

제1회 한국물리탐구토론대회에 출제된 「접착 테이프(Adhesive tape)」 문제 풀이에 대한 분석

육근철(공주대학교)
gdyuk@kongju.ac.kr
이희복(공주대학교)
김명환(김연구소)

요 약

제1회 한국물리탐구토론대회에는 10개의 문제가 출제되었는데 본 연구에서는 이들 10개의 문제 중 『접착 테이프(Adhesive tape)』 문제를 해결한 5개 팀의 보고서를 비교 분석하였다. 그 결과 학생들은 접착 테이프를 갑자기 떼 때 빛이 발생하는 원인을 정전기 발생, 전자의 이동, 에너지의 변환 등으로 해석하였다. 그러나 탐구의 과정에서 확산적 사고를 가지고 창의적 아이디어를 제시한 팀은 소수에 불과하였다. 본 대회는 탐구 토론대회이므로 탐구의 과정별로 새로운 아이디어를 제안하여 결론에 이르는 창의적 탐구의 과정이 제안되어야 한다.

I. 문제 및 출제 의도

1) 문제 : 접착 테이프를 부드러운 표면에서 떼어낼 때 발생하는 빛에 대하여 조사하고 설명하여라.

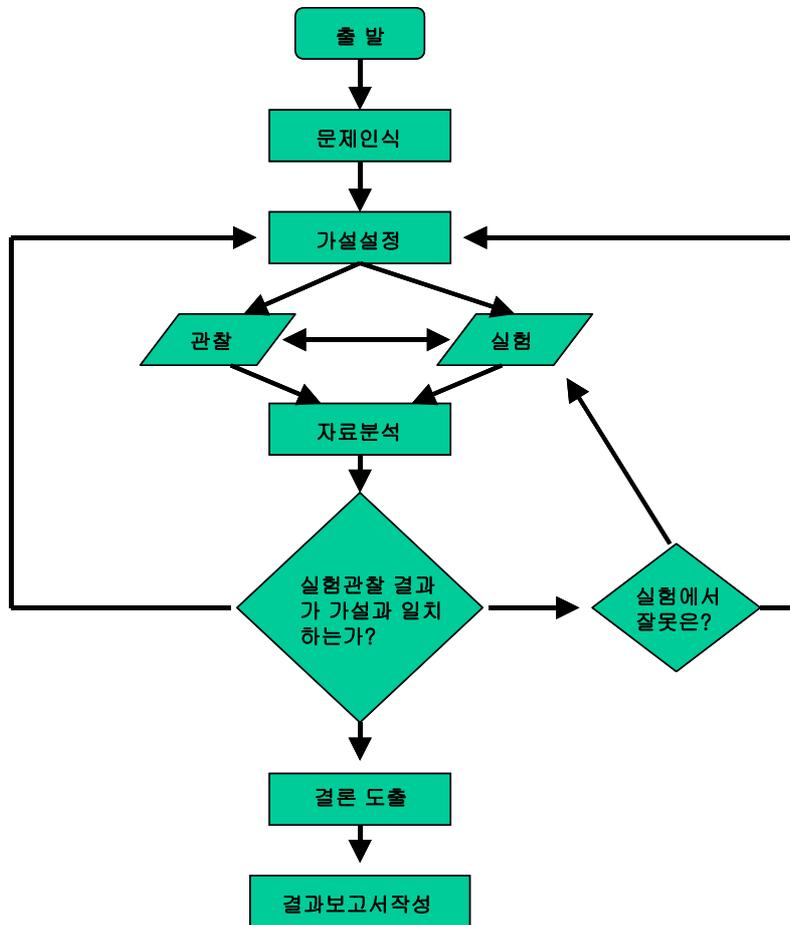
2) 출제 의도 : 접착 테이프를 부드러운 표면에서 떼어낼 때 빛이 발생하는데 이 빛이 발생하는 원인을 탐구하는 문제로 이 탐구 문제를 해결하는 과정에서 마찰시 발생하는 정전기적 현상을 공부할 수 있고, 마찰에 의해 고분자 물질의 고리가 끊어져 전자의 이동현상을 모델로 문제를 해결해 낼 수도 있다. 또한 양자역학적 입장에서 에너지 밴드 개념으로 접근할 수 있는 재미있는 문제이다.

II. 제출 답안의 비교 분석

1) 탐구과정의 형식적 비교 분석

탐구 과정의 절차는 탐구 토론대회에서 중요하게 취급되어야 할 문제는 아니라고 생각할 수 있지만 앞으로 이와 같은 수많은 연구를 해 내야 할 학생들이라는 측면에서 보았을 때 탐구의 기본 과정에 맞게 접근하였느냐 그렇지 않느냐의 문제는 참으로 중요하다. 따라서 본 연구에서는 학생들이 밟아야 할 탐구과정을 먼저 제시하고, 학생들이 제출한 보고서의 틀을 비교 분석하고자 한다.

오늘날의 실험과학은 약 400년 전 이탈리아의 과학자 갈릴레오(1564-1642)에 의해서 시작되었다. 갈릴레이는 자연계에서 일어나고 있는 수많은 현상들을 설명할 수 있는 기본법칙을 찾아내고자 노력하였는데 이 때 사용되는 체계적인 방법이 바로 과학적 방법이다. 이 과학적 탐구방법에는 여러 가지가 있을 수 있으나 대체로 아래 그림과 같이 다섯 단계의 기본적인 과정을 거쳐 탐구가 수행된다.



그런데 이들 각각의 탐구과정에서 창의성의 기능적 요인이 어떻게 작용하는가에 대해 알아보면 다음과 같다.

첫째 단계는 문제인식의 단계로 ‘왜 그럴까?’ ‘어떻게 하면 해결될까?’하는 의문에서 부터 시작된다. 우리 주변에 펼쳐져 있는 수많은 자연현상들 중에서 탐구 문제를 찾기 위해서는 평소에 주변 환경에 대한 주의 깊은 관찰과 호기심을 갖는 태도를 갖

추어야 하며 이를 통해서 새로운 탐구 영역을 넓혀 나가야 하는데 이때 창의적 사고의 인지적 요인중의 하나인 민감성이 필요하다. 특히 본 탐구문제는 완전 개방형으로 문제인식 단계에서 창의성을 발휘하여 이 문제를 어떻게 접근하여 해결할 것인가에 대한 방향을 먼저 수립해야 한다.

둘째 단계는 가설설정의 단계로 기본적인 정보를 수집한 후 의문점을 해결하기 위한 가능한 형태의 가설을 진술하는 단계를 말하는데 이 때 가설은 의문에 대한 가능한 형태의 답을 말한다. 그래서 가설설정의 단계를 때로는 『근거가 있는 추측』이라고도 한다. 이 단계에서는 혼자서 가설을 세우는 것보다는 여러 명이 한 팀이 되어 창의적으로 서로의 의견을 제시하고 그 의견을 종합하여 가장 좋은 가설을 설정하는 것이 바람직하다. 이 단계에서 학생들이 가능한 많은 양의 아이디어를 산출해 낼 수 있도록 유도해야 하는데 이런 요인을 창의적 사고의 인지적 요인중의 하나인 유창성이라 한다. 또한 이 단계에서 창의적 사고의 성향 중의 하나인 자발성이 요구된다. 왜냐하면 문제를 해결해 내기 위해서는 새로운 아이디어를 내야 하는데 학생들 스스로 새로운 아이디어를 산출해 내고자 노력하는 자발성이 없이는 가설 설정이 이루어질 수 없기 때문이다. 본 탐구 문제에서도 가설을 설정하여 문제를 해결해 보고 그 결과를 평가하는 방법을 채택할 수 있다.

셋째 단계는 실험설계 및 실험수행의 단계로 앞에서 설정한 가설을 탐구하기 위해서 탐구할 내용이나 방법을 계획하고, 변인을 통제할 수 있는 방안을 모색하며, 실험장치를 고안하는 단계이다. 그리고 직접 관찰을 하고 실험을 수행하는 과정을 말한다. 이 과정에서 특히 요구되는 창의적 사고의 성향은 독창성과 융통성이다. 왜냐하면 이 단계에서는 실험 설계나 수행을 할 때는 기존의 것에서 탈피하여 독특한 방법으로 실험을 수행하려는 독창적인 자세가 있어야 하며, 고정관념에서 벗어나 다양한 해결책을 찾아내려는 능력인 융통성이 요구되기 때문이다. 또한 이 과정에서 요구되는 창의적 성향은 집착성이다. 대부분의 학문 분야에서 요구되는 것이 과제 집착력이듯이 특히 과학분야에 있어서는 문제를 해결해 내기 위해 다양한 자료를 수집하여야 하고, 문제가 해결될 때까지 끈질기게 물고 늘어지는 성향이 있어야 하기 때문에 과제를 해결해 내고야 말겠다는 과제 집착력은 중요한 문제이다.

넷째 단계는 자료의 해석 및 분석의 단계로 실험 수행과정에서 수집된 자료들을 표와 그래프로 만들어 이들 사이의 상관관계를 결정하고, 각각의 양들 사이의 관계나 관계식을 찾아내는 과정이다. 특히 이 과정에서 가설을 토대로 실시한 실험 관찰의 결과가 잘못되었을 때는 피드백 시켜 새로운 가설을 설정하여 새로 실험을 설계하고 관찰, 수행하는 피드백이 이루어지는 단계이다. 이 단계에서 요구되는 창의적 사고의 인지적 요인은 정교성이다. 실험과정에서 자료를 수집하고 정리하는 과정에서는 치밀하고 정교한 계산과정이 필요하며, 이들 데이터로부터 관계식을 만들어 낼 수 있는 능력이 요구되기 때문이다. 이 단계에서도 집착성이 요구된다. 왜냐하면 수집된 정보를 분류하여 문제가 해결될 때까지 끈질기게 해석해보는 성향이 있어야 하기 때문이다.

다섯째 단계는 결론 도출의 단계로 넷째 단계에서 얻어진 자료의 분석결과를 정리하여 결론을 도출해내는 단계이다. 이 단계에서 새로운 이론이나 법칙을 만들어 낼 수도 있는 중요한 단계이다. 따라서 이 단계에서는 과학자의 독자성이 요구된다. 왜냐하면 자기가 생각해낸 아이디어가 옳다면 다른 사람들의 평가에 구애를 받지 않고 독자적으로 해석하여 밀고 나가는 성향이 있어야 하기 때문이다. 또한 이 단계에서는 자신이 내린 결론으로부터 새로운 탐구 영역을 넓혀 나가려는 민감성이 또 요구된다.

이와 같은 탐구과정을 각 팀은 어떻게 거쳤는지 학생들이 제출한 보고서를 분석 비교해 보면 다음 <표 1>과 같다.

<표 1> 각 팀의 탐구절차와 탐구방향 비교

구분 팀	단 계	탐구 절차	탐구의 방향
A 팀	6 단계	서론-문제의 정의-실험 결과-실험의 분석-결론-앞으로의 탐구	1. 정전기 에너지 2. 표면의 불균형
B 팀	5 단계	서론-가설 설정-원리-실험-결론-논의	1. 정전기적 현상 2. 전자와 분자와의 충돌
C 팀	4 단계	서론-이론-실험-결론	1. 정전기적 방전
D 팀	5 단계	이론-가설-실험-결과분석-논의	1. 정전기적 현상 2. 전자와 분자와의 충돌
E 팀	단계 없음		1. 정전기적 방전

탐구토론대회에 출제된 문제들은 정확한 해답을 요구한다 기보다는 학생들의 다양한 접근 방법과 확산적 사고를 통한 결론 도출을 요구하고 있기 때문에 가능하다면 팀원들끼리 주어진 문제를 해결하기 위한 방안을 토론하여 결론에 도달해야 한다. 특히 문제해결 과정에서 가설을 설정해 보고 이 가설을 증명하기 위해 실험 관찰을 해야 한다. 또한 실험 관찰 결과를 분석하여 이론적 배경과 비교하여 가설이 잘 못되었으면 피드백시켜 다시 가설을 세우거나 실험해야 한다. 5개 팀 중 B팀과 D팀은 가설을 설정하였고 A팀은 가설 대신에 기본 아이디어를 제시하였다. 그러나 C팀과 E팀은 가설이나 기본 아이디어가 없다. 또한 실험-관찰을 할 때에는 가설에 입각해서 실험 설계를 해야 하는데 C팀과 E팀에서는 이런 흔적을 발견할 수 없었다.

A팀의 경우 탐구절차를 올바르게 밟았으며 문제해결을 위해서 많은 토론과정을 거친 흔적이 자주 발견되었다. 그러나 결론에서 기술한 내용은 결론이라기 보다는 탐구 과정에서 발생된 의견 정도에 불과하다. 결론에서는 빛이 발생한 원인을 명확하게 기술해야 한다. 그리고 앞으로의 탐구에서도 적외선 감지 카메라의 문제를 기술할 것이 아니라 앞으로 연구하고 싶은 새로운 주제를 제시해야 한다.

B팀의 경우 탐구절차를 밟는 과정에서 지도교사가 지도한 흔적이 곳곳에 나타나 있으며, 가설에 입각한 이론적 배경이나 실험 설계가 잘 되었다. 그리고 결론도 가설 설정에 대한 결론으로 명확하게 기술되었다. 특히 논의에서는 본 연구에서 해결하지 못한 또 다른 방법을 제시하여 돋보였다.

D팀의 경우 이론적 배경이 먼저 나온 후 가설을 세웠는데 가설이라기 보다는 가정에 가까운 가설을 세웠다. 전반적으로 문제 해결 방향이 잘 되었고 실험 결과도 타당하다. 그러나 실험 결과에 대한 검증 과정이 없고 사진을 찍어서 제시한 자료도 없다.

2) 문제 해결의 내용적 비교 분석

『접착 테이프를 부드러운 표면에서 떼어낼 때 발생하는 빛에 대하여 조사하고 설명하라』는 문제는 크게 3가지의 관점에서 문제를 풀어 나갈 수 있다. 그 첫째는 접착 테이프를 떼어 낼 때 마찰에 의해서 발생하는 빛이나 소리를 에너지의 관점에서 접근하는 방법이고, 둘째는 마찰에 의해 고분자 물질의 고리가 끊어져 전자의 이동 현상이 쉬위짐에 따라 빛이 발생하는 관점에서 접근하는 방법이고, 셋째는 양자역학

적 입장에서 에너지 밴드 개념으로 접근하는 방법이다. [1,2,3,4]

본 문제를 탐구한 5팀 모두 이런 관점에서 접근하여 문제를 해결하려고 시도하였다. 각 팀의 기본 아이디어와 탐구 결과를 요약하면 다음 <표 2>와 같다.

각 팀이 제시한 기본 아이디어를 비교해 보면 접촉 테이프 문제이므로 마찰에 의한 정전기적 현상으로 기본 아이디어를 정하였으며 이 때 방출하는 빛의 원리를 에너지 천이, 충돌 등으로 추측하였다. 특히 B팀과 D팀의 경우는 물체의 표면과 접촉 테이프와의 마찰에 의해서 가속된 전자가 공기 중에 있는 질소나 산소원자와 충돌하여 산소나 질소내에서의 에너지 천이에 의해 빛이 발생하였을 것이라는 아이디어를 채택한 점이 돋보인다. 학생들의 탐구는 이런 기본적인 아이디어를 바탕으로 가설을 설정하고 그 가설을 검증하기 위해 여러 가지 실험 방법을 동원하는 모습이 보여야 한다.[5,6] 그러나 5개 팀의 보고서에 나타난 것을 살펴보면 모두 실험 결과에 대한 검증절차가 생략되어 검증하기 위한 노력이 부족한 것 같다. 각 팀이 내린 결론을 분석해 보면 A팀의 경우 providing energy에 의한 실험에서는 에너지가 너무 낮아 빛을 볼 수 없었다고 하였다. 그리고 두 번째 아이디어에서도 빛을 관측하지 못하였다고 하였는데 그렇다면 이 탐구는 실패한 것이다. 따라서 평가의 대상이 될 수 없다. 만약 가설을 잘 못 세워서 실험에 실패하였다면 새로 가설을 세워 측정 가능한 방법으로 재접근했어야 옳다. 방출하는 빛이 적외선이라서 카메라가 없어 관측하지 못했다는 주장은 설득력이 없다. B팀의 경우는 마찰에 의해 가속된 전자가 공기중의 질소, 산소 분자와 충돌하여 분자로부터 550nm의 빛을 발생하는데 이 빛은 질소와 산소에서 각각 488nm, 557nm의 빛이 방출되므로 실험결과와 일치한다고 주장하였다.[6,7]

〈표 2〉 각 팀의 기본 아이디어와 탐구결과 비교

구분 팀	기본 아이디어	탐구 결과
A 팀	<ul style="list-style-type: none"> ☆ 파인 활성화에너지, 전자의 천이 에너지에 의한 가시광선, 적외선 형태의 빛이 방출될 것이다. ☆ 매끈한 표면에서의 unbalanced disposition에 의해 빛이 발생할 것이다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. providing energy에 의한 실험에서는 에너지가 너무 낮아 빛을 볼 수 없었다. 이때 발생하는 빛은 적외선이다. 2. unbalanced disposition에 의한 실험에서는 실패했다.
B 팀	<ul style="list-style-type: none"> ☆ 표면과 접착 테이프와의 마찰에 의해 빛이 방출될 것이다. ☆ 마찰에 의한 가속전자가 공기중의 분자와 충돌하여 빛이 발생할 것이다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 마찰에 의해 가속된 전자가 공기중의 질소, 산소 분자와 충돌하여 분자로부터 550nm의 빛을 발생한다. 2. 질소와 산소에서는 488nm, 557nm의 빛이 방출 되므로 실험결과와 일치한다.
C 팀	<ul style="list-style-type: none"> ☆ 테이프를 표면에서 잡아 뗄 때 정전기적 현상에 의해 빛이 방출될 것이다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 테이프를 표면에서 빨리 잡아 뗄 때는 천천히 잡아 뗄 때 보다 더 밝은 푸른빛이 방출된다. 2. 방출되는 빛은 400-500nm인 blue에서 green색의 빛이 방출된다.
D 팀	<ul style="list-style-type: none"> ☆ 테이프를 표면에서 잡아 뗄 때 정전기적 현상에 의해 전자가 방출될 것이다. ☆ 이 전자와 공기분자와 충돌에 의해 빛이 방출될 것이다.. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 테이프를 빨리 잡아 떼어내면 더 강한 빛이 방출된다. 2. 접촉면적이 크면 더 강한 빛이 방출된다. 3. 에너지 천이에 의해서 연두색 빛이 방출된다. 4. 산소분자와 충돌하면 557.7nm, 질소분자와 충돌하면 519.9nm의 빛이 방출된다.
E 팀	<ul style="list-style-type: none"> ☆ 테이프를 표면에서 잡아 뗄 때의 상태에 따라 정전기적 현상에 의해 빛이 방출될 것이다. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 테이프의 종류, 표면의 질에 따라 달라진다. 2. 빛은 물질의 재복사에 의해서 방출된다.

그런데 방출되는 빛을 어떻게 측정하여 550nm가 나왔는가에 대한 언급이 없다. 그리고 접착 테이프에 칠해져 있는 고분자물질에 대한 언급이 있었으면 더 좋은 평가를 받을 수 있는 작품이다. C팀의 경우는 테이프를 표면에서 잡아 뗄 때 정전기적 현상에 의해 빛이 방출되며 테이프를 표면에서 빨리 잡아 뗄 때는 천천히 잡아 뗄 때 보다 더 밝은 blue에서 green색(400-500nm)이 방출된다는 결론을 내렸다. 이론적 배

경에서 polymer에 의한 쌍극자 모멘트가 있어 이 때문에 빛이 방출되는 것으로 기술하였는데 그 보다는 고분자 물질의 고리가 끊어져 빛이 발생하는 것으로 기술하였으면 좋았을 것이라는 생각이 들었다. D팀의 경우는 마찰에 의해 정전기적 현상이 생기는데 이때 테이프의 종류와 접착물질의 질에 따라 다른 빛이 방출된다고 하였다.[3,4] 그리고 이 때 발생된 전자가 공기중의 질소, 산소 분자와 충돌하여 에너지 천이에 의해 빛이 방출되는데 산소에서는 557.7nm의 빛이 방출되고, 질소분자로부터는 519.9nm의 빛이 방출된다고 주장하였다. 그러나 실험 결과에 대한 검증자료가 없다.

Ⅲ. 「접착 테이프(Adhesive tape)」 문제에 대한 바람직한 접근 방법

본 문제는 접착 테이프를 부드러운 표면에서 떼어낼 때 빛이 발생하는데 이 빛이 발생하는 원인을 탐구하는 문제이다. 이 문제는 세 단계로 접근할 수 있다. 첫 번째 단계는 테이프를 접착 면으로부터 떼어낼 때 떼어내는 속도, 접착물질의 종류, 테이프의 면적 등에 의해 실험결과가 달라지기 때문에 이들 조건에 따른 실험결과를 제시하고 그 원리를 제안하는 단계이다. 즉 테이프를 접착 면으로부터 떼어내면 전하들이 한쪽 면에는 +전하가 다른 한쪽 면에는 -전하가 유도된다. 두 번째 단계로는 테이프의 한쪽 면에는 +전하가 다른 한쪽 면에는 -전하가 유도되어 전기장이 형성되고 이 전기장에 의해 전위차가 유도되어 이로 인해 전자가 방출되는데 이 전자가 전기장에 의해 가속된다. 그리고 이렇게 가속된 전자는 운동에너지를 갖게 되는데 이 전자가 공기 중에 있는 산소나 질소분자와 충돌한다는 점이다. 세 번째 단계는 전자로부터 충돌된 산소분자와 질소분자는 분자 내부에서 들뜬 상태가 되어 에너지 천이에 의해 빛을 방출하는 단계이다. 그래서 산소분자와 충돌하면 557.7nm의 빛이 방출되고, 질소분자와 충돌하면 519.9nm의 빛이 방출된다는 점을 제안하고 이를 실험으로 확인할 수 있는 데이터를 제시해야 한다. 특히 접착 테이프를 떼 때 마찰이 생기는데 테이프의 합성수지에는 접착물질이 부착되어 있다. 이 접착물질은 고분자 물질로 외력에 의해 고리가 끊어져 전자의 이동현상이 일어날 것이며 이 전자가 산소나 질소분자와 충돌하여 에너지 천이에 의한 빛이 발생함을 제시하는 것이 바람직할 것이다.

이상의 세 가지 단계를 거쳐서 이들의 검증 자료를 찾아내는 방법으로 탐구를 해 나가면 된다. 이 때 여러 가지 방법을 동원하여 검증자료를 확보해야 하고 이들 검증자료를 다시 검증 받기 위하여 적용방안까지 찾아내야 한다. [2,4,5]

IV. 결론 및 제언

고등학교 과정에서 처음으로 대하게 되는 개방적인 문제를 학생들이 풀어나가는데 어려움이 많았을 것이다. 그러나 적어도 과학고등학교 학생들이라면 아무리 입시도 중요하지만 과학적 방법으로 문제를 해결해 나가는 틀은 갖추어져 있어야 한다고 생각한다. 그런데 3팀 모두 자신들이 설정한 기본 아이디어를 해결하는데 검증의 과정이나 검증 자료가 없다는데 문제가 있다. 과학에서 검증자료가 없이 어떻게 주장을 하고 확신한다는 말을 할 수 있겠는가? 그리고 탐구를 하기 전에는 선행연구에 대한 자료를 조사하여 이를 근거로 연구를 해야 함에도 불구하고 참고문헌 자료가 나타나 있지 않았다. 특히 결론을 내렸으면 그 결론을 검증하기 위하여 적용방안을 우리 일상생활에서 찾아보려는 노력이 있어야 한다. 그러나 이런 흔적을 찾기가 어려웠다. 고등학교 학생들의 탐구이니 만큼 큰 것을 기대하기는 어렵겠지만 이와 같은 탐구문제 해결 경험을 자주 주어 과학자적 태도를 체득하고, 그 과정에서 탐구의 방법이나 과정을 배울 수 있도록 배려해야 한다. 특히 학생들 스스로 아이디어를 내고 자신들이 낸 아이디어를 검증할 수 있도록 실험설계를 해서 data를 분석하는 일련의 탐구과정은 과학고등학교 학생들에게 그 무엇보다도 중요하다. 따라서 이런 탐구토론대회를 활성화 시켜 많은 학생들이 일찍이 경험하도록 국가에서는 배려해야 한다.

참고문헌

- [1] Ruth Chabay, Bruce Sherwood, "Electric & magnetic Interactions", John Wiley & Sons Inc, 1999
- [2] M.G.J.Minnart, "Light and Color in the out doors", Springer-Verlag, 1993
- [3] Hecht, "Physics", Brooks/cole, 1999

- [4] Young, "University Physics", Addison Wesley, 1999
- [5] Louis A. Bloomfield, "How Things Work", John Wiley & Sons, Inc, 1998
- [6] 일반물리학교재편찬위원회, "일반물리학2000", 주 북스힐 , 2000
- [7] 임채호 공역, "기초전자기학", 교학사 , 1992

Abstract

An Analysis of Students' Reports on an Assigned Problem for “Adhesive Tape” in the first Korean Youth Physics Tournament

Keun cheol Yuk

(Kongju National University)

gdyuk@kongju.ac.kr

Hee Bok Lee

(Kongju National University)

heebok@kongju.ac.kr

Myung Hwan Kim

(KIM's Institute)

KIKG1427@chollian.net

We have analyzed students' reports on a problem for “adhesive tape” among ten assigned problems in the first Korean youth physics tournament (KYPT). There were five team's reports on this problem. Students reported that the reasons for lightening coming out from the stripping down adhesive tape are caused by electrostatic friction, electron transfer, energy transformation, etc. However, only few teams suggest new creative ideas with divergent thinking during their inquiry process. Because the KYPT is a debate based on the problem solving by inquiries, the reports should include the creative investigations by their own ideas in every steps of inquiry up to their final conclusions.