



5주차 물의 행성

1교시 압력과 대기압

유체에서 일어나는 재미있는 현상

유체는 액체와 기체를 말합니다.

높은 산을 등산하거나, 깊이 다이빙하는 경우 유체에 의한 압력의 영향을 느낀 적이 있을 것입니다. 배를 물 위에 뜨게 하는 부력, 인체 내에서 혈관 및 심장에서 압력 등과 같이 유체와 관련된 현상들은 매우 다양하고 우리의 일상생활과 밀접하게 연관되어 있습니다.

1. 밀도

✎ 유체의 밀도는 다음과 같이 정의합니다. 유체의 질량을 M, 유체의 부피를 V라 하면,

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (\text{밀도의 단위는 kg/m}^3 \text{ 입니다.})$$

기체는 쉽게 압축될 수 있으므로 밀도가 압력에 따라서 변합니다.

액체는 쉽게 압축되지 않으므로 밀도가 압력에 관계없이 거의 일정합니다.



참고: 여러 가지 물질의 밀도

물질	밀도(kg/m ³)
공기(1기압, 20도씨)	1.20
물	1 X 10 ³
얼음	0.92 X 10 ³
철	7.8 X 10 ³
금	19.3 X 10 ³
백색왜성	10 ¹⁰
중성자 별	10 ¹⁸

예제 1)

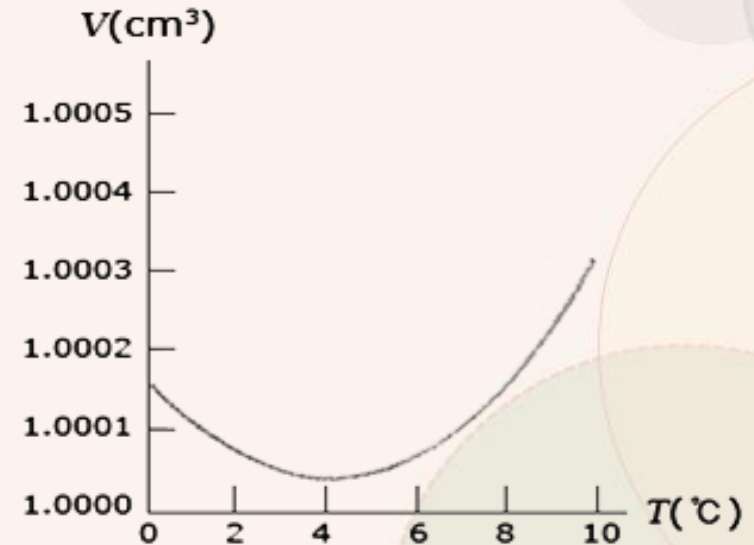
호수가 표면부터 어는 이유는 무엇인가?

풀이)

오른쪽 그림은 물 1g에 대한 부피가 온도에 따라서 변하는 모양을 나타낸 그래프입니다. 물은 특이하게도 **4°C 근처에서 밀도가 가장 큼니다** (부피가 가장 작습니다). 겨울날 호수 표면으로 차가운 공기가 불어오면 호수 표면의 온도가 내려가 4°C 에 도달합니다. 4°C 물의 밀도가 가장 크므로 호수 표면의 물이 호수 아래로 내려가고 밀도가 낮은 호수 안쪽의 물이 호수 표면으로 상승합니다. 결국 호수 전체의 온도가 4°C에 도달합니다. 온도가 4°C 이하로 내려가면 밀도가 4°C 보다 작기 때문에 4°C 이하의 물은 계속 호수 표면에 머물립니다.

결국 온도가 영하로 내려가면 호수의 표면부터 얼기 시작하여 얼음이 호수 안쪽으로 성장합니다. 물의 이러한 특이성 때문에 물속의 생명체가 빙하기 때에 살아남았을 것으로 추정됩니다.

❏ 얼음의 밀도는 왜 물보다 작을까요?



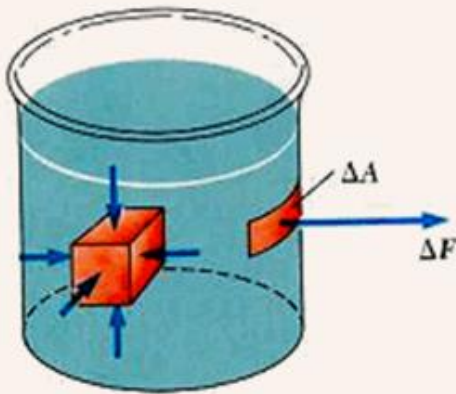
2. 압력

✎ 우리는 유체(공기) 속에서 살고 있습니다. 등산을 하거나 수영을 할 때 압력의 변화를 경험합니다. 압력의 정의는 매우 간단하지만 압력의 효과는 매우 흥미로우며 많은 경우 사람들은 압력의 영향을 잘못 이해하고 있는 경우가 많습니다.

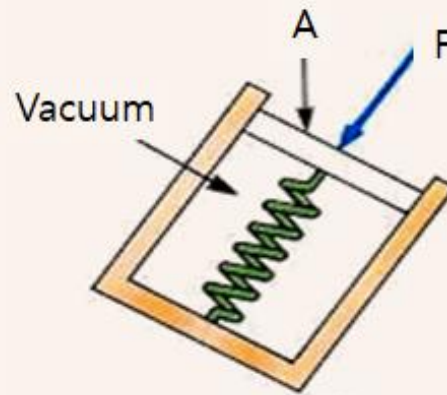
압력은 한 단면에 작용하는 힘을 그 단면의 면적으로 나눈 것으로 정의합니다.

$$\text{압력} = \frac{\text{힘}}{\text{면적}}$$

압력의 단위는 $1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$ 입니다. Pa는 Pascal(파스칼)이라 읽습니다.
 1m^2 의 면적에 1N의 힘이 작용할 경우 압력을 1Pa(Pascal)이라 합니다.



압력은 유체의 단면에 작용하는 힘을 단면적으로 나눈 것이다



단면에 작용하는 힘은 그림과 같은 압력 측정장치에서 수축한 스프링의 길이를 측정하여 측정할 수 있다.

예제 1)

삼페인 병마개를 철사로 묶어두는 이유는 무엇인가?

풀이)

삼페인의 온도가 올라가거나 삼페인 병을 흔들면 삼페인에 녹아있던 이산화탄소가 기체가 됩니다. 따라서 삼페인 병의 **압력이 급격히 증가하므로** 병뚜껑을 철사 줄로 묶어 두지 않으면 병마개가 튕겨나갈 것입니다.

예제 2)

창, 주사기가 뚫직한 이유는 무엇인가?

풀이)

창, 주사기는 모두 표면을 뚫고 들어가도록 뚫직하게 만들었습니다.

표면에 큰 압력이 작용하면 그 표면을 뚫기 쉽습니다.

창, 주사기의 끝을 뚫직하게 만들면 **힘이 작용하는 단면적이 작아지므로 큰 압력**을 가할 수 있습니다.

예제 3)

모래함정에 빠졌을 때 빠져나올 수 있는 가장 좋은 방법은 무엇인가?

풀이)

정답은 “**눕는다**.”입니다.

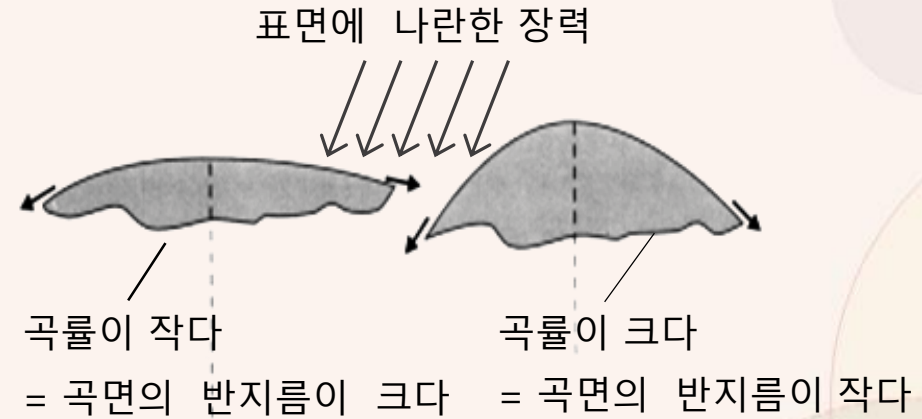
이렇게 하면 몸무게가 넓은 면적에 작용하므로 모래에 가해지는 압력이 줄어듭니다. 따라서 가라앉는 속도를 줄일 수 있습니다. 누운 다음 빠진 발을 빼고, 모래가 없는 곳으로 굴러서 나오면 됩니다.

예제 4)

처음 풍선을 불기 어려운 이유는 무엇인가?

풀이)

풍선은 처음 불기가 어려우며, 일단 풍성이 부풀어 오르면 불기가 쉽다. 그 이유는 무엇일까? 풍선 내부의 압력을 결정하는 가장 중요한 요소는 **풍선 표면에 작용하는 표면장력**이다. 오른쪽 그림은 풍선이 크게 부풀었을 때와 풍선이 작은 크기일 때 풍선 표면을 따라서 작용하는 표면장력과 반지름을 나타낸 것이다.



작은 풍선은 표면이 많이 휘어 있으므로 곡면의 반지름이 작다. 따라서 단위면적당 원의 중심을 향하는 표면장력이 커서 풍선의 압력이 크다. 바로 이런 이유 때문에 처음에 풍선을 불기 어려운 것이다. 거품이나 풍선의 내부 압력은 거품의 표면장력에 비례하고 반지름에 반비례하는데 이를 **라플라스의 법칙(Laplace's law)**이라 한다.

1) 기체의 압력과 용해

✎ 기체의 부피와 압력

인체는 주로 고체와 액체로 구성되어 있으므로 잠수할 때 압력에 의해서 거의 영향을 받지 않는다. 그러나 기체는 압력이 변하면 부피가 변한다. 온도가 일정할 때 기체의 부피 V 와 압력 P 의 관계는 ()의 법칙으로 주어진다.

보일(Boyle's law) : (기체의 압력) \times (기체의 부피) = 일정

✎ 기체의 용해

용액에 녹는 기체의 양은 기체의 분압에 비례한다. 이를 ()의 기체 용해도 법칙이라 한다. 기체의 산소 분압이 2배 증가하면 혈액에 용해되는 산소의 양은 2배 증가한다. 기체의 용해도는 기체에 따라 다르다. 산소는 혈액과 물에서 잘 녹지 않지만 이산화탄소는 산소보다 더 잘 녹는다.

헨리의 기체 용해도 법칙 (Henry's law of solubility of gases)

“용액에 녹은 기체의 양은 기체의 분압에 비례”

✎ 잠수병(blends or decompression sickness = caission disease 케송병)

: 상승할 때 발생함



- ✎ 질소 분압의 증가 (공기의 조성은 질소가 약 78%이고, 산소가 20.9% 임)
- ✎ 피와 조직에 질소가 많이 녹음
- ✎ 액체에 녹은 기체의 양은 기체의 부분 압력에 비례(헨리의 법칙)
- ✎ 다이버가 상승할 때 과잉 질소가 피와 폐에서 제거되어야 한다.
- ✎ 그러나 질소가 제거되는 과정은 녹는 과정보다 느리게 일어난다.
- ✎ 다이버가 너무 빨리 상승하면, 질소 거품이 조직과 관절에서 생성
- ✎ 잠수병(blend) 발생: 격심한 고통 수반

잠수병이 있는 잠수부를 압력 용기에 넣고 압력을 천천히 낮추어 피와 폐에서 질소를 제거한다.

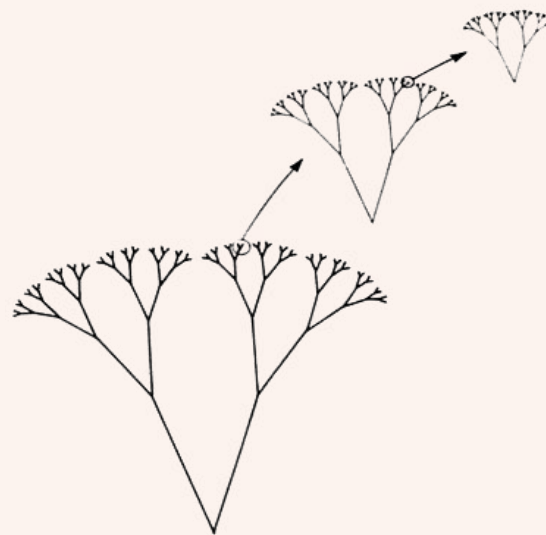
3. 프랙탈

"내 속에 내가 너무도 많아서 당신의 쉼 곳 없네..."의 노래 가사에 "자기 닮음성(self-similarity)"의 의미가 담겨있다. 1975년에 망델브로(B. Mandelbrot)는 자기 닮은 구조를 "프랙탈(fractal)"이라 명명하였다.

우리 몸에도 프랙탈 구조가 있는데 아래 그림과 같이 신장의 혈관구조와 폐의 허파파리 구조가 대표적이다.



프랙탈은 구조의 일부를 확대한 구조가 확대하기 전의 구조와 완전히 같게 보이는 구조이다. 왼쪽의 가지치기 꽃 모양의 일부를 확대하면 원래 구조와 같다. 이러한 꽃 구조는 산에서 흔히 볼 수 있는 마타리꽃에서 볼 수 있다.



<마타리꽃>

코흐곡선(Koch curve)

✏ 스웨덴의 수학자 코흐(H. von Koch, 1870-1924)는 자신의 이름이 붙은 코흐곡선(Koch curve)을 발견하였다.

코흐곡선은 오른쪽 그림과 같이 수학적 사상(mapping) 과정으로 생성된다. 길이 1인 직선을 "창시자(initiator)"라 한다. 단계1의 생성자(generator)는 선분을 삼등분한 후 가운데 부분을 정삼각형 모양으로 꺾어 올린다. 각 선분의 길이는 $1/3$ 이 되고 선분은 4개가 된다. 다음 단계에서 직선 선분에 대해서 생성자와 같은 과정을 계속 되풀이하여 얻은 수학적 구조를 코흐곡선이라 한다.

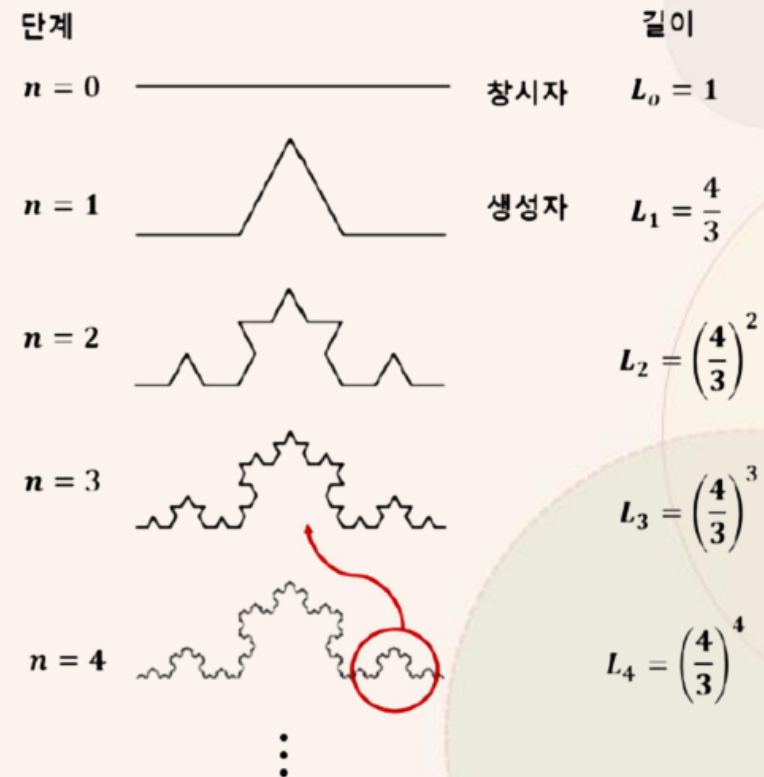
코흐곡선은 "() 불변성(scaling invariance)"을 갖는다.

$N=4$ 단계에서 일부를 3배 확대하면 $n=3$ 인 구조와 같다.

코흐곡선은 수학적 프랙탈구조이다.

단계가 $n \rightarrow \infty$ 에서 코흐고건의 길이는 무한대이다.

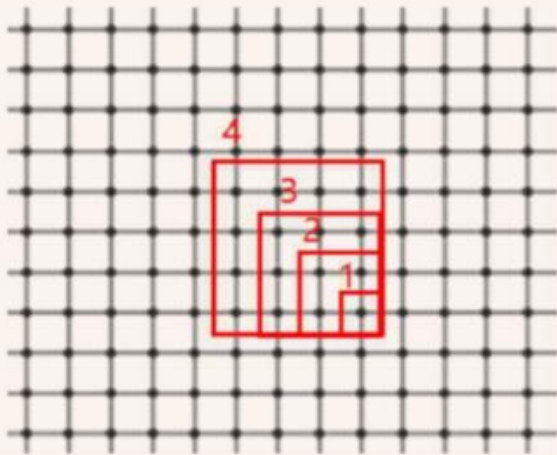
$$L_{n \rightarrow \infty} = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{4}{3} \right)^n \rightarrow \infty$$



<코흐곡선(Koch Curve)>

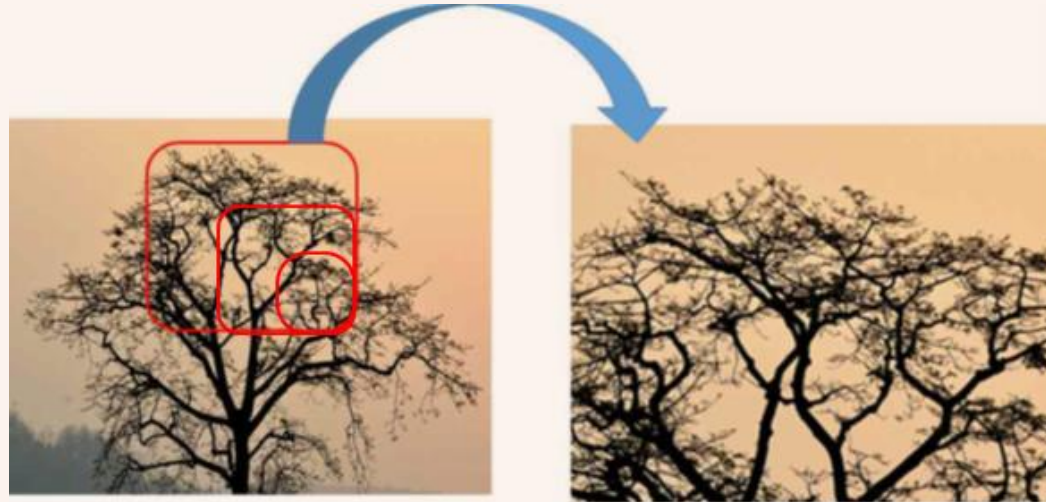
✎ 자연에 존재하는 프랙탈은 완전한 수학적 축척 대칭성을 갖지 않는다.

나뭇가지의 모습은 대표적인 프랙탈 구조인데 “통계적인 자기 닮음성”을 가진 프랙탈 구조이다. 나뭇가지 하나를 잘라서 원래 나무 크기로 확대해 보면 부분의 구조가 원래 나무의 구조와 거의 흡사하다. 번개의 모습, 콜리플라워 등은 프랙탈이다.



$$N = L^d$$

“프랙탈은 차원이 실수이고 축척 대칭성을 가진 구조이다.”



$$N = L^{d_f}$$

코흐곡선의 프랙탈 차원은 $d_f = \ln\left(\frac{4}{3}\right) = 1.26 \dots$

지금까지 압력과 대기압에 대해 알아보았습니다.
다음시간에는 지구온난화에 대해서 살펴봅시다.