บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากกรอบแนวการวิจัยเรื่อง การปรุงแต่งสภาวะน่าสบาย โดยอาศัยอิทธิพลจากผิวสัมผัสดิน จำเป็นต้องเข้าใจถึงทฤษฎีต่าง ๆ และตัวแปรที่เกี่ยวข้อง เพื่อที่จะสามารถดำเนินการสร้างระเบียบวิจัยที่ถูกต้องและครอบคลุมตัวแปรได้ครบถ้วย ในขั้นตอนการทดลอง

โดยได้วางขั้นตอนในการศึกษาและทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

- ทฤษฎีและตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสภาวะน่าสบาย
- การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารและคุณสมบัติของวัสดุที่เกี่ยวข้อง
- ลักษณะทางกายภาพของดิน และตัวแปรที่ส่งผลต่ออุณหภูมิดิน
- แนวทางการใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิดิน เพื่อปรุงแต่งสภาวะน่าสบายภายในอาคาร

2.1 สภาวะน่าสบาย

เปลือกอาคารและห้องที่เราอยู่อาศัย เป็นตัวแปรหนึ่งซึ่งสามารถส่งเสริมให้สภาพแวดล้อมภายในอาคารอยู่ในสภาวะน่าสบาย (Thermal Comfort) เปลือกของอาคารเปรียบเสมือนตัวกลาง (Transition Space) ระหว่างสภาพแวดล้อมภายนอกกับภายในอาคาร

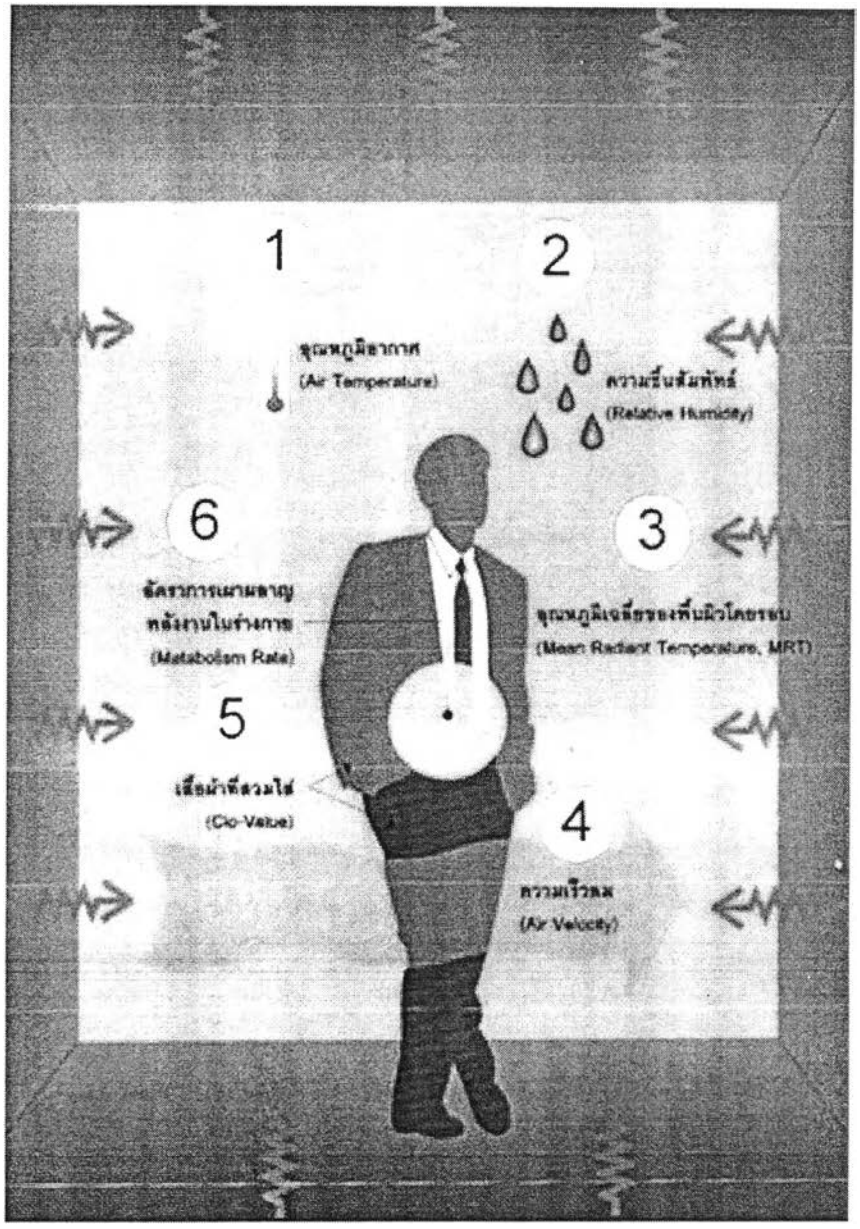
P.O Famger บุคคลซึ่งได้รับการยกย่องว่าเป็นผู้ริเริ่มงานงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสภาวะน่าสบาย (Thermal Comfort) ได้สร้างสมการแห่งความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่มีอิทธิพลกับสภาวะน่าสบายของมนุษย์ขึ้น ซึ่งประกอบด้วย 6 ตัวแปร โดยแบ่งออกเป็นตัวแปรด้านสภาพแวดล้อม ซึ่งเป็นสิ่งที่เกี่ยวข้องกับงานสถาปัตยกรรม 4 ตัวแปร และตัวแปรด้านบุคคล 2 ตัวแปร ดังนี้

ตัวแปรด้านสภาพแวดล้อม

1. อุณหภูมิอากาศ (Air Temperature)
2. ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)
3. อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Mean Radiant Temperature)
4. ความเร็วลม (Air Velocity)

ตัวแปรด้านบุคคล

5. เสื้อผ้าสวมใส่ (Clo-Value)
6. อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย (Metabolism Rate)



ภาพที่ 2 – 1 แสดงตัวแปรที่มีผลต่อสภาวะน่าสบาย

ที่มา : สุนทร บุญญาธิการ . การออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า . (กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย . 2542.)} หน้า 2.

2.1.1 **อุณหภูมิอากาศ** (Air Temperature)

เป็นตัวแปรหลักในการบ่งบอกถึง สภาวะน่าสบาย (Thermal Comfort) โดยช่วงอุณหภูมิอากาศที่มนุษย์รู้สึกสบาย อยู่ที่ประมาณ 22 – 27 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ต่ำกว่าหรือสูงกว่าช่วงนี้ จำเป็นต้องทำความร้อนหรือทำความเย็น เพื่อช่วยปรับให้เข้าสู่เขตความสบาย ทั้งจากอุณหภูมิผิวโดยรอบ ความชื้นสัมพันธ์ และความเร็วลม

2.1.2 **ความชื้นสัมพัทธ์** (Relative Humidity)

ความชื้นสัมพันธ์ (Relative Humidity) หมายถึง สัดส่วนของความชื้นในอากาศเมื่อเทียบกับปริมาณสูงสุดที่อากาศสามารถมีความชื้นได้ โดยปราศจากการกลั่นตัวเองเป็นหยดน้ำ (Condensation) ความชื้นเมื่อเทียบแล้วมีความสำคัญน้อยในสภาพอากาศที่เย็น เนื่องจากการสูญเสียความร้อนโดยการนำ การพา และการแผ่รังสีจะมีผลมาก แต่ความชื้นจะมีผลมากในสภาพอากาศที่ร้อน โดยการสูญเสียความร้อนโดยการระเหยของเหงื่อ ความชื้นสัมพัทธ์ที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมใน Thermal Comfort คือระหว่าง 20-80 เปอร์เซ็นต์

2.1.3 **อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ** (Mean Radiant Temperature)

อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ หรือ MRT เป็นการวัดค่าถ่วงเฉลี่ยของรังสีความร้อนที่มีอิทธิพลต่อสภาพแวดล้อมนั้น ๆ ซึ่งรวมถึงแสงแดดโดยตรงด้วย MRT นั้นสามารถคำนวณจากอุณหภูมิพื้นผิวของด้านต่าง ๆ ในห้อง และตำแหน่งที่วัด MRT นั้น โดยใช้มุมกระทำ (Solid Angle) ที่เกิดขึ้นระหว่างตำแหน่งที่วัดและขอบเขตของแต่ละพื้นผิวโดยหาค่าเฉลี่ยออกมา

MRT มีอิทธิพลต่อ Thermal Comfort มากกว่าอุณหภูมิอากาศถึง 40 เปอร์เซ็นต์ กล่าวคือ ถ้าอุณหภูมิอากาศสูงขึ้น 1.4 องศาเซลเซียส และ MRT ลดลง 1 องศาเซลเซียส ความรู้สึกร้อนหนาวยังคงเหมือนเดิม และเช่นเดียวกันในทางกลับกัน ในห้องที่มีอุณหภูมิอากาศ 26 องศาเซลเซียส แต่ MRT สูง 32 องศาเซลเซียส ผู้ที่อยู่ในห้องนั้นก็ยังรู้สึกร้อนอยู่

การคำนวณหา MRT (Mean Radiant Temperature)

1. การคำนวณ MRT จากอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิ Globe

มีเครื่องมือหลายชนิดที่สามารถวัด MRT ได้ ซึ่ง Globe Temperature เป็นเครื่องมือที่นิยมใช้ในการวัดชนิดหนึ่ง โดย MRT ที่ได้จาก Globe Thermometer จะต้องนำมาคำนวณหา MRT โดยใช้ร่วมกับ อุณหภูมิอากาศ และความเร็วลม เพื่อการคำนวณอุณหภูมิการแผ่รังสีความร้อน (MRT หรือ Mean Radian Temperature) โดยปกติ Globe มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร แต่ในทางทฤษฎี ยิ่งเส้นผ่าศูนย์กลางมากเท่าไร อุณหภูมิที่วัดได้ก็จะมีความแม่นยำขึ้น เพราะ Convective Heat Transfer Coeffcient จะต่ำกว่า

$$\bar{t}_r = \sqrt[4]{(t_g + 273)4 + \frac{h_{cg}}{h_r}(t_g - t_a) - 273}$$

โดยที่

$$H_r = \in\sigma = 0.95*5.67 * 10^{-8} = 5.83*10^{-8}$$

$$Hcg = \max_of \begin{cases} \dfrac{6.3 * (V_a)^{0.6}}{D^{0.4}} & \text{Force convection} \\ 1.4 * \left\{ \dfrac{|t_g - t_a|}{D} \right\}^{0.25} & \text{Free convection} \end{cases}$$

2. การคำนวณ MRTจากการประมาณค่าจาก Plane Radiant Temperature

สำหรับคนนั่ง มีสมการคือ

$$t_r = \frac{0.18\,(t_{pr}(up) + t_{pr}(down)) + 0.22(t_{pr}(right) + t_{pr}(left)) + 0.30(t_{pr}(front) + t_{pr}(back))}{2\,(0.18 + 0.22 + 0.30)}$$

สำหรับคนยืน มีสมการคือ

$$t_r = \frac{0.08\,(t_{pr}(up) + t_{pr}(down)) + 0.23(t_{pr}(right) + t_{pr}(left)) + 0.35(t_{pr}(front) + t_{pr}(back))}{2\,(0.08 + 0.23 + 0.35)}$$

3. การคำนวณ MRT จากการประมาณค่าจากพื้นที่ผิว และอุณหภูมิผิว

$$t_r = \frac{t_{s1}A_1 + t_{s2}A_2 + t_{s3}A_3 + \ldots + t_{sn}A_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \ldots + A_n}$$

2.1.4 **ความเร็วลม** (Air Velocity)

ลมเป็นตัวแปรหนึ่งที่ช่วยในการขยายเขตความสบาย เนื่องจากเมื่อความเร็วลมพัดผ่านผิวกายมนุษย์ จะช่วยพัดพาความร้อนรอบตัวออกไปทำให้รู้สึกเย็นขึ้น นอกจากนั้นยังพัดเอาความชื้นบริเวณผิวกายซึ่งช่วยให้เพิ่มการระเหยของเหงื่อ เป็นผลให้ร่างกายสูญเสียความร้อนได้ดีขึ้น ดังนั้นความเร็วลมที่เหมาะสมเป็นสิ่งสำคัญ หากความเร็วลมน้อยเกินไปผู้ที่อยู่อาศัยจะรู้สึกร้อน อึดอัด แต่หากความเร็วลมมากเกินไปก็จะทำให้รู้สึกรำคาญหรือรบกวนการทำงาน หรือการประกอบกิจกรรมต่าง ๆ ได้

2.1.5 เสื้อผ้าที่สวมใส่ (Clo-Value)

เสื้อผ้าที่สวมใส่นั้น ทำหน้าที่เสมือนชั้นของฉนวน และมีผลอย่างมากในการถ่ายเทความร้อนของร่างกายไปสู่สภาพแวดล้อมโดยรอบ ทั้งทาง Radiation ,Convection, Conduction หรือ Evaporation ในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิพื้นผิวรอบตัวสูง ผู้ที่สวมใส่เสื้อผ้าที่หนาหลายชั้นรู้สึกร้อน เนื่องจากการถ่ายเทความร้อนส่วนเกินออกจากร่างกายช้าและลำบาก คนไทยโบราณนั้นสวมเสื้อผ้าที่บางและไม่หุ้มทั้งตัว ทั้งนี้เพื่อการปรับตัวให้เข้ากับสภาพอากาศที่ร้อน ร่างกายจะได้ถ่ายเทความร้อนออกจากตัวได้ดี

2.1.6 อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย (Metabolism Rate)

ร่างกายของมนุษย์นั้น จะผลิตความร้อนออกมาตลอดและต่อเนื่อง ในกิจกรรมประจำวันของมนุษย์ เช่น การนอน การนั่น การเดิน หรือการออกกำลังกาย ความต้องการพลังงานของร่างกายมนุษย์นั้นได้มาจากการบริโภคและย่อยอาหาร เครื่องดื่ม ที่เราได้รับประทานเข้าไป ขบวนการในการเปลี่ยนแปลงอาคารและเครื่องดื่ม ที่บริโภคเข้าไปให้เป็นพลังงานสำหรับร่างการเรานั้น เรียกว่า Metabolism

อัตราความร้อนที่มนุษย์ผลิตออกมานั้นส่วนมาก ขึ้นอยู่กับระดับของกิจกรรมของร่างกายและชนิดของอาหารที่บริโภค และบางส่วนก็ขึ้นอยู่กับสถานที่ที่มนุษย์อยู่ ความร้อนที่มนุษย์ผลิตออกมามีหน่วยวัดเป็น Metabolic หรือ หน่วย Met ซึ่ง หนึ่ง Met จะเท่ากับ 58.2 w/m^2 หรือ 18.4 $Btu/h\ ft^2$ ในลักษณะที่คนเรานั่งพัก พลังงานที่ผลิตขึ้นมาต่อหน่วยพื้นที่โดยเฉลี่ยสำหรับผู้ใหญ่ทั่วไปประมาณ 117 W หรือ 400 Btu/h

2.2 การถ่ายเทความร้อน

รูปแบบการถ่ายเทความร้อนสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท ซึ่งแตกต่างกันที่ตัวกลางที่ใช้ในการถ่ายเทดังนี้

1. **การนำความร้อน** (Conduction) คือการถ่ายเทความร้อนระหว่างโมเลกุล อาจเป็นโมเลกุลที่อยู่ในสสารเดียวกันหรือระหว่างสสาร 2 ชนิด การนำความร้อนจะเกิดขึ้นเมื่อโมเลกุลที่มีอุณหภูมิสูงกว่าเกิดการสั่นสะเทือน และถ่ายเท พลังงานไปสู่โมเลกุลที่มีอุณหภูมิต่ำว่าโดยตัวกลางไม่มีการเคลื่อนที่ สิ่งที่มีผลต่อการนำความร้อนมีดังนี้

   - สสารที่เป็นตัวนำความร้อน
   - ความหนาแน่นของตัวนำความร้อน(Density)
   - ความชื้นที่มีอยู่ในสสาร(Moisture Content)
   - ระดับความแตกต่างของอุณหภูมิ

2. **การพาความความร้อน** (Convection) คือ การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในของเหลวหรือก๊าซ ซึ่งเรียกโดยรวมว่าของไหล เมื่อของไหลถูกทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นจะเกิดการเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งด้วยแรงธรรมชาติหรือแรงจากเครื่องกลซึ่งโมเลกุลที่หนักและมีอุณหภูมิต่ำกว่าจะตกลงสู่ที่ต่ำ ส่วนโมเลกุลที่เบาและมีอุณหภูมิสูงกว่าจะลอยตัวสูงขึ้น ปรากฏการณ์เช่นนี้ทำให้เกิดการไหลเวียนของความร้อน

3. **การแผ่รังสีความร้อน** (Radiation) คือการถ่ายเทรังสีความร้อนโดยไม่อาศัยตัวกลาง โดยรังสีจะเดินทางผ่านบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Waves) ไปยังที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า รังสีความร้อนสามารถถูกสกัดกั้นโดยการใช้วัสดุที่มีผิวมันเงา วัสดุต่างชนิดกันจะมีค่าการดูดซับและการสะท้อนรังสีแตกต่างกันเมื่อวัสดุหนึ่งมีค่าการดูดซับมากจะมีค่าการสะท้อนรังสีต่ำ

โดยปกติวัสดุจะมีคุณสมบัติด้านการกระทำความร้อน ดังนี้ (สมสิทธิ์ นิตยะ, 2541:134)

- ความสามารถในการดูดซับรังสีความร้อน α (Absorbtivity) คือคุณสมบัติผิวและเนื้อของวัสดุที่กักเก็บความร้อนไว้

- ความสามารถในการสะท้อนรังสีความร้อน ρ (Reflectivity) คือคุณสมบัติที่ผิวของวัสดุที่สามารถสะท้อนรังสีความร้อนกลับออกไปได้เมื่อรังสีมากระทบกับวัสดุ
- ความสามารถในการแผ่รังสีความร้อน ε (Emissivity) คือคุณสมบัติที่วัสดุสามารถกักเก็บความร้อนไว้แล้วแผ่รังสีกลับออกมากระทบกับวัสดุ หรือเรียกว่า Re-Radiation
- ความสามารถในการส่งผ่านรังสีความร้อน τ (Transmissivity) คือคุณสมบัติของวัสดุที่สามารถถ่ายเทความร้อนผ่านจากด้านหนึ่งไปยังอีกด้านหนึ่งได้

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนรังสี ค่าการดูดซับรังสี และค่าการส่งผ่านรังสี ดังนี้

$$\rho + \alpha + \tau = 1$$

ρ = การสะท้อนรังสีจากพื้นผิว (ไม่มีหน่วย)

α = การดูดซับรังสีโดยพื้นผิว (ไม่มีหน่วย)

τ = การส่งผ่านรังสีผ่านวัสดุ (ไม่มีหน่วย)

ตารางที่ 2 - 1 แสดงค่าการสะท้อนของวัสดุ

วัสดุ	ค่า%การสะท้อน
Bare ground, dry	10-25
Bare ground, wet	8-9
Sand, dry	18-30
Sand, wet	9-18
Rock	12-15
Mold, black, wet	14
Dry grass	32
Green field	3-15
Green leaves	25-32
Dark forest	5
Desert	24-28
Brick, depend on color	23-48
Asphalt	15

ที่มา : Design With Climate, 1973. P 33

2.3 อิทธิพลของมวลสารต่อการสะสมความร้อน

นอกจากอิทธิพลของดวงอาทิตย์จะมีผลโดยตรงต่อการสะสมความร้อนให้แก่อาคารแล้ว มวลสาร (Thermal Mass) ของวัสดุถือเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้วัสดุนั้นเกิดการสะสมความร้อนและหน่วงเหนี่ยวการถ่ายเทความร้อนของวัสดุได้มากน้อยต่างกัน ในการคำนวณหาค่าการถ่ายเทความร้อนจึงทำได้ยาก ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากอิทธิพลต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อนในอาคารจริง ซึ่งมาจากหลายองค์ประกอบด้วยกัน ดังนี้[1]

- การแลกเปลี่ยนความร้อนของผิวอาคารกับสภาพแวดล้อม (Long Wave Radiation Heat Exchange) เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวอาคารกับผิววัสดุอื่นๆ ก็จะเกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้น โดยเฉพาะในรูปของการแผ่รังสี
- การถ่ายเทความร้อนของผนังให้กับอาคารโดยตรง โดยการพาความร้อน (Surface Condition) การถ่ายเทความร้อนโดยวิธีนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วของลมที่พัดผ่าน และลักษณะของพื้นที่ผิว (Surface Condition) จะมีอิทธิพลน้อยมากในกรณีที่ผนังนั้นมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ำ และอิทธิพลนี้ก็จะมีค่ามากขึ้นในกรณีที่ผนังมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูง
- ความสามารถในการดูดกลืนและกระจายความร้อน (Surface Absorption และ Surface Emission) โดยปกติแล้ว สีผิววัสดุตามธรรมชาติ ค่า Surface Emission จะค่อนข้างสูง คือประมาณ 0.8-0.9 เป็นส่วนใหญ่ นอกเสียจากว่าเป็นสีเคลือบพิเศษ (Selective Coating) อาจจะมีค่าการดูดกลืนความร้อน (Surface Absorption) ต่ำ แต่มีค่าสัมประสิทธิ์การกระจายความร้อนสูง จะทำให้ผิววัสดุเย็นกว่าปกติ ค่าการดูดกลืนความร้อนจะแปรตามความเข้มของสีผิว คือสีเข้มมากก็จะดูดกลืนความร้อนสูง

2.3.1 การหน่วงเหนี่ยวความร้อน (Time Lag)

โดยทั่วไปวัสดุที่มีมวลสารมากจะสามารถหน่วงเหนียวความร้อนไว้ได้ในระยะเวลาที่นานกว่าวัสดุที่มีมวลสารน้อย ความร้อนที่ผ่านวัสดุนั้นจะถูกสะสมอยู่ในมวลสารภายในก่อน เมื่อมวลสารภายในมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอกโดยรอบหรือสะสมจน

---

[1] สินีรัตน์ ภัทรธรรมกุล, ผลของมวลสารและสีของผนังต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร. (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิตสาขาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537), หน้า 7-10.

ถึงขีดความสามารถในการกักเก็บความร้อนแล้วปริมาณความร้อนที่เหลือจึงถ่ายเทมายังด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าของวัสดุต่อไป

2.3.2 **ความจุความร้อน** (Heat Capacity)

ค่าความจุความร้อน คือปริมาณความร้อนที่ทำให้วัสดุ 1 หน่วยปริมาตร หรือพื้นที่ผิวหนึ่งหน่วยพื้นที่ มีอุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศา มีหน่วยเป็น $Btu/ft^3\ ^oF$ ($Kcal/m^3$) วัสดุที่มีค่าความจุความร้อนสูงจะกักเก็บความร้อนไว้ได้มากทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนช้าลง ซึ่งจะมีผลทำให้อุณหภูมิที่ผิววัสดุมีค่าความร้อนแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆดังนี้

- ค่า Specific Heat Capacity ของวัสดุ
- มวลสารของวัสดุ
- ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิวัสดุและอุณหภูมิโดยรอบ

ซึ่งมีความสัมพันธ์คือ

$$\text{Heat Capacity} = \rho * S \quad \textbf{หน่วย} \quad Btu/ft^{3\,o}F$$

เมื่อ K = ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) หน่วย $Btu/h.ft.^oF^2$

ρ = ความหนาแน่น (Density) หน่วย lb/ft^3

S = ค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) หน่วย $Btu/lb.^oF$

ตารางที่ 2 - 2 แสดงการเปรียบเทียบมวลสารประเภท Low, Medium และ High Mass

Material		Specific Heat หน่วย Btu/lb. ^{o}F	Density หน่วย lb/ft^3
Low Mass	เหล็ก (Steel)	0.12	450
	อลูมิเนียม (aluminum)	0.21	171
	ไม้	0.39	35.6-41.2
Medium Mass	อิฐ (brick)	0.19	120
High Mass	คอนกรีต	0.19 – 0.24	144
	หิน (Limestone)	0.19	180

ที่มา : ASHRAE, 1997 : 24.4 – 24.7

จากตารางที่ 2 - 3 ได้แบ่งประเภทของมวลสารของวัสดุออกเป็นมวลสารน้อย มวลสารปานกลาง และมวลสารมาก เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างคอนกรีตกับอลูมิเนียม พบว่าอลูมิเนียมสามารถรับและสูญเสียความร้อนได้เร็วกว่าคอนกรีต อันมาจากสมการ

$$Q = M * S * \Delta T$$

(ที่มา : Bansal , Gerd and Grenot, 1994 : 42)

เมื่อ Q = พลังงานที่สะสมในวัสดุ (KJ หรือ Btu)

m = มวลสารของวัสดุ (Kg หรือ lb)

S = ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) หน่วย Btu/lb. ^{o}F

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงจากเดิม

เมื่อให้พลังงานความร้อนกับวัสดุเท่ากัน วัสดุที่มีมวลสารน้อยจะมีพลังงานที่สะสมในตัววัสดุน้อย ส่งผลให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลง 1 องศา รวดเร็วกว่าวัสดุที่มีมวลสารมาก

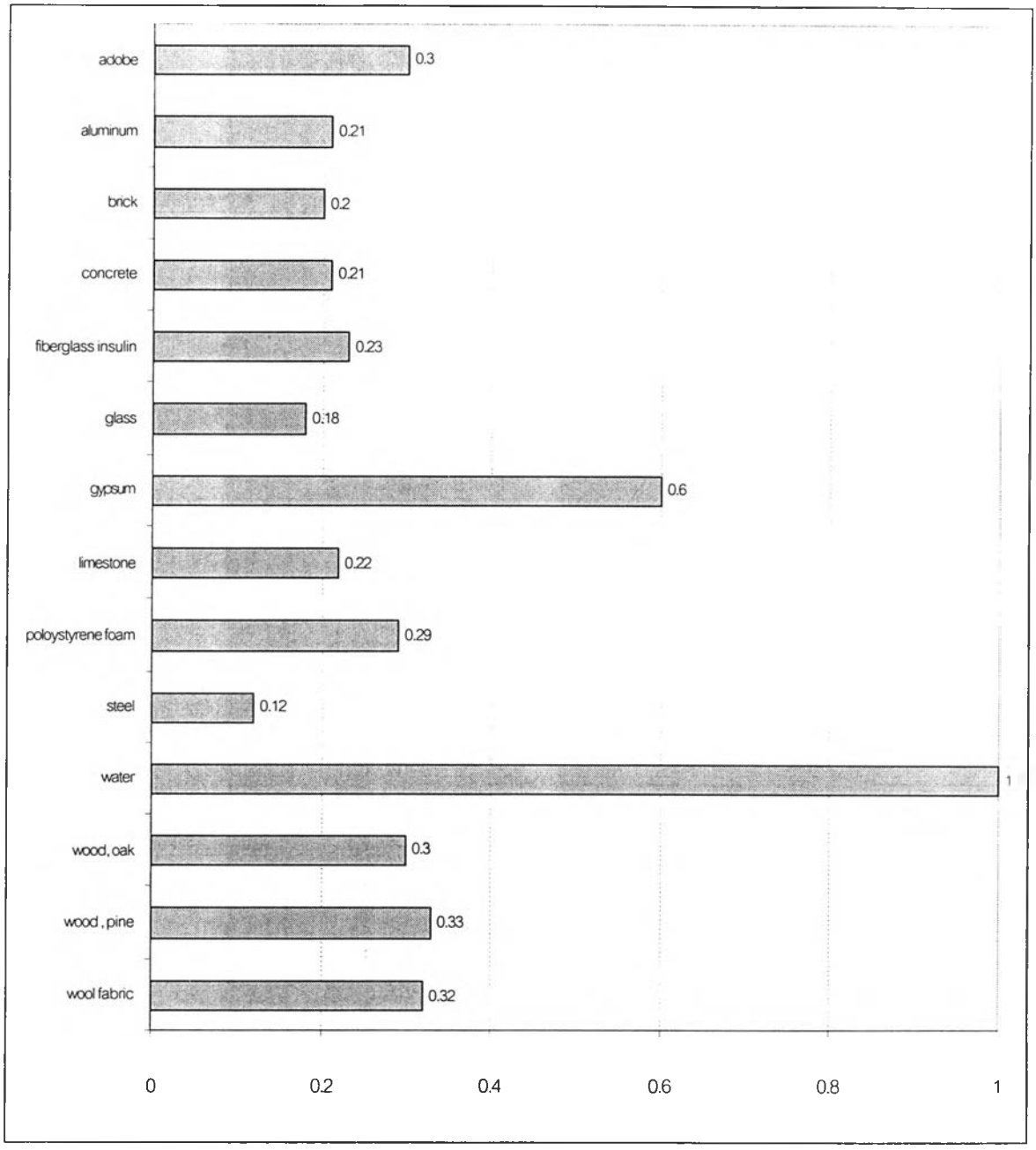
2.3.3 การคำนวณความสามารถในการกักเก็บความร้อนของวัสดุ (Thermal Storage Conductivity)[2]

เป็นค่าที่ใช้ในการคำนวณความสามารถในการกักเก็บหรือสะสมความร้อนของวัสดุ ค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) เป็นค่าพลังงานของวัสดุ 1 ลิตร ที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิทุก ๆ 1 องศาฟาเรนไฮนท์ มีหน่วยเป็น Btu/lb.^{o}F โดยน้ำจะใช้พลังงาน 1 Btu/lb ในการทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1 .^{o}F ทำให้น้ำมีค่าความร้อนจำเพาะเท่ากับ 1 และทำให้อุณหภูมิคงที่ อาคารที่ตั้งอยู่ใกล้กับแหล่งน้ำจะมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายใน 1 วันน้อยกว่าที่อื่น

โดยทั่วไปถ้าอากาศภายนอกมีอุณหภูมิคงที่ ค่าการกักเก็บความร้อนของวัสดุ (Thermal Storage) จะมีผลเพียงเล็กน้อยกับอุณหภูมิภายในอาคาร อย่างไรก็ตามอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารจะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งวัน ค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) ที่ใช้ไม่สามารถครอบคลุมถึงปริมาณความร้อนที่กักเก็บไว้ได้ จึงใช้ค่าความจุความร้อน (Heat Capacity) ที่สามารถวัดปริมาณความร้อนที่กักเก็บต่อ 1 หน่วยปริมาตรของวัสดุได้ โดยใช้ค่าความหนาแน่น (Density) มีหน่วยคือ lb/ft^{3} มาเทียบเป็นหน่วยปริมาตรวัสดุ โดยค่าความจุความร้อนมีหน่วยเป็น Btu/ft^{3} .^{o}F และนำค่าการนำความร้อน (Conductance) มาใช้เพียงให้สามารถวัดค่าการถ่ายเทความร้อนจากผิววัสดุไปภายในมวลสารได้ เรียกค่าทั้งหมดว่า Thermal Storage Capacity

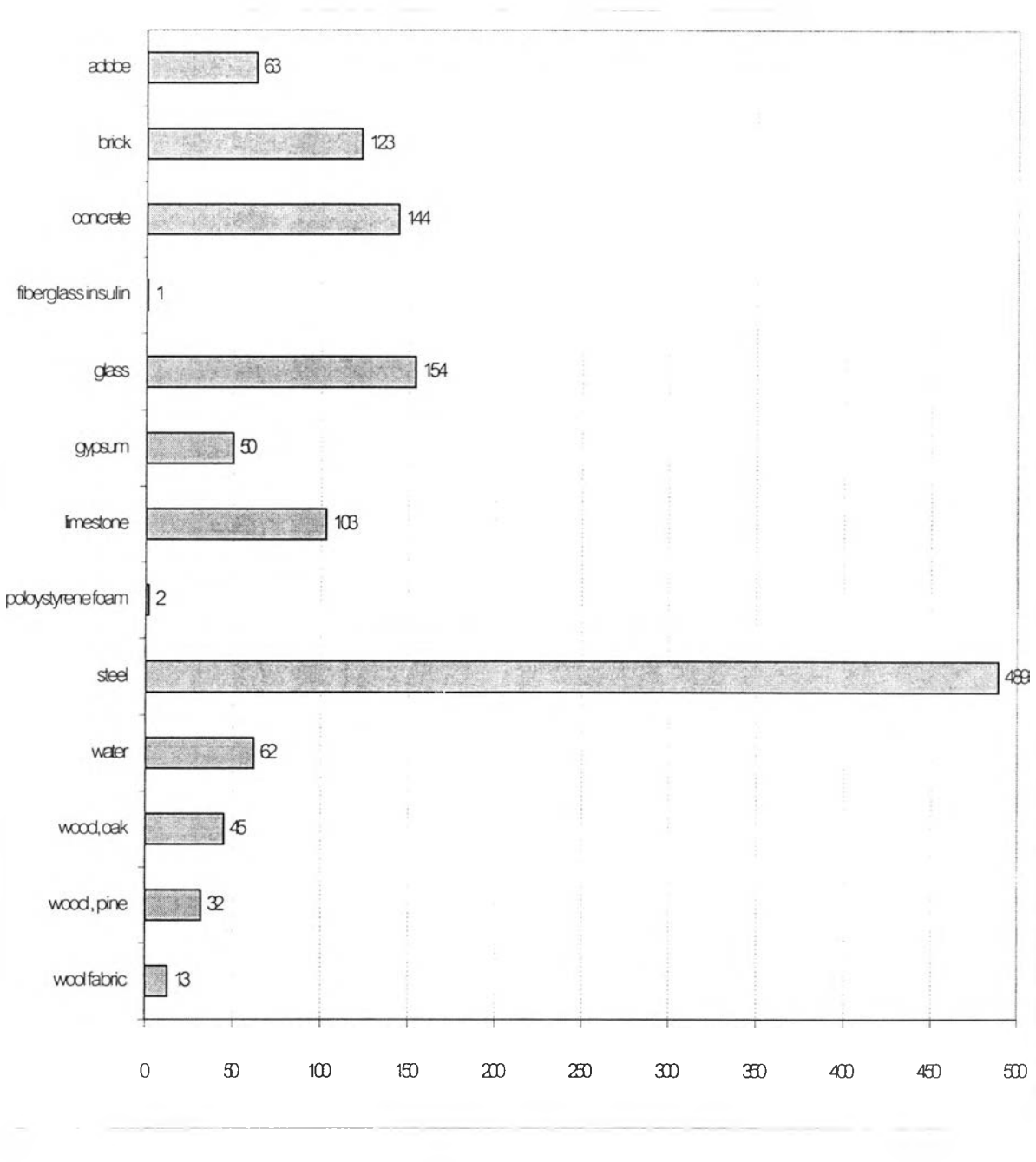
---

[2] เรียบเรียงจาก Moore, Fuller. Environmental Control System : Heating Cooling Lighting. (Singapore: Mcgraw-Hill, 1993). Pp.11-13.



แผนภูมิที่ 2 – 1 แสดงค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) ของวัสดุก่อสร้างบางชนิด

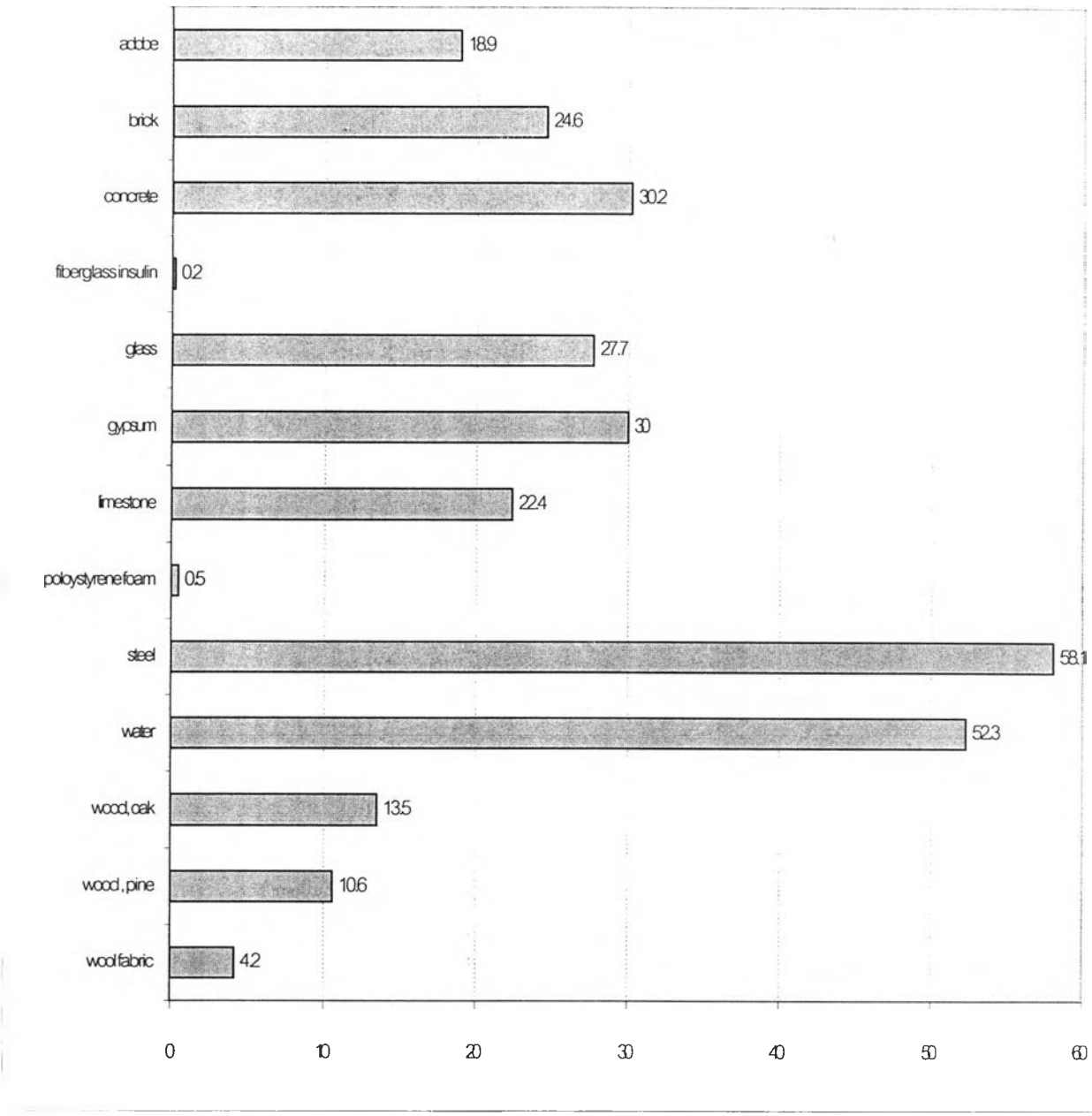
ที่มา : ดัดแปลงจาก Moore, 1993 : 11



แผนภูมิที่ 2 – 2 ค่าความหนาแน่น (Density) ของวัสดุก่อสร้างบางชนิด

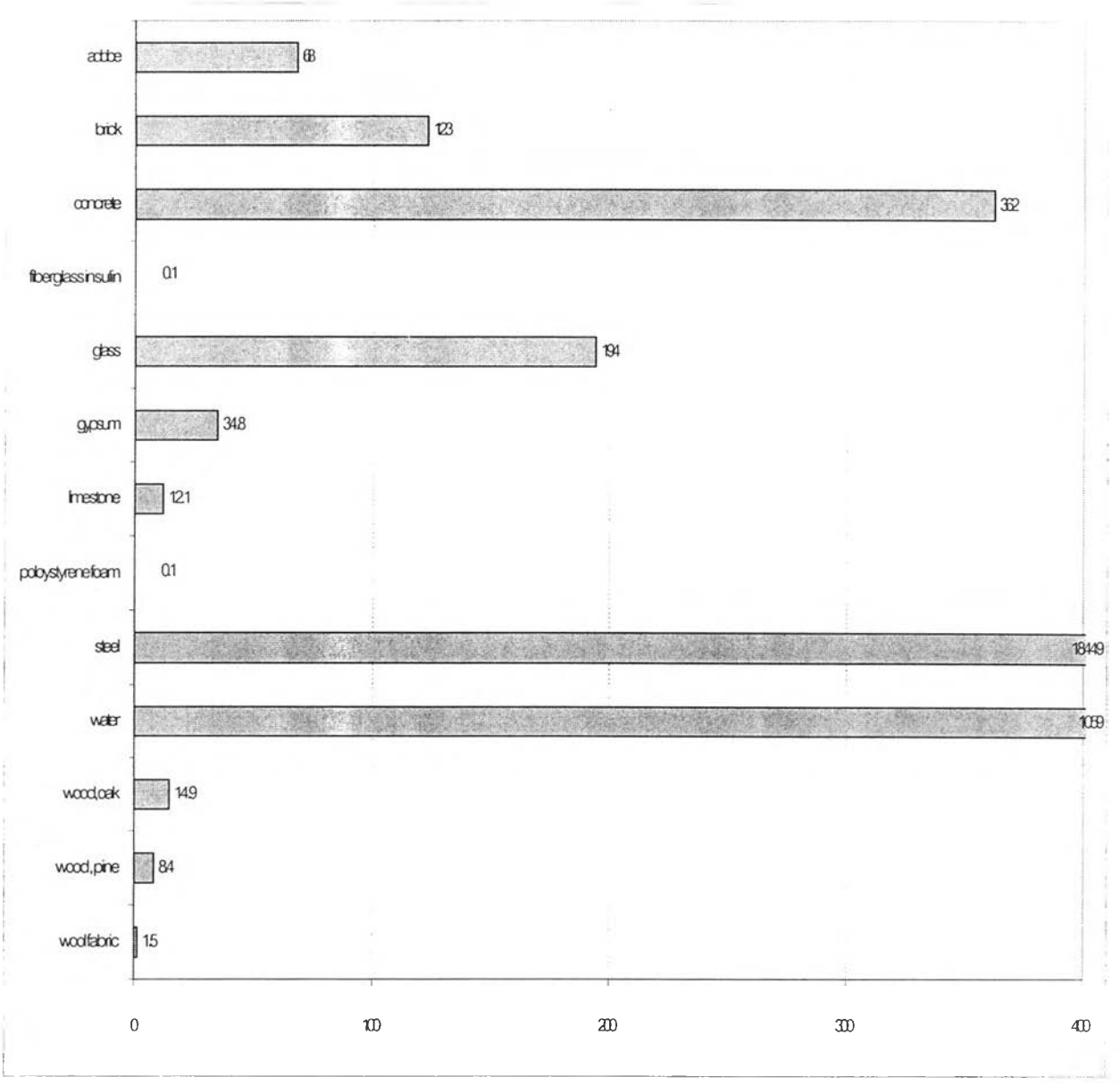
ที่มา : ดัดแปลงจาก Moore, 1993: 12

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



แผนภูมิที่ 2 – 3 ค่าความจุความร้อน (Heat Capacity = Density * Specific Heat) ของวัสดุก่อสร้างบางชนิด

ที่มา : ดัดแปลงจาก Moore, 1993: 12



แผนภูมิที่ 2 – 4 Thermal Storage Capacity (Density * Specific Heat * Conductance) ของวัสดุก่อสร้างบางชนิด

ที่มา : ดัดแปลงจาก Moore, 1993: 13

ค่า Thermal Storage Capacity สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$\text{Thermal Storage Capacity} = \rho \cdot S \cdot K \quad \text{หน่วย} \quad Btu^2 / (h.ft^4.{}^{o}F^2$$

เมื่อ K = ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) หน่วย $Btu/h.ft.{}^{o}F^2$

S = ค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) หน่วย $Btu/lb.{}^{o}F$

ρ = ความหนาแน่น (Density) หน่วย lb/ft^3

นอกจากนั้น การกักเก็บความร้อนของวัสดุมี ค่าที่ใช้วัด

1. สภาพการแพร่กระจายความร้อน (Thermal Diffusivity) (ASHRAE , 1997: 39.12)

$$\alpha = K / (\rho . S)$$

เมื่อ α = Thermal Diffusivity

K = ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) หน่วย $Btu/h.ft.{}^{o}F^2$

ρ = ความหนาแน่น (Density) หน่วย lb/ft^3

S = ค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) หน่วย $Btu/lb.{}^{o}F$

2. The Stored Thermal Energy (Bansal, Gerd and Grenot, 1994: 42)

$$Q = \rho . V. S. \Delta t$$

เมื่อ Q = The Store Thermal Energy หน่วย Btu

ρ = ความหนาแน่น (Density) หน่วย lb/ft^3

V = ปริมาตร หน่วย ft^3

S = ค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) หน่วย $Btu/lb.{}^{o}F$

Δt = ความแตกต่างของอุณหภูมิ หน่วย ^{o}F

2.3.4 อุณหภูมิพื้นผิว

อุณหภูมิพื้นผิว เป็นอุณหภูมิที่เกิดจากกระบวนการที่ความร้อนถูกส่งผ่านไปสู่พื้นผิว โดยการนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) โดยผสมผสานกัน

การแผ่รังสีความร้อนของผนังจะมีปัจจัยของ Emittance และ Reflectivity และค่าความต่างของอุณหภูมิพื้นผิวของวัสดุกับสภาพแวดล้อม และค่าของมุม Angle Factor ระหว่างผิวสัมผัสนั้นกับสภาพแวดล้อม

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิผิววัสดุ

ความร้อนจากสภาพแวดล้อมทั่วไปทั้งภายนอกและภายในอาคารมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิพื้นผิววัสดุ แต่อุณหภูมิผิววัสดุจะไม่เปลี่ยนแปลงในทันที เนื่องจากรังสีความร้อนที่กระทบจะถูกดูดกลืนเข้าไปในมวลสาร ก่อนที่จะแผ่รังสีกลับมาสู่ด้านที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

เมื่อความร้อนถูกดูดกลืนเข้าไปในมวลสาร จะทำให้อุณหภูมิผิวภายนอกสูงขึ้นกว่าภายใน เป็นผลให้อุณหภูมิอากาศที่อยู่ใกล้ผิววัสดุสูงตามไปด้วย จากความแตกต่างของอุณหภูมินี้ ทำให้ความร้อนถูกส่งผ่านเข้าไปในตัววัสดุโดยการนำความร้อน และสู่อากาศโดยการพาความร้อน จนกระทั่งอุณหภูมิภายนอกและภายในเท่ากัน

จะเห็นได้ว่า นอกจากอุณหภูมิผิวจะเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการแผ่รังสีแล้ว อุณหภูมิยังเพิ่มได้จากการพาความร้อนจากอากาศโดยรอบที่มีอุณหภูมิสูงกว่า แต่อย่างไรก็ตาม การแผ่รังสีมีผลกระทบต่ออุณหภูมิผิววัสดุมากกว่าการพาความร้อน เนื่องจากมีค่าความต้านทานความร้อนของอากาศบริเวณผิว (Air Film)

2.4 ลักษณะทางกายภาพของดิน

ลักษณะทางกายภาพของดิน อาจพิจารณาจากเนื้อดิน ซึ่งแตกต่างกันตามปริมาณอนุภาคมวลสารแต่ละชนิด ประกอบด้วยอนุภาค เม็ดทราย เม็ดซิลท์ และเม็ดดินเหนียว โดยทั่วไปดินในสภาพพื้นระดับต่ำประกอบด้วยอนุภาคเม็ดดินเหนียวมากกว่าดินในสภาพพื้นที่ระดับสูงกว่า ดินในสภาพพื้นที่ระดับต่ำมีเนื้อดินเป็นจำพวก Clay Loam ในขณะที่ดินในพื้นที่ระดับสูงกว่ามีเนื้อดินเป็นพวก Sandy Loam หรืออาจกล่าวได้ว่า ดินมีเนื้อหยาบขึ้นเมื่อระดับสภาพพื้นที่สูงขึ้น

2.4.1 ส่วนประกอบของดิน (Soil Component)[1]

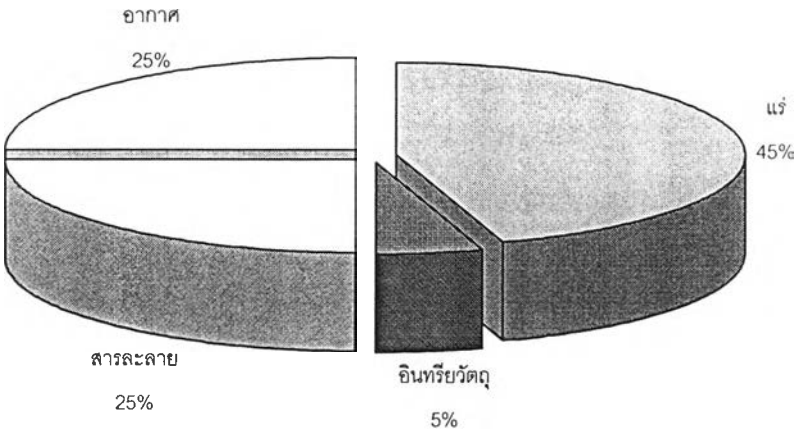
ส่วนประกอบของดินอาจแบ่งได้เป็น 4 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

1. อนินทรียวัตถุ (Mineral Matter) เป็นส่วนที่เกิดจากชิ้นเล็กชิ้นน้อยของแร่และหินต่าง ๆ ที่สลายตัวโดยทางเคมี ทางฟิสิกส์ และทางชีวเคมี
2. อินทรียวัตถุ (Organic Matter) ได้แก่ส่วนที่เกิดจากการเน่าเปื่อยผุพังหรือการสลายตัวของเศษเหลือของพืชและสัตว์ที่ทับถมกันอยู่บนดิน
3. น้ำ น้ำที่อยู่ในดินนั้น พบอยู่ในช่องระหว่างเม็ดดิน (Aggregate) หรืออนุภาคดิน (Particle) ที่เรียกช่องหรือที่ว่างนี้ว่า Pore Space
4. อากาศ ที่ว่างในดินระหว่างก้อนดินหรืออนุภาคดินนั้นมีอากาศอยู่ แก๊สที่พบโดยทั่วไปในอากาศในดินนั้นมีไนโตรเจน ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์

ปริมาตรของแต่ละส่วนของดินที่เหมาะสมแก่การเพาะปลูก โดยทั่วไปแล้วจะมีส่วนประกอบที่เป็นของแข็งประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ (อนินทรียวัตถุ ประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรและอนินทรียวัตถุประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร) และส่วนประกอบที่เป็นช่องว่างและน้ำ 50 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร (อากาศ 25 เปอร์เซ็นต์ และน้ำ 25 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร)

---

[1] ปฐพีวิทยาเบื้องต้น (Introduction to Soil Science) . คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา . คณะเกษตร. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . พิมพ์ครั้งที่ 8 , 2541.หน้า 4 –5.



ภาพที่ 2 - 2 แสดงส่วนประกอบของดินโดยปริมาตร ที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก

ดินบน (Surface Soil) มีเนื้อดินประเภท silt loam มักจะมีส่วนประกอบโดยปริมาตรดังกล่าว ดังนั้นดินชนิดนี้จึงนับได้ว่าเป็นตัวแทนของดินทั่วไป

ดินทราย (Sandy Soil) มักจะมีส่วนเป็นช่องน้อย แต่กลับมีส่วนที่เป็นของแข็งมากกว่าดินทั่วไป

ดินเหนียว (Clayey Soil) มักจะมีส่วนที่เป็นช่องมาก แต่มีส่วนที่เป็นของแข็งน้อยกว่าดินทั่วไป

2.4.2 เนื้อดิน (Soil Texture)[2]

เนื้อดินเป็นสมบัติทางฟิสิกส์ขั้นมูลฐาน ซึ่งจะมีผลควบคุมคุณสมบัติทางฟิสิกส์อื่น ๆ ของดิน เนื้อดินสื่อความหมายด้านขนาดหรือความหยาบ – ละเอียด ของอนุภาคอนินทรีย์ (Inorganic Particles) ที่เป็นองค์ประกอบของดินนั้น

ในด้านปฐพีวิทยา เนื้อดินถูกจำแนกเป็นหลายประเภท สิ่งที่กำหนดประเภทของเนื้อดินคือสัดส่วนโดยมวลของอนุภาคอนินทรีย์ 3 กลุ่มขนาด (Soil Separates) คือ

1. Sand หรืออนุภาคทราย จัดเป็นกลุ่มขนาดโตที่สุดในดิน
2. Silt หรืออนุภาคทรายตะกอนหรืออนุภาคทรายแป้ง จัดเป็นกลุ่มขนาดปานกลาง
3. Clay หรืออนุภาคดินเหนียว จัดเป็นกลุ่มขนาดเล็กที่สุดในดิน

---

[2] ปฐพีวิทยาเบื้องต้น (Introduction to Soil Science) . คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา . คณะเกษตร. กรุงเทพมหานคร : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . พิมพ์ครั้งที่ 8 , 2541.หน้า 56 – 58.

เหตุที่เรียกว่ากลุ่มขนาด (Separate) เป็นเพราะแต่ละกลุ่มจะประกอบด้วยอนุภาคหลายขนาดจัดไว้เป็นช่องซึ่งกำหนดโดยพิกัดของขนาด พิกัดของขนาดนี้มีทั้งพิกัดบน (Upper Limit) และพิกัดล่าง (Lower Limit) อนุภาคทราย ทรายแป้ง และดินเหนียว มีพิกัดของขนาดที่แตกต่างกัน ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

สัดส่วนผสมของอนุภาคหลายกลุ่มขนาดนี้ มีผลต่อสมบัติทางฟิสิกส์หลายประการ เช่น

1. ความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Holding Capacity) ซึ่งหมายถึงสมบัติของดินในการบรรจุน้ำไว้ได้มากหรือน้อย
2. ความสามารถในการถ่ายเทอากาศ (Aeration) ซึ่งหมายถึงความสามารถของดินในการบรรจุน้ำไว้ได้มากหรือน้อย
3. ความแข็งของดิน (Soil Strength) หมายถึง ความหนาแน่นของการเกาะตัวกันของอนุภาคดินเป็นก้อนดิน หรือเป็นหน้าตัดดิน

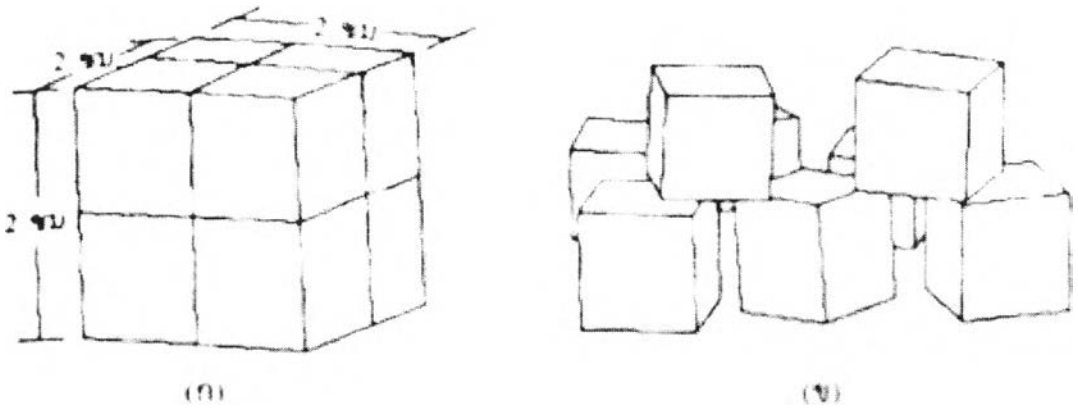
ความสามารถของดินในการอุ้มน้ำและถ่ายเทอากาศมีความผูกพันกับจำนวนและขนาดของช่องในดิน ซึ่งได้รับผลโดยตรงจากขนาดของอนุภาค ส่วนความแข็งของดินผูกพันกับความแข็งแรงของการเชื่อมยึดระหว่างอนุภาคเดี่ยวโดยอิทธิพลของสารเชื่อม ความแข็งของดินได้รับผลโดยอ้อมจากขนาดของอนุภาค โดยที่ว่าถ้าอนุภาคมีขนาดเล็ก พื้นที่ผิวสัมผัสรวมทั้งจุดสัมผัสระหว่างอนุภาคจะมีค่าเพิ่มขึ้น

1. อิทธิพลของขนาดอนุภาค (Effect of Size of Particles)

   ขนาดของอนุภาคดินมีผลต่อสมบัติของดินดังต่อไปนี้

   1.1 อิทธิพลต่อพื้นที่ของอนุภาคดิน

   พื้นที่ผิวของอนุภาคดิน หมายถึง ผลรวมของพื้นที่ผิวของแต่ละอนุภาคที่ประกอบกันเป็นมวลดินนั้น ๆ ดังภาพที่ 2 – 2



ภาพที่ 2 - 3 อิทธิพลของขนาดอนุภาคต่อเนื้อที่ผิวในมวลสารดิน

ที่มา : คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา . ปฐพีวิทยาเบื้องต้น (Introduction to Soil Science) . (กรุงเทพมหานคร : คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . พิมพ์ครั้งที่ 8 , 2541.) หน้า 57.

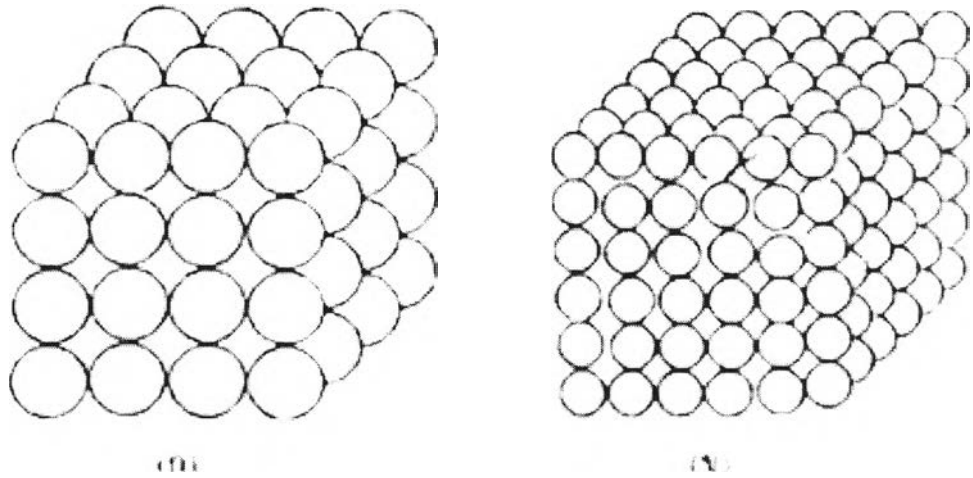
จากภาพแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของขนาดอนุภาคต่อเนื้อที่ผิว (ก) เมื่อกล่องขนาดเล็ก 8 กล่อง จัดเรียงกันเป็นลูกบาศก์ขนาด 2 * 2 * 2 และ (ข) เมื่อกล่องขนาดเล็กกระจายตัวกันอยู่ เห็นได้ว่าเนื้อที่ผิวภายในกรณี (ก) มีค่าน้อยกว่ากรณี (ข) มาก เนื่องจาก กรณี (ก) ไม่มีเนื้อที่ผิวภายใน

ด้วยเหตุนี้จึงอนุมานได้ว่า หากตวงอนุภาคดินแต่ละกลุ่มขนาดมาให้มีจำนวน (มวลหรือปริมาตร) เท่ากัน อนุภาคดินเหนียว (Clay) จะมีพื้นที่ผิวของอนุภาคมากกว่าทรายแป้ง (Silt) และทราย (Sand) ตามลำดับ

พื้นที่ผิวภายในของดินมีผลต่อสมบัติการดูดซับน้ำ ดินที่มีพื้นที่ผิวรวมของอนุภาคมากกว่าจะดูดซับน้ำไว้ได้มาก (การดูดซับน้ำยังขึ้นอยู่กับขนาดและจำนวนรวมของช่องในดินด้วย)

1.2 อิทธิพลต่อขนาดช่องภายในดิน

เพื่อให้เกิดแนวคิดเกี่ยวกับขนาดของช่องในดิน ซึ่งได้รับอิทธิพลจากขนาดของอนุภาค จากภาพที่ 2 - 3



ภาพที่ 2 – 4 อิทธิพลของขนาดอนุภาคต่อขนาดของช่องในมวลสารดิน
ที่มา : คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา . ปฐพีวิทยาเบื้องต้น (Introduction to Soil Science) . (กรุงเทพมหานคร : คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . พิมพ์ครั้งที่ 8 , 2541.) หน้า 58.

จากภาพ สามารถอธิบายได้ว่า อิทธิพลของขนาดอนุภาคต่อขนาดของช่อง (ก) ซึ่งเป็นอนุภาคขนาดใหญ่ เมื่อเรียงตัวกันย่อมเกิดช่องระหว่างอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ แต่จะมีปริมาณรวมของช่องน้อย ในขณะที่ (ข) อนุภาคขนาดเล็กเมื่อเรียงตัวกันย่อมเกิดช่องระหว่างอนุภาคที่มีขนาดเล็ก แต่จะมีปริมาตรรวมของช่องมาก ช่องขนาดใหญ่ (Macropores) มักเป็นที่อยู่ของอากาศ ส่วนช่องขนาดเล็ก (Micropores) มักเป็นที่อยู่ของน้ำ

ในทางฟิสิกส์ ขนาดของช่องมีผลกระทบต่อแรงดึงน้ำ ถ้ามีน้ำเข้าไปขังในช่องเหล่านั้น แรงดังน้ำในช่องเรียกว่าแรงดึงแคพิลลารี (Capillarity) แรงดึงน้ำในช่องจะผันแปรโดยกลับกับขนาดของช่อง จากปรากฏการณ์ดังกล่าว หากพิจารณาเปรียบเทียบกับอนุภาคของดิน พบว่า

1.2.1 อนุภาคของดินที่มีขนาดใหญ่ เช่น ทรายและทรายแป้ง
- พื้นที่ผิวภายในของดินมีค่าน้อย ดูดซับน้ำได้น้อย
- ช่องระหว่างอนุภาคมีขนาดใหญ่ ดูดน้ำด้วยแรงต่ำ

เป็นผลให้
- ดินระบายน้ำ (Drainage) ได้ดี ส่วนมากช่องในดินจะมีอากาศบรรจุอยู่

- ดินจะมีการระบายอากาศ (Aeration) ดี เนื่องจากในดินมีช่องอากาศมาก และมีความต่อเนื่องถึงกัน

1.2.2 อนุภาคของดินมีขนาดเล็ก เช่น ดินเหนียว

- พื้นที่ผิวภายในของดินมีค่ามาก ดูดซับน้ำได้มาก
- ช่องระหว่างอนุภาคมีขนาดเล็ก ดูดน้ำด้วยแรงสูง

เป็นผลให้

- ดินจะระบายน้ำไม่ดี ส่วนมากช่องในดินจะมีน้ำขังอยู่

2. กลุ่มของขนาดอนุภาค (Soil Separates)

นักวิทยาศาสตร์ทางดิน แบ่งอนุภาคดินออกเป็น 3 กลุ่มขนาด (Size Class) ระบบจำแนกขนาดหลายระบบ ที่นิยมใช้มี 2 ระบบ คือ ระบบแบบสหรัฐอเมริกา (United States Department of Agriculture : USDA) และระบบสากล (International Society of Soil Science : ISSS) ดังตารางที่ 2 – 3

ตารางที่ 2 - 3 แสดงการจำแนกกลุ่มขนาด (Soil Separates) ตามระบบสหรัฐอเมริกา (USDA) เปรียบเทียบกับระบบสากล (ISSS)

กลุ่มขนาด	เส้นผ่าศูนย์กลาง (มม.)	
	USDA	ISSS
ทราย (Very Coarse Sand)	2.00 – 1.00	-
ทรายหยาบ (Coarse Sand)	1.00 – 0.50	2.00 – 0.20
ทรายขนาดปานกลาง (Medium Sand)	0.50 – 0.25	-
ทรายละเอียด (Fine Sand)	0.25 – 0.10	0.20 – 0.02
ทรายละเอียดมาก (Very fine Sand)	0.10 – 0.05	-
ทรายแป้ง (Silt)	0.05 – 0.002	0.02 – 0.002
ดินเหนียว (Clay)	< 0.002	< 0.002

ที่มา : คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา . ปฐพีวิทยาเบื้องต้น (Introduction to Soil Science) . (กรุงเทพมหานคร : คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . พิมพ์ครั้งที่ 8 , 2541.) หน้า 60.

สองระบบนี้แตกต่างกันเล็กน้อย คือระบบ USDA จำแนกชั้นย่อยในกลุ่มทรายออกเป็น 4 กลุ่มและกำหนดพิกัดบนของขนาดทรายแป้งไว้ที่ 0.05 มม. ในขณะที่ระบบ ISSS จำแนกชั้นย่อยในกลุ่มทรายเป็น 2 กลุ่มและกำหนดพิกัดบนของขนาดทรายแป้งไว้ที่ 0.02 มม.

2.4.3 ลักษณะจำเพาะของอนุภาคดินแต่ละกลุ่มขนาด

1. ทราย (Sand) มีลักษณะดังนี้
   - เป็นเม็ดเล็ก ๆ ของแร่ Quartz และ Feldspar ที่สลายตัวผุพังจากหินต้นกำเนิด
   - ขนาดโต มองเห็นด้วยตาเปล่า (ยกเว้นกลุ่มทรายละเอียดมาก หรือ Very Find Sand) สัมผัสระคายมือ
   - ร่วน ไม่เกาะกันเป็นเม็ดดิน (Aggregate) ถ้าไม่มีอนุภาคกลุ่มขนาดอื่นๆ อยู่ด้วย จะปรากฏตัวเป็นอนุภาคเดี่ยว (Single Grain)
   - เม็ดทรายเมื่อเรียงตัวกันจะเกิดช่อง (Pore) ขนาดใหญ่ ระบายน้ำและราบายอากาศได้ดี แต่มีความสามารถในการอุ้มน้ำ (Water Retention) ต่ำ
   - กลุ่มอนุภาคทรายมีเนื้อที่ผิวจำเพาะน้อย จึงมีพื้นที่ผิวสำหรับดูดซับ (Absorb) สารต่าง ๆ เช่น น้ำและธาตุอาหารน้อย

2 ทรายแป้ง (Silt) มีลักษณะดังนี้
   - เป็นกลุ่มอนุภาคขนาดปานกลาง มีองค์ประกอบทางแร่เหมือนกลุ่มขนาดทราย
   - อนุภาคมีขนาดเล็กมองไม่เห็นด้วยตาเปล่า เหลี่ยมมุมของอนุภาคมีน้อย สัมผัสลื่นมือคล้ายแป้ง
   - ร่วนไม่เกาะกันเป็นเม็ดดิน
   - ทรายแป้งเมื่อเรียงตัวกันเป็นก้องดิน จะเกิดช่องขนาดเหมาะสมที่จะอุ้มน้ำไว้และพืชสามารถใช้ประโยชน์จากน้ำในช่องนี้ได้เป็นส่วนใหญ่

3 ดินเหนียว (Clay) มีลักษณะดังนี้
- กลุ่มอนุภาค Clay มักหมายถึง Secondary Minerals ที่สังเคราะห์ขึ้นจากแร่ดั้งเดิม ที่สลายตัวผุพังและทับถมอยู่ในดิน

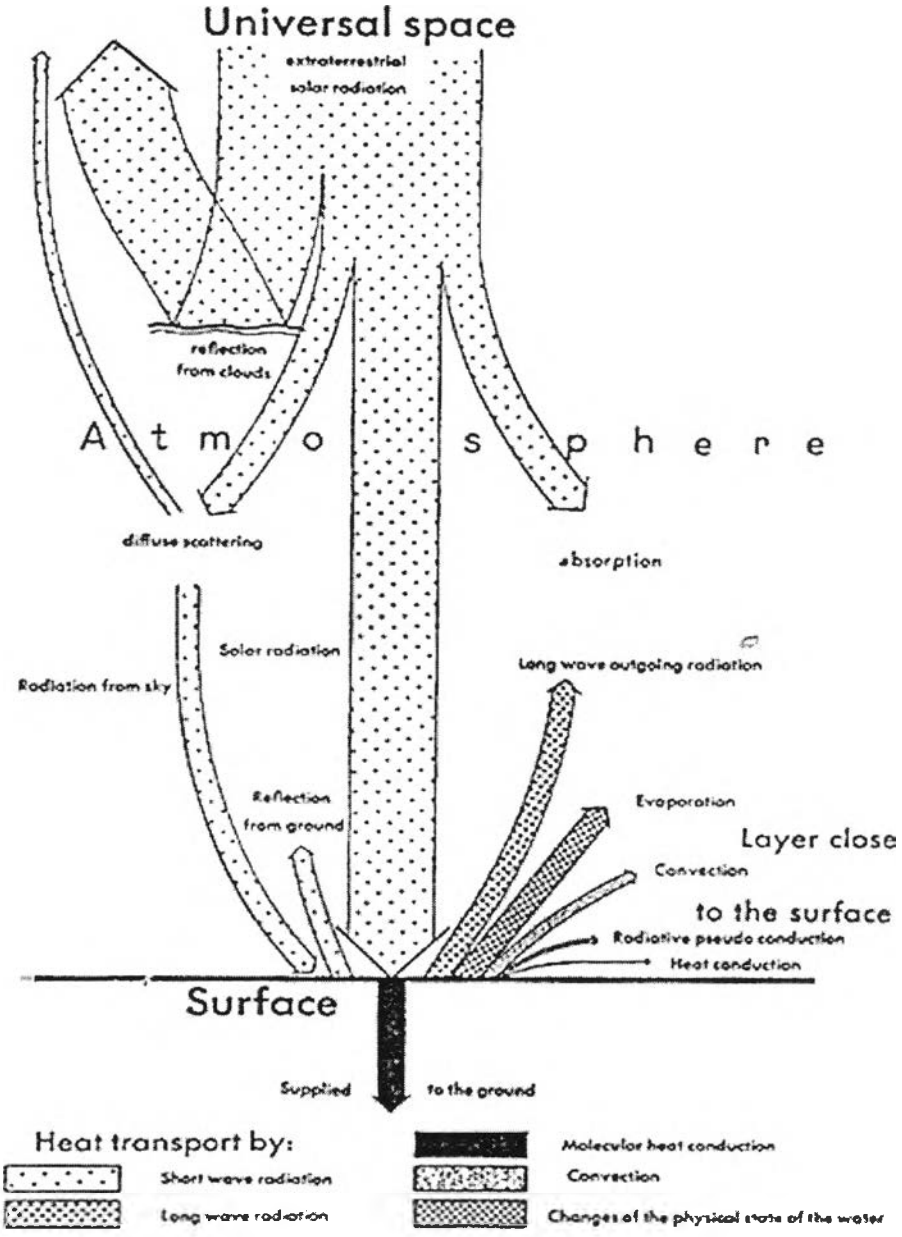
- เป็นกลุ่มอนุภาคขนาดเล็กที่สุด มองไม่เห็นด้วยกล้องจุลทัศน์ชนิดธรรมดา อนุภาคมีลักษณะเป็นแผ่นของสารประกอบ Aluminosilicates ที่เรียงซ้อนกันเป็นชั้น ๆ สัมผัสเมื่อแห้งจะแข็งกระด้าง สากมือคล้ายเม็ดทราย แต่ถ้าเปียกจะเหนียวลื่นและเกาะติดนิ้ว
- อนุภาคดินเหนียวเกาะยึดกันเองหรือมีความเชื่อมแน่น (Cohesion) ได้ดีเมื่อแห้ง เกาะยึดสารอื่น (Adhesion) ได้ดีเมื่อเปียก เนื่องจากมีเนื้อที่ผิวจำเพาะสูง เมื่อแห้งจึงเกาะกันเป็นก้องแข็ง เมื่อชื้นพอเหมาะสามารถปั้นเป็นรูปทรงต่าง ๆ ได้ ดินเหนียวไม่ปรากฏตัวเป็นอนุภาคเดี่ยว แต่จะเกาะกันเป็นกลุ่มก้อน ดินเหนียวบางชนิดสามารถพองตัว (Swelling) เมื่อได้รับน้ำและหดตัว (Shrinking) เมื่อสูญเสียน้ำ
- อนุภาคดินเหนียวเมื่อเรียงตัวกันเป็นก้องดิน จะเกิดช่องระหว่างอนุภาคที่มีขนาดเล็กและมีปริมาตรรวมของช่องมาก มีความพรุนสูง จึงอุ้มน้ำได้มาก แต่รากพืชดูดน้ำจากช่องเหล่านั้นได้น้อย เนื่องจากมีแรงดึงน้ำสูง ดินเหนียวมีการระบายน้ำและการระบายอากาศเลว
- เนื่องจากดินเหนียวมีเนื้อที่ผิวมาก และอนุภาคไม่เป็นกลาง อนุภาคดินเหนียวจึงดูดซับสารต่าง ๆ ได้ดี เช่น น้ำ และธาตุอาหารพืช ดินเหนียวส่วนมากจึงเป็นดินอุดมสมบูรณ์

2.5 อุณหภูมิดิน

อุณหภูมิเป็นดรรชนี (Index) ของระดับความร้อน ดังนั้น อุณหภูมิดินจึงเป็นสมบัติที่บ่งถึงระดับความร้อนของดิน ความร้อนที่เกิดขึ้นในดินมาจากแสงอาทิตย์เป็นส่วนใหญ่ ความร้อนที่ได้จากแหล่งอื่น ๆ เช่น จากใจกลางโลก , จากขบวนการต่าง ๆ ทางเคมีและชีวเคมีที่เกิดขึ้นในดิน โดยปกติเกิดขึ้นในอัตราที่ช้ามาก จึงไม่มีผลกระทบที่สำคัญแต่อย่างใดต่ออุณหภูมิของดิน

แสงอาทิตย์ที่ส่องมายังโลกจะต้องผ่านบรรยากาศที่อยู่เหนือผิวโลกก่อนที่จะกระทบผิวโลก ในขณะที่แสงอาทิตย์ผ่านบรรยากาศนี้ บางส่วนจะถูกสะท้อนขึ้นสู่อวกาศและบางส่วนถูกบรรยากาศดูดไว้ ปริมาณแสงอาทิตย์ที่สะท้อนขึ้นสู่อวกาศและที่ถูกบรรยากาศดูดไว้นี้ขึ้นอยู่กับสิ่งต่าง ๆ หลายอย่าง เช่น ความมากน้อยของเมฆ ความชื้นของบรรยากาศ และฤดูกาล เป็นต้น อย่าไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยของแสงอาทิตย์ที่สะท้อนกลับขึ้นไป ประมาณ 53 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณ

แสงอาทิตย์ทั้งหมด ดังนั้น ปริมาณเฉลี่ยของแสงอาทิตย์ที่กระทบผิวโลกจึงประมาณ 47 เปอร์เซ็นต์ แต่ในวันที่มีเมฆมากปริมาณแสงที่กระทบผิวโลกอาจมีเพียง 25 เปอร์เซ็นต์



60. Heat exchange at noon for summer day. (The width of arrows corresponds to the transferred heat amounts.)

ภาพที่ 2 - 5 แสดงลักษณะการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์สู่ชั้นบรรยากาศโลก

ที่มา : Victor Olgyay, Design With Climate. (New Jersey : Princeton University, 1991) ,P.33

2.5.1 ตัวแปรที่มีผลต่ออุณหภูมิดิน

1. ตำแหน่งและความลาดเอียงของพื้นผิวโลก

ระดับเส้นรุ่ง (Latitude)

โดยปกติอุณหภูมิเฉลี่ยของดินและอากาศมักสูงที่สุดที่บริเวณเส้นศูนย์สูตร และลดลงเมื่อระยะห่างจากเส้นศูนย์สูตรเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะว่า โดยปกติแสงอาทิตย์จะตั้งฉากกับผิวดินมากที่สุดที่บริเวณเส้นศูนย์สูตร จึงทำให้ความเข้มของแสงอาทิตย์ที่กระทบผิวดินสูงที่สุดที่บริเวณนี้

ความสูงจากระดับน้ำทะเล (Altitude)

โดยปกติอุณหภูมิเฉลี่ยของดินและอากาศที่ระดับเส้นรุ้งหนึ่ง ๆ มักลดลงเมื่อความสูงจากระดับน้ำทะเลมากขึ้น ที่เป็นเช่นนี้เป็นเพราะว่า อากาศในบรรยากาศบางลงเมื่อความสูงจากระดับน้ำทะเลมากขึ้น ความร้อนที่สะท้อนจากผิวดินจึงเคลื่อนที่ขึ้นสู่อากาศได้ง่ายขึ้นเมื่อผิวดินอยู่สูงจากระดับน้ำทะเลมากขึ้น

ความลาดเทของผิวดิน (Degree of Slope)

อุณหภูมิของผิวดินในบริเวณหนึ่ง ๆ โดยปกติสูงที่สุดเมื่อผิวดินราบและลดลงเมื่อผิวดินลาดเทมากขึ้น เพราะว่า เมื่อผิวดินลาดเทมากขึ้นทำให้เนื้อที่รับแสงอาทิตย์ลดลง เป็นผลให้ความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ผิวดินได้รับลดลง

ทิศทางลาดเทของผิวดิน (Aspect of Slope)

สำหรับซีกโลกเหนือเช่นในประเทศไทย ผิวดินที่ลาดเทไปทางทิศใต้มีอุณหภูมิที่สูงกว่าผิวดินที่ลาดเทไปทางทิศเหนือ เพราะแกนที่เชื่อมขั้วโลกใต้กับขึ้นโลกเหนือของโลก มิได้ตั้งตรง แต่เอียงไปทางซ้ายประมาณ 22.5 องศา ดังนั้น เมื่อมุมที่แสงอาทิตย์กระทบผิวดินที่ลาดเทไปทางทิศใต้จึงใกล้เคียงกับมุมฉากมากกว่ามุมที่แสงอาทิตย์กระทบกับ

ผิวดินที่ลาดเทไปทางทิศเหนือ จึงทำให้ความเข้มของแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวที่ลาดเทไปทางใต้สูงกว่าทางทิศเหนือ

2. **สิ่งปกคลุมผิวดิน**

สิ่งมีชีวิตที่ปกคลุมดิน (Living Cover of the Soil)

พืชพรรณที่ขึ้นอยู่บนดิน มีแนวโน้มที่จะช่วยลดความแปรปรวนของอุณหภูมิดินได้ โดยการลดปริมาณความร้อนที่กระทบผิวดินและลดปริมาณความร้อนที่สะท้อนจากผิวดิน ดังนั้น อุณหภูมิของดินที่มีพืชพรรณปกคลุมจึงมีความแปรปรวนน้อยกว่าอุณหภูมิของดินที่ว่างเปล่า (Bare Soil) และในบริเวณหนึ่ง ๆ อุณหภูมิในเวลากลางวันของดินที่ว่างเปล่าโดยปกติสูงกว่าอุณหภูมิดินที่ปกคลุมด้วยพืชพรรณต่าง ๆ แต่ในเวลากลางคืนอุณหภูมิของผิวดินที่ว่างเปล่า หรือปราศจากพืชคลุมดินนี้ จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าผิวดินที่มีพืชคลุมดิน เนื่องจากสูญเสียความร้อนให้กับอากาศได้ง่ายกว่า จึงอาจกล่าวได้ว่า การปลูกพืชคลุมดินช่วยลดความแปรปรวนของอุณหภูมิดิน ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สิ่งไม่มีชีวิตที่ปกคลุมดิน (Non – Living Cover of the Soil)

สิ่งปกคลุมดินต่าง ๆ ดูดและสะท้อนแสงอาทิตย์ได้ต่างกัน และนำความร้อนได้ดีต่างกันด้วย ดังนั้น อุณหภูมิในขณะหนึ่ง ๆ ของดินที่มีสิ่งที่ไม่มีชีวิตปกคลุมจะเป็นเท่าใดจึงขึ้นอยู่กับ ชนิดสิ่งปกคลุมดิน ความสามารถในการดูดความร้อนจากแสงอาทิตย์ และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของสิ่งปกคลุมบางชนิด

อิทธิพลเรือนกระจก (Greenhouse Effect) เป็นปรากฏการณ์ ที่เกิดขึ้นกับบริเวณที่มีการปกคลุมด้วยวัตถุโปร่งแสง เช่น กระจก หรือพลาสติก ปรากฏการณ์นี้หมายถึงการที่อุณหภูมิภายในบริเวณที่ปกคลุมด้วยวัตถุโปร่งแสงสูงกว่าอุณหภูมิภายนอก เกิดจากรังสีจากดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นรังสีคลื่นสั้น (Shot Wave Radiation) สามารถผ่านวัสดุโปร่งแสงได้ เมื่อผ่านเข้าไปในบริเวณที่ปกคลุมด้วยวัสดุโปร่งแสงนั้นแล้วไปกระทบกับสิ่งต่าง ๆ ที่อยู่ภายใน บางส่วนจะถูกสะท้อนกลับและเปลี่ยนเป็นรังสีคลื่นยาว (Long Wave Radiation) ซึ่งไม่สามารถผ่านสิ่งปกคลุมซึ่งเป็นวัตถุโปร่งแสงออกมาภายนอกได้ รังสี

I2C17C798

คลื่นยาวนี้จึงสะสมอยู่ภายในบริเวณที่ปกคลุมนั้น ทำให้บริเวณนั้นมีอุณหภูมิสูงกว่าภายนอก

อิทธิพลเรือนกระจก (Greenhouse Effect) จึงมีความสำคัญในการพิจารณาเลือกวัตถุคลุมดิน เพื่อลดการระเหยน้ำจากดิน รักษาระดับอุณหภูมิของดินให้คงที่เพื่อให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม กล่าวคือ ถ้าใช้วัตถุโปร่งแสงคลุมดิน แทนที่จะช่วยให้การระเหยน้ำจากดินลดลง กลับจะมีแนวโน้มที่จะทำให้น้ำในดินระเหยมากขึ้น เพราะอุณหภูมิของดินที่ปกคลุมด้วยวัตถุโปร่งแสงย่อมสูงขึ้น

ตาราง 2 - 4 แสดงความสามารถในการดูดความร้อนและสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของสิ่งปกคลุมดิน

สิ่งปกคลุมดิน	ความสามารถในการดูดความร้อน เปอร์เซ็นต์ของความร้อนที่ได้รับ	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน แคลอรี / ซม. / วินาที / ^{o}ซ
หิมะ	15-30	0.0005
น้ำ	98	0.0014
ทรายแห้ง	82	0.0007
ดินที่ไถแล้วทำซุ่ม	86-95	ขึ้นอยู่กับระดับความชื้น
เศษพืชแห้ง	81-85	0.0014

ที่มา : คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น (Introduction to Soil Science). (กรุงเทพมหานคร : คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . พิมพ์ครั้งที่ 6 , 2530), หน้า 197.

จากการทดลองของ KUSUDA[2] เพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิที่ระดับความลึกต่าง ๆ ของดินภายใต้สิ่งปกคลุมที่แตกต่างกัน 5 ชนิด อันได้แก่

1. ยางมะตอยสีดำหนา 12.5 เซนติเมตร
2. ยางมะตอยทาสีขาว
3. ดินไม่มีสิ่งปกคลุม
4. หญ้าเสมอกัน ยาว10 เซนติเมตร
5. หญ้ายาว

---

[2] Baruch Givoni . Passive and Low Energy Cooling of Buildings . New York . 1994 . P 198

ได้ผลการเก็บข้อมูลดังนี้

ตาราง 2 - 5 แสดงอุณหภูมิของดินที่ระดับความลึกต่าง ๆ ใต้สิ่งปกคลุมที่ต่างกัน

TABLE 6-1. MAXIMUM AND MINIMUM SOIL TEMPERATURES (F) WITH DIFFERENT SURFACE TREATMENTS (AFTER KUSUDA).

		Depth Level (meters) of Soil				
Treatment		*0*	*0.3*	*1.2*	*3.0*	*6.0*
Black	Max	91	87	79	68	56
Asphalt	Min	29	33	37	48	52
	Mean	60	60	58	58	54
White	Max	77	74	67	60	55
Asphalt	Min	27	28	37	45	51
	Mean	52	51	52	52.5	53
Bare	Max	77	74	72	63	56
Soil	Min	28	32	34	43	51
	Mean	52.5	53	53	53	53
Short	Max	75	69	64	61	56
Grass	Min	31	35	39	47	52
	Mean	53	52	51.5	54	54
Long	Max	70	65	62	61	54
Grass	Min	28	34	38	46	51
	Mean	49	49.5	50	53.5	52.5

ที่มา : Baruch Givoni . Passive and Low Energy Cooling of Buildings . (United State of America : Van Nostrand Reinhold , 1994),P. 198.

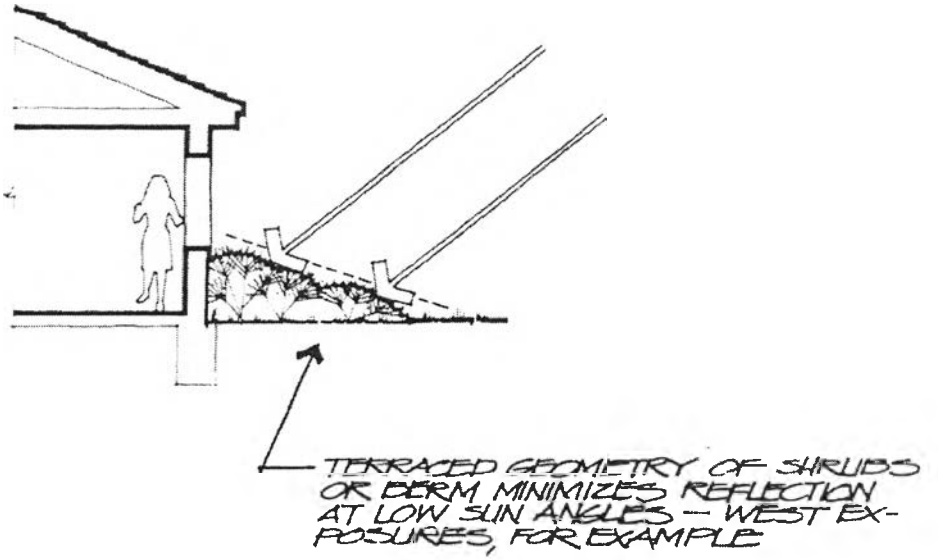
จากการวิเคราะห์พบว่า ที่ระดับความลึก 30 เซนติเมตร สิ่งปกคลุมที่ต่างกันมีผลต่ออุณหภูมิของดินมาก กล่าวคือ ยางมะตอยสีดำมีอุณหภูมิสูงถึง 91 องศาฟาเรนไฮน์ ในขณะที่หญ้ายาวมีอุณหภูมิอยู่ที่ 70 องศาฟาเรนไฮน์ ซึ่งต่ำที่สุด

หากพิจารณาที่ระดับความลึกมากขึ้น พบว่าอุณหภูมิดินซึ่งมีวัสดุปกคลุมต่างกันเริ่มมีอุณหภูมิใกล้เคียงกันมากขึ้น เช่นที่ระดับความลึก 9 เมตร อุณหภูมิมีความแตกต่างกันระหว่างต่ำสุดกับสูงสุดเพียง 2 องศาฟาเรนไฮน์ เท่านั้น ต่างกับที่ระดับ 30 เซนติเมตร ซึ่งต่างกันถึง 21 องศาฟาเรนไฮน์ แสดงว่าอุณหภูมิที่เกิดจากอิทธิพลของสิ่งปกคลุมหน้าดินแปรผกผันกับระดับความลึกของดิน

ประโยชน์ของวัสดุปกคลุมดิน โดยทั่วไปมี 3 ประการคือ

1. Radiant Balance

ดังที่กล่าวข้างต้น รังสีโดยตรงจากดวงอาทิตย์จะถูกลดทอนโดยพืชคลุมดิน ซึ่งมีค่าการนำความร้อนต่ำกว่ามวลสารดิน รวมถึงเป็น Shading Device ให้กับผิวดิน วิธีนี้จะให้ผลที่ไม่เท่ากันเมื่อเปรียบเทียบระหว่างฤดูร้อนและฤดูหนาว กล่าวคือ ในฤดูร้อนดินที่มีสิ่งปกคลุมจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าดินที่ปราศจากสิ่งปกคลุมอย่างชัดเจน ส่วนในฤดูหนาวมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เนื่องจากฤดูร้อนการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์มีความเข้มสูง ในขณะที่ฤดูหนาวมีความเข้มน้อยกว่า



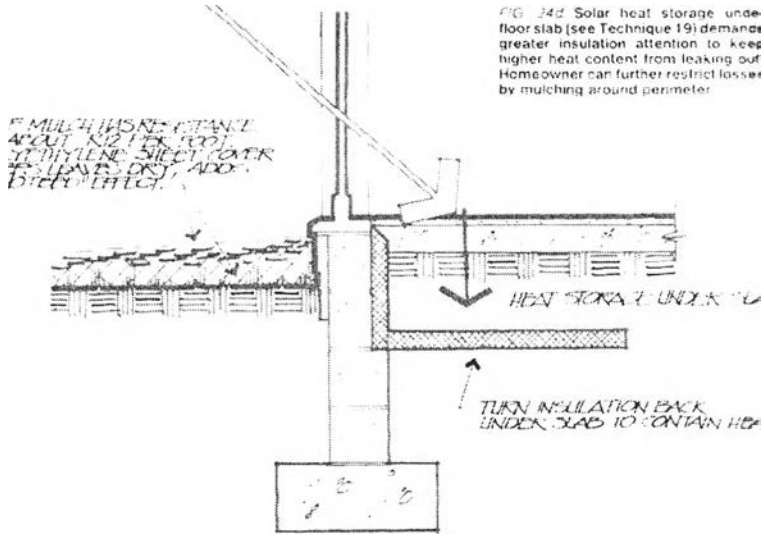
ภาพที่ 2 – 6 แสดงการใช้ประโยชน์จากวัสดุคลุมดิน เพื่อลดอุณหภูมิบริเวณผิวดินและลดปริมาณรังสีดวงอาทิตย์บริเวณผิวหน้าดิน

ที่มา : Donald Watson , Fair and Kenneth Labs . Climate Design : Energy-Efficient Building Principles and Practices . (New York : Mcgraw-Hill Book Company , 1983) , P.87.

2. Convection Exchange

สิ่งปกคลุมบางชนิด เช่นกรวดหรือหิน ถึงแม้กระแสลมจะพัดผ่านไม่ได้ แต่ก็ช่วยลดการพาความร้อนระหว่างอุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิของดินได้ โดยเฉพาะในฤดูร้อน

Use slab-on-grade construction for ground temperature heat exchange.



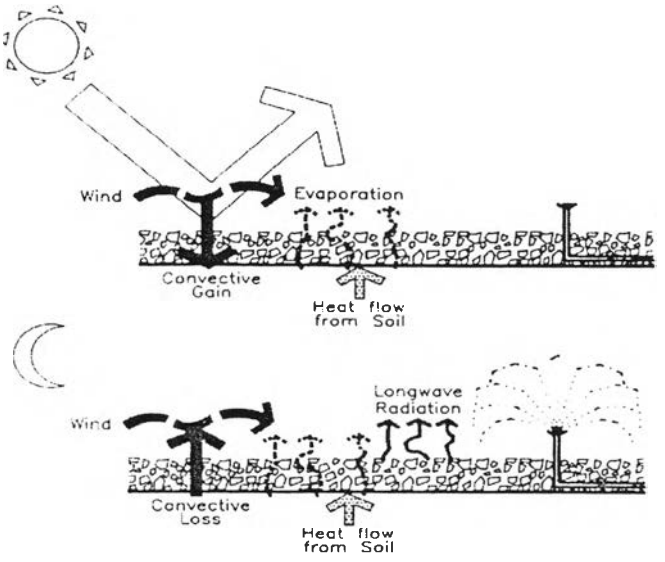
ภาพที่ 2 – 7 แสดงวัสดุคลุมดิน เพื่อลดปริมาณรังสีดวงอาทิตย์บริเวณผิวหน้าดิน

ที่มา : Donald Watson , Fair and Kenneth Labs . Climate Design : Energy-Efficient Building Principles and Practices . (New York : Mcgraw-Hill Book Company , 1983) , P.138.

3. Evaporative Cooling of Soil

การใช้การระเหยของน้ำจากผิวดินช่วยลดความร้อนวิธีนี้จะช่วยให้อากาศเหนือผิวดินมีอุณหภูมิต่ำกว่าบริเวณโดยรอบ เมื่อลมพัดผ่านผิวดินหรือยอดหญ้าที่คลุมดิน จะช่วยนำความเย็นเข้าสู่อาคาร แนวทางนี้จัดเป็น Surface Cooling รูปแบบหนึ่ง

ในกรณีของภูมิภาคที่มีฝนตก ดินมีความชื้นสูง การระเหยจากดินโล่งมีมากกว่าดินที่ถูกปกคลุม เนื่องจากดินที่ปราศจากสิ่งปกคลุมจะมีอุณหภูมิสูงกว่า และได้รับอิทธิพลจากกระแสลมบริเวณหน้าดินมากกว่า แต่ผิวดินที่มีสิ่งปกคลุมซึ่งมีการระเหยต่ำกว่ากลับมีอุณหภูมิใต้ดิน ต่ำกว่าดินที่ปราศจากสิ่งปกคลุมที่มีการระเหยสูง เนื่องจากอิทธิพลจากตัวแปรอื่น ๆ



ภาพที่ 2 – 8 ภาพแสดงการระเหยของน้ำบริเวณผิวดิน ในเวลากลางวันและกลางคืน

ที่มา : Baruch Givoni . Passive and Low Energy Cooling of Buildings . (United State of America : Van Nostrand Reinhold , 1994),P. 199.

3. อิทธิพลของอนุภาคมวลสารดินต่ออุณหภูมิดิน

เนื้อดินเมื่อมีอนุภาคมวลสารแตกต่างกัน ย่อมส่งผลต่อตัวแปรที่มีผลต่ออุณหภูมิของดิน เช่น ความร้อนจำเพาะ , สัมประสิทธิ์การนำความร้อน , สีของดิน รวมถึงความสามารถในการระบายน้ำซึ่งส่งผลต่อระดับความชื้นในดิน แตกต่างกัน

ความร้อนจำเพาะของดิน (Specific Heat)

ความร้อนจำเพาะของวัตถุใด ๆ หมายถึงปริมาณความร้อนที่จะต้องเปลี่ยนแปลงต่อหนึ่งหน่วยมวลของวัตถุนั้น ๆ เพื่อทำให้อุณหภูมิของวัตถุนั้น ๆ เปลี่ยนไป 1 องศา ดังนั้น เมื่อดินดูดหรือสูญเสียความร้อนปริมาณหนึ่ง อุณหภูมิดินจะเปลี่ยนเป็นเท่าใดย่อมขึ้นอยู่กับความร้อนจำเพาะของดินนั้น ๆ ความร้อนจำเพาะของส่วนประกอบที่สำคัญของดินแสดงในตารางดังนี้

ตารางที่ 2 - 6 แสดงความร้อนจำเพาะของส่วนประกอบต่าง ๆ ของดิน

ส่วนประกอบของดิน	ความร้อนจำเพาะ แคลอรี / กรัม / °ซ
อนินทรียวัตถุ	0.18
อินทรียวัตถุ	0.46
น้ำ	1.00
อากาศ	0.24
อนุภาคทราย	0.19
อนุภาคดินเหนียว	0.22

ที่มา : คณาจารย์ภาควิชาปฐพีวิทยา. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น (Introduction to Soil Science). (กรุงเทพมหานคร : คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ . พิมพ์ครั้งที่ 6 , 2530.), หน้า 197.

เนื่องจากดินชนิดหนึ่ง ๆ มีส่วนประกอบต่าง ๆ ในสัดส่วนที่แตกต่างกัน จึงเป็นการยากที่จะบอกได้ว่า ความร้อนจำเพาะของดินจะเป็นเท่าใด อย่างไรก็ตามความร้อนจำเพาะของดินที่แห้งสนิทมีค่าประมาณ 0.2 แคลอรี / กรัม / °ซ (ประมาณ 1/5 เท่าของความร้อนจำเพาะของน้ำ) ถ้าดินไม่แห้งสนิท ความร้อนจำเพาะของดินจะขึ้นอยู่กับระดับความชื้นของดินนั้นเป็นอย่างมาก

สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Heat Conductivity หรือ Thermal Conductivity)

สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัตถุหนึ่ง ๆ เป็นสิ่งที่บ่งถึงความสามารถของวัตถุนั้น ในการให้ความร้อนเคลื่อนที่ผ่าน ดังนั้น เมื่อสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของดินสูง หากเกิดความร้อนที่ส่วนหนึ่งส่วนใดของหน้าตัดดิน ย่อมทำให้ความร้อนกระจายไปยังพื้นที่ต่าง ๆ ได้ดี ในทำนองเดียวกัน เมื่อส่วนหนึ่งส่วนใดของหน้าตัดดินสูญเสียความร้อน ความร้อนจากส่วนอื่น ๆ ในดิน ที่มีอุณหภูมิสูงกว่าย่อมเคลื่อนที่ไปยังส่วนที่สูญเสียความร้อนนั้นได้ง่าย อุณหภูมิของทุก ๆ ส่วนของหน้าตัดดินที่นำความร้อนได้ดีจึงมีแนวโน้มที่จะไม่แตกต่างกันมาก และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิก็มักน้อยกว่าดินที่นำความร้อนได้ไม่ดีด้วย

สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของอนุภาคอินทรีย์ของดินแห้ง โดยปกติสูงกว่าของน้ำ , อากาศ และอนุภาคอนินทรีย์ของดิน ดังนั้น ดินที่มีอินทรีย์วัตถุมากและดินที่โปร่ง (ความหนาแน่นรวมต่ำ) จึงมักมีสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำ อย่างไรก็ตาม สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของดิมักจะสูงขึ้นเมื่อความชื้นของดินสูงขึ้น เพราะน้ำนำความร้อนได้ดีกว่าอากาศ ความร้อนจึงเคลื่อนจากอนุภาคหนึ่งไปยังอีกอนุภาคหนึ่งได้ง่ายขึ้น เมื่อความชื้นของดินสูงขึ้น

ตารางที่ 2 - 7 แสดงความหนาแน่น , ค่าการนำความร้อน และค่าความต้านทานความร้อนของดินชนิดต่าง ๆ

Material Description	Density (lb/ft ^{3})	Thermal Conductivity , K (BTU / h.ft.F)	Unit Resistance, R (1" thickness)
Dense Rock	200	2	0.5
Wet Soil	117	1.4	0.70
Average Rock	175		
Dense Concrete	150	1.0	1.0
Solid Masonry	143	0.75	1.33
Heavy Soil, Damp	131		
Heavy Soil, Dry	125	0.50	2.0
Light Soil, Damp	100		
Light Soil Dry	90	0.20	5.0

ที่มา : Walter F. Wagner , Jr. and The Editors of Architectural Record Magazine . Energy – Efficient Building .(New York : Mcgraw-Hill Book Company , 1980). P. 85.

สีของดิน (Soil Color)

สีของดิน มีอิทธิพลต่อทั้งการดูดและการแผ่รังสีความร้อนของดิน โดยทั่วไป ดินที่มีสีคล้ำดูดและแผ่รังสีความร้อนได้ดีกว่าดินที่มีสีจาง ดังนั้น ดินที่มีสีคล้ำโดยปกติจึงร้อนกว่าดินที่มีสีจาง

สีของดินเป็นตัวแปรหนึ่งซึ่งทำให้อุณหภูมิในเนื้อดินมีความต่างกัน หากไม่มีวัสดุปกคลุมดินแล้ว เมื่อระดับความชื้นของดินทั้งสองเท่ากัน ดินที่มีสีเข้มจะมีความสามารถในการดูดซับรังสีความร้อนได้ดี ดินสีอ่อนจะมีความสามารถในการดูดซับน้อยลงและจะมี

ค่าการสะท้อนรังสีความร้อนเพิ่มขึ้นตามลำดับ หน่วยวัดความเข้มสีของดินใช้ค่า Hue ในเกณฑ์ อิทธิพลที่สีมีต่ออุณหภูมิดินมีมากที่สุดเมื่อดินแห้ง และจะลดลงเมื่อความชื้นของดินเพิ่มขึ้น ดังนั้น ดินที่มีสีคล้ำถึงแม้จะมีความชื้นสูง ปกติจะเย็นกว่าดินที่มีสีจางและแห้ง

ดินในประเทศไทย สีของดินชั้นบนส่วนใหญ่คล้ายกัน คือ เป็นสีน้ำตาล น้ำตาลเข้ม สีเทา และน้ำตาลปนเทา สำหรับดินชั้นล่างขึ้นอยู่กับประเภทและชนิดของดิน แต่โดยมากพบตั้งแต่สีเทาหรือสีน้ำตาลอมเทาจนถึงน้ำตาลในบริเวณที่ลุ่ม ส่วนในที่ดอนดินในระดับล่างมักเป็นสีน้ำตาลแกมแดง สีแดง หรือสีปะปนระหว่างแดงและเหลือง

อย่างไรก็ตาม ในการพิจารณาสีซึ่งส่งมีผลต่ออุณหภูมิของดิน ควรเลือกพิจารณาดินชั้นบนเป็นเกณฑ์ เนื่องจากอยู่ในตำแหน่งที่ได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับมวลสาร

<u>ระดับความชื้นของดิน (Soil Moisture)</u>

เนื่องจากน้ำมีความร้อนจำเพาะที่สูง และนำความร้อนได้ดีกว่าอากาศ ต้องการความร้อนในการเปลี่ยนสถานะจากของเหลว (น้ำเหลว) เป็นก๊าซ (ไอน้ำ) และคายความร้อนเมื่อเปลี่ยนสถานะจากก๊าซเป็นของเหลว ระดับความชื้นของดินจึงมีความสำคัญมากในการควบคุมอุณหภูมิของดิน เมื่อระดับความชื้นของดินสูงขึ้น ความร้อนจำเพาะของดินย่อมสูงขึ้น นอกจากนี้ ความชื้นยังช่วยส่งเสริมให้ดินนำความร้อนได้ดีขึ้นอีกด้วย อีกประการหนึ่งคือ เมื่อดินมีความชื้นมาก ย่อมมีแนวโน้มที่จะมีการระเหยน้ำจากดินนั้นมาก การสูญเสียความร้อนของดินเพื่อที่จะใช้ในการระเหยน้ำจึงย่อมมากขึ้นตาม เป็นเหตุให้อุณหภูมิดินต่ำลง นอกจากนี้ เหตุดังกล่าว ยังชี้ให้เห็นว่า เมื่อระดับความชื้นของดินสูงขึ้น ดินย่อมเปลี่ยนอุณหภูมิยากขึ้น และดินที่ชุ่มหรือเปียก มีแนวโน้มที่จะเย็นกว่าดินที่แห้ง และ ไอน้ำที่ได้จากการระเหยของน้ำในดินยังมีส่วนช่วยในการทำให้ความร้อนจากส่วนหนึ่งไปยังอีกส่วนหนึ่งของหน้าตัดดินได้ดีขึ้นอีกด้วย เพราะเมื่ออุณหภูมิของส่วนต่าง ๆ ของหน้าตัดดินไม่เท่ากัน ส่วนที่ร้อนกว่าย่อมมีไอน้ำมากกว่าส่วนที่เย็นกว่า ไอน้ำจึงเคลื่อนที่จากส่วนที่ร้อนกว่าไปยังส่วนที่เย็นกว่า และเมื่อเคลื่อนที่ไปถึงส่วนที่เย็นกว่าอย่างน้อยบางส่วนของไอน้ำนั้นจะกลั่นตัวเป็นของเหลว จึงย่อยคายความ

ร้อนออกมาและย่อมทำให้อุณหภูมิของส่วนนั้นสูงขึ้น ไอน้ำจึงเป็นสิ่งหนึ่งที่ช่วยให้ความร้อนจากส่วนที่ร้อนกว่ากระจายไปยังส่วนที่เย็นกว่าของหน้าตัดดินได้ดีขึ้น

2.5.2 ความผันแปรของอุณหภูมิดิน

1. ความผันแปรของอุณหภูมิดินในรอบวัน (Diurnal Variation)

อุณหภูมิของทุก ๆ ส่วนของหน้าตัดดินมีความแปรปรวนในช่วง 24 ชั่วโมง โดยปกติเกิดขึ้นที่ความลึกไม่เกิน 1 เมตร จากผิวดิน ส่วนที่อยู่ลึกเกินกว่า 1 เมตร การแปรปรวนของอุณหภูมิจะมีน้อยมาก ทั้งนี้เป็นเพราะ ปกติความร้อนโดยส่วนใหญ่ที่ได้รับจากรังสีดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านลงมายังดินที่ลึกได้ช้ามาก

ในเวลากลางวัน ผิวดินเริ่มได้รับความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์นับตั้งแต่ย่ำรุ่งเป็นต้นไป ความเข้มของความร้อนที่ผิวดินได้รับนี้จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยปกติจะสูงสุดที่ประมาณเที่ยงวัน ต่อไปจากนั้น ความเข้มของความร้อนจะค่อย ๆ ลดลง การที่ผิวดินได้รับความร้อนทำให้ ดินส่วนบนสุดของหน้าตัดดินร้อนกว่าส่วนอื่น ๆ จึงเกิดการถ่ายเทความร้อนจากส่วนบนลงส่วนล่างของหน้าตัดดิน ส่วนที่อยู่ลึกลงไปในหน้าตัดดินจึงมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นในทำนองเดียวกับส่วนบน แต่การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในดินส่วนล่างจะเกิดขึ้นหลังจากการเพิ่มขึ้นของผิวดินส่วนบน เพราะต้องใช้เวลาในการถ่ายเทความร้อน

ในเวลากลางวัน รังสีจากดวงอาทิตย์บางส่วนเมื่อกระทบผิวดิน จะสะท้อนและเปลี่ยนสภาพจากรังสีคลื่นสั้น (Shot Wave Radiation) เป็นรังสีคลื่นยาว (Long Wave Radiation) ซึ่งอากาศดูดไว้ได้ดี การแผ่รังสีความร้อนของผิวดินนี้เกิดขึ้นอยู่เสมอ แต่ในเวลากลางวัน ดินที่ไม่มีสิ่งปกคลุม ปริมาณความร้อนที่ผิวดินจะแผ่ขึ้นสู่อากาศน้อยกว่าปริมาณความร้อนที่ผิวดินดูดไว้ เพราะรังสีจากดวงอาทิตย์กระทบผิวดินตลอดเวลา อย่างไรก็ตาม ในเวลากลางคืน ถึงแม้จะไม่มีรังสีจากดวงอาทิตย์ แต่ผิวดินยังมีการแผ่รังสีความร้อนขึ้นสู่อากาศอยู่เรื่อย ๆ เนื่องจาก มีการเก็บสะสมความร้อนไว้ในเวลากลางวัน เมื่ออุณหภูมิอากาศต่ำกว่า จึงเกิดการถ่ายเทความร้อนกลับคืนสู่อากาศ อุณหภูมิของผิวดินจึงลดลงและเมื่อลดต่ำกว่าอุณหภูมิส่วนที่อยู่ลึกลงไปในหน้าตัดดิน ความร้อนจะถ่ายเทจากส่วนล่างขึ้นส่วนบน

การแปรผันในรอบวันของอุณหภูมิดิน จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสิ่งปกคลุมผิวดิน สภาพภูมิอากาศ และฤดูกาลเป็นอย่างมาก ดินที่มีสิ่งปกคลุม โดยปกติจะมีความแปรปรวนของอุณหภูมิน้อยกว่าดินที่ไม่มีสิ่งปกคลุม เมื่อท้องฟ้าแจ่มใส (Clear Sky) อุณหภูมิของดินจะมีความแปรปรวนมากกว่าในวันที่ท้องฟ้าครึ้ม (Overcast Sky) และในฤดูร้อนอุณหภูมิของดินจะมีความแปรปรวนมากกว่าในฤดูหนาว

2. **ความผันแปรของอุณหภูมิดินตามฤดูกาล** (Seasonal Variation)

การผันแปรตามฤดูกาลของอุณหภูมิดิน เป็นไปในทำนองเดียวกับการผันแปรในรอบวัน โดยที่ฤดูร้อนเปรียบเสมือนกลางวัน และฤดูหนาวเปรียบเหมือนเวลากลางคืน อย่างไรก็ตาม โดยปกติความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิดินในฤดูร้อนกับในฤดูหนาว มีมากกว่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิในเวลากลางวันและกลางคืน นอกจากนี้ช่วงความลึกของดินที่แสดงการผันแปรอุณหภูมิก็มากกว่าอีกด้วย แม้ว่าการผันแปรจะน้อยลงเมื่อความลึกเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันกับการผันแปรในรอบวันก็ตาม กล่าวคืออิทธิพลของวันอาจมีผลกับอุณหภูมิที่ผิวดินและดินที่ระดับไม่ลึกมาก แต่อิทธิพลของฤดูกาลจะมีผลต่ออุณหภูมิดินที่ระดับลึกกว่า

2.5.3 แนวทางการควบคุมอุณหภูมิดิน

อุณหภูมิดินอาจควบคุมหรือดัดแปลงให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้ โดยวิธีการดังนี้

1. **การดัดแปลงความสามารถในการดูดซับความร้อนของผิวดิน** (Heat Absorptivity of Soil Surface)

การดัดแปลงความสามารถในการดูดซับความร้อนของผิวดิน อาจทำได้โดยทำให้ผิวดินมีสีคล้ำหรือจางกว่าเดิมแล้วแต่กรณี การทำให้ผิวดินคล้ำกว่าเดิม ทำให้ผิวดินดูดรังสีความร้อนได้มากขึ้น ซึ่งย่อมทำให้อุณหภูมิของดินสูงขึ้น การทำให้ผิวดินมีสีอ่อนกว่าเดิม ทำให้ผิวดินดูดรังสีความร้อนได้น้อยลง และสะท้อนรังสีความร้อนได้มากขึ้น ซึ่งย่อมทำให้อุณหภูมิของดินต่ำลง ตัวอย่างของวัตถุสีคล้ำที่อาจนำมาใช้ปกคลุมผิวดิน เพื่อให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ได้แก่ ผงลิกไนท์ , ยางมะตอย และตัวอย่างของวัตถุสีอ่อนที่อาจนำมาใช้ปกคลุมผิวดิน เพื่อให้ดินมีอุณหภูมิต่ำลง ได้แก่ ผลซอล์กสีขาว , ทรายขาว หรือปูนขาว เป็นต้น

2. **การดัดแปลงประสิทธิภาพในการนำความร้อนของดิน** (Heat Conductivity of Soil)

การดัดแปลงประสิทธิภาพในการนำความร้อนของดิน อาจทำได้โดยวิธีต่าง ๆ เช่น ทำให้ดินโปร่งมากขึ้นหรือลดระดับความชื้นของดิน เพื่อลดสัมประสิทธิ์การนำความร้อน หรือทำให้ดินแน่นขึ้น หรือเพิ่มความชื้นให้แก่ดินเพื่อเพิ่มสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

3. **การดัดแปลงความร้อนจำเพาะของดิน** (Specific Heat of Soil)

การดัดแปลงความร้อนจำเพาะของดิน อาจทำได้โดยการลดหรือเพิ่มระดับความชื้นของดินเช่นเดียวกับการดัดแปลงประสิทธิภาพการนำความร้อน เช่น เมื่อดินมีอุณหภูมิต่ำเกินไป การระบายน้ำออกจากดินเป็นวิธีหนึ่งที่จะทำให้อุณหภูมิดินเพิ่มขึ้น และเมื่อดินมีอุณหภูมิสูงเกินไป การทดน้ำให้แก่ดินเป็นวิธีที่จะทำให้ดินมีอุณหภูมิลดลง ทั้งนี้เป็นเพราะว่า น้ำมีความร้อนจำเพาะสูงกว่าดินมาก จึงสามารถรับหรือสูญเสียความร้อนมาก โดยที่ระดับอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก นอกจากนี้การระเหยของน้ำจำเป็นต้องใช้ความร้อนเพื่อการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวไปเป็นก๊าซ ทำให้อุณหภูมิของดินลดลง

2.6 แนวทางการใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิดินเพื่อปรุงแต่งสภาวะน่าสบายภายในอาคาร

การใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิดินเพื่อสร้างอุณหภูมิภายในอาคารให้ใกล้เคียงกับสภาวะน่าสบาย โดยทั่วไปมี 2 ลักษณะคือ

2.6.1 การใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิบริเวณผิวดิน (Surface Cooling)

หมายถึง การใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิบริเวณผิวดิน โดยทั่วไปดินที่มีวัสดุปกคลุมผิวดินไม่ว่าจะเป็นพืชคลุมดิน หญ้า จะช่วยให้อุณหภูมิอากาศเหนือผิวดินเย็นกว่าอุณหภูมิทั่วไป จากการระเหยของน้ำผิวดิน (Evaporative Heat Loss from Soil) เมื่อกระแสลมพัดผ่านบริเวณนี้เข้าสู่อาคาร จึงเป็นแนวทางหนึ่งซึ่งช่วยลดอุณหภูมิภายในอาคาร

2.6.2 การใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิมวลสารดิน (Direct Cooling)

คือการใช้ประโยชน์โดยตรงจากอุณหภูมิมวลสารใต้ดิน ที่ความลึกระดับหนึ่ง ในประเทศไทยที่ระดับความลึกประมาณ 60 เซนติเมตร[3] เป็นต้นไป ดินจะมีอุณหภูมิค่อนข้างคงที่แปรปรวนตามสภาพภูมิอากาศในแต่ละวันน้อยมาก และอยู่ใกล้สภาวะน่าสบาย

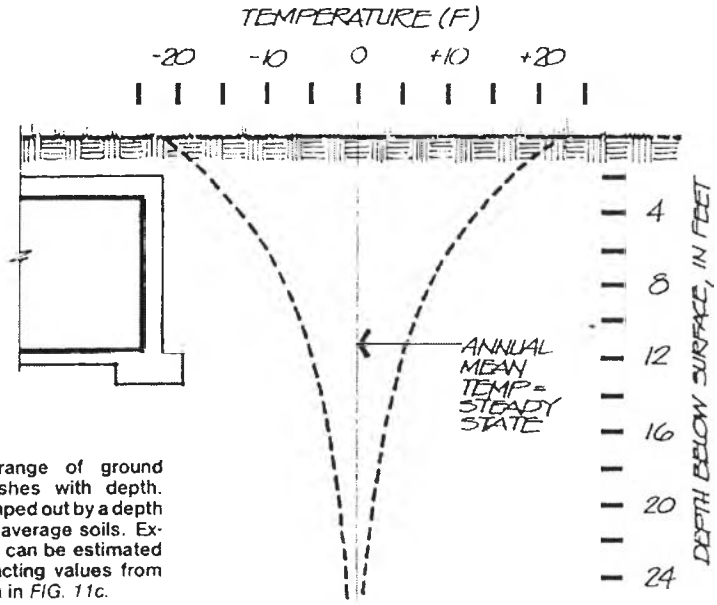


FIG 11b. **Annual range of ground temperature diminishes with depth. Most variation is damped out by a depth of 20 feet (±2F) for average soils. Extremes at any depth can be estimated by adding or subtracting values from this graph from data in *FIG. 11c.***

ภาพที่ 2 - 9 แสดงความแปรปรวนของอุณหภูมิดินสัมพันธ์กับระดับความลึก

ที่มา : Donald Watson , Fair and Kenneth Labs . Climate Design : Energy-Efficient Building Principles and Practices . (New York : Mcgraw-Hill Book Company , 1983) , P.105.

จากงานวิจัยที่ผ่านมา[4] เป็นการศึกษาการทำความเย็นจากผิวสัมผัสพื้นดิน โดยดินที่มีความชื้นสูงจะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก จะมีผลทำให้ผิวของอาคารที่สัมผัสเย็นลง อิทธิพลของความเย็นที่ผิวสัมผัสดินที่เย็นกว่าปกติเป็นการลดอุณหภูมิที่ผิวผนังภายในของอาคาร (MRT) ทำให้ผู้ใช้อาคารสามารถปรับอุณหภูมิห้องให้สูงกว่าปกติได้ เป็นการขยายช่วงของอุณหภูมิน่าสบายให้กว้างขึ้น

---

[3] สุนทร บุญญาธิการ, เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน (กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542), หน้า 78

[4] เอนก ธีระวิวัฒน์ชัย . การทำความเย็นอาคารโดยการใช้ผิวสัมผัสพื้นดิน . วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีอาคาร บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย , 2539.

โดยการวิจัยเป็นลักษณะการทดลอง (Experiment Research) โดยทำการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของดินที่มีผลทำให้ผิวสัมผัสดินมีอุณหภูมิลดลง โดยทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่ออุณหภูมิดิน ที่สามารถพบเห็นได้โดยทั่วไป รวมถึงการศึกษาในเรื่องอิทธิพลของความลึกของดิน , ลักษณะดิน ฒ สภาพผิวดินที่ปกคลุมด้วยพืช และอิทธิพลของทิศที่แตกต่างกันของอาคาร

ผลการวิจัยพบว่า อุณหภูมิดินที่ระดับความลึก 1.00 ม. จากผิวดิน มีอุณหภูมิค่อนข้างจะคงที่ จะมีความแตกต่างจากอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดอยู่ระหว่าง 2 – 3 องศาเซลเซียส พบว่าทิศใต้เป็นทิศที่มีความแตกต่างของค่าอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดมากกว่าทิศอื่น และมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิดินสูงกว่าทิศอื่น ในขณะที่ทิศเหนือ เป็นทิศที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิสูงสุดและต่ำสุดน้อยกว่าทิศอื่น และมีค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิดินต่ำกว่าทิศอื่น ในการเปรียบเทียบของดิน ระหว่างดินและทรายพบว่า ดินมี Time Lag ประมาณ 10 – 12 ชั่วโมง และทรายมี Time Lag ประมาณ 6 ชั่วโมง จากการวิจัยพบว่าอิทธิพลของอุณหภูมิดิน ทำให้อุณหภูมิที่ผิวสัมผัสดินภายในอาคาร (MRT) มีอุณหภูมิลดลง สภาพของผิวดินที่ถูกปกคลุมด้วยพืชจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าดินที่ปราศจากสิ่งปกคลุมถึง 2 องศาเซลเซียส อุณหภูมิภายในอาคารที่ระดับ 1.50 ม. จะมีอุณหภูมิค่อนข้างคงที่และมีทิศทางการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในทิศทางตรงกันข้ามกับอุณหภูมิอากาศ ในขณะที่อุณหภูมิอากาศสูงขึ้น อุณหภูมิภายในอาคารลดลง และในขณะที่อุณหภูมิอากาศเย็นลงอุณหภูมิภายในอาคารจะอบอุ่นขึ้น โดยอุณหภูมิภายในอาคารจะอยู่ที่ 24 – 26.5 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในช่วงของสภาวะน่าสบาย (Comfort Zone) ซึ่งเกิดจากอิทธิพลของ Time Lag ของดิน

จากงานวิจัยดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่า ดินที่ระดับความลึกหนึ่ง อุณหภูมิของดินจะไม่แปรผันตามอุณหภูมิอากาศในรอบวัน อิทธิพลที่มีผลต่ออุณหภูมิดินที่ระดับความลึกดังกล่าวคือฤดูกาล จึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิดินทั้งในฤดูร้อนและฤดูหนาว เทคนิคและวิธีการใช้ประโยชน์จาก Direct Cooling โดยทั่วไปมี 2 รูปแบบ คือ

1. **การใช้ผิวอาคารสัมผัสดิน** (Earth Contact)

เป็นวิธีการออกแบบเพื่อให้พื้นผิวภายนอกอาคารสัมผัสดินโดยตรง โดยเลือกวัสดุที่มาค่าการนำความร้อนสูง เพื่อให้อุณหภูมิมวลสารดินผ่านเข้ามาภายใน เพื่อให้อุณหภูมิภาย

ในอาคารเข้าใกล้สภาวะน่าสบาย และผู้ใช้อาคารรู้สึกสบายขึ้น อันเนื่องมาจากอิทธิพลของ Mean Radiant Temperature : MRT จากผิวอาคาร วิธีการนี้เป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์จากดินที่มีอิทธิพลมากกว่าวิธีการอื่น ๆ โดยรูปแบบการสัมผัสดิน โดยทั่วไปแบ่งได้ 2 ลักษณะคือ

1.1 **แบ่งตามตำแหน่งอาคาร** แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

- Subgrade ไม่มีการปรับระดับดิน ในการใช้งานจะขุดดินลงไปแล้วสร้างอาคารที่ระดับดินเดิม การเลือกใช้รูปแบบนี้ มักใช้กับบริเวณที่ไม่มีปัญหาเรื่องระดับน้ำใต้ดินอยู่สูง และไม่ต้องการมุมมองออกสู่ภายนอก โดยทั่วไปรูปแบบนี้จะไม่ได้รับแสงธรรมชาติ แต่หากมีการออกแบบที่เหมาะสมดังตัวอย่างข้างล่าง สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาภายในอาคารได้ดี แต่เป็นจำเป็นต้องมีระบบการระบายน้ำที่เหมาะสมเพื่อป้องกันปัญหาน้ำขังหรือไหลไม่ทันเวลาฝนตก

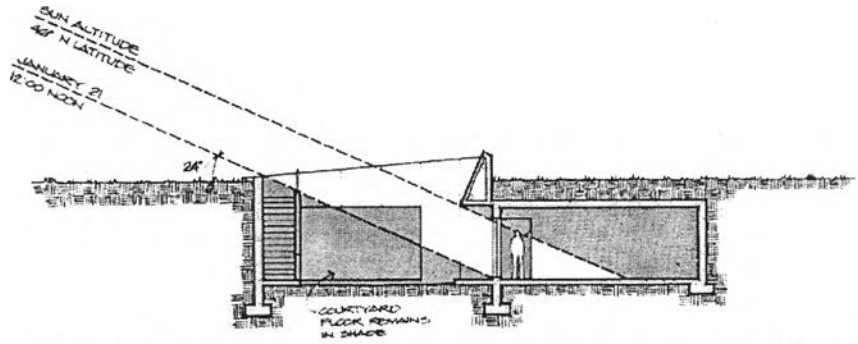
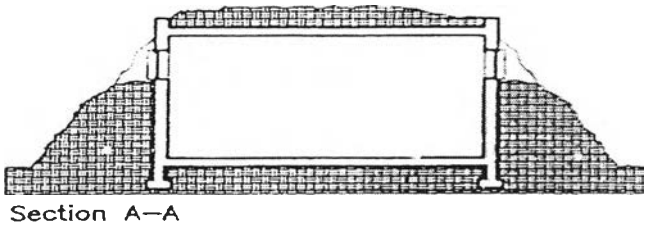


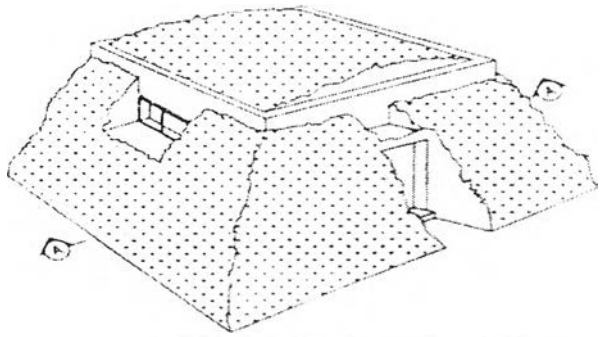
Figure 11 While underground construction offers great heat conservation advantages in northern zones recessed courtyard designs may limit valuable solar gain. Even when a glazed facade is fully exposed to noonday sun in the middle of winter, the floors of sunken courtyards are likely to be shadowed and cold, a place where snow is slow to melt

ภาพที่ 2 - 10 แสดงแนวคิดการขุดดินเพื่อฝังอาคาร (Subgrade) ซึ่งยังคงได้รับแสงจากธรรมชาติ

ที่มา : Walter F. Wagner , Jr. and The Editors of Architectural Record Magazine . Energy – Efficient Building .(New York : Mcgraw-Hill Book Company , 1980 .) P.90.

- Berm เป็นรูปแบบที่วางอาคารบนระดับดินปรกติ และใช้การถมดิน (Berm) รอบอาคารให้สูงขึ้นกว่าปกติ เพื่อให้ปกคลุมอาคารในด้านที่ต้องการ ซึ่งสามารถกำหนดช่องเปิดเพื่อเป็นทางเข้าออก รวมทั้งให้ได้แสงธรรมชาติและมุมมองที่ต้องการได้ อีกทั้งยังไม่มีปัญหาเรื่องระดับน้ำใต้ดิน

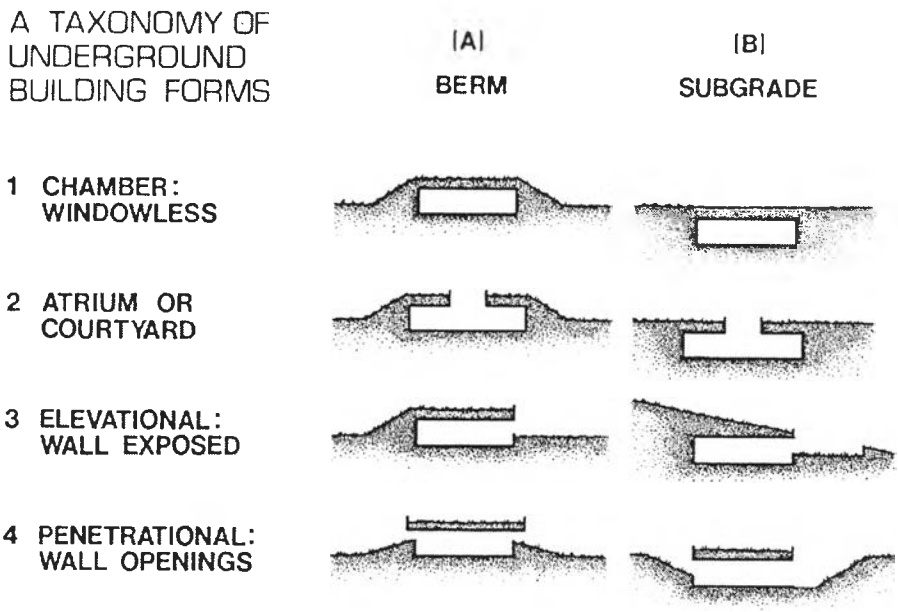




ภาพที่ 2 – 11 แสดงการออกแบบอาคารที่สัมผัสดินโดยการฝังกลบ (Berm) โดยยังคงได้รับแสงธรรมชาติ

ที่มา : Baruch Givoni . Passive and Low Energy Cooling of Buildings . (United State of America : Van Nostrand Reinhold , 1994),P. 211.

1.2 **แบ่งตามรูปแบบการสัมผัสดินของพื้นผิวภายนอกอาคาร** โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 4 รูปแบบ



ภาพที่ 2 - 12 แสดงการสัมผัสดินของพื้นผิวภายนอกอาคารในรูปแบบต่างๆ

ที่มา : Walter F. Wagner , Jr. and The Editors of Architectural Record Magazine . Energy –Efficient Building . (New York : Mcgraw-Hill Book Company , 1980) ., P.88.

แบบที่ 1 Chamber : Windowless

เป็นรูปแบบซึ่งพื้นผิวภายนอกอาคารทั้ง 6 ด้าน สัมผัสดินทั้งหมด ทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิดินได้มากกว่ารูปแบบอื่น แต่มีข้อเสียคือไม่มีช่องเปิดสำหรับมองออกสู่ภายนอกและไม่ได้รับแสงธรรมชาติ ทำให้ต้องสิ้นเปลืองพลังงานจากแสงประดิษฐ์ ตัวอย่างของห้องที่ใช้ลักษณะการสัมผัสดินแบบนี้โดยทั่วไปได้แก่ห้องใต้ดิน

แบบที่ 2 Atrium or Courtyard

โดยทั่วไปคล้ายกับแบบ Chamber : Windowless แต่ส่วนหลังคาเปิดให้แสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารได้ อย่างไรก็ตาม ในสภาพภูมิอากาศร้อนชื้นแบบประเทศไทยควรระวังแสงโดยตรงจากรังสีดวงอาทิตย์ (Direct Radiation) ซึ่งเป็นแสงที่มีผลเสียมากกว่าดีและโดยทั่วไปไม่สามารถใช้ประโยชน์ใด ๆ ได้

แบบที่ 3 Elevational : Wall Exposed

รูปแบบนี้ การสัมผัสระหว่างผนังกับดินมีความหลากหลาย คืออาจไม่สัมผัสเลย คลุมทั้งหมดหรืออาจสัมผัสเพียงบางส่วน เพื่อเปิดให้เห็นวิวทิวทัศน์ภายนอกและเป็นทางเข้า-ออกของอาคารได้ ส่วนพื้นผิวภายนอกอาคารส่วนอื่น คือพื้นและหลังคาสัมผัสดินหมด หากที่ตั้งอาคารอยู่ใกล้บริเวณเชิงเขา การเลือก Elevational : Wall Exposed จะเหมาะสมกว่ารูปแบบอื่น แต่อย่างไรก็ตาม ในการพิจารณาถึงผนังด้านที่เป็นช่องเปิด นอกจากมุมมองหรือข้อกำหนดทางภูมิศาสตร์แล้ว ควรคำนึงถึงทิศทางของกระแสลม และด้านที่ได้รับความร้อนน้อยที่สุด ซึ่งโดยทั่วไปได้แก่ผนังทิศเหนือ

แบบที่ 4 Penetrational : Wall Openings

เป็นรูปแบบที่พบเห็นมากที่สุด ผนังอาคารสัมผัสดินไม่เต็มผืน มีข้อเสียคือใช้ประโยชน์จากอุณหภูมิดินได้น้อยกว่ารูปแบบอื่น แต่ที่เป็นที่นิยมเนื่องจากดูโปร่ง ได้มุมมองจากทุกทิศทาง รวมถึงสามารถระบายอากาศได้ดีที่สุดเช่นกัน ดังนั้นการเลือกวัสดุคลุมดินที่เหมาะสม เช่นใช้พืชคลุมดินจะช่วยให้อาคารได้รับลมเย็นอันเนื่องมาจาก การระเหยของน้ำบริเวณผิวดินได้ (Evaporative Cooling) เมื่อกระแสลมพัดความเย็นเข้าสู่อาคาร

การออกแบบอาคารที่มีพื้นผิวภายนอกอาคารสัมผัสมวลสารดิน จำเป็นต้องพิจารณาถึงตำแหน่งของช่องเปิดทั้งประตูและหน้าต่าง เนื่องจากมีความสัมพันธ์กับภาวะน่าสบายภายในอาคารและแนวโน้มการประหยัดพลังงาน ซึ่งโดยทั่วไปตำแหน่งของช่องเปิดมักถูกกำหนดด้วย ลักษณะภูมิประเทศ มุมมอง และอิทธิพลอื่น ๆ

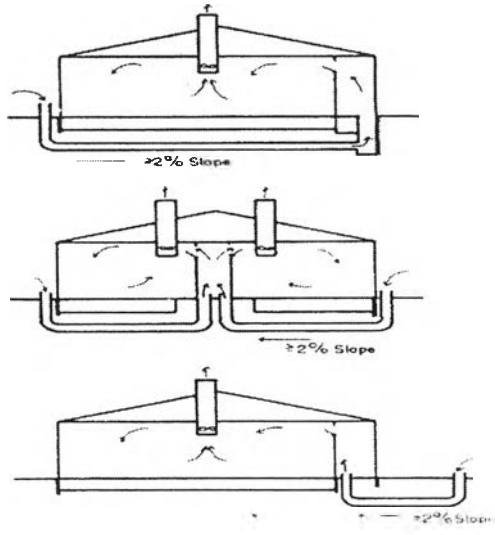
สำหรับอาคารที่ใช้ระบบ Passive ในภูมิภาคที่มีอากาศร้อนชื้น ทิศทางของรังสีดวงอาทิตย์และกระแสลมเป็นสิ่งสำคัญที่มิอาจมองข้ามได้ โดยทั่วไป ตำแหน่งและทิศทางของช่องเปิดที่เหมาะสม ควรอยู่ทางทิศใต้และทิศเหนือ เนื่องจากเป็นทิศลมประจำปี ดินที่สัมผัสกับผนังด้านนี้โดยทั่วไปมีความสูงไม่เกิดครึ่งหนึ่งของความสูงทั้งหมด สำหรับผนังในทิศตะวันออกและตะวันตกควรถมให้มิด ทั้งนี้เพราะมีอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์สูง อีกทั้งยังมุม Profile Angle ทอดต่ำ ยากต่อการควบคุม Direct Radiation จากดวงอาทิตย์

2. **การใช้ท่อใต้ดิน** (Earth Tube)

คือการนำความเย็นโดยใช้ท่อใต้ดิน วิธีการคือใช้ท่อฝังใต้ดินแล้วทำให้เกิดการหมุนเวียนอากาศภายในท่อ เพื่อให้อุณหภูมิของดิน ช่วยลดอุณหภูมิของอากาศภายในท่อ แล้วจึงปล่อยเข้าสู่อาคาร ซึ่งโดยทั่วไปใช้ท่อพลาสติกหรือ ท่อ พี วี ซี โดยดูดอากาศจากภายนอกที่มีอุณหภูมิสูงผ่านท่อที่ฝังใต้ดิน ความเย็นของดินจะซึมผ่านผิวท่อช่วยลดอุณหภูมิอากาศดังกล่าว ดังนั้นอากาศที่เข้ามาในอาคารจึงมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิดิน แต่ในภูมิภาคซึ่งมีความชื้นสูงอย่างในประเทศไทย ควรมีการป้องกันความชื้นที่มากับอากาศการนำมาใช้หากไม่สามารถป้องกันความชื้นได้จะทำให้ผู้ใช้อาคารรู้สึกไม่สบายตัว หากเป็นอาคารปรับอากาศจะสิ้นเปลืองพลังงานในการรีดความชื้นสูง

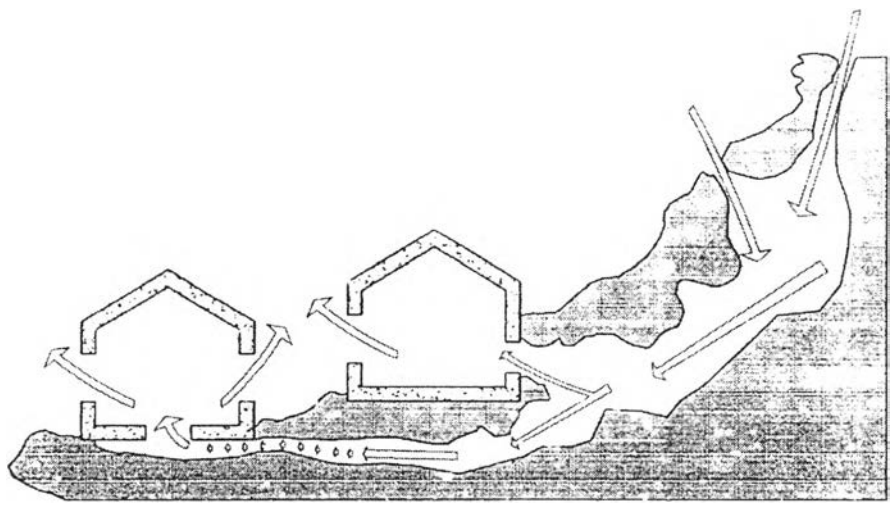
สาเหตุของความชื้น โดยทั่วไปเกิดจาก การนำอากาศภายนอกซึ่งปกติมีความชื้นสูงอยู่แล้วเข้าสู่อาคารโดยยังไม่ได้ผ่านขั้นตอนการรีดความชื้น และอีกสาเหตุหนึ่งคือ การรั่วซึมของท่อทำให้ความชื้นภายในดินซึมผ่านผิวท่อ ทำให้อากาศภายในท่อเกิดความชื้นมากขึ้น

วิธีการแก้ปัญหาเรื่องความชื้นที่มากับอากาศในท่อนำความเย็นคือ ใช้การไหลเวียนของอากาศในระบบปิด กล่าวคือนำอากาศภายในอาคารซึ่งควบคุมความชื้นในปริมาณที่เหมาะสมมาไหลเวียนผ่านท่อใต้ดินเพื่อลดอุณหภูมิแล้วย้อนกลับมาปล่อยเข้าสู่อาคารอีกครั้งหนึ่ง โดยทั่วไปเหมาะสมกับระบบ Active หรืออาคารที่ใช้ระบบปรับอากาศ



ภาพที่ 2 – 13 แสดงการใช้ระบบหมุนเวียนอากาศผ่านท่อใต้ดิน ในรูปแบบต่าง ๆ

กลยุทธ์ในการลดอุณหภูมิภายในอาคารโดยให้อากาศไหลผ่านท่อใต้ดิน เป็นวิธีการซึ่งดัดแปลงมาจากแนวคิดในอดีตที่ The Villa Acolia ซึ่งสร้างขึ้นในปี ค.ศ. 1550 โดย Coung Farncesco Trento.[5] ซึ่งทำอากาศให้เย็นลง โดยผ่านเข้าไปในถ้ำทางด้านข้างของภูเขาที่เปิดอยู่เหนือถ้ำ และเชื่อมต่อด้วยท่อ ผ่านไปทางใต้ดินของหมู่บ้าน การเคลื่อนที่ของอากาศทำให้อากาศเย็นและมีการควบแน่นของอากาศมากกว่าภายนอก วิธีการนี้สามารถทำให้อากาศที่ได้อุณหภูมิอยู่ที่ 52 องศาฟาเรนไฮท์ (11.5 องศาเซนติเกรด) ตลอดทั้งปี ในขณะที่ในช่วงฤดูร้อน อากาศภายนอกอาจสูงถึง 90 องศาฟาเรนไฮท์ (32 องศาเซนติเกรด) อุณหภูมิภายในระบบอยู่ที่ 55 – 57 องศาฟาเรนไฮท์ เท่านั้น



ภาพ 2 - 14 แสดงแนวคิดการบังคับทิศทางลมให้ผ่านถ้ำ เพื่อลดอุณหภูมิก่อนระบายออกที่หมู่บ้าน The Villa Acolia

ที่มา : Fuller Moore, Environmental Control System. 1993, P.215.

[5] Fuller Moore, Environment Control System, 1993.