

제1회 한국물리탐구토론대회에 출제된 「Fractal Diffraction」 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 「Fractal Diffraction」 문제를 해결한 고등학생부 3개 팀과 중학생부 1개 팀의 보고서를 비교 분석하였다. 그 결과 학생들은 Fractal이라는 개념을 제대로 이해하지 못하여 잘못된 방향으로 문제를 해결한 팀이 많았다. 특히 「Fractal Diffraction」 문제는 출제된 10문제 중 가장 까다로운 문제로 학생들이 생각하고 있는 것으로 조사되었다.

I. 문제 및 출제 의도

1) 문제 : 여러 차원의 프랙탈 구조로 만들어진 회절 무늬를 만들어서 보이고 분석하라.

2) 출제 의도 : 스크린에 나타나는 여러 종류의 간섭과 회절 무늬의 패턴은 구멍(aperture)의 모양에 따라 달라진다. 즉, 구멍의 크기 모양과 무늬와의 관계는 상관관계가 아주 높다. 학생들은 물리시간에 광원 앞에 단일 슬릿이나 이중슬릿을 놓았을 때 발생하는 회절-간섭 무늬에 대해서만 공부했다. 그렇다면 만약 광원 앞에 원형구멍이나 사각형 구멍을 놓으면 어떤 무늬가 나타날까? 하는 의문도 가져보았을 것이다. 본 문제는 이를 더욱 발전시켜 광원 앞에 여러 차원의 프랙탈 구조를 놓았을 때 어떤 무늬가 발생하는지 그 규칙성을 찾아내라는 문제이다.

II. 제출 답안의 비교 분석

1) 탐구과정의 형식적 비교 분석

『Fractal Diffraction』 문제는 출제된 10개 문제중 학생들이 가장 어렵게 생각하는 문제로 대부분의 팀에서 해결하지 못한 문제이다. 참가 팀 중 이 문제를 해결하여 보고서를 제출한 팀은 고등학생부 3개 팀과 중학생부 1개 팀이다. 그러나 이들 고등학생부 3개 팀 중 2개 팀은 문제를 제대로 이해하지 못하여 완벽하게 해결해 내지 못하였다. 오히려 중학생부 팀이 문제를 제대로 해결하였으며 고등학생부 1개 팀에서도 문제를 잘 해결하였다. 고등부 3개 팀과 중학생부 1개 팀은 탐구과정을 어떻게 거쳤는지 학생들이 제출한 보고서를 분석 비교해 보면 다음 <표 1>과 같다.

<표 1> 각 팀의 탐구절차와 탐구방향 비교

	문제해 결단계	탐구 절차	탐구의 방향
A 팀	5 단계	이론적 배경-실험-실험결과-결과 분석-결론	1. 명확한 이론적 접근 2. simulation
B 팀	3 단계	원리-이론-결론	1. 이론적 접근 2. 회절무늬를 얻지 못함
C 팀	5 단계	서론-문제의 정의-simulation-결과 -결론	1. 실험적 접근은 없다. 2. simulation
D 팀	5 단계	이론적 배경-가설설정-실험-자료분 석-결론	1. 차원별 프랙탈 접근 2. 차원별 회절무늬 촬영 3. 규칙성 찾기

『Fractal Diffraction』 문제는 문제의 성격상 탐구의 과정을 거칠 필요 없이 프랙탈 구조의 슬릿을 만들어 이 때 나타나는 무늬의 패턴을 제시하면 되는 문제로 오해할 수 있다. 그러나 이 문제도 탐구의 과정을 밟아 탐구하면 할수록 재미있는 탐구가 될 수 있다.

모든 팀들이 문제 제기의 단계인 문제인식의 과정을 거치지 않았는데 문제인식의 과정에서 학생들 상호간에 심도있는 토론을 하였다면 충분히 재미있게 문제를 풀어 나갔을 것이다. 학생들은 프랙탈이라는 생소한 주제 때문에 많은 부담감을 갖게 된 것으로 판단된다. 그러나 학교 현장에서 배운 간섭과 회절의 기본적인 원리가 광원 앞에 놓여 있는 구멍(aperture)과 스크린에 나타나는 무늬 패턴과 아주 밀접한 상관 관계를 가지고 있다는 사실을 안다면 문제인식 과정에서 탐구의 방향이 정확하게 결정되었을 것이다. 왜냐하면 가장 기본적인 구멍이 수직으로 가늘게 뚫린 단일 슬릿이고, 이 슬릿에 수평으로 된 가늘게 뚫린 단일 슬릿을 놓으면 열 십자 모양의 슬릿이 만들어진다. 그리고 수직으로 가늘게 뚫린 단일 슬릿을 한 바퀴 돌리면 원형의 구멍이 만들어진다. 이렇듯 프랙탈 구조도 가장 기본적인 차원이 있기 때문에 1차원 프랙탈 구조를 만들어 규칙성을 찾아내야만 본 탐구의 목적을 달성 할 수 있다는 의견이 문제인식 단계에서 제시되었어야 바람직하다.

D팀 외에는 가설을 세우지 않고 바로 원리나 이론적 배경으로 들어갔는데 본 문제

에서도 가설을 세워야 옳다. 회절-간섭 무늬를 자세히 살펴보면 슬릿의 축에 수직 방향으로 무늬가 나타난다. 1차원 코흐 곡선에서는 어떤 무늬가 나타날 것인지 실험을 해 보지 않아도 예측할 수 있다. 따라서 가설을 세워서 탐구를 해 나가는 것이 바람직하다. 특히 본 문제를 해결하는데 있어서 회절무늬를 직접 만들어 보이지 못하면 실패한 것이다. 그럼에도 불구하고 직접 사진을 찍어서 제시하지 못하고 인터넷에서 얻은 사진 자료를 제시한 팀도 있는데 이런 방법은 바람직하지 못하다. 그리고 컴퓨터 시뮬레이션(simulation)을 한 팀도 2개 팀이나 있었는데 컴퓨터 시뮬레이션은 실험에서 얻은 자료를 검증하는 단계에서 요구되는 자료임을 학생들은 알아야 한다.

2) 문제 해결의 내용적 비교 분석

『여러 차원의 프랙탈 구조로 만들어진 회절무늬를 만들어서 보이고 분석하여라』는 문제는 첫째, 여러 차원의 프랙탈 구조를 만들어야 하고, 둘째, 이들 프랙탈 구조로 회절 무늬를 얻어야 하며, 셋째, 얻어진 자료를 바탕으로 규칙성을 찾아내야 한다. 첫 번째 과제인 여러 차원의 프랙탈 구조를 만들기 위해서는 먼저 프랙탈에 관한 이론을 알아야 한다. 고등학생부 3개 팀 중 한 개 팀에서는 프랙탈에 관한 이론을 열심히 공부하여 비교적 자세하게 기술하였다. 두 번째 단계에서는 중학생부외에는 직접 사진을 찍어 프랙탈 구조에 의한 회절 무늬를 제시하지 못하였다. 그리고 세 번째 단계인 규칙성 찾기에서는 고등학생부에서 한 팀, 중학생부에서 한 팀이 해결하였다. 본 문제를 탐구한 4개 팀의 기본 아이디어와 탐구 결과를 요약하면 다음 <표 2>와 같다.

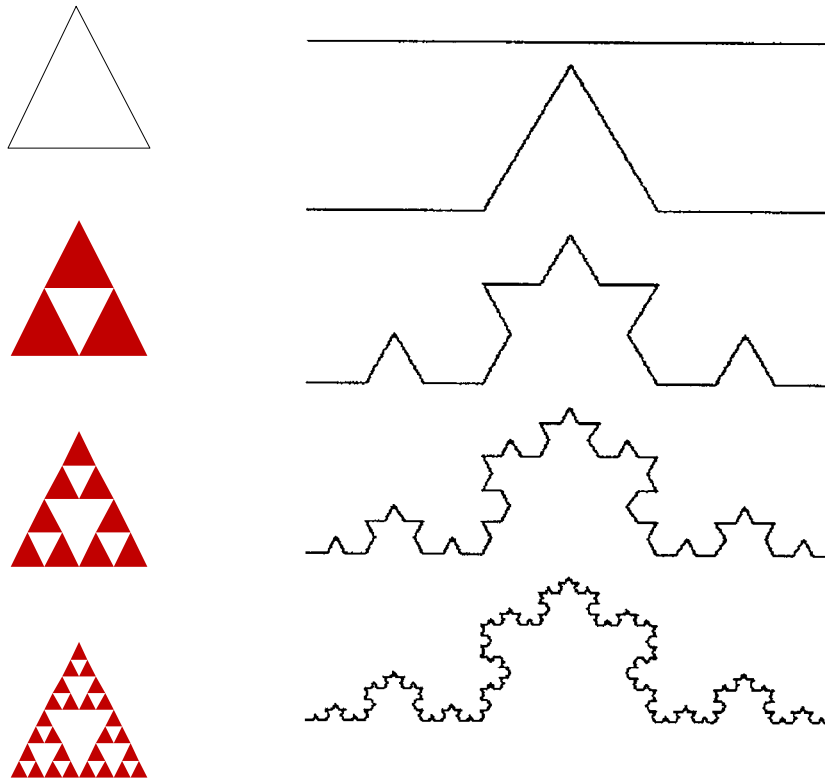
<표 2> 각 팀의 문제 해결 방법과 탐구결과 비교

	문제 해결 방법	탐구 결과
A 팀	☆ 회절이론 제시 ☆ 프랙탈 이론 제시(시어핀스키 삼각형과 코흐 곡선) ☆ simulation ☆ 회절무늬 얻기 ☆ 실험 결과 사진 제시 ☆ programing source 제시	1. 시어핀스키 삼각형과 코흐 곡선의 차수에 따른 회절무늬 패턴을 얻었다. 2. 프랙탈의 차수가 증가하면 최대값의 수도 증가한다. 3. 회절무늬는 중심에 최대값을 갖고, 중심을 센터로 무한히 반복된다.
B 팀	☆ 회절이론 제시 ☆ 프랙탈 이론 제시 ☆ 이론적 결론만 내림	1. Fractal Diffraction Grating을 만들지 못하였다. 2. Fractal Diffraction에 대해 이론적으로 접근하였다.
C 팀	☆ 회절이론 제시 ☆ 프랙탈 이론 제시 ☆ simulation 자료 제시	1. 프랙탈 구조는 회절무늬를 만든다. 2. 프랙탈은 프랙탈 구조로 나타나지 않으나 회절은 프랙탈 구조의 하나이다.
D 팀	☆ 회절이론 제시 ☆ 프랙탈 이론 제시(시어핀스키 삼각형과 코흐 곡선) ☆ 회절무늬 얻기 ☆ 실험 결과 사진 제시	☆ Sierpinski triangle 1. N=0에서는 3개의 대칭축이 나타난다. 2. N값이 커질수록 많은 대칭축이 나타난다. 3. 회절무늬의 강도는 차수가 증가하면 감소한다. ☆ Koch Curve 1. 3개의 주축이 생기고, 차수가 증가하면 회절무늬의 폭도 증가한다. 2. 회절무늬의 형태는 N=3에서 N=4까지 격렬하게 변한다.

III. 「Fractal Diffraction」 문제에 대한 바람직한 접근 방법

본 문제는 『여러 차원의 프랙탈 구조로 만들어진 회절무늬를 만들어서 보이고 분석하라』는 문제이다. 문제에서 제시하였듯이 먼저 여러 차원의 프랙탈 구조를 만

들어야 하고, 이 프랙탈 구조로 회절 무늬를 얻어야 한다. 그리고 이 둘 회절무늬를 분석하여 규칙성을 찾아내야 한다. 따라서 여러 차원의 프랙탈 구조를 만들어야 하는데 프랙탈에는 아래 그림과 같이 시어핀스키 삼각형과 코흐 곡선이 있다.



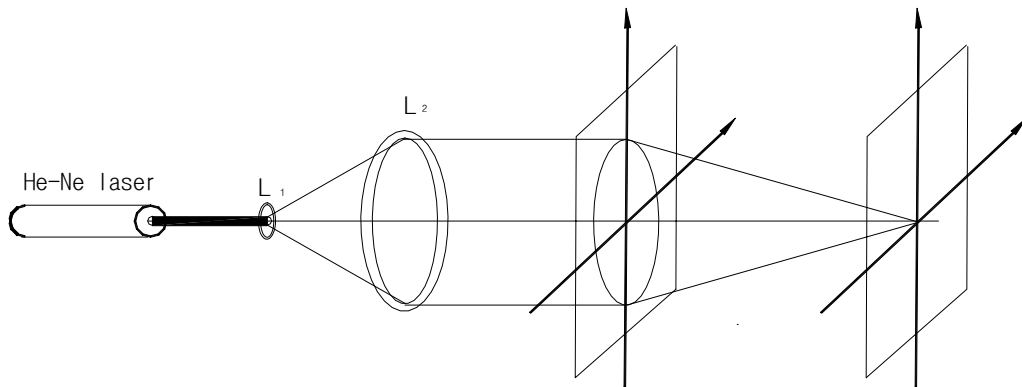
시어핀스키 삼각형

코흐곡선

<그림 1> 시어핀스키 삼각형과 코흐곡선[1,2,3,4]

따라서 본 문제를 해결하기 위해서는 먼저 이들 형태의 프랙탈 회절격자를 만들어야 한다. 프랙탈 회절격자를 만드는 방법은 『Geometer's Sketchpad 3.0』으로 원판

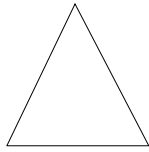

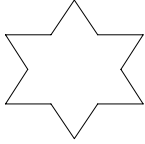

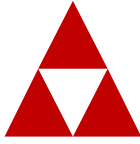
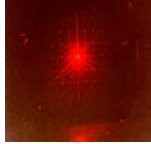
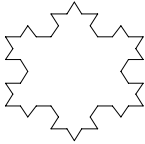


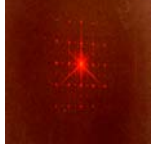
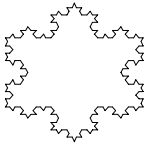


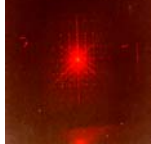
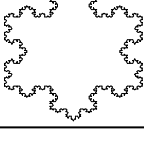

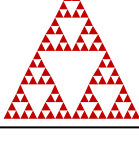

을 만든 다음 카메라로 축소 촬영하여 positive film을 만들어 슬릿으로 사용하면 된다.



<그림 2> 실험 장치[5,6]

이렇게 만들어진 프랙탈 회절격자를 위의 <그림 2>와 같이 expander로 레이저광을 확장시킨 다음 슬릿에 조사하면 스크린에 <표 3>과 같은 회절 무늬를 다양하게 얻을 수 있다.

<표 3> 프랙탈 종류에 따른 회절 무늬 패턴[6]

종류 차 수	코흐결정	코흐결정 회절무늬	시어핀스키	시어핀스키 회절무늬
N=0				
N=1				
N=2				
N=3				
N=4				

<표 3>을 분석해 보면 시어핀스키 삼각형에서 나타나는 회절무늬에서는 3개의 대칭축이 나타나며 이 대칭축은 차수와 관계없이 항상 3개로 일정하다. 이것은 수직한 단일 슬릿의 경우 수평으로 분포된 회절 무늬가 나타나는 원리에 기초하여 생각하면

쉽게 예측할 수 있는 문제이다. 또한 차수가 증가할수록 중심부분의 상이 점점 확대되는 것을 볼 수 있고, 중심에서 멀어질수록 회절 강도는 약하게 나타나는 것을 알 수 있다. 특히 차수가 증가하면 복잡한 회절무늬가 만들어지는데 이 회절무늬를 만드는 데 기여한 것에 대해서도 고찰해 볼 필요가 있다. 코흐결정 프랙탈에서도 주축은 역시 3개이며 차수가 증가하여도 대칭축은 항상 3개이다. 또한 차수가 증가할수록 폭이 증가하는 경향이 있다. 여기서도 차수가 증가하면 회절무늬의 내부가 확대되는 것을 볼 수 있으며 복잡한 회절무늬를 만드는 데 기여한 것에 대해서도 고찰해 볼 필요가 있다.

IV. 결론 및 제언

『여러 차원의 프랙탈 구조로 만들어진 회절무늬를 만들어서 보이고 분석하여라』는 문제는 고등학교 학생들에게 있어 어려운 문제이다. 이 문제를 해결하기 위해서는 여러 차원의 프랙탈 구조를 만들어야 하는데 학생들이 프랙탈에 대한 개념을 이해하고 그림을 그려 사진으로 축소하여 그레이팅을 만드는 과정이 어렵고 시간이 많이 걸려 난해한 문제로 받아들여졌을 것이다. 그레이팅만 제작하면 회절무늬를 얻는 것은 어려운 일이 아니다. 그러나 실험에서 얻어진 회절 무늬를 바탕으로 규칙성을 찾아내는 일은 쉬운 문제가 아니다. 왜냐하면 프랙탈 문제를 해결하기 전에 학생들은 회절 간섭의 가장 기본적인 경우인 구멍이 수직으로 가늘게 뚫린 단일 슬릿을 상기해야 한다.[7,8] 그리고 이 단일 슬릿과 스크린에 나타나는 회절-간섭 무늬가 에너지나 강도의 관점에서 완전한 상관관계에 있음을 알아야 하기 때문이다. 이러한 근거를 바탕으로 해서 구멍이 수평으로 된 가늘게 뚫린 단일 슬릿의 경우, 이들을 조합한 열십자 모양의 슬릿의 경우, 그리고 수직으로 가늘게 뚫린 단일 슬릿을 한 바퀴 돌려 만들어진 원형 구멍의 경우로 발전시켜 나아가는 확산적 사고를 거쳐야 한다. 또한 프랙탈 구조에 있어서도 1차원 프랙탈 구조에서 점차 차수가 높아지는 다 차원 구조로 확대하여 이들 구조와 무늬와의 상관관계를 찾아낸다면 훌륭한 탐구가 될 것이다. 고등학생 1개 팀과 중학생 1개 팀을 제외하고는 무엇을 어떻게 해결해야 하는지조차 알지 못한 것으로 보아 학생들이 회절-간섭의 가장 기본적인 핵심인 구멍과 무늬와의 상관관계에 대해서 잘 알지 못하고 있는 것으로 사료된다. 따라서 학교교육 현

장에서 물리교육을 할 때 자연에서 일어나고 있는 여러 가지 물리현상을 보고 그 속에서 새로운 규칙성을 찾아낼 수 있는 눈을 길러줄 필요가 있다. 그것이 과학의 본질을 탐구하는 기본 자세이기 때문이다.

참고문헌

- [1] Uozumi, Asakura, “Demonstration of Diffraction by Fractals”, Am. J. Phys, 1993
- [2] Uozumi, Asakura, “Fraunhofer Diffraction by Koch Fractals”, Journal of Optics, 1990
- [3] 한명수 역, “카오스와 프랙탈”, Blue Backs, 1978
- [4] 박재규 역, “프랙탈의 세계”, 김영사, 1996
- [5] 김현수 외, “직각 이등변 삼각형 구멍의 프라운호퍼 회절에 대한 고찰”, 경상대학교논문 문집 제7집, 1987
- [6] 강영호 외, “프랙탈의 프라운호퍼 회절에 관한 연구”, 제43회 전국과학전람회 설명집, 2000
- [7] 장수 외, “광학”, 도서출판 대응, 1996
- [8] 육근철, “빛의 여행”, 도서출판 벽호, 1998

Abstract

An Analysis of Students' Reports on an Assigned Problem for "Fractal Diffraction" 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" and "fractal diffraction" among ten assigned problems in the first Korean youth physics tournament (KYPT). There were three high school team's reports and one middle school team's report on this problem. However, many students failed to solve the "fractal diffraction" problem correctly due to having no idea of fractal. This problem was found to be most difficult one for the participated students among ten assigned problems given in the first KYPT.