신이 자주 이용하여 눈에 익고 검색하기에 빠르고 익숙한 유명 인터넷 포털 사이트를 이용하면서 인터넷에 떠도는 글을 믿을만한 자료인지에 대한 판단 없이 그냥 수용하였는데, 학생들은 과학자 논문을 공부하면서 논문의 형식 상 맨 뒤에 항상 따라 오는 참고 문헌들을 보며 지금 보고 있는 논문이 어떤 논문들을 참고로 하였는지 역으로 확인할 수 있었다. 그러면서 단순히 머릿속에서 아이디어가 나와서 실험을 하는 것이 아니라 연구가 진행되기까지 그 전에 여러 연구들을 보고 참고하고 공부해야 한다는 것을 알아갔다.

2) 실험설계

이전에 학생들은 한두 줄로 간략하면서도 애매모호하게 실험을 설계하였는데 과학자 논문을 공부한 후 학생들은 막연한 설계가 아니라 논문에서 봤던 큐티클의 크기라든지 스캔 사이즈 등의 정확한 숫자를 사용하며 구체적으로 설계를 했다. 그리고 사용할 장비를 언급하며 어떻게 조작할지를 표현하였고 조작해야 할 변수가 드러나도록 하였다. 또한 기존 연구된 실험 논문의 결과를 비교하고 참고하여 더 나은 방법 수용하고 발전시켜 설계에 반영하였다. 그리고 같은 방법으로 실험을 했을 때 비슷한 결과 값이 나오도록 재현성에 대해 고려하며 조작적인 형태로 실험을 설계하려 했다. 그리고 논문의 그래프에 있는 오차 막대를 보면서 실험을 했을 때 아무리 잘 통제하여 실험한다 하더라도 정확히 같은 값이 나오기는 어렵다는 것을 알았고, 측정 횟수를 높게 설계를 하는 등 한 번의 실험으로 일반화 시키는 것이 아니라 여러 번 실험해서 측정해야 함을 인식하는 모습을 보였다.

3) 실험수행

학생들은 실험을 설계할 때 참고했던 논문들을 보면서 조작 변인과 통제 변인을 구분하려는 모습을 보였는데, 변인들을 구분하려는 이런 모습은 실험 수행 때도 계속해서 보였다. 학생들은 자신이 보고자 하는 조작 변인과 그 외에 제한해야 할 통제변인을 구분하고 어떻게 해야 주요 영향 이외의 다른 것들을 통제할지 고민하며 철저히 제한하려 했다. 그리고 참고한 논문을 통해 머리카락 표면이나 물리적 특성은 각 사람마다 다를 뿐 아니라 한 사람의 머리카락일 지라도 제각기 다를 수 있음을 배우면서 머리카락마다 특성 차이가 날 수 있다는 것을 알았고, 여러 개 머리카락의 다양한 곳을 측정해서 실험 결과의 신뢰도를 높이며 실험 결과를 일반화 시키려 하였다.

4) 결과분석

학생들은 실험한 결과 데이터를 정리하는 데에 있어서 처음에는 막연하게 AFM 이미지를 잘 제시할 수 있다고 생각했는데 실제로 표현하려 하다 보니 무언가 빠진 느낌이 든다 했고 어떻게 제시할지 고민했다. 그러면서 참고했던 논문들 결과를 다시 보기 시작했고 논문들에서는 어떻게 이미지를 잘 표현했는지 확인했다. 학생들은 논문들의 이미지에 제시된 이미지 크기, 단위, 2차원 이미지의 높낮이를 알 수 있는 팔레트(palette) 막대 참고했고, 참고한 항목들을 무비판적으로 수용하여 따라하는 것이 아니라 논문마다 다르게 제시된 팔레트 막대 비교하였다. 그리고 자신들의 실험 주제에 맞게, 강조하고자 하는 결과 부분이 잘 드러나게 제시하는 등 자신들이 생각하기에 더 나은 표현방식 선택하였다.

그리고 실험을 했을 때 아무리 주변 상황을 통제하여 최대한 같은 조건에서 실험을 한다 하더라도 결과 값의 오차 범위가 나타났는데 학생들은 참고했던 논문들을 통해 머리카락 특성상 오차 범위가 폭 넓게 나타날 수 있다고 이야기 했다. 그리고 오차가 있다 하더라도 그래프의 전체적인 모습을 보게 되면 시간이 증가하면서 평균 거칠기 값이 증가하는 경향성 보인다고 언급하면서 더 많은 샘플을 찍으면 전체적으로 선형성을

가지며 증가하는 형태가 나타나고, 오차막대의 범위도 줄어들 것이라 말했다. 실제로 한 학생은 같은 조건에서 반복 실험했을 때 실험 데이터가 거의 완전히 일치되어야만 성공한 실험이라 생각했었는데, 여러 실험 논문을 접하고 직접 여러 번 실험을 해보니까, 실험할 때는 불가피하게 오차가 생기게 되는 것 같고 같은 조건에서 실험 데이터가 정확히 일치하지 않아도 오차 막대가 작고 적절한 경향성만 띤다면 제대로 된 실험이라는 것을 알게 되었다고 말하였다. 이를 통해 학생들이 과학자 논문을 공부하면서 오차와 일반화에 대한 인식이 생김을 알 수 있었다.

5.1.2 과학자 논문이 과학적 지식에 대한 인식에 미치는 영향

과학자 논문은 학생들에게 연구를 위한 학문적 기본 배경지식을 제공하였다. 과학자 논문을 공부하기 전 학생들은 탐구실험 가설을 세우기 위해 관련된 분야의 전공 서적이나 논문을 찾기 보다는 막연한 자신들의 생각을 토대로 하는 경우가 대부분 이었다. 전문 서적이나 논문을 이용한다는 학생은 한 명도 없는데 그 이유로는 전공 서적과 논문을 접해본 적이 없었고 전공 서적과 논문은 낯설고 어렵다 생각에 참고하기가 꺼려진다 했다. 그리고 자주 이용하는 유명 인터넷 포털 사이트를 통해 검색하는 것이 빠르고 쉽기에 기존의 익숙한 검색 통로를 그대로 유지하려는 경향이 있었다. 그러나 과학자 논문을 공부한 후 학생들은 연구를 위한 기본 배경지식으로 논문을 활용하는 것이 그 분야에 있어서 좀 더 깊이 있고 다양한 정보를 얻을 수 있을 뿐 아니라 신뢰할 수 있는 정보라는 것을 배웠다. 그러면서 가설을 설계하거나 정교화 할 때, 실험을 설계하고 설계한 실험을 수정할 때 논문을 배경지식으로 활용하였다. 뿐만 아니라 실험을 수행하거나 결과 데이터를 분석할 때도 자신들이 봤었던 논문을 돌아보면서 계속해서 참고하는 모습을 보였다.

그리고 학생들은 과학자 논문을 통해 선행 연구에 대해 인식하며 논문들 간의 연관성에 대해 생각하였고, 각각의 논문들은 개별적으로 존재하는 것이 아니라 서로 영향을 주고받으며 실험을 발전시킨다는 것을 알았

고 이를 통해 과학 탐구의 연속성에 대한 인식이 생겼다. 그러면서 자신들도 논문을 통해 선행 연구들을 참고하고 그 연구들을 발전시켜서 실험을 구상하고 설계하려 하였다.

또한 학생들은 여러 논문을 보면서 자신들이 보고 있는 과학 지식이 불면의 진리가 아니라 변할 수 있다는 것을 알아가면서 과학의 유동성에 대해 인식하는 모습을 보였고, 논문을 검색하고 참고할 때 연구의 흐름을 살피며 연구의 경향을 파악하려 하였고 최신 과학지식을 참고하려 했다.

마지막으로 과학 지식을 수용하는 방식은 필요한 지식을 주로 인터넷에서 지식 생성 과정에 대한 고려 없이 인터넷 검색 결과를 맹신하고 습득한 지식에 대해 고민하지 않았었는데, 과학자 논문을 공부한 후엔 지식의 생성 과정이 중요하기에 과학적으로 검증된 정보를 참고하는 것이 필요하다는 것을 알게 되었다. 그리고 토론 시 학생들은 자신의 의견을 이야기할 때 그 의견이 논문에 근거하는 것임을 언급하는 모습이 자주 관찰되었는데 이를 통해 학생들이 믿을만한 출처를 참고하려고 끊임없이 시도하는 것을 알 수 있었다.

5.1.3 과학자 논문이 과학자와 과학 사회에 대한 인식에 미치는 영향

과학자 논문은 학생들에게 과학자와 과학 사회가 어떠한지를 간접적으로 알 수 있게 하였다. 학생들은 영어로 된 논문을 봤었는데, 처음 영어 논문을 접했을 때 학생들은 영어라는 것에 대해 두려움을 가졌고 영어로 읽고 해석해야 한다는 것에 대한 어려움을 느꼈으며 논문 형식에도 낯설어 하고 무엇보다도 과학 전문 용어가 생소해서 쉽지 않다고 하였다. 그러나 여러 영어 논문을 접하면서 학생들은 영어로 된 머리카락 관련 전문 용어와 과학 전문 용어 익숙해졌고, 나중에 한글 논문을 주었을 때는 영어로 된 머리카락 용어에 익숙해져서 한글 논문이 잘 와 닿지 않고 오히려 어렵다고 말하면서 영어로 된 논문을 더 선호하는 모습을 보였다. 이는 영어로 된 논문 공부를 2-3개월간의 과제와 면대면 교육을

통해 학생들이 영어 논문에 익숙해지고, 기본개념 익힐 수 있다는 선행 연구 결과와 일치한다. (심규철, 2009) 이처럼 학생들은 처음엔 논문의 형식이나 논문 속에 나오는 영어로 된 과학 전문 용어를 낯설어 했지만 논문 공부를 지속할수록 과학사회의 언어와 구조에 익숙해지는 모습을 보였다.

그리고 학생들은 과학자의 참 탐구 과정에 대해 이해하게 되었다. 학생들은 스스로 실험 가설 설정부터 해서 실험 설계를 하고 자신들이 만든 설계를 가지고 실험을 수행했는데, 학교에서 교과서의 매뉴얼에 따라 실험을 하고 항상 예상되는 결과가 잘 나왔던 실험과는 달리 한 번에 실험이 안 되고 문제 상황에 봉착하는 경험을 하게 되었다. 그러면서 이전에 공부했던 논문들을 참고하고 더 추가로 검색하여 논문을 공부하였고, 선행 연구의 결과와 자신들이 실험한 결과를 비교하면서 선행 연구 결과를 바탕으로 실험 가설과 설계를 수정하는 과정을 거쳤다. 이런 과정을 통해 기존에 매뉴얼을 따라가며 한 번에 성공하는 실험과는 달리, 실제 과학자들은 예비실험을 거치면서 많은 시도를 함을 인식하였고 실제 과학자의 참 연구과정 학습하였다.

또한 실험을 수행하면서 학생들은 예상과 다른 결과가 나오는 문제 상황에 부딪혔고 예상했던 대로 실험 결과가 나오지 않아서 다시 실험을 설계 했었는데 이때 막연히 하는 것이 아니라 논문을 참고하고 선행 연구의 결과와 자신들이 실험한 결과를 비교하며 개선하려 하였다. 이처럼 특정 분야에서 문제가 발생했을 때 기존 자신의 지식을 이용한 추측을 바탕으로 문제에 접근하거나 개인의 능력을 통한 문제 해결 방식의 모습이 아닌, 문제 해결 위해 참고논문 어떤 부분 이용해야 할 것인지 파악하려 하면서 과학자들이 문제를 풀어내기 위해 어떤 방식으로 노력하는지를 배웠다.

마지막으로 보인 특징은 실험에 대한 오차와 일반화에 대해 인식하는 모습이 보였다. 이전에는 같은 조건에서 반복 실험했을 때 실험 데이터가 거의 완전히 일치되어야만 성공한 실험이라 생각했었는데, 여러 실험 논문을 접하고 직접 여러 번 실험을 해보니까 실험할 때는 불가피하게

오차가 생기게 되는 것 같고 같은 조건에서 실험 데이터가 정확히 일치하지 않아도 오차 막대가 작고 적절한 경향성만 띠면 제대로 된 실험이라는 것을 알았다는 한 학생의 말에서도 알 수 있듯이, 학생들은 실험을 수행하고 실험 결과를 분석할 때 참고한 논문을 통해 머리카락 표면이나 물리적 특성은 각 사람마다 다를 뿐 아니라 한 사람의 머리카락일지라도 제각기 다를 수 있음을 확인했고 머리카락 특성상 오차 범위가 폭 넓게 나타날 수 있음을 알았다. 그리고 여러 개 머리카락의 다양한 곳을 측정해서 실험 결과의 신뢰도를 높이고 일반화 시키려 시도했고, 데이터 측정 횟수를 증가시키면서 실험을 일반화 하려는 태도도 보였다. 이처럼 학생들은 논문을 접하고 공부하면서 과학자의 소통 공간에 대해 인식하며 과학자와 과학 사회가 어떠한지를 간접적으로 알 수 있었고 더 나아가 자신들도 과학자와 같이 실험을 수행하고 실험에 접근하려 했다.

5.2 연구의 한계점

이 연구는 서울대학교 과학영재교육센터를 수료한 학생들 중에서도 상위 그룹에 속한 학생들 3명을 대상으로 진행하였다. 아무리 영재 학생들이라고 해도 논문을 접해본 적이 없었기에, 특히나 영어로 된 논문이었기에 초기에 교사의 개입이 불가피하였다. 연구가 차츰 진행될수록 학생들은 논문 읽는 것에 익숙해지고 스스로 알아가는 부분이 많아졌지만 시작 단계에서는 교사가 논문에 대해 설명해 주는 부분이 있었기에 논문의 영향에 더하여 교사 개입의 영향도 포함될 수밖에 없었다. 그래서 학생들이 영향을 받은 요인들 중 일부가 의도하지 않은 변수에 의한 결과일 수 있다. 또한 영재 학생 3명이라는 적은 인원을 대상으로 진행했기에 현재 연구 결과를 다른 집단에 적용했을 때 같은 결과가 나올 것이라 일반화하기에는 다소 무리가 있다. 그리고 이 연구는 3명 학생이 논문을 공부하기 전과 후를 관찰하여 논문의 영향을 살펴본 단일집단 연구로써 사전, 사후를 비교하였기에 논문을 공부하지 않은 비교집단이 없는 제한

점을 가진다. 가설 설정과 실험 설계 부분에 있어서는 사전, 사후 비교를 하였는데, 논문을 공부하기 전 실험을 진행할 수 있는 가설이 나오지 않았기에 실험 수행으로 넘어가지 못하였었고 따라서 실험 수행과 실험 분석 부분에 있어서는 프로그램 적용 전 비교할 수 있는 관찰 자료가 없다. 실험 수행과 분석 부분에서는 연구를 진행하면서 학생들의 대화 속에서 논문에 의해 영향을 받은 부분을 관찰하고 추려낸 것이기에 이 부분에 있어서는 사전 비교가 없다는 제한점이 있다. 그래서 실험 수행과 실험 분석 시 보인 학생들의 특징이 논문에 의한 영향이라고 단정 짓기는 어려우나 학생들은 토론하면서 논문에 대해 자주 언급을 하였고 어떤 부분에 있어서 논문에 대해 언급하며 논문의 자료를 받아들이고 자신의 생각을 말하는지 관찰하였기에 이것으로 논문이 학생들에게 영향을 주었을 것이라 간접적으로 알아보았다.

5.3 제언

모든 프로그램을 마치고 학생들에게 사사만 활동을 하면서 느낀 점을 작성해보라고 하였다.

학생들은 논문을 공부하면서 논문을 통해 다양한 정보를 얻으며 배경지식을 쌓았고, L 학생은 열에 의해 머리카락이 손상되는 실험을 직접 확인하고 난 후 되도록 냉풍으로 머리카락을 말리려 한다는 대답을 하면서 실험 결과를 자신의 상황에 적용 시키는 모습도 보였다. J 학생은 과학자 논문을 공부하는 것이 재미있을 뿐 아니라 남들이 해보지 않은 것을 해봤다는 거에 대한 우월감, 자부심이 든다고 했고, 논문을 공부하고 소논문을 작성해 본 것이 앞으로 과학고에 가서 팀별로 자유탐구 주제를 정하여 실험 할 때 지금 한 것들이 많이 도움 될 것 같다 하였다.

L : 논문을 읽으면서 나는 머리카락이 얇지만 매우 복잡하다는 것과 이 작은 머리카락에 관한 실험이 많다는 것도 알 수 있었다. 그리고 머리카락에 관한 연구이더라도 내용이 개별적이고 논문마다 많이 다를 것이라 생각했던 내겐 예상외로 사람들이 비슷한 주제의 실험을 측정 방법을 바꾸거나 측정 대상, 조건을 바꾸어 연구한다는 것을 알게 되었다. (중략) 실험하고 손상을 봐서일까, 난 헤어드라이기에서 나오는 온풍이 머리카락을 많이 상하게 하는 실험을 한 후로는 되도록 냉풍으로만 머리를 말리고 있다.

J : 일단 논문 공부하면서 배운 것은 논문을 참고하는 우선순위, 실험과 가설을 설정하고 계획할 때 어떤 것을 생각해 봐야하는가 그리고 읽는 법과 개략적인 논문의 구성 같은 것들을 배웠습니다. (중략) 남들이 안하는 것을 하고 있다라는 자부심도 있고 새로운 것을 배우는 것도 나름 재미가 있었습니다. (중략) 공부할 때는 일부 전문용어가 영어사전에 없어서 인터넷에서 찾아보아야 했던 점, 그리고 가끔 논문의 작성자가 만들어내는 'combability'나 'untilt'같은 말들은 검색에도 안 나와서 임의로 해석해야 했던 점이 좀 힘들었고, 실험설계랑 가설설정 하는 것이 가장 어려웠던 것 같습니다. AFM으로 이미지를 찍는동안 좀 지루했던 점 같은게 좀 힘들었던 것 같습니다.

G : (중략) 영어로 되어 있어 항상 100%알아 가기보다는 핵심위주로만 공부를 했다. 그렇게 여러 논문을 읽다보니까 나도 모르게 머리카락에 대해 많은 지식을 갖게 되었다. 논문 읽을 때는 다 영어라서 해석하기도 어려웠는데 여러 번 하다 보니 논문을 어떻게 읽어야 하며 또 어떤 부분을 중점으로 읽어야 할지 대충 감을 잡았다. (중략) 처음에는 그냥 실험하면 안되나? 논문을 꼭 읽어야 하나 생각도 들었지만 하나하나 읽어보면서 실험하는 것이 쉬운 것이 아니구나라는 생각과 또 아무것도 모르는 채로 실험하는 것보다는 하나라도 더 알고 실험하는 것이 훨씬 나은 실험이 되겠구나라는 생각을 했다. (중략) 머리카락에 관련된 용어는 일상생활에서는 듣지 못했던 생소한 용어이기 때문에 한국말로 해도 어려운데 영어로 읽으니깐 정말 어려웠다. 게다가 그런 전문 용어는 하나하나 영어사전에 자세히 기록되어 있지 않다. 그래서 엄청 힘들 것 같았지만 쌤이 많은 도움을 주셨다. (중략) 읽은 논문의 개수가 점차 싸일수록 머리카락의 용어가 생소하지 않게 됐다.

[표 V-1] 사사반 활동을 하면서 느낀 점

이렇게 학생들은 논문을 공부한 것에 대해 긍정적인 반응을 보였고 어려움으로는 학교와 학원공부에 의한 시간적 제한과 영어 논문이라는 것, 처음 접한 낯선 용어들을 꼽았다. 그리고 탐구 과정 중 실험 가설을 선정하는 것이 가장 어려웠고 실험을 수행할 때 AFM 찍는 과정이 다소 지루했고, 결과가 예상했던 대로 나오지 않았을 때는 조금 막연해 지면서 내려놓고 싶은 생각도 들었다고 했다. 그러나 이런 어려움들은 논문을 읽는 횟수가 증가할수록 논문의 구성과 형식에 익숙해 졌고 영어에 적응이 됐으며, 용어들을 익혀가면서 점점 편해졌다고 하였다.

아무리 영재들이라 하더라도 이전에 논문이나 전공 서적을 접한 적이 없었는데 이는 자료에 대한 접근성의 어려움과 경험의 부재, 익숙지 않음, 논문이나 전공 서적이 보기 어려울 것이라는 막연한 두려움에 기인하였다. 이런 것을 고려할 때 논문을 접하는 초기 단계에서 교사의 역할이 중요하고 불가피함을 알 수 있다. 교사는 학생들이 논문의 구성과 논문 속의 용어에 익숙해지도록 안내를 해주어야 하고 특히 학생들은 자료 선정에 미흡할 수 있으므로 스스로 자료를 찾는 단계에 이르기 전까지는 교사가 적절한 자료를 취사하여 학생들이 공부할 수 있도록 제공하는 것도 중요하다. 그러나 이런 교사의 개입 정도는 점차 줄어들어야 하고 학생들 스스로 논문을 검색하고 어떤 논문이 도움이 될지 선택하여 공부할 수 있는 단계에 이르도록 안내하는 것이 필요하다.

“논문을 꼭 읽어야 하나 생각도 들었지만 하나하나 읽어보면서 실험하는 것이 쉬운 것이 아니구나라는 생각과 또 아무것도 모르는 채로 실험하는 것 보다는 하나라도 더 알고 실험하는 것이 훨씬 나은 실험이 되겠구나라는 생각을 했다.”는 G 학생의 말은 과학자 논문을 처음 접했을 때의 부정적인 생각이 긍정적으로 변했고 논문의 중요성을 인식함을 보여줬다. 이 연구에서 학생들에게 관찰된 특징은 다른 어떤 공부나 교사의 지도에 의해서도 보일 수 있다. 자신이 실험하고 싶은 영역의 책을 찾아서 공부하면서 배경지식을 쌓고 탐구실험을 해도 이런 영향들은 관찰 될 수도 있다. 그런데 왜 과학자 논문이어야 했는가? 물론 그래프, 데이터, 서론부분의 기본 지식들을 따로따로 찾아서 배울 수도 있지만, 과

학자 논문을 통해 연구의 기본 배경 지식부터 결론 도출에 이르기까지 탐구의 모든 일련 과정을 논문이라는 완전한 형태로 함께 익힐 수 있고 과학자들의 사고 과정과 탐구 과정을 간접적으로 배울 수 있다는 이점이 있다. 또한 학생들은 스스로 소논문을 작성 해봄으로써 기본 배경 지식부터 실험 결론까지 자신의 생각을 일목요연하게 정리해보고 이런 과정들을 통해 연구하는 동안의 자신의 사고 흐름을 파악할 수 있다. 교사의 적절한 시기의 개입과 도움으로 인도된 학자 논문 학습은 학생들로 하여금 과학자의 참 탐구 과정을 배우고 인식할 수 있게 하는 길이 될 것이다.

참 고 문 헌

- 강성주, 김현주 외 7명 (2009). R&E 프로그램에 대한 과학 영재 고등학생들의 인식 연구. 한국과학교육학회지, 29(6)
- 곽형심 (1997) 모발미용학. 정문각, pp 216-224.
- 교육부 (1999) 중학교 교육과정 해설. 서울: 대한교과서.
- 김경대, 심재영 (2008). R&E 프로그램을 체험한 과학영재들의 사사교육 프로그램 효과에 대한 인식: KAIST 신입생을 중심으로. 한국과학교육학회지, 28(4), 282-290
- 김대진, 신광문, 이성묵 (2008). 후체복사를 이용한 연구교육 프로그램 개발 및 적용. 새물리(한국물리학회), 56(2), 63-73.
- 김명희 (2010). 과학자의 과학적 추론 과정이 가시화된 유전 영역 과학 영재 교수-학습 프로그램의 개발 및 적용. 한국교원대학교 교육 석사학위 논문.
- 김수경 (2005) 실생활 소재 과학 탐구 모듈이 중학생의 과학 탐구 능력 과 실험 활동에 대한 태도에 미치는 효과. 한국과학교육학회지 25(7): 811-819.
- 김정민, 심규철, (2008). 과학영재들을 위한 과학적 연구 기반 사사교육 프로그램 분석 연구. 국제과학영재학회지, 2(1), 71-78.
- 김종득, 김훈, 박은영, 이범진, 최호성 (2005). 과학영재학교 R&E 사업 결과보고서. 대전: KAIST 과학영재교육원.
- 권용주, 양일호, 정원우 (2000). 예비 과학교사들의 가설 창안 과정에 대한 탐색적 분석. 한국과학교육학회지, 20(1), 29-42.
- 권용주, 정진수, 강민정, 김영신 (2003). 과학적 가설 지식의 생성과정에 대한 바탕이론. 한국과학교육학회지, 23(5), 458-469.
- 권재술, 김범기 (1994). 초.중학생들의 과학탐구능력 측정도구의 개발. 한국과학교육학회지, 14(3), 251-264.
- 동효관, 홍준의, 신영준, 김경호, 이길재 (2003). 과학영재가 선호하는 수업형태와 수업환경 조사를 위한 수업 전략의 개발. 한국생물교

- 육학회지. 31(1), 16-23.
- 서울대학교 교육연구소 (1994). 교육용어사전. 서울: 하우.
- 서혜애, 오필석, 홍재식 역 (2000). 국가과학교육 기준. 교육과학사.
- 심규철, 박경애, 길지현 (2009). 과학적 연구 기반 과학영재 사사교육 프로그램 개발. 국제과학영재학회지, 3(1), 9-19
- 양일호 외 4명 (2006). 과학자의 과학지식 생성과정에 대한 심층 면담 연구. 한국과학교육학회지 26(1) 88-98
- 오창호 (2008). 과학자의 실제적 연구과정에 기반한 과학 영재를 위한 탐구모델 개발. 한국교원대학교 교육석사학위 논문.
- 윤희숙, 김미정 (2007). 사사교육 프로그램을 통한 영재교육 사례 연구. 국제과학영재학회지, 1(2), 135-144.
- 윤기상 (2010) 과학영재교육원 사사교육을 위한 모형 개발과 매미 복부 모형의 공명 패턴 연구에의 적용, 한국교원대 석사학위 논문.
- 이선길 (2006). 고등학교 과학영재를 위한 사사연구(R&E) 프로젝트 학습 모형의 개발과 적용. 이화여자대학교 박사학위논문.
- 이혜원, 양일호 (2005). 초.중학생의 관찰, 예상, 가설의 이해. 초등과학교육. 24(3) 236-241.
- 임길선, Yager, R. E. (2007). 과학영재의 지속성 계발을 위한 교수.학습 프로그램 개발 방향. 한국일본교육학연구, 11(2), 1-20
- 정선희 (2007). 과학자와 과학 영재의 탐구 과정에서 나타나는 귀추적 추론. 한국교원대학교 교육석사학위 논문.
- 장병수 (2006) 탈색된 머리카락의 미세구조적 변화. 한국전자현미경학회지 36(1): 25~33.
- 조희형 (1994) 과학-기술-사회와 과학교육. 서울: 교육과학사.
- 조희형, 박승재 (1994). 과학론과 과학 교육. 교육과학사.
- 최용석, 이국행 (2006). 과학영재아 사사교육 프로그램 개발과 응용에 관한연구, 과학교육논총, 31, 45-55.
- 하지희, 이화중, 강성주 (2009). 모델링 활동에 대한 과학고등학교 학생들의 인식. 영재교육연구, 19(1), 183-201.

- 한안진 (1987). 현대 탐구과학교육. 교육과학사.
- 허명 (1984). 과학탐구 평가표의 개발. 한국과학교육학회지, 4(2)
- Aikenhead, G.S. (1989). Science inquiry. Focus on excellence, 1(1). NSTA.
- American Association for the Advancement of Science (AAAS) (1989). Project 2061: Science for all Americans. Washington, DC: AAAS.
- Baram-Tsabari, A. and Yarden, A. (2005). Text genre as a factor in the formation of scientific literacy, Journal of Research in Science Teaching, 42(4), 403-428.
- Brill, G. and Yarden, A. (2003). Learning biology through research papers: a stimulus for question-asking by high-school students, Cell Biology Education, 2(4), 266-274.
- Brill, G., Falk, H. and Yarden, A. (2003). Teachers' journal club: bridging between the dynamics of biological discoveries and biology teachers. Journal of Biological Education, 37(4), 168-170.
- Brill, G., Falk, H. and Yarden, A. (2004). The learning processes of two high-school biology students when reading primary literature, International Journal of Science Education, 26(4), 497-512.
- Brown KC (1997) Hair coloring. In: Hair and Hair Care. Johnson ed, New York, Marcel Dekker. pp 191-214.
- Carmen LaTorre (2005) Nanotribological characterization of human hair and skin using atomic force microscopy. Ultramicroscopy 105: 155-175.
- Clara Barba (2010) Restoring important hair properties with wool keratin proteins and peptides. Fiber and polymers 11: 1055-1061.

- Clarence R. (2002) *Chemical and Physical Behavior of Human Hair* (4th Ed). Springer-Verlag New York, Inc.
- Chiappetta, E. L., Koballa, Jr., T. R., & Collette, A. T. (1998). *Science instruction in the middle and secondary schools*, 4th ed. Columbus, Ohio: Merrill.
- Collette, A.T & Chiappetta, E. L. (1989). *Science instruction in the middle and secondary schools*, 2nd ed. Columbus, Ohio: Merrill Publishing Company.
- Edwards, A. & Jones, S. M. & Wapstra, E. & Richardson, A. M. (2007) Engaging students through authentic research experiences. *UniServe Science Teaching and Learning Research Proceedings*, 168-172.
- Falk, D.F. (1971). *A broader base for science teaching*.
- Gallagher, J.J. (1971). *Biology teaching methods*. Malabar, FL: Krieger Publishing Company.
- Germann, J. (1996). student performance on asking questions, identifying variables, and formulating hypotheses, *School Science and Mathematics*, 96(4), 192-201.
- H. Biegl (1937) Determination of the elastic constants of copper on copper-whiskers by the flexural vibration method. *J. Phys. Chem. Solids*. 35: 37-41.
- Kuhn, N. G., & Abd-El-Khalick, F. (1988). *The development of scientific thinking skills*. San Diego, CA: Academic Press.
- Kyle, W. C Jr. (1980) The distinction between inquiry and scientific inquiry and why high school students should be cognizant of the distinction. *Journal of Research in Science Teaching* 17: 123-130.
- Lain G. Main (1993) *Vibrations and Waves in Physics*, 3rd Ed. Cambridge University Press.

- Leszek J. Wolfram (2003) Human hair: A unique physicochemical composite. *J Am Acad Dermatol* 48: 106-114.
- Liu, S-Y & Lenderman, N. G. (2002). Taiwanese gifted student's views of nature of science. *School Science and Mathematics*, 102(3), 114-123
- Mayer, V. J. & Richmond, J. M. (1982). An overview of assessment instrument in science. *Science Education*, 66(1), 49-66.
- National Research Council (1996). National science education standards. Waxhington DC: National Academy Press.
- National Research Council (2000). Inquiry and the National Science Education Standards. Waxhington DC: National Academy Press.
- Peter Swatton (1992). children's language and assessing their skill in formulating testable hypotheses, *British Educational Research Journal*, 18(1) 73-85.
- Polyanin A.D. (2002) Handbook of linear partial differential equation for engineers and scientists, CRC Press.
- Schwartz, R. S., Lederman, N. G., Crawford, B. A. (2004). Developing views of nature of science in an authentic context: An explicit approach to bridging the gap between nature of science and scientific inquiry. *Science Education*, 88(4), 610-645
- Tessel-Baska, J. V. & Kulieke, M. J. (1987). The role of community-based scientific resources in developing scientific talent: A case study. *Gifted Child Quarterly*, 31(3), 111-115.
- Trawbridge, L. W. & Bybee, R. W. (1986). *Becoming a secondary school science teacher*, 4th ed. columbus, OH: Charles E. Merrill Publishing Co.
- Valdo Valkovic (1988) *Human hair*, 1st Ed. CRC Press, pp 3-59.

- Willson, J. T. (1974). processes of scientific inquiry - A model for teaching and learning science. *Science Education*, 58, 127-133.
- Yager, R.E. & McCormack, A.J. (1989) Assessing teaching/learning successes in multiple domains of science and science education. *Science Education*, 73(1), 45-58.
- Yager, R. E. (1997) *Science/Technology/Society as reform in science education*. Albany NY: State University of New York Press.

【부록 1】 학생들이 작성한 소논문

AFM을 이용한 온도 변화, 가열 시간에 따른 머리카락 큐티클의 손상 관찰

공현진¹, 이연수², 전민규³, 강선영⁴

¹월촌중학교, ²대왕중학교, ³당곡중학교, ⁴서울대학교

요약

일상 생활에서 헤어드라이기로 머리카락을 말릴 때, 헤어드라이기의 온도나 머리카락을 말리는 시간이 실제로 머리카락에 손상을 주는지 실험하기 위해 온도를 변화시키고, 같은 온도에서 시간을 증가시키면서 머리카락 표면의 손상을 AFM으로 관찰하였다. 결과, 머리카락 표면은 100℃ 이상의 온도에서 선프로파일이 매우 거칠어지는 모습을 보이며 크게 손상됨을 나타냈고, 80℃의 같은 온도에서 시간을 증가시키면서 관찰한 실험에서는 열을 가한 후 5분 동안 표면의 평균 거칠기의 변화가 가장 크게 일어나면서 손상이 나타남을 확인했다. 평소에 헤어드라이기로 머리카락에 열을 가할 때에는 100℃ 이하의 비교적 낮은 온도에서 5분 이하로 최대한 빨리 건조 시키는 것이 머리카락을 건강하게 유지하기 위해 좋을 것으로 생각된다.

주제어 : 큐티클, 온도, 거칠기, AFM

서론

머리카락 구조

머리카락은 주로 케라틴 단백질로 구성되어 있고 멜라닌 색소와 지질 등으로

이루어져 있다. 머리카락의 일반적인 구조는 모간부, 모근부로 볼 수 있고, 모간부의 구성은 크게 피질, 수질, 큐티클 세가지로 나뉘어 진다. 피질 질량 중 50~60%는 메크로 피브릴로 되어있고 피질에 포함 된 멜라닌 색소는 머리카락의 색에 관여한다. 수질은 피질 안에 있는 빈 공간으로 공기가 들어있고 이 공기는 절연체의 역할을 하면서 몸의 체온을 유지하는 기능을 가진다. 머리카락의 가장 바깥에 위치한 큐티클은 0.5 μm 의 두께와 5~10 μm 의 길이를 가지며 납작하고 각진 모양으로 피질을 겹겹이 기와처럼 둘러싼다. 큐티클은 딱딱한 경 케라틴으로 이루어져 있으며, 겉 부분에는 지질로 되어있다. 또한 피질을 보호하고 머리카락의 마찰력을 줄여주며, 모발에 윤기를 주고 매끄럽게 해주는 역할을 한다. (Leszek J. Wolfram, 2003, Carmen LaTorre, 2005)

온도에 따른 머리카락 손상

미용을 위해 가해진 열은, 머리카락의 최외각층에 있는 큐티클에 영향을 미쳐서 큐티클의 비늘을 손상시키거나 모양을 변형시킨다. 그리고 이러한 큐티클의 손상에 의해 머리카락의 촉감이 거칠어 지거나 표면 광택이 떨어지게 된다. 여기에서 더 열을 가할 시 큐티클 층이 떨어져나가 피질이 드러나기도 하며, 공기 중에 노출된 피질 속의 멜라닌 과립이 드러나기도 한다. 피질이 이처럼 손상될 경우, 머리카락의 탄력성은 떨어지게 된다. 그리고 열이 머리카락에 가해질 경우, 단백질의 변형을 일으키기면서 머리카락을 손상시키고 이런 손상은 머리카락 속 수분을 빠져나가게 한다. (Clara Barba, 2010)

이 실험은 우리가 일상생활에서 사용하는 헤어드라이기가 머리카락에 손상을 가져오는지 직접 확인하기 위해 시작했다. 그리고 실험은 크게 두 개로 진행되었는데 첫 번째는 헤어드라이기의 온도가 머리카락에 미치는 영향을 보기 위해 온도에 따른 머리카락의 표면을 관찰하였고, 두 번째는 헤어드라이기를 사용하는 시간이 머리카락에 미치는 영향을 보기 위해 같은 온도에서 시간을 변화시키면서 머리카락의 표면을 관찰하는 실험을 하였다.

장 치

원자 힘 현미경

AFM은 Atomic force microscopy의 약자로 원자현미경의 종류 중 하나이다. AFM은 미세한 물체의 겉모습, 즉 외관을 정량적으로 분석할 수 있는 장치이다.

AFM의 원리는 원자와 원자 사이의 인력과 척력을 이용하는 장치이다. AFM은 캔틸레버 끝의 아주 가는 팁을 물체의 표면에 매우 근접시켜 물체의 굴곡에 따라서 팁이 위아래로 움직이게 하고, 이 때 캔틸레버에 레이저를 쬐서 반사시켜 포토 다이오드 관에 반사된 레이저의 위치를 기록하여 이미지화 시킨다. SEM이나 TEM은 샘플을 만드는데 많은 과정이 있고, 진공에서 관측한다는 특성으로 모발을 관측하기에는 어려움이 많은 반면, AFM은 시료에 특정한 처리를 해줄 필요도 없고, 실험 후에도 시료가 손상이 없이 잘 유지되는 장점이 있다.(G. Poletti, 2003) 또한 단순히 외관만 찍는 것이 아니라 마찰력 같은 여러 가지 특성들을 측정 할 수 있다는 것이 장점이다. 하지만 하나의 이미지를 찍는데 시간이 너무 오래 걸린다는 것, 팁이 너무 가늘어서 손상되기 쉽다는 것, 샘플의 같은 위치를 정확히 다시 찍기가 어렵다는 점도 있다.

실험 과정

시료 준비

실험에 사용된 머리카락은 화학적 시술을 받지 않은 건강한 머리카락으로서, 빗질이나 물리적인 영향을 비교적 덜 받는 두피 쪽 머리카락부터 1cm 길이로 잘라서 사용하였다. 머리카락에 묻어있을 이물질들을 제거하기 위해 증류수로 헹군 후 자연 건조하여 실험에 사용하였다.

온도에 따른 표면 변화 관찰

온도에 따른 머리카락의 손상 정도를 관찰하기 위해 40°C부터 100°C까지 10°C간격으로 머리카락 표면의 거칠기를 AFM으로 관찰하려 하였다. 그래서 예비 실험으로 24°C 상온에서의 머리카락과, 40°C, 70°C, 100°C 에서 5분 동안 가열한 머리카락의 표면을 AFM으로 관찰했다. 가장 손상이 덜 되었을 것 같은 머리카락의 모낭쪽을 측정하였으며 모낭에서 1cm길이의 머리카락 표면을 보았다. 그리고 각각의 온도에 따라 20 μm ×10 μm 크기로 찍고, 표면을 더 자세히 찍기 위해 큐티클 등 부분의 표면을 2 μm ×2 μm 크기로 관찰했다.

시간에 따른 표면 거칠기 변화 관찰

시간에 따른 머리카락의 손상 정도를 관찰하기 위해 80℃의 온도에서 5분씩 가열하여, 5분부터 30분까지 가열시간을 증가시켰다. AFM으로 $1\mu\text{m}\times 1\mu\text{m}$ 크기로 측정하여 머리카락 표면의 중심선 평균 거칠기 Ra와 최대단차값 Rpv를 기록했고, 각 시간 별로 한 샘플에서 12~13회 측정하여 평균 거칠기와 최대단차값의 평균을 구했다.

결과 및 논의

온도에 따른 머리카락의 표면 변화

먼저 24℃ 상온에 있던 머리카락과 100℃에서 5분간 가열한 머리카락의 $20\mu\text{m}\times 10\mu\text{m}$ 이미지를 관찰하였다. 관찰한 결과, 상온에서의 큐티클과 100℃에서 가열한 큐티클의 이미지 상에서는 큰 차이를 보이지 않았다.(그림 1.) 여기서 큐티클의 선프로파일을 비교해 보았을 때, 큐티클 간의 손상보다는 큐티클 등쪽의 표면에서 손상이 생긴 것이 보였다. 그래서 큐티클 등쪽에서 $2\mu\text{m}$ 로 좀 더 짧게 선프로파일을 관찰하였고 100℃에 가열한 머리카락의 큐티클이 조금 더 거친 형태를 보였다.(그림 2.) 이는 열을 가했을 때 큐티클의 표면이 큐티클 간의 손상보다는 큐티클 등쪽에 상처가 보이면서 손상됨이 나타났던 연구와 일치한다. (YoonheeLee, 2011)

1) 100℃의 온도에서 머리카락의 선프로파일이 거칠어짐 2) 큐티클 전체보다는 큐티클 등쪽 표면에서의 변화, 이 두 개를 확인한 후 24℃, 40℃, 70℃, 100℃에서 가열한 큐티클의 표면을 $2\mu\text{m}\times 2\mu\text{m}$ 크기로 찍으며 선 프로파일의 변화를 관찰했다. AFM으로 찍은 이미지 상에서는 24℃, 40℃, 70℃는 큰 차이를 보이지 않았으나 100℃에서는 표면이 크게 거칠어 진 모습을 보였다. (그림 3.) 그리고 각각의 이미지에서 선프로파일의 변화 모습을 관찰했는데 온도가 증가할수록, 특히 100℃에서 큐티클의 표면이 거칠어 짐을 알 수 있었다. 조금 더 자세한 관찰을 위해 각각의 AFM 이미지에서 선프로파일의 일부를 200nm 길이로 보았다.(그림4.) 결과, 온도가 증가할수록 표면의 형태가 거칠어짐을 좀 더 자세히 볼 수 있었고, 특히 100℃에서 변화가 크게 나타남을 알 수 있었다. 이렇듯 온도가 증가할수록 머리카락의 표면의 선프로파일이 거칠어짐을 통해 실제로 높은 온도가 머리카락 표면에 손상을 줌을 확인했고, 특히 100℃에서 확연히 변화가 나타나는 것을 관찰했다. 이 실험에서는 머리카락의 표면의 일부분만을 촬영했으므로 머리카락 전체에 대한 일반화는 다소 어려울 수도 있다고 생각된다.

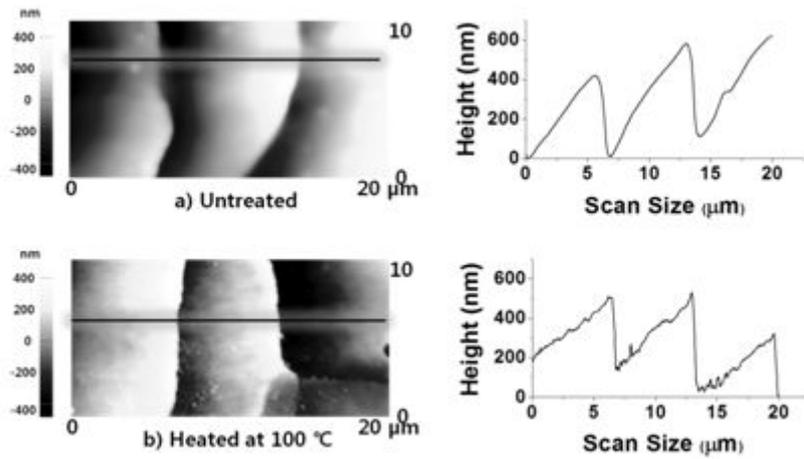


그림 1. 상온에서와 100 °C에서 5분간 가열했을 때 큐티클의 변화

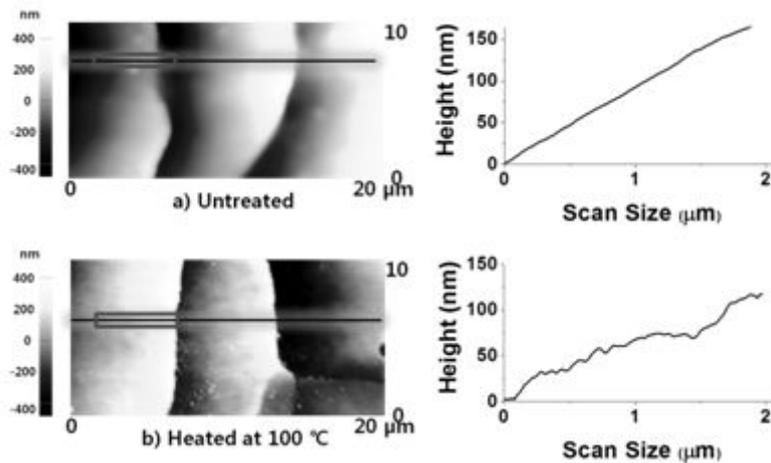


그림 2. 상온에서와 100 °C에서 5분간 가열했을 때 큐티클의 변화 (2 μm 길이로 확인)

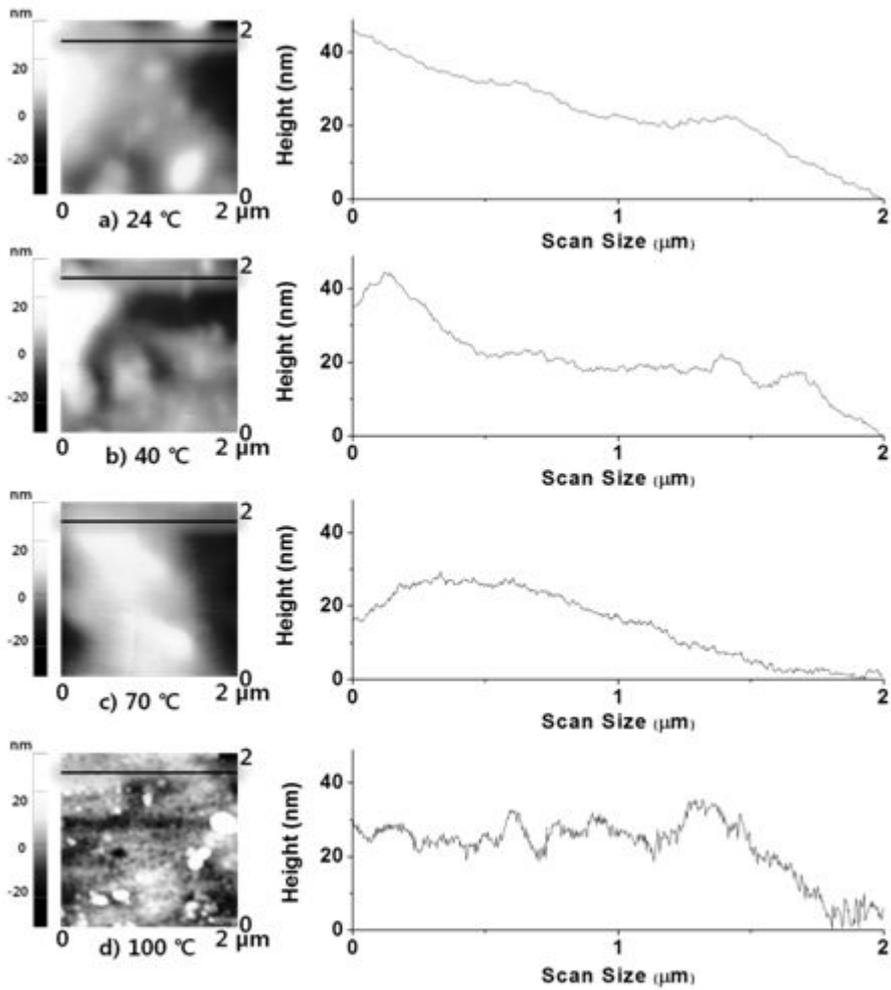


그림 3. 24(상온), 40, 70, 100 °C 에서 5분간 가열했을 때 큐티클의 변화

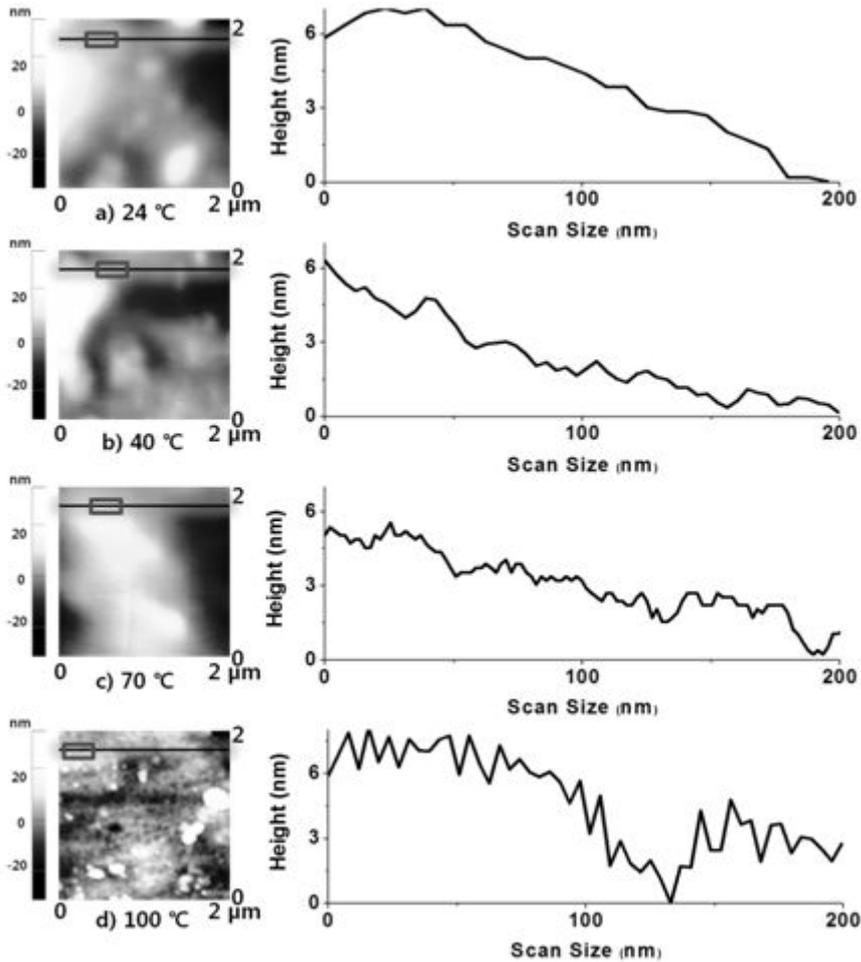


그림 4. 24(상온), 40, 70, 100 °C 에서 5분간 가열했을 때 큐티클의 변화 (200 nm 길이로 확인)

시간에 따른 머리카락의 표면 거칠기 변화

헤어 드라이기의 사용시간이 실제로 머리카락에 손상과 관련이 있는지 확인

하기 위해 가열하는 시간에 따른 머리카락의 표면 거칠기의 변화를 알아보는 실험을 하였다. 가열 온도는 일반적으로 사용하는 헤어드라이기의 온도인 80℃로 일정하게 하였고, (YoonheeLee 2011, 장병수 2003, 윤선아 2008) 가열 시간은 5분씩 증가시키며 5분, 10분, 15분, 20분, 25분, 30분으로 하였다. 같은 온도에서 가열시간만 변화시키면서 머리카락의 같은 지점을 확인하면 가열 시간에 의한 머리카락의 손상 변화를 정확히 알 수 있으나 AFM으로 정확히 같은 지점을 찍는 것이 어려워서 각각의 시간에서 12~13개의 이미지를 촬영한 후, 평균거칠기 Ra와 최대 단차값 Rpv의 평균을 확인했다.

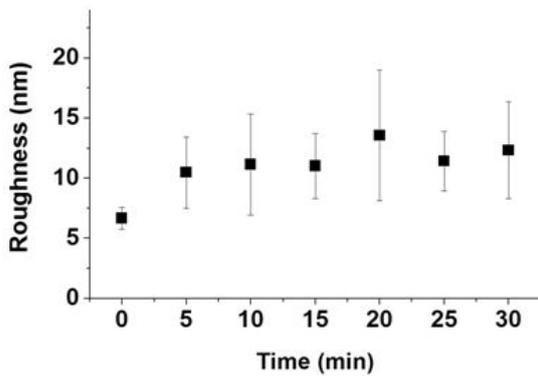


그림 5. 80℃에서 시간에 따른 큐티클의 평균 거칠기(Ra) 변화

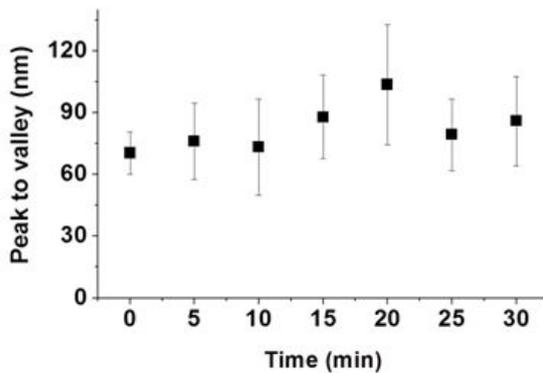


그림 6. 80℃에서 시간에 따른 큐티클의 최대 단차값(Rpv)변화

측정결과 가열시간이 증가할 때 평균 거칠기와 최대 단차값이 증가하는 경향을 보였으나 (그림5., 그림6.) 오차 범위가 매우 컸으며, 20분 동안 가열한 머리카락의 평균 거칠기가 25분 동안 가열한 머리카락의 평균 거칠기 보다 커져 선형적인 형태를 나타내지 않았다. 그러나 가열하는 시간이 증가할수록 전체적으로 평균 거칠기와 최대 단차값이 증가하는 것으로 볼 때 더 많은 샘플을 찍으면 전체적으로 선형성을 가지며 증가하는 형태를 나타내고 오차막대의 범위도 줄어들 것으로 생각된다. 이 실험으로부터 머리카락을 가열하는 시간이 증가할수록 머리카락 표면의 평균 거칠기가 증가하면서 거칠어짐을 확인했고, 온도뿐만이 아닌 가열하는 시간에 의해서도 표면의 손상 정도가 달라질 수 있음을 확인했다.

결론 및 제언

우리가 일상 생활에서 헤어드라이기로 머리카락을 말릴 때, 헤어드라이기의 온도나 헤어드라이기로 머리카락을 말리는 시간이 실제로 머리카락의 손상과 관련이 있을까 하는 궁금증에서 이 실험은 시작되었다. 헤어드라이기의 온도가 증가하면 머리카락의 손상이 증가하는지 확인하기 위하여 먼저 24℃ 상온에서와 100℃에 5분간 가열한 머리카락의 표면을 20µm×10µm 크기로 관찰하였다. 20µm×10µm 이미지에서는 24℃ 상온에서와 100℃에서 가열했을 때 눈으로 구분할 수 있을 정도의 머리카락 표면 변화를 볼 수 없었으나 선프로파일에서 큐티클 등쪽에서 거칠어지는 변화가 보였고 그래서 2µm×2µm의 작은 크기로 24℃, 40℃, 70℃, 100℃에서 5분간 가열한 후 자세히 비교하고 관찰하였다. 결과, 2µm×2µm 이미지를 촬영했을 때 머리카락 표면의 선프로파일은 온도가 증가하면서 좀 더 거친 형태를 보였고, 특히 100℃의 고온에서는 손상 정도가 확연히 커짐을 볼 수 있었다. 이를 통해 머리카락에 가해지는 온도가 증가함에 따라 실제로 머리카락이 더욱 거칠어져서 손상도가 커짐을 알 수 있었다.

또한 머리카락에 열이 가하여 지는 시간이 머리카락의 손상 정도에 영향을 주는지 확인하기 위해 80℃의 일정한 온도에서 시간이 증가함에 따라 머리카락의 평균 거칠기와 최대 단차값을 측정했다. 결과, 시간이 증가함에 따라 평균 거칠기와 최대 단차값이 증가하는 경향을 보였으며, 특히 열을 가하지 않았을 때와 5분 동안 열을 가했을 때의 평균 거칠기 변화가 이후에 가열한 시간을 증가시켰을 때의 평균 거칠기 변화보다 큼을 알 수 있었다. 이것으로 보아 가열하는 시간 의한 머리카락 표면의 손상은 머리카락이 가열되기 시작한 후 5분

안에 크게 일어나고 그 이후로도 조금씩 손상되는 것으로 여겨진다.

온도와 가열하는 시간에 따른 머리카락 표면 손상 실험을 통해 머리카락 표면은 100℃ 이상의 온도에서 크게 손상되며 열을 가한 후 5분 동안 손상이 크므로 헤어드라이기로 머리카락에 열을 가할 때에는 100℃ 이하의 비교적 낮은 온도에서 5분 이하로 최대한 빨리 건조 시키는 것이 좋을 것으로 생각된다.

참고문헌

- 윤선아 (2008) 직열식 퍼머넌트 웨이브시 가열시간과 온도에 따른 모발의 손상 및 웨이브 형태 비교 연구
- 장병수 (2003) 미용을 위한 일상적인 열처리에 의해서 손상된 모발의 미세구조 한국전자현미경학회지 제33권 제3호, 215~222
- Carmen LaTorre (2005) nanotribological characterization of human hair and skin using atomic force microscopy Ultramicroscopy 105: 155-175
- Clara Barba (2010) Restoring important hair properties with wool keratin proteins and peptides. Fiber and polymers 11: 1055-1061.
- C.Barba et al. (2010) Effect of wool keratin proteins and peptides on hair water sorption kinetics, J therm anal calorim 102: 43-48
- G. Poletti (2003) a comparative study between AFM and SEM imaging on human scalp hair, Journal of Microscopy 211: 249-255
- Ki Heon Jeong (2011) investigation of aging effects in human hair using AFM Skin Research and Technology 17: 63-68
- Leszek J. Wolfram (2003) human hair: a unique physicochemical composite American Academy Dermatology 48(6): 106-114
- YoonheeLee(2011) hair shaft damage from heat and drying time of hair dryer Ann Dermatol., Vol. 23, No. 4

【부록 2】 학생용 설문지

2011년 서울대학교 사사반 활동 설문지

머리카락을 소재로 한 자유탐구 실험 활동을 하면서 배운점과 느낀점에 대한 설문지 입니다. 특히 사사반 활동 시 과학자 논문을 공부한 것이 탐구 실험에 대한 태도, 과학과 과학자, 과학 사회에 대한 인식에 어떠한 영향을 주었는지 아래 질문에 답변 바랍니다.

1: 매우 아니다 2: 아니다 3: 보통이다 4: 그렇다 5: 매우 그렇다

나는 과학자 논문을 공부 한 후,					
1. 탐구 실험을 위한 가설을 설정할 때 논문이 실제로 도움이 되었다.	1	2	3	4	5
구체적으로 어떤 점이 도움이 되었는가?/되지 않았는가?					
2. 신뢰할 만한 출처를 바탕으로 탐구활동 하는 것에 대해 중요하게 생각하게 되었다.	1	2	3	4	5
3. 가설 설정 시 가설에 대해 비판적으로 검토하게 되었다.	1	2	3	4	5
4. 가설 설정 시 실험 가능성을 현실적으로 고려하여 가설을 설정하게 되었다.	1	2	3	4	5
5. 가설 설정 시 조작 변인, 종속 변인, 통제 변인에 대한 인식이 생겼고 가설 설정할 때 변인들이 구체적으로 잘 표현되도록 하였다.	1	2	3	4	5
6. 가설 설정 시 근거의 출처가 내부적인 생각에서 외부의 신뢰할 만한 과학적 지식으로 바뀌게 되었다.	1	2	3	4	5
7. 가설 설정 시 제시한 근거와 가설 사이의 인과적인 연관성에 대해 고려하게 되었다.	1	2	3	4	5

8. 실험 설계 시 숫자를 사용하여 구체적으로 표현하게 되었다.	1	2	3	4	5
9. 실험 설계 시 사용할 장비를 언급하며 어떻게 조작할 지를 자세히 표현하게 되었다.	1	2	3	4	5
10. 실험 설계 시 조작해야 할 변인을 제시하게 되었다.	1	2	3	4	5
11. 실험 설계 시 재현성에 대해 고려하게 되었다.	1	2	3	4	5
12. 실험 설계 시 한번의 실험으로 일반화 시키는 것이 아니라 여러 번 실험해서 측정해야 함을 인식하게 되었다.	1	2	3	4	5
13. 실험 수행 시 실험 오차에 대한 인식이 생겼다.	1	2	3	4	5
14. 실험 수행 시 실험 오차를 줄이기 위해 다양한 방법들을 생각하려 하였다.	1	2	3	4	5
15. 실험 수행 시 한번의 실험으로 일반화 시키는 것이 아니라 실험 오차를 줄이기 위해 여러번 측정하려 하였다.	1	2	3	4	5
16. 실험 수행 시 조작할 수 있는 변인들을 생각하며 다양한 실험을 시도하려 하였다.	1	2	3	4	5
17. 실험 결과 분석 시 실험 오차에 대해 고려하며 그래프에 오차막대를 표현하는 것에 대해 알게 되었다.	1	2	3	4	5
18. 실험 결과 분석 시 단위에 대한 인식이 생겼고 그래프, 그림, 표에 단위를 제시하려 하였다.	1	2	3	4	5
19. 실험 결과 분석 시 과학자 논문을 통해 본 다양한 형태의 그래프나 그림, 표의 표현 방법은 탐구 실험한 데이터의 결과를 한눈에 쉽게 인식할 수 있도록, 보기 좋게 그래프로 구성하고 제시하는 데에 실질적으로 도움이 되었다.	1	2	3	4	5
20. 실험 결과 분석 시 데이터를 분석적으로 바라보고 검토하게 되었다.	1	2	3	4	5
21. 실험 결론 시 선행 연구들과의 연관성에 대해 고려하게 되었다.	1	2	3	4	5
22. 실험 결론 시 탐구 실험 결과의 가치성에 대해 고려하게 되었다.	1	2	3	4	5
23. 탐구 실험을 위한 배경지식을 쌓는 데에 도움이 되었다.	1	2	3	4	5
24. 선행 연구에 대한 인식과 과학적 탐구의 연속성에 대한 이해가 생겼다.	1	2	3	4	5
25. 선행 연구와의 연관성을 고려하게 되었다.					
26. 과학 지식의 유동성에 대한 인식이 생겼다.	1	2	3	4	5
27. 연구의 흐름과 최신 경향을 파악하려 하였다.	1	2	3	4	5

28. 과학사회의 언어와 구조에 익숙해졌다.	1	2	3	4	5
29. 특정 분야에서의 문제점을 과학자들이 풀어내기 위해 어떤 방식으로 노력하는지 인식하게 되었다.	1	2	3	4	5
30. 기존에 매뉴얼을 따라가며 한번에 성공하는 실험과는 달리, 실제 과학자들은 예비실험을 거치면서 많은 시도를 함을 인식하게 되었다.	1	2	3	4	5
31. 실제 과학자의 참 연구과정을 학습하게 되었다.	1	2	3	4	5
32. 문제 상황에 부딪혔을 때 관련된 선행 연구 찾아보려 하였다.	1	2	3	4	5
33. 문제 해결 위해 참고논문 어떤 부분 이용해야 할 것인지 파악하려 하였다.	1	2	3	4	5
34. 과학자는 한번에 실험을 성공하는 것이 아니라 수많은 시도를 함을 알게 되었다.	1	2	3	4	5
35. 연구 주제는 흥미로웠다. 구체적으로 어떤 점이 흥미로웠는가?/ 흥미롭지 않았는가?	1	2	3	4	5
36. 실험 과정은 흥미로웠다. 구체적으로 어떤 점이 흥미로웠는가?/ 흥미롭지 않았는가?	1	2	3	4	5
37. 논문 공부과정은 흥미로웠다. 구체적으로 어떤 점이 흥미로웠는가?/ 흥미롭지 않았는가?	1	2	3	4	5
38. 교사와의 상호작용은 좋았다. 구체적으로 어떤 점이 좋았는가?/ 좋지 않았는가?	1	2	3	4	5

39. 과학자 논문을 공부할 때 교사의 역할이 크다 생각한다.	1	2	3	4	5
구체적으로 어떤 점에서 교사의 도움이 컸는가?/부족했는가?					
40. 영어로 된 과학자 논문을 보는 것은 어려웠다	1	2	3	4	5
구체적으로 어떤 점이 어려웠는가?/쉬웠는가?					
과학자 논문의 난이도는 어떠했는가?					
과학자 논문의 주제는 어떠했는가?					
과학자 논문을 보는데 이것이 있었으면 더 도움 되었을 것 같다 하는 것은 무엇인가?					

41. 무엇인가에 대해 생각하는 능력이 향상되었다.	1	2	3	4	5
42. 과학적 지식이 증가했음을 느낀다.	1	2	3	4	5
43. 아이디어를 만들어 내는 기회가 되었다.	1	2	3	4	5
44. 과학에 대한 흥미가 증가하였다.	1	2	3	4	5
45. 어떤 생각의 유용함을 판단하는 능력이 더 증가하였다고 느낀다.	1	2	3	4	5
46. 과학에 대한 나의 태도가 변했다고 느낀다.	1	2	3	4	5
변했다면 어떤 면에서 어떻게 변했다고 느끼는가?					

Abstract

Effect of Scientific Paper-Based Teaching to Scientific Inquiry of The Science of Students : Experiment of Damage of hair according to the temperature

Kang, sun young
Department of Science Education
The Graduate School
Seoul National University

In this paper, students performed an inquiry experiment which was based on scientific research papers. And their word and attitude were observed so that we can know the effect of scientific paper to the students.

Although inquiry experiment has been emphasized in the science education, most of inquiry activities consist of manuals which already describe problems and method minutely and these lead students to the 'predictable' result. Scientists spend a lot of time to think of a subject for inquiry and set a resonable hypothesis. On the other hand, it is rare for students to create a hypothesis by themselves and it is hard to experience the inquiry experiments which real scientists experiment. Students can learn easily how real scientists think and experiment through scientific research papers, because these are composed of scientist's thought, process and method of research in a way of completed form. Scientific research papers not only provide

background information which can make people understand research, but also help them to accustom language and society of science.

Paying attention to advantages of scientific research paper, students searched and read scientific papers in this program so that they could experience indirectly inquiry experiment which real scientists do. Furthermore, students set the hypothesis by themselves for their experiments and they performed inquiry experiment and organized result in the paper form.

These program had been lasted from orientation in April to January for 10 months, 31 times. And variety subjects of scientific research paper had been provided but all of them were related to hair. Before students participated in this program, they wrote down what they wanted to experiment for inquiry and designed how to they perform. After they studied scientific papers, they set hypotheses and experimental methods in the same way. these were used for analysis information of the effect of the scientific papers. Also, discussion of students during the inquiry experiment was recorded and analysis. As a result, there are some effect of scientific papers to students as follow.

First, the effect of scientific paper to each stage of inquiry experiment. The experimental hypotheses students set before they participated in this program were unclear, little worth to start to experiment and lack of a scientific basis. Moreover, in accordance with advanced research which showed the hardness of set hypotheses for students, students had some difficulties to suggest variety subjects even after they studied scientific papers. However, after they read scientific papers, they expressed hypotheses with precise and technical words, and they tried to suggest their hypotheses with control variables and independent variables. And also these variables

were not wrote down simply but they were related to each other having directionality.

When students said their hypotheses, they always considered which scientific bases support their hypotheses. And they did their best to search resonable and reliable resources.

Students showed changed attitude when they rewritten experimental design. First of all, they had wrote concretely and expressed their though fully. For example, they used specific numbers and equipments. And they described how they wanted to operate these equipments. Second, specific variables were presented so that they knew what they wanted to check when they experimented. Finally, they considered reproducibility and checked a methodological problem.

When students did their experiment, they concerned about independent variables and tried to keep control variables under their control. So they could see the results which were not exactly what they expected, but closely similar ones. Furthermore, they tried to increase reliability of the result of experiment and to make generalizations. They could think of these matters because they learned that each hair has unique character from papers. To reach reliability and generalization highly, they experimented various regions of hairs.

While students organized their thought and expressed the results of experiments, they rechecked scientific papers to know how scientists presented theirs. After that, they applied the form of the image and graph but they didn't follow uncritically. They developed forms so that they could emphasize important parts of their results.

Second, the effect of scientific paper to cognizance of scientific knowledge. Students learned naturally that basing on scientific papers and using the knowledge from the papers are important. Also, they

could get knowledges which are various and reliable from the papers. And they started to think of advanced researches and consider about relationship between each papers. So they realized that papers do not exist by them selves, but they influence each other. Moreover, they said that scientific knowledge is not an eternal truth but they can be changed or improved or discarded. And they checked flow of researches and tried to adopt recent result of papers.

Third, the effect of scientific paper to cognizance of scientists and society of science. At first time, students said they felt strange and difficult about scientific papers. These were due to the lack of experience of read papers and difficulty of English which is the way of expression. However, while keeping up their study, they got accustomed to read scientific papers. It meant they were familiar with society of science. Also, when they ran into some unexpected problems, they referred to the results of advanced researches and compared theirs and paper's. After that they designed again their experiments with consulting papers.

As mentioned above, students could learn every part of inquiry process of scientists and get basis knowledge at the same time from scientific research papers. And they could experience indirectly how scientists think and how society of science is driven. Also they emulated scientist's behavior and tried to experiment like real scientists. Through series of observation, teaching based on scientific research paper can influence attitude when student experiment and student's cognizance of scientists and society of science.

**keywords : scientific research paper, scientific inquiry,
inquiry experiment of hair**

Student Number : 2010-21514

감사의 글

연구실 창밖으로 내리는 장맛비를 세 번째 바라봅니다. 세 번의 여름과 두 번의 겨울을 지내며 2년 6개월이라는 대학원 석사 시간을 보냈습니다. 학부 때 물리과를 전공했던 저에게 교직 이수를 하라는 주변 사람들의 권유가 있었으나 교직 수업을 듣지 않았습니니다. 이것이 학부 졸업 후 회사생활 2년 뒤 다시 학교 울타리로 돌아와 대학원 석사 과정을 시작하게 된 계기가 되었습니다. 학부 때 교사는 하지 않을 거라 말했던 저는 교사가 되어 학생들을 가르치고 싶었고 교원자격증도 얻으며 교육학 석사도 하기 위해 대학원에 지원했습니다. 이런 저를 제자로 받아주시고 여러 가르침을 주신 전동렬 교수님께 진심으로 감사드립니다. 교수님의 가르침으로 탐구에 대해 알 수 있었고 앓아 있는 것이 아닌 몸으로 움직이는 연구에 대해 배울 수 있었습니다. 교수님의 가르침 잊지 않고 기억하겠습니다. 그리고 최근 들어 더 자주 보여주시는 교수님의 “아빠 미소”를 볼 때면 너무 기분이 좋아집니다. 항상 건강하세요 교수님.

논문의 심사위원장을 맡아주신 이성목 교수님, 영국 신사 같으신 송진웅 교수님, 물리교육평가 수업 때 아낌없는 조언으로 가르쳐주신 유준희 교수님, 복도에서 마주치면 언제나 반갑게 맞아주시며 학생들에게 관심과 애정을 쏟으시고, 학문에 많은 열정을 보여주셔서 귀감이 되시는 이경호 교수님께 감사드립니다.

무엇보다도 연구실에서 좋은 사람들과 함께할 수 있었음이 너무 감사합니다. 했던 말이나 행동을 떠올릴 때면 언제 어디서든 음성 지원될 것 같은 목소리를 가지고 있고, 이제는 PEDL인에서 같은 철산인이 된 재호오빠, 함께 있으면 결코 웃음을 숨길 수 없게 만드는, 언어의 달인 윤복오빠, 처음 대학원 왔을 때 주말물리를 하면서 여러 가지 조언을 해주고 도움을 준 친절한 민정언니, 신대방 삼거리에서의 5516부터 해서 대학원 생활의 여러 tip을 알려주며 ‘그래서 년 안돼’는 동생 챙겨준 대현오빠, 교직 수업부터 교생까지, 연구실에서 가장 많이 붙어있었던 왕 친절한 우영오빠 (꼭! 교사 꿈 이루길 바라요!!), 스타로는 대화를 못했지만 이제는 같이 유부대화를 할 수 있는 예쁜 의영언니, ‘그’에 대해 얘기하며 어색한 금전 관계 talk를 청산한, 항상 열심인 지연

이, 이제 품절남 되려하니 점점 본색(?)을 드러내는 숨어있던 유쾌남 작살 성민오빠, 프랙탈로 시작해서 석사과정을 하게 된, 여리여리 하지만 교사생활과 대학원 생활을 잘 해내가는 정매언니, 소리와 함께 졸업한 달걀 잡는 창수오빠, 컴퓨터에 놀라운 내공을 보이는 3.5차원 헤림이, 6개월 파견 나와서 인연이 된 쇼핑과 카드적립의 달인 지영언니, 박사 졸업을 앞둔 똑똑한 정호오빠, 발랄 성격 다리 미녀 어여쁜 하나, 비오는 날 등산이 맺어준 인연, 동갑내기 친구 인숙이, 주말몰리 교사를 멋지게 시작한 인옥오빠 모두 고맙습니다. 연구실 사람 모두로부터 배운 각자가 가진 좋은 점들, 기억하며 살겠습니다. 늘 웃으며 즐겁게 말 걸어 주셨던 이형렬 선생님과 과사로의 잦은 방문과 여러 질문에 친절히 알려준 구애영, 배은영 조교님께도 감사합니다.

저를 아껴주고 지지해준 가족이 있었기에 대학원생활 더욱 힘차게 할 수 있었습니다. 말로 다할 수 없는 변함없는 사랑으로 저를 키워주신 아버지 어머니 항상 감사드립니다. 아버지, 결혼하고 나니 아버지께서 평생 제 편이라는 것이 더욱 절실히 느껴져서 든든하면서도 잘해드리지 못했던 제 모습이 죄송스럽네요.. 어머니, 어머니는 존재 자체로 제게 감동입니다.. 제게 해주신 말씀들 하나하나 기억하며 살아가겠습니다.. 사랑합니다.. 내 인생의 첫 친구였던 동생 민구야 어릴 적 그 마음 그대로 우리 서로위해 기도하며 살자. 그리고 너무나 기쁜 인연, 새로운 가족으로 맺어진 시아버지 시어머니께도 감사드립니다. 아버지를 섬김으로 어머니를 사랑함으로 부족한 큰딸.. 공경하며 모시겠습니다. 우리 멋지고 착한 도련 '님' 상목아 건강히 제대하려무나.

8년 동안 웃게 해주고 기분 좋은 추억들 많이 만들어준 나의 짝꿍 상협오빠. 이젠 더욱 견고히 함께 할 수 있어서 너무 감사해요. 앞으로 그대와 같이 하게 될 많은 일들에 주님이 함께 하실 것을 믿기에 우리 앞에 펼쳐질 아름다운 일들을 기대합니다. 온 마음 다해 그대를 사랑합니다.

마지막으로 지금까지 저의 인생을 주관하시고 동행해주셨고 축복해주셨던, 그리고 앞으로도 함께하실 여호와 로이, 엘샤다이 하나님께 모든 영광을 올려드립니다.