บทที่ 13

มวลอากาศ แนวปะทะอากาศและไซโคลน

13.1 มวลอากาศ (Air Masses)

13.2 แนวปะทะอากาศ (Fronts)

13.2.1 แนวปะทะอากาศอุ่น (Warm Fronts)

13.2.2 แนวปะทะอากาศเย็น (Cold Fronts)

13.2.3 แนวปะทะอากาศที่ไม่เคลื่อนที่ (Stationary Fronts)

13.2.4 แนวปะทะอากาศวอคครูด (Occluded Fronts)

13.3 เวฟไซโคลน (Wave Cyclone)

13.3.1 วงจรชีวิตของเวฟไซโคลน (Life Cycle of Wave Cyclone)

13.3.2 ลักษณะกาลอากาศของเวฟไซโคลน
(Idealized Weather of a Wave Cyclone

13.3.3 การกำเนิดไซโคลน (Cyclogenesis)

การหมุนวนโดยทั่วไป (general circulation) ของบรรยากาศสามารถพูดได้ว่าเป็นการอธิบาย ถึงลักษณะความกดและลมโดยเฉลี่ยบนพื้นโลกนั่นเอง อย่างไรก็ตามที่เวลาหนึ่งเวลาใดโดยเฉพาะรูปร่างของเส้นไอโซบาร์ ลม อุณหภูมิ และลักษณะสำคัญของกาลอากาศอื่น ๆ ก็สามารถแตกต่างออกไปจากค่าเฉลี่ยได้

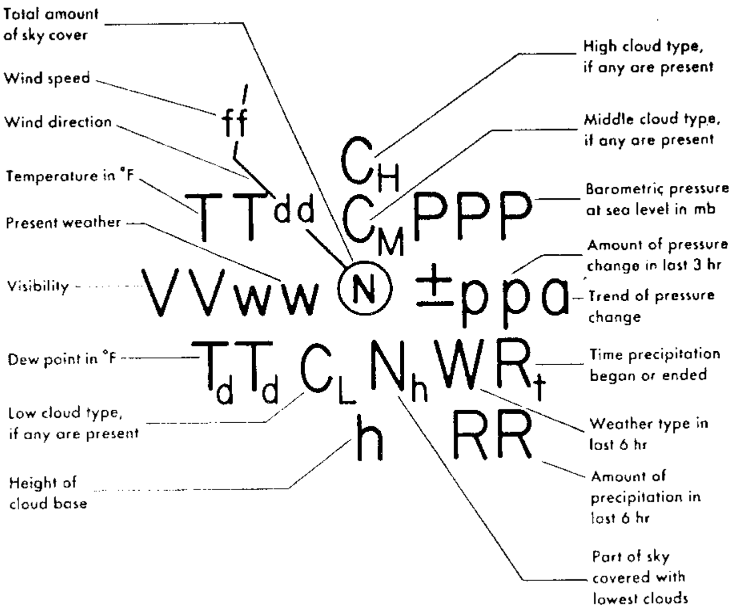
สภาวะของบรรยากาศจะถูกตรวจโดยสถานีตรวจอากาศทั่วโลกตามช่วงระยะเวลาที่กำหนด สถานีเหล่านี้จะวัดอุณหภูมิ ความกดอากาศความเร็วลมและความชื้นใกล้พื้นดินและรวมทั้งสังเกตภาวะของท้องฟ้าด้วย เจ้าหน้าที่สถานีจะบันทึกชนิดและจำนวนของเมฆรวมทั้งลักษณะของกาลอากาศเช่นฝนหิมะ ฟ้าแลบและฟ้าร้องเป็นต้น ทุก ๆ 3 ชั่วโมงข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งออกไปในรูปของรหัสโดยผ่านโทรพิมพ์ (teletype) และวิทยุไปยังศูนย์กลางของสำนักงานอุตุนิยมวิทยาต่าง ๆ ซึ่งจะใช้สำหรับสร้างแผนที่อากาศซินนอบติก (synoptic chart) ขึ้น เพื่อแสดงสภาวะอากาศที่ระดับน้ำทะเล

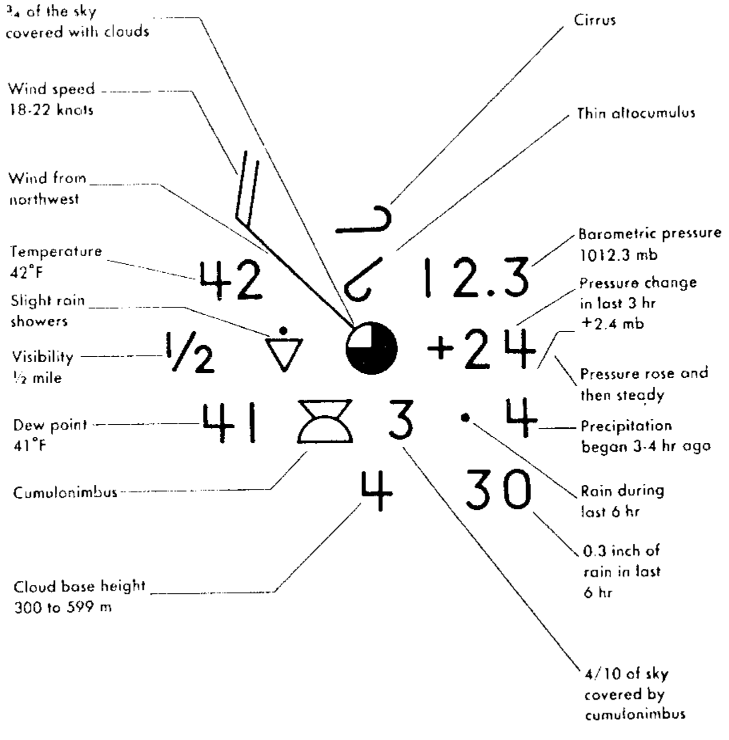
ข้อมูลทางอุตุนิยมวิทยาที่พลอต (plot) บนแผนที่อากาศผิวพื้นจะมีวิธีเขียนรูปแบบโดยเฉพาะ ตามรูป 13.1 เป็นแบบอย่างการแสดงข้อมูลที่ได้จากการตรวจอากาศ บางครั้งการแสดงปริมาณ (quantities) จะตัดทิ้งไป รายการที่สำคัญที่สุดจะเป็นทิศทางลมและความเร็วลม ความกดอากาศ (ppp) ความกดที่เปลี่ยนแปลง (ppa) อุณหภูมิของกาศ (TT) อุณหภูมิของจุดน้ำค้าง (T_d T_d) ลักษณะอากาศในปัจจุบัน (WW) และจำนวนเมฆทั้งหมดที่คลอบคลุมท้องฟ้า ทิศทางของลมแสดงโดยลูกศร โดยที่หางลูกศรจะหมายถึงทิศที่ลมพัดมาส่วนความเร็วลมแสดงโดยบั้ง (barbs) บนลูกศร ชนิดของเมฆ (C_H, C_M, C_L) และลักษณะอากาศที่ผ่านมา (past wrather) (W) จะแสดงเป็นสัญญลักษณ์ (symbols) สำหรับเมฆสูงเมฆชั้นกลางและเมฆต่ำจะมีรายการอยู่ 10 ชนิด และจะมีรายการของสภาพกาลอากาศที่ผ่านมาแล้วอยู่ 100 ชนิด สำหรับสัญญลักษณ์ต่าง ๆ บนแผนที่ดูได้จากตารางที่ 13.1 13.2 13.3 13.4

13.1 มวลอากาศ

มวลอากาศให้คำจำกัดความว่าเป็นปริมาตรอันกว้างใหญ่ของอากาศซึ่งอาจจะกว้างถึง 1000 กิโลเมตรและหนาหลายกิโลเมตร โดยที่มีคุณสมบัติของอุณหภูมิและความชื้นเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) ในแนวนอน มวลอากาศจะค่อย ๆ สร้างคุณสมบัติของตัวเองขึ้นโดยการอยู่นิ่งเหนือพื้นที่เฉพาะอันหนึ่ง (particular region) บนพื้นโลกเป็นเวลานานเพื่อที่จะทำให้การกระจายของอุณหภูมิและความชื้นในแนวดิ่งถึงจุดสมดุลกับพื้นผิวเบื้องล่าง

มวลอากาศสามารถจำแนกตามเส้นละติจูดหรือเขตภูมิศาสตร์ที่อากาศนั้นกำเนิด ซึ่งการแบ่งแบบนี้จะบอกถึงลักษณะอุณหภูมิของแหล่งกำเนิด (source region) นั่นเอง โดยให้ T หมายถึงบริเวณเขตร้อน (Tropic) P หมายถึงขั้วโลก (Polar) และ A หมายถึงบริเวณอาร์คติกหรือแอนตาร์คติก สำหรับคุณสมบัติความชื้นของมวลอากาศจะใช้อักษรย่อ c ซึ่งหมาย





B

รูป 13.1 (A) แบบของสถานีที่ใช้ในการพล็อทข้อมูลบนแผนที่พื้นผิวหรือแผนที่ที่ระดับน้ำทะเล

(B) ตัวอย่างของการพล็อท

สัญลักษณ์ของกาลอากาศ

Air Pressure Tendency

	Rising, then falling; same as or higher than 3 hours ago
	Barometric pressure now higher than 3 hours ago
	Rising; then steady; or rising, then rising more slowly
	Rising steadily, or unsteadily
	Falling or steady, then rising; or rising, then rising more rapidly
	Steady; same as 3 hours ago
	Falling, then rising; same as or lower than 3 hours ago
	Barometric pressure now lower than 3 hours ago
	Falling, then steady; or falling, then falling more slowly
	Falling steadily, or unsteadily
	Steady or rising, then falling; or falling, then falling more rapidly

Cloud Abbreviations

St-Stratus
Fra-Fractus
Sc-Stratocumulus
Cu-Cumulus
Cb—Cumulonimbus
Ac-Altocumulus
Ns-Nimbostratus
As-Altostratus
Ci-Cirrus
Cs-Cirrostratus
Cc-Cirrocumulus

ตารางที่ 13.1 คอลัมน์ทางซ้ายเป็นแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงความกด และคอลัมน์ทางขวาเป็นอักษรย่อของเมฆ

Cloud Cover

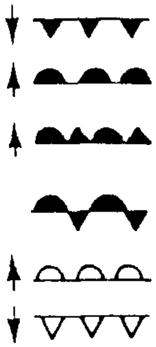
0	No **clouds**
	One-tenth or less
	Two-tenths or **three-tenths**
	Four-tenths
	Five-tenths
	Six-tenths
	Sewn-tenths **or eight-tenths**
0	Nine-tenths or over-cast with openings
	Completely overcast (ten-tenths)
	Sky obscured

Wind Speed

Knots	*Miles per hour*	*Kilometers per hour*
Calm	Calm	Calm
1-2	1-2	1-3
3-7	3-8	4-13
S-12	9-14	14-19
13-17	15-20	20-32
la-22	21-25	33-40
23-27	26-31	41-50
28-32	32-37	51-60
33-37	38-43	61-69
38-42	44-49	70-79
43-47	so-54	80-87
48-52	55-60	88-96
53-57	61-66	97-106
58-62	67-71	107-114
63-67	72-77	115-124
68-72	78-83	125-134
73-77	84-89	135-143
103-107	119-123	192-198

Fronts

Fronts **are** shown on surface weather maps by the symbols below. (Arrows-not shown on maps-indicate direction of motion of front.)



Cold front (surface)

Warm front (surface)

Occluded front (surface)

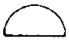
Stationary front **(surface)**

Warm front (aloft)

Cold front (aloft)

ตารางที่ 13.2 คอลัมน์ทางซ้ายเป็นจำนวนเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า คอลัมน์ตรงกลางเป็นความเร็วของลม ส่วนคอลัมน์ทางขวาสุดเป็นสัญลักษณ์ของแนวปะทะอากาศต่าง ๆ

Cloud Types


Cu of fair weather, little vertical development and seemingly flattened

Cu of considerable development, generally towering, with or without other Cu or Sc bases all at same level

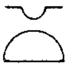
Cb with tops lacking clear-cut outlines, but distinctly not cirriform or anvil shaped; with or without Cu, SC, or St

Sc formed by spreading out of Cu; Cu often present also

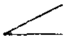
Sc not formed by spreading out of Cu

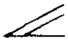
St or StFra, but no StFra of bad weather

StFra and/or CuFra of bad weather (scud)


Cu and Sc (not formed by spreading out of Cu) with bases at different levels

Cb having a clearly fibrous (cirriform) top, often anvil shaped, with or without cu, SC, St, or scud


Thin As (most of cloud layer semi-transparent)


Thick As. greater part sufficiently dense to hide sun (or moon), or Ns

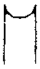
Thin Ac, mostly semitransparent; cloud elements not changing much and at a single level

Thin Ac in patches; cloud elements continually changing and/or occurring at more than one level

Thin Ac in bands or in a layer gradually spreading over sky and usually thickening as a whole

Ac formed by the spreading out of Cu or Cb

Double-layered Ac, or a thick layer of Ac, not increasing: or Ac with As and/or NS


Ac in the form of Cu-shaped tufts or Ac with turrets

Ac of a chaotic sky, usually at different levels; patches of dense Ci usually present also

Filaments of Ci, or "mares tails," scattered and not increasing

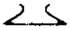
Dense Ci in patches or twisted sheaves, usually not increasing, sometimes like remains of Cb; or towers or tufts

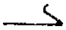
Dense Ci. often anvil shaped, derived from or associated with Cb

Ci, often hook shaped, gradually spreading over the sky and usually thickening as a whole

Ci and Cs, often in converging bands, or Cs alone; generally overspreading and growing denser; the continuous layer not reaching 45° altitude

Ci and Cs, often in converging bands, or Cs alone; generally overspreading and growing denser; the continuous layer exceeding 45° altitude


Veil of Cs covering the entire sky


Cc not increasing and not covering entire sky

Cc alone or Cc with some Ci or Cs, but the Cc being the main cirriform cloud

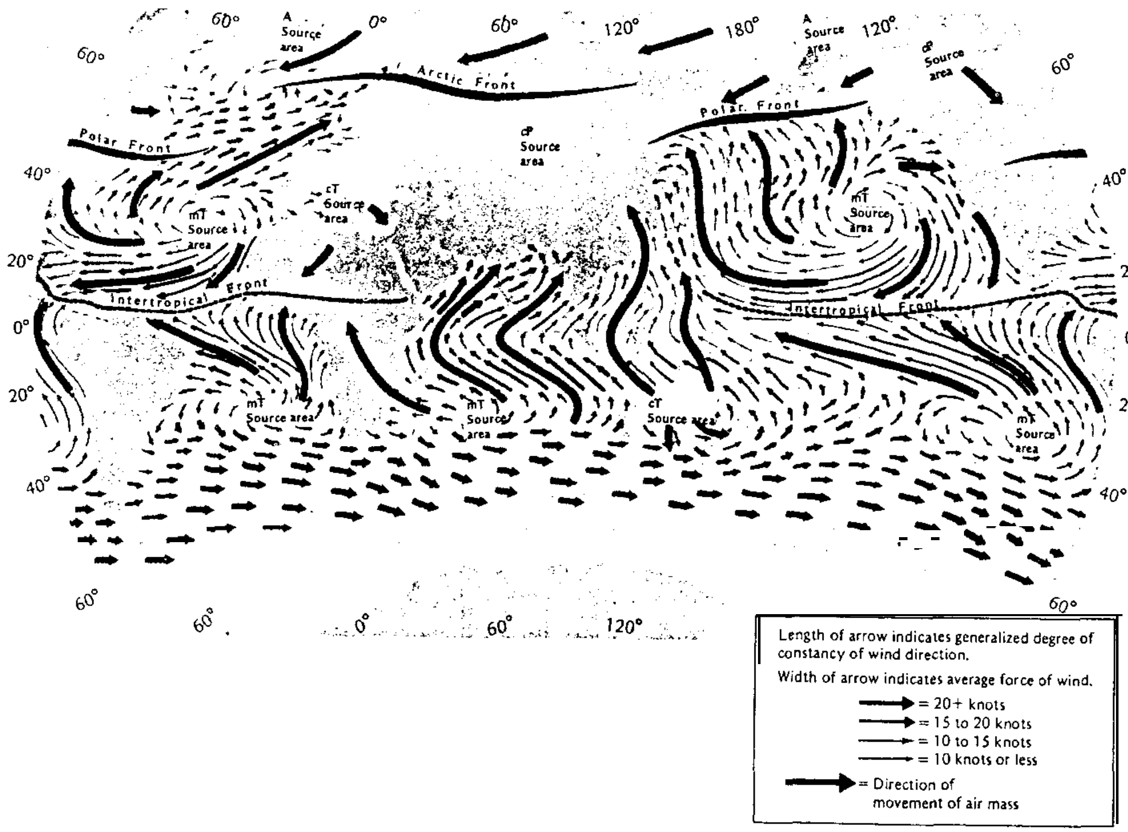
ตารางที่ 13.3 ชนิดของเมฆต่าง ๆ

Cloud development NOT observed or NOT observable during past hour	Clouds generally dissolving or becoming less developed during past hour	State of sky on the whole unchanged during past hour	Clouds generally forming or developing during past hour	Visibility reduced by smoke
Light fog (mist)	Patches of shallow fog at station, NOT deeper than 6 feet on land	More or less continuous shallow fog at station, NOT deeper than 6 feet on land	Lightning visible, no thunder heard	Precipitation within sight, but NOT reaching the ground
Drizzle (NOT freezing) or snow grains (NOT falling as showers) during past hour, but NOT at time of observation	Rain (NOT freezing and NOT falling as showers) during past hour, but NOT at time of observation	Snow (NOT falling as showers) during past hour, but NOT at time of observation	Rain and snow or ice pellets (NOT falling as showers) during past hour, but NOT at time of observation	Freezing drizzle or freezing rain (NOT falling as showers) during past hour, but NOT at time of observation
Slight or moderate dust storm or sandstorm, has decreased during past hour	Slight or moderate dust storm or sandstorm, no appreciable change during past hour	Slight or moderate dust storm or sandstorm has begun or increased during past hour	Severe dust storm or sandstorm, has decreased during past hour	Severe dust storm or sandstorm, no appreciable change during past hour
Fog or ice fog at distance at time of observation, but NOT at station during past hour	Fog or ice fog in patches	Fog or ice fog, sky discernible, has become thinner during past hour	Fog or ice fog, sky NOT discernible, has become thinner during past hour	Fog or ice fog, sky discernible, no appreciable change during past hour
Intermittent drizzle (NOT freezing), slight at time of observation	Continuous drizzle (NOT freezing), slight at time of observation	Intermittent drizzle (NOT freezing), moderate at time of observation	Continuous drizzle (NOT freezing), moderate at time of observation	Intermittent drizzle (NOT freezing), heavy at time of observation
Intermittent rain (NOT freezing), slight at time of observation	Continuous rain (NOT freezing), slight at time of observation	Intermittent rain (NOT freezing), moderate at time of observation	Continuous rain (NOT freezing), moderate at time of observation	Intermittent rain (NOT freezing), heavy at time of observation
Intermittent fall of snowflakes, slight at time of observation	Continuous fall of snowflakes, slight at time of observation	Intermittent fall of snowflakes, moderate at time of observation	Continuous fall of snowflakes, moderate at time of observation	Intermittent fall of snowflakes, heavy at time of observation
Slight rain shower(s)	Moderate or heavy rain shower(s)	Violent rain shower(s)	Slight shower(s) of rain and snow mixed	Moderate or heavy shower(s) of rain and snow mixed
Moderate or heavy shower(s) of hail, with or without rain, or rain and snow mixed, not associated with thunder	Slight rain at time of observation; thunderstorm during past hour, but NOT at time of observation	Moderate or heavy rain at time of observation; thunderstorm during past hour, but NOT at time of observation	Slight snow, or rain and snow mixed, or hail at time of observation; thunderstorm during past hour, but NOT at time of observation	Moderate or heavy snow, or rain and snow mixed, or hail at time of observation; thunderstorm during past hour, but NOT at time of observation

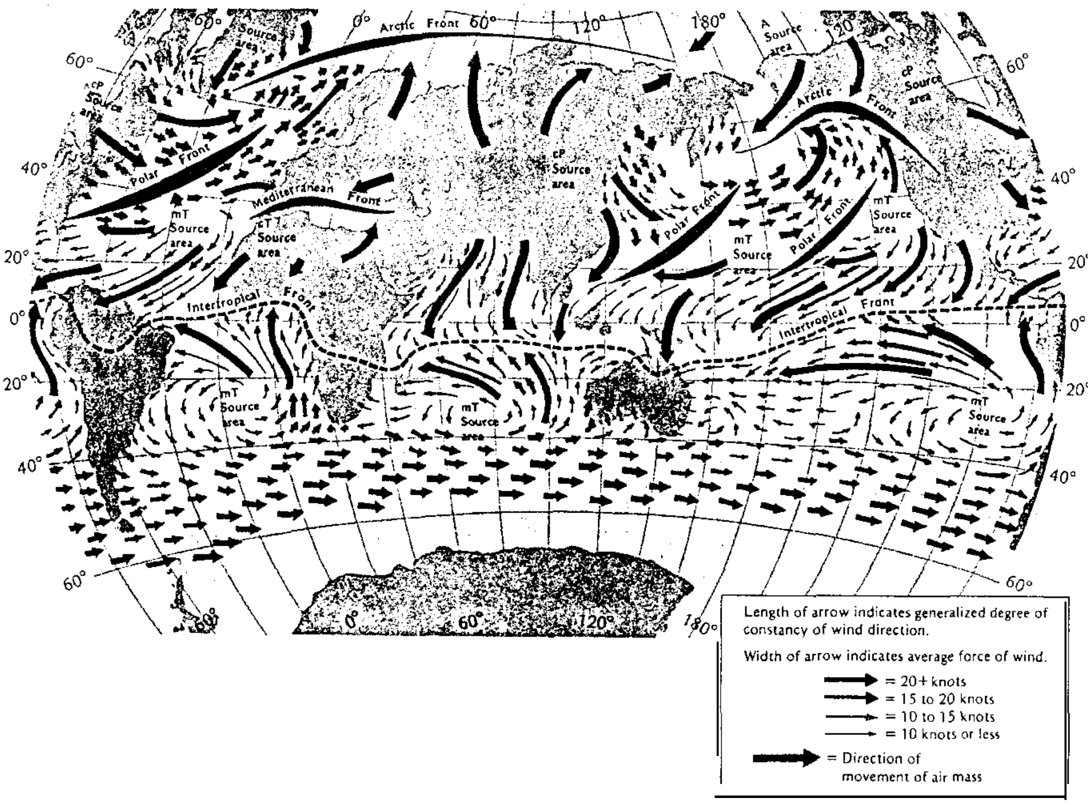
ตารางที่ 13.4 สภาพอากาศที่ผ่านมาแล้วซึ่งมีอยู่ 100 ชนิด

Haze	Widespread dust in suspension in the air, NOT raised by wind, at time of observation	Dust or sand raised by wind at time of observation	Well-developed dust whirl(s) within past hour	Dust storm or sandstorm within sight of or at station during past hour
Precipitation within sight, reaching the ground but distant from station	Precipitation within sight, reaching the ground, near to but NOT at station	Thunderstorm, but no precipitation at the station	Squall(s) within sight during past hour or at time of observation	Funnel cloud(s) within sight of station at time of observation
Showers of rain during past hour, but NOT at time of observation	Showers of snow, or of rain and snow, during past hour, but NOT at time of observation	Showers of hail, or of hail and rain, during past hour, but NOT at time of observation	Fog during past hour, but NOT at time of observation	Thunderstorm (with or without precipitation) during past hour, but NOT at time of observation
Severe dust storm or sandstorm has begun or increased during past hour	Slight or moderate drifting snow, generally low (less than 6 ft)	Heavy drifting snow, generally low	Slight or moderate blowing snow, generally high (more than 6 ft)	Heavy blowing snow, generally high
Fog or ice fog, sky NOT discernible, no appreciable change during past hour	Fog or ice fog, sky discernible, has begun or become thicker during past hour	Fog or ice fog, sky NOT discernible, has begun or become thicker during past hour	Fog depositing rime, sky discernible	Fog depositing rime, sky NOT discernible
Continuous drizzle (NOT freezing), heavy at time of observation	Slight freezing drizzle	Moderate or heavy freezing drizzle	Drizzle and rain, slight	Drizzle and rain, moderate or heavy
Continuous rain (NOT freezing), heavy at time of observation	Slight freezing rain	Moderate or heavy freezing rain	Rain or drizzle and snow, slight	Rain or drizzle and snow, moderate or heavy
Continuous fall of snowflakes, heavy at time of observation	Ice prisms (with or without fog)	Snow grains (with or without fog)	Isolated starlike snow crystals (with or without fog)	Ice pellets or snow pellets
Slight snow shower(s)	Moderate or heavy snow shower(s)	Slight shower(s) of snow pellets, or ice pellets with or without rain, or rain and snow mixed	Moderate or heavy shower(s) of snow pellets, or ice pellets, or ice pellets with or without rain or rain and snow mixed	Slight shower(s) of hail, with or without rain or rain and snow mixed, not associated with thunder
Slight or moderate thunderstorm without hail, but with rain and/or snow at time of observation	Slight or moderate thunderstorm, with hail at time of observation	Heavy thunderstorm, without hail, but with rain and/or snow at time of observation	Thunderstorm combined with dust storm or sandstorm at time of observation	Heavy thunderstorm with hail at time of observation

ถึงอยู่เหนือทวีป (continental) และเป็นอากาศแห้ง สำหรับ m หมายถึงอยู่เหนือพื้นน้ำ (maritime) และเป็นอากาศชื้น ดังนั้นมวลอากาศที่เกิดขึ้นเหนือมหาสมุทรในเขตร้อนจะมีสัญญลักษณ์ mT และสำหรับมวลอากาศที่เกิดขึ้นเหนือทวีปแถบขั้วโลกจะมีสัญญลักษณ์ cP ซึ่งเป็นอากาศที่แห้งและเย็น สำหรับมวลอากาศต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นรอบโลกแสดงไว้ในรูป 13.2 และ 13.3



รูป 13.2 มวลอากาศต่าง ๆ บนพื้นโลกระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงสิงหาคม



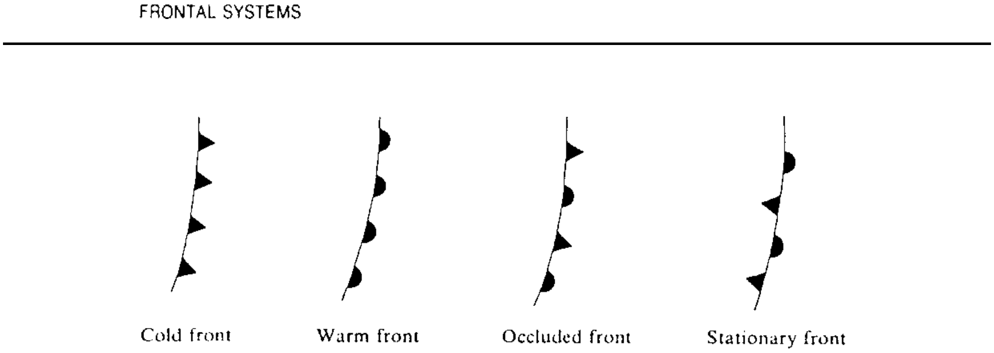
รูป 13.3 มวลอากาศต่าง ๆ บนพื้นโลกระหว่างเดือนมกราคมถึงกุมภาพันธ์

เมื่อมวลอากาศเคลื่อนที่ออกจากแหล่งกำเนิดเดิมมันจะค่อย ๆ เปลี่ยนแปลงไปทีละน้อยเนื่องจากมีปฏิกริยาระหว่างกันและกันกับพื้นผิวที่อยู่เบื้องล่าง สำหรับอากาศซึ่งอุ่นกว่าพื้นผิวเบื้องล่างในบริเวณที่มันพัดผ่านจะเติมคำว่า W ลงไป ดังนั้นอากาศแถวบริเวณเขตร้อนที่เกิดขึ้นเหนือพื้นน้ำทะเลที่เคลื่อนตัวไปเหนือทวีปที่เย็นจะมีสัญลักษณ์ mTw และอากาศซึ่งเย็นกว่าพื้นผิวที่อยู่เบื้องล่างในบริเวณที่มันพัดผ่านจะมีอักษร k เพิ่มเติมลงไป เพราะฉะนั้นอากาศที่เกิดบนทวีปแถบขั้วโลกที่เคลื่อนตัวลงมาทางใต้เหนือพื้นดินที่อุ่นกว่าจะมีสัญลักษณ์เป็น cPk

13.2 **แนวปะทะอากาศ**

แนวปะทะอากาศให้คำจำกัดความว่าเป็นเขตแดนด้านหน้า (boundary surface) ที่แบ่งแยกมวลอากาศที่มีความแตกต่างในความหนาแน่นออกจากกัน มวลอากาศชนิดหนึ่งจะอุ่นกว่าและมักจะมีความชื้นสูงกว่ามวลอากาศอีกชนิดหนึ่ง ดังนั้นแนวปะทะอากาศสามารถก่อตัวระหว่างมวลอากาศสองชนิดใด ๆ ที่มีความผิดแผกกัน แม้ว่าความเปลี่ยนแปลงในความหนาแน่นจะเกิดขึ้นภายในมวลอากาศเองก็ตามแต่จะน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับสิ่งที่เกิดขึ้นในแนวปะทะอากาศ

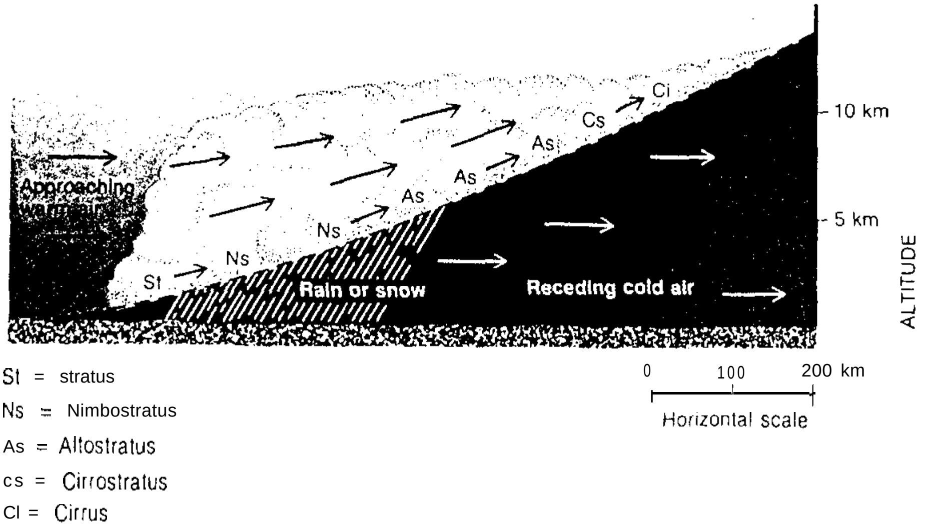
เราสามารถหาพบผิวหน้าของแนวปะทะอากาศ (frontal surface) ได้เนื่องจากอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในแนวเขตแดนระหว่างมวลอากาศทั้งสอง ซึ่งจะมีเมฆและฝนที่เพิ่มขึ้นทั้งนี้ขึ้นกับชนิดของแนวปะทะอากาศนั้น ๆ อากาศที่เย็นกว่าจะอยู่ในเบื้องล่างในขณะที่อากาศอุ่นจะลอยสูงขึ้น นักอุตุนิยมวิทยาจะแสดงระบบแนวปะทะอากาศบนแผนที่ด้วยแนวเส้นที่มวลอากาศทั้งสองมาพบกัน (junction) ลักษณะอากาศของแนวปะทะอากาศจะเปลี่ยนแปลงต่างกันไปซึ่งขึ้นกับชนิดของระบบแนวปะทะอากาศแต่ละชนิด (ดูรูป 13.4)



รูป 13.4 สัญลักษณ์ของแนวปะทะอากาศต่าง ๆ

13.2.1 **แนวปะทะอากาศอุ่น** (warm front)

อากาศที่อุ่นและเบาจะแทนที่อากาศซึ่งเย็นและหนาแน่นมากกว่าโดยการไหลขึ้นไปข้างบนตามลาดอากาศเย็น ดังรูป 13.5 ผลก็คือจะเกิดการยกขึ้นทีละน้อยเป็นบริเวณกว้างตามความชันที่เพิ่มขึ้นช้า ๆ ของแนวปะทะอากาศซึ่งมักจะยืดออกล่วงหน้าหลายร้อยกิโลเมตรก่อนแนวปะทะอากาศอุ่น เมื่อแนวปะทะอากาศอุ่นเคลื่อนที่เข้ามา เมฆสูงจะก่อตัวขึ้นพร้อมกับฐานเมฆจะค่อย ๆ ต่ำลงและหนาขึ้นตามลำดับดังนี้ เซอร์รัส เซอร์โรสเตรตัส อัลโตสเตรตัส นิมโบสเตรตัส และสุดท้ายจะเป็นเมฆสเตรตัส



รูป 13.5 การเรียงลำดับของเมฆที่เกิดขึ้นในเส้นทางของอากาศอุ่นที่กำลังเคลื่อนที่เข้ามา

เริ่มต้นจากเมฆเซอร์รัสที่ก่อตัวขึ้นมาด้วยลักษณะเป็นเส้น ๆ คล้ายขนนกซึ่งปรากฏล่วงหน้าไกลกว่าแนวปะทะอากาศที่พื้นผิวถึง 1000 กิโลเมตร เมฆจะแผ่กว้างออกข้าง ๆ (laterally) อย่างช้า ๆ ทำให้เกิดแผ่นบางของเมฆเซอร์โรสเตรตัสขึ้นซึ่งจะเปลี่ยนท้องฟ้าให้กลายเป็นสีขาวน้ำนม ผลึกน้ำแข็งเล็ก ๆ ที่ประกอบเป็นเมฆสูงนี้ (ฐานสูงกว่า 6 ก.ม) อาจจะสะท้อนและหักเหแสงทำให้เกิดเป็นวงแหวนขึ้น ปรากฏการณ์นี้อาจบอกถึงพายุที่กำลังจะเข้ามาในอีกสองสามวัน

เหตุการณ์ต่อไป เมฆเซอร์โรสเตรตัสจะเปลี่ยนแปลงเป็นเมฆอัลโตสเตรตัส ซึ่งมีฐานอยู่สูง 2 ถึง 6 กิโลเมตร ในไม่ช้าหลังจากเมฆอัลโตสเตรตัสหนาขึ้นมากก็จะปิดบังดวงอาทิตย์ไว้ ฝนที่ตกเบา ๆ (light rain) หรือหิมะก็จะเริ่มต้นขึ้น หยาดน้ำฟ้ามีตกสม่ำเสมอจะตกจากเมฆต่ำที่มีสีเทาแก่หรือเมฆนิมโบสเตรตัสและจะคงอยู่จนกระทั่งแนวปะทะอากาศอุ่นได้ผ่านไป ช่วงเวลาที่ฝนตกอาจจะนานกว่า 24 ชั่วโมง

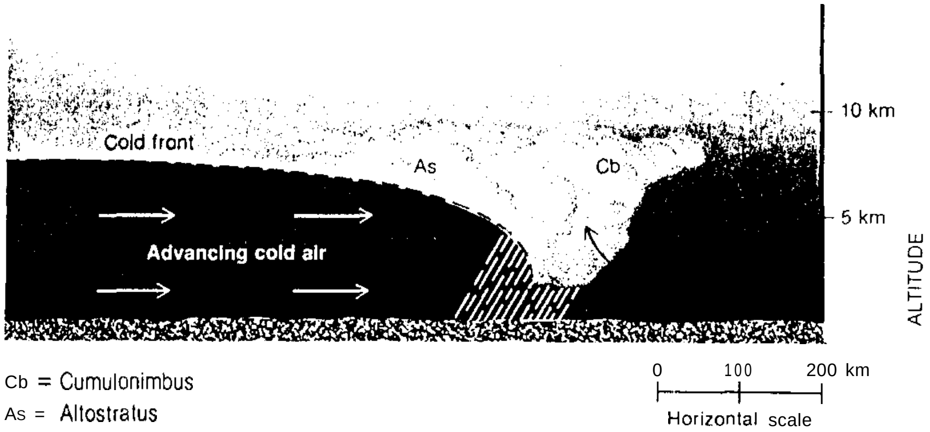
ถัดไปข้างหลังของแนวปะทะอากาศอุ่น ฝนที่ตกอย่างสม่ำเสมอจะเปลี่ยนเป็นฝนละอองที่ตกจากเมฆสเตรตัส (ฐานต่ำกว่า 2 ก.ม) และแล้วก็จะเปลี่ยนเป็นหมอกที่มีลักษณะหนา หลังจากแนวปะทะอากาศอุ่นได้ผ่านไปท้องฟ้าจะแจ่มใสและอากาศจะกลายเป็นอุ่นและอบอ้าว

ลำดับของการเกิดเมฆและฝนของแนวปะทะอากาศอุ่นที่กล่าวไปแล้วจะเป็นแนวปะทะอากาศอุ่นที่ค่อนข้างมีเสถียรภาพ แต่การเรียงลำดับของเมฆจะเปลี่ยนแปลงบ้างเมื่ออากาศค่อนข้างไม่มีเสถียรภาพ ในกรณีที่ลอยสูงขึ้นมีความรุนแรงก็จะทำให้เกิดเมฆคิวมิวโรนิมบัสล่วงหน้าผิวหน้าของแนวปะทะอากาศอุ่น และทำให้เกิดพื้นที่ที่ฝนตกหนักเป็นระยะสั้น แนวปะทะอากาศอุ่นที่กล่าวแล้วจะต้องร่วมด้วยในเวฟไซโคลนเสมอ ซึ่งจะกล่าวให้ในหัวข้อถัดไป

13.2.2 แนวปะทะอากาศเย็น

เมื่อลมจากทิศเหนือนำอากาศเย็นลงมาพบกับอากาศอุ่นก็จะแทนที่อากาศอุ่นทำให้เกิดเป็นแนวปะทะอากาศเย็นขึ้น อากาศที่เย็นซึ่งจะหนักกว่าและหนาแน่นมากกว่าจะอยู่เบื้องล่างอากาศอุ่นซึ่งเบากว่าจะถูกบังคับให้ลอยสูงขึ้นเบื้องบนอย่างรวดเร็วในลักษณะมุมที่ชัน (sharp angle) ดังนั้นทำให้แนวปะทะอากาศเย็นตัวก่อเป็นรูปลิ่มที่ชันกว่าแนวปะทะอากาศอุ่น ในแนวปะทะอากาศเย็นนั้นอัตราส่วนระหว่างอากาศที่ลอยสูงขึ้นและพื้นที่ในแนวราบ จะมีค่าประมาณ 1 ต่อ 50 (ดูรูป 13.6)

แนวปะทะอากาศเย็นมักจะทำให้เกิดแถบของกาลอากาศ (band of weather) ที่แคบกว่าแนวปะทะอากาศอุ่น และแสดงให้เห็นถึงกระบวนการพาในแนวดิ่งที่ชัดเจนกว่า เราสามารถรู้ว่าแนวปะทะอากาศเย็นเคลื่อนที่ใกล้เข้ามาด้วยการก่อตัวของเมฆในแนวดิ่งที่ใหญ่โต แนวปะทะอากาศเย็นเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่าง ๆ กัน บางครั้งอาจจะช้ากว่าแนวปะทะอากาศอุ่นเล็กน้อย แต่บางครั้งอาจเคลื่อนที่เร็วกว่าถึง 2 เท่า



รูป 13.6 เมฆพายุฟ้าคะนองที่ก่อตัวโดยการยกขึ้นของอากาศในแนวปะทะอากาศเย็น

ในระบบแนวปะทะอากาศเย็นเมฆส่วนใหญ่มักจะเป็นเมฆชนิดคิวมิวลัส ดังนั้นจึงทำให้เกิดพายุได้บ่อยครั้ง (ซึ่งตรงกันข้ามกับแนวปะทะอากาศอุ่น) แบบของกาลอากาศมักจะเกิดขึ้นในแถบที่แคบ องศาของความรุนแรงขึ้นอยู่ว่าอากาศอุ่นจะถูกผลักให้ขึ้นจากพื้นผิวช้าหรือเร็วถ้าเป็นไปอย่างช้า ๆ แนวปะทะอากาศเย็นก็จะมีความรุนแรงน้อยลง

เราสามารถบอกได้ว่ามีแนวปะทะอากาศเย็นกำลังเข้ามา โดยลมที่เริ่มต้นพัดจากตะวันตกเฉียงใต้ และความกดที่ลดลงอย่างรวดเร็ว ลมจะพัดแรงขึ้นเมื่อพายุเคลื่อนที่ใกล้เข้ามา หลังจากแนวปะทะอากาศได้ผ่านบริเวณที่ถูกกระทบกระเทือนไปแล้ว ความกดก็จะเพิ่มขึ้น ลมจะ

เวียน (veer) ไปเป็นพัดจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือ และอุณหภูมิจะลดต่ำลงอย่างรวดเร็ว ท้องฟ้ามักจะแจ่มใสภายใน 12 ถึง 24 ชั่วโมงหลังจากมีพายุ

คุณสมบัติของแนวปะทะอากาศเย็นแต่ละแนวจะแตกต่างออกจากกันไป ทั้งนี้ขึ้นกับองค์ประกอบหลายประการสิ่งที่ทำให้เกิดความแตกต่างก็คือความรวดเร็วในการลอยตัวของอากาศอุ่น ความเร็วและความชันของแนวปะทะอากาศก็มีผลต่อระยะเวลาและจำนวนฝนที่ตกด้วย ในกรณีที่อากาศเย็นผลักให้อากาศอุ่นลอยขึ้นข้างบนอย่างรวดเร็วและสะดวกสะควอไลน์ ของพายุฟ้าคะนอง (squall line of thunderstorm) อาจจะเกิดขึ้นเบื้องหน้าของเส้นแนวปะทะอากาศ (frotal line) ซึ่งอาจอยู่ไกลล่วงหน้า 80 ถึง 250 กิโลเมตร พายุแนวปะทะอากาศเย็นชนิดนี้จะวิ่งไปไกลและเร็วกว่าแนวปะทะอากาศและทำให้ระยะทางระหว่างตัวมันเองและระบบแนวปะทะอากาศที่ตามมาห่างกันออกไปอย่างรวดเร็ว สิ่งนี้เองอาจจะเป็นผลให้พายุสลายตัวเพราะจะเป็นการทำลาย (breakup) ระบบการพาความร้อนของอากาศที่อยู่ด้านหน้าของเส้นแนวปะทะอากาศโดยตรง

13.2.3 **แนวปะทะอากาศที่ไม่เคลื่อนที่** (Stationary Front)

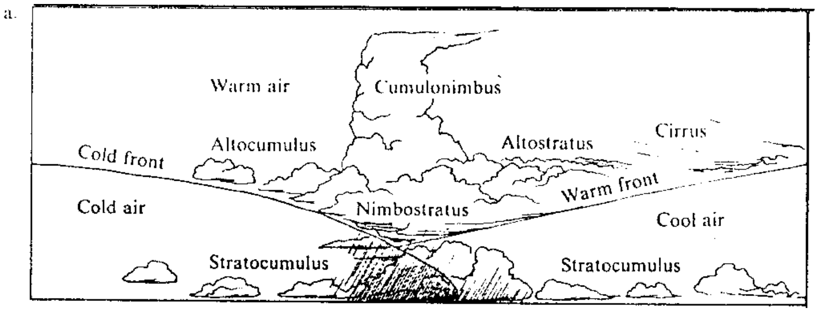
เมื่อระบบแนวปะทะอากาศหยุดเคลื่อนที่ไปข้างหน้าก็จะเกิดแนวปะทะอากาศที่ไม่เคลื่อนที่ แนวปะทะอากาศชนิดนี้อาจเกิดจากการหยุดกลางคันของแนวปะทะอากาศเย็นหรือแนวปะทะอากาศอุ่นก็ได้ ซึ่งบางครั้งอาจจะอยู่นานเป็นเวลาหลายวันและเมื่อแนวปะทะอากาศที่ไม่เคลื่อนที่นี้เริ่มต้นเคลื่อนที่อีกมันก็จะกลับเป็นแนวปะทะอากาศอุ่นหรือแนวปะทะอากาศเย็นอีกตามเดิม

13.2.4 **แนวปะทะอากาศออคครูด** (Occluded Fronts)

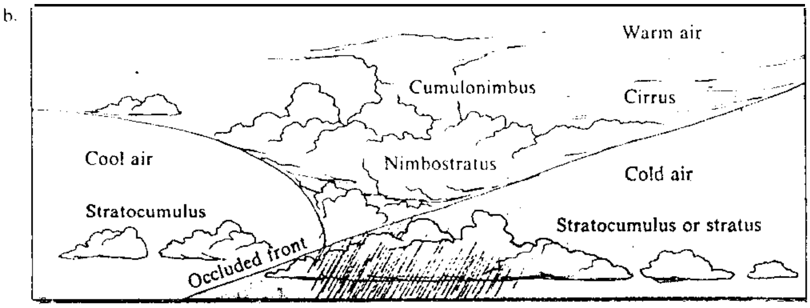
เมื่อแนวปะทะอากาศเย็นวิ่งมาทันแนวปะทะอากาศอุ่น ทั้งสองแนวปะทะอากาศจะกักอากาศอุ่นเอาไว้ระหว่างตรงกลางทำให้เกิดแนวปะทะอากาศออคครูดขึ้น การถูกกัก (occlusion) เกิดขึ้นเมื่อมวลของอากาศอุ่นถูกผลักและทำให้เคลื่อนที่ขึ้นบนโดยมวลอากาศเย็นที่มีความหนาแน่นสองมวล โดยที่มวลอากาศทั้งสองนี้พบกันและผลักให้มวลอากาศซึ่งอุ่นกว่าที่อยู่ในระหว่างมวลอากาศทั้งสองลอยสูงขึ้นจากพื้นดิน สำหรับโคลฟรอนท์ออคครูดชัน (cold front occlusion) แนวปะทะอากาศอุ่นจะถูกผลัก (push up) จากพื้นดินโดยอากาศเย็นซึ่งหนักกว่าที่เคลื่อนตัวเข้ามา (ดูรูป 13.7) สำหรับใน วอมร์ ฟรอนท์ ออคครูดชัน (warm front occlusion) แนวปะทะอากาศเย็นจะถูกผลักขึ้นจากพื้นดินเนื่องจากอากาศในแนวปะทะอากาศอุ่นมีความเย็นมากกว่าอากาศในแนวปะทะอากาศเย็น (ดูรูป 13.8) แนวปะทะอากาศออคครูดนั้นเกิดขึ้นเมื่อเวฟไซโคลนเจริญเติบโตจนถึงระยะออกครูด (occluded stage) ซึ่งจะพูดในหัวข้อถัดไป

13.3 เวฟไซโคลน (Wave Cyc lone)

ทฤษฎีของเวฟไซโคลนถูกสร้างในระหว่างต้นศตวรรษที่ 20 โดยชาวนอร์เวย์ และเรียกว่าหุ่นจำลองของชาวนอร์เวย์ (Norwegian Model) หุ่นจำลองในมิดเดิลละติจูดนั้นถูกสร้างขึ้นครั้งแรกจากการสังเกตใกล้พื้นดิน อย่างไรก็ตามข้อมูลที่ได้จากโตรโปเฟียร์ชั้นกลางและ



รูป 13.7 ลักษณะของโคลฟรอนท์ออคครูดชัน

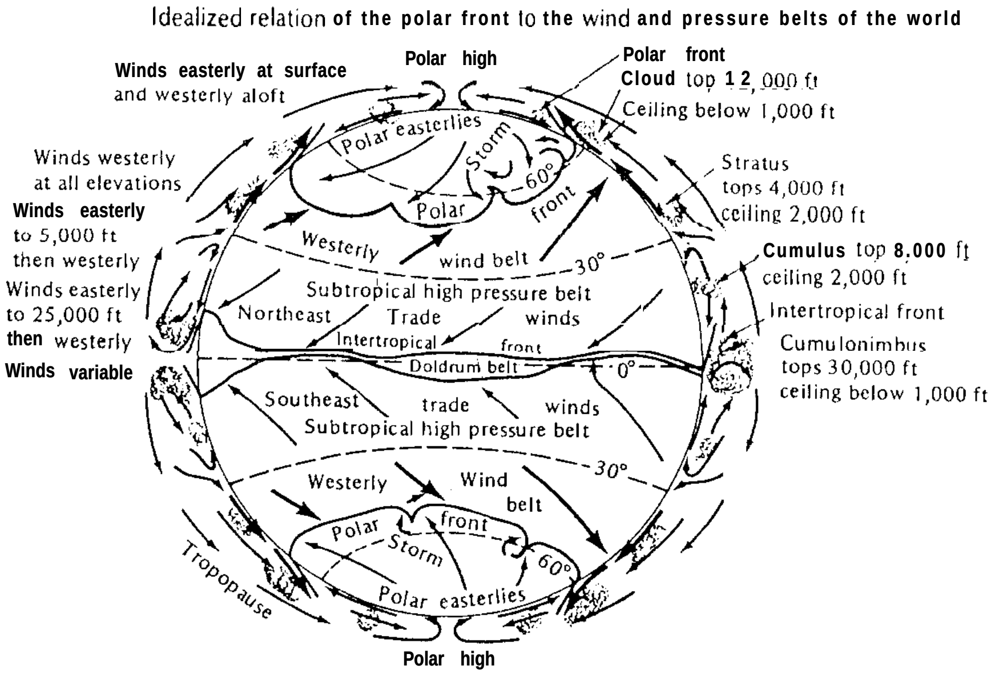


รูป 13.8 ลักษณะของวอมร์ฟรอนท์ออคครูดชัน

ชั้นบนรวมทั้งภาพถ่ายดาวเทียมที่ได้รับก็จะมีส่วนช่วยให้การปรับปรุงดีขึ้น หุ่นจำลองนี้เป็นเครื่องมือที่ยอมรับในการใช้ตีความเกี่ยวกับลมฟ้าอากาศ มันสามารถทำให้เห็นภาพบรรยากาศที่เคลื่อนไหวในขณะที่เกิดพายุ และถ้าเราใช้หุ่นจำลองนี้เป็นหลักในการพิจารณากาลอากาศก็จะช่วยในการพยากรณ์ในเขตมิดเดิลละติจูดได้เป็นอย่างดี

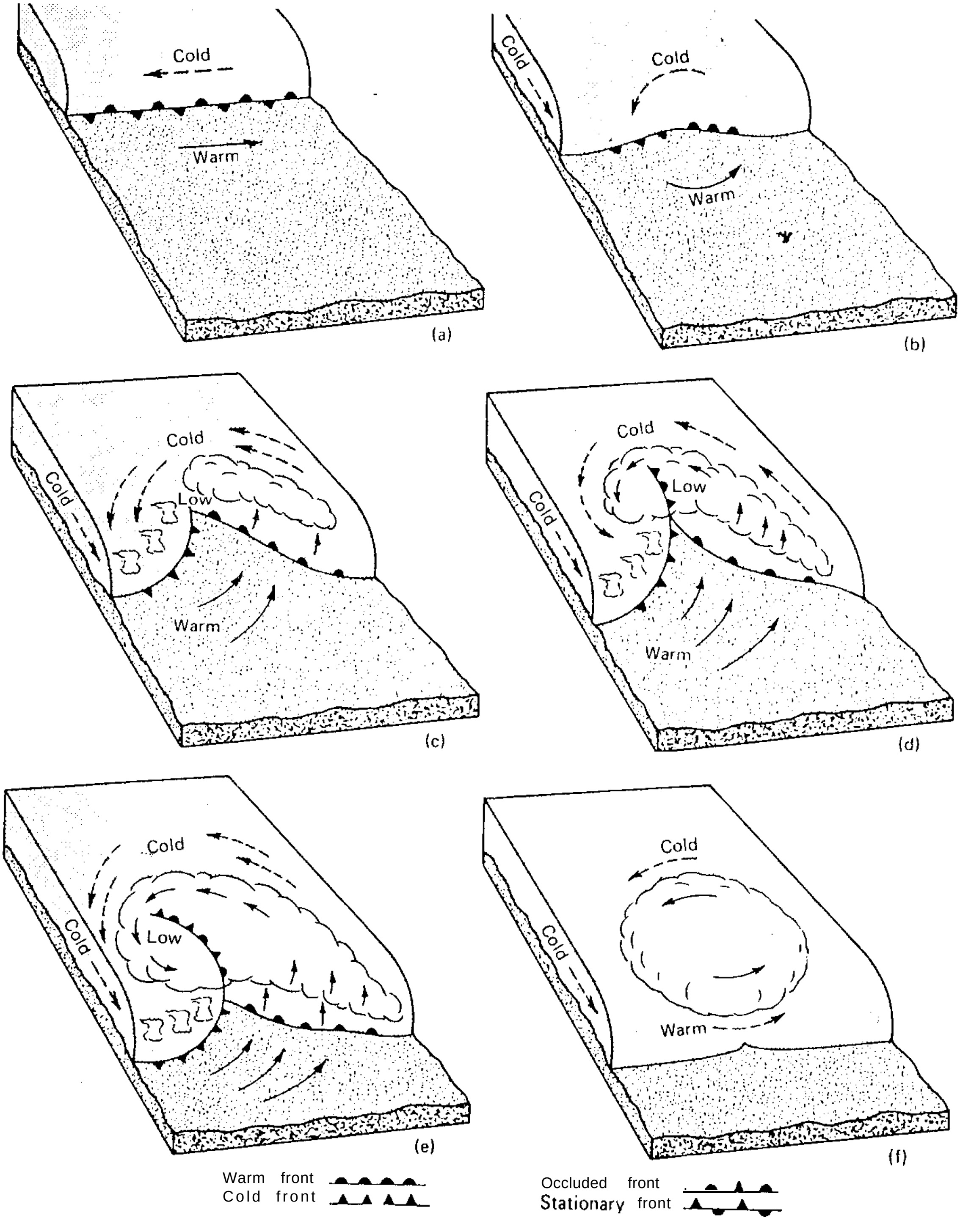
13.3.1 วงจรชีวิตของเวฟไซโคลน (Life Cycle of Wave Cyclone)

ไซโคลนในมิดเดิลละติจูดเกิดขึ้นตามปะทะอากาศอันเกิดจากมวลอากาศ cP ในโพลาร์อีสเตอร์ลีพัดมาพบกับมวลอากาศ mT ในเวสเตอร์ลีซึ่งทำให้เกิดโพลาร์ฟรอนท์ขึ้น (ดูรูป 13.9) ลมทั้งสองจะพัดขนานกันแต่สวนทิศทางกัน ผลจากที่ลมทั้งสองสวนกันนี้ทำให้เกิด

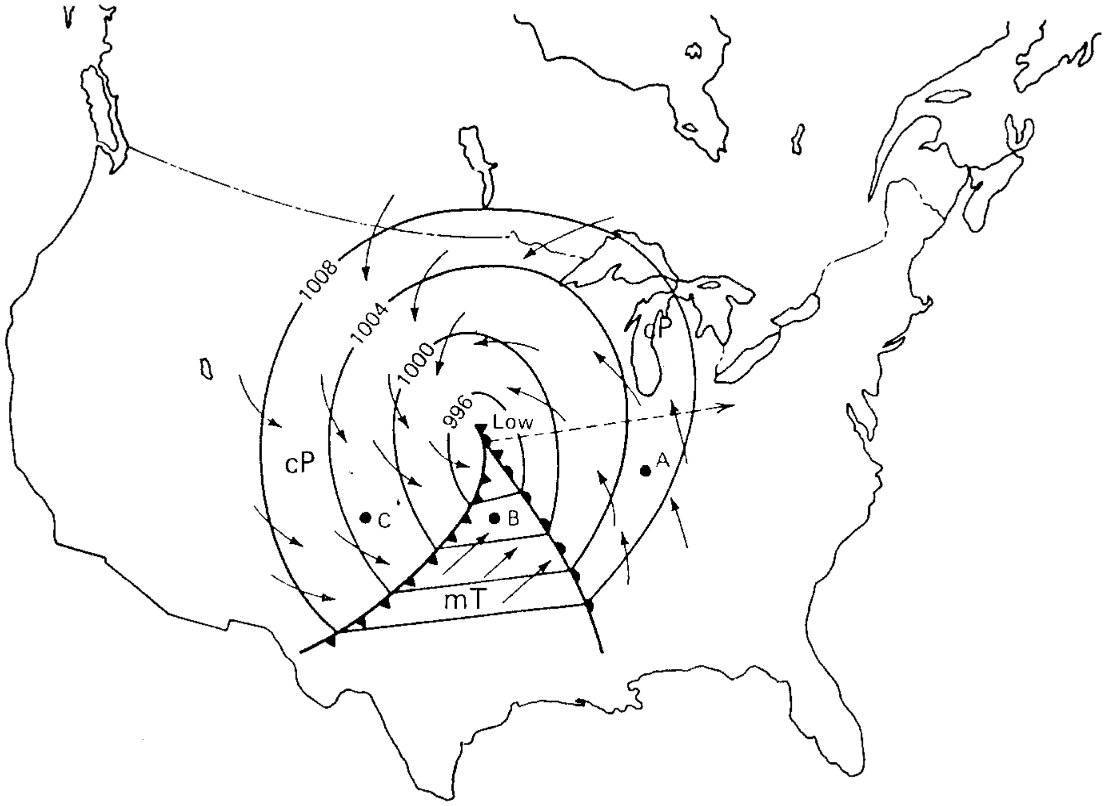


รูป 13.9 มวลอากาศ cP ในโพลาร์อีสเตอร์ลีพัดมาพบอากาศ mT ในลมเวสเตอร์ลี ทำให้เกิดเป็นโพลาร์ฟรอนท์ขึ้น

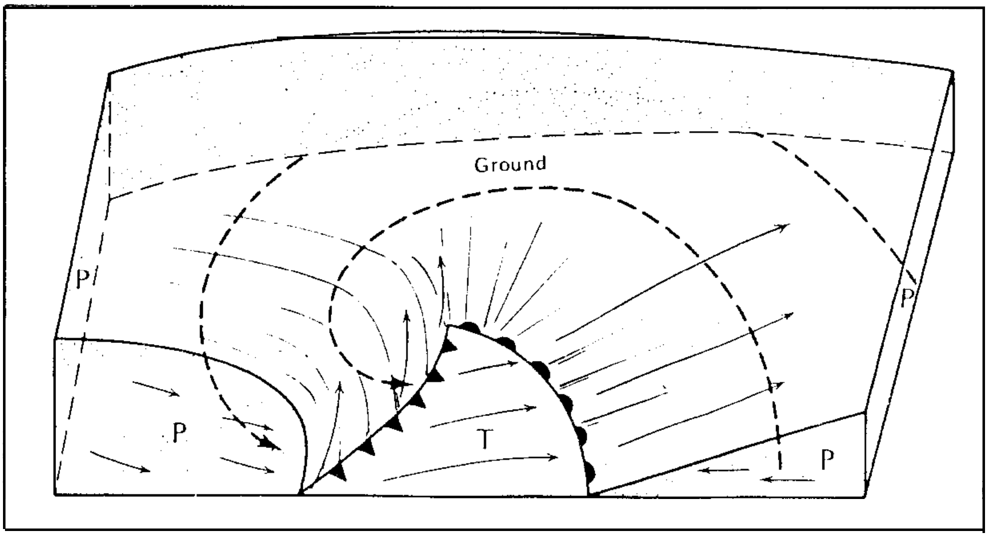
แรงเฉือนชนิดไซคลอนิก (cyclonic shear) ขึ้นและทำให้เกิดเวฟไซโคลนก่อตัวขึ้นในลักษณะหมุนทวนเข็มนาฬิกาดังรูป 13.10 จุดที่คลื่นเล็ก ๆ ก่อตัวนี้จะทำให้อากาศอุ่นบุกลึกเข้าไปในจุดอ่อนของแนวปะทะอากาศและยื่นเข้าไปด้านทางขั้วโลก ส่วนอากาศเย็นที่อยู่ล้อมรอบจะเคลื่อนที่มายังด้านศูนย์สูตร การเปลี่ยนแปลงนี้จะทำให้เกิดการปรับตัวของความกดใหม่โดยมีเส้นไอโซบาร์ที่เกือบเป็นวงกลม และมีจุดศูนย์กลางของความกดต่ำอยู่ที่จุดยอดของสามเหลี่ยม (ดูรูป 13.11) เมื่อการหมุนวนแบบไซคลอนิกได้เกิดขึ้นก็จะทำให้ลมพัดสอบเข้าหากันและเป็นผลให้อากาศยกตัวขึ้นในแนวดิ่งโดยเฉพาะตรงจุดที่อากาศอุ่นวิ่งไปเหนืออากาศที่เย็นกว่าโดยที่เราสามารถเห็นจากรูป 13.11 อากาศในสามเหลี่ยมที่อุ่นจะพัดจากตะวันตกเฉียงใต้ (southwest) ไปยังอากาศที่เย็นกว่า ซึ่งพัดมาจากตะวันออกเฉียงใต้ (southeast) (ดูรูป 13.12 ประกอบ) เนื่องจากอากาศอุ่นเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าอากาศเย็นในทิศที่ตั้งฉากกับแนว



รูป 13.10 ระยะต่าง ๆ ในวงจรชีวิตของไซโคลนที่เกิดขึ้นในมิดเดิลละติจูด ซึ่งเสนอโดยนักอุตุนิยมวิทยาชาวนอร์เวย์



รูป 13.11 การหมุนเวียนของอากาศในไซโคลนที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้ว จากรูปจะทำให้พิจารณาเห็นกับการเปลี่ยนตำแหน่งทิศของลม จากตำแหน่ง A ไป B และตำแหน่ง B ไป C



รูป 13.12 อากาศในสามเหลี่ยมที่อุ่นจะพัดจากตะวันตกเฉียงใต้ไปยังอากาศที่เย็นกว่าซึ่งพัดมาจากตะวันออกเฉียงใต้

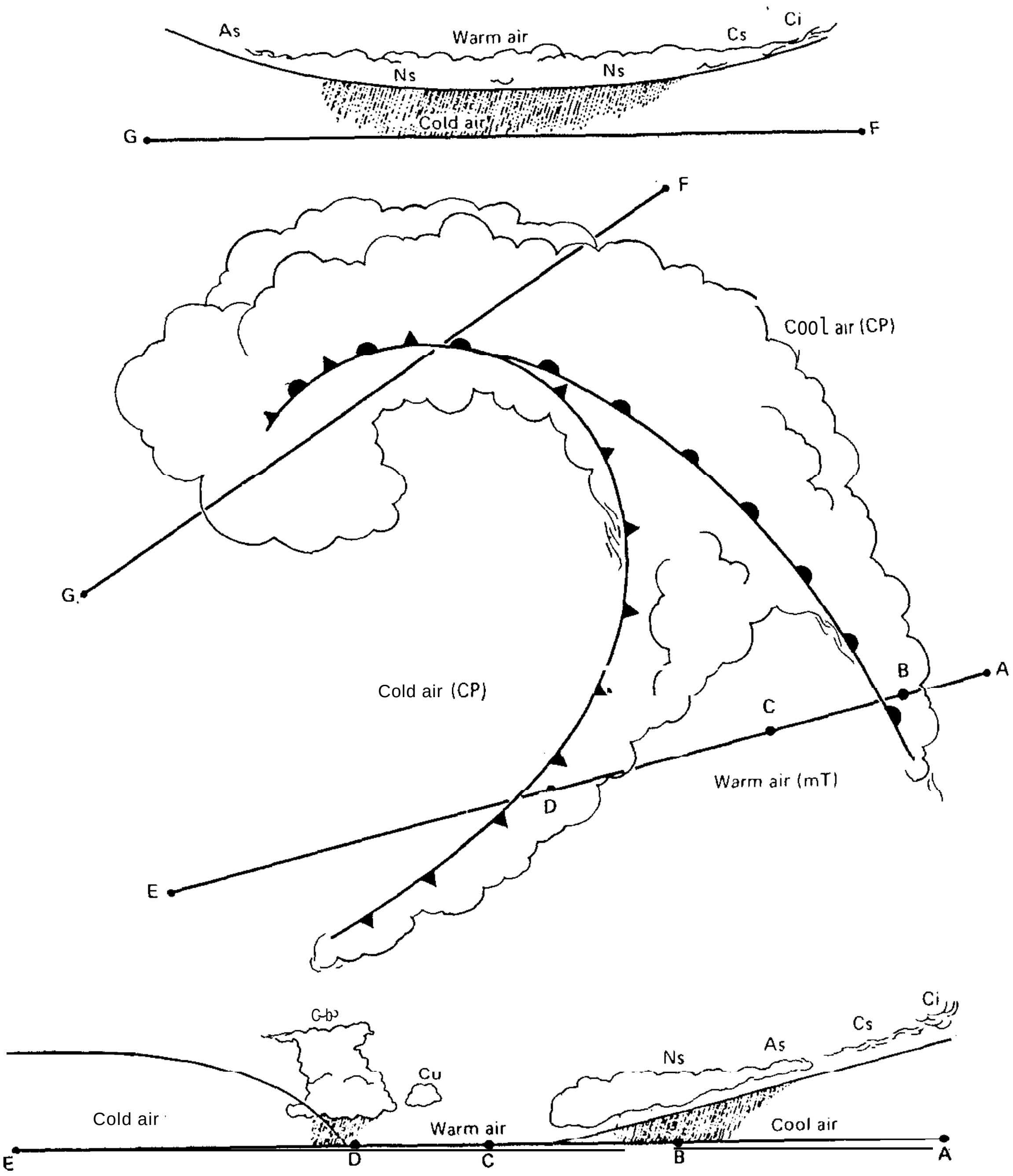
ปะทะอากาศนี้ เราสามารถสรุปได้ว่าอากาศอุ่นจะบุกรุกพื้นที่ซึ่งเมื่อก่อนครอบครองโดยอากาศเย็น ดังนั้นแนวปะทะอากาศจะเป็นแนวปะทะอากาศอุ่น ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกันแสดงได้ว่าส่วนหลังของไซคลอนิกที่ถูกรบกวนอากาศเย็นจะอยู่ใต้อากาศอุ่นในสามเหลี่ยมและทำให้เกิดแนวปะทะอากาศเย็นขึ้น โดยทั่วไปตำแหน่งของแนวปะทะอากาศเย็นจะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าเร็วกว่าแนวปะทะอากาศอุ่นและเริ่มต้นทำให้สามเหลี่ยมที่อุ่นปิดลงอย่างที่แสดงไว้ในรูป 13.10 กระบวนการนี้ก็คือออคครูดชันซึ่งเป็นผลให้เกิดแนวปะทะอากาศออคครูดขึ้น เมื่อถึงระยะนี้ไซโคลนจะเข้าสู่การเจริญเติบโตเต็มที่ (maturity) และมีความรุนแรงมากที่สุด ความชันของความกดจะมากและลมจะพัดแรงในขณะที่การยกลอยสูงขันยังคงมีติดต่อกันไป ในที่สุดสามเหลี่ยมอุ่นทั้งหมดจะถูกบังคับขึ้นข้างบนและอากาศเย็นจะล้อมรอบบริเวณไซโคลนระดับเบื้องล่าง เมื่อแนวปะทะอากาศระหว่างมวลอากาศสองมวลหมดไป ความชันของความกดจะอ่อนลง ที่จุดนี้ไซโคลนจะหมดแหล่งของพลังงานและพายุก็จะสลายไป

13.3.2 ลักษณะกาลอากาศของเวฟไซโคลน (Ineal ized Weather of a Wave Cyclone)

ดังที่กล่าวแล้วว่าหุ่นจำลองของไซโคลนจะเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์ในการพิจารณาแบบแผนของกาลอากาศในเขตมิดเดิลละติจูด จากรูป 13.13 จะแสดงการกระจายของเมฆและบริเวณของฝนที่จะตกซึ่งรวมในเวฟไซโคลนที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้ว สำหรับรูป 13.14 เป็นภาพถ่ายดาวเทียมของพายุไซโคลนที่เกิดขึ้นจริงซึ่งจะเปรียบเทียบกับรูป 13.13 ที่เขียนขึ้น

โดยการนำ (guid) ของลมเวสเตอร์ลีในเบื้องบน ไซโคลนโดยทั่วไปจะเคลื่อนที่ไปทางตะวันออกข้ามสหรัฐอเมริกาโดยเราสามารถคาดหมายสัญญาณอันแรกของการเข้ามาในตะวันตกได้ ไซโคลนตัวอย่างใช้เวลา 2 ถึง 4 วันในการเคลื่อนที่ผ่านบริเวณอันหนึ่ง ในระหว่างช่วงเวลาที่ค่อนข้างสั้นนี้การเปลี่ยนแปลงในสภาวะบรรยากาศสามารถสังเกตได้ชัดโดยเฉพาะในฤดูใบไม้ผลิซึ่งมีผลต่างของอุณหภูมิค่อนข้างมากในเขตมิดเดิลละติจูด

โดยการใช้รูป 13.13 เป็นหลักเราจะพิจารณาลักษณะอากาศของไซโคลนในขณะที่มันผ่านพื้นที่บริเวณหนึ่งในฤดูใบไม้ผลิของปี เพื่อให้การพิจารณาง่ายขึ้น ขอบเขตจะอยู่ในเส้น AE และ FG เริ่มต้นจากการพิจารณาลักษณะอากาศเมื่อเราเคลื่อนที่จากด้านขวาไปด้านซ้ายตามเส้น AE ที่จุด A การมองเห็นเมฆเซอร์รัสที่อยู่สูงจะเป็นสัญญาณอันแรกของการเคลื่อนที่เข้ามาใกล้ของพายุไซโคลน เมฆที่อยู่สูงเหล่านี้สามารถเคลื่อนที่มาล่วงหน้าแนวปะทะอากาศที่พื้นดินได้ก่อนถึง 1000 กิโลเมตรหรือมากกว่าและมักจะร่วมด้วยความกดที่ลดลง เมื่อแนวปะทะอากาศอุ่นเคลื่อนตัวเข้ามาความหนาของเมฆจะเพิ่มขึ้นและระดับความสูงของเมฆ (cloud deck) ที่ลดต่ำลงก็จะสังเกตเห็นได้ ภายใน 12 ถึง 24 ชั่วโมง หลังจากเห็นเมฆเซอร์รัสครั้งแรก ฝนที่ตกเบา ๆ มักจะเกิดขึ้นที่จุด B และเมื่อแนวปะทะอากาศเข้ามาใกล้มากขึ้น อัตราของน้ำฝนจะเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิ



รูป 13.13 แบบของเมฆที่มักเกิดในพายุไซโคลนที่เจริญเต็มที่แล้ว ส่วนของข้างบนสุดและล่างสุดจะเป็นรูปภาคตัดขวางในแนว FG และ AE ตามลำดับ

รูป 13.14 รูปภาพถ่ายดาวเทียมของพายุไซโคลนที่เกิดขึ้นจริง

ที่ขึ้นสูงก็จะสังเกตเห็น ลมจะเริ่มต้นเปลี่ยนจากที่เคยพัดมาจากตะวันออก (easterly) ไปเป็นพัดมาจากทางใต้ (southerly) แทนสำหรับพื้นที่ในเส้นทางผ่านของแนวปะทะอากาศอุ่นจะตกอยู่ภายในอิทธิพลของมวลอากาศ mT ในสามเหลี่ยมที่อุ่น (ที่จุด C) (ดูรูป 13.13) โดยทั่วไปบริเวณซึ่งกระทบกระเทือนโดยสามเหลี่ยมของไซโคลนนี้จะมีอุณหภูมิที่อุ่นลมพัดจากทิศใต้และท้องฟ้ามักจะแจ่มใสซึ่งแม้แต่เมฆคิวมิวลัสที่มีลักษณะอากาศดีหรืออัลโตคิวมิวลัสก็จะไม่ค่อยพบในที่นี้ อากาศที่ค่อนข้างสบายในสามเหลี่ยมที่อุ่นของฤดูใบไม้ผลิจะผ่านไปอย่างรวดเร็ว และถูกแทนที่โดยลมที่พัดกรรโชก (gusty wind) และฝนที่ตกหนักอันเกิดจากแนวปะทะอากาศเย็น การเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วของแนวปะทะอากาศเย็นจะแสดงโดยกำแพงของเมฆที่ม้วนดำ (rolling, black clouds) ที่จุด D กาลอากาศที่รุนแรงจะร่วมด้วยฝนที่ตกหนักและบางครั้งลูกเห็บหรือพายุทอร์นาโดก็จะพบได้ในช่วงนี้ของปี นอกจากนี้พายุฟ้าคะนองสะควอไลน์ที่รุนแรงซึ่งมีความนานช่วงสั้นอาจจะเกิดขึ้นบ่อยนำหน้าแนวปะทะอากาศเย็น ในหลาย ๆ กรณีกิจกรรมของสะควอ (squall activity) จะรุนแรงกว่าตัวแนวปะทะอากาศเย็นเองเสียอีก การผ่านเข้ามาของแนวปะทะอากาศเย็นสามารถตรวจจับ (detected) ได้ง่ายโดยลมที่เปลี่ยนตำแหน่ง (wind shift) ลมซึ่งพัดมาจากทางใต้จะถูกแทนที่โดยลมที่พัดมาจากตะวันตกหรือจากตะวันตกเฉียงเหนือ (northwest) และอุณหภูมิจะลดลงอย่างชัดเจน นอกจากนี้ความกดที่เพิ่มขึ้นก็จะชี้ถึงการจมลงมาของอากาศเย็นที่แห้งซึ่งอยู่เบื้องหลังแนวปะทะอากาศ เมื่อแนวปะทะได้ผ่านไปท้องฟ้าจะแจ่มใสอย่างรวดเร็วเมื่ออากาศที่เย็นกว่าได้บุกรุกบริเวณจุด E หลังจากนี้ประมาณหนึ่งหรือสองวันจะ

พบท้องฟ้าที่เกือบปราศจากเมฆที่มีสีน้ำเงินแก่ นอกจากว่าจะมีไซโคลนอื่นผ่านเข้ามาอีกเท่านั้น

สภาวะกาลอากาศที่แตกต่างกันมากจะเกิดขึ้นบนส่วนของไซโคลนที่ประกอบด้วยแนวปะทะอากาศออคครูดซึ่งแสดงไว้ตามเส้น FG ในที่นี้อุณหภูมิยังคงเย็นในระหว่างที่เป็นทางผ่านของพายุ อย่างไรก็ตามความกดที่ลดลงอย่างต่อเนื่องและการเพิ่มสภาวะความมืดครึ้ม (overcast) จะเป็นการชี้แนะที่สำคัญถึงการเคลื่อนที่ใกล้เข้ามาของศูนย์กลางบริเวณความกดต่ำ ส่วนนี้ของไซโคลนมักจะทำให้เกิดพายุหิมะในเดือนที่มีอากาศหนาวเย็น นอกจากนี้แนวปะทะอากาศออคครูดมักจะเคลื่อนที่ช้ากว่าแนะปะทะอากาศอื่นดังนั้นทำให้ลักษณะโครงสร้างของแนะปะทะอากาศที่มีรูปร่างกระดูกสองง่ามหน้าอกนก (wishbone-shape) ดังแสดงในรูป 13.11 จะหมุนรอบตัวเอง (rotate) ในทิศทวนเข็มนาฬิกาซึ่งจะทำให้แนวปะทะอากาศออคครูดปรากฏเป็นรูปโค้งไปทางด้านหลัง ผลอันนี้จะเพิ่มความนุนแรงต่อบริเวณที่ถูกอิทธิพลอันจากแนวปะทะอากาศออคครูด เพราะมันจะอยู่เหนือบริเวณพื้นที่นานกว่าแนวปะทะอากาศอื่น ๆ เช่นเดียวกันพายุก็จะถึงจุดความแรงมากที่สุดในระหว่างการเกิดออคครูดชัน ผลก็คือพื้นที่ที่ถูกกระทบกระเทือนโดยแนวปะทะอากาศนี้สามารถคาดหมายว่าจะได้รับความรุนแรง (brunt) มากที่สุดจากพายุ

จากการสังเกตในสิ่งที่กล่าวมาแล้ว สามารถใช้เป็นประโยชน์ในความรู้เกี่ยวกับหุ่นจำลองของไซโคลนได้ โดยเฉพาะการเปลี่ยนตำแหน่งของทิศทางลมจะเป็นประโยชน์ในการพยากรณ์อากาศที่ใกล้จะมาถึง ข้อสังเกตคือในเส้นทางของแนวปะทะอากาศอุ่นและของแนวปะทะอากาศเย็น ลูกศรของลมจะเปลี่ยนตำแหน่งในทิศตามเข็มนาฬิกายกตัวอย่างเช่น ในเส้นทางผ่านของแนวปะทะอากาศอุ่นลมจะเปลี่ยนจากที่เคยพัดจากตะวันออกเป็นพัดจากฝ่ายใต้ ในทางนาวีคำว่าลมเวียน (veering) จะใช้กับลมที่เปลี่ยนทิศตามเข็มนาฬิกา เนื่องจากสภาวะแจ่มใสจะเกิดขึ้นในทางผ่านของทั้งสองแนวปะทะอากาศดังนั้นลมเวียนจะเป็นเครื่องหมายแสดงว่าอากาศจะดีขึ้น (improve) ตรงกันข้ามบริเวณซึ่งมีตำแหน่งอยู่ในภาคเหนือ (northern portion) ของไซโคลนจะพบกับลมที่เปลี่ยนทิศในลักษณะทวนเข็มนาฬิกา (ดูรูป 13.11) ลมซึ่งเปลี่ยนทิศทางในทิศทวนเข็มนาฬิกาจะเรียกว่าลมวก (backing wind) ดังนั้นจากการเคลื่อนที่ใกล้เข้ามาของเวฟไซโคลนลมวกจะหมายถึงอุณหภูมิที่เย็นและอากาศที่มีความรุนแรงต่อเนื่อง

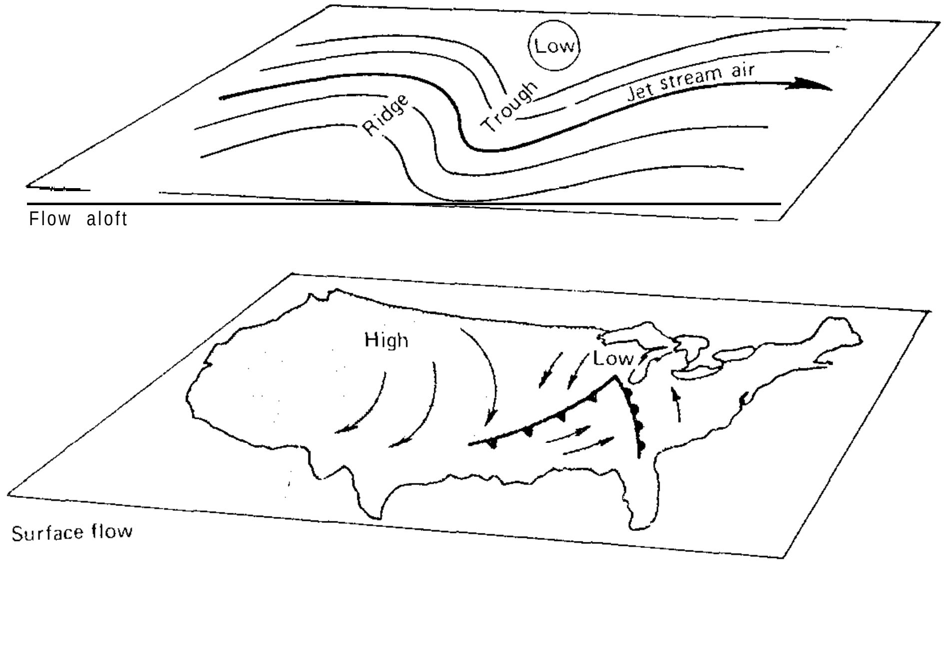
ที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดเป็นภาพสเก็ตสั้น ๆ ของกาลอากาศที่พบทั่วไปในทางผ่านของไซโคลนหลังจากเราพิจารณาแผนที่อากาศประจำวันอย่างละเอียดแล้วก็จะสามารถช่วยให้เข้าใจพายุไซโคลนจริง ๆ ได้ดีขึ้น (ดูแผนที่ท้ายบท)

13.3.3 **การกำเนิดไซโคลน (Cyclogenesis)**

เราเห็นในหุ่นจำลองของชาวนอร์เวย์แล้วว่า การกำเนิดไซโคลน เกิดขึ้นเมื่อพื้นหน้าของแนวปะทะอากาศ (frontal surface) ถูกบิดให้เป็นรูปของคลื่นที่ไม่ต่อเนื่อง (wave-shape discontinuity) มีองค์ประกอบหลายอย่างที่มีส่วนช่วยสร้างคลื่นในโซนของ

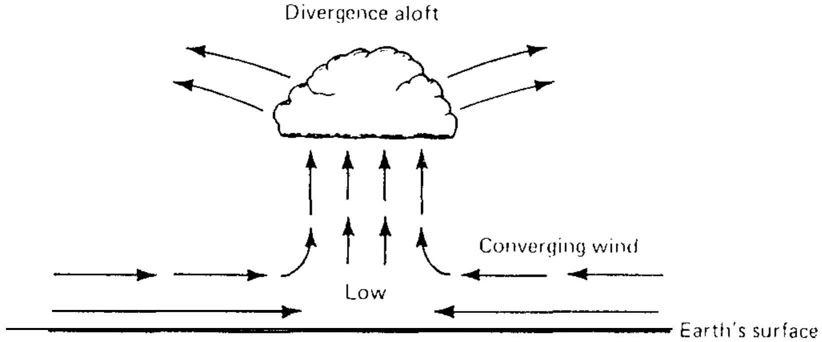
แนวปะทะอากาศ, ภูมิประเทศที่ไม่สม่ำเสมอเช่นภูเขา อุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างทะเลและพื้นดินหรืออิทธิพลของกระแสน้ำเป็นต้น และเป็นที่เชื่ออีกว่าการรบกวนของศูนย์กลางพายุหนึ่งอาจจะเริ่มต้นทำให้เกิดไซโคลนที่อื่นด้วย อย่างไรก็ตาม การเริ่มต้นของระบบไซคลอนิกสามารถอ้างได้ว่าเกิดจากการไหลของอากาศเบื้องบนเป็นส่วนใหญ่

ในสมัยเริ่มต้นของการศึกษาไซโคลนข้อมูลเกี่ยวกับธรรมชาติของการไหลของอากาศในส่วนกลางและส่วนบนของโตรโปสเฟียร์มีอยู่เพียงเล็กน้อยเท่านั้น แต่หลังจากนั้นความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดระหว่างการรบกวนที่พื้นผิวและการไหลในเบื้องบนได้ถูกสร้างขึ้น เมื่อใดก็ตามที่การไหลในเบื้องบนค่อนข้างจะเป็นเส้นตรงนั่นคือไหลจากตะวันตกไปตะวันออกก็จะมีกิจกรรมแบบไซคลอนิกที่พื้นผิวน้อยมาก แต่ในกรณีที่เมื่ออากาศในเบื้องบนเริ่มต้นวกไปเวียนมาอย่างกว้างขวางในลักษณะจากเหนือสู่ใต้ก็จะสร้างคลื่นที่มีแอมปลิจูดสูงที่ประกอบด้วยทรอฆ (trough) และริดจ์ (ridge) ซึ่งจะทำให้กิจกรรมของไซคลอนิกแรงขึ้น พร้อมกันนี้เมื่อไซโคลนที่พื้นผิวได้ก่อตัว ก็จะมีจุดศูนย์กลางอยู่ที่เบื้องล่างตรงกับแกนของลมกรดโดยมีตำแหน่งอยู่หลังทรอฆในเบื้องบนเล็กน้อย (ดูรูป 13.15)

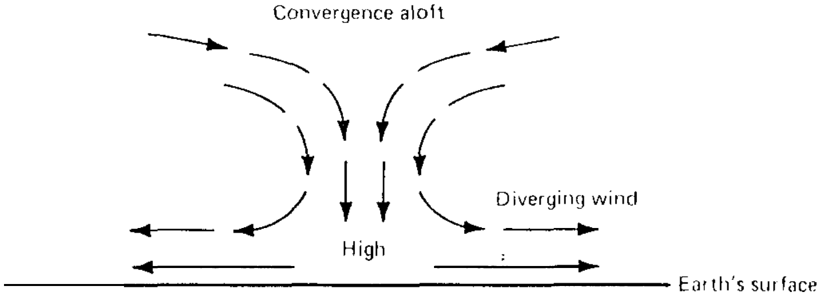


รูป 13.15 รูปภาพแสดงตำแหน่งที่สัมพันธ์กันของลักษณะรูปคลื่นในเบื้องบน และไซโคลนกับแอนติไซโคลนที่พื้นผิว

ก่อนที่จะกล่าวถึงว่าการกำเนิดไซโคลนถูกช่วยให้เกิดขึ้นด้วยการไหลของอากาศเบื้องบนอย่างไร เรามาพิจารณาถึงธรรมชาติของลมไซโคลนและแอนติไซคลอนิก เราทราบแล้วว่าอากาศที่ไหลอยู่รอบบริเวณความกดต่ำจะพัดเข้าสู่ภายใน และนำไปสู่การพัดสอบเข้าหากันของมวลอากาศ ผลของการสะสมของอากาศจะทำให้มีความกดเพิ่มขึ้นติดตามมา ดังนั้นเราอาจจะคาดหมายว่าระบบความกดต่ำที่พื้นผิวจะถูกเติมอย่างรวดเร็วและถูกขจัดหายไป อย่างไรก็ตามกระบวนการที่กล่าวนี้ไม่เกิดขึ้นแต่ตรงกันข้าม ไซโคลนจะคงอยู่เหมือนเดิมระยะเวลาหนึ่ง และเพื่อที่จะให้การคงอยู่นี้เกิดขึ้น การพัดสอบเข้าหากันที่พื้นผิวจะต้องชดเชยโดยมวลที่พัดไหลออกในระดับเบื้องบน (ดูรูป 13.16) และตราบใดที่การพัดลู่ออกในเบื้องบนยังมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าการพัดสอบในเบื้องล่างที่พื้นผิวบริเวณความกดต่ำซึ่งประกอบด้วยการคอนเวอร์เจนซ์ก็ยังคงอยู่ได้



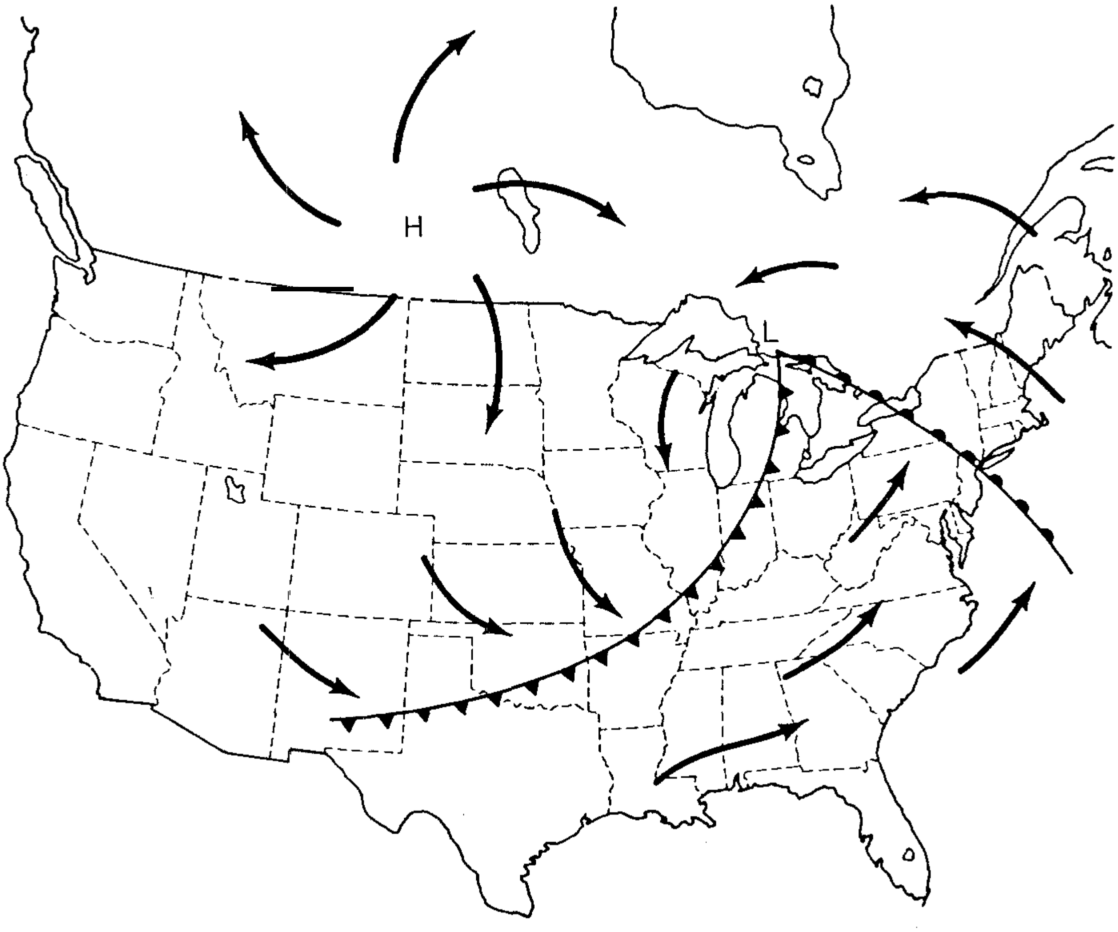
(a)



(b)

รูป 13.16 ลักษณะของอากาศที่ไหลในไซโคลนและแอนติไซโคลน (a) การพัดสอบเข้าหากันและอากาศที่ไหลขึ้นซึ่งร่วมด้วยในบริเวณความกดต่ำ (ไซโคลน) (b) บริเวณความกดสูงหรือแอนติไซโคลนจะร่วมด้วยอากาศที่จมลงและลมซึ่งพัดลู่ออก

เนื่องจากไซโคลนเป็นผู้ทำให้เกิดอากาศที่เป็นพายุมันจึงได้รับความสนใจมากกว่าส่วนที่คู่กันคือแอนติไซคลอนิก (หรือบริเวณความกดสูง) ความสัมพันธ์ที่ใกล้ชิดที่เกิดขึ้นทำให้ระบบความกดอากาศทั้งสองยากที่แยกการกล่าวถึงใด ๆ ออกจากกัน ตัวอย่างเช่นอากาศที่พื้นผิวซึ่งเลี้ยงไซโคลนนั้นโดยทั่วไปมีแหล่งกำเนิดดั้งเดิมจากการไหลออกของแอนติไซโคลนนั่นเอง ผลก็คือทั้งไซโคลนและแอนติไซโคลนจะพบอยู่ใกล้เคียงซึ่งกันและกัน (ดูรูป 13.17) เช่นเดียวกันแอนติไซโคลนก็ขึ้นกับการไหลในเบื้องบนเพื่อรักษาการพัดหมุนเวียนของตัวมันเอง ในกรณีนี้การพัดลู่ออกที่พื้นผิวจะสมดุลโดยการพัดสอบเข้าหากันที่เกิดขึ้นในเบื้องบนและจะทำให้เกิดการจมลงของอากาศ (ดูรูป 13.17)

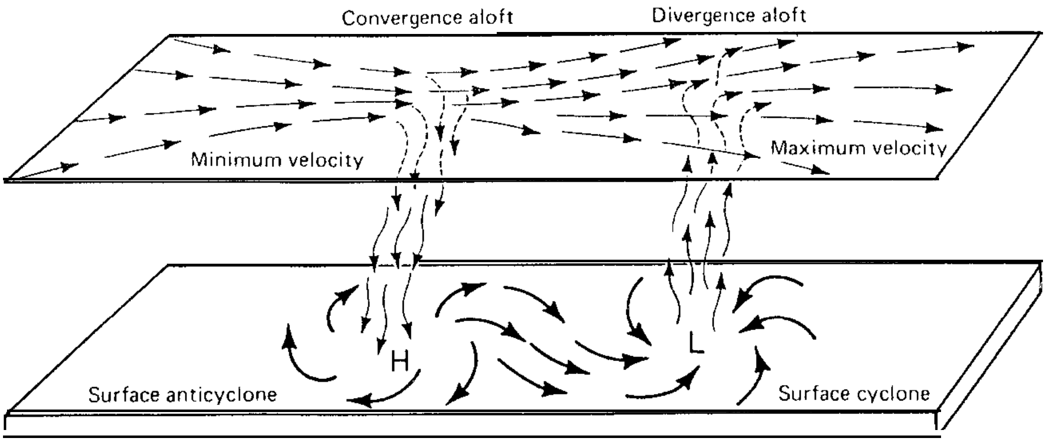


รูป 13.17 รูปแสดงการหมุนเวียนที่พื้นผิวที่ประกอบด้วยไซโคลนและแอนติไซโคลนที่อยู่ใกล้กัน

จะเห็นว่าการไหลในเบื้องบนเป็นสิ่งจำเป็นที่จะรักษาให้เกิดการหมุนวนแบบไซคลอนิกและแอนติไซคลอนิก ในการเจริญเติบโตของไซโคลนนั้นนับได้ว่าเป็นบทบาทของการพัดลู่ออกในเบื้องบนซึ่งมีส่วนสำคัญมากที่สุด ในลมกรดการพัดลู่ออกในเบื้องบนจะสร้างสิ่งแวดล้อมที่มีสภาพ

คล้ายกับสุญญากาศบางส่วน (partial vacuum) ซึ่งจะทำให้เกิดการไหลขึ้นสู่ข้างบน ความกดที่ลดลงที่พื้นผิวอันเกิดจากการพัดลู่ออกในข้างบนก็จะชักนำให้เกิดการไหลเข้าสู่ภายในที่พื้นผิว แรงโคริโอลิสก็จะมีบทบาทที่จะทำให้เกิดการพัดเป็นรูปวงกลมขึ้น

การพัดลู่ออกในเบื้องบนไม่ได้เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ออกของอากาศในทิศตามเข็มนาฬิกาอย่างที่เกิดในแอนติไซโคลนที่พื้นผิว แต่ตรงกันข้ามการไหลในเบื้องบนเกือบจะเป็นจีโอสโตรฟิกทางเดินของมันจะพัดจากตะวันตกไปตะวันออกและมักจะมีรูปร่างคล้ายรูปพัด (sweeping curves) กลไกอันหนึ่งที่รับผิดชอบต่อการขนถ่าย (transport) มวลของอากาศในเบื้องบนก็คือปรากฏการณ์ที่เรียกว่าสปีดไดเวอร์เจนซ์ (speed divergence) เป็นที่ทราบกันว่าในบางครั้งอัตราเร็วของลมตามแนวแกนของลมกรดจะไม่คงที่ บางบริเวณจะพบอัตราเร็วสูงกว่าอีกบางบริเวณ ในการเข้าสู่โซนของลมที่มีความเร็วสูงสุด อากาศจะเพิ่มความเร่งยิ่งขึ้นดังนั้นทำให้เกิดการพัดลู่ออก (ดูรูป 13.18) และตรงกันข้ามเมื่ออากาศออกจากโซนที่มีความเร็วลมสูงสุดก็จะสุมเป็นกองโตขึ้น (พัดสอบเข้าหากัน) สถานการณ์นี้คล้ายคลึงกับสถานการณ์ที่เกิดขึ้นบนทางด่วนระหว่างด่านเก็บเงินสองด่าน ในการออกจากด่านอันหนึ่งและเข้าสู่บริเวณที่มีความเร็วสูงสุดเราจะพบว่ารถยนต์จะวิ่งลู่ออก (แผ่กว้างออก) แต่เมื่อรถยนต์ช้าลงเพื่อจะจ่ายค่าผ่านด่านอีกด่านหนึ่งก็จะทำให้เกิดการพัดสอบเข้าหากัน

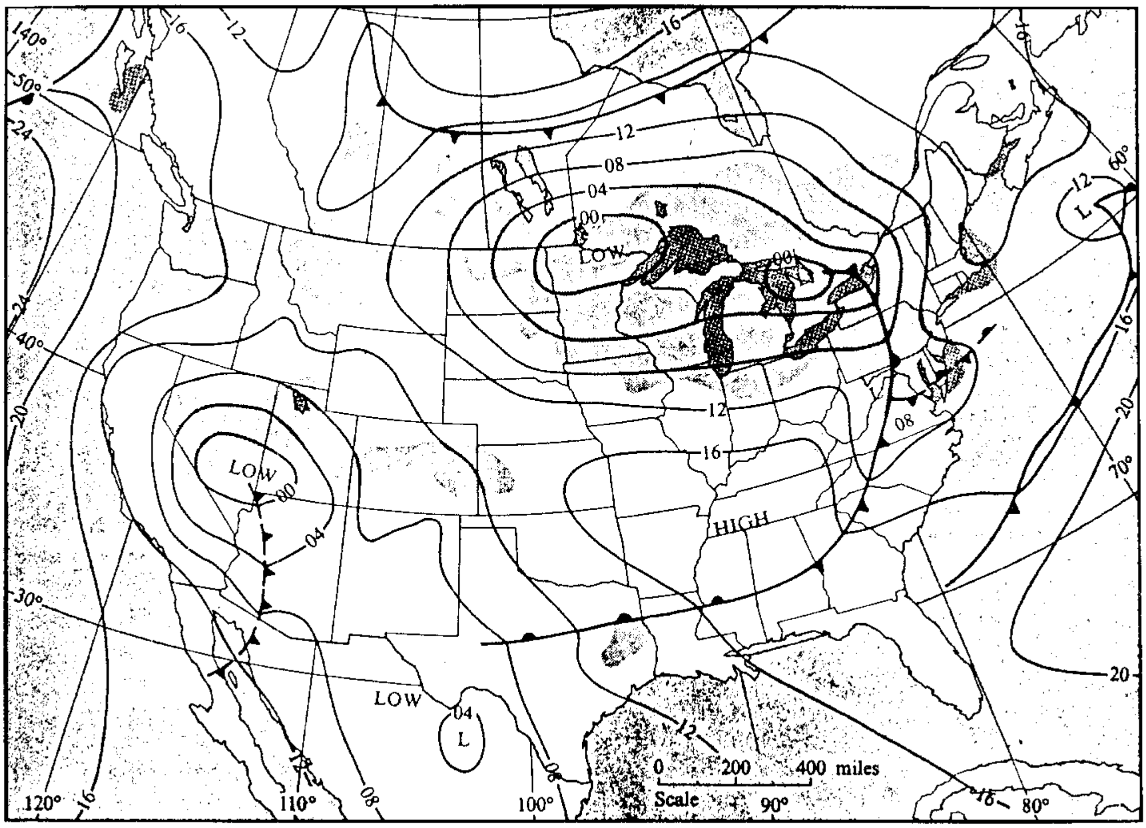


รูป 13.18 รูปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วลมในเบื้องบน และการไหลของอากาศในส่วนกลางและส่วนล่างของชั้นโตรโปสเฟียร์ โซนของมวลอากาศที่คอนเวอร์เจนซ์จะก่อตัวขึ้นที่ส่วนหลังของกระแสอากาศ (downs stream) และอยู่ถัดไปจากบริเวณข้างหน้าที่มีการไหลเร็วมากที่สุด ส่วนบริเวณที่มีการไดเวอร์เจนซ์จะเกิดขึ้นด้านหน้าของกระแสอากาศ (upstream) ซึ่งเป็นบริเวณที่ไหลเร็วมากที่สุด

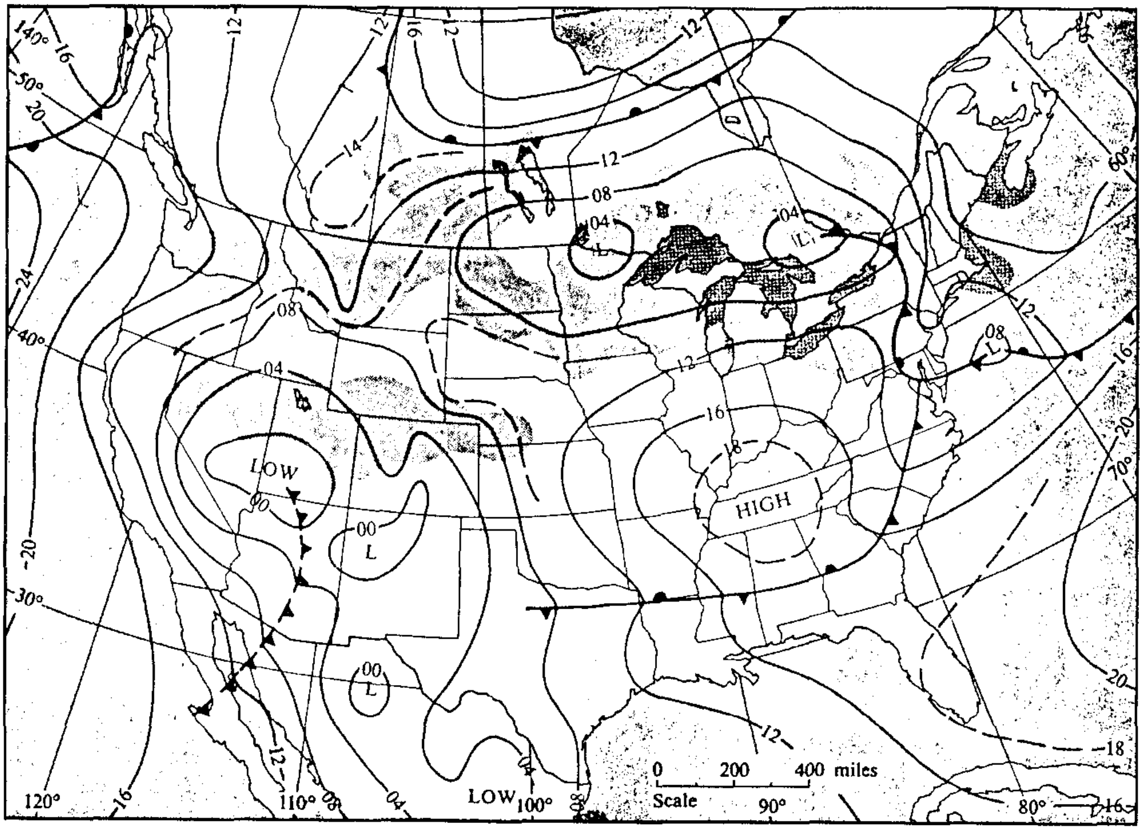
บริเวณเบื้องบนที่มักทำให้เกิดการพัดลู่ออกจะมีตำแหน่งอยู่ข้างหน้าทรอชเล็กน้อย ผลก็คือไซโคลนที่พื้นผิวมักเกิดขึ้นในเบื้องล่างตรงกับแกนของลมกรด ซึ่งเป็นลมในเบื้องบนที่ช่วยให้มันเจริญเติบโตขึ้น (ดูรูป 13.15) แต่ตรงกันข้ามโซนในลมกรดที่มีการพัดสอบเข้าหากันมักจะมีตำแหน่งอยู่ที่ริดจ์ ซึ่งเป็นด้านหลังลม การกองโตของอากาศในบริเวณของลมกรดส่วนนี้จะนำไปสู่การจมลงและเพิ่มความกดที่พื้นผิว ดังนั้นจึงเป็นตำแหน่งที่มักทำให้เกิดการเจริญเติบโตของแอนติไซโคลนขึ้น

ในบางครั้งไซโคลนสามารถเกิดขึ้นได้โดยไม่มีแนวปะทะอากาศเกิดขึ้นก่อน พายุนี้จะเริ่มต้นโดยการพัดลู่ออกซึ่งร่วมด้วยทรอชที่อยู่เบื้องบนและจะเจริญลงมายังพื้นผิว เมื่อไซโคลนที่พื้นผิวได้เกิดขึ้น มันก็จะดึงให้มวลอากาศที่มีความแตกต่างมาอยู่ด้วยกันซึ่งจะทำให้เกิดแนวปะทะอากาศขึ้น และจากจุดนี้ไประบบทั้งหมดก็จะมีวงจรชีวิตเหมือนกับเวฟไซโคลนที่ได้กล่าวมาแล้ว อย่างไรก็ตามทรอชในเบื้องบนก็ไม่ทั้งหมดที่จะทำให้เกิดไซโคลนที่พื้นผิว

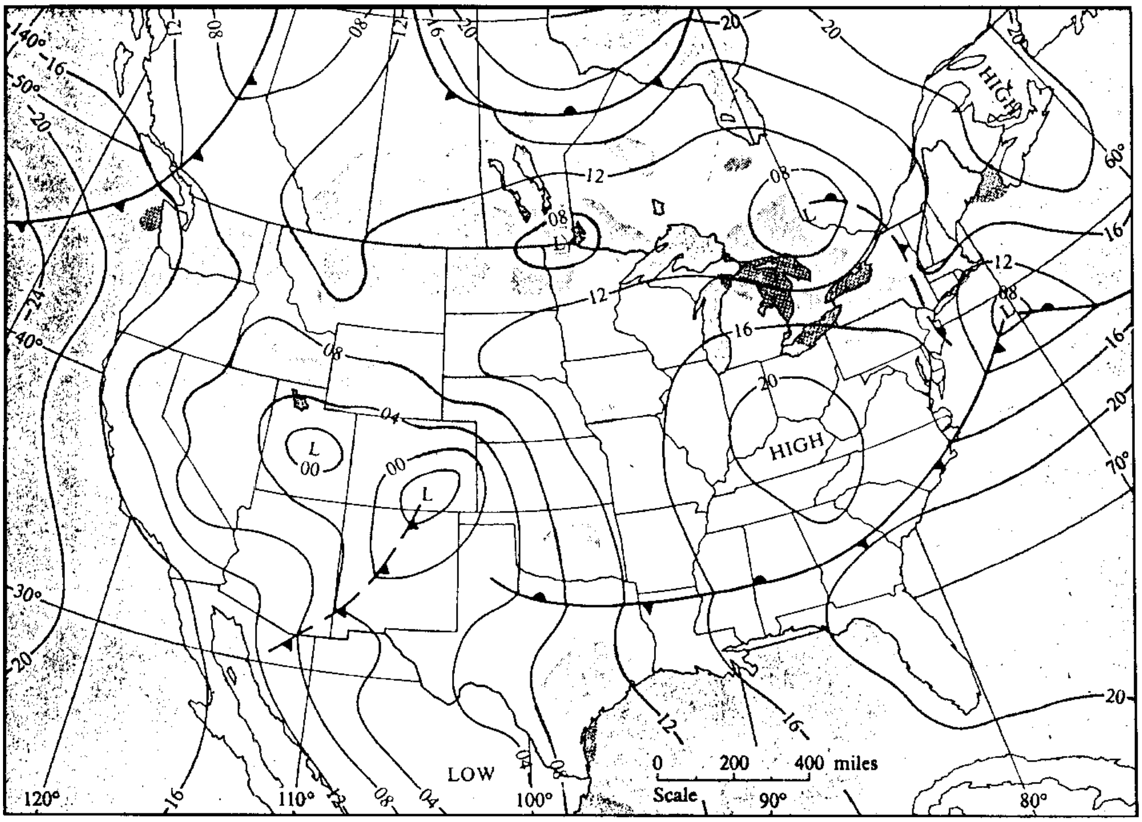
รูปในท้ายบททั้งหมดเป็นแผนที่การก่อตัวของไซโคลนในสหรัฐอเมริกาที่เกิดขึ้นจริง



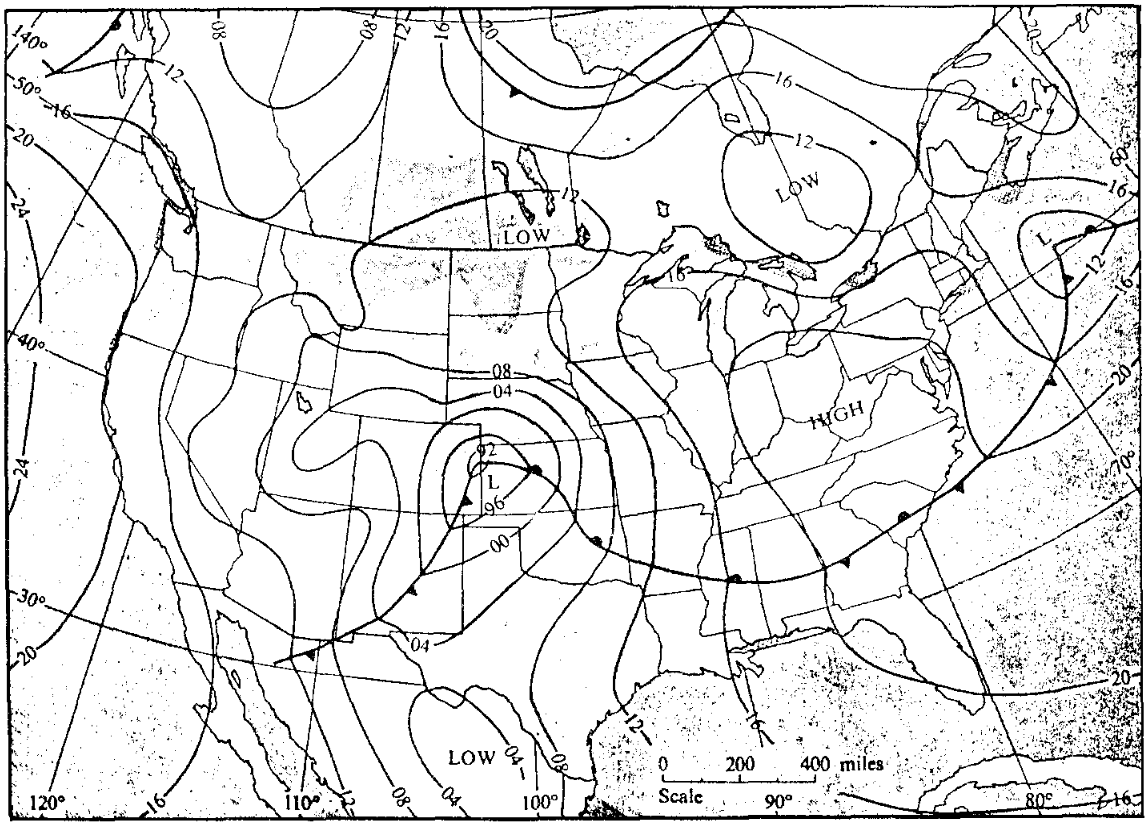
แผนที่ 1 เวฟไซโคลนก่อตัวขึ้นใกล้ ๆ กับแนวปะทะอากาศเย็นในรัฐแนวาดา (บริเวณที่มีเส้นไอโซบาร์อยู่ชิดกันบนแผนที่



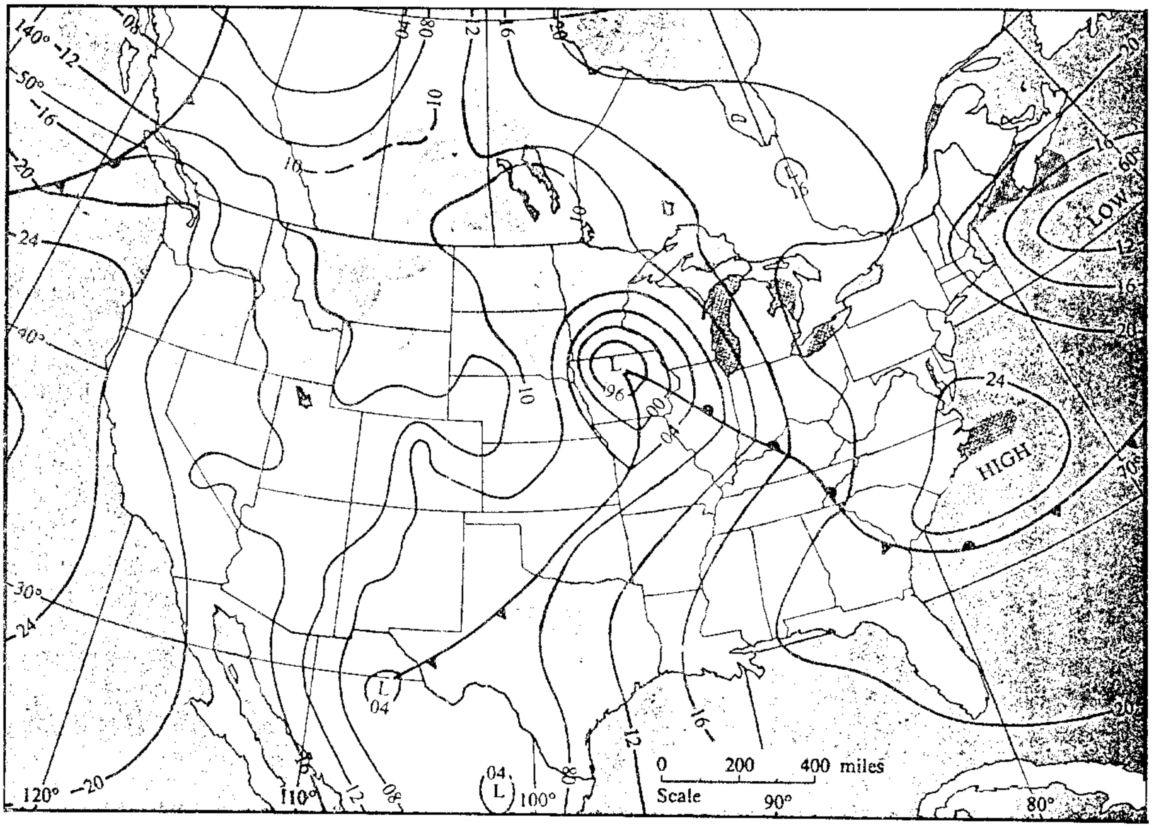
แผนที่ 2 ไซโคลนเคลื่อนที่ไปยังฝั่งตะวันออก ในขณะเดียวกับที่บริเวณความกดสูงในภาคใต้มีการเคลื่อนที่เช่นเดียวกัน

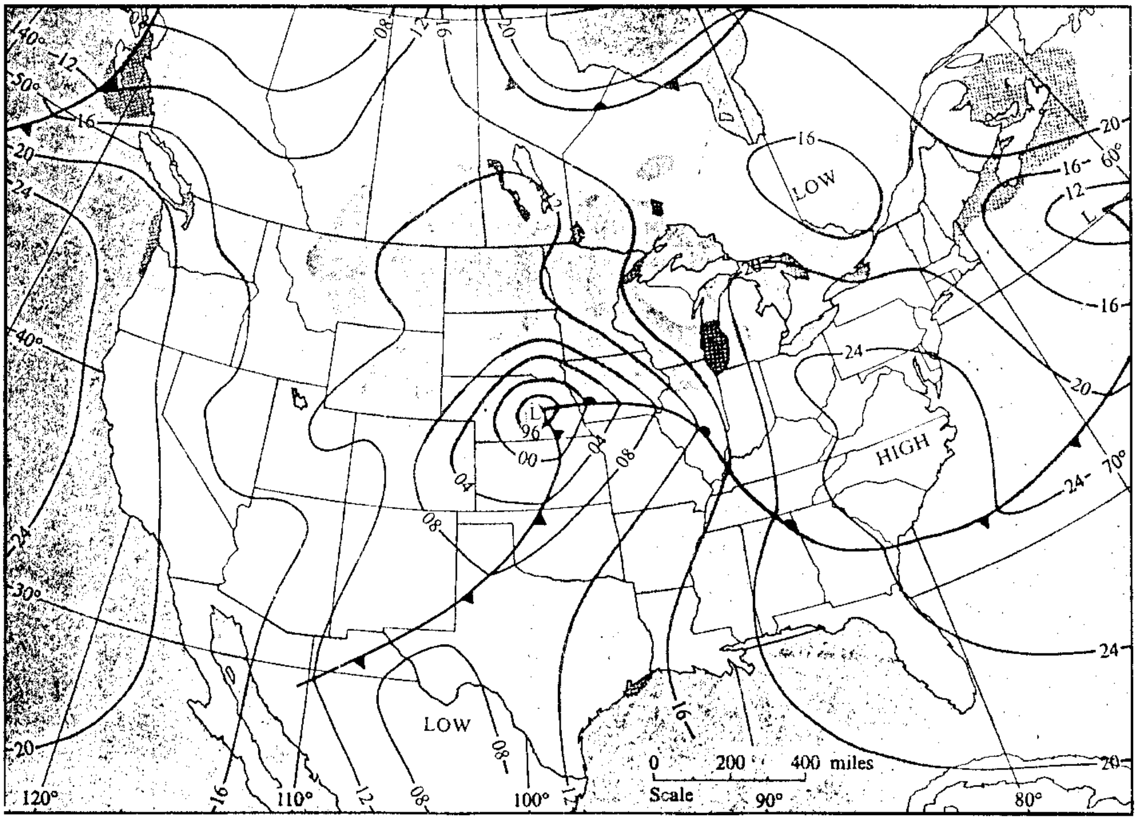


แผนที่ 3 ออคครูดชันเริ่มต้นก่อตัวขึ้น



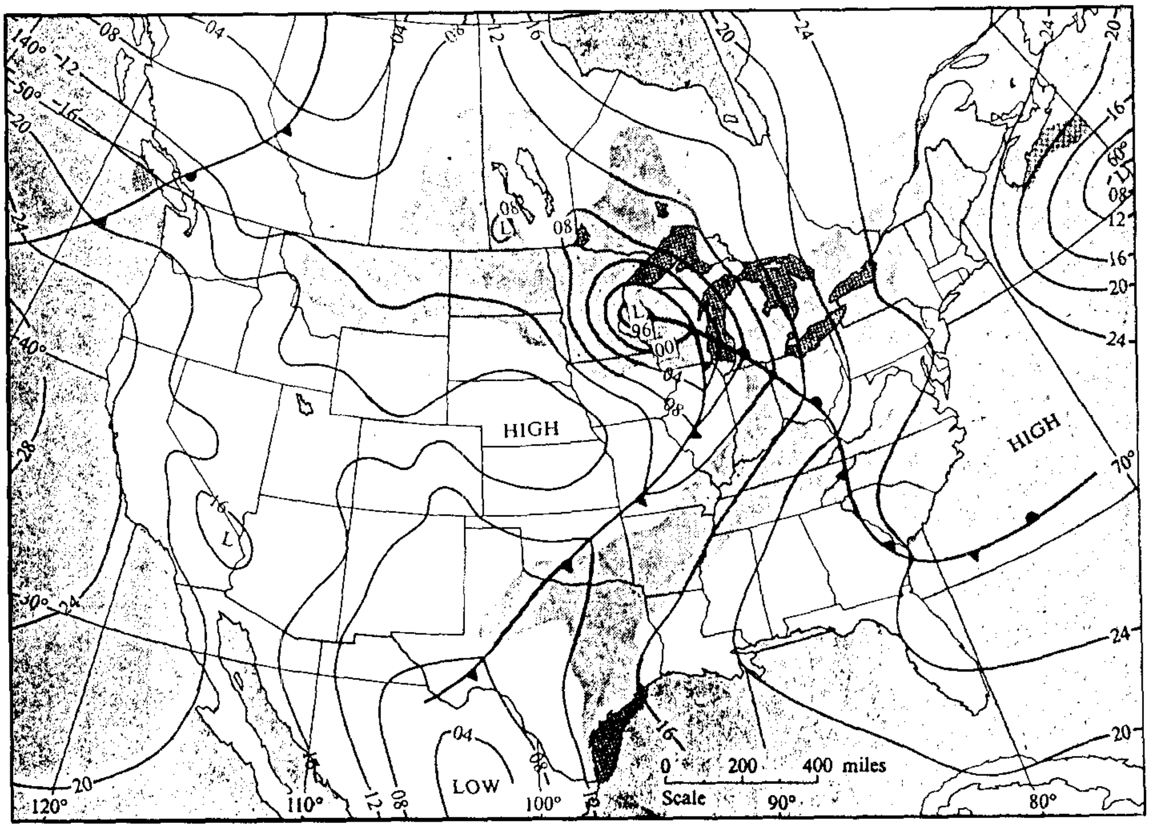
แผนที่ 4 ลักษณะคลื่นที่ก่อตัว (wave form) เพิ่มความรุนแรงขึ้น หมายเหตุมีการเปลี่ยนแปลงความกดในทั้งสองด้านของคลื่นที่ก่อตัวและรวมทั้งที่จุดยอดของสามเหลี่ยม


HIGH
LOW
0 200 400 miles
Scale
120°
110°
100°
90°
80°
30°
40°
50°
140°



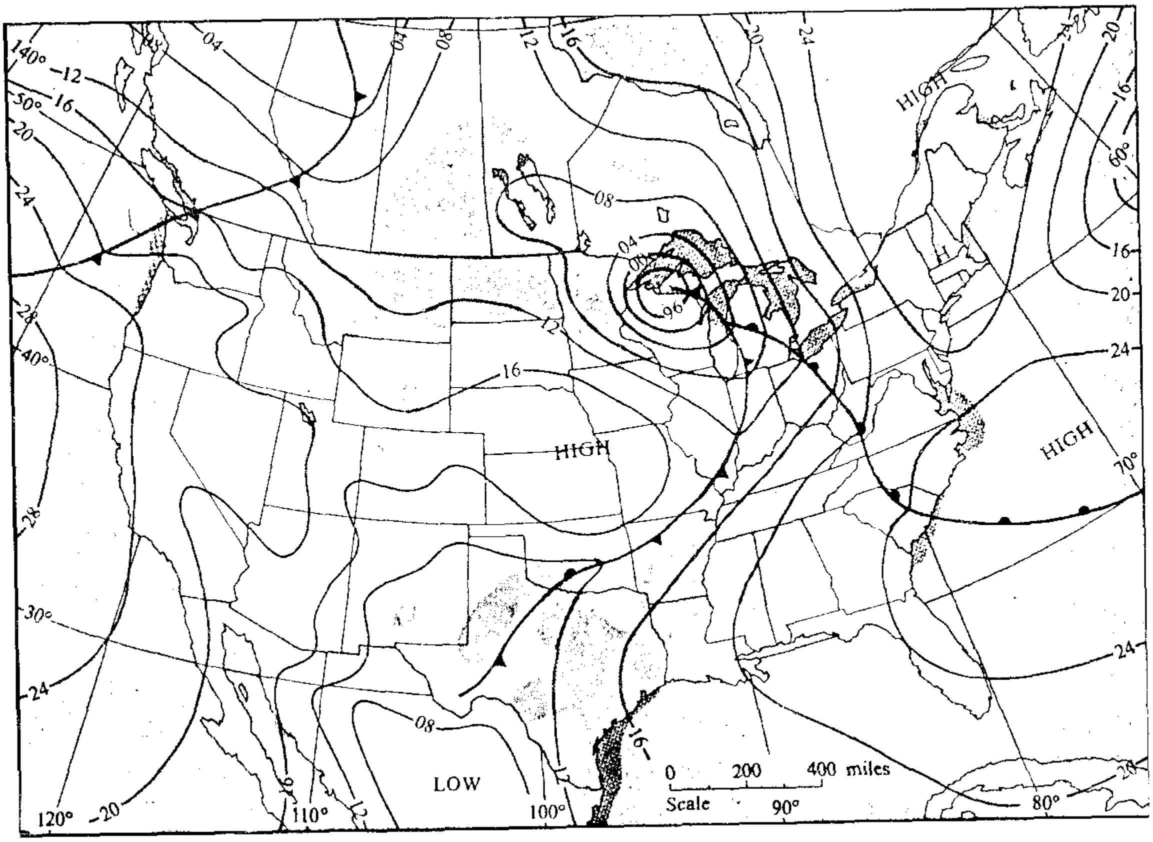
แผนที่ 5 และแผนที่ 6 (อยู่หน้าถัดไป)

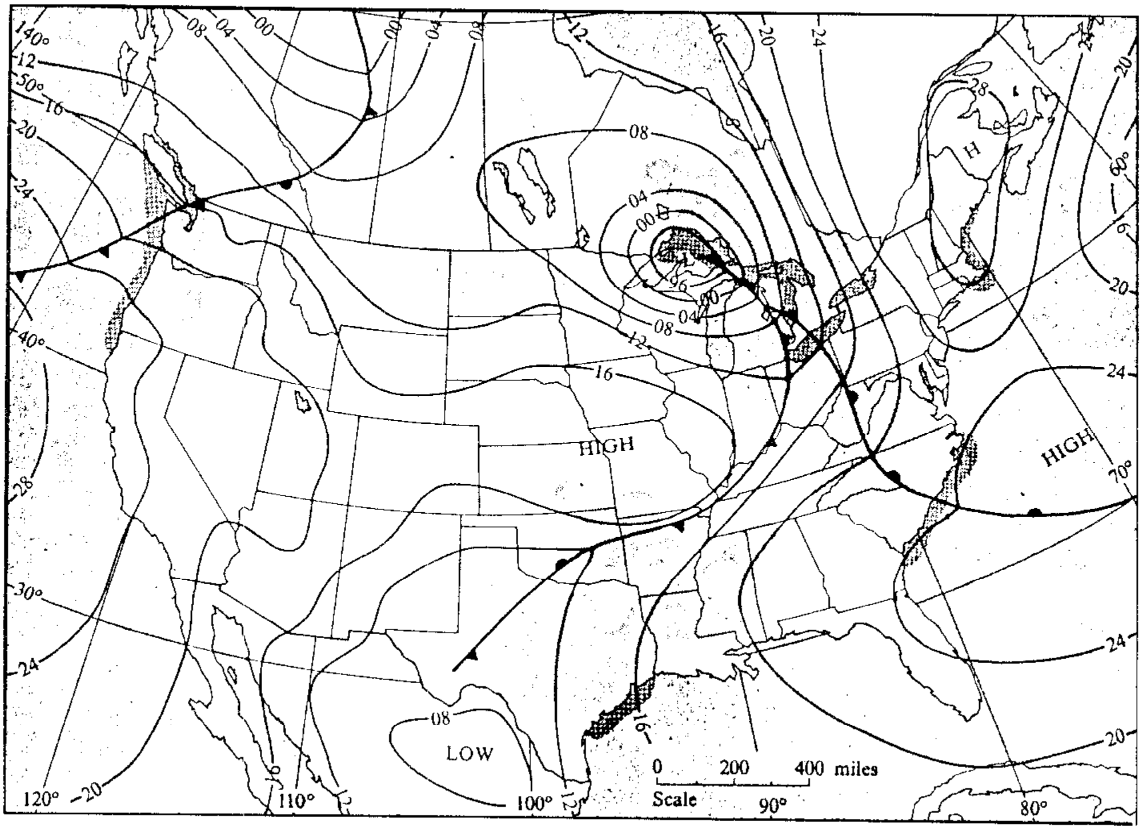
คลื่นที่ก่อตัวเพิ่มมากขึ้น มวลอากาศอุ่นถูกกักโดยการบุกรุกของอากาศเย็น บริเวณความกดสูงเริ่มต้นเคลื่อนออกจากชายฝั่งทางขวา



แผนที่ 7 และแผนที่ 8 (อยู่หน้าถัดไป)

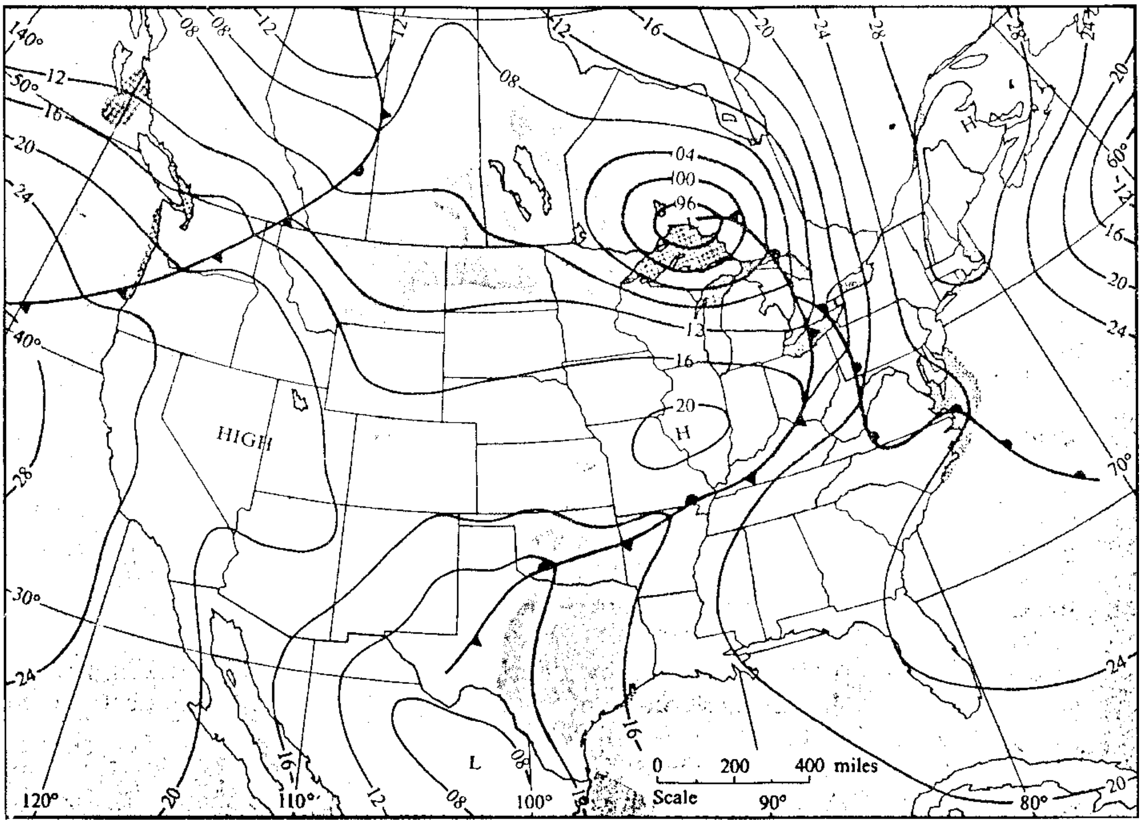
เวฟไซโคลนมีรูปร่างอย่างที่คุ้นเคย (classic form) ออคครูดชันครอบคลุมพื้นที่เป็นบริเวณกว้างโดยครอบคลุมจากเกรทเลค (Great Lakes) ไปจนถึงฝั่งตะวันออก (East)


HIGH
HIGH
HIGH
LOW
0 200 400 miles
Scale
140°
50°
40°
30°
120°
110°
100°
90°
80°
70°
60°
04
08
12
16
20
24
28
96



แผนที่ 9 และแผนที่ 10

อากาศเย็นบุกรุกครอบคลุมเป็นบริเวณกว้างจนถึงทางด้านตะวันตกของออคครูดชัน ซึ่งมีศูนย์กลางอยู่ที่เกรทเลค


HIGH
H
H
H
L
04
100
96
13
16
20
0 200 400 miles
Scale
140°
50°
40°
30°
120°
110°
100°
90°
80°
70°
60°