สรุปการจัดการความรู้ (KM) ประจำปี พ.ศ.2561

ส่วนพยากรณ์อากาศ

เรื่อง

พายุฝนฟ้าคะนอง

โดย คณะทำงานการจัดการความรู้ส่วนพยากรณ์อากาศ
ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง

คำนำ

ตามคำรับรองการปฏิบัติราชการของส่วนพยากรณ์อากาศ รอบการประเมินที่ 2 ตัวชี้วัดที่ 1.4 ระดับความสำเร็จของการดำเนินการจัดการความรู้ของส่วนพยากรณ์อากาศ โดยส่วนพยากรณ์อากาศได้ดำเนินการจัดการความรู้ เรื่อง เพื่อดำเนินการตามตัวชี้วัดดังกล่าว ซึ่งเป็นองค์ความรู้ที่จำเป็นต่อการผลักดันประเด็นยุทธศาสตร์ของศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง ตามประเด็นยุทธศาสตร์ที่ 1 เพิ่มประสิทธิภาพการพยากรณ์อากาศ และการแจ้งเตือนภัยในระดับพื้นที่ นอกจากนั้นแล้วยังมีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการทบทวนความรู้ให้กับนักอุตุนิยมวิทยา สพ. และเพิ่มพูนความรู้ทางด้านวิชาการอุตุนิยมวิทยาให้กับบุคลากรของ ศล.ในสายงานอื่น พร้อมทั้งใช้เป็นคู่มือประกอบในการปฏิบัติงานของส่วนพยากรณ์อากาศ ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างต่อไป

ส่วนพยากรณ์อากาศ
ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง
30 สิงหาคม 2561

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
พายุฝนฟ้าคะนอง	
1. ปัจจัยที่สำคัญในการก่อตัวของพายุฝนฟ้าคะนอง	1
- การทรงตัวของอากาศต้องไม่เสถียรภาพหรืออย่างน้อยอากาศต้องอยู่ในสถานะการไม่เสถียรภาพแบบมีเงื่อนไข	
- อากาศมีการยกตัวในแนวดิ่ง	
- อากาศมีความชื้นสูง	
2. โครงสร้างของพายุฝนฟ้าคะนอง	9
- ขั้นการก่อตัวเป็นเมฆคิวมูลัส (Cumulus Stage)	
- ขั้นเจริญเติบโตเต็มที่ (Mature Stage)	
- ขั้นสลายตัว (Dissipating Stage)	
3. สภาพอากาศที่เกิดขณะฝนฟ้าคะนอง	11
- หยาดน้ำฟ้า (Precipitation)	
- ภาวะน้ำแข็งเกาะจับเครื่องบิน (Aircraft Icing)	
- ความปั่นป่วนในอากาศ (Turbulence)	
- ลมสควอลล์ (Squall)	
- ลมกระโชก (Gust)	
- ไมโครเบิร์ส (Microburst)	
- ฟ้าผ่า (Lightning Strike)	
- ฟ้าร้อง (Thunder)	
- การผันแปรความกดอากาศที่ผิวพื้น (Pressure Variation)	
4. การจำแนกพายุฝนฟ้าคะนอง	32
- การยกตัวเนื่องจากความร้อน (Convection)	
- ฝนฟ้าคะนองในเวลากลางคืน (Nocturnal equatorial storm)	
- กระแสอากาศเย็น (cold stream)	
- การยกตัวตามลาดเขา (orographic)	
- การรวมตัวของลมในระดับล่าง (convergence)	
- พายุฝนฟ้าคะนองตามแนวปะทะอากาศ	
5. เอกสารอ้างอิง	
6. ภาพประกอบกิจกรรมแลกเปลี่ยนเรียนรู้	

สรุปการจัดการความรู้(KM) เรื่อง “พายุฝนฟ้าคะนอง (Thunderstorm)”

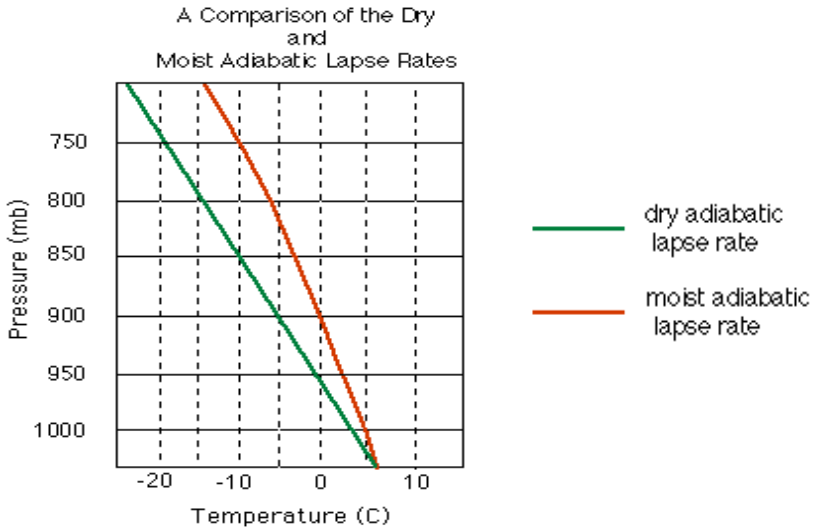
จากการจัดการความรู้(KM) ของ สพ. สามารถสรุปเรื่อง “พายุฝนฟ้าคะนอง ได้ดังนี้

พายุฝนฟ้าคะนอง (Thunderstorm) เป็นพายุที่เกิดเฉพาะท้องถิ่น ที่เกิดจากเมฆชั้นต่ำที่ก่อตัวแนวตั้งที่เรียกว่า เมฆคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus) ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดสภาพอากาศรุนแรง เช่น ลมกระโชก ฟ้าแลบ และฟ้าผ่า ฝนตกหนัก อากาศปั่นป่วนรุนแรงทำให้มีลูกเห็บตก และอาจเกิดน้ำแข็งเกาะจับเครื่องบินที่บินอยู่ในระดับสูง สำหรับช่วงที่ทำให้เกิดพายุฝนฟ้าคะนองที่รุนแรงส่วนมากจะเป็นช่วงเปลี่ยนฤดูจากฤดูฝนเข้าสู่ฤดูหนาว จากฤดูหนาวเข้าสู่ฤดูร้อน และฤดูร้อน สำหรับพายุฝนฟ้าคะนองที่เกิดขึ้นในฤดูร้อน จะเรียกว่า “พายุฤดูร้อน”

1. ปัจจัยที่สำคัญในการก่อตัวของพายุฝนฟ้าคะนอง ในการก่อตัวของพายุฝนฟ้าคะนอง มีปัจจัยที่สำคัญอยู่ 3 ประการ ดังนี้

1.1 การทรงตัวของอากาศต้องไม่เสถียรภาพหรืออย่างน้อยอากาศต้องอยู่ในสถานะการไม่เสถียรภาพแบบมีเงื่อนไข

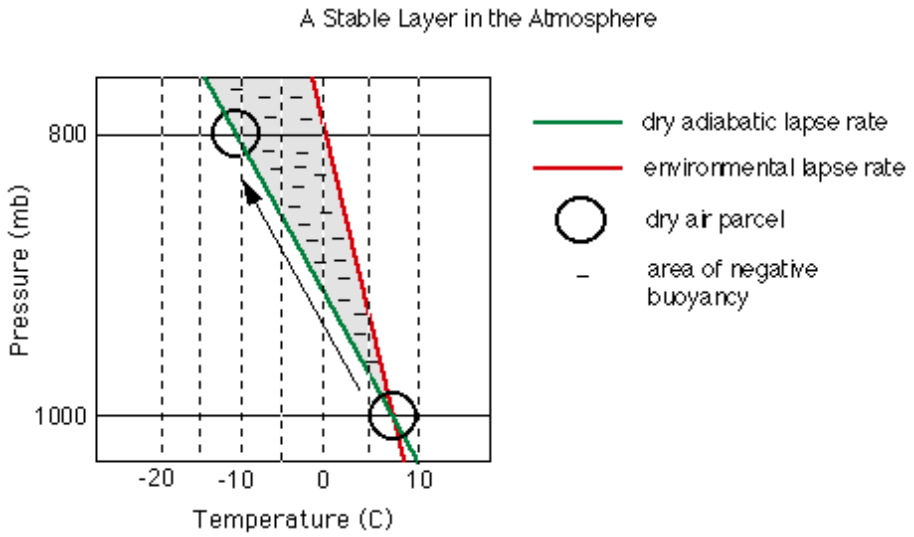
เมื่อมวลอากาศร้อนชื้นถูกยกตัวขึ้นในชั้นบรรยากาศ ค่าความกดอากาศและอุณหภูมิอากาศจะลดลงตามระดับความสูง ถ้าในขณะที่ยกตัวขึ้นไม่มีการได้มาหรือสูญเสียความร้อนโดยวิธีถ่ายเทแลกเปลี่ยนกับมวลอากาศที่อยู่ใกล้เคียง ตามทฤษฎีเทอร์โมไดนามิกส์ ถ้าไอน้ำในบรรยากาศยังไม่มีการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำแล้ว ในสภาวะปกติอุณหภูมิจะลดลงตามความสูงด้วยอัตรา 1.0°ซ. ต่อ 100 เมตร ซึ่งเรียกว่า อัตราอะเดียเบติกแห้ง (Dry Adiabatic Lapse Rate) เมื่ออากาศลอยตัวขึ้นจนถึงจุดหนึ่งอากาศก็จะอิ่มตัวด้วยไอน้ำ และเมื่ออุณหภูมิลดลงอีกจะเกิดการกลั่นตัว ซึ่งระดับการกลั่นตัวจะเรียกว่าฐานเมฆ หรือ LCL (Lifting Condensation Level) ถ้าเกิดการกลั่นตัวแล้วอากาศยังลอยตัวขึ้นไปอีก อัตราการลดลงของอุณหภูมิจะเปลี่ยนไปเนื่องจากความร้อนแฝงที่ปล่อยออกมาจากการกลั่นตัวของไอน้ำ โดยปกติแล้วอัตราการเย็นตัวลงของมวลอากาศที่อิ่มตัวแล้วจะมีค่าประมาณ 0.6°ซ. ต่อ 100 เมตร ซึ่งที่เรียกว่าอัตราอะเดียเบติกอิ่มตัว(Moist Adiabatic Lapse Rate) ซึ่งจะมีค่าน้อยกว่าอัตราอะเดียเบติกแห้ง (Dry Adiabatic Lapse Rate) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง Dry Adiabatic Lapse Rate กับ Moist Adiabatic Lapse Rate

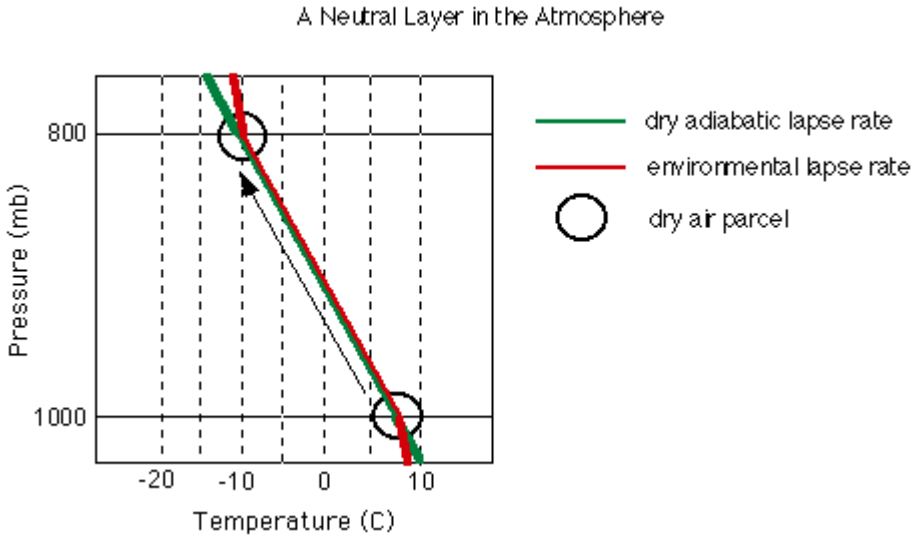
การเสถียรภาพหรือการทรงตัวของอากาศ ซึ่งจำแนกออกได้เป็น 3 ลักษณะดังต่อไปนี้

1. **การทรงตัวแบบมีเสถียรภาพ (Stability)** ถ้าอัตราการลดลงของอุณหภูมิของอากาศที่ตรวจวัดได้จริง (Environment Lapse Rate) น้อยกว่าอัตราอะเดียเบติกแห้ง (Dry Adiabatic Lapse Rate) โดยอัตราการลดลงของอุณหภูมิที่ตรวจได้ เท่ากับ 0.5°ซ. ต่อ 100 เมตร แต่มวลอากาศที่ไม่อิ่มตัวถูกยกขึ้นไปจะเย็นตัวลงในอัตรา 1°ซ. ต่อ 100 เมตร มวลอากาศก็จะเย็นกว่าอากาศที่อยู่โดยรอบ เมื่อไม่มีแรงยกตัว มวลอากาศจะจมตัวกลับลงมาที่ระดับเดิมเรียกลักษณะเช่นนี้ว่าการทรงตัวแบบมีเสถียรภาพ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แสดงถึงการทรงตัวของอากาศแบบมีเสถียรภาพ

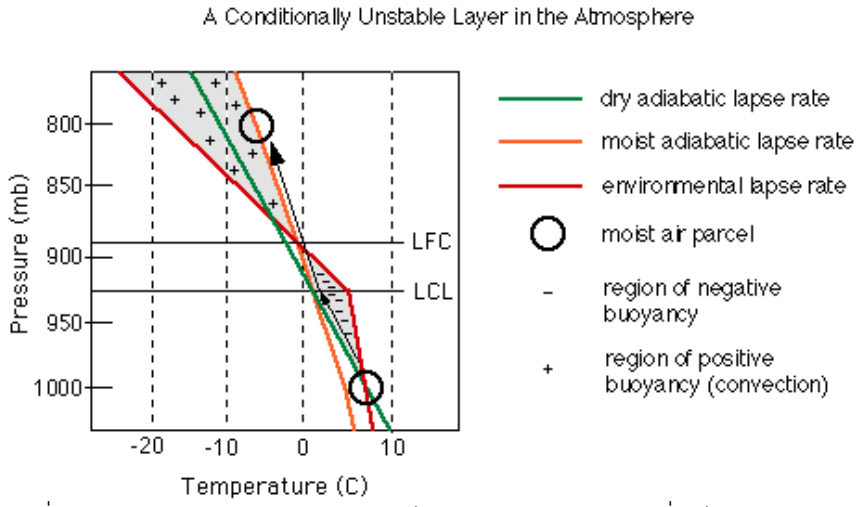
2. **การทรงตัวเป็นกลาง (Neutral equilibrium)** ขณะที่มวลอากาศไม่อิ่มตัวถูกแรงมากระทำให้ยกตัวสูงขึ้น อุณหภูมิของมวลอากาศจะลดลงตามอัตราอะเดียเบติกแห้ง (Dry Adiabatic Lapse Rate) คือ 1.0°ซ. ต่อ 100 เมตร หากอากาศที่อยู่รอบๆ มีอุณหภูมิเท่ากับมวลอากาศ เมื่อมวลอากาศไม่มีแรงมากระทำต่อไปอีก ดังนั้นมวลอากาศจึงไม่มีการเคลื่อนไหวในแนวตั้ง ลักษณะนี้จะเรียกว่าการทรงตัวเป็นกลาง ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงถึงการทรงตัวของอากาศเป็นกลาง

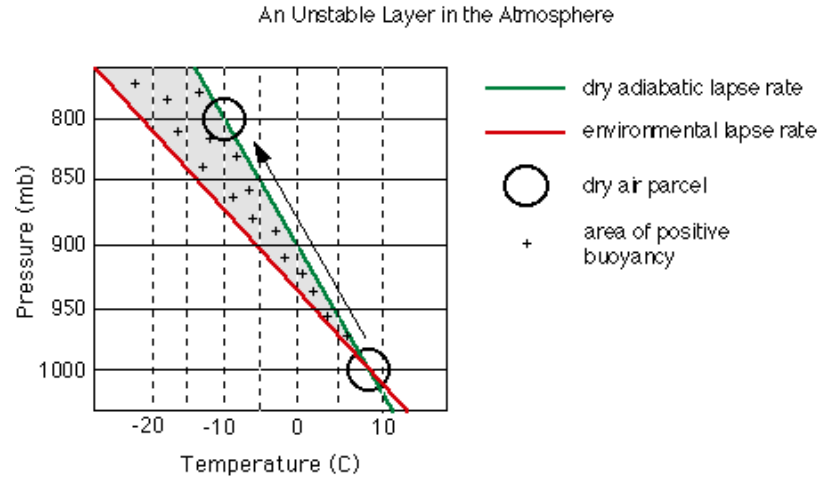
3. **การทรงตัวไม่มีเสถียรภาพ (Instability)** การทรงตัวแบบไม่มีเสถียรภาพนี้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ ดังต่อไปนี้

3.1 การทรงตัวไม่มีเสถียรภาพแบบมีเงื่อนไข (Conditional instability) ถ้าอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมที่ตรวจวัดได้มีค่ามากกว่าอัตราอะเดียเบติกอิ่มตัว แต่มีค่าน้อยกว่าอัตราอะเดียเบติกแห้ง เมื่อมวลอากาศถูกยกตัวให้ลอยตัวสูงขึ้นอุณหภูมิจะลดลงตามอัตราอะเดียเบติกแห้ง ซึ่งอุณหภูมิจะต่ำกว่าอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม จนกระทั่งถึงระดับการกลั่นตัวของไอน้ำหรือระดับฐานเมฆ (Lifting Condensation Level, LCL) หากมวลอากาศถูกยกตัวให้ลอยสูงขึ้นไปได้อีกอุณหภูมิจะลดลงตามอัตราอะเดียเบติกอิ่มตัว (Moist Adiabatic Lapse Rate) จนกระทั่งอุณหภูมิของมวลอากาศและสิ่งแวดล้อมเท่ากัน เรียกกระดับนี้ว่า ระดับการลอยตัวขึ้นอย่างอิสระ (Level of free convection, LFC) และเหนือระดับนี้ขึ้นไปอุณหภูมิของมวลอากาศจะสูงกว่าสิ่งแวดล้อม ทำให้มวลอากาศสามารถยกตัวขึ้นไปได้อย่างอิสระ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงถึงการทรงตัวของอากาศไม่มีเสถียรภาพแบบมีเงื่อนไข

3.2 การทรงตัวไม่มีเสถียรภาพแบบสมบูรณ์ (Absolute instability) ถ้าอัตราการลดลงของอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมที่ตรวจวัดได้มีค่ามากกว่าอัตราอะเดียเบติกแห้ง เมื่อมวลอากาศถูกยกตัวให้ลอยสูงขึ้น อุณหภูมิจะลดลงตามอัตราอะเดียเบติกแห้งซึ่งมีอุณหภูมิสูงกว่าสิ่งแวดล้อม อากาศก็จะสามารถลอยตัวขึ้นไปได้อย่างอิสระ ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงถึงการทรงตัวของอากาศไม่มีเสถียรภาพสมบูรณ์

มวลอากาศที่จะทำให้เกิดพายุฝนฟ้าคะนองได้ จะต้องมีการทรงตัวแบบไม่มีเสถียรภาพหรืออย่างน้อยก็ต้องอยู่ในสภาวะไม่มีเสถียรภาพแบบมีเงื่อนไข (Conditional Unstable) กล่าวคือถ้ามีแรงภายนอกมากระทำให้มวลอากาศยกตัวสูงขึ้น จนถึงระดับการลอยตัวขึ้นอย่างอิสระ (Level of free convection, LFC) อากาศก็จะสามารถยกตัวขึ้นไปได้เอง และพัฒนาไปเป็นเมฆฝนฟ้าคะนองได้

ค่าดัชนีความมีเสถียรภาพของอากาศ (Stability Index)

1. **Lift Index (LI)** (Stackpole, J.D, 1967) เป็นค่าที่ใช้แสดงถึงความสามารถในการลอยตัวของอากาศและบ่งบอกระดับความรุนแรงของพายุฝนฟ้าคะนอง แต่ไม่สามารถบ่งบอกถึงโอกาสที่จะเกิดฝนฟ้าคะนองได้ ค่า Lift Index (LI) จะคำนวณจากสูตร

$$LI = T500 - LTsfc\ (°C)$$

โดยที่ T500 คือ อุณหภูมิอากาศที่ระดับความสูง 500 hPa
LTsfc คือ อุณหภูมิของมวลอากาศที่ถูกยกตัวจากระดับผิวพื้นตามขบวนการอะเดียเบติกจนถึงระดับความสูง 500 hPa

ค่า Lift Index (LI) ที่ได้มีค่าน้อย แสดงว่าอากาศบริเวณนั้นยกตัวได้ดี ถ้าค่า Lift Index (LI) มีแนวโน้มลดลงไปเรื่อย ๆ จนมีค่าติดลบ แสดงว่าอากาศมีการยกตัวได้ดีมากยิ่งขึ้น ในทางตรงข้ามถ้าค่า Lift Index (LI) มีค่าเพิ่มขึ้นหรือเป็นบวกมาก ๆ แสดงว่าอากาศบริเวณนั้นยกตัวได้ไม่ดีหรือยกตัวได้น้อย

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า Lift Index (LI) กับ Convective Weather

Lift Index (LI)	Convective Weather	Stability
> 3	ไม่มีฝน	Stable
3 to 0	มีฝนเล็กน้อย	Slightly unstable
0 to -2	ฝนฟ้าคะนอง	Unstable
-4 to -2	พายุฝนฟ้าคะนอง	Unstable
< -4	พายุลมงวง	Unstable

2. **K Index (KI)** (George, J.J, 1960) เป็นค่าที่ใช้แสดงถึงโอกาสที่จะเกิดฝนฟ้าคะนองขึ้น จะคำนวณจากสูตร

$$K = (T850 - T500) + Td850 - (T700 - Td700)\ (°C)\ (2)$$

โดยที่ T850 คือ อุณหภูมิอากาศที่ระดับความสูง 850 hPa
T500 คือ อุณหภูมิอากาศที่ระดับความสูง 500 hPa
T700 คือ อุณหภูมิอากาศที่ระดับความสูง 700 hPa
Td850 คือ อุณหภูมิจุดน้ำค้างที่ระดับความสูง 850 hPa
Td700 คือ อุณหภูมิจุดน้ำค้างที่ระดับความสูง 700 hPa

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า K Index กับโอกาสของการเกิดฝนฟ้าคะนอง

K Index (KI)	Thunderstorm prob. (%)
< 15	0
15-20	< 20
20-25	20-40
25-30	40-60
30-35	60-80
35-40	80-90
> 40	90-100

3. **Convective Available Potential Energy (CAPE)** เป็นค่าพลังงานสะสมในการยกตัวของมวลอากาศที่สามารถมีได้จากการยกตัวเองโดยขบวนการพาความร้อน (Convection) จากระดับการยกตัว อย่างอิสระ (LFC) ไปจนถึงระดับ Equilibrium level (EL) ซึ่ง จะคำนวณจากสูตร

$$\mathrm{CAPE} = \left(\sum_{LFC}^{EL} \left[\frac{\left(T_{ap} - T_e\right)}{T_e} \vec{g} \right] \right) \Delta z$$

เมื่อ LFC คือ ความสูงที่ระดับการยกตัวอย่างอิสระ (LFC)

EL คือ ความสูงที่ระดับ Equilibrium level (EL)

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

Tap คือ อุณหภูมิของมวลอากาศที่ยกตัวขึ้นตามขบวนการอะเดียเบติก

Te คือ อุณหภูมิของอากาศที่อยู่ระดับเดียวกับมวลอากาศที่ถูกยกตัวขึ้นไป

ΔZ คือ ความหนาของ Layer ณ ระดับใดๆ มีหน่วยเป็นเมตร

ค่า CAPE ที่ได้มีค่ามาก แสดงว่าอากาศมีพลังงานในการยกตัวมาก อากาศจะยกตัวได้อย่างรุนแรงแต่ถ้าค่า CAPE มีค่าน้อยพลังงานในการยกตัวมีน้อย ความรุนแรงในการยกตัวก็จะมีน้อยกว่า

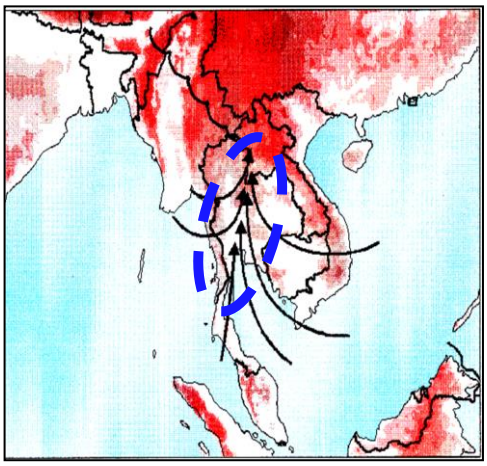
CAPE Index	INTERPRETATION
<1000	ยกตัวได้น้อย
1000 - 2500	ยกตัวได้ในระดับปานกลาง
>2500	ยกตัวรุนแรง

1.2 อากาศมีการยกตัวในแนวดิ่ง

1.2.1 **Convection** การยกตัวของมวลอากาศเนื่องจากความร้อน เกิดขึ้นเนื่องจากบริเวณที่พื้นผิวโลกได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ ทำให้อากาศซึ่งอยู่ใกล้พื้นผิวมีอุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อมวลอากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้นอากาศจะขยายตัวทำให้มวลอากาศนั้นเบากว่าอากาศบริเวณรอบ ๆ มวลอากาศก็จะสามารถยกตัวลอยขึ้นได้ ดังรูปที่ 6

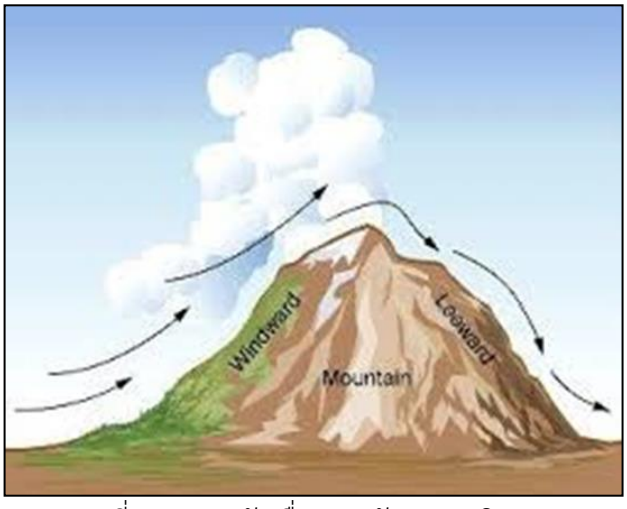
รูปที่ 6 แสดงถึงการยกตัวของมวลอากาศเนื่องจากความร้อน

1.2.2 **แนวลมพัดสอบ** (Convergence) เมื่อลมที่มีทิศทางต่างกัน พัดมาพบกันหรือเบียดตัวเข้าหากัน จะเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของมวลอากาศ ถ้าเกิดขึ้นใกล้ ๆ พื้นผิวโลก อากาศก็จะยกตัวขึ้นข้างบน ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงแนวลมพัดสอบ (Convergence)

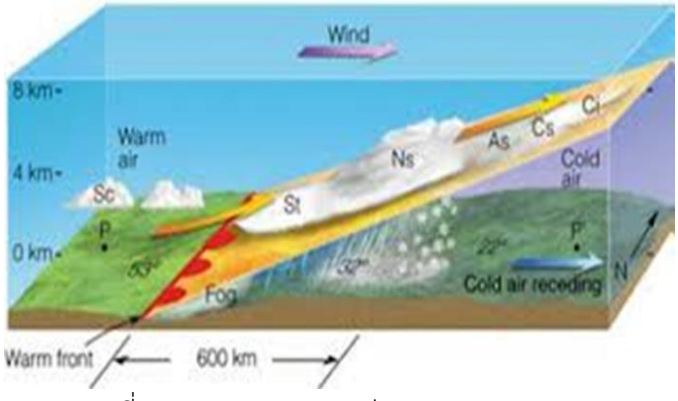
1.2.3 **การยกตัวเนื่องจากลักษณะภูมิประเทศ** (Orographic Lifting) เกิดขึ้นเนื่องจากมวลของอากาศเคลื่อนที่ไปเจอสิ่งกีดขวาง เช่น ภูเขา อากาศจะเคลื่อนที่ขึ้นไปตามความลาดชันของภูเขาเมื่อถึงจุดหนึ่ง ความชื้นในอากาศจะกลั่นตัวกลายเป็นเมฆ และถ้าอากาศไม่มีเสถียรภาพ อากาศจะสามารถยกตัวเองขึ้นอย่างอิสระต่อไปได้อีก ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 การยกตัวเนื่องจากลักษณะภูมิประเทศ

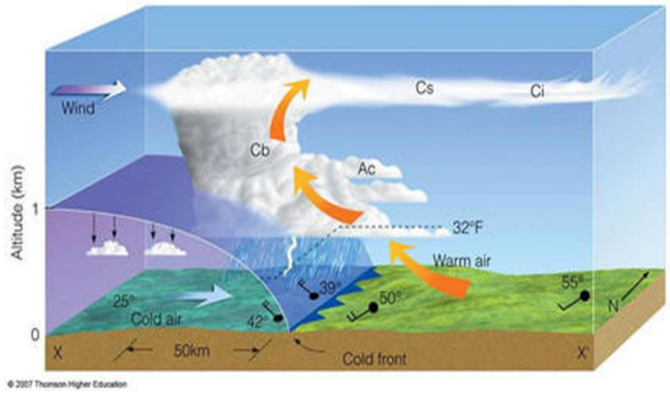
1.2.4 **แนวปะทะอากาศ** (Front) แนวปะทะอากาศเกิดจากมวลอากาศที่มีอุณหภูมิและความชื้นต่างกันมากมาพบกัน มวลอากาศที่อุ่นกว่าจะถูกดันตัวให้ลอยขึ้นไปอยู่เหนือลิ่มมวลอากาศเย็นเนื่องจากมวลอากาศอุ่นมีความหนาแน่นน้อยกว่ามวลอากาศเย็น แนวที่แยกมวลอากาศทั้งสองออกจากกันเราเรียกว่าแนวปะทะอากาศ ซึ่งจำแนกออกได้ 4 ชนิด ดังนี้

1. แนวปะทะอากาศอุ่น (Warm Front) เกิดจากการที่มวลอากาศอุ่นเคลื่อนที่เข้ามายังบริเวณที่มีมวลอากาศเย็น โดยมวลอากาศเย็นมีความหนาแน่นมากกว่าจะยังคงอยู่บริเวณพื้นดิน มวลอากาศอุ่นจะไหลขึ้นไปตามลาดของมวลอากาศเย็น และดันให้มวลอากาศเย็นให้เคลื่อนที่ไป เมฆที่เกิดในแนวปะทะอากาศอุ่นส่วนมากจะเป็นเมฆแผ่น ดังแสดงในรูปที่ 9



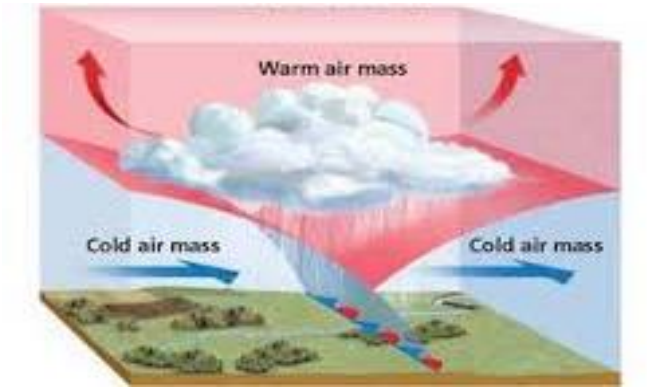
รูปที่ 9 แนวปะทะอากาศอุ่น (Warm Front)

2. แนวปะทะอากาศเย็น (Cold Front) เกิดจากมวลอากาศเย็นเคลื่อนตัวลงมายังบริเวณที่มีอากาศอุ่น อากาศเย็นที่หนักกว่าจะดันให้มวลอากาศอุ่นที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า ลอยตัวขึ้นตามความลาดเอียงของมวลอากาศเย็น มีสภาพอากาศแปรปรวนมาก มวลอากาศร้อนถูกดันให้ลอยตัวยกสูงขึ้น ซึ่งเป็นลักษณะการก่อตัวของเมฆคิวมูโลนิมบัส (Cb) ท้องฟ้าจะมืดครึ้มเกิดพายุฝนฟ้าคะนองอย่างรุนแรง เราเรียกบริเวณดังกล่าวว่า “ แนวพายุฝน” (Squall Line) ดังแสดงในรูปที่ 10



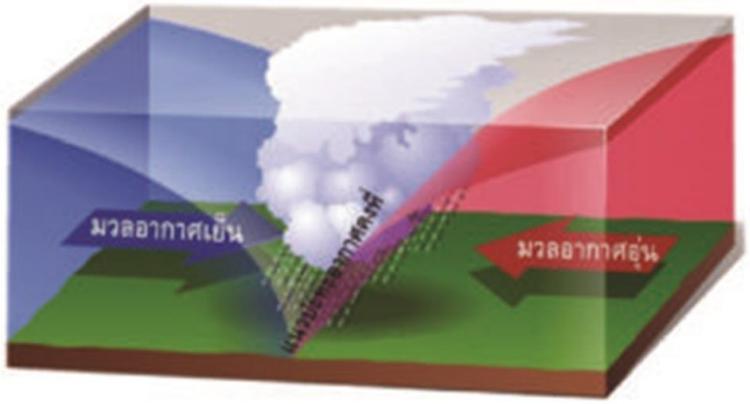
รูปที่ 10 แนวปะทะอากาศเย็น (Cold Front)

3. แนวปะทะอากาศปิด (Occluded Front) เนื่องจากว่าแนวปะทะอากาศเย็นเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าแนวปะทะอากาศอุ่น เมื่อแนวปะทะอากาศเย็นเคลื่อนที่ไปทันแนวปะทะอากาศอุ่น แนวปะทะอากาศอุ่นบางส่วนจะถูกดันให้ลอยขึ้นไปเหนือแนวปะทะอากาศเย็น ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 11 แนวปะทะอากาศปิด (Occluded Front)

4. แนวปะทะอากาศคงที่ (Stationary fronts) คือแนวหรือขอบเขตระหว่างมวลอากาศต่างชนิดกันที่เคลื่อนที่อย่างช้า ๆ หรือไม่เคลื่อนที่ จึงไม่มีมวลอากาศชนิดใดเข้ามาแทนที่กันและกันสภาพอากาศตามแนวปะทะนี้ มีลักษณะคล้ายกับแนะปะทะอากาศอุ่น แต่มีความรุนแรงน้อยกว่า ซึ่งสภาพกาลอากาศเช่นนี้อาจคงตัวเป็นเวลานานหลาย ๆ วัน ดังแสดงในรูปที่ 12



รูปที่ 12 แนวปะทะอากาศคงที่ (Stationary fronts)

1.3 อากาศมีความชื้นสูง

อากาศมีความชื้นอยู่มาก การกลั่นตัวเป็นเมฆและพัฒนาเป็นพายุฝนฟ้าคะนองที่รุนแรงก็จะมากตาม ในบางครั้งแรงที่ทำให้มวลอากาศลอยสูงขึ้นไม่แรงพอ จะทำให้มวลอากาศลอยขึ้นถึงระดับการลอยตัวอย่างอิสระเสมอไป เมื่ออากาศลอยตัวขึ้นถึงจุดอิ่มตัว ไอน้ำจะกลั่นตัวเป็นเมฆแต่เมฆเหล่านี้ไม่พัฒนาตัวต่อไป แต่ถ้ามวลอากาศมีความชื้นอยู่มาก การที่อากาศจะยกตัวได้ถึงระดับการลอยตัวอย่างอิสระจะมีมาก เพราะเมื่อความชื้นในอากาศกลั่นตัวเป็นหยดน้ำจะคายความร้อนออกมาทำให้มวลอากาศไม่มีเสถียรภาพมากขึ้น ในขณะที่มวลอากาศมีความชื้นน้อยมาก ถึงแม้ว่าอากาศจะยกตัวขึ้นได้แต่จะเกิดเมฆน้อยมาก และในบางครั้งไม่มีเมฆเกิดขึ้นเลย สภาวะเช่นนี้จะทำให้เกิดกระแสความปั่นป่วนในอากาศแจ่มใส (Clear Air Turbulence) ขึ้นในชั้นบรรยากาศ

2. โครงสร้างของพายุฝนฟ้าคะนอง

วงจรชีวิตของพายุฝนฟ้าคะนองตั้งแต่เริ่มเกิดพายุฝนฟ้าคะนองจนถึงขั้นสลายตัวไปใช้เวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง โดยแบ่งช่วงตามขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

2.1 **ขั้นการก่อตัวเป็นเมฆคิวมูลัส** (Cumulus Stage) ในการเกิดพายุฝนฟ้าคะนอง ขั้นตอนแรกจะมาจากเมฆคิวมูลัสทุกครั้ง ถึงแม้ว่าเมฆคิวมูลัสทั้งหมดจะไม่พัฒนาไปเป็นพายุฟ้าคะนองก็ตาม ในเมฆคิวมูลัสที่จะขยายตัวเป็นเมฆพายุฟ้าคะนองนี้จะมีกระแสอากาศไหลขึ้น (Updrafts) ตลอดเท่านั้นตั้งแต่ฐานเมฆไปจนถึงยอดเมฆ ซึ่งอัตราความเร็วของกระแสอากาศไหลขึ้น (Updrafts) นี้บางครั้งอาจจะถึง 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในระหว่างขั้นเริ่มต้นของพายุฟ้าคะนอง อากาศในบริเวณก้อนเมฆจะมีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณใกล้เคียง เนื่องจากความร้อนแฝงที่ปล่อยออกมาจากการกลั่นตัวของไอน้ำ และยิ่งนานขึ้น ความแตกต่างของอุณหภูมิก็ยิ่งเพิ่มมากขึ้น ในชั้นเริ่มต้นของขั้นก่อตัวเป็นเมฆคิวมูลัสนี้เม็ดน้ำต่างๆ ในเมฆจะมีขนาดเล็กๆ แต่ก็จะโตขึ้นเรื่อยๆ พร้อมกับขนาดของก้อนเมฆ ในระดับที่ต่ำกว่าระดับจุดเยือกแข็งจะมีเม็ดน้ำอยู่ในก้อนเมฆ และที่ระดับสูงกว่าจุดเยือกแข็งมักจะมีพวกหิมะอยู่ในก้อนเมฆเป็นส่วนมาก ในขั้นนี้จะมีเฉพาะกระแสอากาศไหลขึ้น (Updrafts) เพียงอย่างเดียว ดังรูปที่ 13

รูปที่ 13 ขั้นการก่อตัวเป็นเมฆคิวมูลัส (Cumulus Stage)

2.2 **ขั้นเจริญเติบโตเต็มที่** (Mature Stage) ในขั้นตอนนี้จะเริ่มมีฝนตกลงมา เนื่องจากว่าไอน้ำได้กลั่นตัวเป็นเม็ดน้ำมากขึ้น จำนวนเม็ดน้ำและเม็ดน้ำแข็งมีมากขึ้น และมีขนาดโตขึ้นด้วย เมื่อขนาดของเม็ดน้ำหรือน้ำแข็งโตมากขึ้น จนมีน้ำหนักเกินกว่าที่กระแสอากาศจะต้านทานไว้ได้เม็ดน้ำเหล่านั้นก็จะตกลงมายังพื้นดิน การที่เม็ดน้ำเหล่านี้ตกลงมาเป็นฝน แสดงถึงการเปลี่ยนของพายุฟ้าคะนองจากขั้นการก่อตัวเป็นเมฆคิวมูลัส มาเป็นขั้นเจริญเติบโตเต็มที่ และเป็นขั้นรุนแรงที่สุดของพายุฝนฟ้าคะนอง ในขณะเดียวกันนี้จะเริ่มมีกระแสอากาศไหลลง (Downdrafts) และมีมากขึ้นเรื่อย ๆ กระแสไหลลงนี้จะเริ่มตั้งแต่ระดับต่ำและระดับกลางของเมฆก่อนแล้วก็แผ่ขึ้นไปในระดับที่สูงขึ้นไป ในขั้นนี้ฝนจะเกิดขึ้นในบริเวณที่ระดับต่ำของเมฆ และอาจจะมีทั้งหิมะและฝนในระดับสูงขึ้นไป สำหรับพายุฟ้าคะนองที่มีกระแสอากาศไหลขึ้นอย่างรุนแรง เม็ดน้ำอาจถูกพัดพาขึ้นไปถึงระดับสูงมากก่อนที่จะกลายเป็นน้ำแข็ง และเกิดเป็นลูกเห็บตกลงมาได้ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีทั้งกระแสอากาศไหลขึ้นและกระแสอากาศไหลลง โดยที่กระแสอากาศไหลขึ้นจะอยู่ทางด้านหลังของพายุฝนฟ้าคะนอง ส่วนกระแสอากาศไหลลงจะอยู่ด้านหน้า ซึ่งกระแสอากาศไหลลงนี้เมื่อกระทบกับพื้นดินก็จะแผ่ออกไปข้างๆ ทำให้เกิดลมกระโชกแรงและอุณหภูมิที่พื้นดินจะลดลง ในทุกๆ ครั้งที่มีพายุฟ้าคะนองเราจะรู้สึกว่ามีลมกระโชกแรงและอากาศเย็นลง ดังรูปที่ 14

รูปที่ 14 ขั้นเจริญเติบโตเต็มที่ (Mature Stage)

2.3 **ขั้นสลายตัว** (Dissipating Stage) ในขั้นสลายตัวนี้ ภายในก้อนเมฆจะมีแต่กระแสไหลลง (Downdrafts) เพียงอย่างเดียว ฝนที่ตกลงมาจะลดน้อยลงและพายุฝนฟ้าคะนองจะค่อยๆ หมดกำลังไป ในขณะเดียวกันอุณหภูมิในก้อนเมฆก็ค่อยๆ เปลี่ยนไปจนเท่ากับอุณหภูมิตามบริเวณข้างเคียง ทิศทางและความเร็วของลมจะเปลี่ยนแปลงไปตามบริเวณข้างเคียงด้วย ดังรูปที่ 15

รูปที่ 15 ขั้นสลายตัว (Dissipating Stage)

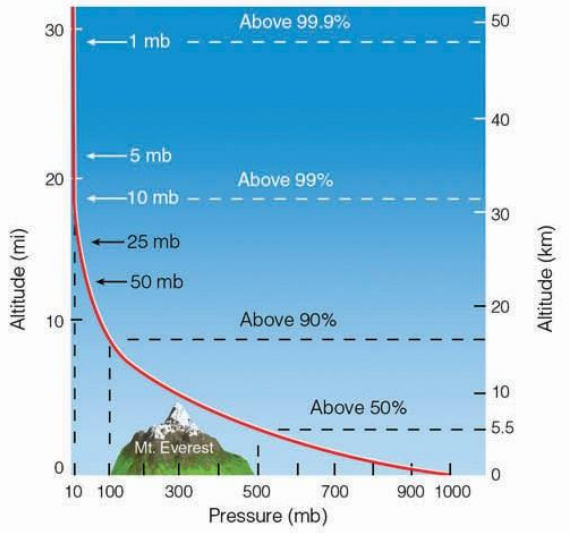
3. สภาพอากาศที่เกิดขณะฝนฟ้าคะนอง

3.1 หยาดน้ำฟ้า (Precipitation)

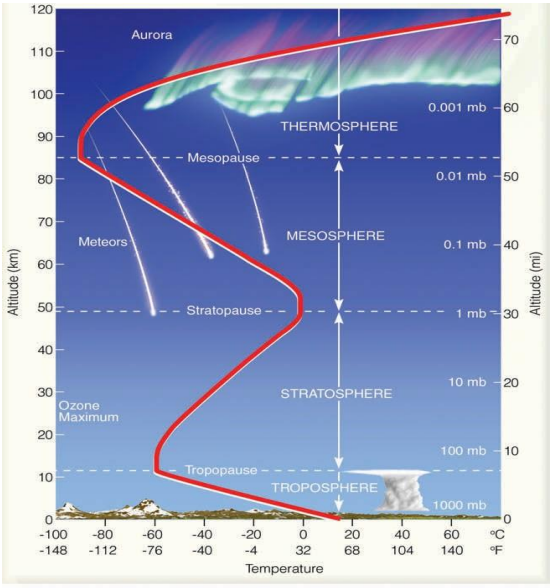
หยาดน้ำฟ้า (Precipitation) หรือ น้ำฟ้า หมายถึงปรากฏการณ์ของไอน้ำที่กลั่นตัวเป็นละอองเม็ดน้ำ ตกลงมาจากเมฆถึงพื้นดินในรูปลักษณะต่าง ๆ อาจจะเป็นของเหลว เช่น ฝน หรือของแข็ง เช่น หิมะหรือลูกเห็บ ชนิดของหยาดน้ำฟ้าอาจจำแนกได้ดังตาราง

PRECIPITATION TYPE	WEATHER SYMBOL	DESCRIPTION
Drizzle	,, (light)	Tiny water drops with diameters less than 0.5 mm that fall slowly, usually from a stratus cloud
Rain	•• (light)	Falling liquid drops that have diameters greater than 0.5 mm
Snow	** (light)	White (or translucent) ice crystals in complex hexagonal (six-sided) shapes that often join together to form snowflakes
Sleet (ice pellets)	△	Frozen raindrops that form as cold raindrops (or partially melted snowflakes) refreeze while falling through a relatively deep subfreezing layer
Freezing rain	•⌒ (light)	Supercooled raindrops that fall through a relatively shallow subfreezing layer and freeze upon contact with cold objects at the surface
Snow grains (granular snow)	△	White or opaque particles of ice less than 1 mm in diameter that usually fall from stratus clouds, and are the solid equivalent of drizzle
Snow pellets (graupel)	◊ (light showers)	Brittle, soft white (or opaque), usually round particles of ice with diameters less than 5 mm that generally fall as showers from cumuliform clouds; they are softer and larger than snow grains
Hail	◊ (moderate or heavy showers)	Transparent or partially opaque ice particles in the shape of balls or irregular lumps that range in size from that of a pea to that of a softball; the largest form of precipitation. *Large hail* has a diameter of ¾ in. or greater; hail almost always is produced in a thunderstorm

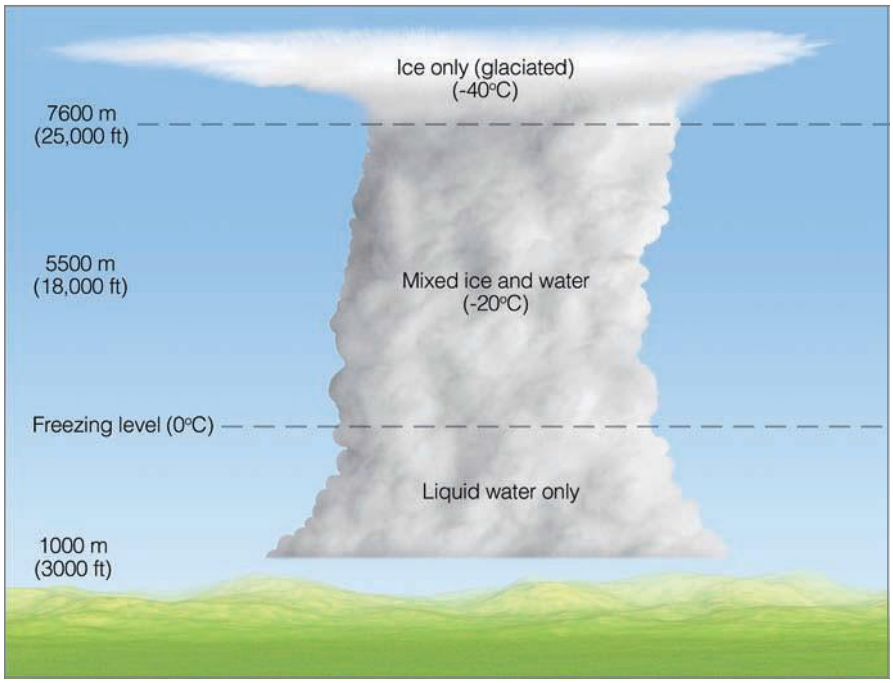
เมื่ออากาศซึ่งมีความชื้น ลอยตัวสูงขึ้นสู่ชั้นบรรยากาศโลกซึ่งมีอุณหภูมิลดลงตามความสูง (บรรยากาศโลกชั้น Troposphere) และความกดอากาศลดลงตามความสูง อากาศจะมีความสามารถอุ้มน้ำได้น้อยลง ประกอบกับอนุภาคฝุ่นผงในอากาศทำหน้าที่เป็นแกนกลั่น (condensation nucleus) ก่อให้การควบแน่นเป็นไปได้ง่ายขึ้น (ถ้าไม่มีอนุภาคฝุ่นผงในอากาศการควบแน่นจะไม่เกิดขึ้นจนกว่าความชื้นสัมพันธ์จะเกิน 400 %) จึงเกิดเป็นไอน้ำและหยดน้ำขนาดเล็ก (droplets) ซึ่งจะรวมตัวกันเป็นก้อนเมฆและผลึกน้ำแข็ง เมื่อหยดน้ำหรือผลึกน้ำแข็งเจริญเติบโตได้มากพอ ก็จะเริ่มตกลงมาตามอิทธิพลของแรงโน้มถ่วงของโลก หยดน้ำหรือผลึกน้ำแข็งเกิดการชนและรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่ขึ้นและเจริญเติบโตเป็นเม็ดฝน (rain drop) หรือเกล็ดหิมะ (snowflake) และตกลงมาสู่พื้นโลก



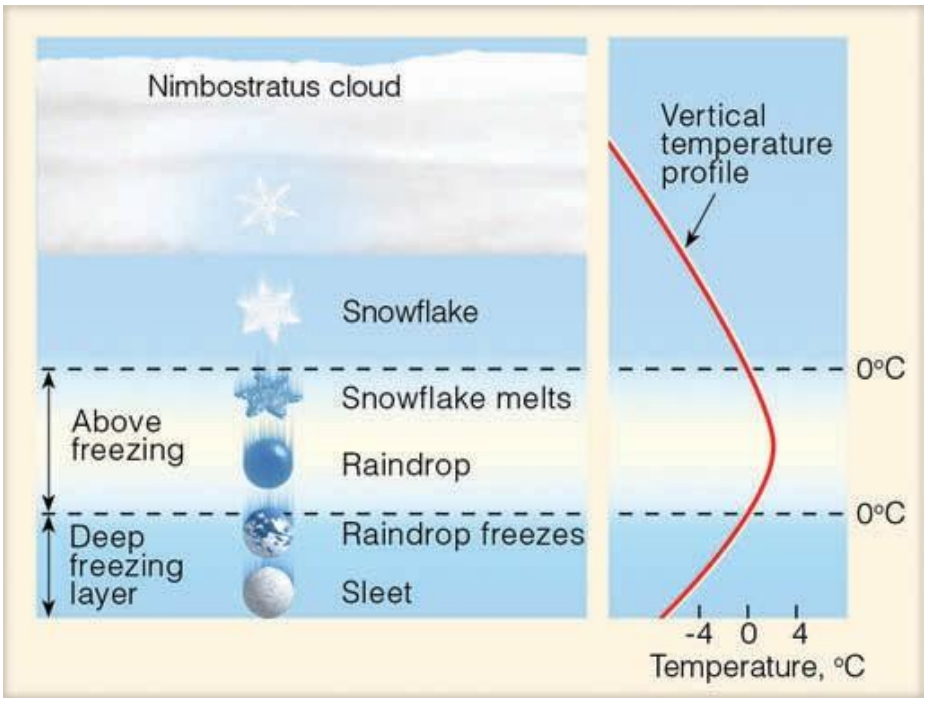
รูปที่ 16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูง และความกดอากาศ (ที่ระดับความสูงประมาณ 5.5 km เหนือระดับน้ำทะเล มีความกดอากาศประมาณ 500 mb ซึ่งโมเลกุลของชั้นบรรยากาศโลกประมาณครึ่งหนึ่งอยู่ภายใต้ความสูงนี้



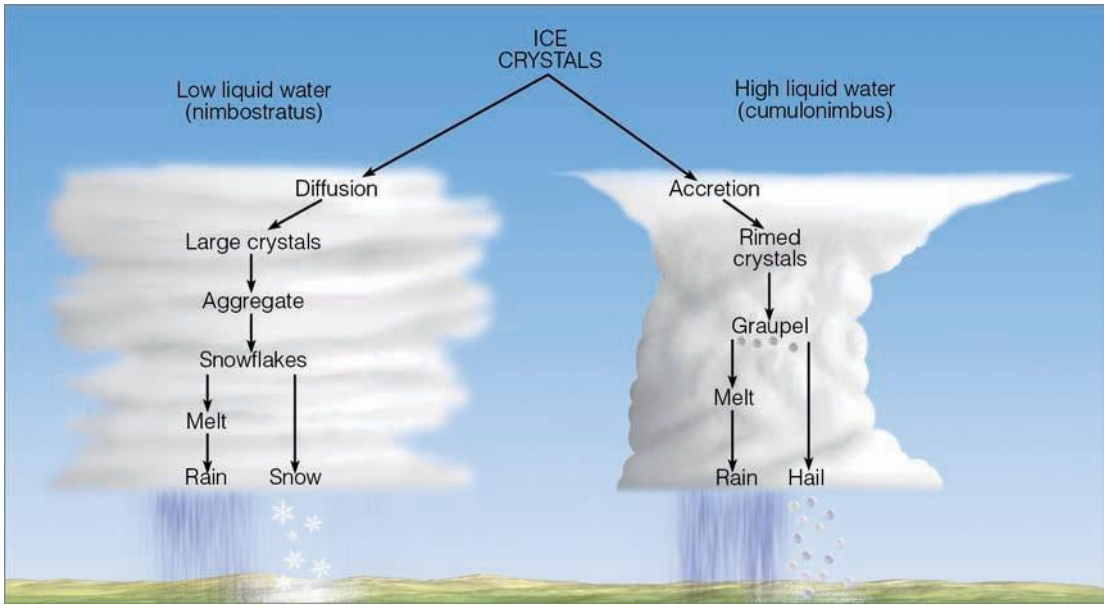
รูปที่ 17 แสดงอุณหภูมิของชั้นบรรยากาศโลก ถึงระดับความสูงประมาณ 120 กิโลเมตร



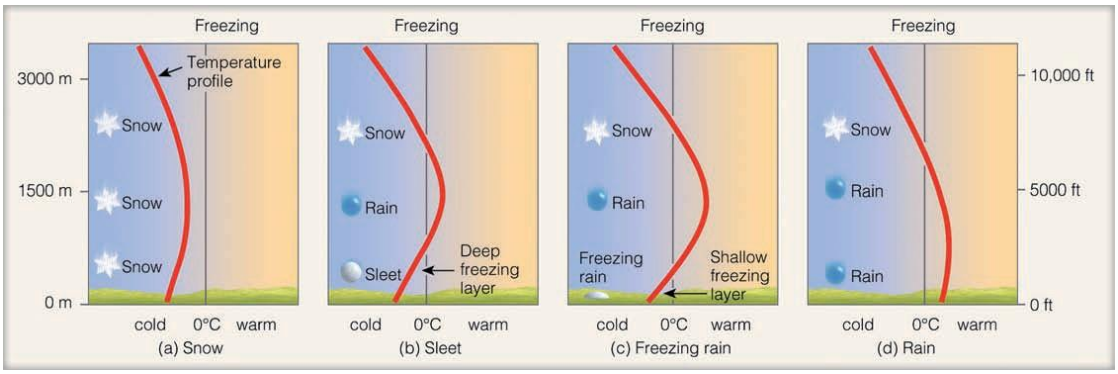
รูปที่ 18 แสดงการกระจายตัวของน้ำและน้ำแข็งที่ปรากฏอยู่ในเมฆ Cumulonimbus ซึ่งก่อให้เกิดฝนฟ้าคะนอง



รูปที่ 19 แสดงการเกิด sleet จากเมฆ Nimbostratus



รูปที่ 20 แสดงความแตกต่างระหว่างเมฆ Cumulonimbus ซึ่งก่อให้เกิดฝนฟ้าคะนอง และ เมฆ Nimbostratus



รูปที่ 21 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิชั้นบรรยากาศโลก เส้นสีแดง ซึ่งก่อให้เกิดหยาดน้ำฟ้าในรูปแบบต่างๆ

ฝน เป็นน้ำฟ้าชนิดหนึ่งที่เกิดจากปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ฝนทำให้ทัศนะวิสัยเสียเป็นสภาวะอากาศที่เป็นอุปสรรคต่อการบิน

3.1.1 **ฝน (Rain)**

ฝน หรือ น้ำฝน หมายถึง หยาดน้ำฟ้าในรูปลักษณะของหยดน้ำซึ่งก็คือน้ำฝน ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 0.5 มิลลิเมตร

ฝนละออง หรือ ฝนหยิม หมายถึง หยาดน้ำฟ้าที่เป็นเม็ดน้ำฝนเล็กละเอียดเป็นละอองตกค่อนข้างสม่ำเสมอ มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 0.5 มิลลิเมตร

ฝนซู่ หรือ ฝนไล่ช้าง หมายถึงหยาดน้ำฟ้าหรือฝนตกหนักโดยกะทันหันในระยะเวลาสั้น ๆ มีเสียงดัง ฝนซู่มักตกและหยุดอย่างฉับพลันและมีการเปลี่ยนแปลงความแรงของฝนอย่างรวดเร็ว

ฝนชะช่อมะม่วง หรือ ฝนชะลาน เป็นคำที่ใช้เรียกฝนที่ตกนอกฤดูฝน ซึ่งฝนชะช่อมะม่วงเป็นฝนที่มีปริมาณไม่มาก เกิดในช่วงเดือนมกราคม – มีนาคม ซึ่งเป็นระยะที่ไม้ผลต่างๆกำลังออกดอก โดยเฉพาะช่อมะม่วงทำให้มะม่วงติดผล และมีผลดก นอกจากนี้ชาวนาเรียกฝนนี้ว่าฝนชะลาน เพราะตกในเวลาที่กำลังทำการนวดข้าวบนลาน

ฝนฟ้าคะนอง หมายถึง หยาดน้ำฟ้าซึ่งอาจจะเป็นเม็ดฝน ลูกเห็บ หิมะ ตกหนักชั่วระยะเวลาสั้น ๆ แล้วหายไปในทันทีทันใด โดยมากเกิดขึ้นพร้อมกับฟ้าคะนอง

ฝน เกิดจากอนุภาคของไอน้ำขนาดต่างๆในก้อนเมฆเมื่อมีขนาดใหญ่ขึ้นจนไม่สามารถลอยตัวอยู่ในก้อนเมฆได้ก็จะตกลงมาเป็นฝน ฝนจะตกลงมายังพื้นดินได้นั้นจะต้องมีเมฆเกิดในท้องฟ้าก่อน เมฆมีอยู่หลายชนิด มีเมฆบางชนิดเท่านั้นที่ทำให้มีฝนตก เราทราบแล้วว่าไอน้ำจะกลั่นตัวเป็นเมฆก็ต่อเมื่อมีอนุภาคกลั่นตัวเล็กๆอยู่เป็นจำนวนมากเพียงพอและไอน้ำจะเกาะตัวบนอนุภาคเหล่านี้รวมกันทำให้เกิดเป็นเมฆ เมฆจะกลั่นตัวเป็นน้ำฝนได้ก็ต้องมีอนุภาคแข็งตัว(Freezing nuclei) หรือเม็ดน้ำขนาดใหญ่ซึ่งจะดึงเม็ดน้ำขนาดเล็กมารวมตัว กันจนเป็นเม็ดฝน สภาวะของน้ำที่ตกลงมาจากท้องฟ้า อาจเป็นลักษณะของฝน ฝนละออง หิมะหรือลูกเห็บ ซึ่งเรารวมเรียกว่าหยาดน้ำฟ้า (Precipitation) ซึ่งจะตกลงมาในลักษณะไหน ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศในพื้นที่นั้นๆ หยาดน้ำฟ้าต้องเกิดจากเมฆ แต่เมื่อมีเมฆไม่จำเป็นต้องมีหยาดน้ำฟ้าเสมอไป

พายุฟ้าคะนอง เป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่มีสภาวะอากาศร้ายเป็นอันตรายอย่างยิ่งต่อการบิน พายุฟ้าคะนองจะเริ่มก่อตัวขึ้นจากเมฆก้อน(เมฆคิวมูลัส)ก่อนในสภาวะบรรยากาศแวดล้อมที่เหมาะสม คือมีอากาศร้อนชื้น มีสภาพอากาศเป็นแบบไม่มีเสถียรภาพ หรือ เป็นแบบไม่มีเสถียรภาพแบบมีเงื่อนไข และมีกลไกทำให้อากาศยกตัวขึ้น

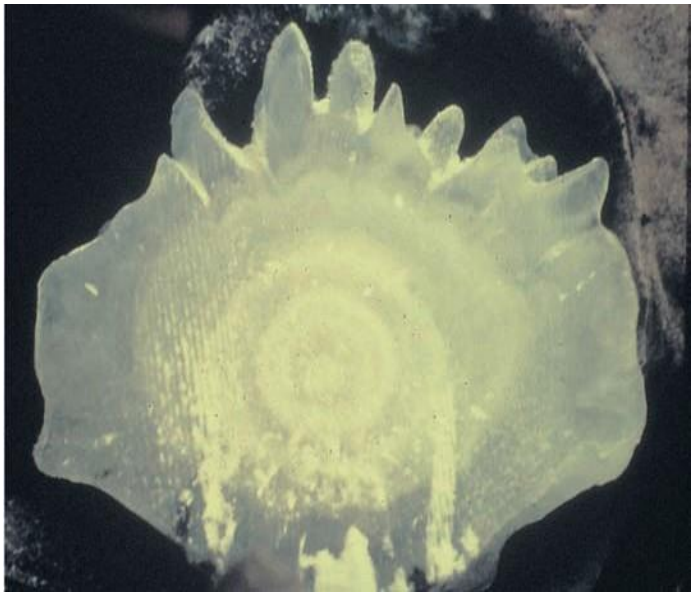
3.1.2 **ลูกเห็บ (Hail)**

ลูกเห็บ หมายถึง หยาดน้ำฟ้าที่ตกลงมาในลักษณะเป็นก้อน มีเส้นผ่าศูนย์กลางระหว่าง 5 – 50 มิลลิเมตร (0.2 – 2.0 นิ้ว) แต่ในบางครั้งอาจมีขนาดโตกว่าและอาจตกลงมาเป็นก้อนๆ หรือเกาะรวมกันเป็นก้อนขรุขระ ในประเทศไทย ลูกเห็บมักจะเกิดขึ้นในช่วงที่มีพายุฝนฟ้าคะนองในฤดูร้อน ระหว่างเดือนกุมภาพันธ์จนถึงเดือนพฤษภาคม โดยเฉพาะในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

ลูกเห็บ เป็นหยาดน้ำฟ้าในรูปของก้อนน้ำแข็ง และมักจะตกลงมาจากเมฆ Cumulonimbus ที่มีกระแสอากาศไหลขึ้นที่รุนแรง เมฆก่อตัวในแนวดิ่งมาก โดยที่ส่วนล่างของก้อนเมฆจะอุ่นและส่วนบนจะเย็นจัด และมีหยดน้ำชนิด supercooled water droplets อยู่ในก้อนเมฆเป็นจำนวนมาก

รูปที่ 22 แสดงลูกเห็บที่เกิดขึ้น หลังเกิดฝนฟ้าคะนอง

เนื่องจากส่วนล่างของก้อนเมฆ Cumulonimbus มีหยดน้ำขนาดเล็ก หยดน้ำเหล่านี้ถูกพัดขึ้นสู่เบื้องบนของก้อนเมฆที่เย็นจัดด้วยกระแสอากาศที่ไหลขึ้นอย่างแรง (strong updraft) หยดน้ำจะกลายเป็นน้ำแข็งและรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อผ่าลูกเห็บออกดูจะเห็นลักษณะโครงสร้างคล้ายหัวหอม ซึ่งเกิดจากการสะสมของหยดน้ำที่กลายเป็นน้ำแข็งบนก้อนเมฆ

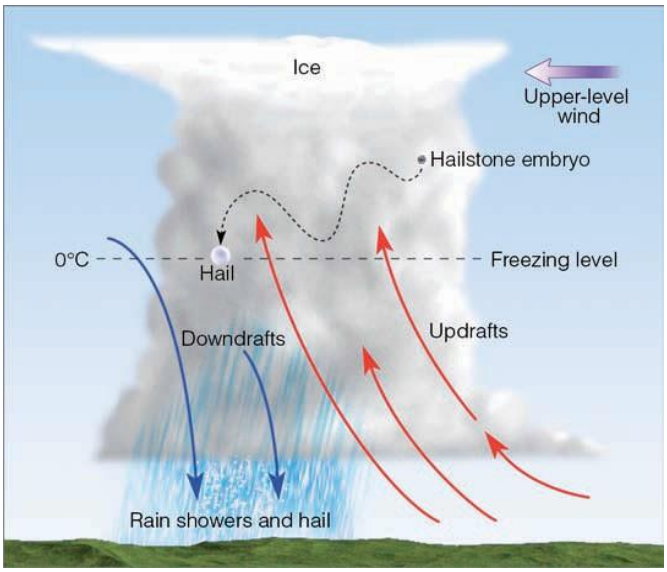


รูปที่ 23 ภาพตัดขวางของลูกเห็บแสดงให้เห็นชั้นของการเจริญเติบโตที่มีลักษณะคล้ายหัวหอม

รูปที่ 24 ภาพลูกเห็บขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 17.8 cm ตกในประเทศสหรัฐอเมริกาเมื่อ ปี 2003

ลักษณะของลูกเห็บส่วนใหญ่จะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2-4 มิลลิเมตร แต่บางทีอาจมีขนาดใหญ่ถึงหลายเซนติเมตรหรือใหญ่กว่านั้น ลูกเห็บขนาดเมล็ดถั่วจนถึงขนาดลูกกอล์ฟนั้นเป็นขนาดที่พบเห็นได้ทั่วไป เมื่อผ่าลูกเห็บออกจะเห็นชั้นหลายๆ ชั้นซ้อนกันอยู่ จำนวนชั้นบอกได้ว่าลูกเห็บนี้ถูกพัดขึ้นไปสูงขึ้นกี่ครั้ง โดยชั้นข้างในจะมีสีน้ำเงิน แล้วชั้นต่อไปสีจะจางลงเรื่อยๆ จนถึงสีขาว

สถิติของลูกเห็บที่หนักที่สุดในโลกนั้น ตกที่ เมืองคอฟฟีย์วิลล์ (Coffeyville) รัฐแคนซัส ในวันที่ 7 กันยายน พ.ศ. 2514 โดยหนักถึง 770 กรัม (หรือ 1.7 ปอนด์) มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 14.5 เซนติเมตร (5.7 นิ้ว) ส่วนลูกเห็บที่ขนาดใหญ่ที่สุดนั้นตกที่ ออโรรา (Aurora) รัฐเนแบรสกา ในวันที่ 22 มิถุนายน พ.ศ. 2546 ซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 17.8 เซนติเมตร (7 นิ้ว) แต่มีน้ำหนักน้อยกว่า อาจเนื่องมาจากมีบางส่วนแตกหลุดไปในระหว่างตกกระทบบ้าน



รูปที่ 25 แสดงการเกิดลูกเห็บในเมฆ Cumulonimbus

จากรูปที่ 24 ลูกเห็บเกิดจาก embryos ซึ่งอนุภาคน้ำแข็งนี้อาจถูกเรียกในอีกชื่อว่า graupel ขนาดความใหญ่ของลูกเห็บขึ้นกับองค์ประกอบหลายอย่าง ประการที่หนึ่ง กระแสอากาศจะต้องมีความแรงมากพอเพื่อที่จะทำให้ก้อนน้ำแข็งสามารถลอยอยู่ในส่วนที่เย็นของก้อนเมฆได้ ดังนั้นลูกเห็บขนาดใหญ่จะเกิดขึ้นในเมฆฝนฟ้าคะนองที่มีความรุนแรงเท่านั้น ประการที่สอง เมื่อลูกเห็บตกลงมาลูกเห็บจะต้องไม่ผ่านชั้นบรรยากาศที่อุ่นมากเกินไป มิเช่นนั้นจะละลายกลายเป็นน้ำก่อนที่จะตกลงสู่พื้นดิน ด้วยเหตุนี้ลูกเห็บจึงมักจะตกก่อนที่ฝนจะเริ่มตก และลูกเห็บมักจะเกิดในพื้นที่ที่อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลมาก ซึ่งมีชั้นบรรยากาศที่อุ่นไม่หนา เมื่อเทียบกับพื้นที่ต่ำซึ่งอยู่ใกล้ระดับน้ำทะเล

ลูกเห็บเป็นก้อนน้ำลักษณะเหมือนน้ำแข็ง เป็นส่วนหนึ่งของวัฏจักรของน้ำ โดยตกลงมาจากบรรยากาศในรูปของแข็ง โดยจะมีรูปร่างเป็นก้อนน้ำแข็งรูปร่างไม่แน่นอน เกิดจากละอองหยาดฝนซึ่งเย็นแบบยิ่งยวด (ยังอยู่ในสภาพของเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง) ในเมฆฝน ปะทะกับวัตถุแข็ง เช่น ผงฝุ่น หรือ ก้อนลูกเห็บที่เกาะตัวอยู่ก่อนแล้ว และแข็งตัวเกาะรอบวัตถุนั้น ๆ เป็นก้อนลูกเห็บ ก้อนลูกเห็บนี้อาจลอยตัวก่อเป็นก้อนอยู่เบื้องบนเป็นระยะเวลาหนึ่งก่อนจะตกลงมา เนื่องจากลมที่พัดพาอยู่เบื้องบน ดังนั้นลูกเห็บอาจเกาะตัวจนเป็นก้อนใหญ่มีน้ำหนักเกินกว่าที่ลมจะพัดให้ลอยอยู่ได้และตกลงมา

ฝนลูกเห็บมักจะมากับ พายุฝนที่รุนแรง และมักจะมีอากาศเย็น โดยที่อุณหภูมิของชั้นอากาศที่อยู่สูงนั้นเย็นกว่าอากาศที่อยู่ต่ำมาก ลูกเห็บขนาดเล็กจะถูกพัดพาสะท้อนขึ้นลงอยู่ระหว่างชั้นบรรยากาศที่อากาศเย็นและร้อน เนื่องจากการลอยตัวขึ้นของอากาศร้อนและแรงดึงดูดของโลก ลูกเห็บที่ลอยตัวอยู่นานก็จะมีขนาดใหญ่ ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ลูกเห็บขนาดใหญ่ก็อาจเกิดขึ้นได้ในเขตที่มีอากาศร้อน เนื่องมาจากการลอยตัวขึ้นที่รุนแรงของอากาศร้อน และยังสามารถเกิดขึ้นได้ในช่วงฤดูร้อนอีกด้วย

การตกลงมาของน้ำแข็งอีกประเภทที่มีขนาดใหญ่กว่าลูกเห็บเรียกว่า megacryometeors

ลูกเห็บยักษ์(megacryometeor) เป็นหยาดน้ำฟ้าชนิดหนึ่งเป็นก้อนน้ำแข็งที่มีขนาดใหญ่กว่าลูกเห็บ เกิดขึ้นจากความผิดปกติของสภาพอากาศแจ่มใส ไม่มีเมฆ ไม่เกิดขึ้นจากพายุฝนฟ้าคะนอง

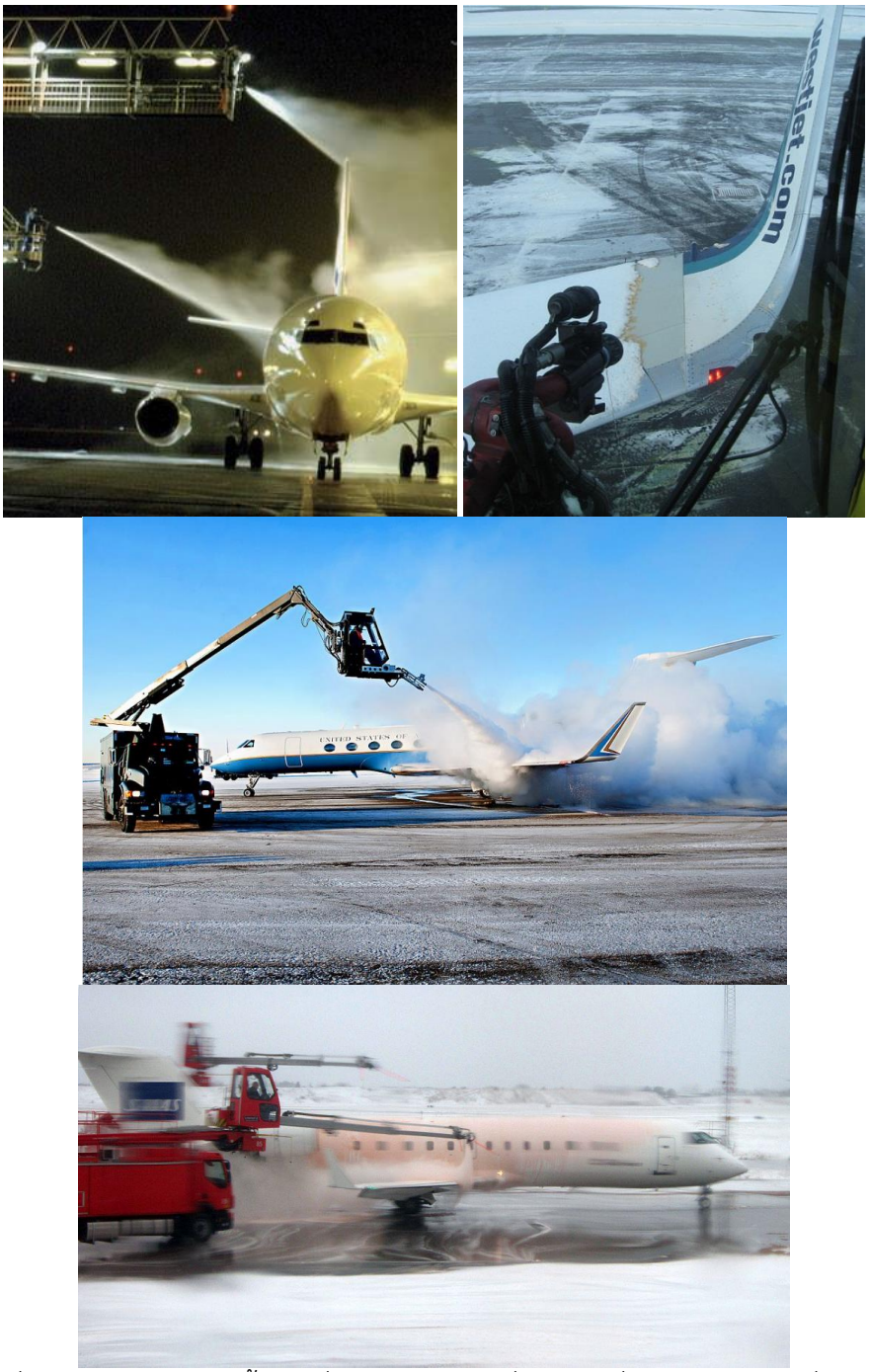
จีซัส มาร์ตินีซ-ฟรายส์ นักธรณีวิทยาดาวเคราะห์จากศูนย์สิ่งมีชีวิตนอกโลกในกรุงมาดริดเป็นผู้บุกเบิกการวิจัยลูกเห็บยักษ์ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2543 (ค.ศ. 2000) หลังจากที่ลูกเห็บยักษ์หนักประมาณ 3 กิโลกรัมตกในสเปนในขณะที่ท้องฟ้าแจ่มใสนานถึง 10 วัน

ลูกเห็บยักษ์กว่า 50 ลูกที่ได้รับการบันทึกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2543 มีน้ำหนักตั้งแต่ 0.5-200 กิโลกรัม ลูกหนึ่งที่ตกในประเทศบราซิลหนักถึง 220 กิโลกรัม

กระบวนการเกิดของลูกเห็บยักษ์ยังเป็นที่สงสัย สันนิษฐานว่าคล้ายกับการเกิดของลูกเห็บ และเกิดในฤดูร้อนขณะที่อากาศแจ่มใส การวิเคราะห์ลูกเห็บยักษ์แสดงองค์ประกอบเข้าคู่กับฝนในบริเวณที่มันตก ไม่ได้มาจากเครื่องบิน เพราะมีการบันทึกว่าเกิดปรากฏการณ์นี้ก่อนที่จะมีการประดิษฐ์เครื่องบิน ผลการทดสอบแรกบ่งชี้ว่าการผันแปรในช่องว่างโทรโพพอส(ช่องที่อยู่ระหว่างบรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์กับสตราโตสเฟียร์) สามารถสอดคล้องกับการเกิดลูกเห็บยักษ์ มีบางครั้งผู้เห็นเหตุการณ์ก็คิดว่าเป็นอุกกาบาตเพราะลูกเห็บยักษ์สามารถทำให้เกิดหลุมขนาดเล็กๆ ได้

3.2 ภาวะน้ำแข็งเกาะจับเครื่องบิน (Aircraft Icing)

เมื่อเครื่องบินบินผ่านก้อนเมฆซึ่งมีหยดน้ำที่เย็นจัด (supercooled water droplets) พื้นผิวของเครื่องบินจะถูกเคลือบด้วยน้ำแข็ง ซึ่งหากน้ำแข็งที่เกาะจับลำตัวเครื่องบินมีปริมาณมากจะส่งผลให้เกิดปัญหากับการบินของเครื่องบิน



รูปที่ 26 แสดงการกำจัดน้ำแข็งที่เกาะบนลำตัวเครื่องบิน เมื่อมีสภาพอากาศที่เย็นจัด

3.3 ความปั่นป่วนในอากาศ (Turbulence)

เป็นการเคลื่อนไหวผิดปกติของบรรยากาศซึ่งมักจะเกิดขึ้นเมื่อมีฝนฟ้าคะนอง (มีความปั่นป่วนของบรรยากาศอีกแบบที่เกิดขึ้นเมื่อมีลักษณะอากาศแจ่มใส เรียกว่า ความปั่นป่วนในอากาศแจ่มใส Clear Air Turbulence : CAT) ซึ่งก่อให้เกิดลมกระโชกแรง (gusts) หรือลมที่พัดหมุนวน (eddies)

Turbulence หลายประเภทที่นักบินสามารถสังเกตจากลักษณะของกลุ่มก้อนเมฆได้ ซึ่งโดยส่วนมากเครื่องบินสมัยใหม่ได้มีการติด เรดาร์ตรวจสภาพอากาศ (Weather radar) เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงไม่เข้าไปทำการบินบริเวณนั้นแต่ก็ยังมี Turbulence บางประเภทที่ไม่สามารถมองเห็น หรือไม่มีสิ่งบ่งชี้ว่าอาจเกิด Turbulence ขึ้นได้ด้วยเช่นกัน

ประเภทของ Turbulence สามารถเกิดได้จากหลากหลายสาเหตุดังนี้

Thunderstrom Turbulence เกิดจากพายุฝนฟ้าคะนอง จะสังเกตได้จากการก่อตัวของพายุ ซึ่งสามารถส่งผลกระทบมาได้อีกหลายไมล์แม้จะออกห่างจากตัวพายุแล้วก็ตาม

Mechanical Turbulence เกิดที่ผิวพื้น เมื่อกระแสอากาศไหลผ่านสิ่งต่างๆบนพื้นดิน ก่อให้เกิดกระแสวน

Convective Turbulence เกิดจากอากาศที่ร้อนบนพื้นผิวโลกลอยตัวสูงขึ้น ดันกระแสอากาศให้ไม่นิ่ง

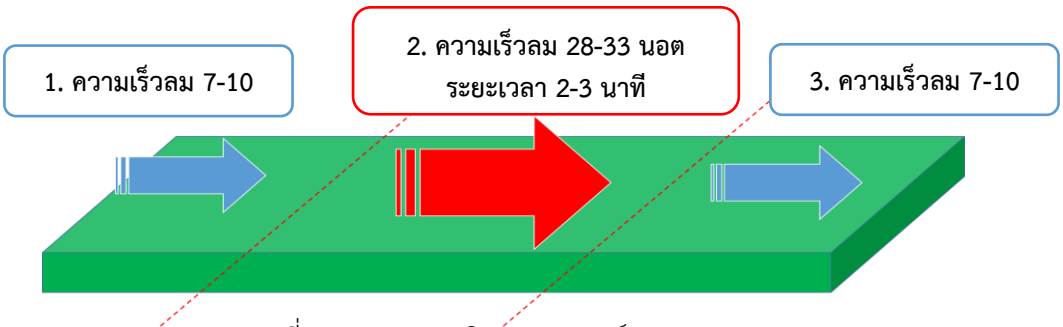
Wake Turbulence เกิดจากกระแสอากาศจากเครื่องบินด้านหน้าอันมาจากเครื่องยนต์ สำหรับชนิดนี้ นักบินทุกคนควรพึงตระหนักถึงภัยอันตรายให้ดี เนื่องจากเคยเกิดเหตุกับสายการบินหนึ่งจนตกเสียชีวิตยกลำมาแล้วนั่นเอง

Clear Air Turbulence ส่วนมากจะสังเกตไม่ได้จากตาเปล่า เกิดในวันที่อากาศสดใส น่ากลัวเป็นอย่างยิ่ง เกิดจากกระแสอากาศสองกระแสมีความเร็วไม่เท่ากันไหลใกล้กัน ก่อให้เกิดความแปรปรวนระหว่างผิวของทั้งสองกระแสอากาศ

Mountain Wave Turbulence เกิดจากกระแสอากาศไหลผ่านภูเขา ก่อให้เกิดลมวนบริเวณหุบเขานั่นเอง

3.4 ลมสควอลล์ (Squall)

ลมสควอลล์ คือ ลมที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็ว หรือความเร็วและทิศทางอย่างฉับพลัน โดยความเร็วลมเบื้องต้นอย่างน้อยมีความเร็วประมาณ 3 โบฟอร์ต (7-10 นอต หรือ 12-19 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) แล้วเปลี่ยนแปลงความเร็วไปอย่างน้อย 3 หรือ 4 โบฟอร์ต (11-16 นอต หรือ 20-28 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) เพิ่มขึ้นโดยฉับพลันจนมีความเร็วลมเป็น 7 โบฟอร์ต (28-33 นอต หรือ 50 – 61 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) แล้วคงความเร็วลมเป็นระยะเวลาประมาณ 2-3 นาที แล้วหายไปโดยฉับพลัน ดังรูปที่ 27 มักจะเกิดขึ้นพร้อมกับการเปลี่ยนแปลงทิศทางของลม และมีฝนโปรยผ่านไปอย่างหนัก อันเนื่องมาจากเมฆคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus : Cb) ขนาดใหญ่ หรือจากแนวปะทะอากาศเย็น (Cold Front)

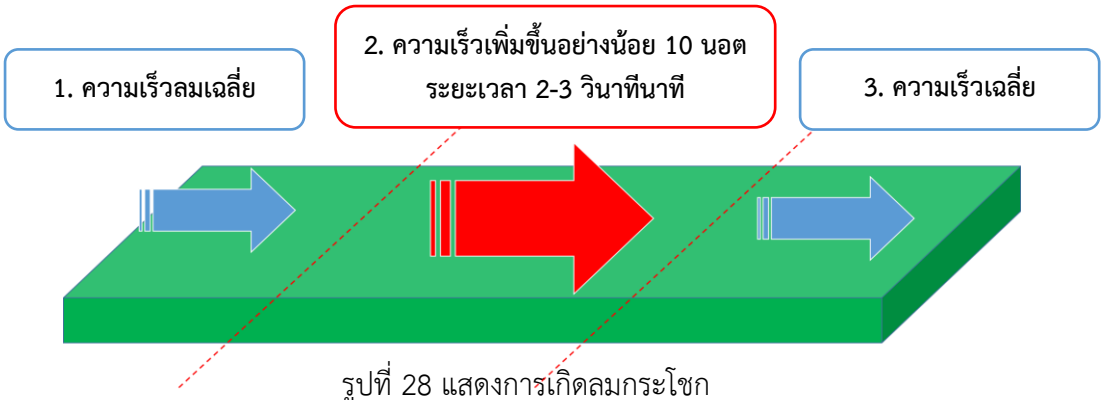


รูปที่ 27 แสดงการเกิดลมสควอลล์

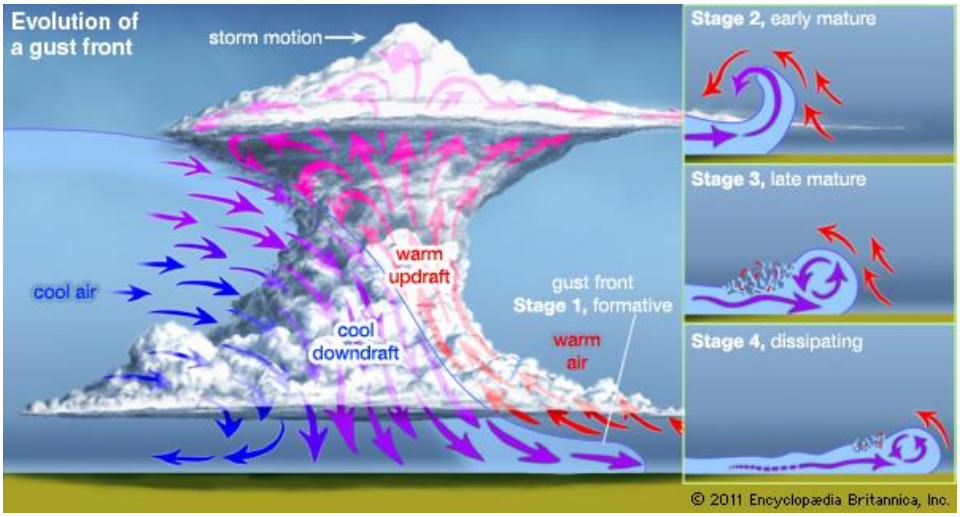
3.5 ลมกระโชก (Gust)

ลมกระโชก (Gust) คือ ลมที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็ว หรือความเร็วและทิศทางอย่างฉับพลัน โดยความเร็วลมเพิ่มขึ้นจากความเร็วลมเฉลี่ยเกินกว่า 10 นอต (5 เมตรต่อวินาที) และคงอยู่เป็นระยะเวลาประมาณ 2-3 วินาที ดังรูปที่ 28 อันเนื่องมาจากเมฆคิวมูโลนิมบัส ซึ่งจะเกิดแนวลมกระโชก (Gust Front) พัดออกไปด้านหน้าเมฆคิวมูโลนิมบัส

แนวลมกระโชก (Gust Front) คือ กระแสอากาศที่เกิดจากกระแสอากาศไหลลง (Downdraft) ของมวลอากาศเย็นจากเมฆคิวมูโลนิมบัสในสถานะเจริญเติบโตเต็มที่ (Mature State) อันเนื่องมาจากการตกลงมาของหยาดน้ำฟ้า (Precipitation) ลงสู่พื้นแล้วกระจายออกทุกทิศทางเกิดการม้วนตัวของกระแสอากาศจากการปะทะกับอากาศที่หยุดนิ่ง ซึ่งจะทำให้เกิดแนวลมกระโชก และมีที่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วของลมอย่างฉับพลัน ดังรูปที่ 29 อาจจะมีความเร็วถึง 55 นอต



รูปที่ 28 แสดงการเกิดลมกระโชก



รูปที่ 29 แสดงการเกิดและการม้วนตัวของแนวลมกระโชก

ในสภาวะอากาศที่ร้อนชื้นอากาศที่ยกตัวอยู่บริเวณของขอบแนวลมกระโชกจะมีการก่อตัวของเมฆกันชน (Shelf cloud) หรือเรียกว่า เมฆอาร์คัส (Arcus) ดังรูปที่ 30 สามารถพบได้บ่อยเมื่อสภาวะอากาศที่มีเสถียรภาพ (Stable) ใกล้

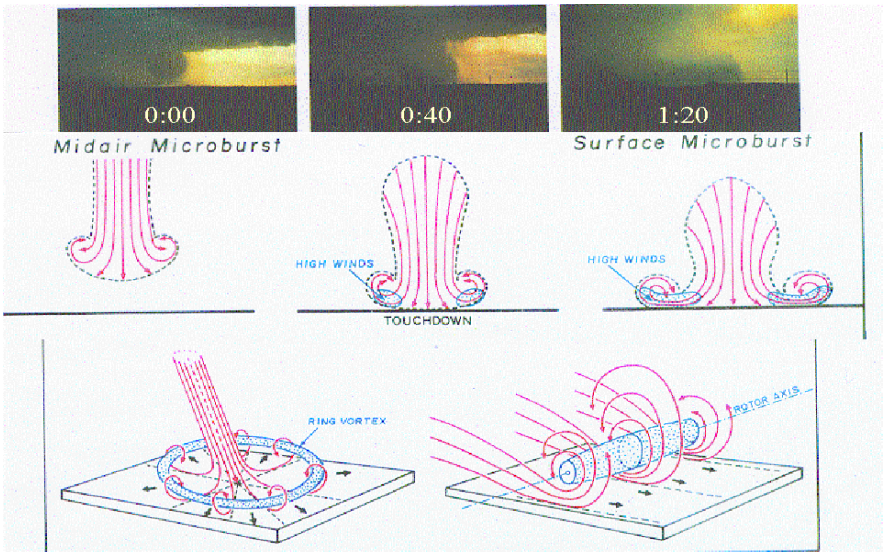
กับฐานของเมฆฝนฟ้าคะนอง (Thunderstorm) และด้านหลังของเมฆกันชนจะมีการก่อตัวของเมฆกลิ้ง (Roll Cloud) ที่เกิดจากการไหลสวนกระแสกันของกระแสอากาศไหลขึ้น (Updraft) กับกระแสอากาศไหลลง (Downdraft) ดังรูปที่ 31 ในสภาวะที่แนวลมกระโชก (Gust Front) มีการแยกตัวของอากาศเย็น (Cooled Air) จากสภาพอากาศโดยรอบ และจะทำให้เกิดลักษณะเช่นเดียวกับแนวปะทะอากาศเย็น (Cold Front) เคลื่อนที่ผ่านเกิดสภาวะการเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมและทิศทาง (Wind Shift), การลดลงของอุณหภูมิ (Temperature) รวมไปถึงการเพิ่มขึ้นของความกดอากาศ (Pressure)

รูปที่ 30 แสดงเมฆกันชนหรือเมฆอาร์คัส

รูปที่ 31 แสดงเมฆกลิ้ง

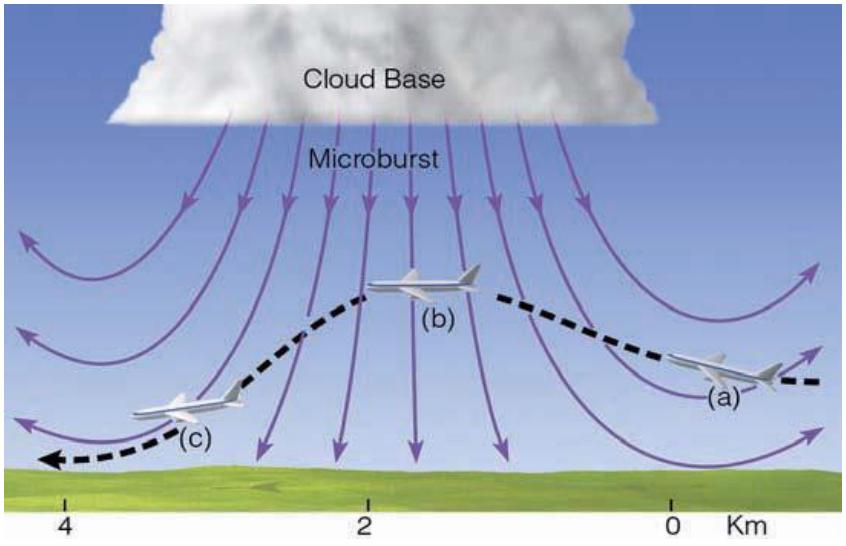
3.6 ไมโครเบิร์ส (Microburst)

ไมโครเบิร์ส (Microburst) คือ กระแสอากาศไหลลง (Downdraft) สู่พื้นแล้วแผ่ออกจากศูนย์กลางที่ตกกระทบ (Radial) อย่างรุนแรงในแนวราบ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า กระแสลมแรงไหลลง (Downburst) ที่มีระยะเส้นผ่านศูนย์กลางไม่เกิน 4 กิโลเมตร บางครั้งความรุนแรงของไมโครเบิร์สจากกระแสอากาศทำให้ลมที่เกิดจากการแผ่กระจายออกมามีความเร็วลมได้ถึง 146 นอต ซึ่งสามารถสร้างความเสียหายแก่ต้นไม้ หรือสิ่งก่อสร้างได้ และอาจจะสร้างความเสียหายต่ออากาศยาน (Aircraft) ที่บินเข้าสู่บริเวณที่เกิดไมโครเบิร์สในระดับความสูง 300 เมตร (1000 ฟุต) จากพื้นดิน ดังรูปที่ 32



รูปที่ 32 แสดงระยะเวลาการเกิดของไมโครเบิร์ส

เมื่ออากาศยานต์เคลื่อนเข้าสู่ตำแหน่ง (a) ลมที่กระทบจะเป็นลมปะทะหน้า (Headwind) ซึ่งจะทำให้ตัวอากาศยานเชิดหัวขึ้น แต่เมื่อเคลื่อตัวเข้าสู่ตำแหน่ง (b) จะได้รับผลกระทบจากกระแสอากาศไหลลง (Downdraft) ทำให้สูญเสียระดับความสูงของการบิน และเมื่อเคลื่อนตัวเข้าสู่ตำแหน่ง (c) ลมที่กระทบจะเป็นลมส่งท้าย (Tailwind) ทำให้อากาศยานอาจจะกระแทกกับพื้นได้ ดังรูปที่ 33



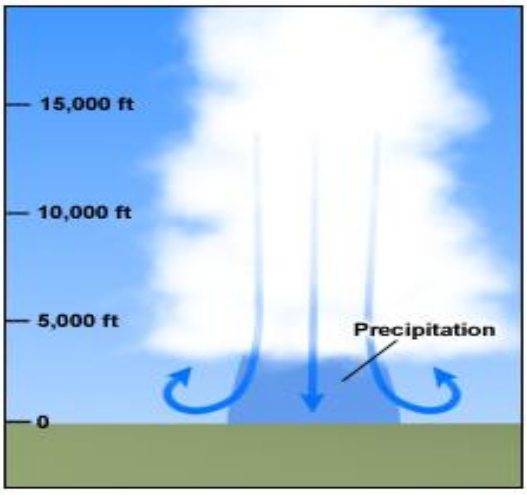
รูปที่ 7 แสดงการเคลื่อนตัวของอากาศยานเมื่อเข้าสู่บริเวณที่เกิดไมโครเบิร์ส

ในกรณีที่เส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาดมากกว่า 4 กิโลเมตร จะเรียกว่า แมโครเบิร์ส (Macroburst) และปรากฏการณ์นี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ

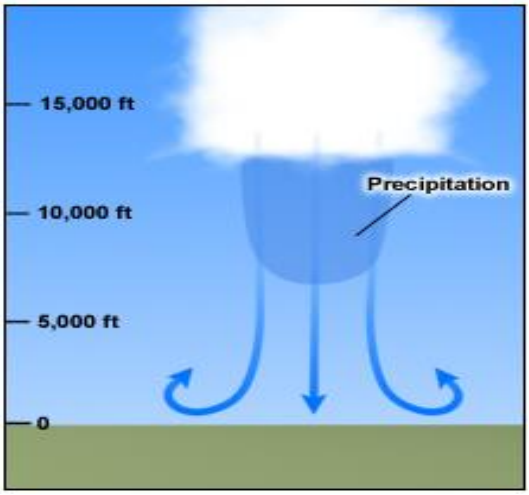
1. ไมโครเบิร์สแบบเปียก (Wet Microburst) คือ ไมโครเบิร์สที่เกิดจากหยาดน้ำฟ้า (Precipitation) ที่ตกลงมาสู่พื้นดิน แล้วทำให้เกิดกระแสลมแรงไหลลง (Downburst) กระจายออกทุกทิศทาง ดังรูปที่ 34

2. ไมโครเบิร์สแบบแห้ง (Dry Microburst) คือ ไมโครเบิร์สที่เกิดจากหยาดน้ำฟ้า (Precipitation) ที่ยังไม่ตกลงสู่พื้นดิน (Virga) เพราะระเหยกลายเป็นไอน้ำไปก่อนตกกระทบถึงพื้น แต่ยังคงมีกระแสลมแรงไหลลง (Downburst) ลงไปกระทบพื้นแล้วกระจายออกทุกทิศทาง ดังรูปที่ 35

3. ไมโครเบิร์สแบบร้อน (Heat Microburst) คือ ไมโครเบิร์สที่เกิดขึ้นในช่วงการสลายตัว (Dissipating) ของพายุฟ้าคะนอง (Thunderstorm) อันเกิดมาจากกระแสความร้อนของอากาศที่มีการอัดกันของอากาศแห้งไหลทำให้มีความร้อนสูงขึ้นแล้วไหลลงมากระทบพื้น เช่น เหตุการณ์ในวันที่ 22 พฤษภาคม 2539 เมืองซิกคาซา รัฐโอกลาโฮมา ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้เกิดไมโครเบิร์สแบบร้อนทำให้อุณหภูมิบริเวณที่ตกกระทบมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงจากเดิม 31.1 °C สูงขึ้นเป้น 38.8 °C ภายในเวลาเพียง 25 นาที



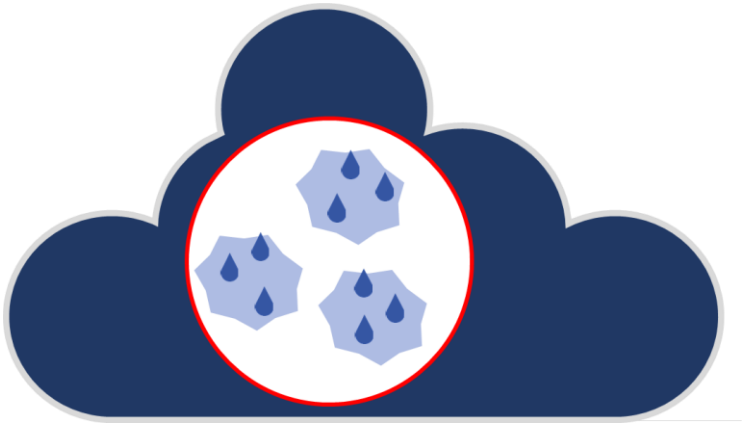
รูปที่ 34 แสดงการเกิดของไมโครเบิร์สแบบเปียก



รูปที่ 35 แสดงการเกิดไมโครเบิร์สแบบแห้ง

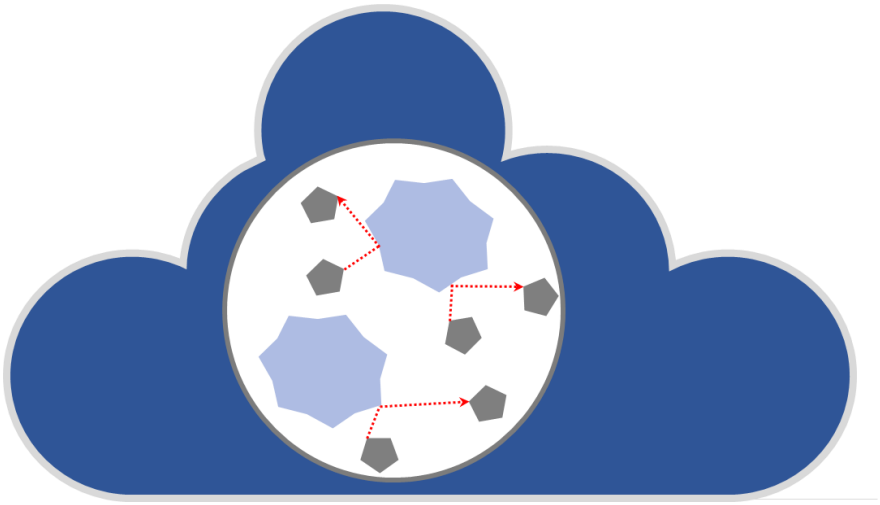
3.7 ฟ้าผ่า (Lightning Strike)

ฟ้าผ่า คือ ปรากฏการณ์การปลดปล่อยประจุ (Discharge) ของกระแสไฟฟ้า (Electricity) เกิดเป็นประกายไฟ (Spark) ส่วนมากเกิดขึ้นในช่วงเจริญเติบโตเต็มที่ (Mature State) ของพายุฝนฟ้าคะนอง (Thunderstorm) ขั้นตอนของการแลกเปลี่ยนประจุจะเกิดโดยกระแสอากาศไหลขึ้น (Updraft) นำเอาหยดน้ำ (Droplet) ลอยขึ้นไปเลยระดับเยือกแข็ง (Freezing level) ทำให้หยดน้ำกลายเป็นผลึกน้ำแข็ง (Ice crystal) แล้วสัมผัสกับหยดละอองน้ำในสภาพเย็นยิ่งยวด (Supercool Droplet) เกิดการรวมตัวกันเป็นลูกเห็บระยะเริ่มต้น (Embryo Hailstone) แล้วโดนแรงโน้มถ่วงกระทำให้ร่วงลงมาสัมผัส หรือกระทบกับหยดละอองน้ำในสภาพเย็นยิ่งยวด (Supercool Droplet) สะสมจนเกิดเป็นลูกเห็บ (Hailstone) และยังคงเคลื่อนที่ลงสู่พื้นโดยแรงกระทำจากแรงโน้มถ่วง และยังคงมีการชนกับหยดละอองน้ำในสภาพเย็นยิ่งยวด (Supercool Droplet) มีการปลดปล่อยความร้อนแผง (Latent Heat) ให้แก่ลูกเห็บ (Hailstone) ทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะกลายเป็นผลึกน้ำแข็ง (Ice Crystal) ดังรูปที่ 36

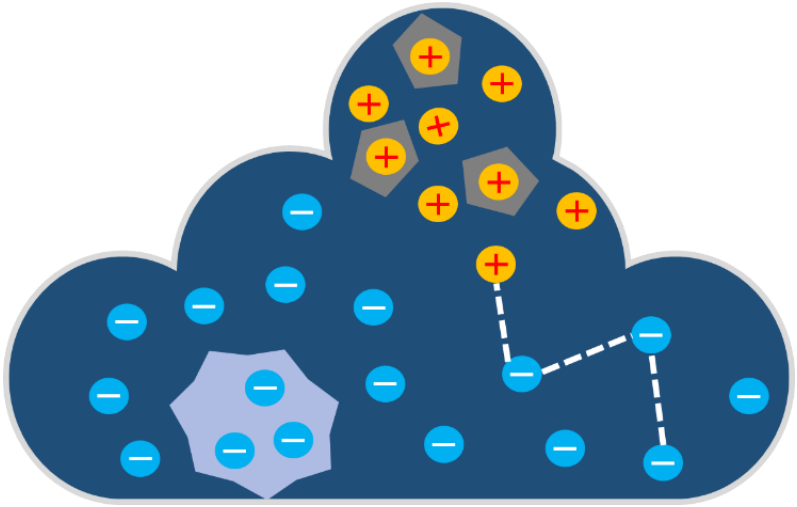


รูปที่ 36 แสดงการกระทบระหว่างลูกเห็บกับหยดละอองน้ำในสภาพเย็นยิ่งยวด

การสัมผัสกันของลูกเห็บ (Hailstone) กับผลึกน้ำแข็ง (Ice crystal) จะทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนประจุเกิดขึ้น ลูกเห็บ (Hailstone) ซึ่งได้รับความร้อนแฝง (Latent Heat) จากหยดละอองน้ำในสภาพเย็นยิ่งยวด (Supercool Droplet) มีพลังงานความร้อนเพิ่มสูงมากกว่าผลึกน้ำแข็ง (Ice Crystal) ที่มาสัมผัส ดังรูปที่ 11 เกิดการถ่ายเทประจุบวก (+) ให้แก่ผลึกน้ำแข็ง (Ice Crystal) แล้วแสดงศักย์ไฟฟ้า (Electric Potential) เป็นประจุลบ (-) ผลึกน้ำแข็ง (Ice crystal) ที่มีขนาดเล็กจะถูกกระแสอากาศไหลขึ้น (Updraft) ลอยขึ้นไปรวมตัวกันที่บริเวณยอดเมฆ ทำให้มีการรวมตัวกันของประจุบวก (+) เป็นจำนวนมาก จึงแสดงศักย์ไฟฟ้า (Electric Potential) เป็นประจุบวก (+) ลูกเห็บที่ร่วงลงตามแรงโน้มถ่วงไปสู่บริเวณฐานเมฆ (Cloud base) เกิดการรวมตัวของกลุ่มประจุลบ (-) จึงแสดงศักย์ไฟฟ้าเป็นประจุลบ (-) ดังรูปที่ 37 และ 38 ฟ้าผ่าสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ ดังนี้



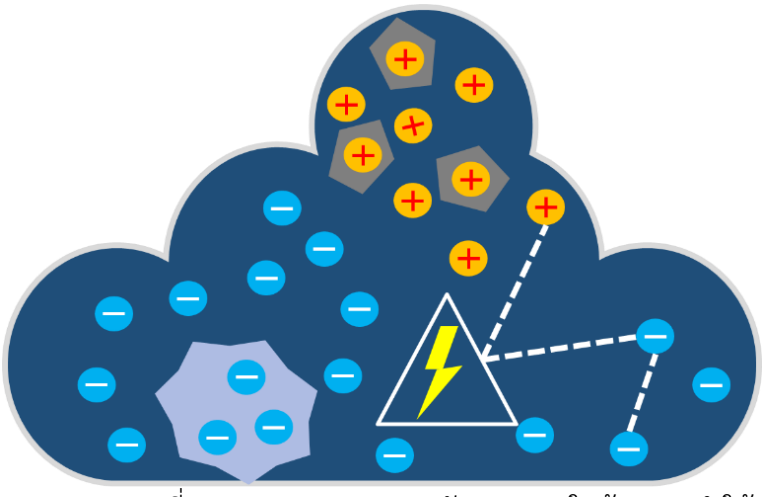
รูปที่ 37 แสดงการสัมผัสกันของลูกเห็บและผลึกน้ำแข็งทำให้เกิดการถ่ายเทประจุ



รูปที่ 38 แสดงการรวมตัวของประจุลบที่ฐานเมฆและประจุบวกที่ยอดเมฆ

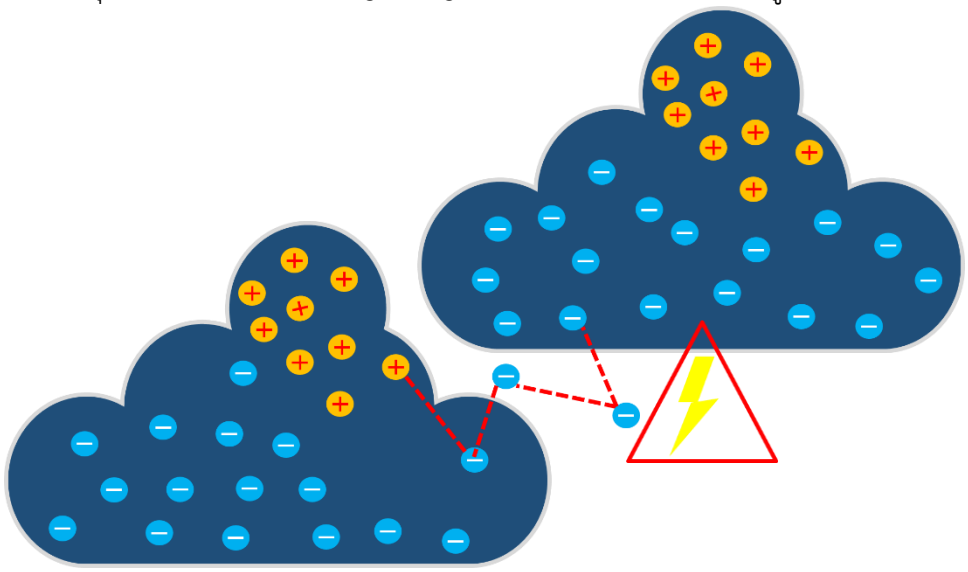
1. ฟ้าผ่าที่ไม่ลงสู่พื้น หรือฟ้าแลบ (Lightning) หรือฟ้าผ่าที่ไม่ลงสู่พื้น คือ ปรากกฏการการปลดปล่อยประจุของกระแสไฟฟ้า เมื่อสองบริเวณมีประจุที่ต่างกันจะเกิดการนำร่อง (Leader) ของประจุลบเพื่อไปหาประจุบวก ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนประจุกันระหว่าง 2 บริเวณ เกิดเป็นประกายไฟแลบ เรียกว่า ฟ้าแลบ (Lightning) ซึ่งสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ดังนี้

1.1 ฟ้าผ้าภายในเมฆก่อนเดียว หรือเรียกว่า ฟ้าผ่าภายในก้อนเมฆ (Inside Cloud Lightning Stroke คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดจากประจุลบที่กระจายกันอย่างหนาแน่นบริเวณฐานเมฆจะยิ่งเพิ่มสูงขึ้นเมื่อลูกเห็บมารวมตัวกันมากขึ้น ประจุลบจะนำร่อง (Leader) ล่อให้ประจุที่อยู่อย่างหนาแน่นบริเวณยอดเมฆเข้ามาหาเกิดการการถ่ายเทประจุระหว่างสองประจุเกิดเป็นประกายฟ้าแลบ (Lightning) ภายในก้อนเมฆก้อนเดียว ดังรูปที่ 39



รูปที่ 39 แสดงการแลกเปลี่ยนประจุของประจุบวกกับประจุลบในก้อนเมฆทำให้เกิดฟ้าแลบ

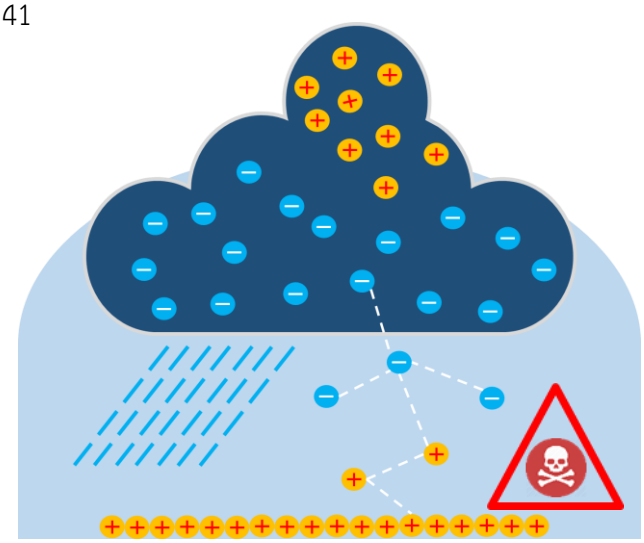
1.2 ฟ้าผ้าระหว่างก้อนเมฆ (Cloud to Cloud Lightning Stroke) คือ ปรากฏการฟ้าแล่บที่เกิดขึ้นจากประจลบบริเวณฐานเมฆอีกก้อนที่อยู่ใกล้กันนำร่อง (Leader) ไปหาประจุบวกที่อยู่บริเวณยอดเมฆของก้อนเมฆอีกก้อน เกิดการแลกเปลี่ยนประจุและประกายไฟแลบ (Lightning) ระหว่างก้อนเมฆเกิดขึ้น ดังรูปที่ 40



รูปที่ 40 แสดงการแลกเปลี่ยนประจของประจุบวกกับประจุลบระหว่างก้อนเมฆทำให้เกิดฟ้าแลบ

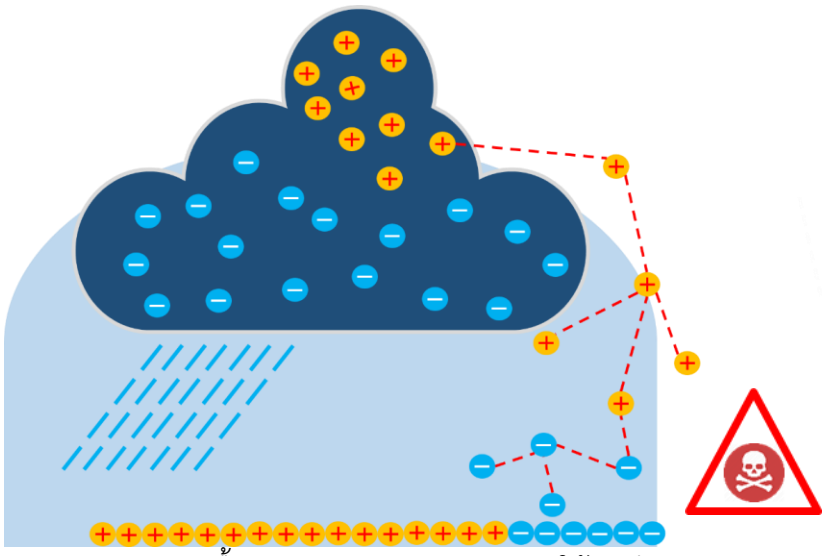
2. ฟ้าผ่าลงมาสู่พื้นดิน (Cloud to ground Lightning Stroke) คือ ปรากฏการณ์การปลดปล่อยของประจุจากก้อนเมฆลงสู่พื้น เกิดก้อนเมฆที่มีประจุตรงข้ามกับพื้น จะเคลื่อนที่ลงมาสู้พื้น เรียกว่า กระแสนำแบบขั้น (Stepped leader) ประจุที่อยู่บนพื้นจะเชื่อมต่อกับประจุที่เคลื่อนลงมา ทำให้ประจุไหลลงมาตามเส้นเชื่อมนี้เรียกว่า กระแสสตรีมเมอร์ (Streamer) ในส่วนของพื้นจะเกิดกระแสไหลสวนกลับเนื่องมาจากประจุบวกไหลขึ้นไปหาประจุลบ เรียกว่า กระแสโต้กลับ (Return Stroke) หรือฟ้าผ่า (Lightning Stroke) เกิดขึ้น สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท ดังนี้

2.1 ฟ้าผ่าลงสู่พื้นดินแบบประจุลบ (Negative Ground to cloud Lightning Stroke) คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดจากประจุลบบริเวณฐานเมฆเหนี่ยวนำให้บริเวณที่อยู่ใต้ฐานเมฆเป็นประจุบวก ประจุลบบริเวณฐานเมฆจะเคลื่อนลงมาตามกระนำแบบขั้นเชื่อมต่อกับประจุบวกแล้วเกิดการไหลสวนกลับของกระโต้กลับจากประจุบวกทำให้เกิดฟ้าผ่าลงสู่พื้น ดังรูปที่ 41



รูปที่ 41 แสดงการแลกเปลี่ยนประจุลบบริเวณฐานเมฆกับประจุบวกที่พื้นทำให้เกิดฟ้าผ่าแบบประจุลบ

2.2 ฟ้าผ่าลงสู่พื้นดินแบบประจุบวก (Positive Ground to cloud Lightning Stroke) คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดจากประจุลบบริเวณพื้นนอกฐานเมฆอันเกิดจากประจุลบที่อยู่บริเวณฐานเมฆเหนี่ยวนำจากประจบวกไปอยู่บริเวณที่อยู่ใต้ฐานเมฆ จึงมีเพียงประจุลบที่อยู่บริเวณพื้นนอกฐานเมฆ ประจุลบที่อยู่บริเวณพื้นนอกฐานเมฆจะเคลื่อนที่ตามกระแสนำแบบขั้นขึ้นไปหาประจุบวกที่อยู่ยอดเมฆ ประจุบวกที่อยู่บนยอดเมฆจะเชื่อมกับประจุลบที่ขึ้นมาจากพื้นบริเวณนอกฐานเมฆตามเส้นเชื่อม แล้วเกิดกระแสโต้กลับของประจุบวกจากบริเวณยอดเมฆ ทำให้เกิดฟ้าผ่าจากพื้นขึ้นไปสู่ยอดเมฆ ดังรูปที่ 42



รูปที่ 42 แสดงการแลกเปลี่ยนประจุลบบริเวณพื้นกับประจุบวกจากฐานเมฆทำให้เกิดฟ้าผ่าแบบประจุบวก

ฟ้าแลบที่มนุษย์สร้างขึ้น

ในภาพยนต์บางเรื่อง เช่น คนเหล็ก 2029 2 (Terminator 2 : Judgement day) หรือ ศึกอภินิหารพ่อมดถล่มโลก (The Sorcerer's Apprentice) หรือแม้แต่ในวงการดนตรีก็มีการนำเสียงที่เกินจากแรงดันกระแสไฟฟ้ามาใช้ เพื่อเป็นเสียงประกอบที่สร้างความแปลกใหม่ไปในตัวอีกด้วย โดยอาศัยหลักการจากขดลวดเทสลา (Tesla coil) ดังรูปที่ 43 ซึ่งคิดค้นโดยนิโคลา เทสลา นักฟิสิกส์ชาวโครเอเชีย เขาเคยได้ลองสร้างเทสลาคอย ขนาดยักษ์เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่สูงมาก จนสามารถส่งกระแสไฟ 10,000 วัตต์ ผ่านอากาศและสามารถจุดดวงไฟที่อยู่ห่างออกไป 40 กิโลเมตรได้มากกว่า 200 ดวง

รูปที่ 43 แสดงการปล่อยกระไฟฟ้าสถิตจากเทสลาคอย

รูปที่ 44 แสดงการใช้ฟ้าแลบในภาพยนต์เรื่องคนเหล็ก 2

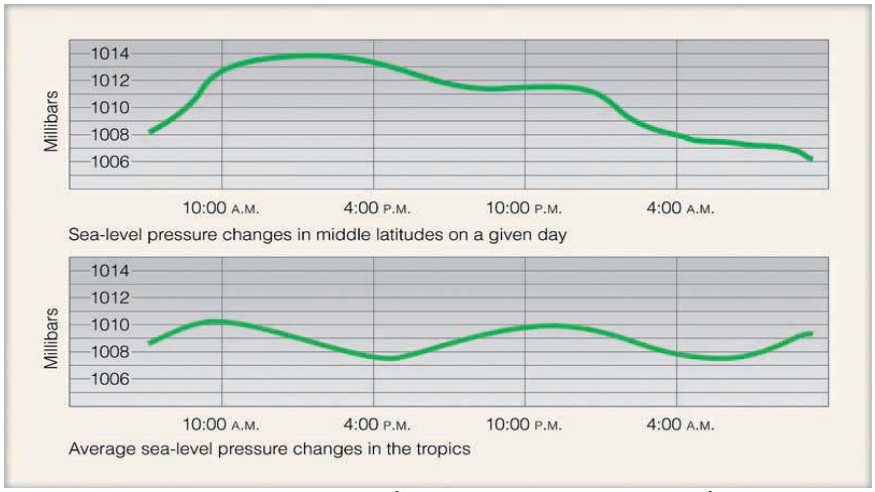
3.8 ฟ้าร้อง (Thunder)

ฟ้าร้อง คือ ปรากฏการที่เกิดเสียงดังภายหลังการเกิดฟ้าผ่าหรือฟ้าแลบ โดยเกิดการที่อากาศบริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนประจุจะดีรับพลังงานจนทำให้มีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจนมีค่าประมาณ 30,000 องศาเซลเซียส (°C) มวลอากาศที่ได้รับพลังงานความร้อนจะถ่ายเทพลังงานความร้อนให้กับมวลอากาศที่อยู่ด้านข้างเกิดการเคลื่อนที่ออก โดยฉับพลันด้วยความเร็วสูงเกิดเป็นซอนิกบูม (Sonic boom) ทำให้เกิดเสียงดังจากการเคลื่อนที่ของอากาศนี้

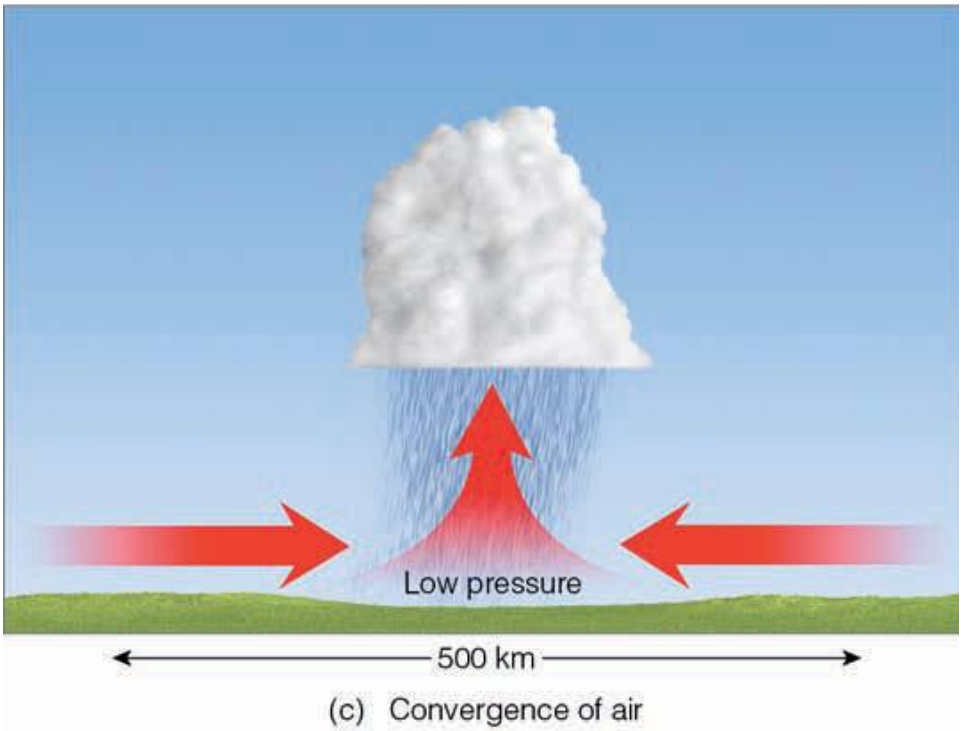
รูปที่ 45 แสดงการเกิดฟ้าผ่า

3.9 การผันแปรความกดอากาศที่ผิวพื้น (Pressure Variation)

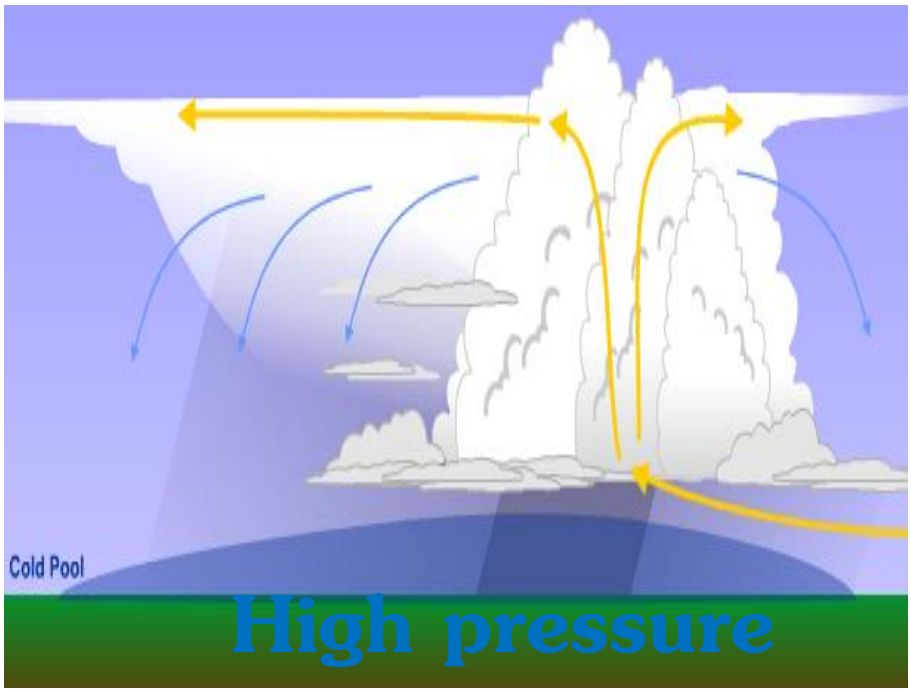
การผันแปรความกดอากาศที่ผิวพื้น คือ การเปลี่ยนแปลงความกดอากาศโดยในรอบวันความกดอากาศจะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้น-ลง มีค่าสูงสุดตอนเวลาประมาณ 10.00 น. กับเวลา 22.00 น. และต่ำสุดที่เวลาประมาณ 04.00 น. กับเวลาประมาณ 16.00 น. แต่ในบางกรณีความกดอากาศ อาจจะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้อย่างกะทันหัน เช่น ในกรณีที่กำลังจะเกิดฝนฟ้าคะนองเมื่ออากาศพัดเข้ามารวมตัวกัน (Convergence) เกิดการยกตัวขึ้นของอากาศทำให้บริเวณที่เกิดการรวมตัวมีความกดอากาศลดลง (Low Pressure) การยกตัวของอากาศที่มีความชื้นจะก่อให้เกิดเมฆฝนฟ้าคะนอง และเมื่อมีการตกของหยาดน้ำฟ้ามวลของน้ำที่ตกลงมาจะเพิ่มความหนาแน่นของอากาศทำให้มีความกดอากาศสูงเพิ่มขึ้นอย่างฉับพลันกลายเป็นบริเวณที่มีความกดอากาศสูง (High Pressure) และเมื่อฝนฟ้าคะนองเข้าสู่สภาวะสลายตัวและผ่านไปความกดอากาศจะปรับตัวเข้าสู่ค่าปกติอีกครั้ง



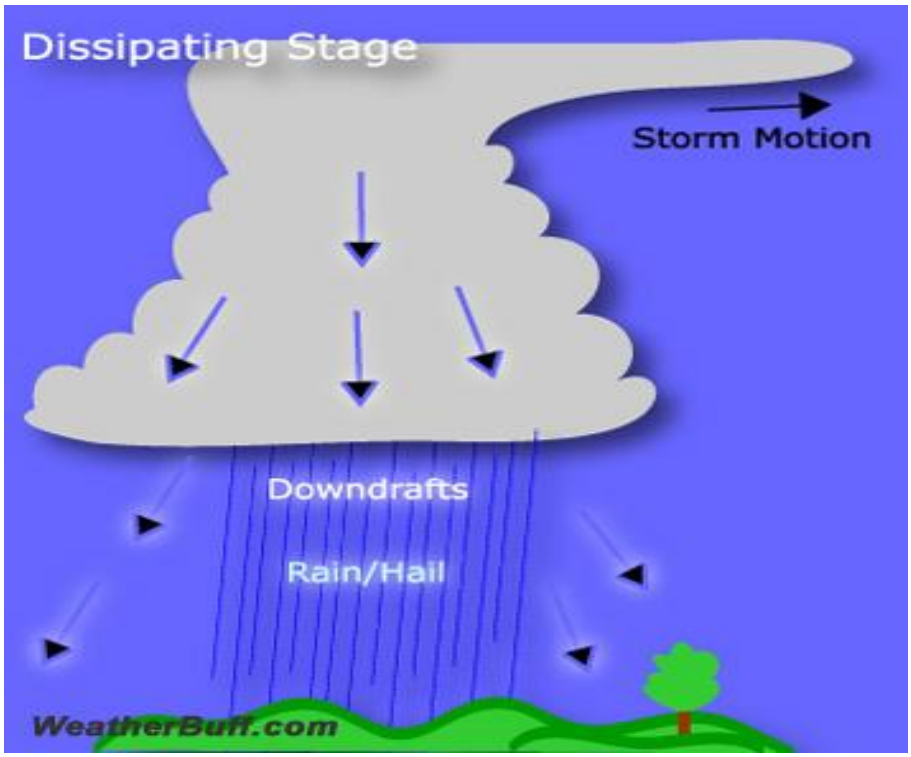
รูปที่ 46 แสดงแนวโน้มความกดอากาศของพื้นที่ละติจูดกลาง (บน) และพื้นที่เขตร้อน (ล่าง)



รูปที่ 47 แสดงบริเวณลมพัดเข้าท้าไห้อากาศเกิดการยกตัว แล้วกลายเป็นบริเวณความกดอากาศต่ำ



รูปที่ 48 แสดงพื้นที่ความกดอากาศสูงจากการตกของหยาดน้ำฟ้า



รูปที่ 49 แสดงสถานะการสลายตัวของฝนฟ้าคะนองความกดอากาศจะปรับเข้าสู่สภาวะปกติ

4. การจำแนกพายุฝนฟ้าคะนอง

คือ พายุฝนฟ้าคะนอง ที่พบได้ทั่วไป มักจะเป็น “single cell” ซึ่งจะมีควารุนแรงไม่มาก พายุฝนฟ้าคะนองแบบนี้จะเกิดขึ้นได้เมื่อชั้นบรรยากาศมีค่าพลังงานการยกตัว (CAPE) ที่เหมาะสม และมีแหล่งพลังงานการยกตัวอื่น ๆ ร่วมด้วย โดยปกติแล้วพายุฝนฟ้าคะนองแบบนี้จะ เคลื่อนตัวช้าและคงอยู่ได้ไม่เกิน 1 ชม.

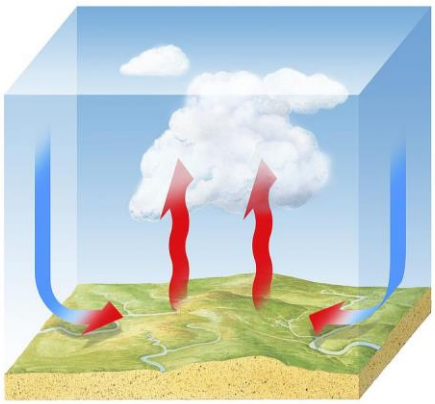
พายุฝนฟ้าคะนองจำแนกเป็น 2 ประเภทตามแหล่งการเกิดคือ

- **พายุฝนฟ้าคะนองตามแนวปะทะอากาศ (Frontal Thunderstorm)**
- **พายุฝนฟ้าคะนองภายในมวลอากาศ (Air-mass Thunderstorm)**

โดยจะเริ่มจาก พายุฝนฟ้าคะนองภายในมวลอากาศ เนื่องจากเป็นแบบที่เกิดในประเทศไทยเป็นปกติซึ่งมีสาเหตุมาจากการยกตัวในรูปแบบต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. การยกตัวเนื่องจากความร้อน (Convection)

เมื่อดวงอาทิตย์เริ่มขึ้น พื้นโลกก็เริ่มมีการดูดรังสีเคลื่อนยาวและเพิ่มอุณหภูมิขึ้น อากาศบริเวณพื้นผิวก็จะร้อนขึ้นและเริ่มมีการยกตัว การยกตัวเนื่องจากความร้อนอาศัยหลักของการลอยตัวซึ่งอากาศร้อนจะมีความหนาแน่นต่ำกว่าอากาศเย็นและจะลอยอยู่เหนืออากาศเย็น โดยยิ่งมีความร้อนมากก็จะทำให้มีการลอยตัวที่เร็วขึ้นเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การพัฒนาตัวของเมฆฝนในฤดูร้อนจะก่อตัวได้เร็วกว่าในฤดูฝน



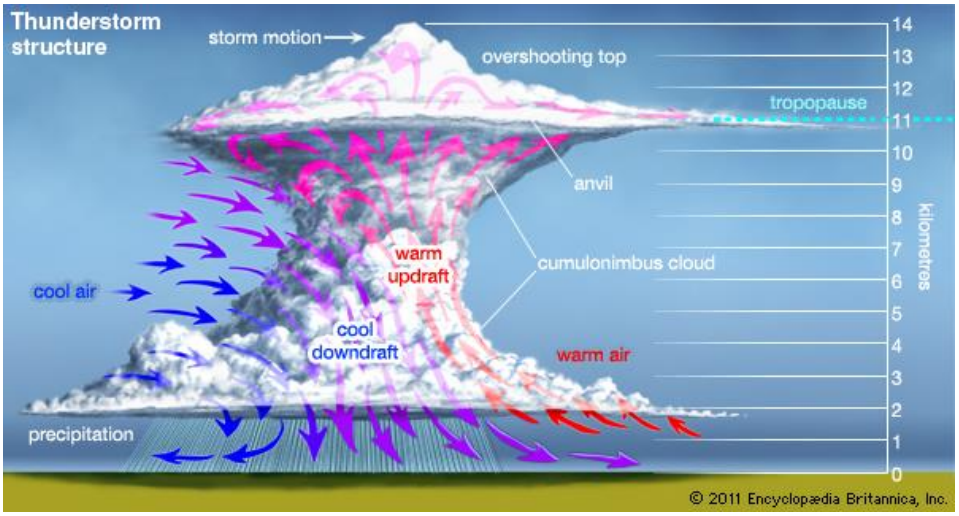
รูปที่ 50 การจำลองการยกเนื่องจากความร้อน

2. ฝนฟ้าคะนองในเวลากลางคืน (Nocturnal equatorial storm)

ปกติจะเกิดในทะเลในเขตศูนย์สูตร ในช่วงเวลาย่ำรุ่งซึ่งเป็นช่วงเวลาที่บรรยากาศมีการเย็นตัวลงมากที่สุด และเนื่องจากน้ำทะเลมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่น้อยมากตลอดทั้งวัน ทำให้อากาศบริเวณพื้นน้ำมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอากาศในระดับบน จึงทำให้เกิดการยกตัวของอากาศและเกิดการพัฒนาตัวของเมฆฝนได้ (cumulonimbus cloud) โดยอาศัยหลักการเดียวกันนี้มาอธิบายการพัฒนาตัวของเมฆฝนในช่วงเวลากลางคืนของ บริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง จะเห็นว่าในวันที่มีเมฆมากปกคลุมตลอดช่วงบ่ายไปจนถึงค่ำ บรรยากาศบริเวณพื้นดินไปจนถึงฐานเมฆจะไม่สามารถคายพลังงานได้ดี ทำให้ความร้อนถูกกักเก็บอยู่ในชั้นบรรยากาศนี้ ส่วนชั้นบรรยากาศที่อยู่เหนือยอดเมฆจะมีการเย็นตัวลงตามปกติจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้การพัฒนาตัวของเมฆฝนเกิดขึ้นได้แม้ในช่วงที่ไม่ได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์

3. กระแสอากาศเย็น (cold stream)

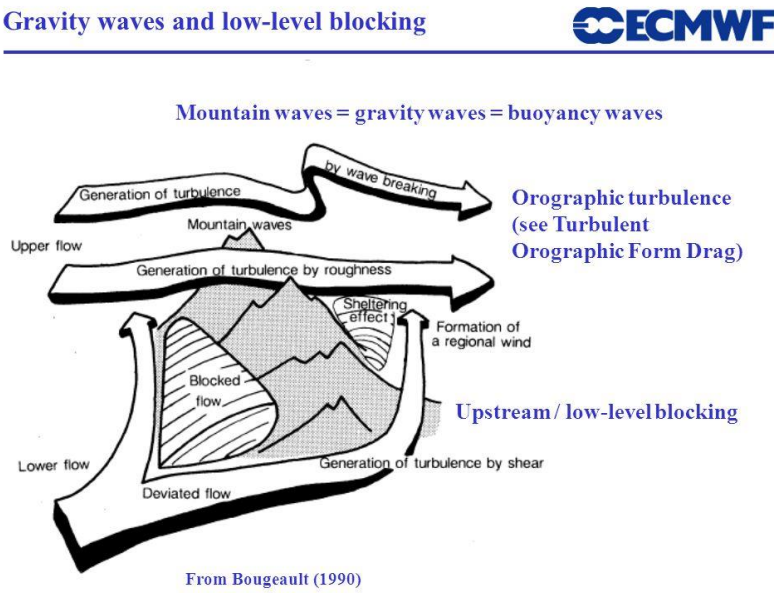
เกิดขึ้นเมื่ออากาศเย็นไหลเข้ามาอย่างรวดเร็วในพื้นที่ที่อุ่นกว่า ทำให้อากาศร้อนบริเวณพื้นผิวเกิดการยกตัวอย่างมากและเกิดเป็นฝนฟ้าคะนอง ซึ่งเหตุการนี้สามารถเกิดได้จากอากาศเย็นใน latitude ที่สูงกว่า ไหลเข้ามาในพื้นที่ที่ร้อนใน latitude ที่ต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับเหตุการณ์ในประเทศไทยก็ตรงกับกระบวนการการเกิดพายุฤดูร้อน ลักษณะของฝนฟ้าคะนองจะเกิดบริเวณส่วนหน้าของกระแสอากาศเย็นและจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดแนวการเคลื่อนที่



รูปที่ 51 การจำลองการฝนฟ้าคะนองเมื่อกระแสอากาศเย็นไหลเข้ามาในพื้นที่ที่ร้อน

4. การยกตัวตามลาดเขา (orographic)

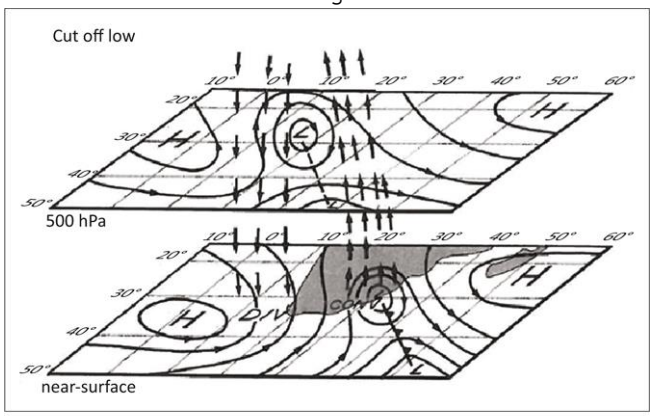
เมื่ออากาศเคลื่อนผ่านบริเวณภูเขาจะถูกเปลี่ยนทิศทางการเคลื่อนที่ให้ที่การเคลื่อนที่ตามแนวดิ่งมากขึ้นทำให้สามารเกิดเป็นเมฆได้ในระดับ LCL ซึ่งจะมีฐานที่ต่ำกว่าปกติ ทำให้มักจะเกิดเป็นฝนฟ้าคะนองบริเวณด้านที่รับลมมากกว่าอีกด้าน ส่วนอากาศที่สามารถเคลื่อนที่ต่อจนข้ามภูเขามาได้จะมีความชื้นที่น้อยลงมากและมีทิศทางการเคลื่อนที่ลงสู่พื้นราบ ทำให้ด้านที่ไม่ได้รับลมมีความแห้งแล้ง การเคลื่อนที่ของอากาศผ่านบริเวณภูเขายังมีการเคลื่อนที่แบบอื่น ๆ ดังแสดงในรูปข้างล่าง



รูปที่ 52 จำลองการเคลื่อนที่ของอากาศผ่านบริเวณภูเขา

5. การรวมตัวของลมในระดับล่าง (convergence)

เมื่ออากาศไหลมาปะทะกันหรือเกิดการรวมตัวกัน จะทำให้เกิดการยกตัวขึ้นตามแนวดิ่งเป็นเหตุให้เกิดจากพัฒนาตัวของฝนฟ้าคะนองตามมา ซึ่งจะเกิดจากการที่อากาศสองกระแสไหลเข้ามาปกคลุมในพื้นที่เดียวกัน ลักษณะของการปะทะกันของลมเช่นนี้จะทำให้เกิดแนวเมฆเป็นทางยาว อีกลักษณะหนึ่งของการรวมตัวคือ การไหลเข้าหาหย่อมความกดอากาศต่ำ และการไหลแบบโค้งของอากาศตามแนว Trough ของหย่อมความกดอากาศต่ำด้วย



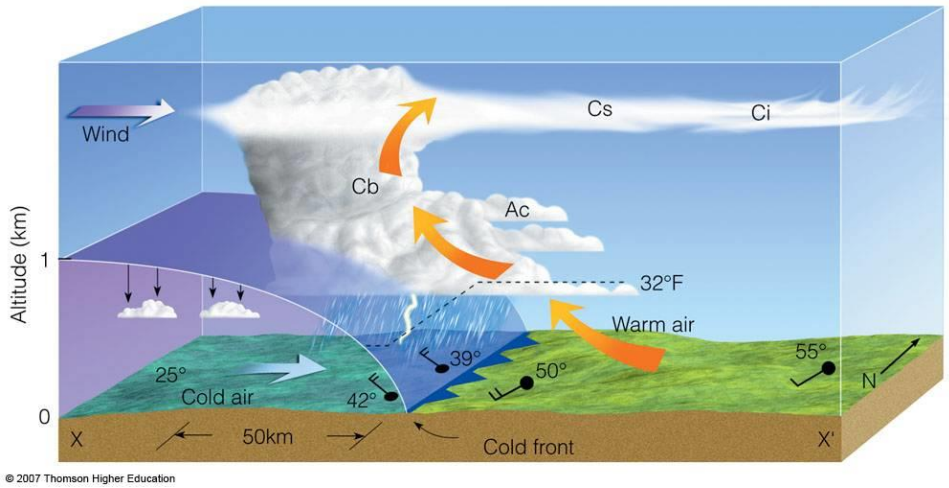
Source: Tyson, P.D. & Preston-Whyte, R.A., 2000, *The weather and climate of Southern Africa*, Oxford University Press, Cape Town, SA, p. 197

FIGURE 2: Cut-off low circulation patterns at near surface at 500 hPa levels.

รูปที่ 53 การจำลองการไหลแบบโค้งของอากาศตามแนว Trough ของหย่อมความกดอากาศต่ำ ซึ่งทำให้เกิดการยกตัว

6. พายุฝนฟ้าคะนองตามแนวปะทะอากาศ

เป็นฝนฟ้าคะนองที่เกิดจากการปะทะกันของมวลอากาศสองมวล โดยมวลอากาศเย็นจะเคลื่อนเข้าไปชนกับมวลอากาศร้อน และเนื่องจากคุณสมบัติที่ต่างกันโดยมวลอากาศเย็นจะมีความหนาแน่นมากกว่าทำให้จมตัวอยู่บริเวณพื้นผิว มวลอากาศร้อนจะถูกทำให้ลอยตัวขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้เกิดฝนฟ้าคะนองที่มีความรุนแรงมาก และฝนฟ้าคะนองจะเกิดตลอดแนวการปะทะและเคลื่อนตัวไปตามแนวด้วย



รูปที่ 54 การจำลองการปะทะกันของมวลอากาศเย็นเข้าหามวลอากาศร้อน

เอกสารอ้างอิง

http://www.shodor.org/metweb/session6/neutral.html

http://www.physicalgeography.net/fundamentals/7r.html

https://www.tmd.go.th

http://wshm.bimedia.net/WebStuff/Air%20Masses%20and%20Fronts.htm

https://bmtc.moodle.com.au/course/view.php?id=136

Ahrens, C. Donald. Meteorology today: an introduction to weather, climate, and the environment. Cengage Learning, 2012.

บำรุง สรัคคานนท์. 2529. อุตุนิยมวิทยาทั่วไป. กรมอุตุนิยมวิทยา.

สุกิจ เย็นทรวง. 2534. พายุฟ้าคะนอง. กรมอุตุนิยมวิทยา.

ภาพประกอบกิจกรรมแลกเปลี่ยนเรียนรู้ เรื่อง พายุฝนฟ้าคะนอง
วันที่ 23 สิงหาคม 2561