

2017년도 인문자연탐사 보고서

‘계룡산을 찾구하다’

기압차를 이용한 산의 등산 높이 계산

2017. 08. 21

강유현, 공태현, 김승우, 김지윤

지도교사 : 곽승철



기압차를 이용한 산의 등산 높이 계산

세종과학예술영재학교

2201 강유현, 2202 공태현

1201 김승우, 1202 김지윤

1. 탐사의 필요성 및 이론적 배경

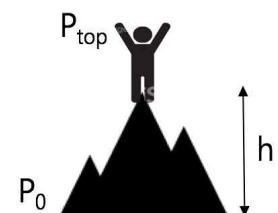
가. 내가 오른 산의 등산 높이는.....?

수통골에 도착한 직후, 우리는 안내 책자와 지도를 통해 손쉽게 금수봉과 도덕봉 등 수통골 근처의 여러 봉우리의 해발고도에 대해 알 수 있었다. 하지만, 해발고도는 기준이 되는 해수면인 수준원점으로부터 측정 대상까지의 높이로, 우리가 실제로 등산하고자 하는 높이보다는 좀 더 큰 값을 나타낸다. 이에 우리는 실제 우리가 등산할 높이를 알아보기 위해 수통골의 시작 지점에서 핸드폰의 고도계 어플리케이션을 이용하여 등산로 시작 지점의 해발고도를 알아내려 하였다. 만약 이를 알 수 있다면, 등산하고자 하는 봉우리의 해발고도와의 차이가 바로 등산할 높이이기 때문이다. 우리가 사용한 고도계 애플리케이션의 경우 인공위성을 이용한 GPS, 위치 기반 시스템, 그리고 기압을 이용하여 고도를 측정하는 어플리케이션이었다. 하지만, 이 세 가지 데이터는 모두 120m 정도에 근접하였지만, ±10m(약 10%)의 오차를 보였고, 같은 장소에서 업데이트 할 때마다 값이 변하였다. 이로 인해서 우리는 어떻게 하면 정확하게 내가 올라간 고도를 알아낼 수 있을까 고민하게 되었고, 그러던 중 산을 오르며 기압을 측정하고 출발할 때 측정한 기압과의 차이를 구하게 된다면, $\Delta P = \rho g (\Delta h)$ 라는 수식을 이용하여 우리가 올라온 고도(Δh)를 구할 수 있을 것이라는 생각을 하게되었다.

나. 이론적 배경

1) 높이 차이와 압력의 관계

등산로 시작 지점의 압력을 P_0 , 정상에서의 압력을 P_{top} , 그리고 두 점의 높이 차이를 h 라 하자. 수통골 근처에 위치한 봉우리의 경우 해발고도가 500m 즈음이기 때문에 공기의 밀도는 고도에 무관하게 일정하다고 근사할 수 있다. 이때의 공기 밀도를 ρ 라 하자. 그러면 압력의 정의에 의해 각각의 위치에 작용하는 압력이 다음과 같다. (A 는 각 위치에서의 지표면에, H 는 대기권의 높이에 해당한다.)



[그림 1] 변수 설정

$$P_0 = \frac{F}{A} = \frac{\int_0^H \rho_{air} g Adh}{A} = \int_0^H \rho_{air} g dh$$

이 때, 앞에서의 가정에 의해 높이 h 까지는 $\rho_{air} = \rho$ 로 일정하다 할 수 있으므로 위의 식을 좀 더 전개해 보면 다음과 같다.

$$P_0 = \int_0^h \rho g dh + \int_h^H \rho_{\text{air}} g dh = \rho g h + P_{\text{top}}$$

$$\Rightarrow P_0 - P_{\text{top}} = \rho g h$$

따라서, 높이 차이와 압력 차이는 서로 비례한다. 우리는 이 식을 기반으로 탐구를 진행할 것이며, 같은 시간에 측정한 정상과 등산로 시작 지점의 압력차를 이용하여 등산 높이를 추론할 것이다.

2) 밀도와 습도 사이의 관계

수증기는 H_2O 분자의 기체 상태로, 분자량은 약 18이다. 그런데, 공기는 대략 78%의 질소, 21%의 산소, 0.93%의 아르곤 등으로 이루어져 있으며, 평균 분자량은 약 29로, 수증기의 약 1.5배이다. 이 때, 아보가드로 법칙에 의해 같은 압력과 온도에서는 같은 부피 속에 같은 몰수의 기체가 들어있으므로, 수증기가 많은 지역일수록 공기의 밀도가 감소하게 될 것이라 생각할 수 있다. 이렇듯 수증기는 공기의 밀도에 영향을 주는데, 그를 계산하는 식은 다음과 같다.

$$\rho = \rho_{da} \times \frac{1+x}{1+1.609x} \quad (\rho : \text{공기의 밀도}, \rho_{da} : \text{건조 공기의 밀도}, x : \text{절대 습도})$$

우리는 이 식을 그 지역의 공기 밀도를 구하는데 이용하여, 더욱 정확한 고도를 추론하기 위해 사용할 것이다.

2. 탐사 과정

가. 활동 일자 별 활동 내역

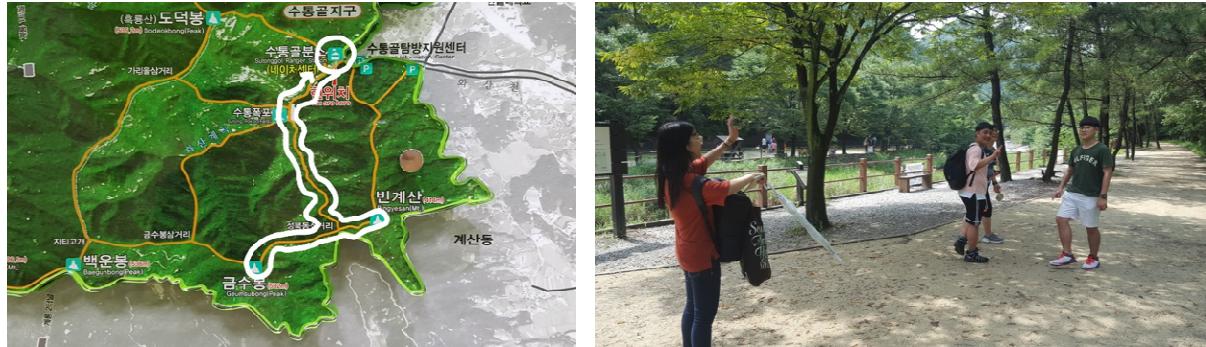
1) 활동 내역

| 활동 일자 | 활동 내역 |
|--------|---|
| 7월 7일 | -탐구 주제 선정을 위한 토의 및 계획서 작성 |
| 8월 21일 | -계룡산 수통골 사전 탐사 및 주제 변경 -탐사를 위한 실험 계획 |
| 8월 22일 | -계획한 실험 진행 -실험 지점 1-빈계산 12:15 도착, 12:18~12:28 실험1 진행 -실험 지점 2-금수봉 1:28 도착, 1:32~1:42 실험2 진행 -실험 데이터 정리 및 발표 자료(PPT) 틀 제작 |
| 8월 23일 | -발표 자료(PPT) 최종 완성 및 인문자연탐사 발표 연습, 실제 발표 -인문자연탐사 보고서 작성 |

나. 탐사 방법

1) 탐사 경로

탐사 진행 장소는 계룡산 수통골 코스이며 실험을 진행한 지점은 등산 시작 지점과 빈계산 정상, 그리고 금수봉 정상이다.



[사진 1] 탐사 경로 및 탐사 실험 초기 활동 모습

2) 탐사 준비물

기본 탐사 준비물인 물, 우비, 카메라(혹은 휴대폰의 카메라 기능), 필기도구, 메모지와 별도 준비물인 아네로이드 기압계 2개와 당일 기상청 예보 소식을 준비하였다.

다. 탐사 과정

1) 실험 계획

앞에서 간단하게 언급하였지만 이번 탐사의 경우 등산 시작점의 고도를 계산해서 산봉우리들의 실제 등산 높이를 계산하는 것이 궁극적인 탐사 목적이다. 과정을 자세히 설명하기에 앞서 간단히 정리하자면 우리는 계룡산 국립공원 측에서 제공받은 자료로 산 정상 봉우리들의 해발고도를 알고, 산 정상과 시작 지점의 기압 차이, 그리고 실험 당시의 공기 밀도를 예측할 수 있기 때문에 $\Delta P = \rho gh$ 라는 식을 이용하여 산 정상과 시작 지점의 고도 차이를 알아낼 수 있다. 즉 이 고도 차이를 산의 해발고도에서 빼면 산의 등산 시작 지점 해발고도를 알 수 있는 것이다. 그리고 이 값을 다른 봉우리의 해발고도에서 빼면 각각의 봉우리 등산 높이를 계산할 수 있다.

2) 실험 과정

1. 두 조로 나누어서 진행한다.

(실험 조를 두 조로 나누는 이유는 고도를 제외한 다른 환경적 요소가 가장 유사한 실험을 진행하기 위해서 동시간대에 서로 다른 고도에 존재하는 두 팀이 필요했기 때문이다.)

2. 실험 시작 전 세 개의 아네로이드 기압계를 모두 동시에 1000hpa로 맞춰 놓는다.

(이와 같이 실제 기압으로 보정되지 않은 기압계를 사용한 이유는 실험 시 정확한 기압이 아닌 두 기압계가 측정한 기압의 차이만 알면 되기 때문이다.)

3. 한 조는 수통골의 시작 지점에서 대기하고, 다른 조는 빈계산 정상까지 이동한다.

4. 등산 조가 정상에 도착하면 전화를 이용하여 시작 지점 대기조와 통신한 다음 동시에 같은 시점부터 2분 간격으로 총 5회 아네로이드 기압계를 이용하여 기압을 측정한다.
5. 등산조는 다시 빙계산에서 금수봉으로 이동한다.
6. 등산조가 금수봉에 도착하면 3번의 과정을 한 번 더 반복한다.
7. 학교로 이동해서 기록한 값들을 이용, 수통꼴 시작 지점의 고도를 기압 차이와 공기의 밀도를 고려하여 계산한다.
8. 시작 지점의 고도를 이용해서 금수봉, 빙계산을 비롯한 다른 봉우리들의 등산 높이도 구해준다.

3. 탐구 결과

가. 공기 밀도 계산

1) 기상청 정보

등산을 하여 두 실험을 실시한 시간이 12시 18분에서 13시 42분 사이인데 이때 기상청에서 발표된 상대 습도가 12시에 84%, 13시에 77%, 14시에 80%였으므로 탐사 기간 중 상대 습도는 80%로 가정하였다. (기상청은 습도 정보를 한 시간 간격으로 제공하기 때문에 위와 같이 습도 계산 방법을 정하였다.) 이 때 습도를 평균치의 소수점 첫째자리까지 고려한 80.3으로 계산하지 않은 이유는 상대습도를 절대습도로 변환할 때 아래의 [그림 2] 상대습도 절대습도 변환 표를 참고하였기 때문이다. 우리가 탐구 결과를 계산할 때 사용한 상대습도 절대습도 변환 표의 상대습도 수치 간격이 5%이기 때문에 평균치와 가장 유사한 상대습도 80%의 변환 값을 참고할 수밖에 없었다. 상대습도를 절대습도로 변환하는 식이 따로 존재하기는 하지만 상대습도를 절대습도로 변환할 때 포화 수증기압과 수증기 분압을 요구한다. 따라서 이를 대입하여 계산 시 기상청에서 알려주는 대전 시내의 수증기 분압을 사용해야하기 때문에 오히려 계룡산과는 거리가 먼 수치가 나올 것으로 보여 위와 같은 결정을 하게 되었다. 또한 기온의 경우 12시에 29.3°C, 13시에 30.1°C, 14시에 29.9°C였다. 따라서 평균인 29.8°C와 가장 가까운 온도인 30°C를 온도 값으로 이용하였다. 이와 같은 근사를 이용한 이유는 앞과 같이 표 사용의 한계 때문이다.

| 일시 | 날씨 | | | | 기온(°C) | | | 강수 | |
|--------|------|-------|---------|------|--------|--------|-------|--------|------|
| | 현재일기 | 시정 km | 운량 1/10 | 중하운량 | 현재 기온 | 이슬점 온도 | 불쾌 지수 | 일강수 mm | 습도 % |
| 22.14H | 맑음 | 20 이상 | 2 | 1 | 29.9 | 26.0 | 83 | 0.7 | 80 |
| 22.13H | 구름조금 | 20 이상 | 4 | 4 | 30.1 | 25.6 | 83 | 0.7 | 77 |
| 22.12H | 비 끝남 | 20 이상 | 6 | 6 | 29.3 | 26.3 | 82 | 0.7 | 84 |

[그림 2] 실험 시간대의 기상청 날씨 자료

2) 절대 습도

상대습도와 기온을 통해 절대습도를 구하면, $25.9\text{g}/\text{m}^3$ 이다.

| 상대습도 (%) | 대기온도($^{\circ}\text{C}$) | | | | | | | | | |
|-------------|----------------------------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| | -5 | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 |
| 90 | -6.5 | -1.3 | 3.5 | 8.2 | 13.3 | 18.3 | 23.2 | 28.0 | 33.0 | 38.2 |
| 85 | -7.2 | -2.0 | 2.3 | 7.3 | 12.5 | 17.4 | 22.1 | 27.0 | 32.0 | 37.1 |
| 80 | -7.7 | -2.8 | 1.9 | 6.5 | 11.6 | 16.5 | 21.0 | 25.9 | 31.0 | 36.2 |

[그림 3] 특정 온도에서의 상대습도 절대습도 변환 표

3) 공기 밀도

공기 밀도를 아래 식을 통해 구하면 $1.27\text{kg}/\text{m}^3$ 이다.

$$\text{공기 밀도} = \text{건조 공기 밀도} \times \frac{1 + \text{절대습도}}{1 + \text{절대습도} \times 1.609} \quad (\text{건조 공기의 밀도} = 1.293\text{g}/\text{m}^3)$$

나. 빙계산과 출발지의 고도차 측정

1) 빙계산과 출발지의 기압차

빙계산과 출발지의 기압을 측정하여 그 기압차를 측정한 결과 아래 [표 1]과 같았다.

| 시간 | 12:18 | 12:20 | 12:22 | 12:24 | 12:26 | 평균 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 아네로이드 기압계 | 35.5 | 35.6 | 35.6 | 35.1 | 35.1 | 35.4 |

[표 1] 빙계산 정상과 출발지에서의 기압차(hPa)

2) 빙계산과 출발지의 고도차

$\Delta P = \rho gh$ (ρ = 밀도, g = 중력가속도, h = 고도) 식을 이용하여 빙계산과 출발지의 고도차 즉, 빙계산의 등산 높이를 계산한 결과 아래 [표 2]과 같았다. 또한 빙계산의 해발고도(414m)를 이용해 출발지의 해발고도를 도출했다.

| | 빙계산의 실제 등산 높이(m) | 출발지의 해발고도(m) |
|-----------|--------------------|--------------------|
| 아네로이드 기압계 | 2.84×10^2 | 1.30×10^2 |

[표 2] 빙계산 실제 등산 높이와 출발지의 해발고도(m)

다. 금수봉과 출발지의 고도차 측정

1) 금수봉과 출발지의 기압차

금수봉과 출발지의 기압을 측정하여 그 기압차를 측정한 결과 아래 [표 3]과 같았다.

| 시간 | 13:32 | 13:34 | 13:36 | 13:38 | 13:40 | 평균 |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| 아네로이드 기압계 | 50.1 | 49.5 | 49.4 | 49.5 | 49.0 | 49.5 |

[표 3] 금수봉 정상과 출발지에서의 기압차(hPa)

2) 금수봉과 출발지의 고도차

$\Delta P = \rho gh$ (ρ = 밀도, g = 중력가속도, h = 고도) 식을 이용하여 금수봉과 출발지의 고도차 즉, 금수봉의 등산 높이를 계산한 결과 아래 표와 같았다. 또한 금수봉의 해발고도(532m)를 이용해 출발지의 해발고도를 도출했다.

| | 금수봉의 실제 등산 높이(m) | 출발지의 해발고도(m) |
|-----------|--------------------|--------------------|
| 아네로이드 기압계 | 3.97×10^2 | 1.35×10^2 |

[표 4] 금수봉 실제 등산 높이와 출발지의 해발고도(m)

4. 결론 및 제언

가. 결론

본 탐구를 통하여 계룡산 수통골의 대표적인 두 봉우리인 빈계산과 금수봉의 등산 높이를 알아보았다. 계룡산 측에서 제공하는 산 정상 높이는 해발 고도이기에 등산객들이 자신이 얼마의 높이를 올라갔는지 알아보는 것에는 실질적으로 도움이 되는 정보가 아니다. 그렇기에 우리는 실제로 등산을 할 때 올라가는 높이를 계산하고자 하였으며 이를 기압 차를 이용하여 측정, 계산했다. 출발지와 빈계산 정상에서 기압차를 측정한 뒤에 평균을 구한 결과 35.4hPa이었으며, 정유체 역학적 평형을 고려한다면 그 높이 차 즉, 빈계산의 등산 높이는 284m였다. 금수봉의 경우에는 평균 49.5hPa의 기압차를 보였고 이를 빈계산과 동일하게 높이를 계산한 결과 397m임을 도출해 낼 수 있었다. 또한 빈계산의 해발고도(414m)와 금수봉의 해발고도(532m)를 통해서 출발지의 해발고도를 역으로 추정해 본 결과 빈계산의 데이터로는 130m이고, 금수봉의 데이터로는 135m로 5m의 오차만을 보였다. 휴대폰 어플리케이션 중 가장 널리 사용되고 있는 어플리케이션이 10m 정도의 오차를 보인 것에 비하여 매우 정확함을 알 수 있다. 또한 실험을 통해 최종적으로 결정한 수통골 시작 지점의 해발고도는 133m(유효숫자 고려 시)로, 이를 이용하여 수통골에 있는 4개 봉우리의 등산 높이를 계산해보면 도덕봉은 402.2m, 백운봉은 403m, 금수봉은 399m, 빈계산은 281m이다.

나. 제언

1) 기압계 측정의 정확성 보완

실험할 때 사용한 아네로이드 기압계는 측정 범위가 600에서 1100hPa 정도로, 측정 범위

가 평소 사람들이 산을 등반할 때 생기는 압력차에 비해 너무 컸으며, 예상보다 기압계의 침이 두꺼워 정확한 기압 측정이 어려웠다. 우리가 실험을 진행할 때 사용한 아네로이드 기압계의 최소 눈금 단위는 0.5hPa이다. 따라서 압력의 측정 눈금 단위와 측정 범위가 더 세밀한 기압계(혹은 디지털 기압계)를 사용한다면 더 정확한 실험값 측정이 가능할 것이다.

2) 등산 중 실시간 고도 측정의 어려움 보완

계룡산 입구에서 나눠주는 지도는 정상 지점의 고도만 표시되어 있다. 그래서 등반을 하면서 기압계로 기압이 감소하는 것은 가능해도 고도에 따라 감소하는 척도, 즉 압력이 급감했는지 완만히 떨어지는지는 파악하기 힘들었다. 이로 인해 해발고도가 확실히 표시되어 있는 실험 장소를 최대한 많이 마련하기 위해 봉우리를 빈계산과 금수봉, 두 개의 산봉우리 정상까지 등산해야 했다. 만약 산의 평면으로 나타난 지도뿐만 아니라 단면까지 파악한 뒤 실험을 한다면 실시간으로 등반하면서 압력 감소의 척도 역시 파악할 수 있을 것이다.

3) 등산 중 실시간 습도 및 공기 밀도 변화 측정의 어려움 보완

이번 실험에서는 습도변화를 바탕으로 공기의 밀도를 고려하였고, 이를 식에 대입하여 압력 차와 공기 밀도의 관계로 높이 차이를 계산하였다. 하지만 실험을 진행할 때 운반 등의 문제로 습도계를 들고 가지 못했고, 습도 변화를 실시간으로 고려할 수 있을 만큼 자료를 기록하는 장치가 충분하지 않았다. 습도와 공기 밀도에 변화를 시간의 변화에 따라 더 세밀하게 알 수 있었다면 적분을 통해 실험 수치의 정확도를 더 향상시킬 수 있을 것이다.

4) 주어진 수치의 신뢰도 보완

또한 계룡산 측에서 제공하는 지도에 표시된 산의 해발고도 역시 정확한 것은 아니다. 또한 우리가 실험할 때 설정한 변수들 역시 모든 변수가 완벽하게 통제되었다고 확신할 수는 없는 부분이다. 실험 결과의 계산 과정에서 많은 수치가 근사되었고 그로 인해 결과로 나온 수치에도 약간의 오차가 존재한다. 만약 좀 더 많은 시간과 장비가 제공되었다면 해결 할 수 있을 것이다.

5. 활동 후기

가. 개인 활동 소감

강유현: 오랜만에 등산을 하면서 계룡산이 담고 있는 자연의 여러 가지 모습을 볼 수 있었고, 오랜만에 자연 속에서 긴 시간을 보내 즐거웠다. 또한, 이번 기회에 기압을 이용하여 실제 고도를 정하는 활동을 진행하며 기존에 배웠던 여러 물리 지식을 검증할 수 있었기에 굉장히 뜻깊은 탐사였다. 알고 있는 지식을 단순히 종이로서만 표현하는 것이 아니라 직접 발로 걸으며 탐구에 적용시킬 수 있어서 좋았다. 다음 기회에도 보람찬 탐사를 진행할 수 있었으면 좋겠다.

공태현: 초반에 산을 오르면서는 하나의 실험 진행을 위해 산 정상에 두 번 올라야 한다는 것에 너무 힘들 것 같다는 생각을 했는데 등산을 하다 보니 자연스럽게 주위의 자연환경에도 관심을 가질 수 있었고 편안함을 느낄 수 있어 좋았다. 등산 중 산 아래의 경치를 한 눈에

볼 수 있는 장소들이 있었는데 계룡산 수통골 일대가 한 눈에 보이는 것이 매우 아름다웠다. 또한 이번 탐사는 조원들이 함께 협력하며 서로를 더 잘 알아갈 수 있었던 기회였던 것 같다.

김승우: 첫 날은 종일 비가 와서 습한데다가 더워서 탐사를 할 수 있는 컨디션이 아니었다. 하지만 둘째 날은 날씨가 화창해서 탐사를 수월하게 진행할 수 있었다. 다음 인문자연탐사 때는 예보에 맞추어 탐사 계획을 세워 학생들이 탐사를 더 수월하게 진행할 수 있는 기회를 얻을 수 있었으면 좋겠다. 다른 조들과 주제가 겹치다 보니 주제를 재선정하느라 꽤나 어려움이 있었지만 산 정상에 오르자 눈앞에 펼쳐진 경치를 보면 등산의 피로는 잊고 보람을 느꼈다.

김지윤: 탐사 1일차에는 비도 오고 열심히 달리는 다른 조들과 달리 우리 조의 실험이 정해지지 않은 상태라 걱정이 많았다. 하지만 조원들과 토의 중 탐사 결과물에만 치중하기보다는 자연을 경험한 것에 더 의의를 두는 것이 어떻겠냐는 지도 교사님의 조언을 듣고, 1일차에는 자연을 즐기고 토의하는 시간을 즐길 수 있었다. 그런 뒤 2일차에 정해진 주제로 팀원들과 함께 서로 배려하며 탐사를 진행하자 결국 우리의 호기심을 담은 산출물을 만들어 낼 수 있었던 것 같다.



[사진 2] 활동 사진

나. 감사의 말

1) 지도교사를 맡아주신 곽승철 선생님

기압계, 고도계 겸 기압계 등 측정에 필요한 장비들을 빌려주고 탐사 일정 내내 여러 뜻깊은 조언을 해주시며 저희를 걱정해주신 곽승철 선생님께 감사드립니다.

2) 계룡산 수통골 관리자

저희 조의 사진촬영 부탁에 응해주고, 비가 왔던 탐사 첫날 저희를 사무실에 들여 따뜻한 커피를 대접해주시며 계룡산의 역사와 세종시 뒷산에 관한 많은 이야기를 들려주신 계룡산 관리자께 감사드립니다.

3) 나눔을 베푼 등산객

둘째 날 계룡산을 등반했을 때 빈계산 정상에서 우리를 걱정 해주시며 여러 먹거리를 주신 모든 등산객 분들의 나눔에 감사드립니다.

4) 함께 탐사한 조원들

함께 고생하며 탐사를 무사히 끝마친 우리 조원들에게 감사드립니다.

6. 참고 문헌

▶ 계룡산 국립공원 홈페이지 - 수통골 산봉우리 정상 해발고도 및 기본 자료

<http://gyeryong.knps.or.kr/front/portal/visit/visitCourseMain.do?parkId=120200&menuNo=7020086>

▶ The engineering tool box - 습도를 고려한 공기 밀도 계산식

http://www.engineeringtoolbox.com/density-air-d_680.html

▶ 청소꾼 이야기 블로그 - 상대습도 절대습도 변환 표 데이터

<https://m.blog.naver.com/PostView.nhn?blogId=deck65&logNo=220866552681&proxyReferer=http%3A%2F%2Fwww.google.co.kr%2Furl%3Fsa%3Di%26rct%3Dj%26q%3D%26esrc%3Ds%26source%3Dimages%26cd%3D%26ved%3D0ahUKEwiEmLnehvDVAhWGxbwKHQf1C8YQjhwIBQ%26url%3Dhttp%253A%252F%252Fm.blog.naver.com%252Fdeck65%252F220866552681%26psig%3DAFQjCNHIAZgUPMbvDLrBXY8iwjASNfomJg%26ust%3D1503670285062859>

▶ 기상청 사이트 - 실험 당시의 습도 데이터

http://www.kma.go.kr/weather/observation/currentweather.jsp?tm=2017.8.22.2:00&type=t99&mode=0&auto_man=m&stn=133