

## 공동탐구토론대회를 통한 대학생들의 탐구활동 분석과 새로운 탐구과정 제시\*

홍종배 · 박승재 · 소광섭 · 이성묵 · 박건식  
(서울대학교 사범대학 물리교육과)

### I. 서 론

세계 모든 나라가 그렇듯이 한국도 과학 및 기술의 발전을 미래에 선진국이 되는 중요한 요소로 생각하고 있다. 그러나 우리의 현실은 어떤가! 주지하다시피 한국의 과학 교육은 입시 위주의 교육 풍토에 휘말려 과학교육의 중요한 목표의 하나인 창의성 개발을 위한 교육을 시도하는 노력을 멀리하는 등 초, 중등학교에 시행되는 과학 교육에 있어서 과학 또는 과학교육 본연의 자세를 견지하지 못하고 있다. 영재아를 위한 정연태[1]의 연구는 이러한 획일적 교육을 탈피하고자 하는 하나의 시도이었다. 그러나 일부 영재아보다는 초, 중등학교의 전반적인 과학교육에 어떤 변화가 필요하다고 생각한다. 이에 서울대학교 사범대학 물리교육과에서는 “과학탐구토론대회”를 통하여 과학의 본성을 찾는 교육을 해 보고자 하는 시도를 거듭해 왔다. 1993년 과학의 해를 맞이하여 “학생 과학탐구 올림픽 대회”의 단위 행사의 하나로 시작한 중학생을 대상으로 한 “과학 공동탐구 토론대회”[2]는 예산 지원의 단절로 2회에서 끝났으나 물리교육과 교수들은 탐구토론의 중요성을 인식하여 본 학과내의 행사로 “물리탐구토론대회”[3]를 개최하였으며, 1997년으로 3회에 이르렀다.

1997년 물리교육과 탐구토론대회는 “전자레인지에 백열전구를 넣고 작동시키면 빛이 발생한다. 그 이유를 알아보자”라는 주제를 가지고 학과에 속한 모든 학생이 9개조로 나누어 3월 중순에서 5월말까지 탐구활동을 수행하였으며, 5월 31일에 토론대회를 가졌다. 자세한 행사 방법과 내용은 부록 I에 실었다. 학생들은 다른 교과 수업의 부담에도 불구하고 열심히 탐구활동을 수행하였으며, 특히 선후배간의 협동연구는 서로간의 관계를 돈독히 하는 계기가 되는 등 학문외적인 결과도 있었다고 생각된다. 앞으로 재원이 충분하면 교외 활동으로 하는 것을 계획하고 있다.

\* 이 연구는 1997년 서울대학교 사범대학 발전기금의 지원에 의한 것임.

이러한 탐구토론대회는 대학생들 대상으로 하는 것도 의미가 있겠으나, 대학에서 수행한 내용을 바탕으로 이를 좀 더 확장하여 초, 중등학교에서 시행하는 것이 교육적 효과 면에서 훨씬 더 클 것이라 생각한다. 물리교육과에서 이 탐구토론대회를 계속해 나가는 중요한 이유 중 하나도 오랜 연구의 결과를 초, 중등학교의 교육 현장에 실현하고자 함이다. 그러기 위해서는 더 오랜 기간의 연구와 노력이 필요할 것이다. 우리의 연구는 최근에 관심을 가지는 열린 과학교육을 위한 자료로도 유용하게 사용될 수 있을 것이며, 여건이 성숙되면 다시 초, 중등학생을 대상으로 하는 탐구토론대회로 전환하고자 한다. 과학 부분의 열린 교육은 과학교육의 목적을 달성할 수 있는 중요한 방법이지만 많은 연구가 되어 있지 않으며 그 소재에 대한 연구도 빈약한 편이다. 위커의 *The Flying Circus of Physics*[4]는 좋은 자료 중 하나이다. 국내에는 위커의 책보다 다양하고 깊지는 못하지만, 박종원[5], 장동호 등[6]의 자료도 있다.

이 연구에서는 대학생들의 탐구활동에 대한 특성을 분석하고 앞으로의 탐구활동에 도움이 되는 탐구의 과정을 제시하고자 한다. 대학생 특히 물리학을 주된 전공으로 배우고 장차 교사가 되고자 하는 물리교육과 학생들을 대상으로 하는 탐구토론대회는 문제의 선정이나 탐구과정도 초, 중등학생과는 달리 좀 더 차원 높은 문제와 긴 시간이 필요하다. 올해의 주제인 “전자레인지에 백열전구를 넣고 작동시키면 빛이 발생한다. 그 이유를 알아보자”는 실제로 실험을 해 보면 다양한 빛이 나타나므로 토론의 주제로 그리 쉬운 문제는 아니었다고 볼 수 있다. 따라서 학생들은 3개월간 준비를 열심히 하였으나 시간이 충분치 못한 점은 있었다.

그러나 이 연구에서 관심을 두는 것은 우리 대학생들이 주어진 연구과제에 대해 어떤 방식으로 접근하며, 탐구과정은 어떠한가, 또 토론을 하는 데 있어서 어떤 문제점이 있는지를 알아보려고 하는 것이다. 한편으로는, 이러한 주제를 다루는 우리 학생들의 특징이 무엇인지를 파악하여 앞으로의 교과 수업 및 토론대회의 발전에 이용하고자 함이다. 우리는 이 연구의 결론으로서 학생들의 탐구활동에 보다 효율적인 7단계의 탐구과정을 제시하고자 한다.

이 논문은 제 II장에서 위에서 언급된 주제를 가지고 수행한 학생들의 탐구활동 내용을 보고서를 통해 소개하고, 제 III장에서는 학생들의 탐구 과정 중에서 특히 설정하는 가설을 통해 학생들이 이 문제를 어떤 방법으로 접근하는지를 분석하여 보고, 있을 수 있는 문제점을 지적한다. 끝으로 제 IV장에서는 결론으로서 새로운 탐구과정을 제시한다.

## II. 탐구활동 내용

### II.1 탐구활동 보고서

학생들의 탐구활동은 각 조의 조장을 중심으로 탐구를 수행하였으며, 이번 문제의 내용이 고급 전자기학과 양자론적 개념이 필요하여 1,2학년의 탐구활동은 어느 정도 위축된 감이 있으며, 3,4학년이 주된 활동을 하였다. 먼저 학생들이 제출한 보고서를 통해 학생들의 문제 접근 방식과 탐구수행 과정을 알아보자. 9개조의 보고서는 모두 물리교육과 home page에 수록되어 있으며, 그것을 보기 위해서는 인터넷에서 <http://physed.snu.ac.kr>로 들어가 국문 또는 영문을 선택한 뒤 활동 또는 activity로 들어가면 탐구토론대회 안내가 나온다.

학생들의 탐구활동은 9개조 중 3개조는 정해진 방향 없이 실험해 보고 그룹 내에서 토의하는 방법으로 탐구활동을 수행하였고, 나머지 6개조는 대체적으로 1)현상의 관찰, 2)가설 설정, 3)가설을 검증하는 실험 수행, 4)결론 유도의 과정을 통해 탐구활동을 수행하였다. 여기서는 9개조 중 결선에 진출한 두 개조의 보고서를 부록 II에 제시하였다.

두 개 중 하나는 보고서 전문을 실었고 다른 하나는 이론 부분을 제외하고 실었다. 모든 보고서는 탐구토론대회 10일 전에 예선을 위한 평가 대상의 보고서가 제출되었으며, 인터넷에 올라 있는 것들은 대회 후 수정 보완된 것이다. 우리는 각 조가 제출한 보고서를 통해 학생들의 탐구활동에 대한 접근 양태 및 여타의 특성을 알아보고자 한다.

### II.2 보고서의 특징

학생들이 제출한 탐구활동 보고서는 그 자체로 학생들의 현황을 잘 나타내고 있어 몇 가지 특징을 살펴 볼 필요가 있다. 한가지 특징으로는 여기에 소개되지 않은 다른 조의 보고서를 포함해서 학생들의 보고서는 내용 중 많은 부분을 자료의 수록에 할애하였다. 이는 학생들이 이 탐구활동 중 하나로 자료 수집에 충실하였다고 할 수 있으나, 다른 측면에서는 학생들이 보고서의 내용보다는 불필요한 보고서의 외양에 많은 신경을 썼다고 볼 수 있다. 그것은 학생들이 열심히 수집한 자료를 탐구활동에 유효 적절히 이용하지 못한 데서도 알 수 있다. 따라서 이러한 학생들의 비과학적 태도는 마땅히 지적되어야 하며 지도해야 할 문제점으로 보인다.

여기에 소개된 2개조의 보고서는 9개조 중 비교적 잘 구성된 것을 소개하였다. 그러나 이 보고서들도 제대로 형식을 갖추지는 못하고 있어 보고서를 작성하는 방법을

체계적으로 교육할 필요가 있다. 보고서 체제의 문제는 이 연구의 주된 관심사가 아니므로 내용을 살펴보자. 학생들은 나름대로 노력한 면은 분명히 나타나 있지만 앞에서 지적한 바와 같이 보고서의 외양에 더 많은 노력을 기울인 점이 지적된다. 특히 눈에 띄이는 지적은 학생들이 보고서에 삽입한 이론 부분과 탐구활동 부분의 연결이 매우 부실하며 거의 독립적으로 작성되어 있다는 점이다. 이는 학생들이 보고서를 작성하는 방법뿐 아니라 태도에 대한 교육도 절실함을 시사하고 있다. 또하나의 지적은 도입 부분 또는 서론이 없다는 점이다. 이는 학생들의 글쓰기 실력 특히 논리적인 글쓰기 실력이 매우 빈약함을 나타내 보이고 있다. 현재 시행되고 있는 대학 입시 과정에서의 논술 고사와 같은 교육이 학교 현장에서 교육이 되어야 함을 말하고 있다. 이 연구의 주된 관심사인 과학적 탐구의 측면에서 본 보고서의 내용은 초, 중등 및 대학생들의 과학교육 상황을 잘 나타내 보이고 있다. 학생들은 나름대로 논리적인 체계로 탐구활동을 수행한 노력이 뚜렷이 보이지만, 기대되는 대학생 수준의 보고서로는 많이 미흡하기 때문에 이에 대한 교육 방안이 진지하게 검토되어야 할 것이다. 이러한 여러 가지 미흡함에도 불구하고 학생들의 과학에 대한 재능과 잠재력이 높은 수준으로 느껴지는 것은 하나의 희망으로 볼 수 있다. 결국 학생들 재능의 문제라기보다는 교육 내용과 방법의 문제라는 점에서 우리 교수들의 책임과 역할이 크다는 결론에 이른다.

### Ⅲ. 보고서 분석

#### Ⅲ.1 탐구활동 분석

학생들의 탐구활동은 크게 세 가지로 나누어질 수 있다. 첫째는 탐구과정이고, 둘째는 보고서 제출, 셋째는 발표 및 토론으로 구분할 수 있다. 학생들의 탐구에 대한 태도 자체는 매우 충실하였으며 비교적 협동적으로 이루어졌다고 볼 수 있다. 다만, 문제의 성격상 전자기학을 보다 심도 있게 배우고 또한 어느 정도 충실한 양자 개념이 필요하여 1, 2학년의 참여는 매우 제한적일 수밖에 없었다. 4학년은 교육실습을 나가게 되어 있어 후반부에는 적극적으로 참여할 수 없었다. 따라서 전 과정은 3학년이 주도하였다. 충실한 태도에도 불구하고 탐구의 방법이나 기술에 대해서 교육받은 바가 없으므로 학생들이 올바른 길을 찾는 데 어려움이 있었다. 그러나 그 동안 수 차례의 탐구토론대회의 경험으로 대부분의 학생들은 위에서 언급한 탐구 과정을 따라 탐구활동을 수행하였다.

가설의 설정은 학생들의 과학에 대한 기초 지식과 개인의 창의력 및 공동 토론의

조화로 나타난 것이기 때문에 학생들의 과학적 성향을 잘 나타내 보이는 자료이다. 가설의 설정과 검증을 통해 탐구과정을 수행한 6개조가 설정한 가설을 통해 학생들의 문제 접근 방식을 분석해 보자. 다음은 6개조의 가설들을 종합한 것이다.

### Ⅲ.2 학생들의 가설

#### 1) 2조의 가설

##### ㄱ) 현상에 대한 가설

- (1) 아르곤 가스에서 빛이 나는 것은 금속과는 무관하게 아르곤 가스가 직접 전자 기파의 에너지를 흡수하여 전자가 들뜬 상태에서 바닥으로 떨어질 때 나오는 빛이다.
- (2) 금속내의 자유전자가 전자기파로부터 에너지를 받아 전자 방출이 일어나며 그 전자가 아르곤 기체와 충돌하여 전자의 운동에너지가 아르곤 기체로 전달된다. 그 결과 아르곤 원자의 외각 전자가 들뜬 상태에서 바닥으로 떨어질 때 빛이 나오게 된다.

##### ㄴ) 전자 방출에 대한 가설

- (1) 금속표면의 자유전자가 마이크로 파로부터 일함수보다 큰 에너지를 흡수하여 금속으로 부터 광전자가 방출되는 광전효과이다.
- (2) 금속에는 열이 발생되고 전자가 열에너지를 받아 열전자로 방출된다.
  - (ㄱ) 금속 내에 자유전자가 전기장의 방향에 따라 운동하게 되고 (이 때의 운동에너지는 전자가 금속으로부터 방출될 정도로 크지 않다) 이로부터 금속내의 원자들과 충돌을 일으키게 되고 이로부터 열이 발생하게 된다.
  - (ㄴ) 금속 내에 자유전자가 전기장의 방향에 따라 운동하게 되며 이로 인해 교류전류가 발생한다고 볼 수 있다. 따라서 금속의 저항에 의해 열이 발생한다.

#### 2) 4조의 가설

- (1-1) 금속(텅스텐 니크롬선)에 마이크로 파가 들어가서 들뜬 상태로 만들고 이렇게 들뜬 상태의 금속에서 에너지 준위가 낮아지면서 여러 가지 색깔을 띤 빛을 낸다.
- (1-2) 마이크로 파에 의해 니크롬선에 전류가 흘러서 가열되고 빛이 난다. (전기가 일반적으로 쓰이는 상태에서 빛을 내는 원리와 같은 이유로 이러한 실험의 결과가 나온다.)

(2-1) 마이크로 파가 금속에 입사되어 열전자를 방출시키고 방출된 열전자와 전구 내의 기체가 충돌하여 기체의 에너지 준위에 따라 여러 가지 색의 빛을 방출하여 관찰 결과와 같은 현상을 나타낸다.

(2-2) 침점에서 스파크가 일어나는 것은 격자구조가 가장자리에서 불안정하기 때문 일 것이다.

### 3) 6조의 가설

ㄱ) 필라멘트에 빨간빛이 나는 현상에 대한 가설

필라멘트에 빨간빛이 나는 이유는 다음의 두 가지 원인 때문일 것이다.

- (1) 콤프턴 효과
- (2) 흑체 복사

ㄴ) 전구 안의 기체로부터 도깨비불이 나는 현상에 대한 가설

전구 안의 기체로부터 도깨비불이 나타나는 것은 기체의 전자가 들뜬 뒤에 낮은 에너지 준위로 내려가며 빛을 내기 때문인데, 기체의 전자가 들뜰 수 있는 경우는 다음의 두가지 일 것이다.

- (1) 마이크로 파가 아르곤이나 질소의 전자를 직접 들뜨게 하고 이 때 들뜬 전자가 바닥상태로 가면서 빛을 낼 것이다.
- (2) 금속으로부터 튀어나온 전자에 의한 충돌
- (3) 방전과 마이크로 파의 상호반응

### 4) 7조의 가설

필라멘트의 재료인 텅스텐과 전자레인지에서 나오는 전자기파(2450MHz)가 반응하여 금속의 특정 부위 (뾰족한 부분)에서 열받은 전자 (열전자)가 튀어 나와 전구 내 기체를 들뜨게 하고, 이 기체가 낮은 상태로 전이할 때 나오는 빛이다.

### 5) 8조의 가설

(1) 마이크로 파가 필라멘트와 내부 도입선 등 금속과 반응해서 자유전자가 바닥 상태에서 들뜬 상태로 전이해서 빛이 발생한다.

(2) 마이크로 파가 아르곤 기체와 반응하여 빛이 발생한다.

### 6) 9조의 가설

(1) 전자레인지 속의 전구에서 빛이 나는 것은 전구 속의 필라멘트가 '가열'되어 나타나는 현상이다.

- (2) 전구 위에 뭉쳐 있던 빛 덩어리는 가열된 금속에서 방출된 열전자와 전구 내 기체와의 반응, 그리고 그 열전자들이 마이크로 파의 영향으로 에너지를 더욱 받음으로 해서 생기며, 그 때의 높은 온도로 인해 전구 위 부분이 녹아 터지게 된다.

### III.3 가설에 대한 분석

학생들이 제시한 6개조의 가설을 보면 서로 표현은 다르지만 내용적으로 비슷함을 알 수 있다. 즉, 가설의 설정은 학생들의 기초 지식이 바탕이 되므로, 가설의 설정 내용으로 볼 때 각 조의 학생들이 가지고 있는 기초 지식은 별 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 학생들을 무작위로 조를 나누었고, 또 각 조의 학생들끼리 자유롭게 논의할 수 있었기 때문에 서로가 타당한 가설로 수렴될 수 있었던 것으로 생각된다. 다만 조에 따라서 차이가 나는 것은 현상을 체계적으로 분리하고, 그에 따라 체계적인 가설을 설정하는가 하는 점이였다. 이는 각 조가 매우 다르게 나타났다. 몇 개조는 각 단계의 현상에 대해 적합한 가설을 세우고 이를 실험을 통해 검증하는 방법으로 매우 체계적인 탐구활동을 수행하였다. 그 중 특히 2조는 매우 체계적으로 여러 단계에 대해 가설을 세웠고 하나씩 실험으로 검증해 나가는 우수함을 보였다.

가설을 설정한 후에 그것을 검증하는 실험을 수행하게 되는데, 학생들의 탐구활동의 문제 중 하나는 이 단계에서 두드러지게 나타난다. 즉, 현상이 복잡적이기 때문에 현상이 일어나는 단계를 체계적으로 정리하지 못하고 또 각 단계에 대해 가설을 체계적으로 설정하지 못한 조는 이 후의 탐구활동이 순조롭지 못하고 내용 또한 잘 정립되지 못하는 문제점을 보였다.

즉, 이러한 분석을 정리하면, 이번 주제와 같이 복잡한 현상을 보이는 문제에 대한 탐구활동에 있어서 학생들이 취해야 할 첫 번째로 중요한 과정은 주어진 현상을 단계별로 체계적으로 정리하는 작업이라 할 수 있다. 두 번째로 중요한 과정은 가설의 설정인데 이는 첫 번째 단계가 얼마나 과학적으로 체계 있게 정리되었느냐에 크게 의존한다. 다시 말하면, 가설을 설정하는데 있어 그 내용은 학생들의 기초 지식에 의존하므로 교실 수업과 평소 학업의 질과 양에 의해 결정된다. 이번 탐구활동의 주제는 매우 복잡해 보이지만 탐구활동에 참여한 학생들의 학업의 질과 양으로 볼 때 이 현상을 이해하는 데 필요한 기본 물리 지식은 갖추고 있었으나, 이번 탐구활동을 성공적으로 수행할 수 있었느냐 없었느냐를 결정짓는 관건은 결국 현상에 대한 체계적인 분석과 정리 능력에 있었다고 볼 수 있다. 이 부분에 대해서는 2조의 학생들을 제외한 대부분의 학생들이 문제점을 보였으며 이 점에 대한 교육이 탐구활동을 통해 계속 실시되어야 할 것이다.

### III.4 탐구의 결론

학생들이 전자레인지 속에서 일어나는 현상에 대한 탐구의 몇 가지 결론을 살펴보면 학생들의 기본 지식이나 탐구의 수준이 잘 나타나 있다.

#### 결론 A:

가스의 발광현상은 전자파와 금속의 반응으로 인하여 발생한 에너지가 가스의 에너지 준위를 흥분시키고 흥분된 에너지가 방출되면서 일어나는 현상임을 알 수 있다. 가스의 반응보다 금속과 전자기파의 반응에 보다 중심을 두고 볼 때, 대전된 전하가 뿔뿔한 부분에서 뿔뿔하게 존재하는 현상과 관련된 실험결과를 얻을 수 있다. 다시 말해, 실제의 실험에서는 금속의 종류에 따라서 다르기는 하지만 모두 뿔뿔한 금속 끝에서 방전을 일으키는 것을 관찰할 수 있었다. 즉 이를 통하여 대전된 금속의 전자가 뿔뿔한 부분에 몰리고 이 부분에서 주변 기체에 영향을 주어 금속과 주변 기체사이에 어느 정도의 전압 차가 생기게 되고 이에 따라 그 사이에서 방전이 일어나게 된다. 이렇게 발생된 방전은 전구안의 기체를 흥분시키고 마치 아르곤 가스가 아르곤 방전에서 보라빛을 내듯이 유사한 빛깔을 내는 것이다. 또한 이러한 반응이 계속적으로 일어나 기체의 온도는 증가하게 되고 뜨거운 기체가 위쪽으로 몰려 유리 구를 가열시킨다.

#### 결론 B:

도깨비불이 나타나는 이유는 필라멘트나 도입선으로부터의 방전이나 열전자 형태로 방출된 전자가 마이크로 파에 의해 가속되어 기체를 플라즈마 상태로 만들었기 때문이다.

#### 결론 C:

필라멘트에서 붉은 빛이 나는 이유는 1,2 의 탐구 과정으로부터 알 수 있듯이 마이크로 파에 의해 금속에서 전자의 진동에 의해 필라멘트가 고온(약 수천 K 가량)의 흑체가 되기 때문에 나타나는 현상이다.

이상과 같은 몇 조의 결론을 살펴보면 학생들이 탐구를 비교적 성공적으로 수행하였음을 알 수 있으며, 또한 아래와 같은 자신들의 가설에 대한 분석은 매우 훌륭하다.

A가설의 검증: 아르곤 기체나 질소 기체의 에너지 준위는 아래 표에 나와 있는 것과 같다. 각각 15.76eV 와 15.58eV이다. 이에 비해 마이크로 파가 가지고 있는 에너지는 0.00001eV이다. 따라서 마이크로 파는 직접 기체의 에너지 준위를 높일 수 없다.

학생들은 여러 가지 특이한 현상에 대해서도 이해하려는 시도를 한 것을 볼 수 있다. 전자레인지 속의 불빛이 깜박이는 이유나 색깔이 변하는 이유를 탐구하였다.



\* 불이 깜박거리는 이유:

가설 : 전자렌지에서 마이크로 파는 한쪽 측면에서만 나온다. 하지만 사방으로부터 반사되는 전자파에 의한 증첩에 의하여 파동이 극대인 곳과 극소인 곳이 존재하게 되므로 극소인 곳을 백열등이 지난다고 하면 그때에는 파동의 영향을 거의 받지 않기 때문에 불이 꺼지는 부분이 생길 것이다.

\* 색이 변하는 이유:

“플라즈마 발광의 기본원리”에서 알 수 있듯이 전자의 충돌 조건에 따른 스펙트럼의 차이가 아닐까 생각된다. 즉, 불균등한 마이크로 파의 분포에 의하여 영역별로 전자의 에너지 상태가 다르므로 해서 생기는 현상일 것으로 추정된다. 또한 만약 흑체복사의 원리를 기체에도 일반화시킬 수 있다면, 나타나는 색으로부터 플라즈마 기체의 온도를 구할 수 있을 것이다.

#### IV. 토론대회 분석 및 문제점

위에서 논의한 바와 같이 서울대학교 물리교육과 학생들의 탐구활동을 보고서를 통해 분석해 본 바로는 학생들이 매우 높은 잠재력을 보이고 있음에도 불구하고 위에서 지적된 바와 같은 탐구과정에 필요한 요소들에는 많은 부족함을 보이고 있다. 이러한 문제는 지속적인 탐구활동의 경험과 교육을 통해 쉽게 개선될 수 있을 것으로 보인다. 따라서 탐구토론대회 과정의 처음 두 가지 요소, 즉 탐구활동 과정과 보고서 작성은 만족스럽지는 못하지만 문제의 정도가 비교적 가벼운 부분으로 생각되며 교육을 통해 크게 개선될 것으로 생각된다. 그러나 탐구토론 대회의 마지막 과정인 발표 및 토론에 있어서는 그 문제가 심각하다고 여겨지며, 이 문제는 단 기간의 교육으로는 향상시키기 어려운 문제로 초등학교의 교육에서부터 발표 및 토론의 경험과 교육이 이루어져야 할 것으로 생각된다[7].

학생들의 주제 발표에서 나타나는 문제점의 첫 번째는 시간 사용 계획에 있다. 모든 발표가 그렇듯이 10분 내외의 매우 제한된 시간만 허용되며 그 시간 동안에 자신이 발표하고자 하는 바를 잘 정리하여 청중에게 전달할 수 있어야 한다. 결국 학생들이 쉽게 이루어 내지 못하는 부분은 자신이 말하고자 하는 바의 골격을 논리적으로 추려내지 못하는 데 있다. 이는 과학뿐 아니라 교육 전반에 걸쳐 관심을 가져야 하는 문제일 것이다. 다음으로는 발표 자료의 준비가 미숙하고, OHP 등 시청각 교육재료의 활용 경험이 적어 시청자의 입장을 등한히 하는 모습을 보여 주었다.

토론에 있어서 중요한 문제는 질문에 있었다. 질문하는 학생의 질문이 문제의 핵심에 근접하던가 아니면 그 내용이 분명히 발표자에게 전달되어야 의미 있는 토론이 이루어질 수 있는데, 이 단계에서 방향이 벗어나서 토론이 이루어지지 못하는 경우가 많았다. 대부분의 경우는 질문이 물리적으로 틀린 경우가 많아 발표자를 혼란에 빠뜨리는 경우이며, 이 때 사회자가 많은 경험을 가진 사람이 아니면 토론을 진행해 나가기 어렵다. 물리교육과 공동 탐구토론대회에서는 학생들의 행사라는 점에서 대학원 학생이 사회를 보았으나 토론을 이끌어 나가기에는 학문적 경력이 부족하여 다소 어려움을 보였다. 원활한 토론을 위해서는 교수가 사회를 보는 것도 하나의 방안이 될 수 있을 것이다.

## V. 평가 및 결론

### V.1 평가

강의 위주의 교육을 탈피하여 다양한 형태의 교육방법을 모색하기 위하여 시도한 물리탐구토론대회를 서울대학교 사범대학 물리교육과 대학생에 적용하였다. 탐구토론 대회는 학생들이 주도적으로 참여하여 주어진 탐구과제에 대해 참가학생들의 공동탐구 과정을 통해 얻은 결과를 토론을 통해 발표하는 방식으로 치러졌다. 이 탐구토론 대회는 1993년 학생과학탐구올림픽대회의 한 종목으로서 중학생들을 대상으로 개발한 '과학공동탐구토론대회'를 대학생들을 대상으로 시도한 것이다.

1995년부터 1997년까지 세 차례에 걸쳐 서울대학교 사범대학 물리교육과에서 시행된 물리탐구토론대회는 물리교육과 소속 교수 전원과 학부생 전원이 참여하는 학과행사 차원에서 치러졌다. 물리교육과 전체 학생은 각 학년별로 3-4명이 참여하여 1개조를 이루어, 모두 9개조가 편성되었으며, 한 조는 12-13명으로 이루어졌다. 토론대회 당일에는 예선을 통과한 3개조만이 토론을 벌였다. 예선은 각 조가 제출한 보고서를 통해 이루어졌다. 전 회와 같이 경기 당일에는 발표와 반론, 평가 등을 통한 토론 형식으로 각 팀별로 경연하여 심사위원들은 우승 팀을 가렸다.

여기서 이번 물리탐구토론대회를 평가해 보면, 첫째, 세 차례에 걸친 물리탐구토론대회를 통하여 학생들이 학년간의 공동탐구가 많은 어려움이 있었지만 어느 정도 이루어졌다는 점이다. 과학적 연구 활동에서 공동탐구의 중요성을 고려해볼 때 대학교육과정에서 다양한 역할을 맡아 공동 탐구할 수 있는 기회를 가질 수 있다는 것은 대단히 의미 있는 것이다.

둘째, 학생들이 비교적 장기간에 걸쳐 하나의 복잡한 물리 현상을 장기간 탐구해

볼 수 있는 기회를 가졌다는 점이다. 비록 매우 거친 연구 방법이지만 명확한 답을 알 수 없는 연구 주제를 실제로 다루어 봄으로써, 학생들이 실제 연구활동을 경험하였다는 점이다.

셋째, 학생들이 교과서를 탈피하여 연구에 필요한 다양한 정보를 인터넷이나 문헌을 통해 얻는 방법을 체험할 수 있는 기회가 되었다는 점이다.

끝으로, 물리공동탐구토론대회를 경험한 학생들은 교사로 나가 학교 현장에서 나름대로의 공동탐구토론대회를 시도해 볼 수 있는 기본을 갖춘 것으로 볼 수 있어, 한국에서 새로운 형태의 과학교육에 기여할 수 있는 가능성이 크다는 데 또한 의미를 찾을 수 있을 것이다.

이러한 장점과 함께 이번 활동에서 우리 대학생들의 탐구 형태에 대해서 비판적인 면을 지적할 수 있다. 첫째는 세 차례에 걸친 탐구토론대회의 경험이 있었음에도 불구하고 토론의 진행이 매우 거칠다는 점이다. 이는 초, 중, 고 시절의 전무한 토론 경험이 그 원인으로 이해된다. 따라서 계속되는 토론 활동이 필요하다는 것을 말해준다. 둘째로는 대학생들의 탐구활동이 수 년 전 중학생들을 대상으로 한 탐구토론대회에 비해 특별히 다른 점도 나아진 점도 없다는 것이다. 이에 대한 한 가지 이유는 탐구활동의 경험이 일천하기 때문이라고 본다. 끝으로 학생들은 인터넷이나 다른 문헌을 통해 필요한 자료의 수집에는 매우 잘 적응하는 면을 보인 반면, 과학적인 정신활동이 필요한 과정에서는 약점을 보이고 있다는 점이다. 이는 한국 교육의 전반적인 문제점으로 지적될 수 있는 부분이다.

이러한 지적을 통해서 볼 때 내릴 수 있는 하나의 중요한 결론은 이러한 활동이 계속되어야 할 뿐 아니라 더욱 강화되어야 하고 또 학문적으로 연구되어야 한다는 점이다. 그것은 학생들이 보여주는 실제 탐구 활동이 그들뿐 아니라 한국 과학교육이 지니고 있는 문제점을 구체적으로 내 보이고 있기 때문이다.

## V.2 결론

우리는 여기서 이번 연구의 핵심이라 할 수 있는 탐구활동의 양식에 대한 심층적인 분석을 통해 새로운 탐구과정의 모형을 제시하고자 한다. 많은 학생들이 탐구의 과정으로

- (1) 현상의 관찰
- (2) 가설의 설정
- (3) 실험을 통한 검증
- (4) 결론 도출

의 과정을 탐구 활동의 주된 범주 및 단계로 받아들이고 있을 것이지만, 우리가 알기

로는 위의 탐구과정에서 학생들의 탐구활동에 가장 영향을 미치는 부분이 어디인지를 파악해 본 적이 별로 없다고 본다. 이 연구에서 파악한 결과로서 이번 탐구토론의 주제인 “전자레인지에 백열전구를 넣고 작동시키면 빛이 발생한다. 그 이유를 알아보자”와 같은 복합 현상에 대한 탐구활동에서 가장 핵심적인 영향을 미치는 단계는 위에서 언급된 탐구과정의 (1)단계와 (2)단계 사이에 있었다. 즉, 관찰된 현상을 체계적 또는 단계적으로 분석하는 과정이 전 탐구과정에서 가장 중요한 영향을 미친 것으로 보인다. 이러한 체계를 바탕으로 각 단계에 대한 가설이 설정되고, 각 단계의 가설을 실험으로 검증하는 탐구 방법이 가장 유효하였다.

우리는 탐구과정에 있어서 매우 중요한 한 부분을 이 연구의 앞부분에서 명시적으로 언급하지 않았는데, 그것은 현상의 단순화 작업이다. 보통의 자연 현상은 매우 복잡해 보인다. 그 이유는 자연 현상은 항상 기본 물리 현상과 부수적인 요소를 함께 지니고 있기 때문이다. 그 대표적인 예는 종이 비행기의 운동에서 볼 수 있는데, 공기 저항을 제거하면 종이 비행기의 운동은 매우 단순해진다. 따라서 우리가 원하지 않는 부분을 우리가 원하는 부분으로부터 분리하는 일은 문제를 훨씬 단순화시킬 수 있으며, 이는 자연 현상을 탐구하는 데 있어 매우 중요한 요소이다. 여기서는 이를 현상의 분석이라 표현하고자 하며, 이 과정을 통해 탐구자는 복잡한 현상에서 탐구하고자 하는 핵심적 부분을 찾아내고 그것으로 탐구 체계를 설정한다. 이와 같이 우리는 좀 더 분화된 탐구과정으로 다음과 같은 한가지의 탐구과정을 제안한다.

- (1) 현상의 관찰
- (2) 현상의 분석
- (3) 탐구의 체계 설정
- (4) 각 체계에 대한 가설 설정
- (5) 실험을 통한 검증
- (6) 각 체계에 대한 결론 도출
- (7) 종합 결론 도출

앞에서 제시된 4단계 탐구과정은 실제 탐구활동을 하는 단계나 범주로 제시되기에는 너무나 개략적이다. 이는 초등학교 수준에서 매우 단순한 현상을 탐구할 때 활용될 수 있을 것이다. 좀 더 복잡한 현상을 탐구하기 위해서는 좀 더 세분화된 7단계 탐구과정이 학생들에게 더 좋은 하나의 길잡이가 될 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] 정은교 등, 정연태 교수 유고집-영재아에게 도움을 (까치사, 1993).
- [2] 신희명, 박승재, 소광섭, 홍종배, 이성묵, 정병훈, 물리교육, 14권, 36쪽 (1996); 과학공동탐구토론대회 보고서, 여럿이 근거 있게 따지기 (한국물리교육센터, 1994); 학생과학탐구올림픽위원회, 제 1 회 학생과학탐구올림픽대회 평가 연구 보고서 (1993).
- [3] 박승재, 소광섭, 홍종배, 이성묵, 박건식, 사대논총, 54집, 161쪽 (1997).
- [4] J. Walker, *The Flying Circus of Physics* (John Wiley & Sons, Inc., NY, 1975); 하늘을 나는 물리의 서커스, 절 위커 저, 김은숙 옮김 (전파과학사, 1995).
- [5] 박종원, 보면서 생각하는 물리시범 (전남대학교, 1996).
- [6] 장동호 등, 물리가 보인다 (천재교육, 1993).
- [7] 정병훈, 과학공동탐구와 토론-학생과학활동 지도자료 3, 관악사 (1993).

〈부 록 I〉

제3회 물리교육과 물리공동탐구토론대회 결승전 안내

1. 일시 및 장소

1997년 5월 31일(토) 오후 3:00 ~ 5:30

서울대학교 26동 대형강의실

2. 결승전 경기규칙 및 진행방법

가. 예선을 통과한 3개조가 3회전을 치러 각각 발표자, 반론자, 평론자의 역할을 한 번씩 하게 한다. 즉 한 회전마다 한 조는 발표를 하고, 다른 한 조는 거기에 대한 반론을, 나머지 한 조는 평론을 한다. 결승전에 진출하지 못한 조들도 관중으로 참석하여 각 회전 당 4개조가 발표 팀에 대해 질문을 하여야 한다.

나. 매 회전은 다음과 같은 활동으로 총 40분 동안 진행한다.

발표 : 12분	- 발표팀
반론자의 질문 : 2분	- 반론팀
반론자의 주장 : 3분	- 반론팀
발표자와 반론자 사이의 논쟁 : 8분	- 발표팀 + 반론팀
관중의 질문과 발표자의 답변 : 9분	- 관중 + 발표팀
발표자, 반론자의 견해에 대한 평론자의 논쟁 : 3분	- 평론팀
논쟁의 마무리 : 3분	- 발표팀 + 반론팀 + 평론팀

다. 진행방법

- (1) 발표 : 발표자는 요구된 문제의 해에 대한 주요 착안점과 결론을 제시한다. 이를 위하여 제한 시간 내에 그림, 슬라이드, 사진 등을 사전에 준비하여 제시하거나 시범실험을 보일 수 있고 보조인원을 동원할 수 있다.
- (2) 반대질문 : 상대방이 주장하는 바가 지니는 모순 점을 명확히 인식하고 정곡을 찌르는 질문에 의하여 예와 아니오라는 대답으로부터 상대방이 지닌 모순을 명쾌하게 노출시키는데 그 목적이 있다. 이 반대질문은 반론 팀이 곧 주장하게 될 반론의 근거가 되고, 그것이 상대방의 주장에 있다는 것을 명확히 하게 한다.
- (3) 반론 : 반론 자는 발표자의 주요 착안점에 대한 자신의 견해를 밝히고 발표에 대한 비판을 한다. 여기서는 발표자의 실수, 문제 이해의 오류, 해를 구하는 데 있어서 방법적 부당성 등을 제시한다. 그러나 비판에는 오직 발표자의 해에 관

- 게된 것만이 허용되며, 오직 상대방의 주장에 근거하여 논지를 전개해야 한다.
- (4) 발표자와 반론자 사이의 논쟁 : 여기서 발표자의 해가 토론된다. 발표자는 반론자의 질문에 답변해야 하지만, 반론자가 우선권을 가진다.
- (5) 관중의 질문과 발표자의 답변 : 결승전에 진출하지 못한 조들은 관중으로서 발표자에게 질문을 던진다. 미리 정해진 바에 따라 각 회전 당 4개조가 질문을 함으로써, 관중으로 참석하는 6개조는 3회전을 통틀어 각 조마다 2가지의 질문을 하게 된다.
- (6) 평론 : 평론자는 그 회전 동안 이루어진 발표자와 반론자, 관중의 활동을 근거로 하여, 발표자의 중요한 쟁점과 반론자의 비판에 대한 논평을 한다. 이는 단순히 발표자나 반론자의 주장을 정리해주거나 또는 제3의 주장을 가담시키는 것이 아니라, 오직 두 팀의 주장에 근거하여 논지를 전개하여야 한다. 그 역할은 마치판사와 같이 양자의 주장을 충분히 듣고 그 주장의 타당성을 과학적이고 합리적 근거에 바탕을 두어 평가한다.
- (7) 논쟁의 마무리 : 이 과정에서 발표자의 발표내용과 반론자의 반박, 평론자의 평가가 간단히 정리된다. 이 때 반론자와 평론자는 필요에 따라 자신들의 견해를 제시할 수 있다.
- 라. 제한사항 : 각 조의 구성원 각자는 발표자나 반론자 또는 평론자로서 오직 한번만 출연할 수 있다.
- 마. 판결: 경기의 진행자는 경기규칙에 따라 시간을 제한하고 논쟁 시 팀의 활동을 조정한다. 심사위원들은 발표팀, 반론팀, 평론팀에 점수를 부여하고 문제에 대한 부연 설명도 한다. 결론적으로 심사위원들은 토론의 결과를 종합하여 문제에 대한 해가 지니는 장단점을 평가한다.

### 제3회 물리교육과 물리공동탐구토론대회 진행시간표

내 용	시 간	담 당
무대정리	2:30 ~ 3:00	
개회선언	3:00 ~ 3:05	학과장
발전기금증정	3:05 ~ 3:10	학과장
심사위원소개	3:10 ~ 3:12	사회자
심사기준안내	3:12 ~ 3:17	심사위원장

경기규칙안내	3:17 ~ 3:22	사회자
1회전 준비	3:22 ~ 3:25	
1회전	3:25 ~ 4:05	
2회전 준비	4:05 ~ 4:10	
2회전	4:10 ~ 4:50	
3회전 준비	4:50 ~ 4:55	
3회전	4:55 ~ 5:35	
휴식	5:35 ~ 5:40	
심사평	5:40 ~ 5:50	



<부록 II-1>

물리탐구토론대회 보고서

주제 ; 전자레인지에 전구를 넣으면  
왜 빛이 날까?

제 출 조 : 2조

—	김대환	강윤구	김대식
—	김정인	탁은진	하은선
—	강태욱	박병수	박혜은
—	공현정	이동규	신민상

제 출 일 : 1997년 5월 23일 금요일

1. 탐구목적

전자레인지 안에 전구를 넣고 작동시키면 전구에서 빛이 발생한다. 이 현상의 원리를 과학적으로 탐구해 보자.

2. 문제 상황의 관찰

관찰 대상		대상의 성질	관찰 내용
전자레인지		마이크로 웨이브 파장 = 2.45GHz	
전구	필라멘트	텅스텐으로 된 코일	필라멘트와 지지대 모두에서 노란색 계열의 빛이 나는데 지지대에서 더 많은 빛이 나왔다. 결국에는 필라멘트는 끊어진다.
	필라멘트 지지대	니켈로 표면이 도금 처리된 구리	
	유리구	얇은 유리	필라멘트와 지지대 연직 윗부분의 유리구 부분이 녹으며 시간이 지속되면 터져버린다
	아르곤 가스		보라색 계열의 빛이 관찰된다.
	도입선	구리로 두껍게 피복된 철과 니켈의 합금(유리로 싸여져 있음)	빛이 발생하지 않음

3. 가설설정

가설	내용
①	아르곤 가스에서 빛이 나는 것은 금속과는 무관하게 아르곤 가스가 직접 전자기파의 에너지를 흡수하여 전자가 들뜬 상태에서 바닥으로 떨어질 때 나오는 빛이다.
②	금속 내의 자유전자가 전자기파로부터 에너지를 받아 전자방출이 일어나며 그 전자가 아르곤 기체와 충돌하여 전자의 운동에너지가 아르곤 기체로 전달된다. 그 결과 아르곤원자의 외각 전자가 들뜬 상태에서 바닥으로 떨어질 때 빛이 나오게 된다.

4. 가설의 검정

가 설	검 정	결 과	비 고
①번 가설	삼각 플라스크에 아르곤 기체만을 넣고 전자레인지를 작동시킨다.	아무런 반응이 없었음	이론적으로 살펴보더라도 전자기파의 에너지는 진동수에 비례하게 되는데 이 경우에 microwave의 진동수가 보라색 빛에 해당하는 진동수보다 작음을 알 수 있다. 전구의 아르곤 기체에서 보라색 빛이 발생했다는 것은 아르곤 원자가 흡수한 에너지가 보라색 빛이 가지는 에너지 이상임을 의미한다. 따라서 적은 에너지를 지닌 전자기파로 인하여 아르곤이 들뜰 수 없음을 알 수 있다. ⇒가설 버림
②번 가설	삼각 플라스크 안에 아르곤 기체와 금속(에나멜선)을 같이 넣었을 때를 관찰한다.	아르곤 기체에서는 보라색 계열의 빛이 방사상 형태로 격렬하게 발생한다.	가설 수용
정리 및 결론	플라스크 안에 기체만을 넣었을 때 아무런 반응을 보이지 않았고 금속을 넣었을 때 보라색 계열의 빛을 관찰할 수 있었으므로 기체에서 발생하는 빛은 금속에서 발생하는 현상과 연관이 있다는 ②번 가설을 채택한다.		

5. 그럼 전자는 어떻게 금속으로부터 방출되는가?

가설	내용	
①	금속표면의 자유전자가 microwave로부터 일함수보다 큰 에너지를 흡수하여 금속으로부터 광전자가 방출되는 광전효과이다.	
②	금속에는 열이 발생되고 전자가 열에너지를 받아 열전자로 방출된다.	금속 내에 자유전자가 전기장에 방향에 따라 운동하게 되고 (이때의 운동에너지는 전자가 금속으로부터 방출될 정도로 크지 않다.) 이로부터 금속내의 원자들과 충돌을 일으키게 되고 이로부터 열이 발생하게 된다.
		금속 내에 자유전자가 전기장에 방향에 따라 운동하게 되며 이로 인해 교류전류가 발생한다고 볼 수 있다. 따라서 금속의 저항에 의해 열이 발생한다

6. 가설의 검증

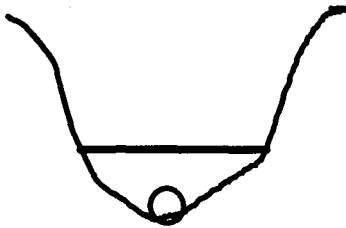
가설	검정	비고
①	광전효과가 일어나려면 microwave의 에너지가 그 금속의 일함수보다 커야한다. 보통 금속의 일함수는 1.7eV~6eV 사이이고 구리의 일함수는 4.5eV인데 microwave의 에너지는 이보다 작다. 따라서 전자의 방출은 광전효과로 인한 것은 아니다. 보통 광전효과는 가시광선이나 자외선영역에서 일어난다.	
②	특정 온도에서 금속은 열전자를 방출하고 이는 온도에 따른 금속내의 전자의 운동에너지와 관련된다. 이 운동에너지와 금속의 일함수의 차에 해당하는 에너지가 보라색 계열의 진동수에 해당하는 에너지와 같다면 아르곤기체에 금속을 넣었을 때 보라색 빛이 나오는 것이 이론적으로 설명된다.	자료를 구할 수 없어서 증명하는 방법만을 적어 보았다.
	전류의 측정값이 1.5A, 구리의 저항이 0.45Ω이므로 1.013W정도의 에너지가 구해지고 이 정도로는 구리에서 열전자가 나올 만큼의 열이 발생되지 않는다.	가설 기각
결론 및 요약	전구에서 나오는 빛은 금속에서 방출된 열전자가 아르곤/질소 기체에 원자여기를 일으켜서 나는 빛이다.	

7. 배경 이론

$J_S$  : 금속 표면을 떠나는 전류의 밀도

$\Phi$  : work function

$T$  : 금속 표면의 밀도



$v'$  ( electron arriving of surface)



$v$  ( escaped velocity)

전자 potential well energy =  $W$

3차원 공간에서의 x-component에 대해서는,

$$\frac{1}{2} m v_x'^2 = \frac{1}{2} v_x^2 + W \quad (\text{이때 } v_y' = v_y, \quad v_z' = v_z)$$

$$\frac{1}{2} m v_x'^2 \geq W \tag{1}$$

1초 동안  $1m^2$  의 표면에 도달하는 전자의 개수는,

(이 때 속도 성분이  $v_x' \rightarrow v_x' + \Delta v_x'$  로 변한다고 하면)

$$\Delta N = 2 \left( \frac{m^3}{h^3} \right) e^{(E_f - \frac{1}{2} m v_x^2 - \frac{1}{2} m v_y'^2 - \frac{1}{2} m v_z'^2) / kT} \Delta v_x' \Delta v_y' \Delta v_z'$$

$$v_x' \Delta N = 2 \left( \frac{m^3}{h^3} \right) e^{(E_f - \frac{1}{2} m v_x^2 - \frac{1}{2} m v_y'^2 - \frac{1}{2} m v_z'^2) / kT} \Delta v_y' e^{-\frac{1}{2} m v_x'^2 / kT} \Delta v_z' \tag{2}$$

위와 같은 방식으로  $v_y, v_z$  성분 에 대해서도 구한 다음,  $v_x, v_y, v_z$  에 대해서

적분하여  $J_s$  를 구하면

$$\Delta J_s = e \Delta n \quad (\text{여기서 } \Delta n : \text{매초 } 1\text{m}^2 \text{의 표면에 도달하는 전자 개수})$$

$$(\text{속도 성분 } v_x \rightarrow v_x + \Delta v_x)$$

$$v_y \rightarrow v_y + \Delta v_y$$

$$v_z \rightarrow v_z + \Delta v_z$$

$$\Delta n = 2 \left( \frac{m^3}{h^3} \right) e^{(E_f - W)/kT - \frac{1}{2} m v_x^2 / kT} v_x \Delta v_x e^{-\frac{1}{2} m v_y^2 / kT} \Delta v_y e^{-\frac{1}{2} m v_z^2 / kT} \Delta v_z$$

에서,

$$\begin{aligned} J_s &= 2e^{-\phi/kT} \int_0^\infty v_x e^{-\frac{1}{2} m v_x^2 / kT} dv_x \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{1}{2} m v_y^2 / kT} dv_y \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-\frac{1}{2} m v_z^2 / kT} dv_z \\ &= \left( \frac{4\pi e m k^2}{h^3} \right) i^2 e^{-\phi/kT} = AT^2 e^{-\phi/kT} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서,  $A = \frac{4\pi e m k^2}{h^3} = 1.20 \times 10^6 \text{ A/m}^2/\text{k}^2$ 이다.

$$J_s = AT^2 e^{-\phi/kT} \quad (a)$$

금속을 떠난 전자가 갖는 평균 에너지는

$$E = \frac{1}{2} m (\overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2}) = 2kT \quad (b)$$

(a)에서 온도 T를 구하여 (b)에 대입하면 E를 구할 수 있다.

$$E = h\nu \quad (c)$$

여기서  $\nu$ 가 보라색계열의 빛의 파장에 해당함을 보이면 된다.

즉 아래의 세 식에서 보면

$$J_s = AT^2 e^{-\phi/kT}$$

$$E = 2kT$$

$$E = h\nu$$

두 번째 식과 세 번째 식에서 아래의 식을 만든다.

$$\nu = \frac{2k}{h} T$$

첫 번째 식에서 금속의 온도 T를 구한 뒤 위 식에 대입하여 나온  $\nu$  값과 보라색 계열의 빛의 진동수 값이 같음을 보여주면 되는 것이다.

\* 가열된 필라멘트에서 전자기 방출된다는 사실은 19C기 후기 전기램프가 발명된 직후 발견되었다.

금속이 전자를 방출한다. : ① 유한한 크기의 에너지만 주면 전자를 Fermi준 위에서 work function barrier를 넘어 결정 밖으로 끌어 올릴 수 있다.

② 이 에너지는 일-음식이 태워지는 것과 같은-적으로 공급될 수 있다.

\* 전자의 방출에 대해 잠시 다른 측면도 생각해보자.

전자 자신도 spin에 의한 회전 모멘트와 자기 모멘트를 가진다. 이러한 전자에 자계가 가해지면 전자 spin은 자계가 작용하는 방향을 축으로 하여 세차운동을 하게 된다. 이 때 에너지의 소비가 없다면 이 회전운동은 계속되며, 자계방향의 자기분극은 생기지 않는다. 그러나, 실제로는 주위에 많은 전자 spin이나 격자(lattice)원자가 있어서 이들의 영향을 받아 에너지를 잃게 되며, 따라서 이 운동은 감쇄되어 결국은 자계 방향을 향하여 자화하게 된다. 이 자화의 완화시간은  $10^{-6} \sim 10^{-11}$  sec정도이다.

하지만, 만약 전자의 spin운동이 위에서처럼 정전계에 있는 게 아니라 고주파자계 안에 있다면 문체는 달라지게 된다. 즉, 세차운동과 동위상으로 같은 주기를 가진 고주파자계를 작용시키는 경우에는 이 세차운동이 더욱 활발해져서 고주파 자계로부터 에너지를 흡수한다. 세차운동의 주파수  $f_s$ 와 고주파자계의 주파수  $f$ 가 같을 때 운동은 최대가 되며, 에너지의 흡수 또한 최대가 된다. 이를 전자 spin공명이라 한다.

마이크로 웨이브 같은 고주파자계안에 있는 금속내에서 전자가 방출되는 이유를 이처럼 전자 spin공명현상으로 일부분 설명할 수 있을 것이다.

\* '원자의 여기 즉 원자는 어떻게 에너지를 흡수하고 방출하는가'를 살펴보자.

원자를 바닥상태에서 높은 에너지 준위로 여기 시켜서 복사선을 방출할 수 있게 하는 데는 원리적으로 두 가지 방법이 있다. 한 가지는 다른 입자와 충돌시키는 것으로, 충돌이 일어나는 동안 그들의 운동에너지 중의 일부가 광자를 방출하면서 바닥상태로 되돌아오는 데는 평균  $10^{-8}$ 초 정도 걸린다.

희박한 기체에서 형광방전을 일으키기 위해서는 전자나 원자 이온을 충분한 운동에너지를 갖도록 강한 전기장을 가속시켜서 충돌을 통해 기체 원자를 들뜨게 한다. 충돌하는 입자들의 질량이 같을 때 에너지의 전달은 최대가 되므로 이와 같이 방전하는 경우 원자내의 전자 에너지를 공급하기 위해서는 전자가 이온보다 더 효과적이다. 네온사인과 수은등이 이와 같은 예로, 기체가 들어 있는 관에 전극을 통하여 강한 전기장을 인가하면, 그 기체 특성의 스펙트럼 복사가 방출된다. 네온은 붉은 색을 띠고 있고, 수은 증기는 푸른색을 띤다.

충분한 에너지를 가진 광자-에너지를 가진 입자라고 생각하라.-를 흡수하여 원자가 높은 에너지 준위로 올라가는 데는 다른 여기과정이 관계한다. 예를 들면, 수소원자가  $n=2$ 인 여기상태에서  $n=1$ 인 바닥상태로 떨어질 때  $127.1\text{nm}$ 의 광자를 방출하므로, 역으로 수소원자에 의한 파장이  $127.1\text{nm}$ 인 광자의 흡수는 처음  $n=1$ 에 있던 원자를  $n=2$ 의 상태로 들뜨게 할 것이다. 이 과정으로 흡수 스펙트럼을 설명할 수 있다.

모든 파장을 포함하고 있는 백색광이 수소원자를 지나갈 때 에너지 준위들 사이의 전이에 해당하는 파장을 지닌 광자는 흡수된다. 이렇게 들뜬 수소원자는 여기에너지를 거의 한꺼번에 재방출한다. 그러나 이 광자들은 방향성 없이 방출되므로, 원래의 백색광과 같은 방향으로 방출되는 광자는 극소수다. 그러므로 흡수 스펙트럼에 있는 검은 선은 완전히 검은 색이 아니라 밝은 배경에 비해 상대적으로 어둡게 보일 뿐이다. 어떠한 원소의 흡수 스펙트럼상의 선은 어떤 상태에서 바닥상태로의 전이에 해당하는 방출 스펙트럼상의 선과 같은 위치에 있으리라는 예상을 할 수 있으며, 이는 관찰 결과와 일치한다.

## 8. References

- 전기·전자 재료, 吳石柱 著  
1편 물성의 기초 - 5장 자기적 성질 - 5.4. 전자 스핀 공명 pp. 69~70
- 현대 물리학 5th Edition, Auther Beiser, 번역 황정남, 우정주, 최대선, 최홍수, 김상욱, 서운호  
4장 원자의 구조 - 4.8. 원자의 여기 pp. 166~167



〈부록 II-2〉

물리탐구토론대회 중간보고서

전자 렌지속의 전구

(보고서에서 이론 부분은 제외)

제 출 조 : 4조

4학년 : 93 이창석. 94 김민수. 94 하형구  
3학년 : 95 권현정. 95 이동욱. 95 전유탉  
2학년 : 96 김대호. 96 배기범. 96 주영도. 97황득우  
1학년 : 97 김진희. 97 박지훈. 97 이용식

A. 실험관찰 1

전구의 필라멘트인 텅스텐 선이 빛을 반짝인다.

- 주황색의 빛이 발생
- 보라색의 빛이 발생
- 녹색의 빛 발생
- 파란색의 빛 발생
- 다시 녹색의 빛 발생
- 주황색의 빛 발생
- 전구가 팽 하는 소리와 함께 터진다.
- 바닥에 남은 금속 조각들(텅스텐 + 구리 + 니켈)이 반짝거리면서 다시 탄다.  
[동영상 1.avi]

B. 가설 1

- B-1. 금속(텅스텐 니크롬선)에 마이크로파가 들어가서 여기시키고 이렇게 들뜬 상태의 금속에서 에너지 준위가 낮아지면서 여러 가지 색깔을 띤 빛을 낸다.
- B-2. 마이크로파에 의해 니크롬선에 전류가 흘러서 가열되고 빛이 난다.  
(전구가 일반적으로 쓰이는 상태에서 빛을 내는 원리와 같은 이유로 이러한 실험의 결과가 나온다.)

C. 실험 관찰 2

- C-1. 전구의 유리구를 제거한 상태로 전자렌지에 넣었다. 그랬더니 유리구를 제거하지 않은 상태의 전구를 전자렌지에 넣었을 때와는 달리 빛이 여러 가지가 아니라 한 가지 색만을 가진 스파크 형태의 불꽃을 방출한다.
- C-2. 몇 가지 금속선을 여러 가지 형태의 모양으로 만들어 전자렌지에 넣었을 때 다음과 같은 결과를 나타내었다.  
종류 : 구리선 - 각진 부분이나 구리선의 끝 부분에서 스파크 같은 불꽃이 발생 한다.  
납 선 - 구리선에 비해 상당히 어둡지만 끝에서 스파크를 발생시키면서 녹아 들어간다.  
모양 : 금속선의 침점 부분(끝점이나 각진 부분)에서 빛을 발생시킨다.
- C-3. 금속을 전자렌지의 어느 부분에 놓았느냐에 따라 금속의 반응 정도가 달라진다.  
예를 들어 전자렌지의 바깥 부분에 전구를 놓았을 때 전구를 렌지 내부 한가운데에 놓았을 때 보다 빨리 반응을 나타낸다. 또 직선의 금속선의 한쪽 끝이 전자렌지의

가운데에 위치하게 놓으면 가운데에서 멀리 떨어진 반대쪽 끝에서만 빛을 발하게 된다. 유리쟁반 밑에서는 거의 반응이 일어나지 않는다.

⇒ 실험관찰 C-1에 의해 가설 B-1은 폐기

의문 1. 실험관찰 C-1에서 색 변화가 생기지 않는 것은 전구 속에서 증발한 금속이 유리구 속에서 고온에 빛을 내는 것은 아닐까?

의문 2. 실험관찰 C-1과 C-2에 의해 마이크로파가 금속에 작용하고, 금속과 기체의 상호 작용으로 스파크가 일어난다. 그렇다면 그 상호작용은 무엇일까?

의문 3. 실험 C-3에 의해 전자렌지 내부에서 전기장이 밀하거나 소한 어떠한 형태를 띤다. 이러한 전기장의 위치에 따른 크기의 차이로 금속선에 전위차가 생기고 전류가 흐르거나 방전이 일어나는 게 아닐까?

#### D. 가설 2

D-1. 마이크로파가 금속에 입사되어 열전자를 방출시키고 방출된 열전자와 전구 내의 기체가 충돌하여(반응하여)기체의 에너지 준위에 따라 여러 가지 색의 빛을 방출 하여 관찰한 것과 같은 현상을 나타낼 것이다.

D-2. 점점에서 스파크가 일어나는 것은 격자구조가 가장자리에서 불안정하기 때문일 것이다.

#### E. 실험관찰 3

E-1. 전구의 유리 구를 떼어내어 유리구 속에 도선을 놓고 밀봉한 상태(아르곤을 넣지 않음)에서는 스파크는 볼 수 있었지만 오색 구름은 볼 수 없었다.

E-2. 전구의 유리 구를 구 속에 피복을 벗긴 구리 전선 도막을 넣고 아르곤 기체를 주입한 후(전구와 유사한 상황을 재현) 전자렌지에 넣고 실험을 하였더니, 전선주위에 스파크와 번개현상과 미약한 오로라 현상을 관찰할 수 있었다.[동영상 2.avi]

⇒ 관찰 E-1, E-2에 의해 의문1이 해결됨, 증발한 금속의 에너지 준위 변화에 의해 색변화가 일어나는 것이 아님을 확인. 관찰 E-1에서 다른 기체(아르곤)의 존재를 확인함.

⇒ 실험 관찰 1의 실제 전구 실험결과와 실험 관찰 3의 모의 실험결과의 차이점에 대한 고찰(모의 실험에서는 오색 구름보다는 번개같은 현상을 더 많이 봄.)

실제 전구 안의 기압이 모의실험에서의 전구 안의 기압보다 낮다. 이는 번개와 오로라의 차이점과 관련시켜 생각해 볼 수 있다. 대기가 희박한 극지방에서의 이온들이 오로라 현상을 보이고 대기 밀도가 상대적으로 높은 곳에서는 번개가 친다.

#### F. 관찰 4. 스펙트럼 관찰

- F-1. 암실에서 전자렌지에 전구를 넣고 분광기에 필름을 넣어 감광시킨 결과 선스펙트럼이 나타난다.
- F-2. 일반적으로 전류에 의해 열을 발생시켜 빛을 내는 백열전구를 분광기로 관찰하였더니 연속 스펙트럼이 나타난다.

⇒ 백열전구가 흑체복사의 형태임과 비교하여, 렌지에 넣은 전구는 흑체복사에 의해 빛을 내는 것이 아님을 알 수 있다. 따라서 가설 B-2는 폐기된다.

[선스펙트럼 필름, 그림]

#### G. 관찰 5. 전류 측정

- G-1. 구리선을 여러 번 꺾어서 전자렌지에 넣으면서 선을 밖으로 빼내어 오실로스코프에 연결, 전압을 측정하려 하였으나, 순간적으로 빛을 발하면서 전선이 끊어졌다.
- G-2. 구리선을 원형 도선 형태로 만들어 전자렌지에 넣고 전압을 측정하였더니 다음 자료와 같은 결과를 보였다. [동영상 3.avi]

<Abstract>

Proposing A New Model of Inquiring Process and Analysing  
College Students' Inquiry Behavior via Scientific Inquiry and  
Discussion Contest

Hong, Jongbae · Pak, Sung Jae · Soh, Kwang-Sup ·  
Lee, Sung Muk · Park, Gun-Sik  
(Department of Physics Education)

We analyse the inquiring behavior of college students via 97 Scientific Inquiry and Discussion Contest held at the Department of Physics Education of Seoul National University. The participants to the contest were the students belonging to the Department of Physics Education of Seoul National University. There were 9 teams in the beginning and department professors selected 3 teams for the final contest according to the reports submitted by each team. The subject of inquiry was "Light emerges when we put an electric bulb into microwave oven and turn it on. What is the source of the light?" We examine all the reports of 9 teams and try to find students' process of inquiry for this subject. We find that there is a crucial step in between the stage of observing phenomenon and the stage of setting hypothesis. These two stages have been considered as the first two stages in the conventional inquiring process. The very crucial stage for the subject of 97 inquiring contest, which is a little bit complicated phenomenon, is constructing the structure of inquiry. The teams who made this structure have clearly shown successful inquiry for the subject, while other teams who did not construct the structure of inquiry appropriately have met serious difficulties in the later stages of inquiring process. On the basis of this analysis, we suggest a more refined inquiring process for the students who treat complicated phenomena for their inquiry subjects. The new process is composed of 7 stages. We also analyse special aspects of Korean college students' discussion behavior exposed in the 97 contest, which are main drawbacks of Korean students. Since these drawbacks

are mostly stem from the problems in basic education in Korea, we strongly recommend that a similar kind of inquiry and discussion contest we did for college students be conducted in the period of primary and secondary schools.