เอกสารประกอบการสอน

วิชา 104107 Man and Environment

เรื่อง

วิวัฒนาการของมนุษย์ (Human Evolution)

ดิน (Soil)

น้ำ (Water)

ทะเลและมหาสมุทร (Sea and Ocean)

โดย

ดร.ณัฐวุฒิ ธานี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชาชีววิทยาสิ่งแวดล้อม

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำนำ

เอกสารนี้เป็นส่วนหนึ่งของเอกสารประกอบการสอนวิชา 104107 มนุษย์และสภาวะแวดล้อม (Man and Environment) ตามหลักสูตรระดับปริญญาตรีของทุกสำนักวิชา เนื้อหาส่วนนี้ได้กล่าวถึงวิวัฒนาการของมนุษย์ องค์ประกอบทางกายภาพที่มีผลต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ได้แก่ ดิน น้ำ ทะเลและมหาสมุทร โดยยังไม่ได้ครอบคลุมเนื้อหาทั้งหมด

ผู้เขียนหวังว่าเอกสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อนักศึกษาและบุคคลทั่วไปและ ขอขอบคุณ คุณอานิสงส์ จิตนารินทร์ ที่ช่วยสนับสนุนข้อมูลและการจัดพิมพ์รูปเล่ม

ดร.ณัฐวุฒิ ธานี
สาขาวิชาชีววิทยา สำนักวิชาวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
พฤษภาคม 2549

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 วิวัฒนาการของมนุษย์ (Human Evolution)	**1**
1.1 ประวัติและพัฒนาการของการศึกษาวิวัฒนาการ (History of Evolution)	1
1.1.1 ทฤษฎีของลามาร์ก	1
1.1.2 ทฤษฎีการคัดเลือกโดยธรรมชาติของดาร์วิน	2
1.1.3 ทฤษฎีการผ่าเหล่า	3
1.2 หลักฐานสนับสนุนการวิวัฒนาการ (Evidence Supporting Biological Evolution)	3
1.2.1 หลักฐานทางซากบรรพชีวิน	5
1.2.2 กายวิภาคเปรียบเทียบ	5
1.2.3 หลักฐานจากการเจริญเติบโตของเอมบริโอ	5
1.2.4 หลักฐานทางพันธุศาสตร์และการศึกษาระดับโมเลกุล	7
1.3 วิวัฒนาการของมนุษย์ (Human Evolution)	7
1.3.1 ตำแหน่งของมนุษย์ในการจัดหมวดหมู่สิ่งมีชีวิต	7
1.3.2 การศึกษาวิวัฒนาการของมนุษย์	9
1.3.3 ลำดับเหตุการณ์และหลักฐานของการศึกษาวิวัฒนาการของมนุษย์	9
1.3.4 สายวิวัฒนาการของมนุษย์	12
1.3.5 *Homo floresiensis* สายพันธุ์วิวัฒนาการมนุษย์ที่เพิ่งถูกค้นพบ	15
1.3.6 การปรับตัวทางชีววิทยาของมนุษย์	21
1.4 บรรณานุกรม	21
บทที่ 2 ดิน (Soil)	**22**
2.1 องค์ประกอบของดิน (Soil Composition)	22
2.2 หน้าตัดข้างของดิน (Soil Profile)	22
2.3 ลักษณะเนื้อดิน (Soil Texture)	24
2.4 น้ำในดิน (Soil Water)	25
2.4.1 ปัจจัยควบคุมน้ำใต้ดิน	25
2.4.2 ระดับน้ำแปลกปลอม	28
2.4.3 มลพิษของน้ำใต้ดิน	28
2.5 สิ่งมีชีวิตในดิน (Soil Organisms)	29
2.6 ปัจจัยในการเกิดดิน (Factor in Soil Formation)	30
2.7 ดินและแหล่งเศรษฐกิจ (Soil and Economic Deposits)	32

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.8 บรรณานุกรม	33
บทที่ 3 น้ำ (Water)	**35**
3.1 รูปแบบของน้ำ (Type of Water)	35
3.2 น้ำในเชิงวิทยาศาสตร์ (Water Chemistry)	35
3.3 น้ำในโลก (Water on Earth)	37
3.4 วัฏจักรของน้ำ (Water Cycle)	37
3.5 เมฆ หมอกและหยาดน้ำฟ้า (Cloud, Fog, and Precipitation)	38
3.5.1 เมฆ	39
3.5.2 หมอก	42
3.5.3 น้ำค้าง	42
3.5.4 หยาดน้ำฟ้า	43
3.5.5 อุปกรณ์วัดน้ำฝน	46
3.6 น้ำผิวดิน (Surface Water)	46
3.7 น้ำใต้ดิน (Groundwater)	48
3.8 การไหลเวียนของน้ำในมหาสมุทร (Ocean Circulation)	48
3.8.1 การไหลเวียนของกระแสน้ำบริเวณพื้นผิวมหาสมุทร	48
3.8.2 การไหลเวียนของกระแสน้ำลึกในมหาสมุทร	50
3.9 ประโยชน์ของน้ำ (Advantage of Water)	51
3.9 บรรณานุกรม	52
บทที่ 4 ทะเลและมหาสมุทร (Sea and Ocean)	**53**
4.1 การกระจายของทะเลและแผ่นดินบนผิวโลก (Sea and Ocean Distribution)	53
4.2 ลักษณะภูมิประเทศของแอ่งมหาสมุทร (Oceanic Topography)	55
4.2.1 ไหล่ทวีป	55
4.2.2 ลาดทวีป	55
4.2.3 ลาดตีนทวีป	55
4.2.4 ก้นสมุทร	56
4.3 พืดหินใต้น้ำหรือหินโสโครก (Reef)	56

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 ความเค็มของน้ำทะเล (Salinity)	56
4.5 การเคลื่อนที่ของน้ำทะเล (Seawater Movement)	57
4.5.1 คลื่น	58
4.5.2 น้ำขึ้นน้ำลง	59
4.6 แนวปะการัง (Coral Reef)	63
4.6.1 การแพร่กระจายของแนวปะการัง	63
4.6.2 ชนิดของแนวปะการัง	64
4.7 ป่าชายเลน (Mangrove)	66
4.7.1 ชนิดของป่าชายเลน	67
4.7.2 พรรณไม้ป่าชายเลนที่ควรรู้จัก	67
4.7.3 สัตว์ป่าชายเลน	69
4.7.4 ความสำคัญของป่าชายเลน	69
4.8 บรรณานุกรม	70

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 ยีราฟหลักฐานหนึ่งของทฤษฎีของลามาร์ก 2

รูปที่ 1.2 นกฟินส์บนเกาะ Galapagos ตัวอย่างวิวัฒนาการของดาร์วิน 3

รูปที่ 1.3 Geographical isolation 4

รูปที่ 1.4 Law of Superposition 5

รูปที่ 1.5 โครงสร้างภายในที่คล้ายคลึงกัน (homology) 6

รูปที่ 1.6 การเจริญเติบโตของเอมบริโอในสัตว์แต่ละชนิด 6

รูปที่ 1.7 สายวิวัฒนาการของ primate 8

รูปที่ 1.8 โครงกระดูกของ Lucy และภาพจำลองของ Lucy 10

รูปที่ 1.9 Bipedalism การเดินด้วยสองขาหลังและหลังตรง รวมทั้งการปรับตัวของอวัยวะต่าง ๆ ให้เหมาะสม ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของวิวัฒนาการของมนุษย์ เปรียบเทียบกับกอลลิลา 10

รูปที่ 1.10 ความแตกต่างของเท้าระหว่างลิง วานรกับมนุษย์ (ซ้าย) และLaetoli Footprints reconstruction (ขวา) 11

รูปที่ 1.11 วิวัฒนาการขนาดของสมอง 11

รูปที่ 1.12 Proconsul และ Aegyptopithecus 12

รูปที่ 1.13 *Australopithecus aferensis* 13

รูปที่ 1.14 *Homo erectus* 13

รูปที่ 1.15 *Homo sapiens* 13

รูปที่ 1.16 เปรียบเทียบระหว่าง *Homo erectus* (ซ้าย) และ *Homo sapiens* (ขวา) 14

รูปที่ 1.17 มนุษย์ปักกิ่ง Crania (ซ้าย) หุ่นจำลอง (กลาง) และ ภาพจำลองการดำรงชีวิต (ขวา) 14

รูปที่ 1.18 *Homo neanderthalensis* 15

รูปที่ 1.19 กระโหลกของ *Homo floresiensis* 17

รูปที่ 1.20 กระโหลกของ *Homo floresiensis* (ซ้าย) เปรียบเทียบกับ Homo sapiens (ขวา) 17

รูปที่ 1.21 แบบจำลองของ *H. floresiensis* และแผนภาพแสดงสายวิวัฒนาการ 18

รูปที่ 1.22 เครื่องมือหินที่ขุดพบพร้อมกับฟอสซิล *H. floresiensis* 19

รูปที่ 1.23 แผนที่แสดงการกระจายตัวของสีผิวมนุษย์ 21

รูปที่ 2.1 หน้าตัดข้างของดิน 23

รูปที่ 2.2 การพัฒนาของดินมัจฉิมวัย 24

รูปที่ 2.3 The USDA Soil Classification name: triangular diagram (Lundgren, 1999) 25

รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ของแหล่งน้ำในธรรมชาติ 26

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 2.5 แสดงความพรุน โครงสร้างในชั้นดิน การกักเก็บของน้ำระหว่างเม็ดตะกอน โซนอิ่มอากาศ 27
รูปที่ 2.6 ชั้นน้ำแปลกปลอมในเขตอิ่มอากาศ 28
รูปที่ 2.7 แสดงการเกิดมลพิษของน้ำใต้ดินเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์ 29
รูปที่ 2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดดิน (ด้านภูมิอากาศและหินต้นกำเนิด) 31
รูปที่ 2.9 ลักษณะของหน้าตัดด้านข้างของดินที่เกิดอยู่ในไบโอมที่แตกต่าง 32
รูปที่ 3.1 โมเลกุลของน้ำ 36
รูปที่ 3.2 วัฏจักรของน้ำ 37
รูปที่ 3.3 แกนควบแน่น ละอองน้ำในเมฆ และหยดน้ำฝน 38
รูปที่ 3.4 แสดงการเรียกชื่อเมฆ 40
รูปที่ 3.5 เมฆชั้นสูง a. Cirrocumulus, b. Cirrostratus, c. Cirrus จากซ้ายสุดไปขวาสุดตามลำดับ 40
รูปที่ 3.6 เมฆชั้นกลาง a. Altocumulus (ซ้าย) และ b. Altostratus (ขวา) 41
รูปที่ 3.7 เมฆชั้นต่ำ a. Stratus, b. Stratocumulus, c. Nimbostratus จากซ้ายสุดไปขวาสุดตามลำดับ 41
รูปที่ 3.8 เมฆก่อตัวในแนวตั้ง a. Cumulus (ซ้าย) และ b. Cumulonimbus (ขวา) 42
รูปที่ 3.8 การหล่นของหยดน้ำขนาดเท่ากัน (ซ้าย) และขนาดแตกต่างกัน (ขวา) 43
รูปที่ 3.9 การเพิ่มขนาดของหยดน้ำในก้อนเมฆ 44
รูปที่ 3.10 การเพิ่มขนาดของผลึกน้ำแข็ง 44
รูปที่ 3.11 กระบวนการเกิดหยาดน้ำฟ้าในเมฆคิวมูโลนิมบัส 45
รูปที่ 3.12 ลูกเห็บ 45
รูปที่ 3.13 อุปกรณ์วัดน้ำฝน 46
รูปที่ 3.14 แสดงทิศทางของกระแสลมและกระแสน้ำบนพื้นผิวมหาสมุทร 49
รูปที่ 3.15 แสดงทิศทางของกระแสน้ำอุ่นและกระแสน้ำเย็น 49
รูปที่ 3.16 แสดงกระแสน้ำตื้นและกระแสน้ำลึก 51
รูปที่ 4.1 ทะเลและมหาสมุทรที่สำคัญบนพื้นโลก 53
รูปที่ 4.2 แสดงตำแหน่งและลักษณะของร่องน้ำลึกในทะเล The Puerto Rico Trench เป็นตัวอย่าง 54
รูปที่ 4.3 ภาพตัดขวามของส่วนต่าง ๆ ของแอ่งมหาสมุทร 55
รูปที่ 4.4 แสดงค่า salinity ของน้ำทะเลในทะเลและมหาสมุทรต่าง ๆ ซึ่งแสดงด้วยเส้น isohaline 58
รูปที่ 4.5 แสดงหน้าตัดของคลื่น 58
รูปที่ 4.6 แสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นสู่ชายฝั่ง 59
รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลาดชันของพื้นท้องทะเลและชนิดคลื่นหัวแตก 60

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.8 แสดงการเกิดน้ำขึ้นน้ำลง เนื่องจากอิทธิพลของดวงจันทร์ 61

รูปที่ 4.9 แสดงการเกิดน้ำขึ้นน้ำลง เนื่องมาจากอิทธิพลร่วมกันของดวงจันทร์กับดวงอาทิตย์ และการเกิด Spring tides และ Neap tides 62

รูปที่ 4.10 Hexacorals 63

รูปที่ 4.11 แสดงการกระจายตัวของแนวปะการังทั่วโลก ซึ่งส่วนใหญ่พบในเขตอบอุ่นที่อุณหภูมิสูง 64

รูปที่ 4.12 ชนิดของแนวปะการัง 65

รูปที่ 4.13 แสดง Great Barrier Reef ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของออสเตรเลีย 66

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่2.1 กลุ่มของอนุภาคของ fine earth ตามแบบสากล	24
ตารางที่ 3.1 ลักษณะสำคัญทางเคมีของน้ำ	36
ตารางที่ 3.2 ประจุเกลือในน้ำทะเล	50
ตารางที่ 4.1 แสดงพื้นที่และความลึกของทะเลและมหาสมุทร	54
ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณของอิออนชนิดต่าง ๆ ในน้ำทะเลที่ระดับความเค็ม 35%	57
ตารางที่ 4.3 แสดงความเค็มเฉลี่ยของน้ำทะเลและมหาสมุทรที่สำคัญ	57

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1 วิวัฒนาการของมนุษย์

วิวัฒนาการ (Evolution) เป็นศาสตร์ทางชีววิทยาแขนงหนึ่งที่ศึกษาเกี่ยวกับการเจริญ การเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิต จากอดีตถึงปัจจุบัน รวมทั้งแนวความคิดของคนเกี่ยวกับวิวัฒนาการ

การศึกษาด้านนี้อาศัยกระบวนการศึกษาทางวิทยาศาสตร์ (Scientific Method) ซึ่งประกอบไปด้วย การสังเกต การตั้งปัญหา การรวบรวมข้อมูล การตั้งสมมติฐาน การทดสอบสมมุติฐาน และการสรุปผล ซึ่งเป็นพื้นฐานของวิทยาศาสตร์ทุกแขนง วิวัฒนาการได้เปลี่ยนความคิดที่ว่าพระเจ้าเป็นผู้สร้างโลก ดวงจันทร์ ดวงอาทิตย์ และสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ บนโลก โดยได้อธิบายและหาหลักฐานยืนยันว่า การเกิดสิ่งมีชีวิตต่าง ๆ บนโลก โดยเฉพาะสิ่งมีชีวิตชั้นสูง จะมีอวัยวะที่ซับซ้อนและยุ่งยากกว่าสิ่งมีชีวิตชั้นต่ำ

วิวัฒนาการสามารถพบเห็นได้ทั้งในพืชและสัตว์ สำหรับวิวัฒนาการในทางชีววิทยา (Biological Evolution) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของพันธุ์กรรมของประชากรสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของประชากรหลายชั่วอายุ (ไม่ใช่เริ่มจากตัวสิ่งมีชีวิตตัวใดตัวหนึ่ง) ซึ่งแต่ละชีวิตต้องมีโปรโทพลาสซึม DNA และ โปรตีน

โปรโทพลาสซึม (Protoplasm) ประกอบด้วย โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน เกลือแร่ น้ำ และอื่น ๆ รวมกัน ผลของการเปลี่ยนแปลงทางเคมีฟิสิกส์ เช่น การเปลี่ยนแปลงของพลังงานจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่ง เป็นเหตุทำให้สิ่งมีชีวิตอุบัติขึ้น

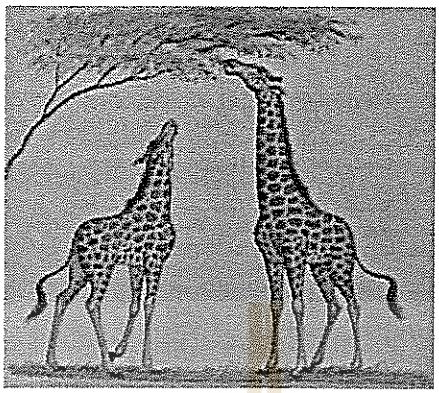
1.1 ประวัติและพัฒนาการของการศึกษาวิวัฒนาการ (History of Evolution)

1.1.1 ทฤษฎีของลามาร์ก (Lamarck's Theory)

ก่อตั้งโดย จีน แบพติส เดอลามาร์ก (Jene Baptiste De Lamarck:1744 – 1829) วิศวกรชาวฝรั่งเศส ซึ่งในบั้นปลายชีวิตได้ศึกษาชีววิทยา ได้เป็นผู้วางรากฐานเกี่ยวกับวิวัฒนาการเป็นคนแรก โดยได้เสนอกฎ 2 ข้อ คือ กฎการใช้และไม่ใช้ (Law of Use and Disuse) และกฎแห่งการถ่ายทอดลักษณะที่เกิดขึ้นใหม่ (Law of Inheritance of Acquired Characteristics)

จากกฎทั้ง 2 ข้อนี้สรุปได้ว่า สิ่งแวดล้อมมีผลต่อรูปร่างของสิ่งมีชีวิต อวัยวะใดที่ใช้บ่อย ก็จะมีการเจริญเติบโต ขยายใหญ่ขึ้น อวัยวะใดที่ไม่ใช้ก็จะอ่อนแอลงและเสื่อมหายไปในที่สุด ลักษณะที่ได้มาและเสียไปโดยอิทธิพลของสิ่งแวดล้อม โดยการใช้และไม่ใช้จะคงอยู่ และถ่ายทอดไปสู่ลูกหลานโดยทางพันธุกรรม ยกตัวอย่างเช่น ยีราฟสมัยก่อนมีคอสั้น เมื่อยืดคอกินใบไม้สูง ๆ นาน ๆ เข้าคอจะค่อย ๆ ยืดยาวจนเป็นยีราฟปัจจุบัน (รูปที่ 1.1) ขาหลังของปลาวาฬหายไป เนื่องจากใช้หางว่ายน้ำ อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่า ลามาร์กจะเป็นผู้วางรากฐานของวิวัฒนาการเป็นคนแรก แต่ลามาร์กไปเน้นการถ่ายทอดลักษณะไปให้ลูกหลานว่าเกิดจากการฝึกปรือซึ่งไม่ถูกต้อง เนื่องจากในสมัยนั้นวิชาพันธุศาสตร์ยังไม่เจริญ ไวส์มันน์ (Weismann) ชาวเยอรมันได้ทำการทดลองตัดหางหนู 20 รุ่น เพื่อคัดค้าน ลามาร์ก หนูที่ถูกตัดหางยังคงมีลูกที่มีหาง ไวส์มันน์ อธิบายว่าเนื่องจากสิ่งมีชีวิตประกอบด้วยเซลล์สืบพันธุ์และเซลล์เนื้อเยื่อ เมื่อสิ่งมีชีวิตตายเซลล์สืบพันธุ์เท่านั้นที่ถ่ายทอด

ให้ลูกหลานได้ (ก่อนตาย) ส่วนเซลล์เนื้อเยื่อจะหมดสภาพไป การที่หนูถูกตัดหางเป็นเรื่องของเซลล์เนื้อเยื่อ ส่วนเซลล์สืบพันธุ์มีการควบคุมการสร้างหาง หนูที่เกิดใหม่จึงยังคงมีหาง ความคิดของไวส์มันน์ตรงกับความรู้เรื่องพันธุกรรมสมัยนี้ เขาเรียกการสืบทอดลักษณะนี้ว่า การสืบต่อกันไปของเซลล์สืบพันธุ์ (The Continuity of the Germ Plasm)



รูปที่ 1.1 ยีราฟหลักฐานหนึ่งของทฤษฎีของลามาร์ก (จาก http://necsi.org)

1.1.2 ทฤษฎีการคัดเลือกโดยธรรมชาติของดาร์วิน (Darwin's Theory)

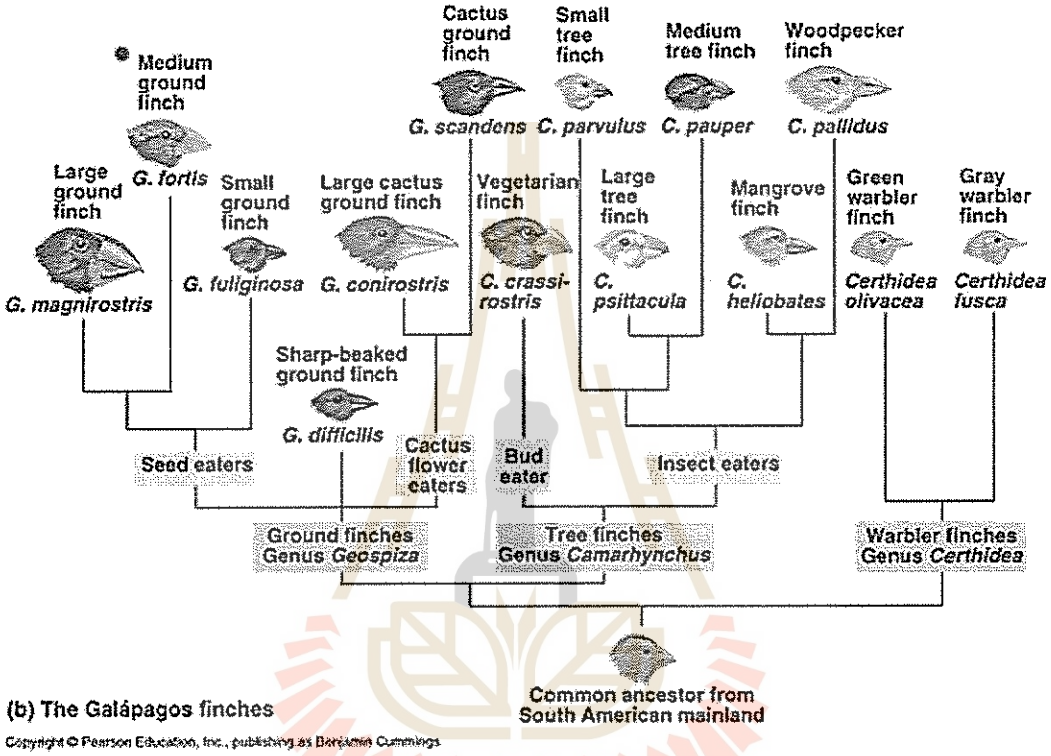
ชาร์ลส์ ดาร์วิน (Charles Darwin) เกิดเมื่อวันที่ 12 กุมภาพันธ์ ค.ศ. 1890 ที่อังกฤษ เป็นบุตรของนายโรเบิร์ต วอริง ดาร์วิน. Darwin ได้เริ่มศึกษาวิชาธรรมชาติวิทยา ที่มหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ และเมื่อจบการศึกษาแล้วได้เดินทางรอบโลกไปกับเรือบีเกิล ของรัฐบาลอังกฤษ โดย ดร.จอห์น เฮนสโลว์ เป็นผู้แนะนำ เขาได้นำประสบการณ์จากการศึกษาชนิดของพืชและสัตว์ต่าง ๆ ที่พบในหมู่เกาะกาลาปากอส หมู่เกาะนี้อยู่ในมหาสมุทรแปซิฟิก ดาร์วินได้ท่องเที่ยวมาเป็นเวลา 5 ปี

ค.ศ. 1859 Darwin ได้เสนอ ทฤษฎีการเกิดสิ่งมีชีวิตใหม่ เป็นผลอันเนื่องมาจากการคัดเลือกทางธรรมชาติ (On the Origin of Species by Means of Natural Selection) ทำให้สามารถเข้าใจการกระจายของพืชและสัตว์ ที่มีอยู่ประจำแต่ละท้องถิ่นตามหลักซึ่งภูมิศาสตร์ ดังต่อไปนี้คือ

- สิ่งมีชีวิตทุกชนิดมีความสามารถสืบพันธุ์สูง ทำให้ประชากรมีการเพิ่มแบบทวีคูณ
- ความเป็นจริงในธรรมชาติ ประชากรมิได้เพิ่มขึ้นเป็นแบบทวีคูณเนื่องจากอาหารมีจำนวนจำกัด
- สิ่งมีชีวิตต้องมีการดิ้นรนต่อสู้เพื่อความอยู่รอด พวกที่มีความเหมาะสมก็จะมีชีวิตอยู่รอด พวกที่ไม่มีความเหมาะสมก็จะตายไป
- พวกที่อยู่รอดจะมีโอกาสแพร่พันธ์ต่อไป
- การเกิดสปีชีส์ใหม่เป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงที่ละเล็กละน้อย ตามทัศนะของ Darwin กลไกของวิวัฒนาการสภาพแวดล้อม เป็นตัวทำให้เกิดการคัดเลือกทางธรรมชาติขึ้น เพื่อให้ได้ลักษณะที่เหมาะสมและมีโอกาสสืบพันธุ์

1.1.3 ทฤษฎีการผ่าเหล่า (Theory of Mutation)

ทฤษฎีนี้ ฮิวโก เดอ ฟรีส์ (Hugo de Vries) ซึ่งเป็นนักพฤกษศาสตร์ชาวฮอลันดา ตั้งขึ้นใน ค.ศ. 1895 เดอ ฟรีส์ พบพืชดอกชนิดหนึ่ง มีลักษณะแปลกกว่าต้นอื่น ๆ เขาจึงนำเมล็ดของพืชต้นเดิมแบบเก่ามาเพาะ ปรากฏว่าได้ต้นที่มีลักษณะแปลกอยู่ต้นหนึ่ง เมื่อนำเมล็ดของต้นที่มีลักษณะแปลกมาเพาะ จะได้ต้นที่มีลักษณะแปลกทั้งหมดแสดงว่าได้เกิดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างกระทันหันในต้นเดิม เขาจึงตั้งทฤษฎีของการผ่าเหล่า โดยอาศัยข้อเท็จจริงจากการสังเกต และการทดลองดังกล่าวนี้ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า พันธุ์ใหม่ ๆ อาจเกิดโดยกระทันหันได้ (by chance)



รูปที่ 1.2 นกฟินส์บนเกาะ Galapagos ตัวอย่างวิวัฒนาการของดาร์วิน (จาก http://fig.cox.miami.edu)

1.2 หลักฐานสนับสนุนการวิวัฒนาการ

สิ่งมีชีวิตแรกเริ่มอุบัติขึ้นมาบนโลกเมื่อประมาณ 3.5 พันล้านปีก่อน จนกระทั่งกลายเป็นสิ่งมีชีวิตจำนวนมหาศาลบนโลกในปัจจุบัน ชี้ให้เห็นถึงผลผลิตของวิวัฒนาการ

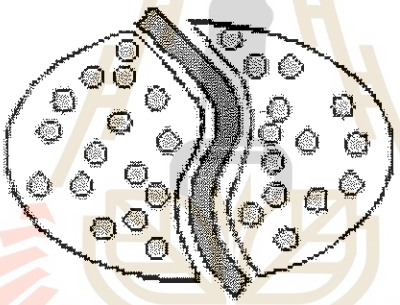
ที่จริงแล้วคำว่า evolution นั้นไม่ได้เกิดขึ้นมาพร้อมกับทฤษฎี Natural Selection ของ Charles Darwin (1859) แต่นักคิดชาวกรีกได้คิดไว้ก่อนหน้าแล้วว่าสิ่งมีชีวิตที่มีชนิดใกล้เคียงกัน จะสืบสายพันธุ์มาจากบรรพบุรุษร่วมเดียวกัน คำว่า evolution ปรากฏใช้ในภาษาอังกฤษเมื่อปี ค.ศ.1647 แต่ในขณะนั้นมีการใช้ในสาขาวิชาอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับชีววิทยา Darwin เองมักจะใช้คำว่า "ลูกหลานที่ผ่านการปรับตัว" ซึ่งก็ยังคงความหมายเช่นเดียวกับ evolution มาจนถึงปัจจุบัน

Darwin เสนอว่าวิวัฒนาการอธิบายได้ว่า การรอดชีวิตของสิ่งมีชีวิตเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติ ซึ่งเขาเรียกว่าการคัดเลือกโดยธรรมชาตินั้น สิ่งมีชีวิตสามารถถ่ายทอดสารพันธุกรรมสู่รุ่นลูกรุ่นหลาน และสารพันธุกรรมที่เหมาะสมกับสภาวะแวดล้อมหนึ่ง ๆ จะช่วยให้สิ่งมีชีวิตนั้นสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้

และมีโอกาสถูกถ่ายทอดต่อไป ลูกที่เกิดขึ้นจึงอาจแตกต่างจากพี่น้องหรือพ่อแม่ได้ สมมติฐานนี้ต่อมาถูกดัดแปลงและขยายความไปมากแต่ยังคงหลักการเดิม ภายหลังมีการศึกษาด้านพันธุศาสตร์และนำมาเป็นหลักฐานสนับสนุนทฤษฎีได้เป็นอย่างดี

การกลายพันธุ์ (Mutation) นั้นเกิดโดยโอกาส ไม่ขึ้นกับการคัดเลือกโดยธรรมชาติ แต่หากการกลายพันธุ์นั้นเหมาะสมกับสภาวะแวดล้อมหนึ่ง ๆ ก็จะมีโอกาสในการถ่ายทอดลักษณะนั้นสู่รุ่นต่อไป สิ่งมีชีวิตที่มียีนส์กลายพันธุ์อยู่ก็จะมีโอกาสอยู่รอดมากขึ้น และลูกหลานก็จะมีจำนวนเพิ่มขึ้น จะเปลี่ยนแปลงสัดส่วนในกลุ่มประชากร แต่ไม่จัดว่าเป็นการปรับตัว (Adaptation) ซึ่งเป็นผลจากการคัดเลือกโดยธรรมชาติ

นักวิทยาศาสตร์เรียนรู้กระบวนการวิวัฒนาการโดยการเกิดสิ่งมีชีวิตชนิดใหม่ (Speciation) สิ่งมีชีวิตชนิดใหม่นิยามได้โดยไม่สามารถผสมพันธุ์และผลิตลูกหลานกับสิ่งมีชีวิตชนิดที่มีอยู่ก่อนแล้วได้ การเกิดชนิดใหม่มักเริ่มจากการเกิดสิ่งกีดขวางทางภูมิศาสตร์ ทำให้เกิดการแยกกลุ่มสิ่งมีชีวิตออกให้โดดเดี่ยว (Geographical isolation) อย่างเช่น เกาะที่อยู่ไกล ๆ เช่น Galapagos ทำให้สิ่งมีชีวิตบนเกาะมีโอกาสน้อยที่จะผสมพันธุ์กับสิ่งมีชีวิตบนแผ่นดินใหญ่ (America และ Asia) นอกจากนี้ ภูเขา แม่น้ำ ทะเลสาบ และสิ่งกีดขวางทางธรรมชาติต่าง ๆ ก็ทำตัวเป็นสิ่งกีดขวางทางภูมิศาสตร์ แยกประชากรที่เคยเป็นชนิดเดียวกันออกจากกัน



รูปที่ 1.3 Geographical isolation (จาก http://www.biologymad.com)

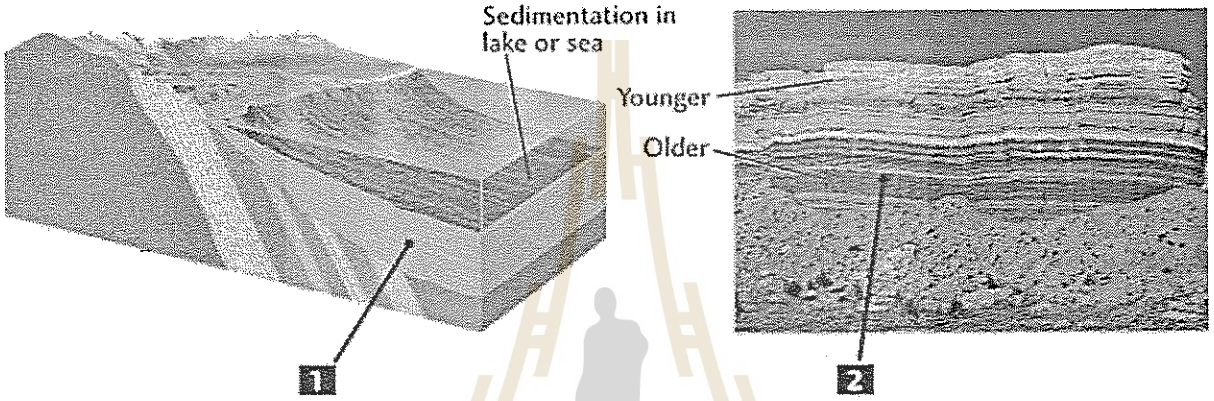
หลังจากมีการแยกจากกันทางภูมิศาสตร์แล้ว สิ่งมีชีวิตจะมีการเปลี่ยนแปลงทางพันธุ์กรรม อันเป็นผลเนื่องจากการกลายพันธุ์ และกระบวนการต่าง ๆ รวมทั้ง Natural Selection กระบวนการเกิดสิ่งมีชีวิตชนิดใหม่มักเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ ค่อยเป็นค่อยไป

ตัวอย่างที่น่าสนใจคือนกฟินส์ของดาร์วิน ซึ่งมี 13 ชนิดอาศัยอยู่บนเกาะ Galapagos (ดูรูปที่1.2) บรรพบุรุษของนกเหล่านี้อพยพมาจากอเมริกาใต้ ปัจจุบันนกแต่ละชนิดแบ่งแยกแหล่งที่อยู่อาศัย อาหารและพฤติกรรมอย่างชัดเจน ซึ่งกลไกของการวิวัฒนาการก็ยังดำเนินอยู่เท่าทุกวันนี้ ทั้งนี้กลุ่มนักวิจัยรุ่นหลังพบว่าความแห้งแล้งตามฤดูกาลในแต่ละปี สามารถเร่งการวิวัฒนาการของนก เช่น ฤดูแล้งทำให้เมล็ดพืชที่มีเปลือกบางกระเทาะแตกง่ายมีจำนวนลดลง แต่พืชที่มีเมล็ดใหญ่เปลือกหนากว่าจะอยู่รอด สภาวะนี้นกที่มีจงอยปากกว้างและแข็งแรงสามารถกระเทาะเปลือกเมล็ดพืชที่หนาได้ จะขยายพันธุ์อย่างรวดเร็ว ลักษณะพันธุกรรมดังกล่าวจะเพิ่มจำนวนขึ้นมาก ซึ่งถ้ามีความแห้งแล้งเกิดขึ้นทุก ๆ 10 ปี จะมีนกชนิดใหม่เกิดขึ้นได้ภายใน 200 ปี

ในการศึกษาด้านวิวัฒนาการ นักวิทยาศาสตร์ได้ใช้หลักฐานหลายอย่างประกอบ ซึ่งได้แก่

1.2.1 หลักฐานทางซากบรรพชีวิน (Fossil Record)

William Smith (1799) วิศวกรและนักธรณีวิทยา ได้เสนอ Law of Superposition หรือกฎของการวางซ้อนกันไว้ มีใจความว่า หินชั้นที่ไม่ถูกรบกวนโดยโครงสร้างอื่น จะเรียงตัวตามลำดับ โดยหินอายุแก่ซึ่งสะสมตัวก่อนจะวางตัวอยู่ด้านล่าง และถูกปิดทับโดยหินอายุอ่อนกว่าซึ่งสะสมตัวทีหลังและวางตัวอยู่ด้านบน (รูปที่ 1.4) หลังจากผ่านกระบวนการกลายเป็นหินแล้ว ซากบรรพชีวิน (fossil) ที่ถูกเก็บรักษาอยู่ในหินจะบอกถึงลำดับอายุของหินนั้น ๆ ได้ ต่อมา William Lonsdale นักบรรพชีวินวิทยาได้สนับสนุนว่าฟอสซิลที่อยู่ในหินด้านล่าง มีลักษณะเก่าแก่ (primitive) กว่าชั้นบน



รูปที่ 1.4 Law of Superposition (จาก http://earth.geol.ksu.edu)

ฟอสซิลจึงถูกใช้เป็นหลักฐานชิ้นสำคัญว่าสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่บนโลกในแต่ละช่วงอายุ มีลักษณะเป็นอย่างไร และเป็นหลักฐานที่แน่นอนของการจำแนกชนิดตามลำดับชั้นของสิ่งมีชีวิต (Systematic) คือไม่มีการวิวัฒนาการย้อนกลับ เช่น สัตว์ครึ่งน้ำครึ่งบกจะเกิดก่อนปลาไม่ได้ สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมจะเกิดก่อนสัตว์เลื้อยคลานไม่ได้ หรือ สิ่งมีชีวิตที่มีส่วนประกอบซับซ้อนจะต้องวิวัฒนาการมาจากสิ่งมีชีวิตดั้งเดิมที่มีรูปแบบอย่างง่าย

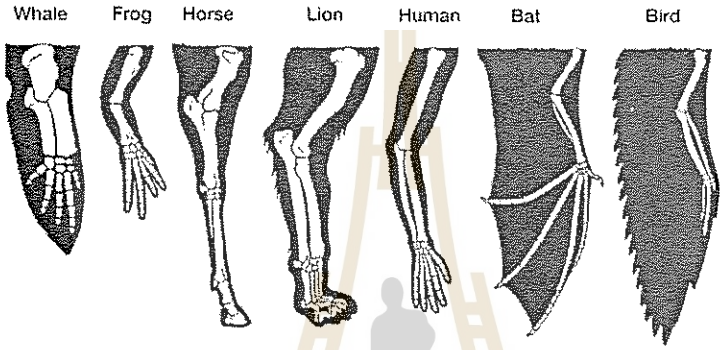
1.2.2 กายวิภาคเปรียบเทียบ (Common Structure: Comparative Anatomy)

จากการศึกษาโครงสร้างอวัยวะบางอย่างของสัตว์หลายชนิด จะพบว่ารูปร่างลักษณะภายนอกอาจจะแตกต่างกัน แต่โครงสร้างภายในจะมีลักษณะคล้ายกันมาก จากลักษณะที่คล้ายกันดังกล่าว อาจสันนิษฐานได้ว่าสัตว์เหล่านี้วิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษร่วมกัน (รูปที่ 1.5) ความคล้ายคลึงกันของโครงสร้างภายในนั้นมิได้เกิดขึ้นเฉพาะสัตว์เท่านั้น พืชก็มีลักษณะโครงสร้างคล้ายคลึงกัน

1.2.3 หลักฐานจากการเจริญเติบโตของเอมบริโอ (Embryology)

สิ่งมีชีวิตที่มีสายสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการที่ใกล้ชิดกัน หรือมีบรรพบุรุษร่วมกันจะสังเกตได้จากการเจริญเติบโตของเอมบริโอที่คล้ายคลึงกัน มีร่องรอยของอวัยวะบางอย่างปรากฏอยู่เช่นเดียวกัน ถึงแม้ว่าเมื่อสิ่งมีชีวิตนั้นเจริญเติบโตเต็มตัว อวัยวะนั้นอาจจะเปลี่ยนแปลงไปก็ตาม

จากการศึกษาเอมบริโอของคน ลิง สัตว์เลื้อยคลาน กบ ไก่ ปลาฉลามจะมีรูปร่างลักษณะของตัวเต็มวัยแตกต่างกันมาก แต่รูปร่างระยะที่เป็นเอมบริโอคล้ายคลึงกัน (รูปที่ 1.6) เอมบริโอของสัตว์มีกระดูกสันหลังทุกชนิดจะมีช่องเหงือก (gill slits) ที่คอหอยเมื่อเจริญเติบโตขึ้นเป็นตัวเต็มวัย สัตว์พวกปลากระดูกแข็งทั่วไปช่องเหงือกเปลี่ยนแปลงเป็นช่องเปิดบริเวณแก้มทั้งสองข้าง สัตว์พวกปลากระดูกอ่อน (ปลาฉลาม) ปลาปากกลมช่องเหงือกยังปรากฏอยู่ชัดเจน ส่วนสัตว์เลื้อยคลาน สัตว์ปีก และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมช่องเหงือกถูกปิดลง เพราะมีปอดทำหน้าที่หายใจแทนเหงือก ช่องนี้จะหายไปในสัตว์มีกระดูกสันหลังชั้นสูง สำหรับคนจะมีร่องรอยของช่องเหงือกอยู่ภายใน คือท่อยูสเตเชียน อยู่ระหว่างคอหอยกับช่องหู แสดงว่าสิ่งมีชีวิตดังกล่าวอาจจะวิวัฒนาการมาจากบรรพบุรุษร่วมกัน



รูปที่ 1.5 โครงสร้างภายในที่คล้ายคลึงกัน (homology) (จาก http://www.cbu.edu)

Figure 3-10

A series of embryos of different vertebrates at comparable stages of development. The earlier the stage of development, the more strikingly similar are the different groups. Note that each of the embryos begins with a similar number of gill arches (pouches below the head) and a similar vertebral column. In later stages of development, these and other structures are modified to yield the various different forms. (The embryos in the different groups have been scaled to the same approximate size so that comparisons can be made between them.) (From Romanes, adapted from Haeckel)

รูปที่ 1.6 การเจริญเติบโตของเอมบริโอในสัตว์แต่ละชนิด (จาก http://www.schoolhousevideo.org)

1.2.4 หลักฐานทางพันธุศาสตร์และการศึกษาระดับโมเลกุล (Genetic and Molecular Biology)

สิ่งมีชีวิตมีการเปลี่ยนแปลงพันธุ์ไปจากเดิมได้เนื่องจากการกระทำของมนุษย์ เพื่อให้ได้สิ่งมีชีวิตมีสายพันธุ์ใหม่ที่แตกต่างไปจากพันธุ์เดิม เช่น แตงโมไม่มีเมล็ด องุ่นไม่มีเมล็ด ฯลฯ มนุษย์รู้จักคัดเลือกพันธุ์สัตว์และพืช เพื่อให้ได้ลักษณะดีตามที่ต้องการมาเป็นเวลานานมาแล้ว สิ่งมีชีวิตแต่ละรุ่นสามารถเปลี่ยนรูปร่างลักษณะได้ หลักฐานการปรับปรุงพันธุ์สัตว์และพืช ทำให้นักวิทยาศาสตร์ เช่น ชาร์ลส์ ดาร์วิน มีความคิดว่าการผสมพันธุ์ของสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติเองจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสัตว์และพืช แต่จะเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ ซึ่งต่อมาความคิดดังกล่าวจึงได้พัฒนาเป็นทฤษฎีวิวัฒนาการโดยการคัดเลือกโดยธรรมชาติ ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันมาก

DNA เป็นตัวกำหนดโครงสร้างของโปรตีน ลำดับเบสใน DNA มีความสัมพันธ์กับลำดับของกรดอะมิโนในสายของโปรตีน ถ้าลำดับเบสเปลี่ยนไปจะส่งผลต่อลำดับของกรดอะมิโนด้วย เกิดสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะผันแปรไปจากเดิม เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของโปรตีนในสิ่งมีชีวิต ก็เท่ากับเปรียบเทียบความแตกต่างของ DNAของสิ่งมีชีวิตนั้น ๆ และทำให้ทราบถึงความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตได้ เพราะโมเลกุลของสารเคมีดังกล่าวมีความสัมพันธ์กันทางพันธุกรรม

1.3 วิวัฒนาการของมนุษย์ (Human Evolution)

1.3.1 ตำแหน่งของมนุษย์ในการจัดหมวดหมู่สิ่งมีชีวิต

มนุษย์เป็นสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมซึ่งจัดแบ่งตามหมวดหมู่โดยอาศัยหลักฐานทางวิวัฒนาการได้ดังนี้

Kingdom Animalia

Phylum Chordata

Class Mamalia

Order Primate

Superfamily Hominoidea

Family Hominidae

Subfmily Homininae

Genus *Homo*

Species *Homo sapiens*

Subspecies *H. sapiens sapiens*

สัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมในออร์เดอร์ไพรเมต มีลักษณะสำคัญคือ มีนิ้วมือและนิ้วเท้า 5 นิ้ว ปลายนิ้วมีเล็บแบน (Nail) นิ้วมือยาว หัวแม่มือพับขวางนิ้วอื่น ๆ ได้ ทำให้จับวัตถุต่าง ๆ ได้ดี แขนขาเคลื่อนที่ได้โดยรอบ มีขนาดสมองใหญ่ จมูกสั้น ตาชิดกัน ขากรรไกรห้อยต่ำ ใช้ประสาทตามองเห็นมากกว่าใช้จมูกดมกลิ่น

สัตว์ในออร์เดอร์ไพรเมตที่มีชีวิตอยู่ในปัจจุบันแบ่งออกเป็น 2 Suborder คือ

1. Suborder Prosimii ได้แก่ ลิงลม (lemurs) นางอาย (lorises) และลิงทาร์ซิเออร์ (tarsier)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2. Suborder Anthropoidea ได้แก่ ลิงโลกใหม่ (ไม่มีในประเทศไทย มีลักษณะรูจมูกกว้าง หางยึดเกาะได้ดี ลิงโลกเก่า (ได้แก่ ลิงบาบูน ลิงแสม ลิงกัง ค่าง ซึ่งมีลักษณะรูจมูกชิด ใช้หางยึดกิ่งไม้ได้และพวกโฮมินอยด์) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 family คือ

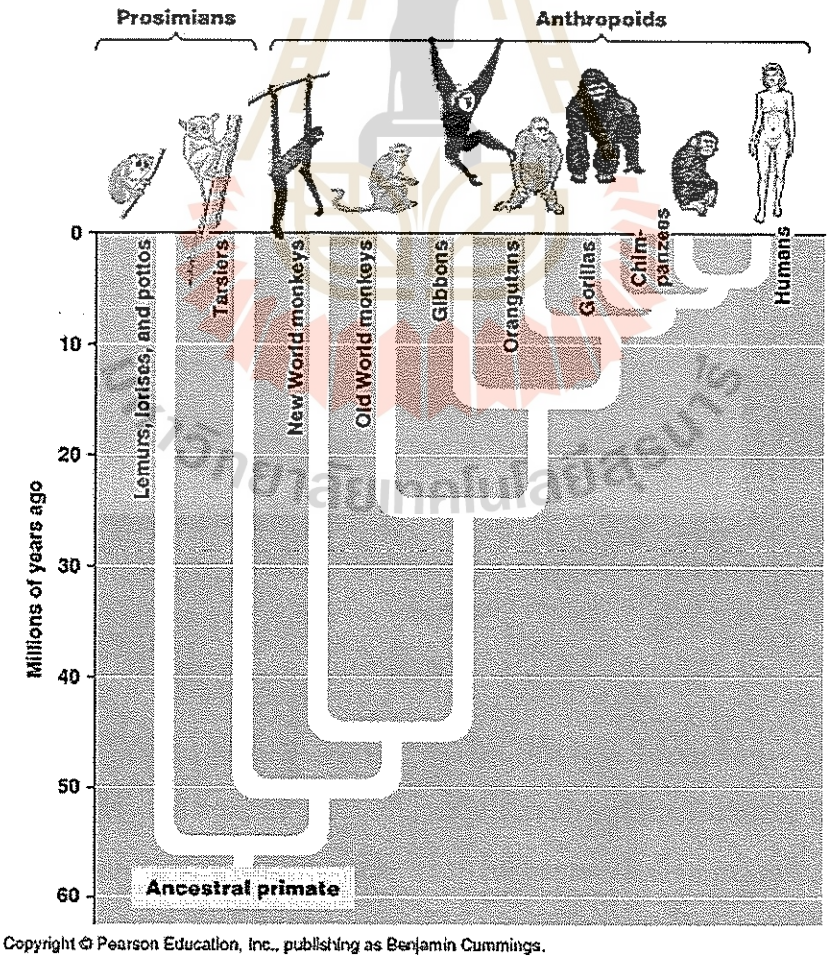
- Family Pongidae คือพวกวานร (ape) หรือวานรมนุษย์ (man ape) เป็นลิงใหญ่ไม่มีหาง แขนยาวกว่าขา เดิน 4 ขาจะเดิน 2 ขาเมื่อตกใจ มีเขี้ยวใหญ่ และยาวกว่าฟันในแถวเดียวกัน พบเป็นซากดึกดำบรรพ์อายุ 12-15 ล้านปีก่อน สัตว์ปัจจุบันที่อยู่ใน family นี้ได้แก่ ลิงอุรังอุตัง ซิมแปนซี กอริลลา และชะนี

- Family Homenidae คือพวกมนุษย์และมนุษย์วานร เดิน 2 ขา มีเขี้ยวเล็ก และยาวไม่เกินระดับของฟันอื่น ๆในแถวเดียวกัน แบ่งออกเป็น 3 จีนัส คือ

a) Genus *Ramapithecus* มีอยู่เมื่อ 10-14 ล้านปีก่อน

b) Genus *Australopithecus* มีอยู่เมื่อ 3-5 ล้านปีก่อน สองจีนัสนี้จัดว่าเป็นพวกมนุษย์วานร (ape man) มีซากดึกดำบรรพ์ใกล้เคียงกับมนุษย์ (จีนัสโฮโม) มาก รู้จักนำวัสดุในธรรมชาติมาใช้เป็นเครื่องมือแต่ยังไม่รู้จักประดิษฐ์เครื่องมือและสะสมเครื่องมือ จึงไม่จัดว่าเป็นมนุษย์แท้จริง

c) Genus *Homo* มีอยู่เมื่อ 2-4 ล้านปีก่อน คือมนุษย์ มีลักษณะที่สำคัญคือสามารถประดิษฐ์เครื่องมือและสะสมเครื่องมือไว้ เป็นบรรพบุรุษของมนุษย์



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

รูปที่ 1.7 สายวิวัฒนาการของ primate (จาก http://www.bio.miami.edu)

1.3.2 การศึกษาวิวัฒนาการของมนุษย์

วิวัฒนาการของมนุษย์ เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลง พัฒนาหรือวิวัฒนาการ ที่ทำให้มนุษย์กลายเป็นสปีชีส์ใหม่ในที่สุด เป็นสาขาวิชาที่ทำการสืบค้นอย่างเป็นวิทยาศาสตร์ เพื่อทำความเข้าใจและอธิบายว่าการเปลี่ยนแปลงและพัฒนาเหล่านี้เกิดขึ้นได้อย่างไร การศึกษาวิวัฒนาการของมนุษย์รวบรวมวิทยาศาสตร์เข้าไว้หลายแขนง ที่เด่นชัดก็คือ มานุษยวิทยากายภาพและพันธุกรรมศาสตร์ คำว่า 'มนุษย์' ในบริบทของการวิวัฒนาการของมนุษย์ หมายถึงจีนัส *โฮโม* (*Homo*) แต่การศึกษาวิวัฒนาการมนุษย์ก็มักจะรวมสมาชิกตระกูลมนุษย์ (hominid) อย่าง australopithecines เข้าไปด้วย

คน หรือ มนุษย์ สามารถนิยามได้ทั้งในทางชีววิทยา ทางสังคม และทางเจตภาพ (spirituality) ในทางชีววิทยานั้น มนุษย์เป็นสิ่งมีชีวิตชนิด *Homo sapiens* (ภาษาละติน: "มนุษย์ผู้รู้") ซึ่งจัดเป็นไพรเมตที่ยืนสองขาชนิดหนึ่งในวงศ์ใหญ่ Hominoidea ร่วมกับลิงไม่มีหางหรือวานรอื่น ๆ ซึ่งได้แก่ ลิงชิมแปนซี ลิงกอริลลา ลิงอุรังอุตัง และชะนี

มนุษย์มีลำตัวตั้งตรงซึ่งทำให้รยางค์คู่บนว่างลงและใช้จัดการวัตถุสิ่งของต่าง ๆ ได้ มนุษย์ยังมีสมองซึ่งพัฒนาอย่างมาก และมีความสามารถในการใช้เหตุผลเชิงนามธรรม การพูด การใช้ภาษา และการใคร่ครวญในด้านพฤติกรรม ความเป็นมนุษย์นิยามด้วยการใช้ภาษา การจัดโครงสร้างสังคมอันซับซ้อนในรูปของกลุ่ม ชาติ รัฐ และสถาบัน และการพัฒนาเทคโนโลยีที่ซับซ้อน ความแตกต่างทางพฤติกรรมเหล่านี้ของมนุษย์ก่อให้เกิดวัฒนธรรมนับหมื่นนับพันวัฒนธรรม ซึ่งยึดถือความเชื่อ ตำนาน พิธีกรรม คุณค่า และปทัสฐานทางสังคมต่าง ๆ กันไป

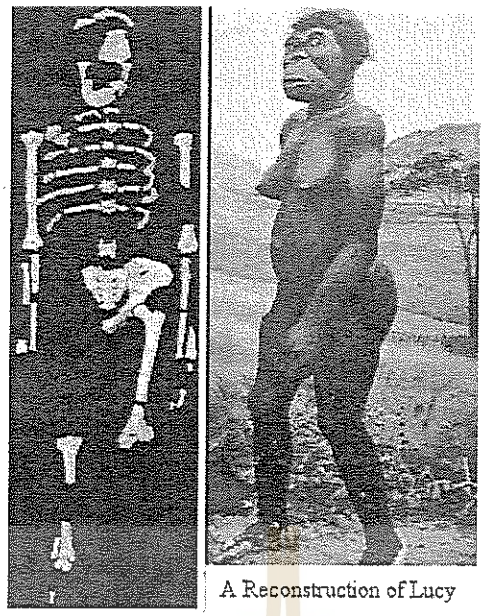
ความตระหนักถึงตนเอง ความใคร่รู้ และการใคร่ครวญของมนุษย์ ตลอดจนความโดดเด่นกว่าสัตว์ชนิดอื่น ๆ ก่อให้เกิดความพยายามที่จะอธิบายธรรมชาติและพัฒนาการของสิ่งมีชีวิตชนิดนี้ ทั้งในทางวัตถุธรรมและในทางนามธรรม คำอธิบายในทางนามธรรมนั้นจะเน้นมิติทางเจตภาพของชีวิต และอาจรวมถึงความเชื่อในพระเป็นเจ้า เทพเจ้า หรือสิ่งเหนือธรรมชาติอื่น ๆ ตลอดจนแนวคิดเรื่องวิญญาณ ความพยายามที่จะสะท้อนภาพตัวเองของมนุษย์นั้นเป็นพื้นฐานของความคิดทางด้านปรัชญา และมีบันทึกไว้ในประวัติศาสตร์ตั้งแต่ยุคแรก ๆ

1.3.3 ลำดับเหตุการณ์และหลักฐานของการศึกษาวิวัฒนาการของมนุษย์

1) Lucy and Bipedalism

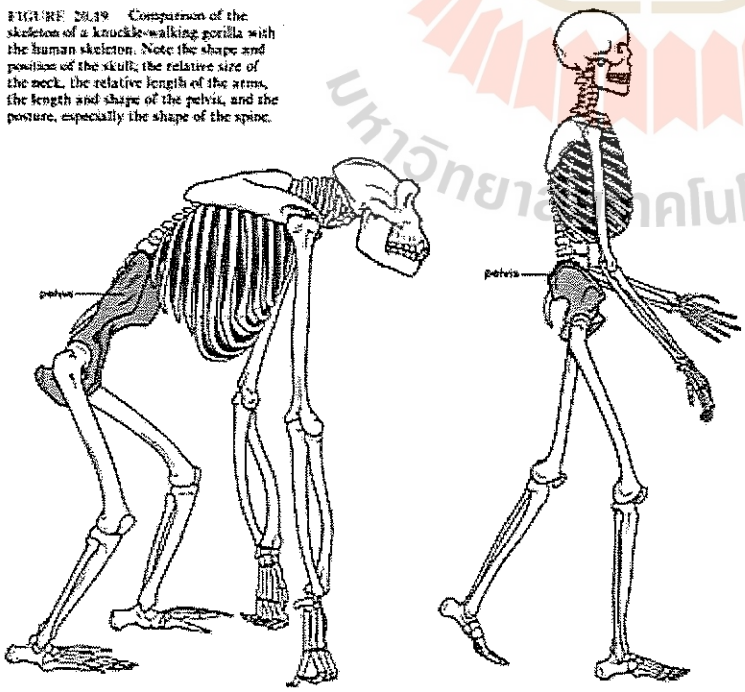
ในปี 1974 Donald Johanson นักบรรพชีวินวิทยาและคณะ ได้ค้นพบโครงกระดูกบางส่วน (40 % ของร่างกาย) ของมนุษย์เพศหญิง ซึ่งต่อมาตั้งชื่อว่า Lucy (รูปที่ 1.8) และถูกจำแนกให้เป็นชนิดพันธุ์ *Australopithecus afarensis* โครงกระดูกของ Lucy ต่างจาก primate ชนิดอื่น ๆ อย่างชัดเจน เนื่องจากหัวเข่าสามารถยืดกระดูกขาท่อนบนให้เอนเข้าด้านใน และนิ้วโป้งเท้าอยู่ระดับเดียวกับนิ้วเท้าอื่น ๆ ทำให้สามารถเดินตัวตรงได้ แต่ Lucy มีลักษณะคล้ายวานรและขนาดสมองเท่าลิงชิมแปนซี

Lucy ถูกค้นพบที่ประเทศเอธิโอเปีย และเชื่อว่ามีชีวิตอยู่เมื่อ 3.2 ล้านปีก่อน และบริเวณใกล้เคียงพื้นที่ที่พบ Lucy มีการค้นพบฟอสซิลโครงกระดูกของมนุษย์อีก 13 ร่าง ที่บ่งบอกว่าตายพร้อม ๆ กัน ซึ่งอาจเกิดจากน้ำท่วมฉับพลัน และเป็นหลักฐานของการอยู่ร่วมกันเป็นสังคมเป็นครั้งแรก



รูปที่ 1.8 โครงกระดูกของ Lucy และภาพจำลองของ Lucy (จาก http://universe-review.ca)

Bipedalism คือลักษณะที่แตกต่างอย่างเด่นชัดที่แยกมนุษย์กับ primate ชนิดอื่นออกจากกัน ด้วยการเดินหลังตรงตั้งฉากกับพื้นโลก ด้วย 2 ขาหลัง การเปลี่ยนแปลงครั้งนี้นำมาซึ่งคำถามมากมายว่าเพราะเหตุใดจึงต้องเดิน 2 ขา แทนการเดิน 4 ขา และมีหลังตรง ซึ่งเชื่อว่าลักษณะดังกล่าวเป็นการปรับตัว (Adaptation) ทางสรีรวิทยาของทั้งโครงกระดูกและกล้ามเนื้อ โดยอวัยวะหลายชิ้น เช่น กระดูกต้นขา กระดูกสันหลัง foramen magnum และเท้า มีการปรับเปลี่ยนรูปร่างและโครงสร้างไป จนทำให้หัวและลำตัวตั้งฉากกับเท้า เท้ามีลักษณะเป็นแผ่นราบเหมาะแก่การลงน้ำหนักตัว เมื่อเปรียบเทียบกับชิมแปนซีหรือชะนี ที่สามารถยืนและเดิน 2 ขา ได้เป็นระยะทางสั้น ๆ และต้องโน้มตัวไปข้างหน้า ไม่สามารถยืดตัวตรงได้

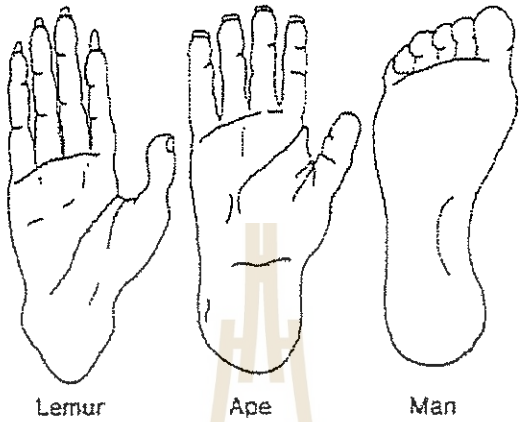


รูปที่ 1.9 Bipedalism การเดินด้วยสองขาหลังและหลังตรง รวมทั้งการปรับตัวของอวัยวะต่าง ๆ ให้เหมาะสม ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของวิวัฒนาการของมนุษย์เปรียบเทียบกับกอลลิลา (จาก http://www.sruweb.com)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2) Laetoli Footprints

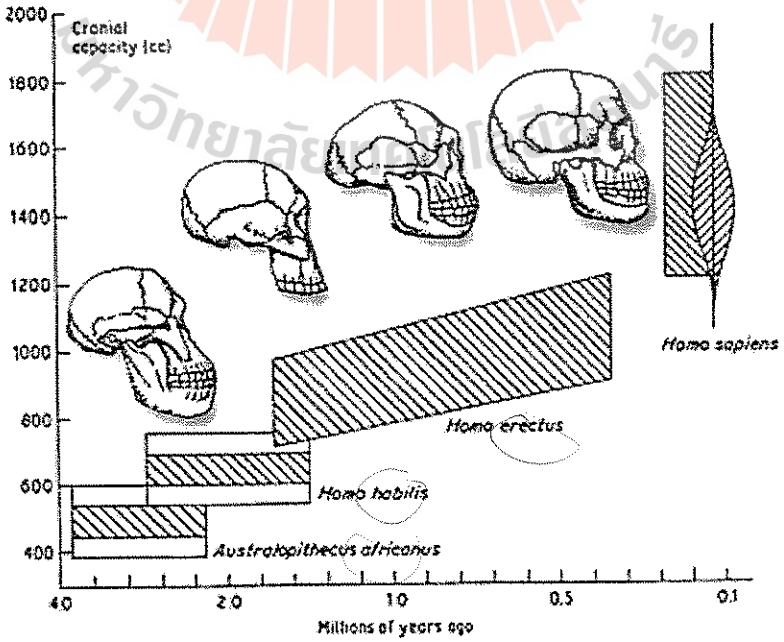
ในปี 1976 Mary Leaky และคณะ ค้นพบรอยเท้ามนุษย์ดึกดำบรรพ์ใน Laetoli ประเทศแทนซาเนีย ทวีปแอฟริกา โดยพบว่าเป็นรอยเท้าของ *A. afarensis* อายุประมาณ 3.5 ล้านปี ซึ่งจารึกไว้บนหินเถ้าภูเขาไฟ รอยเท้าทั้งสองคู่สมบูรณ์และแสดงหลักฐานการลงน้ำหนักเท้าของสิ่งมีชีวิตที่เดินบน 2 เท้า อย่างมั่นคง โดยคู่หนึ่งมีขนาดใหญ่กว่าและทั้งสองคู่เดินเคียงคู่กันไป (รูปที่ 1.10)



รูปที่ 1.10 ความแตกต่างของเท้าระหว่างลิง วานรกับมนุษย์ (ซ้าย) และLaetoli Footprints reconstruction (ขวา) (จาก http://www.latrobe.edu.au และ http://en.wikipedia.org ตามลำดับ)

3) Bigger Brains

ลักษณะสำคัญอีกประการหนึ่งของวิวัฒนาการของมนุษย์ คือการค้นพบว่าขนาดสมองมีการขยายใหญ่ขึ้น (รูปที่ 1.11) ทั้งนี้หลักฐานจากฟอสซิลแสดงให้เห็นว่าสมองมนุษย์มีขนาดใหญ่ขึ้นเป็น 3 เท่าในระยะเวลา 3 ล้านปี โดยเริ่มจาก



รูปที่ 1.11 วิวัฒนาการขนาดของสมอง (จาก http://www.serpentfd.org)

Australopithicus มีขนาดสมองประมาณเท่าวานรยุคใหม่ คือ 400-500 cc

Homo habilis มีขนาดสมอง 650 cc ซึ่งสามารถสร้างและใช้อาวุธจากหินได้

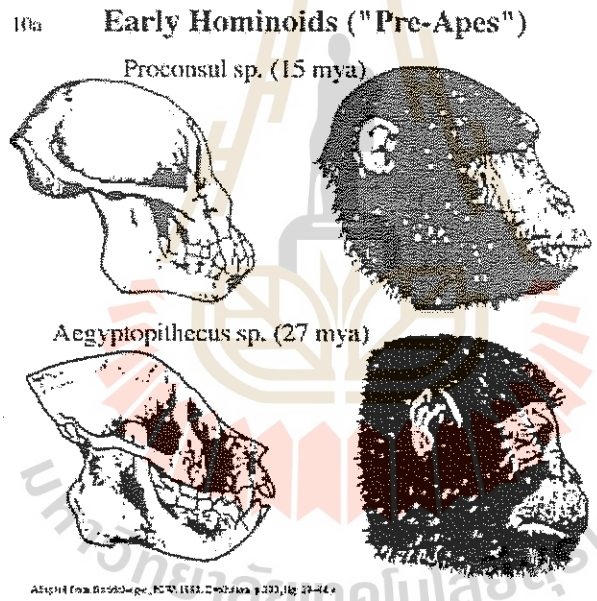
Homo erectus มีขนาดสมอง 900 cc มีวัฒนธรรมคล้ายมนุษย์ สามารถใช้เครื่องมือ เช่น ขวาน จุดไฟได้ และย้ายที่อยู่อาศัยจากทวีปแอฟริกาไปยังทวีปเอเชีย

Homo sapiens มีสมองขนาด 1200-1600 cc ยิ่งมีความสามารถมากขึ้น ซึ่งอาจเป็นเพราะการพัฒนาของระบบประสาทควบคู่ไปด้วย

แต่ทั้งนี้ขนาดสมองให้ข้อมูลบางอย่างเกี่ยวกับโครงสร้างภายใน และความสามารถของสมอง แต่ไม่ได้บอกถึงการพัฒนาของระบบประสาทด้วย ตัวอย่าง เช่น *Homo neanderthalensis* ที่มีสมองขนาดใหญ่ถึง 1300 cc แต่มีความสามารถในการเอาชีวิตรอดน้อยกว่าจึงสูญพันธุ์ไป

1.3.4 สายวิวัฒนาการของมนุษย์

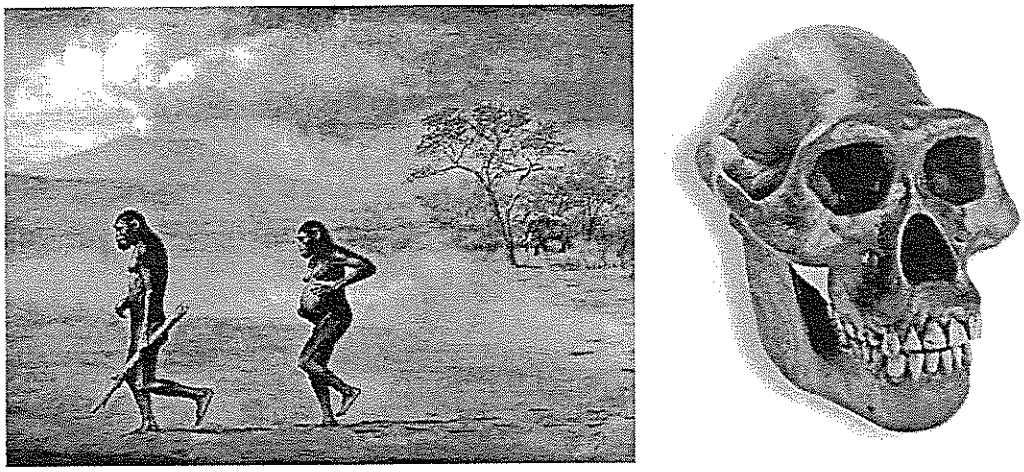
โปรคอนซูล เป็นลิงไม่มีหาง หนึ่งในสายพันธุ์ของมนุษย์ อาศัยอยู่ในบริเวณแอฟริกาตะวันออก เมื่อประมาณ 20-25 ล้านปีมาแล้ว มีมันสมองขนาดเล็ก แต่สามารถยืน ลำตัวตั้งตรงได้แล้ว (รูปที่ 1.12)



รูปที่ 1.12 Proconsul และ Aegyptopithecus (จาก http://www.indiana.edu)

ออสตราโลพิธีคัส (*Australopithecus*) เป็นสายพันธุ์บรรพบุรุษมนุษย์ ที่พัฒนาขึ้นจนสามารถวิ่งลำตัวตั้งตรงได้ ขนตามลำตัวน้อยลง มีความคล้ายคลึงมนุษย์ในปัจจุบันมาก สามารถผลิตเครื่องมือที่ทำจากหิน ในการล่าสัตว์ได้แล้ว มีอายุอยู่ระหว่าง 5 ล้านถึง 2 ล้านปีมาแล้ว (รูปที่ 1.13)

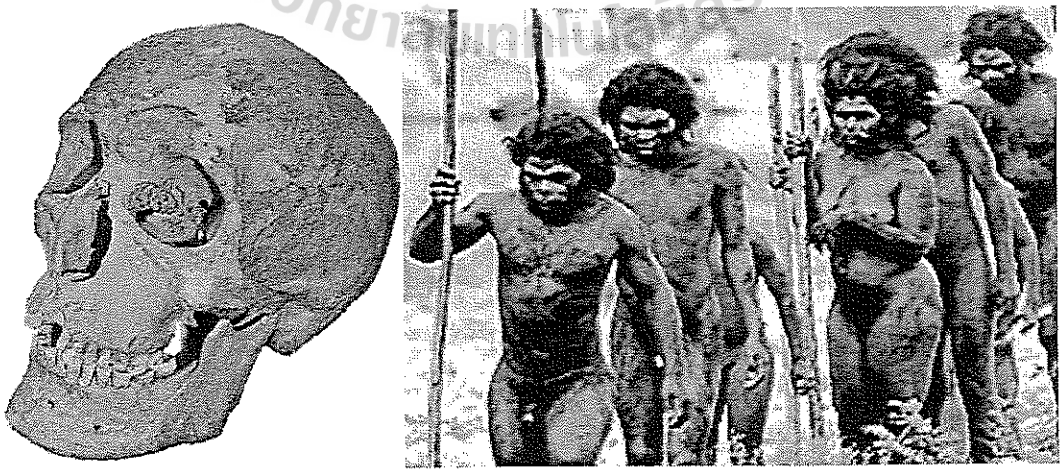
โฮโมอีเร็คตัส (*Homo erectus*) (มนุษย์ชวา ทางซ้าย) เคยอาศัยอยู่ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และอัฟริกาตะวันออก เมื่อ 1.5 ล้านปีมาแล้ว มีความเป็นมนุษย์เต็มตัวแล้ว ใบหน้าตั้งตรงเหมือนมนุษย์ในปัจจุบันและโฮโม แซเปียนส์ เคยอาศัยอยู่ในยุโรป และตะวันออกกลาง มีอายุเมื่อ 250,000 ปีมาแล้ว (รูปที่ 1.14)



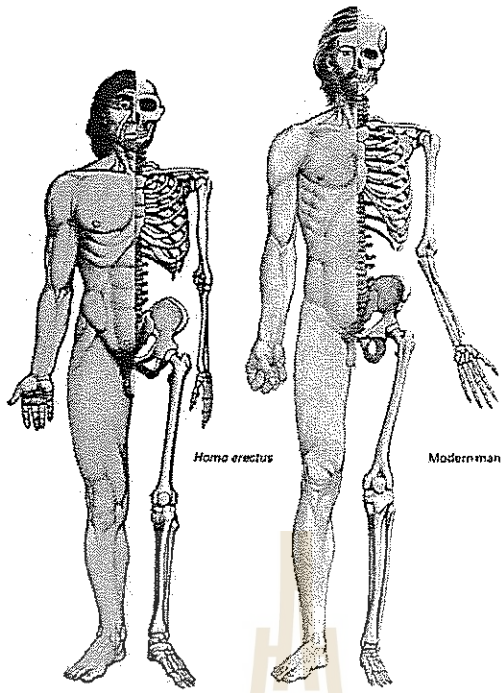
รูปที่ 1.13 *Australopithecus aferensis* (จาก http://www.lemanlake.com และ http://www.skullsunlimited.com)

รูปที่ 1.14 *Homo erectus* (จาก http://www.ma.krakow.pl และ http://www.bbc.co.uk)

โฮโมแซเปียนส์ (*Homo sapiens*) สายพันธุ์บรรพบุรุษมนุษย์ ในยุโรปและตะวันออกกลาง มีอายุเมื่อ 250,000 ปีมาแล้ว มีการพัฒนาทางร่างกาย ใกล้เคียงมนุษย์ปัจจุบัน สามารถยืนตัวตรงได้ ยังชีพด้วยการล่าสัตว์เป็นอาหาร โดยใช้อาวุธที่ได้รับการพัฒนาให้ก้าวหน้าขึ้น (รูปที่ 1.15 และ 1.16)

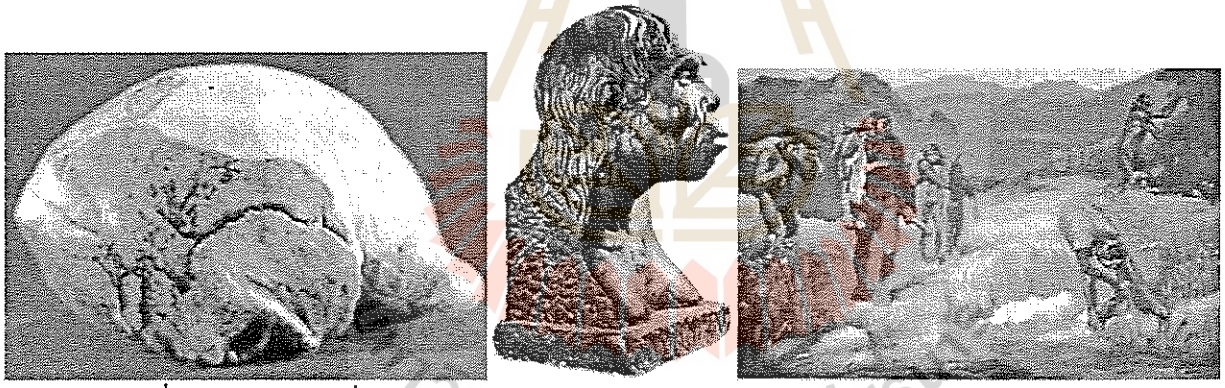


รูปที่ 1.15 *Homo sapiens* จาก http://www.phoenix.de และ http://www.hmag.gla.ac.uk)



รูปที่ 1.16 เปรียบเทียบระหว่าง *Homo erectus* (ซ้าย) และ *Homo sapiens* (ขวา) (จาก http://donsmaps.com)

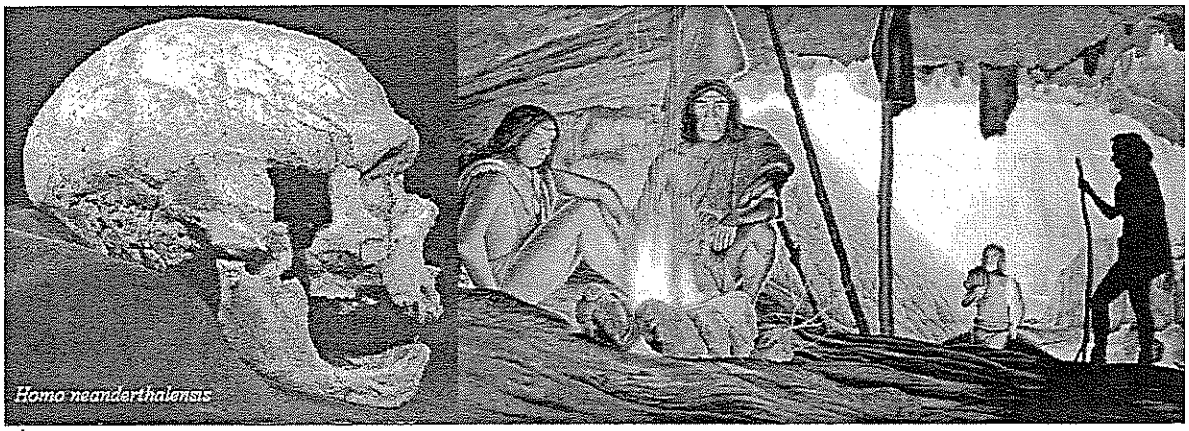
มนุษย์ปักกิ่ง เป็น *Homo erectus* ที่อาศัยอยู่ทางตอนเหนือของประเทศจีน เมื่อประมาณ 3-4 แสนปีมาแล้ว เริ่มรู้จักจุดไฟใช้เองได้ นิยมล่ากวาง โดยใช้เครื่องมือที่ทำจากหิน (รูปที่ 1.17)



รูปที่ 1.17 มนุษย์ปักกิ่ง Crania (ซ้าย) หุ่นจำลอง (กลาง) และ ภาพจำลองการดำรงชีวิต (ขวา) (จาก http://www.chinamuseums.com)

มนุษย์กับไฟ มนุษย์รู้จักใช้ไฟเมื่อมีการระเบิดของภูเขาไฟในอัฟริกา ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อประมาณ 4 แสนปีมาแล้ว นับเป็นการค้นพบทางวิทยาศาสตร์ครั้งแรกของมนุษย์ หลังจากนั้นความเป็นอยู่ของมนุษย์ก็เริ่มดีขึ้น และไฟถูกนำมาใช้ประโยชน์สืบต่อกันมาจนทุกวันนี้

มนุษย์นีแอนเดอธัส (*Homo neanderthalensis*) อาศัยอยู่ในยุโรปและ ตะวันออกกลาง เมื่อประมาณหนึ่งแสนปีถึงสามหมื่นห้าพันปีมาแล้ว ยืนตัวตรง อาศัยอยู่ตามถ้ำ ล่าสัตว์เป็นอาหาร เป็นช่วงเวลาที่เป็นยุคน้ำแข็งของโลก น้ำทะเลลดระดับต่ำลงมาก จึงมีถ้ำมากมาย ให้ใช้เป็นที่อยู่อาศัย (รูปที่ 1.18)



รูปที่ 1.18 *Homo neanderthalensis* (จาก http://cas.bellarmine.edu และ http://www.archeologiasperimentale.it)

มนุษย์โคมันยอง เป็นพวกนีแอนเดอธัส ที่สืบสายพันธุ์บรรพบุรุษมนุษย์ต่อมา ถือว่าเป็นต้นตระกูลของพวกคอเคซอยด์รุ่นแรก มีกระโหลกศีรษะโค้งมนมากขึ้น ขากรรไกรหดสั้น แก้มนูนเด่นชัด นิยมล่าสัตว์และนุ่งห่มด้วยขนสัตว์ มีอายุอยู่ในช่วง 3 หมื่นถึง 4 หมื่นปีมาแล้ว

มนุษย์กับการเพาะปลูก เดิมทีมนุษย์รุ่นแรกๆ เมื่อ ห้าพันปีก่อนคริสตศักราช รู้จักเก็บข้าวสาลีและข้าวบาร์เล่ย์เป็นอาหาร ต่อมาด้วยความฉลาดและสังเกต ทำให้มนุษย์สามารถเพาะปลูกได้เอง โดยเริ่มในเขตเมโสโปเตเมีย มนุษย์ปัจจุบันได้แบ่งเชื้อชาติเผ่าพันธุ์กว้างๆเป็น คอเคซอยด์ มองโกลอยด์ นิกรอยด์ และออสตราลอยด์

มนุษย์เชื้อชาติคอเคซอยด์ กระจายแพร่หลายในยุโรป อเมริกาเหนือ-ใต้ มีรูปร่างสูงใหญ่ ผิวขาว ขนตามลำตัวสีน้ำตาล ผมสีทอง ริมฝีปากบาง จมูกโด่ง นัยน์ตาสีน้ำเงิน หรือฟ้า มีเชื้อชาติย่อยเป็น พวกนอร์ดิก เซลติค อามาเนีย และออสเตรเลียน

มนุษย์เชื้อชาติมองโกลอยด์ กระจัดกระจาย อยู่ในเอเชีย มีชาติย่อยๆ เช่น เอสกิโม อินเดียนในอเมริกาเหนือ-กลาง มีผิวเหลือง รูปร่างสันทัด ผมสีดำ ตาสีน้ำตาล จมูกไม่โด่งนัก รูปหน้ากลม ริมฝีปากบาง

มนุษย์เชื้อชาตินิกรอยด์ กระจัดกระจายอยู่ในอัฟริกา และมีชาติย่อยในปาปัวนิวกินี และเมลานิเซียน มีผิวสีดำหรือน้ำตาลเข้ม ผมดำหยิกขอด ริมฝีปากหนา รูปร่างสันทัด และสูงใหญ่ในบางกลุ่ม

มนุษย์เชื้อชาติออสตราลอยด์ เป็นชาวพื้นเมืองในทวีปออสเตรเลีย และบริเวณเกาะใกล้เคียง ผิวดำ ผมหยิก ริมฝีปากหนา รูปร่างสันทัด ใบหน้ารูปไข่

มนุษย์เชื้อชาติโพลีเนเซียน เชื้อชาติที่แพร่กระจายอยู่ตามเกาะของมหาสมุทรแปซิฟิคตอนกลางและตอนใต้ มีรูปร่างสันทัด ผิวสีน้ำตาล ผมหยักศก.

1.3.5 *Homo floresiensis* สายพันธุ์วิวัฒนาการมนุษย์ที่เพิ่งถูกค้นพบ

การศึกษามานุษยวิทยาเกิดการตื่นตัวอีกครั้ง เมื่อมีรายงานผลการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับซากดึกดำบรรพ์ของสายพันธุ์มนุษย์ที่เพิ่งถูกค้นพบใหม่บนเกาะ Flores ทางด้านตะวันออกของอินโดนีเซีย ซึ่งได้รับการกำหนดชื่อว่า *Homo floresiensis*

ข้อมูลดังกล่าวเป็นผลจากการขุดค้นล่าสุดภายใต้ความร่วมมือของคณะนักวิจัยร่วม ระหว่างชาวอินโดนีเซียนและออสเตรเลียนหลายสาขาที่สัมพันธ์กัน ทั้งนักโบราณคดี นักบรรพชีวินวิทยา ทั้งนี้ข้อค้นพบใหม่สำคัญที่สร้างความประหลาดใจอย่างมากในหมู่นักวิชาการ ได้แก่ การคงอยู่ของสายพันธุ์มนุษย์ *Homo sapiens* ซึ่งเป็นลำดับวิวัฒนาการขั้นก่อนที่จะเป็นมนุษย์ *Homo sapiens sapiens* ซึ่งได้แก่มนุษย์กลุ่มต่างๆ ที่มีลักษณะทางกายภาพดังปรากฏในปัจจุบัน โดยหลักฐานสายพันธุ์ *Homo sapiens* ที่พบบนเกาะ Flores บ่งชี้ว่าบรรพบุรุษมนุษย์กลุ่มนี้มีชีวิตอยู่อย่างน้อยตั้งแต่ช่วงเวลาราว 13,000-12,000 ปีมาแล้ว และคาดว่ามีความเป็นไปได้ที่จะยังคงมีชีวิตยืนยาวมาจนถึงในราวกลางคริสต์ศตวรรษที่ 19 อันเป็นช่วงเวลาร่วมสมัยกับที่ปรากฏสายพันธุ์มนุษย์ *Homo sapiens sapiens* แล้วนั่นเอง ซึ่งย่อมหมายความว่าบนเส้นทางของสายวิวัฒนาการไปสู่การเป็น *Homo sapiens sapiens* นั้น มีกลุ่มหนึ่งของ *Homo sapiens* ที่มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพและชีวภาพไปเป็น *H. sapiens sapiens* โดยสมบูรณ์ แต่มีบางกลุ่ม (อย่างน้อยหนึ่งกลุ่ม) ที่ไม่สามารถพัฒนาการไปเป็น *H sapiens sapiens* ได้ อย่างไรก็ตามกลุ่มที่มีวิวัฒนาการไม่สมบูรณ์เหล่านั้นก็มิได้สูญพันธุ์ไปโดยสิ้นเชิง แต่ได้ดำรงสายพันธุ์ไว้โดยแยกตัวอยู่ในพื้นที่ห่างไกลจากกลุ่มสายพันธุ์ *H sapiens sapiens* และได้ทิ้งร่องรอยหลักฐานเอาไว้ก่อนที่จะได้รับการค้นพบโดยคณะนักวิจัยดังกล่าว

แหล่งที่พบ เป็นแหล่งโบราณคดีที่ปรากฏหลักฐาน Fossil ของ *H sapiens* ที่กล่าวถึงได้แก่ "ถ้ำเลียงบัว" (Liang Bua Cave) บนเกาะ Flores ของประเทศอินโดนีเซีย ซึ่งจากการขุดค้นได้ปรากฏหลักฐานกระดูกมนุษย์ H sapiens จำนวน 7 คน ภายในคูหาถ้ำเดียวกัน

ลักษณะทางกายภาพ คณะนักวิจัยชาวออสเตรเลีย ซึ่งส่วนใหญ่ประกอบด้วยนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยแห่งนิวอิงแลนด์ (The University of New England) และมหาวิทยาลัยแห่งวูลลองกอง (The University of Wollongkong) เปิดเผยว่าจากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของ *H sapiens* ที่เร้นกายอยู่บนเกาะ Flores มานานนั้น พบว่ามนุษย์สายพันธุ์นี้มีสัดส่วนร่างกายขนาดเล็กใกล้เคียงคนแคระ กล่าวคือมีความสูงเพียง 3 ฟุต หรือ 150 เซนติเมตร โดยประมาณเท่านั้น ซึ่งเป็นสัดส่วนความสูงที่เท่าๆ กันกับ Hominid ซึ่งมีชีวิตอยู่ในช่วงเวลาระหว่าง 4-1.5 ล้านปีที่ผ่านมา นอกจากสัดส่วนร่างกายที่มีขนาดเล็กแล้ว มนุษย์สายพันธุ์ดังกล่าวยังมีขนาดความจุสมองน้อยประมาณ 380 ลูกบาศก์เซนติเมตร กระดูกส่วนคางมีลักษณะยื่น ขนาดของฟันกรามน้อยซี่แรกในชุดขากรรไกรล่าง (First mandibular premolar) และส่วนฐานของกะโหลกศีรษะ แสดงให้เห็นลักษณะการก่อตัวจากพื้นที่ใกล้ส่วนหู อันเป็นลักษณะทางกายภาพที่คล้ายคลึงกับสายพันธุ์ *Australopithecus* รุ่นแรกๆ ซึ่งเป็น Hominid สายพันธุ์หนึ่งที่เชื่อว่าเคยมีชีวิตอยู่เฉพาะในทวีปแอฟริกาเมื่อไม่น้อยกว่า 3 ล้านปีมาแล้ว (รูปที่ 1.19)

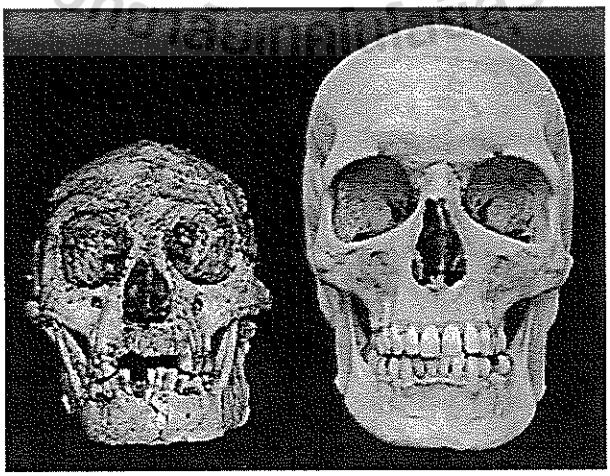
อย่างไรก็ตามลักษณะทางกายภาพบางอย่าง เช่น ผนังกะโหลกศีรษะส่วนห่อหุ้มสมอง (cranial vault) ที่ค่อนข้างหนาเทอะทะ ใบหน้าที่มีลักษณะแป้น รวมทั้งฟันกรามที่มีขนาดเล็ก กลับเป็นลักษณะทางกายภาพที่คล้ายคลึงกับ *Homo erectus* ซึ่งมีชีวิตอยู่เมื่อ 1.8 ล้านปีมาแล้วโดยประมาณ และอาจพบมาจนถึงช่วงเวลาราว 300,000 ปีที่ผ่านมา

ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่าหลักฐานโครงกระดูกมนุษย์กลุ่มที่เพิ่งได้รับการค้นพบใหม่จากเกาะ Flores อาจจะเป็นสายพันธุ์ที่มีสายวิวัฒนาการจากสายใดสายหนึ่งระหว่าง

1. สายวิวัฒนาการจาก *Australopithecus* ซึ่งเป็นสายวิวัฒนาการที่ย้อนหลังไปไกลมากจากมนุษย์ในปัจจุบัน (*H sapiens sapiens*) เมื่อประมาณ ๓ ล้านปีมาแล้ว

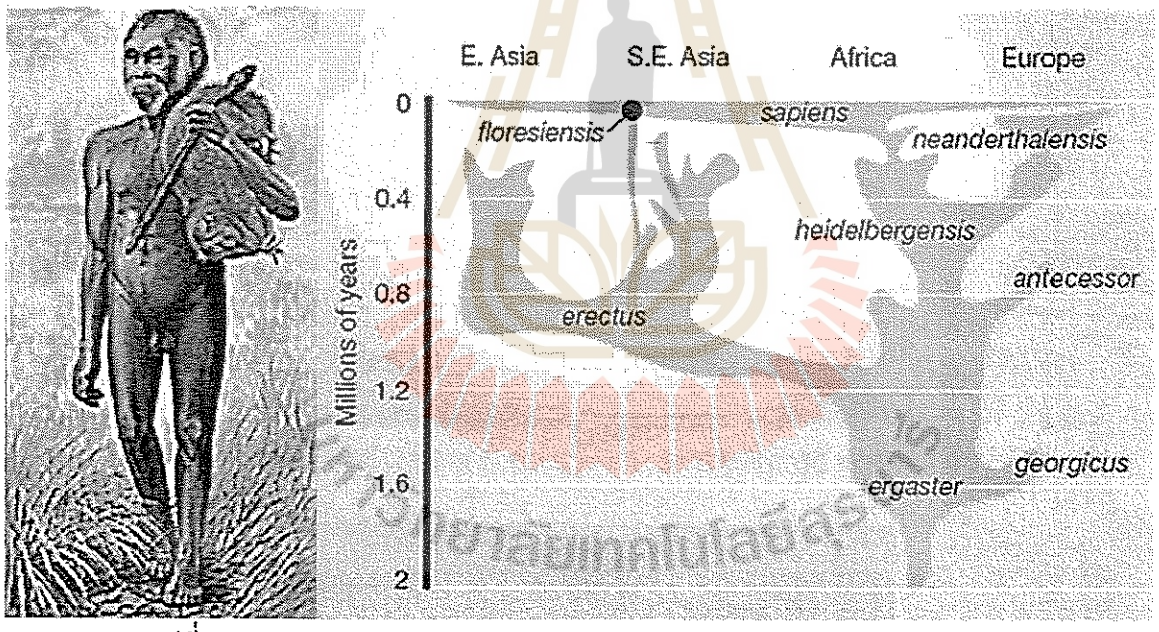
2. สายวิวัฒนาการจาก *Homo erectus* รุ่นแรกๆ ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่ใกล้เคียงกับมนุษย์ในปัจจุบัน มากกว่า *Australopithecus*

รูปที่ 1.19 กระโหลกของ *Homo floresiensis* (จาก http://pharyngula.org)



รูปที่ 1.20 กระโหลกของ *Homo floresiensis* (ซ้าย) เปรียบเทียบกับ *Homo sapiens sapiens* (ขวา) (จาก http://www.uow.edu.au)

Peter Brown นักมานุษยวิทยากายภาพ จากมหาวิทยาลัยแห่งนิวอิงแลนด์ ซึ่งเป็นหนึ่งในคณะวิจัยที่ขุดค้น ให้ความเห็นว่าตัวอย่างโครงกระดูกมนุษย์ที่เพิ่งได้รับการขุดค้นพบใหม่ดังกล่าว สร้างความประหลาดใจอย่างมากให้กับคณะวิจัย เพราะหากพิจารณาจากลักษณะทางกายภาพแล้วจะพบว่า กลุ่ม Hominid ที่มีขนาดสัดส่วนของร่างกายตลอดจนขนาดความจุสมองเท่านี้ น่าจะสูญพันธุ์ไปแล้วตั้งแต่เมื่อประมาณ 3 ล้านปีก่อน ทว่าก็ค่อนข้างเป็นไปได้ที่สายพันธุ์ของ *Homo floresiensis* ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีขนาดร่างกายเล็กและความจุสมองน้อยนั้น จะยังคงหลงเหลืออยู่ในพื้นที่แห่งใดแห่งหนึ่งโดยเฉพาะตามเกาะขนาดเล็กๆ เนื่องจากการถูกตัดขาดจากกลุ่มอื่น ๆ ด้วยปราการธรรมชาติ และมนุษย์สายพันธุ์ดังกล่าวสามารถปรับตัวดำรงชีวิตอยู่ได้เป็นเวลานานหลายหมื่นหลายแสนปี ทั้งนี้เหตุผลประการหนึ่งที่เอื้ออำนวยให้กลุ่มสายพันธุ์ขนาดเล็กเหล่านี้ดำรงอยู่ได้คือการติดอยู่บนเกาะเล็กๆ ห่างไกลนั้น ทำให้ปลอดภัยจากการตุกคามของผู้ล่าซึ่งส่วนมากอาศัยอยู่บนผืนแผ่นดินใหญ่ นอกจากนั้นยังอาจมีความเป็นไปได้ด้วยที่มนุษย์ร่างเล็กกลุ่มนี้เคยมีรูปร่างที่ใหญ่โตมาก่อน แต่ขนาดร่างกายได้เล็กลงเรื่อยๆ ในภายหลัง เนื่องจากการดำรงชีวิตบนเกาะที่โดดเดี่ยวไม่ได้ใช้ร่างกายที่สูงใหญ่มากนัก กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือร่างกายและความจุสมองขนาดเล็กนั้นเป็นผลในเชิงวิวัฒนาการเมื่อไม่ได้ใช้ประโยชน์อย่างเต็มที่จากภาวะของการมีร่างกายที่ใหญ่โตนั่นเอง



รูปที่ 1.21 แบบจำลองของ *H. floresiensis* และแผนภาพแสดงสายวิวัฒนาการ

(จาก http://www.abc.net.au และ http://www.d.umn.edu)

หลักฐานทางโบราณคดี นอกจากหลักฐานโครงกระดูกมนุษย์แล้วในพื้นที่ขุดค้นยังปรากฏหลักฐานทางโบราณคดีอื่นๆ โดยเฉพาะเครื่องมือหินที่มีประสิทธิภาพในการใช้งานที่ดี ไม่ว่าจะเป็นเครื่องมือสับ-ตัด (Chopper) เครื่องมือใบมีด (cutting blades) เครื่องมือขูด (scrapers) หรือแม้กระทั่งเครื่องมือปลายแหลมแบบหัวหอก (spear point) ซึ่งมีร่องรอยที่แสดงให้เห็นว่าใช้งานโดยการประกอบเข้ากับด้ามไม้ยาวๆ นับเป็นหลักฐานสำคัญที่มีน้ำหนักสนับสนุนได้ว่ามนุษย์กลุ่มนี้เป็นกลุ่มที่มีความก้าวหน้าในการทำเครื่องมือเครื่องใช้แล้วเมื่อประมาณ 800,000 ปีที่ผ่านมา

เครื่องมือหินที่ทรงประสิทธิภาพเหล่านี้มีลักษณะที่คล้ายคลึงกับเครื่องมือหินที่ได้รับการทำขึ้นโดยฝีมือมนุษย์ในยุคหิน โดยเฉพาะยุคหินในพื้นที่ยุโรปและอเมริกาเหนือ ซึ่งนับเป็นข้อที่น่าสงสัยอีกประการหนึ่ง เมื่อพิจารณาจากอัตราส่วนระหว่างความจุสมองกับสัดส่วนของร่างกาย กล่าวคือด้วยขนาดความจุสมองดังกล่าวแล้วซึ่งใกล้เคียงกับสายพันธุ์ *Australopithecus* รุ่นแรกๆ หรือ *Homo habilis* นั้น มนุษย์กลุ่มนี้น่าจะสามารถทำได้แค่เพียงเครื่องมืออย่างหยาบๆ ประสิทธิภาพการใช้งานต่ำเท่านั้น โดยนัยนี้จึงกล่าวได้ว่าขนาดความจุสมองของมนุษย์ที่อาศัยอยู่บนเกาะ Flores ค่อนข้างขัดแย้งกับผลงานการผลิตเครื่องมือเครื่องใช้ที่พบ

กระนั้นก็ดีในอีกแนวทางหนึ่งคำอธิบายเกี่ยวกับข้อกังขาสำหรับความขัดแย้งระหว่างความจุสมองกับฝีมือการผลิตเครื่องมือเครื่องใช้ที่กล่าวถึงข้างต้น คือการที่เครื่องมือหินเหล่านั้นได้รับการทำขึ้นโดยฝีมือของมนุษย์ *Homo sapiens* ในช่วงยุคหินบนเกาะ Flores จริง แต่มีคำถามที่น่าประหลาดใจก็คือเครื่องมือหินที่เก่าแก่ที่สุดจากแหล่งโบราณคดีแห่งนี้มีอายุประมาณ 90,000 ปีมาแล้ว ซึ่งในปัจจุบันนั้นช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเวลาที่ *Homo sapiens* ยังไม่ปรากฏในบริเวณเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ ทั้งนี้ *Homo sapiens* เพิ่งปรากฏหลักฐานในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ระหว่างช่วงเวลาราว 60,000-50,000 ปีมาแล้ว ส่วนผลการกำหนดอายุ Fossil จาก Ngandong บ่งชี้ว่า *Homo erectus* ในอินโดนีเซียมีชีวิตอยู่เมื่อประมาณ 53,000-27,000 ปีที่ผ่านมา

รูปที่ 1.22 เครื่องมือหินที่ขุดพบพร้อมกับฟอสซิล *H. floresiensis* (จาก http://www.d.umn.edu)

Mike Morwood นักโบราณคดีจากมหาวิทยาลัยแห่งนิวอิงแลนด์ ซึ่งเป็นหัวหน้าคณะขุดค้น ตั้งข้อสังเกตว่าหลักฐานร่วมสมัยจากแหล่งอื่นๆ ต่างบ่งชี้ว่าเครื่องมือหินที่ถ้ำเลียงบัว ที่มีอายุมากกว่า 12,000 ปีมาแล้ว ล้วนได้รับการทำขึ้นโดยฝีมือของมนุษย์ *Homo floresiensis*

ตำนานพื้นเมืองที่เกี่ยวเนื่องกับ *Homo floresiensis* นอกจากหลักฐานเชิงประจักษ์ทั้งโครงกระดูกมนุษย์และเครื่องมือเครื่องใช้ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ยังมีข้อมูลที่น่าสนใจซึ่งมีเงื่อนงำเกี่ยวโยงกับสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งบนเกาะ Flores ได้แก่เรื่องเล่าที่ได้รับการกล่าวขานถึงโดยชนพื้นเมืองบนเกาะดังกล่าวมาเป็นเวลานานหลายชั่วอายุคน จากเรื่องเล่าดังกล่าวนี้ อาจเป็นไปได้ว่าสิ่งมีชีวิตที่ได้รับการอ้างถึงนั้นแท้ที่จริงแล้วคือ *Homo floresiensis* ซึ่งหากเป็นเช่นนั้นจริงแล้วก็จะนับเป็นข้อมูลที่สร้างความพิศวงมากยิ่งขึ้นไปอีก เพราะนั่นหมายถึง

ว่า *Homo floresiensis* มีชีวิตอยู่ยืนยาวมากกว่าที่เราคาดคิดไว้ กล่าวคือมีชีวิตยืนยาวมาจนถึงเมื่อประมาณ 150 ปีที่แล้ว

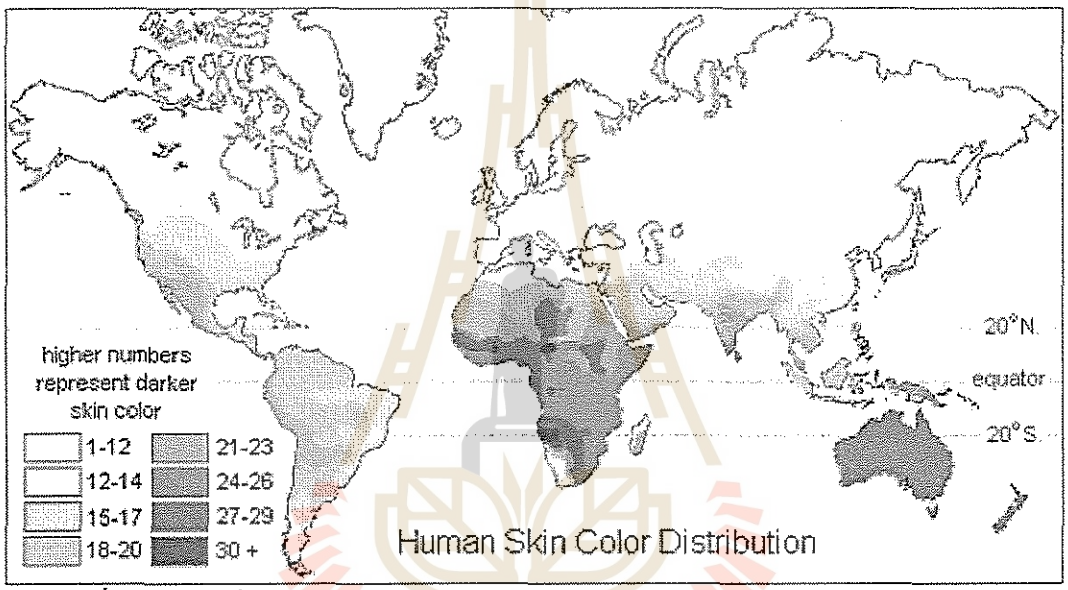
นอกจากเรื่องเล่าที่กล่าวถึงแล้ว ยังมีหลักฐานและข้อมูลเชิงสัตววิทยา (Zoological) ที่น่าสนใจจากเกาะสุมาตรา ซึ่งอาจเชื่อมโยงเข้ากับการมีชีวิตอยู่ของ *Homo floresiensis* ได้ นั่นคือบนเกาะสุมาตรามีสิ่งมีชีวิตชนิดหนึ่งที่จัดได้ว่าเป็นสัตว์ที่มีความฉลาด เคลื่อนที่ด้วยสองขา โดยดำรงชีวิตอยู่ในป่าลึกของเกาะแห่งนี้ อย่างไรก็ดีในมโนทัศน์ของชาวเกาะ Flores เกี่ยวกับเรื่องเล่าขานข้างต้นแล้ว พวกเขาเชื่อว่าสิ่งมีชีวิตในตำนานอาจหมายถึงสิ่งมีชีวิตที่พวกเขาเคยพบและรู้จักมานานในช่วงเวลาราว 150 ปีมาแล้ว ซึ่งได้แก่สิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะคล้ายกับมนุษย์ร่างเล็ก สูงประมาณ 3 ฟุต หรือ 150 เซนติเมตร อันเป็นสัดส่วนความสูงที่ใกล้เคียงกับ *H floresiensis* สิ่งมีชีวิตดังกล่าวเป็นที่รู้จักกันของชาวเกาะ Flores ในชื่อพื้นเมืองว่า "อีบู กอกอส" (ebu gogos) ซึ่งในความหมายของชาวท้องถิ่นหมายถึง "แม่เฒ่าผู้กินทุกสรรพสิ่ง" ทั้งนี้ชื่อและความหมายดังกล่าวมาจากพฤติกรรมการหากินของ "อีบู กอกอส" ที่มักจะแอบเข้ามาขโมยอาหารของชาวเกาะ Flores เสมอๆ นั่นเองพฤติกรรมการขโมยข้าวปลาอาหารทั่วๆ ไปของ "อีบู กอกอส" ไม่ได้ถือเป็นความเดือดร้อนสำหรับชาวเกาะ Flores แต่อย่างใด จนกระทั่งเมื่อ "อีบู กอกอส" ได้ขโมยเด็กทารกและกินเด็กที่ฉกมาได้

เกี่ยวกับเรื่องเล่าจากเกาะต่างๆ ข้างต้น โดยเฉพาะเรื่องเล่าจากเกาะ Flores นั้น Bert Roberts นักธรณีวิทยาจากมหาวิทยาลัยแห่งวูลลองกอง ซึ่งเป็นผู้เชี่ยวชาญทางด้านลำดับธรณีกาล (Geochronology) และมีความสนใจในตำนานพื้นเมืองรวมทั้งเป็นผู้สัมภาษณ์และเก็บข้อมูลจากชาวพื้นเมือง ได้ให้ทัศนะในเชิงธรณีสัมพันธ์ว่าไม่ว่าสิ่งมีชีวิตที่ได้รับการกล่าวถึงในเรื่องเล่านั้นจะมีตัวตนจริงหรือไม่ แต่เรื่องเล่าเหล่านี้ก็ให้เงื่อนงำหรือมีเค้าว่าอย่างน้อยในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งของคริสต์ศตวรรษที่ 19 น่าจะเป็นช่วงที่สิ่งมีชีวิตลักษณะคล้ายมนุษย์ดังกล่าว (ซึ่งอาจหมายถึง *H floresiensis*) ยังคงดำรงเผ่าพันธุ์อยู่ นอกจากนั้นนักธรณีวิทยาคนเดิมยังตั้งสมมติฐานด้วยว่าในปัจจุบันสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กสายพันธุ์ดังกล่าวอาจจะยังคงมีอยู่แต่หลีกหนีไปใช้ชีวิตอยู่ในที่ใดที่หนึ่งของป่าลึกบนเกาะต่างๆ โดยเฉพาะบนเกาะสุมาตรา ซึ่งเป็นเกาะขนาดใหญ่นั้น น่าจะเป็นพื้นที่ที่มีความเป็นไปได้ที่จะพบสิ่งมีชีวิตชนิดนี้ ทั้งนี้ประเด็นดังกล่าวจำเป็นต้องได้รับการสำรวจและตรวจสอบอีกครั้งโดยนักไพรเมตวิทยา (Primatologist) อย่างไรก็ตามบนเกาะสุมาตรานั้นยังมีสัตว์ในตระกูล Ape ชนิดหนึ่งซึ่งสามารถให้ข้อมูลเชื่อมโยงกับ *H floresiensis* ได้ Ape ที่ว่านี้มีชื่อเรียกในภาษาท้องถิ่นว่า "โอราง เป็นเด็ก" (orang pendek) ซึ่งหมายถึง "ผู้มีร่างเล็ก" สอดคล้องกับสัดส่วนร่างกายของสัตว์ชนิดดังกล่าวที่มีความสูงราว 4 ฟุตเท่านั้น อนึ่งนักสัตววิทยาบางท่านได้คาดการณ์ไว้ว่าน่าจะมีสิ่งมีชีวิตชนิดนี้หลงเหลืออยู่จำนวนไม่กี่ร้อยตัวโดยอาศัยอยู่ในป่าลึกที่อยู่ห่างไกลเข้าไปตอนในของเกาะสุมาตรา ซึ่งต้องรอการศึกษาและยืนยันอีกครั้ง อย่างไรก็ตามถือได้ว่าข้อมูลและหลักฐานที่ได้จากการค้นพบครั้งใหม่ดังกล่าวนี้ ได้สร้างความประหลาดใจให้กับแวดวงนักวิทยาศาสตร์สาขาต่างๆ ทั่วโลก ในระดับที่เรียกได้ว่าเป็นการเขย่าวงการเลยทีเดียว นักวิชาการบางท่าน เช่น Robert Kruszynski นักมานุษยวิทยาประจำพิพิธภัณฑสถานด้านธรรมชาติวิทยา แห่งนครลอนดอน (The Natural History Museum in London) ผู้มีชื่อเสียงในระดับแนวหน้า ถึงกับกล่าวว่านับเป็นเรื่องที่น่าสนุกตื่นเต้นไม่น้อยที่เราพบว่าสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะคล้ายมนุษย์หลายสายพันธุ์ ซึ่งเคยอยู่บนเกาะต่างๆ ใน

ภูมิภาคเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ และเราเคยคิดว่าได้สูญพันธุ์ไปโดยสิ้นเชิงแล้วนั้น แท้ที่จริงแล้วกลับยังคงมีชีวิตอยู่

1.3.6 การปรับตัวทางชีววิทยาของมนุษย์ (Human Biological Adaptation)

มนุษย์ปัจจุบันยังอยู่ในกระบวนการคัดเลือกโดยธรรมชาติ โดยมนุษย์มีการปรับตัวทางชีวเคมีและชีวฟิสิกส์ให้เข้ากับสภาพแวดล้อมหรือถิ่นฐานที่ได้อพยพเข้าไปอยู่ ได้แก่ สภาพภูมิอากาศ ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ ความสูงจากระดับน้ำทะเลและการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสารอาหารและสารเคมี การปรับตัวเหล่านี้อาจเกิดในช่วงชีวิตของมนุษย์หลายรุ่น อาทิ เช่น ความสามารถในการต่อต้านแลคโตส (Lactose intolerance) การเปลี่ยนแปลงของสีผิว (Skin color variation) การปรับตัวต่อสภาพภูมิอากาศ (Climate adaptation) การต่อต้านมาลาเรีย (Sickle cell anemia) เป็นต้น



รูปที่ 1.23 แผนที่แสดงการกระจายตัวของสีผิวมนุษย์ (จาก http://anthro.palomar.edu)

1.4 บรรณานุกรม

http://ai1.agro.ku.ac.th/portal/article_read.asp?id=39

http://www.baanjomyut.com/library/human_evolution/index.html

http://th.wikipedia.org

http://www.radompon.com/resource/view.php?topic=126

http://www.mnsu.edu/emuseum/biology/humanevolution/

http://www.becominghuman.org/

http://www.ucmp.berkeley.edu/history/evothought.html

http://www.pbs.org/wgbh/aso/tryit/evolution/footprints.html

http://www.pbs.org/wgbh/aso/tryit/evolution/

บทที่ 2 ดิน (Soil)

ดิน คือ วัตถุที่เกาะตัวกันเป็นกลุ่มก้อน รวมตัวกันเป็นชั้นปกคลุมผิวของเปลือกโลก ดินเป็นสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติ เกิดจากปฏิกริยาระห่างกันของบรรยากาศและระบบทางชีววิทยา โดยกระบวนการสลายตัวของแร่ธาตุต่าง ๆ ผสมกับอินทรียวัตถุ เช่น ซากพืช ซากสัตว์ ที่เน่าเปื่อยผุพังตลอดเวลา ซึ่งเป็นผลมาจากอิทธิพลของการเปลี่ยนแปลงสิ่งแวดล้อมอื่น ๆ เช่น ความแปรปรวนของอุณหภูมิ ความชื้น กระแสน้ำ และการกระทำของมนุษย์ เป็นต้น

2.1 องค์ประกอบของดิน (Soil Composition)

ดินประกอบด้วย

1. แร่ธาตุอาหาร เป็นส่วนที่เกิดจากการสลายตัวของแร่ธาตุและหิน มีประมาณ 45 %

2. อินทรียวัตถุ เป็นส่วนที่เกิดจากการสลายตัวหรือเน่าเปื่อยผุพังของซากพืชซากสัตว์ และมูลสัตว์ในดิน การสลายตัวของสิ่งมีชีวิตเหล่านี้เกิดจากการทำงานของผู้ย่อยสลาย (decomposer) ในดิน เช่น แบคทีเรีย เชื้อรา หนอน ตัวอ่อนแมลง ไส้เดือน ทำให้ได้สารประกอบที่ซับซ้อนคล้ายวุ้น เรียกว่าขุยอินทรีย์ (humus) ซึ่งเป็นแหล่งอาหารให้แก่ผู้ย่อยสลายและพืชต่างๆ ขุยอินทรีย์ยังช่วยให้มีการแทรกซึมและการสะสมของน้ำในดิน ร่วมในปฏิกริยาแลกเปลี่ยนทางเคมีซึ่งกระทบต่อโครงสร้างของดินและปรับปรุงดินให้เหมาะแก่การเพาะปลูก อินทรีย์วัตถุในดินมีประมาณ 5 %

3. อากาศ เป็นช่องว่างระหว่างก้อนดิน มีประมาณ 25 % ดินที่ดีย่อมมีทางให้อากาศผ่านเข้าและหมุนเวียนได้

4. น้ำ เป็นส่วนที่อยู่ในช่องว่างระหว่างก้อนดิน มีประมาณ 25 %

จากการรวมตัวกันขึ้นโดยทางธรรมชาติของแร่ธาตุและอินทรียวัตถุ ประกอบกับมีอากาศและน้ำในปริมาณที่เหมาะสม ดินก็จะกลายเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืช ขยายพันธุ์เพื่อเป็นแหล่งอาศัยและอาหารของสัตว์และมนุษย์ต่อไป

2.2 หน้าตัดข้างของดิน (Soil Profile)

ในการศึกษาลักษณะของดิน นิยมศึกษาหน้าตัดข้างของดิน โดยแบ่งตามแนวดิ่งได้เป็นโซนต่าง ๆ โดยอาศัยความมากน้อยของการผุพังของส่วนประกอบ เรียกแต่ละโซนว่า ช่วงชั้น (horizon) หน้าตัดข้างของดินประกอบด้วยช่วงชั้นต่าง ๆ ซึ่งแตกต่างกันออกไปในแต่ละท้องที่ ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ หินต้นกำเนิด ความสูงต่ำของภูมิประเทศ ปริมาณของอินทรียวัตถุในดินและระยะเวลาในการเกิดดิน ลักษณะหน้าตัดข้างของดินศึกษาจากดิน mature soil ซึ่งประกอบด้วยช่วงชั้นต่าง ๆ ดังนี้ (รูปที่ 2.1)

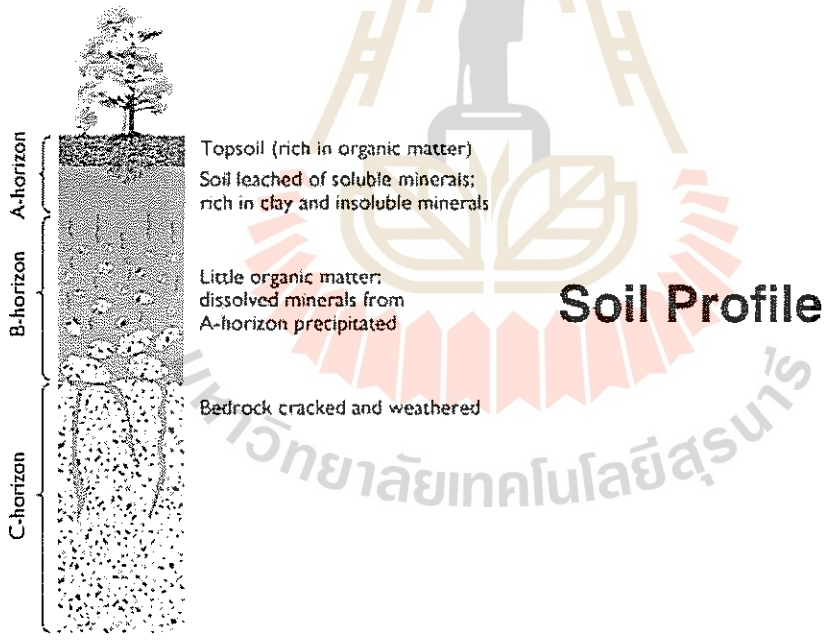
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1. ช่วงชั้น A_1 (A_1 horizon) เป็นดินชั้นบนสุด มีอินทรียวัตถุเป็นส่วนใหญ่ อาจมีใบไม้ และกิ่งไม้สด ๆ ทับถมอยู่ด้านบน มีลักษณะสีค่อนข้างดำ บางส่วนซากพืชซากสัตว์ได้สลายกลายเป็นฮิวมัสไปบ้างแล้ว ชั้นนี้ไม่ค่อยหนามากนัก

2. ช่วงชั้น A_2 (A_2 horizon) เป็นช่วงชั้นที่อยู่ต่อจาก A_1มีอินทรียวัตถุผสมกับแร่ธาตุต่าง ๆ มีการซึมละลาย โดยน้ำที่ซึมผ่านลงไปจะมีก๊าซออกซิเจนละลายอยู่ การผังอยู่กับที่ (weathering) จะเปลี่ยนแร่ซิลิเกตเป็นแร่ดินและออกไซด์ของเหล็ก ซึ่งจะถูกน้ำชะลงสู่เบื้องล่าง ถ้ามีแร่ควอรตซ์จะสะสมอยู่ในชั้นนี้ ดินในชั้นนี้ยังคงมีสีคล้ำหลงเหลืออยู่แต่สีจะจางกว่าชั้นบน

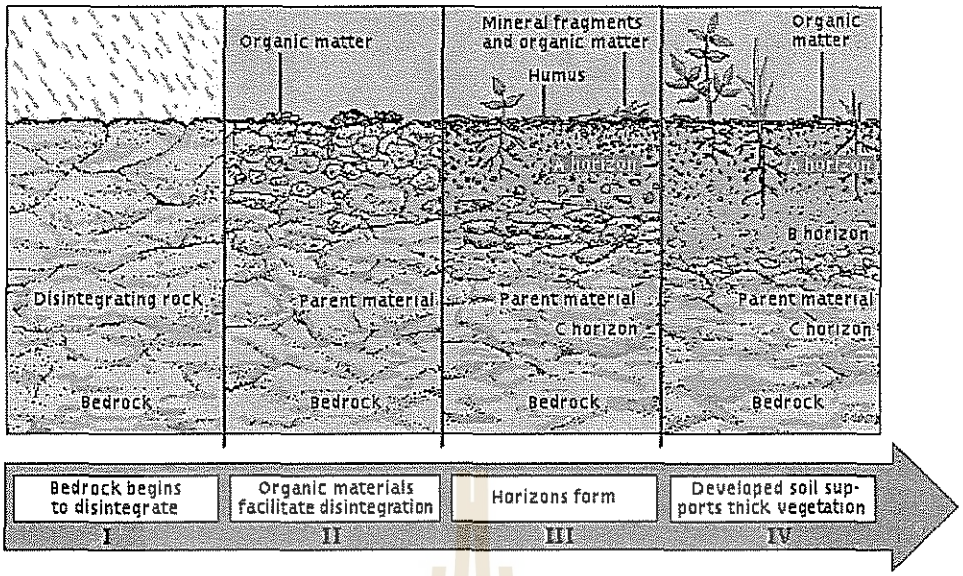
3. ช่วงชั้น B (B horizon) เป็นชั้นหลักของชั้นดินที่หนาที่สุด เป็นโซนของการสะสม น้ำที่ซึมลงจากขั้งบนจะนำอลูมิเนียมในแร่ดินและเหล็ก (ไลมอไนต์หรือฮีมาไทต์) มาตกตะกอนในชั้นนี้ โซนนี้อาจมีสีแดงหรือสีเหลืองของเหล็กออกไซด์และอาจเกิดเป็นชั้นดินดาน (hard pan) ซึ่งเป็นดินดานเหนียวหรือเหล็กที่จับตัวแข็งเป็นชั้นทำให้รากพืชชอนไชเข้าไปไม่ได้ น้ำหรือสารละลายไหลผ่านได้ยาก

4. ช่วงชั้น C (C horizon) เป็นโซนที่หินผุพังไปบ้างแต่ส่วนใหญ่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ใต้โซนนี้เป็นหินสด บางครั้งเรียกเป็น R horizon หรือ bedrock



รูปที่ 2.1 หน้าตัดข้างของดิน (จาก http://en.wikipedia.org/wiki/Soil_texture)

ในการเกิดดินระยะแรก ๆ อาจมีแต่ชั้นของอินทรียสาร (A) เมื่อมีการผุพังมากขึ้นชั้น C จะแยกจากชั้น A อย่างเด่นชัด ดินที่เกิดขึ้นช่วงนี้เรียก ดินเกิดใหม่ (immature soil) เมื่อเวลามีมากขึ้น ชั้น B จะค่อยเกิด โดยมีการตกตะกอนของสารละลายที่ถูกชะล้างลงมาจากดินชั้น A ดินที่มีชั้น A B และ C จัดว่าเป็นดินมีมัจฉิมวัย (mature soil) ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การพัฒนาของดินมัจฉิมวัย (จาก http://www.the-human-race.com/pages/about_soil.htm)

วิธีการศึกษาหน้าตัดข้างของดิน นิยมใช้เครื่องเจาะดิน (soil corer) เช่น Haga โดยเจาะลงในดินในแนวดิ่ง แล้วนำดินมาเรียงต่อกันทีละช่วงจนกระทั่งถึงชั้นหิน แล้วใช้สีของดินและลักษณะของเนื้อดินแบ่งเป็นขั้น ๆ หรืออาจใช้วิธีขุดลงเป็นรูปตัววี (V-shaped) โดยให้ด้านหนึ่งตั้งฉากกับผิวดิน

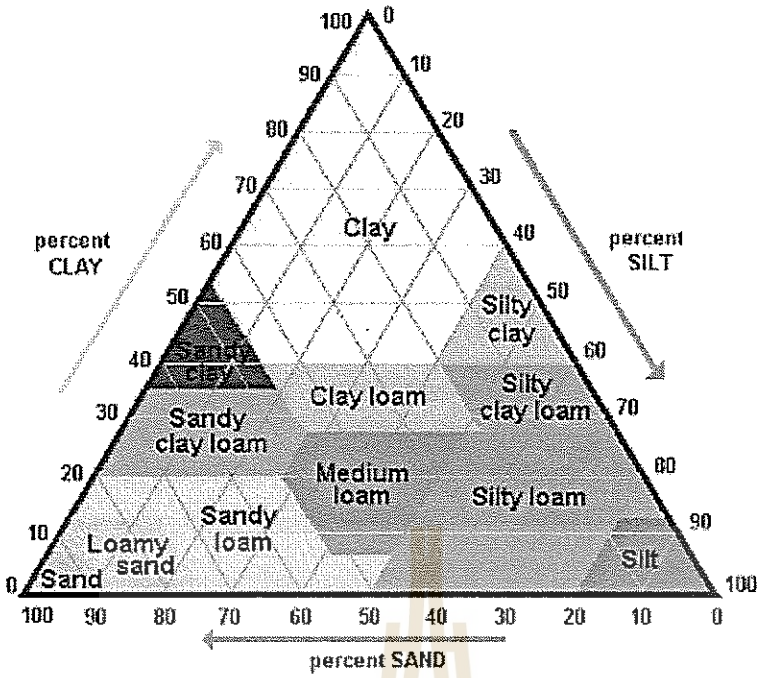
2.3 ลักษณะเนื้อดิน (Soil Texture)

เนื่องจากดินเกิดจากการผุพังและการย่อยสลายของหินและแร่ทำให้ดินมีขนาดแตกต่างกัน เนื้อของดินจะนับเฉพาะขนาดของอนุภาคดิน โดยใช้เส้นผ่าศูนย์กลางสมมูลย์ (equivalent diameter) ซึ่งมีขนาดไม่เกิน 2 มม มักเรียกว่า fine earth โดยใช้ระบบสากลจะแบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม ใหญ่ ๆ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่2.1 กลุ่มของอนุภาคของ fine earth ตามแบบสากล

กลุ่มของอนุภาค	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางสมมูลย์ (มม.)
ทรายหยาบ (coarse sand)	0.2-2.0
ทรายละเอียด (fine sand)	0.02-0.2
ทรายแป้ง (Silt)	0.002-0.02
อนุภาคดินเหนียว (clay)	0.0002-0.002

การจำแนกดินตามหลักสากลนิยมใช้เปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบ 3 ชนิด คือ อนุภาคขนาดทราย ทรายแป้งและดินเหนียว เป็นตัวจำแนกและเรียกชื่อดินชนิดนั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 the USDA Soil Classification name: triangular diagram (Lundgren, 1999)

(จาก http://www.tropicalforages.info/key/Forages/Media/Html/images/soil_grid.gif

2.4 น้ำในดิน (Soil Water)

แหล่งน้ำในธรรมชาติแบ่งออกเป็น 3 ประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

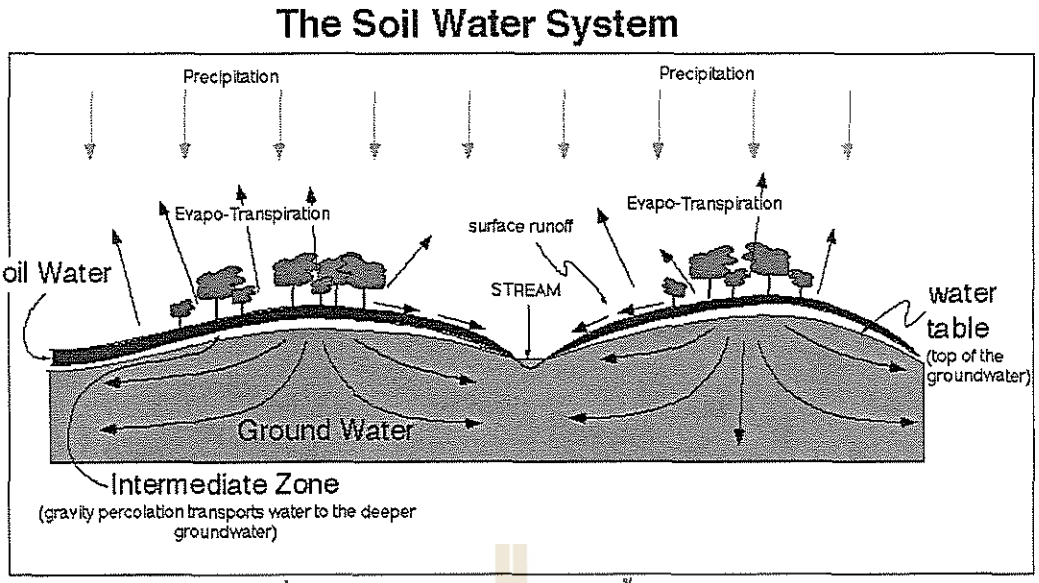
1. น้ำในบรรยากาศ (Atmospheric water) ได้แก่น้ำที่อยู่ในสภาพเป็นไอน้ำ เช่น เมฆ และหมอก น้ำที่อยู่ในสภาพของเหลว เช่น ฝนและน้ำค้าง น้ำที่อยู่ในสภาพของแข็งเช่น ลูกเห็บและหิมะ

2. น้ำผิวดิน (Surface water) ได้แก่น้ำจากบรรยากาศที่ตกสู่ผิวโลก รวมทั้งน้ำที่อยู่ในดิน ภูเขา แล้วซึมออกมารวมกันอยู่ผิวโลก เช่น ลำธาร แม่น้ำ ทะเลสาป มหาสมุทร

3. น้ำใต้ดิน (Subsurface water) ได้แก่น้ำจากแหล่งต่าง ๆ ที่ถูกเก็บอยู่ในดินและหิน น้ำใต้ดินส่วนที่ซึมอยู่ในดินในระดับความลึกที่พืชสามารถดูดกลับมาใช้ได้เรียกว่า น้ำใต้ดิน (soil water) ซึ่งถ้าไม่มีฝนตกลงมาเพิ่มหรือไม่มีการไหลซึมมาจากแหล่งอื่น น้ำใต้ดินอาจแห้งหายไปได้ โดยเฉพาะในฤดูแล้ง น้ำที่เหลือจากการดูดอมของดินจะไหลซึมไปรวมกันในช่องว่างของหิน ดิน หรือทราย จนวัตถุเหล่านั้นอิ่มตัวด้วยน้ำเรียกว่า น้ำบาดาล (Ground water) น้ำในดินอาจอยู่ได้หลายรูปแบบ เช่น น้ำในรูปผลึก (Chemical combined water) น้ำที่ผิวอนุภาคดิน (Hydroscopic water) น้ำในช่องว่างขนาดเล็ก (Capillary water) และน้ำในช่องว่างขนาดใหญ่ (Drainage water) น้ำที่เป็นประโยชน์ต่อดิน คือน้ำในช่องว่างของดิน

2.4.1 ปัจจัยควบคุมน้ำใต้ดิน

น้ำในดินมีความสัมพันธ์กับน้ำใต้ดิน (รูปที่ 2.4) เพราะถ้าน้ำใต้ดินลดลง หรือหมด น้ำในดินจะซึมลงไปทำให้ดินแห้ง แข็งและแตก ไม่เหมาะกับการเจริญเติบโตของพืชและสิ่งมีชีวิตในดิน ดังนั้นจะกล่าวถึงปัจจัยที่ควบคุมน้ำในดินโดยสังเขป ดังนี้



รูปที่ 2.4 ความสัมพันธ์ของแหล่งน้ำในธรรมชาติ

(จาก http://www.carleton.edu/departments/geol/DaveSTELLA/Water/soil%20water/soil_water.htm)

ก. ความพรุน (porosity)

ความพรุน หมายถึง ปริมาตรในช่องว่างที่มีอยู่ในหินหรือดิน น้ำจะถูกเก็บกักมากน้อย ขึ้นอยู่กับความพรุน ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาตรของช่องว่างต่อปริมาตรทั้งหมดของดินหรือหิน มีหน่วยเป็นเปอร์เซนต์หรือร้อยละ

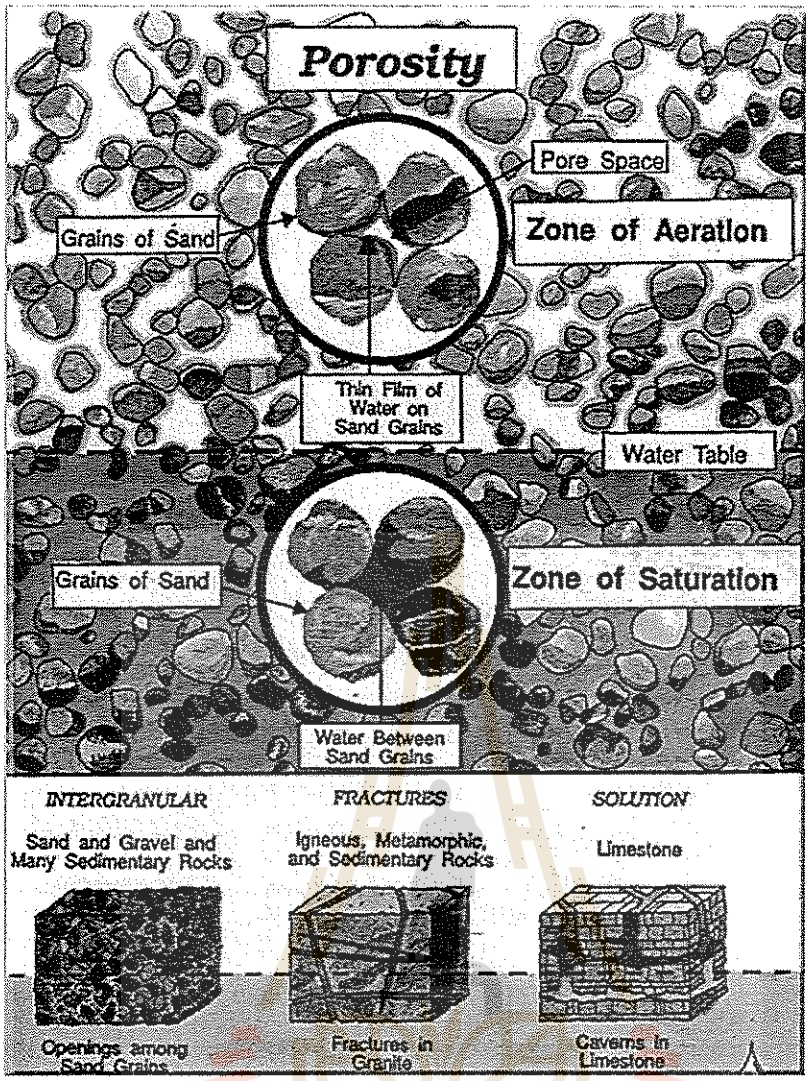
$$\text{ความพรุน (\%)} = \frac{\text{ปริมาตรของช่องว่าง}}{\text{ปริมาตรของหินหรือดิน}} \times 100$$

ความพรุนของดินหรือหินชนิดต่าง ๆ จะมีค่าความแตกต่างกัน ในดินจะมีค่าความพรุนมากกว่าในหิน ในหินที่มีการตกผลึกของแร่ที่อุณหภูมิสูงและความดันสูง จะมีช่องว่างระหว่างเม็ดแร่เล็กน้อย เช่น หินอัคนีและหินแปรบางชนิด จะมีความพรุนน้อยกว่า 1 %

ปกติค่าความพรุนของดินและหินโดยทั่วไปเป็นดังนี้

ดิน	50-60 %
ดินเคลย์	45-50 %
ทรายแป้ง	40-55 %
ทราย	30-40 %
ก้อนกรวด	20-40 %
หินทราย	10-20 %
หินดินดาน	1-10 %
หินปูน	1-10 %

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.5 แสดงความพรุน โครงสร้างในชั้นดิน การกักเก็บของน้ำระหว่างเม็ดตะกอน โซนอิ่มอากาศ และโซนอิ่มน้ำ (จาก http://www.protectyourwater.net/glossary/porosity.htm)

ข. สภาพให้น้ำซึมผ่านได้ (Permeability)

หมายถึง ความสามารถที่จะยอมให้ของเหลวไหลผ่านไปได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยเหล่านี้

1. ความหนืด (viscosity) ของของเหลวนั้น
2. ความดัน (pressure)
3. ขนาดของช่องเปิด

จากปัจจัยเหล่านี้จะเห็นได้ว่าถึงแม้หินชนิดต่าง ๆ จะมีรูพรุนมาก แต่มีความสามารถให้ของเหลวซึมผ่านได้น้อย ซึ่งตรงข้ามกับดิน ทราย และกรวด

เมื่อน้ำไหลซึมลงสู่ดิน ต่อไปยังหินซึ่งเป็นน้ำใต้ดินตามแรงดึงดูดโน้มถ่วงของโลกนั้น จะเกิดเขตน้ำใต้ดิน 2 เขต (ดูรูปที่ 2.5) คือ

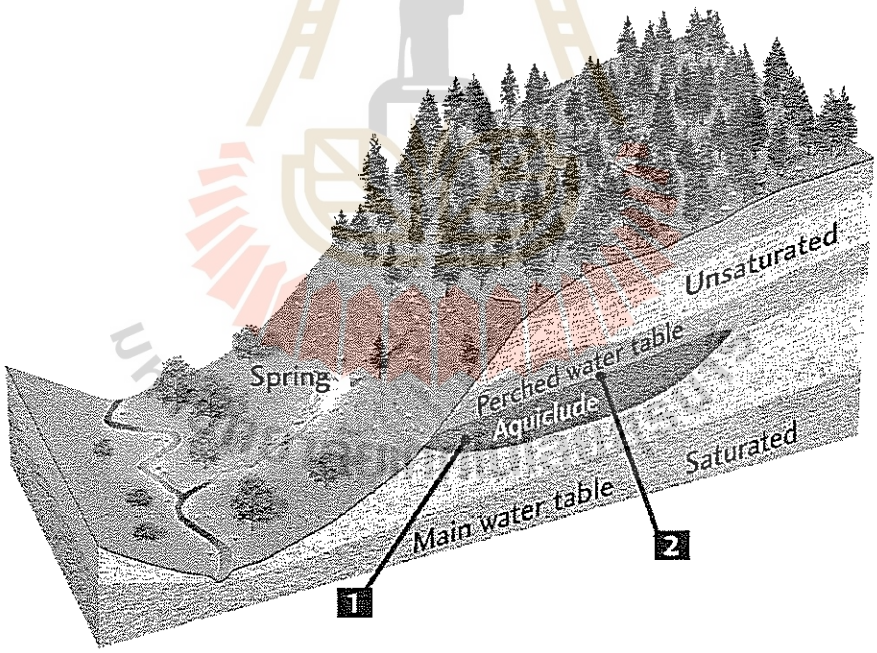
1. เขตอิ่มอากาศ (Zone of aeration) เป็นเขตที่อยู่ติดกับผิวดิน น้ำจะถูกกักอยู่ในหินและดิน ตามช่องว่างต่าง ๆ ของดินและหิน จึงมีน้ำและอากาศบรรจุอยู่ น้ำในเขตนี้อยู่ในสภาพแขวนลอยเรียกว่า suspended water เพราะมีแรงดึงดูดระหว่างอณูของน้ำและแรงดึงดูดระหว่างหินหรือดิน กับน้ำ ความหนาของเขตนี้ขึ้นกับตำแหน่งของระดับน้ำใต้ดิน

2. เขตอิ่มน้ำ (Zone of saturation) น้ำส่วนใหญ่ซึมลงไปรวมกันอยู่ในช่องว่างของดินจนเกิดการอิ่มตัว มีส่วนน้อยที่อยู่ในเขตอิ่มอากาศ น้ำในเขตอิ่มน้ำก็คือ น้ำบาดาลนั่นเอง

ระดับน้ำใต้ดินคือพื้นผิวของเขตอิ่มน้ำ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลและสภาพภูมิประเทศของบริเวณนั้น (ดูรูปที่ 2.5)

2.4.2 ระดับน้ำแปลกปลอม (Perched Water Table)

ในเขตอิ่มอากาศของบางพื้นที่ จะมีหินเนื้อทึบ (Impermeable rock) ซึ่งเป็นหินที่ไม่ยอมให้น้ำซึมผ่านไปได้ เช่น ดินเคลย์หรือหินดินดาน ซึ่งมีรูปร่างเป็นแอ่งอยู่ในหินทรายหรือหินกรวดมน เมื่อน้ำซึมผ่านจากผิวดินและชั้นของดินลงไป จะถูกกักเก็บสะสมไว้ในแอ่งเหล่านี้ เหมือนลักษณะการเกิดน้ำบาดาล เรียกบริเวณนี้ว่า น้ำแปลกปลอม (perched water) ระดับน้ำนี้เป็นระดับน้ำใต้ดินแปลกปลอม จะเกิดอยู่เหนือระดับน้ำใต้ดินจริง หากขุดบ่อหรือเจาะลงไปจะพบระดับน้ำในเขตความลึกไม่มากนัก ถ้ามีการสูบน้ำขึ้นมาใช้ไม่นานก็จะหมดไปหรือลดน้อยลง (รูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 ชั้นน้ำแปลกปลอมในเขตอิ่มอากาศ (จาก http://hays.outcrop.org/GSCI100/lecture41.html)

2.4.3 มลพิษของน้ำใต้ดิน (Pollution of Groundwater)

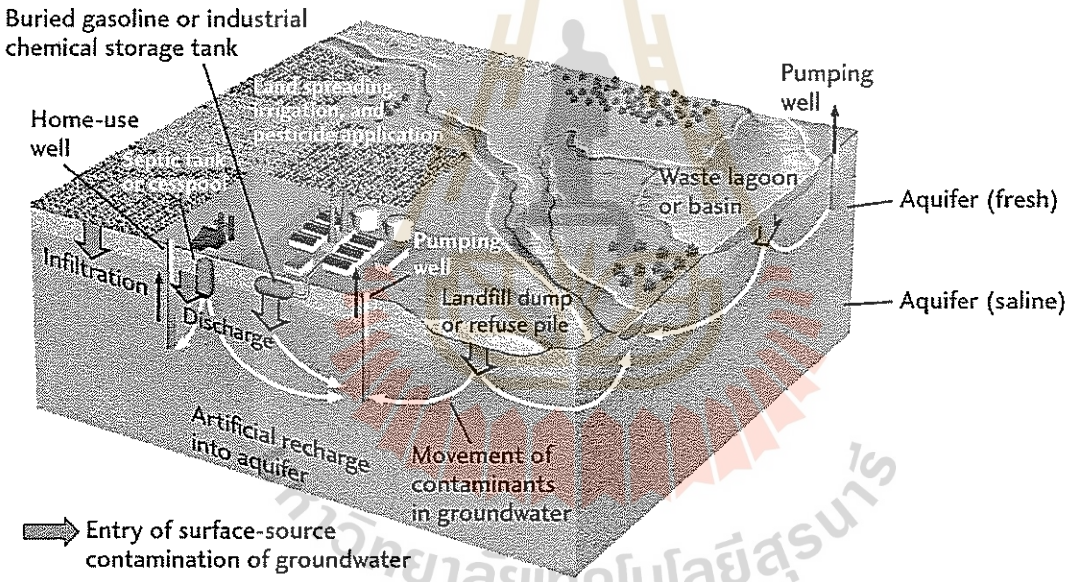
มลพิษของน้ำใต้ดินเป็นปัญหาน้อยมาก หากวัฏจักรของน้ำเป็นไปโดยธรรมชาติ แต่ในปัจจุบันมนุษย์มีเทคโนโลยีสูง มีการผลิตสิ่งของอำนวยความสะดวกและอุตสาหกรรมอาหารเพื่อเลี้ยงประชาคมโลก สิ่ง

ที่ตามมาคือขยะและเศษสิ่งเหลือใช้ที่จะกลายเป็นขยะในอนาคต ในประเทศกำลังพัฒนา (Developing countries) และประเทศที่พัฒนาแล้ว (Developed countries) นิยมกำจัดขยะที่สลายยาก เช่น กระป๋องโลหะ พลาสติก สารเคมี และผลิตภัณฑ์ที่สร้างจากสารเคมี โดยสองวิธีใหญ่ ๆ คือ

1. การเผาโดยใช้อุณหภูมิสูง (High temperature incineration)

2. การฝังในดิน (Sanitary landfill)

วิธีแรกมีปัญหากลิ่นและเขม่าควันทำให้เกิดมลพิษทางอากาศตามมา ส่วนวิธีที่สอง การกำจัดขยะ (Solid soil disposal) จะค่อยเป็นค่อยไปโดยธรรมชาติ โดยอาศัยคุณสมบัติทางเคมีของดินและผู้ย่อยสลายบางชนิดในดิน เมื่อขยะเหล่านี้แยกสลายออกทำให้ส่วนที่มีพิษมีโมเลกุลเล็กลง ไม่ละลายน้ำหรืออาจละลายน้ำได้บ้าง หากเกิดฝนตกหรือเกิดสภาพน้ำซึมผ่านลงไป น้ำจะพัดพาเอาสารพิษเหล่านี้ลงไปด้วยจนถึงระดับน้ำใต้ดิน อาจจะไหลไปรวมกันธารน้ำ แหล่งน้ำ หรืออาจถูกพัดพาไปเก็บสะสมในน้ำบาดาล ถ้ามีการขุดเจาะน้ำบาดาลขึ้นมาใช้ ประชาชนจะได้รับสารพิษโดยไม่รู้ตัว สารพิษบางตัวไม่มีสี ไม่มีกลิ่น แต่ปะปนมากับน้ำที่ถูกสูบมาใช้ทำให้ผู้บริโภคเกิดอาการแพ้ จนถึงเสียชีวิตได้ (รูปที่ 2.7)



รูปที่ 2.7 แสดงการเกิดมลพิษของน้ำใต้ดินเนื่องจากกิจกรรมของมนุษย์

(จาก http://hays.outcrop.org/GSCI100/lecture41.html)

2.5 สิ่งมีชีวิตในดิน (Soil Organisms)

สิ่งมีชีวิตในดินมีทั้งพืชและสัตว์ขนาดแตกต่างกัน แต่ละชนิดมีผลต่อโครงสร้างและความอุดมสมบูรณ์ของดิน สิ่งมีชีวิตในดินแยกตามขนาดได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

1. สิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก (Microbiota) ประกอบด้วยพืชและสัตว์หลายชนิดที่มีขนาดเล็ก บางชนิดมองด้วยตาเปล่าไม่เห็นได้แก่

ก. สาหร่าย (Algae) ส่วนใหญ่เป็นสาหร่ายสีเขียวและสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน พวกนี้เพิ่มอินทรียวัตถุให้กับดินและสามารถตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้

ข. แบคทีเรีย (Bacteria) มีความสำคัญคือเป็นผู้ย่อยสลายซากพืชซากสัตว์ มีความสำคัญต่อวัฏจักรไนโตรเจนและฟอสฟอรัส เช่น *Rhizobium* ซึ่งอาศัยอยู่ในปมรากถั่วสามารถตรึงไนโตรเจนได้ *Azotobacter*, *Clostridium, Rhodosperillum*, และ *Bacillus* อยู่อย่างอิสระ สามารถจับไนโตรเจนได้เช่นกัน *Nitrobacter* และ *Nitrosococcus* สามารถเปลี่ยนไนโตรเจนที่เป็นไนเตรต ซึ่งมีประโยชน์ต่อกัน แบคทีเรียจะมีน้อยหรือมากขึ้นอยู่กับความชื้น อุณหภูมิ การถ่ายเทอากาศ และความเป็นกรดด่างของดิน

ค. ฟังไจ (Fungi) ประกอบด้วยยีสต์และเห็ดราพวกนี้สามารถย่อยสลายสารที่ย่อยยาก เช่น cellulose ราพวก *Mycoyyhiza* จะอาศัยอยู่แบบพึ่งพากับพวกพืชชั้นสูง โดยอยู่รอบ ๆ รากพืชอยู่ภายใน พวกนี้จะช่วยสลายธาตุอาหารและเพิ่มพื้นทีผิวในการดูดอาหารแก่พืช

ง. โปรโตซัว (Protozoa) ได้แก่ อมีบาพวกที่มี ซีเลีย (cilia) พวกที่มีแฟลกเจลลา (flagella) พวกนี้มักพบในดินที่มีอากาศถ่ายเทดี มีความอุดมสมบูรณ์ของดินมาก

2. สิ่งมีชีวิตขนาดกลาง (Mesobiota) เป็นสิ่งมีชีวิตที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ขนาดไม่ใหญ่โตมากนัก มีประโยชน์ต่อการถ่ายเทอากาศในดิน และเพิ่มอินทรียสารให้แก่ดิน เช่น หนอนตัวกลม ไส้เดือนดิน ตัวอ่อนและตัวเต็มวัยของแมลง กิ้งกือ เป็นต้น

3. สิ่งมีชีวิตขนาดใหญ่ (Macrobiota) ได้แก่ พืชชั้นสูงทั่วไปที่หยั่งรากไปตามดินช่วยให้เกิดความชุ่มชื้นแก่ดิน แมลงขนาดใหญ่ เช่น ด้วง หรือสัตว์ในดิน เช่น หนู ตัวตุ่น กระรอกดิน เป็นต้น

2.6 ปัจจัยในการเกิดดิน (Factor in Soil Formation)

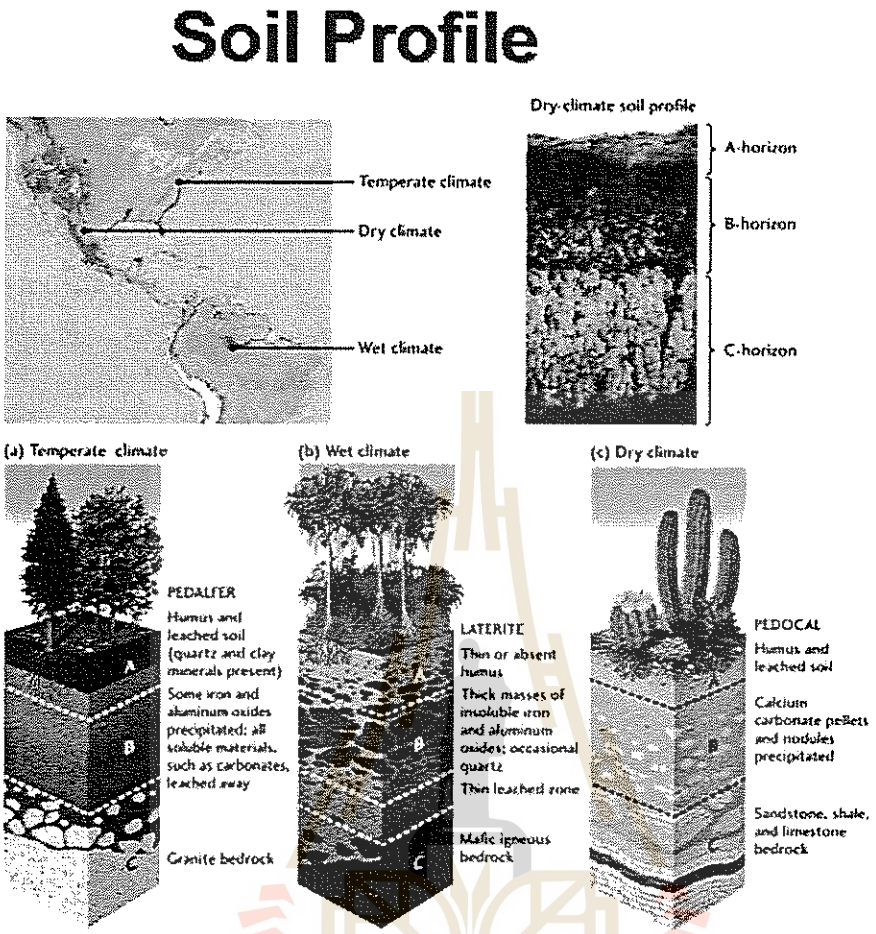
ได้แก่ ภูมิอากาศ พืชและสิ่งมีชีวิตในดิน ภูมิประเทศ หินต้นกำเนิดและระยะเวลา (ธงชัย, 2531)

1) ภูมิอากาศ การจัดประเภทดิน มักจะจัดตามสภาพภูมิอากาศ การไหลซึมของน้ำผ่านดิน การซึมชะวัตถุที่ละลายได้ออก และการตกตะกอนใหม่ของเกลือแร่ เหล่านี้มีความสัมพันธ์กับภูมิอากาศ ดินในแถบชื้นจะซึมชะผ่านได้ดีกว่าดินในแถบแห้งแล้งและกึ่งแห้งแล้ง การซึมชะละลายจะพาแคลเซียมและสารประกอบอื่นไปเสียเหลือดินที่มีสภาพเป็นกรด อุณหภูมิสูงจะช่วยให้การเปลี่ยนแปลงทางเคมีในดินเกิดเร็ว ทั้งนี้จากการกระทำทางเคมีโดยตรง และจากปฏิกริยที่เกิดขึ้น แถบชื้นกรดอินทรีย์ที่เกิดจากขุยอินทรีย์ที่เน่าเปื่อยจะช่วยให้การซึมชะละลายในดินเกิดเร็วขึ้น

2) พืชและสิ่งมีชีวิตในดิน พืชชอบการแทรกซึมของน้ำ และช่วยยึดดิน กันไม่ให้ลมหรือน้ำพัดพาไป ทำให้ดินพัฒนาต่อไปถึงมัจฉิมวัย

3) ภูมิประเทศ พื้นภูมิปรเทศที่มีความชันจะเกิดการกัดกร่อน สวนพื้นที่ราบมักมีผลจากการผุพังเหลืออยู่ ความสูงต่ำของพื้นดินจะมีผลต่อการแทรกซึมและการเคลื่อนที่ของน้ำบาดาล ตำแหน่งของระดับน้ำใต้ดินจะสัมพันธ์กับภูมิประเทศ ถ้าระดับน้ำอยู่ที่หรือใกล้กับผิวดิน พัฒนาการของดินจะถูกกันไว้ พืตจะเกิดแทน ความ

แตกต่างของดินระหว่างความชันทางด้านเหนือ และด้านใต้จะสัมพันธ์กับปริมาณของแสงแดด การระเหย พืช และ ความชัน



รูปที่ 2.8 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดดิน (ด้านภูมิอากาศและหินต้นกำเนิด)

(จาก http://earth.geol.ksu.edu/liu/g100/figures/10_soil.jpg)

จากรูปที่ 2.8

Pedalfer (Temperate climate)

A: Humus and leached soil (quartz and clay minerals present)

B: Some iron and aluminum oxides precipitated: al soluble minerals such as carbonates, leached away

C: bedrock (granite)

Laterite (Wet climate)

A: thin or absent humus

B: thick masses of insoluble iron and aluminum oxides: occasional quartz

: Thin leached zone

C: Mafic igneous rock

Pedocal (Dry climate)

A: Humus and leached soil

B: Calcium carbonate pellets and nodules precipitated

C: sandstone, shale, and limestone bedrock

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4) หินต้นกำเนิด ความแตกต่างของหินที่เป็นต้นกำเนิดของดินจะมีผลที่สังเกตได้ในระยะแรกของการเกิดดิน แต่ในขั้นสุดท้ายหินต้นกำเนิดจะมีอิทธิพลต่อดินที่เกิดขึ้นน้อย อิทธิพลของภูมิอากาศจะสำคัญกว่า ภายใต้สภาพแวดล้อมที่คล้ายคลึงกัน ดินชนิดเดียวกันสามารถพัฒนามาจากหินต่างชนิดกันได้ (ดูรูปที่ 2.8)

5) ระยะเวลา เป็นปัจจัยที่มีขีดจำกัด ในพัฒนาการของดิน ระยะเวลาที่ต้องการเพื่อให้ได้หน้าตัดด้านข้างของดินมัชฉิมวัยใช้เวลาหลายหมื่นปี ดินอายุน้อยตอนเริ่มแรกจะพัฒนาเร็ว แต่เมื่อหนาขึ้นก็จะช้าลงและถ้าผิวดินส่วนบนถูกชะล้างพัดพาไปอย่างต่อเนื่อง ก็จะไม่เกิดดินมัชฉิมวัยหรืออาจต้องใช้เวลาที่ยาวนาน

ดินมีมากมายหลายชนิด มักจะจำแนกประเภทตามภูมิอากาศ (รูปที่ 2.9) ซึ่งเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเกิดหน้าตัดของดิน รายละเอียดเกี่ยวกับชนิดของดิน ศึกษาได้จากตำราด้านปฐพีวิทยา (Soil Science หรือ Pedology) ในที่นี้จะกล่าวถึงดินบางประเภทเท่านั้น (ดูรูปที่ 2.8)

ดินแลโตซอล (Latosols) เป็นดินประเภทที่พบในเขตร้อนชื้น เช่น ประเทศไทย ลักษณะของดินมักมีสีแดง ขาดขุยอินทรีย์ เพราะการสลายตัวของอินทรียวัตถุในดินเป็นไปอย่างรวดเร็วมากภายใต้ภาวะของการซึมละลายอย่างรุนแรง เหลือแต่ออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม สะสมอยู่ในช่วงชั้น B กลายเป็นแหล่งสะสมตกค้างของสินแร่เหล็กหรืออะลูมิเนียม ถ้ามีไฮดรัสอะลูมิเนียมออกไซด์มากกว่าจะเรียกว่าบอกไซต์ (bauxite) ถ้ามีเหล็กออกไซด์มากกว่าจะเรียกว่าศิลาแลง (laterite) ส่วนแร่แมงกานีสและนิเกิล อาจพบในศิลาแลง บางแห่งที่มีความแตกต่างในส่วนประกอบของหินต้นกำเนิด

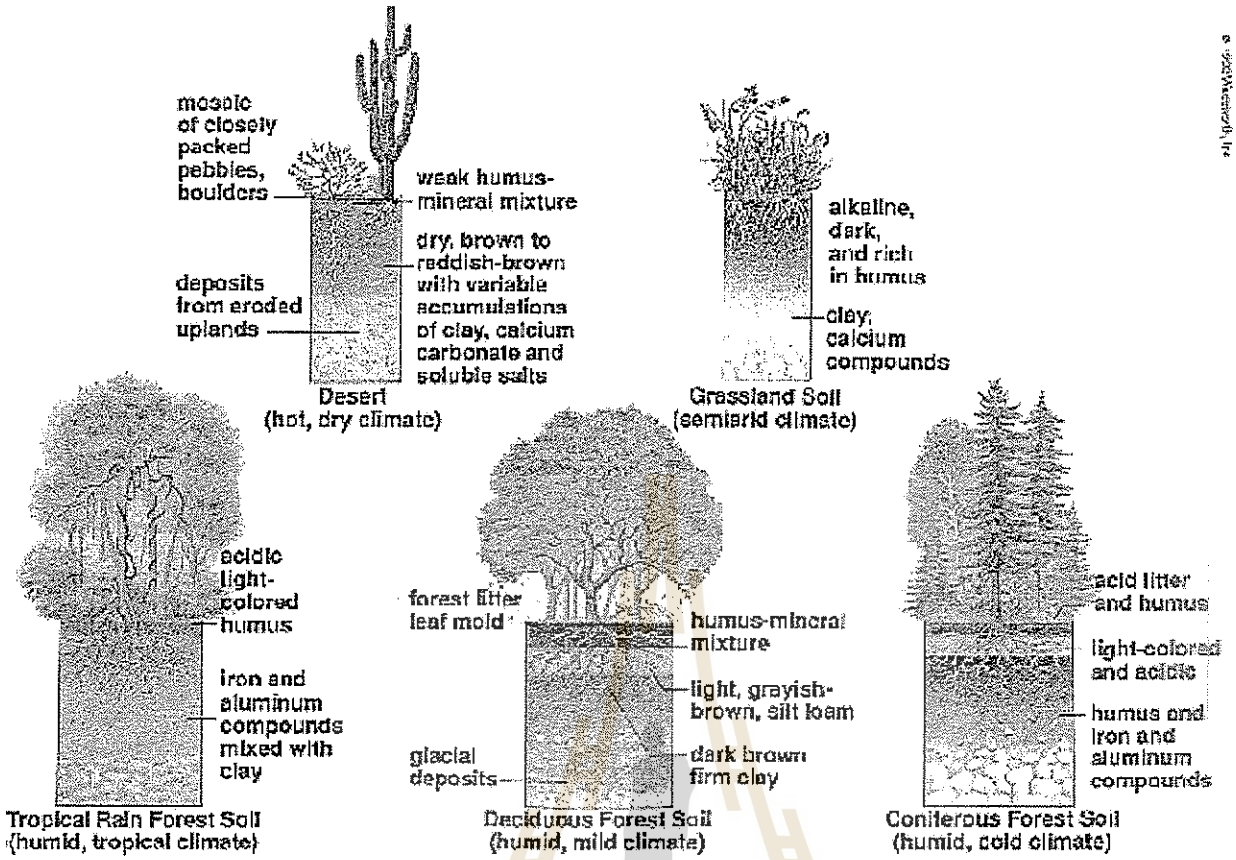
ศิลาแลงพบอยู่ทั่วไปในประเทศไทย บางแห่งหนาถึง 10-120 เมตร เช่นที่อำเภอพนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา และอำเภอใกล้เคียงในจังหวัดปราจีนบุรี ศิลาแลงที่อยู่พ้นดินจะอ่อนแต่เมื่อถูกอากาศก็จะแข็ง ในสมัยโบราณถูกนำมาสร้างปราสาทต่าง ๆ เช่น ปราสาทหินพิมาย จังหวัดนครราชสีมา ปัจจุบันใช้เป็นวัสดุในการสร้างถนนที่เรียกกันว่าดินลูกรัง ที่พระบาทตากผ้า จังหวัดลำพูน ตัดขายเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมและแผ่นกลม ๆ แบบต่าง ๆ

ดินเพโดคัล (Pedocals) เป็นดินประเภทที่มีแคลซียมคาร์บอเนตมาก พบในแถบอบอุ่น ฝนน้อย การระเหยของน้ำในดินมีมากกว่าน้ำที่ซึมลงไป จึงมีสารแคลเซียมคาร์บอเนตสะสมตัวอยู่ในช่วงชั้น A มาก

ดินเพดัลเฟอร์ (Pedalfers) เป็นดินประเภทที่มีสารประกอบเป็นอะลูมิเนียมออกไซด์และเหล็กออกไซด์จำนวนมาก มักพบในเขตฝนตกชุก ทำให้ส่วนประกอบอย่างอื่นที่ละลายง่ายถูกซึมชะลงไปจากช่วงชั้น A และนำดินเคลย์ที่ได้จากการสลายตัวของเฟลดสปาร์ช่วงชั้น A ไปสะสมตัวในช่วงชั้น B ทำให้ช่วงชั้น A เป็นดินเนื้อทราย (sand) และช่วงชั้น B เป็นพวกดินเคลย์

2.7 ดินและแหล่งเศรษฐกิจ (Soil and Economic Deposits)

ในภาวะบางอย่างกระบวนการผุพังอยู่กับที่จะก่อให้เกิดการสะสมของแร่ที่มีคุณค่าในดิน เช่น แหล่งแร่อะลูมิเนียมและแหล่งแร่นิเกิลจากศิลาแลง หากไม่เกิดกระบวนการผุพังนี้ อะลูมิเนียมและนิเกิลที่มีอยู่ในหินก็จะไม่สมบูรณ์พอที่จะทำการพัฒนาได้



รูปที่ 2.9 ลักษณะของหน้าตัดด้านข้างของดินที่เกิดอยู่ในไบโอมที่แตกต่าง

(จาก http://www.agen.ufl.edu/~chyn/age2062/lect/lect_28/soil_chr.gif)

แหล่งแร่ทองแดงบางแหล่งพบที่ระดับลึกใต้ผิวการผุพังของทองแดง-เหล็กซัลไฟด์ วัตถุที่อยู่บนพื้นผิวจะมีเหล็กไฮดรอกไซด์มาก คือ ไลมอไนต์ เรียกว่า กอสแซน (gossan) ซึ่งเป็นชั้นของแร่ไลมอไนต์ที่คลุมอยู่เหนือสายแร่ปฐมภูมิ ใต้กอสแซนเป็นโซนของการซึมชะละลายในดิน ถัดลงไปเป็นโซนของแร่ทองแดงทุติยภูมิ กระบวนการผุพังอยู่กับที่และการซึมชะละลายของน้ำบาดาลทำให้เกิดแหล่งสะสมแร่ทุติยภูมิใต้ระดับน้ำใต้ดิน

นอกจากนี้กระบวนการผุพังอยู่กับที่ยังทำให้แร่มีค่าซึ่งมีความทนทาน หลุดจากหินห่อหุ้ม สะสมอยู่ในดินตามลำธาร ลำธารเก่า ชายหาด และบริเวณนอกชายฝั่งทเล เยก แหล่งลานแร่ (placer deposit) ได้แก่ ทองคำ แพลทินัม เพชร ดีบุก รัตนชาติและแร่หนักอื่น ๆ

2.8 บรรณานุกรม

ธงชัย พึ่งรัศมี ธรณีวิทยาทั่วไป. 2531. โอ. เอส. พริ้นติ้ง เฮ้าส์.

Forth, H.D. 1978. Fundamentals of Soil science, 6th ed. John Wiley&Sons. New York.

Hamblin, W.K. 1975. The earth's dynamic systems. Burgess Publishers. Minnesota.

Harris, M.F., 1976. Investigating the earth. Houghton Mifflin, Boston.

Longwell, C.R.; Flint, R.F. and Sander, J. 1969. Physical geology. A Willey International ed. John Willey & Sons. New York.

Strahler, A.N. and Strahler, A.H., 1976. Elementary of physical geography. 3rd ed. John Wiley & Sons. New York.

บทที่ 3 น้ำ (Water)

น้ำเป็นของเหลวชนิดหนึ่งซึ่งถ้าบริสุทธิ์จะไม่มีรส ไม่มีกลิ่น และไม่มีสี น้ำเป็นของเหลวที่มีอยู่มากที่สุดบนผิวโลก และเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทุกชนิดที่มนุษย์รู้จัก เราสามารถพบน้ำได้ในหลายๆ สถานที่ อาทิ ทะเล ทะเลสาบ แม่น้ำ ห้วย หนอง คลอง บึง และในหลายๆ รูปแบบ เช่น น้ำแข็ง หิมะ ฝน ลูกเห็บ เมฆ และไอน้ำ นอกจากนี้น้ำมีสมบัติเป็นตัวทำละลายที่ดีมาก เราจึงไม่ค่อยพบน้ำบริสุทธิ์ในธรรมชาติ ดังนั้นน้ำสะอาดที่เหมาะสมต่อการบริโภคของมนุษย์จึงเป็นทรัพยากรที่มีค่ายิ่ง ในบางประเทศปัญหาการขาดแคลนน้ำเป็นปัญหาใหญ่ที่ส่งผลกระทบต่อสังคม และเศรษฐกิจของประเทศนั้นอย่างกว้างขวาง

3.1 รูปแบบของน้ำ (Type of Water)

น้ำมีหลายรูปแบบ เช่น ไอน้ำและเมฆบนท้องฟ้า คลื่นและก้อนน้ำแข็งในทะเล ธารน้ำแข็งบนภูเขา น้ำบาดาล น้ำใต้ดิน ฯลฯ น้ำเปลี่ยนแปลงรูปแบบ สถานะ และสถานที่ของมันตลอดเวลา โดยผ่านกระบวนการกลายเป็นไอ ตกลงสู่พื้นดิน ซึม ชะล้าง และไหล ก่อให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำบนผิวโลกเรียกว่าวัฏจักรของน้ำ เนื่องจากการตกลงมาของน้ำมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการเกษตรและต่อมนุษย์โดยทั่วไป มนุษย์จึงเรียกการตกลงมาของน้ำแบบต่างๆ ด้วยชื่อเฉพาะตัว ฝน ลูกเห็บ หมอก และน้ำค้างเป็นการตกลงมาของน้ำที่พบได้ทั่วโลก แต่หิมะและน้ำค้างแข็งมีเฉพาะในประเทศเขตหนาว รุ้งเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นเมื่อละอองน้ำในอากาศต้องแสงอาทิตย์ในมุมที่เหมาะสม

น้ำท่ามีความสำคัญต่อมนุษย์ไม่แพ้การตกลงมาของน้ำ มนุษย์ใช้การชลประทานผันน้ำจากแม่น้ำและแหล่งน้ำจืดอื่นๆ มาใช้ในการเกษตร แม่น้ำและทะเลเป็นเส้นทางคมนาคมสำคัญที่เปิดโอกาสมนุษย์ได้ท่องเที่ยวและทำการค้าขาย การชะล้างและการกัดกร่อนพื้นดินของน้ำทำให้เกิดภูมิประเทศ อาทิ หุบเขาและสามเหลี่ยมปากแม่น้ำ ซึ่งเป็นที่ราบที่มีดินอุดมสมบูรณ์เหมาะสมแก่การเพาะปลูกและการตั้งถิ่นฐานของมนุษย์

น้ำยังซึมผ่านดินลงสู่ทางน้ำใต้ดิน น้ำใต้ดินเหล่านี้จะไหลกลับไปอยู่เหนือพื้นดินทางธารน้ำ หรือในบางภูมิประเทศเป็นธารน้ำร้อนหรือน้ำพุร้อน มนุษย์รู้จักนำน้ำใต้ดินมาใช้โดยการสร้างบ่อน้ำ

เนื่องจากน้ำสามารถละลายสารได้มากมาย น้ำจากแหล่งต่างๆ จึงมีสี กลิ่น และรสต่างกันไป เพื่อความอยู่รอด มนุษย์และสัตว์ได้พัฒนาประสาทสัมผัสเพื่อแยกแยะน้ำที่ดื่มได้และดื่มไม่ได้ ยกตัวอย่างเช่น สัตว์บกส่วนมากจะไม่ดื่มน้ำทะเลที่มีรสเค็มและน้ำในบึงที่มีกลิ่นเน่าเหม็น แต่จะชอบน้ำบริสุทธิ์ที่มาจากน้ำพุหรือทางน้ำใต้ดิน

3.2 น้ำในเชิงวิทยาศาสตร์ (Water Chemistry)

น้ำมีสูตรเคมี H_2O (Hydrogen oxide; ไฮโดรเจนออกไซด์) หมายถึงหนึ่ง โมเลกุล ของน้ำประกอบด้วยสองอะตอมของ ไฮโดรเจน และหนึ่งอะตอมของ ออกซิเจน เมื่ออยู่ในภาวะ สมดุลพลวัต (dynamic equilibrium) ระหว่างสถานะ ของเหลว และ ของแข็ง ที่ STP (standard temperature and pressure) ที่อุณหภูมิห้อง เป็น

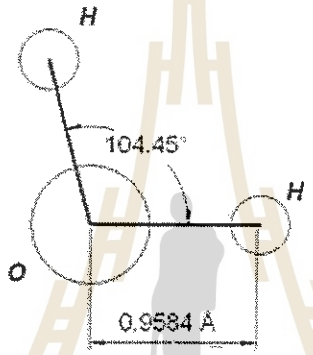
ของเหลวเกือบ ไม่มีสี ไม่มีรส และ ไม่มีกลิ่น บ่อยครั้งมีการอ้างอิงทางวิทยาศาสตร์ว่ามันเป็น ตัวทำละลายของจักรวาล และมันเป็นสารประกอบบริสุทธิ์ชนิดเดียวเท่านั้นที่พบในธรรมชาติทั้ง 3 สถานะ ได้แก่

1. สถานะของแข็ง คือ น้ำแข็ง (ice) มีอีกสถานะหนึ่งของของแข็งคือ อะมอร์ฟัสโซลิดวอเตอร์ (amorphous solid water)

2. สถานะก๊าซ (gaseous state) รู้จักกันในชื่อ ไอน้ำ (water vapor หรือ steam)

3. สถานะของเหลว คือ น้ำ เป็นโมเลกุลพื้นฐานของสารละลายเอเควียส

เหนืออุณหภูมิวิกฤติ และความดัน (647 K และ 22.064 MPa) ถูกกำหนดให้อยู่ในสถานะ*ซูเปอร์คริทิคัล* (supercritical condition) น้ำมวลหนัก (Heavy water) ซึ่งมีคุณสมบัติทางเคมีทั่วไปเหมือนน้ำธรรมดา เป็นน้ำที่อะตอมของไฮโดรเจนถูกแทนที่โดยไอโซโทปที่หนักกว่า ซึ่งเรียกว่า ดิวเทอเรียม (deuterium) น้ำมวลหนักนี้ใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมนิวเคลียร์ เพื่อลดความเร็วของนิวตรอน



รูปที่ 3.1 โมเลกุลของน้ำ (จาก http://th.wikipedia.org)

ตารางที่ 3.1 ลักษณะสำคัญทางเคมีของน้ำ

ลักษณะทั่วไป	
1. ชื่อเคมี	1. น้ำหรือออกเซน (Oxane)
2. ชื่ออื่น	2. Aqua
3. สูตร	3. H_2O
4. มวลโมเลกุล	4. 18.02 g/mol
5. ลักษณะปรากฏทั่วไป	5. โปร่งใส เกือบเป็นของเหลวไม่มีสี
คุณสมบัติ	
1. ความหนาแน่น และ เฟส	1. 1 g/cm^3 (ของเหลว) 0.917 g/cm^3 (ของแข็ง)
2. จุดหลอมเหลว	2. 32°F, 0°C, 273.15 K
3. จุดเดือด	3. 212 °F, 100°C, 373.15 K
4. ความจุความร้อนy	4. 4186 J/(kg·K)
5. สภาพกรด (pK_a)	5. 15.74
6. สภาพเบส (pK_b)	6. 15.74
โครงสร้าง	
1. รูปร่างโมเลกุล	1. non-linear bent
2. โครงสร้างผลึก	2. Hexagonal

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.3 น้ำในโลก (Water on Earth)

วงจรน้ำ (คำในวิทยาศาสตร์เรียกว่า ไฮโดรโลจิกไซเคิล (hydrologic cycle)) คือการแลกเปลี่ยนน้ำอย่างต่อเนื่องภายใน ไฮโดรสเฟีย (hydrosphere) ระหว่าง บรรยากาศ น้ำใน ดิน น้ำผิวดิน น้ำใต้ดิ น และต้นไม้ ปริมาตรโดยประมาณของน้ำในโลก (ยอดรวมของน้ำที่มีในโลก) คือ 1,360,000,000 กม³ (326,000,000 ไมล์³) ซึ่งแจงเป็นรายละเอียดได้ดังนี้:

1,320,000,000 กม³ (316,900,000 ไมล์³ หรือ 97.2%) อยู่ใน น้ำทะเล

25,000,000 กม³ (6,000,000 ไมล์³ หรือ 1.8%) อยู่ใน ธารน้ำแข็ง และลานน้ำแข็ง

13,000,000 กม³ (3,000,000 ไมล์³ หรือ 0.9%) อยู่ในรูป น้ำใต้ดิน

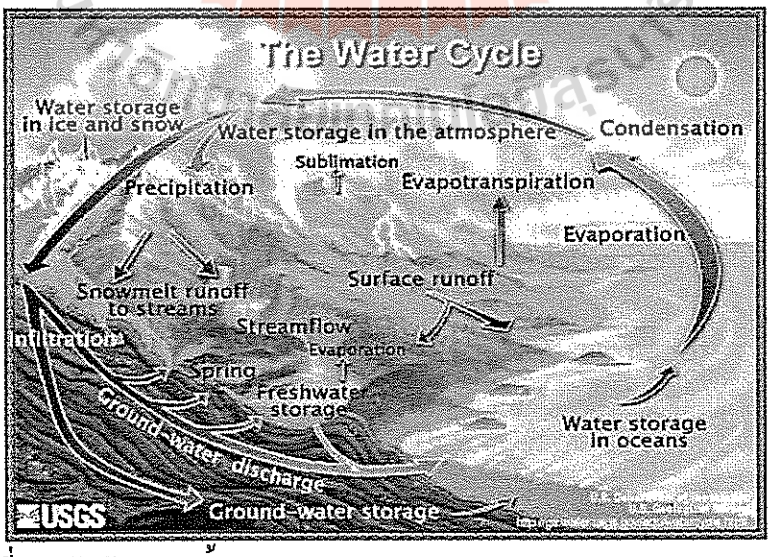
250,000 กม³ (60,000 ไมล์³ หรือ 0.02%) เป็น น้ำจืด ในทะเลสาบ และแม่น้ำ

13,000 กม³ (3,100 ไมล์³ หรือ 0.001%) เป็นไอน้ำในบรรยากาศ

น้ำที่เป็นของเหลวพบได้ใน ตัวของน้ำเอง (bodies of water) เช่น มหาสมุทร ทะเล ทะเลสาบ แม่น้ำ ธาร น้ำ คลองหรือสระน้ำ น้ำส่วนใหญ่ในโลกนี้อยู่ในรูปของ น้ำทะเล น้ำที่อยู่ในบรรยากาศโลกจะอยู่ทั้งในรูปไอน้ำ และ น้ำที่เป็นของเหลว น้ำใต้ดินจะอยู่ใน ชั้นของดินและหิน ถึงแม้ปกติน้ำจะมีจุดเดือดที่ 100 องศาเซลเซียส แต่ที่ใต้ทะเลลึก ซึ่งมีความร้อนและความกดดันสูง จุดเดือดของน้ำอาจอยู่ที่ 400 องศาเซลเซียส และที่ยอดเขาเอเวอเรส (Mount Everest) จุดเดือดของน้ำอาจอยู่ที่ 70 องศาเซลเซียส

3.4 วัฏจักรของน้ำ

น้ำที่มีอยู่ทุกแห่งบนพื้นผิวของโลก เมื่อได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์จะระเหยเป็นไอ ลอยขึ้นไปในอากาศ เมื่ ออากาศนี้ลอยสูงขึ้นและเย็นลง ไอน้ำก็จะกลั่นตัวเป็นละอองน้ำเล็ก ๆ กลายเป็นเมฆที่เราเห็นลอยอยู่ในท้องฟ้า ละอองน้ำเล็ก ๆ เหล่านี้มารวมตัวกันมากขึ้นก็จะกลายเป็นเม็ดฝนตกลงมายังพื้นดิน การหมุนเวียนเปลี่ยนไปจากน้ำเป็นไอน้ำแล้วเปลี่ยนกลับเป็นหยดน้ำ ตกสู่พื้นดินนี้เรียกว่า " วัฏจักรของน้ำ " (รูปที่ 3.2)



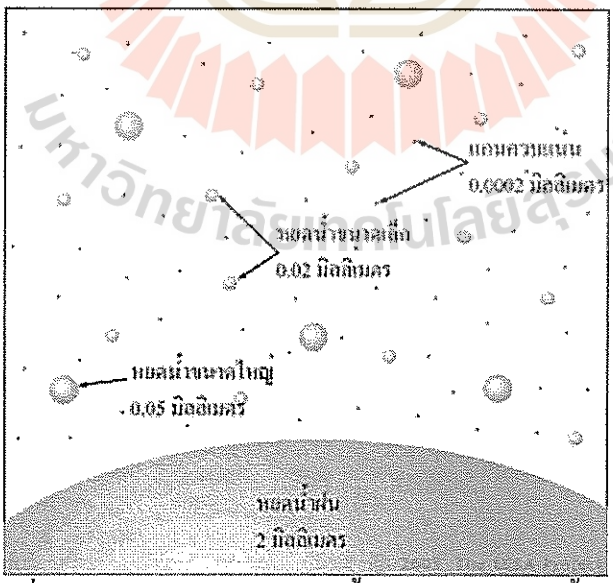
รูปที่ 3.2 วัฏจักรของน้ำ (จาก http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html)

ทุก ๆ วัน น้ำในทะเล ทะเลสาบ และมหาสมุทรซึ่งปกคลุมพื้นผิวของโลกอยู่มากกว่า 70 % จะระเหยเป็นไอลอยขึ้นไปในอากาศอยู่ตลอดเวลาอย่างต่อเนื่อง ทำให้เกิดเมฆและวกกลับลงมาเป็นฝนยังพื้นดินไหลซึมลงไปในดินเป็นน้ำใต้ดินและไหลบ่าไปบนพื้นดินเป็นลำธารและแม่น้ำ ไหลลงสู่ทะเลและมหาสมุทรอีก วนเวียนอยู่เช่นนี้ ตลอดเวลา โดยปกติน้ำในบรรยากาศมีอยู่ประมาณ 0.01% ของน้ำทั้งหมดบนโลก และประมาณ 97 % อยู่ในน้ำทะเลและมหาสมุทร อาณาบริเวณบนพื้นผิวของโลก ซึ่งมีน้ำอยู่ด้วย ได้แก่

- ทะเลและมหาสมุทร
- ดินและใต้ดินจนถึงชั้นหิน
- บรรยากาศชั้นโทรโพสเฟียร์ที่อยู่ติดพื้นดินสูงขึ้นไปประมาณ 7 กิโลเมตรแรก

3.5 เมฆ หมอกและหยาดน้ำฟ้า (Cloud, Fog , and Precipitation)

อากาศเย็นมีความสามารถเก็บไอน้ำได้น้อยกว่าอากาศร้อน เมื่ออุณหภูมิของอากาศลดลงจนถึงจุดน้ำค้าง อากาศจะอิ่มตัวไม่สามารถเก็บไอน้ำได้มากกว่านี้ หากอุณหภูมิยังคงลดต่ำไปอีก ไอน้ำจะควบแน่นเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว อย่างไรก็ตามนอกจากปัจจัยทางด้านความดันและอุณหภูมิแล้ว การควบแน่นของไอน้ำยังจำเป็นจะต้องมี “พื้นผิว” ให้หยดน้ำ (Droplet) เกาะตัว ยกตัวอย่างเช่น เมื่ออุณหภูมิของอากาศบนพื้นผิวลดต่ำกว่าจุดน้ำค้าง ไอน้ำในอากาศจะควบแน่นเป็นหยดน้ำเล็กๆ เกาะบนใบไม้ใบหญ้าเหนือพื้นดิน บนอากาศก็เช่นกัน ไอน้ำต้องการอนุภาคเล็กๆ ที่แขวนลอยอยู่ในอากาศเป็น “แกนควบแน่น” (Condensation nuclei) แกนควบแน่นเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการดูดซับน้ำ (Hygroscopic) ดังเช่น ฝุ่น ควัน เกสรดอกไม้ หรืออนุภาคเกลือ ซึ่งมีขนาดประมาณ 0.0002 มิลลิเมตร หากปราศจากแกนควบแน่นแล้ว ไอน้ำบริสุทธิ์ไม่สามารถควบแน่นเป็นของเหลวได้ ถึงแม้จะมีความชื้นสัมพัทธ์มากกว่า 100% ก็ตาม



รูปที่ 3.3 แกนควบแน่น ละอองน้ำในเมฆ และหยดน้ำฝน

(จาก http://www.lesa.in.th/atmosphere/cloud_precip/cloud_precip/cloud_precip.htm)

หยดน้ำหรือละอองน้ำในก้อนเมฆ (Cloud droplet) ที่เกิดขึ้นครั้งแรกมีขนาดเล็กมากเพียง 0.02 มิลลิเมตร (เล็กกว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นผมซึ่งมีขนาด 0.075 มิลลิเมตร) ละอองน้ำขนาดเล็กตกลงอย่างช้าๆ ด้วยแรงต้านของอากาศ และระเหยกลับเป็นไอน้ำ (ก๊าซ) เมื่ออยู่ใต้ระดับควบแน่นลงมา ไม่ทันตกถึงพื้นโลก อย่างไรก็ตามในกรณีที่มีกลุ่มอากาศยกตัวอย่างรุนแรง หยดน้ำเหล่านี้สามารถรวมตัวกันภายในก้อนเมฆ จนมีขนาดใหญ่ประมาณ 0.05 มิลลิเมตร ถ้าหยดน้ำมีขนาด 2 มิลลิเมตร มันจะมีน้ำหนักมากกว่าแรงพยุงของอากาศ และตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกสู่พื้นดินกลายเป็นฝน

3.5.1 เมฆ (Clouds)

"เมฆ" เป็นกลุ่มละอองน้ำที่เกิดจากการควบแน่น ซึ่งเกิดจากการยกตัวของกลุ่มอากาศ (Air parcel) ผ่านความสูงเหนือระดับควบแน่น และมีอุณหภูมิลดต่ำกว่าจุดน้ำค้าง ตัวอย่างการเกิดเมฆที่เห็นได้ชัด ได้แก่ "คอนเทรล" (Contrails) ซึ่งเป็นเมฆที่สร้างขึ้นโดยฝีมือมนุษย์ เมื่อเครื่องบินไอพ่นบินอยู่ในระดับสูงเหนือระดับควบแน่น ไอน้ำซึ่งอยู่ในอากาศร้อนที่พ่นออกมาจากเครื่องยนต์ ปะทะเข้ากับอากาศเย็นซึ่งอยู่ภายนอก เกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำ โดยการจับตัวกับเขม่าควันจากเครื่องยนต์ซึ่งทำหน้าที่เป็นแกนควบแน่น เราจึงมองเห็นควันเมฆสีขาวถูกพ่นออกมาทางท้ายของเครื่องยนต์เป็นทางยาว ในการสร้างฝนเทียมก็เช่นกัน เครื่องบินทำการโปรยสารเคมี "ซิลเวอร์ไอโอไดด์" (Silver Iodide) เพื่อทำหน้าที่เป็นแกนควบแน่น เพื่อให้ไอน้ำในอากาศมาจับตัว และควบแน่นเป็นเมฆ

1. การเรียกชื่อเมฆ

เมฆซึ่งเกิดขึ้นในธรรมชาติมี 2 รูปร่างลักษณะคือ เมฆก้อน และเมฆแผ่น เราเรียกเมฆก้อนว่า "เมฆคิวมูลัส" (Cumulus) และเรียกเมฆแผ่นว่า "เมฆสเตรตัส" (Stratus) หากเมฆก้อนลอยชิดติดกัน เรานำชื่อทั้งสองมารวมกัน และเรียกว่า "เมฆสเตรโตคิวมูลัส" (Stratocumulus) ในกรณีที่เป็นเมฆฝน เราจะเพิ่มคำว่า "นิมโบ" หรือ "นิมบัส" ซึ่งแปลว่า "ฝน" เข้าไป เช่น เราเรียกเมฆก้อนที่มีฝนตกว่า "เมฆคิวมูโลนิมบัส" (Cumulonimbus) และเรียกเมฆแผ่นที่มีฝนตกว่า "เมฆนิมโบสเตรตัส" (Nimbostratus)

เราแบ่งเมฆออกเป็น 3 ระดับ คือ เมฆชั้นสูง เมฆชั้นกลาง และเมฆชั้นต่ำ

- หากเป็นเมฆชั้นกลาง (2 - 6 กิโลเมตร) เราจะเติมคำว่า "อัลโต" ซึ่งแปลว่า "ชั้นกลาง" ไว้ข้างหน้า เช่น เราเรียกเมฆก้อนชั้นกลางว่า "เมฆอัลโตคิวมูลัส" (Altocumulus) และเรียกเมฆแผ่นชั้นกลางว่า "เมฆอัลโตสเตรตัส" (Altostratus)

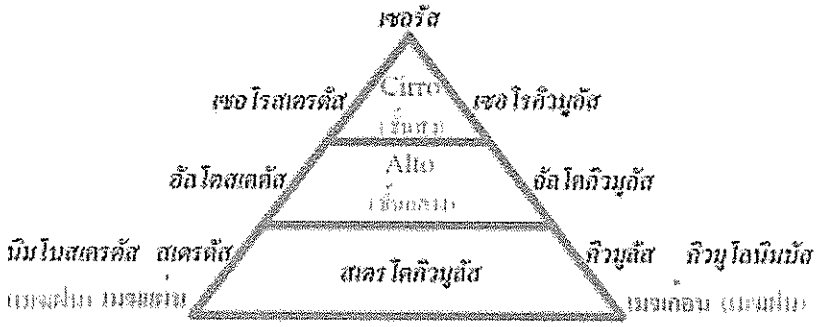
- หากเป็นเมฆชั้นสูง (2 - 6 กิโลเมตร) เราจะเติมคำว่า "เซอโร" ซึ่งแปลว่า "ชั้นสูง" ไว้ข้างหน้า เช่น เราเรียกเมฆก้อน

- ชั้นสูงว่า "เมฆเซอโรคิวมูลัส" (Cirrocumulus) เรียกเมฆแผ่นชั้นสูงว่า "เมฆเซอโรสเตรตัส" (Cirrostratus) และเรียกชั้นสูงที่มีรูปร่างเหมือนขนนกว่า "เมฆเซอรัส" (Cirrus)

2. ประเภทของเมฆ

นักอุตุนิยมวิทยา แบ่งเมฆออกเป็นทั้งสิบชนิดออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

A. เมฆชั้นสูง (High Clouds) เกิดขึ้นที่ระดับสูงมากกว่า 6 กิโลเมตร ได้แก่



รูปที่ 3.4 แสดงการเรียกชื่อเมฆ

(จาก http://www.lesa.in.th/atmosphere/cloud_precip/cloud_precip/cloud_precip.htm)

a. เมฆเซอโรคิวมูลัส (Cirrocumulus) เป็นเมฆสีขาว เป็นผลึกน้ำแข็ง มีลักษณะเป็นริ้วคลื่นเล็กๆ มักเกิดขึ้นปกคลุมท้องฟ้าบริเวณกว้าง

b. เมฆเซอโรสเตรตัส (Cirrostratus) เป็นเมฆแผ่นบาง สีขาว เป็นผลึกน้ำแข็ง ปกคลุมท้องฟ้าเป็นบริเวณกว้าง โปร่งแสงต่อแสงอาทิตย์ บางครั้งหักเหแสง ทำให้เกิดดวงอาทิตย์ทรงกลด และดวงจันทร์ทรงกลด เป็นรูปวงกลม สีคล้ายรุ้ง

c. เมฆเซอรัส (Cirrus) เมฆริ้ว สีขาว รูปร่างคล้ายขนนก เป็นผลึกน้ำแข็ง มักเกิดขึ้นในวันที่มีอากาศดี ท้องฟ้าเป็นสีฟ้าเข้ม (รูปที่ 3.5)

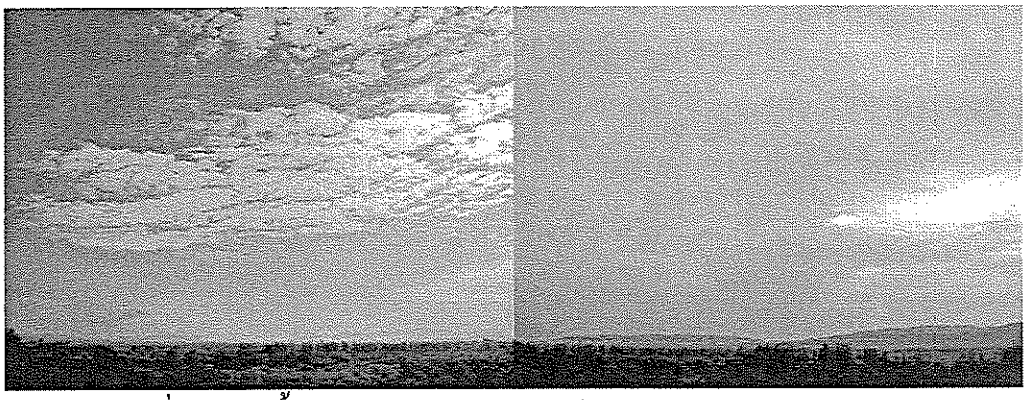
รูปที่ 3.5 เมฆชั้นสูง a. Cirrocumulus, b. Cirrostratus, **c.** Cirrus จากซ้ายสุดไปขวาสุดตามลำดับ

(จาก http://www.lesa.in.th/atmosphere/cloud_precip/cloud_precip/cloud_precip.htm)

B. เมฆชั้นกลาง (Middle Clouds) เกิดขึ้นที่ระดับสูง 2 - 6 กิโลเมตร

a. เมฆอัลโตคิวมูลัส (Altocumulus) เป็นเมฆก้อน สีขาว มีลักษณะคล้ายฝูงแกะลอยเป็นแพ มีช่องว่างระหว่างก้อนเล็กน้อย

b. เมฆอัลโตสเตรตัส (Altostratus) เป็นเมฆแผ่นหนา ส่วนมากมักมีสีเทา เนื่องจากบังแสงดวงอาทิตย์ ไม่ให้ลอดผ่าน และเกิดขึ้นปกคลุมท้องฟ้าเป็นบริเวณกว้างมาก หรือปกคลุมท้องฟ้าทั้งหมด (รูปที่ 3.6)



รูปที่ 3.6 เมฆชั้นกลาง a. Altocumulus (ซ้าย) และ b. Altostratus (ขวา)

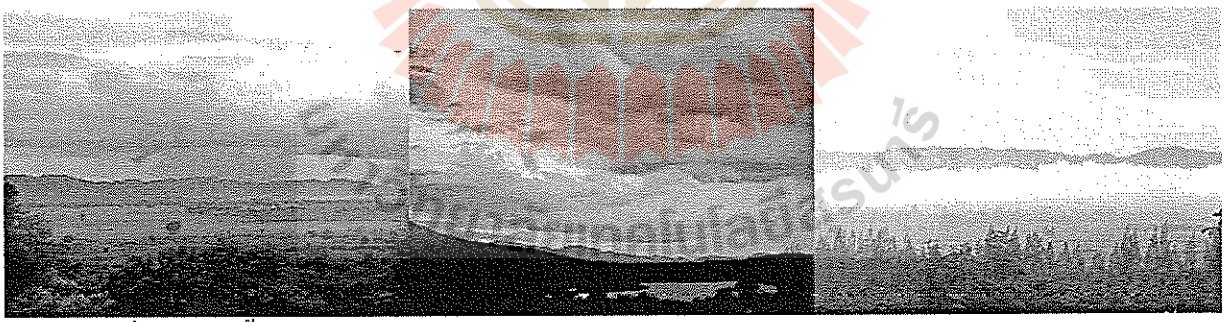
(จาก http://www.lesa.in.th/atmosphere/cloud_precip/cloud_precip/cloud_precip.htm)

C. เมฆชั้นต่ำ (Low Clouds) เกิดขึ้นที่ระดับต่ำกว่า 2 กิโลเมตร

a. เมฆสเตรตัส (Stratus) เป็นเมฆแผ่นบาง ลอยสูงเหนือพื้นไม่มากนัก เช่น ลอยปกคลุมยอดเขามักเกิดขึ้นตอนเช้า หรือหลังฝนตก บางครั้งลอยต่ำปกคลุมพื้นดิน เราเรียกว่า "หมอก"

b. เมฆสเตรโตคิวมูลัส (Stratocumulus) เป็นเมฆก้อน ลอยติดกันเป็นแพ ไม่มีรูปทรงที่ชัดเจน มีช่องว่างระหว่างก้อนเพียงเล็กน้อย มักเกิดขึ้นเวลาที่อากาศไม่ดี และมีสีเทา เนื่องจากลอยอยู่ในเงาของเมฆชั้นบน

c. เมฆนิมโบสเตรตัส (Nimbostratus) เป็นเมฆแผ่นสีเทา เกิดขึ้นเวลาที่อากาศมีเสถียรภาพ ทำให้เกิดฝนพรำๆ ฝนผ่าน หรือฝนตกแดดออก ไม่มีพายุฝนฟ้าคะนอง ฟ้าร้องฟ้าผ่ามักปรากฏให้เห็นสายฝนตกลงมาจากฐานเมฆ (รูปที่ 3.7)



รูปที่ 3.7 เมฆชั้นต่ำ a. Stratus, b. Stratocumulus, c. Nimbostratus จากซ้ายสุดไปขวาสุดตามลำดับ

(จาก http://www.lesa.in.th/atmosphere/cloud_precip/cloud_precip/cloud_precip.htm)

D. เมฆก่อตัวในแนวตั้ง (Clouds of Vertical Development)

a. เมฆคิวมูลัส (Cumulus) เป็นเมฆก้อนปุกปุย สีขาวเป็นรูปกะหล่ำ ก่อตัวในแนวตั้ง เกิดขึ้นจากอากาศไม่มีเสถียรภาพ ฐานเมฆเป็นสีเทาเนื่องจากมีความหนามากพอที่จะบดบังแสง จนทำให้เกิดเงา มักปรากฏให้เห็นเวลาอากาศดี ท้องฟ้าเป็นสีฟ้าเข้ม

b. เมฆคิวมูโลนิมบัส (Cumulonimbus) เป็นเมฆก่อตัวในแนวตั้ง พัฒนามาจากเมฆคิวมูลัส มีขนาดใหญ่มากปกคลุมพื้นที่ครอบคลุมทั้งจังหวัด ทำให้เกิดพายุฝนฟ้าคะนอง หากกระแสลมชั้นบนพัดแรง ก็จะทำให้ยอดเมฆรูปกะหล่ำ กลายเป็นรูปทั่งตีเหล็ก ต่อยอดออกมาเป็น เมฆเซอโรสเตรตัส หรือเมฆเซอรัส (รูปที่ 3.8)

รูปที่ 3.8 เมฆก่อตัวในแนวตั้ง a. Cumulus (ซ้าย) และ b. Cumulonimbus (ขวา)
(จาก http://www.lesa.in.th/atmosphere/cloud_precip/cloud_precip/cloud_precip.htm)

3.5.2 หมอก (Fog)

หมอก เกิดจากไอน้ำเปลี่ยนสถานะควบแน่นเป็นหยดน้ำเล็กๆ เช่นเดียวกับเมฆ เพียงแต่เมฆเกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเนื่องจากการยกตัวของกลุ่มอากาศ แต่หมอกเกิดขึ้นจากความเย็นของพื้นผิว หรือการเพิ่มปริมาณไอน้ำในอากาศ

ในวันที่มีอากาศชื้น และท้องฟ้าใส พอตกกลางคืนพื้นดินจะเย็นตัวอย่างรวดเร็ว ทำให้ไอน้ำในอากาศเหนือพื้นดินควบแน่นเป็นหยดน้ำ หมอกซึ่งเกิดขึ้นโดยวิธีนี้จะมีอุณหภูมิต่ำและมีความหนาแน่นสูงเคลื่อนตัวลงสู่ที่ต่ำ และมีอยู่อย่างหนาแน่นในหุบเหว

เมื่ออากาศอุ่นมีความชื้นสูง ปะทะกับพื้นผิวที่มีความหนาวเย็น เช่น ผิวน้ำในทะเลสาบ อากาศจะควบแน่นกลายเป็นหยดน้ำ ในลักษณะเช่นเดียวกับหยดน้ำซึ่งเกาะอยู่รอบแก้วน้ำแข็ง

เมื่ออากาศร้อนซึ่งมีความชื้นสูง ปะทะกับอากาศเย็นซึ่งอยู่ข้างบน แล้วควบแน่นเป็นหยดน้ำ เช่น เวลาหลังฝนตก ไอน้ำที่ระเหยขึ้นจากพื้นถนนซึ่งร้อน ปะทะกับอากาศเย็นซึ่งอยู่ข้างบน แล้วควบแน่นกลายเป็นหมอก หรือไอน้ำจากลมหายใจเมื่อปะทะกับอากาศเย็นของฤดูหนาว แล้วควบแน่นกลายเป็นละอองน้ำเล็กๆ ให้เรามองเห็นเป็นควันสีขาว

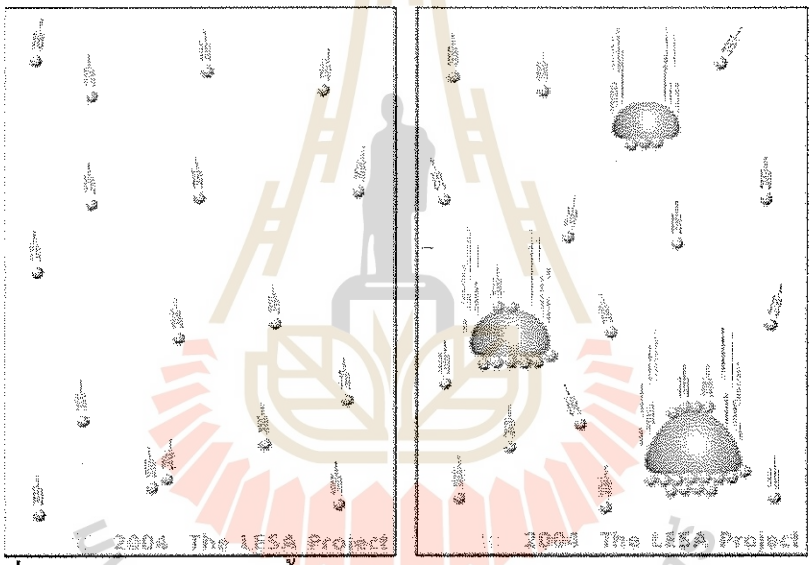
3.5.3 น้ำค้าง (Dew)

น้ำค้าง เกิดจากการควบแน่นของไอน้ำบนพื้นผิวของวัตถุ ซึ่งมีการแผ่รังสีออกจนกระทั่งอุณหภูมิลดต่ำลงกว่าจุดน้ำค้างของอากาศซึ่งอยู่รอบๆ เนื่องจากพื้นผิวแต่ละชนิดมีการแผ่รังสีที่แตกต่างกัน ดังนั้นในบริเวณเดียวกัน ปริมาณของน้ำค้างที่ปกคลุมพื้นผิวแต่ละชนิดจึงไม่เท่ากัน เช่น ในตอนหัวค่ำ อาจมีน้ำค้างปกคลุมพื้นหญ้า แต่ไม่มีน้ำค้างปกคลุมพื้นคอนกรีต เหตุผลอีกประการหนึ่งซึ่งทำให้น้ำค้างมักเกิดขึ้นบนใบไม้ใบหญ้าก็คือ ใบของพืชคายไอน้ำออกมา ทำให้อากาศบริเวณนั้นมีความชื้นสูง

3.5.4 หยาดน้ำฟ้า

หยาดน้ำฟ้า (Precipitation) เป็นชื่อเรียกรวมของ หยดน้ำ และน้ำแข็ง ที่เกิดจากการควบแน่นของไอน้ำแล้วตกลงมาสู่พื้น เช่น ฝน ลูกเห็บ หิมะ เป็นต้น หยาดน้ำฟ้าแตกต่างจากจากหยดน้ำหรือละอองน้ำในก้อนเมฆ (Cloud droplets) ตรงที่หยาดน้ำต้องมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากพอที่จะชนะแรงต้านอากาศ และตกสู่พื้นโลกได้โดยไม่ระเหยเป็นไอน้ำเสียก่อน ขณะที่อยู่ใต้ระดับควบแน่น ฉะนั้นกระบวนการเกิดหยาดน้ำฟ้าจึงมีความสลับซับซ้อนมากกว่ากระบวนการควบแน่นที่ทำให้เกิดเมฆ

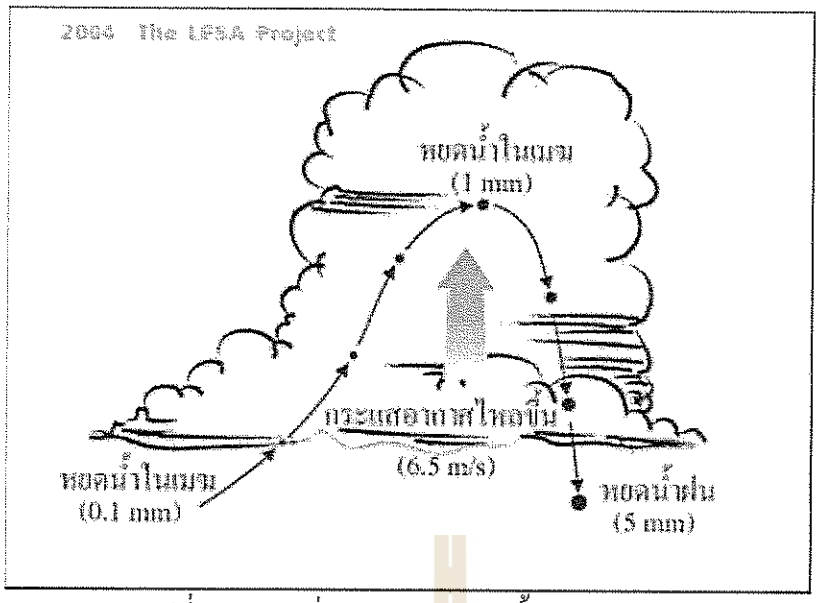
โดยทั่วไปก้อนเมฆจะมีหยดน้ำเล็กๆ ขนาดเท่ากัน ตกลงมาอย่างช้าๆ ด้วยความเร็วเดียวกัน ดังนั้นหยดน้ำเหล่านั้นจะไม่มีโอกาสที่จะชนหรือรวมตัวกันให้มีขนาดใหญ่ขึ้นได้เลย แต่ในเมฆซึ่งก่อตัวในแนวตั้ง เช่น เมฆคิวมูโลนิมบัสจะมีหยดน้ำหลายขนาด หยดน้ำขนาดใหญ่จะตกลงมาด้วยความเร็วที่มากกว่าหยดน้ำขนาดเล็ก ดังนั้นหยดน้ำขนาดใหญ่จึงมีโอกาสชนและรวมตัวกับหยดน้ำขนาดเล็กที่อยู่เบื้องล่าง ทำให้เกิดการรวมตัวจนมีขนาดใหญ่ขึ้น (รูปที่ 3.8) เราเรียกกระบวนการนี้ว่า “กระบวนการชนและรวมตัวกัน” (Collision – coalescence process)



รูปที่ 3.8 การหล่นของหยดน้ำขนาดเท่ากัน (ซ้าย) และขนาดแตกต่างกัน (ขวา)
(จาก http://www.lesa.in.th/atmosphere/cloud_precip/cloud_precip/cloud_precip.htm)

นอกจากนั้นกระแสอากาศไหลขึ้น (Updraft) ยังช่วยให้เร่งอัตราการชนและรวมตัวให้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อหยดน้ำมีขนาดใหญ่ประมาณ 1 มิลลิเมตร มันจะมีน้ำหนักมากพอที่จะชนะแรงพยุง และตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก หยดน้ำที่ตกลงมาจากยอดเมฆชนและรวมตัวกับหยดน้ำอื่นๆ ในขาลง ทำให้มีมันขนาดใหญ่และมีความเร็วมากขึ้นจนก็กลายเป็น “หยดน้ำฝน” (Rain droplets) ตกลงจากฐานเมฆ โดยมีขนาดประมาณ 2 - 5 มิลลิเมตร (รูปที่ 3.9)

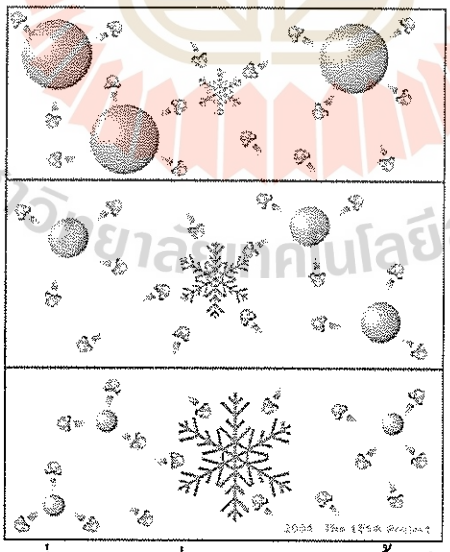
ในเขตที่มีอากาศหนาวเย็น เช่น ในเขตละติจูดสูง หรือบนเทือกเขาสูง รูปแบบของการเกิดหยาดน้ำฟ้าจะแตกต่างไปจากเขตร้อน หยดน้ำบริสุทธิ์ในก้อนเมฆไม่ได้แข็งตัวที่อุณหภูมิ 0°C หากแต่แข็งตัวที่อุณหภูมิประมาณ -40°C เราเรียกน้ำในสถานะของเหลวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 0°C นี้ว่า “น้ำเย็นยิ่งยวด” (Supercooled water)



รูปที่ 3.9 การเพิ่มขนาดของหยดน้ำในก้อนเมฆ

(จาก http://www.lesa.in.th/atmosphere/cloud_precip/cloud_precip/cloud_precip.htm)

น้ำเย็นยิ่งยวดจะเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งได้ก็ต่อเมื่อกระทบกับวัตถุของแข็งอย่างทันทีทันใด ยกตัวอย่าง เมื่อเครื่องบินเข้าไปในเมฆชั้นสูง ก็จะเกิดน้ำแข็งเกาะที่ชายปีกด้านหน้า การระเหิดกลับเช่นนี้ (Deposition) จำเป็นจะต้องอาศัยแกนซึ่งเรียกว่า "แกนน้ำแข็ง" (Ice nuclei) เพื่อให้ไอน้ำจับตัวเป็นผลึกน้ำแข็ง ในก้อนเมฆมีน้ำครบทั้งสามสถานะและมีแรงดันที่แตกต่างกัน ไอน้ำระเหยจากละอองน้ำโดยรอบ แล้วระเหิดกลับรวมตัวเข้ากับผลึกน้ำแข็งอีกทีหนึ่ง ทำให้ผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่ขึ้น (รูปที่ 3.10) เราเรียกกระบวนการนี้ว่า "กระบวนการเบอร์เจอรอน" (Bergeron process)

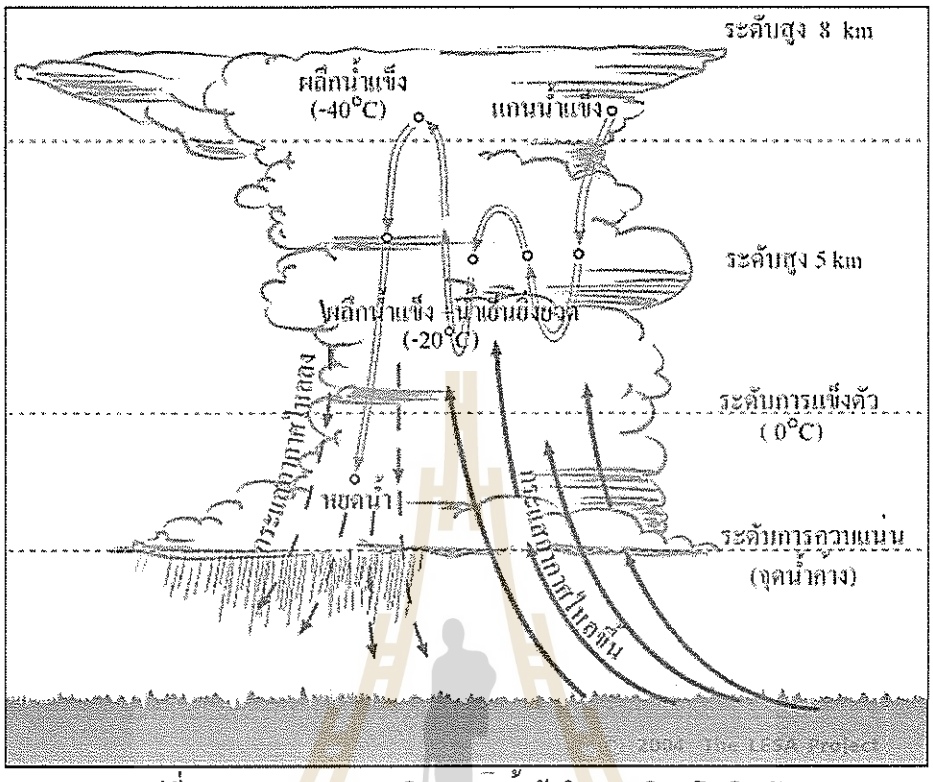


รูปที่ 3.10 การเพิ่มขนาดของผลึกน้ำแข็ง

(จาก http://www.lesa.in.th/atmosphere/cloud_precip/cloud_precip/cloud_precip.htm)

เมื่อผลึกน้ำแข็งมีขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมากพอที่จะชนะแรงพยุง (Updraft) มันจะตกลงมาด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก และปะทะกับหยดน้ำเย็นยิ่งยวดซึ่งอยู่ด้านล่าง ทำให้เกิดการเยือกแข็งและรวมตัวให้ผลึกมี

ขนาดใหญ่ยิ่งขึ้นไปอีก นอกจากนั้นผลึกอาจจะปะทะกันเอง จนทำให้เกิดผลึกขนาดใหญ่ที่เรียกว่า “เกล็ดหิมะ” (Snow flake) ในเขตอากาศเย็น หิมะจะตกลงมาถึงพื้น แต่ในวันที่มีอากาศร้อน หิมะจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็น “ฝน” เสียก่อนแล้วจึงตกถึงพื้น



รูปที่ 3.11 กระบวนการเกิดหยาดน้ำฟ้าในเมฆคิวมูโลนิมบัส

(จาก http://www.lesa.in.th/atmosphere/cloud_precip/cloud_precip/cloud_precip.htm)

ชนิดของหยาดน้ำฟ้าในประเทศไทย

- ฝน (Rain) เป็นหยดน้ำมีขนาดประมาณ 0.5 – 5 มิลลิเมตร ฝนส่วนใหญ่ตกลงมาจากเมฆนิมโบสเตรตัส และเมฆคิวมูโลนิมบัส

- ฝนละออง (Drizzle) เป็นหยดน้ำขนาดเล็กกว่า 0.5 มิลลิเมตร เกิดจากเมฆสเตรตัส พบเห็นบ่อยบนยอดเขาสูง ตกต่อเนื่องเป็นเวลานานหลายชั่วโมง

- ละอองหมอก (Mist) เป็นหยดน้ำขนาด 0.005 – 0.05 มิลลิเมตร เกิดจากเมฆสเตรตัส ทำให้เรารู้สึกชื้นเมื่อเดินผ่าน มักพบบนยอดเขาสูง

- ลูกเห็บ (Hail) เป็นก้อนน้ำแข็งขนาดใหญ่กว่า 5 เซนติเมตร เกิดขึ้นจากกระแสในอากาศไหลขึ้น (updraft) และไหลลง (downdraft) ภายในเมฆคิวมูโลนิมบัส พัดให้ผลึกน้ำแข็งปะทะกับน้ำเย็นยิ่งยวดกลายเป็นก้อนน้ำแข็งห่อหุ้มกันเป็นชั้นๆ จนมีขนาดใหญ่ และตกลงมา

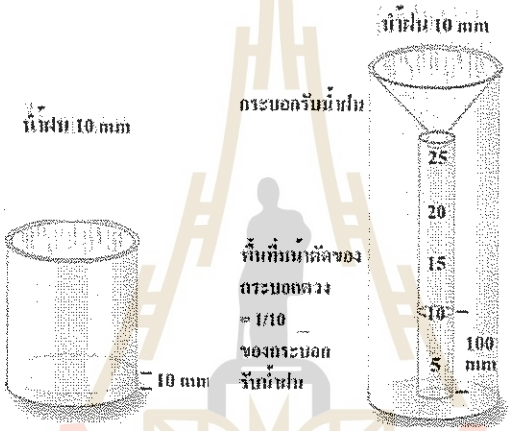
รูปที่ 3.12 ลูกเห็บ

- หิมะ (Snow) เป็นผลึกน้ำแข็งขนาดประมาณ 1 – 20 มิลลิเมตร ซึ่งเกิดจากไอน้ำจากน้ำเย็นยิ่งยวด ระเหิดกลับเป็นผลึกน้ำแข็ง แล้วตกลงมา

3.5.5 อุปกรณ์วัดน้ำฝน

ในการวัดปริมาณน้ำฝน เราใช้หน่วยวัดเป็นมิลลิเมตร เช่น ถ้าฝนตกลงมาทำให้ระดับน้ำฝนในภาชนะที่รองรับสูงขึ้น 10 มิลลิเมตร หมายความว่า ฝนตกวัดได้ 10 มิลลิเมตร ถ้าฝนตกลงมาทำให้ระดับน้ำฝนในภาชนะที่รองรับสูงขึ้น 25 มิลลิเมตร หมายความว่า ฝนตกวัดได้ 25 มิลลิเมตร ดังในภาพที่ 10 ด้านซ้าย

อุปกรณ์วัดน้ำฝน (Rain gauge) ขนาดมาตรฐานเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร บนปากกระบอกมีกรวยรอรับน้ำฝน ให้ตกลงสู่กระบอกตวงซึ่งอยู่ภายในซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็กกว่ากระบอกนอก 10 เท่า (เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 เซนติเมตร) ทั้งนี้เพื่อขยายมาตราส่วนขยายขึ้น 10 เท่า ทำให้เกิดความสะดวกในการอ่านค่าปริมาณน้ำฝนได้ละเอียดยิ่งขึ้น (รูปที่ 3.13) ด้านขวา



รูปที่ 3.13 อุปกรณ์วัดน้ำฝน

(จาก http://www.lesa.in.th/atmosphere/cloud_precip/cloud_precip/cloud_precip.htm)

3.6 น้ำผิวดิน (Surface Water)

แหล่งน้ำผิวดินตามธรรมชาติประกอบด้วย แม่น้ำ ลำคลอง หนอง บึง น้ำตก ส่วนอ่างเก็บน้ำ และเขื่อนเก็บกักน้ำต่าง ๆ จัดเป็นแหล่งน้ำผิวดินที่สร้างขึ้นโดยมนุษย์ น้ำผิวดินเป็นแหล่งน้ำจืดที่สำคัญที่สุด น้ำจืดที่แช่ขังอยู่ตามแอ่งน้ำบนผิวโลกมาจากน้ำฝน หิมะ การไหลซึมออกจากน้ำใต้ดิน ปริมาณน้ำจืดที่มีอยู่และนำมาใช้ประโยชน์ได้นั้นมีน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณของน้ำทะเล คือ มีเพียงร้อยละ 2.7 ของปริมาณน้ำทั้งหมดในโลก โดยแบ่งเป็นน้ำที่อยู่ในรูปของน้ำแข็งทางซีกโลกเหนือและใต้ร้อยละ 2.1 ส่วนที่เหลือเป็นน้ำใต้ดินและน้ำผิวดินร้อยละ 0.6

ส่วนคำว่า น้ำท่า (runoff หรือ streamflow) หมายถึง ปริมาณน้ำในลำธารที่เกิดจากน้ำฝน ผ่านกระบวนการเก็บกัก ณ จุดต่าง ๆ ภายในระบบ และการระบายลงสู่พื้นที่ตอนล่าง โดยแบ่งลักษณะการไหล เช่น 3 ลักษณะ คือ น้ำไหลบ่า หน้าผิวดิน (Overland flow) น้ำไหลภายในดิน (Inter flow) และน้ำไหลใต้ดิน (groundwater flow)

ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในแม่น้ำลำคลองของแต่ละแห่งบนพื้นโลกมีมากน้อยแตกต่างกันออกไป ลำน้ำอาจจะมีมากในช่วงฤดูหนึ่ง แต่ในช่วงฤดูอื่นๆ ปริมาณน้ำจะลดน้อยลงไป ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยสำคัญดังนี้

1. สภาพความผันแปรของปริมาณน้ำฝน

2. ลักษณะภูมิประเทศ

3. โครงสร้างของดิน

คุณภาพน้ำจากแหล่งน้ำต่าง ๆ ตามธรรมชาติอาจมีคุณภาพตามค่ามาตรฐานหรือต่ำกว่าค่ามาตรฐานก็ได้ โดยเฉพาะแหล่งน้ำที่ไหลผ่านบริเวณชุมชน เช่น แม่น้ำเจ้าพระยา แม่น้ำท่าจีน แม่น้ำแม่กลอง แม่น้ำบางปะกง แม่น้ำมูล เป็นต้น

ในการพิจารณาคุณภาพน้ำจากแหล่งต่าง ๆ เพื่อประโยชน์ในการใช้สอยนั้น จะต้องพิจารณาจากปัจจัยพื้นฐานที่บ่งชี้คุณภาพของน้ำ คือ

1. ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ (Dissolved Oxygen) เรียกย่อว่า DO มีหน่วยเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำเป็นตัวช่วยกำจัดมลภาวะในน้ำ โดยการเกิดออกซิเดชั่น ทำให้ลงปริมาณสารอินทรีย์และแบคทีเรียบางชนิดในน้ำได้ ซึ่งค่าความเข้มข้นของออกซิเจนในน้ำถือเป็นปัจจัยสำคัญที่จะบ่งชี้คุณภาพน้ำ และทำให้ทราบว่าแหล่งน้ำนั้นสามารถรองรับสารอินทรีย์ได้มากน้อยเพียงใดด้วย นอกจากนั้นออกซิเจนที่ละลายในน้ำยังช่วยให้น้ำมีรสดีขึ้นด้วย ออกซิเจนที่ละลายในน้ำจะมาจากบรรยากาศ หรือกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงของพืชน้ำ และยังขึ้นอยู่กับความกดดันของออกซิเจนในบรรยากาศ ถ้าความกดดันของออกซิเจนในบรรยากาศสูง ออกซิเจนก็จะละลายน้ำได้มาก

ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำมีความสำคัญต่อการดำรงชีพของสัตว์น้ำอย่างมาก น้ำธรรมชาติที่มีคุณภาพดีต้องมีค่า DO อยู่ประมาณ 5-7 มิลลิกรัมต่อลิตร (ppm) ส่วนน้ำเสียจะมีค่า DO ต่ำกว่า 3 มิลลิกรัมต่อลิตร (ppm) แต่ปลาและสัตว์น้ำสามารถมีชีวิตอยู่ได้น้ำที่มีค่า DOมากกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร (ppm) ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำจะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและสารอินทรีย์ คือถ้าน้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นออกซิเจนจะละลายน้ำได้น้อยมาก และถ้ามีสารอินทรีย์อยู่ในแหล่งน้ำปริมาณมากจะทำให้ DO ลดลงอย่างรวดเร็ว

2. BOD (Biochemical Oxygen Demand) หรือ บีโอดี คือ ปริมาณออกซิเจนที่จุลินทรีย์ต้องการใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ชนิดที่ย่อยสลายได้ในน้ำ ค่า BOD ใช้เป็นดัชนีบอกคุณภาพของน้ำ ใช้วัดความสกปรกของน้ำเสียหรือน้ำทิ้งจากแหล่งชุมชน โรงงานอุตสาหกรรม การเกษตรกรรม และใช้กำหนดลักษณะน้ำที่จะทิ้งลงสู่แหล่งน้ำ ใช้วัดความสามารถของแหล่งน้ำที่จะกำจัดความสกปรกตามธรรมชาติ วัดคุณภาพของน้ำทิ้ง เป็นดัชนีสำหรับการออกแบบระบบน้ำทิ้ง และใช้หาประสิทธิภาพของโรงงานกำจัดน้ำทิ้ง

ตามพระราชบัญญัติโรงงานได้กำหนดไว้ว่า น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำต้องมีค่า BOD ไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ถ้าในแหล่งน้ำใดมีค่า BOD สูงกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร จัดว่าเป็นน้ำเสีย ซึ่งในน้ำที่มีค่า BOD สูง แสดงว่าในน้ำนั้นมีสารอินทรีย์อยู่มาก การย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ต้องใช้ออกซิเจนปริมาณมาก ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำเหลืออยู่น้อย ค่า BOD ในน้ำจึงสูง ค่า BOD จะสูงหรือต่ำขึ้นอยู่กับการเจือปนของของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ซึ่งย่อยสลายได้ ภายใต้สภาวะที่มีออกซิเจนปฏิกิริยาชีวเคมีระหว่างออกซิเจนกับสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ จนกว่าสารอินทรีย์จะถูกย่อยสลาย

หมด ค่า BOD จึงมีความสัมพันธ์กับเวลาและอุณหภูมิ ตามมาตรฐานสากลจะวัดค่า BOD ทั้งหมดในเวลา 5 วันที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

แหล่งน้ำดื่มน้ำใช้โดยทั่วไปจะเป็นแหล่งน้ำผิวดิน เพราะปริมาณน้ำผิวดินมักจะมากพอและมีปริมาณคงที่ แหล่งน้ำผิวดินที่เราจะนำใช้ในกิจกรรมต่าง ๆ นั้นมีอยู่ด้วยกันหลายแหล่ง ซึ่งแต่ละแหล่งอาจจะมีคุณภาพแตกต่างกัน

3.7 น้ำใต้ดิน (Groundwater)

น้ำใต้ดินเกิดจากน้ำผิวดินซึมผ่านดินชั้นต่าง ๆ ลงไปถึงชั้นดินหรือหินที่น้ำซึมผ่านไม่ได้ (Impervious rocks) น้ำใต้ดินนี้จะไปสะสมตัวอยู่ระหว่างช่องว่างของเนื้อดิน โดยเฉพาะชั้นดินเป็นกรวด ทราย หิน ปริมาณของน้ำที่ขังอยู่ในชั้นของดินหรือชั้นของหินดังกล่าวจะค่อย ๆ เพิ่มปริมาณมากขึ้นในฤดูฝน และลดปริมาณลงในฤดูแล้ง ปกติน้ำใต้ดินจะมีการไหล (run-off) ถ่ายเทระดับได้เช่นเดียวกับน้ำผิวดิน ในเขตชนบทได้อาศัยน้ำใต้ดินเป็นน้ำดื่ม เนื่องจากแหล่งน้ำใต้ดินเป็นแหล่งน้ำที่สะอาด โดยน้ำที่ขังอยู่ใต้ดินมาจากน้ำฝนที่ซึมผ่านการกรองของชั้นดิน หิน กรวด ทราย มาหลายชั้นแล้ว แหล่งน้ำใต้ดินมี 2 ประเภท

1. น้ำใต้ดินชั้นบนหรือน้ำในดิน พบในชั้นดินตื้น ๆ น้ำจะขังตัวอยู่ระหว่างชั้นดินที่เนื้อแน่นเกือบไม่ซึมน้ำอยู่ไม่ลึกจากผิวดินมากนัก น้ำใต้ดินประเภทนี้จะมีปริมาณมากในฤดูฝนและลดลงในฤดูแล้ง น้ำในชั้นนี้มีออกซิเจนละลายอยู่พอประมาณ จะมีสารแขวนลอยอยู่มาก ความขุ่นมาก

2. น้ำบาดาล เป็นน้ำใต้ดินที่อยู่ลึกลงไป โดยซึมผ่านชั้นดินและชั้นหินต่าง ๆ ไปขังตัวอยู่ช่องว่างระหว่างชั้นดินหรือชั้นหินซึ่งไม่ยอมให้น้ำผ่านไปได้อีก น้ำใต้ดินประเภทนี้เป็นน้ำใต้ดินที่แท้จริงเรียกว่า Underground water หรือที่เรียกว่าน้ำบาดาล น้ำบาดาลจะเป็นน้ำที่มีคุณภาพดี เพราะไหลผ่านชั้นดินและชั้นหินซึ่งทำหน้าที่คล้ายการกรองน้ำธรรมชาติ มีลักษณะเป็นระบบท่อประปาที่สมบูรณ์

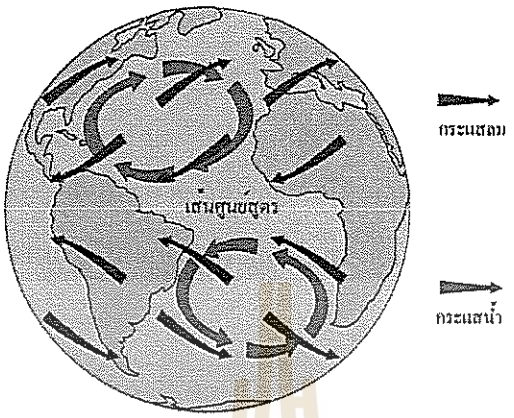
3.8 การไหลเวียนของน้ำในมหาสมุทร (Oceanic Circulation)

น้ำเป็นของไหลเช่นเดียวกับอากาศ การไหลเวียนของกระแสน้ำในมหาสมุทรจึงมีลักษณะคล้ายการไหลเวียนของกระแสลมในบรรยากาศ หากแต่การไหลเวียนของกระแสน้ำมีอุปสรรคขวางกั้น เนื่องจากห นึ่งในสามของพื้นผิวโลกเป็นแผ่นดิน ดังนั้นการไหลเวียนของน้ำในมหาสมุทรจึงไม่ปรากฏรูปแบบที่ชัดเจนเหมือนดังกระแสลม ข้อแตกต่างอีกประการหนึ่ง น้ำทะเลในมหาสมุทรมีความเค็มไม่เท่ากัน น้ำทะเลที่เค็มกว่ามีความหนาแน่นสูงจะเคลื่อนไปแทนที่น้ำทะเลที่มีความหนาแน่นต่ำ เราจึงแบ่งการไหลเวียนของน้ำในมหาสมุทรเป็น 2 ประเภทคือ กระแสน้ำบริเวณพื้นผิว (Surface currents) และกระแสน้ำลึก (Deep currents)

3.8.1 การไหลเวียนของกระแสน้ำบริเวณพื้นผิวมหาสมุทร

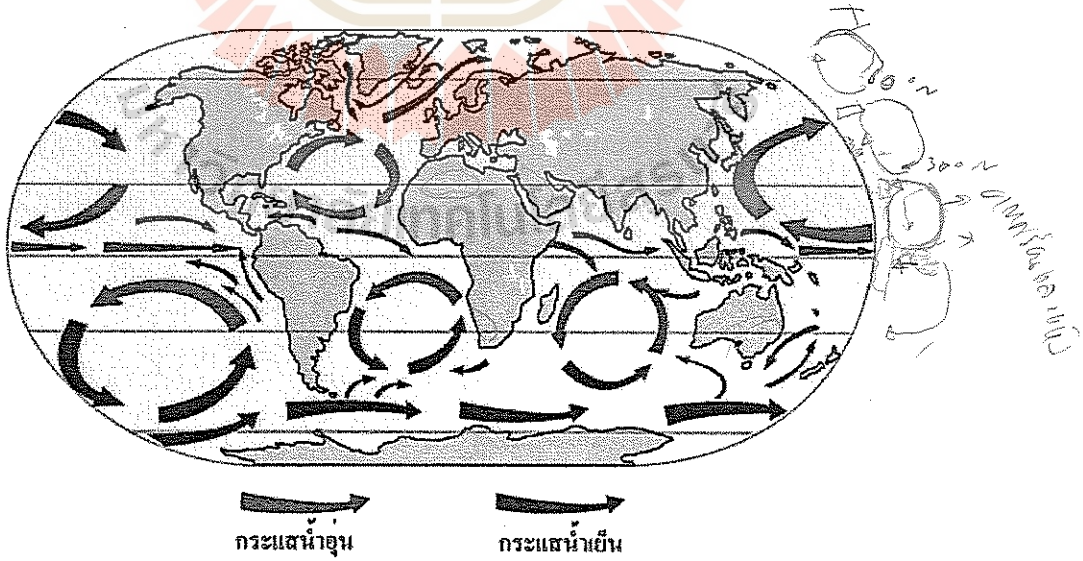
กระแสน้ำพื้นผิวมหาสมุทรเกิดขึ้นเนื่องจากความฝืดของอากาศกับผิวน้ำในมหาสมุทร กระแสลมเคลื่อนที่ด้วยความแตกต่างของพลังงานจากดวงอาทิตย์ซึ่งอากาศสะสมไว้ พลังงานจากอากาศถ่ายทอดลงสู่ผิวน้ำอีกทีหนึ่ง กระแสลมพัดพาให้กระแสน้ำเคลื่อนที่ไปในทางเดียวกัน ภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่า ลมสินค้า

ตะวันออกบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตร มีอิทธิพลพัดให้น้ำในมหาสมุทรเคลื่อนตัวไปทางทิศตะวันตก และลมตะวันตกในบริเวณใกล้ขั้วโลก มีอิทธิพลพัดให้น้ำในมหาสมุทรเคลื่อนตัวไปทางทิศตะวันออก การไหลของน้ำในมหาสมุทรเคลื่อนที่เป็นรูปวงเวียน ในทิศทางตามเข็มนาฬิกาในซีกโลกเหนือ และในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาในซีกโลกใต้ แตกต่างกัน พลังงานจากดวงอาทิตย์ตกกระทบบริเวณศูนย์สูตรมากกว่าขั้วโลก



รูปที่ 3.14 แสดงทิศทางของกระแสลมและกระแสน้ำบนพื้นผิวมหาสมุทร
(จาก http://www.lesa.in.th/index5.htm)

ทรงกลมของโลกทำให้น้ำในมหาสมุทรมีอุณหภูมิ น้ำทะเลบริเวณเส้นศูนย์สูตรมีอุณหภูมิสูงจึงไหลไปทางขั้วโลก ในขณะที่น้ำทะเลบริเวณขั้วโลกมีอุณหภูมิต่ำกว่าไหลเข้ามาแทนที่ (รูปที่ 3.4) เนื่องจากน้ำมีคุณสมบัติในการเก็บความร้อนได้ดีกว่าพื้นดินกล่าวคือ ใช้เวลาในการสะสมความร้อน และเย็นตัวลงนานกว่าพื้นดิน ดังนั้นกระแสน้ำพบพื้นผิวมหาสมุทรจึงพัดพาพลังงานความร้อนไปด้วยเป็นระยะทางไกล ทำให้เกิดผลกระทบต่อภูมิอากาศ และระบบนิเวศบนพื้นที่ชายฝั่งเป็นอย่างยิ่ง



รูปที่ 3.15 แสดงทิศทางของกระแสน้ำอุ่นและกระแสน้ำเย็น (จาก http://www.lesa.in.th/index5.htm)

อย่างก็ตาม อิทธิพลของกระแสลมส่งผลกระทบกระแสน้ำในมหาสมุทร เพียงความลึก 1 กิโลเมตรเท่านั้น นั่นหมายถึง การไหลเวียนของกระแสน้ำผิวพื้น มีอิทธิพลต่อน้ำในมหาสมุทรประมาณร้อยละ 10

3.8.2 การไหลเวียนของกระแสน้ำลึกในมหาสมุทร

น้ำทะเลมีรสเค็ม เนื่องจากมีเกลือซึ่งประกอบด้วยแร่ธาตุต่างๆ ปะปนอยู่ในรูปของสารละลาย ในน้ำทะเล 1 ลิตร (1,000 กรัม) มีเกลืออยู่ 35 กรัม ในบริเวณที่น้ำทะเลอุณหภูมิสูง เช่น ใจกลางมหาสมุทรบริเวณเส้นศูนย์สูตร แสงแดดมีความเข้มสูง ทำให้น้ำในมหาสมุทรระเหยเป็นไอน้ำ ทิ้งแร่ธาตุที่ตกค้างไว้ในจนน้ำทะเลมีความเข้มของเกลือมาก แต่ในที่หนาวเย็นที่บริเวณขั้วโลก แสงแดดตกกระทำพื้นผิวโลกเป็นมุมเฉียง พลังงานที่ตกกระทบน้อย ปริมาณการระเหยของน้ำทะเลย่อมน้อยตามไปด้วย ความเข้มของเกลือจึงไม่มาก ในบริเวณใกล้ปากแม่น้ำ ความเข้มของเกลือจะน้อยเนื่องจาก อิทธิพลของน้ำจืดจากแม่น้ำลำคลอง ทำให้น้ำทะเลเจือจาง

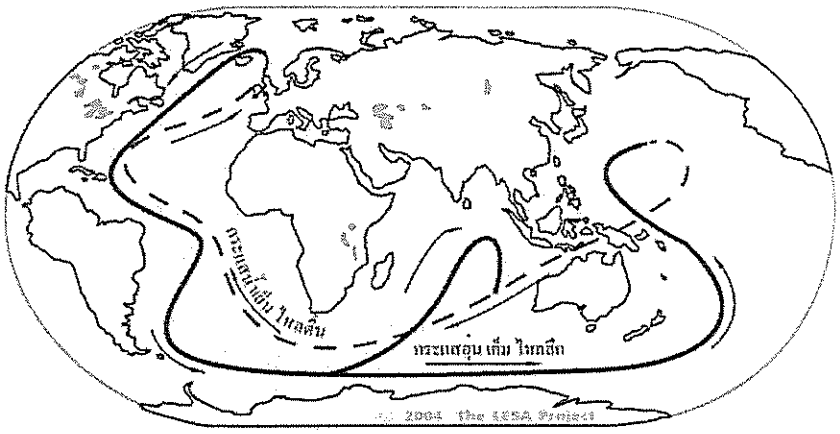
ตารางที่ 3.2 ประจุเกลือในน้ำทะเล

คลอไรด์ (Cl-)	54.3%	แมกนีเซียม (Mg++)	3.7 %
โซเดียม (Na+)	30.2%	แคลเซียม (Ca++)	1.2%
ซัลเฟต (SO4++)	7.6%	โปแตสเซียม (K+)	1.1%
		ประจุอื่นๆ	1.9%

เกลือในทะเลและมหาสมุทรมีกำเนิดมาจากแร่ธาตุบนพื้นโลก น้ำเป็นตัวทำละลายที่ดี น้ำฝนละลายก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศทำให้มีฤทธิ์เป็นกรดอ่อนๆ น้ำที่อยู่บนพื้นโลกละลายแร่ธาตุในหินและดิน และไหลรวมกันเป็นแม่น้ำลำธาร ไปสะสมกันในมหาสมุทร สารละลายเกลือเหล่านี้อยู่ในประจุของแร่ธาตุที่สำคัญได้แก่ ประจุโซเดียม (Na+) และประจุคลอไรด์ (Cl-) เมื่อน้ำระเหยออกไป ประจุเหล่านี้รวมตัวกันเป็นสารประกอบ ได้แก่ เกลือแกง(NaCl)

น้ำทะเลในแต่ละส่วนของโลกมีความเค็มไม่เท่ากัน และมีความหนาแน่นไม่เท่ากัน น้ำทะเลที่มีความหนาแน่นสูงย่อมไหลไปแทนที่น้ำทะเลที่มีความหนาแน่นต่ำ การหมุนเวียนของกระแสน้ำลึกมีปัจจัยที่สำคัญ 2 ประการคือ ความร้อน (Thermo) และเกลือ (Haline) เราเรียกการไหลเวียนในลักษณะนี้ว่า “เทอร์โมฮาลีน” (Thermohaline)

วงจรการไหลเวียนของกระแสน้ำลึกในมหาสมุทรมีชื่อเรียกว่า “แถบสายพานยักษ์” (Great conveyor belt) น้ำทะเลความหนาแน่นสูงอุณหภูมิต่ำจมตัวลงสู่ท้องมหาสมุทรแอตแลนติกเหนือไหลลึกลงทางใต้ แล้วเลี้ยวไปทางตะวันออก ขณะที่มันไหลผ่านมหาสมุทรอินเดียอุณหภูมิจะสูงขึ้น และลอยตัวขึ้นทางตอนเหนือของมหาสมุทรแปซิฟิก (รูปที่ 3.5)



รูปที่ 3.16 แสดงกระแสน้ำตื้นและกระแสน้ำลึก (จาก http://www.lesa.in.th/index5.htm)

น้ำทะเลความหนาแน่นต่ำอุณหภูมิสูงจากมหาสมุทรแปซิฟิก ไหลวกกลับผ่านมหาสมุทรอินเดียลงมาทางมหาสมุทรแอตแลนติกใต้ แล้วไหลย้อนมาทางมหาสมุทรแอตแลนติกเหนือ กระแสน้ำมีความเค็มมากขึ้นเนื่องจากการระเหยของน้ำประกอบกับการเดินทางเข้าใกล้ขั้วโลกทำให้อุณหภูมิต่ำลง จนจมตัวลงอีกครั้งเป็นการครบรอบวงจร ใช้เวลาประมาณ 500 – 2,000 ปี การไหลเวียนเช่นนี้ส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศในระยะยาว อาทิเช่น ยุคน้ำแข็งเล็ก ในยุโรปเมื่อคริสต์ศตวรรษที่ 17 อิทธิพลของการไหลเวียนแบบเทอร์โมฮาลีน มีอิทธิพลต่อน้ำในมหาสมุทรประมาณร้อยละ 90

3.9 ประโยชน์ของน้ำ (Advantage of Water)

1. เพื่อการอุปโภคและบริโภค

น้ำมีความจำเป็นสำหรับสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ร่างกายของคนเราประกอบด้วยน้ำประมาณร้อยละ 60 - 70 โดยต้องใช้ในการดื่มประมาณ 2 ลิตรต่อวัน และใช้ในการบริโภคประมาณ 3 ลิตรต่อวัน ร่างกายของเรายังใช้น้ำเพื่อพา สารอาหารต่างๆ ไปยังเซลล์ เพื่อรักษาโครงสร้างของร่างกาย และเพื่อการขับถ่ายของเสีย รวมทั้งเพื่อระบายความร้อนออกจากความร้อนออกจากร่างกายด้วย นอกจากนี้ เรายังใช้น้ำในการอุปโภค ทั้งการทำความสะอาด ซักล้าง และกิจกรรมอื่นๆ องค์การสหประชาชาติประมาณการว่า มีประชากรโลกอีกประมาณ 2,000,000 ล้านคนทั่วโลกที่ขาดแคลนน้ำใช้อย่างเพียงพอ

2. เพื่อการเกษตรกรรม

การใช้น้ำในการเกษตรกรรมนั้นประมาณว่า มนุษย์ใช้น้ำเพื่อการเพาะปลูก 70% ของปริมาณน้ำที่มนุษย์ใช้ทั้งหมด เพื่อการผลิตธัญญพืชสำหรับการบริโภค ส่วนน้ำที่ใช้สำหรับการเลี้ยงสัตว์แต่ละชนิดจะมีความแตกต่างกันไป เช่น โคนม ม้า หมู ไก่ ต้องการน้ำ 20 12 4 และ 0.04 แกลลอนต่อตัวต่อวัน น้ำจึงมีความสำคัญมากในการผลิตอาหารของมนุษย์

3. เพื่อการอุตสาหกรรม

น้ำ เป็นสิ่งจำเป็นสำหรับกระบวนการผลิตข องโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ทั้งในส่วนของกระบวนการผลิตโดยตรง คือ เป็นส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ ล้างวัตถุดิบ และกิจกรรมต่างๆ ที่สนับสนุนการ

ผลิต เช่น ใช้ในการล้างเครื่องจักร ล้างพื้นโรงงาน และการหล่อเย็น เป็นต้น อุตสาหกรรมแต่ละประเภทมีความต้องการน้ำในปริมาณและคุณภาพที่แตกต่างกันไป ดังกรณีของโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตเบียร์ เซรามิก กระดาษ มีความจำเป็นที่ต้องใช้ที่มีคุณภาพสูง คือ ปราศจากสิ่งปนเปื้อนต่างๆจึงจะสามารถผลิตผลงานที่มีคุณภาพได้ดี

4. แหล่งทรัพยากร

แหล่งน้ำเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของมนุษย์ โดยเฉพาะในทะเลซึ่งเป็นแหล่งทรัพยากรที่ใหญ่ที่สุด อาหารจากทะเลเป็นอาหารที่สำคัญที่มนุษย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้โดยไม่ต้องลงทุน และทะเลยังเป็นแหล่งเชื้อเพลิงและพลังงาน เช่น น้ำมันและก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น

5. เพื่อการคมนาคมขนส่ง

ในอดีตการขนส่งทางน้ำเป็นการขนส่งที่สำคัญของมนุษย์ และในปัจจุบันก็ยังมีความสำคัญอยู่ โดยเฉพาะการขนส่งระหว่างประเทศ คือ การขนส่งทางทะเล เพราะสามารถขนส่งได้คราวละมากๆ และค่าใช้จ่ายยังถูกกว่าการขนส่งทางอากาศมากอีกด้วย สำหรับการขนส่งภายในประเทศนั้น การขนส่งทางน้ำก็ยังคงบทบาทสำคัญโดยเฉพาะระยะทางไกลๆ จะเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่าทางบก

6. เพื่อการสร้างพลังงาน

ในการผลิตพลังงานไฟฟ้านั้น ค่าใช้จ่ายที่มาจากการผลิตโดยใช้กระแสน้ำนั้นจะต่ำกว่าการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานอื่นๆ เช่น ถ่านหิน น้ำมัน นิวเคลียร์ รวมทั้ง มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่าด้วย

7. เพื่อการนันทนาการ

แหล่งกักเก็บน้ำหลายแห่งเป็นสถานที่ท่องเที่ยวและพักผ่อนหย่อนใจของมนุษย์ เช่น ชายฝั่งทะเล ทะเลสาบ แม่น้ำ ลำคลอง น้ำตกและลำธาร เป็นต้น กิจกรรมของมนุษย์ที่เกี่ยวเนื่องจากสถานที่เหล่านี้มีมากมาย เช่น การว่ายน้ำ ตกปลา พายเรือ เป็นต้น น้ำจึงเป็นส่วนหนึ่งในการดำรงชีวิต

3.10 บรรณานุกรม

http://th.wikipedia.org,

http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycle.html

http://www.lesa.in.th/atmosphere/cloud_precip/cloud_precip/cloud_precip.htm

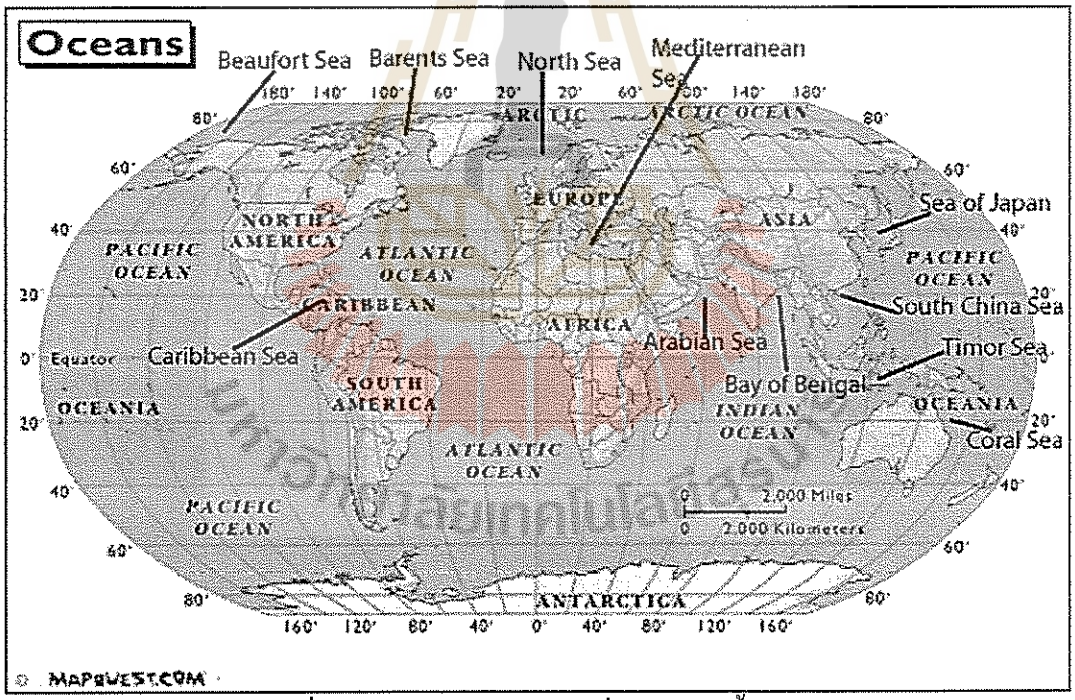
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4 ทะเลและมหาสมุทร (Sea and Ocean)

4.1 การกระจายของทะเลและแผ่นดินบนผิวโลก

ทะเลและมหาสมุทรปกคลุมพื้นที่คิดเป็นร้อยละ 70 หรือประมาณ 360 ล้านตารางกิโลเมตร บนพื้นผิวโลก และหลายแห่งของทะเลมีความลึกมากกว่า 10,000 เมตร ทะเลและมหาสมุทรมีความสำคัญคือเป็นแหล่งอาหาร มีอิทธิพลต่อภูมิอากาศบนแผ่นดินดดยทำให้อุณหภูมิของอากาศอบอุ่น เป็นแหล่งสำรองที่สำคัญที่สุดในวัฏจักรของน้ำ (Hydrological cycle) เป็นแหล่งเชื้อเพลิงธรรมชาติและแหล่งแร่โลหะที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจ เป็นต้น

แหล่งน้ำที่มีพื้นที่กว้างใหญ่ติดต่อกันและมีความลึกมากเรียกว่ามหาสมุทร (Ocean) ซึ่งประกอบด้วย มหาสมุทรแปซิฟิก (Pacific) แอตแลนติก (Atlantic) อินเดีย (India) อาร์คติก (Arctic) และแอนตาร์คติก (Antarctic) ถ้าเป็นแหล่งน้ำที่มีขนาดเล็กกว่าอยู่ใกล้กับแผ่นดินใหญ่ หรืออยู่ระหว่างแผ่นดินเรียกทะเล (Sea) ที่สำคัญได้แก่ ทะเลเหนือ (North Sea) ซึ่งอยู่ระหว่างอังกฤษกับภาคพื้นยุโรป ทะเลเมดิเตอร์เรเนียน (Mediteranean Sea) ซื่อยู่รหว่างทวีปอาฟริกากับทวีปยุโรป ทะเลจีนใต้ (South China Sea) ซึ่งอยู่ระหว่างเอเชียตะวันออกกันญี่ปุ่นและฟิลิปปินส์ เป็นต้น (รูป 4.1)



รูปที่ 4.1 ทะเลและมหาสมุทรที่สำคัญบนพื้นโลก

(ดัดแปลงจาก http://www.mapquest.com)

มหาสมุทรแปซิฟิกเป็นมหาสมุทรที่ใหญ่ที่สุดในโลก โดยมีพื้นที่ปกคลุมหนึ่งในสามของโลก ส่วนใหญ่ของทะเลและมหาสมุทรจะอยู่ซีกโลกใต้ (Southern hemisphere) มากกว่าซีกโลกเหนือ โดยมีร้อยละเปรียบเทียบ

80 ต่อ 60 ความลึกเฉลี่ยของทะเลล้มหาสมุทรประมาณ 3,800 เมตร ขณะท่ความสูงเฉลี่ยของภาคพื้นินเป็น 840 เมตร ดังนั้นจะเห็นว่าทเลและมหาสมุทรลึกกว่าความสู.ของภูเขามาก (ตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.2)

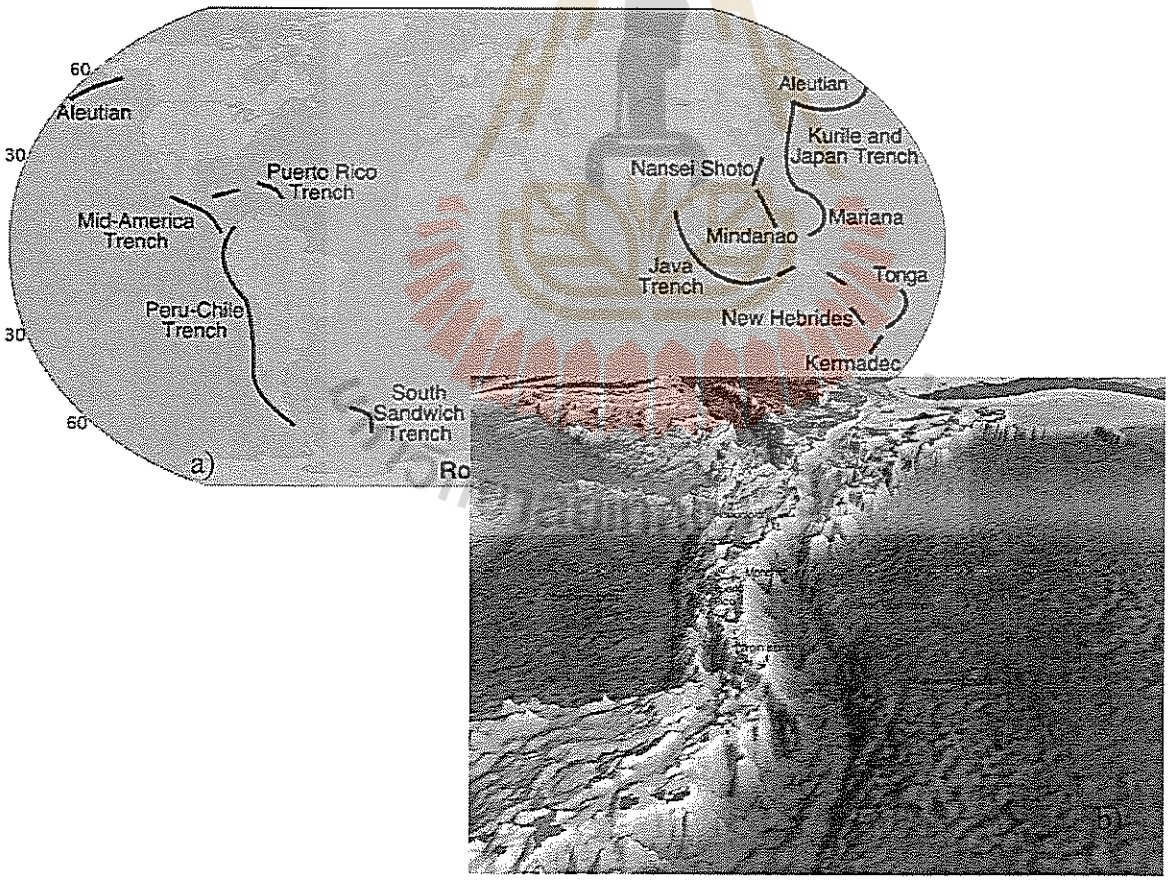
ตารางที่ 4.1 แสดงพื้นที่และความลึกของทะเลและมหาสมุทร

ก. พื้นที่ทะเล-มหาสมุทร และพื้นแผ่นดินโลก

	ทั้งหมด	ซีกโลกเหนือ	ซีกโลกใต้
ร้อยละของพื้นที่ทะเล-มหาสมุทร	70	60	80
ร้อยละของพื้นที่พื้นดิน	30	40	20

ข. ความลึกเฉลี่ยของมหาสมุทร (เมตร)

ค.ศ.	บริเวณ	เรือสำรวจ	ความลึก
1923	Mindanau Trench	German Emd ren	10,497
1952	Tonga Deep	U.S. Horizon	10,882
1959	Marinas Trench	U.S.S.R. Vityaz	11,028
1960	Marinas Trench	U.S Trieste	11,034

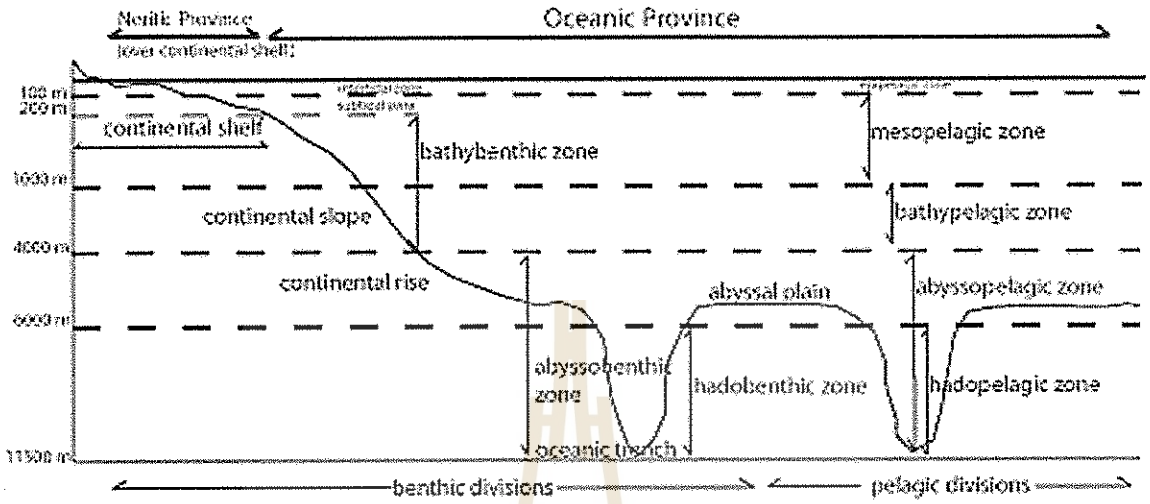


รูปที่ 4.2 แสดงตำแหน่งและลักษณะของร่องน้ำลึกในทะเล The Puerto Rico Trench เป็นตัวอย่าง

(a) จาก http://www.physicalgeography.net และ b) จากhttp://woodshole.er.usgs.gov)

4.2 ลักษณะภูมิประเทศของแอ่งมหาสมุทร (Ocean basin topography)

ลักษณะสำคัญของแอ่งมหาสมุทรแบ่งเป็นเขตต่าง ๆ ได้แก่ ไหล่ทวีป ลาดทวีป ลาดตีนทวีป และก้นมหาสมุทร (รูปที่ 4.3)



รูปที่ 4.3 ภาพตัดขวามของส่วนต่าง ๆ ของแอ่งมหาสมุทร (ดัดแปลงจาก Meadows and Campbell, 1988)

4.2.1 ไหล่ทวีป (Continental shelf)

นับตั้งแต่ชายฝั่งทะเลจนถึงบริเวณที่พื้นของทะเลเปลี่ยนจากความลาดชันน้อย (1:1,000) เป็นชันมาก ส่วนใหญ่เป็นบริเวณขอบทวีปที่มีน้ำท่วมถึงรับลึกประมาณ 200 เมตร ลักษณะไหล่ทวีปอาจเป็นร่อง สันแอ่ง หรือพืดปะการัง (Coral reef) บางแห่งปกคลุมด้วย กรวด ทราย โคลน หรือ หินดินดาน เป็นบริเวณที่ระดับน้ำทะเลมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

4.2.2 ลาดทวีป (Continental slope)

เป็นบริเวณที่ต่อจากไหล่ทวีปลงสู่ทะเลในระดับความลึกประมาณ 4,000 เมตร ซึ่งติดกับลาดทวีปความลาดชันของลาดทวีปประมาณ 1:40 ทำให้บริเวณนี้ค่อนข้างแคบ

4.2.3 ลาดตีนทวีป (Continental rise)

เป็นบริเวณที่ต่อจากลาดทวีปไปในระดับความลึก 6,000 เมตร มีลักษณะโค้งเกือบจะเป็นที่ราบใต้มหาสมุทร มีความชันน้อยมาก

บริเวณลาดทวีปและลาดตีนทวีปมักจะพบหุบผาชันทอดข้าไป เรียกว่า หุบผาชันใต้ทะเล (Submarine canyon) เข้าใจกันว่าเกิดจากการกัดกร่อนบนผิวโลกในช่วงของการลดระดบของน้ำทะเลสมัยโบราณ การเกิดรอยเลื่อนของเปลือกโลดก กระแสน้ำ หรือการถล่มใต้น้ำ อีกลักษณะหนึ่งที่มักเกิดร่วมกับหุบผาใต้ทะเลคือ เนินตะกอนรูปพัดก้นสมุทร (Abyssal fan) ซึ่งยื่นจากปากหุบผาชันลงไปเรื่อย ๆ กลายเป็นดินดอนสามเหลี่ยมขนาดใหญ่ใต้ทะเล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.2.4 ก้นสมุทร (Abyssal zone)

สมัยก่อนเชื่อว่าก้นมหาสมุทรเป็นที่ราบแต่เมื่อมีการสำรวจพบว่าก้นมหาสมุทรประกอบด้วยหลายลักษณะ เช่น

1) ร่องลึกก้นทะเล (Oceanic trench) มีลักษณะเป็นหลุมลึกชันอยู่ใต้ก้นทะเล พบมากในมหาสมุทรแปซิฟิก ซึ่งมีความลึกมากกว่ามหาสมุทรอื่น ๆ ดังตารางที่ 4.1

2.) ที่ราบก้นสมุทร (Abyssal Plain) เป็นบริเวณที่ราบเรียบแต่อยู่ก้นทะเล เกิดจากการสะสมของทราย ซึ่งพัดมาโดยกระแสน้ำ จากลาดทวีปและลาดตีนทวีป มารวมกันตกตะกอนที่ก้นสมุทรกลายเป็นที่ราบใหญ่

3) เทือกเขากลางมหาสมุทร (Oceanic ridge) เป็นเทือกเขาใต้สมุทร มีพื้นที่ประมาณ 23% ของท้องมหาสมุทร บางครั้งเรียกว่า mid-oceanic ridge ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยยอดเขาหลายยอดมารวมกันเป็นเทือก มีความสูงประมาณ 2-4 กิโลเมตร ถ้าระดับน้ำเป็นปกติจะไม่โผล่พ้นผิวน้ำ อาจจะพบหุบเขา (rift valley) อยู่ระหว่างยอดเขาเหล่านี้

4) ภูเขาใต้ทะเล (Seamount หรือ abyssal hill) เป็นภูเขาที่อยู่โดดเดี่ยวหรือเป็นกลุ่มกระจายทั่วไปในมหาสมุทร เกิดจากภูเขาไฟใต้ทะเลระเบิด แล้วลาวาทับถมกันกลายเป็นภูเขา บางครั้งเมื่อระเบิดบ่อยและมีการสะสมลาวามาก ทำให้ยอดเขาโผล่พ้นผิวน้ำ แล้วค่อย ๆ จมลงเพราะผิวโลกรับน้ำหนักไม่ได้ ทำให้ยอดเขาเหล่านี้แบนราบลง เรียกภูเขายอดราบกีโย (Geyot) มักจะพบกีโยในระดับความลึกมากกว่า 1,000 เมตร

4.3 พืดหินใต้น้ำหรือหินโสโครก (Reef)

พืดหินใต้น้ำหรือหินโสโครก คือแนวหินหรือโขดหินใต้น้ำใกล้ ๆ กับผิวน้ำทะเล ในบางแห่งอาจโผล่พ้นน้ำหรือปริ่มริมผิวน้ำ เมื่อน้ำลงอาจมองเห็นแนวหินเด่นชัด เป็นอันตรายต่อการเดินเรือ แต่มีประโยชน์ทางนิเวศวิทยา ส่วนใหญ่มักเกิดจากแนวปะการัง (Coral reef) ซึ่งเกิดจากการสะสมของแคลเซียมคาร์บอเนตเนื่องจากการสร้างเพื่อเป็นโครงสร้างค้ำจุนของร่างกาย (รายละเอียดเกี่ยวกับปะการังอยู่ในหัวข้อปะการัง)

4.4 ความเค็มของน้ำทะเล (Salinity)

น้ำทะเลมีรสเค็มออกขมเนื่องจากมีสารประกอบต่าง ๆ ละลายปนอยู่หลายชนิด ที่สำคัญเป็นเกลือของแร่ธาตุต่าง ๆ เกลือที่ละลายในน้ำทะเลจะไม่ตกตะกอนและมีสัดส่วนคงที่ โดยจะแตกตัวเป็นอิออน (ion) ดังแสดงในตารางที่ 2.2 หน่วยที่แสดงปริมาณเกลือที่ละลายในน้ำทะเลคือ salinity หรือ chlorinity โดยเปรียบเทียบเป็นส่วนต่อพันส่วนหรือพีพีที (part per thounsand: ppt) ของน้ำทะเล มักเขียนย่อเป็น S หรือ Cl

ค่า salinity ของทะเลและมหาสมุทรมีความสัมพันธ์กับอัตราของน้ำตกจากฟ้า (Precipitation) และการระเหยจากน้ำทะเล (Evaporation) ซึ่งเป็นจะมีความแตกต่างกันตามละติจูด ดังแสดงในตารางที่ 2.3 และ รูปที่ 2.4

ตารางที่ 4.2 แสดงปริมาณของอิออนชนิดต่าง ๆ ในน้ำทะเลที่ระดับความเค็ม 35%

ชนิดอิออน	ความเข้มข้น
อิออนหลัก	
คลอไรด์ (Cl^-)	19.3
โซเดียม (Na^+)	10.3
ซัลเฟต (SO_4^{+2})	2.7
แมกนีเซียม (Mg^{+2})	1.3
แคลเซียม (Ca^{+2})	0.4
โปตัสเซียม (K^+)	0.4
ไบคาร์บอเนต (HCO^-)	0.1
อิออนรอง	
โบรไมด์ (Br^-)	0.006
บอเรท (H_3BO_3)	0.027
สโตรเตียม (SR_3^-)	0.013
ฟลูออไรด์ (F^-)	0.001
ซิลิคอน $\{Si(OH)_4\}$	0.001

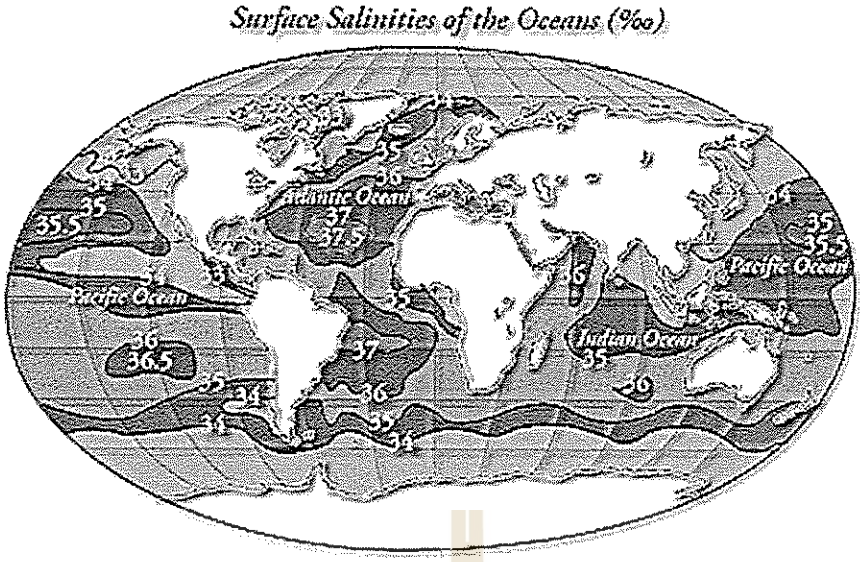
ตารางที่ 4.3 แสดงความเค็มเฉลี่ยของน้ำทะเลและมหาสมุทรที่สำคัญ (จาก Cazeau และคณะ, 1976)

ทะเลและมหาสมุทร	ความเค็ม (ppt)
มหาสมุทรอาร์ติก	32
มหาสมุทรแอตแลนติก	35.8
มหาสมุทรอินเดีย	35
มหาสมุทรแปซิฟิก	35
อ่าวเม็กซิโก	36.5
ทะเลสาปแคสเบียน	37
ทะเลเมดิเตอร์เรเนียน	37

4.5 การเคลื่อนที่ของน้ำทะเล (Sea-water movement)

น้ำในทะเลและมหาสมุทรมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา ทำให้เกิดการหมุนเวียรของสารอาหารและปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่มีทั้งผลดีและผลเสียต่อโลก การเคลื่อนที่มีอิทธิพลมาจากดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์ การหมุนรอบตัวเองของโลกและการหมุนรอบดวงอาทิตย์ นอกจากนี้ยังมีอิทธิพลภายในของน้ำเอง เช่น อุณหภูมิ ความร้อน ความเค็ม เป็นต้น ปรากฏการณ์ที่สำคัญได้แก่ คลื่น น้ำขึ้นน้ำลง และกระแสน้ำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

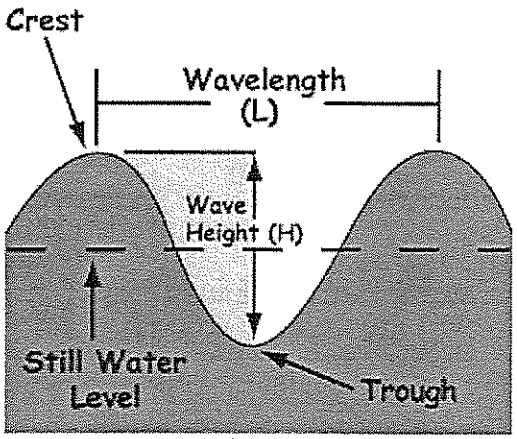


รูปที่ 4.4 แสดงค่า salinity ของน้ำทะเลในทะเลและมหาสมุทรต่าง ๆ ซึ่งแสดงด้วยเส้น isohaline (จาก http://www.bigelow.org)

4.5.1 คลื่น (Ocean wave)

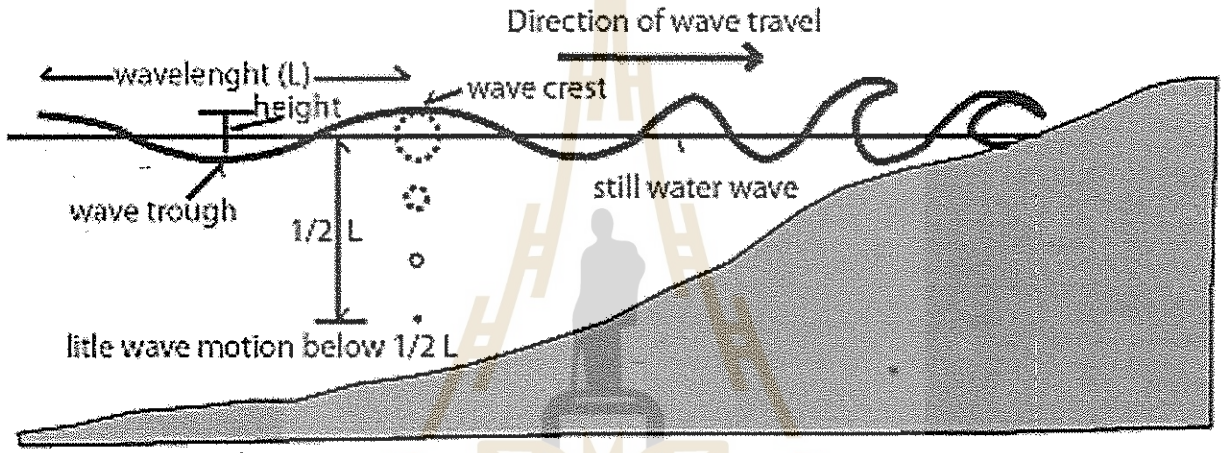
คลื่นเป็นการเคลื่อนที่ของทะเล โดยการแสดงให้เห็นบริเวณผิวน้ำ เกิดจากการได้รับพลังงานจากลม น้ำขึ้นน้ำลง หรือแผ่นดินไหวใต้ทะเล คลื่นจะเคลื่อนที่ไปยังชายฝั่ง ความเร็วของคลื่นมีหน่วยเป็น ฟุต/วินาที เมตร/วินาที หรือ น็อต (ไมล์/ชม) ขนาดของคลื่นมีตั้งแต่ขนาดน้ำกระเพื่อม (ripple) จนถึงคลื่นที่มีความสูงถึง 40 เมตร ลักษณะของคลื่นประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ยอดคลื่น (Crest) คือจุดสูงสุดของยอดคลื่น
2. ท้องคลื่น (Trough) คือจุดต่ำสุดของคลื่น
3. ความสูงของคลื่น (Amplitude of height) คือระยะในแนวดิ่งจากยอดคลื่นถึงท้องคลื่น
4. ช่วงคลื่น (Wavelength) คือระยะในราบจากยอดถึงยอดคลื่นหรือจากท้องถึงท้องคลื่นที่ต่อเนื่องกัน



รูปที่ 4.5 แสดงหน้าตัดของคลื่น (จาก http://www.onr.navy.mil)

คลื่นเคลื่อนที่เข้าหาชายฝั่งเป็นจังหวะ มวลของน้ำทะเลส่วนใหญ่จะไม่เคลื่อนตามด้วย มีแต่น้ำที่อยู่บริเวณผิว ในขณะที่คลื่นเคลื่อนที่เข้าหาฝั่งจะมีมวลของน้ำบางส่วนเคลื่อนตัวลงไปในแนวดิ่งในระดับลึกประมาณครึ่งหนึ่งของระยะช่วงคลื่น (1/2 L) เช่น ถ้าช่วงคลื่นมีระยะ 10 เมตร จะทำให้มวลน้ำม้วนตัวลงในแนวดิ่งลึกปรมาณ 5 เมตร เมื่อคลื่นเคลื่อนที่มาใกล้ชายฝั่งจนถึงที่มีความลึกน้อยกว่า 1/2 L จะทำให้คลื่นมีความรเวลดลงแต่คล่นจะยกตัวสูงขึ้น ถ้าคลื่นยกตัวสูงขึ้นจนมีมุมยอดเกิน 120 องศา หรืออัตราส่วนของ H/L มากกว่า 1/7 ยอดคลื่นจะแตก กลายเป็นคลื่นหัวแตก (Breaker หรือ surf) คลื่นที่ซัดเข้าหาฝั่งและไหลบนหาดทรายที่มีความลาดชันน้อยเรียกการเข้าหาฝั่งของน้ำทะเล (Swash) เมื่อกระทบฝั่งแล้วสลายตัวลงและไหลกลับสู่ทะเลอีกเรียกว่า การถอยกลับของน้ำทะเล (Back swash)



รูปที่ 4.6 แสดงการเคลื่อนที่ของคลื่นสู่ชายฝั่ง (ดัดแปลงจาก Sumich, 1980)

คลื่นหัวแตกโดยทั่วไปมี 3 ชนิด โดยขึ้นกับลักษณะความลาดชันของชายฝั่ง ดังนี้ (รูปที่ 2.7)

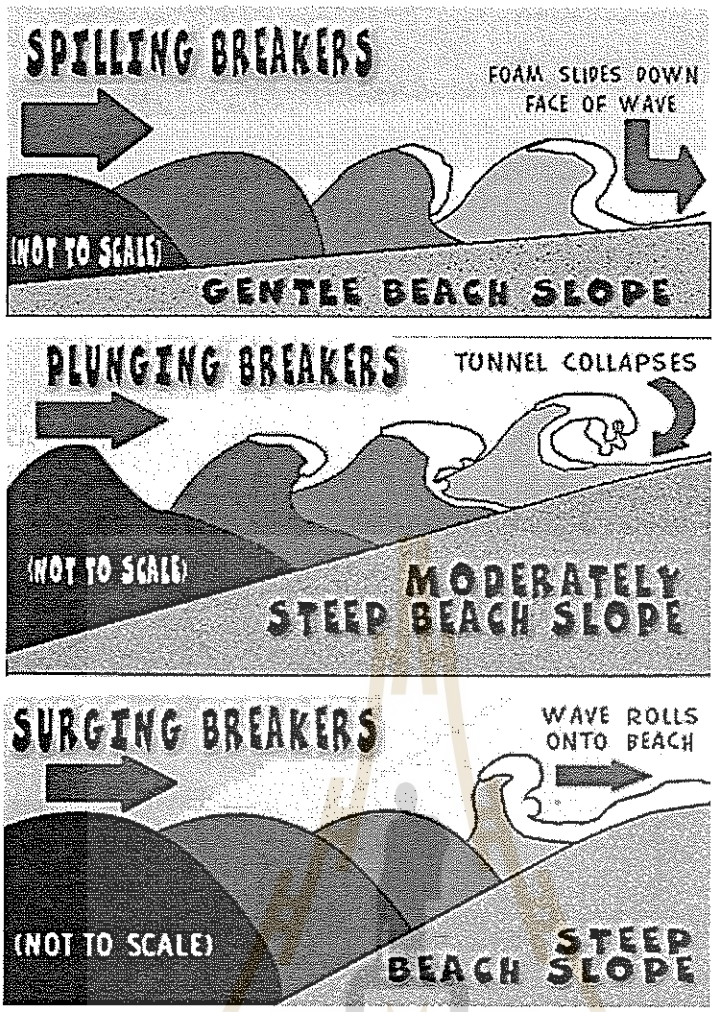
1. คลื่นหัวแตกยอดกระจาย (Spill breaker) ยอดคลื่นจะค่อย ๆ แตกกระจายเป็นฟองและเป็นระลอกคลื่นเล็ก ๆ ต่อเนื่องกันไปจนถึงชายฝั่ง เกิดในบริเวณชายฝั่งที่มีความลาดชันน้อย

2. คลื่นหัวแตกม้วนตัว (Plunging breaker) เป็นคลื่นที่ยอดม้วนตัวเข้าหาชายฝั่งและกระแทกกับชายฝั่งกระจายเป็นฟอง เกิดในบริเวณที่ชายฝั่งมีความลาดชันน้อย

3. คลื่นหัวแตกใกล้ฝั่ง (Surging breaker) เกิดในบริเวณชายฝั่งที่มีความลาดชันมาก ระลอกคลื่นจะสะสมรวมตัวกันและมียอดสูงขึ้น ยอดคลื่นจะไม่ม้วนตัวและไม่แตกกระจายเป็นฟองจนกว่าจะเข้าถึงชายฝั่งจึงจะโถมตัวใส่ฝั่งแล้วคลื่นแตกกระจาย

4.5.2 น้ำขึ้นน้ำลง (Tides)

น้ำขึ้นน้ำลง คือ การขึ้นลงของน้ำทะเลที่เป็นเวลาและเป็นระบบ เนื่องจากแรงดึงจากดวงอาทิตย์และดวงจันทร์ที่มีต่อน้ำบนโลก ปกติจะเกิดน้ำขึ้นน้ำลงวันละ 2 ครั้ง แต่ละพื้นที่จะมีน้ำขึ้นน้ำลงไม่เท่ากัน เช่น อาจมีแค่ 1 เมตร ในทะเลเมดิเตอร์เรเนียน รอบ ๆ เกาะจาไมกา เวสต์อินดีส หรืออาจมีถึง 15 เมตร ในอ่าวฟันดี้ (Bay of Fundy) ในประเทศแคนาดา เป็นต้น



รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความลาดชันของพื้นท้องทะเลและชนิดคลื่นหัวแตก A. Spilling breaker, B. Plunging breaker, C. Surging breaker (จาก http://www.onr.navy.mil)

เนื่องจากดวงอาทิตย์และโลกอยู่ใกล้กันมาก เมื่อเปรียบเทียบกับระยะทางระหว่างโลกกับดวงจันทร์ ดังนั้นแรงที่มีผลต่อน้ำขึ้นน้ำลงจึงมาจากดวงจันทร์ ประมาณกันว่ามีอิทธิพลมากกว่าจากดวงอาทิตย์ประมาณ 2 เท่า

แรงที่มีผลต่อน้ำบนผิวโลกที่สำคัญ คือ

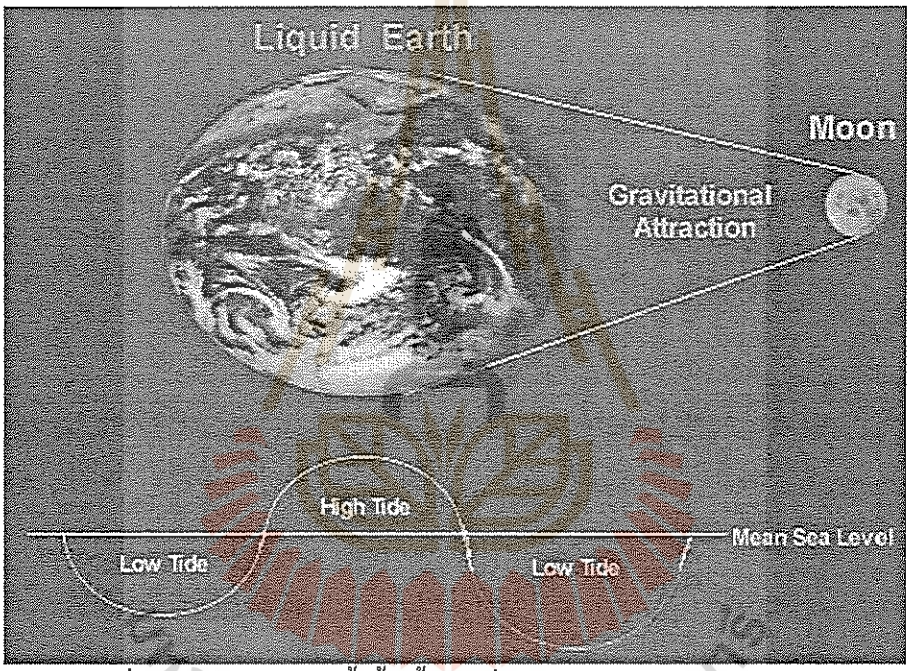
1. แรงดึงดูด (Gravitational force) เป็นแรงดึงดูดระหว่างโลกกับดวงจันทร์ รวมทั้งระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ แรงนี้จะมีค่าไม่เท่ากันในแต่ละจุดบนโลก ขึ้นกับระยะระหว่างโลกและดวงจันทร์

2. แรงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal force) เกิดจากการหมุนรอบตัวเองของโลก แรงนี้จะมีค่าเท่ากันทุกจุดบนผิวโลก

เนื่องจากระบบทั้งหมดอยู่ในสภาพสมดุลย์แบบ Dynamic equilibrium โดยที่จุดศูนย์กลางของโลกมีผลลัพธ์ของแรงกระทำเป็นศูนย์ เมื่อพิจารณาเฉพาะแต่ละจุดบนผิวโลกแล้ว ปริมาณของแรงกระทำทั้งสองนั้นไม่ได้อยู่ในสภาพสมดุลย์ โดยด้านของโลกที่หันเข้าสู่ดวงจันทร์นั้นจะได้รับอิทธิพลของแรง attractive force ซึ่งจะทำให้เกิดน้ำขึ้นน้ำลง การเกิดน้ำขึ้นน้ำลง อันเนื่องมาจากอิทธิพลของดวงจนทร์เรียกว่า Lunar tide

ข้อสมมติฐานของการเกิดน้ำขึ้นน้ำลงแบบ Lunar tide นั้น มีข้อสมมติฐานว่าผิวของโลกปกคลุมด้วยมวลของน้ำทั้งหมด จากผลลัพธ์ของแรงกระทำดังกล่าวทำให้ผิวโลกออก 2 ด้าน คือด้านที่หันเข้าสู่ดวงจันทร์และด้านตรงข้าม ก่อให้เกิดน้ำขึ้นหรือ high tide ที่บริเวณนั้น ในขณะเดียวกันกับที่บริเวณผิวของโลกที่อยู่ในแนวตั้งฉากกับแนวเกิดน้ำขึ้นจะเกิดน้ำลง หรือ low tide พร้อมกันไปซึ่งจะเกิดขึ้น 2 แห่ง ตรงกันข้ามเช่นเดียวกัน

เนื่องจากโลกมีการหมุนรอบตัวเอง 1 รอบ ใช้เวลา 24 ชั่วโมง พิจารณาที่ผิวโลกเพียงบริเวณเดียวดังรูปที่ 4.8 ซึ่งอยู่ด้านเดียวกับดวงจันทร์และเป็นช่วงเวลาน้ำขึ้น (high tide) เมื่อโลกหมุนไปเป็นเวลา 6, 12, 18 และ 24 ชั่วโมง จะทำให้เกิดน้ำลง (low tide) น้ำขึ้นน้ำลง และน้ำขึ้นสลับกันไปตามลำดับ ลักษณะดังกล่าวจะทำให้เกิดน้ำขึ้น น้ำลงวันละ 2 ครั้ง ตามความเป็นจริงขณะโลกหมุนรอบตัวเองนั้น ดวงจันทร์ก็โคจรรอบโลกพร้อมไปด้วย มีผลทำให้เกิดน้ำขึ้นน้ำลง ในวันต่อไปช้ากว่าเดิม (หรือวันก่อน) ประมาณ 50 นาที



รูปที่ 4.8 แสดงการเกิดน้ำขึ้นน้ำลง เนื่องจากอิทธิพลของดวงจันทร์
(จาก http://www.this-magic-sea.com)

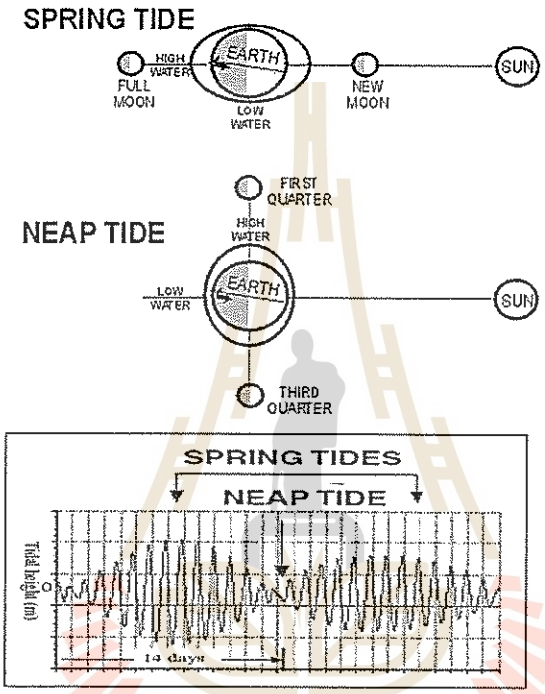
อิทธิพลที่เกิดร่วมกันของดวงจันทร์และดวงอาทิตย์

นอกจากดวงจันทร์จะมีอิทธิพลต่อการเกิดน้ำขึ้นน้ำลงแล้ว ดวงอาทิตย์ยังมีอิทธิพลร่วมอยู่ด้วย โดยจะก่อให้เกิด Tide-producing force เช่นเดียวกัน เรียกว่า solar tides ซึ่งมีค่าประมาณ 1/5 ของ lunar tides ดังนั้นเมื่อพิจารณาอิทธพลรวมทั้งหมด การเกิดน้ำขึ้นน้ำลงเนื่องมาจากอิทธิพลของดวงจันทร์จะเปลี่ยนไป สรุปได้ ดังรูปที่ 2.9 ดังนี้

1. ถ้าโลก ดวงจันทร์ และดวงอาทิตย์ โคจรมาอยู่ในแนวส้นตรงเดียวกัน ซึ่งตรงกันวันขึ้นและแรม 15 ค่ำ (Full and new moon) จะมีผลทำให้ Lunar tides และ Solar tides ส่งเสริมกัน ลักษณะเช่นนี้ทำให้เกิดน้ำขึ้นน้ำลงสูงสุด เรียกว่า Spring tides ในช่วงเวลานี้เมื่อเกิดน้ำขึ้น น้ำทะเลจะท่วมขึ้นมามีระดับสูงที่สุดและเมื่อลดลงไปก็จะมีระดับต่ำที่สุดเช่นกัน หลังจากนั้น ดวงจันทร์จะโคจรออกไปจากแนวนี้ จะส่งผลให้

อิทธิพลที่ทำให้เกิดน้ำขึ้นน้ำลงลดตามไปด้วย คือหลังการเกิด Spring tides แล้ว การเกิดน้ำขึ้นน้ำลง จะมีค่าลดลงไปเป็นลำดับตามตำแหน่งโคจรของดวงจันทร์

2. หลังจากเกิด Spring tides ประมาณ 7 วัน ดวงจันทร์จะโคจรมาอยู่ในตำแหน่งที่ทำให้โลก ดวงจันทร์ และดวงอาทิตย์ อยู่ในตำแหน่งที่เป็นมุมฉากซึ่งกันและกัน ลักษณะเช่นนี้จะทำให้อิทธิพลที่ทำให้เกิดน้ำขึ้นน้ำลงมีค่าน้อยที่สุดและส่งผลให้เกิดน้ำขึ้นน้ำลงน้อยที่สุดไปด้วย เรียกว่า Neap tides ช่วงเวลานี้เมื่อเกิดน้ำขึ้น น้ำทะเลก็จะท่วมขึ้นมามีระดับสูงน้อยที่สุด และเมื่อน้ำทะเลลดลงไปก็จะมีระดับที่ลดลงไปน้อยที่สุดเช่นกัน



รูปที่ 4.9 แสดงการเกิดน้ำขึ้นน้ำลง เนื่องมาจากอิทธิพลร่วมกันของดวงจันทร์กับดวงอาทิตย์และการเกิด Spring tides และ Neap tides (จาก http://www.sun-n-fun-divers.com และ http://www.esru.strath.ac.uk)

จากลักษณะดังกล่าวสรุปได้ว่า ในเดือนทางจันทรคติจะเกิด Spring tides และ Neap tides อย่างละ 2 ครั้ง ช่วงความแตกต่างระหว่างน้ำขึ้นสูงสุดกับน้ำลงต่ำสุด เรียกว่า Tidal range โดยที่ Tidal range จะมีค่าสูงสุดขณะเกิด Spring tides หลังจากนั้นจะมีค่าลดลงเป็นลำดับจนมีค่าต่ำสุดในขณะเกิด Neap tides หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นลำดับจนมีค่าสูงสุดสลับกัน

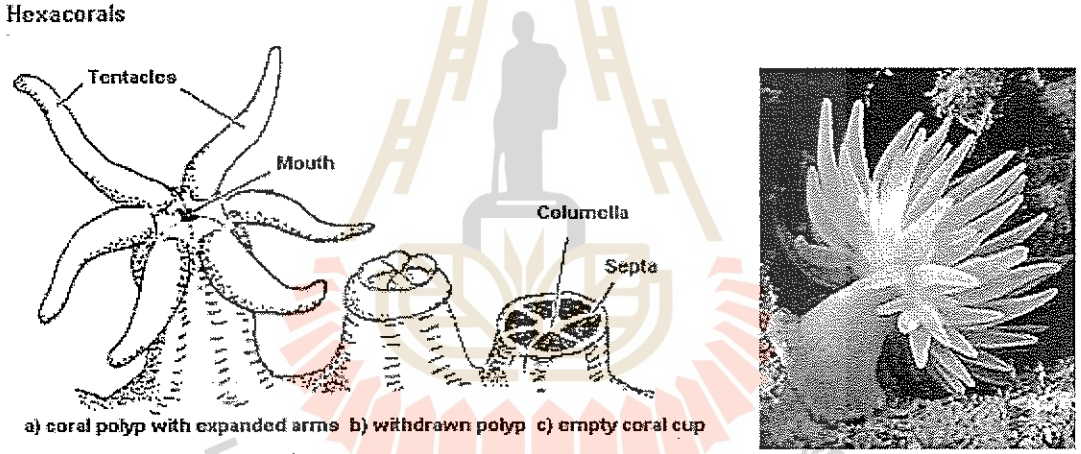
การเกิดน้ำขึ้นน้ำลงในสภาพที่เป็นจริง

การเกิดน้ำขึ้นน้ำลงจะเกิดขึ้นในส่วนของผิวมหาสมุทรเท่านั้น โดยสังเกตได้ชัดเจนที่บริเวณชายฝั่งและเป็นบริเวณที่ไม่ลึกนัก การเกิดน้ำขึ้นน้ำลงโดยทั่วไปจะไม่เป็นไปตามหลักการดังกล่าว เนื่องจากพื้นผิวโลกไม่ได้ปกคลุมไปด้วยพื้นน้ำทั้งหมด ยังมีส่วนที่เป็นพื้นทวีปซึ่งเป็นตัวขวางกั้นการเคลื่อนที่ของน้ำทะเล ทำให้ลักษณะของการเกิด แตกต่างกันตามลักษณะของสภาพภูมิศาสตร์ นอกจากนั้นช่วงของ Tidal range

ยังต่างกันในแต่ละบริเวณของมหาสมุทรอีกด้วย เช่น ทะเลเมดิเตอร์เรนเนียน มีค่าไม่กี่เซนติมตร สำหรับในอ่าวหรือช่องแคบบางแห่งมีค่ามากถึง 15 เมตร การเกิดน้ำขึ้นน้ำลง จำแนกได้เป็น 3 ลักษณะคือ Semidiurnal tides เป็นการเกิดขึ้นวันละ 2 ครั้ง Diurnal tides เกิดขึ้นวันละครั้ง และ Mixed semidiurnal tides เป็นการเกิดขึ้นวันละ 2 ครั้ง ในแต่ละครั้งจะมีช่วงของ Tidal range ไม่เท่ากัน

4.6 แนวปะการัง (Coral reef)

แนวปะการังส่วนใหญ่พบในบริเวณน้ำตื้นของทะเลและมหาสมุทรเขต Tropical และ Subtropical ลักษณะที่สำคัญคือ โครงสร้างค้ำจุนของปะการัง (coral) ซึ่งเป็นสารประกอบพวกแคลเซียมคาร์บอเนตอยู่กับที่ใน (รูปที่ 2.10) โครงสร้างค้ำจุนหนึ่งอาจมีปะการังมากมายหรือเป็นเพียงแค่โครงสร้างธรรมดา เนื่องจากตัวปะการังตายไปแล้ว ในแนวปะการังยังมีสิ่งมีชีวิตมากมายอาศัยอยู่ เช่น สาหร่าย ปู กุ้ง ปลา ดอกไม้ทะเล เป็นต้น สิ่งมีชีวิตเหล่านี้อยู่ร่วมกันโดยมีความสัมพันธ์กันเพื่อให้แนวปะการังมีความอุดมสมบูรณ์ มากแห่งหนึ่งในท้องทะเล นอกจากนี้แนวปะการังยังเป็นแหล่งอนุบาลตัวอ่อนของสัตว์หลายอย่างที่ทำให้ระบบนิเวศเกิดความสมดุลและเป็นแหล่งผลิตที่สำคัญทางเศรษฐกิจหลายชนิด



รูปที่ 4.10 Hexacorals (จาก http://www.starfish.ch)

4.6.1 การแพร่กระจายของแนวปะการัง (Distribution of coral reef)

เนื่องจากแนวปะการังเป็นแหล่งอาศัยของสิ่งมีชีวิตหลายชนิด ดังนั้นจึงมีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อการแพร่กระจายของแนวปะการัง ได้แก่

1. ความลึก (depth)

แนวปะการังมักพบในเขตพื้นน้ำชายฝั่งทะเล ขึ้นในทะเลที่มีความลึกไม่เกิน 60 เมตร และบริเวณที่ตื้นที่สุดจะเป็นบริเวณที่น้ำท่วมถึงเพราะถ้าน้ำลงต่ำกว่าระดับที่ปะการังอาศัยอยู่ ตัวปะการังจะตาย ปะการังชนิดที่ทำให้เกิดแนวปะการังเรียกว่า Hermatypic coral หรือ Reef building coral ซึ่งภายในเนื้อเยื่อของ Gastrodermis จะมีสาหร่ายพวก Zooxanthellae อาศัยอยู่ สาหร่ายพวกนี้ต้องการแสงสว่างในการสังเคราะห์แสง ดังนั้นแนวปะการังจึงต้องอาศัยอยู่ในเขตตื้นพอสมควร

2. แสงสว่าง (Light)

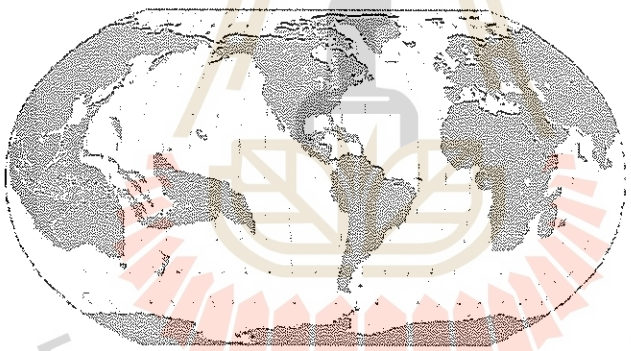
แนวปะการังจะต้องอยู่ในความลึกที่แสงส่องถึง เขตที่แสงส่องถึงเรียกว่า Light compensation level เพื่อให้สาหร่ายและแพลงตอนพืชสามารถสังเคราะห์แสงได้ ดังนั้นบริเวณที่พบแนวปะการังจึงมีอัตราการผลิตขั้นปฐมภูมิ (Primary productivity) ค่อนข้างสูงทำให้เกิดการถ่ายทอดพลังงานไปยังผู้บริโภค (Consumer) ในลำดับต่อ ๆ ไป

3. อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญที่จะกำหนดแนวปะการังได้ โดยปกติจะพบแนวปะการังในบริเวณที่มีอุณหภูมิระหว่าง 20-30 องศาเซลเซียส หรือมีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีไม่ต่ำกว่า 20 องศา ดังนั้นแนวปะการังของโลกจึงพบในเขตร้อนและเขตอบอุ่นของมหาสมุทรอินเดียและมหาสมุทรแปซิฟิก โดยจะพบไม่เกินละติจูด 30 องศาเหนือใต้ ยกเว้นที่ Bermuda จะพบแนวปะการังแบบ Atoll ในละติจูด 30 องศาเหนือ เขตที่เป็นบริเวณที่มีความอบอุ่นและน้ำตื้น

4. พื้นท้องน้ำ (Basement)

ปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่ ความขุ่นใสของน้ำ ปะการังอาศัยในน้ำที่มีความเค็มระหว่าง 25-40 ppt ความสกปรกของน้ำและน้ำจืดทำลายปะการัง ดังนั้นจึงไม่พบแนวปะการังบริเวณใกล้ปากแม่น้ำใหญ่ ซึ่งจะพัดพาน้ำขุ่นลงสู่ทะเล



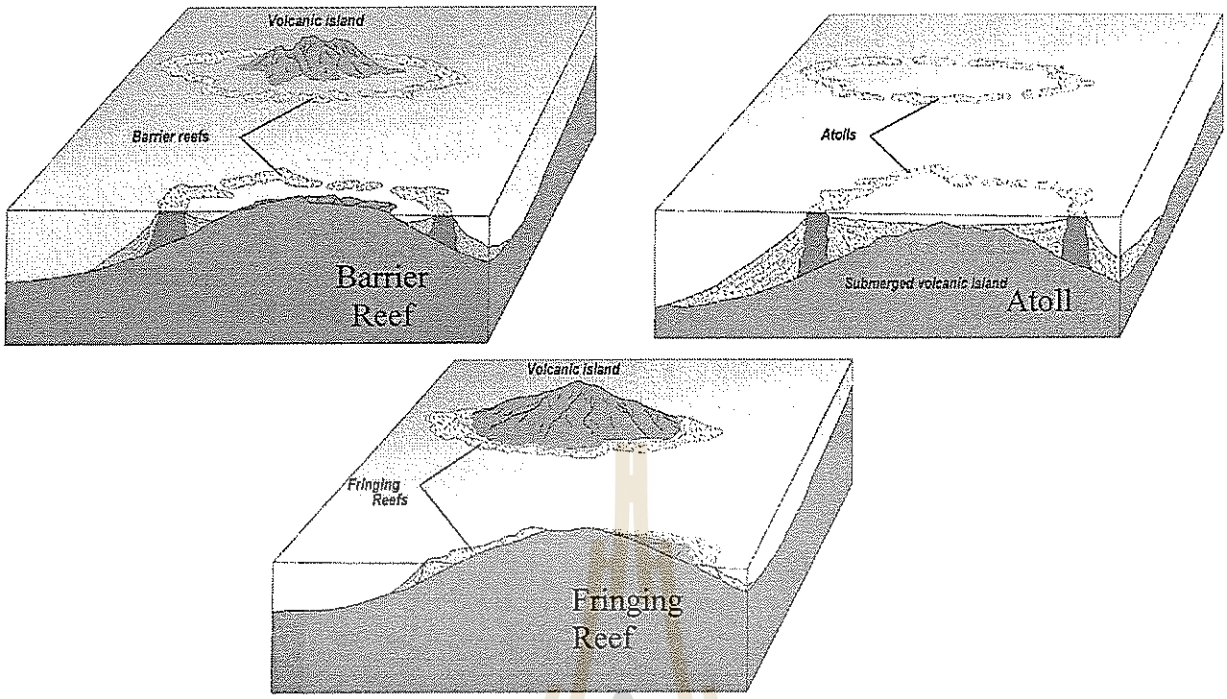
รูปที่ 4.11 แสดงการกระจายตัวของแนวปะการังทั่วโลก ซึ่งส่วนใหญ่พบในเขตอบอุ่นที่อุณภูมิสูงกว่า 20 ° C (จาก https://www.denix.osd.mil)

4.6.2 ชนิดของแนวปะการัง (Type of coral reef)

แนวปะการังที่พบมากในทะเลและมหาสมุทรได้แก่ แนวปะการังชายฝั่ง แนวปะการังสันดอน และแนวปะการังอะทอลล์ ดังแสดงในรูปที่ 4.12

1. แนวปะการังชายฝั่ง (Fringing reef)

เป็นแนวปะการังที่มีลักษณะยื่นออกมาจากชายฝั่ง อาจเป็นพื้นแผ่นดินใหญ่หรือเกาะ แล้วเจริญลงสู่ทะเล ส่วนใหญ่พบตามแนวชายฝั่งของเกาะมากกว่าชายฝั่งแผ่นดินใหญ่ เพราะน้ำสะอาดมากกว่า ในน่านน้ำไทยพบที่เกาะต่างๆ เช่น ในทะเลอันดามัน พบที่เกาะพีพี เกาอาดัง ในอ่าวไทยพบที่ หมู่เกาะอ่างทอง เป็นต้น



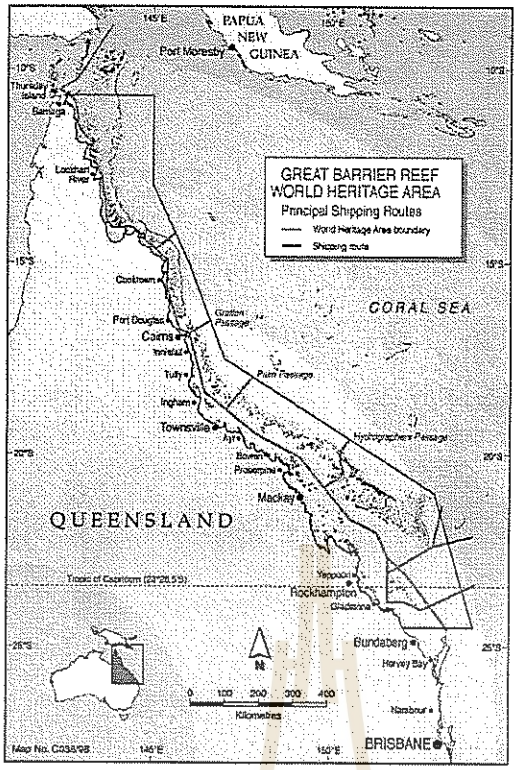
รูปที่ 4.12 ชนิดของแนวปะการัง (จากhttp://www.narragansett.k12.ri.us)

2. แนวปะการังสันดอน (Barrier Reef)

เป็นแนวปะการังที่แยกตัวออกจากแผ่นดินใหญ่ เกิดเป็นแนวยาวขนานไปกับชายฝั่งและมีร่องน้ำลึก (Lagoon) คั่นอยู่ตรงกลาง เช่น Great Barrier Reef ที่อยู่ชายฝั่งตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศออสเตรเลีย มีความยาวตลอดแนวถึง 1,300 กิโลเมตร และที่ทะเลแคริเบียน อยู่ระหว่างประเทศแม็กซิโกและประเทศกัวเตมาลา ด้านนอกที่หันออกทะเลมักเป็นด้านที่ลาดชัน มีเศษปะการังกระจายทั่วร่องน้ำลึก

3. แนวปะการังอะทอลล์ (Atoll)

เป็นเทือกเกาะปะการังที่ก่อตัวเป็นรูปวงกลม วงรีหรือรูปเกือกม้า ซึ่งงอกขึ้นมาจากทะเล มีร่องน้ำลึก หรือ lagoon อยู่ตรงกลางคล้ายทะเลสาปน้ำเค็ม ขอบนอกของแนวปะการังส่วนใหญ่งอกงามตามธรรมชาติ มักจะเกิดขอบที่ยื่นออกมาจากเศษหินปะการังที่แตกสะสมกันเป็นลาดเชิงผา (talus) พื้นความลาดที่อยู่ด้านล่างแนวปะการังแบบนี้ส่วนใหญ่พบในมหาสมุทรแปซิฟิก ซึ่งมีมากกว่า 300 แห่ง และพบบ้างเล็กน้อยในเขตมหาสมุทรแอตแลนติก บางสมมติฐานกลาวว่าแนวปะการังอะทอลล์เกิดจากแนวปะการังสันดอน ตามปรากฏการณ์ทางธรณีวิทยา



รูปที่ 4.13 แสดง Great Barrier Reef ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของออสเตรเลีย

(จาก http://www.gbrmpa.gov.au)

4.7 ป่าชายเลน (Mangrove)

ป่าชายเลนบางครั้งเรียกว่า "ป่าโกงกาง" เป็นป่าที่เกิดในบริเวณน้ำกร่อยชายฝั่งทะเลและปากแม่น้ำหรือธารน้ำต่าง ๆ เป็นป่าไม้ผลัดใบ (evergreen forest) ป่าชายเลนเปรียบเสมือนอู่ข้าวอู่น้ำของประชาชนเพราะมีคุณค่าทางเศรษฐกิจมาก ได้ประโยชน์ทั้งจากพืชและสัตว์ และความอุดมสมบูรณ์ของดิน

บางทีป่าชายเลนเกิดขึ้นในสภาพที่แตกต่างจากป่าอื่น ๆ เพราะมีสภาพแวดล้อมที่โดดเด่นเฉพาะตัว ที่สำคัญคือสภาพดินซึ่งเป็นดินเลนเกิดจากการทับถมของตะกอนบริเวณปากแม่น้ำ ป่าชายเลนมักจะเกิดในบริเวณที่มีเลนลึก มีอากาศถ่ายเทได้ดีและมีปริมาณอินทรียวัตถุมาก มวลของน้ำในบริเวณนี้เกิดจากการผสมผสานกันระหว่างน้ำจืดซึ่งมีสารอาหารมากกับน้ำเค็มซึ่งค่า salinity สูง ป่าชายเลนได้รับอิทธิพลอย่างมากจากน้ำขึ้นน้ำลงซึ่งเกิดวันละ 2 ครั้ง ทำให้สิ่งมีชีวิตในป่าชายเลนมีการปรับตัวค่อนข้างสูงเพื่อให้อยู่รอดจากสภาพแวดล้อมที่แปรปรวนตลอดเวลา

จากรายงานของ FAO (1985) ประเทศไทยมีป่าชายเลนทั้งหมดประมาณ 1,945,465 ไร่ ประมาณร้อยละ 80 อยู่ชายฝั่งอันดามัน และจาก สนิท อักษรแก้ว (2532) พบว่าป่าชายเลนในประเทศไทยซึ่งขึ้นอยู่กระจัดกระจายตามชายฝั่งทะเลภาคตะวันออก ภาคกลาง และภาคใต้ รวม 23 จังหวัดจากข้อมูลการสำรวจโดยการแปลจากภาพถ่ายดาวเทียม Landsat-5(TM) มาตราส่วน 1:50,000 เมื่อปี พ.ศ. 2539 โดยธงชัย จารุพัฒน์ พบว่าประเทศไทยมีป่าชายเลนรวมทั้งสิ้น 1,047,390 ไร่ จำแนกเป็นภาคตะวันออก 79,112.5 ไร่ ภาคกลาง 34,056.75 ไร่ และ

ภาคใต้ ฝั่งอ่าวไทย 103,570.5 ไร่ ฝั่งอันดามัน 830,650.25 ไร่ จังหวัดที่มีพื้นที่ป่าชายเลนมากที่สุดของประเทศไทยได้แก่จังหวัดพังงา 190,265.25 ไร่ รองลงมาได้แก่ สตูล 183,402.00 ไร่ และกระบี่ 176,709.25 ไร่

4.7.1 ชนิดของป่าชายเลน

ป่าชายเลนแบ่งออกเป็น 4 ประเภท โดยใช้ลักษณะของพื้นที่และการท่วมถึงของน้ำทะเล ได้ดังนี้

1. ป่าชายเลนน้ำจืด (Basin forest) เป็นป่าชายเลนที่เกิดอยู่ติดกับแผ่นดินใหญ่หรือปากแม่น้ำลำธารขนาดเล็ก ส่วนใหญ่ได้รับอิทธิพลจากกน้ำจืด จะได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเลต่อเมื่อน้ำทะเลขึ้นสูงที่สุดในรอบปีเท่านั้น พรรณไม้ที่พบจะเป็นพุ่มเตี้ย ๆ พวกการฝากและเถาวัลย์

2. ป่าชายเลนปากแม่น้ำ (Riverine forest) เป็นป่าชายเลนที่อยู่ติดกับแผ่นดินใหญ่ ปากแม่น้ำขนาดใหญ่ มีความอุดมสมบูรณ์ของดินดีมาก เป็นป่าที่มีบริเวณกว้างเป็นที่มีความเหมาะสมแก่การดำรงชีวิตของพืชและสัตว์ ป่าชายเลนนี้ได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเลอย่างเต็มที่เพราะน้ำท่วมถึงทุกวัน

3. ป่าชายเลนชายฝั่ง (Fringe forest) เป็นป่าชายเลนที่เกิดขึ้นตามชายฝั่งติดแผ่นดินใหญ่ หรือชายฝั่งของเกาะขนาดใหญ่ จึงได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเลอย่างสม่ำเสมอ ภูมิประเทศในป่าแถบนี้มักเป็นที่สูงชัน พืชและสัตว์ปรับตัวให้ต่อสู้กับกระแสน้ำกระแสลมได้ดี มักพบไม้ขนาดใหญ่และสัตว์ที่เกาะนิ่งกับวัตถุใต้น้ำ

4. ป่าชายเลนริมเกาะ (Overwash forest) เป็นป่าชายเลนที่เกิดอยู่ริมฝั่งของเกาะขนาดเล็ก มักได้รับอิทธิพลของน้ำทะเลไม่สม่ำเสมอ นอกจากช่วงที่น้ำขึ้นเต็มที่เท่านั้น พืชขึ้นส่วนใหญ่เป็นไม้พุ่ม

ป่าชายเลนในประเทศไทยมีหลายแบบ ทั้งนี้ขึ้นกับบริเวณที่พบ แต่โดยทั่วไปมีลักษณะคล้ายกัน คือ มีการกระจายของพรรณไม้ในแนวนอน (Zonation pattern) ดังนี้

1. เขตป่าโกงกาง จะมีระยะประมาณ 100 เมตรจากชายฝั่ง มีพรรณมีไม้ที่เด่น คือ โกงกาง แสมและลำพู โดยมีโกงกางใบเล็กขึ้นหนาแน่นตามชายฝั่งมีแสมดำขึ้นแซมในระยะไกลออกไป ซึ่งมีลักษณะต้นสูงเห็นได้ชัดเจน โกงกางจะมีลักษณะเด่นคือ โครงสร้างของรากค้ำจุนตามโคนลำต้นเหมือนมีไม้ค้ำลำต้นไว้

2. เขตป่าตะปูนและโปรง ต่อจากเขตที่หนึ่งจะพบต้นตะปูนแต่ขึ้นไม่หนาแน่นนัก ทั้งนี้เพราะตะปูนมีระบบรากที่แผ่รัศมีเป็นวงกว้าง มีโปรงขึ้นหนาแน่น อาจพบหงอนไก่และเหงือกปลาหมอขึ้นปะปนบ้างตามพื้นล่าง เขตนี้มีระยะประมาณ 50 เมตรต่อจากเขตแรก

3. เขตป่าตาตุ่มและฝาด เขตนี้มีต้นตาตุ่มและฝาด อาจมีต้นลำแพนขึ้นปะปนบ้าง เขตนี้ไม่กว้างนักเพราะดินไม่อุดมสมบูรณ์ อาจมีต้นโพธิ์ทะเลขึ้นปน

4. เขตป่าเสม็ด เป็นเขตเชื่อมต่อ (Ecotone) ระหว่างป่าชายเลนกับบริเวณอื่น อาจเป็นทุ่งหญ้า ป่าปก หรือป่าพรุก็ได้ จะมีต้นเสม็ดขึ้นอย่างหนาแน่น มีระยะกว้างไม่แน่นอน

4.7.2 พรรณไม้ป่าชายเลนที่ควรรู้จัก

1. Family Rhizophoraceae

- *Rhizophora* spp. (สกุลไม้โกงกาง)

โกงกางใบเล็ก (*Rhizophora apiculata*) ช่อดอกมี 2 ดอกใบประดับเชื่อมติดกันตลอดคล้ายรูปถ้วย กลีบดอกไม่มีขน

โกงกางใบใหญ่ (*Rhizophora macronata*) ช่อมักจะมี 3-5 ดอก ใบประกอบเชื่อมติดกันที่ฐานส่วนบนแยกออกจากกันเป็น 1 กลีบใหญ่ กลีบดอกมีขนปกคลุม

- *Bruguiera* spp. (สกุลไม้ประสัก)

พังกาหัวสุม ดอกออกเดี่ยวๆ มีสีแดงหรือชมพูปนแดง ปลายแฉกของกลีบดอกแหลม

ถั่วดำ ดอกออกบนช่อกระจุก (*cyme*) แฉกของกลีบรองกลีบดอกเหยียดตรงหรือ แผ่แบนออก

ถั่วขาว ดอกออกบนช่อกระจุก (*cyme*) แฉกของกลีบรองกลีบดอกมักจะพับตลบไปด้านหลัง

- *Ceriops* spp. (สกุลไม้โปรง)

โปรงแดง (*Ceriops tagal*) กลีบดอกมีรยางค์รูปทรงกระบอง 3 อันที่ปลายกลีบปลายยอดอับเรณู แขวนห้อยบนกิ่งในแนวดิ่งส่งปลายลงสู่พื้นราบ

โปรงขาว (*Ceriops decanda*) กลีบดอกไม่มีรยางค์ ปลายยอดอับเรณูแหลมเป็นติ่ง ติดอยู่บนกิ่งโดยส่งปลายไปในระดับและทิศทางต่างๆ กัน

2. Family Verbenaceae

- *Avicennia* spp. (สกุลไม้แสม)

แสมขาว (*Avicennia alba*) ผลรูปไข่ ปลายเป็นจะงอย ใบเป็นรูปหอกรีๆ ปลายใบแหลม โคนใบทู่ ท้องใบมีสีขาว

แสมดำ (*Avicennia officinalis*) ผลรูปไข่ ปลายเป็นจะงอยใบเป็นรูปไข่กลับ ป้อม ปลายใบมนป้าน ท้องใบสีน้ำตาลอ่อนหรือแก่

3. Family Sonneratiaceae

- *Sonneratia* spp. (สกุลไม้ลำพู ลำแพน)

ลำแพน กลีบรองกลีบดอก มีลักษณะคล้ายรูปถ้วย ผิวนอกมีสันนูนชัดเจน ใบเป็นรูปโลห์ ปลายใบมนป้าน แฉกของกลีบรองกลีบดอกจะไม่พับตลบไปด้านหลัง ไม่มีกลีบดอก

ลำพู (*Sonneratia cascolaris*) กลีบรองกลีบดอก มีลักษณะแบนคล้ายรูปถาด ผิวนอกอาจมีสันนูนรางๆ ใบมนแกมรูปขอบขนาน โคนใบสอบ

4. Family Meliaceae

- *Xylocarpus* spp. (สกุลไม้ตะบูน)

ตะบูนขาว (*Xylocarpus gangeticus*) เปลือกสีน้ำตาลอ่อนล่อนเป็นสะเก็ด ใบรูปไข่กลับ ปลายใบมนป้าน

ตะบูนดำ (*Xylocarpus moluccensis*) เปลือกสีน้ำตาลคล้ำเป็นร่องลึกปลายใบแหลม โคนใบกลมหรือมน

5. Family Acanthaceae

- *Acanthus* spp. (สกุลเหงือกปลาหมอ)

สกุลเหงือกปลาหมอดอกสีฟ้า ดอกสีฟ้าอมม่วงมีแถบสีเหลืองตรงกลางกลีบดอก มีใบประดับ 2 ใบรองรับดอกเสมอ

สกุลเหงือกปลาหมอดอกสีขาว ดอกมีสีขาวแต่ตรงกลางดอกเป็นสีเหลือง ผลทรงกลม

6. Family Euphorbiaceae

- *Excoecaria*

ตาตุ่มทะเล (*Excoecaria agallocha*) เปลือกมีน้ำเลี้ยงสีขาวหรือสีขาวอมเหลืองดนกเป็นแบบ Spike ไม่มีก้านดอก ไม่มีกลีบดอก ผลเล็ก

7. Family Palmae

- *Nypa*

จาก (*Nypa fruticus*) เป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว มีใบเดี่ยว เป็นพืชจำพวกปาล์มที่ไม่มีลำต้น

4.7.3 สัตว์ป่าชายเลน

ป่าชายเลนเป็นแหล่งที่อุดมสมบูรณ์ด้วยสัตว์นานาชนิด ทั้งที่เป็นสัตว์น้ำและสัตว์ชนิดอื่น ๆ เช่น กุ้ง หอย ปู ปลา ที่เป็นสัตว์สำคัญทางเศรษฐกิจ เช่น กุ้งแชบ๊วย (*Penaeus merguiensis*) กุ้งกุลาดำ กุ้งดีดขัน (*Alpheus* sp.) กุ้งตะกาด (*Metapenaeus ensis*) กั้งตั๊กแตน (*Cloridopsis scopio*) เคย ปลากระบอก ปลากะพง ปลาทู ปูแสมหิน (*Metapograsus latifons*) ปูจาก (*Varuna litterata*) ปูแสม (*Sesarma* spp.) ปูตัวแบน (*Petrolisthes* sp.) ปูทะเล ปูก้ามดาบ (*Uca* sp.) หอยแครง หอยแมลงภู่ หอยกระพง หอยขี้กา สัตว์ชนิดอื่น ๆ เช่น นกยาง นกตีนเทียน ปลาตีน สัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนม เช่น ค้างคาว ลิงลม ลิงแสม เสือปลา ส่วนสัตว์เลื้อยคลาน เช่น ตะกวดและเต่า เป็นต้น

4.7.4 ความสำคัญของป่าชายเลน

ป่าชายเลนเป็นแหล่งที่ทำให้เกิดระบบนิเวศที่มีคุณค่าสูงและมีความสำคัญต่อมนุษย์หลายรูปแบบ ที่เห็นได้ชัดคือ การใช้ประโยชน์จากไม้จากป่าชายเลน เพื่อการเผาถ่าน ต้นไม้ในป่าชายเลนปลูกง่ายโตเร็ว ความสำคัญของป่าชายเลนพอสรุปได้ดังนี้

1. ทำหน้าที่เสมือนเขื่อนป้องกันคลื่นลมจากทะเล ช่วยกันความรุนแรงของพายุ ตลอดจนสกัดกั้นไม่ให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ และระบบนิเวศที่อยู่ถัดเข้ามาในแผ่นดิน

2. ทำหน้าที่ดักกรองสารปฏิกูลและสารมลพิษต่าง ๆ จากบนบกไม่ให้ไหลลงสู่ทะเล โลหะหนักเมื่อถูกพัดพามาตามกระแสน้ำก็จะตก ตะกอนที่บริเวณดินเลนปากแม่น้ำ

3. ช่วยบรรเทาความเร็วของกระแสน้ำ ทำให้ตะกอนดินที่พัดพามากับกระแสน้ำตกตะกอนทับถม เกิดแผ่นดินงอกขึ้น

4. เป็นที่อยู่อาศัย วางไข่ หาอาหาร และเป็นแหล่งอนุบาล แหล่งเจริญเติบโตของสัตว์น้ำวัยอ่อนหลายชนิด โดยเฉพาะสัตว์น้ำเศรษฐกิจ เช่น ปูทะเล กุ้ง ปลากระบอก ฯลฯ

5. เป็นแหล่งยังชีพของประชาชนที่อาศัยอยู่ตามชายฝั่งทะเล เอื้ออำนวยปัจจัยในการดำรงชีพหลายประการ เช่น หลักไม้สำหรับใช้ทำอุปกรณ์จับสัตว์น้ำ เปลือกไม้บางชนิดใช้ย้อมแหและอวนให้ดงทน ผล

ใช้รับประทาน ใบจากใช้มวนยาสูบและมุงหลังคา พืชบางชนิดเป็นยารักษาโรค เช่น เหงือกปลาหมอ ตาตุ่ม นอกจากนั้นยังมีการประกอบอาชีพประมงชายฝั่ง โดยการจับสัตว์น้ำในป่าชายเลนอีกด้วย

6. ต้นไม้ของป่าชายเลนมีประโยชน์ใช้ทำเป็นไม้ฟืน ไม้เสาเข็ม ไม้ค้ำยัน ไม้ก่อสร้าง แพปลา อุปกรณ์การประมง และเฟอร์นิเจอร์ นอกจากนี้ไม้บางชนิดยังเป็นวัตถุดิบใช้เผาถ่าน เช่น ไม้โกงกาง

7. เป็นสถานที่ท่องเที่ยวสำคัญ เนื่องจากมีลักษณะพิเศษหลายอย่าง เป็นต้นว่า มีบรรยากาศร่มรื่น มีใบ ดอก ผลสวยงาม เป็นที่อยู่อาศัยของสัตว์ชนิดต่าง ๆ บางชนิดมีสีสันสวยงาม เช่น ปูก้ามดาบ กุ้งดีดขัน ป่าชายเลนของจังหวัดสมุทรสงคราม บริเวณดอนหอยหลอดได้รับความสนใจจากนักท่องเที่ยว สร้างรายได้ให้กับท้องถิ่นทั้งทางตรงและทางอ้อม นับเป็นมรดกทางธรรมชาติที่สำคัญของจังหวัด

4.8 บรรณานุกรม

http://www.mapquest.com/atlas/?region=oceans

http://www.physicalgeography.net/fundamentals/images/trenches.gif

http://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/caribbean/images/Atlantic+trench.JPG

http://www.bigelow.org/virtual/salinity.gif,

http://www.onr.navy.mil/focus/ocean/motion/waves1.htm,

http://www.esru.strath.ac.uk/EandE/Web_sites/03-04/marine/res_resourcebkd.htm,

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี