

The slide features a decorative border composed of numerous white line-art illustrations of ice crystals and geometric shapes on a black background. The shapes include simple polygons like triangles and hexagons, as well as more complex, multi-armed star-like structures and intricate snowflake patterns. These are arranged in a grid-like fashion around the central text area.

Shapes of ice crystal

2014-11839 물리교육과 김종원
2015-12967 서양화과 오현경



<목차>

1. 서론

1.1. Ice crystal의 형성

2. 본론

2.1. Crystal structure morphology

Q1] Why do ice crystals have hexagonal shapes?

Q2] How do crystal structures develop?

2.2. Crystal structures and Instability

2.3. Shapes of ice crystal

a) Plates

b) Dendrites

c) Prisms

d) Hollow columns/Needles

3. 결론

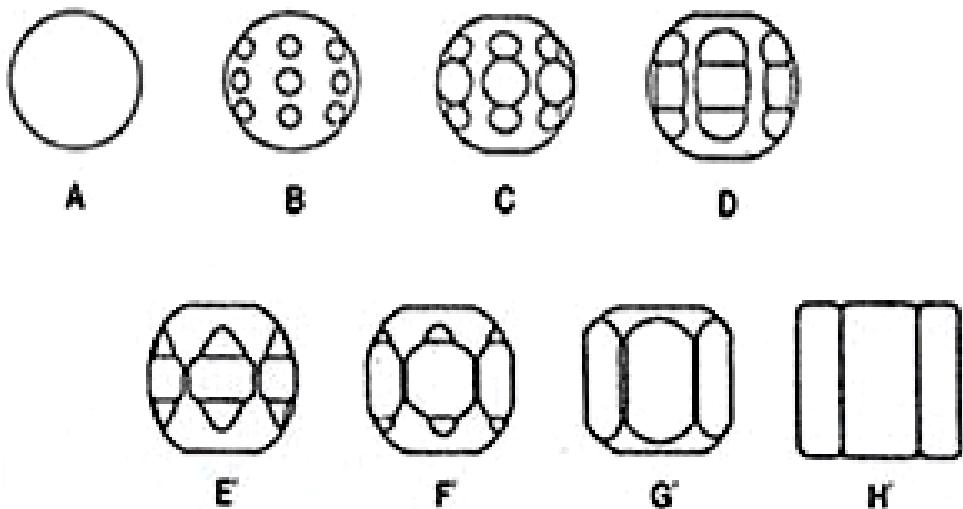
3.1. Summary



Ice crystal의 형성

- (1) Condensation nucleation
- (2) Immersion freezing
- (3) Contact nucleation
- (4) Deposition nucleation

- $T \downarrow$
- IN의 결정 격자구조가 얼음 결정 격자구조와 비슷한 경우
→ nucleation이 더 활발히 일어남.



◀(그림1) 눈 모양이 6각기둥으로 변해가는 모습

-15°C의 과포화 수증기 속에서 지름 약 30μm의 구求 상 단결정(單結晶)이 시간에 따라 성장한다.

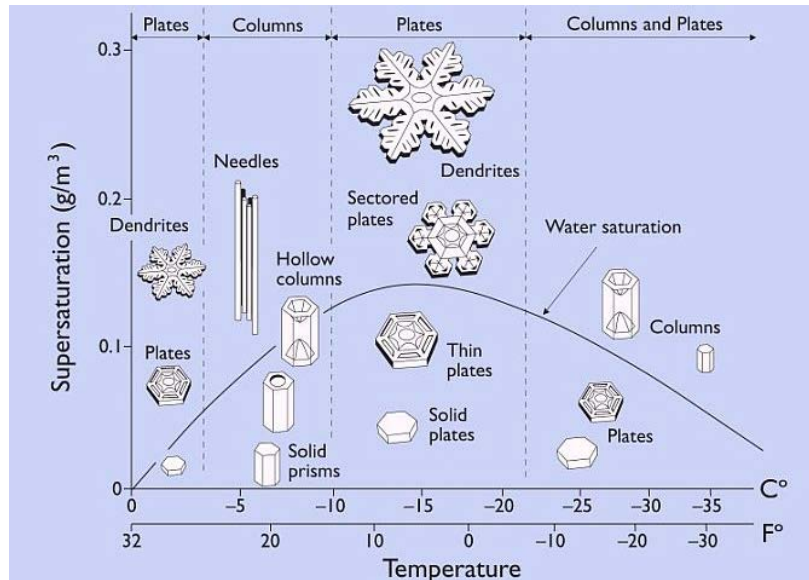
- IN + 과냉각 물방울(1)~(4) → ice crystal 형성

- 구求 상 단결정 → 6각기둥 프리즘 형으로 성장

⇒ 구름 속을 떠돌며 성장, 기상조건에 따라 여러 가지 형태로 변화한다. 온도, 습도(과포화상태)에 의존



Crystal structure morphology



Temperature range		Saturation range		Types of snow crystal	
°C	°F	g/m^3	oz/cu yd	below saturation	above saturation
0 to -3.5	32 to 26	0.0 to 0.5	0.000 to 0.013	Solid plates	Thin plates Dendrites
-3.5 to -10	26 to 14	0.5 to 1.2	0.013 to 0.032	Solid prisms Hollow prisms	Hollow prisms Needles
-10 to -22	14 to -8	1.2 to 1.4	0.032 to 0.038	Thin plates Solid plates	Sectorial plates Dendrites
-22 to -40	-8 to -40	1.2 to 0.1	0.0324 to 0.0027	Thin plates Solid plates	Columns Prisms

▲ (그림2) 온/습도에 따른 눈 결정의 성장

온도(T), 습도(RH)에 의존

- 결정 형태의 변화 ← 온도 (ex. plates→columns)
- 구조의 복잡성 ← 습도 (ex. plates→dendrites)



Q. Why do ice crystals have hexagonal shapes?

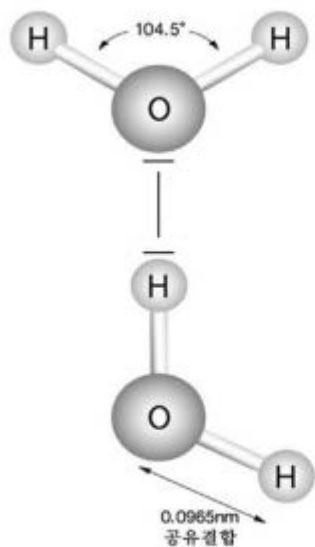
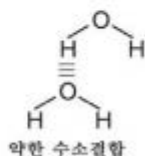
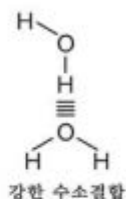


그림 1.4. 물분자의 구조.



- 기본적인 얼음 결정 구조: **아이스 원**(Ice-Ih, 육각기둥)
- 물 분자(H_2O , H-O-H 결합각: 104.5°) → 인접한 서로 다른 분자의 H, O끼리 강한 수소결합
- 이때 옆 모양처럼 O-H-O가 **일직선**일 때의 수소결합력이 가장 크다(최대).
- O-H-O가 일직선이 되는 결합 반복 → 육각구조 결정 형성(에너지적으로 가장 안정된 형태)



Q. How do crystal structures develop?

▶ 수소결합 되어있는 물 분자

: 바닥&기둥 면 → 수소결합으로 인해 비교적 고르고 안정된 상태.

물 분자가 수소결합 할 짝을 비교적 찾기 어려워 성장이 더딤

: 모서리 → 강한 극성(수소+), 불안정 상태.

물 분자가 계속 결합하면서 빠르게 성장

▶ 불안정도

: 모서리 > 바닥 면(6각) > 기둥 면(4각)

↳ 바닥 면 위주로 성장, **6각 프리즘** 형성



Q. How do crystal structures develop?

▶ 6각 프리즘이 형성 → 온도에 따라 다른 모습(결정 형태)으로 성장

< 얼음결정의 표면구조 - 온도에 의한 영향 >

- i) 온도가 낮을 때: 표면에 물 분자가 규칙적으로 배열
- ii) 온도가 높을 때: 요철이 많은 불규칙적인 형태로 성장
- iii) 0°C 근처: 물 분자의 병진운동, 특수한 막 형성

∴ 온도가 낮을 때는 결정 성장 속도가 느리고, 반대로 온도가 높을 때는 결정의 표면 중 거친 곳을 중심으로 비교적 빠르게 성장한다. (0°C 근처에서는 중간 속도)

▶ 또한, 열로 인한 물 분자 운동 차이로 인해,

$-10^{\circ}\text{C} \sim -20^{\circ}\text{C}$ 사이에는 바닥 면으로 성장하기보다는 옆쪽(기둥 면)으로 퍼져 얇은 판 형(Plates)이 되고, **$-4^{\circ}\text{C} \sim -10^{\circ}\text{C}$** 사이에는 바닥 면을 중심으로 성장하게 돼 길다란 6각기둥(Column)의 눈 결정이 만들어진다.



Crystal structures and Instability

▶ 눈 결정 모양과 불안정도

- 불안정 할수록 화려한(복잡한) 모양 형성
- 다면체 결정 + 불안정성 → 각진 모서리 부분의 성장 속도가 빨라 나뭇가지 모양(dendrites)으로 성장
- **다면체결정의 불안정성:** 물 분자가 확산되는 과정과 밀접히 관련
(결정이 성장할 때) 표면에 대기중의 물 분자가 계속 포착
 - 표면과 가까운 주변의 물 분자 밀도가 낮아짐
 - 밀도 경도력 생성
 - 외부로부터의 계속된 물 분자 공급



Crystal structures and Instability

▶ 눈 결정 모양과 불안정도

결국 표면 위 수증기 농도가 높은 쪽으로 성장의 방향이 결정되는데, 대부분 면 중심보다는 각진 부분이 수증기 농도가 높기 때문에 모서리 쪽으로 결정이 더욱 잘 성장한다. 결정 표면이 포화상태에 이르게 되면 자연히 수증기 유입속도도 느려져 성장을 멈추게 된다.

- 주변의 수증기 농도가 낮을 때) 면 부분과 각진 부분의 농도 차가 크지 않아
다면체를 유지하며 느리게 성장
- 주변의 수증기 농도가 높을 때) 농도 차이(밀도 경도력)가 커져
각진 모서리 부분을 중심으로 훨씬 더 빨리(잘) 성장

∴ 습도가 높고 각진 부분이 많을수록 복잡한 나뭇가지 형으로 성장



Shapes of ice crystal

(a)



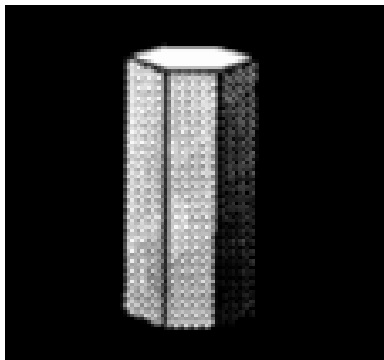
; plate(판형)

(b)



; dendrite(나뭇가지형)

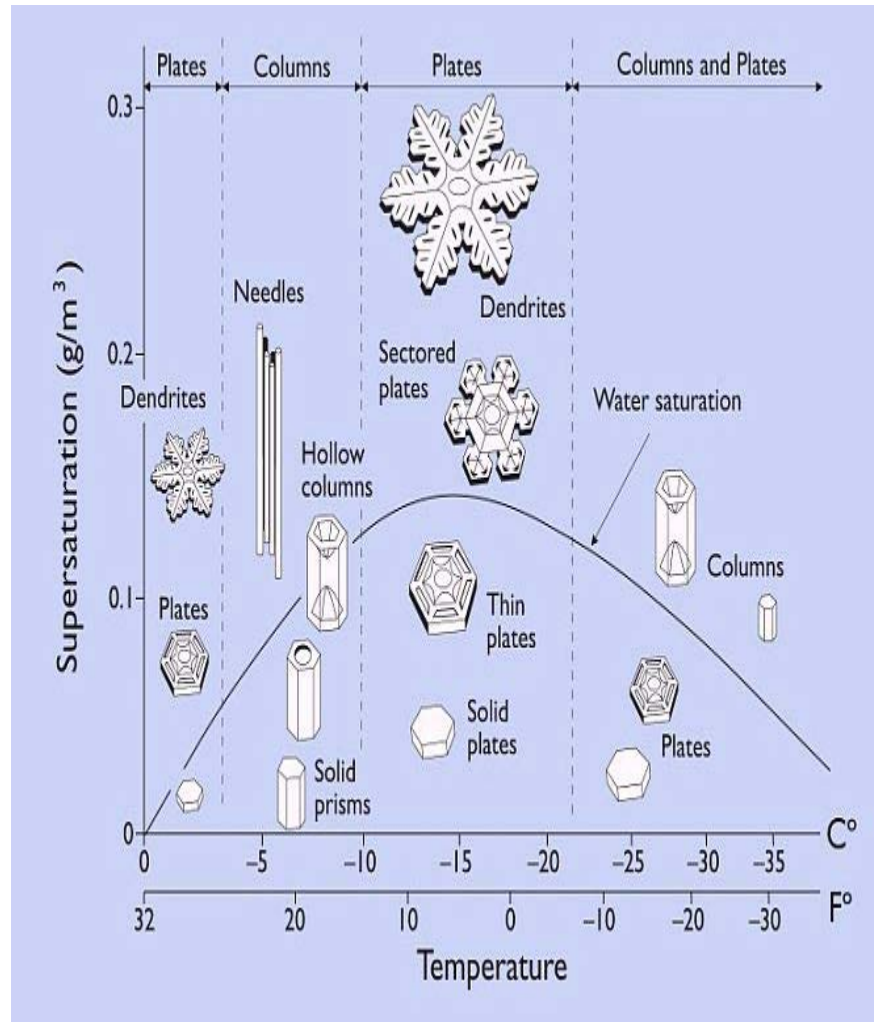
(c);



; columnar or prism-like
(기둥형)

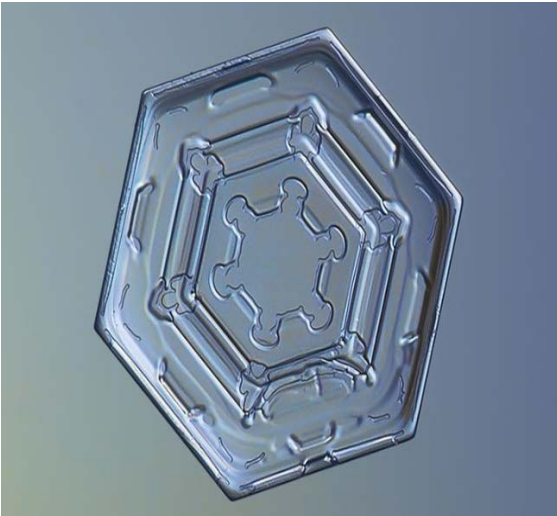


Shapes of ice crystal





(a) Plates(판)



- 0 to -4°C , -10°C 이하에서 형성
- 가볍고 평평함, 가장 흔한 눈송이의 유형
- 대부분의 강설이 작은 판형을 포함
- 육각형의 구조, 가운데에 별 모양이 나타나기도 함



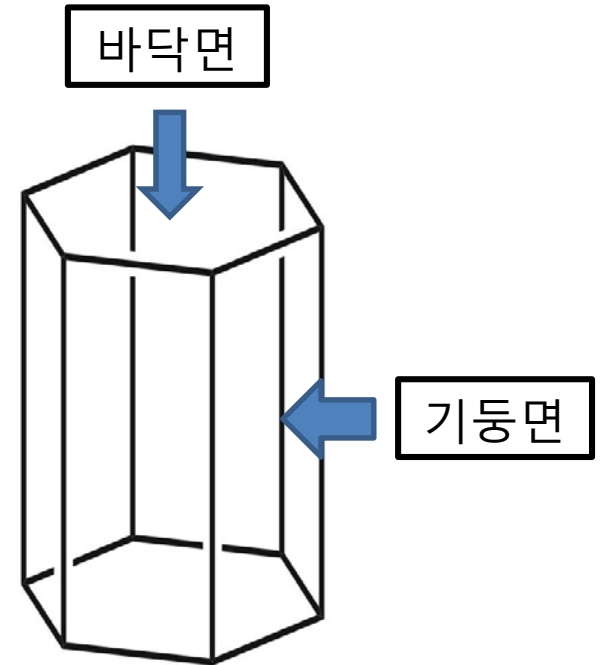
(b) Dendrites(나뭇가지)



- $-12 \sim -16^{\circ}\text{C}$ 에서 형성
- 높은 습도에서 복잡한 모양(가지 뻗기와 결정면 형성)과 다양한 구조(프랙털)
- 공기에 수분이 많아 수증기의 응결이 빠르게 일어나 더 많이 뻗어나감
- 가지가 많아 눈 안에 공기를 가두고, 따라서 폭신한 눈을 형성



(c) Prisms(기둥형)



- 5°C(-3.5~ - 10), -25°C 이하(-22~ - 40)
- 바닥면이 기둥표면보다 빠르게 자란 결과
- 모래눈 형태의 강설에서 발견 가능.
- 다른 모양보다 크기가 작음.



(d) Hollow column(빈 기둥)/Needles(바늘)

- -5°C 정도, $-22\sim-50^{\circ}\text{C}$

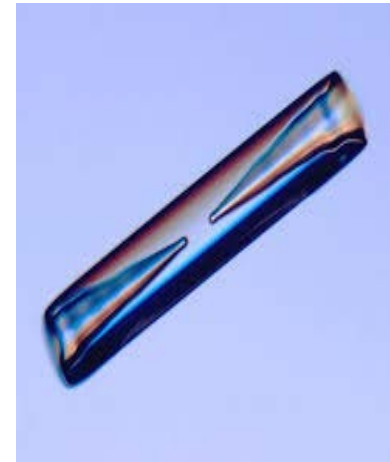
-습도가 높고 온도가 영하 5도 근처라면 속 빈 기둥의 성장이 불안정->바늘형

-기둥면은 천천히 성장을 지속(결정면으로 남아있다.)

-바닥면의 가장자리는 결정의 가운데보다 빨리 자란다.

-성장 조건과 결정 크기에 따라 속이 비는 정도가 결정

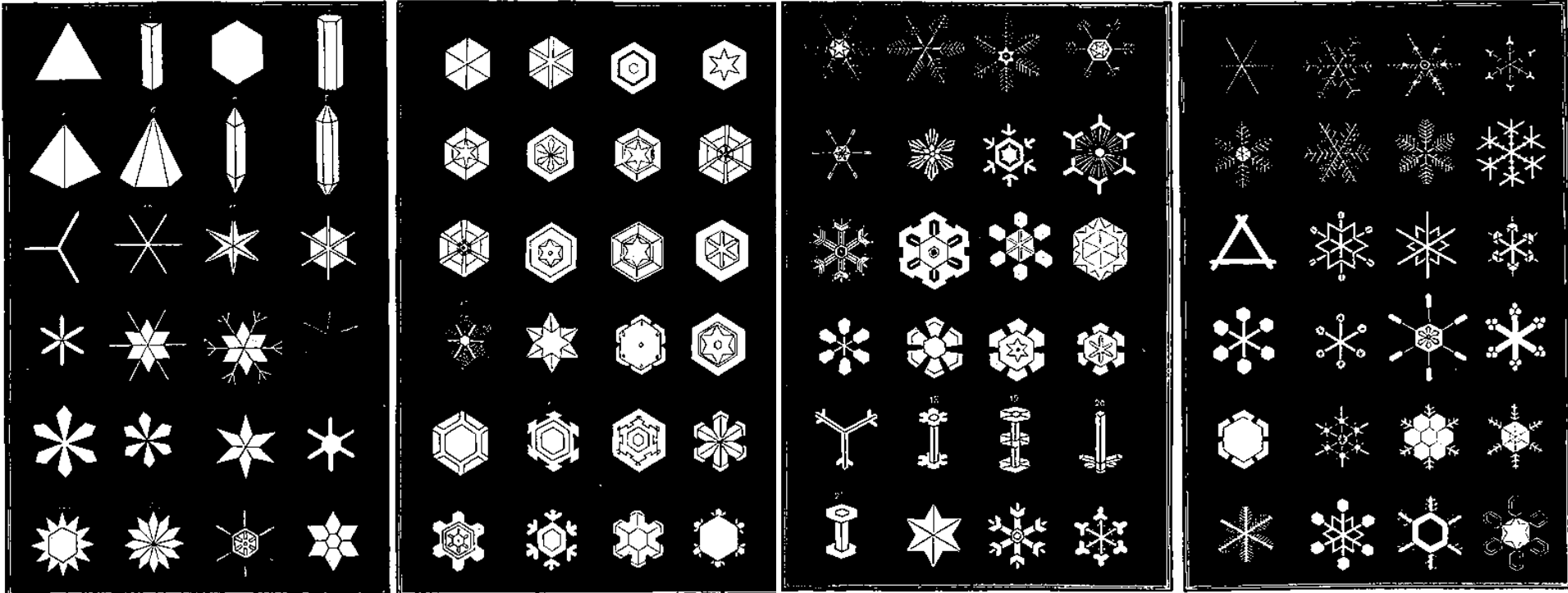
-흰 머리카락 같은 모양





Summary

1. 온도(형태), 상대습도(구조)
2. 수소결합에 의한 6각형 모양
3. 불안정, 거친 부분부터 우선적인 성장
4. 판형, 나뭇가지형, 기둥형으로 분류되는 눈송이 모양



Thank you