

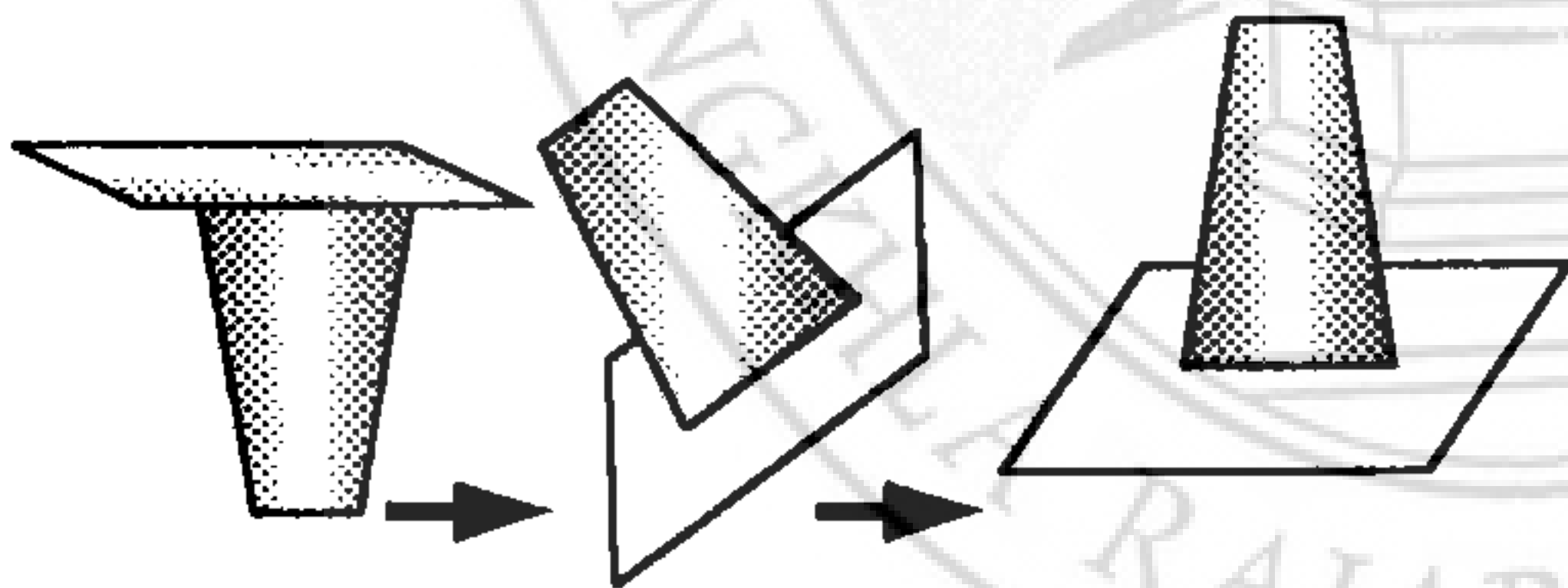
บทที่ 4

ความกดอากาศและลม

อากาศมีแรงกดกระทำต่อเราและสิ่งอื่น ๆ ทุกทิศทาง อากาศเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปสู่อีกที่หนึ่งได้เนื่องจากความกดอากาศ ณ ภูมิประเทศ 2 แห่งต่างกัน อากาศหมุนเวียนเกิดลมเป็นระบบในบริเวณต่าง ๆ มากมาย เช่น ลมบก ลมทะเล ลมภูเขา ลมมรสุม ลมสินค้า รวมทั้งลมฮือสโทรฟิค และลมเกรเดียนท์ที่เกิดจากสมดุลของแรง เราทราบขนาดของความเร็วและทิศทางที่ลมพัดได้จากเครื่องมือที่ใช้วัดลม จะได้กล่าวดังต่อไปนี้

แรงกดอากาศ

อากาศอยู่รอบ ๆ โลกได้เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกส่งแรงดึงดูดไปกระทำในทุกทิศทุกทางที่อากาศเคลื่อนที่ ทำให้อากาศออกแรงกดบนผิวพื้นได้ทุกทิศทางที่อากาศปะทะความจริงที่ว่าอากาศออกแรงกดทุกทิศทางนี้ เราอาจทดลองให้เห็นได้ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 แสดงอากาศมีแรงกดทุกทิศทาง

ใส่น้ำลงในแก้วให้เต็มปรี แล้ววางกระดาษแข็งบนปากแก้ว ริดให้กระดาษติดปากแก้วค่อย ๆ คว่ำแก้วอย่างระมัดระวังจะพบว่า กระดาษแข็งติดแน่นกับปากแก้ว ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจากแรงกดอากาศมีกำลังมากกว่าน้ำหนักของน้ำที่กดลงมา เมื่อเอียงหรือหมุนแก้วน้ำซ่า ๆ ให้หันไปทุกทิศทาง อากาศ

ที่กระทำทางด้านข้างและทางด้านใดก็ยังสามารถกดกระดาษให้ติดปากแก้วน้ำได้เช่นเดียวกับทางด้านบน แสดงว่าอากาศมีแรงกดทุกทิศทาง

แรงกดอากาศนี้เป็นไปตามกฎแรงโน้มถ่วงของเซอร์ ไอแซคนิวตัน (Sir Isaac Newton) เขียนเป็นสูตรได้ว่า

$$F = G \frac{m_E m_a}{d^2} \dots\dots\dots (4.1)$$

F คือ แรงโน้มถ่วงของโลก มีหน่วยในระบบ SI เป็น นิวตัน (Newton) ย่อ N

G คือ ค่าคงที่ของแรงโน้มถ่วงมีค่า $6.67 \times 10^{-11} \text{ N.m}^2 / \text{kg}^2$

m_E คือ มวลของโลก มีหน่วยในระบบ SI เป็น กิโลกรัม (kg)

m_a คือ มวลของอากาศมีหน่วยในระบบ SI เป็น กิโลกรัม (kg)

d คือ ระยะห่างระหว่างศูนย์กลางของโลกกับอากาศมีหน่วยในระบบ SI เป็น เมตร (m)

จากกฎแรงโน้มถ่วงของโลก บอกได้ว่า แรงโน้มถ่วงหรือแรงดึงดูดของโลกเป็นสัดส่วนกลับกับกำลังสองของระยะห่างระหว่างโลกกับวัตถุที่โลกส่งแรงดึงดูดไปกระทำ ในกรณีของอากาศ กล่าวได้ว่า โลกดึงดูดอากาศบริเวณใกล้ ๆ ผิวโลกได้มากกว่าอากาศในบริเวณที่ห่างไกลผิวโลกออกไป มีผลให้อากาศบริเวณใกล้ผิวโลกมีแรงกดมากกว่าอากาศที่ห่างไกลออกไป เราอาจพิจารณาแรงกดอากาศในรูปของความกดอากาศหรือความกดบรรยากาศ (atmospheric pressure) ได้ ดังนี้

ความกดอากาศ

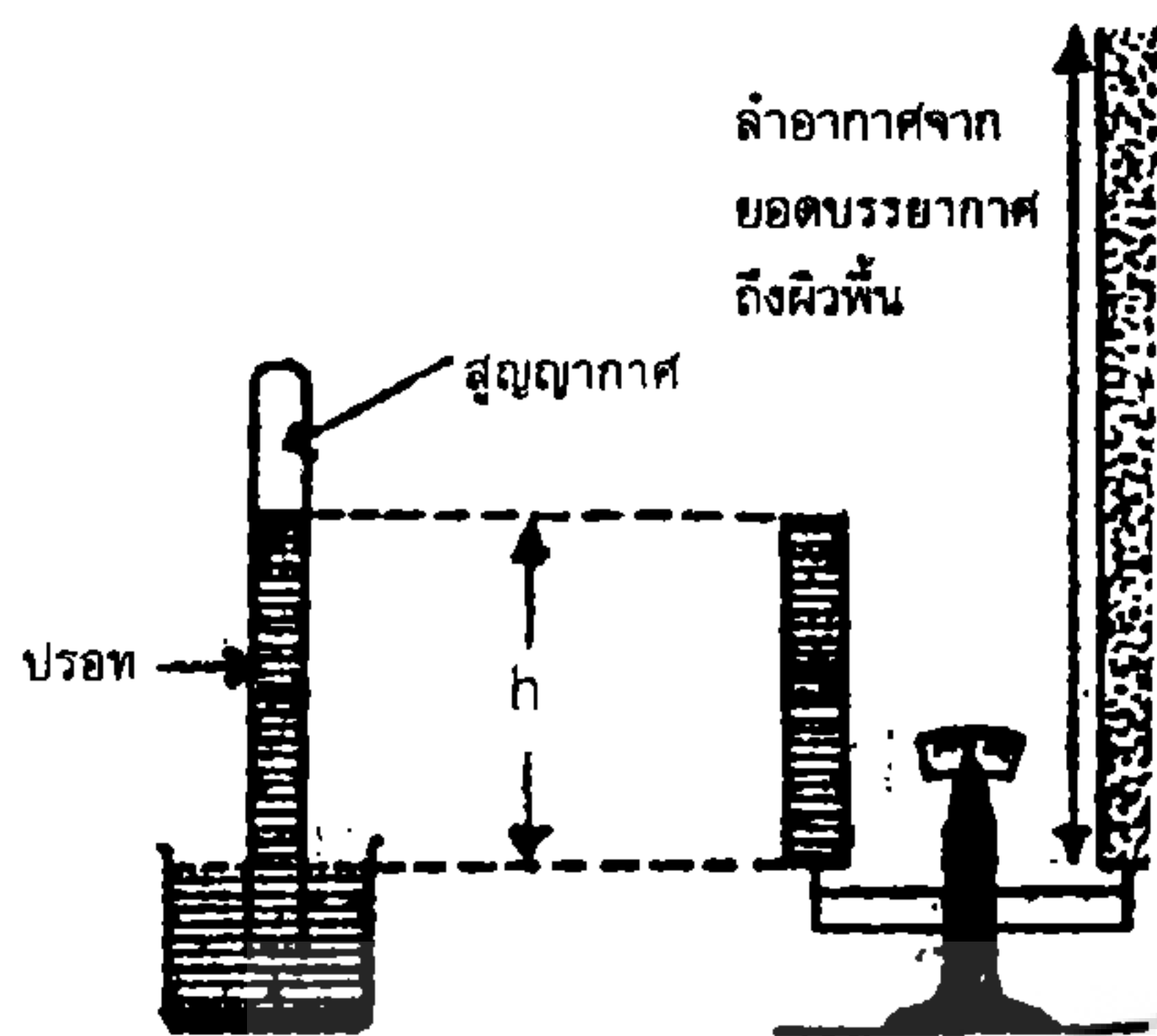
ความกดอากาศ คือ แรงกดอากาศที่กระทำกับพื้นผิวใด ๆ ในทิศทางที่ตั้งฉากกับผิวนั้นหนึ่งตารางหน่วย

อากาศที่มีความกดสูงมีเนื้อแน่นกว่าอากาศที่มีความกดต่ำ อาจกล่าวได้ว่า ความกดอากาศเป็นสัดส่วนตรงกับเนื้ออากาศ (เนื้ออากาศหรือมวลอากาศที่คิดในหนึ่งหน่วยปริมาตรเรียกว่า ความหนาแน่นของอากาศ) อากาศ ในบริเวณต่าง ๆ ณ เวลาเดียวกัน มีความกดอากาศต่างกัน หรืออากาศในสถานที่เดียวกัน แต่ในเวลาที่แตกต่างกันมีความกดต่างกัน อากาศจึงสามารถเคลื่อนที่ถ่ายเทได้ ถ้าอากาศเคลื่อนที่แนวตั้งอาจเกิดเมฆ เกิดฝน แต่ถ้าอากาศเคลื่อนที่ในแนวนอนหรือขนานกับพื้นผิวโลกจะทำให้เกิดลมชนิดต่าง ๆ

เราสัมผัสกับอากาศที่เคลื่อนที่ได้ แต่เรามองไม่เห็น การวัดหรือหาค่าความกดอากาศจึงต้องเปรียบเทียบกับความกดของสสารที่มองเห็นได้ เช่น น้ำ หรือปรอท เป็นต้น

นักการศึกษาวิทยาศาสตร์ นักวิชาการและนักอุตุนิยมวิทยา ได้ทราบค่าความกดอากาศตั้งแต่ ปีค.ศ.1643 โดยทอริเชลลี (Torricelli) ได้ทดลองและคิดประดิษฐ์เครื่องมือวัดความกดอากาศขึ้น

การทดลองของเขา มีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 4.2 หลักการของบาโรมิเตอร์ปรอท

ที่มา : ประพันธ์ เตชะกุล, วรรณกิตต์ รัตนกร

และราตรี หนูบรรจง 2516 : 192

1 บรรยากาศ เขียนย่อเป็น 1 atm (atm หรือ atmospheric pressure)

ดังนั้นความกดอากาศ 1 บรรยากาศ จึงมีค่าเทียบเท่ากับความสูงของล่ำปรอทในหลอดแก้ว 760 mm และได้เครื่องมือวัดความกดอากาศ คือ บาโรมิเตอร์ปรอท

เราอยู่ที่พื้นผิวโลกซึ่งโลกส่งแรงดึงดูดกระทำต่อตัวเรา ต่ออากาศตลอดเวลา ทำให้อากาศส่งแรงดันกระทำต่อเราด้วยในทุกทิศทางแต่เราไม่รู้สึกรู้ว่ามีแรงกระทำต่อเรา เพราะแรงกระทำทุกทิศทางพร้อม ๆ กัน ถ้าอากาศส่งแรงดันกระทำต่อพื้นที่ 1 ตารางหน่วย เรียกว่าความดันอากาศ ทางอุณหภูมิตามวิทยา เรียกว่า ความกดอากาศ เขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\text{pressure} = \frac{\text{Force}}{\text{Area}}$$

$$\text{หรือ} \quad P = \frac{F}{A} \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

ความกดอากาศมีหน่วยในระบบต่าง ๆ ดังนี้

ระบบ cgs มีหน่วยเป็น dyne/cm^2

ระบบ SI มีหน่วยเป็น N/m^2

ระบบอังกฤษ มีหน่วยเป็น lb/in^2 lb คือปอนด์ in คือ inch หรือนิ้ว

อุณหภูมิตามวิทยาใช้หน่วยความกดอากาศ ดังนี้

1. มิลลิเมตรของปรอท (mm of Hg) หรือ ทอร์ (Torr) เพื่อเป็นเกียรติแก่ ทอริเชลลี

2. มิลลิบาร์ (millibar คือ mb) หรือ เฮกโตพาสคาล (hecto Paskal คือ hPa) เพื่อเป็น

เกียรติแก่ พาสคาล ที่ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับความดันของของไหล เช่น น้ำ และอากาศ

เขาได้บรรจุปรอทจนเต็มหลอดแก้วที่มีพื้นที่หน้าตัด 1 cm^2 ยาวประมาณ 100 cm แล้วคว่ำลงในอ่างปรอท เขาสังเกตเห็นปรอทในหลอดแก้วลดลงถึงระดับหนึ่ง และคงที่ที่ระดับนั้น วัดความสูงของล่ำปรอทเป็น 76 cm หรือ 760 mm และเกิดที่ว่างด้านบนเป็นสุญญากาศ เขาได้ทำการทดลอง ณ ระดับน้ำทะเลปานกลาง (mean sea level) และอุณหภูมิอากาศขณะทำการทดลองเป็น 0°C ความกดอากาศ ณ ระดับน้ำทะเลปานกลางที่อุณหภูมิ 0°C เรียกว่า ความกด

ความกด 1 บรรยากาศ ระหว่าง มิลลิเมตรของปรอทกับมิลลิบาร์สัมพันธ์กันดังนี้

จาก $P = \frac{F}{A}$ $\therefore F = mg$

$\therefore P = \frac{mg}{A}$

$\therefore P = \frac{mgh}{Ah}$ $\therefore Ah = V$ และ $\rho = \frac{m}{V}$

จะได้ $P = \rho gh$ (4.3)

ρ คือ ความหนาแน่นของปรอทที่ 0 °C มีค่า 13.5951 g/cm³

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง มีค่า 980.66 cm/s²

h คือ ความสูงของปรอทในหลอดแก้วบารอมิเตอร์ มีค่า 76 cm

แทนค่าเหล่านี้ในสูตร 4.3 คือ $P = \rho gh$ จะหาค่า P ได้ดังนี้

$$P = (13.5951 \text{ g/cm}^3)(980.66 \text{ cm/s}^2)(76 \text{ cm})$$
$$P = 1.0132 \times 10^6 \text{ (g.cm/s}^2\text{) / cm}^2$$
$$P = 1.0132 \times 10^6 \text{ dyne/cm}^2 \therefore 10^3 \text{ dyne/cm}^2 = 1 \text{ mb}$$

$\therefore P = 1.0132 \times 10^3 \text{ mb}$ หรือ 1,013.2 mb

นั่นคือ ความกด 1 บรรยากาศ = 760 Torr = 1,013.2 mb หรือ 1,013.2 hPa

หมายเหตุ ทางอุตุนิยมวิทยาจะใช้หน่วย Torr แทน mm of Hg และใช้หน่วย hPa แทน mb

เครื่องมือวัดความกดอากาศ

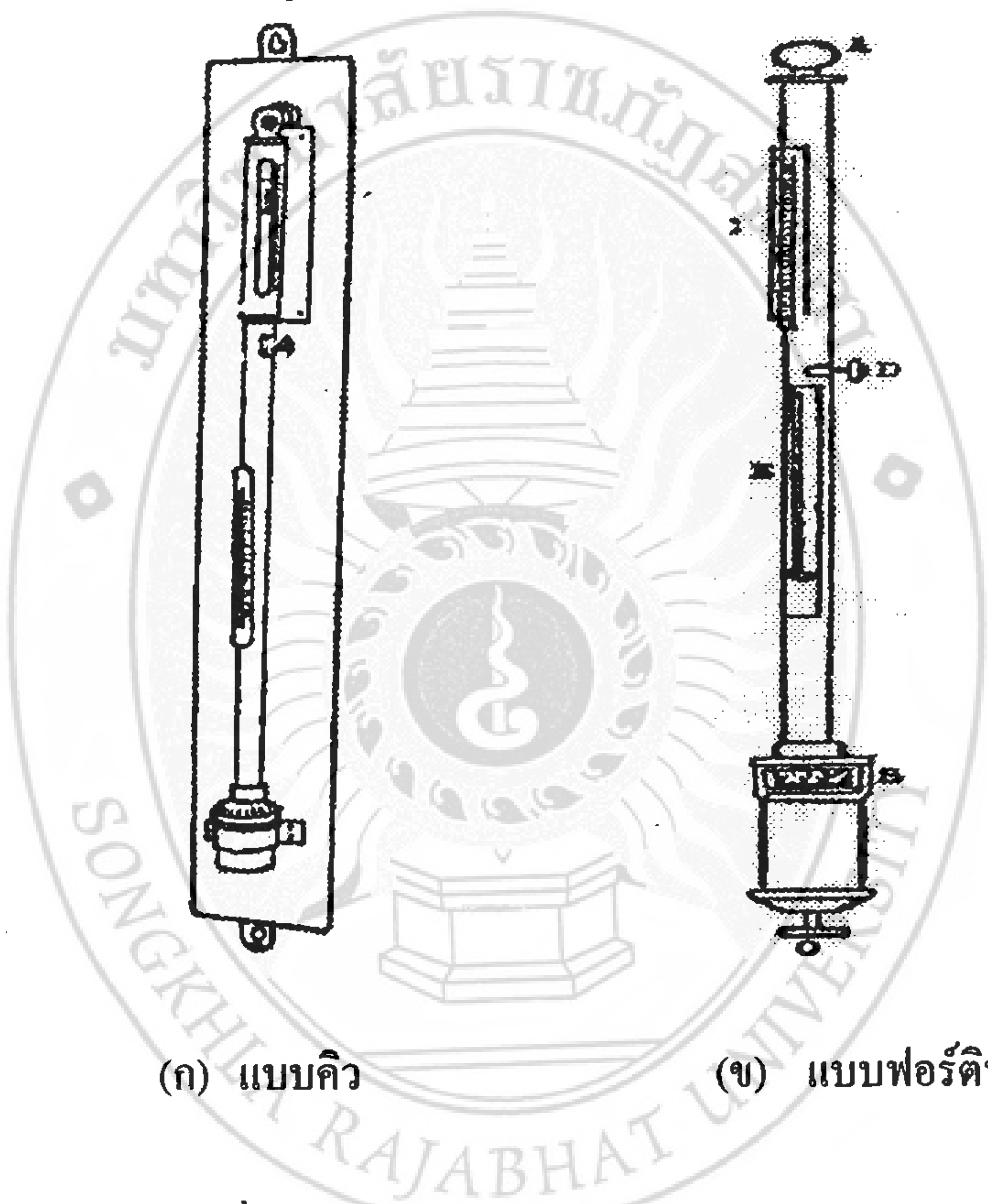
เพื่อให้ได้ค่าความกดอากาศที่ถูกต้องจึงจำเป็นต้องมีเครื่องมือสำหรับวัดความกดอากาศ คือ บารอมิเตอร์แบบต่าง ๆ ที่ใช้งานทางอุตุนิยมวิทยา เช่น บารอมิเตอร์ปรอท บารอมิเตอร์แบบแอนเนอรอยด์ และบารोगราฟ แต่ละชนิดมีลักษณะดังต่อไปนี้

1. บารอมิเตอร์ปรอท

บารอมิเตอร์ปรอท มีปรอทบรรจุในหลอดแก้ว ซึ่งสวมติดอยู่กับกระปุกที่ใส่ปรอทไว้เต็ม ปลายหลอดแก้วด้านบนเป็นสุญญากาศ บารอมิเตอร์ปรอทมีเวอร์เนีย จึงอ่านค่าทศนิยมได้ และมีเทอร์มอมิเตอร์ติดไว้ประจำเครื่อง สำหรับวัดอุณหภูมิของเครื่อง บารอมิเตอร์ปรอทมี 2 แบบ คือ แบบคิ้วและแบบฟอร์ดิน แต่ละแบบมีลักษณะดังนี้

1.1 บารอมิเตอร์ปรอทแบบคิ้ว ดังภาพที่ 4.3 ก บารอมิเตอร์แบบคิ้วไม่มีการปรับแต่งระดับปรอทที่ผิวหน้ากระปุกปรอท

1.2 บารอมิเตอร์ปรอทแบบฟอร์ติน ดังภาพที่ 4.3 ข บารอมิเตอร์แบบฟอร์ตินนี้ที่กระปุกปรอทมีถุงหนังซึ่งสามารถแต่งให้ระดับปรอทที่กระปุกเลื่อนมาแตะเข็มงาซึ่งใช้เป็นขีด 0 ของระดับปรอทในหลอดแก้ว



(ก) แบบคิ้ว (ข) แบบฟอร์ติน

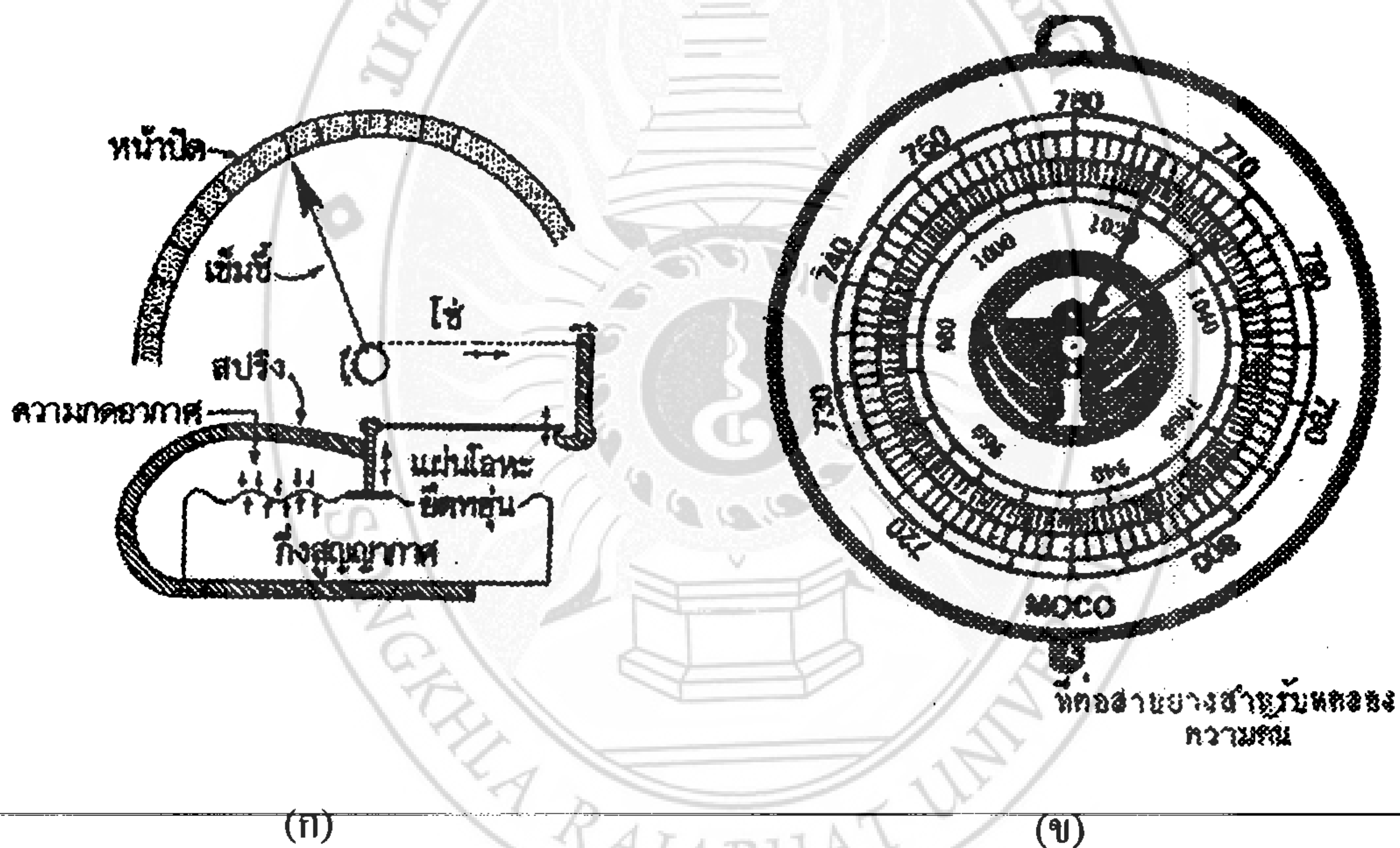
ภาพที่ 4.3 บารอมิเตอร์ปรอทแบบคิ้ว และแบบฟอร์ติน

ที่มา : ไสว สุวรรณพงศ์ 2519 : 37-38

บารอมิเตอร์ปรอทติดตั้งประจำสถานีตรวจ เมื่ออ่านค่าความกดอากาศได้แล้ว ต้องเอาค่าที่อ่านได้หักแก้ เพื่อหาค่าความกดอากาศที่ระดับน้ำทะเลปานกลาง เพราะต้องการจะให้ค่าของความกดอากาศ ณ ระดับเดียวกัน จึงใช้เกณฑ์แก้ปานกลาง +1 มิลลิเมตร ทุก ๆ ความสูงจากระดับน้ำทะเล 11 เมตร หรือ 0.3 มิลลิบาร์ทุก ๆ ความสูงจากระดับน้ำทะเล 1 ฟุต

2. บารอมิเตอร์แบบแอนิรอยด์

บารอมิเตอร์แบบแอนิรอยด์มีส่วนประกอบหลักดังภาพที่ 4.4 ก และ ข คือ เป็น คลັບแบน ด้านบนและด้านล่างทำเป็นลูกฟูก ภายในสูบล้ออากาศออกเกือบหมด (กึ่งสุญญากาศ) เพื่อให้การอ่านค่าความกดอากาศไม่เปลี่ยนแปลงมากกว่า 0.5 มิลลิบาร์ เมื่ออุณหภูมิอากาศ เปลี่ยนไป 30 องศาเซลเซียส) แล้วบักกรีสนิท มีแผ่นโลหะค้ำให้คลັบโป่ง และมีสปริงติดกับ ก้านต่อไปยังเข็มชี้ ขณะที่ความกดอากาศเพิ่มขึ้น อากาศจะกดคลັบลูกฟูกให้แฟบลง และเมื่อ ความกดอากาศลดลง คลັบลูกฟูกจะโป่งพองขึ้น การที่คลັบแฟบหรือโป่งจะทำให้สปริงค้ำและ ค้านแผ่นโลหะถ่ายทอดแรงไปยังโซ่ ให้โซ่ค้ำและคันโคนเข็ม ปลายเข็มจะชี้ที่หน้าปัด จึงอ่านค่า ความกดอากาศในขณะนั้นได้



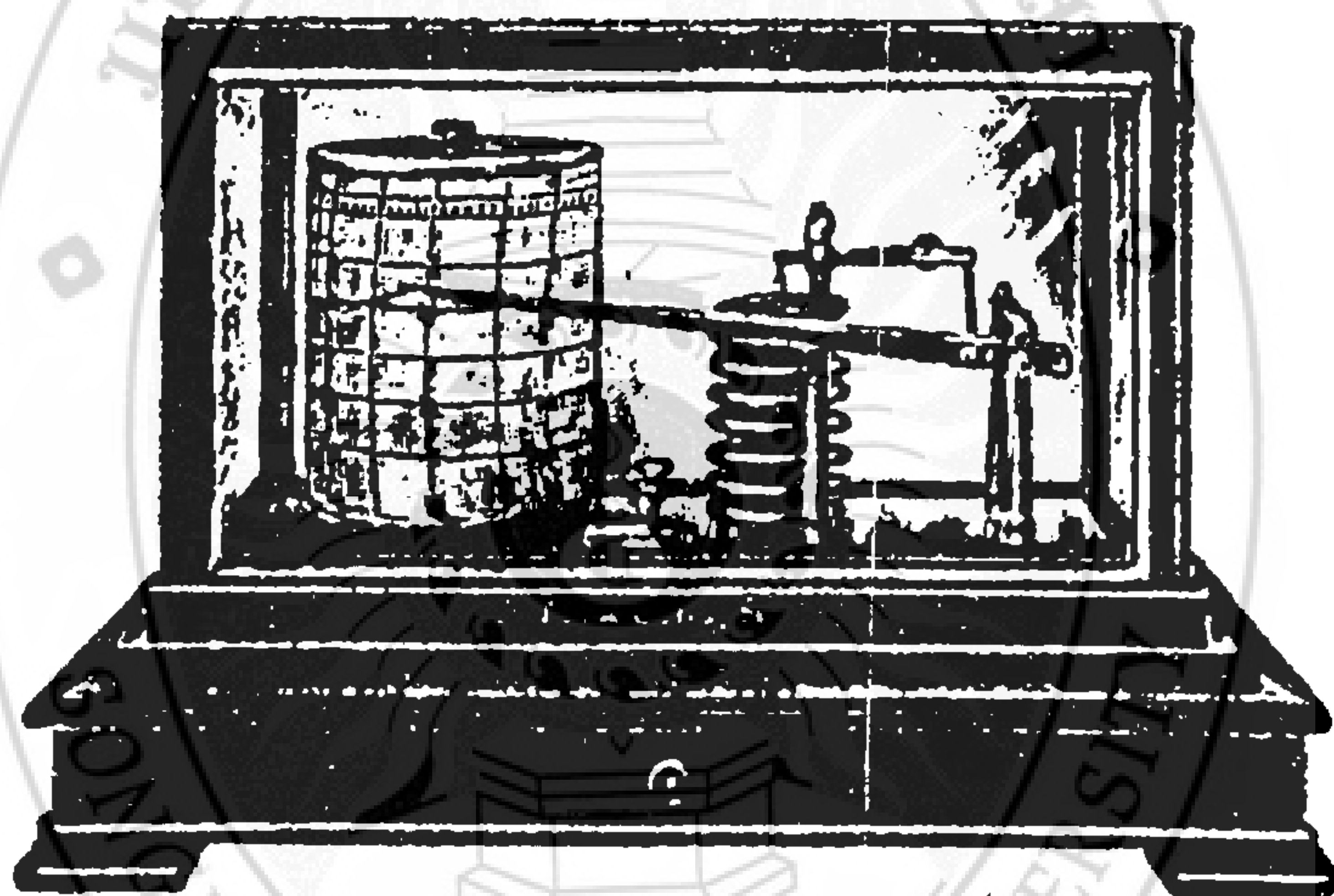
ภาพที่ 4.4 บารอมิเตอร์แบบแอนิรอยด์ (ก) แสดงส่วนประกอบภายใน และ (ข) แสดงหน้าปัดของบารอมิเตอร์

ในภาพที่ 4.4 (ข) ตัวเลขสเกล ตั้งแต่ 710 ถึง 800 บอกค่าความกดอากาศเป็น มิลลิเมตรของปรอท หรือทอร์ ส่วนด้านใน มีสเกล ตั้งแต่ 940 ถึง 1,060 บอกค่าความกดอากาศ เป็น มิลลิบาร์หรือ เฮกโตพาสคาล

บารอมิเตอร์แบบแอนิรอยด์อ่านค่าใช้งานได้โดยตรง และพกพาไปใช้ที่อื่นได้สะดวกกว่าแบบปรอท แต่สเกลหยานกว่าแบบปรอท อย่างไรก็ตาม จากความรู้ที่ว่า ภูมิประเทศที่สูงขึ้นความกดอากาศลดลง ได้มีผู้ดัดแปลงบารอมิเตอร์แบบแอนิรอยด์เป็นเครื่องมือสำหรับใช้วัดความสูง เรียกว่า แอลติมิเตอร์ (altimeter) ติดตั้งในเครื่องบิน เพื่อจะได้ทราบว่าขณะที่เครื่องบินอยู่กลางอากาศนั้นสูงจากระดับน้ำทะเลเท่าใด

3. บารอกราฟ

บารอกราฟเป็นเครื่องมือที่บันทึกความกดอากาศไว้ได้ทุก ๆ ค่าที่ได้ทำการตรวจวัดไว้ ตลอดวัน หรือตลอดสัปดาห์ ตามชนิดของกระดาษกราฟ



ภาพที่ 4.5 บารอกราฟ

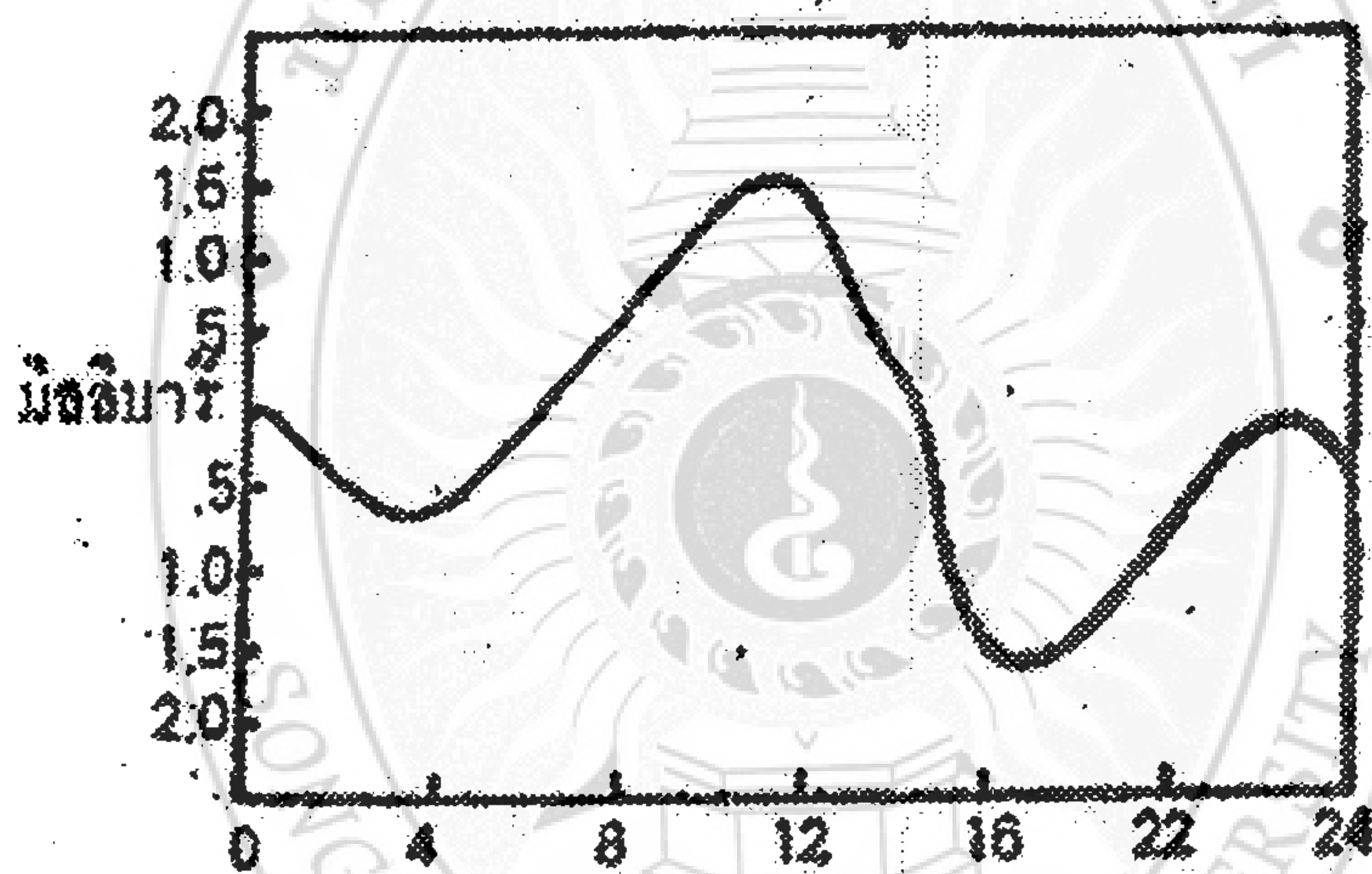
ที่มา : ไสว สุวรรณพงศ์ 2519 : 42

บารอกราฟมีส่วนประกอบหลักดังภาพที่ 4.5 คือ มีตลับลูกฟูกสุญญากาศซ้อนกันประมาณ 6 – 10 ตลับ เพื่อให้ไวต่ออากาศที่มีความกดมากขึ้น และผลิตขนาดเล็กกว่าใช้ตลับลูกฟูกเพียงตลับเดียว อาการแฟบเข้าและโป่งออกของตลับสุญญากาศชุดนี้ติดต่อกันไปตามเครื่องกระเดื่องกลไกจนถึงแขนปากกา ตัวปากกาคืออยู่ที่ปลายแขน เป็นอู่เหล็กปลายแหลมใช้หมึกผสมกลีเซอรินใส่ในอู่ปากกา หมึกชนิดนี้มีสมบัติไม่แข็งในความเย็นมาก ๆ และไม่

เหนียวหนืด อาการเคลื่อนไหวของกระดิ่งกลไกทำให้ปากกาเลื่อนขึ้นลง โดยมีโคนของแขนปากกาเป็นจุดหมุนตามความเปลี่ยนแปลงของความกดอากาศ ปากกาจะขีดบนกระดาษกราฟซึ่งสวมแนบสนิทกับกระบอกกลานนาฬิกา การทำงานของบารอกราฟจะได้ค่าความกดอากาศต่าง ๆ ต่อเนื่องตลอดเวลา 1 วัน หรือ 1 สัปดาห์ ขึ้นอยู่กับชนิดของเครื่องมือ

ถ้าต้องการค่าความกดอากาศที่ถูกต้องแม่นยำมากกว่าค่าที่อ่านได้จากบารอกราฟธรรมดา ก็ให้อ่านจากเครื่องมือ ไมโครบารอกราฟ ซึ่งมีจำนวนตลับลูกฟูกมากกว่า มีขนาดของลูกฟูกโตกว่า และกระดิ่งกลไกทำงานไวกว่า บารอกราฟธรรมดา

กระดาษกราฟแบบ 1 วัน ที่ใช้ในทางอุตุนิยมวิทยา จะได้ค่าความกดอากาศเปลี่ยนแปลงประจำวัน ดังภาพที่ 4.6 ซึ่งมีความหมายดังนี้



ภาพที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงความกดอากาศประจำวัน

ที่มา : ประพันธ์ เติละกุล, วรรณกิตต์ รัตนกร และราตรี หนูบรรจง 2516 : 195

ความกดอากาศจะค่อย ๆ สูงขึ้น ตั้งแต่เวลา 04.00 นาฬิกาเป็นต้นไป จนกระทั่งมีค่าสูงสุดเมื่อถึงเวลาประมาณ 10.00 นาฬิกา

ต่อจากนั้นความกดอากาศจะค่อย ๆ ลดลง และลดต่ำที่สุดเมื่อเวลาประมาณ 16.00 นาฬิกา จากเวลาประมาณ 16.00 นาฬิกาความกดอากาศจะเริ่มสูงขึ้นอีกครั้งเรื่อย ๆ จนถึงเวลาประมาณ 22.00 นาฬิกาความกดอากาศจะลดลงจนถึงเวลาประมาณ 04.00 นาฬิกา

เนื่องจากลักษณะภูมิประเทศทั่วโลกแตกต่างกัน เช่น เป็นทวีป มหาสมุทร ที่ราบภูเขา เป็นต้น ความกดอากาศของภูมิประเทศดังกล่าวย่อมแตกต่างกัน การเปลี่ยนแปลง

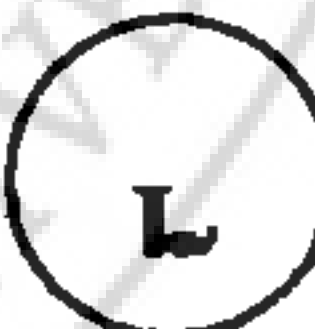
ความกดอากาศประจำวันในภูมิภาคต่าง ๆ นั้นก็จะแตกต่างกัน ทำให้ลักษณะลมฟ้าอากาศเปลี่ยนแปลง ความกดอากาศจึงเป็นสารประกอบอุตุนิยมวิทยาที่สำคัญยิ่งในการพยากรณ์อากาศ

ความกดอากาศ ณ ภูมิภาคต่าง ๆ

เราทราบมาแล้วว่าภูมิภาคต่าง ๆ ได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ไม่เท่ากัน ถ้าสังเกตในเวลาเดียวกันจะเห็นได้ชัดขึ้น ในทางอุตุนิยมวิทยา มีรายละเอียดเกี่ยวกับความกดอากาศที่ควรกล่าวถึงดังต่อไปนี้

1. บริเวณความกดอากาศต่ำและบริเวณความกดอากาศสูง

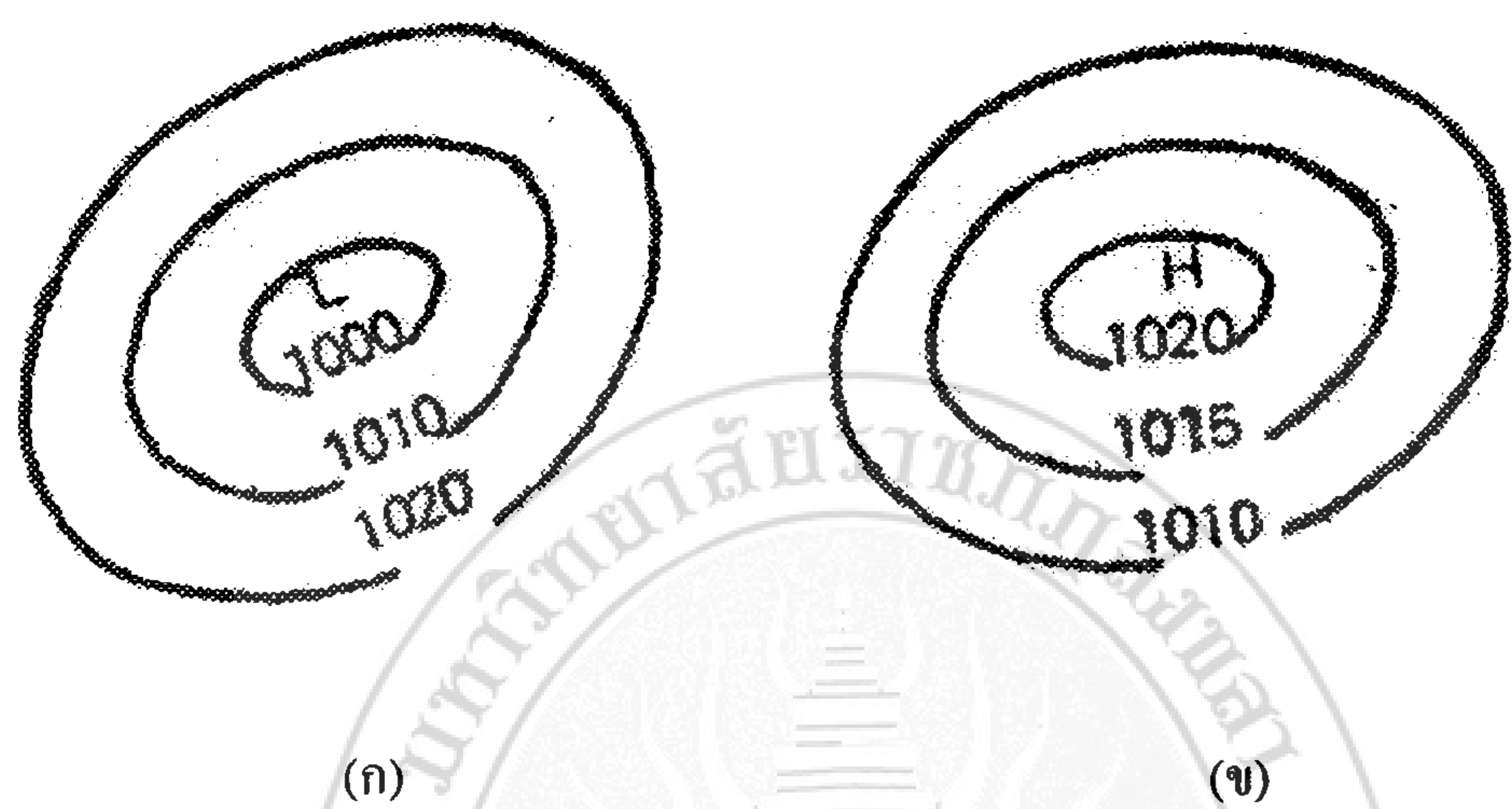
ขณะที่อากาศได้รับความร้อนมีอุณหภูมิสูงจะขยายตัวออก ทำให้เนื้ออากาศ ณ ที่แห่งนั้นบางลงกว่าเดิม ความกดอากาศก็ต่ำลง แต่ถ้าอากาศบริเวณนั้นเย็นตัวลงจะหดตัวรวมกัน ทำให้เนื้ออากาศแน่นขึ้นกว่าเดิม มีความกดอากาศสูงขึ้น จึงแบ่งความกดอากาศออกเป็น 2 บริเวณ ดังนี้

1.1 บริเวณความกดอากาศต่ำ หรือ low pressure area เป็นบริเวณที่อากาศมีค่าความกดอากาศต่ำกว่าบริเวณใกล้เคียง พื้นที่บริเวณที่มีค่าความกดอากาศต่ำที่สุดจะเป็นศูนย์กลางความกดอากาศต่ำ ซึ่งในแผนที่อากาศใช้สัญลักษณ์  อากาศในส่วนที่วงกลมล้อมรอบมีค่าความกดอากาศต่ำที่สุด บริเวณความกดอากาศต่ำอาจเรียกว่า หย่อมความกดอากาศต่ำ และสำหรับบริเวณที่อยู่นอกวงกลมออกไปจะมีค่าความกดอากาศสูงกว่าตามลำดับ จึงเป็นบริเวณความกดอากาศสูง

1.2 บริเวณความกดอากาศสูง หรือ high pressure area เป็นบริเวณที่อากาศมีค่าความกดอากาศสูงกว่าบริเวณใกล้เคียง พื้นที่ที่ตรวจพบว่ามีค่าความกดอากาศสูงที่สุดจะเป็นศูนย์กลางความกดอากาศสูง ในแผนที่อากาศใช้สัญลักษณ์  สำหรับอากาศบริเวณรอบนอกออกไปจะมีค่าความกดอากาศต่ำกว่า ตามลำดับ

ภูมิภาคบริเวณที่มีความกดอากาศเท่ากัน ในแผนที่อากาศจะลากเส้นผ่าน เรียกเส้นที่ลากผ่านบริเวณนี้ว่า เส้นความกดอากาศเท่า หรือ เส้นไอโซบาร์ (isobar lines) และจะเขียนตัวเลขบอกค่าความกดอากาศไว้ตรงส่วนหนึ่งของเส้นไอโซบาร์ สำหรับประเทศ

ในเขตร้อน เช่น ประเทศไทย เส้นไอโซบาร์แต่ละเส้นจะต่างกัน 2 มิลลิบาร์ (2 เฮกโตพาสคาล) ดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.7 แสดงเส้นไอโซบาร์แนวโค้ง (ก) บริเวณความกดอากาศต่ำ และ(ข) บริเวณความกดอากาศสูง
ที่มา : ประพันธ์ เตชะกุล, วรณกิตต์ รัตนกร และราตรี หนูบรรจง, 2516 : 198

1.3 ลักษณะอากาศเมื่อความกดอากาศเปลี่ยน ถ้าเราอ่านค่าความกดอากาศจาก บารอมิเตอร์ หรือดูจากกราฟที่บารอกราฟได้บันทึกค่าความกดอากาศไว้ จะพบว่าค่าความกดอากาศเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ซึ่งนำมาพยากรณ์อากาศได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงเกณฑ์ความกดอากาศสูง ต่ำ คงเดิม ลักษณะอากาศ/การพยากรณ์

เกณฑ์ความกดอากาศ	ลักษณะอากาศ/การพยากรณ์
1. ค่าความกดอากาศต่ำกว่าปกติ	- อากาศร้อนชื้น / จะมีฝนตกหนัก อาจเกิดพายุ
2. ค่าความกดอากาศสูงกว่าปกติ	- อากาศหนาวเย็น แห้ง / อากาศแจ่มใส
ค่าความกดอากาศคงเดิม	- อากาศคงเดิม

2. บริเวณความกดอากาศบนพื้นโลก

บริเวณต่าง ๆ บนพื้นโลกได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์แตกต่างกัน ซึ่งมีความสัมพันธ์เป็นส่วนกลับกับความกดอากาศ คือ ถ้าบริเวณใดได้รับความร้อนมาก ก็จะมี ความกดอากาศต่ำ และบริเวณที่เย็นกว่าหรือหนาว บริเวณนั้นมีความกดอากาศสูง จากความ

สัมพันธระหว่างอุณหภูมิกับความกดอากาศ ทำให้เราสามารถศึกษาพบบริเวณความกดอากาศสูง ต่ำบนพื้นโลก แบ่งได้ 4 เขตดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงชื่อ เขตละติจูด/ความกดอากาศปกติและลักษณะอากาศ/ลม

ชื่อเขตความกดอากาศ	เขตละติจูด / ความกดอากาศปกติ	ลักษณะอากาศ / ลม
1. ความกดอากาศต่ำศูนย์สูตร (equatorial low or equatorial trough) ทางอุตุนิยมวิทยาเรียกว่า ร่องมรสุม (monsoon trough) หรือ intertropical convergence zone (ITCZ) หรือ doldrum	- 5° เหนือถึง 5° ใต้ - ความกด 1,011 – 1,008 เฮกโตพาสกาล (hPa)	- เป็นเขตที่ได้รับอิทธิพลของลมมรสุมฤดูร้อนและลมมรสุมฤดูหนาว - เป็นแนวปะทะของลมสินค้าในซีกโลกเหนือและซีกโลกใต้
2. ความกดอากาศสูงแถบเส้นรุ้งม้า (horse latitude or sub-tropical belts)	- 30° - 40° เหนือและใต้ - ความกดอากาศมากกว่า 1,026 hPa	- มีความกดอากาศสูง 2 แหล่งอยู่ในซีกโลกเหนือ ในฤดูร้อนเด่นชัดคือ eastern Pacific และ eastern north Atlantic
3. ความกดอากาศต่ำกึ่งขั้วโลก (sub-polar low)	- 60° - 70° เหนือและใต้ - ความกดอากาศ 984 hPa	- เป็นแนวปะทะของมวลอากาศเย็นกับมวลอากาศร้อน - มีแนวความกดต่ำกึ่งถาวร 2 แหล่งคือ - Aleutian Low - Icelandic Low
4. ความกดอากาศสูงขั้วโลก (polar high)	- 90° เหนือและใต้	- บริเวณขั้วโลกมีอากาศหนาวเย็นมาก - เป็นหย่อมความกดอากาศสูงกึ่งถาวร 2 บริเวณคือ - Canadian high - Siberian high

จากตารางที่ 4.2 เขตละติจูดที่มีความกดอากาศสูงต่ำ 4 เขต เป็นสาเหตุให้เกิดลม

แรงลม

ถ้าอากาศเคลื่อนที่ในแนวนอน หรือแนวที่ขนานกับพื้นผิวโลก จากบริเวณที่มีความกดอากาศสูงไปสู่ที่มีความกดอากาศต่ำกว่า จะเกิดลม มีความแรงและความเร็วมากน้อยขึ้นอยู่กับแรงที่มากระทำต่อมวลอากาศ แรงที่มากระทำมีหลายชนิด บางชนิดเป็นแรงเกิดขึ้นจากการหมุนของโลก แรงบางชนิดเกิดขึ้นได้ แม้ขณะที่โลกไม่หมุน จะกล่าวถึงแรงที่เกี่ยวข้องมี 5 ดังต่อไปนี้

1. แรงความชันความกดอากาศ

แรงความชันความกดอากาศ (pressure gradient force) เป็นแรงที่กระทำให้อากาศเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีความกดอากาศสูงไปสู่บริเวณที่มีความกดอากาศต่ำ แรงนี้มีทิศทางตั้งฉากกับเส้นไอโซบาร์ ดังภาพที่ 4.8 ซึ่งแสดงค่าความชันความกดอากาศ

L	L
16 km เส้นไอโซบาร์ 1,004 hPa	16 km เส้นไอโซบาร์ 1,004 hPa
8 km เส้นไอโซบาร์ 1,008 hPa	12 km เส้นไอโซบาร์ 1,008 hPa
0 km เส้นไอโซบาร์ 1,012 hPa	8 km เส้นไอโซบาร์ 1,012 hPa
H	H
ความชันความกดอากาศมีค่าน้อย	ความชันความกดอากาศมีค่ามาก
0.5 เฮกโตพาสกาลต่อกิโลเมตร ลมอ่อน	1.0 เฮกโตพาสกาลต่อกิโลเมตร ลมแรง

ภาพที่ 4.8 แสดงค่าความชันความกดอากาศ

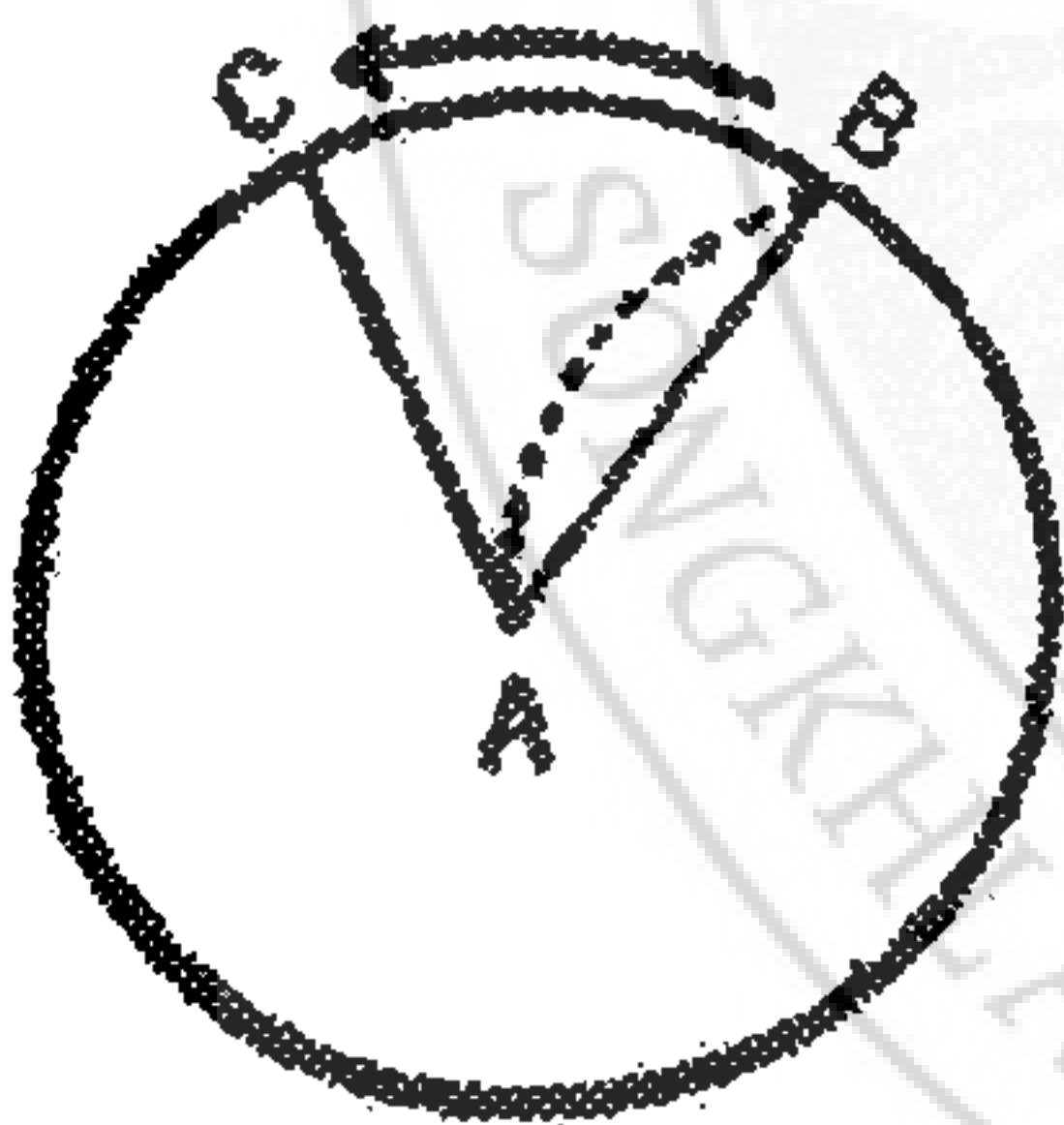
ความชันความกดอากาศ เป็นค่าเปลี่ยนแปลงความกดอากาศต่อหน่วยระยะทาง จากภาพที่ 4.8 ด้านซ้ายบอกได้ว่าเส้นไอโซบาร์เส้นที่ใกล้กัน คือ เส้นที่มีความกด 1,004 hPa กับ 1,008 hPa ห่างกัน 8 km มีความชันความกดอากาศเป็น 4 hPa/8 km หรือ 0.5 hPa/km มีค่าน้อย ดังนั้นลมที่พัดมาเป็นลมอ่อน ส่วนด้านขวาจะพบว่าเส้นไอโซบาร์แต่ละเส้นที่อยู่ใกล้กัน

เช่น เส้นที่มีความกด 1,004 hPa กับ 1,008 hPa ห่างกัน 4 km มีความชันความกดอากาศเป็น 4 hPa/4 km หรือ 1.0 hPa/km ซึ่งมีค่ามาก ดังนั้นลมที่พัดมาจากบริเวณที่มีความกด 1,008 hPa ไปสู่บริเวณที่มีความกดอากาศ 1,004 hPa จะเป็นลมแรง จึงสรุปได้ว่า ถ้าเส้นไอโซบาร์อยู่ห่างกันมากมีค่าความชันความกดอากาศต่ำ พื้นที่ที่รับลมจะได้ลมอ่อน แต่ถ้าเส้นไอโซบาร์อยู่ใกล้กันค่าความชันความกดอากาศสูง ทำให้พื้นที่ที่รับลมได้รับลมแรง

2. แรงเฉหรือแรงโคริโอลิส

แรงเฉ หรือแรงโคริโอลิส (coriolis force) เป็นแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากการหมุนของโลก ซึ่งหมุนจากทิศตะวันตกไปสู่อีกด้านหนึ่ง แต่บรรยากาศไม่ได้ติดแน่นอยู่กับโลก ดังนั้นในขณะที่วัตถุเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปสู่อีกที่หนึ่งจึงปรากฏว่า เเฉไป เนื่องจากมีแรงมากระทำ เรียกแรงนี้ว่า แรงเฉ (deflective force)

เฟอเรล (Ferrel) ได้ตั้งกฎที่มีใจความว่า “เนื่องจากโลกหมุนทำให้ลมพัดเเฉไปทางขวาของทิศทางเดิม (คือขณะโลกไม่หมุน) ในซีกโลกฝ่ายเหนือ และกลับกันในซีกโลกฝ่ายใต้” ดังภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.9 แสดงแรงเฉ

A เป็นขั้วโลกเหนือ B เป็นตำแหน่งผู้สังเกต สมมติว่าจะยิงอนุภาคจาก A ไปหา B แต่โลกหมุนจากตะวันตกไปตะวันออก ดังนั้นเมื่ออนุภาคไปถึง B ผู้สังเกตเคลื่อนที่ไปถึง C แล้ว ด้วยเหตุนี้ผู้สังเกตที่ B จะเห็นอนุภาคเคลื่อนที่เป็นทางโค้งดังในภาพที่ 4.9 และเห็นทิศทางของอนุภาคเเฉไปทางขวาดตลอดเวลา

ถ้า A เป็นขั้วโลกใต้ ผู้สังเกตก็จะเห็นอนุภาคเคลื่อนที่ไปทางซ้าย แรงเฉจะมีทิศทางตั้งฉากกับวิถีโคจรเสมอ

เรื่องแรงเฉนี้ G.G. Coriolis นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส ได้อธิบายแรงเฉ เพื่อเป็นเกียรติแก่เขา จึงเรียกแรงที่ทำให้ลมพัดเเฉนี้ว่า แรงโคริโอลิส แรงนี้มีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับละติจูดที่เกิดลม ซึ่งเป็นไปตามสมการ $F_{Coriolis} = m(2\omega v \sin \varphi)$ และแรงเฉมีอัตราเร่งเขียนได้ดังนี้

$$c = 2 \omega v \sin \varphi$$

เมื่อ c คือ อัตราเร่งเนื่องจากแรงโคริโอลิส (Coriolis acceleration)

ω คือ อัตราเร็วเชิงมุมเนื่องจากการหมุนของโลก

v คือ อัตราเร็วของลมที่พัด

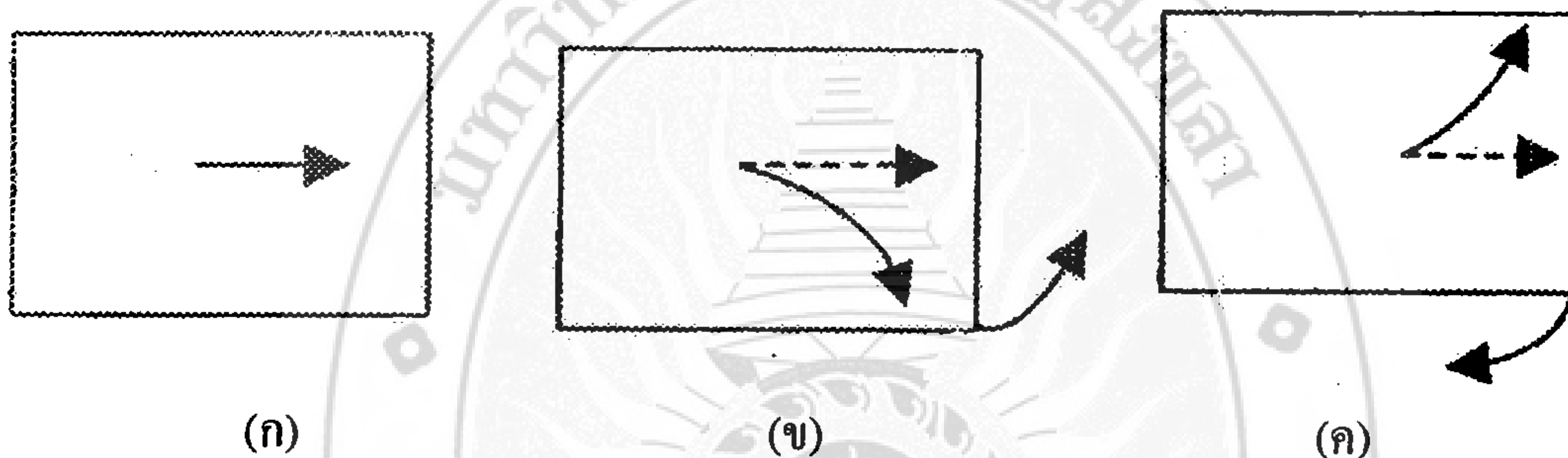
φ คือ ละติจูด หรือเส้นรุ้งที่เกิดลม

จาก $F = ma$

$$F_{\text{Coriolis}} = m(2\omega v \sin \varphi)$$

ที่บริเวณศูนย์สูตร ละติจูดหรือ φ คือ 0° ดังนั้น $\sin \varphi$ คือ $\sin 0^\circ = 0$ เมื่อแทนค่าในสมการ $F_{\text{Coriolis}} = m(2\omega v \sin \varphi)$ จะได้ค่า F_{Coriolis} หรือแรงเฉเป็น 0 แรงเฉจะมีค่ามากขึ้น ๆ จนกระทั่งถึงขั้วโลกจะมีค่ามากที่สุด เพราะ $\sin \varphi$ คือ $\sin 90^\circ = 1$

ต่อมาได้มีผู้พิสูจน์แรงเฉด้วยวิธีง่าย ๆ ดังภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.10 แสดงการพิสูจน์แรงเฉ (ก) จี๊ดเส้นโดยไม่หมุนแผ่นกระดาษ (ข) จี๊ดเส้นพร้อมกับหมุนกระดาษทวนเข็มนาฬิกา และ (ค) จี๊ดเส้นพร้อมกับหมุนกระดาษตามเข็มนาฬิกา

ทดลองโดยวางกระดาษสี่เหลี่ยมผืนผ้าบนพื้น ตรงกลางแผ่นกระดาษด้วยเข็มหมุด ใช้ดินสอจี๊ดเส้นบนกระดาษออกจากศูนย์กลางแผ่น พบว่า ถ้าไม่หมุนแผ่นกระดาษ แนวที่จี๊ดเส้นออกไปเป็นเส้นตรง ดังภาพที่ 4.10 (ก) แต่เมื่อหมุนกระดาษทวนเข็มนาฬิกาพร้อมกับจี๊ดเส้นออกไป พบว่ารอยจี๊ดเส้นโค้งไปทางขวา ดังภาพที่ 4.10 (ข) ถ้าหมุนกระดาษตามเข็มนาฬิกา รอยจี๊ดเส้นโค้งไปทางซ้าย ดังภาพที่ 4.10 (ค)

3. แรงเสียดทาน

แรงเสียดทาน (friction force) เป็นแรงต้านการเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นแรงที่มีความฝืดของสิ่งกีดขวาง เช่น อาคาร สิ่งก่อสร้าง ต้นไม้ หญ้า ตลอดจนพื้นผิวโลก และสิ่งอื่น ๆ ที่ทำให้ทิศทางการเคลื่อนที่เปลี่ยนไป แรงเสียดทานมีผลต่อทิศทางของลมผิวพื้น เมื่อคิดเป็นค่าเฉลี่ย พบว่าพื้นดินทำให้ทิศทางการเคลื่อนที่เบนไปจากแนวความชันความกดอากาศประมาณ $20^\circ - 45^\circ$ ส่วนพื้นน้ำทำให้ทิศทางการเคลื่อนที่เบนไปจากแนวความชันความกดอากาศไม่เกิน 10° กล่าวคือ ลม

จะพัดเข้าสู่ห่อความกดอากาศต่ำ และพัดออกจากบริเวณความกดอากาศสูงในแนวเฉียงนั่นเอง

4. แรงเข้าสู่ศูนย์กลางหรือแรงโน้มถ่วงของโลก

แรงเข้าสู่ศูนย์กลางหรือแรงโน้มถ่วงของโลก (gravitational force) เป็นแรงที่โลกกระทำต่อมวลของวัตถุทุกชนิดรวมทั้งบรรยากาศ ทำให้มวลอากาศใกล้ผิวโลกจมตัวลง มีความหนาแน่นมากขึ้นและมีความกดมากขึ้น ดังกล่าวมาแล้ว

แรงโน้มถ่วงของโลกเป็นไปตามกฎแรงโน้มถ่วงของนิวตัน ซึ่งเขียนเป็นสูตรดังนี้

$$F_g = G \frac{m_E \cdot m_a}{d^2}$$

เมื่อ G เป็นค่าคงที่ของแรงโน้มถ่วงมีค่า $= 6.67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 / \text{kg} \cdot \text{s}^2$

F_g เป็นแรงเข้าสู่ศูนย์กลาง หรือแรงโน้มถ่วงของโลก

m_E เป็นมวลของโลก มีค่า $6 \times 10^{24} \text{ kg}$

d เป็นระยะห่างในที่นี่คือรัศมีของโลก $6.4 \times 10^6 \text{ m}$

ถ้าแทนค่าเหล่านี้ในสูตรจะได้ค่า F_g ต่อวัตถุมวล 1 kg เป็น 9.8 N

เนื่องจากโลกมีลักษณะโป่งกลางบริเวณศูนย์สูตร ดังนั้นบริเวณศูนย์สูตรจึงมีแรงดึงดูดน้อยกว่าบริเวณขั้วโลก ระยะห่าง หรือความสูงจากผิวโลกมากขึ้น แรงดึงดูดจะยิ่งน้อยลง

5. แรงหนีศูนย์กลาง

แรงหนีศูนย์กลาง (centrifugal force) เป็นแรงที่เหวี่ยงวัตถุออกจากศูนย์กลางของโลกขณะที่โลกหมุน แรงหนีศูนย์กลางมีค่าตามสมการ

$$F_c = \frac{mv^2}{r}$$

เมื่อ F_c คือ หรือแรงหนีศูนย์กลาง

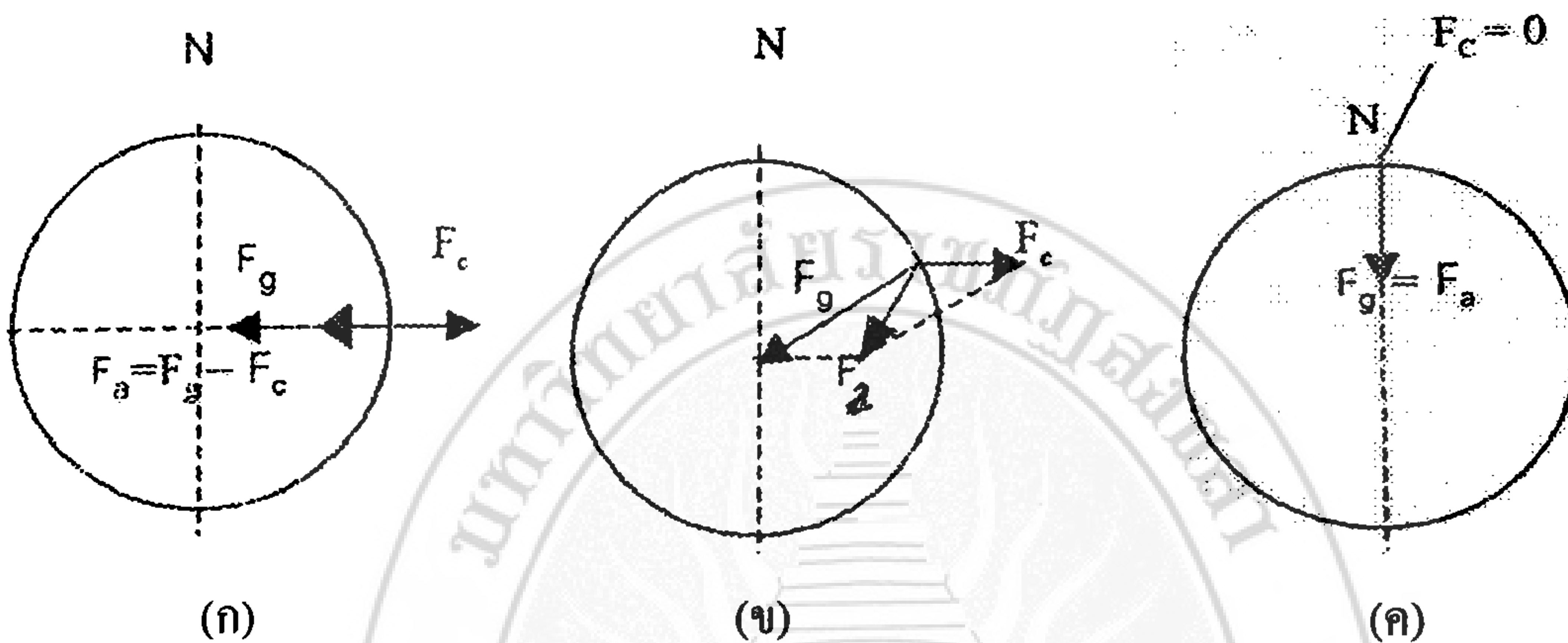
m คือ มวลของวัตถุ

v คือ ความเร็วเชิงเส้นในการหมุน

r คือ รัศมีการหมุน

แรงหนีศูนย์กลางมีค่ามากที่สุดที่บริเวณศูนย์สูตรและมีค่าน้อยที่สุดที่บริเวณขั้วโลก เพราะรัศมีการหมุนที่ขั้วโลกเป็น 0

แรงลัพธ์ระหว่างแรงหนีศูนย์กลางกับแรงโน้มถ่วงของโลก จะเป็นแรงโน้มถ่วงที่ปรากฏ (appearance force) หรือ F_a ของบรรยากาศจะมีค่าเปลี่ยนไปตามละติจูด ทำให้แรงโน้มถ่วงปรากฏมีค่าน้อยกว่าที่ควรจะเป็น เช่น น้อยที่สุดที่ศูนย์สูตร และมากที่สุดที่ขั้วโลก ดังแสดงในภาพที่ 4.11



ภาพที่ 4.11 แสดงแรงปรากฏบริเวณต่างๆ (ก) ศูนย์สูตร (ข) ละติจูดกลาง และ (ค) ขั้วโลก

แรงเหล่านี้ถ้าสมดุลจะทำให้เกิดลมในบรรยากาศได้

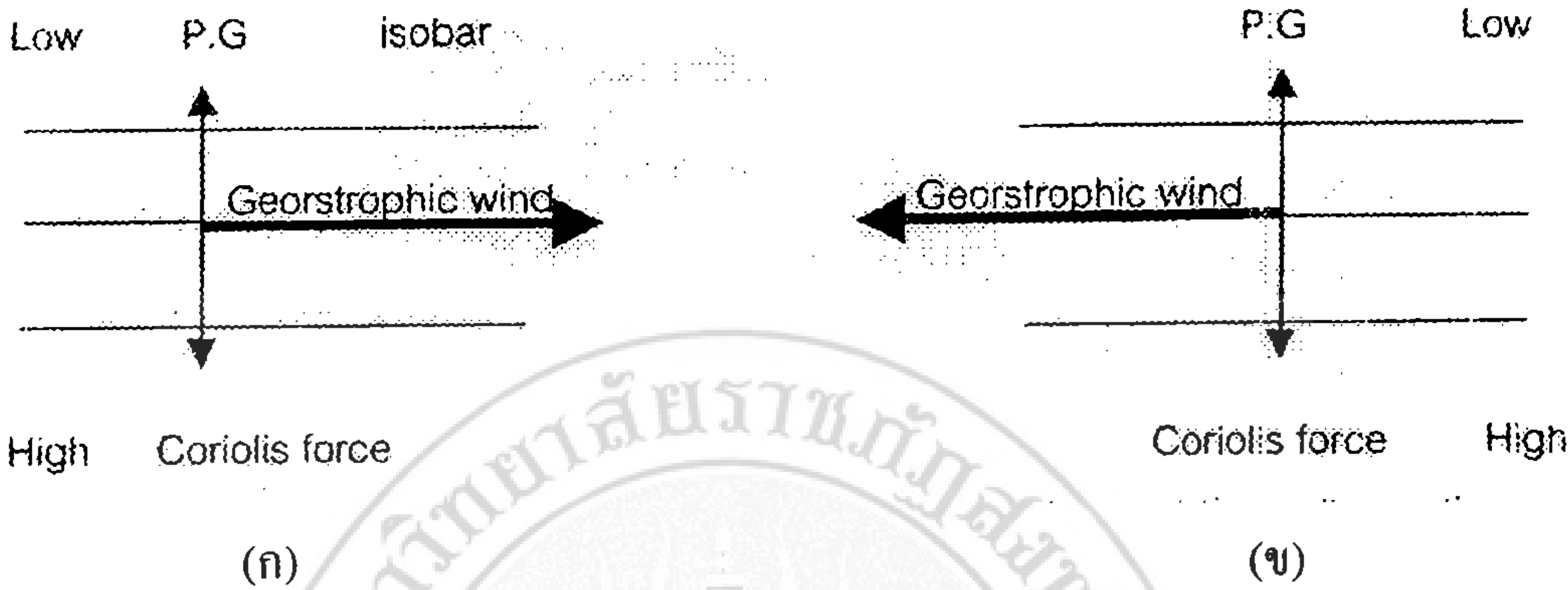
ลมที่เกิดจากการสมดุลของแรงในบรรยากาศ

การสมดุลของแรงในบรรยากาศทำให้อากาศเคลื่อนที่ทั้งในระดับสูงที่ไม่มีแรงเสียดทาน และในระดับผิวพื้นที่มีแรงเสียดทาน ทำให้ทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศเปลี่ยนไป เราจะพิจารณาอากาศซึ่งเคลื่อนที่ในแนวระดับด้วยความเร็วคงที่ ในบริเวณที่มีแรงความชันความกดอากาศกับแรงโคริโอลิสกระทำต่ออากาศ เกิดลมชั้นบนในระยสูงมากกว่า 1.5 กิโลเมตร คือ ลมจีโอสโทรฟิก (geostrophic wind) และลมเกรเดียนท์ (gradient wind) ดังต่อไปนี้

1. ลมจีโอสโทรฟิก

ขณะที่อากาศเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงตัว และแรงความชันความกดอากาศ (pressure gradient force) หรือแรง P.G. มีขนาดเท่ากับขนาดของแรงโคริโอลิส อากาศจะเคลื่อนที่ในแนวตรง การเคลื่อนที่แบบนี้ เรียกว่า จีโอสโทรฟิก โฟลว์ (geostrophic flow) ซึ่งจะ

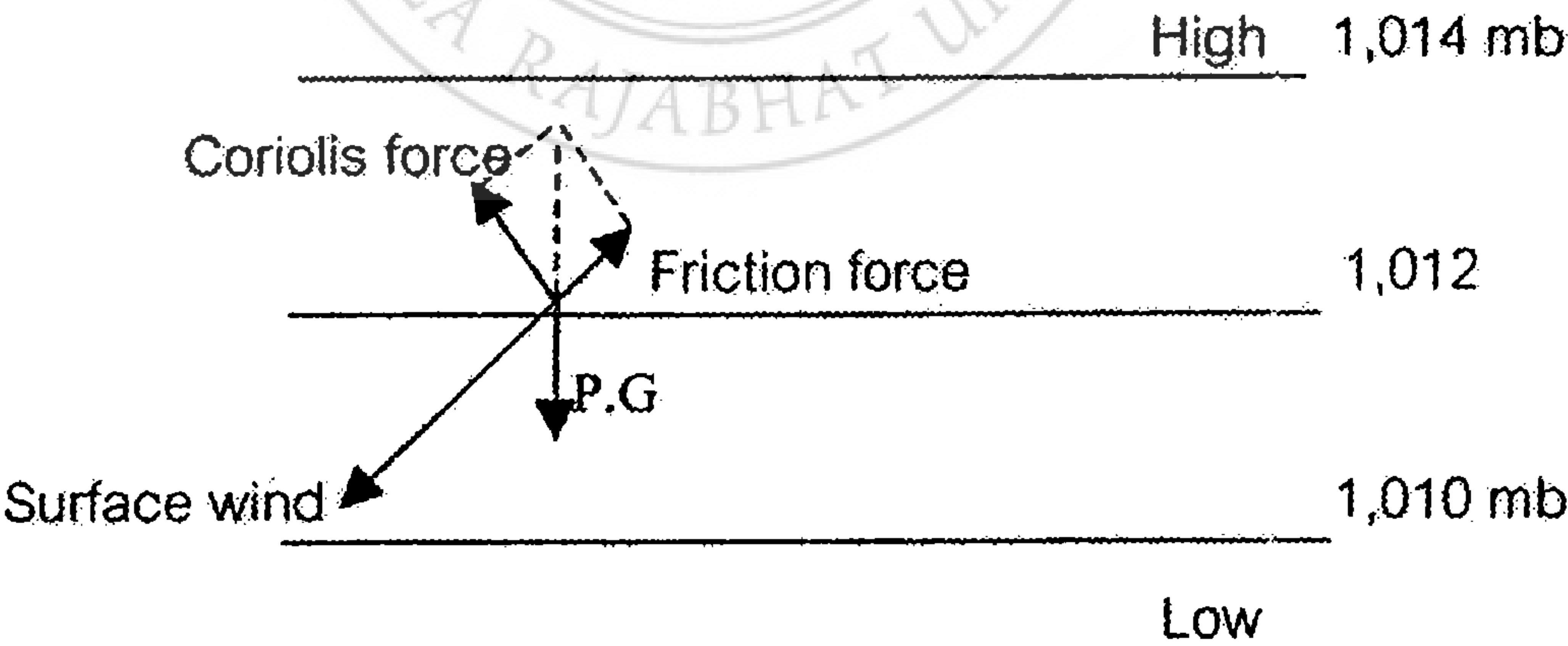
เกิดขึ้นในบริเวณที่เส้นไอโซบาร์เป็นเส้นตรง ทำให้ลมพัดในแนวขนานกับเส้นไอโซบาร์ เรียกว่า ลมจีโอสโทรฟิก ดังภาพที่ 4.12 (ก) และ (ข)



ภาพที่ 4.12 แสดงการเกิดลมจีโอสโทรฟิก (ก) ซีกโลกฝ่ายเหนือ และ (ข) ซีกโลกฝ่ายใต้

บริเวณศูนย์สูตร จะไม่เกิดลมจีโอสโทรฟิก เนื่องจากแรงโคริโอลิสเป็น 0 และหากที่จะมีลมนี้ในเขตละติจูดต่ำ คือ 14° เหนือและ 15° ใต้ เพราะแรงโคริโอลิสมีค่าน้อย ถ้าไม่มีแรงอื่นมากระทำ อากาศจะเคลื่อนที่ในทิศทางของแรงความชันความกดอากาศ คือ จากความกดสูงไปสู่ความกดต่ำ

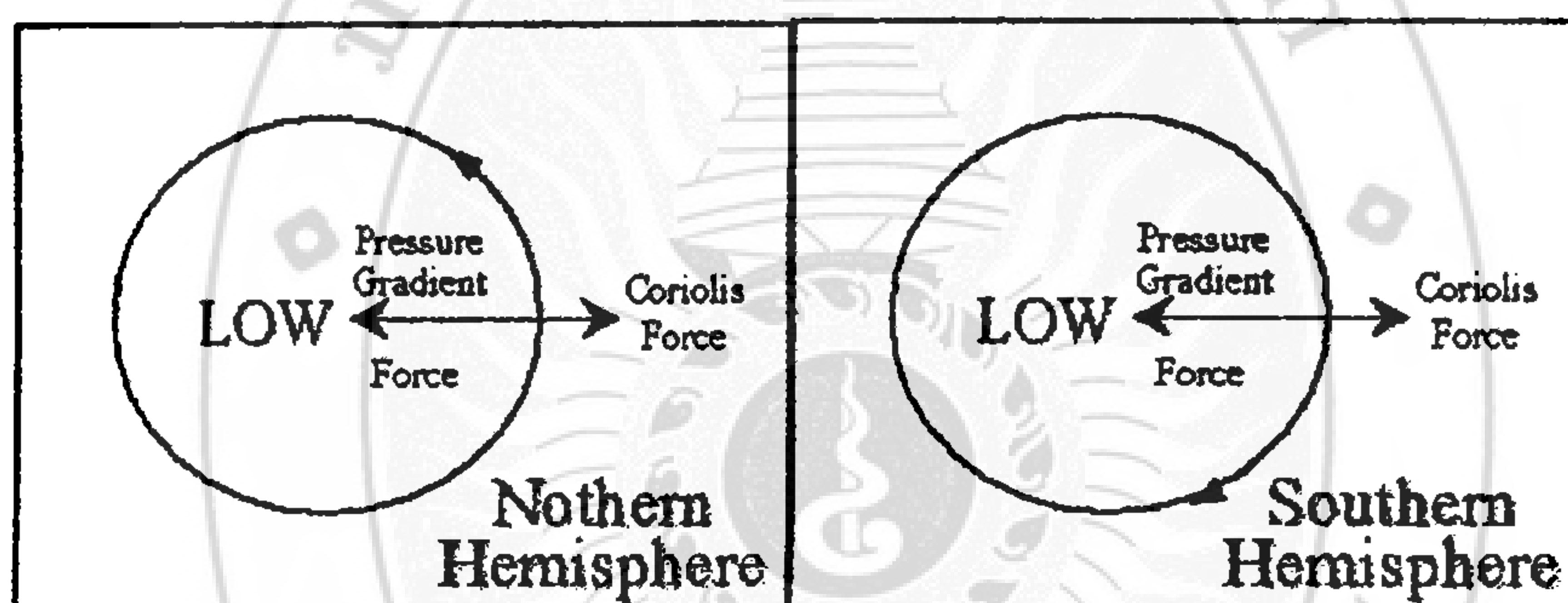
ถ้าลมจีโอสโทรฟิกพัดในบริเวณผิวพื้น จะมีแรงเสียดทานมากระทำ จึงทำให้อัตราเร็วของลมลดลง และลมจะพัดในทิศทางที่ทำมุมเฉียงกับเส้นไอโซบาร์ดังภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 แสดงลมผิวพื้น

2. ลมเกรเดียนท์

ลมเกรเดียนท์ เกิดจากสมดุลของแรง 3 แรง คือ แรงหนีศูนย์กลาง แรงโคริโอลิส และแรงความชันความกดอากาศ โดยที่ขนาดของแรงความชันความกดอากาศไม่เท่ากับขนาดของแรงโคริโอลิส ลมนี้เกิดในบริเวณที่เส้นไอโซบาร์เป็นเส้นโค้ง ถ้าแรงความชันความกดอากาศ มีค่ามากกว่าแรงโคริโอลิส ลมจะเคลื่อนที่โค้งรอบห่อความกดอากาศต่ำ ดังภาพที่ 4.14 (ก) ในซีกโลกเหนือลมเกรเดียนท์มีทิศทางทวนเข็มนาฬิกา เพราะแรงโคริโอลิสกระทำไปทางขวา ส่วนภาพที่ 4.14 (ข) ในซีกโลกใต้ ลมจะเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้งรอบห่อความกดอากาศต่ำในทิศทางตามเข็มนาฬิกา ซึ่งเป็นลักษณะเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของโลก คือ เคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกาเมื่อมองบนขั้วโลกเหนือ และกลับกัน คือ เคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกาเมื่อมองบนขั้วโลกใต้



(ก)

(ข)

ภาพที่ 4.14 แสดงการไหลของลมเกรเดียนท์

ถ้าลมเกรเดียนท์พัดในบริเวณผิวพื้นที่มีแรงเสียดทานมากกระทำ ลมจะพัดวนเข้าสู่ศูนย์กลางความกดอากาศต่ำ เรียกการเคลื่อนที่แบบนี้ว่า cyclonic flow และเรียกลมผิวพื้นชนิดนี้ว่า ไซโคลน ในทางกลับกันก็มีแอนตี้ไซโคลนพัดวนออกจากศูนย์กลางความกดอากาศสูง

ถ้าเราทราบทิศทางที่ลมพัด แล้วเราหันหลังสู่ลม หรือหันหน้าไปตามลม ความกดอากาศต่ำจะอยู่ทางซ้ายมือสำหรับในซีกโลกเหนือ และอยู่ทางขวามือสำหรับในซีกโลกใต้ ซึ่งเป็นไปตามกฎของ บาย แบลลอต (Buys Ballot's law)

ระบบการหมุนเวียนของลม

เนื่องจากกระแสอากาศเคลื่อนไหวตลอดเวลา พิจารณาการเคลื่อนไหวของอากาศที่ผิวพื้นใช้เกณฑ์ช่วงระยะเวลาที่ลมพัด แบ่งการหมุนเวียนของลมได้ 3 ระบบ คือ ระบบการหมุนเวียนทั่วไป ทำให้เกิดลมประจำปี การหมุนเวียนชั้นสอง ทำให้เกิดลมประจำฤดู และการหมุนเวียนชั้นสาม ทำให้เกิดลมประจำเวลา จะกล่าวถึงรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ลมประจำปี

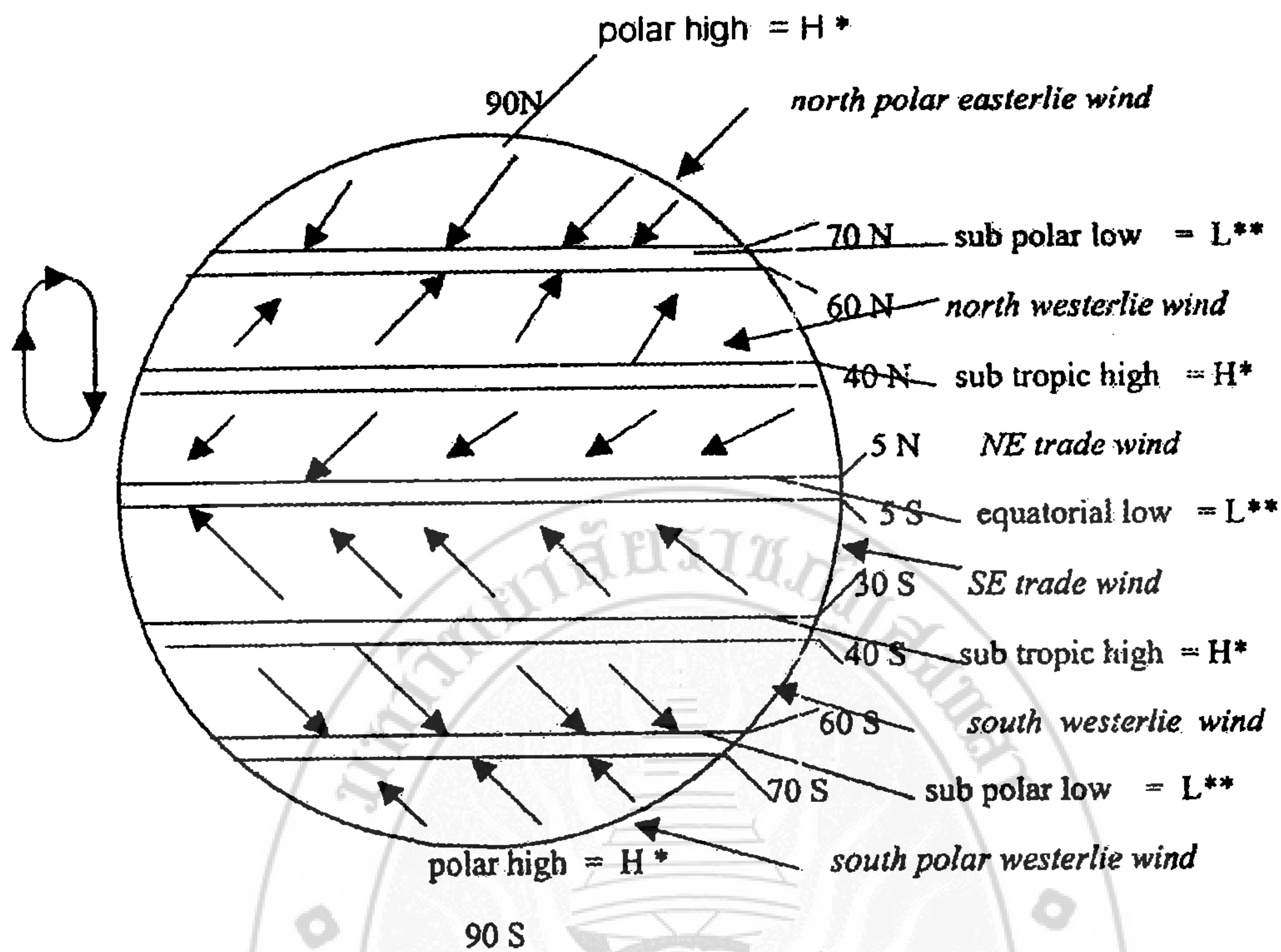
ลมประจำปี เป็นลมผิวพื้นที่อยู่ในระบบ การหมุนเวียนทั่วไป (general circulation) คือ การหมุนเวียนบริเวณกว้างตามเขตละติจูดต่ำ ($0^{\circ} - 30^{\circ}$) เขตละติจูดกลาง ($30^{\circ} - 60^{\circ}$) และเขตละติจูดสูง ($60^{\circ} - 90^{\circ}$) บางที่เรียกว่า ลมถาวร (permanent winds) คือ พัดจากบริเวณที่มีความกดอากาศสูงมาสู่บริเวณที่มีความกดอากาศต่ำ แล้วกระแสอากาศลอยตัวสูงขึ้นในแนวตั้ง กระแสลมอาจพัดย้อนกลับในชั้นบน และไปจมตัวลงที่ที่มีความกดอากาศสูง จึงได้ลักษณะของลมประจำปีเขตละติจูดต่าง ๆ ดังภาพที่ 4.15 ลมประจำปีที่สำคัญ เช่น ลมสินค้า ลมตะวันตก และลมตะวันออก จะกล่าวถึงลมแต่ละชนิดดังต่อไปนี้

1.1 ลมสินค้า (trade wind) มีอัตราเร็ว 16 – 24 กิโลเมตร/ชั่วโมง พัดตลอดปี ปรากฏชัดในบริเวณที่เป็นมหาสมุทรระหว่างละติจูด 30 องศากับเส้นศูนย์สูตร ในซีกโลกเหนือจะพัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงเหนือ ส่วนในซีกโลกใต้จะพัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงใต้

สำหรับกระแสลมที่พัดย้อนกลับเบื้องบนเรียกว่า ลมต้านสินค้า (antitrade wind)

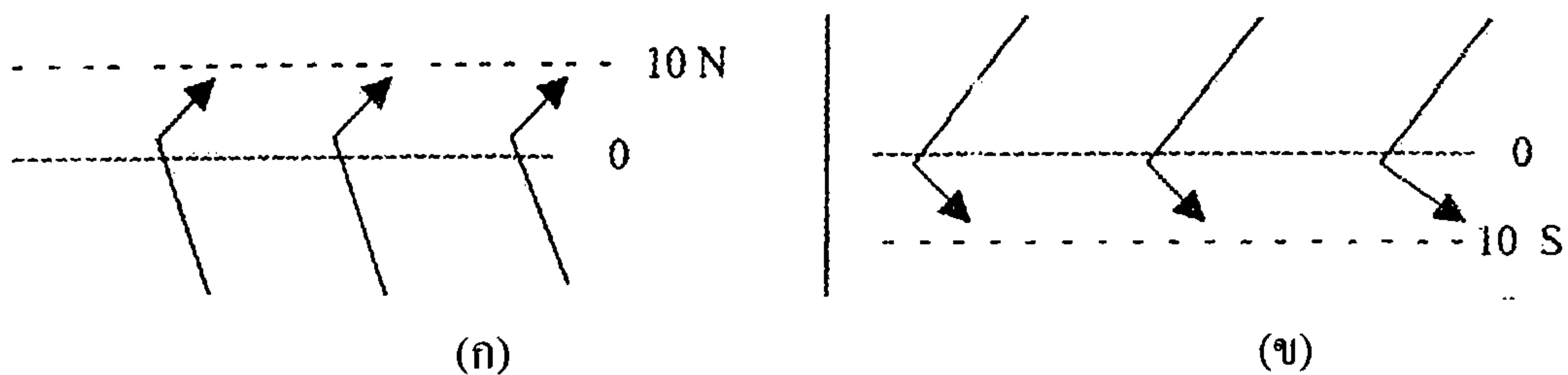
1.2 ลมตะวันตก (westerlie wind) พัดระหว่างละติจูด 40 - 60 องศาทั้งในซีกโลกเหนือและใต้ ลมนี้มีความเร็วสูงกว่าลมสินค้า พัดแรงมากในฤดูหนาวจนกลายเป็นพายุได้ ในซีกโลกใต้ลมนี้พัดแรงจนชาวเรือโบราณขนานนามบริเวณละติจูด 40 – 60 องศาได้เป็น the roaring forties the furious fifties and the screaming sixties ตามลำดับ เพราะซีกโลกใต้ส่วนใหญ่เป็นมหาสมุทรและ ไม่มีสิ่งกีดขวาง

1.3 ลมตะวันออก (easterlie wind) พัดระหว่างขั้วโลก คือ ละติจูด 90 องศา กับละติจูด 70 องศา มีความเร็วสูง โดยเฉพาะในฤดูหนาวลมยังพัดแรงมากจนเป็นพายุฤดูหนาวได้



ภาพที่ 4.15 แสดงเขตละติจูดและลมประจำปี

การเคลื่อนย้ายเขตลม ในรอบปีหนึ่ง ๆ บริเวณเขตความกดอากาศสูงต่ำจะเคลื่อนขึ้น-ลงจากแนวเส้นศูนย์สูตร เช่น ทางซีกโลกเหนือ ในฤดูร้อนเขตความกดอากาศจะเคลื่อนขึ้นไป 5 องศา แต่ในฤดูหนาว เขตความกดอากาศจะเคลื่อนลงมาจากแนวเดิม 5 องศา ทำให้เขตลมต่าง ๆ ดังกล่าวแล้วเคลื่อนตามไปด้วย ในช่วง 10 องศาของละติจูดทุก ๆ เขต โดยเฉพาะที่บริเวณศูนย์สูตร ในฤดูร้อน ลมสินค้าในซีกโลกใต้จะพัดข้ามศูนย์สูตร วกขึ้นมาเป็นลมสินค้าตะวันตกเฉียงใต้ และสำหรับฤดูหนาว ของซีกโลกเหนือ นั้น ลมสินค้าในซีกโลกเหนือจะพัดข้ามศูนย์สูตรลงไปเป็น ลมสินค้าตะวันตกเฉียงเหนือ ดังภาพที่ 4.16 ก และ ข



ภาพที่ 4.16 แสดงการเคลื่อนย้ายเขตลมขึ้นลงจากแนวศูนย์สูตร (ก) ฤดูร้อนของซีกโลกเหนือ
(ข) ฤดูหนาวของซีกโลกเหนือ

2. ลมประจำฤดู

ลมประจำฤดู เป็นลมที่อยู่ในระบบการหมุนเวียนชั้นสอง ซึ่งนอกจากพัดในช่วงเวลาที่สั้นกว่า ก็ยังพัดในบริเวณกว้างใหญ่ที่รองจากลมประจำปีด้วย ได้แก่ ลมมรสุม (monsoon wind) คำว่า monsoon มาจากภาษาอาหรับ mausim แปลว่า ฤดู (season) ลมมรสุมเกิดจากสภาพที่มีบริเวณความกดอากาศสูงกึ่งถาวร และมีหย่อมความกดอากาศต่ำกึ่งถาวรปกคลุมทวีปและมหาสมุทรต่าง ๆ เป็นระยะเวลานานเกือบครึ่งปี ทำให้เกิดความชันความกดอากาศ และเกิดลมพัดประจำในบริเวณกว้างใหญ่ในช่วงเวลาที่กล่าวถึงนั้นเป็นลมมรสุมฤดูร้อนและลมมรสุมฤดูหนาว

2.1 ลมมรสุมฤดูร้อน (summer monsoon) ในฤดูร้อนอากาศที่แผ่ปกคลุมทวีปร้อนกว่าอากาศที่แผ่ปกคลุมมหาสมุทร จึงเกิดหย่อมความกดอากาศต่ำกึ่งถาวรขึ้นเหนือพื้นทวีป และเกิดบริเวณความกดอากาศสูงกึ่งถาวรขึ้นเหนือมหาสมุทร จึงมีลมพัดจากมหาสมุทรไปสู่ภาคพื้นทวีป พาเอาไอน้ำจากมหาสมุทรไปด้วย ทำให้มีฝนตกบริเวณที่ลมนี้นี้พัดผ่านจึงกลายเป็นฤดูฝน แต่ถ้าบริเวณใดที่ไม่มีลมนี้นี้พัดผ่านก็จะเป็นฤดูร้อนตามปกติ

2.2 ลมมรสุมฤดูหนาว (winter monsoon) ในฤดูหนาว บนภาคพื้นทวีป เช่น ตอนกลางทวีปเอเชียอากาศหนาวเย็นมากทำให้เกิดบริเวณความกดอากาศสูงกึ่งถาวรขึ้น แต่อากาศที่แผ่ปกคลุมบริเวณทะเลมหาสมุทรใกล้ศูนย์สูตรร้อนกว่าจึงเป็นหย่อมความกดอากาศต่ำกึ่งถาวร ทำให้มีลมพัดจากตอนกลางทวีปเอเชียไปสู่ทะเลแถบศูนย์สูตรโดยพาเอาความหนาวเย็นแห้งแล้งไปสู่บริเวณที่ลมนี้นี้พัดผ่านตลอดฤดูหนาว นอกจากบางแห่งที่ลมนี้นี้พัดผ่านทะเลมหาสมุทรพาเอาไอน้ำดีไปทำให้ฝนตก เช่น ภาคใต้ฝั่งตะวันออกของอ่าวไทย แลลมมลายูเกาะชวา ด้วยเหตุนี้ทำให้ภาคใต้ของประเทศไทยไม่มีฤดูหนาว

ลมมรสุมที่พัดมาจากซีกโลกฝ่ายเหนือเข้าสู่ประเทศไทยเป็นลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ และลมมรสุมจากซีกโลกฝ่ายใต้เข้าสู่ประเทศไทย ก็เป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้

ภูมิประเทศบริเวณที่เป็นเขตมรสุม ได้แก่บริเวณต่อไปนี้

เอเชียตะวันออกเฉียงใต้ รวมทั้งอินโดนีเซีย

อินเดีย

คาบสมุทรอาหรับ

แอฟริกาใต้

ยุโรปตอนใต้ แถบประเทศสเปน

ตะวันออกเฉียงใต้ของสหรัฐอเมริกา ซิติ

3. ลมประจำเวลา

ลมประจำเวลาเป็นลมในระบบหมุนเวียนชั้นสาม พัดประจำในช่วงเวลาหนึ่ง เช่น เวลากลางวัน กลางคืน ได้แก่ ลมบก ลมทะเล ลมภูเขา ลมหุบเขา อาจเรียกว่า ลมประจำถิ่น เพราะพัดเฉพาะถิ่นใดถิ่นหนึ่ง เช่น Fall wind และ Foehn wind จะกล่าวถึงลมแต่ละชนิดดังนี้

3.1 ลมทะเล (sea breeze) เป็นลมที่พัดในเวลากลางวัน เนื่องจากแผ่นดินได้รับแสงอาทิตย์และร้อนเร็วกว่าน้ำเพราะดินมีความจุความร้อนต่ำกว่าน้ำ อากาศเหนือแผ่นดินที่ร้อนลอยตัวสูงขึ้น ทำให้อากาศเหนือพื้นน้ำหรือทะเลซึ่งเย็นกว่ามีความหนาแน่นมากกว่าและมีความกดอากาศสูงกว่าพัดเข้ามาแทนที่

ลมทะเลเริ่มพัดตั้งแต่เวลา 11 นาฬิกาหมดเวลา 17 นาฬิกามีความเร็วตั้งแต่ 5-10 กิโลเมตร/ชั่วโมง แต่จะไม่เกิน 30 กิโลเมตร/ชั่วโมง ลมทะเลอาจพัดลึกเข้าไปในแผ่นดินถึง 20 กิโลเมตร และพัดสูงไม่เกิน 1 กิโลเมตรจากพื้นดิน ลมทะเลจะพัดแรงที่สุดในช่วงเวลาบ่าย และในบางแห่งที่มี แรงโคริโอลิสหรือแรงเฉลอกและมีความชันความกดอากาศสูงหรือมาก ก็จะทำให้ลมทะเลพัดขนานกับชายฝั่งได้ นอกจากนี้ลมทะเลที่หอบความชื้นมามากพอสมควรก็อาจทำให้เกิดฟ้าคะนอง มีฝนตกได้ชาวเรือมักเรียกลมทะเลว่าลมขึ้น เพราะอาศัยลมทะเลในการแล่นเรือใบกลับเข้าสู่ฝั่ง

3.2 ลมบก (land breeze) เป็นลมที่พัดในเวลากลางคืน ชาวเรือเรียกว่า ลมลง เพราะใช้ล่องเรือใบออกไปหาปลา ลมบกเกิดขึ้นได้เนื่องจากกลางคืนพื้นดินแผ่รังสีความร้อนออกไปเร็วกว่าพื้นน้ำ จึงทำให้มวลอากาศเหนือพื้นดินเย็นกว่า มีความหนาแน่นมากกว่าและมีความกดอากาศสูงกว่ามวลอากาศเหนือพื้นน้ำ ทำให้ลมพัดจากแผ่นดินออกไปสู่ทะเล เริ่มพัดตั้งแต่เวลาประมาณ 24 นาฬิกาจนถึงตอนเช้า ลมบกพัดไม่แรงเท่าลมทะเล และพัดลึกเข้าไปในทะเลไม่เกิน 10 กิโลเมตร

3.3 ลมหุบเขา (valley breeze) เป็นลมที่พัดในเวลากลางวันในแถบภูเขาที่ไม่ค่อยมีต้นไม้ปกคลุม เป็นภูเขาหินส่วนใหญ่ เมื่อได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์ ภูเขาก็ต่จะร้อนกว่าที่หุบเขาทำให้อากาศที่ปกคลุมภูเขาร้อนจึงลอยตัวสูงขึ้น อากาศที่หุบเขาเย็นกว่า มีความ

หนาแน่นและความกดอากาศสูงกว่าจึงไหลขึ้นตามลาดเขาไปแทนที่ ลมหุบเขาถ้าพัดในบริเวณกว้างมีภูเขาสลับซับซ้อน เรียกว่า anabatic wind

3.4 ลมภูเขา (mountain breeze) เป็นลมที่พัดในเวลากลางคืน เช่นเดียวกับการเกิดลมบก กล่าวคือ ภูเขาแผ่รังสีความร้อนออกทำให้อากาศบนภูเขาเย็นกว่าอากาศที่หุบเขาจึงเกิดลมพัดจากภูเขาลงไปสู่หุบเขา ถ้าลมภูเขาพัดในบริเวณกว้างเรียกว่า katabatic wind เช่น ลม boborok ในสุมาตรา ลม buran ในไซบีเรีย ลม bora ในอิตาลี และลม mistral ในฝรั่งเศสตอนใต้

3.5 Fall wind เกิดในบริเวณที่ราบสูง หรือบริเวณธารน้ำแข็ง (glacier) ที่อากาศหนาวจัดมากในฤดูหนาว มวลอากาศที่เย็นจัดจะพัดลงตามลาดเขาและมีความเร็วค่อนข้างสูง ลมนี้พัดแรงมากได้แก่ แถบ Greenland และทวีปแอนตาร์กติกาซึ่งมีความเร็วลมถึง 160 กิโลเมตร/ชั่วโมง

3.6 Foehn wind เป็นลมที่พัดข้ามภูเขาไปยังอีกด้านหนึ่งมีลักษณะร้อนและแห้งแล้ง เพราะมวลอากาศที่ร้อนและชื้นเดิมพัดขึ้นไปตามลาดเขาเกิดการกลั่นตัวแบบ orographic เกิดเมฆหรือมีฝนตกทางด้านรับลม (wind ward side) และเมื่อลมพัดข้ามภูเขาไปแล้ว อากาศจะจมตัวลงตามลาดเขาและร้อนขึ้นแบบอะเดียเบติก (adiabatic) แต่ไม่มีไอน้ำ เช่น ลม Foehn ตอนเหนือของภูเขา Alp ในสวิตเซอร์แลนด์และออสเตรีย ลม Chinook ในเทือกเขารอกกีแถบสหรัฐอเมริกาและแคนาดาภาคกลาง และลม Berg ในแอฟริกา เป็นต้น

การวัดลมผิวพื้น

การวัดลมผิวพื้น มีเครื่องวัดทั้งทิศทางและความเร็วลม ดังต่อไปนี้

1. การวัดทิศทางลม

ทิศทางลม ให้เอาทิศที่ลมพัดเข้าหาสถานีเป็นเกณฑ์ วัดเป็นองศาตามเข็มนาฬิกา โดยใช้ทิศเหนือจริงของสถานีเป็นหลัก คือ เริ่มนับจาก 0° จนถึง 360° หรืออาจนับจากตำแหน่งของทิศตามเข็มทิศ (points of the compass) เช่น 8, 16 และ 32 ตำแหน่ง ขึ้นอยู่กับความละเอียดที่ต้องการจะวัด แล้วรายงานทิศลมโดยรหัส ตั้งแต่ 00–36 ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงทิศทางลม

Wind direction: compass point equivalents in degrees and code figures

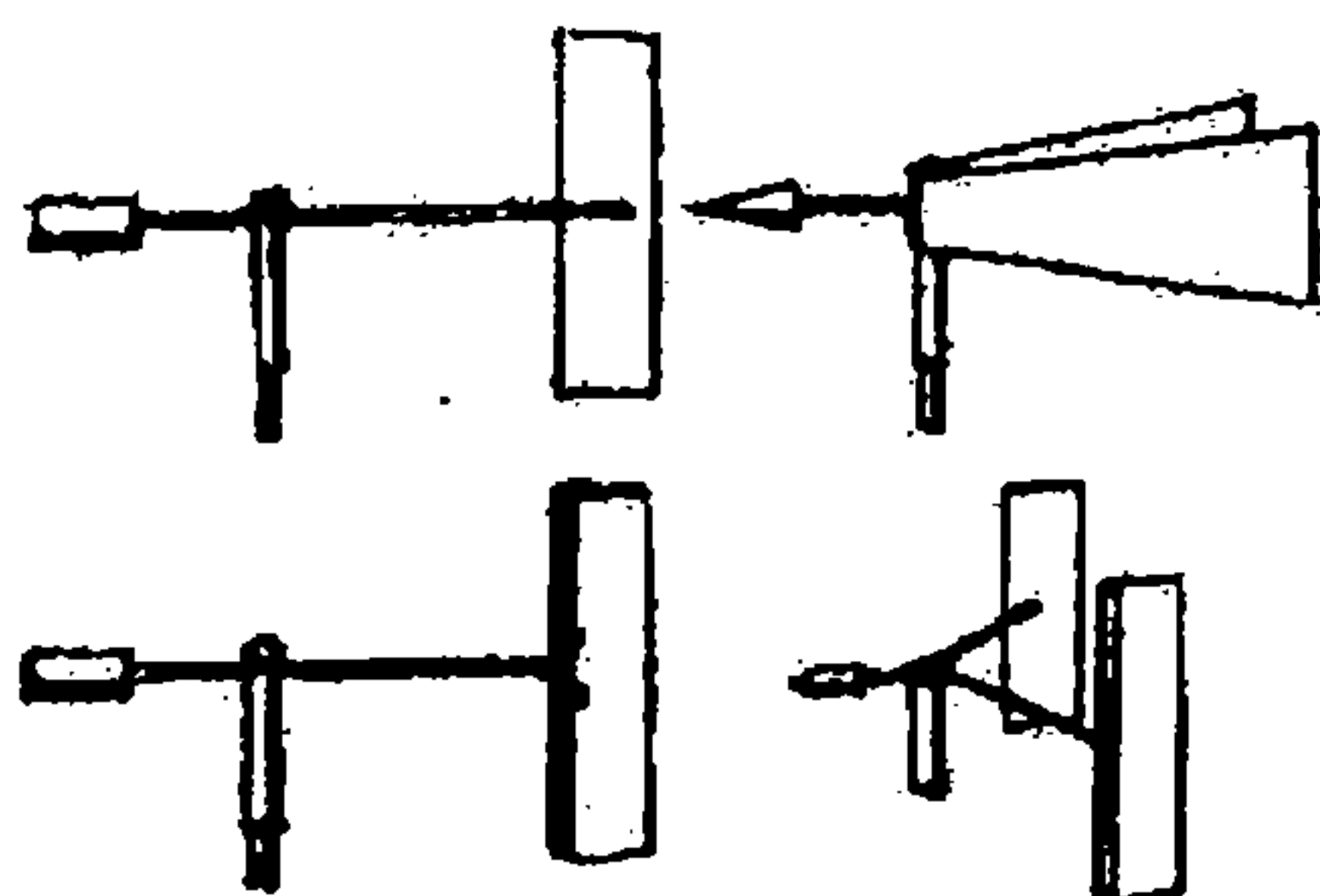
Compass direction	Exact equivalent in degrees	Code figure	Compass direction	Exact equivalent in degrees	Code figure
Calm	—	00			
N by E	11.25	01	S by W	101.25	19
NNE	22.5	02	SSW	202.5	20
NE by N	33.75	03	SW by S	213.75	21
NE	45	05	SW	225	23
NE by E	56.25	06	SW by W	236.25	24
ENE	67.5	07	WSW	247.5	25
E by N	78.5	08	W by S	258.75	26
E	90	09	W	270	27
E by S	101.25	10	W by N	281.25	28
ESE	112.5	11	WNW	292.5	29
SE by E	123.75	12	NW by W	303.75	30
SE	135	14	NW	315	32
SE by S	146.25	15	NW by N	326.25	33
SSE	157.5	16	NNW	337.5	34
S by E	168.75	17	N by W	348.75	35
S	180	18	N	360	36
			Variable	—	99

2. เครื่องมือวัดทิศทางลม

เครื่องวัดทิศทางลมผิวพื้นใช้สรลม (wind vane) ที่มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

- 1. หมุนรอบแกนได้คล่อง คือ มีความฝืดน้อยที่สุด ควรใช้เบริงตลับลูกปืน
- 2. ติดตั้งสรลมให้สมดุลกับแกนจริง ๆ และให้ทิศชี้ถูกต้องตามทิศเหนือ
- 3. ออกแบบให้มีแรงหมุนรอบตัวในอัตราเร็วสูงที่สุด
- 4. เมื่อลมเปลี่ยนทิศทางไปตามธรรมชาติ สรลมจะต้องไม่สั่น

สำหรับแบบของสรลมที่นิยมใช้กัน ดังภาพที่ 4.17 ที่ใช้กันมากที่สุด คือ ภาพบนขวา ซึ่งทำเป็นลูกศร และส่วนปลายเป็น 2 หางจรดกันเป็นมุมประมาณ 22° จะได้รับลมปะทะทั้ง 2 ข้าง ถ้าสรลมหันตรงลมจึงเลี้ยงให้นิ่งได้ แม้มพัดเบา ๆ ก็หันตามได้รวดเร็ว



ภาพที่ 4.17 แสดงเครื่องมือวัดความเร็วลมแบบต่าง ๆ

3. เครื่องมือวัดความเร็วลม

เครื่องมือวัดความเร็วลมแบบลูกถ้วย ใช้การหมุนของลูกถ้วยรูปทรงกรวย 3 ใบ จะได้มีแรงเหวี่ยงหมุนรอบตัวเองสูงที่สุด และขอบถ้วยทำให้เป็นรูปนูนขึ้นมา เพื่อให้ไวต่อการผกผันของกระแสลมน้อยกว่าขอบเรียบธรรมดา เครื่องมือนี้คือ แอนนิโมมิเตอร์ (anemometer) ดังภาพที่ 4.17 (ก) และเครื่องมือวัดความเร็วและทิศทางลมคือแอโรเวน ภาพที่ 4.18 (ข)



ภาพที่ 4.18 เครื่องมือวัดลม (ก) แอนนิโมมิเตอร์ เครื่องมือวัดความเร็วลม (ข) แอโรเวน เครื่องมือวัดความเร็วและทิศทางลม

เครื่องมือวัดลมจะต้องติดตั้งบนอาคารที่เป็นคาบฟ้าในระดับสูง 11 เมตร และไม่มีสิ่งกีดขวาง ความเร็วลมใช้หน่วยในการวัดดังนี้

- 3.1 หน่วยที่ใช้ในการวัด ความเร็วลม มีหน่วยที่ใช้ในการวัด ดังนี้
 - 3.1.1 นอต (knot) หรือ kt คือไมล์ทะเลต่อชั่วโมง
 - 3.1.2 เมตร ต่อ วินาที หรือ m/s
 - 3.1.3 กิโลเมตร ต่อ ชั่วโมง หรือ km/h
 - 3.1.4 ไมล์ต่อชั่วโมง หรือ $m.p.h$

3.1.5 ฟุตต่อวินาที หรือ *ft/s*
หน่วยวัดความเร็วลมทั้ง 5 มีความสัมพันธ์กันดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ของ *kt, m/s, km/h, m.p.h./t ft/s*

<i>kt</i>	<i>m / s</i>	<i>m.p.h</i>	<i>km / h</i>	<i>ft / s</i>
1.000	0.515	1.152	1.853	1.689
1.943	1.000	2.237	3.600	3.281
0.868	0.447	1.000	1.609	1.467
0.540	0.278	0.622	1.000	0.911
0.592	0.305	0.682	1.097	1.000

ที่มา : ไซว สุวรรณพงศ์ 1961 : 81

ขณะที่ลมพัดเข้าสู่สถานีตรวจอากาศ เจ้าหน้าที่จะต้องคาดคะเนความเร็วลมได้ โดยการประมาณจากอาการของสิ่งที่รับลม ดังจะกล่าวต่อไปนี้

3.2 การคาดคะเนความเร็วลม พลเรือเอกโบฟอร์ตแห่งราชนาวิกอังกฤษ ได้กำหนดการประมาณความเร็วลมไว้ 12 มาตรา ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1805 โดยสังเกตจากอาการที่ใบเรือรับลมเป็นหลัก ต่อมาจึงเปรียบเทียบตามกำลังของลม โดยอาการของควันบั้ง ธงบั้ง รวมทั้ง ต้นไม้และอาคารบ้านเรือนเป็นเครื่องกำหนดโดยประมาณบนพื้นดิน แล้วเทียบเป็นมาตราโบฟอร์ต ต่อมาองค์การอุตุนิยมวิทยาโลกได้ปรับปรุงการคาดคะเนความเร็วของลมจนถึงมาตรา 17 โบฟอร์ต ดังตารางที่ 4.5 (ตามหนังสือคู่มือว่าด้วยการตรวจอากาศและวิธีการตรวจปี 1961) และได้ถือปฏิบัติโดยทั่วไป

ตารางที่ 4.5 แสดงมาตราไบฟอร์ต

Beaufort Number	Description	Velocity equivalent at a standard height of 10 meters above open flat ground					Specifications for estimating speed over land
		Knots	Meters per second	Kilometers per hour	Miles per hour		
0	Calm	1	0 — 0.2	1	1	Calm; smoke rises vertically.	
1	Light air	1 — 3	0.3 — 1.5	1 — 5	1 — 3	Direction of wind shown by smoke-drift but not by wind vanes.	
2	Light breeze	4 — 6	1.6 — 3.3	0 — 11	4 — 7	Wind felt on face; leaves rustle; ordinary vanes moved by wind.	
3	Gentle breeze	7 — 10	3.4 — 5.4	12 — 19	8 — 12	Leaves and small twigs in constant motion; wind extends light flag.	
4	Moderate breeze	11 — 16	5.5 — 7.9	20 — 28	13 — 18	Rises dust and loose paper; small branches are moved.	
5	Fresh breeze	17 — 21	8.0 — 10.7	29 — 38	19 — 24	Small trees in leaf begin to sway, crested wavelets form on inland waters.	
6	Strong breeze	22 — 27	10.8 — 13.8	39 — 49	25 — 31	Large branches in motion; whistling heard in telegraph wires; umbrellas used with difficulty.	
7	Near gale	28 — 33	13.0 — 17.1	50 — 61	32 — 38	Whole trees in motion; inconvenience felt when walking against the wind.	
8	Gale	34 — 40	17.2 — 20.7	62 — 74	39 — 46	Break's twigs off trees; generally impeded progress.	
9	Strong gale	41 — 47	20.8 — 24.4	75 — 88	47 — 54	Slight structural damage occurs (Clinneypots and slates removed)	
10	Storm	48 — 55	24.5 — 28.4	89 — 102	55 — 63	Seldom experienced inland; trees uprooted; considerable structural damage occurs.	
11	Violent storm	56 — 63	28.5 — 32.6	103 — 117	64 — 72	Very rarely experienced; accompanied by widespread damage.	
12	Hurricane	64 — 71	32.7 — 36.9	118 — 133	73 — 82	*	
13	—	72 — 80	37.0 — 41.4	134 — 149	83 — 92	*	
14	—	81 — 89	41.5 — 46.1	150 — 166	93 — 103	*	
15	—	90 — 99	46.2 — 50.9	107 — 163	104 — 114	*	
16	—	100 — 108	51.0 — 50.0	184 — 201	115 — 125	*	
17	—	109 — 118	56.1 — 61.2	202 — 220	120 — 136	*	

* The equivalents for speeds over 63 knots are provided for use when instrumental determination of speed is possible.

ที่มา: ไสว สุวรรณพงษ์ 1961 : 94

บทสรุป

ความกดอากาศที่บริเวณต่าง ๆ บนพื้นโลกแตกต่างกัน เราทราบค่าความกดอากาศได้จากบารอมิเตอร์แบบปรอท แบบแอนิโรยด์ และอ่านค่าจากกระดาษกราฟของบารอกราฟ

เมื่อมีแรงต่าง ๆ เช่น แรงความชันความกดอากาศ แรงเฉื่อย แรงเสียดทาน แรงหนีศูนย์กลาง และแรงอื่น ๆ กระทำต่ออากาศ ทำให้เกิดลมผิวพื้นพัดหมุนเวียนประจำปี เช่น ลมสินค้า ลมตะวันออก ลมตะวันตก และมีลมพัดคราวละครั้งปีโดยประมาณ เช่น ลมมรสุม นอกจากนี้มีลมประจำเวลา ลมที่พัดในเวลากลางวัน เช่น ลมทะเล ลมหุบเขา ส่วน ลมบก ลมภูเขา พัดในเวลากลางคืน เราทราบค่าความเร็วและทิศทางลมได้จาก เครื่องมือวัดความเร็วลม เช่น อะนิโมมิเตอร์ และใช้ศรลมวัดทิศทางลม

คำถามท้ายบท

1. จงอธิบายความหมายต่อไปนี้

ความกดอากาศ บริเวณความกดอากาศสูง หย่อมความกดอากาศต่ำ ลม ลมสินค้า ลมตะวันตก ลมตะวันออก ลมมรสุม ลมภูเขา ลมหุบเขา

2. ลมจีโอสโทรฟิกเหมือนกันหรือต่างกับลมเกรเดียนต์อย่างไรบ้าง จงอธิบายให้เข้าใจ

3. จงเขียนแผนภาพแสดงการเกิดลมบก ลมทะเล

4. อธิบายแรงต่อไปนี้

แรงเข้าสู่ศูนย์กลาง แรงหนีศูนย์กลาง แรงเฉื่อย แรงความชันความกดอากาศ แรงเสียดทาน

5. เครื่องมือต่อไปนี้ใช้วัดหรือบอกค่าสิ่งใด

บารอมิเตอร์ บารอกราฟ แอลติมิเตอร์ แอนิโมมิเตอร์ ศรลม

6. เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของบารอมิเตอร์แบบคิวกและแบบฟอร์ดิน

7. บารอกราฟมีข้อดีและข้อบกพร่องอย่างไรบ้าง

8. แอโรเวน คือ อะไร

9. จงบอกใจความของกฎของบาชแบลอค

10. เส้นไอโซบาร์ คืออะไร
11. เขียนภาพแสดงไซโคลน แอนติไซโคลนเฉพาะในซีกโลกฝ่ายเหนือ
12. จงอธิบายรายละเอียดต่อไปนี้
 - 12.1 บอกหน่วยที่ใช้ในการวัดสิ่งต่อไปนี้
แรง ความกดอากาศ ความเร็วลม
 - 12.2 เขาวัดทิศทางลมอย่างไร

