creative commons

COMMONS DEED

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

dCollection

교육학석사학위논문

빛의 간섭과 회절 개념 이해를 위한 컴퓨터기반 광학실험 개발 및 적용

The Development and Application of MBL Experiments for Understanding of Interference and Diffraction of Light

2013년 2월

서울대학교 대학원

과학교육과 물리전공

윤 은 미

빛의 간섭과 회절 개념 이해를 위한 컴퓨터기반 광학실험 개발 및 적용

The Development and Application of MBL Experiments for Understanding of Interference and Diffraction of Light

지도교수 이 성 묵

이 논문을 교육학석사학위논문으로 제출함

2012년 10월

서울대학교 대학원

과학교육과 물리전공

윤 은 미

윤은미의 석사학위논문을 인준함

2012년 12월

위 원 장 _____ 이 경 호 (인)

부위원장 _____ 송 진 웅 (인)

위 원 _____ 이 성 묵 (인)

국문초록

광학은 눈에 보이는 세상뿐만 아니라 보이지 않는 세상까지 과학의 탐구대상이 되도록 하여 여러 첨단 기술 발전에 기여해 왔다. 그리고 21세기는 정보통신의 시대로, 빠르고 정확한 정보를 전달하는 도구로서 광통신의 역할이 중요해지고 있으며 따라서 광학은 이전보다 더 중요해질 것으로 예상된다. 그러나 현실적인 여건이 이러함에도 학생들에게 있어서 광학은 여전히 역학이나 전자기학에 비해서 물리학의 주변부로 인식되며, 단순히 공식을 외워서 문제를 해결하는 부분으로 간주되기도 한다. 또한 광학 교육과정상의 학습순서와 내용으로 보았을 때 기하광학에 좀 더 편중된 학습을 하도록 하여, 광학 중에서도 파동광학은 좀 더 주변부로 인식되는 경향이 있다. 이는 학생들이 광학현상을 이해하는 과정에서 수많은 오개념을 발생시킬 뿐만 아니라, 빛이 가진 이중성을 학습함으로써 과학의 기본적인 본성을 이해하는데 장애가 되기도 한다. 한편 교육과정에서는 파동광학의 주요개념인 간섭과 회절을 이해하기 위해 슬릿을 이용한 간섭과 회절현상을 관찰하고 경로차와 위상차로써 무늬의 특징을 설명하는 활동이 이루어지는데, 그 과정에서 학생들은 현상을 이해하기보다는 이론적인 학습의 결과물로서 간섭무늬에 관한 수식에 좀 더 의존하는 경향을 보인다. 그 결과 수식에 등장하지 않는 변인에 의한 영향은 전혀 인식하지 못하며, 따라서 이중슬릿의 무늬에서 나타나는 회절의 효과를 알아보지 못하는 학생들이 많다. 이는 강의 위주의 수업을 들은 학생들이 간섭과 회절을 분리한 채 개념에 대한 깊은 이해에 도달하지 못하고, 이와 관련한 현상을 해석하고 예측하는데 어려움이 나타남을 의미한다. 이를 개선하기 위해 선행연구로 실시된 것 중에는 일반적인 광학 탐구 실험을 통해서 학생들의 개념변화를 유도하고자 한 것이 있었으나, 실험이 가진 기본적인 제약인 '관찰의 이론의존성(theory ladeness)'으로 인해 학생들의 선개념이 유의미하게 개선되지 않는다는 것을 확인한 바

있었다.

따라서 본 연구에서는 관찰의 객관성을 확보하기 위해 간섭과 회절 현상을 기록하며, 그와 동시에 좀 더 편리한 방법으로 현상을 분석하는 방법을 고안하였다. 기존에 있어왔던 광학실험에 대한 학생들의 부정적인 인식과 불편함을 극복하기 위해 LabVIEW로 프로그래밍한 컴퓨터 기반 광학실험을 구성하였으며, Adobe Illustrator를 통해서 슬릿을 삼단으로 제작하여 변인에 의해 나타나는 변화의 경향성을 한 번에 확인하도록 하였다. 실험의 효용성을 확인하기 위해 실험집단과 대조집단으로 구분하여 실험집단에는 컴퓨터 기반 광학실험을, 대조집단에는 기존의 일반 광학실험을 실시하였다. 더불어 실험을 전후하여 실시한 사전검사와 사후검사에서 동일한 문항을 채택하여 실험을 계기로 나타난 각 집단의 개념변화의 경향성을 보다 객관적으로 분석하였다. 분석 결과 두 집단의 개념변화에서 유의미한 차이가 나타났으며 이를 통해 컴퓨터기반 광학실험이 교육적인 효과가 있음을 증명하였고, 동시에 개선해야할 점 또한 확인하였다. 그러나 개념변화 측면에서의 효과 외에도 학생들의 컴퓨터기반 광학실험에 대한 태도가 우호적이라는 것이 상당히 인상적이었으며, 이는 광학에 대한 학생들의 인식을 보다 긍정적으로 바꾸는 데에도 도움이 됨을 의미한다 할 수 있다.

본 연구는 파동광학에 대한 학생들의 오개념을 개선하는 하나의 방안으로 컴퓨터기반 광학실험을 고안하였다. 연구과정에서 기존의 선행연구로 활발히 이루어져 온 학생들의 간섭과 회절에 대한 오개념을 다시 한번 정리하였고, 전후의 개념검사를 비교하여 컴퓨터기반 광학실험이 갖는 교육적인 효과를 입증하였다. 컴퓨터 기반 광학실험은 개념변화뿐만 아니라 학생들의 광학실험에 대한 태도변화를 이끌었으며, 따라서 프로그램의 한계를 일부 개선한다면 그 효용성이 더 높을 것으로 기대한다.

주요어 : 컴퓨터 기반 광학실험, 단일슬릿의 회절무늬, 이중슬릿의 간섭・회절무늬, 간섭무늬, 회절무늬, 개념변화

학번 : 2011-21572

목 차

I. 서론 ····· 1
1. 연구의 동기와 목적 ····· 1
2. 연구 문제 ····· 4
3. 용어 정의 ····· 5
4. 연구의 제한점 ····· 6

II. 이론적 배경 및 선행연구 고찰 ····· 7
1. 빛의 간섭과 회절에 대한 이론 및 선행연구 ····· 7
1.1. 빛의 간섭 ····· 7
1.2. 영의 실험 ····· 9
1.3. 빛의 회절 ····· 11
1.4. 단일슬릿에 의한 회절 ····· 13
1.5. 이중슬릿에 의한 간섭과 회절 ····· 16
1.6. 빛의 간섭과 회절에 대한 선행 연구 ····· 18
2. 개념 변화 이론 및 선행연구 ····· 20
2.1. 학생 개념의 특징 ····· 20
2.2. 개념변화의 조건 ····· 21
2.3. 구성주의 학습 ····· 22
2.4. 개념변화 관련 선행연구 ····· 23
3. 컴퓨터기반 실험에 대한 이론 및 선행연구 ····· 25
3.1. 과학교과에서 컴퓨터 활용 교육의 장점 ····· 25
3.2. 컴퓨터기반 과학실험(MBL)의 장점 ····· 26
3.3. 컴퓨터기반 과학실험에 대한 선행연구 ····· 27
3.4. 물리교육에서 컴퓨터를 활용한 선행연구 ····· 28

III. 연구 방법 및 절차 ····· 31
1. 연구 대상 ····· 31
2. 연구 방법 및 연구 절차 ····· 31
2.1. 연구 방법 ····· 31
2.2. 연구 절차 ····· 33
3. 검사문항의 선정 및 컴퓨터기반 광학실험 개발 ····· 34
3.1. 검사 문항 선정 ····· 34
3.2. 컴퓨터기반 광학실험 개발 ····· 34
3.2.1. 컴퓨터기반 광학실험의 목적 ····· 34
3.2.2. 컴퓨터기반 광학실험의 도구 ····· 35
3.2.3. 컴퓨터기반 광학실험의 구성 ····· 39

IV. 연구 결과 및 논의 ····· 40
1. 1번 문항 ····· 41
1.1. 1번 문항의 사전검사 결과 ····· 41
1.1.1. 유형 1 ····· 43
1.1.2. 유형 2 ····· 44
1.1.3. 유형 3 ····· 45
1.1.4. 유형 4 ····· 47
1.1.5. 유형 5 ····· 48
1.1.6. 유형 6 ····· 49
1.1.7. 유형 7 ····· 50
1.2. 1번 문항의 사후검사 결과 ····· 51
1.2.1. 사후검사 결과 가장 과학적인 유형 - 유형7 ····· 52
1.2.2. 실험군과 대조군의 비교 ····· 52
2. 2번 문항 ····· 56
2.1. 2번 문항의 사전검사 결과 ····· 56

2.1.1. 유형 1 ····· 58
2.1.2. 유형 2 ····· 59
2.1.3. 유형 3 ····· 59
2.1.4. 유형 4 ····· 60
2.1.5. 유형 5 ····· 61
2.1.6. 유형 6 ····· 62
2.1.7. 유형 7 ····· 62
2.2. 2번 문항의 사후검사 결과 ····· 63
2.2.1. 사후검사 결과 가장 과학적인 유형 - 유형3 ····· 64
2.2.2. 사후검사에서 새롭게 등장한 유형 - 유형8 ····· 65
2.2.3. 실험군과 대조군의 비교 ····· 65
3. 3번 문항 ····· 69
3.1. 3번 문항의 사전검사 결과 ····· 69
3.1.1. 유형 1 ····· 71
3.1.2. 유형 2 ····· 71
3.1.3. 유형 3 ····· 72
3.1.4. 유형 4 ····· 73
3.1.5. 유형 5 ····· 74
3.1.6. 유형 6 ····· 75
3.2. 3번 문항의 사후검사 결과 ····· 76
3.2.1. 사후검사 결과 가장 과학적인 유형 - 유형6 ····· 77
3.2.2. 사후검사에서 새롭게 등장한 유형 - 유형7, 8, 9 ····· 77
3.2.3. 실험군과 대조군의 비교 ····· 79
4. 4번 문항 ····· 82
4.1. 4번 문항의 사전검사 결과 ····· 82
4.1.1. 유형 A ····· 86
4.1.2. 유형 C ····· 86
4.1.3. 유형 D ····· 87

4.2. 4번 문항의 사후검사 결과 ····· 88
4.2.1. 새롭게 나타난 유형 ····· 88
4.2.2. 실험군과 대조군의 비교 ····· 89
5. 컴퓨터기반 광학실험에 대한 평가 ····· 91

V. 결론 및 제언 ····· 94
1. 결론 및 정리 ····· 94
2. 제언 ····· 96

참고문헌 ····· 97
부록 ····· 102

표 목 차

[표 Ⅳ-1] 사전, 사후검사의 문항별 주제와 내용 ····· 40
[표 Ⅳ-2] 사전검사 결과 나온 유형 - 문항1 ····· 42
[표 Ⅳ-3] 실험군과 대조군의 사후검사 결과 비교 - 문항1 ····· 51
[표 Ⅳ-4] 실험군과 대조군의 개념변화 비교 - 문항1 ····· 53
[표 Ⅳ-5] 사전검사 결과 나온 유형 - 문항2 ····· 57
[표 Ⅳ-6] 실험군과 대조군의 사후검사 결과 비교 - 문항2 ····· 63
[표 Ⅳ-7] 문항2에서 수식사용여부에 대한 비교 ····· 66
[표 Ⅳ-8] 실험군과 대조군의 개념변화 비교 - 문항2 ····· 67
[표 Ⅳ-9] 사전검사 결과 나온 유형 - 문항3 ····· 70
[표 Ⅳ-10] 실험군과 대조군의 사후검사 결과 비교 - 문항3 ····· 76
[표 Ⅳ-11] 실험군과 대조군의 개념변화 비교 - 문항3 ····· 80
[표 Ⅳ-12] 문항 4의 사전, 사후검사 결과 나온 유형 ····· 83
[표 Ⅳ-13] 대조군(Cg)과 실험군(Eg)의 사전검사 결과 비교 - 문항4 ····· 85
[표 Ⅳ-14] 대조군(Cg)과 실험군(Eg)의 사후검사 결과 비교 - 문항4 ····· 89

그 림 목 차

[그림 Ⅱ-1] 영의 실험의 기하학적 배치 ····· 9
[그림 Ⅱ-2] 동일한 위상을 갖는 가간섭 점진동자의 선형배열 ····· 11
[그림 Ⅱ-3] 가간섭성 선광원 ····· 13
[그림 Ⅱ-4] 좁은 단일슬릿에 의한 프라운호퍼의 회절 ····· 14
[그림 Ⅱ-5] 단일 슬릿에서 다양한 방향으로 회절되는 빛 15
[그림 Ⅱ-6] 이중슬릿 배치도 ····· 17
[그림 Ⅱ-7] 이중슬릿 무늬의 밝기 그래프 ····· 18
[그림 Ⅲ-1] 연구의 개요 ····· 33
[그림 Ⅲ-2] 삼단슬릿 ····· 36
[그림 Ⅲ-3] 면광원 ····· 36
[그림 Ⅲ-4] 웹캠 ····· 36
[그림 Ⅲ-5] 분석 프로그램 ····· 38
[그림 Ⅲ-6] 광학무늬 분석의 예 ····· 38
[그림 Ⅲ-7] 컴퓨터기반 광학실험의 구성 ····· 39
[그림 Ⅳ-1] 문항 1의 그림 ····· 41
[그림 Ⅳ-2] 문항 1에 대한 학생들의 그림 - 유형 1 ····· 43
[그림 Ⅳ-3] 문항 1에 대한 학생들의 그림 - 유형 2 ····· 45
[그림 Ⅳ-4] 문항 1에 대한 학생들의 그림 - 유형 3 ····· 46
[그림 Ⅳ-5] 문항 1에 대한 학생들의 그림 - 유형 4 ····· 47
[그림 Ⅳ-6] 문항 1에 대한 학생들의 그림 - 유형 5 ····· 48
[그림 Ⅳ-7] 문항 1에 대한 학생들의 그림 - 유형 6 ····· 49
[그림 Ⅳ-8] 문항 1에 대한 학생들의 그림 - 유형 7 ····· 50
[그림 Ⅳ-9] 문항 1과 관련된 컴퓨터기반 광학실험의 예 · 54

[그림 Ⅳ-10] 문항 2의 그림 및 예상 답안 ····· 56
[그림 Ⅳ-11] 문항 2에 대한 학생들의 그림 - 유형 1 ····· 58
[그림 Ⅳ-12] 문항 2에 대한 학생들의 그림 - 유형 2 ····· 59
[그림 Ⅳ-13] 문항 2에 대한 학생들의 그림 - 유형 3 ····· 60
[그림 Ⅳ-14] 문항 2에 대한 학생들의 그림 - 유형 4 ····· 61
[그림 Ⅳ-15] 문항 2에 대한 학생들의 그림 - 유형 5 ····· 61
[그림 Ⅳ-16] 문항 2에 대한 학생들의 그림 - 유형 6 ····· 62
[그림 Ⅳ-17] 문항 2에 대한 학생들의 그림 - 유형 7 ····· 63
[그림 Ⅳ-18] 문항 2와 관련된 컴퓨터기반 광학실험의 예 68
[그림 Ⅳ-19] 문항 3의 그림 및 예상 답안 ····· 69
[그림 Ⅳ-20] 문항 3에 대한 학생들의 그림 - 유형 1 ····· 71
[그림 Ⅳ-21] 문항 3에 대한 학생들의 그림 - 유형 2 ····· 72
[그림 Ⅳ-22] 문항 3에 대한 학생들의 그림 - 유형 3 ····· 73
[그림 Ⅳ-23] 문항 3에 대한 학생들의 그림 - 유형 4 ····· 74
[그림 Ⅳ-24] 문항 3에 대한 학생들의 그림 - 유형 5 ····· 75
[그림 Ⅳ-25] 문항 3에 대한 학생들의 그림 - 유형 6 ····· 75
[그림 Ⅳ-26] 문항 3에 대한 학생들의 그림 - 유형 8 ····· 78
[그림 Ⅳ-27] 문항 3에 대한 학생들의 그림 - 유형 9 ····· 79
[그림 Ⅳ-28] 문항 3과 관련된 컴퓨터기반 광학실험의 예 81
[그림 Ⅳ-29] 문항 4의 그림 ····· 82

부 록 목 차

[부록 1] 사전, 사후 개념검사지 ····· 102
[부록 2] 분석 프로그램의 프론트패널 ····· 105
[부록 3] 분석 프로그램의 블록 다이어그램 ····· 106

Ⅰ. 서론

1. 연구의 동기와 목적

21세기는 정보통신의 시대로 빠르고 정확한 정보를 전달하는 도구로서 광통신의 역할이 중요해지고 있고, 내시경이나 X-ray 등 기본적으로 모든 의료기기에서 광학적 요소는 빼놓을 수 없는 부분이다. 이렇듯 물리의 여러 분야 중에서 특히 광학은 첨단기술의 발전에 기여한 바가 뚜렷하며, 눈에 보이는 세상뿐만 아니라 보이지 않는 세상까지 과학의 탐구 대상이 되도록 한 바 있다. 그럼에도 불구하고 광학은 학생들에게 역학이나 전자기학에 비해서 물리학의 주변부로 인식되고 있으며, 단순히 공식을 외워서 문제를 해결하는 부분으로 간주되는 것이 현실이다.

한편 빛이 가진 이중성은 과학의 본성을 이해하기위한 가장 기본적인 특성임에도 교육과정과 입시의 영향으로 인해 학생들은 기하광학 영역에만 편중된 학습을 하고 있으며, 따라서 파동광학의 학습량은 상대적으로 많이 부족하다. 실제로 7차 교육과정에서 물리가 선택과목으로 전환되면서 물리Ⅰ의 뒷부분에 나오는 파동광학은 가르치지 않고 넘어가는 경우가 많다고 한다(이인호, 2006). 기하광학의 경우 광선추적법을 통해 빛의 경로를 확인하는 등의 도식적인 이해과정이 있지만, 파동광학의 경우 경로뿐만 아니라 위상도 고려해야 하기 때문에 도식적인 이해에 한계가 있어, 학년이 올라갈수록 '빛'의 개념에 대한 어려움이 더 가중되는 것이 현실이다(윤정화, 2010). 간섭과 회절은 빛의 파동성을 특징짓는 중요한 현상으로 간섭은 공간의 한 지점에서 만나게 되는 둘 혹은 그 이상의 파동이 중첩되는 현상이며, 회절은 장애물에 의해 파면의 일부가 잘려질 때 모서리의 둘레에서 파동이 굽혀지는 현상이다. 따라서 간섭과 회절을 학습하는 것은 빛의 파동적인 성질을 인지하는데 매우 효과적이다(Hecht, 2002).

한편 강의식 수업에서는 간섭과 회절 현상에 대한 이해를 돕기 위해 경로차와 위상차를 도입하는데, 학생들은 설명과정의 복잡함을 해소하고자 그 결과물로 나온 수식만을 기억하는 경향이 있으며, 이는 역으로 개념에 대한 깊이 있는 이해를 방해한다. 선행연구 결과 수식적 해석이 이루어지는 강의 위주의 수업을 들은 학생들은 간섭과 회절에 대한 다양한 현상을 해석하고 예측하는데 어려움을 나타냈다(Mcdermott et al., 1998, 2000). 이를 개선하기 위해서는 간섭과 회절에 관한 현상중심의 실험적인 방법으로 접근하는 것이 중요하며, 광학실험은 눈으로 변화를 쉽게 확인할 수 있으므로 학생들에게 강렬한 인식을 심어줄 수도 있다. 그러나 한편으로 실험과정에서 학생들은 자신의 관점을 지지하는 결과만을 관찰하고 대체적으로 논증에 이익이 되는 증거만을 받아들이는 경향이 있으며(Hashweh, 1986), 광학실험 역시 실험이 갖는 이러한 한계에서 벗어나기가 힘들다. 따라서 탐구실험을 통해 파동광학에 대한 이해도를 높이기 위해서는 관찰에 있어서 관찰자의 주관성을 배제할 필요가 있으며, 이를 위해서는 무늬에 대한 자료를 기록하고 정량화하는 것이 하나의 방법이 될 수 있다. 광학무늬를 정량화 하게 되면 자연히 그래프를 그릴 수 있으며, 이는 광학 이론수업에서 배운 내용을 연계시키는데 도움이 되어 실험의 교육적 효과를 높일 수 있다. 그러나 이러한 활동들에 많은 시간을 소요하게 되면 애초에 실험에서 의도한 개념학습에는 오히려 방해가 될 수가 있다. 이와 관련해 컴퓨터로 데이터를 얻고 일부 규칙성에 대한 해석이 가능하다면 학생들은 실험을 통해서 보다 더 본질적인 문제에 집중할 수 있게 된다는 연구 결과가 있다(Linn et al., 1987). 따라서 관찰 후에 데이터를 수집, 분석하는데 많은 시간을 소요하기 보다는 본질적인 활동이 중심이 될 필요가 있으며, 이를 위해서 광학실험에 컴퓨터와 같은 공학기기를 도입하여야 한다.

동일한 취지로 파동광학실험에서도 MBL이 도입되었으며, 현재 상용화된 MBL 실험세트 안에는 광도계나 조도계가 있어서 간섭이나 회절무늬의 강도를 측정하고 그래프로 표현하는 과정이 가능하다. 그러나 MBL

실험세트는 고가인 경우가 많고, 또한 대부분의 광도계와 조도계의 측정 영역이 좁아서 무늬전체를 측정하기 위해서는 무늬를 따라서 움직여야 하므로 번거롭기까지 하다(박상태 외, 2006). 이것의 대안으로 디지털카메라를 활용한 선행연구가 있었으며, 한 번에 사진을 찍는 것이 곧 측정이므로 광도계를 사용하는 것 보다는 편리하다는 장점이 있다. 그러나 본 연구에서는 디지털카메라보다 해상도는 조금 떨어질 수 있으나 다음과 같은 이유로 웹캠을 사용하였다. 우선 웹캠은 디지털 카메라처럼 사진을 찍은 후 컴퓨터로 업로드할 필요 없이 파일을 바로 저장할 수 있으며, 또한 실시간으로 실험내용을 확인하면서 진행할 수 있다는 장점이 있다. 게다가 웹캠은 주변에서 쉽게 활용할 수 있고 사용방법 역시 간단하므로 MBL 실험세트처럼 사전교육을 할 필요도 없다. 따라서 본 연구에서는 웹캠을 활용하되, 웹캠을 통해서 받은 정보를 즉각적으로 분석하는 프로그램을 고안하여 실험을 더 편리하고 간편하게 만들었다. 프로그램을 통해서 변인에 따른 무늬변화의 경향성을 실시간으로 확인할수도 있으며, 원하는 실험결과를 사진을 찍듯 고정한 후 무늬 각각의 위치에 따른 밝기 그래프를 그릴 수도 있다. 따라서 본 프로그램의 장점은 다양한 형상화를 통해서 간섭과 회절에 대한 이해가 좀 더 과학적으로 이루어지도록 하는 것이며, 한걸음 더 나아가 패턴의 분석을 통해 슬릿의 간격이나 파장을 측정하는 등의 활용도 가능하다.

본 연구에서는 학생들이 간섭과 회절개념의 이해과정에서 겪는 어려움을 해소하기 위해 컴퓨터기반 광학실험을 고안하고, 이 실험이 일반광학실험에 대해 갖는 교육적인 효과를 검증하고자 한다. 검증결과의 객관화를 위해 조사문항으로는 Mcdermott등에 의해 개발되어 이미 효용성이 입증된 문항을 선택하고 사전과 사후에 동일한 문항으로 검사하여 그 차이를 정확하게 분석하고자 한다.

2. 연구 문제

간섭과 회절은 파동광학의 중요한 개념이지만 학생들은 학습과정에서 많은 어려움을 호소하고 있다. 따라서 학생들이 겪는 어려움의 원인을 분석하기 위해 간섭과 회절 영역에서 나타나는 오개념에 대해서 활발히 연구되어 왔다. 연구결과 오개념의 대부분은 학생 개인의 직관적인 신념이나 취약한 기반지식으로 인해 형성되는 경우가 많았고, 한편으로 간섭과 회절현상을 해석하는 과정에서 지나치게 수식에 의존하는 모습을 보이기도 하였다(이인호, 2006). 선행연구에서 광학탐구실험을 통해 학생들의 개념변화를 시도하였으나, 직접 눈으로만 관찰한 간섭 및 회절무늬에는 학생들의 선개념이 상당히 많이 반영되어 유의미한 결과를 얻을 수 없었다(윤정화, 2010). 본 연구에서는 간섭과 회절에 대한 깊이 있는 이해를 방해하는 '현상에 대한 수식적 해석'을 지양하고 학생들이 갖고 있는 다양한 오개념을 해소하는 한 가지 방안으로, 컴퓨터기반 광학실험을 고안하였다. 컴퓨터기반 광학실험을 도입하면 기존의 광학실험보다 객관화된 관측이 가능하며, 실험결과에 대해 즉각적인 분석을 할 수 있다. 본 연구에서 설정한 연구문제는 다음과 같다.

가. 사전 개념 조사 결과 학생들이 간섭과 회절의 이해에 있어서 어떠한 개념적 특성을 보이며, 특히 어떤 부분에서 어려움을 느끼고 있는가?

나. 컴퓨터 기반 광학실험이 학생들의 개념변화에 어떠한 유용성을 갖는가? 더불어, 수식의 의존도를 낮추는데 기여하는가?

3. 용어 정의

3.1. 간섭과 회절

하나의 광원으로부터 나온 빛이 적절한 장치에 의해 둘로 나뉘었다가 다시 만나 중첩되면, 중첩이 일어나는 영역에서의 빛의 밝기가 위치마다 다른 것을 볼 수 있는데, 이 때 밝기의 극대값들은 두 광선의 밝기를 대수적으로 합한 것보다 크며, 극소값에서는 밝기가 0이 된다. 이와 같은 현상을 빛의 간섭(interference)이라고 한다.

특히 그림자의 경계 부분과 많은 수의 광선들이 만나는 영역에서 밝고 어두운 줄무늬가 나타나는 데 이와 같은 현상을 빛의 회절(diffraction)이라고 하며, 이 때 생기는 줄무늬를 회절무늬라고 한다(Born, M. & Wolf, E., 1980). 한편 회절은 '파면이 물체의 방해를 받아 파면의 진행이 직진성에서 벗어나는 것'으로 정의하기도 한다.

회절과 간섭을 명백히 구분하기는 어려우나 연속적인 광원으로부터 간섭하는 빛이 나올 때는 회절로, 떨어져 있는 광원이나 경로가 다른 빛일 경우에는 간섭으로 취급한다(서울대학교 광학연구회, 1996).

3.2. 일반 광학실험

관측자가 광원에서 조금 떨어진 곳에 위치하여, 눈앞에 슬릿을 놓고 광원을 바라보면 눈의 망막이 스크린 역할을 하여 간섭·회절무늬를 볼 수 있게 된다(PSSC 물리, 1995). 이 방법 외에 슬릿에 점광원 형태의 레이저를 비추어서 스크린에 나타나는 무늬의 위치와 크기를 측정하여 분석하기도 한다. 본 실험에서 언급한 일반적인 광학실험은 후자를 의미하였다.

3.3. 컴퓨터 기반 광학실험

최근의 급속하게 발달된 컴퓨터의 도움으로 물리 탐구 실험에 있어 측정의 역할을 각종 센서에 의해 정밀하게 할 수 있게 되었다. 일반적으로 각종 센서가 측정한 아날로그 데이터를 컴퓨터가 인식할 수 있는 디지털 데이터로 변환시키는 인터페이스를 사용하는 실험을 컴퓨터 기반 실험(MBL: Microcomputer-based Laboratory)이라고 한다. 본 연구에서는 간섭과 회절을 주제로 한 광학실험을 웹캠과 LabVIEW 프로그램을 활용해서 컴퓨터 기반 실험(MBL)으로 구현하였다.

4. 연구의 제한점

본 연구는 18명의 소수의 학생을 대상으로 하였으며, 18명의 학생을 두 집단으로 나누어 실험군과 대조군으로 채택하였다. 각 집단별 인원이 9명인 관계로 공통적인 변화를 보이는 학생 수에는 제한이 있었으며, 따라서 연구의 결과를 일반화하는데 어려움이 있을 수 있다. 그리고 몇몇 선행연구에서는 실험을 전후하여 개념 검사지 등을 적용하고 이를 통계 분석 하여 연구결과에 대한 양적인 검증을 하였으나, 본 연구에서는 간단히 유형별 인원수 비교만을 하였다. 양적분석보다는 사전조사를 통해서 분석한 선개념의 특성과 실험을 적용한 후 사후조사를 통해 변화된 개념의 특성을 비교, 분석하는 질적 분석 방법을 사용하였다. 또한 광학의 영역 중에서도 간섭과 회절 개념 학습에서의 효과를 분석하였으므로, 연구 결과를 다른 광학개념이나 물리의 다른 분야에 적용하는 것에는 무리가 있다.

Ⅱ. 이론적 배경 및 선행연구 고찰

1. 빛의 간섭과 회절에 대한 이론 및 선행연구

1.1. 빛의 간섭

중첩의 원리에 의해서, 다수의 개별 광원에서 나온 광파의 전기장 $\overline{E_1}$, $\overline{E_2}$, …가 공간상의 한 점에 형성한 합성파의 총 전기장 $\overline{E}$는

$$\overrightarrow{E} = \overrightarrow{E_1} + \overrightarrow{E_2} + \cdots \qquad (\text{Ⅱ}-1)$$

와 같다.

간섭현상에 대해서 분석하기 위해서 먼저 균일한 매질 속에서 선형 편극된 단일 진동수의 광을 방출하는 두 개의 점광원 S_1, S_2를 생각해보자. 두 광원이 떨어져 있는 거리 a는 파장 λ보다 매우 크며, 관찰점 P는 그 점에 도달한 파면의 모양이 평면이 되도록 하기 위해서 광원으로부터 충분히 먼 거리에 놓여있다고 가정한다. 당분간 두 광원에서 나온 광파의 전기장이 다음 식과 같이 선형 편광 되었다고 가정하자.

$$\overrightarrow{E_1}(\vec{r}, t) = \overrightarrow{E_{01}} \cos(\overrightarrow{k_1} \cdot \vec{r} - \omega t + \epsilon_1) \qquad (\text{Ⅱ}-2)$$

$$\overrightarrow{E_2}(\vec{r}, t) = \overrightarrow{E_{02}} \cos(\overrightarrow{k_2} \cdot \vec{r} - \omega t + \epsilon_2) \qquad (\text{Ⅱ}-3)$$

P점에서의 복사조도 I는 다음과 같이 주어진다.

$$I = \epsilon v \left\langle \overrightarrow{E}^2 \right\rangle_T \qquad (\text{Ⅱ}-4)$$

과 같이 주어진다. 만일 당분간 같은 매질 내에서 상대 복사조도만을 고려하고, 상수를 무시하면

$$I = \left\langle \overrightarrow{E}^2 \right\rangle_T \qquad (\text{Ⅱ}-5)$$

물론 $\left\langle \overrightarrow{E}^2 \right\rangle_T$의 의미는 전기장 크기의 제곱의 시간평균 즉 이다. 만약

$\langle \vec{E} \cdot \vec{E} \rangle_T$이다. 만약 $\overline{E_1}$과 $\overline{E_2}$가 서로 수직이면 $I = I_1 + I_2$가 된다.

일반적으로 간섭현상에서 $\overline{E_{01}}$과 $\overline{E_{02}}$는 서로 평행하다. 이 경우 총 복사조도는 다음과 같다.

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2}\, cos\delta \qquad (\text{Ⅱ}-6)$$

복사조도에서 최대값은 $\cos\delta = 1$일 때 얻어진다. 따라서 최대복사조도는 다음과 같다.

$$I_{\max} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \qquad (\text{Ⅱ}-7)$$

이때 $\delta = 0, \pm 2\pi, \pm 4\pi, \cdots$ 이다. 즉 이 경우 두 파의 위상차는 2π의 정수배이고 광파는 같은 위상을 갖는다. 이것을 완전보강간섭이라고 한다. $0 < cos\delta < 1$일 때 광파는 위상이 같지 않고, $I_1 + I_2 < I < I_{\max}$이며, 이 결과를 보강간섭이라고 한다. $\delta = \frac{\pi}{2}$, $\cos\delta = 0$ 에서 광파는 $90°$의 위상차가 있으므로 $I = I_1 + I_2$이다. $0 > cos\delta > -1$에 대해서는 소멸간섭이 발생하며 그 조건은 $I_1 + I_2 > I > I_{\max}$ 이다. 복사조도의 최소값은 광파가 $180°$의 위상차를 가질 때 일어나는데 골과 배가 겹치기 때문에 $\cos\delta = -1$이다. 이때의 최소값은 다음과 같다.

$$I_{\min} = I_1 + I_2 - 2\sqrt{I_1 I_2} \qquad (\text{Ⅱ}-8)$$

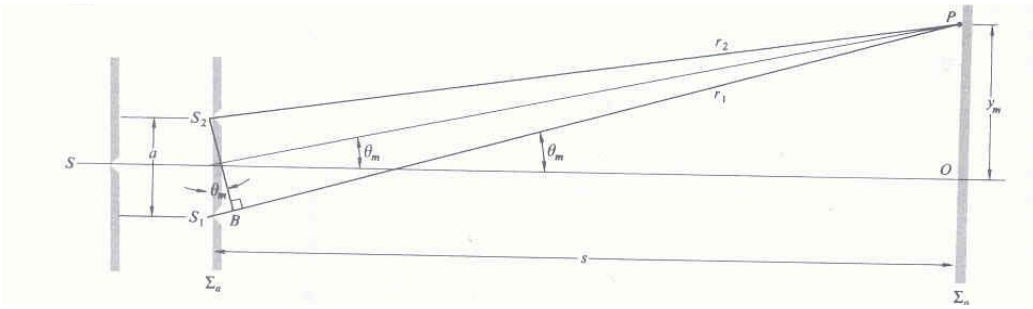
이것은 $\delta = \pm\pi, \pm 3\pi, \pm 5\pi, \cdots$일 때, 발생하고, 이것이 완전소멸간섭에서의 복사조도이다. 만약 진폭이 같은 두 파가 P에 도달했을 때 $\overrightarrow{E_{01}} = \overrightarrow{E_{02}}$ 이므로 두 광원으로부터 복사조도 분포가 같기 때문에 $I_1 = I_2 = I_0$이다. 이제 (Ⅱ-6)식은

$$I = 2I_0(1 + cos\delta) = 4I_0 cos^2\frac{\delta}{2} \qquad (\text{Ⅱ}-9)$$

과 같이 나타낼 수 있다.

1.2. 영의 실험

1801년 토마스 영은 빛의 간섭에 관한 최초의 실험 몇 가지를 공표하였다. 그는 두 개의 광원의 위상을 고정시키는 간단한 방법을 찾아냈다. 그 방법은 한 개의 광원으로부터 나오는 빛을 둘로 나누어서 이들이 서로 간섭하게 하는 것이었다. 예를 들면, 불투명한 스크린 위에 두 개의 작은 바늘 구멍을 뚫어서 사용할 수 있다. 이 스크린을 점광원 앞에 놓고 두 구멍으로부터의 거리가 같아지도록 해놓는다. 그러면 이 바늘구멍들은 강하게 빛을 회절하여서 마치 두 개의 점광원과 같은 구실을 하게 된다. 광원으로부터 오는 빛은 항상 동시에 두 바늘구멍을 통과하므로 구 바늘 구멍으로부터 나오는 파는 항상 같은 위상이어야 한다. 이러한 실험 배치를 하면 간섭무늬는 움직이지 않지 때문에 관측이 가능해 진다.



[그림 Ⅱ-1] 영의 실험의 기하학적 배치

단색 평면파가 길고 좁은 1차 슬릿에 입사하는 경우, 이 슬릿을 통과한 광파는 전방으로 회절되어 원통파가 될 것이다. 이 원통파가 서로 가까이 평행으로 위치한 두 개의 좁은 2차 슬릿 S_1과 S_2에 도달한다고 가정하자. 대칭적으로 놓인 두 개의 2차 슬릿에 도달한 원통파는 정확히 같은 위상을 가질 것이고, 2차 슬릿은 가간섭성 2차 광원으로 작용하게 된다. S_1과 S_2로부터 나온 두 개의 광파들이 중첩되는 곳에서는 어디서

든지 간섭이 일어난다.

오늘날에는 첫 번째 스크린을 사용하지 않고 레이저로부터 나온 평면파를 직접 이중 슬릿 스크린에 비춘다. (그림 Ⅱ-(c))에서 두 스크린 사이의 거리 s는 두 슬릿 사이의 거리 a에 비해서 수천배 만큼 크기 때문에 간섭무늬들은 스크린의 중앙 O점에 아주 가까이 분포한다. $\overline{S_1P}$와 $\overline{S_2P}$를 따라서 진행하는 두 광파 사이의 광경로차는 점 S_2에서 선분 $\overline{S_1P}$에 대해 수직선을 내리면 근사적으로 결정할 수 있다. 이 경로차는

$$(\overline{S_1B}) = (\overline{S_1P}) - (\overline{S_2P}) \qquad (\text{Ⅱ-10})$$

또는

$$(\overline{S_1B}) = r_1 - r_2 \qquad (\text{Ⅱ-11})$$

과 같이 주어진다.

따라서 근사식 $r_1 - r_2 = a\sin\theta$ 와 $\sin\theta \approx \theta$를 사용해서 이 식을 다시 표현하면

$\theta \approx \frac{y}{s}$ 이므로

$$r_1 - r_2 \approx \frac{a}{s}y \qquad (\text{Ⅱ-12})$$

이 된다.

보강간섭은 광경로차 $r_1 - r_2 = m\lambda$일 때 발생하므로, 위의 두 관계식으로부터

$$y_m \approx \frac{s}{a}m\lambda \qquad (\text{Ⅱ-13})$$

을 얻게 된다. 이 식은 스크린 상에서 0번째 밝은 무늬의 위치를 0이라고 할 때, m번째 밝은 무늬의 위치를 나타낸다. m번째 밝은 무늬의 각도위치는 다음과 같다.

$$\theta_m = \frac{m\lambda}{a} \qquad (\text{Ⅱ-14})$$

이때, 연속으로 놓여 있는 두 최대값의 위치 차는

$$y_{m+1} - y_m \approx \frac{s}{a}(m+1)\lambda - \frac{s}{a}m\lambda \qquad (\text{Ⅱ}-15)$$

로 스크린 위에서 간섭무늬 사이의 간격은 다음과 같다.

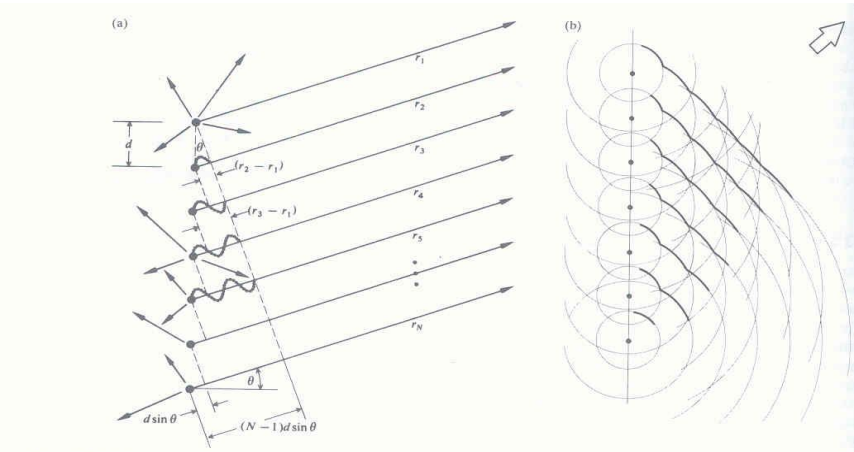
$$\Delta y \approx \frac{s}{a}\lambda \qquad (\text{Ⅱ}-16)$$

여기서 빨간색 간섭무늬의 폭이 파란색 간섭무늬의 폭보다 넓은 것을 알 수 있다. 이 무늬는 두 구면파에 의한 간섭무늬와 같기 때문에 위상차 $\delta = k(r_1 - r_2)$를 이용하면 스크린 위 중심부근에서의 복사조도는

$$I = 4I_0 cos^2 \frac{ya\pi}{s\lambda} \qquad (\text{Ⅱ}-17)$$

과 같다. 이 결과는 코사인함수의 제곱에 비례하는 분포의 이상적인 결과이며, 실제 무늬는 슬릿 자체에 의한 회절효과 때문에 중심에서부터 복사조도가 점점 감소하게 된다.

1.3. 빛의 회절



[그림 Ⅱ-2] 동일한 위상을 갖는 가간섭 점진동자의 선형배열

이 그림은 N개의 가간섭성 점진동자(coherent point oscillatiors)들의 선형배열을 보여주고 있는데, 각 진동자는 완전히 같고 편광 상태도 동

일하다. 우선, 진동자들 자체의 위상차는 없다고 가정하자, 즉, 그들은 동일한 초기 위상을 가진다. 그림에 나타난 광선들은 모두 거의 평행하며, 매우 먼 점 P에서 서로 만난다. 배열의 전체적인 크기가 비교적 작다면, P에 도달하는 파들은 거의 같은 거리를 진행하며 각 파의 진폭은 실질적으로 같다. 즉

$$E_0(r_1) = E_0(r_2) = \cdots = E_0(r_N) = E_0(r) \qquad (\text{II}-18)$$

간섭하는 구면파들을 합하면 P에서의 전기장을 얻을 수 있다. 즉

$$\tilde{E} = E_0(r)e^{-i\omega t}e^{ikr_1} \times [1 + e^{ik(r_2 - r_1)} + e^{ik(r_3 - r_1)} + \cdots + e^{ik(r_n - r_1)}] \qquad (\text{II}-19)$$

인접한 광원 사이의 위상차 $\delta = k_0\Delta$이고, 굴절률 n인 매질 내에서는 경로차 $\Delta = nd\,sin\theta$이므로 $\delta = kd\,sin\theta$ 이다.

(그림 II-1)에서 $\delta = k(r_2 - r_1), 2\delta = k(r_3 - r_1)$과 같이 쓸 수 있으므로, P에서의 전기장은

$$\tilde{E} = E_0(r)e^{-i\omega t}e^{ikr_1} \times [1 + e^{i\delta} + (e^{i\delta})^2 + (e^{i\delta})^3 \cdots + (e^{i\delta})^{N-1}] \qquad (\text{II}-20)$$

과 같이 표현된다. 이 때, R을 진동자 선의 중심에서 P점까지의 거리 즉,

$$R = \frac{1}{2}(N-1)d\sin\theta + r_1 \qquad (\text{II}-21)$$

과 같이 정의한다면, 전기장은

$$\tilde{E} = E_0(r)e^{i(kR - \omega t)}\left(\frac{\sin N\delta/2}{\sin\delta/2}\right) \qquad (\text{II}-22)$$

로 표현된다. 결국 N개의 가간섭성을 갖는 동일한 멀리 떨어진 점광원의 선형배열에 의한 회절무늬의 선속밀도 분포는

$$I = I_0\frac{sin^2(N\delta/2)}{sin^2(\delta/2)} \qquad (\text{II}-23)$$

와 같이 주어지며, 여기서 I_0는 P에 도달하는 점광원 하나의 선속밀도이다. N=0일 때 $I = 0$이고, N=1이면 $I = I_0$이며, N=2인 경우에는 $I = 4I_0cos^2(\frac{\delta}{2})$와 같이 된다. 이 함수의 결과 일련의 뾰족한 주요최대

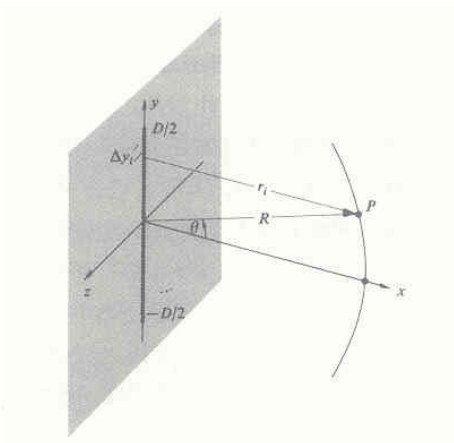
(principal peaks)와 그 사이에 크기가 작은 보조 최대값(subsidiary maxima)을 갖는 함수가 된다.

주요 최대값은 $\delta = 2m\pi$ $(m = 0,\ \pm 1,\ \pm 2,\ \cdots)$를 만족하는 각도 θ_m에서 발생한다. $\delta = kd sin\theta$ 이므로

$$d\, sin\theta_m = m\lambda \qquad (\text{II}-24)$$

와 같은 관계가 성립한다. 또한, 로피탈 정리(L'Hospital's rule)로부터 $\delta = 2m\pi$에서 $[sin^2 N\delta/2]/[sin^2\delta/2] = N^2$이 되므로, 주요최대 값의 크기는 $N^2 I_0$가 된다. 이 배열의 복사분포는 진동자의 선형배열에 수직한 방향 $(m = 0, \theta_0 = 0$ 또는 $\pi)$에서 최대가 된다. θ가 증가함에 따라, δ는 증가하고, $N\delta/2 = \pi$에서 I는 첫 번째 최소(first minimum)로 0이 된다. 만일 $d < \lambda$이며, $m = 0$ 즉 영차(zero-order) 주요 최대값만이 존재하게 된다.

1.4. 단일 슬릿에 의한 회절



[그림 II-3] 가간섭성 선광원

관측점 P가 가간섭 선광원에서 매우 멀리 떨어져 있고, $R \gg D$인 경우 $r(y)$가 중간값 R에서 거의 벗어나지 않는다. 이 때 $\beta \equiv (kD/2)\sin\theta$

로 정의하며, 복사조도는

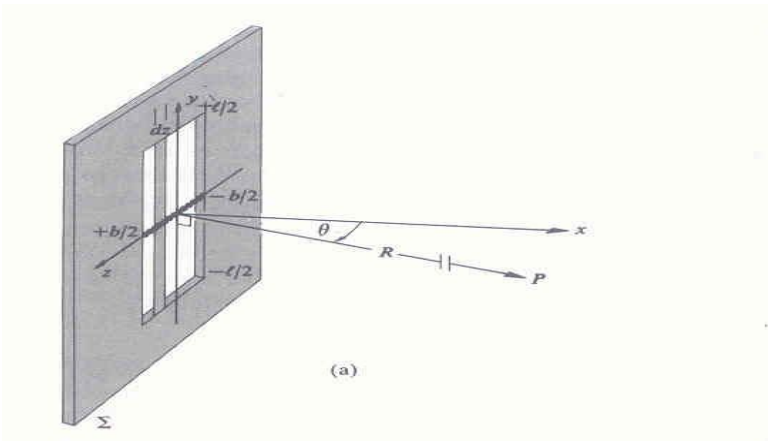
$$I(\theta) = \frac{1}{2}\left(\frac{\epsilon_L D}{R}\right)^2\left(\frac{\sin\beta}{\beta}\right)^2 \qquad (\text{II}-25)$$

이 된다. $\theta = 0$인 경우, $\sin\beta/\beta = 1$이고, $I(\theta) = I(0)$이며, 이는 주요최대값에 해당한다. 따라서 프라운호퍼 근사에서 이상적인 가간섭 선광원이 만드는 복사조도는

$$I(\theta) = I(0)\left(\frac{\sin\beta}{\beta}\right)^2 \qquad (\text{II}-26)$$

이다.

$D \gg \lambda$인 경우 복사조도는 θ가 0에서 벗어남에 따라 급격히 감소한다. 이 결과, 상당히 긴 가간섭 선광원($D \gg \lambda$)은 $\theta = 0$인 방향, 즉, 전방으로 대부분의 복사에너지를 방출하는 한 개의 점광원으로 간주할 수 있다. 반대로 $\lambda \gg D$이며, β는 작은 값이 되고, $\sin\beta \approx \beta$이며, $I(\theta) \approx I(0)$이다. 따라서, 복사조도는 모든 β에 대해 일정하게 되고, 선광원은 구면파를 방출하는 점광원과 유사하다.



[그림 II-4] 좁은 단일 슬릿에 의한 프라운호퍼의 회절

이제 좁은 단일 슬릿에 의한 프라운호퍼 회절을 생각해 보자. 먼저 슬릿을 y축에 평행한 미분요소들로 나눈다. 이 미분요소들은 긴 가간섭 선광원이므로, z축 위의 점광원으로 즉시 대치시킬 수 있다. 따라서 z축을

따라 슬릿의 폭을 가로질러 배열된 무한히 많은 점광원에 의한 xz-평면 내의 광파를 계산하기만 하면 된다. 그 결과는

$$I(\theta) = I(0)(\frac{\sin\beta}{\beta})^2 \qquad (\text{Ⅱ}-27)$$

이 되고, 여기서

$$\beta = (kb/2)\sin\theta \qquad (\text{Ⅱ}-28)$$

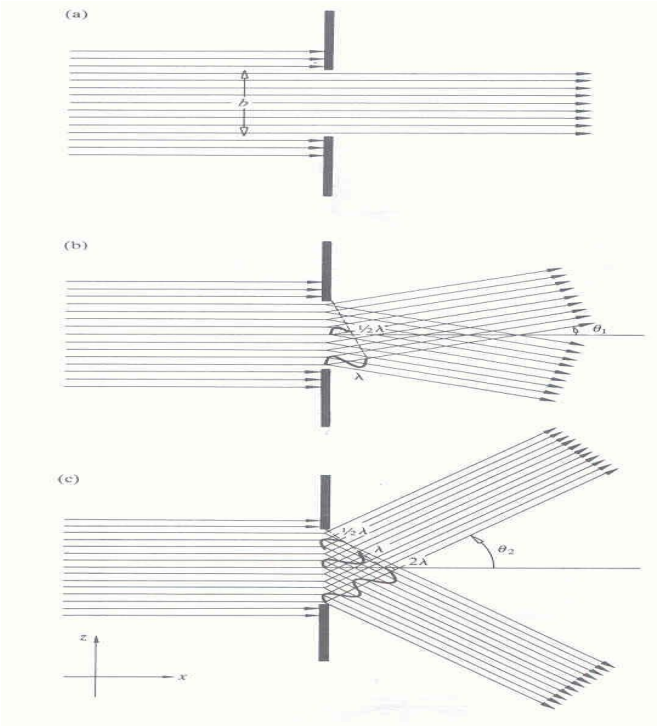
이며, θ는 xy-평면으로부터 측정된다.

$dI/d\beta$가 0이 되는 복사조도의 극값들은

$$\frac{dI}{d\beta} = I(0)\frac{2sin\beta(\beta cos\beta - sin\beta)}{\beta^3} = 0 \qquad (\text{Ⅱ}-29)$$

의 관계를 만족하는 β 값에서 얻을 수 있다. $\sin\beta = 0$인 경우,

즉 $\beta = \pm\pi, \pm 2\pi, \pm 3\pi, \cdots$ 인 경우 복사조도는 최소값 0을 갖는다.



[그림 Ⅱ-5] 단일 슬릿에서 다양한 방향으로 회절되는 빛

[그림 Ⅱ-5]에서 구멍의 각 점에서 xz평면상의 모든 방향을 방출되는 광선들을 생각해 보자. 모든 광선은 동일한 위상으로 관측 스크린에 도달하고 중앙의 밝은 점을 형성한다. 무한히 먼 곳에 스크린이 놓여 있거나, 보다 간단하게 렌즈를 사용하면 그림과 같이 서로 평행하게 된다. [그림 Ⅱ-5(b)]에 그려진 광선들 중에서 구멍의 상단과 하단에서 출발하는 광선 사이의 경로차는 $bsin\theta_1$이다 따라서, 슬릿 중앙이 광선의 위에서 첫 번째 광선에 비하여 $\frac{1}{2}\lambda_1$만큼 위상차가 있으므로 이 두 광선은 완전히 상쇄한다. 마찬가지로 중앙 바로 아래의 광선은 위에서 두 번째 광선과 상쇄된다. 이와 같이 그림에 나타난 모든 광선들은 상쇄되어 해당각도에서 조도는 최소가 된다. 즉, 복사조도는 $\sin\theta_1 = \pm\lambda/b$를 만족하는 두 방향에서 첫 번째로 0이 된다.

각도를 더 크게 하면, 광선의 일부분은 다시 보강간섭을 하게 되고 복사조도는 보조 최대값을 가진다. 각도를 더욱 증가시켜 $bsin\theta_2 = 2\lambda$가 되면, 복사조도는 다시 최소가 된다.

따라서 일반적으로

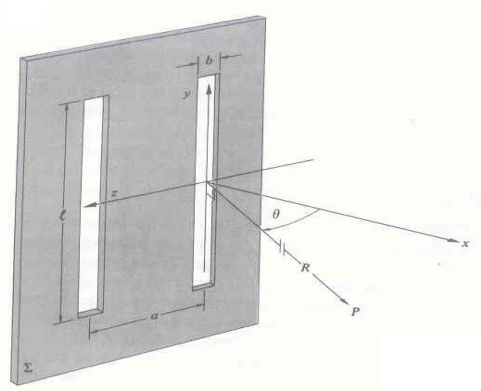
$$bsin\theta_m = m\lambda \quad (m = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \cdots) \qquad (\text{Ⅱ-30})$$

인 경우에 복사조도는 0이 된다.

1.5. 이중 슬릿에 의한 간섭과 회절

폭이 b이고 중심 사이 간격이 a인 두 개의 긴 슬릿을 생각해 보자. 각 구멍은 관측 스크린 σ에 각각 단일슬릿 회절무늬를 형성한다. σ상의 모든 위치에서 두 슬릿의 파는 중첩되고 두 파의 진폭이 동일하더라도 서로의 위상은 대단히 다르다. 각 슬릿의 이차파의 작은 파원들은 서로 가간섭성을 가지며 간섭하게 된다. 만일 평면파가 Σ에 θ_i의 각도로 입사한다면, 이차파의 작은 파원들은 일정한 위상차를 갖게 될 것이다. 특정 관측점에서 간섭무늬는 두 슬릿에서 관측점까지의 광경로차에 의해 결정된

다.



[그림 Ⅱ-6] 이중슬릿 배치도

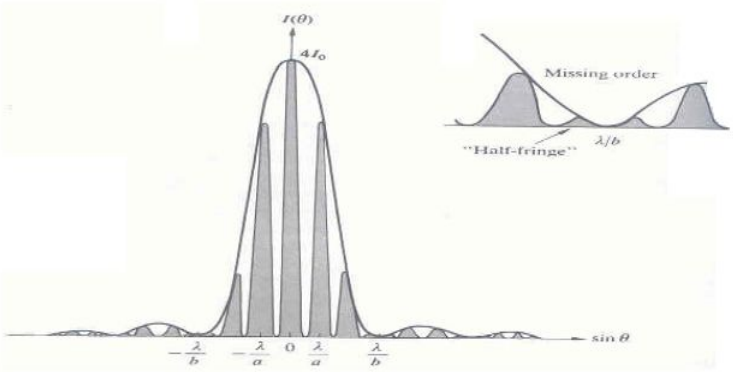
여기서 $\alpha \equiv (ka/2)sin\theta$이며, 2α는 첫 번째 슬릿 상의 한 점에서 출발한 광선과 두 번째 슬릿의 대응되는 점에서 출발하여 P에 도달한 광선 사이의 위상차이다. 이 때 복사조도는

$$I(\theta) = 4I_0(\frac{\sin\beta}{\beta})^2 cos^2\alpha \qquad (\text{Ⅱ-31})$$

를 얻는다. $\theta = 0$인 방향에서 (즉, $\beta = \alpha = 0$인 경우), I_0는 어느 한 개의 슬릿에 의한 선속 밀도이고 $I(0) = 4I_0$는 총 선속밀도이다.

b가 극히 작다면($kb \ll 1$), $(sin\beta)/\beta \approx 1$이며, 한 쌍의 긴 선광원에 의한 선속밀도, 즉 영의 실험이 된다. 반면에 $\alpha = 0$이면, 두 슬릿은 하나가 되고, $I(\theta) = 4I_0(\frac{\sin\beta}{\beta})^2$이 된다. 이것은 2배의 광원의 세기를 가진 단일 슬릿에 의한 회절 결과와 같다. 만약 슬릿의 폭이 매우 작다면, 양쪽 슬릿에 의한 회절 무늬는 넓은 중앙 영역 내에서 거의 일정한 조도를 갖게 될 것이고 이상적인 영의무늬와 유사한 띠가 그 영역에 나타날 것이다.

이중슬릿에 의한 무늬의 모양에 대하여 개략적으로 생각해보자. $a = mb$라고 하면, 중앙회절 봉우리(central diffraction peak)내에 $2m$개의



[그림 Ⅱ-7] 이중슬릿 무늬의 밝기 그래프

밝은 무늬가 생긴다. 간섭최대와 회절최소가 같은 θ값에 대응될 수 있다. 이 위치에서는 간섭과정에 참여할 빛 자체가 없으며, 이 같은 억제된 간섭 최대를 사라진 차수(missing order)라고 한다.

1.6. 빛의 간섭과 회절에 대한 선행 연구

이인호(2006)는 파동광학의 영역인 빛의 간섭 및 회절과 관련하여 학생들이 갖고 있는 오개념과 원인, 그리고 오개념으로의 진행과정을 분석하였다. 학생들이 갖고있는 오개념을 분석하여, 그 원인으로 직관적 신념과 불확실한 경험, 취약한 지식기반을 찾았으며, 이중에서 가장 중요한 원인으로 취약한 기반지식을 꼽았다. 또한 학생들의 행동적인 측면에서 오개념을 갖게 되는 행동으로, 공식위주의 해석과 근사를 잘 받아들이지 않는 것, 정성적인 설명도 공식화하여 개념화하는 것, 마지막으로 학습의 순서상 마지막에 배운 내용에 개념을 맞추는 경향을 들었다.

김기호(2007)는 회절, 간섭 단원에 대한 학습 후에 학습자들이 가지고 있는 개념체계를 조사하기 위한 설문을 수행하였으며, 설문에서 드러난 오류들을 관련 지식체계로 분류하고, 각 분류항목에 대하여 학습자들이 갖는 기억상의 개념체계를 통하여 정신모형을 도입하여 해석하였다. 그 결과 Ambrose 등(1998)에 의해 조사된 미국 대학생들이 갖고 있는 빛의

간섭과 회절에 대한 오개념과 유사한 형태가 한국의 대학생들에게 나타나기도 하였고, 몇 가지에 한해서는 일치하지 않는 오개념도 있었다. 오개념의 핵심적인 원인으로 빛의 회절과 간섭단원의 도입부에 역할을 한 물결파 유비의 영향이 컸음을 밝혔으며, 이를 통해서 비슷한 양태를 갖는 두 물리량의 유비가 주는 부작용에 대한 연구가 확대될 필요가 있다 하였다.

윤정화(2010)는 기존의 Ambrose 등(1998)에 의해 계발된 문항을 이용해서 학생들이 가지고 있는 간섭과 회절에 대한 개념을 조사하고 분석한 뒤, 학생들이 혼란과 어려움을 해소하기 위해서 탐구기반 실험을 실시하였다. 우선, 학생들이 간섭과 회절개념 이해에서 겪고 있는 어려움으로는, 첫째, 일부학생들은 간섭과 회절현상을 설명하는데 파동광학과 기하광학의 개념을 함께 사용하고 있었으며, 둘째, 경로차를 고려할 때 근사를 제대로 적용하지 못하였다. 셋째, 회절현상과 간섭현상의 무늬의 위치를 결정하는 공식의 유사성으로 인해 여러 요인의 고려 없이, 두 무늬가 무조건 반대되는 형태를 띤다고 생각하였으며, 넷째 밝고 어두운 무늬를 결정하는 경로차를 고려할 때 양끝의 슬릿에 의한 경로차만을 고려하며, 마지막으로 슬릿의 폭이 좁을수록, 파장이 길수록 회절이 잘 일어난다는 것을 회절의 조건으로 간주하기도 하였다. 이와 같은 어려움을 해소하고자 탐구기반 실험을 실시하였으며, 실험과정에서 학생들은 슬릿을 육안으로 관찰한 후 보고서에 기록하였는데 관찰이 가진 기본적인 한계인 '이론의존성'에 의해 학생들의 개념변화가 쉽게 일어나지 못함을 확인하게 되었다. 따라서 보다 정량적인 분석을 할 수 있는 학습자료의 필요성을 언급하였다.

Ambrose 등(1998)은 단일 슬릿과 이중슬릿에 빛이 입사될 때 스크린에 나타나는 무늬를 통해 대학생과 대학원생의 이해도를 조사하였다. 그 결과 많은 학생들이 간섭과 회절현상에 대해서 기하광학을 잘못 적용하는 경향이 나타났으며, 많은 학생들이 파동광학과 기하광학을 구분하지 못하였다. 이를 통해 학생들이 파동광학과 기하광학을 정확하게 이해하

지 못한다는 것을 확인하였다. 또한 학생들은 현상을 설명할 때 기본 원리의 이해를 바탕으로 설명하는 것이 아닌, 단순 암기한 공식을 적용하여 설명하기 때문에 현상을 깊이 있게 이해하는데 어려움을 겪는다는 것도 확인되었다. 연구를 통해 밝혀진 학생들이 간섭과 회절개념 이해에서 겪는 어려움을 바탕으로 tutorial을 개발, 적용하였으며, tutorial은 충분한 이해를 바탕으로 개념을 형성할 수 있도록 기존의 수식을 통한 해석방법이 아닌 학생들의 추론을 통해 설명할 수 있도록 하였다. 연구의 결과, 소그룹 토의의 활성화와 학생들의 사고를 촉진하는 질문을 증가하는 등 학생 스스로 개념을 형성할 수 있는 자료를 개발하고 적용하였으며 그 효과를 검증하였다.

2. 개념 변화 이론 및 선행연구

2.1. 학생 개념의 특징

Driver(1998)는 학생들이 갖고 있는 개념의 특징을 다음과 같이 정리했다.

1. 학생들은 지각에 의존하여 생각한다 - 학생들은 주어진 문제의 관찰 가능한 특징을 바탕으로 추론하는 경향이 있으므로 현상적으로 지각된 상태로 이해하고 받아들인다.
2. 상호작용보다는 물체의 특성에 초점을 맞춘다 - 학생들은 지각적 특징이 매우 뚜렷한 것에 관심의 초점을 맞추어 특정한 물리적 상황의 제한된 측면만을 생각한다.
3. 안정된 상태보다는 변화에 초점을 맞춘다 - 학생들은 시간에 다라 일어나는 상황의 변화나 사건의 순서에 초점을 맞추는 경향이 있다. 따라서 평형상태보다는 일시적인 상태에 관심을 갖기 쉽다.

4. 단순히 인과적으로 생각한다 - 변화를 설명할 때 학생들은 단순히 인과적 순서를 따라 추론하기 쉽다. 학생들은 시간적인 순서로서 일련의 결과를 만드는 원인을 가정한다.
5. 분화되지 않은 개념을 사용한다 - 학생들이 사용하는 일부 생각들은 과학자가 사용하는 것과는 다른 훨씬 더 광범위한 일련의 속뜻을 담고 있다.
6. 상황에 따라 다르게 생각한다 - 학생들은 주어진 상황에서 지각되는 특징이 차이가 나는 경우 공존하는 서로 다른 생각에 의존한다.
7. 새로운 상황을 이해하기 위한 '능동적인 인식틀'의 역할을 한다 - 학생들은 새로운 상황들을 자신이 알고 있거나 인식하고 있는 어떤 것으로 그려봄으로써 그 상황을 이해하려고 한다.
8. 사고방식 내에서 일관성을 갖고 있다 - 학생들의 관점에서 봤을 때, 학생들이 사용하는 개념틀은 일관적이며 학생자신의 방식 안에서 의미를 갖는다.

2.2. 개념변화의 조건

Posner(1982)는 다음과 같은 네 가지 조건이 갖추어져야 학습자에게 개념변화가 일어난다고 보았다.

1. 현재의 개념에 불만을 느껴야 한다.

   학생들은 자신의 개념이 잘못 적용되는 경우를 보지 않고는 그 개념을 바꾸려고 하지 않는다. 또한 현재 개념이 수행과정에서 오류를 범하더라도 자신의 개념 전체를 점검해야 한다는 것이 명백하지 않으면 개념을 최소한으로 바꾸어서 문제를 해결하려할 뿐이다. 여기서 쿤의 말을 빌리면, "비정상적인 사례가 가득 차있어야"조절이 일어난다.
2. 새로운 개념은 이해될 수 있어야 한다.

   새로운 개념을 탐색하려면 그 개념을 최소한이나마 이해할 수 있어야 한다. 극적인 개념변화를 이루기 위해서는 극복해야 할 어려움이 있

는데, 그 중 하나가 이전의 개념체계로 사고하는 사람에게는 새로운 개념을 자신의 직관과 반대로 해석하며 이를 이해조차 못한다는 면이다(Strike and Posner, 1985). 학습자는 새로운 개념이 무슨 의미인지도 이해하지 못하며, 그 개념이 옳다고 해도 자연세계가 어떻게 작동하는 지를 이해하지 못한다. 따라서 학습자가 새로운 개념에 의미를 부여할 수 있어야 잘못된 개념을 바꿀 가능성이 높아진다.

3. 새로운 개념은 그럴듯해 보여야 한다.

   기존의 개념을 대체할 수 있는 새로운 개념으로 후보가 되려면 최소한 옳은 것처럼 보이면 된다. 처음 볼 때 그럴듯한가를 결정하는 요소는 현재의 개념이나 기존의 굳건한 신념들이 풀지 못한 문제를 새로운 개념이 풀거나 해결할 수 있는 잠재성에 달려있다.

4. 새로운 개념은 유용해야 한다.

   현재의 문제를 해결할 수 있는 잠재성을 보이는 것만으로는 새로운 개념으로 변하기에 부족하다. 새로운 개념변화는 자연세계에 대한 새로운 접근 방식을 의미하므로 새로운 탐구를 열어주어야 한다. 이를 통해서 학생들은 새로운 개념이 유용한 도구임을 알게 된다.

2.3. 구성주의 학습

학생들이 갖고 있는 개념은 일상경험에서 획득하거나 이전의 수업에서 학습한 것이다. 구성주의자들은 이를 '선입개념' 혹은 '직관적 관념'등으로 불렸다. 학습을 구성주의적 입장에서 보는 사람들은 학습이 이루어지기 전에 교사가 가르칠 내용과 관련된 학생들의 선입개념을 파악하는 것이 매우 중요하다고 보고 있다. 왜냐하면 학생들은 이미 형성된 개념체계에 바탕을 두고 다른 개념을 형성하는 것이므로 선입개념이 학습과정에 지대한 영향을 미치리라고 보았기 때문이다. 그러므로 그들은 마치 학생들이 백지에 그림을 그리듯이 새로운 개념을 획득하는 것이 아니라 자신의 머리 속에 이미 형성되어 있는 선입개념을 변화시키거나 더욱 발

전시키는 형태로 학습이 이루어진다고 보았다. 따라서 구성주의적 입장에서는, 학습은 학생들의 머릿속에 이미 형성된 개념과 새로 배우게 될 개념과의 상호작용에 의해서 이루어지며, 학습과정은 학습자 스스로가 의미를 구성해 나가는 능동적인 과정인 것이다.

한편, 구성주의에 의하면 이론 혹은 개념은 단순하게 감각적 데이터와 귀납적 관계를 맺고 있는 것이 아니며, 개념과 경험의 상호작용에 의해 구성되고 발달한다. 이미 소지한 개념적인 구조 혹은 이해하고 있는 이론은 관찰에 선행한다고 보며, 이러한 입장을 취하고 있는 과학철학자로는 Lakatos, Toulmin, Kuhn 등이 있다. 구성주의자들은 일반적으로 과학적 지식의 발달은 이론 혹은 범례의 중요한 변화로부터 온다고 생각하며, 관찰은 객관적일 수 없으며 관찰자의 개념적 구조의 영향을 받는다고 말한다(조희형, 1984).

2.4. 개념변화 관련 선행연구

김지나 등(2000)은 역학과 전기에 관한 개념문제에서 학생들을 3집단으로 나누어 각기 다른 방법으로 인지갈등을 일으켰으며, 결과를 분석하여 그 중 가장 효과적인 방법을 찾았다. 인지갈등을 일으키는 방법으로는 직접 실험을 통하여 보여주는 현상제시, 논증을 제시하는 논리제시, 그리고 현상을 제시한 후 논리를 제시하는 현상-논리제시를 사용하였다. 두 분야에 효과가 좋았던 집단이 달랐는데, 역학은 현상-논리제시 집단과 논리제시 집단이던 반면에, 전기는 현상-논리제시 집단과 현상제시 집단으로 나타났다. 이에 대해 분석한 결과, 역학은 물리적인 현상과 개념이 더욱더 관련이 있는 반면에, 전기의 경우는 개념이 보다 더 추상적이었기 때문으로 보았다. 두 영역 모두에서 효과적인 방법이 현상-논리제시였으므로, 학생들에게 확실히 드러나는 현상을 보여주는 동시에 학습자의 수준에 맞는 논리를 제시하는 것이 중요하다고 하였다.

정경미 등(1999)은 물리개념 중에서 힘과 운동에 관한 내용을 구성주의에 따른 코스웨어로 개발하여 중학생들에게 적용했을 때 학생들의 개념변화를 조사하였다. 학생들의 사전개념을 조사하여 그에 맞는 코스웨어를 설계하였으며, 학생에게 적용한 후 결과를 분석하였다. 그 결과, 연직운동과 수평운동영역에서 학습전에 연구대상의 전부가 오개념을 갖고 있었으나, 코스웨어 적용 후에는 연직운동의 경우에는 25%의 학생이 과학자적 개념으로 변화되었으며, 수평운동의 경우에는 45%의 학생이 과학자적 개념으로 바뀌었다.

정완호(1997)는 고등학교 학생들이 갖고 있는 생물개념 중 '삼투'에 대한 오개념을 처치하는 수업모형을 적용하여 그 효과를 분석하였다. 그 결과 수업이 개념변화에 중요하게 작용하며, 학생들은 능동적으로 수업에 참여하거나 조작하는 활동이 할 수 있어야 한다고 하였다. 한편, 교사는 수업시간에 지적갈등을 유발해서 사고력을 중시하는 수업을 해야한다고 하였으며 교사와 학생간의 상호작용이 많을수록 개념변화가 많이 일어나므로 교사의 안내자로서의 역할을 강조하였다.

Zacharias 등(2003)은 학생들은 학교에서 물리를 배우기 전에 자신의 일상생활 속 경험을 바탕으로 한 개념이 강하게 자리 잡고 있어서, 수업을 통해 학생들에게 제시된 과학적인 모델과 패러다임과 서로 간섭작용을 하여, 결국 과학적인 개념으로의 동화되는 과정에 영향을 준다고 하였다. 따라서 학생들의 선개념을 변화시켜 과학적인 개념으로의 변화하는 것을 학습으로 보았으며, 개념 변화를 일으키기 위해서는 "인지갈등" 상황을 교사가 제시하는 것이 교육적으로 가장 효과적이라고 하였다.

3. 컴퓨터기반 실험에 대한 이론 및 선행연구

3.1. 과학교과에서 컴퓨터 활용 교육의 장점

과학교과에서 컴퓨터 활용 교육의 장점은 다음과 같다.

첫째, 학생은 컴퓨터를 가지고 학습하는 것을 좋아한다. 대부분의 학생들은 컴퓨터를 좋아하고 사용하고 싶어 하므로 컴퓨터를 이용한 학습은 학생들의 태도를 개선시키고, 동기가 유발되고, 주의 집중하는 시간이 증가하며, 출석률을 높이는 등의 효과가 있다.

둘째, 적어도 전통적인 수업방법에 의한 학습효과 만큼은 있다. 학습효과를 학업성취도면에서 검토한 연구에 따르면, CAI의 사용은 전통적인 교수방법에 비해 학습을 증가시켰거나 차이가 없으며, CAI에 효과적인 과목분야는 주로 과학과 외국어였고, 유형 중에서 훈련형과 연습형 그리고 개인지도형은 하위능력 학생들에게 더 효과적이라고 한다.

셋째, 사전에 잘 구성되고 검토된 수업을 제공할 수 있다. 컴퓨터는 과목의 교육목표, 활동, 자료 및 평가문제를 구성하고 종합하고 관리하는 일을 아주 쉽게 그리고 빨리 할 수 있어서 사전에 체계적으로 준비되고 검증된 수업을 학생들에게 제공할 수 있다.

넷째, 능동적 학습활동과 상호작용을 유도한다. 컴퓨터는 학생과의 대화를 통해 상호작용적이고 능동적인 학습활동을 이끌 수 있다. 상호작용은 ①과제제시, ②학생반응, ③반응분석, ④피드백 제공의 네 단계로 구성된다. 또한 학생은 컴퓨터에 주어진 선택의 범위 내에서 스스로 선택하여 학습을 행함으로써 학습과정에서 능동적인 역할을 할 수 있다.

다섯째, 개별화학습을 가능하게 한다. 컴퓨터는 개인의 학업성취도에 따라 그리고 학생의 학습양식, 동기, 학습속도, 능력과 같은 학습의 변인데 기초하여 의사결정과 학습 진행상에 다양한 과정을 제공할 수 있다는

점에서 개별화 학습을 가능하게 한다.

여섯째, 전통적인 수업방법에 비해 학습에 소요되는 시간을 줄일 수 있다. 학생이 이미 알고 있는 내용에 대해서 많은 시간을 소비할 필요가 없도록 컴퓨터가 제시하는 자료의 흐름 속도를 학생에게 조절하게 하면, 결과적으로 학습에 소요되는 시간을 줄일 수 있다.

일곱째, 학생간의 상호작용 및 교사와 학생간의 접촉을 늘려준다. 컴퓨터는 전통적인 수업방법에 비해 학습에 소용되는 시간을 줄일 뿐만 아니라, 시각효과와 음향을 제공함으로써 상호작용을 불러일으키고 학생의 의사소통을 자극한다. 또한 교사와 학생간의 개인적 접촉을 늘리는 장점도 있다.

3.2. 컴퓨터기반 과학실험(MBL)의 장점

컴퓨터 기반 과학실험은 자연에서 실제 데이터를 수집하고 이를 통해 결과를 얻는 살아있는 과학으로 볼 수 있다. 전통적인 실험의 문제점으로 제기되어온 시간활용의 비효율성, 즉 과학의 개념변화와 과학탐구방법의 습득 그리고 과학적태도의 함양과 거리가 먼 활동들인 데이터수집 위주의 활동 및 데이터의 처리와 분석에서 컴퓨터 관련기기를 활용함으로써 실험을 보다 사고중심의 고차원적이고 의미있는 활동으로 전환시켜준다. MBL 탐구실험에서는 이론을 바탕으로 한 실험예측과 실제의 데이터를 비교함으로써 즉각적인 피드백이 가능하며 따라서 정밀한 실험설계 역시 가능하게 된다. 이러한 실제적인 과학의 활동들과 정확한 실험결과들은 학생들의 인지적 개념변화에 도움을 줄 것이며, 보다 높은 수준의 분석기술을 사용하고 창의적이고 정밀한 실험과정을 통해서 과학에 대한 긍정적인 태도를 형성할 수 있게 된다. MBL의 교육적 효과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 데이터의 수집과 분석에 효율적이다. MBL을 이용하면 실험데이

터를 실시간으로 수집하여 분석할 수 있고, 혹은 동시에 여러개의 물리량을 반복적으로 측정하는 것이 가능하다. 실시간으로 측정값을 얻음으로써 데이터 수집의 효율성이 높아지고, 실시간으로 그래프로 표현하여 학생들로 하여금 데이터 및 그래프의 분석과 같은 고차원적인 기술의 발달을 가능하도록 하며, 정밀한 실험설계를 통해서 얻어진 실험결과는 과학이론을 바탕으로 정확한 실험적 예측을 가능하게 하므로 과학적 개념 학습에 도움이 된다.

둘째, 시간 운용의 효율성에 의해 토론중심의 실험수업이 가능하다. MBL를 이용하면 컴퓨터가 빠르고 정확하게 측정과 분석을 해주므로 남는 시간에 충분한 실험토의를 할 수 있다. 또한 실험과 동시에 즉각적으로 그래프를 확인할 수 있으므로 보다 창의적이면서도 다양한 실험설계가 가능하고, 더욱이 협동적인 실험과정에서는 하나의 공통주제에 대해 각 실험조마다 변인통제를 다르게 하는 등의 방법을 통해 동시에 여러가지 실험의 결과를 얻고 효율적으로 데이터를 분석하여 토론중심의 실험수업이 가능하게 한다.

셋째, 빠른 피드백을 통해서 인지개념의 변화가 가능하다. 즉각적인 피드백은 실험과정 중 측정값과 이론값을 비교하고, 실험과정의 오류를 발견할 수 있으며, 이를 통해 실험설계의 재해석 및 실험결과의 예측 등이 이루어지는 활동을 의미하며, 학생들은 이를 통해서 인지갈등을 해소하여 과학개념에 대해 올바른 이해를 하고 동시에 종합적인 사고력을 키울 수 있게 된다.

3.3. 컴퓨터기반 과학실험에 대한 선행연구

컴퓨터 기반 실험(MBL : Microcomputer-Based Laboratory)은 많은 학자들에 의해서 다양하게 정의되어 왔다.

Mokros(1985)와 Tinker(1985)는 학생들이 실험실에서 데이터의 획득,

제시, 분석을 주도하기 위한 마이크로컴퓨터의 교육적 활용 혹은 적용으로 정의하였으며, Stein 등(1990)은 전통적인 실험실 장치에 마이크로컴퓨터를 연결해서 데이터를 수집, 조작, 제시 기능을 수행하도록 한 것이라고 하였다.

Friedler 등(1989)은 과학자들이 데이터를 수집, 기록, 조작하듯이 학생들도 컴퓨터를 사용하도록 하는 것으로 정의내렸으며, Nakhkeh(1994)는 실험 상황에서 인터페이스를 통해 센서에서 컴퓨터로 자료를 수집하는데 사용되는 모든 하드웨어와 소프트웨어, 그리고 수집된 자료를 실시간으로 분석하고 그래프화하는 것을 모두 포함한다고 하였다.

Stein 등(1990)이 제시한 MBL실험방식의 장점은 다음과 같다.

첫째, MBL실험방식은 전통적 실험활동보다 실험과정의 측면에서 작업의 양이 적어지고, 실험진행 능력과 학습의 과제에 있어서 학생의 자신감을 높여준다.

둘째, MBL실험방식을 적용하면 빠른 시간 내에 보다 정확한 그래프로. 표현할 수 있어서 실험결과를 정리하는 측면에서 유리하다.

셋째, MBL실험방식은 장치를 설치하거나 수행하는 등의 절차가 쉽고 그래프를 그리고 프린트할 수 있는 등의 편리성에 대해서 학생들의 선호도가 높다.

3.4. 물리교육에서 컴퓨터를 활용한 선행연구

이창훈(1996)은 고등학교 광학기초개념의 변화를 위해 CAL 프로그램을 사용한 수업을 실시하였다. 그 결과 CAL 프로그램을 사용한 수업은 물리 개념 학습에 긍정적인 영향을 줄 수 있을 뿐만 아니라 개념 조사에 사용할 수 있고 시간 절약의 이점도 있다는 결론을 내렸다. 즉, CAL 프로그램의 교육적인 효과를 검증해낸 것이다.

김기태(1999)는 고등학교 물리교육에서 CAI프로그램의 활용도를 증진

시키기 위하여 활용정도와 문제점을 조사하고 분석한 결과, 중간보다 약간 아래층의 학생들에게 가장 큰 효과가 있었으며 학습태도가 좋아지는 모습을 보였다. 그리고 같은 내용을 학습할 때 전통적 수업보다 학생의 흥미 및 학생의 이해도는 증가하였고 학습소요시간이 감소하는 것으로 나타났다.

김진우(1996)는 컴퓨터를 고등학교 역학실험에 도입하여 실험도구화함으로써 적용한 결과 실험시간은 전통적인 실험에 비해 많이 단축되었으나, 기존의 전통적인 실험방법에 익숙해져 있는 상태에서 학생들의 컴퓨터를 이용한 실험에 대한 이해도가 떨어져 실험의 정확도에는 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 정확한 조작능력이 전제될 때 정확도는 전통적인 실험보다 높게 나타날 것으로 예상되므로, 교육현장에 투입되기 전에 기술시간 및 과학시간을 이용해서 컴퓨터와 친숙해지도록 하는 것을 제안하였다.

도만구(2005)는 컴퓨터를 활용한 가상실험이 전통실험방식과 비교할 때 어떤 교육적 차이를 보이는지 연구한 결과, 가상실험은 조작 및 측정과 관련된 개념의 형성에는 큰 영향을 주지 못하지만 시각적으로 확인할 수 없는 물리량을 제시할 수 있다는 장점이 있어 학생들의 개념형성에 긍정적인 영향을 준다는 것으로 나타났다.

안형수(2011)는 10학년 파동부분에 대해서 컴퓨터를 기반으로 한 시범실험들이 학업성취도에 미치는 영향을 조사한 결과, 아무 처치를 하지 않은 대조군에 비해서 시범실험을 한 집단의 학업성취도가 높게 나타났으며, 그 차이는 학습이 종료된 직후가 3개월 후에 나타난 차이에 비해 현저히 높았으며, 평가문항에 파동의 모양이 제시된 경우는 학업성취도의 차이가 더 뚜렷하였다.

이정휘(2011)는 대학 연구실에서 개발한 MBL 실험장치를 고등학교 물리의 전자기 단원 수업의 시범실험으로 활용하여 개념변화와 수업에 대한 흥미도를 조사한 결과, 교과내용을 이해하는 데 많은 도움이 되었으며 몇몇의 실험은 활용가치가 매우 높게 나타났고 MBL을 처음 접한

학생과 이미 경험해 본 학생의 차이가 많으므로 교사가 실험 전 준비에 많은 신경을 써야하며 한 번에 많은 실험을 해서는 안된다고 조언하였다.

홍혜란(2007)은 멀티미디어를 활용한 수업이 학업성취도와 흥미도에 어떤 영향을 미치는지 조사한 결과 전통적인 학습에 비해 학생들의 학업성취도 및 흥미도를 높일 수 있음을 확인하였다. 그래픽이나 소리, 애니메이션 등으로 전달되는 학습효과가 언어나 문자로 전달되는 학습효과에 비해 더 크고 학생들의 만족감이나 흥미도 역시 크게 나타났으나, 멀티미디어보다는 실험중심의 학습에 대한 선호도가 더 높은 것으로 나타나 학생들은 직접적인 학습 체험에 대한 욕구가 크다는 것을 확인하기도 하였다.

Ⅲ. 연구 방법 및 절차

1. 연구 대상

본 연구는 서울시 소재 대학교의 물리교육 전공자이며, 전공과목으로 광학을 학습한 학생 4명과 일반물리수준의 광학 학습을 한 학생 14명으로 총 18명의 학생들을 대상으로 하였다. 이들은 장차 물리교사가 되고자 하는 학생들로, 교사가 가진 개념이 학생들의 올바른 개념 형성을 위한 중요한 요인이기 때문에, 이 학생들의 개념변화가 미칠 영향에 대해 큰 의미를 부여하였다. 따라서 이 학생들의 간섭과 회절에 대한 개념을 조사하고 컴퓨터 기반 광학실험을 통해서 개념변화를 겪게 하는 것은, 장차 이들이 가르칠 많은 학생들의 개념형성에 유의미한 영향을 줄 수 있다는 확신을 갖고 연구를 하였다.

2. 연구 방법 및 연구 절차

2.1. 연구방법

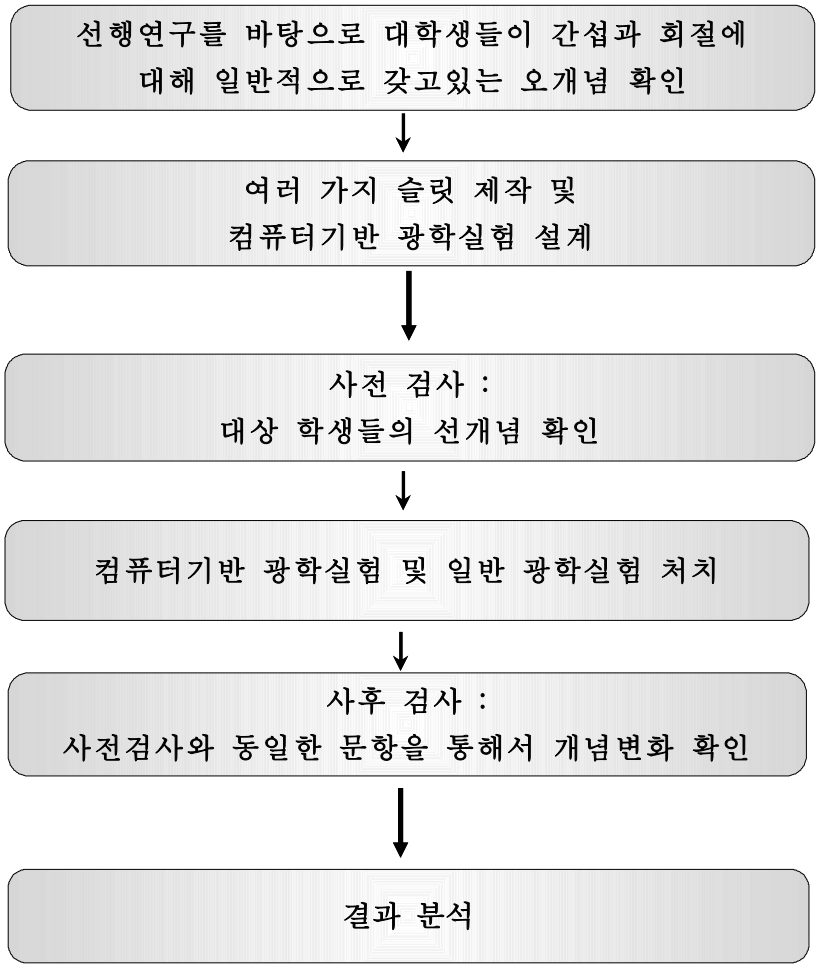
대학생 18명을 대상으로 사전검사, 실험, 사후검사 3 단계로 총 2주에 걸쳐 실시되었다. 18명의 학생을 9명씩 두 집단으로 나누어 실험방법을 달리하였으며, 그 결과 나타난 두 집단의 차이에 대해서 분석을 하였다. 사전검사와 사후검사 시 동일한 문항을 사용하였으며, 검사문항은 Mcdermott 등(1999)에 의해 개발된 문항을 선별하여 사용하였고 구체적인 답변을 얻기 위해 검사시간은 사전 사후 각각 1시간 정도 실시하였다. 실험은 두 집단에 각기 다른 실험을 실시하였는데 실험군에는 컴퓨터기반 광학실험을, 대조군에는 일반적인 광학실험을 실시하였다. 두 집

단 모두 실험을 실시하기 전 실험결과를 예측하는 활동을 하였으며 실험 과정에서는 관찰한 내용들을 기록하였는데, 이 과정에서 모든 활동지는 두 집단에 동일하게 부여되었다.

컴퓨터기반 광학실험은 학생들이 눈을 통해서 직접 광학무늬를 관찰하는 것이 아니라, 스크린에 맺힌 무늬를 웹캠으로 촬영하고 LabVIEW프로그램을 통해서 분석해서 그래프로 표현한 것을 함께 관찰한다. 또한 슬릿을 바꿔가며 번거롭게 실험할 필요 없이 서로 다른 삼단슬릿을 제작하여 각각의 요인에 의한 변화를 한 화면에서 관찰할 수 있도록 하였다. 일반적인 광학실험을 하는 학생들은 슬릿을 일일이 바꾸어 가며 레이저를 비추어서 스크린에 나타나는 광학무늬의 변화를 직접 눈으로 관찰하도록 하였다. 두 가지 실험 모두 각각 2시간에 걸쳐 실시되었으며, 학생들은 실험을 통해서 관찰한 내용과 실험과정 중 느낀점을 보고서에 기록하였다. 1주일 후 다시 학생들에게 사전검사지와 동일한 문항으로 구성된 사후검사지에 답하도록 하여, 학생들이 서로 다른 실험을 통해서 개념이 어떻게 변화되었으며 두 집단의 개념변화 사이에 유의미한 차이가 나타나는지를 분석하였다. 따라서 본 연구에서는 두 집단의 사전검사 결과를 함께 분석하여 학생들이 간섭과 회절 개념이해 과정에서 겪는 어려움을 먼저 확인하고, 사후검사 결과는 따로 분석하여 두 집단별로 다르게 나타난 개념변화를 찾아 두 실험방법이 학생들에게 준 영향이 무엇인지 규명하였다.

2.2. 연구절차

본 연구는 2012년 9월부터 12월까지 이루어졌으며 전반적인 연구 절차는 다음과 같다.



[그림 Ⅲ-1] 연구의 개요

3. 검사문항의 선정 및 컴퓨터기반 광학실험 개발

3.1. 검사 문항 선정

Mcdermott 등(1999)에 의해 개발되고, 선행연구들(이인호, 2006 ; 윤정화, 2010)에서 효용성이 입증된 문항을 발췌하여 사용하였다. 총 4문항으로 구성되어 있으며, 각각 단일슬릿과 이중슬릿에 의한 무늬의 특징, 이중슬릿에서 슬릿간격과 간섭·회절무늬의 관계, 이중슬릿에서 슬릿폭과 간섭·회절무늬의 관계, 그래프해석에 따른 슬릿의 구분을 다루었다. 선행연구와의 가장 큰 차이점으로 본 연구에서는 이중슬릿에 의한 무늬를, 이상적이고 균일한 간격의 무늬가 아닌 실제 실험결과 관측된, 간섭현상과 회절현상이 함께 나타난 무늬를 제공하였다. 따라서 주어진 문제의 무늬에서 이 두 가지 현상을 모두 인식하고 변화를 정확하게 표현한 경우를 과학적인 답으로 분류하였다. 학생들이 현상을 해석하는 과정에서의 수식적 의존도를 파악하기 위해서 문항 2번을 택하였으며, 나머지 문항은 학생들의 간섭과 회절의 개념이 잘 드러나는 문항으로 택하였다. 사전개념과 사후개념의 객관적인 비교를 위해 두 검사지 모두 동일한 문항을 사용하였다.

3.2. 컴퓨터 기반 광학 실험 개발

3.2.1. 컴퓨터기반 광학실험의 목적

컴퓨터기반 광학실험은 기존의 일반적인 광학실험이 가진 한계를 개선하기 위해 제안되었으며 그 한계란 다음과 같다. 우선 육안으로 관찰하는 무늬는 개개인의 이론적 배경에 따라 다르게 인식되며 이는 스크린에

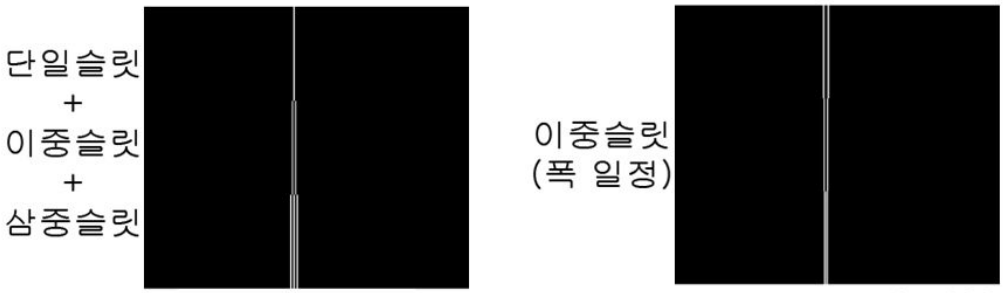
맺힌 동일한 무늬를 보는 경우에도 발생할 수 있다. 또한 대부분의 파동 광학실험은 빛의 파장이나 슬릿의 폭 내지는 간격을 구하는 활동을 포함하고 있으며, 이러한 과정에서 수식에 대한 의존도는 더 확고해지게 된다. 게다가 무늬의 측정과 분석과정에서 학생들은 정확하지 않은 실험이라는 부정적인 인식을 갖기 쉽고, 이는 광학에 대한 전반적인 인식에 영향을 주게 된다. 따라서 본 연구는 관찰의 객관성을 높이고, 동시에 측정과 분석의 정밀함을 더하며, 수식이 아닌 과학적인 기반을 통해서 현상을 직관적으로 인식하도록 하여 실험에 대한 부담감은 줄이고 교육적인 효과는 늘리도록 하였다. 따라서 본 연구는 컴퓨터기반 광학실험을 통해 간섭과 회절 개념이해에서 학생들이 겪는 어려움을 해소하고, 더불어 학생들이 광학을 좀 더 좋아하고 그 중요성을 깨닫기를 기대하였다.

3.2.2. 컴퓨터 기반 광학실험 도구

컴퓨터기반 광학실험의 도구는 총 4가지로 특징지어진다.

먼저 본 실험에서 사용된 슬릿은 Adobe illustrator 프로그램을 이용하여 원하는 형태를 제작한 후 프린터로 출력하여 사용하였다. Adobe illustrator 프로그램만 있으면 다양한 조건의 슬릿을 제작하기 용이하며, 필름지에 인쇄하는 비용도 비교적 저렴하다는 장점이 있다. 또한 슬릿을 제작하는 과정에서, 기존의 실험방법처럼 여러 가지 슬릿을 번갈아 가며 사용하지 않고, 한 번에 변화의 경향성을 확인할 수 있도록 서로 다른 3개의 슬릿을 아래위로 배열하였다. 삼단슬릿은 하나의 변인에 의해 무늬에 나타나는 변화를 확인하기 위한 것이었으므로, 단일슬릿의 경우에는 폭을 변화키고, 이중슬릿의 경우에는 폭은 일정하되 두 슬릿사이 간격만 변화시킨 것과 두 슬릿사이 간격은 일정하되 슬릿의 폭만 변화시킨 것을 만들었으며, 슬릿의 폭과 간격은 일정하게 하되 슬릿의 개수를 변화시킨 것도 만들었다. 삼단슬릿에 의해 나타나는 변화를 한 번에 관찰한다는

것은, 학생들이 세 가지 무늬에서 나타나는 특징들을 보다 쉽게 파악할 수 있다는 장점을 갖는다. 따라서 컴퓨터기반 광학실험의 편리함과 정확성을 높여주는 기능을 하였다.



[그림 Ⅲ-2] 삼단슬릿

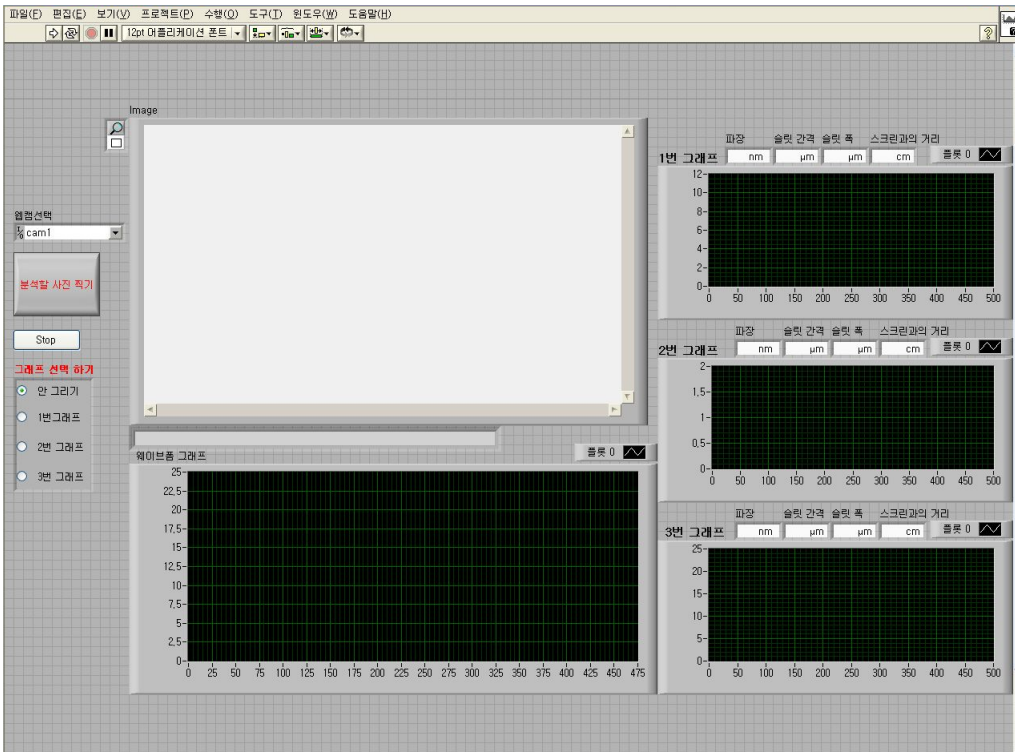
삼단슬릿의 높이가 총 3cm정도 되었으므로, 삼단슬릿에 의한 무늬를 확인하려면 면광원이 필요하였다. 백색광원으로 실험을 시도하였으나 선명한 무늬를 관찰하기 힘들었으므로, 실험실에 있는 적색레이저(최대출력 5 mW)에 현미경렌즈를 부착하여 만들었다. 따라서 면광원의 가운데는 주변부보다 더 밝게 나타났으며, 또한 현미경 렌즈에 있는 미세기스와 먼지등에 의해서 면광원 자체에 동심원의 패턴이 나타나기도 하였다.

웹캠은 비교적 해상도가 높고 자동초점기능이 있는 것(로지텍 C920)을 사용하였다.

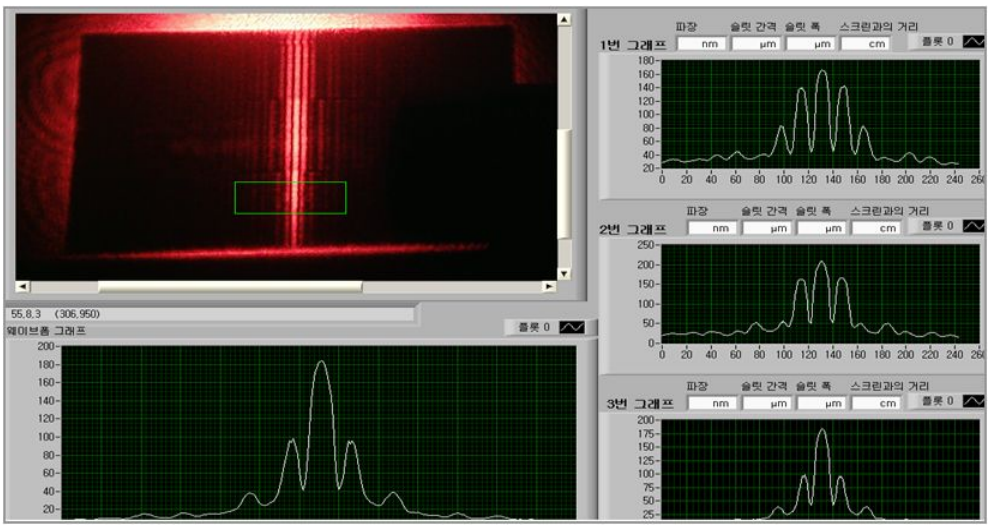
[그림 Ⅲ-3] 면광원

[그림 Ⅲ-4] 웹캠

마지막으로 LabVIEW를 이용해서 패턴 분석 프로그램을 구성하였다. 웹캠과 연동하여 광학무늬의 변화를 실시간으로 관찰하면서, 원하는 시점에 분석할 사진을 찍고, 영역을 설정하여 무늬의 intensity를 분석하는 프로그램이다. 슬릿의 세 부분에 의한 무늬를 함께 관찰하므로, 그래프 역시 패턴의 세 부분을 함께 분석하여 변인에 따른 패턴의 변화와 세기의 변화를 함께 확인할 수 있도록 하였다. [그림 Ⅲ-5]에 크게 나타나는 영역이 웹캠에서 찍고 있는 것을 보여주는 화면으로, 왼쪽의 [분석할 사진 찍기] 버튼을 누르면 화면이 멈춘다. 돋보기 버튼을 이용해서 사진을 확대할 수 있으며, 스크롤바를 이용해서 원하는 지점을 맞출 수 있다. 돋보기 버튼 밑에 있는 네모를 누르고 마우스로 드래그를 하면 분석할 지점의 영역이 선택되는데, 영역의 밝기 평균을 계산해서 화면 아래에 그래프가 나타나게 된다. 3가지 무늬의 그래프를 그릴 때는 비율을 동일하게 해서 간섭무늬의 폭이나 회절극소점의 위치를 서로 비교 가능하도록 해야 하며, 따라서 한번 드래그한 영역의 크기를 유지할 필요가 있다. 이를 위해 드래그한 영역의 가운데 부분을 마우스로 잡고 이동이 가능하도록 하였으며, 그래프의 중심이 일치하도록 무늬위에 놓으면 된다. 이중슬릿의 간격은 일정하게 하고, 폭을 변화시킨 삼단슬릿을 통해서 관찰한 예는 [그림 Ⅲ-6]과 같다.



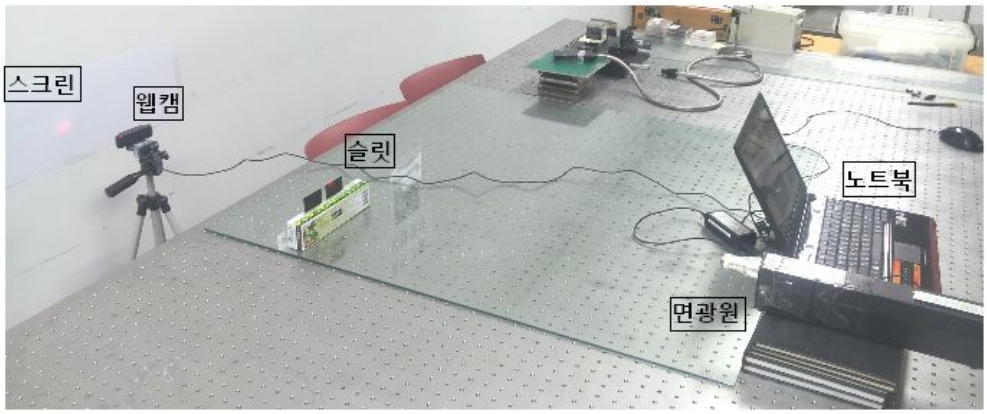
[그림 Ⅲ-5] 분석 프로그램



[그림 Ⅲ-6] 광학무늬 분석의 예

3.2.3. 컴퓨터 기반 광학실험의 구성

[그림 Ⅲ-7]과 같이 스크린, 웹캠, 슬릿, 면광원의 순서로 배열하고, 노트북을 통해서 분석프로그램을 가동하였다. 실험을 하기 전 실험결과를 예상하는 활동을 하였고, 암실로 이동해서 컴퓨터기반 광학실험을 한 뒤 노트북의 화면을 보면서 토의를 진행하고 보고서를 작성하도록 하였다. 실험과 토의는 조별로 이루어지며, 각 조별 인원은 3명 정도로 하여 개개인의 참여율을 높이도록 하였다. 실험의 내용은 Mcdermott 등에 의해 개발된 Physics by Inquiry를 참고 하되, 컴퓨터기반 광학실험에 맞게 보다 편리하고 간편한 형태가 되도록 하였다. 따라서 실험에 소모되는 시간을 줄이고 토의시간을 늘려 개념변화에 더욱더 도움이 될 수 있도록 하였다.



[그림 Ⅲ-7] 컴퓨터기반 광학실험의 구성

Ⅳ. 연구 결과 및 논의

본 연구는 사전개념 설문을 먼저 실시한 후, 집단별로 실험군은 컴퓨터기반 광학실험을 실시하고 대조군은 일반적인 광학실험을 실시하였다. 사전개념 설문과 동일한 설문을 실험 후 각 집단에 실시하여 각기 다른 실험방법에 의해 나타난 두 집단의 개념변화의 차이를 확인하였다. 따라서 사전개념 설문을 통해서 두 집단 학생들에게 공통으로 나타나는 간섭과 회절개념 이해의 어려움을 먼저 분석하고, 사후개념 설문에서 집단별로 나타난 개념변화를 분석하였다. 사전검사와 사후검사에 사용한 개념설문의 문항별 주제와 내용은 다음과 같다.

[표 Ⅳ-1] 사전, 사후검사의 문항별 주제와 내용

문항	주제	내 용
1	간섭, 회절	・이중슬릿과 단일슬릿의 차이 ・간섭무늬와 회절무늬의 구분
2	간섭, 회절	・이중슬릿에서 슬릿간격과 간섭・회절무늬의 관계
3	간섭, 회절	・이중슬릿에서 슬릿폭과 간섭・회절무늬의 관계
4	간섭, 회절	・그래프해석에 따른 슬릿의 구분

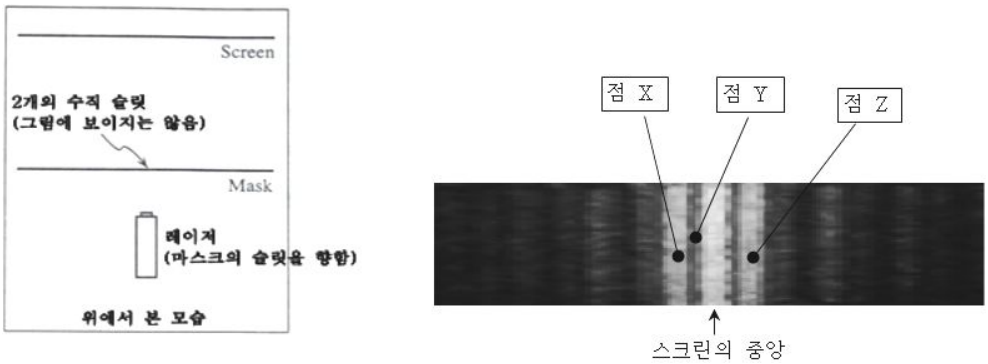
각 문항별 사전개념과 사후개념을 분석하는 과정에서 동일한 개념설문지를 사용하였으며, 따라서 학생들의 답안을 유형화 하는 과정에서도 사전개념과 사후개념을 동시에 분류하였다. 문항에 따라서 사전에 등장하지 않은 개념이 사후에 등장하기도 하였으며, 실험군과 대조군에 따른 개념변화의 차이를 간단히 표로 나타내기도 하였다. 따라서 하나의 문항

에 대해서 우선 사전개념에 대한 분석을 하고, 이어서 사후검사 나타난 두 집단의 개념변화를 비교하였다.

1. 1번 문항

1.1. 1번 문항의 사전검사 결과

1번 문항은 레이저에서 나온 빛이 이중슬릿을 통과한 후 스크린에 나타난 무늬를 보여주고, 2개의 슬릿 중 왼쪽의 하나를 가렸을 때 스크린에 나타나는 무늬 변화와 빛의 세기 변화를 예상해서 그림으로 그리게 한 것이다. 문항에 대한 이해여부를 확인하기 위해서 보조문항으로 슬릿의 왼쪽을 가렸을 때 나타나는 세 점의 밝기 변화, 즉 무늬의 중앙으로부터 왼쪽 보강간섭지점 X와 중앙으로부터 오른쪽 보강간섭지점 Z, 중앙에서 왼쪽에 있는 상쇄간섭지점 Y의 밝기 변화를 설명하도록 하였다.



[그림 Ⅳ-1] 문항1의 그림

이 때, 모든 간섭무늬 사이 간격이 일정하며 모든 보강간섭에서의 밝기가 같은, 이상적인 간섭무늬를 제시하지 않고 실제 실험을 통해서 얻어낸 간섭무늬를 제시하였다. 따라서 주어진 간섭무늬에서의 밝은부분(보

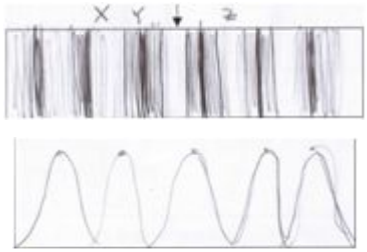
강간섭)과 어두운부분(상쇄간섭)의 폭이 균일하지 않으며, 회절현상에 의해 무늬의 가운데가 가장 밝고 바깥으로 올수록 점점 어두워지며, 회절극소점에서는 간섭무늬가 완전히 사라진 것까지 관찰이 된다.
학생들은 1번 문항에 대해서 그림과 그래프를 통해서 각자가 예상한 것을 표현하였으며, 학생들의 대답을 분석한 결과 총 7가지 유형이 발견되였다.

[표 Ⅳ-2] 사전검사 결과 나온 유형 - 문항1

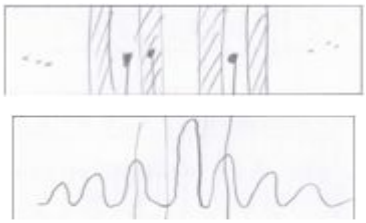
유 형		대조	실험
유형1.	단일슬릿과 이중슬릿에 의한 무늬가 동일하다고 표현한 경우	4	.
유형2.	단일슬릿에 의한 회절무늬를 그렸지만, 중앙극대를 아주 넓게 표현해서 회절극소점이 정확한 위치에 드러나지 않은 경우	1	3
유형3.	단일슬릿에 의한 회절무늬를 회절극소점을 통해서 정확하게 표현하였지만, 보강간섭지점(X Z)의 밝기가 그대로 유지된다고 표현한 경우	1	2
유형4.	이중슬릿과 무늬를 비교했을 때 중앙의 밝은 무늬 하나만 조금 더 넓게 표현한 경우	1	2
유형5.	회절무늬가 지나치게 오른쪽으로 치우치도록 표현한 경우	2	.
유형6.	이중슬릿 무늬의 밝은부분만 고르게 확대하여, 중앙극대와 2차극대들의 폭을 동일하게 표현한 경우	.	1
유형7.*	단일슬릿에 의한 회절무늬를 회절극소점을 통해서 정확하게 표현하였고, 동시에 밝기변화 또한 정확하게 예측한 경우로 가장 과학적인 유형	.	1

1.1.1. 유형 1 (n_1=4)

유형 1에 해당하는 학생들은 단일슬릿에 의한 무늬와 이중슬릿에 의한 무늬의 형태를 동일하게 표현하였으며, 이를 통해 간섭무늬와 회절무늬를 구분하지 못한다는 것을 확인할 수 있었다. 이 유형의 학생 대부분은 이중슬릿을 통과한 빛에서는 간섭이 일어난다는 차이점을 알고 있으나, 빛이 아닌 물결파와 같은 두 개의 떨어진 점파원에서 발생한 파동의 간섭을 생각하였다. 연속적으로 발생하는 물결파는 번갈아 나타나는 마루와 골을 가지고 있고, 학생들은 두 개의 물결파가 간섭했을 때의 물결파의 높이변화를 관측하며 보강간섭과 상쇄간섭을 배운다. 따라서 간섭이 일어나기 전에도 물결파는 마루와 골을 가지고 있었으므로 빛에도 그대로 적용해서, 두 슬릿중 하나를 가리더라도 빛의 마루와 골이 그대로 나타날 것이라는 생각이다. 따라서 무늬의 밝고 어두운 부분에 해당하는 마루와 골은 번갈아 나타날 것이며, 이중슬릿에 의한 간섭·회절무늬와 그 형태가 같다고 표현하게 된다. 유형 1의 학생들은 빛의 세기를 표현한 그래프에서 다시 두 유형으로 나뉘는데, 이상적인 파동으로서 빛의 최고점의 세기를 균일하게 표현하는 경우(유형 1.1)와 가운데 위치한 밝은무늬가 가장 밝고 바깥쪽으로 올수록 빛의 세기가 약해진다고 표현한 경우(유형 1.2)이다. 이 학생들이 그린 그림은 다음과 같다.



유형 1.1



유형 1.2

[그림 Ⅳ-2] 문항 1에 대한 학생들의 그림 - 유형 1

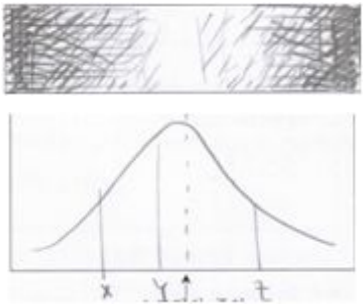
유형 1.2의 경우는 이론적으로 학습한 단일슬릿에 의한 무늬의 밝기 그래프에 영향을 받은 것으로 보이며 학생들이 실제 적은 내용은 다음과 같다.

학생들의 실제 응답 내용 :
'오른쪽 슬릿에서 나온 빛의 마루와 골 위치는 동일하므로 단일슬릿일 때의 X Y Z 위치는 동일하며, 이중슬릿에서의 Y는 상쇄간섭이지만 단일슬릿의 Y는 빛의 골 부분이 된다. 마찬가지로 이중슬릿에서의 X Z는 보강간섭이지만, 단일슬릿에서의 X Z는 단지 마루일 뿐이다.'
'단일슬릿에 의한 효과로 생각해야 하므로 X Z에서는 세기가 줄어들고, 한편 Y에서는 여전히 어두운 무늬가 보이므로 그대로이다.'

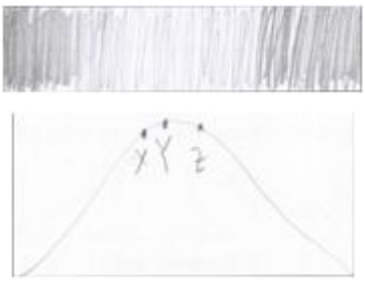
1.1.2. 유형 2 (n_2=4)

유형2에 해당하는 학생들은 단일슬릿에 의한 회절무늬를 표현하였으나 전체적으로 회절의 중앙극대의 폭을 넓게 그리고, 주어진 이중슬릿에 의한 무늬의 회절극소점의 위치를 고려하지 않고 표현하였다. 간섭무늬와 회절무늬를 구분한다는 점에서 비교적 과학적인 유형이라 할 수 있다. 빛이 단일슬릿을 통과하면 더 이상 간섭은 일어나지 않고 회절만 일어난다는 것을 알고 있으며, 회절은 좁은 틈을 통과한 후 빛이 퍼지는 현상이므로 가운데부분의 밝은 무늬를 가장 넓게 그리고, 가장자리로 갈수록 어두워진 형태로 표현하였다. 그러나 문제에서 주어진 간섭・회절무늬에서는 보강간섭에 해당하는 밝은 띠들의 양 옆으로 회절극소점인 어두운 선들이 나타나고 있으며, 따라서 점 X Y Z의 위치를 바르게 표현하려면 회절의 중앙극대부분 양 옆으로 회절극소점이 표현되어야 한다. 이 경우는 단일슬릿에서는 회절이 일어난다는 신념을 가진 학생들이, 슬릿이 2개에서 1개로 줄은 경우 슬릿의 폭이 이전보다 더 감소하였으므로 회절이 더 잘 일어날 것이라는 생각에 의해 회절의 중앙극대부분을 아주 넓

게 표현한 것으로 보인다.



(가)



(나)

[그림 Ⅳ-3] 문항 1에 대한 학생들의 그림 - 유형 2

학생들의 실제 응답 내용 :

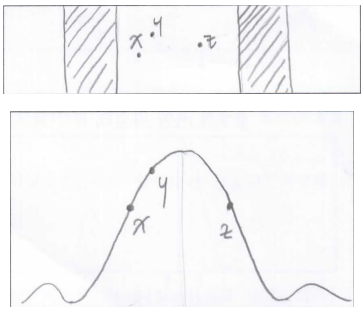
'간섭이 일어나지 않으며, 회절 때문에 양쪽 끝으로 밝기가 감소한다. 그러나 단일슬릿과 같지도 않다.'

'단일슬릿을 통과하기 때문에 간섭현상은 일어나지 않고, 회절현상만 일어나기 때문에 가운데는 밝고 양쪽으로 퍼질수록 빛의 세기가 약해져 어두워진다.'

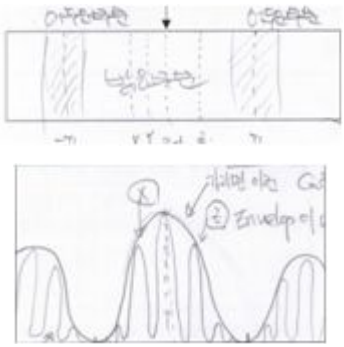
1.1.3. 유형 3 (n_3=3)

유형3은 단일슬릿에 의한 회절무늬의 형태는 바르게 표현하였으나, 문제에서 주어진 간섭·회절무늬의 포락선(envelope)만 남고 내부의 여러 간섭무늬들이 사라진 형태로 표현한 경우로, 밝기가 감소하지 않은 경우에 해당한다. 유형3의 학생들은 이중슬릿에서 슬릿 하나를 가리면 더 이상 간섭이 일어나지 않으므로 회절무늬만 나타날 것이라 생각하며, 이중슬릿에 의한 간섭·회절무늬와 빛의 세기 그래프에서 간섭과 회절의 특징을 구분해서 인식할 수 있는 경우에 해당한다. 따라서 회절과 간섭에

대한 개념이 비교적 과학적이라고 할 수 있다. 그러나 이 학생들은 빛의 밝기변화를 고려하지 않았으므로, 이중슬릿에 의한 간섭·회절무늬의 최대밝기와 단일슬릿에 의한 회절무늬의 최대밝기가 같고 따라서 보조문제에서의 X Z에 해당하는 보강간섭지점의 밝기가 단일슬릿이 되어도 변하지 않고 '그대로'라고 답하였다. 간섭·회절무늬에서 간섭무늬만 지우면 회절무늬가 남는다는 생각을 한 경우가 많았으며, 학습내용 측면에서는 일반물리학 교재의 대부분이 간섭과 회절에 대한 그래프에서 빛의 밝기를 절대 밝기가 아닌 상대 밝기로 표현하여 슬릿의 폭이나 개수에 관계없이 밝기의 최대값을 1로 규격화해 놓은 경우가 많았기 때문으로 보인다(이인호, 2006).



(가)



(나)

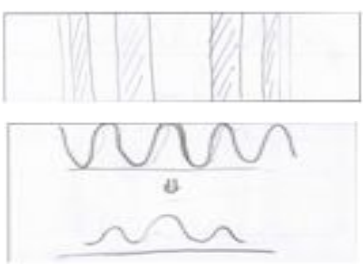
[그림 Ⅳ-4] 문항 1에 대한 학생들의 그림 - 유형 3

학생들의 실제 응답 내용 :

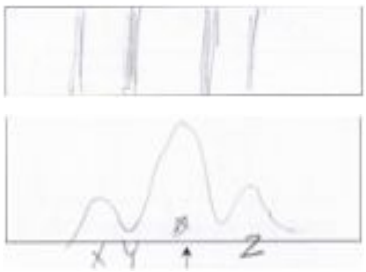
'단일슬릿에 의한 회절무늬로 바뀌었기 때문 단일슬릿과 이중슬릿의 envelope이 동일하므로 점 X, Z는 밝기가 이전과 동일하고, 점 Y는 원래 상쇄간섭이 일어나 어두운무늬였는데 밝아졌다.'

1.1.4. 유형 4 (n_4=3)

유형4는 중앙의 밝은 무늬는 조금 더 넓게 그리고 다른 밝은 무늬들은 그보다 좁게 그린 경우에 해당한다. 단일슬릿에 의한 회절무늬와 빛의 세기 그래프에서 중앙의 회절극대부분이 주변부의 밝은 무늬보다 더 넓다는 것은 알고 있으나, 어느 정도 더 넓은 것인가에 대해서는 인식하지 못하는 경우이다. 주어진 간섭·회절무늬에서 회절극소점을 알아보지 못하였으므로, 중앙 밝은 무늬를 주변부의 밝은 무늬보다 2~3배정도 넓게 표현하였으며, 그렇게 그린 이유에 대해서는 간섭무늬의 중앙 밝은 무늬 하나가 확대되었기 때문이라고 답한 경우도 있었다. 이 학생의 경우에는 비교적 중심에 있는 Y점은 중앙의 회절극대에 들어가서 밝아지지만, X와 Z는 2차 극대에 들어가므로 어두워진다고 답하였다.



(가)



(나)

[그림 Ⅳ-5] 문항 1에 대한 학생들의 그림 - 유형 4

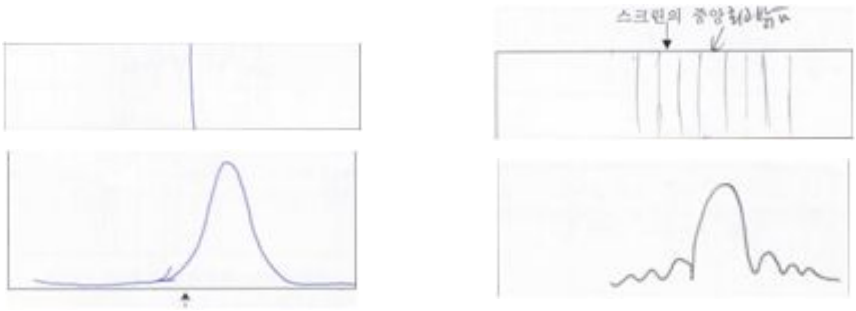
학생들의 실제 응답 내용 :

‘슬릿하나를 가린다면, 단일슬릿에 의한 회절무늬 형식으로 나타날 것이다. 그리고 밝기는 줄어들 것이다.’

‘간섭이 아니라 회절현상만 일어났으며, 회절무늬는 간섭무늬를 넓게 퍼뜨린 것이다.’

1.1.5. 유형 5 (n_5=2)

유형5는 무늬의 중심을 오른쪽으로 이동시켜서 표현하였으며, 세 점의 밝기 변화를 확인한 결과 중심에서 오른쪽에 위치한 점들을 더 밝게 표현한 경우에 해당한다. 이중슬릿에서 슬릿 하나를 가리면 더 이상 간섭이 일어나지 않으므로 회절무늬만 나타날 것이라는 생각을 가지고 있고, 회절무늬에서는 중앙극대부분이 주변부보다 더 넓다는 것도 알고 있으나 최대밝기를 보이는 회절무늬의 중심을 오른쪽에 표현한 경우이다. 이는 간섭과 회절현상이 빛의 파동성에 의해 나타난다는 것을 알고 있으면서도 슬릿의 왼쪽이 가려지고 간섭현상이 사라지면 파동성보다는 직진성에 의한 기하학적인 상을 맺게 될 것이라는 생각을 하거나, 혹은 슬릿의 폭, 간격, 빛의 파장 값의 크기를 바르게 비교하지 못한 것으로 보인다. 다른 유형의 학생들과는 달리 유형5의 학생들은 X와 Z의 밝기변화가 같지 않다고 표현하였는데, X는 무늬중심의 왼쪽에 있으므로 밝기가 감소하고 Z는 무늬중심의 오른쪽에 있으므로 밝기가 증가한다고 답하였다.



(가) (나)

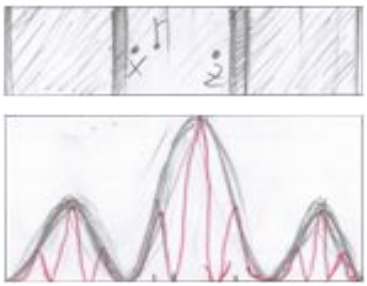
[그림 Ⅳ-6] 문항 1에 대한 학생들의 그림 - 유형 5

학생들의 실제 응답 내용 :

‘간섭이 일어나지 않을 것이다. 즉, 오른쪽 슬릿에서의 약간의 회절만 발생한다. X와 Y는 왼쪽 슬릿에서 오던 빛이 감소했을 것 같다. Z는 오른쪽 슬릿에서 오던 빛이 왼쪽 슬릿의 방해 없이 올 수 있을 것 같다.’

1.1.6. 유형 6 (n_6=1)

유형6은 단일슬릿이 되면 간섭무늬 사이 간격이 넓어지는데, 이때 밝은 부분만 넓어지고 어두운부분의 간격은 변하지 않고 좁게 그린 경우에 해당한다. 이중슬릿에서 슬릿 하나를 가리면 더 이상 간섭이 일어나지 않으므로 회절무늬만 나타날 것이라는 생각을 가지고 있으나, 회절무늬의 중앙극대가 주변부의 2차극대보다 더 넓다는 것을 알지 못하므로 모든 극대의 폭을 동일하게 표현한 경우이다. 따라서 회절무늬의 중앙극대의 밝기가 2차 극대 보다는 더 밝게 표현되며 각각의 극대무늬 안에 위치하는 간섭무늬의 개수가 같아서 간섭무늬 사이의 간격이 넓어진다고 답하였다. 또한 세 점의 밝기 변화에서 보강간섭에 해당하는 X와 Z에 대해 밝기가 '그대로'라고 답한 것으로 보아, 유형3에 해당하는 개념도 동시에 가지고 있다고 생각할 수 있다.

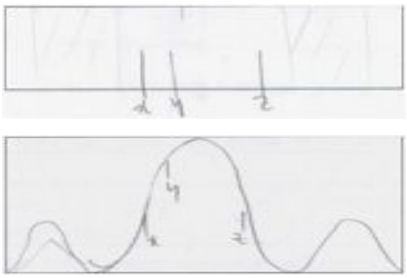


[그림 Ⅳ-7] 문항 1에 대한 학생들의 그림 - 유형 6

학생들의 실제 응답 내용 :
'단일슬릿이 되면서 간섭무늬사이의 간격이 커진다(그러나 간섭도 일어난다).'

1.1.7. 유형 7 (n_7=1)

유형7은 주어진 이중슬릿 무늬의 회절극소점의 위치를 고려하여서 단일슬릿에 의한 회절무늬를 바르게 표현하였으며, 빛의 밝기도 전체적으로 조금 낮아진 형태로 표현한 경우에 해당한다. 가장 과학적인 개념이라 할 수 있으며 동일한 간격으로 나타나는 간섭무늬들의 가운데 밝은 부분을 묶어서 회절극대로 표현하고, 그림상에 나타난 회절극소점 역시 바르게 표현하여, 주어진 간섭·회절무늬에 대응하여 바르게 표현하였다. 유형 3과의 가장 큰 차이점으로 유형 7의 학생은 이중슬릿에서 단일슬릿이 되면 전체적인 밝기가 감소한다는 것을 바르게 예상하였으며, 따라서 점 X Z 에서는 밝기가 감소하며 점 Y에서는 밝기가 증가한다고 표현하였다.



[그림 Ⅳ-8] 문항 1에 대한 학생들의 그림 - 유형 7

학생들의 실제 응답 내용 :
'슬릿이 2개면 간섭이 일어나지만, 슬릿이 1개면 회절이 일어난다. 중앙무늬가 크게 나타나므로 y까지 밝다.'

1.2. 1번 문항의 사후검사 결과

[표 Ⅳ-3] 실험군과 대조군의 사후검사 결과 비교 - 문항 1

유 형		대조	실험
유형1.	단일슬릿과 이중슬릿에 의한 무늬가 동일하다고 표현한 경우	2	.
유형2.	단일슬릿에 의한 회절무늬를 그렸지만, 중앙극대를 아주 넓게 표현해서 회절극소점이 정확한 위치에 드러나지 않은 경우	.	.
유형3.	단일슬릿에 의한 회절무늬를 회절극소점을 통해서 정확하게 표현하였지만, 보강간섭지점(X Z)의 밝기가 그대로 유지된다고 표현한 경우	2	6
유형4.	이중슬릿과 무늬를 비교했을 때 중앙의 밝은 무늬 하나만 조금 더 넓게 표현한 경우	3	1
유형5.	회절무늬가 지나치게 오른쪽으로 치우치도록 표현한 경우	1	.
유형6.	이중슬릿 무늬의 밝은부분만 고르게 확대하여, 중앙극대와 2차극대들의 폭을 동일하게 표현한 경우	.	.
유형7.*	단일슬릿에 의한 회절무늬를 회절극소점을 통해서 정확하게 표현하였고, 동시에 밝기변화 또한 정확하게 예측한 경우로 가장 과학적인 유형	1	2

- 가장 과학적인 유형은 7이며, 실험군에서 가장 많이 나온 유형은 3, 대조군에서 가장 많이 나온 유형은 4이다.

1.2.1. 사후검사 결과 가장 과학적인 유형 - 유형7

문항1은 이중슬릿의 왼쪽 하나를 가려서 단일슬릿이 되었을 때, 이중슬릿의 간섭·회절무늬에 나타나는 변화를 설명하는 것으로, 대부분의 학생들은 더 이상은 간섭이 일어나지 않으며 회절무늬가 남을 것이라는 것은 인식하고 있었다. 그러나 회절무늬 자체에 대한 인식이 상당히 자의적이며, 주어진 무늬에서의 회절극소점을 인식하지 못하고 그림을 그리는 경우가 대부분이었다. 따라서 간섭과 회절에 대한 개념이 올바르게 형성되어있는 학생이라면, 간섭무늬가 사라진 형태의 회절무늬를 그리되 회절극소점의 위치를 표시하고, 동시에 빛의 세기 그래프에서도 최고점의 높이가 낮아진 형태를 표현할 것이므로 유형7을 가장 과학적인 유형으로 해석하고 정답률의 기준으로 택하였다.

1.2.2. 실험군과 대조군의 비교

우선 사후검사 결과 새롭게 등장한 유형은 없었으며, 따라서 사전검사에서 분류한 7가지 유형 그대로를 사용하여 분류하였다. 사전검사에서는 두 집단의 개념검사를 함께 분석하여 총 18명에 해당하는 집단의 오개념을 분석하였으나, 사후검사에서는 실험군과 대조군 각각 9명 내에서의 개념유형을 분석하였으므로 양적 비교에는 더욱더 무리가 있음을 감안하였다. 우선 가장 과학적인 답에 해당하는 유형7의 경우에는 사전검사에서는 18명 중 1명에 불과하였으나, 사후검사에서는 대조군 1명(11.1%), 실험군 2명(22.2%)이 나왔다. 사전검사에서 나왔던 1명은 실험군에 속하였으나 그 학생의 경우는 사후에 유형3으로 개념이 변화하였고, 따라서 대조군 1명과 실험군 2명 모두 개념이 바뀌어서 나온 결과들이다.

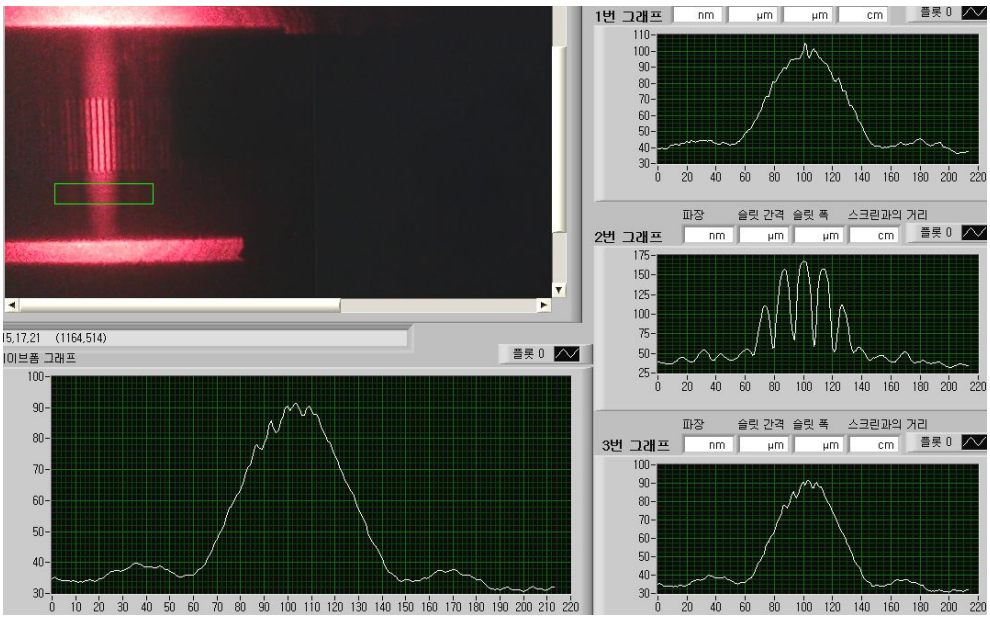
[표 Ⅳ-4] 실험군과 대조군의 개념변화 비교 - 문항1

대조	1	2	3	4	5	6	7	사후
1	1				1			2
2								.
3	2							2
4	1	1		1				3
5			1					1
6								.
7					1			1
사전	4	1	1	1	2	.	.	

실험	1	2	3	4	5	6	7	사후
1								.
2								.
3		1	2	1		1	1	6
4				1				1
5								.
6								.
7		2						2
사전	.	3	2	2	.	1	1	

각 집단의 유형 분포를 보면, 대조군의 경우는 총 5개의 유형에 비교적 고루 분포하였으며 가장 많이 나온 유형은 4번 유형으로 3명이 나온 반면에, 실험군의 경우는 총 3개의 유형에 분포하였으며 가장 많이 나온 유형은 3번 유형으로 9명 중 5명이나 이 유형에 속하였다. 따라서 분포 경향과 학생들의 개념변화를 보았을 때 실험에 의한 영향을 많이 받은 집단은 단연 실험군이라 할 수 있을 것이다. 그리고 대조군을 대표하는 주요 유형인 4번 유형은 회절의 중앙극대의 폭이 2차극대 폭의 2~3배 정도로 표현된 것으로, 선행연구에서 많이 등장한 오개념 중의 하나이다. 4번유형을 택한 학생들이 사전검사에서 선택했던 유형은 각각 1, 2, 4유형으로 이들의 개념변화 과정에서 공통점을 찾는데는 어려움이 있으며, 따라서 4번 유형을 택하는 과정에서 실험의 영향을 분석하는 편이 더 낫다고 판단하였다. 대조군 학생들은 일반 광학실험 과정에서, 점광원이 이중슬릿과 단일슬릿을 통과한 후 스크린에 나타난 수평형태의 무늬를 관찰하는 활동을 하였는데, 이때 육안으로 관찰한 것이 정확하지 않았을 가능성이 높다. 따라서 단일슬릿과 이중슬릿을 번갈아 비추어서 나타난 무늬를 비교한 결과, 단일슬릿에 의한 무늬는 단순히 가운데 밝은무늬가

좀 더 넓다는 정도의 차이만 인식하였을 것이다. 이는 아무리 재빨리 실험을 수행하고, 스크린의 동일한 위치에 무늬를 나타나게 하여도 두가지 무늬를 동시에 비교할 수 없고, 따라서 학생들은 정확하게 무늬의 어떤 부분을 중점으로 비교해야 하는지 알기 힘들었을 것이다.



[그림 Ⅳ-9] 문항 1과 관련된 컴퓨터기반 광학실험의 예

그에 비해 실험군을 대표하는 유형인 3번 유형은 정답인 7번 유형 다음으로 과학적인 유형으로, 밝기변화를 제외하면 무늬의 형태는 7번과 동일하다. 이들의 개념변화 역시 다양한 사전개념에서 바뀐 것으로 공통적인 특징을 찾기는 힘들고, 개념변화과정에서 실험의 영향을 분석하였다. 실험군 학생들은 컴퓨터기반 광학실험 과정에서 단일슬릿(이중슬릿의 2개의 슬릿중 왼쪽하나만 있는 슬릿), 이중슬릿, 단일슬릿(이중슬릿의 2개의 슬릿중 오른쪽 하나만 있는 슬릿)을 아래위로 놓은 삼단슬릿을 사용하였고, 이 삼단슬릿에 면광원을 비추어서 스크린 상에 무늬를 맺도록 하였다. 본 연구에서 고안한 프로그램을 통해서 무늬를 촬영하고 촬영된

삼단무늬를 빛의 세기 그래프로 분석하였다. 따라서 실험군 학생들은 하나의 화면상에서 3가지 무늬와 3가지 그래프를 동시에 확인하였다. 무늬를 통해서 가장 선명하게 보인 것은 회절극소점의 위치가 모두 같았다는 것이며, 단일슬릿의 경우에는 간섭무늬가 사라지고 중앙극대가 고루 밝다는 것이었다. 그래프를 통해서 확인하였던 것은 이중슬릿 간섭무늬의 포락선이 단일슬릿의 회절그래프와 형태가 거의 같다는 것이었으며 회절극소점이 같다는 것도 확인가능하였다. 따라서 조별 토의 과정을 거치면서 학생들은 무늬와 그래프를 보면서 비교해야할 것을 쉽게 발견하였고, 학생들의 개념변화를 유의미하게 이끌었다.

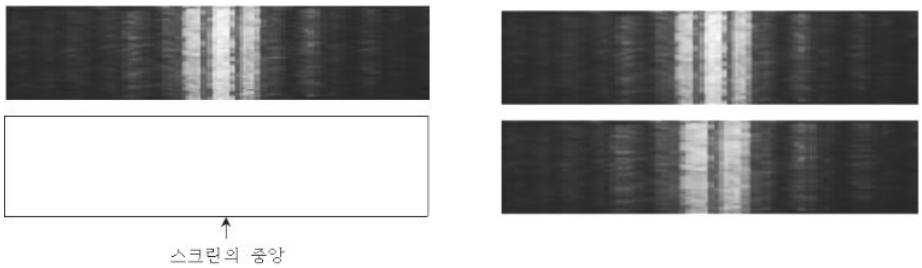
그러나, 면광원의 밝기가 고르지 못함과 동시에, 프로그램을 통해 표현된 그래프에서 빛의 세기값이 자동으로 책정되었으므로 밝기의 최고값에 대한 인식이 과학적이지 못하였다는 한계가 있었다. ([그림 Ⅳ-9]의 그래프에서 최고점의 밝기는 비슷해 보이지만 y축의 값을 자세히 읽었을 때 각각 100, 170, 90으로 다르다는 것을 확인할 수 있다.) 따라서 실험군 학생들은 밝기에 대한 인식보다는 무늬의 형태변화와 회절극소점 인식에서 개념변화가 좀 더 강하였으므로, 7번유형보다는 3번유형의 수가 압도적으로 많았던 것으로 생각된다. 심지어 사전조사 결과 7번 유형을 택한 학생마저 3번 유형을 선택함으로서 이 프로그램이 갖는 단점이 극명히 드러나고 말았다. 따라서 면광원을 사용할 때 기존의, 레이저 앞에 현미경의 볼록렌즈를 덧대어 만드는 방식을 개선할 필요가 있으며, 동시에 프로그램 상에서 3가지 그래프를 그릴때 눈금의 최대값을 고정함으로써 그래프의 형태비교와 동시에 빛의 세기에 해당하는 수치도 비교가능토록 할 필요가 있다.

사후조사 결과 실험군의 학생들이 보다 과학적인 개념으로의 변화를 나타내었으나, 동시에 컴퓨터 기반 광학실험이 갖는 단점을 부각시킴으로서 이를 개선한다면 교육적인 효과가 더 높을 것이라는 기대를 하게 하였다.

2. 2번 문항

2.1. 2번 문항의 사전검사 결과

2번 문항은 이중슬릿에서의 두 슬릿사이 간격을 변화시켰을 때 간섭·회절무늬에 나타나는 변화를 무늬와 그래프로 표현하도록 하였다. 2번 문항을 분석하는 과정에서 대다수의 학생이 수식을 통해서 문제를 해결하는 모습을 보였으며 따라서 실험 후에 이루어진 사후조사에서 학생들이 계속해서 수식을 사용해서 현상을 해석하는가에 대해 양적인 분석을 하였다. 문항1에서 설명한바와 같이, 선행연구와의 가장 큰 차이점으로 본 연구에서는 모든 무늬사이 간격이 일정한 이상적인 간섭무늬가 아닌, 실제 실험결과 얻어낸 간섭현상과 회절현상이 동시에 보이는 그림을 학생들에게 제공을 하였다. 선행연구에서는 단순히 간섭무늬에서 나타나는 변화만을 예측하도록 하였으므로 간섭과 회절현상을 분리해서 해석하였다면, 본 연구에서는 간섭과 회절현상을 동시에 표현하도록 하여 학생들의 개념변화를 좀 더 유의미하게 이끌었다.



[그림 Ⅳ-10] 문항 2의 그림 및 예상 답안

우선 적색 빛이 아주 좁은 간격의 이중슬릿(두 슬릿의 크기는 동일)을 통과해서 만드는 무늬를 위와 같이 제시한 후, 이 때 다른 모든 조건은 동일하게 유지한 채 두 슬릿사이의 간격만 감소시켰을 때 스크린에 나타나는 변화를 기존의 무늬에 대응되도록 그리고, 왼쪽에는 그에 해당하는

빛의 세기 그래프를 그리도록 하였다. 학생들의 답과 그에 대한 설명을 분석하여, 수식의 활용여부와 간섭무늬의 변화를 바르게 설명하는가, 그리고 회절무늬는 변하지 않음을 동시에 표현하는가를 기준으로 총 7가지 유형으로 분류하였다. 7가지 유형의 분류 기준이 단순히 무늬와 그래프의 형태만이 아닌, 개념적인 이해를 포함하였으므로 표면적으로는 동일한 형태의 무늬를 그린 학생들이라도 수식을 사용해서 해석하였는지, 경로차를 이용해서 해석하였는지를 다르게 분류하였다.

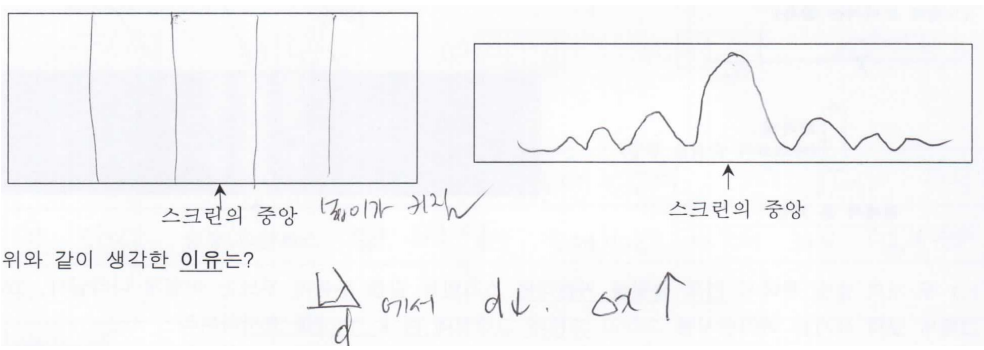
[표 Ⅳ-5] 사전검사 결과 나온 유형 - 문항2

유 형		대조	실험
유형1.	수식을 이용해서 결과를 얻어낸 경우로 간섭무늬 간격이 넓어짐을 무늬와 그래프로 바르게 표현하되, 회절무늬에 대한 표현은 없는 경우	2	3
유형2.	경로차와 같은 수식이 아닌 방법을 이용해서 결과를 얻어낸 경우로 간섭무늬 간격이 넓어짐을 무늬와 그래프로 바르게 표현하되, 회절무늬에 대한 표현은 없는 경우	.	1
유형3.*	간섭무늬 간격이 넓어짐을 바르게 표현하는 동시에 회절무늬에는 변화가 없다는 것을 회절극대의 폭이나 회절극소점의 위치로 표현한 경우	2	.
유형4.	간섭무늬 간격이 넓어짐을 무늬로는 바르게 표현하지만, 밝기를 나타낸 그래프에서 진폭의 크기가 모두 같은 경우	2	1
유형5.	간섭무늬의 가운데 보강간섭 하나의 폭만 특별히 더 넓게 표현하거나 간섭이 아닌 회절이라는 용어를 사용해서 설명하는 경우	2	1
유형6.	간섭무늬 간격이 넓어짐을 설명하고 있으나, 간섭무늬의 밝은부분이나 어두운부분에만 특별한 의미를 부여하여 더 넓게 표현한 경우	.	1
유형7.	간섭무늬 사이 간격이 오히려 감소한 경우로, 수식이 아닌 다른 방법을 이용해서 잘못된 결과를 얻은 경우	1	2

2.1.1. 유형 1 (n_1=5)

유형1의 학생들은 두 슬릿사이 간격이 감소하면 간섭무늬 사이 간격이 넓어짐을 무늬와 그래프로 바르게 표현하되, 그 과정에서 주로 수식을 이용해서 결과를 얻어낸 경우에 해당한다. 이 학생들은 $d\sin\theta = n\lambda$라는 경로차 공식에 $\sin\theta \approx x/L$의 근사를 통해서 얻어낸 간섭무늬 사이 간격을 구하는 공식인 $\Delta x = L\lambda/d$를 사용하였다.

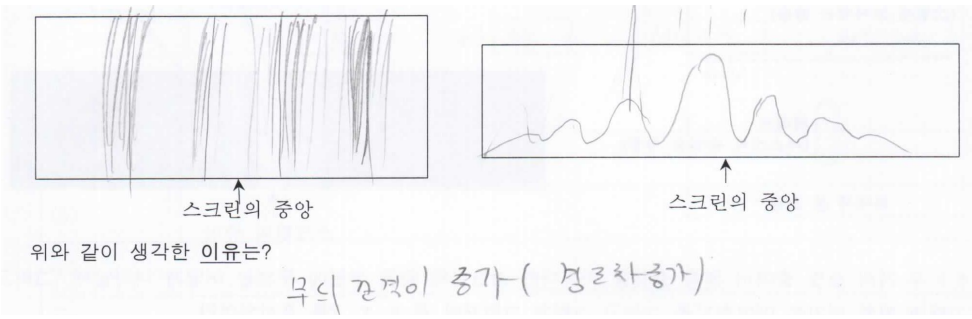
본 연구는 서론에서 밝혔던바 대로, 수식적 해석이 주가 되는 활동은 간섭과 회절에 대한 올바른 개념 형성에 역부족이므로 수식이 아닌 다른 방식에 의한 이해로의 전환을 목적으로 하였다. 따라서 선행연구에서는 이 유형을 과학적인 답을 한 유형으로 분류하였으나, 본 연구에서는 수식을 통해서 문제를 해결한 학생을 따로 유형화하였으며, 그 결과 18명 중 5명의 학생에 해당하였다. 유형1,2,3 모두 간섭무늬 사이 간격이 증가하는 것으로 설명하였지만, 유형3을 가장 과학적인 개념으로 분석하였다. 그 이유는 제시된 간섭·회절무늬에서는 회절극소점을 포함한 회절현상이 나타나있기 때문에 회절극대의 폭이 변하지 않는다거나 혹은 회절극대 안에 들어가는 간섭무늬의 개수가 감소한다와 같은 변화를 언급한 것을 더 과학적으로 타당한 것으로 보았기 때문이다.



[그림 Ⅳ-11] 문항 2에 대한 학생들의 그림 - 유형 1

2.1.2. 유형 2 (n_2=1)

유형2의 학생들은 간섭무늬 사이 간격이 넓어짐을 무늬와 그래프로 바르게 표현하되, 경로차를 이용하는 등 수식이 아닌 다른 방법을 이용해서 결과를 얻어낸 경우에 해당한다. 이 유형 역시 간섭무늬에 대한 해석은 바르게 하였으나, 회절무늬에 대한 언급은 없다는 점에서 유형3과는 다르고, 유형1과는 수식이 아닌 다른 방식으로 문제를 해결하였다는 차이가 있다. 본 연구의 목적상 유형1보다는 유형2가 좀 더 부합하다는 판단 하에 유형2를 좀 더 과학적으로 해석하였다. 사전개념 조사 결과 18명 중 1명만이 유형2에 해당하였으며, 인터뷰결과 이 학생은 간섭현상에 대한 직관적인 해석을 하고 현상을 유추한 것으로 나타났다.

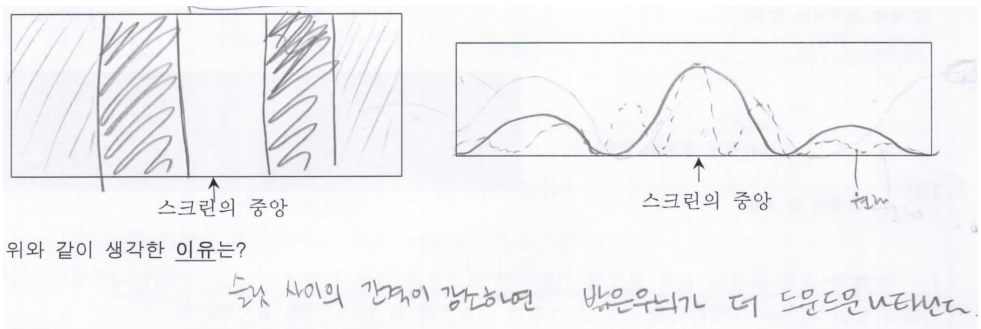


[그림 Ⅳ-12] 문항 2에 대한 학생들의 그림 - 유형 2

2.1.3. 유형 3 (n_3=2)

유형3의 학생들은 간섭무늬사이 간격이 넓어짐을 바르게 표현하는 동시에 회절무늬에는 변화가 없다는 것을 회절극대의 폭이나 회절극소점의 위치로 표현하는 경우에 해당한다. 간섭무늬와 회절무늬를 구분할 수 있고 간섭무늬에 영향을 주는 요인이 무엇인가에 대해서 정확하게 이해를 하고 있으므로 그림과 그래프로 표현하였다고 판단하였으며, 따라서 연

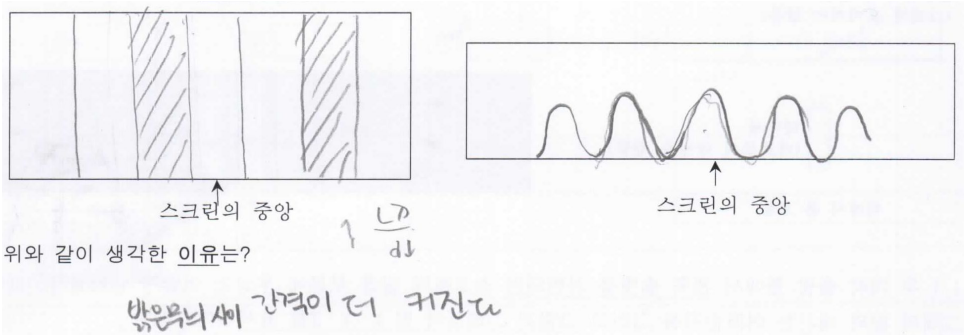
구의 목적과도 잘 부합하는 가장 과학적인 유형으로 분석했다. 18명 중 총 2명의 학생이 유형3에 해당하였으며, 두 학생 모두 간섭무늬를 계산하는 수식을 통해서 간섭무늬의 변화를 예상하였고, 포락선 내지는 회절 극소점을 표현함으로서 회절무늬가 변하지 않는다는 것을 그래프로 표현하였다.



[그림 Ⅳ-13] 문항 2에 대한 학생들의 그림 - 유형 3

2.1.4. 유형 4 (n_4=3)

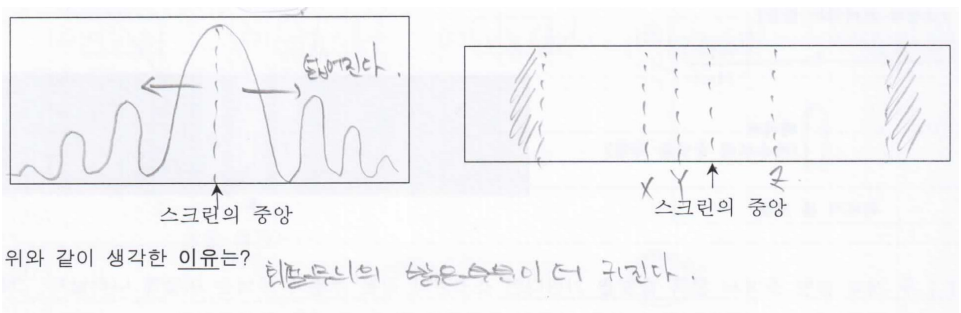
유형4의 학생들은 간섭무늬사이 간격이 넓어짐을 무늬로는 바르게 표현하였지만, 밝기를 나타낸 그래프에서 진폭의 크기를 모두 같게 표현한 경우에 해당한다. 무늬에서의 변화만 표현하게 했다면 발견할 수 없을 유형으로, 이 학생들의 3번 문항에 대한 답과 비교했을 때 보강간섭의 밝기가 거의 동일하다는 공통점을 가지고 있었다. 간섭무늬를 계산하는 수식을 이용해서 무늬사이 간격이 넓어진다는 것은 알아냈으나, 그래프로 표현하는 과정에서 간섭이 더 많이 일어나는 경우는 그래프의 형태가 이상적인 간섭무늬의 그래프의 형태가 나타날 것이라고 예상한 것으로 보인다. 이와 유사하게 3번 문항에서 슬릿폭의 감소에 따른 변화를 물었을 때, 유형4의 학생 중 2명의 학생은 회절이 더 많이 일어나게 되면 무늬와 그래프가 단일슬릿에 의한 회절현상에 해당하는 것과 유사하게 바뀔 것이라고 설명하였다.



[그림 Ⅳ-14] 문항 2에 대한 학생들의 그림 - 유형 4

2.1.5. 유형 5 (n_5=3)

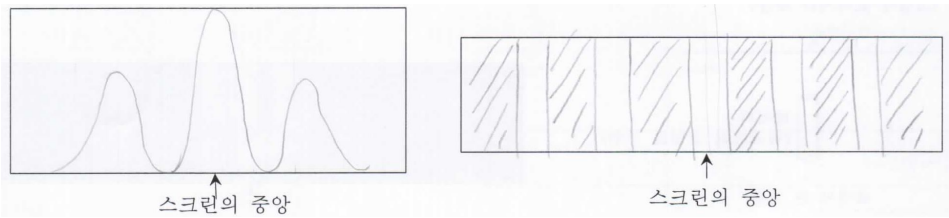
유형5의 학생들은 간섭무늬의 가운데 보강간섭 하나의 폭만 특별히 더 넓게 표현하거나 간섭이 아닌 회절이라는 용어를 사용해서 설명하는 경우에 해당한다. 18명 중 3명의 학생들이 유형5에 해당하였으며, 수식을 통해서 무늬사이 간격이 넓어진다고 하였으나 간섭무늬가 아닌 회절무늬라고 적거나, 슬릿간격에 의해서 회절현상이 변한다고 표현한 학생들이었다. 간섭과 회절을 구분하지 못한다고 판단할 수 있으며, 선행연구 결과 나온 오개념 중에서 '이중슬릿에 관한 문제라면 어떤 변인에 대해서도 간섭으로만 해결하려는 신념이 있다'는 것에 상충되는 유형으로 생각할 수 있다.



[그림 Ⅳ-15] 문항 2에 대한 학생들의 그림 - 유형 5

2.1.6. 유형 6 (n_6=1)

유형6의 학생들은 간섭무늬사이 간격이 넓어짐을 설명하고 있으나, 간섭무늬의 밝은부분이나 어두운부분에만 의미를 부여하여 특별히 더 넓게 표현한 경우에 해당한다. 이 경우는 간섭무늬 사이 간격이라는 것의 의미를 어두운 부분에 국한 시킨 것으로 해석되며, 따라서 밝은부분은 제시된 그림과 폭이 같고 빗금을 칠한 어두운 부분의 폭만 증가한 것으로 표현한 것으로 보인다. 18명의 학생 중 1명의 학생이 유형6에 해당하였는데, 이 학생의 경우 3번 문항의 슬릿폭이 감소할 때의 변화에 대해서 상대적으로 무늬의 밝은부분만 증가시키는 것으로 보아, 간섭무늬 내의 밝은부분은 회절무늬로, 어두운부분은 간섭무늬로 인식하고 있는 것으로 보인다.

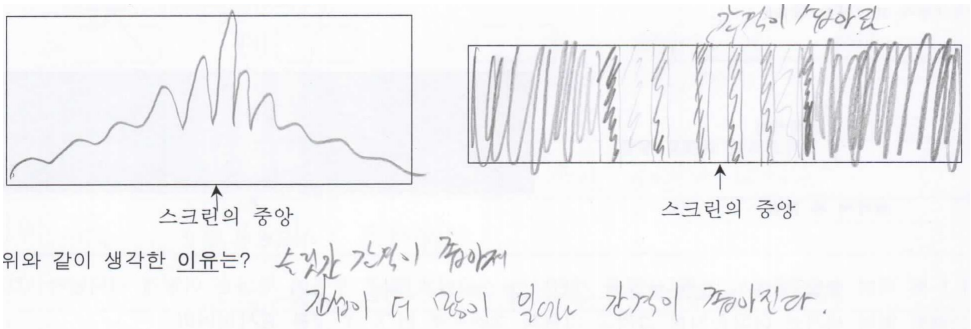


[그림 Ⅳ-16] 문항 2에 대한 학생들의 그림 - 유형 6

2.1.7. 유형 7 (n_7=3)

유형7의 학생들은 간섭무늬 사이 간격이 오히려 감소한 경우에 해당하며, 이 학생들의 대부분은 수식이 아닌 다른 방법을 이용하였으며 잘못된 해석을 한 것으로 보인다. 그림에 제시된 학생 답안의 경우는, 간섭이 더 많이 일어나면 간섭무늬의 개수가 늘어나므로 간격이 더 좁아진다는 신념을 가진 것으로 보이며, 다른 학생의 경우는 슬릿간격이 감소하는 것이 무늬를 만드는 요소의 비율이 작아지는 것이므로 기하학적으로 전

체적인 축소가 일어나 무늬역시 작아질 것으로 예상하였다.



[그림 Ⅳ-17] 문항 2에 대한 학생들의 그림 - 유형 7

2.2. 2번 문항의 사후검사 결과

[표 Ⅳ-6] 실험군과 대조군의 사후검사 결과 비교 - 문항2

유 형		대조	실험
유형1.	수식을 이용해서 결과를 얻어낸 경우로 간섭무늬 간격이 넓어짐을 무늬와 그래프로 바르게 표현하되, 회절무늬에 대한 표현은 없는 경우	1	.
유형2.	경로차와 같은 수식이 아닌 방법을 이용해서 결과를 얻어낸 경우로 간섭무늬 간격이 넓어짐을 무늬와 그래프로 바르게 표현하되, 회절무늬에 대한 표현은 없는 경우	2	5
유형3.*	간섭무늬 간격이 넓어짐을 바르게 표현하는 동시에 회절무늬에는 변화가 없다는 것을 회절극대의 폭이나 회절극소점의 위치로 표현한 경우	2	4
유형4.	간섭무늬 간격이 넓어짐을 무늬로는 바르게 표현하지만, 밝기를 나타낸 그래프에서 진폭의 크기가 모두 같은 경우	1	.

유형5.	간섭무늬의 가운데 보강간섭 하나의 폭만 특별히 더 넓게 표현하거나 간섭이 아닌 회절이라는 용어를 사용해서 설명하는 경우	.	.
유형6.	간섭무늬 간격이 넓어짐을 설명하고 있으나, 간섭무늬의 밝은부분이나 어두운부분에만 특별한 의미를 부여하여 더 넓게 표현한 경우	.	.
유형7.	간섭무늬 사이 간격이 오히려 감소한 경우로, 수식이 아닌 다른 방법을 이용해서 잘못된 결과를 얻은 경우	2	.
유형8.	슬릿간격이 회절에 영향을 준다고 생각하며, 간섭무늬는 그대로 있고 회절무늬가 변하는 경우	1	.

- 가장 과학적인 유형은 3이며, 실험군에서 가장 많이 나온 유형은 2, 대조군은 특별히 많이 나온 유형이 없다.

2.2.1. 사후검사 결과 가장 과학적인 유형 - 유형3

3번 문항은 슬릿간격이 감소할 때 이중슬릿에 의한 간섭·회절무늬에 나타나는 변화를 설명하는 것으로, 학생들은 실제 실험결과로 주어진 간섭과 회절현상이 동시에 확인되는 무늬를 기준으로 설명을 해야 한다. 이때, 기존에 수식적인 해석을 해온 학생들의 경우에는 간섭무늬 사이 간격을 결정하는 요인으로 슬릿간격을 떠올릴 것이고, 단순히 간섭무늬 사이 간격이 넓어진다는 언급만 할 것이다. 그러나 회절과 간섭의 개념을 잘 이해하고 있는 학생들의 경우에는 주어진 무늬에서 간섭무늬와 회절극소점이라는 특징을 알아보고 그에 대응되는 답을 구상하게 된다. 이 과정에서 간섭무늬의 변화와 회절무늬의 변화의 관계에 대해서 정확히 구분을 하는 학생이 좀 더 과학적인 판단을 한 것이며, 무늬와 그래프를 통해서 이를 바르게 표현을 하였다면 그 학생은 간섭과 회절 현상에 대해서도 충분히 이해하였다고 판단할 수 있다. 따라서 유형3을 가장 과학적인 유형으로 해석하고, 정답률의 기준으로 택하였다.

2.2.2. 사후검사에서 새롭게 등장한 유형 - 유형8

유형8은 슬릿간격의 감소로 인해 회절무늬의 폭이 증가한다고 생각한 경우로, 사후검사에서 대조군의 단 1명이 유형8에 속하였다. 전공수업으로서 광학을 듣지 않아도 일반물리학에서 간섭, 회절에 대한 내용을 학습하기 때문에 대부분의 학생들이 간섭무늬의 결정요인과 회절무늬의 결정요인에 대한 단편적인 지식은 갖고 있기 마련이므로 의외의 결과였다. 이 학생의 경우는 사전검사에서는 유형3을 택하였으며 가장 과학적인 답안을 제시한 바 있었다. 인터뷰 결과 학생은 단순히 '슬릿사이 간격'이라는 용어를 슬릿폭과 혼동했었던 것 같다는 표현을 하였다. 인터뷰 과정에서 이 학생 외에도 슬릿간격과 슬릿폭이라는 용어를 서로 혼동하는 학생들이 더 있었던 것으로 보아, 학습과정에서 좀 더 확실하게 정의해야 할 부분이라고 생각하였다.

2.2.3. 실험군과 대조군의 비교

사전검사에서 발견한 유형7가지와 사후검사 결과 새롭게 등장한 유형8을 포함해서 총 8개의 유형으로 분류하여 비교하였다. 문항2 역시 사전검사에서는 두 집단을 함께 분석하여 총 18명의 오개념을 분석하였으나, 사후검사에서는 실험군과 대조군 각각 9명 내에서의 개념유형을 분석하였다. 가장 과학적인 유형에 해당하는 유형3의 경우에는 사전검사에서는 18명 중 2명에 불과하였으나, 사후검사에서는 대조군 2명(22.2%), 실험군 4명(44.4%)이 나왔다. 사전검사에서 나왔던 2명은 모두 대조군에 속하였는데, 2명 중의 1명은 사전, 사후검사 모두 유형3으로 답한 경우로 기존의 과학적인 개념이 유지된 경우이며, 그 외 1명은 앞서 언급한 특수한 케이스인 유형8로 역행하였다. 그에 비해 실험군에서 답을 맞힌 4명은 모두 개념변화 결과 나온 학생들로, 실제적으로 단 1명만이 개념변화과정으로 답을 맞힌 대조군에 비해서는 월등하게 교육적인 효과를 입증할

수 있는 부분이었다. 또한 실험군 9명 중 44.44%에 해당하는 4명이 과학적인 개념으로 바뀐 것에 대해서, 애초에 연구목표로 제시한 '간섭과 회절학습 과정에서 수식위주의 해석활동의 지양'에 대한 하나의 방안으로 컴퓨터기반 광학실험이 효과가 있음이 확인되었다고 할 수 있다. 실제로, 대조군의 경우는 사후검사에서도 수식을 통해서 문제를 해결하는 학생이 3명이 나온 반면, 실험군의 경우에는 단 한명도 수식을 사용하지 않고 문제를 해결하였으므로 위의 분석을 좀 더 뒷받침 하였다.

[표 Ⅳ-7] 문항2에서 수식사용여부에 대한 비교

		사전	사후
대조군	Cg.1	○	×
	Cg.2	○	×
	Cg.3	○	○
	Cg.4	×	×
	Cg.5	○	×
	Cg.6	○	○
	Cg.7	○	×
	Cg.8	○	×
	Cg.9	○	○
	합 계	8	3

		사전	사후
실험군	Eg.1	○	×
	Eg.2	×	×
	Eg.3	○	×
	Eg.4	×	×
	Eg.5	×	×
	Eg.6	○	×
	Eg.7	○	×
	Eg.8	○	×
	Eg.9	×	×
	합 계	5	0

각 집단의 유형 분포를 보면, 대조군의 경우는 총 6개의 유형에 비교적 고루 분포하였으므로 특별히 대조군을 대표하는 유형이 발견되지 않았던 반면에, 실험군의 경우는 총 2개의 유형에 분포하였으며 가장 많이 나온 유형은 2번 유형으로 9명 중 5명이나 이 유형에 속하였다. 따라서 분포경향과 학생들의 개념변화를 보았을 때, 실험에 의한 영향을 많이 받은 집단은 단연 실험군이라 할 수 있다. 대조군에서는 2번 문항 외에

도 다른 문항들 또한 사후검사 결과가 한 곳에 집중되지 않아서 대조군을 대표하는 유형을 찾기 힘들었는데, 이는 학생들이 실험과정에서 특징적인 것을 발견하기 힘들었거나 혹은 학생들 저마다 실험을 통해 관찰한 내용이 달랐음을 의미한다. 2번 문항과 관련된 실험으로 대조군 학생들은 슬릿사이 간격을 변화시킨 3가지 이중슬릿에 점광원을 순서대로 비추어서 스크린에 맺힌 수평형태의 무늬를 차례로 관찰하였으며, 일부 학생들은 자를 이용해서 측정을 하기도 하였다. 정확성을 위해 비교적 같은 위치에 무늬가 나타나도록 실험을 조절하고, 무늬들 사이에 비교 가능하도록 재빨리 여러번 실험을 수행하였으나 학생들은 저마다 관찰한 내용에 차이가 있었다. 따라서 실험보고서를 작성한 후 조별로 토의하는 과정을 거치면서도 개개인의 개념변화를 유의미하게 이끌지 못하였다.

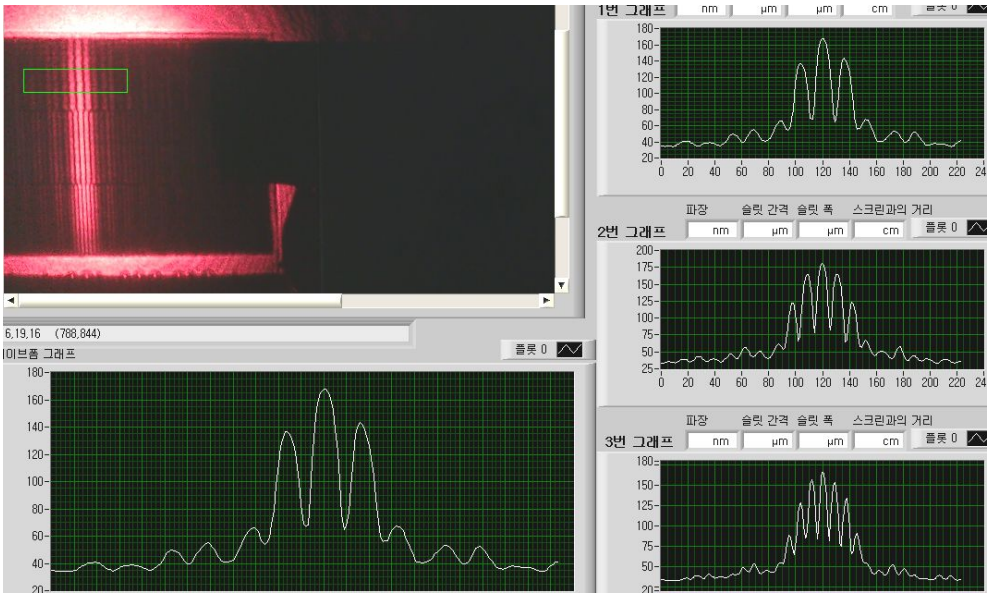
[표 Ⅳ-8] 실험군과 대조군의 개념변화 비교 - 문항2

대조	1	2	3	4	5	6	7	8	사후
1	1								1
2					1		1		2
3			1	1					2
4				1					1
5									.
6									.
7	1				1				2
8			1						1
사전	2	.	2	2	2	.	1	.	

실험	1	2	3	4	5	6	7	8	사후
1									.
2	2	1			1		1		5
3	1			1		1	1		4
4									.
5									.
6									.
7									.
8									.
사전	3	1	.	1	1	1	2	.	

실험군을 대표하는 2번 유형은 정답인 3번 유형 다음으로 과학적이라 할 수 있는데, 3번 유형은 간섭무늬의 변화 외에도 회절무늬가 변하지 않는다는 것을 표현한 반면에 2번 유형은 단순히 간섭무늬사이 간격의

변화만 언급한 학생들에 해당한다. 그러나 2번 유형은 수식을 이용해서 간섭무늬를 맞힌 1번 유형과는 다르게, 경로차 혹은 직관적인 판단에 의해 답을 맞힌 학생들로 굳이 수식해석 단계를 거쳐야만 하는 경우와는 다르다고 판단하였다. 2번 유형을 택한 학생들은 대부분 개념변화 과정을 거쳤으며, 학생들이 간섭무늬 간격만을 언급한 가장 큰 이유는 실험결과, 슬릿간격의 변화는 간섭무늬 사이 간격의 변화와 직결된다는 어떠한 신념이 생겼기 때문이라 생각된다. 따라서 간섭무늬 변화만을 의식한 채, 회절극소점은 표현하지 않았을 가능성이 높다.



[그림 Ⅳ-18] 문항2와 관련된 컴퓨터기반 광학실험의 예

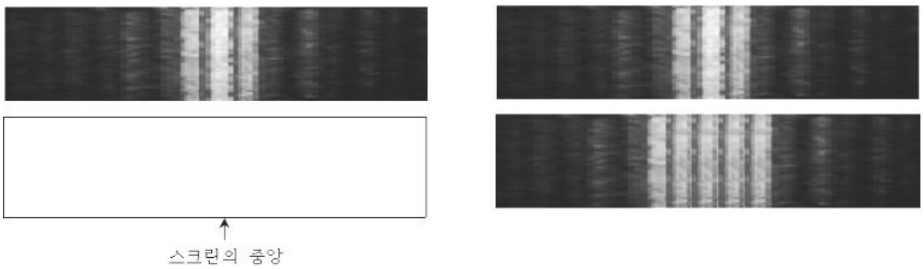
컴퓨터기반 광학실험 과정에서 실험군의 학생들은 슬릿간격을 변화시킨 이중슬릿 3개를 아래위로 놓은 삼단슬릿을 사용하였고, 이 삼단슬릿에 면광원을 비추어서 스크린 상에 무늬를 맺도록 하였다. 컴퓨터 프로그램을 통해서 무늬를 촬영하고 촬영된 삼단무늬를 빛의 세기그래프로 분석하였다. 따라서 실험군 학생들은 하나의 화면상에서 3가지 무늬와 3가지 그래프를 동시에 확인하였으며, 간섭무늬와 회절무늬의 특징들을

비교하면서 관찰 할 수 있었다. 이 삼단슬릿은 슬릿폭은 모두 같고 슬릿 간격만 변하는 것이었으므로 세 무늬의 회절극소점의 위치가 모두 같았으며, 간섭무늬의 폭이 달라서 밝은영역 안에 들어가는 간섭무늬의 개수가 달라짐을 확인할 수 있었다. 그리고 세 개의 그래프를 통해서 포락선 형태와 간섭무늬 하나의 폭을 서로 비교함으로써 무늬에서 관찰한 내용이 더 강화될 수 있었다. 따라서 실험을 통해서 좀 더 세밀하게 관찰한 학생들은 간섭과 회절무늬의 형태변화를 동시에 인식하고 사후조사에서 유형3을 택하였으며, 비교적 간단한 특징만을 인식한 학생들은 사후조사에서 유형2를 택한 것으로 보인다.

3. 3번 문항

3.1. 3번 문항의 사전검사 결과

3번 문항은 2번과 동일한 상황에서, 모든 조건을 그대로 유지한 채 이중슬릿의 슬릿폭만 감소한 경우(슬릿 사이의 간격은 일정하며 감소한 두 슬릿의 폭은 서로 같음)에 간섭·회절무늬와 빛의 밝기 그래프에서 나타나는 변화를 그리는 것이었다.



[그림 Ⅳ-19] 문항 3의 그림 및 예상 답안

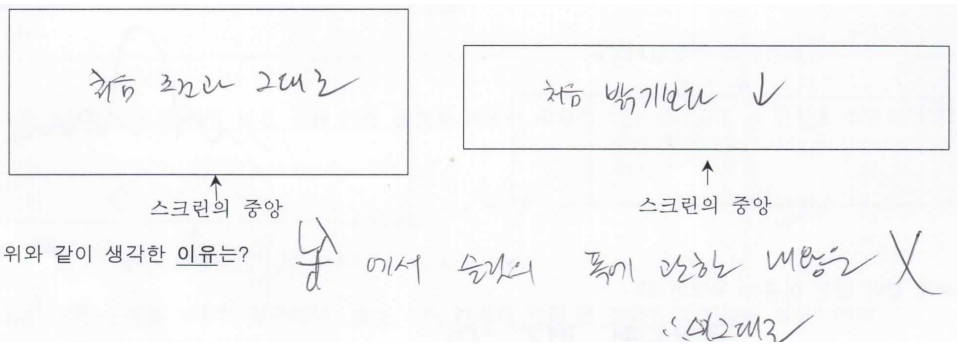
선행연구와는 다르게 회절무늬가 그림 상에 나타나 있으므로 학생들은 간섭무늬가 변하지 않는다는 것을 언급하는 수준에서 그칠 것이 아니라, 회절무늬 변화와 더불어 간섭무늬가 변하지 않는다는 것을 보여주어야 한다. 앞서 2번 문항과 달리 수식으로 문제를 해결하는 학생은 드물었으며, 폭이 좁으면 회절이 더 많이 일어난다는 개념은 대부분의 학생들의 답에서 발견할 수 있었다. 그러나 회절과 간섭무늬를 동시에 표현하는 과정에서 많은 학생들이 어려움을 겪고 있었으며, 비록 개념적으로는 간섭무늬는 변하지 않고 회절무늬의 중심극대 폭이 증가한다는 것을 알고 있는 학생들 중에서도 옳은 답을 하는 학생은 소수에 그쳤다.

[표 Ⅳ-9] 사전검사 결과 나온 유형 - 문항3

유 형		대조	실험
유형1.	간섭무늬에 변화가 없다고 표현하였으나 회절무늬의 변화에 대해서는 어떠한 언급도 없는 경우	4	.
유형2.	가운데 있는 보강간섭무늬 하나만 더 넓게 표현해서 단일슬릿에 의한 회절무늬와 비슷하게 표현하는 경우	2	2
유형3.	간섭무늬의 밝은 부분의 폭만 넓어지고, 어두운 부분은 변하지 않는 경우	.	3
유형4.	회절이 더 잘되므로 간섭무늬도 영향을 받아 무늬가 확대되어 간섭무늬간격이 넓어지는 경우	1	2
유형5.	회절이 더 잘되므로 회절 중심극대의 폭이 더 줄어들어서 간섭무늬도 영향을 받아 촘촘해진다는 경우	.	1
유형6.*	간섭무늬는 변하지 않고 회절 중심극대의 폭이 증가한다는 것이 바르게 표현된 경우	2	1

3.1.1. 유형 1 (n_1=4)

유형1의 학생들은 간섭무늬간격에 슬릿폭에 대한 항이 없으므로 간섭무늬는 변하지 않는다고 생각한 경우에 해당하며, 수식적인 표현을 쓰지 않더라도 간섭무늬의 변화가 없다고 표현한 경우도 유형1로 분류하였다. 앞서 설명한바 대로 선행연구에서는 이중슬릿에 의한 간섭무늬만을 제시한 채 슬릿폭의 변화를 언급하였으므로, 유형1에 해당하는 답을 정답으로 하였으나 본 연구에서는 회절무늬까지 포함해서 설명을 해야 하므로, 유형1보다는 유형6이 좀 더 과학적인 개념이라 할 수 있다. 다만 유형1의 학생 중 2명의 학생이 무늬의 밝기가 처음보다 어두워진다라고 답하였으나, 이는 회절무늬의 변화로 해석하기 보다는 슬릿폭의 감소로 인한 해석으로 보았다.

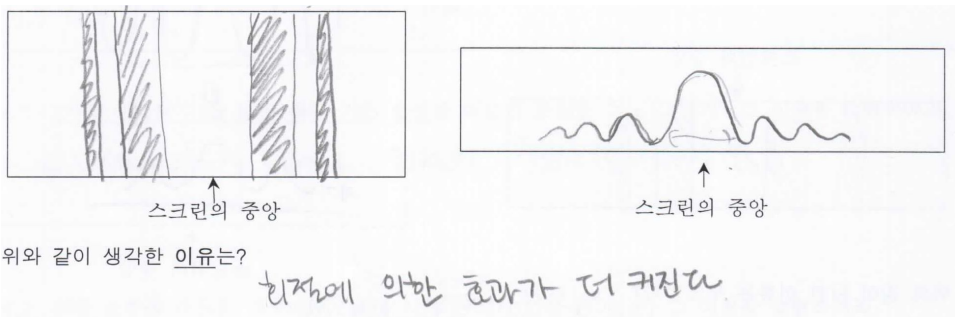


[그림 Ⅳ-20] 문항 3에 대한 학생들의 그림 - 유형 1

3.1.2. 유형 2 (n_2=4)

유형2의 학생들은 슬릿의 폭이 감소하면 회절이 더 잘 일어난다는 개념을 표현하기 위해, 간섭무늬의 가운데 보강간섭무늬 하나의 폭만 더 넓게 그려서 단일슬릿에 의한 회절무늬처럼 보이게 하는 경우에 해당한다. 즉, 회절현상이 더 증가하면 무늬가 단일슬릿에 의한 회절무늬처럼

된다는 생각을 가지고 있으며, 학생들의 응답을 통해서 유형2의 학생들은 간섭무늬와 회절무늬를 구분하지 못한다는 것을 알게 되었다. 앞서 문항 2에서 슬릿사이 간격이 감소해서 간섭이 더 많이 일어난다 하였을 때 진폭이 모두 같은 이상적인 밝기 그래프를 그렸던 학생이 유형2에 해당하였으며, 따라서 간섭이 많이 일어나면 이상적인 간섭무늬가 되고 회절이 많이 일어나면 단일슬릿에 의한 회절무늬가 된다는 생각을 하고 있음을 알게 되었다.

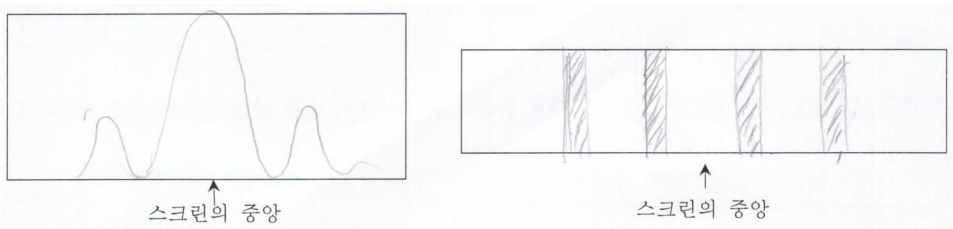


[그림 Ⅳ-21] 문항 3에 대한 학생들의 그림 - 유형 2

3.1.3. 유형 3 (n_3=3)

유형3의 학생들은 슬릿의 폭이 감소하면 회절이 더 잘 일어난다는 개념은 가지고 있으나, 간섭무늬 내부의 밝은무늬만 넓어지고 어두운무늬는 변하지 않는 경우에 해당한다. 유형 3의 학생의 경우에는 문항 3의 답안과 문항2의 답안을 함께 비교하면 어두운부분과 밝은부분에 각기 다른 의미를 부여하고 있다는 사실을 알 수있다. 문항 3는 슬릿폭이 좁을수록 회절이 더 많이 일어난다는 것을 밝은부분의 폭만 넓어지는 것으로 표현하였고, 문항 2는 슬릿간격이 좁을수록 간섭무늬사이 간격이 더 벌어진다는 것을 어두운부분의 폭만 더 벌어지는 것으로 표현하였다. 따라서 유형 3의 학생은 간섭무늬 안에 회절무늬가 있다고 생각하며, 간섭무

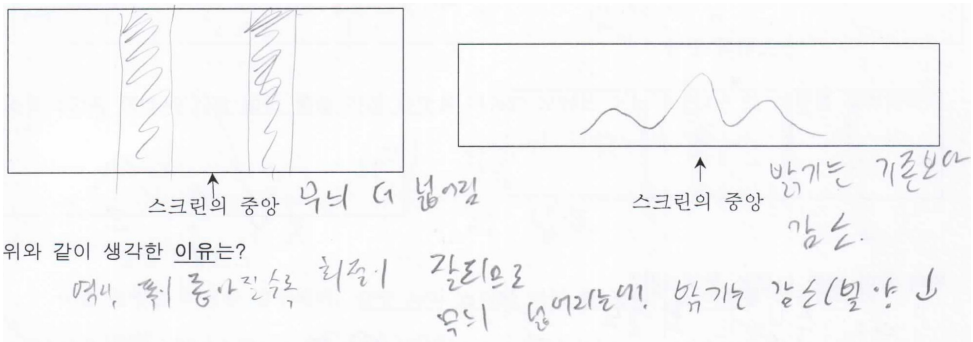
늬의 밝은부분이 회절무늬를 대변하고 어두운부분은 간섭무늬사이 간격 정도로 생각한다고 해석할 수 있다. 아래 그림의 학생의 경우는 밝기를 표현한 그래프 상에서도 특징이 보이는데, 단일슬릿에 의한 회절무늬 그래프처럼 가운데가 더 넓게 표현된 것으로 볼 수 있으며 따라서 유형2의 특징도 어느 정도 표현하고 있음을 알 수 있다.



[그림 Ⅳ-22] 문항 3에 대한 학생들의 그림 - 유형 3

3.1.4. 유형 4 (n_4=3)

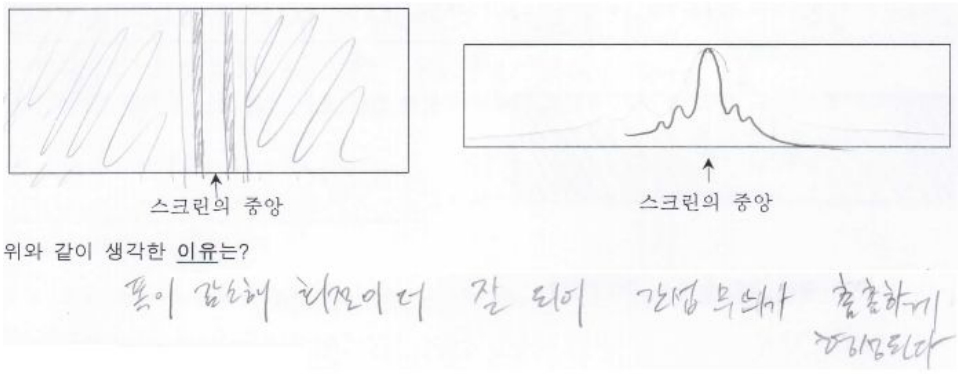
유형4의 학생들은 슬릿의 폭이 감소하면 회절이 더 잘 일어난다는 개념은 가지고 있으나, 회절로 인해 그 내부의 간섭무늬도 영향을 받아 간섭무늬간격이 넓어진다고 표현한 경우에 해당한다. 간섭과 회절현상을 분리해서 이해하고 있다면 간섭무늬는 변하지 않고 회절무늬의 폭만 증가하는 것에 대해서 고민을 했을텐데, 유형4의 학생은 간섭무늬와 회절무늬 자체는 구분하지만 간섭과 회절이 서로 영향을 주는 관계로 생각한 것으로 보인다. 따라서 이중슬릿에 의해 나타나는 간섭·회절무늬에서 바깥을 둘러싼 회절무늬 안에 등간격의 간섭무늬가 있다는 인식은 하고 있으나 간섭무늬의 개수를 조절해서 회절무늬의 변화를 표현하는 것을 알지 못한 다고 할 수 있다.



[그림 Ⅳ-23] 문항 3에 대한 학생들의 그림 - 유형 4

3.1.5. 유형 5 (n_5=1)

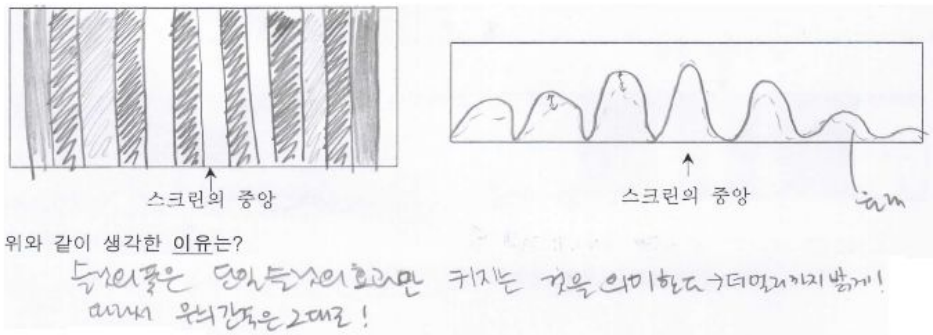
유형5의 학생들은 슬릿의 폭이 감소하면 회절이 더 잘되므로 회절중심극대의 폭이 더 줄어들어서 간섭무늬도 영향을 받아 촘촘해진다고 생각한 경우에 해당한다. 대부분의 학생들에게서 슬릿의 폭이 감소하면 회절이 더 잘된다는 개념은 발견되었는데, 다수는 빛이 넓게 퍼지는 것으로 이를 표현하였지만 일부 학생에 한해서는 자의적으로 표현하였으며 유형5의 학생이 이에 해당한다. 이런 학생의 경우는 교육과정상에서 간섭무늬를 먼저 배울 때 밝기 그래프의 진폭이 모두 같은 이상적인 형태를 인식하였다가, 회절현상이 더해진 간섭・회절무늬에서는 진폭이 모두 같지 않고 곡선형태의 포락선이 생기면서 개념의 혼동이 온 것으로 보인다. 따라서 유형5의 학생은 포락선의 형태가 수평한 직선보다는 좌우로 휘어진 곡선에 가까울수록 회절이 많이 일어난 것으로 인식하는 경향을 보였으며, 그 결과 중심폭이 줄어드는 것의 정도를 회절의 정도로 설명하였다. 거기에 유형4와 마찬가지로 회절과 간섭이 서로 영향을 주고받는 것으로 인식하여, 회절무늬의 폭이 줄어들면 그 내부의 간섭무늬 또한 폭이 줄어든다고 표현하였다.



[그림 Ⅳ-24] 문항 3에 대한 학생들의 그림 - 유형 5

3.1.6. 유형 6 (n_6=3)

유형6의 학생들은 가장 과학적인 개념으로 슬릿폭이 변하면 간섭무늬는 변하지 않고 회절무늬의 폭만 증가한다는 것을 인식하고 있고, 이를 바르게 표현한 경우에 해당한다. 간섭무늬와 회절무늬에 대한 기본적인 구분을 하며, 간섭과 회절에 대한 인식이 과학적이라고 할 수 있다. 18명의 학생 중 단 1명이 유형6에 해당하였는데, 이 학생의 경우는 회절무늬 속에 들어가는 간섭무늬의 개수를 조절하여 회절무늬의 변화를 표현하기보다는, 기존의 간섭무늬와 새로운 간섭무늬와의 높이 차이를 통해서 포락선의 변화를 보여주었다.



[그림 Ⅳ-25] 문항 3에 대한 학생들의 그림 - 유형 6

3.2. 3번 문항의 사후검사 결과

[표 Ⅳ-10] 실험군과 대조군의 사후검사 결과 비교 - 문항3

유 형		대조	실험
유형1.	간섭무늬에 변화가 없다고 표현하였으나 회절무늬의 변화에 대해서는 어떠한 언급도 없는 경우	1	.
유형2.	가운데 있는 보강간섭무늬 하나만 더 넓게 표현해서 단일슬릿에 의한 회절무늬와 비슷하게 표현하는 경우	.	2
유형3.	간섭무늬의 밝은 부분의 폭만 넓어지고, 어두운 부분은 변하지 않는 경우	1	.
유형4.	회절이 더 잘되므로 간섭무늬도 영향을 받아 무늬가 확대되어 간섭무늬간격이 넓어지는 경우	2	1
유형5.	회절이 더 잘되므로 회절 중심극대의 폭이 더 줄어들어서 간섭무늬도 영향을 받아 촘촘해진다는 경우	2	.
유형6.*	간섭무늬는 변하지 않고 회절 중심극대의 폭이 증가한다는 것이 바르게 표현된 경우	1	5
유형7.	슬릿의 폭이 간섭에 영향을 준다고 생각하며, 회절무늬는 그대로이지만 간섭무늬 사이 간격이 넓어지는 경우	1	.
유형8.	간섭무늬는 그대로이지만, 슬릿폭이 감소하면 회절무늬가 더 좁아진다고 생각한 경우	1	.
유형9.	슬릿폭이 감소하면 회절이 더 잘 일어나므로 간섭무늬사이의 밝기편차가 더 커진다고 해석한 경우	.	1

- 가장 과학적인 유형은 6이며, 실험군에서 가장 많이 나온 유형 역시 6, 대조군은 특별히 많이 나온 유형이 없다.

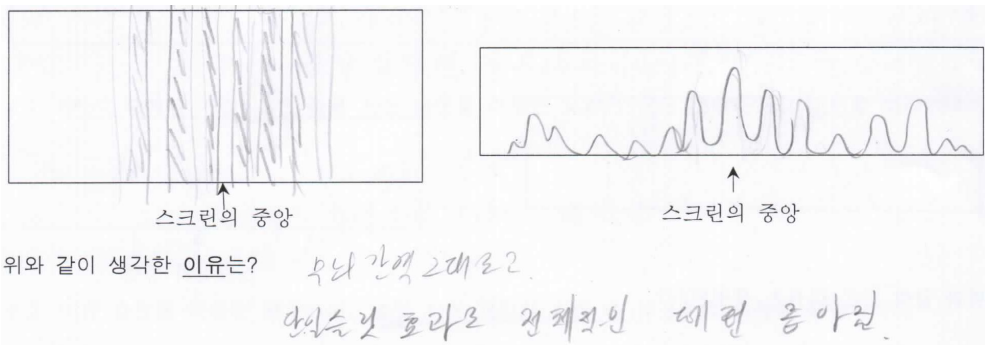
3.2.1. 사후검사 결과 가장 과학적인 유형 - 유형6

슬릿폭이 감소할 때, 이중슬릿에 의한 간섭·회절무늬에 나타나는 변화를 설명하는 것으로, 학생들은 실제 실험결과로 주어진 간섭과 회절현상이 동시에 확인되는 무늬를 기준으로 설명을 해야 한다. 이때, 대부분의 학생들이 슬릿폭이 좁을수록 회절이 더 잘 일어난다는 사실을 알고 있으므로 이를 무늬와 그래프로 표현하고자 할 것이다. 그러나 알고 있는 개념을 그림으로 표현하는 과정에서 다양한 오개념이 드러났으며, 대표적인 예로, 단일슬릿에 의한 회절무늬의 형태로 그린다던지 혹은 회절이 더 잘 일어나면 간섭무늬 사이 간격도 넓어진다고 표현한 것들이 있었다. 만일 학생이 간섭무늬의 변화와 회절무늬의 변화 관계에 대해서 정확히 구분을 하고, 이를 무늬와 그래프로 표현해 낸다면 그 학생은 간섭과 회절현상에 대해서 충분히 이해하고 설명할 수 있다고 판단할 수 있을 것이다. 문항 3에서 주어진 무늬에는 이미 회절극소점이 표현되어 있으므로, 이를 통해서 회절이 더 잘 일어남을 표현해야하며 동시에 간섭무늬에는 변화가 없음을 나타내야 하므로 회절중앙극대 내부에 들어가는 간섭무늬의 개수가 증가하여야 한다. 따라서 유형6을 가장 과학적인 유형으로 해석하고, 정답률의 기준으로 택하였다.

3.2.2. 사후검사에서 새롭게 등장한 유형 - 유형7, 8, 9

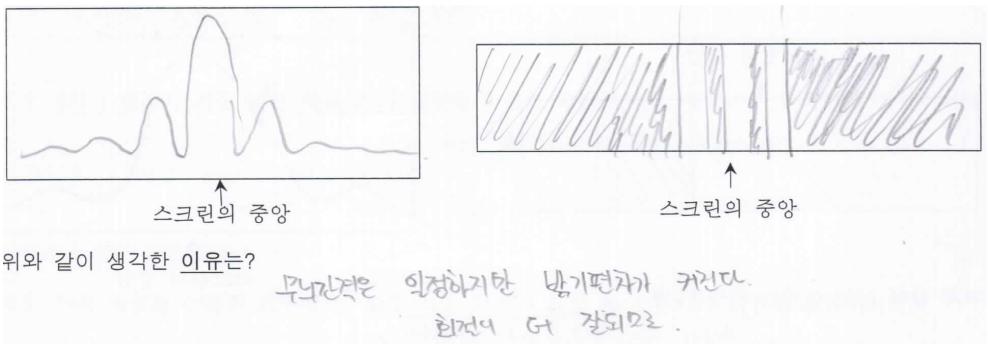
유형7은 슬릿의 폭이 간섭에 영향을 준다고 생각하며, 회절무늬는 그대로이지만 간섭무늬 사이 간격이 넓어진다고 표현한 경우이다. 대조군에서 1명이 유형7에 해당하였는데, 이 학생은 앞서 문항 2에서 슬릿간격과 슬릿폭의 용어를 혼동하여 과학적인 개념이 역행한 경우로, 문항3에서도 동일한 실수를 하였다. 이 학생처럼 광학을 제대로 학습하지 않은 학생의 경우에는 슬릿폭과 슬릿간격이라는 용어에 대해서 익숙하지 않음을 호소하기도 하였다.

유형8은 간섭무늬는 그대로이지만, 슬릿폭이 감소하면 회절무늬가 더 좁아진다고 표현한 경우에 해당한다. 이 학생은 슬릿폭이 회절무늬에 영향을 준다는 것도 알고 있으며, 답안에서 보이듯이 슬릿폭이 감소하면 회절효과가 더 커진다는 것을 알고 있었다. 비슷한 것으로 유형5의 경우는 회절중심극대의 폭이 더 줄어들어서 간섭무늬도 더 촘촘해진다는 것이었는데, 유형8은 회절무늬만 줄어들고 간섭무늬의 폭은 변하지 않는다고 설명하였다. 대조군인 이학생의 사전개념은 유형1이었으므로, 실험과정에서 슬릿폭과 회절무늬폭의 관계를 유형8과 같이 관찰했다 할 수 있을 것이다.



[그림 Ⅳ-26] 문항 3에 대한 학생들의 그림 - 유형 8

유형9는 슬릿폭이 감소하면 회절이 더 잘 일어나므로 간섭무늬사이의 밝기편차가 더 커진다고 해석한 경우로, 실험군의 학생 1명이 이 유형에 속하였다. 이 학생의 경우는 사전개념은 유형6으로 개념변화상 역시 역행한 경우에 속한다. 선행연구에서 많이 등장했던 오개념으로, 회절이 잘 됨을 단일슬릿에 의한 회절 그래프처럼 표현하기 위해, 가운데 보강간섭 하나만을 더 높게 그리고 다른 보강간섭은 더 낮게 표현한 경우이다. 그러나 사후검사 결과이기 때문에, 실험과정에서 학생이 관찰한 내용이 유형9와 같았다고 해석되며, 이는 면광원의 밝기가 균일하지 못하여 특정한 위치에서 더 밝게 표현된 것을 학생이 잘못 받아들인 것으로 보인다.



[그림 Ⅳ-27] 문항 3에 대한 학생들의 그림 - 유형 9

3.2.3. 실험군과 대조군의 비교

사전검사에서 발견한 유형 6가지와 사후검사 결과 새롭게 등장한 유형 3가지를 포함해서 총 9개의 유형으로 분류하여 비교하였다. 가장 과학적인 유형에 해당하는 유형6의 경우에는 사전검사에서는 18명 중 3명에 불과하였으나, 사후검사에서는 대조군 1명(11.1%), 실험군 5명(55.6%)이 나왔다. 사전검사에서 나왔던 3명은 대조군2명 실험군 1명이었는데, 대조군의 2명 중의 1명은 사전, 사후검사 모두 유형6으로 답한 경우로 기존의 과학적인 개념이 유지된 경우이며, 그 외 1명과 실험군의 1명은 앞서 언급한 특수한 케이스로 각각 유형7과 유형9로 역행하였다. 사후검사 결과 나온 학생은 대조군의 1명은 과학적인 개념이 계속 유지된 경우지만, 실험군의 5명은 모두 개념변화 결과 나온 학생들로, 수적으로 비교하였을 때도 월등하게 실험군의 교육적인 효과를 입증할 수 있는 부분이다. 또한 문항1과 2에서는 과학적인 유형과 실험군에서 가장 많은 학생이 속한 유형이 달라서 실험과정에서의 원인을 분석하였던 반면에 문항3의 경우에는 가장 과학적인 유형인 유형6에 대다수의 학생이 속하였으므로 이로 인해서 컴퓨터기반 광학실험의 효과를 더욱더 뚜렷하게 나타내었다고 설명할 수 있다.

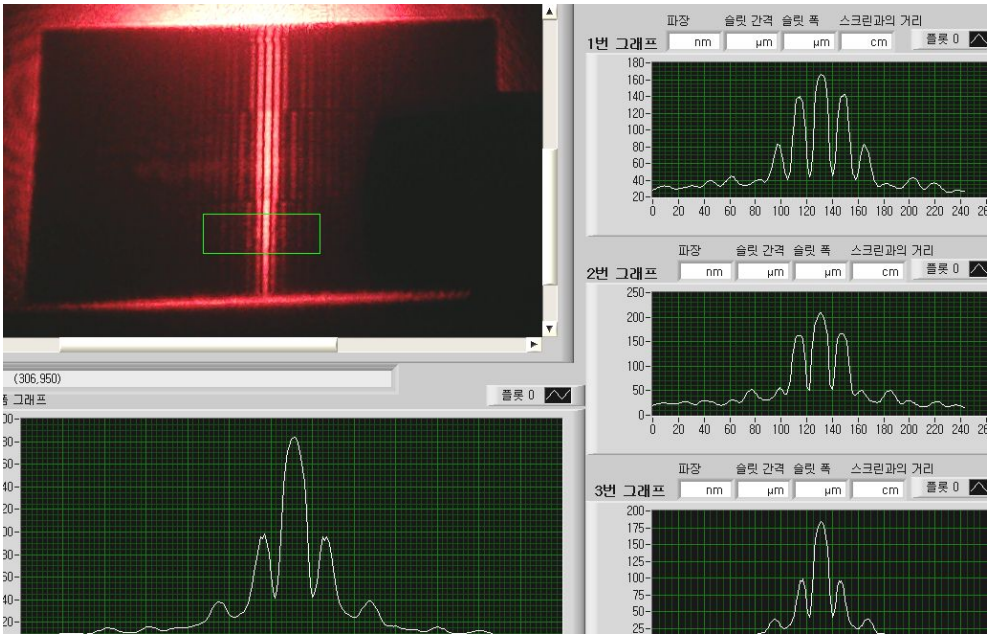
[표 Ⅳ-11] 실험군과 대조군의 개념변화 비교 - 문항3

대조	1	2	3	4	5	6	7	8	9	사후
1				1						1
2										.
3		1								1
4	1	1								2
5	2									2
6						1				1
7						1				1
8	1									1
9										.
사전	4	2	.	1	.	2	.	.	.	

실험	1	2	3	4	5	6	7	8	9	사후
1										.
2			1		1					2
3										.
4				1						1
5										.
6		2	2	1						5
7										.
8										.
9						1				1
사전	.	2	3	2	1	1	.	.	.	

각 집단의 유형 분포를 보면, 대조군의 경우는 총 7개의 유형에 비교적 고루 분포하였으므로 특별히 대조군을 대표하는 유형이 발견되지 않았던 반면에, 실험군의 경우는 총 4개의 유형에 분포하였으며 가장 많이 나온 유형은 6번 유형으로 9명 중 5명이나 이 유형에 속하였다. 따라서 분포경향과 학생들의 개념변화를 보았을 때, 실험에 의한 영향을 많이 받은 집단은 단연 실험군이라 할 수 있다. 3번 문항과 관련된 실험으로 대조군 학생들은 슬릿폭을 변화시킨 3가지 이중슬릿에 점광원을 순서대로 비추어서 스크린에 맺힌 수평형태의 무늬를 차례로 관찰하였으며, 일부 학생들은 자를 이용해서 측정을 하기도 하였다. 정확성을 위해 비교적 같은 위치에 무늬가 나타나도록 실험을 조절하고, 무늬들 사이에 비교 가능하도록 재빠르게 반복적인 실험을 수행하였으나 학생들은 저마다 관찰한 내용에 차이가 있었다. 따라서 실험보고서를 작성한 후 조별로 토의하는 과정을 거치면서도 개개인의 개념변화를 유의미하게 이끌지 못하였다.

실험군을 대표하는 6번 유형은 가장 과학적인 유형으로 실험을 통해서 학생들의 개념이 유의미하게 바뀌었음을 의미한다. 이 학생들의 사전개념은 각각 2 ,3, 4 유형이었으며, 이들의 변화는 분명히 실험과정에서 특징적인 관찰이 제대로 이루어졌음을 의미한다. 비슷한 문항으로 문항2번과 정답률에 있어서 이렇게 차이가 나는 것은, 이중슬릿에서 간섭무늬의 변화를 언급하는 문제에서는 회절무늬에 관한 내용을 떠올리기가 어렵지만, 3번과 같이 이중슬릿에서 회절무늬의 변화를 언급하는 문제에서는 자연스레 간섭무늬의 형태가 변하지 않음을 동반하게 되기 때문이다. 이는 학생들이 가진 하나의 신념으로, 이중슬릿에 의한 무늬가 곧 간섭무늬라는 인식이 있기 때문으로 보인다.



[그림 Ⅳ-28] 문항 3과 관련된 컴퓨터기반 광학실험의 예

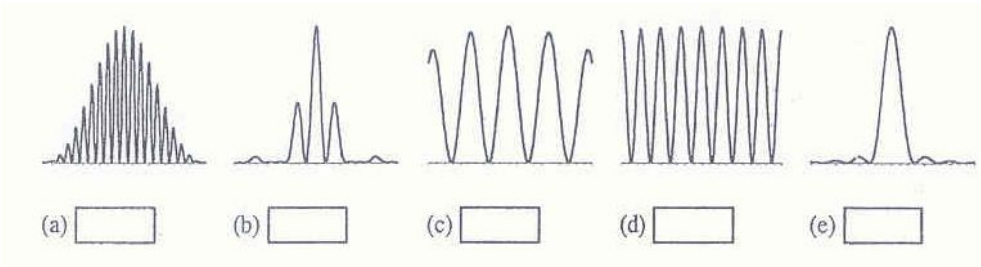
컴퓨터기반 광학실험 과정에서 실험군의 학생들은 슬릿폭을 변화시킨 이중슬릿 3개를 아래위로 놓은 삼단슬릿을 사용하였고, 이 삼단슬릿에 면광원을 비추어서 스크린 상에 무늬를 맺도록 하였다. 컴퓨터 프로그램

을 통해서 무늬를 촬영하고 촬영된 삼단무늬를 빛의 세기그래프로 분석하였다. 따라서 실험군 학생들은 하나의 화면상에서 3가지 무늬와 3가지 그래프를 동시에 확인하였으며, 간섭무늬와 회절무늬의 특징들을 비교하면서 관찰 할 수 있었다. 세 무늬의 간섭무늬들이 마치 자를 대고 그은 듯 아래위로 그 폭이 모두 같았으며, 회절무늬의 중앙극대를 결정하는 회절극소점들의 위치가 바뀜을 확인할 수 있었다. 그리고 세 개의 그래프를 통해서 포락선 형태와 간섭무늬 하나의 폭을 서로 비교함으로써 무늬에서 관찰한 내용이 더 강화될 수 있었다. 따라서 실험을 통해서 좀 더 세밀하게 관찰한 학생들은 슬릿폭이 감소할 때, 간섭무늬는 변하지 않고 회절무늬의 중앙극대 폭이 증가함을 인식하고 사후조사에서 유형6을 택한 것으로 보인다.

4. 4번 문항

4.1. 4번 문항의 사전검사 결과

4번 문항은 5가지의 다양한 밝기 그래프를 주고, 학생들이 이를 해석하는 능력을 알아보았다. 그래프의 형태를 해석해서 단일슬릿과 이중슬릿을 구분하는 문제로, 파동광학을 이론적으로 학습한 학생이라면 누구나 쉽게 해결할 수 있는 난이도였다.



[그림 Ⅳ-29] 문항 4의 그림

문항4의 답은 (a)이중, (b)이중, (c)이중, (d)이중, (e)단일 이다.

개방된 서술형 문제가 아니라 '선택 후 설명'의 형식이었으므로 학생들의 응답률이 높았으며 따라서 학생들의 다양한 생각을 알아볼 수 있었다. 5가지의 경우에 대해서 오직 장치의 차이는 단일슬릿의 경우는 슬릿의 폭, 이중슬릿의 경우는 슬릿의 폭과 슬릿사이의 간격이 있을 뿐이라는 전제하에, 학생들은 단일과 이중을 선택하고 그렇게 선택한 자신의 기준을 적는다. 생각했던 것 보다 더 다양한 기준들이 등장했으며 기준들의 공통점을 묶어서 A, B, C, D의 4가지로 유형화 하였고, 각각의 유형들을 더 세분화하였다. 각각의 유형들과 정답여부를 대응하면서 좀 더 과학적이라고 판단할 수 있는 유형이 무엇인가를 평가하였고, 사전검사 결과와 사후검사결과를 비교하여 실험에 의한 영향을 분석하였다. 문항4에서 나타난 유형은 다음과 같다.

[표 Ⅳ-12] 문항 4의 사전, 사후검사 결과 나온 유형

A. 밝은 무늬 사이 간격(이웃한 두 극소점 사이 거리)으로 구분
A1. 밝은 무늬 사이의 간격이 균일한가 불균일한가의 여부로 단일과 이중을 구분한다.
A2. 가운데 밝은 무늬가 주변무늬에 비해서 눈에 띌 정도로 넓으면 단일슬릿이다.
A3. 무늬사이 간격이 너무 가깝고 조밀하면 실제로 눈에 보이는 것은 무늬를 둘러싼 포락선일 뿐이므로 단일슬릿이고, 이웃한 보강간섭 사이 간격이 어느 정도 커야 이중슬릿이다.
A4. 단일슬릿은 가운데 밝은 무늬 하나의 간격이 다른 곳의 두 배이다.
A5. 사라진차수(missing order)가 나타나면 밝은무늬 사이 간격이 균일하지 않게 되므로, 단일슬릿이다.

B. 밝은 무늬(극대 부분)의 개수로 구분
B1. 가시적인 보강간섭이 1번 나오면 단일슬릿이고, 가시적인 보강간섭이 3번 이상 나오면 이중슬릿이다. B2. 보강간섭의 개수가 별로 없으면 단일슬릿이다.
C. 전체적인 회절무늬 안에 간섭무늬의 존재 여부로 구분
C1. 무늬전체에 대한 포락선의 존재여부로 단일과 이중을 구분한다. C2. 그래프의 모양에서 빛의 세기 공식의 간섭항과 회절항이 나타나는지 여부로 단일과 이중을 구분한다. C3. 보강, 상쇄무늬가 잘 드러나면 이중슬릿이다. C4. 전체적인 무늬 내부에 무늬가 동시에 보이면 이중슬릿이지만, 이 중에 하나라도 빠지면 단일슬릿이다.
D. 빛의 밝기 변화의 비교를 통해서 구분
D1. 이중슬릿은 가운데와 바로 옆의 보강간섭의 밝기차이가 크지 않지만, 단일슬릿은 가운데와 바로 옆의 보강간섭 사이에 밝기 차이가 많이 난다. D2. 간섭현상이 일어나면 다양한 빛의 세기가 나오지만, 회절현상은 중앙극대 이후 세기가 매우 작다. D3. 그래프로 나타난 빛의 세기가 일정하고 폭이 거의 일정하면 단일슬릿이며, 이중슬릿은 간섭현상에 의해 밝기가 점점 감소하는 형태를 보인다. D4. 단일슬릿의 경우 슬릿중심에서의 거리를 r이라 할 때, 빛의 세기는 $1/r^2$으로 감소하므로 큰 감소폭을 보일 것이다.

[표 Ⅳ-13] 대조군(Cg)과 실험군(Eg)의 사전검사 결과 비교 - 문항4

		사 전 개 념				
		A	B	C	D	정답
대조군	Cg.1	A2		C1		O
	Cg.2			C3	D3	X
	Cg.3	A1 A4				O
	Cg.4				D1	X
	Cg.5					O
	Cg.6	A1 A5				X
	Cg.7	A1 A4				O
	Cg.8			C1		O
	Cg.9				D1	X
	총계	4	.	3	3	5

		사 전 개 념				
		A	B	C	D	정답
실험군	Eg.1				D3	X
	Eg.2				D3	X
	Eg.3			C1		O
	Eg.4				D4	O
	Eg.5			C2		O
	Eg.6			C3		O
	Eg.7				D2	O
	Eg.8				D1	X
	Eg.9	A1			D1	X
	총계	1	.	3	6	5

대조군과 실험군의 학생 18명을 대상으로 사전 개념을 조사한 결과 총 10명의 학생이 단일슬릿과 이중슬릿의 구분을 정확히 하였다. 정답을 맞힌 10명의 학생들의 기준을 살펴본 결과 A유형과 C유형을 통해서 분류한 학생들이 많았다. 학생에 따라서 하나의 기준으로 슬릿을 구분하기도 하였고, 2개 이상의 기준이 동시에 나타나기도 하였다. 2개 이상의 기준이 나타난 경우에는 서로 다른 두 가지 유형이 나타난 경우도 있었으며, 하나의 유형 안에서도 두 가지가 등장하기도 하였다. B유형은 사후검사 결과 나타난 유형이므로 사전개념 결과에서는 논의의 대상이 아니며, 유형별 분류로 나타난 A, C, D의 특징은 다음과 같다.

4.1.1. 유형 A

A는 무늬사이의 간격을 비교해서 슬릿을 구분한 경우이며, 대체로 학생들은 수평축 상에 나타난 이웃한 두 극소점 사이의 거리를 비교하여 단일슬릿과 이중슬릿을 구분하였다. 그 중 가장 많이 등장한 것이 A1이며, 밝은무늬 사이의 간격이 균일한 것이 이중슬릿이며 균일하지 않은 것이 단일 슬릿이라고 판단하는 기준이 되었다. 그러나 A1 하나만을 기준으로 판단하는 경우보다는 다른 기준이 동시에 나타나는 경우가 많았는데, 한명의 답안 내에서도 A1 하나만을 기준으로 답을 적은 경우에는 정답인 경우가 많았으므로, 비교적 과학적인 개념으로 판단할 수 있다. A1과 유사하게 A2 역시 가운데 밝은무늬의 폭을 언급하면서 무늬사이의 등간격 여부를 판단하였는데, A2는 많이 등장한 기준은 아니지만 비교적 과학적이라 할 수 있다. 그러나 A2에서 파생된 기준으로 A4같은 경우는 좀 더 구체적으로 가운데 밝은무늬 하나의 간격이 다른 곳의 두 배라고 표현하였는데, 이 경우는 문제의 답을 맞히는 데는 유용했을지 모르나, 학생의 오개념을 드러내는 부분이라 할 수 있다. A2와 A4의 기준을 적은 학생 중에서는 (e)그래프의 가운데 밝은 무늬를 다른 이중슬릿의 그래프와 대등하게 보강간섭으로 지칭함으로써, 회절무늬의 중앙극대를 보강간섭의 일종으로 인식함을 간접적으로 드러냈다. A5는 많은 학생에게서 나타난 것은 아니며, 무늬사이 간격에서 파생된 것으로 미싱오더에 대한 인식을 제대로 하지 못한 것으로 보인다.

4.1.2. 유형 C

C는 무늬의 전체적인 형태를 기준으로 분류한 것인데, 회절무늬와 간섭무늬를 구분하는 학생들에게서 나타난 기준이다. C4를 제외한 나머지 C1~C3를 기준으로 한 학생들이 정답을 맞혔으므로 C유형 자체는 A유형에 비해서 더 과학적이라 할 수 있다. C유형을 선택한 학생들은 대체

로 하나의 기준만 적용하는 경향을 보였으며, C1의 빈도가 가장 높았다. C1은 포락선의 존재를 회절현상으로 인식하며, 그 내부의 균일한 간격의 간섭무늬의 존재를 통해서 회절과 간섭이 동시에 일어나는 것은 이중슬릿이라는 판단을 한 경우에 해당한다. C2는 이론적인 광학학습에 의한 영향을 많이 받은 경우로, 이중슬릿의 무늬 밝기를 표현한 공식인 $I(\theta) = 4I_0(\frac{\sin\beta}{\beta})^2 cos^2\alpha$에서 간섭항과 회절항을 분리하여 두 항의 그래프가 동시에 나타나는지, 하나만 나타나는지를 통해서 분류하였다. C3는 간섭현상은 이중슬릿에서만 나타나므로 보강간섭과 상쇄간섭이 뚜렷하게 보이면 이중슬릿이고, 보이지 않으며 단일슬릿이라 한 것으로 간섭에 의한 그래프 개형과 회절에 의한 그래프 개형을 구분한 것으로 보인다.

4.1.3. 유형 D

D는 극대점들의 높이 값과 그 변화를 통해서 밝기를 비교한 것으로, 예상했던 것 보다 많은 학생들이 이 유형을 통해서 슬릿의 종류를 결정하였다. 최고점의 밝기 변화가 이중슬릿에 의한 것과 단일슬릿에 의한 것이 비교적 다른 것은 사실이지만, 과학적이고 확실한 기준이 아니므로 애매한 상황에서는 학생들에게 더 혼란을 주는 것이 사실이다. 이와 관련된 상황으로 (b)그래프는 보강간섭이 총 3개가 나타나는데 이들의 밝기차가 크다 작다 라고 판단하는 것이 자의적인 관계로, 이들의 차이가 크다고 판단하면 단일슬릿으로 적고, 이들의 차이가 크지 않다고 판단하면 이중슬릿으로 적게 된다. 따라서 이와 관련된 D1을 기준으로 한 학생들의 대부분은 오답이었으며, 대부분이 (b)를 단일슬릿으로 판단하였기 때문이다. 또한 D1을 설명한 학생들의 대부분은 (e)그래프 역시 의심 없이 회절 중심극대 부분을 보강간섭으로 기재한 것으로 보아, 이들 역시 간섭과 회절무늬에 대한 구분이 불확실함을 알 수 있었다. D3는 이중슬릿은 밝기가 점점 감소하는 형태를 보이므로, 빛의 세기가 일정하고 폭

이 거의 일정하면 단일슬릿이라고 판단하는 경우이다. 이중슬릿에 의한 간섭에서 밝기가 점점 감소하는 형태를 보이는 것이 회절이 아니라 간섭이라는 생각을 가지고 있으며, 간섭의 효과가 빠진 것이 곧 단일슬릿이므로 (d)그래프는 단일슬릿이라고 답하여 틀린 학생이 대부분이었다. D2는 간섭현상이 일어나면 다양한 빛의 세기가 나오지만 회절현상은 중앙극대 이후 세기가 매우 작아진다고 하였는데, D1과 유사함에도 D2를 분리한 이유는 D2의 경우에는 간섭과 회절의 무늬를 구분할 수 있고 이 기준을 택한 학생들의 정답률이 높았기 때문이다(사후검사 포함). D4는 일반적인 거리에 따른 빛의 세기 감소를 통해서 자신의 주장을 뒷받침하려는 것으로 이 역시 과학적이지 않은 설명이라 할 수 있다.

4.2. 4번 문항의 사후검사 결과

4.2.1. 새롭게 나타난 유형

유형B가 새롭게 등장하였으며, 실험군 학생 2명이 이 유형을 선택하였다. B는 밝은무늬의 개수를 기준으로 슬릿을 구분한 경우로, 이 역시 과학적으로 근거하였다기 보다는 무늬의 몇 가지 특징에 불과하다. 2명의 학생모두 B뿐만 아니라 다른 유형을 함께 가지고 있었으며, B유형을 기재함에 있어서 밝은무늬라 하지 않고 보강간섭의 개수를 헤아린다 하였으므로 이를 통해서 간섭과 회절에 대한 용어가 제대로 활용되지 않음을 확인할 수 있었다. B가 과학적인 개념이 아닌 관계로 이들 학생 모두 답을 맞히지 못하였다. 그리고 A3와 C4 유형 역시 새롭게 등장하였는데 이들 역시 실험군에서 나온 것으로 과학적인 개념이 아니다. A3는 간섭무늬가 조밀한 경우에는 전체적인 포락선이 보일것이므로 단일슬릿이라고 표현하였고, C4의 경우에는 무늬에서 간섭과 회절현상이 함께 나타나면 이중슬릿이지만 그중 하나만 있는 경우라면 단일슬릿이라고 생각하였다. A3를 택한 학생은 앞서 B1의 개념을 함께 가진 경우로 개념변화가

제대로 일어나지 않은 것으로 보이며, C4를 택한 학생은 인터뷰 결과, 조별토의에서 '이중에서는 두가지 현상이 함께 보이고, 단일에서는 한가지만 나타난다'는 이야기를 주고받았고 따라서 이상적인 간섭현상만 있고 회절현상이 빠진 것은 단일이라고 판단하였다고 답하였다.

4.2.2. 실험군과 대조군의 비교

[표 Ⅳ-14] 대조군(Cg)과 실험군(Eg)의 사후검사 결과 비교 - 문항4

		사 후 개 념				
		A	B	C	D	정답
대조군	Cg.1			C1	D2	O
	Cg.2			C3	D2	O
	Cg.3	A1 A4				O
	Cg.4				D1	X
	Cg.5	.				O
	Cg.6	A1 A5				X
	Cg.7	A1 A4				O
	Cg.8			C1		O
	Cg.9	A1			D1	X
	총계	4	.	3	4	6

		사 후 개 념				
		A	B	C	D	정답
실험군	Eg.1	A3	B1			X
	Eg.2			C1 C4		X
	Eg.3			C1		O
	Eg.4	.				O
	Eg.5			C1		O
	Eg.6			C1		O
	Eg.7	.				O
	Eg.8		B2	C3	D1	X
	Eg.9			C1		O
	총계	1	2	6	1	6

사후조사결과 실험군과 대조군에서 각각 6명(66.7%)의 학생이 답을 맞혔다. 사전조사에서도 각 집단이 5명(55.6%)으로 정답률이 같았는데, 사후 역시 각각 1명이 늘어 동일한 정답률이 나왔다. 그러나 사후검사 결

과를 분석하기 전에는 당연히 실험군의 정답률이 더 높을 것이라 생각하였던 것이, 4번문항의 경우에는 그래프에 대한 해석 능력을 보는 것이기 때문에 실험과정에서 무늬와 그래프를 함께 확인한 학생들에게 교육적인 변화가 있었을 것이라 예상하였기 때문이다. 그러나 문항 자체가 상당히 쉬웠고, 따라서 실험 결과 알게 된 개념들이 아니더라도 충분히 문제를 해결할 수 있었다는 분석을 하게 되었다. 앞서 사전검사 결과에서 밝혔듯이, 4번 문항은 다양한 기준을 통해서 문제를 해결할 수 있다. 다양한 기준의 공통점을 묶어 4가지 유형으로 분류하였으며, A는 밝은무늬 간격을 기준으로 하며, B는 밝은무늬의 개수, C는 전체적인 회절무늬 안에 간섭무늬가 있는가, 그리고 D는 밝기변화를 비교한다는 특징을 갖는다. 사전조사결과 실험군에서는 주로 유형D를 통해서 문제를 해결하였고 대조군에서는 유형A를 통해서 문제를 해결하는 학생이 많았다.

사후조사 결과, 학생들의 개념변화의 빈도와 집단을 대표하는 유형 측면에서 몇 가지 특징이 나타났다. 우선 개념변화 측면에서 한가지라도 개념변화가 일어난 학생들은 대조군의 경우에는 3명, 그렇지 않은 학생은 5명이었는데, 실험군에서는 1명을 제외한 나머지 학생들이 모두 개념이 바뀌었음이 확인되었다. 그리고, 대조군에서는 사전검사결과 A, C, D 유형이 비교적 고르게 나타났으며, 사후검사 역시 크게 달라진 것이 없었던 반면, 실험군의 경우에는 사전검사 결과 D유형에 해당하는 학생이 6명이었으나 사후검사에서는 C유형에 해당하는 학생이 6명으로 실험군을 대표하는 유형이 D에서 C로 바뀌었음을 확인할 수 있었다. 이를 통해서, 실험의 영향을 많이 받은 집단은 단연 실험군이라 할 수 있으며, 학생들이 C유형을 많이 택하게 된 것에 대해서 다음과 같이 해석을 하게 되었다. 컴퓨터기반 광학실험에서 3가지 무늬와 그에 해당하는 3가지의 그래프를 비교하면서, 학생들은 이중슬릿 무늬에서 간섭무늬 뿐만 아니라 포락선이나 회절극소점을 확인하였으며 이를 통해 그래프 상에서 간섭현상과 회절현상을 구분하게 되었다. 따라서 회절현상만 나타나는 것은 단일슬릿으로, 회절현상과 간섭현상이 함께 나타나는 것은 이중슬

릿으로 구분하였을 것이며, 굳이 밝은무늬 사이 간격이나 밝기를 비교하지 않아도 전체적인 형태에서 쉽게 문제를 해결하였을 것이라 생각한다. 더불어, 무늬사이 간격이나 밝기변화는 그 무늬가 나타내는 하나의 특징이지 그것이 과학적인 정의는 아닌 반면, 간섭무늬와 회절무늬를 인식해서 구분하는 것은 더 과학적인 개념에 근거하였다 할 수 있다. 따라서 4번 문항의 정답률에서는 큰 차이를 보이지 않았으나, 학생들의 개념변화 과정에서 나타난 특징을 통해서 컴퓨터기반 광학실험이 갖는 교육적인 효과를 확인할 수 있었다.

5. 컴퓨터기반 광학실험에 대한 평가

학생들의 컴퓨터기반 광학실험에 대한 생각은 다음과 같다.

1. 컴퓨터기반 광학실험은 기존실험에 비해 경향성을 알기 쉬우므로 개념변화에 도움이 된다.

일반적인 광학실험에서는 하나의 변인의 영향을 알기 위해서는 최소 3번 실험을 해야하는 번거로움이 있는데 컴퓨터기반 광학실험은 이를 한번에 할 수 있으며 따라서 변화를 동시에 관찰할 수 있다는 장점이 있다. 즉, 변인에 따른 변화의 경향성을 수식 없이도 직관적으로 파악하는데 수월하며 이를 통해서 개념변화에 도움이 되었다.

2. 컴퓨터기반 광학실험은 기존의 일반 광학실험보다 재밌다.

기존 광학실험에서 측정에 있어서의 번거로움과 불확실성 등으로 인해, 실험을 하기 전 간섭과 회절이라는 주제만 듣고 부정적인 모습을 보이던 학생들의 태도가 실험 후 긍정적으로 바뀌었다. 기존실험보다 편리하면서도 확실한 결과를 얻을 수 있다는 것에 만족하였으며, 기본적으로 컴퓨터를 활용하는 것을 좋아하였다.

3. 컴퓨터기반 광학실험은 간편하고 편리하다.
카메라로 사진을 찍고 컴퓨터에 업로드 한 후, 각 픽셀에 해당하는 밝기를 읽어서 그래프를 그리는 과정을 분석 프로그램 하나로 해결할 수 있으므로 상당히 편리하다. 시간을 많이 아끼면서도 의미 있는 데이터를 얻을 수 있으며, 토론시간이 충분히 주어져서 교육적 효과가 더 높다.

4. 컴퓨터기반 광학실험은 눈으로 보는 것보다 정확한 관측이 가능하다.
눈으로 광학무늬를 확인하면 단지 밝고 어두운 정도를 인식할 뿐인데, 그래프는 상대적인 intensity를 높이로 보여주니까 눈으로 보는 것 보다 정확하게 이해하는데 도움이 된다.

5. 컴퓨터기반 광학실험은 단일슬릿과 이중슬릿의 무늬를 특징적으로 관찰할 수 있다.
세 개의 무늬를 함께 보면서 변화의 경향성을 확인하게 되며, 따라서 간섭무늬의 폭이나 회절무늬의 극소점에 대해 뚜렷하게 인식하게 된다. 또한 세 개의 그래프를 함께 보면서 전체적인 밝기를 비교하는 동시에, 포락선(envelope)에 대해 인식하게 되며 이들을 통해서 무늬와 그래프를 해석하는 능력이 증가함을 알 수 있다.

학생 인터뷰 내용 :

'… 기존의 광학실험대로 하면 하면, 직관적으로 와 닿지가 않아요. 그런데 이 실험은 찍으면 사진이 한눈에 보이고, 옆에 그래프가 싹 나오니까, 이런 사진이 이런 그래프로 보이는 구나 해서 직관적으로 분석하는데 좋았던 것 같아요. 이 실험자체(간섭과 회절실험)는 사실 그렇게 하고 싶지가 않았는데, 이건 간단하게 바로 볼 수 있으니까 할 만하다는 생각이 드네요.…'

‘… 이전에 했던 실험은 슬릿을 번갈아가며 관찰하니까, 만약에 슬릿의 폭이 다 같은 이중슬릿이라 해도 회절극소점이 하나로 나오는 것을 확인할 길이 없었거든요. 이 실험에서는 영역을 동일하게 선택하니까 일정하게 내려왔잖아요. 그것도 이론에서 보던 현상이 제대로 보이는 것 같아서 획기적인 것 같아요.…’

‘… 사진을 찍었을 때는 밝고 어두운 무늬로 보이는데, 이것을 그래프로 나타내면 극대 극소가 사진과 연관돼서 보이잖아요. 어떻게 보면 그게 당연한 건데, 그래프로 보는 편이 높이도 나오니까 눈으로 보는 것 보다 정확하게 이해하는데 도움이 되는 것 같아요. 그래프가 있어야 솔직히 개념적인 이해에 도움이 되는 것 같아요.…’

‘… 이중슬릿은 무늬가 일정하다고 배웠는데, 단일슬릿처럼 어두워지는 것도 보니까 재미있어요.…’

‘… 3가지 무늬를 한 번에 보고 드래그 하는 범위도 옮겨서 스케일을 동일하게 하니까 그래프에서 무늬폭도 변하는 것을 확인할 수 있고.. 실험 시간이 더 짧은데도 그래프와 무늬의 의미 있는 부분이 한 번에 와 닿을 수 있어서 좋은 것 같아요.…’

Ⅴ. 결론 및 제언

1. 결론 및 정리

간섭과 회절은 파동광학의 가장 중요한 개념이지만, 학생들 대부분은 개념학습의 어려움을 호소하며 깊이 있는 이해에 도달하지 못하고 있다. 그 대표적인 예가 간섭무늬 사이 간격을 계산하는 수식에만 지나치게 의존하여 이중슬릿을 통과한 후 나타나는 회절현상을 알아보지 못하거나, 슬릿의 폭이 좁을수록 회절이 더 잘된다는 것이 단순히 단일슬릿에 해당하는 것이라고 생각하는 것이다. 학생들의 개념이해를 돕기 위해 광학실험을 하고 단일슬릿과 이중슬릿에 의한 무늬를 관찰하지만, 학생들은 오히려 자신의 취약한 기반지식과 직관적인 신념에 의해서 무늬를 해석하며 따라서 학생들의 개념은 쉽게 개선되지 않는다. 따라서 본 연구에서는 실험이 갖는 기본적인 제약인 '관찰의 이론의존성'을 배제하기 위해 무늬를 객관적으로 기록하며, 동시에 무늬의 밝기를 그래프로 구현하는 컴퓨터기반 광학실험을 고안하였다. 연구는 3단계를 거쳐 시행되었으며 우선 간섭과 회절 개념이해에서 학생들이 겪는 어려움을 조사하고, 실험을 통해서 이를 처치한 후, 다시 사후검사를 통해서 실험의 효과를 분석하였다. 총 18명의 대학생을 연구대상으로 하였으며, 9명씩 2개의 집단으로 나누어 대조군의 학생들에게는 기존의 일반 광학실험을, 실험군의 학생들에게는 컴퓨터기반 광학실험을 실시하여 사후검사 결과 나타난 두 집단의 차이를 분석하였다. 사전검사와 사후검사는 학생들의 개념변화 과정을 좀 더 객관화하기 위해서 동일한 검사지를 사용하였으며, 두 검사 사이에 시간적 격차를 두어 기억과 관계된 요인을 줄이도록 하였다. 우선 사전검사에서 보인 학생들 개념의 공통적인 특징 및 개념이해 정도를 기준으로 유형화를 한 후, 이를 사후검사결과에도 적용하였으며 새롭게 등장한 유형에 대해서는 덧붙이도록 하였다. 유형을 정리하는 과정에

서 선행연구에서 보인 다양한 오개념들이 다시금 확인이 되었으며, 검사지의 서술 내용과 개별면담을 통해서 세부적인 원인에 대해서 각 유형별로 정리하였다. 사전검사 결과 학생들이 겪는 어려움은 다음과 같다.

첫째, 학생들은 간섭과 회절의 근본적인 차이를 인식하지 못하고 있으며, 이는 용어를 사용하거나 그림과 그래프로 표현하는 과정에서 여실히 드러났다. 둘째, 간섭과 회절 개념에 대해 대부분의 학생들에게서 공통적으로 나타나는 신념이 있으며, 간혹 서로 상반되는 두 가지 신념을 가진 경우도 있었다. 셋째, 이중슬릿에 의한 무늬를 해석하는 과정에서 이론학습의 결과물인 수식에 지나치게 의존하는 학생이 많았다. 넷째, 간섭과 회절에 대해 과학적 개념을 가진 학생이라도 무늬와 그래프를 해석하고 이를 직접 표현하는데 어려움을 겪는다.

이러한 어려움에 대한 개선 방안으로 컴퓨터기반 광학실험을 실시하였고, 일반광학실험을 실시한 대조군과 사후검사를 비교 분석한 결과 컴퓨터기반 광학실험의 교육적 효과는 다음과 같다.

첫째, 사후검사 결과 기존의 수식해석 절차를 통해서 간섭과 회절현상을 이해하는 학생은 찾아볼 수 없었으며, 이는 간섭과 회절개념을 보다 더 직관적으로 인식하게 되었음을 의미한다. 둘째, 컴퓨터기반 광학실험 과정에서 회절극소점의 위치와 포락선의 형태를 확인함으로써 기존에 이중슬릿 무늬에서 나타나는 회절현상을 인식하지 못하던 학생들이 간섭과 회절을 함께 표현하게 되었다. 셋째, 기존에 회절무늬가 확대되면 간섭무늬도 함께 확대된다고 생각했던 학생들의 개념이 과학적으로 바뀌었으며, 이는 삼단으로 나타난 무늬에서 간섭무늬의 변화없이 회절극소점의 위치가 바뀌는 것을 관찰하였기 때문으로 보인다. 넷째, 3가지 무늬와 3가지 그래프를 동시에 확인한 것은, 각각에서 간섭 현상과 회절 현상을 구분하고 해석하는데 도움이 된 것으로 나타났다. 다섯째, 기존의 광학실험에서 불필요하게 소모되는 시간을 줄이고, 컴퓨터 화면 상의 객관적인 자료를 보면서 토의하는 시간을 보냄으로써 학생들의 개념변화가 유의미하게 나타난 것으로 보인다. 여섯째, 학생들은 컴퓨터기반 광학실험에 대

해 상당히 우호적이며, 기존 광학실험의 불편함을 해소하면서도 정확한 결과를 확인할 수 있다는 것에 만족하였다. 따라서 이는 학생들이 광학에 대한 전반적인 태도를 개선하는데 도움이 될 수 있을 것이라 생각한다.

2. 제언

본 연구에서는 학생들의 간섭과 회절개념의 이해를 돕고자 컴퓨터기반 광학실험을 개발하고 적용하였다. 그 결과 컴퓨터기반 광학실험을 한 학생들은 특징적인 몇 가지 유형으로 개념이 바뀌었으며, 이를 통해서 실험의 교육적인 효과를 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구가 의도한 바대로, 보다 객관적이고 과학적인 실험과정을 통해서 학생들의 간섭과 회절개념이 과학적으로 바뀌었으며, 현상을 이론과 관련짓는데 효과가 있다는 결론을 내렸다. 또한 기존의 광학실험에 대한 학생들의 어려움과 불만들이 컴퓨터기반 광학실험에서는 거의 나타나지 않았으며, 이를 통해서 광학에 대한 학생들의 태도를 긍정적으로 바꿀 수 있다는 기대를 갖게 되었다.

그러나 객관적이고 정량적인 실험방식을 지향하였지만, 면광원을 제작하는 과정에서 빛의 세기가 고르지 못하였고, 그로인해 빛의 세기 그래프에서 학생들은 무늬의 밝기변화에 대한 오개념을 갖는 경우가 있었다. 따라서 면광원 장치를 개선하고 그래프의 y축을 조절해서 밝기변화를 정확한 수치로 확인할 수 있도록 한다면, 더욱더 도움이 될 것으로 예상한다. 또한 연구의 주제가 단일슬릿과 이중슬릿 정도에 그쳤지만, 후속연구로 학생들에게 비교적 익숙하지 않은 다중슬릿을 추가한다면 간섭과 회절 개념에 대한 학습에 더 효과적일 것으로 기대한다.

참고문헌

강갑중, 강정미 (2000). 인지갈등상황 제시 수업에 의한 중학생의 빛에 대한 오개념 교정 효과. 釜慶大學校 論文集 5, 219-229.

권재술, 김범기, 우종옥, 정완호, 정진우, 최병순 (2007). 과학교육론. 교육과학사.

김기태 (1999). 고등학교 물리 CAI Program의 활용실태조사 및 활용중지 방안. 한국교원대학교 석사학위논문.

김기호 (2007). 회절·간섭 문제해결 과정에서 나타난 대학생의 오류에 대한 원인 분석. 서울대학교 박사학위논문.

김익균, 박윤배, 박종원, 송진웅, 최경희 (2002). 물리교육학 총론 Ⅱ. 서울 : 북스힐.

김종문 외 (1998). 구성주의 교육학. 서울 : 교육과학사.

김지나, 이영직, 권재술 (2000). 갈등상황 제시 유형에 따른 학생 개개인의 물리개념 변화 과정 경로 분석. 한국과학교육학회지, 20(1), 77-87.

김진우 (1996). 컴퓨터를 이용한 고등학교 역학실험의 현장 적용 사례. 한국교원대학교 석사학위논문.

김진희 (2003). 7학년 '빛' 단원에서의 광선추적과 빛의 합성에 대한 교사들의 개념 이해도 조사. 서울대학교 석사학위논문.

도만구 (2005). 고등학교 물리 교과에서 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 가상실험의 효과 연구. 경기대학교 석사학위논문.

박기철, 박상태, 육근철 (2006). 교육현장에서 디지털카메라를 이용한 광학실험의 개선. 새물리, 52(5), 497-503.

박상태, 김현섭, 정기주, 김준태 (2006). 평면 스캐너를 이용한 광학실험. 새물리, 53(1), 62-66.

박종원, 최경희, 김영민 (2001). 물리교육학 총론 Ⅰ. 서울: 북스힐.

박지연, 이경호 (2004). 과학개념변화 연구에서 학생의 개념에 대한 이해 : 오개념(misconception)에서 정신모형(mental model)까지. 한국과학교육학회지, 24(3), 621-637.

서울대학교 광학연구회 (1996). 현대광학. 서울 : 교문사.

송진웅, 김익균, 김영민, 권성기, 오원근, 박종원 (2004). 학생의 물리오개념地圖. 서울 : 북스힐.

안형수 (2011). 컴퓨터를 기반으로 한 시범실험들이 학업성취도에 미치는 영향:10학년 파동부분을 중심으로. 한국교원대학교 석사학위논문.

오원근, 김재우 (2002). 시각 및 빛의 성질에 대한 중학생의 개념. 새물리, 45(3), 163-170.

윤정화 (2010). 빛의 간섭과 회절 영역에 대한 탐구 기반 실험 개발 빛 적용. 서울대학교 석사학위논문.

이인호 (2006). 물리 예비 교사들의 빛의 간섭과 회절에 대한 오개념과 원인 분석. 서울대학교 박사학위논문.

이재봉, 남경운, 손정우, 이성묵 (2004). 광선추적과 스펙트럼에 대한 교사와 중학생의 개념 유형 분석. 한국과학교육학회지, 24(6), 1189-1205.

이정휘 (2011). 고등학교 전자기단원(물리Ⅱ부분)에서 MBL을 통한 시범실험에 대한 인식조사. 한국교원대학교 석사학위논문.

이채은, 이경호, 김지나, 권재술 (2001). 인지갈등 상황 제시유형에 따른 고등학생들의 역학 개념 변화. 한국과학교육학회지, 21(4), 697-709.

이창석 (2008). 오차와 불확실도의 해석을 중심으로 한 컴퓨터 기반 광학실험의 개발과 적용. 서울대학교 박사학위논문.

이창훈 (1996). 고등학교 광학 기초개념변화를 위한 컴퓨터 프로그램의 효과. 서울대학교 박사학위논문.

전영석 (1997). 파동광학 모의실험 도구의 제작과 물리교육에의 적용에 관한 연구. 서울대학교 박사학위논문.

정경미, 김영민 (1999). 구성주의 이론에 따른 코스웨어의 적용이 중학생의 힘과 운동 개념변화에 미치는 효과. 한국과학교육학회지, 19(1), 8-18.

정완호 (1997). 고등학생들의 생물 오개념 처치를 위한 수업모형 연구. 한국과학교육학회지, 17(3), 333-343.

조영웅 (2003). 프레넬 회절의 이해를 높이기 위한 실험방법과 시뮬레이션 도구 개발에 관한 연구. 서울대학교 석사학위논문.

조희형 (1984). 선입관의 철학적 배경 및 오인과 과학학습과의 관계. 한국과학교육학회지, 20(1), 52-76.

조희형, 박승재 (1995). 과학론과 과학교육. 교육과학사.

홍혜란 (2007). 멀티미디어를 활용한 물리 교육 : 고등학교 1학년 파동 단원을 중심으로. 경희대학교 석사학위논문.

PSSC 번역위원회 (1995). PSSC 물리. 서울 : 탐구당.

Bradley S. Ambrose, Peter S. Shaffer, Richard N. Steinberg & Lillian C. McDermott. An investigation of student understanding of single-slit diffraction and double-slit interference. American journal of physics, 67(2), 146-155.

David Hammer (2000). Student resources for learning introductory physics. American journal of physics, 68(7), S52-S59.

Driver, R. (1988). Reconstructuring the science curriculum : some implications of studies on learning for curriculum development. In D. Layton (Ed.) Innovations in Science and Technology Education(Vol. Ⅱ). Unesco, 59-84.

Friedler, Y., Nachmias, R., & Linn, M.C. (1990). Learning scientific reasoning skills in microcomputer-based laboratories. Journal of Research in Science Teaching, 27(2), 173-191.

Hashweh. (1986). "Toward an explanation of conceptual change." European Journal Science Education, 8(3), 229-239.

Hecht, E. (2002). Optics. 4th ed. Addison Wesley.

Hofstein, A., & Lunetta, V.N. (2004). The laboratory in science education : Foundations for the twenty-first century. Science Education, 88, 28-54.

Karen Wosilait, Paula P. L. Heron, Peter S. Shaffer, & Lillian C. McDermott(1999). Addressing student difficulties in applying a wave model to the interference and diffraction of light. American journal of physics vol, 67(7), S5-S15.

Lillian C. McDermott & Physics Educaton Group at the University of Washington (1996). Physics By Inquiry volum 1, New York : John Wiley & Sons.

Lillian C. McDermott, Peter S. Shaffer & Physics Educaton Group (2003). Instructor's Guide for Tutorial in Introductory Physics, New Jersey : Prentice-Hall, Inc.

Lillian, C. McDermott, Peter S. Shaffer & Physics Educaton Group on Tutorial in Introductory Physics, New Jersey : Prentice-Hall, Inc.

Linn, M. C., Layman, J., & Nachmias, R. (1987). "Cognitive consequences of microcomputer based laboratories : Graphing skills development." Journal of Research in Science Teaching.

Mokros. J. R. (1985). "The Impact of Microcomputer-Based Science Labs on Children's Graphing Skills." Technical Trsearch Center, Cambridge. MA. ERIC. ED 254 128, 1-7.

Nakhkhe, M. B. (1994). "A review of microcomputer-based lab : Hpw have they affected science learning?". Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching, 13(4), 368-381.

Posner, G., Strike, K., Hewson, P., & Gerzog. W.A. (1982). "Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change." Science Education, 6(2), 211-217.

Stamatis Vokos, Peter S. Shaffer, Bradley S. Ambrose & Lillian C. McDermott (2000). Student understanding of the wave nature of matter : Diffraction and interference of particles. American journal of physics, 68(7), S42-S51.

Stein J. S., R. Nachmias, Y. Friedler (1990). "An Experomental Comparison of Two Science Laboratory Environments : Traditional and Microcomputer-based." Journal of Education Computing Research, 6(2), 183-202.

Strike, K. A. & Posner, G. J. (1985). Conceptual change view of learning and understanding. In Leo H.T. West and A. Leon Pines (Eds.) Cognitive Structure and Conceptual Change, 211-231, Academic Press.

Tinker. R. F. (1985). "The Decline and Fall of the High School Science lab and why the microcomputer may yet sage it from extinction." Electronic Learning, 3(5), 24-26.

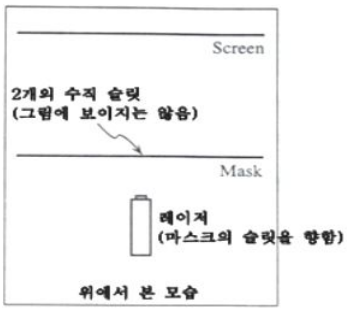
Thornton. R. & Sokoloff. D. (1990). "Learning motion concepts using real-time microcomputer-based laboratory tools." American Journal of Physics, 58(9), 858-866.

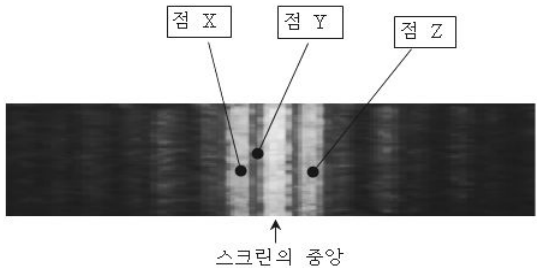
Zacharias Zacharia, O. Roger Anderson (2003). "The effects of an interactive computer-based simulation prior to performing a laboratory inquiry-based experiment on student's conceptual understanding of physics." American journal of Physics, 71(6), 618-629.

[부록 1] 사전, 사후 개념검사지

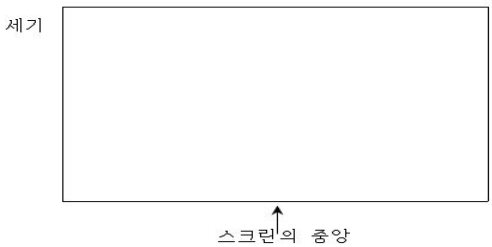
광학수강 여부	회절·간섭실험 경험여부	학번	이름

문항1. 오른쪽 그림은 레이저로부터 나온 빛이 매우 좁은 두 개의 슬릿을 통과하는 것을 위에서 본 모습이다. 사진은 마스크로부터 멀리 떨어진 스크린에 나타난 무늬를 보여준다. 스크린에서 점 X와 점 Z는 밝고 점 Y에서는 어둡다.





1.1 두 개의 슬릿 중에서 왼쪽 슬릿을 가린다면 스크린의 같은 부분에 무늬는 어떻게 나타날지, 그리고 그때의 빛의 세기는 어떠한지를 그리고 그림과 그래프에 점 X Y Z를 표시하여라.



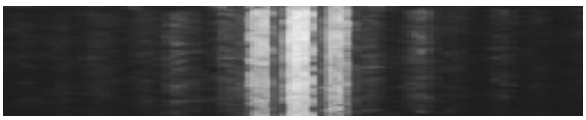
위와 같이 답한 이유는 무엇인가?

1.2 각각의 지점에서 밝기는 증가할까, 감소할까, 그대로일까? 각 경우에 이유를 설명하여라.

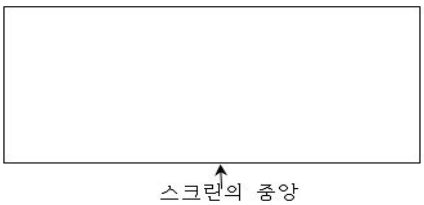
	점 X	점 Y	점 Z
밝기 변화 (예. 증가, 감소, 그대로)			

위와 같이 답한 이유는 무엇인가? X Y Z 각각에 대해서 설명한다면?

문항2. 적색 빛이 아주 좁은 간격의 이중슬릿(두 슬릿의 크기는 동일)을 통과해서 만드는 무늬가 다음과 같다.

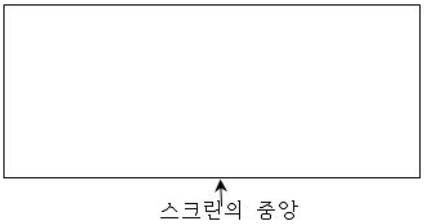


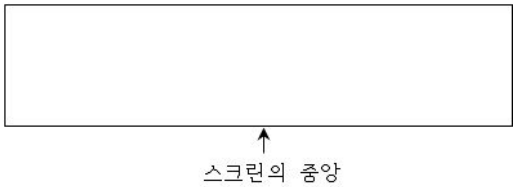
두 슬릿 사이의 간격이 감소한 경우 무늬의 변화를 오른쪽에 그리고, 왼쪽에는 무늬 각점의 빛의 세기 그래프를 그려라. 이때, 슬릿사이 간격을 제외한 나머지 조건은 고정되어있다고 가정한다. 그림을 그린 후, 그렇게 생각한 이유를 상세히 적도록 한다.



위와 같이 생각한 이유는?

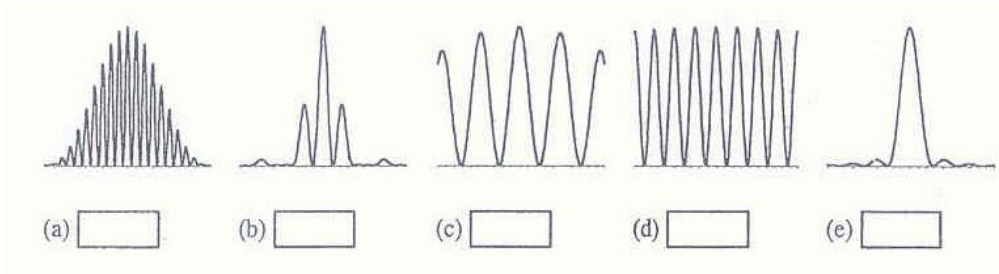
문항3. 앞의 문항2와 상황은 동일하되, 이번에는 각각의 슬릿의 폭이 감소한 경우에 무늬와 빛의 세기 그래프의 변화를 그려라. 마찬가지로 슬릿폭을 제외한 나머지 조건은 변하지 않는다. 그림을 그린 후 그렇게 생각한 이유를 상세히 적는다.





위와 같이 생각한 <u>이유</u>는?

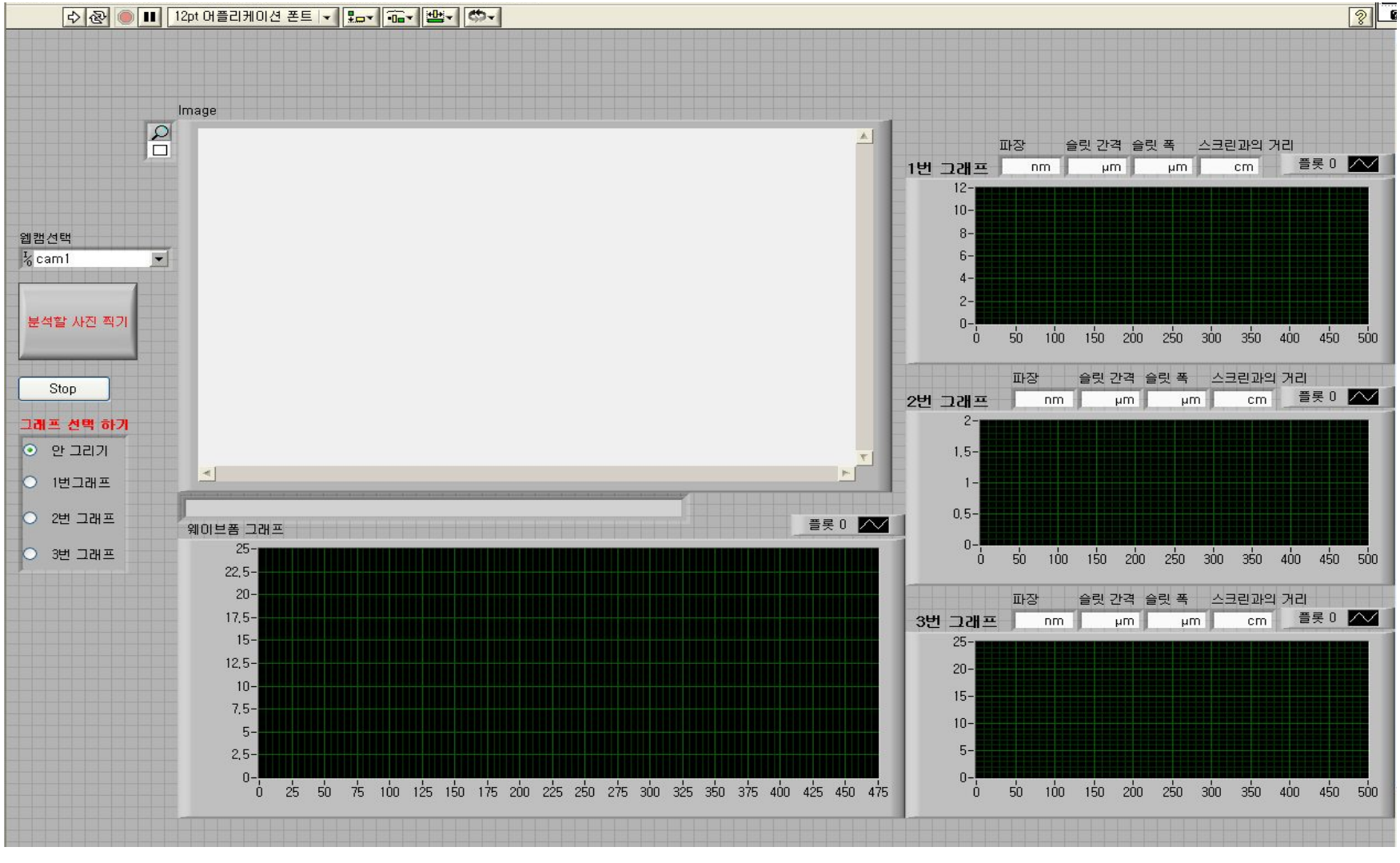
문항4. 다음은 붉은 레이저의 빛이 단일슬릿이나 이중슬릿을 통과 후 스크린에 형성된 무늬의 빛의 세기 모양을 나타낸 것이다. 아래의 5가지 경우에서, 오직 장치의 차이는 단일슬릿의 경우는 슬릿의 폭, 이중 슬릿의 경우는 슬릿의 폭과 슬릿사이의 간격이 있을 뿐이다. 그래프의 모양을 보고, 각각에 해당하는 슬릿의 종류를 이중슬릿과 단일슬릿으로 구분하여라.



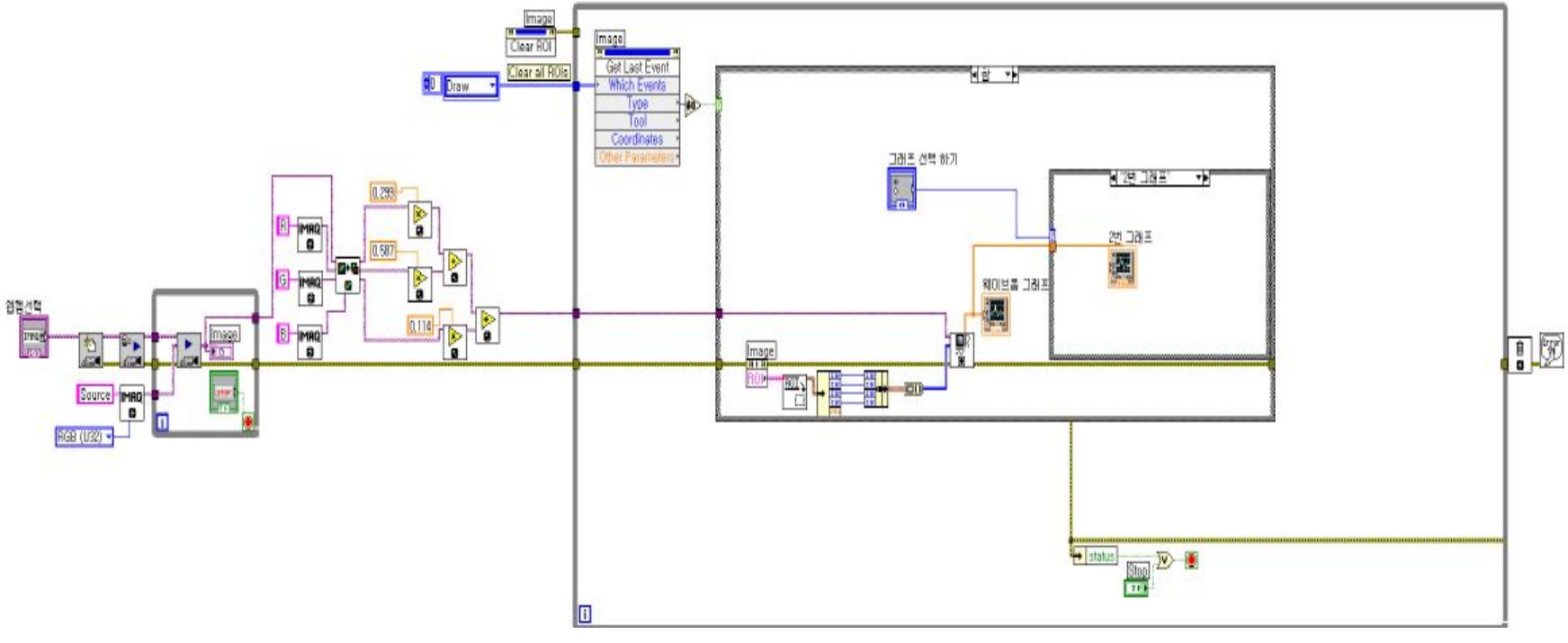
각각의 경우에 그렇게 생각한 이유를 쓰시오.

(a)
(b)
(c)
(d)
(e)

[부록 2] 분석 프로그램의 프론트패널



[부록 3] 분석 프로그램의 블록 다이어그램



Abstract

The Development and Application of MBL Experiments for Understanding of Interference and Diffraction of Light

Eunmi Yoon
Physics Education
The Graduate School
Seoul National University

Optics has contributed to the development of various high technologies by making invisible world to be an object of scientific study with visible world. Optical communication plays a pivotal role in the twenty-first century which is the age of information and communication and it would be a main tool for delivery of fast and accurate information. Thus it is expected that Optics would be considered much more important than before. However, despite these current situations, Optics is still regarded as the margin of Physics compared to Electromagnetism or Dynamics, and also as the part to solve problems by just memorizing a formula for students. In addition, there is a tendency to be reckoned that Wave optics is a subordinate to Geometrical optics in the field of Optics. This is caused by the biased the optics curriculum which is allocated more

importance for Geometrical optics in terms of the order and contents. It could not only make students misunderstand many concepts through their learning process about optical phenomena, but also be a hindrance to apprehend the basic natures of science by studying duplicity of light. On the one hand, in the curriculum it ranges over a number of activities: to observe the phenomenon of interference and diffraction by using a slit and to explain the characteristics of patterns in terms of path and phase difference in order to understand interference and diffraction as the mains concepts of Optics. During those activities, students show a tendency to more depend on the formula of diffraction pattern as a result of study rather than understand the phenomenon. Consequently, they cannot recognize the effect of factor which is not appeared on the formula and also most of them cannot figure out the effect of diffraction showing up on the pattern of double slit. It means that students who take a lecture-oriented course cannot understand about interference and diffraction by separating each other and have difficulties interpreting and predicting the related phenomena. Therefore among advanced researches, there was an effort to improve these situations; it tried to attract concept change from students through experiments of general optics research. However, the result was not meaningful regarding the change of students' pre-concepts due to the 'theory ladeness' which is the fundamental constraint in an experiment.

Thus in this research, I recorded the phenomena of interference and diffraction for objectivity security and also designed the new method of analysis as a more convenient way. I organized MBL(Microcomputer Based Laboratory) programed by LabVIEW in order to overcome the negative awareness and inconvenience about

established Optics experiments. I made triple slit by using Adobe Illustrator and instructed students to check the change tendency of a factor at the same time. To confirm the utility of experiments, I divided students into two groups: experiment group and contrast group. The former took MBL experiments and the latter took the established general experiments. Before and after those experiments, I took a preliminary/post-inspection and then objectively analyzed the tendency of concept change in each group by looking the same question. The result showed that there was a meaningful difference between the concept changes of two groups. According to this, I could prove the MBL experiment has educational effect and find out the improvements, too. One of impressive points was the attitude of students who took a part in MBL with the effect of concept change. This implies that MBL experiment could be helpful to change students' awareness about Optics more positively.

This research suggests the MBL experiment for a new method which modifies the misconception of students about Wave optics. In the research process, I checked most misconception about interference and diffraction of students, and proved the educational effect of MBL experiment by comparing preliminary/post-inspection. MBL experiment drew a concept change and also attitude change of students about Optics experiment. Therefore I expect the utility would be much higher as improving some limitations of program.

Keyword: MBL, diffraction pattern of single slit, interference/diffraction pattern of double slit, the pattern of diffraction, the pattern of interference, concept change