**บทที่ 9**

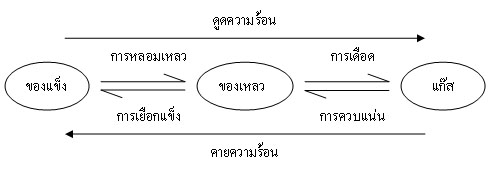
**เมฆ (Cloud) หมอก (Fog) และหยาดน้ำฟ้า (Precipitation)**

**9.1 การกลั่นตัว**

การกลั่นตัว (Condensation) คือ การรวมตัวของไอน้ำในอากาศเข้าเป็นหยดน้ำ ซึ่งการรวมตัวของไอน้ำในบรรยากาศประกอบด้วยปัจจัยต่างๆที่สำคัญ ได้แก่ ความจุของไอน้ำในบรรยากาศ ต้องมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ 100% และอุณหภูมิของอากาศต้องลดลงจนกระทั่งถึงจุดน้ำค้าง (Dew point) เพราะถ้าอากาศมีอุณภูมิสูงกว่าจุดน้ำค้าง อากาศจะไม่อิ่มตัวการกลั่นตัวจึงไม่เกิดขึ้น จนกระทั่งอากาศถูกทำให้เย็นลงจนถึงจุดน้ำค้าง

ถ้าอากาศยังไม่อิ่มตัวถูกทำให้เย็นลง ความชื้นจำเพาะของอากาศจะยังคงที่ แต่ถ้าอากาศอิ่มตัวแล้วความชื้นจำเพาะจะลดลง ขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจะเพิ่มขึ้น ตัวอย่าง อากาศที่อุณหภูมิ 17°C มีอุณหภูมิน้ำค้างเป็น 7°C จะมีความชื้นสัมพัทธ์เป็นร้อยละ 50 ถ้าอากาศนั้นเย็นลงต่อไปอีกจนถึง 7°C ความชื้นสัมพัทธ์จะเป็น 100% อากาศในขณะนั้นจะอิ่มตัว ถ้าอุณหภูมิของอากาศยังคงเย็นตัวลงไปต่ำกว่า 7°C การกลั่นตัวในอากาศจะเกิดขึ้น นั่นคือ ไอน้ำในอากาศจะเปลี่ยนเป็นหยดน้ำ ซึ่งกระบวนการลดอุณหภูมิของอากาศจะทำให้ไอน้ำในบรรยากาศปรากฎรูปร่างต่างๆ ตามลักษณะลมฟ้าอากาศที่เป็นอยู่ในขณะนั้น ได้แก่ เกิดปรากฎการณ์เมฆ หมอก ฝนตก น้ำค้าง เป็นต้น

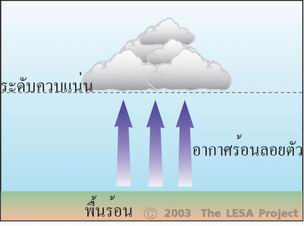
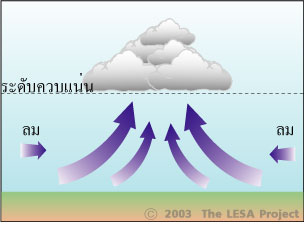
ผลจากกระบวนการลดอุณหภูมิของอากาศตาม*กระบวนการอะเดียแบติก*ซึ่งเป็นการลดอุณภูมิลงด้วยตัวอากาศเอง อันเนื่องมาจากการหดหรือขยายตัวของปริมาตรอากาศ ซึ่งประกอบด้วยการลดความกดอากาศที่พื้นผิว การยกตัวของอากาศให้ลอยสูงขึ้นซึ่งเป็นกระบวนการพาความร้อน การเคลื่อนที่เข้าหากันของมวลอากาศ การยกตัวขึ้นตามลักษณะบริเวณภูมิประเทศบริเวณแนวลาดเชิงเขา และ*กระบวนการเดียแบติก*เป็นกระบวนการที่อากาศสูญเสียความร้อนให้กับสภาพแวดล้อมภายนอก ซึ่งประกอบด้วยการสูญเสียความร้อนอันเนื่องมาจากการแผ่รังสี การสัมผัสกับผิวพื้นที่มีอุณหภูมิสูงหรือต่ำกว่า



**ภาพ 9.1 การเปลี่ยนสถานะของก๊าซ**

การระเหยของน้ำต้องใช้ความร้อน ดังนั้นขณะที่น้ำระเหยจึงทำให้อุณหภูมิของน้ำและสิ่งที่อยู่

รอบๆ น้ำลดลง เมื่อน้ำจากแหล่งน้ำต่างๆ บนโลกระเหยกลายเป็นไอลอยปะปนอยู่ในอากาศ ปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในบรรยากาศก็คือ ความชื้นของอากาศ มวลของไอน้ำในอากาศหนึ่งหน่วยปริมาตรก็คือ ความหนาแน่นของไอน้ำในอากาศ ปริมาณของไอน้ำที่อากาศรับไว้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของบรรยากาศ อุณหภูมิสูงจะรับไอน้ำได้มาก อุณหภูมิต่ำจะรับไอน้ำได้น้อย ถ้าอากาศอยู่ในสภาพที่ไม่สามารถรับไอน้ำได้อีก แสดงว่าอากาศขณะนั้นอิ่มตัวด้วยไอน้ำ เรียกสภาวะนี้ว่า **อากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำ หรืออากาศอิ่มตัว** ซึ่งเป็นสภาวะที่อากาศมีความชื้นมากที่สุด



**ภาพ 9.2 การยกตัวของอากาศเมื่อลมบีบตัวเข้ามาปะทะ (ซ้าย) และอากาศยกตัวเนื่องจากการพาความร้อน (ขวา)**

**ที่มา :** [**http://www.lesa.in.th/atmosphere/air\_moisture/air\_moisture/atm\_moisture.htm**](http://www.lesa.in.th/atmosphere/air_moisture/air_moisture/atm_moisture.htm)

อาจกล่าวได้ว่า ปริมาณไอน้ำในอากาศจะเริ่มควบแน่นเมื่อความกดไอน้ำอิ่มตัว (ความชื้นสัมพัทธ์ 100%) และมีค่าอุณหภูมิน้อยกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้าง การเย็นตัวของอากาศทำให้เกิดการกลั่นตัวขึ้น จากสาเหตุต่อไปนี้

1. อากาศร้อนและชื้นเคลื่อนที่ผ่านไปยังอากาศที่เย็นกว่า
2. การผสมกันของอากาศร้อนและชื้นที่ไม่อิ่มตัวกับอากาศเย็นที่อิ่มตัว
3. พื้นดินเย็นลง เนื่องจากไม่ได้รับความร้อนจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์
4. อากาศลอยตัวขึ้นสู่เบื้องบน

การกลั่นตัวเป็นผลมาจากอุณหภูมิของอากาศลดต่ำลงกว่าอุณภูมิของจุดน้ำค้าง ถ้าอากาศมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดน้ำค้างอากาศจะไม่อิ่มตัว การกลั่นตัวจะไม่เกิดขึ้นจนกว่าอากาศจะถูกทำให้เย็นลงไปจนถึงจุดน้ำค้าง ทั้งนี้เมื่ออากาศลอยสูงขึ้นอุณหภูมิของอากาศจะลดลง แม้ว่าความร้อนที่ลอยขึ้นไปนั้นไม่ได้สูญหายไปกับก้อนอากาศที่อยู่รอบข้าง แต่การลดลงของอุณหภูมินั้นเป็นผลเนื่องมาจากความกดของอากาศลดลง มวลอากาศเมื่อลอยสูงขึ้นจึงแผ่กระจาย โมเลกุลของอากาศที่แผ่กระจายออกไปทำให้การชนกันของโมเลกุลของอากาศลดน้อยลงด้วย ดังนั้นเมื่ออากาศลอยตัวสูงขึ้นโดยไม่มีการกลั่นตัว อุณหภูมิของอากาศจะลดลงตามอัตราอะเดียแบติก เมื่อถึงจุดน้ำค้าง ซึ่งอากาศสามารถรับไอน้ำได้เต็มที่แล้วการกลั่นตัวจะเกิดขึ้นภายหลังการกลั่นตัวของไอน้ำเกิดขึ้นแล้ว อากาศสามารถลอยตัวขึ้นไปได้อีก ทั้งนี้อาจเป็นเพราะมีความร้อนแฝงที่เกิดจากการกลั่นตัวทำให้อากาศนั้นยังคงลอยสูงขึ้นไป แต่อัตราการลดลงของอุณหภูมิเป็นไปตามอัตราอะเดียแบติกแบบอิ่มตัว เรียกว่า **อัตราซูโดอะเดียแบติก(Pseudo adiabatic lapse rate หรือ PALR)**

ตาราง 9.1 ชนิดของการกลั่นตัว

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **รูปแบบของการกลั่นตัว** | **ลักษณะเด่นของกระบวนการกลั่นตัว** | **ลักษณะเฉพาะ** |
| น้ำค้าง | ในพื้นที่ที่อุณหภูมิค่อนข้างต่ำแต่สูงกว่า 0°C (32°F) เกิดในคืนที่ท้องฟ้าแจ่มใสและลมสงบ พื้นดินจะเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วด้วยการแผ่รังสีความร้อนออกสู่บรรยากาศ, เป็นกระบวนการเดียแบติก(Diabatic process) | เป็นของเหลวปกคลุมบนผิวพื้น |
| น้ำค้างแข็ง | เป็นกระบวนการที่อากาศที่ระดับผิวพื้นเย็นลงจนมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดน้ำค้างเดิมแล้วไอน้ำในอากาศเกิดการอิ่มตัวและเปลี่ยนสถานะ จากไอน้ำเป็นน้ำแข็งแล้วจับกันเป็นเกล็ด ในลักษณะนี้จุดน้ำค้างต้องต่ำกว่า 0°C (32°F) ไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศจะเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งโดยตรงด้วยกระบวนการระเหิด, เป็นกระบวนการเดียแบติก | เป็นก้อนน้ำแข็งสีขาวเล็กๆ เกาะบนพื้นผิวหรือตามยอดไม้ |
| หมอก | เกิดขึ้นโดยการเย็นตัวลงของชั้นอากาศเย็นจนถึงจุดอิ่มตัว หรืออาจเกิดจากการระเหยของน้ำเข้าไปในอากาศในปริมาณที่มากพอ อันเนื่องมาจากการเกิดหยาดน้ำฟ้าหรือเกิดจากกระบวนการทั้งสองอย่างผสมกัน หรืออาจเกิดจากการผสมกันของอากาศอุ่นกับอากาศเย็น, เป็นกนะบวนการเดียแบติกและอะเดียแบติก | เกิดในพื้นที่ที่มีความชื้นมากบนชั้นอากาศเหนือระดับพื้นดินเล็กน้อย ถ้าอากาศหนาวเย็นมากอาจเกิดผลึกน้ำแข็งขึ้นได้ |
| หมอกเกิดจากการแผ่รังสี | เกิดจากการเย็นตัวของอากาศเนื่องมาจากการแผ่รังสีคลื่นยาวออกไปทำให้สูญเสียความร้อน, เป็นกระบวนการเดียแบติก |
| **รูปแบบของการกลั่นตัว** | **ลักษณะเด่นของกระบวนการกลั่นตัว** | **ลักษณะเฉพาะ** |
| หมอกเกิดจากการพาความร้อน | เกิดจากการเย็นตัวของอากาศเนื่องมาจากการเคลื่อนที่เข้ามาปกคลุมของมวลอากาศเย็น, เป็นกระบวนการเดียแบติก |  |
| หมอกเกิดจากการยกตัว | เกิดจากการเย็นตัวของอากาศที่ยกตัวสูงขึ้นไปตามระดับพื้นที่สูง, เป็นกระบวนการอะเดียแบติก |
| เมฆ | ปกติเกิดจากการยกตัวของอากาศแล้วเย็นตัวลงตามกระบวนการอะเดียแบติก | มีลักษณะเป็นไอน้ำ หยดน้ำ/ผลึกน้ำแข็งในอากาศเหนือพื้นดินในระดับสูง |

**9.2เมฆ(Cloud)**

เมฆ (Cloud) หมายถึง ไอน้ำที่กลั่นตัวแล้ว ละอองน้ำหรือผลึกน้ำแข็งขนาดเล็ก (ice particle) จำนวนมากมาย ที่รวมกลุ่มกันเข้าเป็นกลุ่มและกระจายในอากาศ ณ ระดับความสูงที่แตกต่างกัน เมฆเป็นตัวชี้วัดอย่างหนึ่งในการตรวจสภาพอากาศและทำนายสภาวะอากาศโดยอาศัยพัฒนาการของเมฆตามความแตกต่างของรูปร่างของเมฆที่ก่อตัวขึ้น ความแตกต่างของรูปร่างเมฆที่ก่อตัวขึ้นแสดงให้เห็นถึงความมีเสถียรภาพของอากาศและทิศทางของลมในบรรยากาศชั้นล่าง

**9.2.1 การก่อตัวของเมฆ (Formation of cloud)**เมฆโดยทั่วไปจะเกิดขึ้นจากการยกตัวของก้อนอากาศ ขณะที่อากาศยกตัวสูงขึ้นนั้นอากาศจะลดอุณหภูมิลงตามกระบวนการอะเดียแบติก แต่ในบางครั้งเมฆอาจเกิดขึ้นจากกระบวนการเดียแบติกโดยการแผ่รังสีความร้อน เพื่อทำให้อุณหภูมิของก้อนอากาศลดลงหรืออาจเข้าไปรวมตัวกับมวลอากาศที่เย็นกว่าก็ได้ อากาศที่ลอยขึ้นจะมีแรงใดแรงหนึ่งมากระทำให้ลอยสูงขึ้น เช่น การพาความร้อน การลอยตัวขึ้นตามแนวลาดเขา การปะทะของมวลอากาศ หรืออาจเกิดจากพายุ จะทำให้อากาศเกิดการขยายตัวออกพร้อมกับการลดลงของอุณหภูมิจนกระทั่งมีความชื้นสัมพัทธ์ 100% หรือถึงจุดน้ำค้าง เรียกว่า อากาศเกิดการอิ่มตัว ไอน้ำในอากาศบางส่วนจะกลั่นตัว (Condensation) กลายเป็นละอองน้ำขนาดเล็กจำนวนมาก ซึ่งเรียกว่า เมฆ

**9.2.2 การคำนวณหาฐานของเมฆ (Cloud base)**เราสามารถคำนวณหาฐานเมฆที่ก่อตัวแบบ Convection (กระแสอากาศไหลขึ้นลง) จากการประมาณการโดยใช้ *“ผลต่างของอุณหภูมิที่ผิวพื้นและจุดน้ำค้างเดิม แล้วหารด้วย 4.5”* ค่าที่ได้จะเป็นฐานเมฆที่อยู่สูงจากพื้นดินเป็นระยะฟุต

Ch = Χ 1,000 ……………………….สมการ 9.1

หรือ กรณีต้องการค่าความสูงเป็นเมตร ใช้สมการดังนี้

CB = Χ 1,000….……………………สมการ9.2

เมื่อกำหนดให้

CB = ฐานเมฆ

T = อุณหภูมิของอากาศ

T1 = อุณหภูมิขิงจุดน้ำค้าง

4.5 หรือ 8 = ความแตกต่างของอุณหภูมิ Dry adiabatic rate กับ Dew point

ตัวอย่าง 9.1อากาศก้อนหนึ่งมีอุณหภูมิเดิมเป็น 80°F และจุดน้ำค้างเป็น 50°F เมื่อลอยตามอัตราอะเดียแบติก ฐานของเมฆจะอยู่ที่ระดับใด

Ch = Χ 1,000

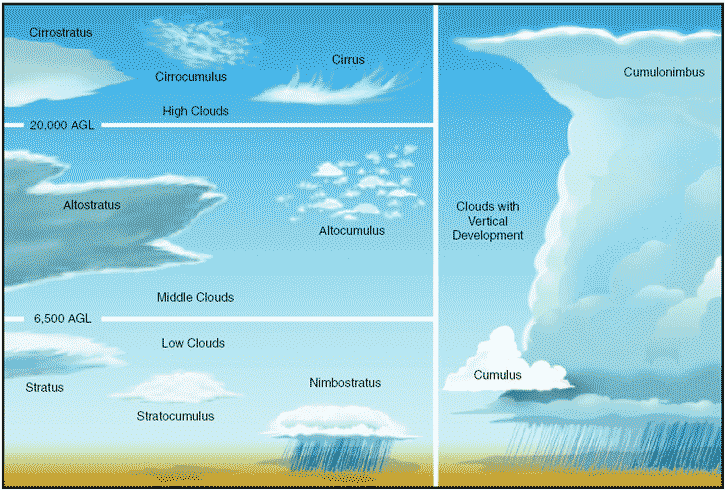
= 6,666.67 ฟุต

**9.2.3 รูปร่างของเมฆ** เมฆแต่ละชนิดจะมีลักษณะความสูงและรูปร่างแตกต่างกัน ซึ่งโดยทั่วไปรูปร่างของเมฆมี 3 ชนิดใหญ่ๆ คือ

1) เมฆซีรัสส์(Cirrus, Ci) เป็นเมฆที่อยู่ในระดับสูง สีขาวและสีน้ำเงิน บางใส รูปร่างเป็นเส้นใยเดี่ยวๆ คล้ายปอยผม หรือบางครั้งมองดูเหมือนกับขนนก หรือรูปหางม้า เมฆนี้มักมีอากาศแจ่มใส ความชื้นของเมฆอยู่ในสภาพที่เป็นอนุภาคของเกล็ดน้ำแข็ง เครื่องบินสามารถบินผ่านไปได้โดยไม่มีอันตราย

2) เมฆสเตรตัส(Stratus) มีลักษณะเป็นแผ่นปกคลุมพิ้นที่เป็นบริเวณกว้าง ความสูงฐานเมฆสม่ำเสมอกัน มีเมฆเป็นสีเทา

3) เมฆคิวมูลัส(Cumulus) เมฆที่แยกกันอยู่เป็นก้อนๆ ฐานเมฆแบนราบเรียบ ก้อนเมฆที่มองเห็นเป็นทรงสูง



**ภาพ 9.3 รูปร่างและประเภทของเมฆตามระดับความสูง**

**ที่มา :** [**http://www.free-online-private-pilot-ground-school.com/Aviation-Weather-Principles.html**](http://www.free-online-private-pilot-ground-school.com/Aviation-Weather-Principles.html)

**9.2.4 การจำแนกชนิดของเมฆ(Classification of cloud)**หากจำแนกโดยพิจารณาตามระดับความสูงของเมฆแบ่งได้ 4 ปรพเภทดังนี้

**1) เมฆวงศ์ A**หมายถึง เมฆชั้นสูง (High cloud หรือ CH) ระดับฐานเมฆสูงเฉลี่ย 6,000 เมตรขึ้นไป ซึ่งในระดับความสูงนี้อากาศค่อนข้างหนาวและแห้ง ภายในเมฆจึงประกอบด้วยผลึกน้ำแข็งปรากฏให้เห็นเป็นสีขาว เมฆประเภทนี้จำแนกได้ 3 ชนิด ดังนี้

**1.1) เมฆซีร์รัส** ฐานเมฆสูงประมาณ 10,000 เมตร ประกอบด้วยผลึกน้ำแข็ง (Ice Cystal) ลักษณะที่สังเกตเห็นเป็นเมฆฝอยบางใสคล้ายเยื่อละเอียดบางๆ หรือปุยคล้ายใยไหมบางครั้งอาจมองดูเห็นเป็นแถบยาวเหมือนแส้ม้า (Mares’ tails) แสดงว่าลมชั้นบนมีความแรงของลมโดยทั่วไปดี ลักษณะอากาศดี



**ภาพ 9.4 เมฆซีร์รัส**

**ที่มา :http://ikamiso.exteen.com/20080506/entryและ <http://www.chatchawan.net/2013>**

**1.2)เมฆซีร์โรสเตรตัส(Cirrostratus ใช้อักษรย่อในแผนที่อากาศว่า Cs)**ฐานเมฆสูงเฉลี่ยประมาณ 8,500 เมตร เป็นเมฆแผ่นหรือเป็นฝ้าบางๆ มองดูเป็นสีน้ำนม บางครั้งเมื่อเมฆไปบดบังแสงอาทิตย์หรือแสงจันทร์จะทำให้เป็นรัศมีแสง (Halo) หรือที่เรียกว่า พระอาทิตย์ทรงกลดหรือจันทร์ทรงกลด



**ภาพ9.5 เมฆซีร์โรสเตรตัส(ซ้าย) เมฆซีร์โรคิวมูลัส**

**ที่มา :** [**http://ikamiso.exteen.com/20080506/entry-2และ**](http://ikamiso.exteen.com/20080506/entry-2%20และ)**http://www.thaigoodview.com/library/contest2553/type2/science04/29/contents/cloud/cloud\_2.html**

**1.3) เมฆซีร์โรคิวมูลัส(Cirrocumulus ใช้อักษรย่อในแผนที่อากาศว่า Cc)**ฐานเมฆสูงเฉลี่ยประมาณ 7,000 เมตร เป็นเมฆแผ่นหรือเป็นหย่อม คล้ายระลอกคลื่นเล็กๆ ทั่วไป มีลักษณะสีขาวบางของผลึกน้ำแข็ง มองเห็นเป็นริ้วๆ คล้ายคลื่น หรือเป็นก้อนเล็กๆ เรียงกันเป็นแถวที่เรียกว่าเรียงในลักษณะ “Mackerel sky” เมฆชนิดนี้มักเกิดขึ้นน้อยมากในท้องฟ้าระดับสูง แต่บางวันอาจมีเมฆนี้ปกคลุมท้องฟ้าทั้งหมดหรือเพียงบางส่วน

**2) เมฆวงศ์บี (Family B)**หมายถึง เมฆชั้นกลาง (Middle cloud หรือ CM) ระดับฐานเมฆโดยเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2,000 – 6,000 เมตร แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

**2.1) เมฆอัลโตคิวมูลัส(Altocumulus หรือ Ac)**เป็นเมฆแผ่น หรือเป็นหย่อม สีขาวหรือเทา มีลักษณะรูปร่างเป็นก้อนเล็กๆ อยู่รวมกันเป็นกลุ่มคล้ายหลังแกะ (Sheepback) ช่องว่างระหว่างก้อนเมฆจะมองเห็นท้องฟ้าเป็นสีน้ำเงิน ภายในก้อนเมฆประกอบด้วยผลึกน้ำแข็งมากกว่าละอองน้ำ การเกิดเมฆชนิดนี้ในท้องฟ้าแสดงว่าต่อไปจะมีอากาศดีขึ้น



**ภาพ 9.6เมฆอัลโตคิวมูลัส(Altocumulus)**

**ที่มา :** [**http://www.thaigoodview.com/library/contest2552/type1/science03/01/P\_3.html**](http://www.thaigoodview.com/library/contest2552/type1/science03/01/P_3.html)

**2.2)เมฆอัลโตสเตรตัส (Altostratus หรือ As)**เป็นเมฆแผ่นแผ่กระจายปกคลุมท้องฟ้าเป็นบริเวณกว้าง มีลักษณะเป็นเยื่อติดต่อกันเป็นพืดบางๆ มีสีเทาหรือสีน้ำเงินอ่อนๆ เมื่อเคลื่อนที่มาบังดวงจันทร์หรือดวงอาทิตย์จะมองเห็นเป็นฝ้าวงกลมสีขาว ภายในเมฆประกอบด้วยละอองน้ำมากกว่าผลึกน้ำแข็ง เมฆชนิดนี้มักเกิดในเวลาที่มีฝนตก



**ภาพ 9.7 เมฆอัลโตสเตรตัส**

**ที่มา :** [**http://www.thaigoodview.com/library/contest2553/type2/science04/29/contents/cloud/ cloud\_2.htmlและ**](http://www.thaigoodview.com/library/contest2553/type2/science04/29/contents/cloud/%20cloud_2.html%20และ)[**https://sites.google.com/site/withyasastrlok/bth-thi-3-chan-brryakas/kar-keid-mekh**](https://sites.google.com/site/withyasastrlok/bth-thi-3-chan-brryakas/kar-keid-mekh)

**3) เมฆวงศ์ซี (Family C)**หมายถึง เมฆชั้นต่ำ (Low cloud หรือ CL) ระดับฐานเมฆจะอยู่ใกล้พื้นดินขึ้นไปจนถึงระดับความสูงประมาณ 2,000 เมตร แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ดังนี้

**3.1) เมฆสเตรโตคิวมูลัส(Stratocumulus หรือ Sc)**เป็นก้อนเมฆก้อนสีเทาอ่อนๆ เรียงตัวกันเป็นพืดแผ่ครอบคลุมพื้นที่กว้าง ถ้าเมฆก่อตัวมากๆ มองเห็นเป็นลอนลูกฟูก คล้ายเกลียวเชือก มองเห็นท้องฟ้าเป็นสีฟ้าบางตอนระหว่างลอนของก้อนเมฆ ภายในเมฆจะมีแต่ละอองน้ำเท่านั้น



**ภาพ 9.8 เมฆสเตรโตคิวมูลัส**

**ที่มา :** [**http://upload.wikimedia.org**](http://upload.wikimedia.org/)**และhttp://www.rmutphysics.com/charud/specialnews/6/clound/**

**cloud\_precip.htm**

**3.2) เมฆสเตรตัส(Stratus หรือ St)**เป็นเมฆที่อยู่ในระดับต่ำ มีสีเทาหรือเทาอ่อน ลักษณะเป็นแผ่นหนาทึบคล้ายหมอกที่ยกตัวขึ้นไปอยู่ในระดับสูงจากพื้นดิน ฐานเมฆเรียบสม่ำเสมอ ภายในเมฆจะมีเฉพาะละอองน้ำ เช่นเดียวกับเมฆสเตรโตคิวมูลัส ฝนที่เกิดจากเมฆชนิดนี้เป็นฝนละออง



**ภาพ 9.9 เมฆสเตรตัส**

**ที่มา :** [**http://www.rmutphysics.com/charud/specialnews/6/clound/cloud\_precip.htm และ**](http://www.rmutphysics.com/charud/specialnews/6/clound/cloud_precip.htm%20และ)[**http://www.myfirstbrain.com/student\_view.aspx?ID=60596**](http://www.myfirstbrain.com/student_view.aspx?ID=60596)

**3.3) เมฆนิมโบสเตรตัส(Nimbostratus หรือ Ns)**Nimboมีความหมายว่า “น้ำฟ้า” เป็นเมฆสีเทาหรือดำ มีลักษณะเป็นแผ่นหรือเป็นชั้น บางครั้งอาจมีความหนาถึง 1 ไมล์ ภายในเมฆประกอบด้วยละอองน้ำและผลึกน้ำแข็ง เมฆชนิดนี้ก่อเกิดฝนตกอย่างต่อเนื่องและในเขตละติจูดสูงอาจก่อให้เกิดหิมะได้



**ภาพ 9.10 เมฆนิมโบสเตรตัส**

**ที่มา :** [**http://www.myfirstbrain.com/student\_view.aspx?ID=60596 และ**](http://www.myfirstbrain.com/student_view.aspx?ID=60596%20และ)[**http://www.rmutphysics.com/**](http://www.rmutphysics.com/)**charud/specialnews/6/clound/cloud\_precip.htm**

**4) เมฆวงศ์ดี (Family D)**หมายถึง เมฆที่ก่อตัวในแนวตั้ง เนื่องจากกระบวนการพาความร้อน ระดับฐานเมฆจะอยู่ใกล้ระดับพื้นดิน แบ่งออกเป็น 2 ชนิด ดังนี้

**4.1) เมฆคิวมูลัส(Cumulus หรือ Cu)**ฐานเมฆสีค่อนข้างดำ ยอดเมฆสูงๆ ต่ำๆ ไม่สม่ำเสมอ ลักษณะคล้ายดอกกะหล่ำ เมื่อกระทบกับแสงอาทิตย์จะมีสีขาว เมฆนี้มีลักษณะการก่อตัวในแนวตั้งสูงขึ้นไป ภายในเมฆมีเฉพาะละอองน้ำ ถ้าเมฆนี้เกิดขึ้นบางๆ แสดงว่าท้องฟ้าแจ่มใส แต่เมฆนี้อาจก่อให้เกิดฝนซู่ และเป็นฝนตกเฉพาะแห่งได้ พบมากในเขตร้อน

เมฆคิวมูลัสอาจเกิดขึ้นได้จากปรากฏการณ์ธรรมชาติ เช่น ภูเขาไฟระเบิด การเปลี่ยนแปลงของอากาศอย่างรุนแรงและฉับพลัน เช่น การทดลองระเบิดหรือการเผาถังน้ำมันหรือการเผาไหม้วัตถุในบริเวณกว้าง เป็นต้น เรียกเมฆแบบนี้ว่า **ไพโรคิวมูลัส(Pyrocumulus)**



**ภาพ 9.11 เมฆคิวมูลัส ภาพ 9.12 ไพโรคิวมูลัส**

**ที่มา :**[**http://www.rmutphysics.com/charud/specialnews/6/clound/cloud\_precip.htm**](http://www.rmutphysics.com/charud/specialnews/6/clound/cloud_precip.htm) **และ <http://www.kmvt.com>**

**4.2) เมฆคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus หรือ Cb)**เป็นเมฆที่พัฒนามาจากเมฆคิวมูลัส เป็นก้อนเมฆขนาดใหญ่คล้ายภูเขา ฐานเมฆอยู่ใกล้ระดับผิวดินประมาณ 300 – 600 เมตร สีดำคล้ำหนาทึบและมีการม้วนตัวอยู่เสมอ ยอดเมฆอาจสูงถึง 3,000 – 8,000 เมตร บางครั้งอาจสูงถึง 18,000 เมตร ส่วนบนของเมฆแผ่กระจายออกมีลักษณะคล้ายทั่ง (Anvil head) ภายในเมฆมีทั้งละอองน้ำ ผลึกน้ำแข็ง หิมะ ลูกเห็บและมีลมกระโชกแรง ท้องฟ้ามีเมฆนี้ปกคลุมอยู่แสดงว่ามีลักษณะอากาศไม่ดี เพราะเมฆนี้ทำให้เกิดฝนตกหนัก ลมกระโชกแรง เกิดฟ้าแลบ ฟ้าร้อง และฟ้าผ่า หรือบางครั้งอาจมีลูกเห็บเกิดขึ้น เมฆชนิดนี้บางครั้งอาจเรียกว่า **เมฆพายุฟ้าคะนอง (Thunderstorm cloud)**



**ภาพ 9.13 เมฆคิวมูโลนิมบัส**

ที่มา : [http://www.rmutphysics.com/charud/specialnews/6/clound/cloud\_precip.htm และ](http://www.rmutphysics.com/charud/specialnews/6/clound/cloud_precip.htm%20และ)<http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cumulonimbus_cloud.jpg>



ภาพที่ 9.14 เมฆหน้าโค้งที่อยู่ส่วนหน้าที่ต่ำลงของกลุ่มเมฆคิวมูโลนิมบัสในพายุหมุนเหนือเมือง เอนสเกเด ประเทศเนเธอร์แลนด์

ที่มา : <http://th.wikipedia.org/wiki/%E0%B8%9E%E0%B8%B2%E0%B8%A2%E0%B8%B8>

ภาพ 9.15 โครงสร้างเมฆคิวมูโลนิมบัส หรือเมฆที่ก่อต่อเป็นพายุฤดูร้อน

**9.2.5 สัดส่วนเมฆในท้องฟ้า**การตรวจวัดเมฆนั้นในทางปฏิบัติเจ้าหน้าที่ตรวจอากาศมักรายงานคุณสมบัติของเมฆจากการตรวจด้วยสายตา โดยมีข้อมูลที่ต้องรายงาน ได้แก่ ระดับความสูง ชนิด ทิศทางการเคลื่อนตัว ปริมาณเมฆในส่วนของท้องฟ้า สำหรับความสูงของฐานเมฆนั้นมีเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพที่ใช้ตรวจวัด ที่เรียกว่า **ซีลโลมิเตอร์ (Ceilometer)**แต่ก็ไม่เป็นที่นิยมเพราะมีราคาแพง มีความยุ่งยากในการติดตั้ง การบำรุงรักษา ส่วนปริมาณเมฆที่คาดคะเนด้วยสายตานั้นจะแบ่งท้องฟ้าออกเป็น 10 ส่วน ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเมฆกับท้องฟ้าประกอบด้วย

1) ท้องฟ้าแจ่มใส (clear) หมายถึง ท้องฟ้าไม่มีเมฆ หรือมีเมฆน้อยกว่า 1/10 ส่วน

2) เมฆกระจาย (Scattered) หมายถึง ท้องฟ้ามีเมฆตั้งแต่ 1/10 ถึง 6/10 ส่วน

3) เมฆเต็มท้องฟ้าแต่มีช่องว่าง (Broaken) หมายถึง ท้องฟ้ามีเมฆ 6/10ถึง 9/10 ส่วน

4) เมฆเต็มท้องฟ้า (Overcast) หมายถึง ท้องฟ้ามีเมฆมากกว่า 9/10 ส่วน



**ภาพ 9.16 เมฆ Mammatusเป็นเมฆคิวมูโลนิมบัสในส่วนที่นูนออกอยู่ระดับฐานเมฆและเคลื่อนตัวอย่างรวดเร็ว ก่อให้เกิดฝนฟ้าคะนอง**

**ที่มา :** [**http://no.wikipedia.org/wiki/Mammatus#mediaviewer/Fil:Mammatus-clouds-Tulsa-1973.png และ**](http://no.wikipedia.org/wiki/Mammatus#mediaviewer/Fil:Mammatus-clouds-Tulsa-1973.png และ)[**http://www.collthings.co.uk/2008/06/10-very-rare-clouds.html#.U9d4HWSvicE**](http://www.collthings.co.uk/2008/06/10-very-rare-clouds.html#.U9d4HWSvicE)

**ภาพที่ 9.17 ลักษณะเมฆในแนวปะทะอากาศเย็น ภาพที่ 9.18 ลักษณะเมฆในแนวปะทะอากาศอุ่น**

**9.2.6 สีของเมฆ** ภาษาทางวิทยาศาสตร์ เรียกว่า Irisationสีของเมฆเกิดขึ้นจากระดับการสะท้อนแสงของไอน้ำหรือเม็ดน้ำในก้อนเมฆ เมื่อแสงผ่านเข้าไปเมฆจะดูดซับไว้ในก้อนเมฆและสะท้อนกลับออกมา (ต่างจากสีที่เกิดในปรากฏการณ์ดวงจันทร์หรือดวงอาทิตย์ทรงกลด (Halo or Corona) โดยเฮโลกับโคโรน่า เป็นวงกลมสีรุ้งรอบแหล่งกำเนิดแสงคือดวงอาทิตย์หรือดวงจันทร์ ซึ่งมีลักษณะเป็นวงกลมอันเนื่องมาจากความแตกต่างของมุมหักเหของแสง) สีของเมฆส่วนใหญ่ที่พบเห็น ได้แก่ สีแดงซึ่งปรากฏเป็นขอบในเรียงไปจนถึงสีน้ำเงินเป็นขอบนอก (มักเกิดในช่วงดวงอาทิตย์กำลังขึ้นและใกล้จะตกดิน) สีขาว เทา จนถึงดำ นอกจากนั้นอาจพบเมฆสีเขียว เหลือง และเมฆสีรุ้ง เป็นต้น วงแสงธรรมดามักทำมุม 22 องศากับสายตาผู้ตรวจวัด ถ้าขนาดใหญ่จะทำมุม 46 องศา แต่มักมีแสงไม่มาก ถ้าขนาดใหญ่มากจะทำมุม 90 องศา สีของเมฆบอกถึงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในก้อนเมฆได้ ในอดีตจึงนำมาใช้บอกสภาพอากาศหรือทำนายลมฟ้าอากาศที่จะเกิดขึ้น แต่นักอุตุนิยมวิทยาส่วนใหญ่ในปัจจุบันเชื่อกันว่า การศึกษาสีของเมฆไม่ได้ช่วยในการพยากรณ์อากาศเลย จึงไม่ค่อยมีคนค้นคว้าเรื่องนี้ สีของเมฆกับการทำนายสภาพอากาศมีความเชื่อในอดีต เช่น

1) **เมฆสีเขียวจางๆ** เกิดขึ้นจากการกระเจิงของแสงอาทิตย์เมื่อตกกระทบน้ำแข็งในก้อนเมฆ มักเกิดในเมฆคิวมูโลนิมบัส เมื่อพบเห็นบอกถึงปรากฏการณ์การก่อตัวของพายุฝน พายุลูกเห็บ พายุทอร์นาโดหรือลมที่รุนแรง

**2) เมฆสีเหลือง** มักไม่ค่อยพบเห็น แต่อาจเกิดขึ้นได้ในช่วงที่เกิดไฟป่าได้ง่าย สีเหลืองนั้น เกิดจากฝุ่นควันในอากาศ แต่ถ้าออกสีเหลืองทองปนแดงมักคาดการณ์ว่าในวันต่อไปอาจเกิดพายุฝน ลมแรงขึ้น

**3) เมฆสีแดง สีส้ม หรือสีชมพู**เกิดจากการกระเจิงของแสงในชั้นบรรยากาศ ไม่ได้เกิดจากเมฆโดยตรง (ปกติเกิดในช่วง พระอาทิตย์ขึ้นและพระอาทิตย์ตก) ในกรณีที่มีพายุฝนขนาดใหญ่ในช่วงเดียวกันอาจให้เห็นเมฆเป็นสีแดงเข้ม เหมือนสีเลือด

**9.3 หมอก**

**9.3.1 หมอก**หมายถึง ละอองน้ำขนาดเล็กมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า เกิดจากการกลั่นตัวของไอน้ำ จนเป็นเม็ดละอองน้ำลอยอยู่ในอากาศใกล้ผิวดิน โดยกายภาพแล้วหมอกเหมือนกันกับเมฆ ทั้งโครงสร้างและรูปร่างต่างกันเพียงที่ระดับความสูงในการก่อตัว โดยหมอกก่อตัวในระดับใกล้ผิวพื้นโลกหรือมีฐานอยู่ติดผิวดิน แต่เมฆก่อตัวในอากาศซึ่งสูงกว่าระดับพื้นผิว (มากกว่า 200 เมตร)

หมอกทำให้ทัศนวิสัยเลวลงมาก บางครั้งอาจเป็นอันตรายต่อการจราจรทั้งทางบก เรือ และอากาศ ในทางอุตุนิยมวิทยาถ้าสามารถมองเห็นไม่ถึง 1 กม. ถือว่าทัศนวิสัยเลวมาก แต่บางครั้งลักษณะอากาศที่ปกคลุมด้วยหมอกก็เกิดประโยชน์ เช่น ในพื้นที่จังหวัดแม่ฮ่องสอน ตาก และเชียงราย เป็นต้น ใช้สภาพอากาศที่มีหมอกปกคลุมเป็นบริเวณกว้างหรือบนยอดเขา ประชาสัมพันธ์ด้านการท่องเที่ยว โดยชูทัศนียภาพ “ทะเลหมอก” ทะเลหมอกเป็นหมอกที่ปกคลุมพื้นที่กว้างๆ ในหุบเขา มักจะเกิดขึ้นในบริเวณที่มีความชื้นสูง เช่น ช่วงหลักฝนตกและในช่วงฤดูหนาว เป็นต้น

**9.3.2 การเกิดหมอก**เกิดโดยมวลอากาศที่อุ้มไอน้ำนั้นเย็นลงจนถึงจุดอิ่มตัวและกลั่นตัวเป็นละอองน้ำใกล้พื้นดิน หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าเมื่ออากาศชื้นใกล้พื้นดินลดอุณหภูมิลงถึงจุดน้ำค้าง ไอน้ำที่อยู่ในอากาศจะเกิดการกลั่นตัวเป็นละอองไอน้ำขนาดเล็กลอยอยู่เหนือพื้นดิน ถ้าอุณหภูมิลดลงอีกถึงจุดเยือกแข็ง ไอน้ำหรือละอองน้ำจะกลายเป็นผลึกน้ำแข็ง เรียกว่า หมอกน้ำแข็ง (Ice fog) หมอกมักจะเกิดในบริเวณที่มีไอน้ำในอากาศมาก เช่น บริเวณป่าเขาที่มีต้นไม้หนาแน่น บริเวณที่มีอากาศเย็น บริเวณที่เป็นลำธารและมีอากาศเย็น เป็นต้น หมอกเกิดได้หลายวิธี แบ่งตามแหล่งกำเนิดและวิธีการเกิดดังนี้

1) จำแนกตามแหล่งการเกิด

1.1) หมอกเกิดขึ้นเนื่องจากอากาศอุ่น เคลื่อนตัวขึ้นไปบนพื้นที่เย็นกว่า

1.2) หมอกในทะเล เป็นหมอกชนิดหนึ่งที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของมวลอากาศในแนวนอน เกิดขึ้นเหนือผิวน้ำทะเลโดยอากาศซึ่งอยู่เหนือผิวน้ำที่อุ่น เคลื่อนที่ไปยังผิวน้ำที่เย็นกว่า ทำให้อากาศข้างล่างเย็นลงต่ำกว่าจุดน้ำค้าง หรืออาจเกิดขึ้นเนื่องจากอากาศเย็นพัดไปสู่น่านน้ำที่อุ่น ไอน้ำที่อยู่ใกล้ผิวน้ำก็จะลอยเข้าไปสู่อากาศเย็นมีลักษณะเหมือนควันลอยขึ้นจากผิวน้ำ

1.3) หมอกบนบก หมายถึงพื้นดินแผ่รัวสีความร้อนออกมาจนทำให้อากาศระดับต่ำเย็นลงจนถึงจุดอิ่มตัวจะเกิดหมอกขึ้น

1.4) หมอกเกิดตามพื้นเอียง หมายถึง มีอากาศพัดขึ้นไปตามลาดเขา อุณหภูมิจะลดลงจนถึงจุดกลั่นตัว ก็จะเกิดหมอกขึ้นได้

หมอกและน้ำค้างมักเกิดขึ้นในคืนที่ท้องฟ้าแจ่มใส ทั้งนี้เพราะคืนที่ท้องฟ้าแจ๋มใสนั้น อุณหภูมิจะลดลงได้มากกว่าในวันที่มีเมฆปกคลุม เช่น ในคืนที่ท้องฟ้าแจ่มใสอุณภูมิอาจลดลงจากระดับอุณหภูมิสูงสุดของวันได้ถึง 10 องศา ในขณะที่ในวันที่มีเมฆอาจลดลงเพียง 3 องศา และมีลมพัดอ่อนๆ (น้อยกว่า 5 กม./ชม.) เป็นบริเวณที่มีความชื้นสูง หมอกเกิดขึ้นในบริเวณใดจะทำให้ทัศนวิสัย (Visibility) ในบริเวณนั้นลดลง ซึ่งสามารถแบ่งชนิดความหนาแน่นของหมอกตามทัศนวิสัยดังนี้

**ตาราง 9.2 ความหนาแน่นของหมอกกับระยะการมองเห็น**

|  |  |
| --- | --- |
| **ความหนาแน่นของหมอก** | **ทัศนวิสัยที่มองเห็น (เมตร)** |
| หมอกทึบ  หมอกหนา  หมอก  หมอกปานกลาง  หมอกบาง | 45  180  450  925  1,850 |

2) จำแนกตามลักษณะการเกิด ดังนี้

2.1) หมอกที่เกิดจากการระเหยของน้ำ (Fog resulting from evaporation)

2.2) หมอกที่เกิดจากการเย็นตัว (Fog resulting from cooling)

2.1) หมอกที่เกิดจากการระเหยของน้ำ เป็นหมอกที่เกิดจากมีมวลไอน้ำเพิ่มเข้าไปในอากาศเย็นที่อยู่เหนือพื้นดิน แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

2.1.1) หมอกไอน้ำ (Steam fog) เป็นหมอกที่ปรากฏขึ้นเหนือพื้นน้ำ โดยมีมวลอากาศเย็น เคลื่อนที่เข้ามาอยู่เหนือมวลอากาศร้อนเหนือพื้นน้ำ ไอน้ำจากมวลอากาศที่ระเหยเข้าสู่มวลอากาศเย็นจะลดอุณภูมิลงจนเกิดการกลั่นตัวกลายเป็นหมอกอยู่เหนือพื้นน้ำ มักพบในเขตละติจูดกลางและละติจูดสูงในช่วงฤดูใบไม้ร่วงจนถึงต้นฤดูหนาว บริเวณอาร์ติกและแอนตาร์กติก เมื่ออากาศหนาวเคลื่อนที่ผ่านไปยังพื้นน้ำที่อุ่นกว่า ทำให้เกิดหมอกที่เรียกว่า หมอกทะเล (Sea smoke)

**ภาพที่ 9.19 หมอกลำธาร ภาพที่ 9.20 หมอกริมชายฝั่งในอ่าว Narragansett มลรัฐ Rhode Island**

2.1.2)หมอกแนวปะทะอากาศ (Frontal fog) เป็นหมอกที่เกิดขึ้นตามแนวปะทะอากาศ โดยไอน้ำที่ระเหยจากฝนของมวลอากาศร้อนเคลื่อนตัวเข้าสู่มวลอากาศเย็นที่แห้ง ที่อยู่ทางด้านล่างติดพื้นดิน เกิดเป็นหมอกขึ้น

2.2) หมอกที่เกิดจากการเย็นตัว เป็นหมอกที่เกิดจากการลดอุณหภูมิของอากาศจนกระทั่งถึงจุดน้ำค้าง

2.2.1) หมอกที่เกิดจากการแผ่รังสี (Radiation fog) เป็นหมอกที่เกิดขึ้นในคืนที่ท้องฟ้าแจ่มใส และมีลมสงบหรือลมอ่อน เนื่องจากคืนที่สภาพอากาศแจ่มใสพื้นดินจะมีอุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็ว โดยการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นผิวโลกขึ้นสู่บรรยากาศ จนกระทั่งอุณหภูมิลดลงถึงจุดน้ำค้างหรือต่ำกว่า

**ภาพ 9.21 หมอกที่เกิดจากการแผ่รังสี**

ทำให้ไอน้ำเหนือพื้นผิวเกิดการกลั่นตัวกลายเป็นหมอกขึ้น หมอกชนิดนี้อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า หมอกพื้นดิน (Ground fog) มีระดับความสูงอยู่เหนือพื้นดินไม่เกิน 2 เมตร

2.2.2) หมอกพาความร้อนในแนวราบ (Advection fog) เป็นหมอกที่เกิดจากการมีมวลอากาศร้อนชื้นเคลื่อนตัวในแนวราบมาอยู่เหนือพื้นผิวที่เย็น โดยปกติมักปรากฏในแถบละติจูดสูง หรือกรณีมวลอากาศร้อนเคลื่อนที่ผ่านกระแสน้ำเย็นในมหาสมุทร หรือในช่วงฤดูร้อนอาจเกิดจากลมหอบเอามวลอากาศชื้นและเย็นจากทะเลเข้ามากลายเป็นหมอกในภาคพื้นดิน

**ภาพ 2.2 หมอกพาความร้อนในแนวราบ**

2.2.3) หมอกตามลาดเขา (Upslope fog) เป็นหมอกที่เกิดขึ้นบริเวณแนวลาดเนินเขา โดยมวลอากาศชื้นเคลื่อนตัวมาปะทะลาดเขา และจะเคลื่อนตัวสูงขึ้นอย่างช้าๆ พร้อมกับการลดอุณหภูมิลงตามลำดับความสูงที่เพิ่มขึ้น จนกระทั่งไอน้ำกลั่นตัวกลายเป็นหมอก มักเกิดตามบริเวณภูเขา

**ภาพ 9.23 หมอกพาความร้อนในแนวราบ**

2.2.4) หมอกความกดอากาศ (Barometric fog) เป็นหมอกที่เกิดขึ้นเมื่อบริเวณพื้นดินมีความกดอากาศลดลง ซึ่งมีผลทำให้อากาศขยายตัวออกและอุณภูมิลดลงไปด้วยจนกระทั่งไอน้ำเกิดการกลั่นตัว สภาวะเช่นนี้จะพบในบริเวณหุบเขาขณะที่มีอากาศอยู่ในสภาพนิ่ง (Stagnant air)

**ภาพ 9.24 หมอกความกดอากาศ**

2.2.5) หมอกผสม (Mixing fog) เป็นหมอกที่เกิดจากมวลอากาศร้อนชื้นเคลื่อนตัวมาผสมกับมวลอากาศเย็นชื้น บริเวณที่มีการรวมตัวระหว่างมวลอากาศทั้ง 2 จะลดอุณหภูมิลงจนกลั่นตัวกลายเป็นหมอก

2.2.6) หมอกผกผันตามสูง (Inversion fog) ซึ่งบางครั้งหมอกอาจเกิดขึ้นจากอุณภูมิผกผันตามสูง ซึ่งมีระดับความสูงจากพื้นดินประมาณ 200 – 600 เมตร ปกติในระดับความสูงนี้หมอกะมีน้อยและเบาบาง แต่บางครั้งเมื่อที่ระดับความสูงจากพื้นดินขึ้นไป หมอกจะมีความหนาแน่นมากขึ้น และใกล้พื้นดินมีความหนาแน่นน้อยลง

**ภาพ 9.25 หมอกผกผันตามสูง**

แม้ว่าการเกิดหมอกจะมีหลากหลายแบบ สิ่งที่ควรให้ความสนใจ คือ กระบวนการที่ทำให้เกิดมีหมอก หมอกที่เกิดขึ้นในเขตอากาศหนาวเย็นถ้าปกคลุมเขตอุตสาหกรรมจะมีความสำคัญมากที่ต้องคำนึงถึง เพราะจะส่งผลถึงปริมาณมลภาวะทางอากาศตามมาในลักษณะที่เรียกว่า หมอกควัน (Smog) ซึ่งมักเป็นหมอกที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ เนื่องจากมีส่วนผสมของควันพิษจากโรงงานอุตสาหกรรม ส่วนในพื้นที่เขตร้อนหมอกควันจะไม่ค่อยปรากฏหรือมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยกว่าเขตหนาว แต่อาจเกิดหมอกควันได้จากควันไฟหรือฝุ่น นอกจากนั้นหมอกยังส่งผลกระทบต่อการคมนาคมขนส่ง เช่น กรณีเกิดภาวะหมอกปกคลุมในทวีปยุโรปเมื่อวันที่ 20 ธันวาคม 2549 โดยเฉพาะที่ประเทศอังกฤษ สนามบินฮีทโธรว์ สนามบินแกตวิค และสนามบินสแตนสเต็ด ได้ยกเลิกเที่ยวบินกว่า 200 เที่ยว ส่วนใหญ่เป็นเที่ยวบินในประเทศตั้งแต่ 20-22 ธ.ค. 2549 ในช่วงเดียวกันระบบการคมนาคมอื่นๆ ก็ได้รับผลกระทบด้วย เช่น บริการเรือเฟอร์รี่ไปยังไอร์แลนด์ ส่วนที่นิวยอร์ก สหรัฐฯ สภาพหมอกจัดทำให้เจ้าหน้าที่ต้องปิดการจราจรในช่องแคบฮิวส์ตัน ทำให้เรือบรรทุกน้ำมันและปิโตรเคมีราว 35 ลำ ไม่สามารถผ่านเข้ามาเทียบท่า

**9.4 น้ำค้างและน้ำค้างแข็ง**

ลักษณะและรูปแบบการเกิดของน้ำค้าง มีดังนี้

9.4.1 น้ำค้าง เป็นรูปแบบหนึ่งของการกลั่นตัวของไอน้ำ เมื่ออากาศที่ผิวพื้นเย็นลงจนมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดน้ำค้างเดิมแล้วไอน้ำก็จะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ เรียกว่า น้ำค้าง แต่จุดน้ำค้างนี้ต้องมีอุณภูมิสูงกว่า 0 °C หรือ 32 °Fในคืนที่ท้องฟ้าแจ่มใสไม่มีเมฆและลมสงบ พื้นดินจะเย็นตัวลงอย่างรวดเร็วด้วยการแผ่รังสีความร้อนออกสู่บรรยากาศ ทำให้อากาศที่สัมผัสกับผิวดินจะเย็นตัวตามลงไปด้วยโดยกระบวนการนำความร้อนออกจากอากาศสู่พื้นดิน อากาศจะเกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศกับพื้นดินไปเรื่อยๆ จนกระทั่งอุณหภูมิของอากาศลดลงถึงจุดน้ำค้าง ไอน้ำจะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำเกาะอยู่บนพื้นผิวต่างๆ พื้นผิวที่มีสีคล้ำจะมีหยดน้ำเกาะมากกว่า เนื่องจากสีคล้ำมีคุณสมบัติดูดกลืนความร้อนได้ดีกว่า สำหรับคืนที่มีลมพัดจะมีโอกาสเกิดน้ำค้างได้น้อยกว่าคืนที่มีลมสงบแม้ว่าอากาสจะแจ่มใสเหมือนกันก็ตาม ทั้งนี้เพราะลมเป็นตัวขวางกั้นไม่ให้อากาสสัมผัสพื้นผิวที่เย็น

9.4.2 น้ำค้างแข็ง เป็นกระบวนการที่อากาศระดับใกล้ผิวพื้นเย็นลงจนถึงอุณหภูมิของจุดน้ำค้าง แล้วกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ และยังคงลดลงอีกจนมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดน้ำค้างเดิม แล้วไอน้ำในอากาสเกิดการเปลี่ยนสถานะจากไอน้ำเป็นน้ำแข็ง แล้วจับกันเป็นเกล็ดเรียกว่า “น้ำค้างแข็ง” ในลักษณะนี้จุดน้ำค้างต้องเท่ากับ 0 °C หรือต่ำกว่า ไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศจะเปลี่ยนสถานะเป็นน้ำแข็งโดยตรงด้วยกระบวนการระเหิด (ถ้าไอน้ำกลั่นตัวเป็นน้ำแล้วแข็งตัว ไม่เรียกว่าน้ำค้างแข็ง) มักพบในเขตอากาศหนาวหรือพื้นที่ยอดดอยที่มีอากาศหนาวเย็น

ขนาดของผลึกน้ำแข็งที่เกิดขึ้นโดยทั่วไป จะมีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กมากและปรากฏให้เห็นโดยเกาะบนวัตถุต่างๆ เช่นเดียวกับน้ำค้าง มีชื่อเรียกหลายอย่าง เช่น ฮอร์ฟรอสต์(Hoar frost) น้ำค้างแข็งสีขาว(White frost) ผลึกน้ำค้าง (Crystalline frost) น้ำค้างแข็งที่เกิดขึ้นในประเทศไทยมักพบในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เรียกตามภาษาถิ่นว่า “แม่คะนิ้ง” หรือ “แมงคะนิ้ง” ส่วนภาคเหนือ เรียกว่า “เหมยขาบ”

ลักษณะอากาศก่อนการเกิดปรากฏการณ์น้ำค้างแข็ง กรณีที่เกิดบนดอยอ่างข่าง มีสิ่งบอกเหตุ คือ ตั้งแต่เช้าจรดเย็นไม่มีเมฆเกาะกลุ่มหรือไหลผ่านบริเวณดอยอ่างข่าง อากาศในช่วงเวลา 10.00 – 16.00 น. ร้อนมากกว่าปกติ โดยอุณหภูมิอยู่ช่วง 28 – 38 องศาเซลเซียส จากนั้นอีกไม่เกินสัปดาห์ น้ำบนยอดหญ้าจะเกิดภาวะน้ำค้างแข็งขึ้น ทั้งนี้ช่วงที่น้ำค้างแข็งจะอยู่ในช่วงเวลา 5 ถึง 8 นาฬิกา จะพบน้ำค้างแข็งเกาะติดอยู่ตามต้นท้อและมีร่องการไหลเป็นเส้นจับตัวเป็นน้ำแข็ง (ไทยรัฐ, ข่าว(ข้อมูลออนไลน์),2549)

**ภาพ 9.26 ปรากฏการณ์น้ำค้างแข็งบนดอยอ่างขาง**

การเกิดแม่คะนิ้งหลายๆ คน อาจให้ความสนใจเพราะแสดงถึงสภาพความหนาวเย็นของอากาศและมีลักษณะเป็นเกล็ดปกคลุมยอดหญ้าหรือผิวพื้นทำให้ดูน่ามอง จนมีการนำมาประชาสัมพันธ์เพื่อการท่องเที่ยว แต่ในด้านการเกษตรนั้นการเกิดแม่คะนิ้งเป็นภาวะที่อากาศสร้างความเสียหายให้แก่ พืชผักต่างๆ เป็นจำนวนมาก โดยอาจทำให้ข้าวที่กำลังออกรวงมีเมล็ดลีบ ส่วนพืชไร่ เช่น กาแฟ ก็จะชะงักการเจริญเติบโตหรือเกิดอาการใบไหม้ พืชผักก็จะมีใบหงิกงอ ไหม้เกรียม พืชล้มลุก เช่น ถั่วแดงหลวง เกิดอาการไหม้และตาย ภายใน 2 – 3 วัน ส่วนผลไม้ได้แก่ กล้วย ทุเรียน มะพร้าว จะมีใบแห้งและร่วงลงในที่สุด ถ้าแม่คะนิ้งเกิดติดต่อกันยาวนานย่อมสร้างความเดือดร้อนแก่ชาวนา ชาวไร่ ชาวสวน

**ภาพ 9.27 ผลึกน้ำค้างแข็ง(แม่คะนิ้ง)บนใบหญ้า บันทึกที่ภูเรือ จ.เลย ภาพ 9.28 ผลึกน้ำค้าง**

**9.5 หยาดน้ำฟ้า**

9.5.1 หยาดน้ำฟ้า (Precipitation) หมายถึง ไอน้ำที่อยู่ในรูปของเหลวหรือของแข็งในอากาศเกิดการกลั่นตัวและการระเหิดในอากาศ จนมีขนาดใหญ่โตหรือน้ำหนักมากขึ้นจนอากาศไม่สามารถพยุงตัว (Hold) ไว้ได้แล้วตกลงสู่พื้นโลก การกลั่นตัวของไอน้ำในอากาศนั้น เกาะรวมกันเป็นเมฆจนกระทั่งหยดน้ำมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากจนอากาศไม่สามารถพยุงไว้ได้จึงตกลงมาพื้นผิวโลกในลักษณะฝน (Rain) หิมะ (Snow) ลูกเห็บ (Hail) เป็นต้น

พจนานุกรมศัพท์ภูมิศาสตร์ ฉบับราชบัณฑิตยสถาน (2513 : 656) ให้ความหมายว่า น้ำในลักษณะของเหลวหรือของแข็งรูปผลึกหรือของแข็งอสัณฐาน (Amorphous) ซึ่งเกิดจากก้อนเมฆบนท้องฟ้าแล้วตกลงมายังพื้นโลก เช่น ฝน หิมะ ลูกเห็บ ฯลฯ หรือน้ำที่ตกจากฟ้าลงสู่ดิน ไม่ว่าจะมีภาวะเป็นน้ำหรือน้ำแข็ง เช่น ฝนละออง ฝนธรรมดา หิมะ และลูกเห็บ ลักษณะของหยาดน้ำฟ้าดังกล่าวแล้วแตกต่างไปจากเมฆ หมอก น้ำค้าง น้ำค้างแข็ง และไอน้ำหรือน้ำแข็งในรูปอื่นๆ ตรงที่หยาดน้ำฟ้าจะต้องตกจากบรรยากาศถึงพื้นดิน การวัดปริมาณของหยาดน้ำฟ้าใช้เครื่องมือแบบเดียวกันกับการวัดฝน ถ้าหยาดน้ำฟ้าที่ตกลงมาในเครื่องวัดนั้นมีลักษณะเป็นน้ำแข็ง ต้องทำให้ละลายตัวเป็นน้ำเสียก่อนแล้วจึงวัดปริมาณของน้ำนั้นออกมาด้วยการเทียบเป็นความสูง คือเป็นเซนติเมตร หรือเป็นนิ้ว เช่นเดียวกับการวัดฝน ดังนั้นเนื้อหาที่จะกล่าวถึงในเอกสารนี้ คำว่า หยาดน้ำฟ้าจะเน้นเนื้อหาที่เกี่ยวกับฝน (Rain) เป็นสำคัญ

9.5.2 กระบวนการเกิดหยาดน้ำฟ้า ก่อนการเกิดฝนจะต้องเกิดเมฆก่อน (เมฆบางชนิดเท่านั้นที่ทำให้เกิดฝน) เม็ดน้ำที่ก่อเป็นฝนได้นั้น มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 2 มิลลิเมตร ซึ่งต้องใช้เม็ดเมฆจำนวนมหาศาล เพราะเม็ดเมฆมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเพียง 0.01 – 0.02 มิลลิเมตรหรือเท่ากับ (10 – 20 ไมครอน) เพื่อให้ได้เม็ดฝน 1 เม็ดอาจต้องใช้เม็ดเมฆถึงจำนวน 1,000,000 เม็ดรวมกัน แต่ขนาดเม็ดฝนที่ตกเป็นหยาดน้ำฟ้านั้นมีขนาดตั้งแต่ 0.5 มิลลิเมตรขึ้นไป (ถ้าตกเป็นบริเวณกว้างอาจมีขนาดเล็กกว่า)

เมื่อพิจารณากระบวนการควบแน่นในการเกิดเป็นเม็ดฝน ประมาณว่าเม็ดเมฆที่จะรวมตัวกันเป็นเมฆฝนอาจต้องใช้เวลานานเป็นวัน (แต่ในสภาพเป็นจริงแล้วพบว่าเม็ดฝนอาจเกิดขึ้นได้ในเวลานานเพียง 1 -2 ชั่วโมงหลังการก่อตัวของเมฆ) แสดงว่ากระบวนการควบแน่นเพียงอย่างเดียวอาจช้าเกินไปที่จะก่อให้เกิดฝน ดังนั้นบรรยากาศจึงมีกระบวนการอื่นเพื่อช่วยเร่งให้เกิดเม็ดเมฆต่างๆ ให้รวมตัวกันเร็วขึ้นภายหลังกระบวนการควบแน่น ซึ่งมีกระบวนการการรวมตัวของน้ำในอากาศที่สำคัญ ได้แก่

1) กระบวนการเบอร์เจอร์รอน-ฟินดีสเซน (Bergeron-Findeisen) อธิบายว่า เมฆจะไม่เปลี่ยนสภาพเป็นน้ำแข็งที่ 0 องศาเซลเซียส และน้ำบริสุทธิ์ที่แขวนลอยอยู่ในอากาศจะคงสภาพเป็นของเหลวจนถึงอุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส ซึ่งน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียสจะยังคงสภาพอยู่ในรูปของเหลว เราเรียกว่า น้ำเย็นจัดต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง (Supercooled water) หากทำให้อากาศเกิดการปั่นป่วนขึ้น น้ำเย็นที่ต่ำกว่าจุดเยือกแข็งจะสามารถเปลี่ยนสภาพกลายเป็นผลึกน้ำแข็งอย่างรวดเร็ว และเม็ดเมฆที่เป็นน้ำที่เย็นจัดต่ำกว่าจุดเยือกแข็งสามารถควบแน่นได้บนนิวคลีไอเยือกแข็ง (Freezing nuclei) ดังนั้นในสภาพธรรมชาติ การควบแน่นของเม็ดเมฆจะกลายเป็นผลึกน้ำแข็งได้ จะต้องอาศัยนิวคลีไอ (Necleice) เยือกแข็ง อย่างไรก็ตามปริมาณเม็ดเมฆที่เป็นนิวคลีไอเยือกแข็งมีน้อยและจะมีประสิทธิภาพให้เม็ดเมฆเกิดการควบแน่นได้นั้นต้องมีอุณหภูมิต่ำถึง -10 องศาเซลเซียส หรือต่ำกว่านี้ เมื่อมีผลึกน้ำแข็งเกิดขึ้น ผลึกน้ำแข็งจะดึงเอาไอน้ำที่เกิดขึ้นรอบๆ เม็ดเมฆเข้าไปรวมตัวกัน ทำให้ผลึกน้ำแข็งจะค่อยๆใหญ่ขึ้น

บางครั้งพบว่าผลึกน้ำแข็งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 200 -300 ไมโครเมตร ภายในระยะเวลาเพียง 2 -3 นาที ในขณะที่เมฆจะมีอัตราการระเหยมากขึ้นเพื่อชดเชยปริมาณไอน้ำที่สูญเสียไป ทั้งนี้เนื่องจากผลของความดันไอน้ำอื่นตัวเหนือผิวน้ำมีค่ามากกว่าความดันไอน้ำเหนือน้ำแข็งนั่นเอง เมื่อผลึกน้ำแข็งมีขนาดเพิ่มขึ้นน้ำหนักย่อมเพิ่มมากขึ้น และจะค่อยๆเคลื่อนตัวลงมาสู่พื้นดิน ขณะที่เคลื่อนตัวลงมาผลึกน้ำแข็งจะเข้าเกาะรวมกันเป็นก้อนใหญ่มากขึ้น เนื่องจากผลึกน้ำแข็งไปชนกับเม็ดเมฆหรือผลึกน้ำแข็งอื่น ทำให้มีการควบแน่นหรือรวมตัวกันมากขึ้น แต่ในบางครั้งการเคลื่อนที่ของอากาศอาจทำให้ผลึกน้ำแข็งแตกออกจากกัน ซึ่งชิ้นส่วนที่แตกออกก็จะไปรวมตัวกันสร้างผลึกน้ำแข็งอันใหม่ขึ้นมาเป็นลูกโซ่ ทำให้ผลึกน้ำแข็งมีปริมาณเพิ่มขึ้น ผลึกน้ำแข็งที่ใหญ่ขึ้นด้วยกระบวนการดังกล่าว เรียกว่า เกล็ดหิมะ (Snowflakes) เมื่อผลึกน้ำแข็งหรือเกล็ดหิมะตกลงมา ถ้าบรรยากาศเหนือพื้นดินมีอุณหภูมิสูงกว่า 4 องศาเซลเซียส เกล็ดหิมะเหล่านี้จะกลายเป็นน้ำก่อนถึงพื้นดิน ดังนั้นหยาดน้ำฟ้าจึงตกลงมากลายเป็นเม็ดฝน

2) กระบวนการชนกันและการรวมตัวกัน (Collision-coalescence process) กระบวนการนี้เป็นกลุ่มเมฆที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 0 องศาเซลเซียส โดยเฉพาะเมฆที่เกิดในเขตร้อนสามารถที่จะกลายเป็นฝนได้ ถึงแม้ว่ายอดเมฆจะมีอุณหภูมิไม่ถึงจุดเยือกแข็ง จึงสันนิษฐานว่าน่าจะมีกลไกชนิดอื่นที่เป็นสาเหตุของการเกิดฝน เมื่ออุณหภูมิของเมฆสูงกว่าจุดเยือกแข็ง วิธีการนี้ตั้งสมมติฐานว่าในเมฆมีเม็ดน้ำเล็กๆ ขนาดที่แตกต่างกัน ที่สามารถกลายเป็นเม็ดน้ำที่เป็นหยาดน้ำฟ้าได้ โดยหยาดน้ำฟ้าที่เกิดขึ้นนั้นเม็ดน้ำต้องมีขนาดใหญ่กว่า 2 ไมโครเมตร เม็ดน้ำขนาดดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ต้องมีนิวคลีไอควบแน่นชนิดดูดความชื้นที่มีขนาดใหญ่มาก(Giant condersation nuclei) เช่น เกลือทะเล มีอนุภาคที่สามารถดูดความชื้นและดึงเอาไอน้ำจากอากาศได้ แม้ว่าความชื้นสัมพัทธ์จะต่ำกว่า 100% และไอน้ำที่มาควบแน่นบนอนุภาคของเกลือทะเลจะโตขึ้นอย่างรวดเร็ว การรวมตัวของน้ำในอากาศ ภาวะที่น้ำในอากาศเกิดการกลั่นตัวและรวมตัวกันจนมีขนาดใหญ่ขึ้น เรียกว่า Coalescence ซึ่งมีปัจจัยสำคัญที่ทำให้เกิดการรวมตัวกันดังนี้

2.1) การชนกันของก้อนเมฆ เมื่ออากาศเกิดการแปรปรวนขึ้นละอองน้ำเล็กๆ แต่มีขนาดที่แตกต่างกันจะวิ่งชนกัน โดยการเคลื่อนที่ของเม็ดละอองน้ำมีความเร็วที่แตกต่างกันตามขนาด เมื่อชนกับละอองน้ำอื่นมากขึ้นย่อมสามารถรวมตัวกับละอองอื่นๆ ได้มากขึ้น ทำให้มีขนาดโตมากขึ้นด้วย เมื่อมีขนาดมากจนอากาศรับน้ำหนักไม่ไหวก็ตกลงมาเป็นหยาดน้ำฟ้า

เนื่องจากอนุภาคภายในก้อนเมฆมีขนาดที่แตกต่างกัน อนุภาคเหล่านี้จะตกลงมาในอัตราเร็วที่ต่างกัน และมีโอกาสที่อนุภาคต่างๆ เหล่านี้จะเกิดการชนกันขึ้น เมื่อชนกันอนุภาคที่ใหญ่กว่าจะดึงเอาอนุภาคที่เล็กกว่ารวมเข้าไว้ ในขณะที่เคลื่อนตัวลงมา เม็ดน้ำยิ่งมีขนาดโตขึ้นเท่าใดประสิทธิภาพในการรวมเอาเม็ดน้ำที่เล็กกว่าเข้าไปก็มีมากยิ่งขึ้น กระแสลมที่ไหลขึ้นก็มีผลต่อกระบวนการนี้ด้วยโดยจะทำให้เม็ดน้ำนี้หมุนวน และมีการชนกันพร้อมกับการรวมตัวกันมากขึ้น เมื่อเม็ดฝนตกลงมาด้วยอัตราเร็ว 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความเร็วของการตกจะทำให้เม็ดฝนแตกออกจากกัน โดยทั่วไปเม็ดฝนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร จะมีอัตราการตกลงด้วยความเร็ว 6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ส่วนเม็ดฝนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 มิลลิเมตร จะมีอัตราการตกลงด้วยความเร็วประมาณ 32 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

**ภาพ 9.29 ลักษณะผลึกของเม็ดน้ำในกระบวนการเกิดหยาดน้ำฟ้า**

2.2) ฟ้าแลบ (Lightning) ไอน้ำในอากศมีทั้งประจุบวกและลบซึ่งทำให้ละอองน้ำดูดและผลักดันกัน ผลการดูดเอาประจุที่ต่างกันเข้ามาทำให้เกิดการรวมตัวกันขึ้นเป็นเม็ดน้ำที่โตขึ้น นอกจากนั้นฟ้าแลบยังทำให้โมเลกุลของออกซิเจนและไนโตรเจนในอากาศรวมตัวกันเป็นไนตรัสออกไซด์ และไนโตรเจนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสารที่มีคุณสมบัติในการดูดน้ำ ทำให้ละอองไอน้ำมาเกาะรวมตัวกันได้ดีจนกลายเป็นเม็ดน้ำที่มีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักจนอากาศไม่สามารถพยุงไว้ได้

2.3) ผลึกน้ำแข็ง เมื่อระดับสูงเพิ่มขึ้นจากพื้นดิน อากาศจะลดอุณหภูมิลงและอาจมีระดับที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส ทำให้ละอองน้ำในอากาศเกิดการแข็งตัวและลอยปนกับไอน้ำ ผลึกน้ำแข็งนี้สามารถดูดเอาไอน้ำที่ลอยอยู่เข้ามารวมตัวกันได้จนกลายเป็นเม็ดน้ำขนาดใหญ่ จนอากาศไม่สามารถพยุงตัวได้จึงตกลงมาเป็นฝน

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่ากระบวนการเกิดหยาดน้ำฟ้าในบรรยากาศ กระบวนการสร้างผลึกน้ำแข็ง เกิดขึ้นก่อนกระบวนการเกาะรวมตัวเข้า หลังจากนั้นกระบวนการทั้งสองจะดำเนินไปพร้อมๆ กัน ส่วนในกลุ่มเมฆที่มีอุณภูมิสูงกว่า 0 องศาเซลเซียส กระบวนการชนและการเกาะรวมกันเป็นกระบวนการเดียวเท่านั้นที่เป็นสาเหตุการเกิดหยาดน้ำฟ้าในเขตร้อน กล่าวได้ว่ากระบวนการเกิดหยาดน้ำฟ้าค่อนข้างมีความซับซ้อน อย่างไรก็ตามพอสรุปขั้นตอนของกระบวนการเกิดหยาดน้ำฟ้าได้ดังนี้

1) อากาศชื้นและมีสิ่งปนเปื้อนหรือสารแขวนลอยอยู่

2) อากาศร้อนและลอยตัวสูงขึ้น

3) อากาศขยายตัวและเย็นตัวลง

4) อากาศอิ่มตัวและเกิดการกลั่นตัวและควบแน่น

5) หยดน้ำหรือผลึกน้ำแข็งเจริญเติบโตรวมตัวกันจนอากาศไม่สามารถพยุงไว้ได้

6) เกิดเป็นหยาดน้ำฟ้า

**9.5.3 ประเภทของการเกิดหยาดน้ำฟ้า**จำแนกตามลักษณะการเกิด 3 ลักษณะดังนี้

**1) การพาความร้อน (Convection Precipitation)**เป็นฝนที่เกิดจากการระเหยของไอน้ำและการลอยตัวขึ้นของอากาศร้อนในแนวดิ่ง ในเวลากลางวันพื้นดินได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ทำให้มวลอากาศที่ปกคลุมพื้นผิวลอยตัวสูงขึ้นและไม่เสถียรภาพ เมื่อลอยตัวสูงขึ้นไอน้ำจะกลั่นตัวเป็นเมฆในแนวตั้ง (Convective cloud) ได้แก่ เมฆคิวมูลัส ถ้ามีปริมาณไอน้ำมากๆ ก็พัฒนากลายเป็นเมฆคิวมูโลนิมบัส และตกลงมาเป็นฝนหรือหิมะซึ่งอาจมีลูกเห็บ ฝนที่เกิดจากการพาความร้อนนั้นมักเกิดในฤดูร้อน (เมษายน-พฤษภาคม) และตกในบริเวณแคบๆ มีช่วงระยะเวลาการตกสั้นๆ มีกเรียกว่า “ฝนพายุฟ้าคะนอง” เพราะเมื่อฝนตกจะมีฟ้าคะนองร่วมด้วยเสมอ

ฝนที่เกิดจากการพาความร้อนอาจตกเป็นแห่งๆ ได้ทุกวันในช่วงบ่ายถึงค่ำ ส่วนในกลางทะเลซึ่งความร้อนระบายได้ช้ากว่าพื้นดินมักจะตกในช่วงเวลาถัดออกไป คือ ตกในช่วงกลางคืนถึงเช้ามืด ฝนที่เกิดจากพาความร้อนมักเกิดในช่วงเดือนพฤษภาคม-ตุลาคม (ตลอดช่วงหน้าฝน) เนื่องจากเป็นระยะที่อากาศในประเทศไทยมีความชื้นมาก เพราะได้รับอิทธิพลลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้จากมหาสมุทรอินเดีย ส่วนในภาคใต้นั้นอาจมีฝนชนิดนี้ได้เกือบตลอดทั้งปี เพราะมีทะเลล้อมรอบโดยส่วนใหญ่จะมีฝนตกด้านฝั่งรับลม

**2) ฝนปะทะภูเขา (Orographic Precipitation)**เกิดจากการที่อากาศเคลื่อนที่ไปปะทะภูเขาหรือสิ่งที่กีดกั้นทางลม เมื่อกระแสลมพัดพาเอาอากาศที่มีความชื้นเคลื่อนที่เข้ามาปะทะพื้นที่ที่มีความลาดชัน อากาศนั้นจะถูกผลักดันให้ลอยตัวสูงขึ้น (Upward motion) ตามลาดชันนั้น เมื่ออากาศลอยตัวสูงขึ้นอากาศจะขยายตัวและลดอุณหภูมิลงตามกระบวนการอะเดียแบติก จนถึงจุดหนึ่งไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศจะเกิดการกลั่นตัวเป็นเมฆ (การก่อตัวของไอน้ำจะกลายเป็นเมฆนิมโบสเตรตัส) และเกิดฝนตกลงมาในบริเวณแนวปะทะหรือด้านหน้าเขา (Windward side) ทั้งนี้ความรุนแรงของฝนที่ตกนั้นขึ้นอยู่กับกระแสลมที่พัด ถ้ากระแสลมมีลักษณะหมุนวน (Cyclonic) และมีกำลังแรงหรือการยกตัวเป็นไปอย่างรวดเร็วจะเกิดฝนตกหนัก ส่วนบริเวณที่อยู่ด้านหลังเขาจะมีปริมาณฝนเฉลี่ยน้อยกว่าพื้นที่ทางด้านต้านลมเกิดพื้นที่อับฝน (Rain-shadow)

**ภาพ 9.30 ฝนที่เกิดจากลมปะทะภูเขา**

ฝนปะทะภูเขาในประเทศไทยพบในช่วงมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ลมที่พัดมาจากมหาสมุทรอินเดียผ่านอ่าวเบงกอล เข้ามาเกิดปะทะตามแนวเทือกเขาตะนาวศรี ทิวเขานครศรีธรรมราชและบรรทัด ทำให้มีฝนตกมากในจังหวัดระนอง พังงา ภูเก็ต กระบี่ ตรัง และสตูล ส่วนด้านหลังเขาอาจมีฝนตกน้อย ได้แก่ จังหวัดเพชรบุรีและตาก เมื่อพัดผ่านอ่าวไทยเข้าสู่ภาคตะวันออกจะปะทะกับเทือกเขาจันทบุรีและบรรทัด ทำให้มีฝนตกมากในจังหวัดระยอง จันทบุรี และตราด ส่วนจังหวัดนครราชสีมา ชัยภูมิ และบางพื้นที่ของบุรีรัมย์เป็นเงาเขตฝน (พื้นที่ที่เป็นเงาฝนในประเทศไทยนั้นอาจได้รับน้ำฝนได้ ถ้ามีฝนที่เกิดจากหย่อมความกดอากาศต่ำหรือดีเปรสชันพัดเข้ามา)

**ภาพ 9.31 เขตฝนปะทะภูเขาในเกาะสุมาตราและชายฝั่งแหลมญวน**

3) ฝนแนวปะทะอากาศ (Front) เกิดขึ้นเนื่องมาจากมวลอากาศ 2 กลุ่ม ที่มีอุณหภูมิและความกดอากาศแตกต่างกันเคลื่อนที่มาพบกัน ซึ่งเกิดใน 2 ลักษณะ คือ Cold front ซึ่งเกิดจากมวลอากาศที่เย็นกว่าและหนักกว่าเคลื่อนที่เข้ามาผ่านมวลอากาศซึ่งอุ่นกว่า โดยมวลอากาศเย็นจะช้อนให้อากาศที่อุ่นกว่าลอยตัวสูงขึ้นและไหลเข้าแทนที่ มวลอากาศซึ่งอุ่นกว่าเมื่อลอยตัวขึ้นจะเกิดการเย็นตัวลง จนถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้างก็จะเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ ส่วนแบบที่สอง คือ แบบ Worm front เกิดจากมวลอากาศอุ่นเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่มีมวลอากาศเย็น ทำให้มวลอากาศอุ่นลอยตัวเหนือมวลอากาศเย็นและเกิดการเย็นตัวลงเมื่อถึงอุณหภูมิจุดน้ำค้างก็จะเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ การเกิดฝนในลักษณะนี้จะทำให้เกิดมีฝนตกเป็นบริเวณกว้าง

**9.5.4 ประเภทของหยาดน้ำฟ้า**การเกิดหยาดน้ำฟ้าประกอบด้วยกระบวนการต่างๆหลายกระบวนการ ซึ่งบางกระบวนการค่อนข้างซับซ้อน บางกระบวนการเปลี่ยนสถานะจากรูปแบบเดิมในขณะที่กำลังเคลื่อนที่ลงสู่พื้นดินตามลักษณะและสภาวะอากาศนั้นๆ ประเภทของหยาดน้ำฟ้าที่สำคัญ ได้แก่

1) ฝน (Rain) คือ ละอองน้ำบนฟ้าที่รวมตัวกันจนมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 – 5 มม. แล้วมีน้ำหนักมากกว่าแรงดันอากาศที่พัดเอาไอน้ำขึ้นไป แล้วตกลงมาในรูปของหยดน้ำ ถ้าเส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาดน้อยกว่า 0.5 มม. เรียกว่า ฝนละอองหรือฝนปรอย (Dizzle) มีขนาดเล็กมาก เส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาด 0.1 – 0.5 มม. เนื่องจากมีขนาดเล็กมากจึงดูเหมือนว่าเม็ดฝนลอยอยู่ในอากาศ ทั้งนี้ฝนละอองมีปริมาณการตกน้อยกว่า 1 มม.ต่อชั่วโมง เส้นที่ลากผ่านไปยังบริเวณพื้นที่ต่างๆ ที่มีปริมาณน้ำฝนตกเท่ากัน เรียกว่า ไอโซเฮต(Isohyte) ฝนเกิดขึ้นแบ่งออกเป็นฝนชนิดต่างๆ คือ ฝนพาความร้อน ฝนภูเขา ฝนพายุ ฝนฟ้าคะนอง ฝนแนวปะทะอากาศ เป็นต้น

2) ฝนน้ำแข็ง (Slect) ถ้าเม็ดฝนตกผ่านชั้นบรรยากาศที่มีอุณหภูมิลดต่ำถึงจุดเยือกแข็งทำให้ฝนเกิดการแข็งตัว หรืออาจหมายถึง ฝนปนหิมะ ฝนน้ำแข็งเกิดในสภาพที่อุณหภูมิของอากาศเป็นแบบผกผัน (ซึ่งแสดงว่าอากาศที่เกิดฝนน้ำแข็งนี้ค่อนข้างไม่ปกติ) โดยฝนที่ตกลงมาก่อนถึงพื้นดินจะเปลี่ยนแปลงเป็นของแข็ง เนื่องจากอุณหภูมิของอากาศใกล้ผิวดินลดลงต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง การเกิดฝนน้ำแข็งหากเม็ดฝนมีขนาดเล็กหรือฝนปรอย แต่ตกลงมาคล้ายกับฝนน้ำแข็ง เรียกว่า กลาซ(Glaze) เมื่อตกถึงพื้นดินจะเห็นคล้ายเป็นแผ่นน้ำแข็งบางๆ ปกคลุมพื้นดิน

3) หิมะ (Snow) เป็นหยาดน้ำฟ้าที่ตกลงมาในรูปผลึกน้ำแข็ง เนื่องจากไอน้ำในอากาศกลั่นตัวแล้วเปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็ง ซึ่งการเปลี่ยนเป็นผลึกน้ำแข็งของไอน้ำเกิดที่อุณหภูมิใกล้จุดเยือกแข็ง หรือต่ำกว่า มักเกิดในบริเวณที่มีอากาศอบอุ่นและอากาศหนาว ผลึกน้ำแข็งมีรูปร่างต่างๆมากมาย เช่น ทรงกระบอก ทรงแบน ทรงรี แต่ส่วนใหญ่มีรูปร่างเป็นผลึกน้ำแข็ง 6 เหลี่ยม

4) ลูกเห็บ (Hail) หมายถึง หยาดน้ำฟ้าที่ตกลงมาในลักษณะเป็นก้อนน้ำแข็ง มีเส้นผ่านศูนย์กลางระหว่าง 5 – 50 มิลลิเมตร (0.2 – 2.0 นิ้ว) บางครั้งอาจมีขนาดโตกว่าและอาจตกลงมาเป็นก้อนๆ หรือเกาะรวมกันเป็นก้อนขรุขระ ในประเทศไทยมักเกิดขึ้นในช่วงที่มีพายุฝนฟ้าคะนองในฤดูร้อน (เดือนกุมภาพันธ์จนถึงเดือนพฤษภาคม) โดยเฉพาะในภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ แต่ไม่ค่อยพบในภาคใต้

ลูกเห็บเป็นน้ำแข็งที่เกาะตัวกันเป็นก้อน มีเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 5 มิลลิเมตรขึ้นไป (โดยทั่วไปพบขนาดระหว่าง 5 – 50 มิลลิเมตร หรือบางครั้งอาจใหญ่กว่า) มีลักษณะกลมแข็ง เกิดจากเมฆคิวมูโลนิมบัส ซึ่งเป็นเมฆที่ก่อตัวในแนวดิ่งจนเกิดเป็นพายุฝนฟ้าคะนอง กระบวนการเกิดมีสาเหตุมาจากกระแสลมที่ยกตัวสูงขึ้นและจมลงอย่างรุนแรงขณะการก่อตัวของเมฆคิวมูโลนิมบัส จนกระทั่งอุณหภูมิยอดเมฆต่ำกว่า -60 ถึง 80 องศาเซลเซียส จึงทำให้เกิดลูกเห็บตกได้ โดยในขณะที่มวลอากาศร้อนลอยตัวขึ้นสู่ระดับสูงอย่างรวดเร็ว แม้ว่าระยะนี้จะไม่เกิดฝนแต่ในส่วนบนของมวลอากาศที่ยกตัว จะมีอุณหภูมิลดลงถึงจุดเยือกแข็ง ไอน้ำจะเกิดการกลั่นตัวเปลี่ยนสถานะเป็นหยดน้ำด้วยการคายความร้อนแฝง ขณะที่ความรุนแรงในการยกตัวของมวลอากาศทำให้อุณหภูมิลดลงอย่างรวดเร็วกว่าปกติ ซึ่งมีความเร็วของการยกตัวประมาณ 95-100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ความเร็วนี้จะยกเม็ดน้ำแข็งให้ลอยขึ้นสะสมเป็นก้อนใหญ่ขึ้น และเม็ดน้ำแข็งนี้จะวนเวียนขึ้นลงๆ ไปเรื่อยๆ ทำให้เม็ดน้ำสะสมเป็นก้อนน้ำแข็งเพิ่มเป็นชั้นๆ คล้ายหัวหอม จนกระทั่งเมื่อเม็ดน้ำแข็งนี้ใหญ่ขึ้นและหนักเกินกว่ากระแสอากาศจะพยุงไว้ได้จึงตกลงมาเป็นลูกเห็บ

**ภาพ 9.32 ลูกเห็บ**

5) ไรม(Rime) เป็นน้ำแข็งที่เกาะจับวัตถุต่างๆ ในบริเวณที่มีอากาศหนาวจัด คล้ายน้ำค้างแข็งแต่มีความหนาและแข็งมากกว่า ลักษณะเป็นเม็ดหรือผลึกน้ำแข็งสีขาวขุ่น เกิดจากละอองน้ำขนาดเล็กในอากาศหรือในหมอกที่เย็นจัดต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง ตกลงมาสัมผัสกับวัตถุที่เย็นจัดในบริเวณที่โล่งแจ้ง แล้วแข็งตัวอย่างรวดเร็ว เม็ดน้ำแข็งที่เกาะจับวัตถุนั้นจะมีความหนาแน่นมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ

**9.5.4 การตรวจวัดปริมาณหยาดน้ำฟ้า**การตรวจวัดปริมาณหยาดน้ำฟ้าในประเทศไทย มักเน้นวัดปริมาณน้ำฝนเพื่อดูการกระจายที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งหรือสถานที่ใดสถานที่หนึ่ง แล้ววิเคราะห์เพื่อนำข้อมูลไปประกอบการวางแผน เช่น การเกษตร การก่อสร้าง-ถนน การชลประทาน ฯลฯ ประเทศไทยกำหนดตรวจวัดปริมาณน้ำฝนเป็นรายวันหรือ 24 ชม. โดยใช้ปริมาณน้ำในรอบวันจาก 07.00 น. ของวันหนึ่งจนถึง 07.00 น.ของวันรุ่งขึ้น เช่น ปริมาณน้ำฝนของวันที่ 25 มกราคม 2549 หมายถึง ปริมาณน้ำฝนที่ตรวจวัดได้ในระหว่างเวลา 07.00 น. ของวันที่ 25 มกราคม 2549 ถึง 07.00 น. ของวันที่ 26 มกราคม 2549 หน่วยที่ใช้เป็นมิลลิเมตร

การตรวจวัดปริมาณน้ำฝนนิยมตรวจวัดจากความสูงของน้ำฝนที่ตกลงมาในหน่วยพื้นที่หนึ่ง (Depth) โดยมีข้อตกลงว่าปริมาณน้ำฝนที่ตกลงมายังไม่มีการระเหยขึ้นสู่บรรยากาศหรือไหลซึมลงสู่พื้นดิน ปริมาณน้ำฝนที่ตกลงสู่พื้นดินในครั้งหนึ่งๆนั้น ถ้าตกลงมาในบริเวณกว้างก็มีปริมาณน้ำฝนมาก ถ้าตกลงในบริเวณแคบก็มีปริมาณน้ำฝนน้อย บนพื้นที่แห่งหนึ่งที่ฝนตกสม่ำเสมอกันทั่วบริเวณความสูงของปริมาณน้ำฝนบนพื้นที่นั้นจะเท่ากันตลอด ฉะนั้นการตรวจวัดปริมาณฝนจึงใช้การวัดความสูงของระดับน้ำฝนที่ตรวจวัดได้บนภาชนะที่รองรับ โดยการวัดปริมาณน้ำฝนประเทศไทยใช้หน่วยเป็นมิลลิเมตร (มม.) แต่บางประเทศอาจใช้หน่วยเป็นนิ้ว เช่น ประเทศอังกฤษ เครื่องมือตรวจวัดปริมาณน้ำฝน แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ชนิดที่ตรวจวัดแบบไม่ต่อเนื่องกับชนิดที่ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง ที่นิยมใช้งานมีดังนี้

1) ชนิดที่ตรวจวัดแบบไม่ต่อเนื่อง (Non-recording rain gauge) กล่าวคือตรวจวัดเฉพาะปริมาณน้ำฝนรวมที่ตกลงมาแต่ละครั้งเท่านั้น ไม่สามารถตรวจวัดข้อมูลอย่างต่อเนื่องตามช่วงเวลาได้ ที่นิยมใช้และกำหนดเป็นเครื่องมือมาตรฐานในสถานีตรวจอากาศ คือ เครื่องมือตรวจวัดปริมาณน้ำฝนมาตรฐาน (Rain gauge) หรือเครื่องมือตรวจวัดปริมาณน้ำฝนแบบถ้วยตวง เป็นเครื่องมือที่มีลักษณะเป็นถังกลมรูปทรงกระบอก ทำด้วยโลหะที่ไม่เป็นสนิม (เช่น เหล็กเคลือบหรือทองแดงที่ไม่เป็นสนิม หรือสังกะสีอย่างหนา เป็นต้น) จำนวนสองชิ้นวางซ้อนกัน ชั้นในเป็นชั้นรองรับน้ำฝน ปากด้านในของถังใบนอกทำเป็นกรวยให้น้ำฝนไหลลงไปยังถังชั้นใน ขนาดของถังแบบมาตรฐานนี้มีเส้นผ่านศูนย์กลางของปากถังชั้นนอกกว้าง 20 ซม. ยาว 50 ซม. (คิดเป็นพื้นที่รับน้ำฝน = (20)2 /4= 324.29 cm2*(ลบ.ซม.)) โดยวางปากถังให้อยู่บนพื้นผิวเรียบและสูงจากพื้นดินประมาณ 80 ซม. ทั้งนี้ไม่ควรตั้งสูงเกิน 1 เมตร และอยู่ในที่โล่งแจ้ง การวัดปริมาณน้ำฝนใช้วัดด้วยถ้วยตวงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.4 ซม. (คิดเป็นพื้นที่ผิวน้ำในกระบอกถ้วยตวง* = (6.4)2 /4= 32.15 cm2*(ลบ.ซม.)หรือคิดเป็นพื้นที่ 1/10 ของพื้นที่รับน้ำฝนของกรวย) ซึ่งถ้วยตวงมีขีดสเกลวัดโดยแบ่งละเอียดถึงระดับ 0.1 มิลลิเมตร หรือบรรทัดหยั่งไปที่ก้นถัง อ่านค่าออกมาเป็นความสูงคิดหน่วยเป็นมิลลิเมตร (หรือหน่วยวัดอื่น เช่น นิ้ว) นอกจากกระบอกถ้วยตวงวัดน้ำฝนแล้วควรจัดเตรียมกระบอกรับน้ำล้น* (Overflow can) *ไว้เพื่อรองรับน้ำฝนที่ตกเกินขีดความสามารถของกระบอกถ้วยตวงจะรองรับได้ โดยน้ำส่วนที่ล้นออกมาจะไหลลงมาอยู่ในกระบอกรับน้ำล้น หลังจากนั้นจะนำค่าที่ตรวจวัดได้ไปรวมกับปริมาณน้ำฝนที่ได้จากกระบอกถ้วยตวงเพื่อทราบปริมาณน้ำฝนที่ตกทั้งหมด ส่วนโครงที่รองรับเครื่องตรวจวัดปริมาณน้ำฝนนั้นมักทำเป็น 3 ขา เพื่อป้องกันไม่ให้ถังเอียงไปข้างใดข้างหนึ่ง*

***ภาพ 9.33 เครื่องมือตรวจวัดปริมาณน้ำฝน***

*2) ชนิดที่ตรวจวัดแบบต่อเนื่อง (*Recording rain gauge) *เครื่องมือวัดน้ำฝนแบบกราฟบันทึก (*Recording rain gauge)*เครื่องมือชนิดนี้จะบันทึกตามปริมาณน้ำฝนตามช่วงเวลาที่เกิดฝนลงบนกระดาษกราฟ และสามารถคำนวณหาความเข้ม* (Intensity) *ของฝนที่ตกในช่วงเวลานั้นๆ หรือกล่าวได้ว่าเป็นเครื่องมือที่บันทึกปริมาณน้ำฝนได้อย่างต่อเนื่อง ปริมาณฝนและความเข้มของฝนที่เกิดในช่วงเวลาต่างๆ จะอ่านค่าโดยตรงจากลักษณะเส้นน้ำฝนที่ปรากฏบนกระดาษกราฟของวันนั้นๆ เครื่องมือวัดน้ำฝนแบบกราฟบันทึกทำให้ทราบช่วงเวลาที่มีฝนตกว่ามีความต่อเนื่องหรือมีช่วงระยะเวลาห่างของการเกิดฝนนานเท่าใด หรือมีการทิ้ง*

***ภาพ 9.34 เครื่องวัดน้ำฝนแบบกราฟบันทึก***

*ช่วงของฝนตกนานเท่าใด ลักษณะของเครื่องประกอบด้วยสองส่วนที่สำคัญ คือส่วนแรกเป็นกระบอกนาฬิกาที่มีกระดาษกราฟเพื่อบันทึกพันอยู่โดยรอบ โดยมีระยะเวลาในการหมุนต่อรอบเท่ากับ 24 ชั่วโมง ส่วนที่สองเป็นกลไกสำหรับวัดปริมาณน้ำฝนที่มีลักษณะการทำงานแบบต่างๆกัน เครื่องบันทึกประมาณน้ำฝนแบบต่อเนื่องที่ใช้นิยมในงานอุตุนิยมวิทยา มี 3 ชนิดดังนี้*

*2.1) แบบคานกระดก* (Tipping-bucket rain gauge) *ประกอบด้วยเครื่องรองรับน้ำฝน* (Receiver) *กรวยรับน้ำฝน* (Funnel)*ถ้วยกระดก* (Tipping bucket)*และกระบอกตวงวัดน้ำฝน* (Measuring tube)*หลักการทำงานของกลไกคานกระดก คือ ปล่อยให้น้ำฝนที่ตกลงมาผ่านที่รับน้ำฝนแล้วไหลลงผ่านกรวยลงสู่ถ้วยกระดก ซึ่งมี 2 ข้าง เมื่อน้ำฝนไหลลงสู่ข้างหนึ่งจนเต็มจะทำให้เกิดความไม่สมดุล ส่งผลให้ด้านที่มีน้ำเข้ามาเต็มนั้นเทน้ำลงสู่กระบอกตวง และอีกข้างหนึ่งจะเลื่อนขึ้นมารับน้ำแทนเป็นระบบวรจรนี้เรื่อยไป (ถ้วยกระดกข้างหนึ่งรับน้ำฝนได้ 0.25 มิลลิเมตร หรือมากน้อยตามแต่ละยี่ห้อ) ผลจากการกระดกขึ้นแต่ละครั้ง จะมีแท่งแม่เหล็กคอยทำหน้าที่ปิดเปิดเครื่องไฟฟ้า ซึ่งจะส่งผ่านระบบกลไกไปยังปลายปากกาที่บันทึกข้อมูลลงบนกระกาษกราฟ ที่พันอยู่รอบกระบอกที่หมุนตามนาฬิกา*

*2.2) แบบตาชั่งวัดน้ำหนัก* (Weighing rain gauge)*ประกอบด้วย ที่รองรับน้ำฝน ถังครอบด้านนอก* (Outer case) *กรวยรับน้ำฝน ถังชั่งน้ำหนักฝน* (Catch bucket) *เครื่องชั่งน้ำหนัก* (Weighting mechanism)*ปากกา และทรงกระบอกหมุนพร้อมกราฟ* (Revolving drum with chart)*หลักการทำงานของกลไก คือ เมื่อน้ำฝนตกลงมาผ่านเครื่องรองรับน้ำฝนและกรวยรับน้ำฝนลงสู่ถังชั่งน้ำหนักน้ำฝน ซึ่งก็จะสะสมน้ำฝนมากขึ้นเรื่อยๆ ทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้น เมื่อน้ำหนักเพิ่มจะกดจานเครื่องชั่งน้ำหนักที่เชื่อมโยงกับระบบกลไกของสปริงที่ต่อไว้กับเครื่องบันทึกข้อมูลปริมาณน้ำฝน กลไกจะกดลงทำให้ปลายปากกาจดบันทึกลงบนกระดาษกราฟที่พันรอบแกนกระบอกกราฟ ดังนั้นปริมาณน้ำฝนที่สะสมไว้ตามเวลาต่างๆ จะถูกบันทึกค่าลงไป แต่เครื่องแบบนี้ต้องคอยตรวจสอบดูปริมาณน้ำในถังเสมอ เมื่อมีน้ำจวนเต็มถังต้องเทน้ำออก ทั้งนี้ไม่มีระบบระบายน้ำออกจากถัง*

***ภาพ 9.35 เครื่องวัดน้ำฝนแบบคานกระดก และแบบกราฟบันทึก***

*2.3) แบบลูกลอย* (Float type rain gauge)*หรือแบบกาลักน้ำ เรียกว่า* Siphon rain gauge *ประกอบด้วย ที่รองรับน้ำฝน กรวยรับน้ำฝน ถังน้ำฝน* (Chember)*ลูกลอย* (Float)*ท่อกาลักน้ำ* (Siphon)*ปากกาและทรงกระบอกหมุนพร้อมกราฟหลักการทำงานของกลไก คือ เมื่อน้ำฝนตกลงมาผ่านเครื่องรองรับน้ำฝนและกรวยรับน้ำฝนลงสู่ถังน้ำฝน น้ำฝนถังน้ำฝนจะสูงขึ้น ทำให้ลูกลอยที่มีด้านต่อกับปากกา ทำหน้าที่บันทึกลงในกราฟที่พันกับแท่งทรงกระบอกลอยขึ้น เมื่อระดับน้ำสูงขึ้นถึงส่วนบนสุดของท่อกาลักน้ำ น้ำจะไหลออกจากถังน้ำฝนผ่านท่อกาลักน้ำ ระดับในถังน้ำฝนจะลดลง ลูกลอยก็เลื่อนลง ปลายปากกาจะลดระดับลงถึงจุดที่ระบบท่อกาลักน้ำหยุดทำงาน ถ้ายังมีน้ำฝนเข้ามาอีก ระดับน้ำฝนนี้จะสูงขึ้นอีกเป็นวงจรต่อเนื่องไป ทำให้วัดปริมาณน้ำฝนสะสมได้ตลอดเวลา*

*การตรวจวัดหิมะ* (Snow measurement)*ในภูมิภาคเขตหนาวจะมีการตรวจวัดหาปริมาณของหิมะที่ตก นิยมวัดเป็นความหนาของหิมะที่ทับถมบนพื้นดินนั้นในช่วงเวลาที่พิจารณา ถ้าหิมะเกิดการละลาย ในทางอุทกศาสตร์จะรายงานเป็นความสูงของน้ำที่เกิดขึ้นจากการละลายของหิมะบนพื้นผิวบริเวณนั้น กล่าวคือการวัดปริมาณหิมะจะบอกให้ทราบถึงปริมารน้ำที่ตกลงสู่พื้นดิน เครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณหิมะ เรียกว่า เครื่องวัดน้ำหนักหิมะแบบเฟอร์กูสัน* (Fergusson weight snow gauge)*มีลักษณะเป็นทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลางปากถังขนาด 20 เซนติเมตร (คล้ายเครื่องวัดปริมาณน้ำฝน) จากนั้นจึงเปรียบเทียบหาความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักหิมะเป็นความสูงของน้ำ*

***9.6 จำนวนสถานีตรวจวัดปริมาณหยาดน้ำฟ้า***

***9.6.1 จำนวนสถานีต่อขนาดพื้นที่*** Bleasdale*(พ.ศ. 2508) ได้เสนอ จำนวนของสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝน สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนรายเดือนตามขนาดพื้นที่ ดังปรากฏในตาราง 9.3*

*ตาราง 9.3 จำนวนขั้นต่ำของสถานีตรวจวัดน้ำฝน สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณน้ำฝนรายเดือน*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***พื้นที่*** | | ***จำนวนสถานี*** |
| **Km2** | **Mi2** |
| 26 | *10* | *2* |
| *260* | *100* | *6* |
| *1,300* | *500* | *12* |
| *2,600* | *1,000* | *15* |
| *5,200* | *2,000* | *20* |
| *7,600* | *3,000* | *24* |

*ตาราง 9.4 ความหนาแน่นของจำนวนสถานีตรวจวัดน้ำฝน จำแนกตามลักษณะพื้นที่และขนาดพื้นที่*

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ***บริเวณ*** | ***ความหนาแน่นของสถานี*** | |
| **Km2 */ สถานี*** | **Mi2 */ สถานี*** |
| *1. พื้นที่ราบในเขตภูมิอากาศอบอุ่น เขตภูมิอากาศกึ่งเขตร้อนและเขต*  *ภูมิอากาศร้อน* | *600-900* | *230-350* |
| *2. พื้นที่ภูเขาภูมิอากาศอบอุ่น เขตภูมิอากาศกึ่งเขตร้อน และเขตภูมิอากาศร้อน* | *100-250* | *40-100* |
| *3. พื้นที่ที่มีภูเขาขนาดเล็ก และฝนตกไม่สม่ำเสมอ* | *25* | *10* |
| *4. พื้นที่แห้งแล้งและเขตภูมิอากาศขั้วโลก* | *1,500-10,000* | *600-4,000* |

*ที่มา* : *(กีรติ ลีวัจนกุล), 2543*:*3-45)*

*ในประเทศอังกฤษ มีการกำหนดระยะห่างของสถานีตรวจวัดน้ำฝน (*Gauge spacing*) ตามลักษณะการใช้ข้อมูล ซึ่งการจำแนกปรากฏในตาราง 9.5*

*ตาราง 9.5 การกำหนดระยะห่างระหว่างสถานีตรวจวัดน้ำฝนตามลักษณะการใช้ข้อมูล*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ***ลักษณะการใช้ข้อมูล*** | ***ช่วงเวลา*** | ***พื้นที่ (*Km2*)*** | ***ระยะห่างระหว่างสถานี (*Km)** |
| *ศึกษาความสมดุลของน้ำ*  *การคาดการณ์*  *ศึกษาความชื้นในดิน*  *เกษตรกรรม*  *การออกแบบน้ำหลาก* | *เดือน*  *ครึ่งเดือน*  *1 วัน*  *เดือน* | *100*  *10,000*  *400* | *7.5 – 9*  *20 – 25*  *3.5 – 4*  *1.5 – 4*  *0.9 – 1. 2* |

*9.6.2 ความพอเพียงของจำนวนสถานีตรวจวัดปริมาณน้ำฝน เนื่องจากการหาค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำฝน มีหลายปัจจัยที่มีผลต่อความถูกต้องของปริมาณน้ำฝนที่ตรวจวัด เช่น จำนวนสถานีตรวจวัดน้ำฝนต่อพื้นที่ (ถ้ามีจำนวนมากความถูกต้องย่อมสูงกว่าพื้นที่ที่มีจำนวนสถานีตรวจวัดน้ำฝนอยู่น้อย) แต่เนื่องจากข้อจำกัดด้านงบประมาณค่าใช้จ่ายและกำลังคนในการตั้งสถานีตรวจวัดน้ำฝน ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อจำนวนสถานีตรวจวัดน้ำฝนที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่ ทำให้การตั้งสถานีตรวจวัดกระจายไม่ครอบคลุมในทุกพื้นที่ ในประเทศไทยกรมอุตุนิยมวิทยาได้ตั้งสถานีมาตรฐานเพื่อตรวจวัดอากาศผิวพื้น ในระยะห่างกันอย่างน้อยทุกๆ 75 -100 กม. ทั้งนี้อาจมีสถานีตรวจวัดย่อยเพิ่มเติมอีก แต่ไม่ได้จัดตั้งบุคลากรด้านอุตุนิยมวิทยาดูแลโดยตรง*

*การพิจารณาจำนวนสถานีตรวจวัดน้ำฝนที่เหมาะสมในพื้นที่ลุ่มน้ำ มีการใช้วิธีการทางสถิติช่วยในการหาจำนวนสถานีตรวจวัดน้ำฝนที่เหมาะสมจากสมการต่อไปนี้*

N = 2……………*สมการ 9.3*

*เมื่อกำหนดให้*

Cv  =*สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของปริมาณฝนจำนวน* M*สถานี*

*= ร้อยละของความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ในการประมาณการจากปริมาณน้ำฝนเฉลี่ย*

***9.7 การวิเคราะห์และแสดงข้อมูลน้ำฝน***

*การวิเคราะห์และแสดงข้อมูลน้ำฝน* (Analysis and presentation of rainfall data)*ในหน่วยพื้นที่หนึ่งมักวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิธีการดังต่อไปนี้*

*9.7.1 วัดปริมาณฝนเป็นค่าความลึกน้ำ* (Depth)*นำข้อมูลที่บันทึกค่าปริมาณน้ำฝนจากเครื่องมือตรวจวัดน้ำฝนภาคพื้นดินเฉพาะจุดที่ตกลงมาในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง จากนั้นใช้ไม้วัดระดับความลึกของน้ำ โดยปกติพิจารณาหน่วยเป็นมิลลิเมตรหรือนิ้ว*

*9.7.2 ระยะเวลาที่ฝนตก* (Duration of rainfall) *นำเสนอข้อมูลปริมาณน้ำฝนในหน่วยเวลาที่บันทึก ทั้งนี้การนำเสนอข้อมูลปริมาณน้ำฝนนำเสนอเป็นนาที ชั่วโมง วัน เดือน และปี โดยส่วนใหญ่ระบุเป็นจำนวนวันที่มีฝนตกในรอบปี นอกจากนั้นยังพิจารณาความต่อเนื่องหรือความถี่ของวันที่มีฝนตก เช่น วันที่ฝนขาดช่วงหรือทิ้งช่วงในฤดูฝน โดยกำหนดให้วันที่มีฝนตกน้อยกว่าหรือไม่ถึง 0.1 มิลลิเมตรต่อเนื่องกันไม่น้อยกว่า 15 วัน ในช่วงกลางเดือนพฤษภาคม – ตุลาคม เป็นช่วงที่มีฝนทิ้งช่วง (ในการเกษตรอาจกำหนดปริมาณที่สูงกว่า โดยกำหนดให้วันที่มีฝนตกน้อยกว่าหรือไม่ถึง 4.28 ติดต่อกัน 15 วัน เป็นช่วงที่มีฝนทิ้งช่วง) เช่น ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือนของจังหวัดปัตตานี ในคาบ 10 ปี (พ.ศ. 2525 – 2534) โดยอาจแสดงให้เข้าใจในรูปของกราฟสถิติข้อมูล ระยะเวลาที่ตรวจวัดปริมาณน้ำฝน อาจตรวจวัดทุกๆ 1 นาที 30 นาที 1 ชม. 3 ชม. ในรอบวัน หรือตรวจวัดตั้งแต่เวลาฝนเริ่มตกจนกระทั่งฝนหยุดตก*

***ภาพ 9.36 ปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน สถานีอำเภอหนองจิก จังหวัดปัตตานี***

*9.7.3 ความเข้มฝน* (Rainfall intersity)*หรือความหนักเบาของฝน หมายถึง การตรวจวัดความลึกของปริมาณน้ำฝนต่อหนึ่งหน่วยเวลา หรืออัตราส่วนระหว่างปริมาณฝนตกถึงพื้นที่ตรวจวัดได้ต่อหน่วยเวลาที่ฝนตก เช่น มิลลิเมตร/นาที* (mm/min)*มิลลิเมตร/ชั่วโมง* (mm/hr)*มิลลิเมตร/วัน* (mm/day)*เป็นต้น ในความหมายเดิมจะใช้ค่าอัตราเฉลี่ยปริมาณน้ำฝนต่อช่วงเวลาที่กำหนดในสถานีนั้นๆ การหาความเข้มฝนใช้ในกรณีที่บันทึกค่าด้วยเครื่องมือตรวจวัดปริมาณน้ำฝนแบบต่อเนื่อง หรือตรวจวัดด้วยเครื่องมือตรวจวัดชนิดชั่งน้ำหนักและแบบลูกลอย ปกติพิจารณาเป็นมิลลิเมตรต่อชั่วโมง หรือนิ้วต่อชั่วโมง แต่ถ้าต้องการข้อมูลในช่วงภาวะไม่ปกติ เช่น ข้อมูลเพื่อการเตือนภัย อาจตรวจวัดในระดับนาที เป็นต้น*

*การแสดงข้อมูลพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนสะสม* (Accumulated rainfall) *กับเวลา ทั้งนี้เราสามารถหาความเข้มข้นในแต่ละช่วงเวลาได้จากความลาด* (Slope)*ของเส้นกราฟเขียนเป็นสมการได้ว่า*

I = ……………*สมการ 9.4*

กำหนดให้

I = ความเข้มฝน

Rn = ปริมาณน้ำฝน

Ti = เวลาที่ฝนตก

การนำเสนอด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำฝนสะสม (Accumulated rainfall) กับเวลา สามารถนำมาหาความเข้มข้นฝนในแต่ละช่วงเวลาได้ โดยพิจารณาจากความลาดของเส้นกราฟ เขียนเป็นสมการ ได้ดังนี้

I = = mm/hr ……….......สมการ 9.5

ตัวอย่าง 9.2 บันทึกปริมาณน้ำฝน ณ สถานีมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ดังตาราง 9.6

จงหา 1) ปริมาณฝนสะสม

2) ความเข้มฝน

ตาราง 9.6 ปริมาณน้ำฝน ณ สถานีมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

|  |  |
| --- | --- |
| **เวลา** | **ปริมาณน้ำฝนสะสม** |
| 14.10 น. | 0 |
| 14.20 น. | 17.6 |
| 14.30 น. | 24.2 |
| 14.40 น. | 28.4 |
| 14.50 น. | 29.4 |
| 15.00 น. | 29.6 |

วิธีทำ 1) หาปริมาณน้ำฝนสะสม ในช่วงเวลา 14.00 น. – 15.00 น. โดยนำข้อมูลมาเขียนกราฟสะสมดังนี้

**ภาพ 9.37 กราฟปริมาณน้ำฝนสะสม**

2) หาค่าความเข้มฝน โดยพิจารณาในช่วงเวลาทุก 10 นาที สามารถหาได้โดยพิจารณาค่าความลาดของกราฟปริมาณน้ำฝนสะสม โดยใช้สมการ ผลการคำนวณปรากฏผลดังตาราง 9.7

ตาราง 9.7 ผลการคำนวณค่าความลาด

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **1** | **2** | **3** | **4** |
| **เวลา** | **Ti (min)** | **Rn (mm)** | **I = Rn/Ti (mm/hr)** |
| 14.10 น. – 14.20 น. | 10 | 17.6 | 105.6 |
| 14.20 น. – 14.30 น. | 10 | 6.6 | 39.6 |
| 14.30 น. – 14.40 น. | 10 | 4.2 | 25.2 |
| 14.40 น. – 14.50 น. | 10 | 1 | 6 |
| 14.50 น. – 15.00 น. | 10 | 0.2 | 1.2 |

จากตาราง 9.7 อธิบายขั้นตอนการคำนวณหาค่าความเข้มข้นฝน (ค่า I) ดังนี้

(1) หา**Ti** เวลาตัวอย่าง 14.10 น. – 14.20 น. มีเวลาต่างกัน 10 นาที

(2) หา **Rn**ปริมาณน้ำฝนสะสม ตัวอย่าง

ในช่วงเวลา 14.20 น. มี ปริมาณน้ำฝนสะสม = 17.6 มม.

ในช่วงเวลา 14.30 น. มี ปริมาณน้ำฝนสะสม = 24.2 มม.

ดังนั้น ในช่วงเวลา 14.20 น. – 14.30 น. มี **Rn**= 24.2 – 17.2 = 6.6 มม.

(3) หาความเข้มฝนในแต่ละช่วงเวลา

เช่น ในช่วงเวลา 14.20 น. – 14.30 น. คำนวณได้ดังนี้

I =

=

= 39.6 mm/hr

จากผลการคำนวณในตาราง 9.7 นำมาเขียนกราฟความเข้มข้นฝนได้ดังนี้

**ภาพ 9.38 กราฟความเข้มฝน**

กองภูมิอากาศ และ กองอุตุนิยมวิทยาอุทกได้ศึกษาปริมาณน้ำฝนที่มีผลต่อการเกิดอุทกภัยในประเทศไทย พบว่า ความเข้มฝนมีค่าอยู่ระหว่าง 35 – 70 มิลลิเมตรต่อชั่วโมง เป็นเวลา 3 – 5 ชั่วโมง อาจจะทำให้เกิดอุทกภัยในพื้นที่นั้นได้ อย่างไรก็ตามได้ตั้งข้อสังเกตว่าความผันแปรของการเกิดอุทกภัยเกี่ยวข้องกับลักษณะของภูมิประเทศและระบบระบายน้ำของท้องที่นั้นๆ เป็นสำคัญ (กองภูมิอากาศ และ กองอุตุนิยมวิทยาอุทก, การศึกษาปริมาณน้ำฝนที่มีผลต่อการเกิดอุกทกภัยในประเทศไทย (ข้อมูลออนไลน์), 2550)

9.7.4 การกระจายของฝน (Rainfall Distribution) เป็นการพิจารณาปริมาณน้ำฝนในหน่วยพื้นที่ตามช่วงเวลาหนึ่งๆ การแสดงข้อมูลการกระจายนั้นอาจใช้ค่าความเข้มฝนมาพิจารณาว่ามีความเข้มตามช่วงระยะเวลาในรอบปี ว่ามีค่าเป็นเท่าไร มีลักษณะการกระจายของปริมาณน้ำฝนมากน้อยในช่วงไหน

การศึกษาลักษณะการกระจายตัวของกลุ่มฝนและการกระจายตัวของเมฆฝนในพื้นที่ต่างๆ สามารถใช้ข้อมูลเรดาร์ตรวจอากาศได้ ซึ่งตรวจวัดการกระจายของกลุ่มฝนอย่างต่อเนื่อง และจะทำให้ทราบพื้นที่ที่รับปริมาณน้ำฝนว่ามีขนาดเท่าไร ทั้งนี้ต้องพิจารณาร่วมกับข้อมูลปริมาณน้ำฝนที่ตรวจวัดได้ในภาคพื้นดินด้วย

9.7.5 โอกาสที่จะเกิดฝน (Probability of rainfall) เป็นการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลที่ตรวจบันทึกไว้แล้วมาพิจารณาเพื่อหาค่าความน่าจะเป็นหรือโอกาสที่จะเกิดฝนตก ทั้งนี้ต้องบันทึกค่าปริมาณน้ำฝนและวิเคราะห์ค่าความเข้มฝนตามช่วงเวลาเพื่อทราบรอบการเกิดซ้ำ (Return period) และปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดฝนตก ประโยชน์ที่ได้จากการศึกษาสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ การคาดการณ์หรือการออกแบบโครงสร้างทางชลศาสตร์ได้

การหาโอกาสความน่าจะเป็นมักกระทำโดยหารอบปีการเกิดซ้ำควบคู่ด้วย

1) การหารอบปีการเกิดซ้ำ คำนวณจากสมการ 9.6 ดังนี้

T = ……………….สมการ 9.6

กำหนดให้ T = รอบปีของการเกิดซ้ำ N = จำนวนข้อมูลหรือเหตุการณ์ทั้งหมด

M = ลำดับที่ของเหตุการณ์ P = ความน่าจะเป็น

T = ……………….สมการ 9.7

2) การหาความน่าจะเป็น คำนวณตามสมการดังนี้

2.1) ความน่าจะเป็นหรือโอกาสที่น่าจะเกิด คำนวณจากสมการ 9.8 ดังนี้

P = ……………….สมการ 9.8

2.2) หาโอกาสที่น่าจะเกิดเหตุการณ์ในช่วงเวลา n ปี คำนวณจากสมการ 9.9 ดังนี้

Pr,n = prqn-r ……………….สมการ 9.9

2.3) โอกาสที่ไม่เกิดเหตุการณ์นั้นในช่วงเวลา n ปี คำนวณจากสมการ 9.10 ดังนี้

P0,n = (1 – p)n ……………….สมการ 9.10

2.4) โอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์นั้นอย่างน้อย 1 ครั้ง ในช่วงเวลา n ปี คำนวณจากสมการ 9.11 ดังนี้

P1,n = 1 – (1 – p)n ……………….สมการ 9.11

ตัวอย่าง 9.3 จังหวัดปัตตานีมีรอบปีการเกิดซ้ำ 12 ปี ของปริมาณน้ำฝนรายวันมากกว่า 60 มิลลิเมตร จงหาโอกาสที่จะมีฝนตกรายวันเท่ากับหรือมากกว่า 60 มิลลิเมตร ดังต่อไปนี้

1) โอกาสที่จะเกิด 1 ครั้ง ในรอบ 8 ปี

2) โอกาสที่จะเกิด 2 ครั้งในรอบ 10 ปี

3) โอกาสที่จะเกิดอย่างน้อย 1 ครั้งในรอบ 5 ปี

วิธีทำ เนื่องจาก