



# 금성에서 보이는 무지개의 모습

서울대학교 컴퓨터공학부 이민준



ENGINEERING  
COLLEGE OF ENGINEERING  
SEOUL NATIONAL UNIVERSITY  
서울대학교공과대학

## Introduction

연구 동기: 무지개는 구름 속 액체 상태의 물이 태양광을 반사 및 굴절시키는 현상으로 구름 속 다른 액체 방울이 존재하는 다른 행성에서는 다른 모양의 무지개가 뜰 것이다.

연구 목적: 금성에서 보일 것으로 예측되는 무지개의 모양을 파이썬 시뮬레이션을 통해 시각화하는 연구이다.

## Background

### I. 금성 대기 속 무지개 발생 원인

금성의 대기 중에서 상부 구름의 75%가 액체 황산인 만큼 금성에서 무지개를 발생시키는 주요 원인을 황산일 것이라 한정하고 연구를 진행했다. [2]

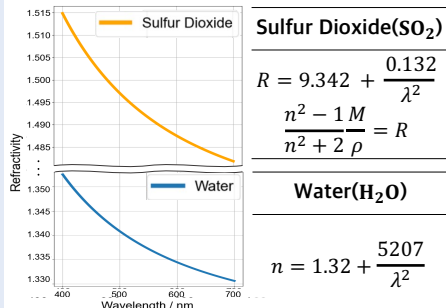
### II. 물과 황산의 굴절률

빛은 매질에서 파장에 따라 이동속도에 차이가 존재하기에 굴절률( $n$ )은 파장( $\lambda$ )에 대한 식으로 존재하는데 이 식을 일반화한 것이 Cauchy's equation이며 각 계수는 실험적으로 얻을 수 있다.

$$n(\lambda) = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4} + \dots \quad (1)$$

지구에서 무지개를 형성하는 물과 금성에서 무지개를 형성할 것으로 예측되는 황산에 대해 굴절률에 대한 식을 얻는다(오른쪽 표). [3], [4] 이를 토대로 가시광선 범위에서 굴절률을 구할 수 있다 (왼쪽 그래프).

( $n$ : 굴절률,  $\lambda$ : 파장, R: 물 굴절률)



Sulfur Dioxide(SO<sub>2</sub>)

$$R = 9.342 + \frac{0.132}{\lambda^2}$$
$$\frac{n^2 - 1}{n^2 + 2} \frac{M}{\rho} = R$$

Water(H<sub>2</sub>O)

$$n = 1.32 + \frac{5207}{\lambda^2}$$

\*황산에 대해서는 molar refractivity에 대한 Cauchy's equation을 구한 선행 연구가 있었기에 lorentz-lorenz equation으로 굴절률로 바꿔줬다.

## Background (Continued)

### III. 무지개 현상의 광학적 배경

무지개는 작은 구 형태의 액체에 의해 발생하는 현상이다. 이때 빛이 액체 방울에 입사할 때 반사되는 빛의 각도를 표현할 수 있다. 이를 기하적으로 계산하여 입사각( $x$ )에 따른 굴절각( $D$ )을 계산해낼 수 있고  $x$ 에 따른 빛의 세기 함수를 구할 수 있다. [1]

$$D(x) = \pi - \left( 4 \sin^{-1} \frac{x}{n} - 2 \sin^{-1} x \right) \quad (2)$$

$$I \propto \left| \frac{x}{\sin D} \left( \frac{dD}{dx} \right)^{-1} \right| \quad (3)$$

식(1)을 보면 굴절률 ( $n$ )이 함수에 포함되어 빛의 세기에 영향을 주는 것을 알 수 있다. 즉 굴절률이 무지개의 모양을 좌우하는 것이다.

## Method

무지개에 대한 광학적 지식을 토대로 무지개 생성 모델을 프로그래밍을 통해 구현한다. 프로그래밍 언어인 Python을 통해 구현하며 시각화는 Python 라이브러리 중 하나인 matplotlib을 사용한다.

### I. 무지개 스펙트럼 생성 코드 작성 (Python)

- 가시광선 파장대(400~700nm)를 30개의 동일 간격으로 나눈다.
- 물의 굴절률을 각 파장마다 구한다.
- 식 (2)를 사용하여 입사각에 따른 빛의 세기를 구한다.
- 식 (1)을 활용하여 이를 각 반지름에 따른 빛의 세기로 변환한다.
- 황산에 대해 2~4번을 반복한다.

### II. 스펙트럼 시각화 코드 작성 (Python)

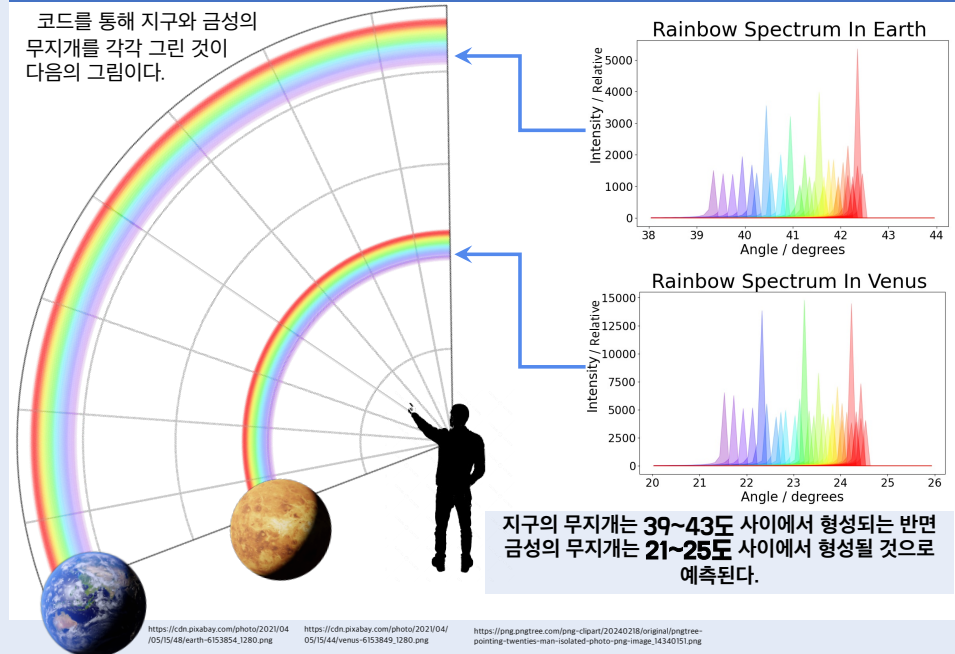
- 파장에 해당하는 색의 RGB 코드를 구한다.
- 파장별로 구한 무지개 스펙트럼을 하나의 그래프에 중첩한다.
- 지구와 금성 각각의 무지개 그래프를 극 좌표계에 한 번에 표시하여 최종 그래프를 그린다.

무지개 생성 모델 코드 (github)



## Result

코드를 통해 지구와 금성의 무지개를 각각 그린 것이 다음의 그림이다.



지구의 무지개는 39~43도 사이에서 형성되는 반면 금성의 무지개는 21~25도 사이에서 형성될 것으로 예측된다.

## Discussion

연구 분석: 이 연구의 무지개 모양 예측 모델은 지구 무지개의 각 반지름(40~42도)을 상당히 정확하게 예측했다. 이와 같은 정확도를 바탕으로 금성에서의 무지개 모양을 예측한 결과는 높은 신뢰성을 가지고 있다고 볼 수 있다.

연구 한계: 한 논문에서 지적하듯 금성의 대기에서 빛을 산란시키는 물질이 황산만 있는 것이 아니다. submicron aerosols 등 대기의 굴절률을 올리는 다른 물질들이 금성 대기에 존재하며 이를 보완할 필요가 있다. [2]

후속 연구 제안: 금성의 대기는 지구에 비해 두껍기에 어떤 대기 깊이 범주에서 무지개가 보일 정도의 태양광이 도달하는지 연구해본다.

## Conclusion

이번 연구에서는 파이썬 시뮬레이션을 통해 금성에서의 무지개 모양을 예측했다. 지구에서 실제로 관측되는 무지개의 모양으로 검증하여 모델의 신뢰성을 검증했다.

- [1] M. V. Berry, "Nature's optics and our understanding of light," *Contemporary Physics*, pp. 1-15, Oct. 2014, doi: <https://doi.org/10.1080/00107514.2015.971625>.
- [2] W. J. Markiewicz et al., "Glory on Venus cloud tops and the unknown UV absorber," *Icarus (New York, N.Y. 1962)*, vol. 234, pp. 200-203, May 2014, doi: <https://doi.org/10.1016/j.icarus.2014.01.030>.
- [3] A. N. Bashkatov and E. A. Genina, "Water refractive index in dependence on temperature and wavelength: a simple approximation," *SPIE*, 2003, doi: <https://doi.org/10.1117/12.518857>.
- [4] M. Musso, R. Aschauer, A. Asenbaum, C. Vasi, and E. Wilhelm, "Interferometric determination of the refractive index of liquid sulphur dioxide," *Measurement science & technology*, vol. 11, no. 12, pp. 1714-1720, Nov. 2000, doi: <https://doi.org/10.1088/0957-0233/11/12/310>.