

## บทที่ 14

### พายุฟ้าคะนองและพายุทอร์นาโด (Thunderstorms and Tornadoes)

- 14.1 ขั้นตอนการเจริญเติบโต  
(Stage in the Development of a Thunderstorm)
  - 14.1.1 พายุฟ้าคะนองที่รุนแรง (Severe Thunderstorm)
  - 14.1.2 ฟ้าแลบ (ฟ้าผ่า) และฟ้าร้อง (Lightning and Thunder)
  - 14.1.3 เรดาร์ตรวจอากาศ (Weather Radar)
- 14.2 พายุทอร์นาโด (Tornadoes)
  - 14.2.1 ความเกี่ยวพันระหว่างพายุทอร์นาโดและพายุฟ้าคะนอง  
(Tornado-Thunderstorm Connection)

พายุฟ้าคะนองมักเกิดร่วมกับพายุหมุนในเขตร้อน หรือเกิดในพายุไซโคลนของมิดเดิล  
ละติจูดที่มีแนวปะทะอากาศอยู่ด้วยถ้าเป็นชนิดหลังจะเรียกว่าพายุฟ้าคะนองที่เกิดจากแนวปะทะ  
อากาศ (frontal thunderstorm) แต่ที่จะกล่าวถึงนี้เป็นพายุฟ้าคะนองที่เกิดจากมวลอากาศ  
ในท้องถิ่น ดังนั้นจึงจัดเป็นพายุฟ้าคะนองชนิดที่เกิดจากมวลอากาศ (airmass thunderstorm)  
พายุฟ้าคะนองแบบหลังที่มีความรุนแรงน้อยกว่าและเกิดจากการพาความร้อนในแนวตั้งเป็นเบื้องต้น  
พื้นที่ตกหนักเกิดจากเมฆคิวมิลโลนิมบัส ระยะเวลาฝนตกและความนานของพายุมีระยะสั้น บางครั้งพายุ  
นี้จะทำให้เกิดลูกเห็บ

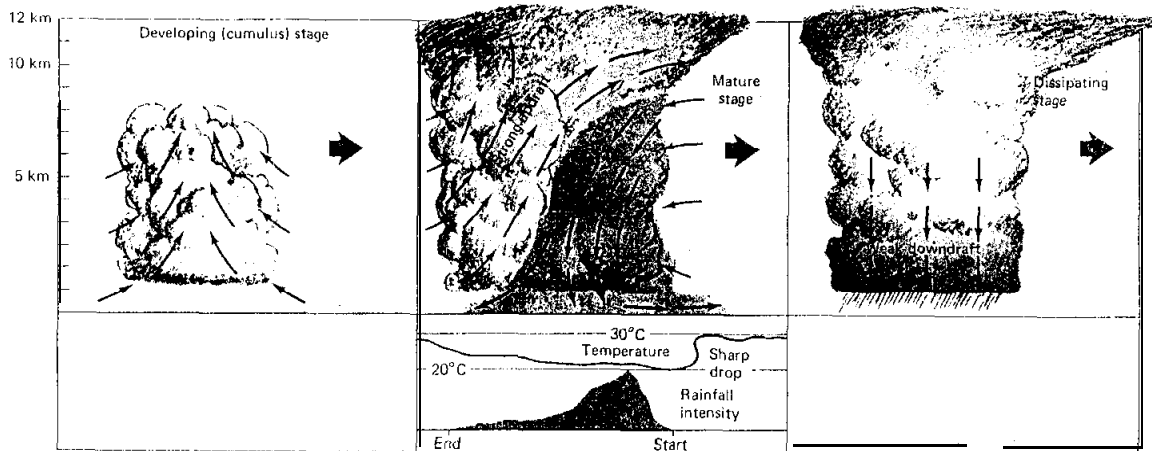
#### 14.1 ขั้นตอนในการเจริญเติบโตของพายุฟ้าคะนอง

##### (Stage in the Development of a Thunderstorm)

พายุฟ้าคะนองทุกชนิดจะต้องเกิดจากอากาศที่อุ่นและชื้นซึ่งเมื่อลอยสูงขึ้นจะปล่อย  
ความร้อนแฝงออกมาเป็นจำนวนมากเพื่อที่จะทำให้เกิดแรงพุงที่จะทำให้ตัวพายุลอยตัวต่อไปได้  
แม้ว่าความไม่มีเสถียรภาพและแรงพุงที่รวมอยู่ด้วยจะถูกทำให้เกิดโดยกระบวนการต่าง ๆ กันแต่  
พายุฟ้าคะนองทุกชนิดมีวงจรชีวิตที่เหมือนกัน

เนื่องจากความไม่มีเสถียรภาพยกส่งเสริม โดยลมพายุที่สูงที่พื้นผิว ดังนั้นพายุฟ้าคะนอง  
มักเกิดขึ้นในตอนบ่ายและเวลาใกล้ค่ำ โดยทั่วไปความร้อนที่พื้นผิวอย่างเดียวไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิด  
เกิดเมฆคิวมิลโลนิมบัสที่มีรูปร่างคล้ายดอกคอกที่ใหญ่โตได้ ความร้อนที่พื้นผิวเพียงอย่างเดียวอย่าง  
ที่สุดก็จะทำให้เกิดเมฆคิวมิลลัสก้อนเล็ก ๆ เท่านั้น การผสมกันระหว่างอากาศที่ชื้นในเมฆคิวมิลลัสที่  
เพิ่งเริ่มเกิดกับอากาศที่แห้งและเย็นในเบื้องบนจะทำให้เกิดการระเหยซึ่งเมฆจะหายไป ใน 10 ถึง  
15 นาทีเท่านั้น ดังนั้นการที่เมฆคิวมิลลัสจะเจริญเติบโตเป็นเมฆคิวมิลโลนิมบัสได้สูงถึง 12  
กิโลเมตร (บางครั้งอาจสูงถึง 20 กิโลเมตร) จะต้องมีการเพิ่มอากาศที่ชื้นเข้าไปอย่างต่อเนื่อง  
ระยะซึ่งอากาศอุ่นลอยสูงขึ้นไปเรื่อย ๆ จึงจัดเป็นระยะแรกของพายุฟ้าคะนองซึ่งเรียกว่าระยะ  
คิวมิลลัส (cumulus stage) ระยะนี้ภายในเซลล์ของก้อนเมฆจะมีแต่กระแสอากาศที่ไหลขึ้น  
(updraft) เพียงอย่างเดียว (ดูรูป 14.1) กระแสอากาศที่ไหลขึ้นบางครั้งอาจมีความเร็วถึง  
160 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งจะสามารถช่วยนำลูกเห็บขนาดใหญ่ขึ้นสู่เบื้องบนก้อนเมฆได้

เมื่อก้อนเมฆเย็นลงต่ำกว่าจุดเยือกแข็งแล้วกระบวนการเกิดฝนแบบแปรจรร้อนก็จะ  
เริ่มทำให้เกิดฝนขึ้น โดยปกติแล้วมักเกิดขึ้นภายในหนึ่งชั่วโมงตั้งแต่ระยะเริ่มต้นของพายุ จำนวนน้ำ  
ฝนที่สะสมมากมายในก้อนเมฆที่จะเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งกระแสอากาศที่ไหลขึ้นในแนวตั้ง  
ไม่สามารถรับไว้ได้ ฝนที่ตกลงมาจะทำให้เกิดการดึง (drage) และจะเป็นการเริ่มต้นของ  
กระแสอากาศที่ไหลลง (down draft) การทำให้อากาศไหลลงยังถูกช่วยด้วยการไหลมา  
(influx) เข้ามาของอากาศที่แห้งและเย็นที่อยู่ล้อมรอบก้อนเมฆ กระบวนการนี้เรียกว่า  
เอนเทรนเมนต์ (entrainment) ซึ่งจะทำให้กระแสอากาศที่ไหลลงแรงยิ่งขึ้นเพราะอากาศที่เพิ่ม



รูป 14.1 วงจรชีวิตของพายุฟ้าคะนองชนิดมวลอากาศ รูปแรกระยะคิวมูลัส  
รูปที่ 2 ระยะเติบโตเต็มที่ รูปที่ 3 ระยะสลายตัว

เข้าไปในระหว่างกระบวนการเกิดการเย็นลงและตั้งนั้นจะหนัก บางทีสิ่งที่สำคัญยิ่งไปกว่าก็คือ มันเป็นอากาศแห้ง ดังนั้นจะทำให้ฝนบางส่วนระเหยหายไป (การระเหยเป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการเย็นลง) ด้วยเหตุนี้จะไปทำให้อากาศในกระแสที่ไหลลงเย็นลงด้วย เมื่อกระแสที่ไหลลงออกจากฐานของก้อนเมฆ หยาดน้ำฟ้าจะตกลงมา ทำให้เกิดเป็นระยะที่เรียกว่า ระยะเติบโต (mature stage) ที่พื้นดินกระแสอากาศเย็นที่ไหลลงจะแผ่กระจายออกข้าง ๆ และสามารถสัมผัสก่อนที่ฝนที่ตกจริงจะมาถึงพื้นดิน การพัดกรรไกรของลมเย็นที่พื้นผิวจะชี้ถึงกระแสอากาศที่ไหลลงในเบื้องบนนั่นเอง ในช่วงระยะเติบโตนี้กระแสอากาศที่ไหลขึ้นจะอยู่เคียงข้างกับกระแสอากาศที่ไหลลง และทำให้ก้อนเมฆโตขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อก้อนเมฆโตไปจนถึงยอดของบริเวณที่ไม่มีเสถียรภาพซึ่งมักจะมีตำแหน่งอยู่ที่ฐานของชั้นสตราโตสเฟียร์ที่มีความอุ่นกว่ากระแสอากาศที่ไหลขึ้นก็จะแผ่กระจายออกข้าง ๆ ทำให้เกิดมีลักษณะเป็นรูปทั่งที่ยอด โดยทั่วไป ส่วนยอดของพายุจะเป็นเมฆเซอร์รัสและจะแผ่กระจายตามลมที่พัดเร็ว ในชั้นบนระยะเติบโตนี้เป็นระยะที่รุนแรง (active) ที่สุดของพายุฟ้าคะนอง ลมจะพัดแรง มีฟ้าแลบและฝนตกหนักบางครั้งอาจจะมีลูกเห็บตกด้วย

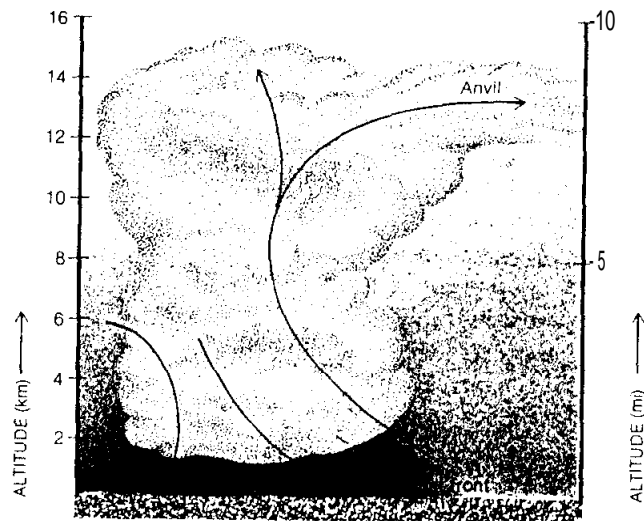
เมื่อเริ่มต้นมีกระแสอากาศไหลลง อากาศที่ว่างจะกระตุ้นให้เกิดเอนโทรปีของอากาศที่แห้งและเย็นรอบ ๆ เซลล์ของก้อนเมฆมากขึ้น ในที่สุดจะมีแต่กระแสอากาศที่ไหลลงเพียงอย่างเดียวตลอดทั่วทั้งก้อนเมฆและทำให้เกิดเป็นระยะสลายตัว (dissipating stage) ขึ้น (ดูรูป 14.1) เมื่อไม่มีความชื้นเพิ่มเติมเข้าไป ก้อนเมฆก็จะระเหยไปหมดในที่สุด วงจรชีวิตของเมฆคิวมูลัสโลนิมิบัสเพียงก้อนเดียวหรือเซลล์เดี่ยวนั้น ใช้เวลาครั้งถึงสองชั่วโมงเท่านั้น

เราสามารถสรุปย่อระยะการก่อตัวของพายุฟ้าคะนอง ได้ดังนี้

1. ระยะคิวมูลัส ภายในก้อนเมฆจะมีกระแสอากาศไหลขึ้นเพียงอย่างเดียว และจะเจริญกลายเป็นเมฆคิวมิวโลนิมบัส
2. ระยะเติบโต สภาวะอากาศมีความรุนแรงเมื่อกระแสอากาศที่ไหลลงอยู่เคียงข้างกับกระแสอากาศที่ไหลขึ้น
3. ระยะสลายตัว ภายในก้อนเมฆมีแต่กระแสอากาศที่ไหลลงอย่างเดียวและการไหลเข้ามาของอากาศที่แห้งและเย็น (entrainment) จะทำให้อันเมฆหายไป

#### 14.1.1 พายุฟ้าคะนองที่รุนแรง (Severe Thunderstorm )

ตามข้อตกลง พายุฟ้าคะนองที่รุนแรงจะร่วมด้วยลมที่ทำให้เกิดความเสียหาย มีฟ้าร้องฟ้าแลบบ่อยครั้งหรือเกิดลูกเห็บที่มีขนาดโต โดยกฎทั่วไปยอดของพายุฟ้าคะนองยังมีความสูงมากก็ยิ่งทำให้เกิดกาลอากาศที่รุนแรงมากขึ้น ทำไมเซลล์ของพายุฟ้าคะนองบางเซลล์เท่านั้นที่สามารถพุ่งไปได้สูงมากแล้วทำให้เกิดความรุนแรงในขณะที่เซลล์อื่นไม่เป็น คำอธิบายก็คือในเซลล์ของพายุฟ้าคะนองที่รุนแรงกระแสอากาศที่ไหลขึ้นถูกทำให้เอียงออก (tilted) (ดูรูป 14.2) การเอียงออกจะทำให้กระแสอากาศไหลขึ้นเห่างจากฝนที่ตก ดังนั้นจะมีฝนตกอยู่ข้าง ๆ เฉพาะในส่วนล่างเท่านั้น (แทนที่จะอยู่เคียงข้างกันตลอดทั้งก้อนเมฆ) ผลก็คือฝนจะไม่ช่วยดึง (drag) กระแสอากาศที่ไหลขึ้น และทำให้กระแสอากาศจะยังคงสร้างเซลล์ของพายุฟ้าคะนองไปได้สูงมากขึ้นไปเรื่อย ๆ ส่วนเหตุผลของการทำให้เอียงของกระแสอากาศที่ไหลขึ้นก็คือลมกรดในมิติเดิละจุดนั่นเอง



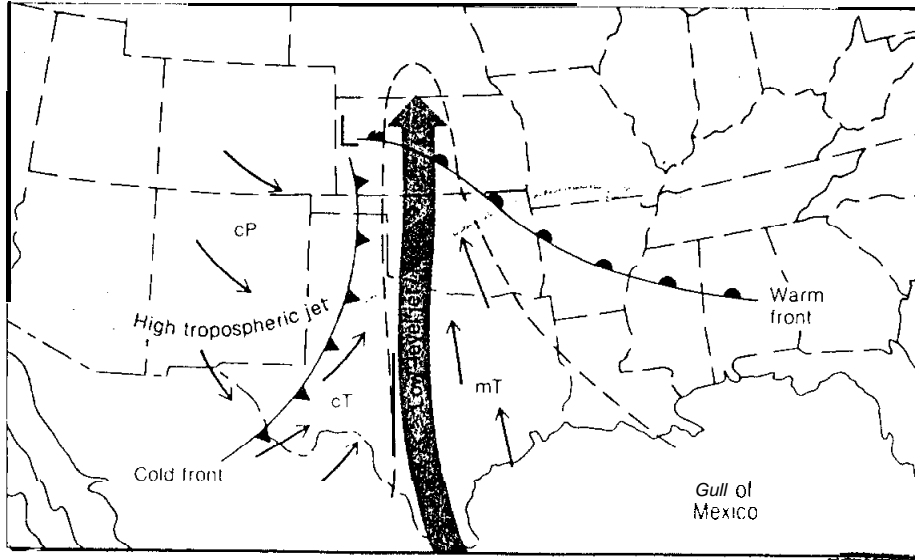
รูป 14.2 เมื่อกระแสอากาศที่ไหลขึ้นภายในพายุฟ้าคะนองถูกทำให้เอียงออกจะทำให้ฝนที่ตกไม่เกิดการต่อต้านต่อกระแสอากาศที่ไหลขึ้น ดังนั้นเซลล์ของพายุฟ้าคะนองสามารถเจริญได้เรื่อย ๆ จนถึงระยะที่สูงมาก

ในสหรัฐอเมริกาพายุฟ้าคะนองที่รุนแรงมักจะก่อตัวเป็นสควอไลน์ภายในสามเหลี่ยมที่อุ้งของไซโคลนซึ่งอยู่ข้างหน้าและขนานกับแนวปะทะอากาศเย็นที่เคลื่อนที่เร็ว สควอไลน์จะปรากฏเป็นเมฆที่ม้วนและบิดตัวที่ดูน่าสะพรึงกลัว (ดูรูป 14.3) และมักจะมีควมยาวนานหรืออยู่ที่โลเมตร สควอไลน์นี้จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงบางครั้งอาจมีความเร็วถึง 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมงก็ได้

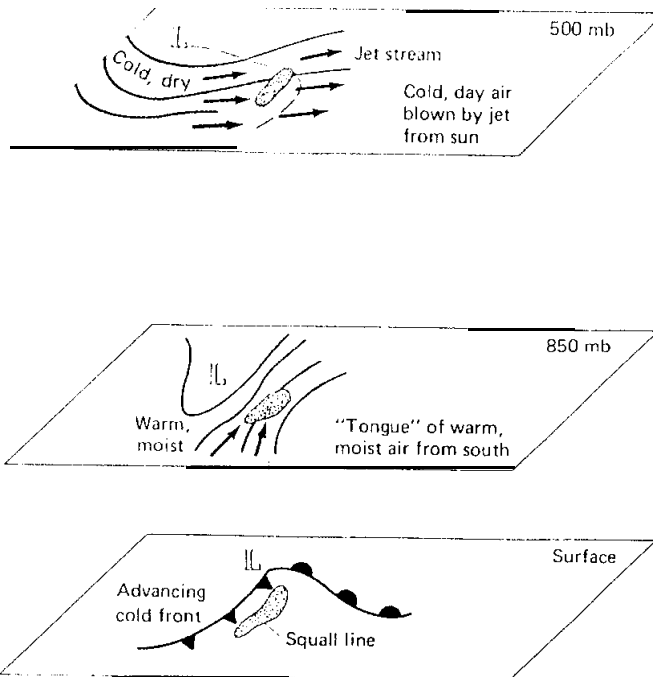


รูป 14.3 ลักษณะเมฆที่ม้วนและบิดตัวที่ดูน่าสะพรึงกลัวในเมฆพายุฟ้าคะนองสควอไลน์

ลมกรดที่เกิดขึ้นในมิติตึลละติจูดมีความสำคัญต่อการเจริญของเซลล์พายุฟ้าคะนองที่รุนแรงซึ่งบางครั้งจะเรียกว่าซูเปอร์เซลล์ (supercells) ประการแรกลมกรดทำให้เกิดการเอียงไปข้างหลังของกระแสอากาศที่ไหลขึ้น นอกจากนั้นลมกรดจะชักนำให้เกิดทั้งการพัดลู่ออก (divergence) และคอนเวอร์เจนซ์ของอากาศข้างบน การพัดลู่ออกจะทำให้ไซโคลนก่อตัวขึ้นในขณะที่การไหลของอากาศแบบคอนเวอร์เจนซ์จะทำให้อากาศจมตัวลงเหนือส่วนที่อุ้งของสามเหลี่ยมในไซโคลน อากาศที่จมลงจะอุ่นขึ้นโดยการอัดตัว (และแห้ง) แต่มันจะถูกป้องกันไม่ให้มาถึงพื้นผิวโดยชั้นที่ตันของอากาศ mT ในอเมริกาเหนือ มวลอากาศ mT จะพุ่งอย่างรวดเร็วไปทางทิศเหนือและจะออกอ่าวเม็กซิโก โดยมีรูปร่างคล้ายลิ้น (tongue) มวลอากาศนี้บางที่อาจมีความหนาถึง 3000 เมตร และมักหมายถึงลมกรดในระดับล่าง (low-level jet stream) อากาศอุ่นที่ขึ้นจะถูกป้อนไปทางเหนือโดยการหมุนเวียนของลมทางภาคตะวันตกของเบอร์มิวดา-อะซอร์แอนติไซโคลน (Bermuda-Azores subtropical anticyclone) สถานการณ์เช่นนี้แสดงในรูป 14.4 และรูป 14.5 ข้อสังเกตคือมวลอากาศระหว่างแนวปะทะอากาศเย็นและอากาศชั้น mT มักจะเป็นมวลอากาศ cT



รูป 14.4 สถานการณ์ที่ทำให้เกิดพายุฟ้าคะนองที่รุนแรงซึ่งรวมอยู่ในพายุไซโคลนเกิดจากลมกรดในระดับล่างที่เป็นมวลอากาศ mT อยู่ใต้ลมกรดในเบื้องบนที่เป็นมวลอากาศ CT

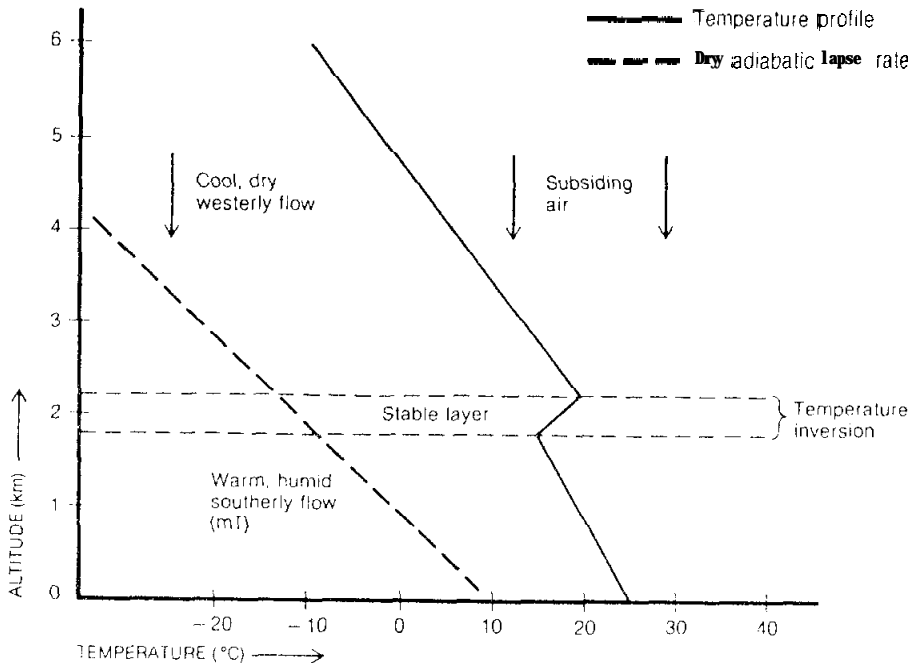


รูป 14.5 รูปสามมิติของรูป 14.4 จะเห็นว่าที่ระดับ 500 mb ลมกรดในเบื้องบนที่เย็นและแห้งจะพัดจากตะวันตก ส่วนที่ระดับ 850 mb จะมี "ลิ้น" ของอากาศที่อุ่นและชื้น mT พัดเข้ามาจากทิศใต้

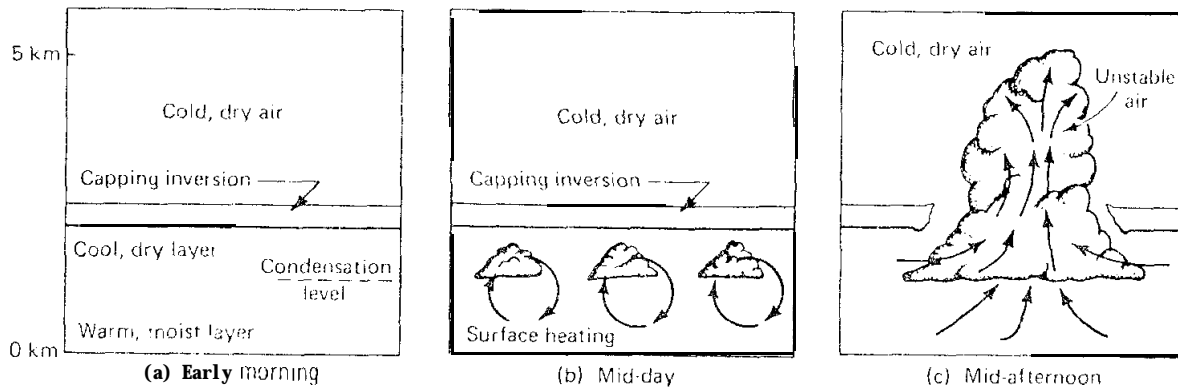
ลมกรดทั้งสองจะทำให้เกิดชั้นพิเศษของอากาศซึ่งเซลล์ของพายุฟ้าคะนองจะต้องพุ่งทะลุผ่านขึ้นไปข้างบน จากผลของการอัดตัวของอากาศ อากาศที่จมลงจากเบื้องบนจะอุ่นกว่าชั้นอากาศ mT ที่อยู่เบื้องล่าง โซนของการเปลี่ยนเขต (transition zone) จะเกิดขึ้นระหว่างมวลอากาศทั้งสองในลักษณะที่เป็นอุณหภูมิกลับชั้น (ดูรูป 14.6) เราทราบแล้วว่าอุณหภูมิกลับชั้นมีลักษณะที่เสถียรภาพอย่างยิ่ง ดังนั้นมวลอากาศทั้งสองจะไม่ผสมกัน และการพาความร้อนในแนวตั้งจะถูกจำกัดอยู่เฉพาะในชั้นมวลอากาศ mT ที่พื้นผิวเท่านั้น ทรายใต้ที่สถานการณ์เช่นนี้ยังคงอยู่ความแตกต่างระหว่างมวลอากาศทั้งสองก็ยังคงอยู่ติดกัน แต่อากาศที่จมลงจะแห้งมากขึ้นและอากาศที่อยู่เบื้องล่างจะเปลี่ยนเป็นชั้นมากขึ้น และสิ่งที่ทำให้เกิดพายุฟ้าคะนองที่รุนแรงได้ก็คือการกระตุ้นให้เกิดกระแสการพาความร้อนในแนวตั้งที่จะทะลุชั้นอุณหภูมิกลับชั้นในข้างบน แรงที่ต้องการอาจเกิดจากแสงอาทิตย์ที่ร้อนจัดในตอนบ่ายหรือโดยการยกขึ้นของอากาศที่เกิดจากแนวปะทะอากาศที่เคลื่อนตัวเข้ามา โดยกลไกอันใดอันหนึ่งกระแสการพาความร้อนในแนวตั้งก็จะพุ่งทะลุผ่านชั้นอินเวอร์ชันและเมฆคิวมิลัสจะพุ่งขึ้นสู่ข้างบนด้วยอัตราเร็วที่อาจมากกว่า 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การระเบิดของกระแสอากาศที่ไหลขึ้นอาจสามารถทะลุชั้นโทรโปพอสเข้าไปในชั้นสตราโตสเฟียร์ได้ (ดูรูป 14.7) เมฆที่เกิดโดยวิธีนี้เองที่เป็นบ่อเกิดของพายุทอร์นาโด

จากรูปที่ 14.7 เราจะเห็นว่าพายุฟ้าคะนองที่รุนแรงสะควอไลน์เกิดจากมวลอากาศ cT จากภาคตะวันตกเฉียงใต้ของสหรัฐอเมริกาถูกดึงเข้ามาในพายุไซโคลนของมิดเดิลละติจูดมวลอากาศ cT นี้จะกระทำตนคล้ายกับแนวปะทะอากาศเย็นที่จะไปแทนที่มวลอากาศ mT ที่เบากว่าให้ชั้นสู่เบื้องบน

พายุสะควอไลน์ที่เกิดขึ้นในแนวเส้นประจะขยายตัวออกไปข้างหน้าโดยการเกิดเซลล์ของพายุลูกใหม่ในส่วนของลมที่พัดไปข้างหน้า (ดูรูป 14.8) กระแสอากาศที่ไหลลงจากเซลล์ของพายุฟ้าคะนองจะทำให้เกิดอากาศเย็นเป็นรูปลิ้นยื่นออกไป และที่ส่วนปลายของอากาศซึ่งนำหน้านั้นจะเรียกว่ากัสม์ฟรอนท์ (gust front) การที่กัสม์ฟรอนท์ไปยกอากาศอุ่นให้ลอยสูงขึ้นจะทำให้เกิดเซลล์ใหม่ในส่วนหน้าของสะควอไลน์ ดังนั้นสะควอไลน์ที่ถูกรบกวาก็จะเคลื่อนที่อยู่ข้างหน้าและชนานกับแนวปะทะอากาศเย็นด้วยความเร็วที่มากกว่า

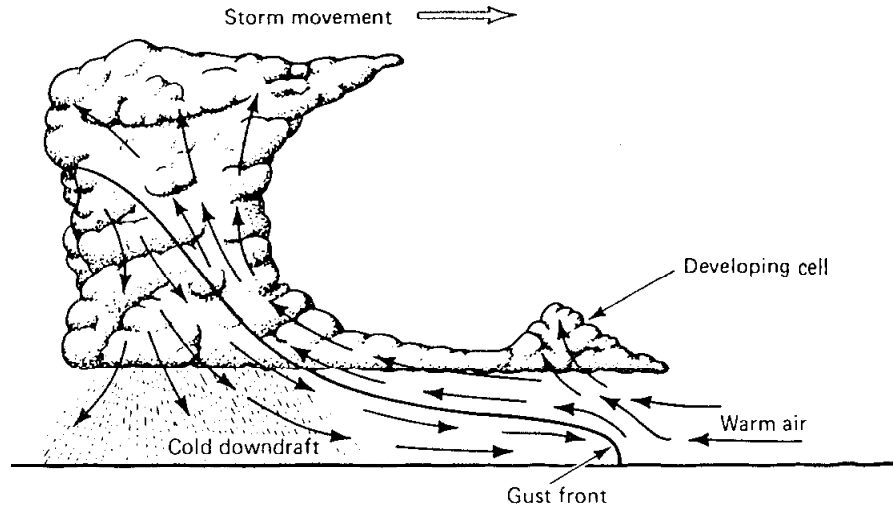


รูป 14.6 ออหมุมิกลับชั้นจะแยกชั้นอากาศเย็นแห้งซึ่งจมลงในเบื้องบนนอกจากมวลอากาศ mT ที่อุ่นและชื้นที่อยู่เบื้องล่าง



รูป 14.7 การระเบิดผ่านชั้นอินเวอร์ชัน (ออหมุมิกลับชั้น) จะทำให้เกิดพายุฟ้าคะนองที่รุนแรง





**รูป 14.8** สะควอไลน์ช่วยให้ตัวมันเองขยายออกโดยการสร้างกระแสอากาศที่ไหลลงยื่นออกไปข้างหน้าซึ่งจะไปยกให้อากาศอุ่นลอยตัวสูงขึ้นเป็นเมฆพายุฟ้าคะนองลูกใหม่หน้าหน้าพายุฟ้าคะนองที่เป็นตัวแม่

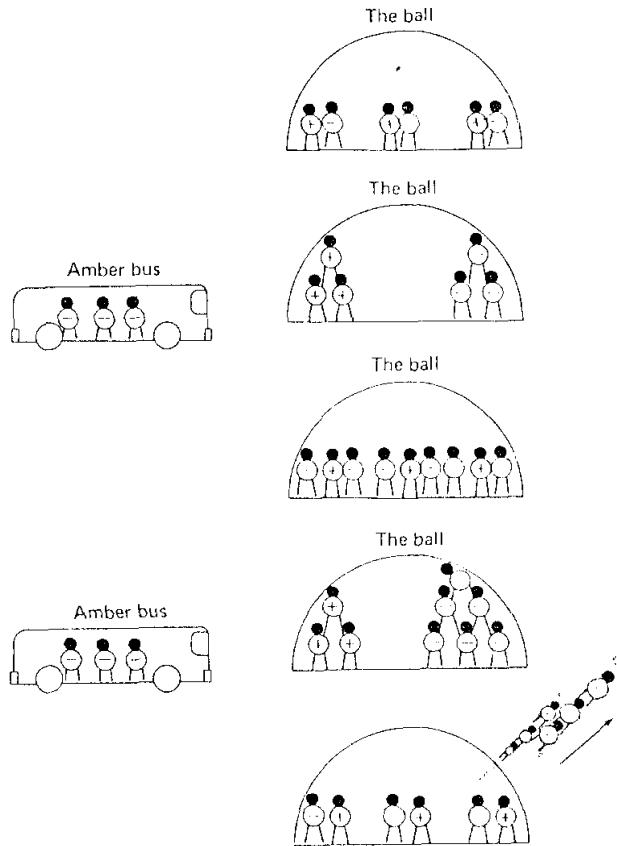
### 14.1.2 ฟ้าแลบ (ฟ้าผ่า) และฟ้าร้อง (Lightning and Thunder)

ตามข้อตกลงร่วมกันระหว่างนานาชาติ พายุที่จะจัดเป็นพายุฟ้าคะนองได้นั้นจะต้องได้ยินเสียงฟ้าร้อง (thunder) และเนื่องจากฟ้าร้องเกิดจากฟ้าแลบหรือฟ้าผ่า (lightning) ดังนั้นฟ้าร้องและฟ้าแลบจะเกิดร่วมกันเสมอ ฟ้าแลบเกิดจากประกายของไฟฟ้า (electric spark) จำนวนมหึมานั้นเองประกายของไฟฟ้าเป็นช่องทางของธรรมชาติในการที่จะปล่อยประจุไฟฟ้าที่สร้างขึ้นมากเกินไปออกไป ก่อนอื่นประจุเหล่านี้เกิดขึ้นได้อย่างไร เนื่องจากอะตอมจะประกอบด้วยจำนวนโปรตอนและจำนวนอิเล็กตรอนที่เท่ากัน ดังนั้นประจุจะลบล้างกันไปและวัตถุจะเป็นกลาง แต่เมื่อเรานำแท่งอำพันมาถูกับขนเฟอร์ซึ่งเป็นขนสัตว์จะพบว่า แท่งอำพันจะมีอิเล็กตรอนมากเกินไปเล็กน้อย (ในภาษกรีกอำพันจะเรียกว่า elektron) และขนเฟอร์จะมีโปรตอนมากเกินไปเล็กน้อยเช่นกัน

ในปัจจุบันเรายังไม่สามารถเข้าใจธรรมชาติของการเกิดไฟฟ้าอย่างสมบูรณ์ เนื่องจากมีกระบวนการที่ยังยากหลายอย่างเข้ามาเกี่ยวข้องและเราไม่สามารถสร้างห้องทดลองภายในพายุฟ้าคะนองได้ แต่จากการวิจัยพบว่ากระบวนการส่วนใหญ่ที่ประจุไฟฟ้าถูกสร้างขึ้นภายในก้อนเมฆเกิดจากการเหนี่ยวนำ (induction)

เราสามารถสร้างภาพการทดลองง่าย ๆ ได้ดังนี้ โดยการนำแท่งอำพันถูกับขนสัตว์แท่งอำพันนี้ก็จะมียอิเล็กตรอนส่วนเกิน จากนั้นเราเอาแท่งอำพันไปสัมผัสกับลูกบอลโลหะอัน

ใหญ่ ก่อนการสัมผัสลูกบอลโลหะจะยังไม่มีประจุอิเล็กทรอนิกส์ที่เกิน (net electric charge) แต่เมื่อนำแท่งอำพันเข้ามาใกล้ อิเล็กตรอนบางตัวภายในลูกบอลโลหะจะหนี (flee) แท่งอำพันไปอยู่กึ่งด้านหนึ่ง (ดูรูป 14.9) การที่เป็นเช่นนั้นเพราะประจุที่เหมือนกันจะผลักซึ่งกันและกัน ดังนั้น อิเล็กตรอนในลูกบอลจะรีบวิ่งออกจากแท่งอำพันไปยัง ปลายตอนที่อยู่ติด ๆ กันในลูกบอล ผลเช่นนี้จะทำให้เกิดประจุลบส่วนเกิน ในลูกบอลและกระบวนการอาจเกิดซ้ำ ๆ กันจนกระทั่งประจุที่มีจำนวนมหาศาล ได้ถูกสร้างขึ้นภายในลูกบอล



รูป 14.9 การเกิดประจุโดยการเหนี่ยวนำ เมื่อมีส่วนเกินของประจุเป็นจำนวนมากบนลูกบอล สปีกของแสงจะเกิดขึ้น (นั่นคือการปล่อยประจุ)

สถานการณ์เช่นนี้คล้ายคลึงกับชีวิตประจำวัน สมมุติว่าผู้ชายเป็นประจวบผู้หญิงเป็นประจุลบ ครั้งแรกจะมีจำนวนของผู้ชายและผู้หญิงเท่ากัน ในลูกบอล แต่เมื่อรถบัส (แท่งอำพัน) นำผู้หญิงเข้ามา ผู้ชายในลูกบอลก็จะยินดีต้อนรับจำนวนผู้หญิงที่เพิ่มมากขึ้นแต่ผู้หญิงที่อยู่ในลูกบอลอยู่แล้วจะค่อนข้างต่อต้านต่อสถานการณ์นี้ เมื่อรถบัสยังคงนำผู้หญิงเพิ่มเข้ามาเรื่อย ๆ ความไม่สมดุลก็จะเพิ่มมากขึ้น จนกระทั่งไม่สามารถทนทานต่อไปได้ สุดท้ายบรรยากาศจะถูกประจุ (charge) ไว้จำนวนมากความสับสนจะถึงจุดแตกหัก (breaking out) และผู้หญิงที่เป็นส่วนเกินเกือบทั้งหมดก็จะถูกนำ (conducted) ออกจากลูกบอลด้วยอัตราเร็วสูงสุด

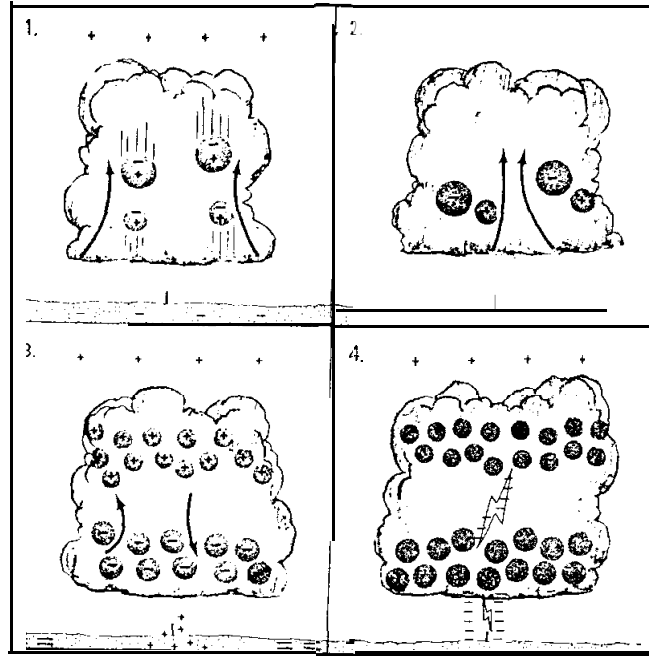
จากวิธีการที่กล่าวแล้วเรามาดูว่าประจุไฟฟ้ามีขึ้นในพายุฟ้าคะนองได้อย่างไร ภายใต้อากาศปกติโลกจะมีประจุเป็นลบ ในขณะที่บรรยากาศเบื้องบนมีประจุเป็นบวก เนื่องจากเมฆเป็นวัตถุที่เกิดชั้นตรงกลางระหว่างโลกและบรรยากาศเบื้องบน ดังนั้นไม่ว่าจะเป็นทั้งหยดน้ำฝนเล็ก ๆ หรือกรอเพิล (graupel) (น้ำแข็งก้อนกลม) หรือ ลูกเห็บจะทำตัวเหมือนลูกบอลโลหะตอนที่มีแท่งอำนาจเข้ามาใกล้ ประจุบวกจะเลื่อนลงมายู่ส่วนล่างในก้อนกรอเพิลแต่ละก้อน เพื่อที่มันจะสามารถอยู่ใกล้กับประจุลบของพื้นดิน ในขณะที่อยู่กับที่ประจุลบของก้อนกรอเพิลจะถูกดึงดูดโดยประจุบวกในชั้นบนของบรรยากาศและจะเลื่อน (drift) ไปอยู่ส่วนบนของก้อนกรอเพิล ที่จุดนี้ก้อนกรอเพิลยังไม่มีประจุเหลือหรือเกิน (net charge) (ยังเป็นกลาง) แต่เกิดการโพล่าไรซ์ (polarized) ขึ้น (ดูรูป 14.10)

ก้อนกรอเพิลจะมี (acquires) ประจุที่เหลือเมื่อมันชนกับกรอเพิลก้อนอื่น ทั้งนี้เนื่องจากวัตถุที่ใหญ่จะตกลงมาเร็วกว่าก้อนที่เล็ก ก้อนที่ใหญ่จะตกลงบนส่วนยอด (top) ของของก้อนที่เล็ก ดังนั้นก้อนที่ใหญ่จะมีประจุลบส่วนเกิน เมื่ออิเล็กตรอนบางตัวจากส่วนยอดของก้อนกรอเพิลก้อนเล็กเคลื่อนที่เข้าไปสู่ประจุบวกของก้อนกรอเพิลที่ใหญ่กว่า ในทำนองเดียวกันก้อนกรอเพิลที่เล็กก็จะมีประจุเป็นบวก

เหตุผลที่สำคัญที่ก้อนกรอเพิลมีประจุวิธีที่มากกว่าหยดน้ำฝนเล็ก ๆ ในการช่วยทำให้เกิดพายุฟ้าคะนองก็เพราะว่าก้อนกรอเพิลมีแนวโน้มที่จะกระเด็นออก (bounce off) จากกันเมื่อเกิดการชนกันขึ้น แต่ถ้าเป็นหยดน้ำเมื่อเกิดการชนก็จะรวมตัวกันขึ้นแทนในกรณีเช่นนี้ ในเมื่อหยดน้ำทั้งสองต่างก็ไม่มีประจุ ดังนั้นเมื่อรวมเป็นหยดน้ำที่ใหญ่ขึ้นก็จะไม่เกิดประจุขึ้นเดียวกัน นอกจากนี้ยังมีเหตุการณ์ที่แสดงว่าก้อนกรอเพิลมีความสำคัญในการทำให้เกิดพายุฟ้าคะนองมากกว่าหยดน้ำฝนก็คือ เรามักจะพบจุดศูนย์กลางขนาดใหญ่ของประจุบวกและประจุลบเกิดขึ้นในส่วนของก้อนเมฆที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง

ขณะนี้เรามาดูถึงขั้นสุดท้าย อากาศที่ลอยตัวขึ้นในพายุฟ้าคะนองจะช่วยในการแยกก้อนกรอเพิลที่มีขนาดต่างกันออกไปได้ ก้อนที่ใหญ่จะตกลงมาเร็วกว่าดังนั้นจะเคลื่อนลงมายังส่วนล่างของก้อนเมฆ ในขณะที่ก้อนที่เล็กกว่าจะถูกนำขึ้นไปสู่ส่วนบนของก้อนเมฆโดยกระแสอากาศที่ไหลขึ้นที่มีกำลังแรง ดังนั้นประจุบวกจะสะสมอยู่เป็นจำนวนมากในส่วนบนของพายุฟ้าคะนอง ในขณะที่ประจุลบจะสะสมอยู่เป็นจำนวนมากในส่วนล่างของก้อนเมฆ

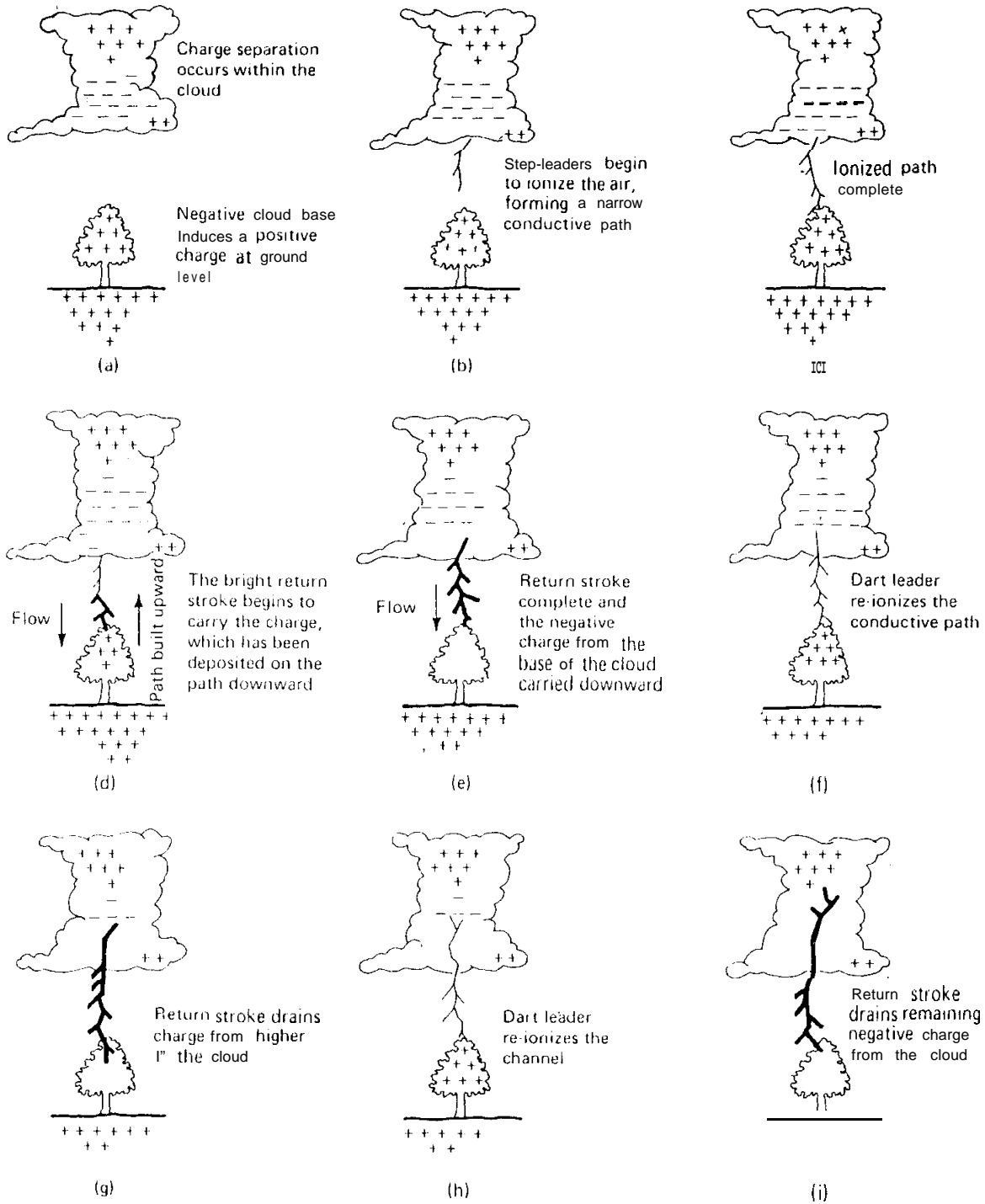
กลไกของการเหนี่ยวนำนี้เป็นปฏิกิริยาลูกโซ่ การสะสมของประจุบวกใกล้กับส่วนยอดของเมฆและประจุลบในส่วนล่างจะเพิ่มการโพล่าไรซ์ของวัตถุที่อยู่ในระหว่างกลาง เมื่อเป็นเช่นนี้ก็ยิ่งเพิ่มจำนวนของประจุลบที่จะถ่ายโอนจากก้อนกรอเพิลที่เล็ก ไปสู่ก้อนกรอเพิลที่ใหญ่และจะนำไปสู่การสะสมของประจุบวกในส่วนบนของเมฆและประจุลบใกล้กับส่วนล่างของเมฆมากยิ่งขึ้น มันจะใช้เวลาไม่กี่นาทีสำหรับเกิดประจุ (charges) ที่จะสร้างเกรเดียนต์ของความต่างศักย์ (gradient of voltage) หรือสนามไฟฟ้า (electric field) ที่จะไปถึงจุดแตกแยก (breaking point)



**รูป 14.10** ทฤษฎีอันหนึ่งของการเกิดประจุในพายุฟ้าคะนอง (1) ก้อนกรอเพลยังเป็นกลางแต่ประจุบวกจะเลื่อนมาอยู่ที่ส่วนล่าง (2) ก้อนกรอเพลที่ใหญ่และตกลงมาเร็วจะได้ประจุลบจากก้อนกรอเพลที่เล็กหลังจากเกิดการชนกัน (3) ก้อนกรอเพลที่หนักจะลงมาสะสมที่ฐานของเมฆดังนั้นจึงมีประจุลบ (4) ฟ้าผ่า (หรือฟ้าแลบ) จะเกิดขึ้นเมื่อส่วนเกินของประจุมักเกินไป (นั่นคือการปล่อยประจุ)

ต่อไปนี้เรามาดูว่าฟ้าผ่าเกิดขึ้นได้อย่างไร เมื่อก่อนเมฆเคลื่อนที่ประจุลบในฐานของเมฆจะทำให้ประจุที่พื้นดินซึ่งอยู่ตรงกันกับก้อนเมฆเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยการขับให้อนุภาคของประจุลบหนีออกไป ดังนั้นพื้นผิวโลกที่อยู่ใต้ก้อนเมฆจะมีประจุเป็นบวก ความแตกต่างในประจุจะสร้างให้เกิดความต่างศักย์นับล้าน โวลต์ก้อนที่สะทៃครของฟ้าแลบ (lightning stroke) จะทำให้เกิดการปล่อยประจุจากบริเวณที่เป็นลบของเมฆลงมายังบริเวณที่เป็นบวกของโลกเบื้องล่างหรือในบางครั้งปล่อยไปยังส่วนที่เป็นประจุบวกของตัวเองหรือไปยังเมฆข้างเคียง

สะทៃครที่ลงจากเมฆสู่พื้นดินได้รับความสนใจและมีการศึกษาอย่างละเอียด ภาพที่ถ่ายติดต่อกันมีส่วนช่วยเป็นอย่างมากต่อการศึกษาถึงสิ่งนี้ รูปภาพเหล่านั้นแสดงว่าฟ้าผ่า (lightning) ที่เราเห็นเป็นเพียงหนึ่งเพรช (single flash) นั้น ความจริงแล้วประกอบด้วยสะทៃครที่รวดเร็วหลาย ๆ สะทៃครที่เกิดขึ้นติดต่อกันระหว่างก้อนเมฆและพื้นดิน (ดูรูป 14.11) เราเรียกการปล่อยประจุซึ่งนานเพียงสองสามในสิบของวินาทีและปรากฏเป็นเส้นที่สว่าง (bright streak) นี้ว่า "เพรช" (หรือฟ้าแลบ) ส่วนประกอบที่ทำให้เกิดฟ้าแลบแต่ละครั้งเรียกว่า "สะทៃคร" แต่ละสะทៃครจะถูกแยกจากกันประมาณ 50 มิลลิเซคกันด์ (milliseconds) และโดยทั่วไปจะมีสามถึงสี่สะทៃครต่อ



รูป 14.11 การปล่อยประจุ (discharge) (หรือฟ้าผ่า) ของก้อนเมฆ โดยลงจากเมฆสู่พื้นดิน

หนึ่งฟ้าผ่า นอกจากนี้แต่ละสะเก็ดยังประกอบด้วยลีดเดอร์ (leader) ที่ยื่นลงมาข้างล่างซึ่งจะติดตามด้วยรีเทิร์นสโตรค (return stroke) ในทันทีทันใด

แต่ละสะเก็ดเชื่อกันว่าจะเริ่มต้นเกิดขึ้นเมื่อสนามไฟฟ้าใกล้กับฐานเมฆทำให้อิเล็กตรอนในอากาศที่อยู่ติดกันได้ก่อนเมฆหลุดออกเป็นอิสระ ดังนั้นจะทำให้อากาศเกิดการไอออนไนส์ (ดูรูป 14.9) เมื่อถูกไอออนไนส์อากาศจะเกิดทางนำไฟฟ้า (conductive path) ที่แคบซึ่งมีรัศมีประมาณ 10 เซนติเมตร และยาว 50 เมตร ทางเดินนี้เรียกว่าลีดเดอร์ ในระหว่างนี้อิเล็กตรอนในฐานเมฆจะเริ่มต้นไหลลงตามช่องทาง (channel) การไหลจะเพิ่มศักย์ไฟฟ้าที่ส่วนหัวของลีดเดอร์ซึ่งจะทำให้เกิดการขี้ออกไปอีกเรื่อย ๆ ช่องทางนำไฟฟ้าโดยผ่านการไอออนไนส์ (ionization) เนื่องจากทางเดินในชั้นต้นนั้นยื่นตัวเองลงสู่โลกเป็นระยะสั้น ๆ จึงเรียกว่าสะเก็ดผลิตเดอร์ (step leader) เมื่อช่องที่เป็นทางเข้าใกล้พื้นดิน สนามไฟฟ้าที่พื้นผิวจะไอออนไนส์ส่วนที่เหลือของทางเดิน เมื่อทางเดินครบสมบูรณ์อิเล็กตรอนที่สะสมอยู่ตามช่องทางก็จะเริ่มต้นไหลลงสู่เบื้องล่าง การไหลในเบื้องต้นเริ่มที่ใกล้พื้นดินก่อน เมื่ออิเล็กตรอนที่ปลายสุดของทางนำไฟฟ้าเคลื่อนที่สู่โลกอิเล็กตรอนที่มีตำแหน่งถัด ๆ ไปที่อยู่สูงขึ้นมาในช่องทางจะเริ่มต้นอพยพลงสู่ข้างล่าง เนื่องจากการไหลของอิเล็กตรอนลงสู่พื้นโลกเริ่มต้นจากปลายสุดของสะเก็ดผลิตเดอร์ก่อนแล้วอิเล็กตรอนช่วงบน ๆ ถัดไปจึงจะไหลตามลงมาดังนั้นจะเกิดแสงฟ้าแลบหรือฟ้าผ่าขึ้นจากปลายสุดของสะเก็ดผลิตเดอร์ย้อนขึ้นไปสู่ก้อนเมฆซึ่งเราเรียกว่ารีเทิร์นสโตรค (return stroke) ในช่วงระยะรีเทิร์นสโตรคทั้งหมดประจุลบนับสิบ ๆ คูอมจะลงมาถึงพื้นดิน

สโตรคแรกจะติดตามมาด้วยสโตรคอื่นซึ่งจะช่วยระบายประจุภายในก้อนเมฆที่อยู่สูงถัดไป สโตรคหลังแต่ละสะเก็ดจะเริ่มต้นด้วยดาร์ท ลีดเดอร์ (dart leader) ซึ่งอีกเช่นเดียวกันจะไอออนไนส์ช่องทางและศักย์ของเมฆ (cloud potential) ลงมายังพื้นโลก ดาร์ท ลีดเดอร์จะต่อเนื่องและน้อยกว่าสะเก็ดผลิตเดอร์ เมื่อกระแสระหว่างสโตรคได้หยุดลงในระยณะนานกว่าหนึ่งส่วนสิบของวินาที สโตรคต่อไปจะชนฟ้าโดยสะเก็ดผลิตเดอร์ซึ่งจะมีทางนำที่ผิดแยกจากสโตรคอันเดิม เวลาทั้งหมดของแต่ละเพรชท์ที่ประกอบด้วย 3 ถึง 4 สโตรคจะใช้เวลา 0.2 วินาที และกระแสไฟฟ้าที่ไหลในแต่ละสโตรคจะมีอัตราที่แน่นอนคือ 50,000 กิโลแอมแปร์ต่อวินาที

ที่ใดมีฟ้าแลบที่นั่นจะมีฟ้าร้องแม้ว่าบางครั้งเราอาจจะมองเห็นแสงในระยะใกล้แต่ไม่ได้ยินเสียงฟ้าร้อง ฟ้าแลบจะเผาอากาศในทางนำไฟฟ้าให้มีอุณหภูมิได้สูงกว่า  $30,000^{\circ}\text{C}$  ด้วยเหตุนี้คนจะถูกเผาอย่างรุนแรงโดยสายฟ้าที่ฟ้าตกลงในบริเวณใกล้เคียง ความร้อนที่มากมายเช่นนี้จะขยายอากาศออกอย่างรุนแรงและทำให้เกิดคลื่นเสียงที่เราเรียกว่าฟ้าร้องนั่นเอง

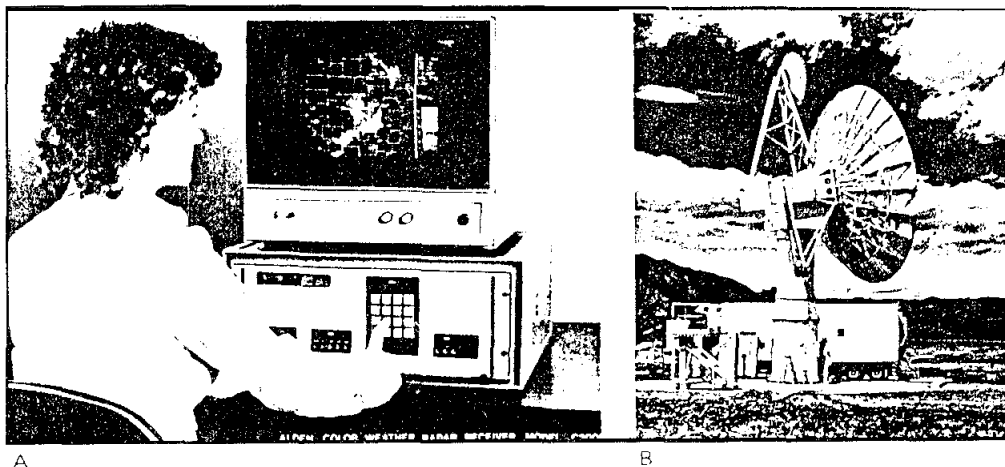
เนื่องจากแสงเดินทางได้เร็วกว่าเสียงประมาณเกือบล้านเท่า เราจะได้เห็นสายฟ้าในทันทีแต่จะได้ยินเสียงฟ้าร้องทีหลัง ถ้าเรายังอยู่ใกล้เซลล์พายุฟ้าคะนองเท่าใดระยะเวลาระหว่างฟ้าแลบและฟ้าร้องก็ยิ่งสั้น โดยทั่วไปเสียงฟ้าร้องใช้เวลา 3 วินาทีที่จะเดินทางได้

1 กิโลเมตร

### 14.1.3 เรดาร์ตรวจอากาศ ( Weather Radar )

เรดาร์ตรวจอากาศ เป็น เครื่องมือที่มีประโยชน์สำหรับตรวจจับสัญญาณของระบบกาลอากาศที่มีความรุนแรง เซลล์ของพายุฟ้าคะนองที่มีขนาดเล็กจะไม่สามารถมองเห็นได้โดยตรงจากเครื่องฉายที่กว้างขวางของเครื่องมือตรวจอากาศที่มีอยู่ในอากาศ แต่เรดาร์อุตุนิยมวิทยาจะสามารถกวาดไปเป็นบริเวณกว้างได้อย่างต่อเนื่อง และสามารถบอกตำแหน่งฝนจำนวนน้อยที่อยู่เป็นหย่อม ๆ (pockets) ได้

เรดาร์ตรวจอากาศจะส่งไมโครเวฟคลื่นสั้นที่มีความยาวคลื่น 5 หรือ 10 เซนติเมตรออกไป คลื่นเรดาร์จะกระเจิง (scattered) โดยน้ำฝนเพียงอย่างเดียวและจะไม่ถูกกระเจิงโดยหยดน้ำเล็ก ๆ (droplets) หรือผลึกน้ำแข็งที่ประกอบอยู่ในก้อนเมฆ ดังนั้นเรดาร์อุตุนิยมวิทยาจึงมองเห็นฝนหรือหิมะแต่ไม่สามารถบอกถึงเมฆที่เป็นต้นกำเนิดได้ (parent cloud) เมื่อเกิดฝนตกส่วนหนึ่งของคลื่นเรดาร์จะกระเจิงกลับมายังหน่วยที่เป็นเครื่องรับซึ่งจะแสดงสัญญาณที่ส่งกลับมาก็เรียกว่าคลื่นสะท้อนของเรดาร์ (radar echo) โดยจะเป็นคลื่นไฟฟ้า (electrical pulse) บนหลอดแคตโทดเรย์ซึ่งเหมือนกับจอทีวี (ดูรูป 14.12 A) เนื่องจากคลื่นของเรดาร์ถูกส่งออกไปและรับกลับมานับเป็นร้อย ๆ ครั้งของแต่ละวินาทีเมื่อจวนเรดาร์กวาดติดต่อกันเป็นวงกลม 360 องศา (รูป 14.12 B) ดังนั้นผลที่ได้ออกมาที่แบบแผนของฝนจะปรากฏรอบที่ตั้งของเรดาร์ ระยะเวลา (time interval) ระหว่างการส่งออกและการรับกลับของสัญญาณเรดาร์จะคำนวณ (calibrated) ออกมาเพื่อหาระยะทางที่ฝนตก ความเข้มของการสะท้อนจะเป็นเลขชี้ (index) ความแรงของฝนที่ตก เรดาร์บางหน่วยจะติดตั้งด้วยเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ที่แสดงถึงความแรงของการสะท้อนด้วยแสงกลของสี ถ้าเป็นสีแดงหมายถึงฝนตกหนัก

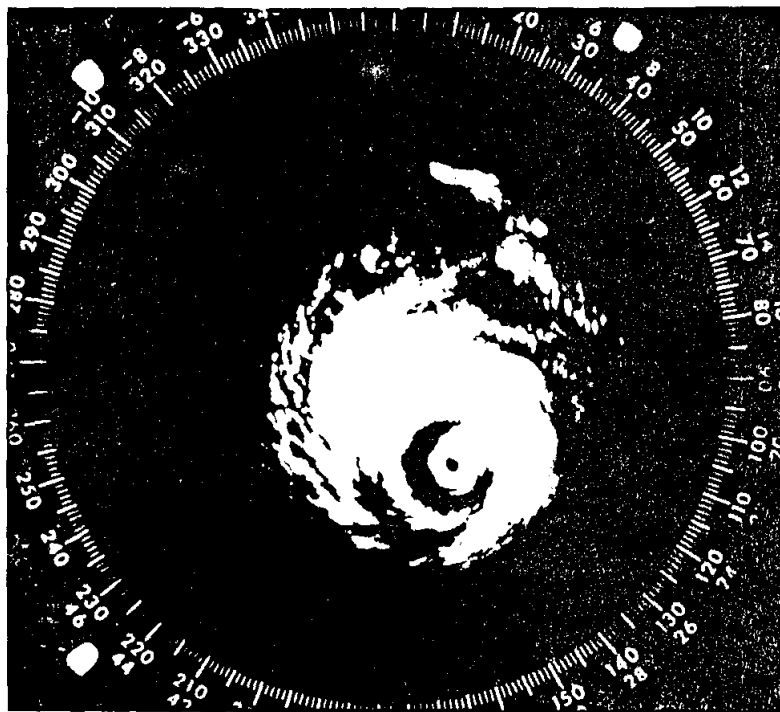


รูป 14.12 รูป (A) เป็นรูปหน่วยรับคลื่นเรดาร์ ส่วนรูป (B) เป็นรูปจวนที่กวาดไปโดยรอบ

มาก และถ้าเป็นสีเขียวแสดงว่าฝนตกเบา

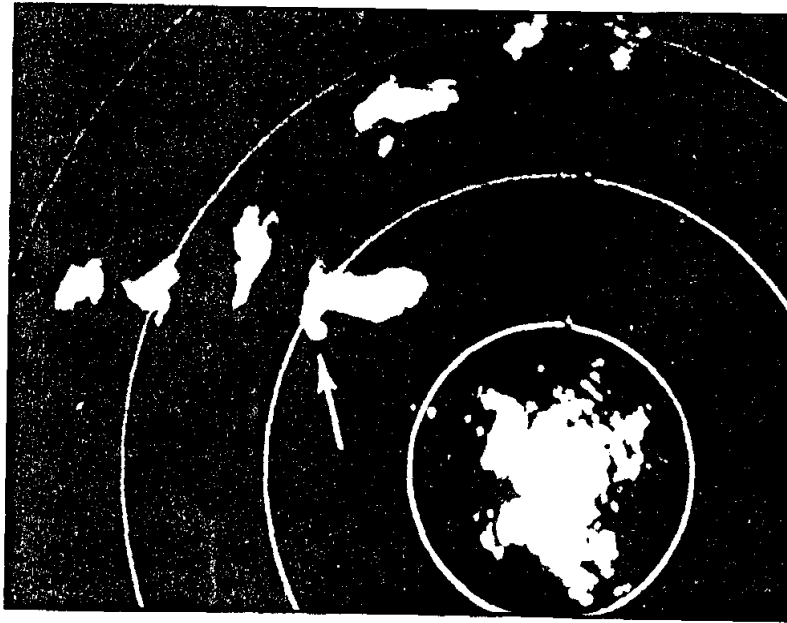
เรดาร์อุตุนิยมวิทยาจะรับสัญญาณการเกิดและสลายตัวของเซลล์พายุฟ้าคะนองทิศทางและความเร็วของการเคลื่อนที่ของเซลล์เหล่านั้นรวมทั้งแถบเวียน (spiral band) ของฝนที่เกิดรวมในพายุได้ฝน (รูป 14.13) เรดาร์ไม่สามารถตรวจจับพายุทอร์นาโดได้โดยตรง แต่บางครั้งเมื่อมีพายุทอร์นาโดอยู่ด้วยลักษณะเป็นตะขอก็กจะปรากฏให้เห็นบนจอเรดาร์ (รูป 14.14) การสะท้อนที่มีรูปร่างเป็นตะขอ (hook echo) แสดงว่าฝนที่ตกถูกทำให้หมุนโดยการไหลหมุนเวียนภายในพายุฟ้าคะนองที่รุนแรง

หน่วยของเรดาร์ที่มีตัวชี้ในแนวราบ (plane-position indicator หรือ PPI) นั้นลำแสงของคลื่นไมโครเวฟจะกวาดเป็นรูปวงกลมในแนวราบ วงกลมที่เห็นได้ (observing circle) จะถูกจำกัดในขนาดโดยความโค้งของโลกและอาจจะมีความยาวได้ 400 กิโลเมตร เรดาร์ชนิดที่สองจะเป็นตัวชี้ความสูง (range-height indicator หรือ RHI) ซึ่งจะกวาดขึ้นและลงแทนที่จะเป็นแนวราบและจะใช้ประโยชน์ในการพิจารณาความสูงของยอดเมฆ (cloud top) ซึ่งเป็นสิ่งที่แสดงถึงความแรงของพายุ สำหรับเรดาร์อุตุนิยมวิทยาสามารถปฏิบัติงานได้ทั้งวิธี PPI และ RHI (ดูรูป 14.15)

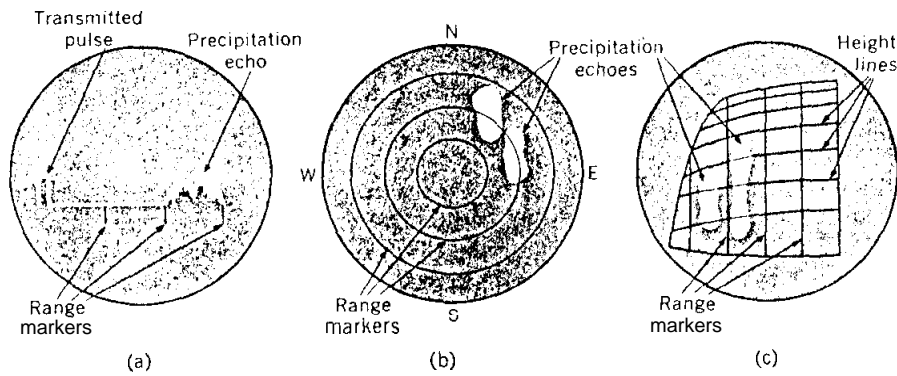


รูป 14.13 จอเรดาร์แสดงลักษณะแถบเวียน (spiral band) ที่มีฝนตกหนักซึ่งเกิดขึ้นในพายุได้ฝน





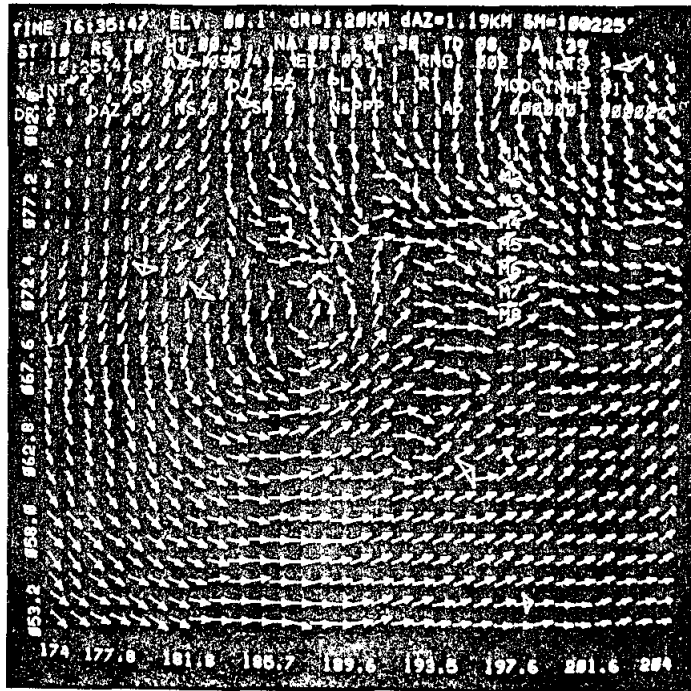
รูป 14.14 จอเรดาร์แสดงการสะท้อนที่มีรูปร่างเป็นตะขอกของพายุทอร์นาโด



Three common ways of displaying precipitation echoes: (a) A-scope; (b) plan-position indicator (PPI-scope); (c) range-height indicator (RHI-scope). From *Radar Meteorology*, by Louis J. Battan. Copyright © 1959 by the University of Chicago. Published 1959. Second impression 1960. Composed and printed by the University of Chicago Press, Chicago, Illinois.

รูป 14.15 วิธีสามวิธีที่แสดงถึงการสะท้อนของฝน (A) A-สโคป (B) ตัวชี้ในแนวราบ (PPI-สโคป) (C) ตัวชี้ความสูง (RHI-สโคป)

ในระยะลับที่ไปแล้ว การวิจัยได้เน้นไปที่ดอปเปิลเลอร์เรดาร์ (Doppler radar) ซึ่งไม่เพียงมีภารกิจเช่นเดียวกับเรดาร์ธรรมดาแล้วยังมีความสามารถที่จะตรวจจับการเคลื่อนที่ได้โดยตรงเรดาร์ชนิดนี้จะเปรียบเทียบความถี่ของสัญญาณคลื่นที่สะท้อนต่อคลื่นเดิม (Original pulse) การเคลื่อนที่ของหยาดน้ำฟ้าที่เข้ามายังเรดาร์จะเพิ่มความถี่ของคลื่นที่จะสะท้อน ในขณะที่การเคลื่อนที่ห่างออกไปจะลดความถี่ลง ความถี่ที่เปลี่ยนแปลงนี้จะตีความในเทอมของอัตราเร็วที่เข้ามาหรือออกจากหน่วยที่ตั้งของเรดาร์ หลักการนี้เป็นหลักการเดียวกับที่ตำรวจจราจรใช้ตรวจจับความเร็วรถยนต์นั่นเอง ด้วยความสามารถเช่นนี้ดอปเปิลเลอร์เรดาร์จะตรวจวัดแบบแผนการหมุนวนในพายุฟ้าคะนองและความแรงของลมตลอดจนสามารถจับสัญญาณของกระแสอากาศที่ไหลลงอย่างรวดเร็วในพายุฟ้าคะนองที่รุนแรง (microburst) ที่สามารถทำให้เครื่องบินพาณิชย์ตกได้ นอกจากนี้ยังตรวจจับลมของพายุทอร์นาโดได้ด้วย ในรูป 14.16 ดอปเปิลเลอร์เรดาร์สามารถตรวจจับการเกิดมิไซโคลน (mesocyclone) ซึ่งเป็นระบบลมหมุนที่รุนแรงภายในพายุฟ้าคะนองที่เป็นบ่อเกิดของพายุทอร์นาโดได้



รูป 14.16 คอมพิวเตอร์ชนิดหนึ่งแสดงเส้นกราฟฟิกที่ได้จากข้อมูลของดอปเปิลเลอร์เรดาร์ รูปที่เห็นคือพายุไต้ฝุ่นจะอยู่ใกล้กับศูนย์กลางของรูป โดยมีไซโคลนอยู่ล้อมรอบ

## 14.2 พายุทอร์นาโด (Tornadoes )

ทอร์นาโดเป็นพายุขนาดเล็กที่มีความรุนแรงมากที่สุดและมีช่วงชีวิตที่สั้น พายุนี้เกิดจากมวลอากาศที่หมุนอย่างรวดเร็วรอบ ๆ แกนในแนวดิ่ง พายุจะถูกมองเห็นโดยเมฆ ฝุ่นและก้อนหินที่ถูกดูดเข้าไป ทอร์นาโดมีรูปร่างเป็นรูปกรวย เมื่อการหมุนยังอยู่เบื้องบนจะเรียกว่าเมฆรูปกรวย (funnel cloud) แต่เมื่อสัมผัสกับพื้นดินแล้วจึงจะเรียกว่าพายุทอร์นาโด

พายุทอร์นาโดตัวอย่างจะลากตัดพื้นดินทำให้เกิดทางยาว 3 กิโลเมตร และกว้าง 50 เมตร ตั้งแนวบริเวณที่ถูกกระทบกระเทือนจะมีพื้นที่ประมาณ 0.15 ตารางกิโลเมตรเท่านั้น ความชันของความกดที่ต่างกันอย่างมากศาลระหว่างจุดศูนย์กลางของทอร์นาโดและที่ริมนอกจะเป็นแรงที่ทำให้พายุมีความรุนแรง ความกดที่ลดลงในพายุในระยะเพียง 100 เมตรอาจจะเท่ากับ ความกดที่ลดลงระหว่างระดับน้ำทะเลและที่ความสูง 1 กิโลเมตร แรงโคริโอลิสก็จะทำงานเช่นกันแต่เนื่องจากเป็นพายุที่มีขนาดเล็กผลของแรงจึงตัดทิ้งไปได้ นั่นหมายความว่าลมในพายุทอร์นาโดอาจจะหมุนทวนเข็มนาฬิกาหรือตามเข็มนาฬิกาก็ได้ แต่โดยมากจะเป็นชนิดหลังดังนั้นภายในพายุที่หมุนอยู่รอบแกนจะมีแต่แรงที่เกิดจากความชันของความกดซึ่งเข้าสู่ภายในและแรงหนีศูนย์กลางที่อยู่ตรงข้าม

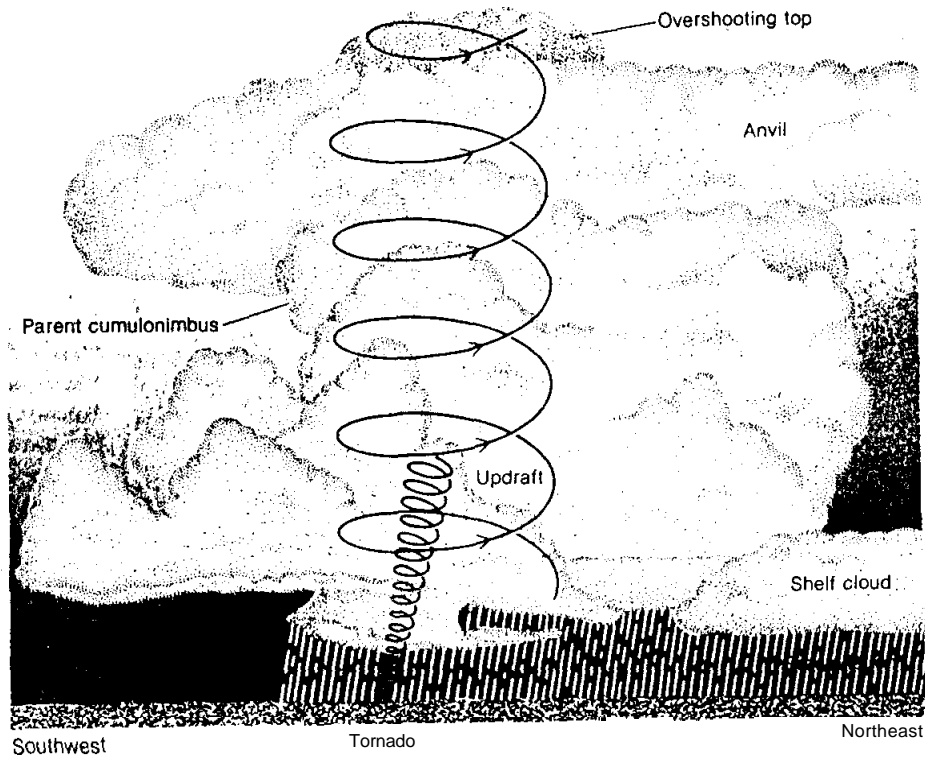
เมื่อพายุทอร์นาโดเข้าทำลาย ความเสียหายเกิดขึ้นจาก (1) ลมที่แรงมาก (2) การที่ความกดลดลงอย่างกะทันหัน (3) การหมุนที่ศูนย์กลางที่ทำให้เกิดการดูด (suction vortice) ลมบางครั้งอาจเร็วถึง 500 กิโลเมตรต่อชั่วโมงซึ่งจะพัดให้ต้นไม้บ้านเรือนพังทลาย ก้อนหินที่ปลิวก็มีส่วนที่ทำให้เกิดการตายและบาดเจ็บ ครั้งหนึ่งเป็นที่เชื่อว่าพายุทอร์นาโดสามารถทำให้บ้านเกิดการระเบิดเนื่องจากความกดภายในบ้านไม่สามารถปรับเข้ากับความกดที่ลดลงในทันทีของพายุทอร์นาโดได้ แต่ความจริงแล้วการพังทลายของบ้านเรือนเกิดจากกระแสลมแรงจัดที่พัดไปเหนือหลังคาบ้านแล้วทำให้ถูกยกขึ้นขึ้นคล้ายกับอากาศที่ชักนำให้เกิดการยกขึ้น ในขณะที่มันพัดเหนือพื้นผิวส่วนโค้งด้านบนของปีกเครื่องบิน การหมุนวนที่ศูนย์กลางทำตนคล้ายเครื่องดูดฝุ่นซึ่งจะดูดก้อนหินเข้าไปในระหว่างมีการหมุน ศูนย์กลางนี้อาจจะยกเรือทั้งลำหรือรถยนต์ทั้งคันขึ้นมาได้

### 14.2.1 ความเกี่ยวพันระหว่างพายุทอร์นาโดและพายุฟ้าคะนอง

(The Tornado-Thunderstorm Connection )

ทอร์นาโดจะก่อตัวขึ้น ในกระแสอากาศที่ไหลขึ้นที่มีความเร็วสูงซึ่งเกิดขึ้นในพายุฟ้าคะนองที่รุนแรง (ดูรูป 14.17) แม้ว่าความสัมพันธ์ที่แน่นอนระหว่างทั้งสองระบบยังไม่ทราบทั้งหมดก็ตาม การไหลวนแบบทอร์นาโด (tornadic circulation) ก็มีรากฐานมาจากกฎกิริยา ระหว่างกระแสอากาศที่ไหลขึ้นและลมที่พัดในแนวราบ โดยที่ลมในแนวราบจะแสดงถึงการเฉือน (shear) ในแนวดิ่งทั้งในทิศทางและความเร็ว นั่นคือความเร็วลมจะต้องเพิ่มขึ้นตามความสูง

และทิศทางลมที่พัดมาจะต้องเปลี่ยนทิศเมื่อขึ้นไปสูงสู่เบื้องบน การเจียนของความเร็วลมทำให้เกิดการหมุนของอากาศรอบแกนในแนวราบก่อน เมื่อการหมุนมีปฏิริยากับกระแสอากาศที่ไหลขึ้น บริเวณของการหมุนจะถูกทำให้ตั้งตรงขึ้น การหมุนรอบ ๆ แกนในแนวตั้งนี้จะเพิ่มความแรงขึ้น โดยการเจียนของทิศทางลมในแนวราบอีก ผลก็คือกระแสอากาศที่ไหลขึ้นทั้งหมดจะหมุนเป็นรูปกรวยที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ถึง 20 กิโลเมตร การหมุนเช่นนี้เรียกว่ามีไซไซโคลน ซึ่งจะทำให้เกิดทอร์นาโดขึ้น (หรืออาจไม่เกิดก็ได้)



รูป 14.17 ส่วนประกอบของพายุฟ้าคะนองที่รุนแรงซึ่งจะทำให้เกิดพายุทอร์นาโด

มีไซไซโคลนจะตั้งต้นที่ส่วนกลางของชั้น โทร โปสเฟียร์และจะสร้างให้ตัวพายุขึ้นบนและลงล่างจากส่วนกลางนี้ โดยที่กระแสอากาศที่ไหลขึ้นจะเพิ่มความแรงขึ้น โดยมีอากาศพัดสออบเข้าสู่ฐานของเมฆและทำให้พายุเจริญขึ้นสู่ด้านบน และด้วยเหตุผลที่ไม่ทราบแน่ชัด มีไซไซโคลน ในพายุทอร์นา โดจะแคบลงและหมุนย่นลงสู่พื้นดิน เป็นรูปกรวย เมื่อมวลของอากาศที่กำลังหมุนมีความแคบลงความเร็วก็จะเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลจากปฏิริยานัก เล่นสกี ก็นั่น นั่นซึ่งนั่น เองกรวยที่ย่นลงสู่พื้น โลก เมื่อสัมผัสกับพื้นดินก็จะทำลายทุกอย่างที่มันพัดผ่าน