บทที่ 2
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการคายน้ำของต้นไม้ในเขตร้อนชื้น จะกำหนดเนื้อหาในการศึกษาหลักๆ ออกเป็น 4 เรื่อง ที่เกี่ยวข้อง คือ

2.1 สภาพแวดล้อม

2.2 กระบวนการเจริญเติบโตของต้นไม้

2.3 การระเหยของน้ำ

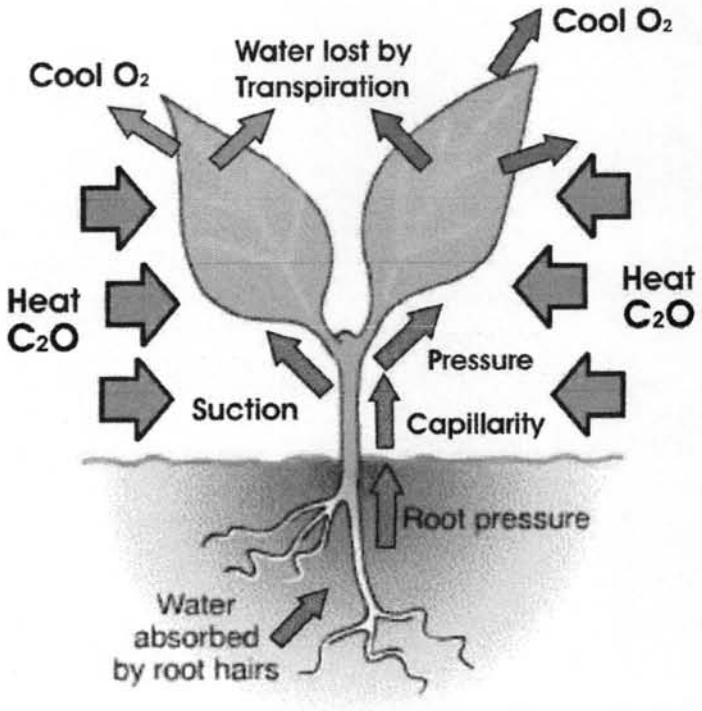
2.4 ลักษณะและประเภทของต้นไม้

กระบวนการคายน้ำของต้นไม้ (Transpiration) ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงสถานะจากน้ำภายในต้นไม้ที่ระเหยกลายเป็นไอออกสู่สภาพบรรยากาศภายนอก ในลักษณะการเปลี่ยนแปลงนี้จะเป็นการเพิ่มปริมาณความชื้น (Humidity) ให้กับสภาพแวดล้อม ซึ่งเป็นตัวแปรหนึ่งของสภาวะน่าสบายและปริมาณความชื้นในบรรยากาศจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ (Temperature) โดยต้นไม้จะต้องใช้ความร้อนจากสภาพแวดล้อมมาช่วยในการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ ฉะนั้นในทางกลับกันจะแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอากาศส่งผลต่อปริมาณการคายน้ำของต้นไม้ตามไปด้วย ทั้งนี้ การที่ทั้ง 2 ตัวแปรดังกล่าวข้างต้นเป็นผลต่อกันและกัน ก็เพื่อรักษาสภาพสมดุลระหว่างชั้นบรรยากาศและน้ำในต้นไม้ที่สามารถหล่อเลี้ยงต้นไม้ในการดำรงชีวิตอยู่ในสภาพแวดล้อมนั้นๆได้

ต้นไม้เปรียบเสมือนมนุษย์ ที่ภายในร่ายกายต้องรักษาระดับน้ำไว้ในสัดส่วนที่พอเหมาะอันเป็นเหตุผลที่ทำให้แต่ละสภาพแวดล้อมที่ต้นไม้อาศัยอยู่ เกิดการคายน้ำซึ่งเป็นส่วนหนึ่งการกระบวนการเจริญเติบโตของต้นไม้ในปริมาณที่ไม่เท่ากัน ยกตัวอย่างเช่น ในสภาพแวดล้อมที่แห้งแล้งมากๆต้นไม้จะมีการคายน้ำในปริมาณที่น้อย เนื่องมาจากปากใบของต้นไม้หรือที่เรียกว่า สโตมาทอลทรานสพิเรชัน (stomatal transpiration) จะทำการปิดปากใบ และปล่อยให้การคายน้ำเกิดขึ้นส่วนของลำต้นเท่านั้น ซึ่งมีปริมาณการคายน้ำที่น้อยกว่าปากใบมาก เป็นสาเหตุจากการที่ต้นไม้ต้องการรักษาระดับน้ำในตัวเอง เพื่อหล่อเลี้ยงและดำรงอยู่ในสภาพแวดล้อมที่แห้งแล้งได้ต่อไป

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น การคายน้ำของต้นไม้มีบทบาทสำคัญต่อการสร้างสภาวะน่าสบายเป็นอย่างมาก เพราะต้นไม้จะอาศัยการดูดซับความร้อนจากสภาพแวดล้อมไปใช้ในกระบวนการคายน้ำ และถ้าต้นไม้มีกระบวนการคายน้ำในปริมาณที่มากต้นไม้ก็จะใช้พลังงานความร้อนจากสภาพแวดล้อมมากตามไปด้วย และในศักยภาพของพื้นที่

ภูมิอากาศเขตร้อนชื้นนี้ ที่มีความอุดมสมบูรณ์ทั้งน้ำในดินและความร้อนจากสภาพแวดล้อมก็ยิ่งเป็นผลทำให้มีปริมาณการคายน้ำของต้นไม้ที่มากตาม จากการศึกษา (Foster ,1994) พบว่า " อิทธิพลของร่มเงา การระเหยที่ได้จากการคายน้ำ จะสามารถลดอุณหภูมิใต้ต้นไม้ใหญ่ได้ถึง 14 °C โดยได้แบ่งสัดส่วน 75% ของการสร้างความรู้สึกเย็นของต้นไม้ ได้มาจากการคายน้ำ ส่วนอีก 25% ได้มาจากร่มเงา " ต้นไม้ก็จะกลายเป็นเครื่องฟอกอากาศชั้นเยี่ยม ที่สามารถนำพลังงานความร้อนจากสภาพแวดล้อมมาเปลี่ยนสถานะของน้ำในกระบวนการคายน้ำ แล้วถ่ายเทความเย็นกลับคืนสู่สภาพแวดล้อมอีกครั้ง สิ่งเหล่านี้คือผลพลอยได้ที่ได้จากกระบวนการคายน้ำของต้นไม้



ภาพที่ 2.1 แสดงกระบวนการดูดซับความร้อนจากสภาพแวดล้อมมาใช้ในกระบวนการคายน้ำแล้วถ่ายเทความเย็นกลับคือสู่ธรรมชาติ

ที่มา: (ลดาวัลย์ พวงจิตร, 2546)

2.1 สภาพแวดล้อม

สภาพแวดล้อม เป็นคำที่ใช้แทนความหมายภาษาอังกฤษที่ว่า Environment ตามพจนานุกรมภาษาอังกฤษ (Webster, 1958: 856) แปลว่า "สิ่งแวดล้อมโดยรอบ หรือพลังต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อหรือการเปลี่ยนแปลงอื่นๆ ศัพท์เฉพาะทางสังคมศาสตร์ คือ ปัจจัยต่างๆ ที่แวดล้อมหรือกระทบต่อความเป็นอยู่ของมนุษย์ ในการศึกษาพฤติกรรมมนุษย์อาจแบ่งสภาพแวดล้อมออกเป็นสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ เช่น สภาพภูมิอากาศ, ดิน และสภาพแวดล้อมที่ไม่ได้เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ เช่น สภาพแวดล้อมทางกายภาพและสังคม ประกอบด้วยอาคาร, ถนน, และสิ่งต่างๆ ที่มีการสร้างขึ้น" (The surrounding conditions, influences, or forces, which influence or modify. Specific: Social. The factors surrounding or affecting human beings. In the study of human behavior, environment may be divided into the physical, or inorganic environment, comprising such factors as climate and soil. Physicosocal environment, comprising building, roads, and all manufactured objects.)

ในภาษาไทย มีคำที่ใช้แทนหรือมีความหมายคล้ายคลึงคำว่า สิ่งแวดล้อม เช่น สภาพแวดล้อมและสภาวะแวดล้อม โดยจะใช้คำแทนที่เป็นภาษาอังกฤษ คือ Environment เช่นเดียวกัน จากพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน ได้นิยามคำว่า สภาพแวดล้อมว่า สิ่งต่างๆ ที่มีลักษณะทางกายภาพและชีวภาพ ที่อยู่รอบตัวมนุษย์ซึ่งเกิดโดยธรรมชาติและสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น

สภาพแวดล้อมในงานสถาปัตยกรรม ซึ่งจะหมายถึงสภาพภูมิอากาศและสภาพภูมิประเทศ รวมถึงปัจจัยภายนอกที่ส่งผลกระทบโดยตรงต่อลักษณะการใช้งานภายในอาคาร เช่น การถ่ายเทความร้อนและความชื้นจากสภาพแวดล้อมเข้าสู่อาคาร เป็นต้น

2.1.1 สภาพภูมิอากาศ

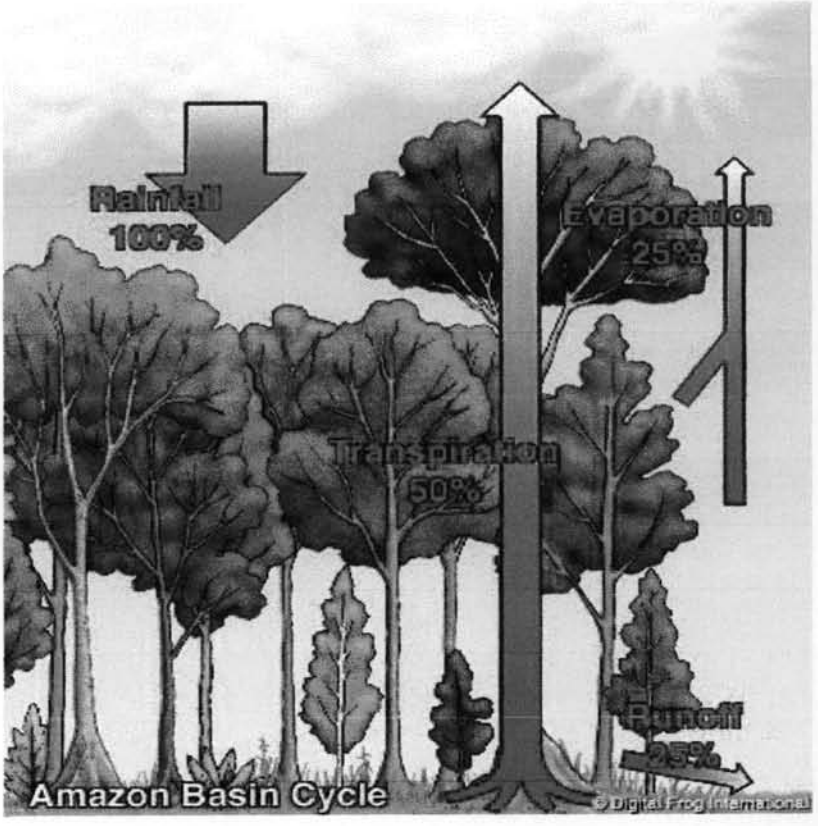
สภาพภูมิอากาศจะแตกต่างกันออกไปตามลักษณะที่ตั้งหรือภูมิภาค ซึ่งเป็นผลมาจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ การเคลื่อนที่ของโลก ความกดอากาศ และปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง ในขอบเขตของการวิจัยจะมุ่งเน้นไปที่ผลจากปริมาณการคายน้ำในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ซึ่งจากการศึกษาสภาวะน่าสบายที่เกิดจากการคายน้ำของต้นไม้จะส่งผลถึงสภาพแวดล้อมโดยรอบตามขนาดพื้นที่ที่ต้นไม้อาศัยอยู่ โดยสภาพภูมิอากาศสามารถแบ่งตามขนาดพื้นที่ออกเป็น 2 ประเภทด้วยกัน คือ สภาพภูมิอากาศแบบมหภาค (Macroclimate) และสภาพภูมิอากาศแบบจุลภาค (Microclimate)

สภาพภูมิอากาศมหภาค (Macroclimate) คือ สภาพภูมิอากาศขนาดใหญ่ของภูมิภาคหรือภูมิอากาศที่อยู่ในบริเวณพื้นที่ขนาดใหญ่ มีขนาดหลายร้อยตารางกิโลเมตร ซึ่งจะ

ได้รับผลกระทบจากการคายน้ำของต้นไม้ในแบบมหภาคเหมือนกัน ได้แก่ ป่าอเมซอน ป่าดงดิบ เป็นต้น

สภาพภูมิอากาศจุลภาค (Microclimate) คือสภาพภูมิอากาศขนาดเล็กซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของสภาพภูมิอากาศของพื้นที่ขนาดใหญ่ ซึ่งสภาพภูมิอากาศจุลภาคหลายๆพื้นที่มารวมกัน ก็จะส่งผลทำให้เกิดสภาพภูมิอากาศมหภาคเช่นเดียวกัน

ขอบเขตของผลกระทบที่เกิดจากคายน้ำของต้นไม้ จะขึ้นอยู่กับปริมาณและจำนวนของต้นไม้ ถ้าต้นไม้มีปริมาณมากและกินพื้นที่กว้าง อิทธิพลที่เกิดจากการคายน้ำก็จะแสดงออกมาเป็นบริเวณกว้างหรือที่เรียกว่าแบบมหภาค ในภาพที่ 2.2 จะแสดงให้เห็นถึงระบบนิเวศทางน้ำในป่าอะเมซอน ซึ่งการคายน้ำของต้นไม้ในสัดส่วนปริมาณมากจะสามารถส่งผลกระทบที่ทำให้เกิดฝนกับภูมิอากาศมหภาคได้ สำหรับการวิจัยนี้ จะทำการศึกษาผลกระทบจากการคายน้ำที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในแบบจุลภาค เพื่อให้ได้ข้อมูลและผลที่แม่นยำและชัดเจน



ภาพที่ 2.2 แสดงระบบนิเวศทางน้ำบริเวณป่าอเมซอน

(ที่มา: www.aquaconserve.com/resources/index.php, 2002)

สภาพภูมิอากาศขนาดใหญ่ในประเทศไทย มีสภาพอากาศแบบร้อนชื้น (Hot-humid Zone) จากข้อมูลทางกรมอุตุนิยมวิทยา (2544) กล่าวว่า ลักษณะท้องฟ้าอากาศในประเทศไทยส่วนใหญ่ มีลักษณะคล้ายคลึงกันจะมีแตกต่างกันบ้างเพียงเล็กน้อย ปกติจะมีท้องฟ้าโปร่งและมีเมฆปกคลุมน้อยในช่วงเดือน พ.ย.-มี.ค. โดยเมฆที่ปกคลุมส่วนใหญ่จะเป็นเมฆชั้นสูงและมีเมฆก่อตัวในแนวตั้งที่จะก่อให้เกิดฝนฟ้าคะนองได้บ้าง โดยเฉพาะช่วงเดือน มี.ค.-พ.ค. เมื่อเข้าสู่ฤดูฝนส่วนใหญ่ท้องฟ้าจะมีเมฆมากหรือมีเมฆเต็มท้องฟ้า เว้นแต่ช่วงปลายเดือน มิ.ย.-ก.ค. อาจมีโอกาสที่ท้องฟ้าโปร่งได้

จากที่กล่าวมาแล้วพบว่า ในช่วงเวลาการทำการเก็บตัวอย่างปริมาณการคายน้ำของต้นไม้ในช่วงเดือน เม.ย.-มิ.ย. ซึ่งเป็นช่วงระหว่างฤดูร้อนจะเข้าสู่ฤดูฝน โดยลักษณะท้องฟ้าในวันที่ทำการทดลองเก็บตัวอย่างปริมาณการคายน้ำ ลักษณะท้องฟ้าจะมีเมฆปกคลุมเล็กน้อยถึงมาก

โดยการทำวิจัยเกี่ยวกับการหาประโยชน์จากการคายน้ำของต้นไม้ ผู้วิจัยจะมุ่งผลประโยชน์ที่ได้ไปสู่สภาวะน่าสบายที่เกิดจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร ฉะนั้นสำหรับสภาพอากาศในประเทศไทยที่มีลักษณะอากาศแบบร้อนชื้น จะทำให้ใกล้เคียงกับเขตสภาวะน่าสบายมากที่สุดนั้นไม่ใช่เรื่องง่าย เนื่องจากที่ตั้งในประเทศไทยอยู่ในเขตใกล้เคียงกับเส้นศูนย์สูตร ซึ่งมีปริมาณแสงแดดจากรังสีดวงอาทิตย์ที่มาก ทำให้เกิดการสะสมความร้อนในเนื้อวัสดุที่มนุษย์ผลิตขึ้นมา ซึ่งที่กล่าวข้างต้นคือ สภาพแวดล้อมทางกายภาพหรือสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้นนั้นเอง โดยความร้อนที่สะสมในเนื้อวัสดุเหล่านั้นจะเกิดการแผ่รังสีความร้อนคืนสู่สภาพแวดล้อม ทำให้สภาพแวดล้อมในบริเวณนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้นตามไปด้วย โดยในปัจจุบันได้มีการรณรงค์เกี่ยวกับ "สภาวะโลกร้อน" ซึ่งจะการศึกษาพบว่าโลกมีอุณหภูมิสูงขึ้นทุกปี ฉะนั้นตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศที่สำคัญรองลงมาจากอุณหภูมิ คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) โดยทั่วไปปริมาณความชื้นจะแปรผกผันหรือสวนทางกับอุณหภูมิอากาศ ถ้าในชั้นบรรยากาศมีปริมาณความชื้นที่มากก็จะส่งผลต่อความสามารถในการลดอุณหภูมิอากาศในบริเวณนั้นได้ ถึงแม้ว่าอากาศร้อนจะมีสามารถในการเก็บกักปริมาณความชื้นในอากาศได้มากกว่า

2.1.2 ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพอุณหภูมิอากาศ

มีความสำคัญที่จะต้องนำมาพิจารณาคือ สภาพภูมิอากาศองค์ประกอบหนึ่งของสภาพแวดล้อมนั้นเอง เพราะสาเหตุในการที่จะทำให้สภาพแวดล้อมดีขึ้นก็เพื่อสภาวะน่าสบายของมนุษย์ ดังที่ (Foster, 1994:5) กล่าวว่า "จุดประสงค์หลักในการควบคุมสภาพแวดล้อม คือ การปรับปรุงความสบายของมนุษย์ให้ดีขึ้น"

นักวิชาการหลายท่านได้มีการศึกษาปัจจัยทางภูมิอากาศต่างๆ มากมายดังนี้ (Laurie 1986: 192) ได้ศึกษาและสรุปตัวแปรต่างๆที่ส่งผลต่อภูมิอากาศ ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ, ไอน้ำ, ลม , และรังสีของดวงอาทิตย์

Olgyay (1992) ได้ทำการศึกษาปัจจัยทางภูมิอากาศขนาดเล็กในเขตที่ตั้งได้แก่ อุณหภูมิ, ความชื้นสัมพัทธ์, การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์, กระแสลม โดยทำการวิเคราะห์จากลักษณะภูมิอากาศประจำปี เพื่อหาวิธีการดำเนินการปรับปรุงสภาพแวดล้อม ซึ่งถือเป็นขั้นตอนแรกในการสร้างบ้านที่สมดุลกับสภาพแวดล้อม (The Process of Building a climate-balance house)

Foster (1994: 5) ได้กล่าวว่า "สภาพภูมิอากาศเกิดจากหลายปัจจัย ประกอบด้วย ดวงอาทิตย์, ลม, อุณหภูมิ, ความชื้น, รังสีของดวงอาทิตย์, การระเหยเป็นไอ, การรวมตัวของไอน้ำและความแตกต่างของความร้อน

Brown และ Gillespie (1995) ได้ศึกษาพบว่า สภาพภูมิอากาศขนาดเล็กมีปัจจัยดังนี้ คือ แสงอาทิตย์และการแผ่รังสี, ลม, อุณหภูมิอากาศ, ความชื้นและปริมาณการตกของฝนหรือหิมะ ส่วนภูมิอากาศในท้องถิ่นขึ้นอยู่กับการพิจารณาของพลังงานแสงอาทิตย์เบื้องต้น ในเรื่อง การพาความร้อน, การระเหยกลายเป็นไอและความร้อนจากวัตถุบริเวณที่ตั้ง หรือ MRT นั่นเอง

การศึกษาของ Beer (1998: 68) พบว่า "ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศมีดังนี้ คือ ทิศทางลมและความถี่ของลม, ความชื้น, อุณหภูมิและระยะทางรวบมวลของแผ่นดินที่ลมพัดผ่านก่อนตกกระทบที่ตั้งของอาคาร

จากการรวบรวมผลการศึกษาสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติต่างๆ สามารถสรุปปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศได้ ดังนี้

- ดวงอาทิตย์ (Sun)
- อุณหภูมิ (Temperature)
- ลม (Wind)
- ความชื้น (Humidity)
- อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Mean Radiant Temperature)

ดวงอาทิตย์ (Sun)

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญ พลังงานความร้อนของดวงอาทิตย์มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมต่างๆ บนโลกมากมาย ทั้งทางตรงและทางอ้อม ยกตัวอย่างเช่น การเกิด "วัฏจักรของน้ำ" หรือการเปลี่ยนสถานะของน้ำ จากน้ำแข็ง มาเป็นน้ำเหลวจนกลายเป็นไอน้ำ โดยการทำวิจัยนี้จะทำการศึกษาโดยตรงและอาศัยประโยชน์จากการเปลี่ยนสถานะของน้ำที่ต้นไม้ใช้ในการเจริญเติบโต ซึ่งได้รับผลกระทบจากปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์ ดวงอาทิตย์ยังสมารถส่งอิทธิพลต่อระบบการไหลเวียนของบรรยากาศบนพื้นโลก เป็นผลทำให้เกิดลมหรือพายุชนิดต่างๆ อีกทั้งเกิดการไหลเวียนของน้ำในมหาสมุทร เพราะน้ำในมหาสมุทรบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรจะมีอุณหภูมิที่สูงกว่าพื้นน้ำบริเวณขั้วโลก นอกจากนี้อิทธิพลของดวงอาทิตย์ยังทำให้เปลือกโลกเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น การพังทลายของพื้นผิวโลก อันเนื่องมาจากกระแสน้ำและกระแสลม ซึ่งทำให้หินเกิดการขยายตัว หดตัว และพังทลายลงมาในที่สุด (กระทรวงศึกษาธิการ, 2535)

"การแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ในรูปแบบพลังงานเคลื่อนแม่เหล็กไฟฟ้า จะส่งมาถึงผิวโลกเพียงบางส่วนเท่านั้น รังสีบางส่วนจะถูกสะท้อนโดยก้อนเมฆ บางส่วนจะถูกดูดซับโดยบรรยากาศที่ห่อหุ้มโลก บางส่วนจะแผ่กระจายโดยโมเลกุลในบรรยากาศ แต่การแผ่รังสีของดวงอาทิตย์บางส่วนก็จะเกิดจากการกระจายของรังสีของดวงอาทิตย์ในบรรยากาศ รังสีคลื่นสั้นที่กระทบบนผิวดินจะสะท้อนออกเป็นรังสีคลื่นยาวแต่พลังงานส่วนใหญ่จะถูกดูดซับไว้ในผิวดินเหล่านั้น และจะเปลี่ยนมาเป็นพลังงานความร้อนแทน ส่งผลทำให้อากาศ, พื้นดินและวัสดุที่อยู่โดยรอบ มีอุณหภูมิสูงขึ้น" (Olgyay, 1992: 32)

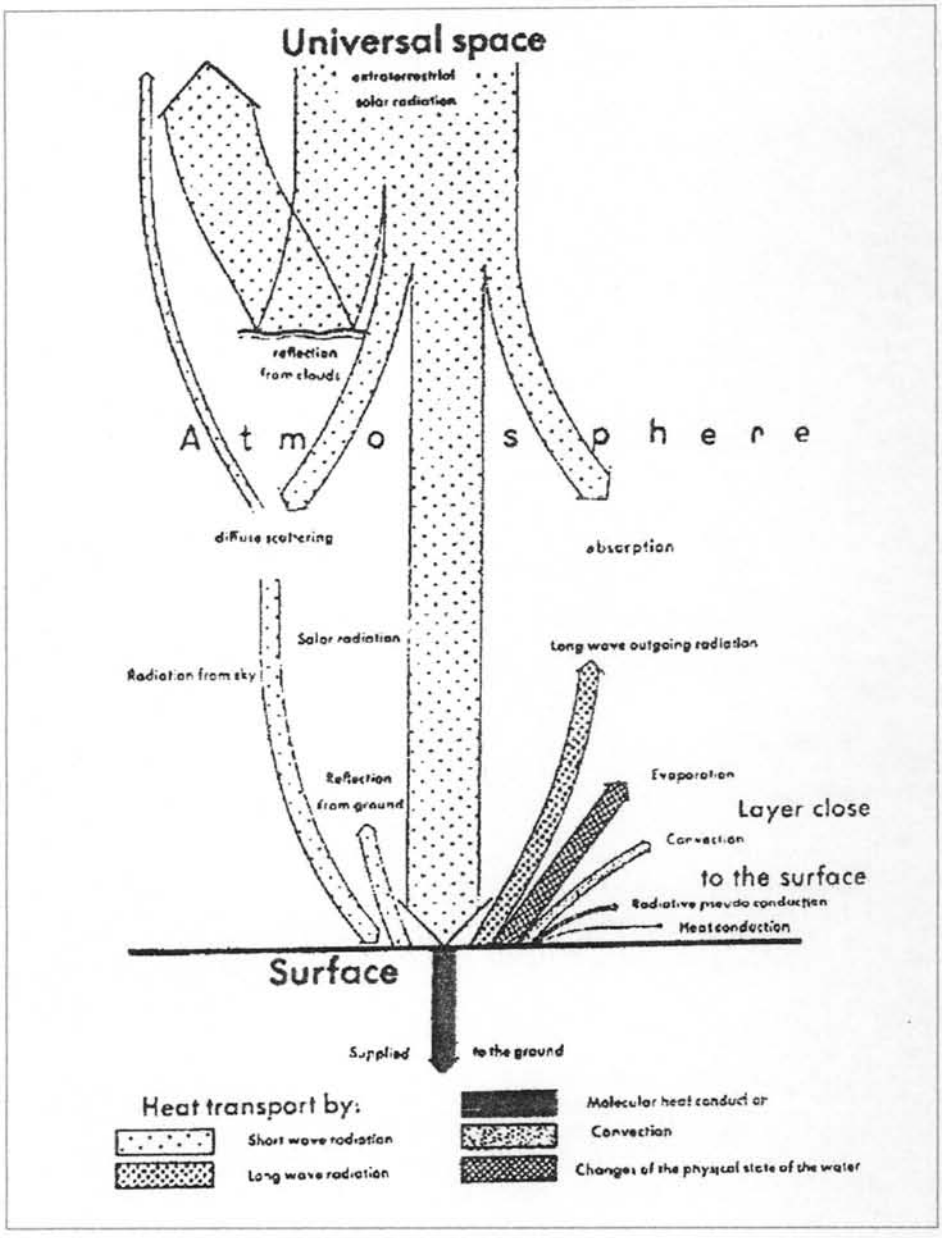
จากการศึกษาของ (Szokolay, cited in Beer, 1998: 72) พบว่า "การที่ดวงอาทิตย์ทำให้เกิดความร้อนบนผิวโลกนั้น เป็นกระบวนการที่ซับซ้อนจากความจริงที่ว่า พื้นผิวที่ต่างกันจะสะท้อนรังสีของดวงอาทิตย์ที่ต่างกันด้วย"

พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์นำมาซึ่งโดยประโยชน์ ขณะเดียวกันก็ก่อให้เกิดปัญหาแก่งานสถาปัตยกรรม พลังงานความร้อนดังกล่าวจะถ่ายเทจากที่ร้อนไปที่เย็นกว่าเสมอ โดยสามารถแบ่งลักษณะการถ่ายเทความร้อนของรังสีจากดวงอาทิตย์ได้เป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

1. การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) เกิดจากการที่วัตถุแผ่รังสีความร้อนในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังอีกวัตถุหนึ่งที่เย็นกว่าโดยตรง การแผ่รังสีความร้อนจึงไม่มีตัวกลาง
2. การพาความร้อน (Convection) เกิดจากการที่ความร้อนในของไหล ได้แก่ของเหลวหรือก๊าซที่มีระดับต่างกัน ตัวกลางที่ร้อนจะเกิดการเคลื่อนที่ไหลเวียนและพาความร้อนขึ้น ทำให้ของไหลเกิดการเคลื่อนที่จากที่ที่มีความร้อนสูงไปยังที่มีความร้อนต่ำ

3. การนำความร้อน (Conduction) เกิดจากการถ่ายเทความร้อนในวัตถุเดียวกัน หรือวัตถุที่มีความแตกต่างกันโดยผิวสัมผัส

Geiger (1950) อธิบายด้วยภาพประกอบ ถึงการส่งผ่านความร้อนในฤดูร้อน โดยปริมาณการส่งผ่านความร้อนใกล้เคียงกับความกว้างที่ลูกศรนั้นปรากฏ ดังแสดงในภาพที่ 2.3.

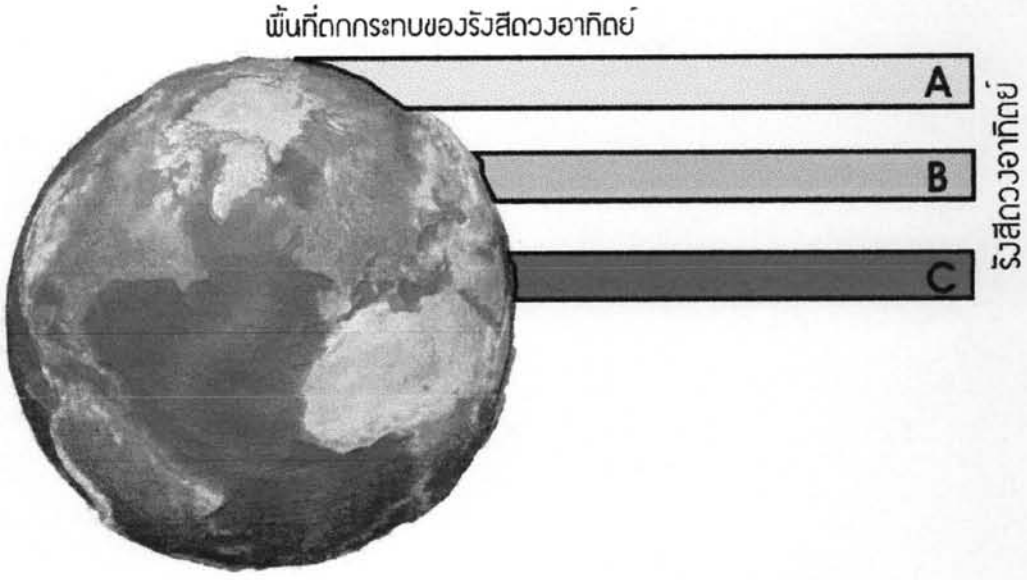


ภาพที่ 2.3 แสดงลักษณะการส่งผ่านความร้อนมายังผิวโลก

(Geiger, cited in Olgyay, 1992: 33)

อุณหภูมิอากาศ (Temperature)

อุณหภูมิอากาศ (Air temperature) เป็นปัจจัยพื้นฐานในการศึกษาสภาพอากาศ (weather) อุณหภูมิอากาศแปรเปลี่ยนไปในแต่ละช่วงเวลา การหมุนรอบตัวเองของโลก ซึ่งทำให้มุมที่แสงอาทิตย์ตกกระทบพื้นผิวโลกเปลี่ยนแปลงไป ในเวลากลางวันมุมองศาของดวงอาทิตย์จะตั้งฉากกับพื้นโลก ลำแสงมีความเข้มสูง ในช่วงเวลาเช้าและเย็น ดวงอาทิตย์อยู่ด้านข้าง แสงตกกระทบพื้นโลกเป็นมุมเฉียง ลำแสงครอบคลุมพื้นที่กว้างกว่า ความเข้มของแสงจึงมีน้อยกว่า อีกประการหนึ่งในช่วงเวลาเที่ยง ลำแสงส่องผ่านบรรยากาศเป็นระยะทางไม่มาก แต่ในช่วงเวลาเช้าและเย็น ลำแสงอาทิตย์ทำมุมลาด ต้องเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศเป็นระยะทางไกล ความเข้มของแสงจึงถูกบรรยากาศกรองให้ลดน้อยลง ยังผลให้อุณหภูมิต่ำลงไปอีก



ภาพที่ 2.4 แสดงมุมองศาที่รังสีจากดวงอาทิตย์ตกกระทบพื้นผิวโลกในระดับต่างๆกัน

จากภาพ จะแสดงถึงอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศที่แตกต่างกันของแต่ละสถานที่ ซึ่งพอสรุปปัจจัยที่ทำให้อุณหภูมิอากาศในแต่ละสถานที่มีความแตกต่างกัน ดังนี้

1. พื้นดินละพื้นน้ำ
2. ระดับความสูงของพื้นที่
3. ละติจูด
4. ตำแหน่งทางภูมิศาสตร์
5. ปริมาณเมฆ และสภาพท้องฟ้า

อิทธิพลของอุณหภูมิอากาศ มีผลอย่างมากต่อกระบวนการคายน้ำของต้นไม้ ที่ส่งผลต่อสภาวะน่าสบายของมนุษย์ เพราะจากการที่น้ำจะระเหยหรือเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอได้นั้น (Vapor) จะต้องใช้พลังงานความร้อนมากถึง 1,000 บีทียู ในการเปลี่ยนสถานะของน้ำ 1 ปอนด์ ให้ระเหยเป็นไอได้ในอากาศ หมายความว่า ต้นไม้มีความต้องการใช้พลังงานความร้อนจากสภาพแวดล้อมในกระบวนการคายน้ำ ซึ่งพลังงานความร้อนที่ได้มาจากสภาพแวดล้อมส่วนใหญ่มาจากพลังงานแสงอาทิตย์ ต้นไม้จะดึงเอาความร้อนในบริเวณนั้นมาใช้ ส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศโดยรอบต้นไม้ต่ำลงกว่าปกติ

สำหรับอาคารในเขตร้อนชื้นอย่างประเทศไทย มีความชื้นสัมพันธ์ที่สูง (ประมาณ 55% ขึ้นไป) กระบวนการเปลี่ยนสถานะจากน้ำกลายเป็นไอจะทำได้ช้า เนื่องจากปริมาณความชื้นในอากาศจะส่งผลต่อปริมาณการคายน้ำของต้นไม้ กล่าวคือถ้าอากาศมีปริมาณความชื้นสัมพันธ์ที่มากจะส่งผลทำให้ปริมาณการคายน้ำของต้นลดลง แต่อย่างไรก็ตาม ต้นไม้จะสามารถดูดน้ำจากรากผ่านลำต้น เพื่อไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงอยู่แล้วและน้ำที่เหลือจากกระบวนการสังเคราะห์แสงจะถูกคายออกสู่สภาพแวดล้อมในรูปของไอน้ำ ทำให้อุณหภูมิโดยรอบต้นไม้ลดลง กระบวนการนี้จะแสดงให้เห็นว่า ไม่ว่าความชื้นสัมพันธ์ของอากาศจะมีค่าสูงเพียงใด กระบวนการคายน้ำของต้นไม้ก็จะเกิดขึ้นเสมอ

จากการศึกษาพบว่า ในช่วงเวลาบ่ายของวันจะมีปริมาณความชื้นสัมพันธ์ที่ต่ำ ทำให้ต้นไม้เกิดการคายน้ำในปริมาณมาก บวกกับช่วงเวลาบ่ายของวันเป็นเวลาที่มีอุณหภูมิอากาศสูงสุด สามารถตั้งเป็นสมมุติฐานได้ว่า ประสิทธิภาพการคายน้ำของต้นไม้เกิดขึ้นสูงสุด ณ ช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิอากาศสูงสุด

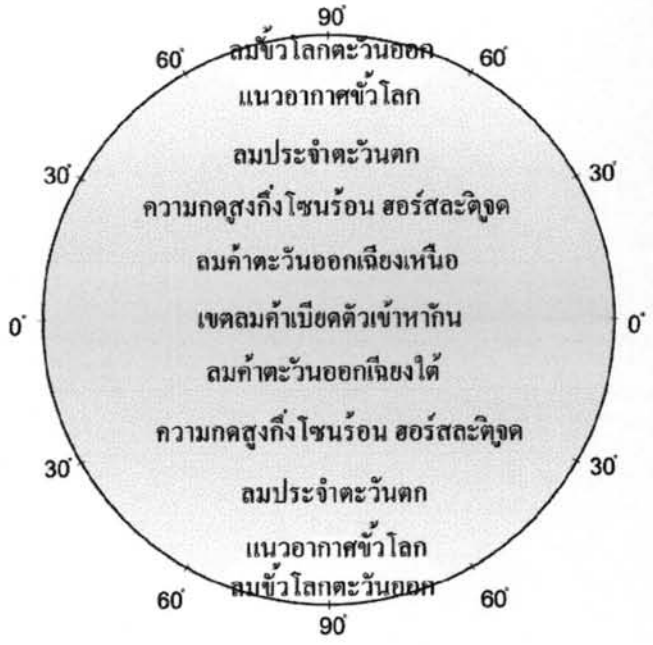
ลม (Wind)

ลม คือ กระแสอากาศหรือชั้นบรรยากาศที่เคลื่อนที่ในแนวนอน ส่วนกระแสอากาศคืออากาศที่เคลื่อนที่ในแนวตั้ง สาเหตุที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสอากาศ เกิดจากพื้นผิวโลกได้รับความร้อนไม่เท่ากัน เมื่อโลกได้พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ จะต้องส่งพลังงานกลับเข้าสู่อวกาศในปริมาณเท่ากับที่โลกได้รับ

พลังงานความร้อนที่โลกได้รับในแต่ละละติจูดมีปริมาณไม่เท่ากัน เขตร้อนได้รับความร้อนเกินความสมดุล ส่วนเขตขั้วโลกได้รับความร้อนขาดสมดุล ดังนั้นเพื่อให้เกิดความสมดุลจึงต้องมีการถ่ายเทความร้อนจากบริเวณศูนย์สูตรไปยังขั้วโลก และถ่ายเทความเย็นจากขั้วโลกมายังศูนย์สูตร ทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของอากาศหรือลม

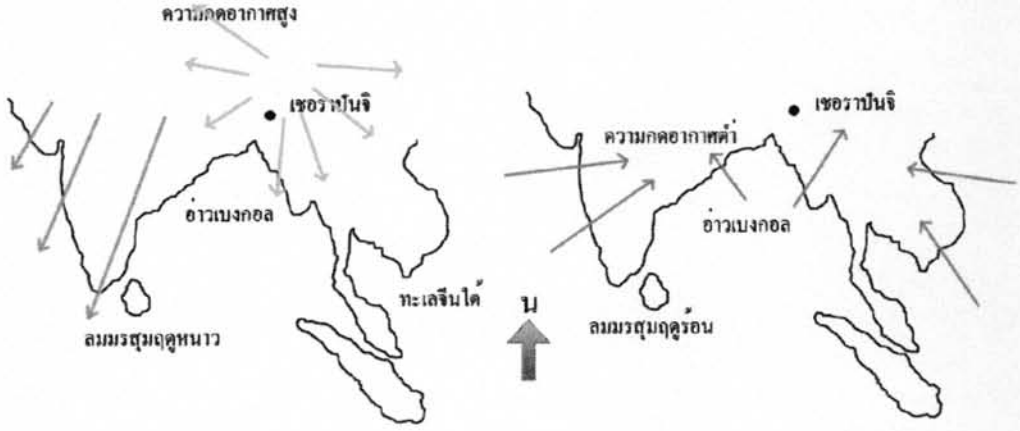
สำหรับประเทศไทย สภาวะและกระแสลมที่มีผลต่อสภาพแวดล้อมกับกระบวนการคายน้ำของต้นไม้และงานทางด้านสถาปัตยกรรม จะคำนึงถึงลมมรสุม (Monsoon) คือลมที่พัดเปลี่ยน

ทิศทางกลับการเปลี่ยนฤดูคือ ฤดูร้อนจะพัดในทิศทางหนึ่ง และจะพัดเปลี่ยนทิศทางในทางตรงกันข้ามในฤดูหนาว และลมท้องถิ่นที่เกิดจากอิทธิพลของภูมิประเทศและความเปลี่ยนแปลงของความกดอากาศ



ภาพที่ 2.5 แสดงการถ่ายเทลมพื้นผิวและระบบความกดอากาศ

(ที่มา: http://www.marine.tmd.go.th/thai/windhtml/windhtml.html)



ภาพที่ 2.6 แสดงลมมรสุมในฤดูร้อนและลมมรสุมในฤดูหนาว

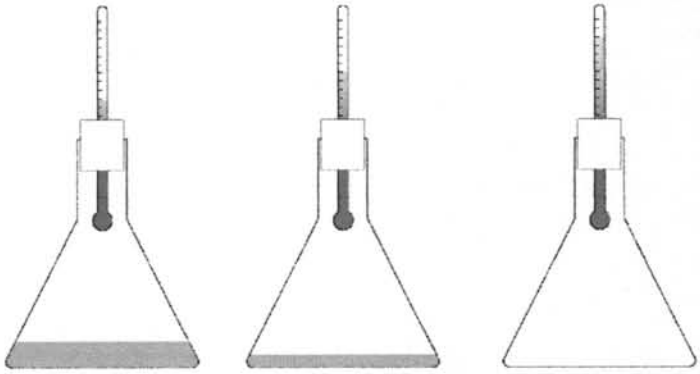
(ที่มา: http://www.marine.tmd.go.th/thai/windhtml/windhtml.html)

จากการวิเคราะห์อิทธิพลของกระแสลม อุณหภูมิ และปริมาณการระเหยของน้ำ พบว่า ในช่วงเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม จะมีอัตราการระเหยของน้ำสูงกว่าทุกเดือน ซึ่งตรงกับในช่วงเวลาที่ได้รับอิทธิพลของลมมรสุมจากทางทิศใต้ที่พัดมาจากฝั่งอ่าวไทย ซึ่งเป็นลมที่มีปริมาณความชื้นมาก **ด้วยสาเหตุนี้จึงอาจจะสรุปหรือตั้งเป็นสมมุติฐานได้ว่า อิทธิพลของกระแสลมที่มีความเร็วมากพอ มีผลต่อการระเหยของน้ำ บวกกับเป็นช่วงฤดูร้อน ซึ่งอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศมีผลต่อปริมาณการระเหยด้วยเช่นกัน**

ความชื้น (Humidity)

ความชื้น (Humidity) คือ ละอองไอน้ำในอากาศซึ่งสามารถเคลื่อนที่ไปมาได้ โดยเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ (ตรึงใจ บูรณสมภพ, 2539: 159)

ปริมาณไอน้ำในอากาศจะขึ้นอยู่กับสภาวะของอุณหภูมิในขณะนั้น โดยความชื้นที่ได้จากการคายน้ำของต้นไม้จะส่งผลโดยตรงกับปริมาณความชื้นในอากาศที่เป็นผลต่อสภาวะน่าสบายของมนุษย์ ความชื้นในอากาศมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา จะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับความดัน และอุณหภูมิ ซึ่งปริมาณของไอน้ำในอากาศขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศ อากาศร้อนสามารถเก็บไอน้ำได้มากกว่าอากาศเย็น ดังนั้นหากเราลดอุณหภูมิของอากาศจนถึงจุดๆ หนึ่ง จะเกิด "อากาศอิ่มตัว" (Saturated air) อากาศไม่สามารถเก็บกักไอน้ำไว้ได้มากกว่านี้ หรือกล่าวได้ว่าอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ 100% ดังนั้นหากอุณหภูมิยังคงลดต่ำลงอีก ไอน้ำจะเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลว อุณหภูมิที่ทำให้เกิดการควบแน่นนี้เรียกว่า "จุดน้ำค้าง" (Dew point)



ภาพที่ 2.7 ความสามารถในการเก็บไอน้ำในอากาศ ณ อุณหภูมิต่างๆ

(ที่มา: The Lesa Project, 2546)

จากที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น จะสามารถสรุปได้ว่า "จุดน้ำค้างของอากาศชื้นมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดน้ำค้างของอากาศแห้ง" การควบแน่นของไอน้ำในอากาศ ทำให้เกิดการคายความร้อนแฝง

ส่งผลให้อากาศโดยรอบมีอุณหภูมิสูงขึ้น เราเรียกการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ โดยที่ไม่ต้องมีการเพิ่มพลังงานความร้อนจากภายนอก โดยสามารถแบ่งประเภทตามลักษณะของความชื้นได้ ดังนี้

1. ความชื้นสัมบูรณ์ (AbsoluteHumidity)

คือ น้ำหนักของไอน้ำที่มีอยู่จริงในปริมาตรของอากาศจำนวนหนึ่งคำนวณได้จากน้ำหนักของไอน้ำต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของอากาศหรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า ความชื้นสัมบูรณ์คือความหนาแน่นของไอน้ำในอากาศหน่วยคิดเป็นกรัมต่อลูก-บาศก์เมตร เป็นอัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำในอากาศต่อมวลของอากาศแห้ง หน่วยที่ใช้ในการวัดจะเป็น กรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือ เกรนต่อลูกบาศก์ฟุต (ASHRAE Handbook Fundamentals, 1997: p.6.12.)

สมการในการคำนวณ

$$\text{ความชื้นสัมบูรณ์ } (d_v) = \frac{\text{มวลของไอน้ำในอากาศผสม } (M_w)}{\text{ปริมาณของอากาศ } (V)}$$

โดยแทนค่าในสมการ เป็น

d_v = ความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute Humidity)

M_w = อัตราส่วนมวลของไอน้ำ (Water vapor) ต่อมวลของอากาศผสม (moist air)

V = ปริมาตรของอากาศ

2. ความชื้นจำเพาะ (Specific Humidity)

หมายถึง น้ำหนักหรือความชื้นที่มีอยู่ในอากาศ (Q) เป็นอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักของไอน้ำ (Mv) ต่อน้ำหนักของอากาศชื้น น้ำหนักของไอน้ำ (Mv) รวมกับน้ำหนักของอากาศ (Ma) มักใช้เป็นกรัมของน้ำต่อ 1 กิโลกรัมของอากาศชื้นดังสมการ Q = Mv/Mv + Ma ความชื้นจำเพาะของอากาศจะมีค่าคงที่เมื่ออากาศขยายหรือหดตัว โดยที่ความชื้นจะไม่เปลี่ยนแปลงยังมีค่าคงเดิมแม้ว่าปริมาตรของอากาศจะขยายตัวหรือหดตัวก็ตาม

3. ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)

หมายถึง อัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำสูงสุดในอากาศต่อมวลของไอน้ำทั้งหมดที่อากาศสามารถรับได้ ณ อุณหภูมิหนึ่งๆ ดังนั้น การที่ความชื้นสัมพันธ์ 0 เปอร์เซ็นต์ หมายถึงอากาศในขณะนั้นไม่มีไอน้ำอยู่เลย ณ อุณหภูมินั้นๆ และการที่อากาศมีไอน้ำอยู่ 100 เปอร์เซ็นต์ ก็แสดงว่าอากาศขณะนั้นอิ่มตัว คือ อากาศนั้นไม่สามารถรับไอน้ำเพิ่มได้อีก

ความกดดันหนึ่งต่อน้ำหนักของไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิและความกดนั้นคิดเป็นค่าร้อยละ ตัวอย่างเช่น อากาศ 1 ลูกบาศก์เมตร เมื่ออุณหภูมิ30 องศาเซลเซียส มีไอน้ำอยู่ 9 กรัม และในอุณหภูมินั้นอากาศอิ่มตัวมีไอน้ำอยู่ 30 กรัม ความชื้นสัมพัทธ์=100x9/30=ร้อยละ 30 ความชื้นสัมพัทธ์เป็นวิธีวัดความชื้นในอากาศที่ใช้มากที่สุด การเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์ จะไม่ทำให้ปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศเปลี่ยนแปลง แต่อุณหภูมิจะเปลี่ยนแปลง และถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย

$$\text{ความชื้นสัมพันธ์ } (\emptyset) = \frac{\text{มวลไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ ณ อุณหภูมิหนึ่ง}}{\text{มวลไอน้ำสูงสุดที่อากาศสามารถรับได้ ณ อุณหภูมินั้น}}$$

สมการในการคำนวณ

$$\emptyset = \frac{X_w}{X_{ws}}$$

(ASHRAE Handbook Fundamentals, 1997: p.6.12.)

โดยแทนค่าในสมการ ดังนี้

$\emptyset$ = ความชื้นสัมพันธ์ (Relative Humidity)

X_w = อัตราส่วนมวลของไอน้ำ (Water Vapor) ต่อมวลของอากาศผสม (Moist Air) ณ อุณหภูมิและความดันหนึ่ง

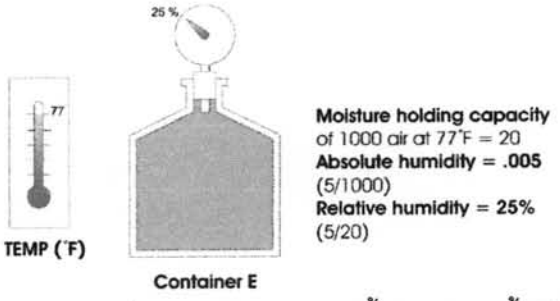
X_{ws} = อัตราส่วนมวลของไอน้ำ (Vapor) ต่อมวลของอากาศผสมในสภาวะอิ่มตัว (Saturated Mixture) ณ อุณหภูมิและความดันนั้นๆ

ปริมาณความชื้นในอากาศ จะมีผลต่อปริมาณความชื้นสัมพันธ์ของอากาศด้วยเช่นกัน ความสัมพันธ์ของความชื้นทั้งสองนี้ สามารถอธิบายได้โดย สมมุติให้ขวด 3 ใบ ที่มีอากาศปริมาณ 1,000 ปอนด์และมีอุณหภูมิที่ 57 องศาฟาเรนไฮต์เท่ากัน และทุกขวดมีการป้องกันอากาศ ไอน้ำหรือน้ำที่ไหลผ่านเข้าออกได้เหมือนกันทั้ง 3 ขวด กำหนดให้ ณ อุณหภูมิที่ 57 องศาฟาเรนไฮต์ อากาศ 1,000 ปอนด์นั้น สามารถรับความชื้นได้สูงสุดประมาณ 10 ปอนด์ แล้วเมื่อพิจารณาจากภาพ แสดงให้เห็นว่า

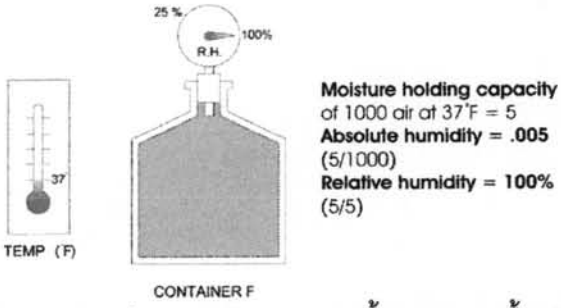
ขวดที่ Aมีความชื้นและความชื้นสัมพันธ์เป็น 0 เนื่องจากไม่มีความชื้นในอากาศนั้นอยู่เลย

ขวดที่ Bบรรจุความชื้นเข้าไป 3 ปอนด์ โดยมีความสัมพันธ์เท่ากับ 30 เปอร์เซ็นต์

ขวดที่ Cเมื่อบรรจุความเข้าไป 10 ปอนด์ ในรูปของหยดน้ำ อัตราส่วนความชื้นในขวดจะเท่ากัน 0.010 ปอนด์ต่ออากาศ 1,000 ปอนด์ ความชื้นสัมพันธ์เป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงว่าขวด C มีปริมาณความชื้นสูงสุดที่อากาศรับได้ ณ อุณหภูมินั้น หากมีการเพิ่มความชื้นอีกจะเกิดการกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ



ภาพที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความชื้นสัมพันธ์ของขวด E



ภาพที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นและความชื้นสัมพันธ์ของขวด F

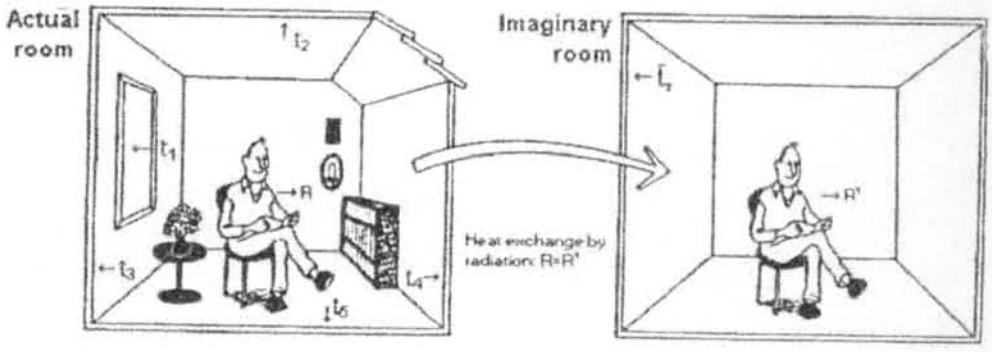
4. อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Pojnt Temperaturs)

คืออุณหภูมิซึ่งอากาศถูกทำให้เย็นลง (ความกดอากาศคงที่) ถึงอุณหภูมิหนึ่งที่ไอน้ำจุดอิ่มตัวพอดีอุณหภูมิของจุดน้ำค้างจะเป็นเท่าใดก็ได้ ขึ้นอยู่กับจำนวนไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ ถ้าอากาศมีไอน้ำมากอุณหภูมิของจุดน้ำค้างจะสูง แต่ถ้าไอน้ำมีน้อยอุณหภูมิของจุดน้ำค้างจะต่ำ ถ้าอุณหภูมิของอากาศลดต่ำกว่าจุดน้ำค้าง จะมีการกลั่นตัวในรูปของหยาดน้ำฟ้า ตัวอย่างเช่น ในฤดูร้อนแก้วน้ำที่ใส่น้ำแข็งตั้งทิ้งไว้ความชื้นของอากาศจะรวมกันเป็นหยดน้ำเกาะอยู่รอบนอกแก้ว อุณหภูมิของแก้วน้ำที่ใส่น้ำแข็งจะต่ำกว่าอุณหภูมิจุดน้ำค้างที่อยู่โดยรอบ อุณหภูมิของจุดน้ำค้างจะบอกถึงความไม่สะดวกสบายของมนุษย์ ในช่วงที่มีอากาศอุ่นและชื้นได้ดีกว่าความชื้นสัมพัทธ์ยกเว้นสำหรับผู้ที่เคยชินกับอากาศร้อนชื้น คนส่วนใหญ่รู้สึกว่าอากาศชื้นไม่สะดวกสบายเมื่ออุณหภูมิจุดน้ำค้างสูงกว่า 20 องศา ในขณะที่บางคนอาจรู้สึกไม่สะดวกสบาย เมื่ออุณหภูมิจุดน้ำค้างสูงกว่า 17 องศา

อุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบ (Mean Radiant Temperature)

อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (Mean Radiant Temperature : MRT) เป็นอุณหภูมิที่เกิดจากการแผ่รังสีจากสภาพแวดล้อม โดยคิดเป็นค่าเฉลี่ยจากการแผ่รังสีจากแหล่งกำเนิดต่างๆ ที่อยู่ในสภาพแวดล้อมหรือบริบทนั้นๆ

อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ หรือ MRT นั้น จะแตกต่างกันกับอุณหภูมิอากาศ เพราะอุณหภูมิอากาศเกิดจาก Air conduction และ Convection มากกว่า Radiation แต่อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบเป็นอุณหภูมิที่เกิดจากการแผ่รังสี และ MRT จะมีผลต่อสภาวะน่าสบายมากกว่าอุณหภูมิอากาศถึง 40 เปอร์เซ็นต์ (สุนทร บุญญาธิการ, 2536) แล้วจากการวิจัยจะสรุปไว้ว่า เมื่อ MRT ลดลง 1 องศาเซลเซียส จะรู้สึกเย็นลงเท่ากับอุณหภูมิอากาศ 1.4 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 2.10 แสดงการคิด MRT จากห้องสมมุติ

(ที่มา: .www.innova.dk/books/thermal/thermal, 1997)

อุณหภูมิผิว เป็นอุณหภูมิที่เกิดจากกระบวนการถ่ายเทความร้อน ที่ถูกส่งผ่านไปสู่พื้นผิวโดยการนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิวัสดุพื้นผิวกับสภาพแวดล้อม จะขึ้นอยู่กับมุม angle factor ระหว่างผิวสัมผัสนั้นกับสภาพแวดล้อม

จะเห็นได้ว่า ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิว หรือ MRT จะเป็นค่าที่เกิดจากการแผ่รังสีของวัสดุแล้ว ค่าการพาความร้อนที่มีผลเกิดจากสภาพอากาศโดยรอบที่มีอุณหภูมิสูงกว่ายังเป็นปัจจัยที่ทำให้ MRT เปลี่ยนแปลงได้ แต่อย่างไรก็ตามผลกระทบของค่า MRT หลักๆ ก็จะเกิดจากการแผ่รังสีความร้อนมากกว่าการพาความร้อน เพราะการพาความร้อนจะมีค่าการส่งผ่านความร้อน หรือ air film ที่เป็นไปได้น้อย

2.1.3 สภาพภูมิประเทศ

เป็นลักษณะทางกายภาพของภูมิภาคและที่ตั้งที่ส่งผลทำให้เกิดความแตกต่างของลักษณะภูมิอากาศ โดยสามารถแบ่งตามขนาดของพื้นที่เป็น 2 ประเภท คือ สภาพภูมิประเทศขนาดใหญ่และสภาพภูมิประเทศขนาดเล็ก

สภาพภูมิประเทศขนาดใหญ่ คือ สภาพภูมิประเทศขนาดใหญ่ของประเทศภูมิภาค หรือสภาพภูมิประเทศที่อยู่ในอาณาบริเวณที่เป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ มีขนาดหลายร้อยตารางกิโลเมตร

"รายละเอียดของสภาพภูมิประเทศจะนำมาซึ่งการทำนายผล โดยการวิเคราะห์ถึงผลกระทบต่อลักษณะของแผ่นดินที่มีต่ออุณหภูมิ, รังสีที่ได้รับจากดวงอาทิตย์, การระบายอากาศและความชื้น" (Land hair and Moloch, 1985: 40)

สภาพภูมิประเทศขนาดเล็ก คือ องค์ประกอบทางกายภาพในที่ตั้งและบริเวณโดยรอบใกล้เคียงที่ตั้ง ส่งผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศในบริเวณใกล้เคียงที่ตั้งของอาคาร

2.1.4 ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิประเทศ

เป็นองค์ประกอบที่มีผลต่อเขตสบาย และการอนุรักษ์พลังงาน Robinette (1983) ศึกษาปัจจัยต่างๆ ได้แก่ สภาพภูมิประเทศและรูปทรงแผ่นดิน (Topography and Landform), การสะท้อนแสงของพื้นผิว (Surface Reflectivity), แหล่งน้ำ (Water Bodies) และพืชพรรณ (Vegetation)

Laurie (1986: 192) ศึกษาตัวแปรที่นอกเหนือจากตัวแปรทางสภาพภูมิอากาศ เช่น สภาพภูมิประเทศ, พืชพรรณและแหล่งน้ำ

Olgyay (1992: 51) ได้ศึกษาสิ่งแดล้อมตามธรรมชาติ และสิ่งแวดล้อมทางกายภาพที่สร้างขึ้น พบว่า "ขณะที่สิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติ ได้แก่ แหล่งน้ำ (Bodies of Water) พืชพรรณ (Plant) และพืชคลุมดิน (Grassy covers) มีผลทำให้อุณหภูมิลดลง แต่สิ่งแวดล้อมทางกายภาพหรือสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น (Man-made Surface) กลับมีผลทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น"

วิชัย อิทธิวิศวกุล (2539) ศึกษาพบว่า "สภาพแวดล้อมในพื้นที่ขนาดเล็กที่ประกอบตัวแปรทางธรรมชาติ เช่น ต้นไม้, พืชคลุมดิน, แหล่งน้ำและลม มีแนวโน้มทำให้อุณหภูมิอากาศลดลง 3-5 องศาเซลเซียส ในช่วงที่มีค่าอุณหภูมิอากาศสูงสุด เมื่อเทียบกับสภาพแวดล้อมที่มีตัวแปรทางธรรมชาติที่แตกต่างกัน"

สุนทร บุญญาธิการ (2542) ศึกษาพบว่า ปัจจัยทางธรรมชาติที่สำคัญในการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมให้เอื้ออำนวยต่อการประหยัดพลังงาน คือ ต้นไม้ใหญ่, พืชคลุมดิน, วัสดุปูผิวดิน, ดิน, ลม, ความลาดเอียงของพื้นดินและแหล่งน้ำ

จากการรวบรวมปัจจัยทางสภาพภูมิประเทศ สามารถสรุปปัจจัยหลักที่มีผลต่อสภาพภูมิอากาศในบริเวณที่ตั้งนอกอาคาร ดังนี้ คือ

- สภาพภูมิประเทศ (Topography)
- พืชพรรณ (Vegetation)
- แหล่งน้ำ (Water Body)
- สิ่งก่อสร้างที่มนุษย์สร้างขึ้น (Man – Made Feature)

สภาพภูมิประเทศ (Topography)

ลักษณะความสูงในเชิงที่ตั้งทางกายภาพของภูมิประเทศ มีผลต่อความแตกต่างของภูมิอากาศ เช่นความสูงของชั้นบรรยากาศในระดับความสูงทุกๆ 100 m. ในฤดูร้อน และทุกๆ 120 m. ในฤดูหนาว ค่าอุณหภูมิอากาศจะลดลงโดยประมาณ 1 °F ด้วยความสูงของลักษณะภูมิประเทศในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น จะมีความกดอากาศในระดับที่ต่างกันส่งผลต่อลักษณะการดำรงอยู่ของต้นไม้ ความกดอากาศที่ต่ำจะมีผลต่อการคายน้ำออกจากใบได้ง่ายกว่าความกดอากาศสูง

ฉะนั้น ลักษณะทางกายภาพของรูปทรงที่ดินในระดับความสูงที่ต่างกัน จะมีผลต่อการคายน้ำของต้นไม้ในปริมาณที่น้อย จากการศึกษาของ ญาณิน ทองเพิ่ม พบว่าในระดับความสูงของน้ำทะเล ที่ 1 km. จะมีความต่างของความกดอากาศประมาณ 40 – 85 มิลลิเมตรปรอท และสภาพภูมิประเทศที่มีความลาดเอียงในระนาบที่ต่างกันก็จะมีผลต่อความสามารถในการรับแสงธรรมชาติมากขึ้นหรือลดลงได้ (Landpair and Motloch, 1985)

พืชพรรณ (Vegetation)

"พืชพรรณ หมายถึง พรรณไม้ทุกชนิดทั้งที่เป็นป่าไม้ ไม้ปลูกเลี้ยงที่มีเนื้อไม้และไม่มีเนื้อไม้" (สมจิต โยธะคง, 2541: 105)

สามารถแบ่งเป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ (Bowen, 1979)

- ไม้ยืนต้น (Tree) เป็นต้นไม่ที่มีอายุยืนยาว มีเนื้อไม้และมีลำต้นเดี่ยวตั้งตรงสูงแตกยอดตรงปลายลำต้น กิ่งก้านสามารถให้ร่มเงากับพื้นที่ด้านล่าง
- ไม้พุ่ม (Shrub) เป็นต้นไม้ที่มีเนื้อไม้และมีลำต้นกิ่งก้านสาขาหลายแขนง แตกพุ่มที่ความสูงระดับ 1.2-4.5 เมตร โดยทั่วไปใช้เพื่อบังสายตาและเป็นแนวกั้นลม
- พืชคลุมดิน (Low growing plant) เช่นหญ้า และไม้คลุมดินต่างๆ ซึ่งมีความสูงในระดับ 0-1.2 เมตร ร่มเงาจากพืชคลุมดินสามารถช่วยเก็บกับความเย็นจากผิวดินได้ และช่วยให้ลมที่พัดผ่านระดับผิวดินเย็นลง

บทบาทของพืชพรรณในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระดับจุลภาค จะได้มาจากกระบวนการดำรงชีวิตของพืชหลักๆ 2 กระบวนการ คือ

การให้ร่มเงาแก่พื้นผิว (Shade and Shadow) โดยเป็นการสกัดกั้นการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ที่มาตกกระทบพื้นดินและยังช่วยดูดซับรังสีจากดวงอาทิตย์ในเวลากลางวัน ฉะนั้นความสูงและรูปทรงพุ่มของต้นไม้จะมีผลต่อพื้นที่การเกิดร่มเงาและการสกัดกั้นรังสีจากดวงอาทิตย์ได้

กระบวนการคายน้ำของพืช (Transpiration system) จะเป็นการสูญเสียน้ำของพืชในรูปของไอน้ำ น้ำที่พืชดูดขึ้นไปจะใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเพียงร้อยละ 1 - 2 เท่านั้น น้ำส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 98 - 99 จะสูญเสียไปในรูปของการคายน้ำโดยน้ำเปลี่ยนเป็นไอและระเหยออกไป โดยในเวลากลางวันจะมีรังสีของดวงอาทิตย์มาตกกระทบบริเวณทรงพุ่มใบโดยรอบของต้นไม้ ซึ่งจะทำให้มีอุณหภูมิที่สูง เนื่องจากมีการดูดซับความร้อนที่ใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงของพืชและสะท้อนความร้อนแลกเปลี่ยนกันไปมาของผิวใบ ทำให้บริเวณที่ต่ำลงหรือบริเวณใต้พุ่มใบมีอุณหภูมิที่เย็นกว่าอุณหภูมิเหนือผิวใบ ส่วนในเวลากลางคืนจะมีทิศทางการถ่ายเทความร้อนที่กลับกัน ในส่วนของบนผิวใบหรือผิวทรงพุ่มโดยรอบของต้นไม้จะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าส่วนใต้ทรงพุ่ม เนื่องจากว่าท้องฟ้าในเวลากลางคืนจะมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 0 °C ความร้อนที่สะสมบริเวณผิวใบในเวลากลางวันจะถูกถ่ายเทกลับคืนสู่ท้องฟ้า ในขณะที่ความร้อนจากผิวดินใต้ทรงพุ่มและความร้อนจากบริเวณใต้พุ่มใบจะถูกสกัดกั้นโดยทรงพุ่มต้นไม้เอง จึงทำให้อุณหภูมิใต้พุ่มใบในเวลากลางคืนมีอุณหภูมิที่สูงกว่า ซึ่งจะมีผลทำให้อุณหภูมิอากาศอุ่นขึ้นเพียงเล็กน้อย

แหล่งน้ำ (Water Body)

ความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำจะมีค่าความต่างเพียงเล็กน้อย เมื่อเทียบกับสภาพแวดล้อมโดยรอบ เนื่องมาจากน้ำมีค่าความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) ที่สูงกว่าดินหรือพื้นดิน ซึ่งจะทำให้น้ำมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าพื้นดินในเวลากลางวัน และมีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นดินในเวลากลางคืน โดยน้ำจะส่งผลต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงกับบริเวณโดยรอบแหล่งน้ำ คล้ายกับว่าอุณหภูมิของน้ำจะช่วยฉุดหรือรั้งการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิโดยรอบไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่ต่างกันมากเกินไปได้ รูปทรงและขนาดความกว้างใหญ่ของแหล่งน้ำจะมีส่วนช่วยลดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิโดยรอบได้

ธีรศักดิ์ สิงห์ปรีชา (2546) ศึกษาพบว่า ในกรณีของสภาพภูมิอากาศในระดับมหภาค (Macroclimate) เช่นแผ่นดินและมหาสมุทรนั้น ในช่วงเวลากลางวันอุณหภูมิของอากาศบนแผ่นดินจะมีอุณหภูมิที่สูง ทำให้อากาศร้อนบริเวณแผ่นดินลอยตัวขึ้นสูง และอากาศเย็นบริเวณ

มหาสมุทรซึ่งมีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าเคลื่อนตัวเข้ามาแทนที่ทำให้เกิดกระแสลมพัดจากทะเลเข้าสู่ฝั่งในเวลากลางวัน ส่วนในเวลากลางคืนจะเป็นไปในทางกลับกันคือ กระแสลมจะพัดออกจากฝั่งสู่ทะเล

การระเหยของน้ำในบริเวณของผิวน้ำที่สัมผัสกับอากาศ จะเป็นกระบวนการอาศัยพลังงานความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์และพลังงานจากอากาศโดยรอบมาช่วยในการเปลี่ยนสถานะจากน้ำกลายเป็นไอ พบว่าจะทำให้ความร้อนจากบริเวณผิวน้ำถูกนำไปใช้และช่วยให้อุณหภูมิบริเวณผิวน้ำต่ำลงได้ กระแสลมที่พัดผ่านผิวน้ำบริเวณนั้นมีอุณหภูมิต่ำลงได้

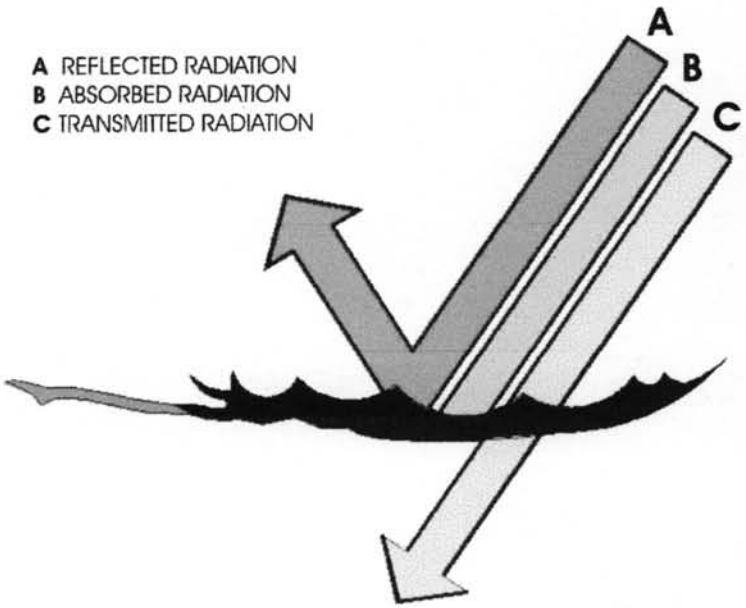
สิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น (Man-Made Feature)

สิ่งก่อสร้างที่มนุษย์สร้างขึ้นหลักๆ จะเป็นสถาปัตยกรรมหรืออาคารที่พักอาศัย ซึ่งมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศเป็นอย่างมาก จากการศึกษาสิ่งก่อสร้างที่มนุษย์สร้างขึ้น ได้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ อาคาร และพื้นผิวที่มนุษย์สร้างขึ้น โดยอาคารเป็นถึงเป็นสิ่งก่อสร้างในระนาบทางดิ่งหรือทรงสูง จะส่งผลต่อแสงเงาที่เกิดขึ้นบนพื้นที่ภายนอกหรือพื้นที่กรอบอาคาร (surface) ที่แตกต่างกันออกไปตามวันเวลา และการโคจรของดวงอาทิตย์ในแต่ละฤดูกาล รวมถึงยังสามารถใช้ในการควบคุมอุณหภูมิอากาศ ให้มีความแตกต่างจากอุณหภูมิอากาศโดยรอบได้ ส่วนพื้นผิวที่มนุษย์สร้างขึ้น ส่วนมากจะเป็นในระนาบทางนอนหรือเรียกกันอีกอย่างว่าองค์ประกอบทางผังเมือง เช่นพื้นคอนกรีต ถนน พื้นน้ำ สนามหญ้า ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะเป็นบ่อเกิดของการสะสมความร้อนที่ได้มาจากดวงอาทิตย์ทำให้บริเวณโดยรอบของสิ่งเหล่านั้น มีอุณหภูมิสูงขึ้น และส่งผลต่อภาระการทำความเย็นภายในอาคารได้ ปริมาณความร้อนที่สะท้อนเข้าสู่อาคารขึ้นอยู่กับลักษณะผิววัสดุ ที่มีค่าการสะสมความร้อนและถ่ายเทความร้อนที่ต่างกัน โดยความร้อนจะถูกดูดกลืนไม่เท่ากันในวัสดุต่างชนิดกัน จากการศึกษาพบว่าวัสดุปูพื้นที่มนุษย์สร้างขึ้นจะมีอุณหภูมิสูงกว่าวัสดุที่เกิดจากธรรมชาติ เช่นพื้นหญ้า เป็นต้น

2.1.5 สภาพแวดล้อมกับการใช้ต้นไม้ใหญ่ในการลดอุณหภูมิ

อิทธิพลจากสภาพแวดล้อม เป็นปัจจัยสำคัญปัจจัยหนึ่งที่สามารถช่วยลดอุณหภูมิความร้อนในอากาศได้ เนื่องจากต้นไม้จะใช้พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์และสภาพแวดล้อมในการดำรงชีวิต ต้นไม้ใช้การดูดน้ำจากดินขึ้นมาแปลงสภาพให้เป็นไอน้ำ โดยกระบวนการที่เรียกว่า การคายน้ำ (Transpiration) ออกมาทางลำต้น, กิ่งก้าน และปากใบ โดยในส่วนที่มีปริมาณการคายน้ำมากที่สุดคือปากใบ กระบวนการดังกล่าวจะต้องใช้พลังงานความร้อนประมาณ 2.3 เมกะจูล (2,200BTU) เพื่อทำให้น้ำ 1 ลิตรเปลี่ยนเป็นไอ ดังนั้นอาจจะประมาณได้ว่าในช่วงเวลากลางวัน (12 ชั่วโมง) ถ้าหากต้นไม้ขนาดใหญ่ 1 ต้น สามารถดูดน้ำจากดินขึ้นมาแล้วแปลงสภาพเป็นไอได้ ในอัตราประมาณ 65 ลิตรต่อวัน ต้นไม้ต้นนั้นจะมีความสามารถในการลดความร้อนให้กับสภาพแวดล้อมเทียบเท่ากับเครื่องปรับอากาศขนาด 1 ตัน หรือประมาณ 12,000 บีทียูต่อชั่วโมง (สุนทร บุญญาธิการ, 2542: 72)

เมื่อต้นไม้ใหญ่แต่ละต้น สามารถช่วยลดความร้อนให้กับสภาพแวดล้อมได้มากแล้ว ดังนั้นในการปรับสภาพแวดล้อมโดยใช้ต้นไม้ใหญ่ในการแปลงพลังงานความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ให้กลายเป็นไอน้ำ จะช่วยให้อากาศในบริเวณนั้นมีอุณหภูมิลดลงได้ และสามารถเป็นผลให้วัสดุที่อยู่ในบริเวณนั้นสะสมความร้อนลดน้อยลงด้วย



INCIDENT RADIATION AND VEGETATION

ภาพที่ 2.11 แสดงรังสีจากดวงอาทิตย์ตกกระทบผิวใบในลักษณะต่างๆ

นอกเหนือจากการใช้กระบวนการคายน้ำของต้นไม้เพื่อปรับสภาพแวดล้อมแล้ว ต้นไม้ยังมีคุณสมบัติในการป้องกันการถ่ายเทรังสีความร้อนที่มาจากดวงอาทิตย์ และช่วยในการบดบังแสงแดดที่จะส่องลงมายังพื้นผิว พร้อมสร้างพื้นที่ร่มเงาให้กับสภาพแวดล้อมนั้นด้วย ถือเป็นการลดพื้นที่ตกกระทบของแสงโดยตรงได้

ลักษณะทั่วไปของต้นไม้ยืนต้นที่ได้รับผลจากการแผ่รังสีความร้อนของดวงอาทิตย์ ซึ่งจะตกกระทบผิวใบบริเวณด้านพุ่มไม้ส่วนด้านบน ใบไม้จะเกิดการดูดซับรังสีความร้อนและสะท้อนความร้อนโดยพุ่มใบ จะทำให้บริเวณชั้นล่างถัดลงมามีอุณหภูมิที่ต่ำลง เมื่อชั้นล่างๆ มีปริมาณความร้อนที่น้อยลง ชั้นถัดมาก็จะเย็นลงตามลำดับ ดังนั้นถ้าต้นไม้ที่มีใบหนาแน่นมากก็จะช่วยป้องกันรังสีความร้อนได้มากกว่าต้นไม้ที่มีความหนาแน่นน้อย ซึ่งสามารถสรุปประโยชน์ที่ได้จากต้นไม้ที่สามารถช่วยลดอุณหภูมิสภาพแวดล้อมได้ ดังนี้

ต้นไม้สามารถควบคุมการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ จากการศึกษาของ (ธีรศักดิ์ สิงห์ปรีชา) พบว่าต้นไม้ที่มีใบหนาแน่นมากจะสามารถดูดซับแสงได้ถึง 80% จากปริมาณของแสงทั้งหมดที่ได้รับ โดยอีก 10% จะถูกสะท้อนออกไป และที่เหลืออีก 10% จะถูกส่งผ่านมายังพื้นผิวด้านล่าง

ต้นไม้สามารถควบคุมอุณหภูมิอากาศ โดยต้นไม้จะดูดกลืนพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ในเวลากลางวัน และจะคายความร้อนออกมาในเวลากลางคืน ทำให้อุณหภูมิใต้พุ่มใบในเวลากลางวันต่ำกว่าปกติและในเวลากลางคืนจะรู้สึกอบอุ่น

ต้นไม้สามารถควบคุมปริมาณน้ำและความชื้น จากกระบวนการคายน้ำของ ต้นไม้สามารถดูดซับน้ำใต้ดินผ่านลำต้นแล้วถ่ายเทออกสู่สภาพแวดล้อม ในรูปแบบของไอน้ำ ซึ่งจะเป็นการเพิ่มปริมาณความชื้นสัมพันธ์ในบริเวณโดยรอบต้นไม้ให้สูงขึ้นได้

ต้นไม้สามารถควบคุมกระแสลม ต้นไม้ใหญ่สามารถใช้กั้นขวางกระแสลม เพื่อลดความเร็วและเปลี่ยนทิศทางของกระแสลมได้ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและลักษณะของต้นไม้ชนิดนั้น

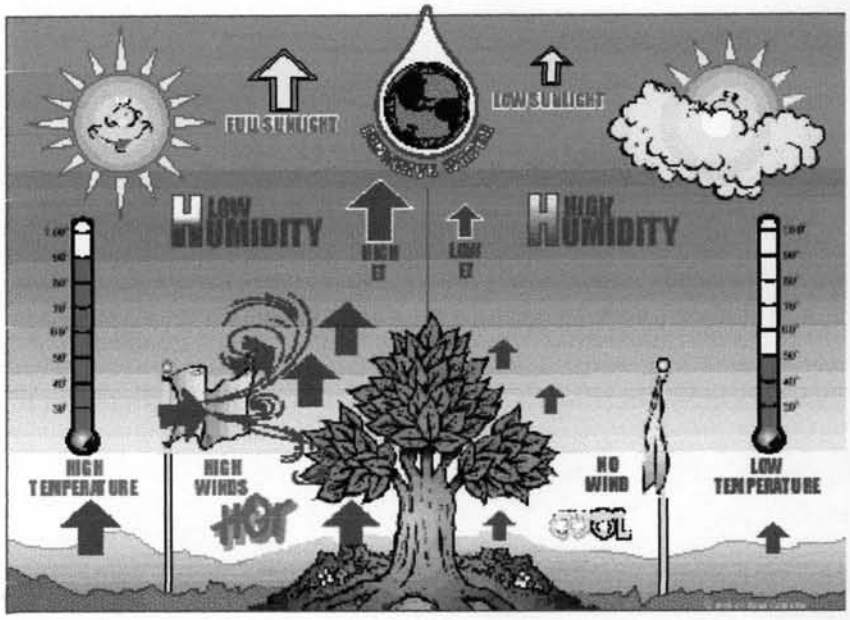
จากการศึกษาของ (Givoni, 1994) พบว่าอิทธิพลของร่มเงา และการคายน้ำของต้นไม้ จะสามารถลดอุณหภูมิใต้พุ่มใบได้ถึง 14 องศาเซลเซียส นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาพบว่า 75% ของการสร้างความรู้สึกเย็นของต้นไม้มาจากการคายน้ำ และอีก 25% มาจากอิทธิพลของร่มเงาใต้พุ่มใบ

2.1.6 การถ่ายเทความชื้นจากต้นไม้สู่สภาพแวดล้อม

ความชื้นจะส่งผลต่อสภาพแวดล้อมด้วยการถ่ายเทความชื้น ซึ่งอยู่ในรูปของไอน้ำ ความชื้นจะมีการเคลื่อนตัวหรือเปลี่ยนตำแหน่งที่อยู่ โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้

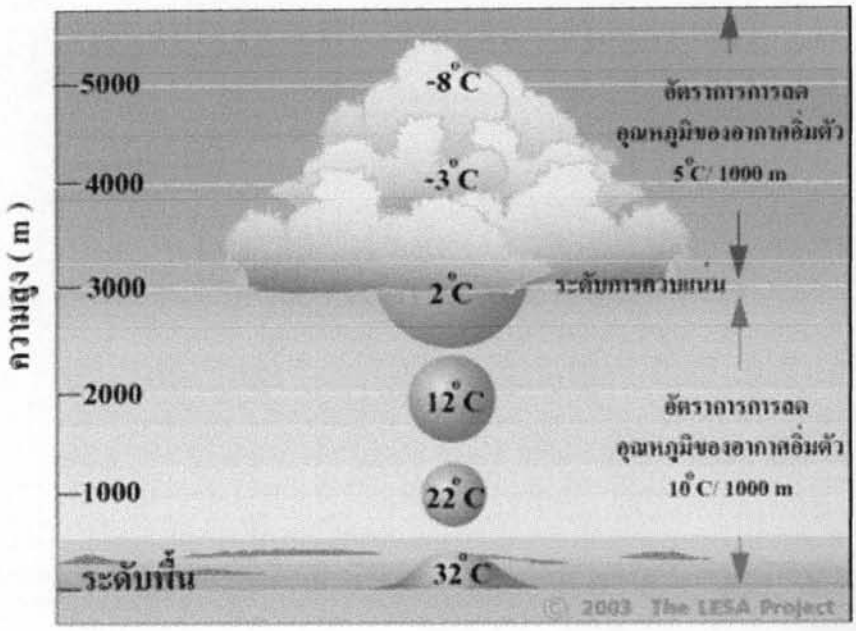
1. ความแตกต่างของความดันอากาศหรือ แรงโน้มถ่วงของโลก
2. แรงดูดความชื้นภายในของเนื้อวัสดุ
3. ความแตกต่างของค่าความจุดความชื้นของแต่ละสถานที่
4. การเคลื่อนตัวของไอน้ำในอากาศ ที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของอากาศ
5. ความแตกต่างของความดันไอน้ำ

ด้วยกระบวนการถ่ายเทความชื้น ความชื้นจากต้นไม้สามารถถ่ายเทสู่ชั้นบรรยากาศได้โดยสะดวกด้วยการคายน้ำ และสามารถเคลื่อนตัวเข้าเป็นส่วนหนึ่งของชั้นบรรยากาศได้โดยอาศัยความกดอากาศ และอุณหภูมิที่แตกต่าง



ภาพที่ 2.12 แสดงปัจจัยต่างๆ จากสภาพแวดล้อมที่เป็นผลต่อการคายน้ำของต้นไม้ เพื่อดำรงอยู่และรักษาสภาพความสมดุลของธรรมชาติ

อากาศที่ร้อนจากพื้นโลกในตอนกลางวันจะลอยตัวขึ้นสูง เมื่ออากาศร้อนลอยตัวสูงขึ้นก็จะทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้นเนื่องจากความกดอากาศน้อยลง มีผลทำให้อุณหภูมิลดลงด้วยอัตรา 10°C ต่อ 1,000 เมตร จนกระทั่งกลุ่มอากาศมีความอุณหภูมิเท่ากับสิ่งแวดล้อมมันก็จะหยุดลอยตัว ส่วนอากาศเย็นที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าสิ่งแวดล้อมจะจมตัวลง และมีปริมาตรน้อยลงเนื่องจากความกดอากาศที่เพิ่มขึ้น และส่งผลทำให้อุณหภูมิสูงขึ้น



ภาพที่ 2.13 แสดงการควบแน่นเนื่องจากการยกตัวของอากาศ

(ที่มา: The Lesa Project ,2546)

2.2 กระบวนการเจริญเติบโตของต้นไม้

ต้นไม้จะมีกระบวนการที่ใช้ในการพัฒนาหรือดำรงชีวิตหลักๆ อยู่ 3 กระบวนการ คือ

2.2.1 กระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis)

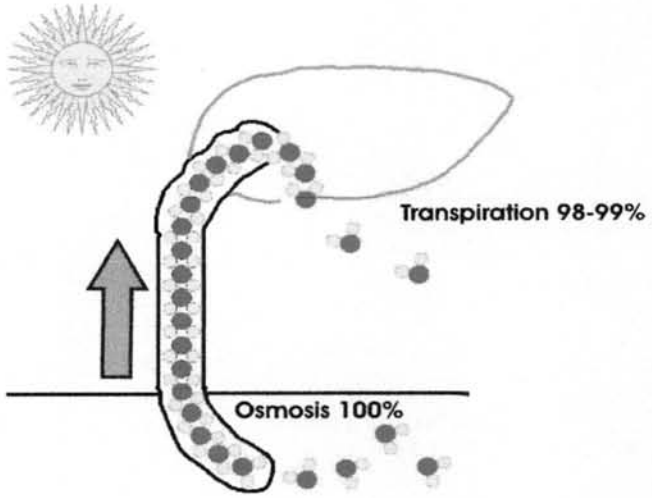
2.2.2 กระบวนการหายใจหรือกระบวนลำเลียงน้ำ (Respiration)

2.2.3 กระบวนการคายน้ำ (Transpiration)

กระบวนการในการดำรงชีวิตของต้นไม้ทั้ง 3 กระบวนการ จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ หรือสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน แต่กระบวนการที่มีผลกระทบต่อสภาพภูมิอากาศมากที่สุด คือ กระบวนการคายน้ำของต้นไม้ น้ำจากรากจะถูกนำมาใช้ในกระบวนการสร้างอาหารโดยการสังเคราะห์แสงและลำเลียงไปยังส่วนต่างๆ ของต้นไม้ ส่วนน้ำที่เหลือใช้จากกระบวนการสังเคราะห์แสง จะนำไปสู่กระบวนการหายใจของต้นไม้ โดยอาศัยการคายน้ำ (Transpiration)

2.2.1 กระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis)

เป็นกระบวนการสร้างอาหารของต้นไม้ โดยส่วนของต้นไม้ที่มีสีเขียว คือใบจะดูดซับเอาพลังงานแสงมาเปลี่ยนเป็นพลังงานเคมี และสร้างอาหารจากโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ให้เป็นคาร์โบไฮเดรต คือน้ำตาลและแป้ง และปลดปล่อยก๊าซออกซิเจนออกมา ต้นไม้สังเคราะห์แสงได้เนื่องจากมีคลอโรฟิลล์ (chlorophyll) โดยจากที่กล่าวมาข้างต้น พืชดูดน้ำจากรากผ่านลำต้นขึ้นไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสงเพียงร้อยละ 1 - 2 เท่านั้น น้ำส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 98 - 99 จะสูญเสียไปในรูปของการคายน้ำโดยน้ำเปลี่ยนเป็นไอและระเหยออกไป



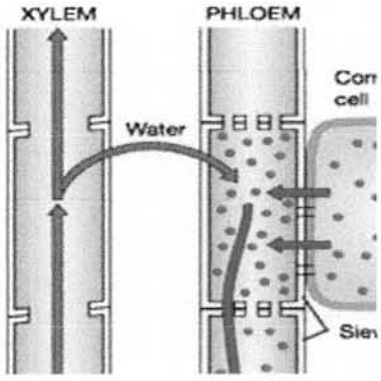
ภาพที่ 2.14 Photosynthesis

(ภาพจาก: Terry Brown. The Cohesion Tension Theory. www.tvdsb.on.ca, 1998)

2.2.2 กระบวนการหายใจและกระบวนลำเลียงน้ำ (Respiration)

การหายใจ (respiration) คือกระบวนการออกซิไดซ์สารอาหาร ก่อให้เกิดพลังงานเพื่อนำไปใช้ในการเติบโต การคายน้ำ (transpiration) คือ กระบวนการที่ต้นไม้สูญเสียน้ำออกจากใบไปสู่อากาศภายนอกในรูปของไอน้ำ การสูญเสียน้ำส่วนใหญ่จะออกทางปากใบ (stomata) ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำ และช่วยลดอุณหภูมิของใบ การลำเลียง (translocation) คือกระบวนการลำเลียงน้ำ แร่ธาตุ และอาหารที่สังเคราะห์ได้ไปยังส่วนต่างๆ ของต้นไม้เพื่อใช้ในการเติบโต การลำเลียงน้ำและแร่ธาตุจะเกิดขึ้นในท่อลำเลียงน้ำ (xylem) ในขณะที่การลำเลียงสารอาหารที่สังเคราะห์ได้จะเกิดขึ้นในท่อลำเลียงอาหาร (phloem)

จากการที่ต้นไม้ใหญ่ที่มีความสูงถึง 100 เมตร จะสามารถดูดจากรากชั้นล่างของพื้นดินไหลขึ้นสู่ปลายยอดได้นั้น เพราะความแตกต่างของพลังงานที่ทำงานได้ของน้ำในต้นพืช ดิน และอากาศ ในอากาศนั้น เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ต่ำกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ อากาศจะสามารถดูดน้ำได้มากและเร็ว เพราะพลังงานที่ทำงานได้ของไอน้ำในอากาศจะลดลง (ที่ 20 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ พลังงานที่ทำงานได้ของไอน้ำ เท่ากับ 0 บาร์ แต่ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 98 เปอร์เซ็นต์ พลังงานจะลดลงเป็น -27.5 บาร์) ดังนั้นถ้าอากาศยิ่งแห้ง พลังงานของไอน้ำจะยิ่งลดลง ทำให้พลังงานของน้ำแตกต่างจากในใบพืช ส่วนน้ำในดินซึ่งมีแร่ธาตุไม่มาก ปกติจะมีพลังงานที่ทำงานได้ใกล้เคียงกับ 0 ซึ่งถ้าจะดึงน้ำจำนวนนี้ขึ้นสู่ยอดพืช น้ำในใบพืชจะต้องมีพลังงานที่ทำงานได้ประมาณ -30 บาร์ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า Osmotic Potential ของใบพืชจะอยู่ในช่วง -20 ถึง -40 บาร์ ดังนั้นน้ำจึงไหลขึ้นสู่ยอดพืชได้นั่นเอง



ภาพที่ 2.15 การหายใจ และลำเลียงน้ำ

2.2.3 กระบวนการคายน้ำ (Transpiration)

คือการสูญเสียน้ำของพืชในรูปของไอน้ำ น้ำที่พืชดูดขึ้นไปจะใช้ในกระบวนการสังเคราะห์ด้วยแสงเพียงร้อยละ 1 - 2 เท่านั้น น้ำส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 98 - 99 จะสูญเสียไปในรูปของการคายน้ำโดยน้ำเปลี่ยนเป็นไอและระเหยออกไป น้ำส่วนใหญ่จะระเหยออกทางปากใบ (stinata) เรียกว่า สโตมาทอลทรานสพิเรชัน (stomatal transpiration) นอกจากนี้น้ำอาจสูญเสียทางผิวใบและส่วนของลำต้นอ่อน ๆ เรียกว่า คิวทิคิวลาร์ ทรานสพิเรชัน (cuticular traspiration) ทางรอยแตกหรือรูเล็ก ๆ ที่ลำต้นหรือเลนทิเซล (lenticel) เรียกว่า เลนทิคิวลาร์ทรานสพิเรชัน (lenticular transpiration) การคายน้ำทางผิวใบและเลนทิเซลถือว่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับการคายน้ำทางปากใบ แต่ในสภาพที่พืชขาดน้ำ ปากใบจะปิดดังนั้นการคายน้ำทางผิวใบ และเลนทิเซล จะช่วยลดอุณหภูมิให้กับพืชได้บ้างทำให้ลำต้นพืชไม่ร้อนมากจนเกินไป ปากใบพืชจำแนกตามชนิดของพืชที่เจริญอยู่ในสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ได้เป็น 3 แบบ คือ

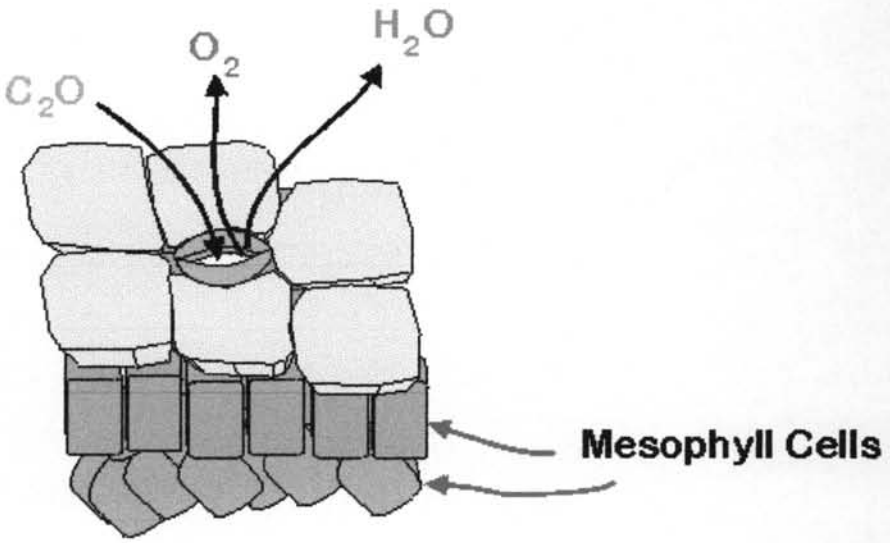
1.ปากใบแบบธรรมดา (typical stomata) เป็นปากใบของพืชทั่วไปโดยมีเซลล์คุมอยู่ในระดับเดียวกับเซลล์เอพิเดอร์มิสพืชที่ปากใบเป็นแบบนี้เป็นพวกเจริญอยู่ในที่ ๆ มีน้ำอุดมสมบูรณ์พอสมควร (mesophyte)

2.ปากใบแบบจม (sunken stomata) เป็นปากใบที่อยู่ลึกเข้าไปในเนื้อใบเซลล์คุมอยู่ลึกกว่าหรือต่ำกว่าชั้นเซลล์เอพิเดอร์มิสพบในพืชที่อยู่ในที่แห้งแล้ง (xerophyte) เช่น พืชทะเลทราย พวกกระบองเพชร พืชป่าชายเลน (halophyte) เช่น โกงกาง แสม ลำพู เป็นต้น

3.ปากใบแบบยกสูง (raised stomata) เป็นปากใบที่มีเซลล์คุมอยู่สูงกว่าระดับเอพิเดอร์มิสทั่วไป เพื่อช่วยให้น้ำระเหยออกจากปากใบได้เร็วขึ้นพบได้ในพืชที่เจริญอยู่ในน้ำที่มีน้ำมากหรือชื้นแฉะ(hydrophyte) ใบพืชใบเลี้ยงเดี่ยวบางชนิด เช่น หญ้า ข้าวโพด ที่ชั้นเอพิเดอร์มิสมีเซลล์ขนาดใหญ่และผนังเซลล์บาง เรียกว่า บัลลิฟอร์มเซลล์ (bulliform cell) ช่วยทำให้ใบม้วนงอได้เมื่อพืชขาดน้ำช่วยลดการคายน้ำของพืชให้น้อยลง พืชบางชนิดอาจมีเอพิเดอร์มิสหนามากกว่า 1 ชั้น ซึ่งพบมากทางด้านหลังใบมากกว่าทางด้านท้องใบเรียกว่า มัลติเปิล เอพิเดอร์มิส (multiple epidermis) ซึ่งพบในพืชที่แห้งแล้งช่วยลดการของได้ เซลล์ชั้นนอกสุดเรียกว่า เอพิเดอร์มิส ส่วนเซลล์แถวที่อยู่ถัดเข้าไปเรียกว่า ไฮโพเดอร์มิส (hypodermis)

การคายน้ำของพืชมีความสัมพันธ์กับการลำเลียงน้ำของพืชไปตามเซลล์ที่มีลักษณะเป็นท่อยาวๆ ถ้าหากพืชคายน้ำออกไปมากจะมีกระบวนการลำเลียงน้ำมากด้วย ในขณะที่สิ่งแวดล้อมไม่เหมาะสมกับการคายน้ำทางปากใบ เช่น เมื่ออากาศมีความชื้นมาก พืชบางชนิดจะกำจัดน้ำออกมาในรูปของหยดน้ำ ทางรูเปิดเล็ก ๆ ตามปลายของเส้นใบ รูเหล่านี้เรียกว่า ไฮดาโทด (hydathod) กระบวนการคายน้ำของพืชในรูปของหยดน้ำเช่นนี้เรียกว่า กัตเตชัน (guttation) เนื่องจากพืชมีการดูดน้ำอยู่ตลอดเวลา น้ำจะเข้าไปอยู่ในรากเป็นจำนวนมากขึ้นทุกที ทำให้เกิด

แรงดันของเหลวให้ไหลขึ้นไปตามท่อไซเลมในลำดับและใบ และไหลออกมาทางรูเปิดของท่อเล็ก ๆ ที่อยู่ปลายของเส้น มองเห็นเป็นหยดน้ำเล็ก ๆ เกาะอยู่ตามขอบใบเราจะพบปรากฏการณ์นี้ในธรรมชาติได้อย่างชัดเจนในตอนเช้าที่อากาศมีความชื้นมาก ๆ ซึ่งมักไม่เกิดบ่อยนัก



ภาพที่ 2.16 แสดงการ เปิด-ปิด ปากใบของต้นไม้

(ภาพจาก: Steven R.Spilatro. http://www.marietta.edu/~biol/, 1998)

ก. ประเภทของการคายน้ำ

การคายน้ำของพืชเป็นไปในลักษณะของการแพร่เป็นส่วนใหญ่ แบ่งเป็น 3 ประเภท ตามตำแหน่งที่ไอน้ำออกมา คือ

1. Stomatal transpiration

เป็นการคายน้ำที่กำจัดไอน้ำออกมาทางปากใบซึ่งมีอยู่มากมายตามผิวใบ ปากนี้เป็นทางที่มีการคายน้ำออกมากที่สุด

2. Cuticular transpiration

เป็นการคายน้ำที่กำจัดไอน้ำออกมาทางผิวใบที่มี cuticle ฉาบอยู่ข้างนอกสุดของ epidermis แต่เนื่องจาก cuticle ประกอบด้วยสาร cutin ซึ่งเป็นสารประกอบคล้ายขี้ผึ้ง ไปน้ำจึงแพร่ออกทางนี้ได้ยาก ดังนี้ พืช จึงคายน้ำออกทางนี้ได้น้อยและ ถ้าหากพืชใดมี cuticle หนามากน้ำก็ยิ่งออกได้ยากมากขึ้น

ทั้ง stomatal และcuticular transpiration ต่างก็เป็นการคายน้ำที่กำจัดไอน้ำออกมาจากใบ จึงเรียกการคายน้ำทั้ง 2 ประเภทนี้รวม ๆ กันว่า Foliar transpiration การคายน้ำออกจากใบดังกล่าวนี้จะเกิดที่ปากใบประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์และที่ cuticle ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

3. Lenticular transpiration

เป็นการคายน้ำที่กำจัดไอน้ำออกมาทาง lenticel ซึ่งเป็นรอยแตกตามลำต้นและกิ่ง การคายน้ำประเภทนี้เกิดขึ้นน้อยมาก เพราะ lenticel มีในพืชเป็นส่วนน้อยและเซลล์ของ lenticel ก็เป็น cork cell ด้วยไอน้ำจึงออกมาได้น้อย

ข. ปัจจัยในการควบคุมการคายน้ำ

ใบไม้จะคายน้ำได้มากหรือน้อย ย่อมขึ้นอยู่กับปัจจัยทางสภาพแวดล้อมภายนอกและสภาพภายในของพืชเองด้วย ซึ่งปัจจัยเหล่านั้นจะเป็นผลบังคับอัตราการไหลของท่อน้ำในตัวต้นไม้เอง จะประกอบไปด้วยปัจจัยดังนี้ คือ

1. แสงสว่าง

เป็นปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการคายน้ำของต้นไม้มากที่สุด ถ้าความเข้มข้นของแสงสว่างมากจะช่วยให้การคายน้ำมีอัตราสูงขึ้นเพราะว่าแสงสว่างจะทำให้ปากใบเปิดกว้างขึ้น เนื่องจากที่เซลล์คุมมีเม็ดคลอโรปลาสต์อยู่ ซึ่งจะดูดเอาพลังงานแสงสว่างไปทำการสังเคราะห์แสง เกิดเป็นน้ำตาลมากขึ้น แต่เนื่องจากผนังด้านนอกของเซลล์คุมบางและอ่อนนุ่มกว่าด้านใน จึงทำให้ผนังด้านนอกของเซลล์คุมนั้นโค้งออกไปมาก พร้อมกับดึงเอาผนังด้านใน ซึ่งหน้ากว่าแต่ยืดหยุ่นได้โค้งตามออกไปด้วย จึงทำให้ปากใบเปิดกว้างอก ใบก็คายน้ำได้มากขึ้นและรากก็จะดูดน้ำขึ้นมาให้ทันกับปริมาณที่ระเหยไป ใบจึงเต่งอยู่ได้ ถ้าหากรากดูดส่งขึ้นมาไม่ทัน ใบและเซลล์คุมจะเหี่ยวเพราะเสียน้ำไปมาก ผนังด้านในของเซลล์คุมก็จะหดตัวทำให้ปากใบปิด น้ำจึงหยุดระเหยออกจากใบ ดังนั้น การเหี่ยวของใบไม้บางชนิดในเวลากลางวัน จึงเป็นการป้องกันอันตรายจากการเสียน้ำจากใบได้เป็นอย่างดี

การปิดเปิดปากใบนอกจากจะเกิดจาก turgor pressure แล้ว ยังเกิดจากเหตุอื่นด้วย เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และสภาพแวดล้อมอื่น ๆ ดังเช่นในฤดูร้อน อากาศแห้งแล้ง ปากใบจะปิดเพราะแสงมากเกินไป ทำให้คาร์บอนไดออกไซด์เข้าไปในใบน้อยลง การสังเคราะห์แสงจึงเกิดขึ้นน้อยลงด้วย แสงสว่างทำให้อุณหภูมิของบรรยากาศรอบ ๆ ใบไม้และของใบไม้เองสูงขึ้น ทำให้น้ำกลายเป็นไอมากขึ้น ก็คายน้ำออกมามากด้วย

2. อุณหภูมิ

เป็นผลมาจากแสงสว่างที่มีมาก ถ้าอุณหภูมิโดยรอบของบรรยากาศสูง จะทำให้ใบคายน้ำได้มากและรวดเร็วขึ้น ทั้งนี้เพราะว่า

(1) เมื่ออุณหภูมิสูง อุณหภูมิของน้ำในใบก็จะสูงขึ้น ทำให้น้ำระเหยเป็นไอได้ง่ายและเร็วขึ้น จึงระเหยออกไปจากใบได้มากและเร็วขึ้นด้วย

(2) เมื่ออุณหภูมิสูง อากาศภายนอกสามารถอุ้มไอน้ำเอาไว้ได้มากขึ้น เช่นที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส อากาศภายนอกสามารถอุ้มไอน้ำไว้ได้เป็น 2 เท่าของอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นต้น อนึ่งอุณหภูมิของบรรยากาศยังเป็นปัจจัยหนึ่งที่ช่วยในการเปิดปากใบด้วยพืชบางชนิด ปากใบเปิดได้ดีที่สุดที่อุณหภูมิ 25 - 30 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิสูงกว่านี้ปากใบจะเปิดได้น้อยลง และถ้าอุณหภูมิต่ำ เช่น ที่อุณหภูมิจุดเยือกแข็งหรือใกล้จุดเยือกแข็ง ปากใบก็จะปิดหมด พืชบางชนิด ปากใบจะเปิดได้ดีเมื่อมีอุณหภูมิสูง เช่น ที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นต้น การที่ปากใบเปิดได้มากหรือน้อยอย่างไรนั้น ก็มีผลทำให้การคายน้ำเกิดขึ้นได้มากหรือน้อยตามลำดับนั่นเอง

3. ความชื้น

ถ้าหากความชื้นในบรรยากาศมีน้อย คือ อากาศแห้ง เช่น ในหน้าแล้งหรือตอนกลางวัน ความชื้นในบรรยากาศจึงแตกต่างกับความชื้นในช่องว่างที่อากาศในใบมาก(ซึ่งมีช่องว่างอากาศในใบนี้จะมีไอน้ำอิ่มตัวอยู่ตลอดเวลา) ทำให้การคายน้ำเกิดขึ้นได้มากและรวดเร็ว ถ้าความชื้นในบรรยากาศมีมากขึ้น คือ อากาศชื้น เช่น ในหน้าฝน หรือตอนเช้ามืด หรือตอนก่อนและหลังฝนตกใหม่ ๆ ใบจะคายน้ำได้น้อยและช้าลง ตามทฤษฎีถ้าความชื้นอิ่มตัวใบไม่ควรจะคายน้ำเลย ซึ่งก็เป็นความจริง กล่าวคือ ใบจะไม่คายน้ำออกมาเป็นไอน้ำ แต่มันคายมาเป็นหยดน้ำอย่างหนึ่งที่เรียกว่า Guttation นั่นเอง

4. ลม

โดยทั่วไปทำให้พืชคายน้ำได้มากขึ้น โดยที่ลมช่วยพัดพาไอน้ำที่ระเหยออกมาจากใบและอยู่บริเวณรอบ ๆ ใบให้พ้นไปจากผิว บริเวณนั้นจึงมีไอน้ำน้อยหรือมีอากาศแห้งเข้ามาแทนที่ ก็สามารถรับไอน้ำจากใบได้อีก ดังนั้น ใบจึงคายน้ำออกมาได้เรื่อย ๆ ตามหลักของการแพร่ การที่มีลดพัดยังทำให้ใบเคลื่อนไหวอีกด้วย ซึ่งเป็นผลให้เซลล์ mesophyll มีการเคลื่อนไหว จึงช่วยไล่ไอน้ำใน messophyll ออกมามากขึ้น การคายน้ำก็มีอัตราสูงขึ้น แต่ถ้าลมแรงมากจนเป็นพายุ ปากใบมักจะปิด การคายน้ำก็ลดลง และถ้าไม่มีลมหรือลมสงบไอน้ำที่คายออกมาจากปากใบก็จะยังคงอยู่ในบรรยากาศใกล้ ๆ ผิวใบนั่นเอง จึงทำให้บรรยากาศรอบ ๆ ใบมีไอน้ำสูงกว่าบริเวณอื่น ๆ เมื่อเป็นเช่นนี้จะทำให้อัตราของการคายน้ำต่ำลงไป

5. ความอุดมสมบูรณ์ของน้ำในดิน

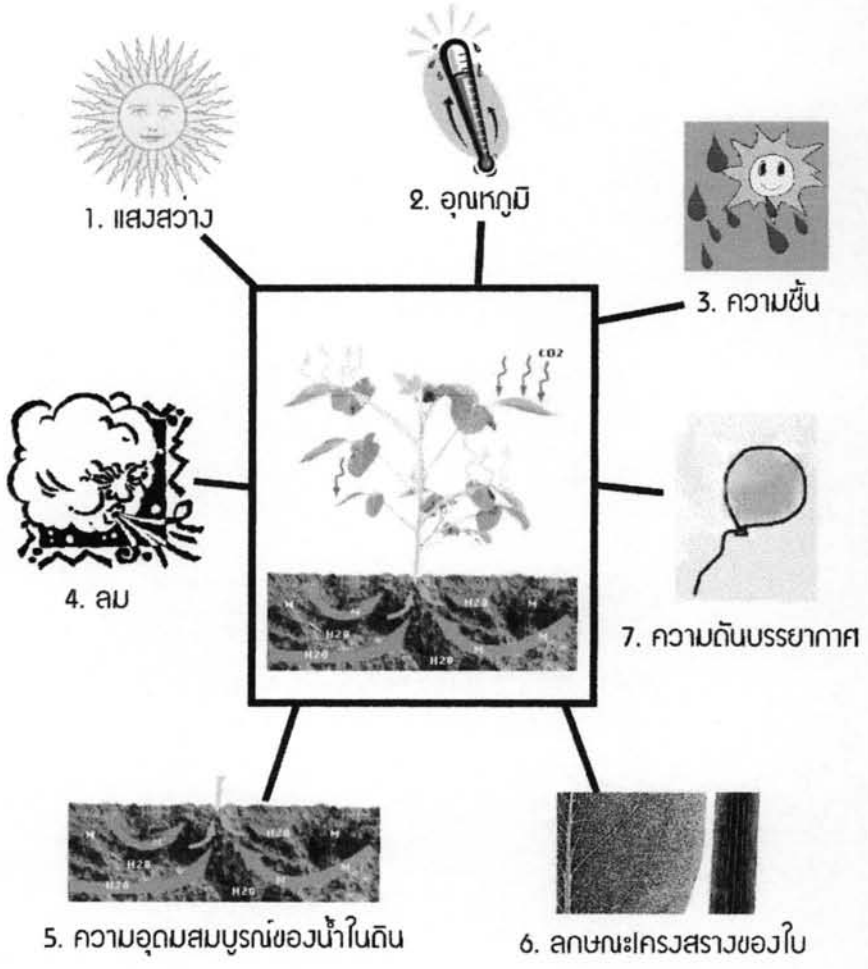
ถ้าในดินมีน้ำมากหรือดินแฉะ และสภาพอื่น ๆ ก็เหมาะสมกับการคายน้ำ น้ำในดินจะถูกดูดและลำเลียงไปยังใบได้มากและตลอดเวลาก็จะทำให้ใบคายน้ำได้มาก แต่ถ้าน้ำในดินน้อยหรือดินแห้ง แม้ว่าสภาพอื่น ๆ จะเหมาะสมกับการคายน้ำมาก อย่างไรก็ตามการคายน้ำก็เกิดขึ้นได้น้อย เพราะเมื่อดินแห้งก็ไม่มีน้ำที่จะลำเลียงขึ้นไปยังใบ ใบจึงขาดน้ำที่จะระเหยออกไปได้ อนึ่ง สภาพอื่น ๆ ที่เหมาะสมแก่การคายน้ำที่กล่าวถึงนั้น ได้แก่ ความสามารถของรากในการดูดน้ำจากดิน อุณหภูมิของดิน ความเข้มข้นของสารละลายในดิน เป็นต้น

6. ความกดดันของบรรยากาศ

ในที่ที่มีความกดดันของบรรยากาศต่ำ อากาศจะบางลงและความแน่นน้อย เป็นโอกาสให้ไอน้ำแพร่ออกไปจากใบได้ง่าย อัตราของการคายน้ำก็สูง แต่ถ้าความดันของบรรยากาศสูง ใบก็จะคายน้ำได้น้อยลง

7. ลักษณะและโครงสร้างของใบ

ส่วนประกอบและโครงสร้างของใบที่ไม่เหมือนกัน ทำให้การคายน้ำผิดกัน พืชบางชนิดมีปากใบบุ๋มเข้าไปในเนื้อของใบทำให้เกิดเป็นห้องเล็ก ๆ เหมือนปากใบที่เรียกว่า sunken stoma เมื่อไอน้ำระเหยมาก็จะอยู่ในห้องนี้ก่อนที่จะระเหยออกสู่อากาศภายนอก ทำให้ภายในห้องมีความชื้นสูง น้ำจากใบก็จะระเหยยากเข้า เป็นการปรับตัวเองของพืช เพื่อสงวนน้ำเอาไว้ไม่ให้เสียไปมาก



ภาพที่ 2.17 แสดงปัจจัยในการควบคุมการคายน้ำของต้นไม้

นอกจากส่วนประกอบและโครงสร้างของใบที่ไม่เหมือนกัน ทำให้การคายน้ำผิดกันไปแล้ว ก็ยังขึ้นอยู่กับจำนวนของปากใบด้วยว่ามีมากน้อยเพียงใด

ที่มา: ดนัย บุณยเกียรติ. สรีรวิทยาของพืชสวน. (เชียงใหม่: ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2546)

ค. การวัดปริมาณการคายน้ำ

จากการศึกษาวิธีการวัดปริมาณการคายน้ำ จะวิธีการวัดได้ 5 วิธี เพราะแต่ละวิธีจะวัดโดยมีจุดประสงค์ที่ได้แตกต่างกันไป ดังนี้

1. วัดน้ำหนักที่หายไปของพืชในกระถาง

โดยวัดน้ำหนักของพืชรวมกับกระถาง เป็นช่วงระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งจำเป็นต้องป้องกันการระเหยของน้ำจากดินให้ได้ โดยการปิดด้วยสารที่ป้องกันน้ำได้ และถ้าใช้กระถางดินก็ต้องคลุมกระถางด้วย เพราะน้ำระเหยผ่านได้ และควรใช้ดินปริมาณมากพอ มิฉะนั้นดินอาจจะแห้งไปก่อนเสร็จสิ้นการทดลอง

2. วัดน้ำหนักที่หายไปของส่วนของพืช

โดยตัดยอดหรือใบของต้นไม้มาชั่งโดยเครื่องชั่งละเอียดทุก ๆ 1-2 นาที แล้วเขียนเป็นกราฟออกมา อัตราการคายน้ำจะใช้การสูญเสีย น้ำหนักใน 1-2 นาทีวิธีนี้สภาพแวดล้อมต้องคงที่ตลอดการทดลอง แต่ตัวเลขที่ได้อาจจะผิดพลาดได้เพราะการคายน้ำมักจะสูงมาก เนื่องจากใบถูกตัดออกจากต้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแรงดันในท่อน้ำ

3. วิธีของ Freeman ใช้ส่วนที่อยู่เหนือดินของพืช หุ้มด้วยหลอดแก้ว

แล้วให้อากาศแห้งพัดผ่าน จากนั้นเก็บตัวอย่างของไอน้ำในอากาศ ในหลอดที่บรรจุฟอสฟอรัสเพนตาออกไซด์ หรือ แคลเซียมคลอไรด์ แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก แต่วิธีนี้อาจจะมีข้อผิดพลาด เพราะอากาศแห้งที่ผ่านอาจจะมีผลต่อการคายน้ำได้

4. ใช้กระดาษที่เปลี่ยนสีได้ (Color Indicator Paper)

โดยใช้กระดาษกรองชุบสารละลายโคบอลท์คลอไรด์เข้มข้น 3-5 เปอร์เซ็นต์ แล้วทำให้แห้งในตู้อบ จนกระทั่งเกิดสีน้ำเงินขึ้น เมื่อกระดาษนี้ดูดซับความชื้นจะเปลี่ยนเป็นสีชมพู ในการวัดการคายน้ำทำโดยใช้กระดาษแห้งวางไว้บนผิวของใบ แล้วปิดด้วย Cover Slip ทั้งด้านบนและท้องใบ และป้องกันความชื้นจากภายนอกโดยใช้สารพวกไขมันหุ้มไว้ เวลาที่ทำให้กระดาษเปลี่ยนสีคือ อัตราการคายน้ำ วิธีนี้มีประโยชน์ ในการเปรียบเทียบระหว่างใบของพืชใบเดียวกันแต่คนละด้าน หรือสองใบบนต้นเดียวกัน แต่จะใช้ไม่ได้กับพืชทั้งต้นเพราะกระดาษทำให้ความเข้มของแสงลดลง และทำให้ปากใบปิดด้วย

5. Infra Red absorption

ใช้แสง Infra Red ผ่านเข้าไปยังใบ แล้ววัดความเข้มของแสงที่ผ่านออกมาโดยใช้ photocell การที่ใบมีไอน้ำอยู่มากจะดูดเอาแสงไว้ทำให้แสงที่ผ่านไปอีกด้านมีความเข้มน้อยลง วิธีนี้ทำได้ยาก ใช้วัดอัตราการคายน้ำที่เปลี่ยนไป เมื่อมีการเปลี่ยนสภาพแวดล้อม

6. Potometer

วัดอัตราการคายน้ำจากอัตราการสูญเสียน้ำจากต้นพืชหรือยอด โดยการวัดอัตราการดูดน้ำ และสมมุติให้ค่าการดูดน้ำและการสูญเสียน้ำเท่ากัน เครื่องมือที่ใช้ คือ Potometer ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่เก็บน้ำและหลอดให้น้ำไหล วิธีนี้ให้ผลที่คลาดเคลื่อนได้เนื่องจาก ส่วนของพืชอาจจะมีฟองอากาศเข้าไปตามท่อน้ำ จึงมักใช้พืชทั้งต้น และการคายน้ำมักจะสูงกว่าอัตราการดูดน้ำ

แต่ทุกวิธีการจะมีหลักการคือ

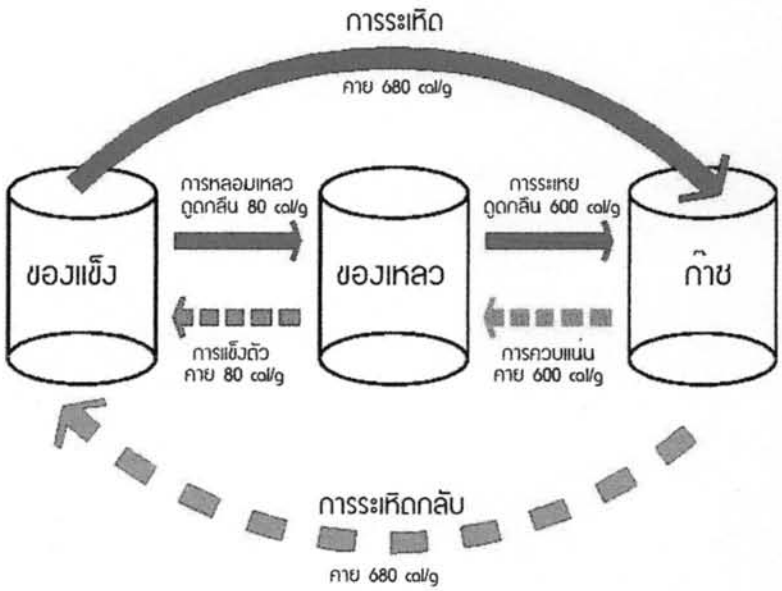
ปริมาณการใช้น้ำของพืช = การคายน้ำ + การระเหย

2.3 การระเหยของน้ำ (Evaporation)

การคายน้ำของต้นไม้จะใช้ทฤษฎีการระเหยของน้ำจากสภาพแวดล้อม จากปัจจัยทางสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อปริมาณการคายน้ำดังที่กล่าวมาจะส่งผลซึ่งกันและกันกับตัวต้นไม้เอง ซึ่งจะแสดงความสัมพันธ์ของอุณหภูมิ ระหว่างอุณหภูมิของน้ำในต้นไม้และอุณหภูมิของชั้นบรรยากาศโดยรอบต้นไม้

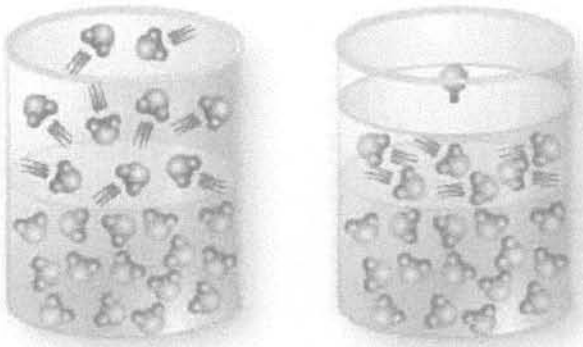
2.3.1 ทฤษฎีการระเหยของน้ำ

จากการศึกษาพบว่า น้ำที่เกาะหรือฉาบบนผิวถนนหลังจากฝนตกจะเกิดการแห้งอย่างรวดเร็วในฤดูร้อนที่มีค่าความส่องสว่างสูง การที่มีความสว่างสูงจะส่งผลให้อุณหภูมิในบริเวณนั้นสูงขึ้นตาม สาเหตุที่น้ำฝนที่ฉาบอยู่บนผิวพื้นถนนหายไปอย่างรวดเร็วนั้นเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสถานะของสสาร จากของเหลวให้กลายเป็นก๊าซ กระบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะนี้เกิดขึ้นอย่างช้าๆ เรียกว่า การระเหย (Evaporation) ซึ่งต้องการดูดกลืนความร้อนแฝง 600 แคลอรี เพื่อที่จะเปลี่ยนน้ำ 1 กรัมให้กลายเป็นไอน้ำ ในทางกลับกัน เมื่อไอน้ำกลั่นตัวกลายเป็นหยดน้ำ "การควบแน่น" (Condensation) น้ำจะคายความร้อนแฝงออกมา 600 แคลอรี/กรัม เช่นกัน



ภาพที่ 2.18 แสดงการเปลี่ยนสถานะของน้ำ

ที่มา: ปรับปรุงจาก The Lesa Project. โครงการเรียนรู้เรื่องวิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ. (กรุงเทพฯ: www.lesaproject.com , 2546)



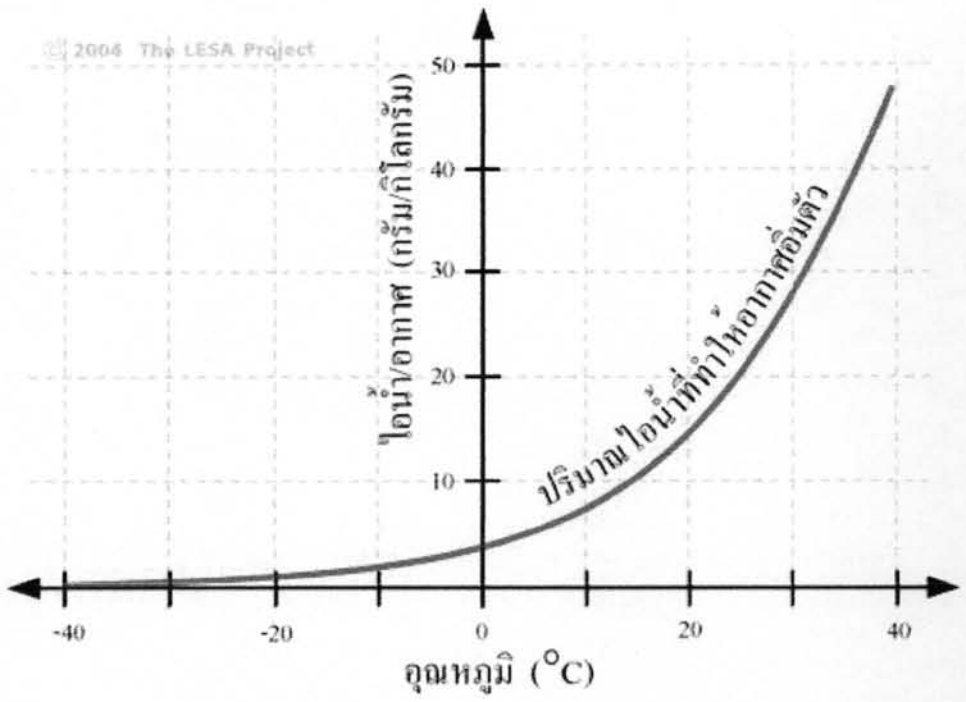
ภาพที่ 2.19 แสดงโมเลกุลของน้ำ

ที่มา: The Lesa Project. โครงการเรียนรู้เรื่องวิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ. (กรุงเทพฯ: www.lesaproject.com , 2546)

จากภาพจะเห็นได้ว่ามีโมเลกุลของน้ำอยู่เบียดเสียด วิ่งไปวิ่งมา โดยที่โมเลกุลแต่ละโมเลกุลเคลื่อนที่ด้วยความเร็วแตกต่างกัน ซึ่งค่าเฉลี่ยของความเร็วในการเคลื่อนที่ของโมเลกุลก็คือ "อุณหภูมิ" ของน้ำ (พลังงานจลน์) ถ้าโมเลกุลที่อยู่บริเวณผิวน้ำมีความเร็วมากพอ ที่จะทำให้โมเลกุลเคลื่อนที่หลุดออกไปสู่อากาศ โมเลกุลเหล่านี้จะเปลี่ยนสถานะจากน้ำเป็นไอน้ำ ซึ่งก็คือ "การระเหย" นั่นเอง

เมื่อเราปิดฝาถังและดันเข้าไปดังเช่นในภาพที่ 10 น้ำที่เคยระเหยเป็นไอน้ำ จะถูกควบแน่นกลับเป็นของเหลวอีกครั้งหนึ่ง หาก "จำนวนโมเลกุลของน้ำที่ระเหยกลายเป็นไอน้ำ จะเท่ากับจำนวนโมเลกุลของไอน้ำที่ควบแน่นกลับเป็นน้ำพอดี" เราจะเรียกว่า "อากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำ" ในทางกลับกันหากเราดึงฝาเปิดออก ไอน้ำในอากาศซึ่งเคยอยู่ในถังจะหนีออกมาก ทำให้จำนวนโมเลกุลของไอน้ำที่มีอยู่ในน้อยกว่าจำนวนโมเลกุลของไอน้ำที่ทำให้อากาศอิ่มตัว อากาศจึงไม่เกิดการอิ่มตัว (ปัจจัยในธรรมชาติที่ช่วยให้อากาศไม่เกิดการอิ่มตัวคือ กระแสลม)

นอกจากความดันแล้ว ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการระเหยของน้ำคือ อุณหภูมิ น้ำร้อนระเหยได้ง่ายกว่าน้ำเย็น เนื่องจากความร้อนทำให้โมเลกุลของน้ำเคลื่อนที่เร็วขึ้น และหลุดหนีจากสถานะของเหลวไปเป็นก๊าซ ในทำนองกลับกัน อากาศเย็นทำให้เกิดการควบแน่นได้ดีกว่าอากาศร้อน เนื่องจากโมเลกุลของไอน้ำเย็นมีพลังงานน้อยกว่า จึงสูญเสียความเร็วและเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวได้ง่าย



ภาพที่ 2.20 แสดงกราฟความสัมพันธ์ของปริมาณไอน้ำในอากาศต่ออุณหภูมิ

ที่มา: The Lesa Project. โครงการเรียนรู้เรื่องวิทยาศาสตร์โลกและอวกาศ. (กรุงเทพฯ: www.lesaproject.com , 2546)

กราฟที่ 11 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณไอน้ำที่จะทำให้เกิดอากาศอิ่มตัวภายใต้อุณหภูมิต่างๆ อุณหภูมิที่สูงขึ้นทุกๆ 10 °C อากาศจะมีปริมาณไอน้ำเพิ่มขึ้น 2 เท่า เพื่อทำให้เกิดอากาศอิ่มตัว

ณ อุณหภูมิ 10 °C อากาศ 1 กิโลกรัม ต้องการไอน้ำ 7 กรัม

ณ อุณหภูมิ 20 °C อากาศ 1 กิโลกรัม ต้องการไอน้ำ 14 กรัม

ณ อุณหภูมิ 30 °C อากาศ 1 กิโลกรัม ต้องการไอน้ำ 28 กรัม

เราจึงสรุปได้ว่า "อากาศร้อนมีความสามารถในการเก็บจำนวนโมเลกุลของไอน้ำได้มากกว่าอากาศเย็น"

ปัจจัยการเปลี่ยนรูปของน้ำในอากาศในลักษณะต่างๆ จะส่งโดยตรงต่อการระเหยของน้ำในต้นไม้เช่นเดียวกัน และการเปลี่ยนสถานะของน้ำให้กลายเป็นไอของต้นไม้จะต้องใช้พลังงานจำนวนหนึ่งจากใบพืช ทำให้พืชเสียพลังงานความร้อนส่งผลให้อุณหภูมิของใบลดลง และพืชปลอดภัยจากอันตรายจากอุณหภูมิสูง จากการศึกษา พบว่าใบไม้ที่มีความหนามาก ก็จะมี

ความสามารถในการเก็บกักปริมาณน้ำไว้ในใบเพื่อลดการคายน้ำในสภาพบรรยากาศที่มีอุณหภูมิสูงได้ ถือว่าเป็นการดำรงชีวิตของต้นไม้

ฉะนั้นจะสรุปได้ว่า ปรากฏการณ์การคายน้ำของต้นไม้จะต้องอาศัยพลังงานความร้อนจากที่ต่างๆ ทั้งพลังงานความร้อนภายในตัวใบของต้นไม้และพลังงานความร้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอกโดยรอบต้นไม้ ในการเปลี่ยนแปลงสถานะจากน้ำให้กลายเป็นไอ ซึ่งในการที่น้ำจะสามารถระเหยกลายเป็นไอได้นั้น ทางทฤษฎีหลักการระเหยจะต้องใช้พลังงานความร้อนประมาณ 1000 บีทียูต่อ 1 ชั่วโมง ในการระเหยของน้ำ 1 ปอนด์ (ASHREA Fundamental, 1989)

จากการวิจัยนี้จะมีการทดสอบถึงอุณหภูมิความร้อนในระดับต่างๆ กัน ที่ส่งผลต่อปริมาณการคายน้ำของต้นไม้ว่ามีปริมาณมากหรือน้อยเพียงใด ซึ่งจะตอบสนองและเป็นผลดีต่อสภาวะน่าสบายของอุณหภูมิโดยรอบต้นไม้ เพราะจากทฤษฎีการระเหยของน้ำ การที่จะทำให้น้ำระเหยกลายเป็นไอได้ในอากาศ จะทำให้อุณหภูมิอากาศในบริเวณนั้นจะต่ำลงกว่าปกติ แต่จะต่ำลงมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปริมาณไอน้ำที่ระเหย เปรียบได้กับกระบวนการคายน้ำของต้นไม้ที่จะต้องใช้พลังงานความร้อนในการคายน้ำ ซึ่งพลังงานความร้อนที่ต้นไม้ใช้ในการคายน้ำ คือ พลังงานความร้อนของอากาศที่หายไปนั่นเอง อุณหภูมิที่วัดได้จากการระเหยของน้ำต่ำสุด คือ อุณหภูมิกระเปาะเปียก

2.3.2 ค่าความร้อนแฝงในการกลายเป็นไอ

ความร้อนแฝงในการกายเป็นไอ คือ การเปลี่ยนสถานะโดยที่อุณหภูมิของวัตถุนั้นไม่เปลี่ยนแปลง ปริมาณความร้อนที่ใช้กับวัตถุในช่วงนี้เป็นพลังงานความร้อนที่ใช้เพื่อการเปลี่ยนแปลงสถานะ มิใช่เพื่อเป็นการเพิ่มอุณหภูมิ การคำนวณหาปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงในแต่ละขั้นโดยแทนค่าในสูตร

1. Q = mL กรณีที่มีการเปลี่ยนสถานะ (สังเกตได้จากอุณหภูมิคงที่)
2. Q = mst กรณีที่ไม่มีการเปลี่ยนสถานะ (สังเกตได้จากอุณหภูมิไม่คงที่)

$$Q = ML$$

เมื่อ Q = ปริมาณความร้อนที่เปลี่ยนแปลงในวัตถุ (J หรือ cal)
M = มวลของวัตถุ (kg หรือ cal/gm)
L = ความร้อนแฝงจำเพาะของวัตถุ (J/kg หรือ cal/gm)

สสาร	ความร้อนแฝงจำเพาะ (J/kg)	ความร้อนแฝงจำเพาะ (Cal/g)
น้ำ	2256×10^3	536 หรือ 540
น้ำแข็ง	333×10^3	80

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าค่าความร้อนจำเพาะของสาร

ที่มา: ปรับปรุงจาก อภิชัย ธีระรังสีกุล, คู่มือฟิสิกส์ (พิมพ์ครั้งที่ 8, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ PSP, 2540 หน้า 172)

จากตารางแสดงค่าความร้อนแฝงในการเปลี่ยนสถานะของน้ำ จะพบว่า ถ้าน้ำเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอ หรือระเหยได้มากเท่าไหร่ จะใช้ความร้อนจากสภาพแวดล้อมรอบข้ามไปมากเท่านั้น ดังนั้น ถ้าต้นไม้มีการคายน้ำที่มากเท่าใด (กรณีที่น้ำในดินอุดมสมบูรณ์) จะใช้พลังงานความร้อนจากสภาพแวดล้อมบริเวณนั้นมากตาม และส่งผลทำให้อุณหภูมิของสภาพแวดล้อมบริเวณนั้นลดลง

2.3.3 ค่าอุณหภูมิน้ำระเหย

ค่าอุณหภูมิน้ำระเหย หรือเรียกว่า อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature) หมายถึง ค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่สามารถบันทึกได้โดยเทอร์โมมิเตอร์หรือเครื่องอ่านอุณหภูมิชนิดอื่นๆ ซึ่งตัวรับรู้ (Sensor) ถูกห่อหุ้มด้วยผ้าหรือสำลีชุบน้ำและมีความเร็วลมหรืออากาศพัดผ่านจนทำให้เกิดการระเหยน้ำในบริเวณนั้น อันเป็นผลทำให้อุณหภูมิจากกระเปาะเทอร์โมมิเตอร์หรือตัวรับรู้นั้นเย็นลงจนถึงจุดคงที่ และอุณหภูมิที่อ่านได้นั้น คือค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก

จากการศึกษาการออกแบบการใช้ประโยชน์จากพืชคลุมดิน (สุนทร บุญญาธิการ และ บัณฑิต เอื้ออาภรณ์, 2539) อ้างในเทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน, 2542: 74) พบว่า อุณหภูมิกระเปาะเปียกจะต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature) โดยในช่วงที่มีอากาศร้อนจัด อุณหภูมิผิวหญ้าเปียกจะต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก เพราะดินที่เย็นจะมีการเก็บกักความเย็นได้มากกว่า อุณหภูมิจึงไม่มีความแปรปรวนตามสภาพอากาศภายนอก (อุณหภูมิกระเปาะแห้ง)

2.4 ลักษณะและประเภทต้นไม้

การแบ่งประเภทของต้นไม้ในงานสถาปัตยกรรม จะแบ่งตามลักษณะทางกายภาพ เนื่องจากประโยชน์และเหตุผลในการนำต้นไม้มาใช้คู่กับงานสถาปัตยกรรมนั้น นอกจากความสวยงามทางสายตาแล้ว ยังต้องการพื้นที่ร่มเงาที่เกิดจากการแผ่คลุมของทรงพุ่มไม้ด้วย ฉะนั้น ชนิดของใบ ประเภทของต้นไม้ จะต้องเป็นตัวแปรสำคัญในการเลือกใช้ โดยพอจะสรุปปัจจัยในการพิจารณาในการเลือกใช้ได้ ดังนี้

2.4.1 ประเภทของพืชพรรณ (Life-Form)

2.4.2 ขนาด (Size)

2.4.3 ช่วงเวลาที่มีใบปกคลุม (Periodicity)

2.4.4 รูปแบบทางกายภาพที่สำคัญต่างๆ

2.4.1 ประเภทของพืชพรรณ (Life-Form)

จากการศึกษา จะแบ่งลักษณะต้นไม้ตามประเภทได้ 5 กลุ่ม คือ

1. ต้นไม้ยืนต้น (Tree)

เป็นพืชที่มีเนื้อไม้มาก ลักษณะเป็นไม้เนื้อแข็ง (Woody Plants) มีลำต้นเจริญจากตายอก เป็นลำดับเดี่ยวตั้งตรงขึ้นไป สูงจากพื้นดินระยะหนึ่งแล้วจึงแตกกิ่งก้านสาขาแผ่รัศมีออกเป็นบริเวณกว้าง จึงมักใช้กับงานสถาปัตยกรรมเพื่อลดพื้นที่ตกกระทบแสงโดยตรงจากดวงอาทิตย์ได้ ทำให้อุณหภูมิอากาศใต้พุ่มใบมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเหนือพุ่มใบ โดยจะแบ่งออกเป็นไม้ประเภทผลัดใบและไม่ผลัดใบ เช่น มะม่วง มะขาม จามจุรี ไทร ลีลาวดี เป็นต้น

2. ไม้พุ่ม (Shrub)

เป็นพืชที่มีลักษณะคล้ายไม้ยืนต้น แต่มีขนาดเล็กกว่า ลักษณะต้นตั้งตรงเป็นลำขึ้นไปแตกกิ่งพุ่มออกในระดับใกล้พื้นดิน จึงมีลักษณะออกมาเป็นแบบพุ่มทำให้ดูเป็นกอ มีอายุนานหลายปี มักใช้กับงานสถาปัตยกรรมเพื่อความสวยงาม เช่น ชบา เข็ม หางนกยูง พลับพลึง เป็นต้น

3. ไม้เลื้อย (Lianas)

เป็นพืชที่ต้องมีหลักแหล่งในการดำรงชีวิต เพื่อค้ำจุนในการยังชีพ ลักษณะเป็นไม้เนื้ออ่อน มีเนื้อไม่มาก สามารถดัดได้ตามลักษณะของสิ่งค้ำจุน โดยส่วนมากจะเลื้อยเกาะตามไม้ยืนต้นเป็นลักษณะตีเกลียวรอบ มีอายุยืนยาว เช่น ต้นมโนราห์ กระไดลิง เป็นต้น

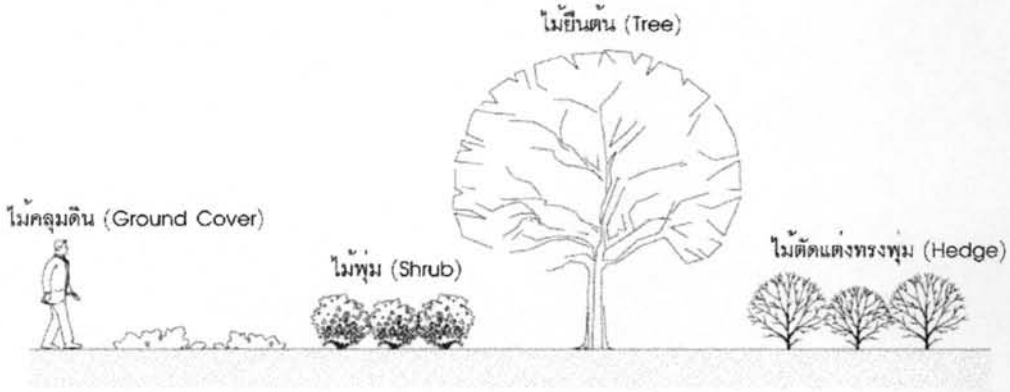
4. ไม้คลุมดิน (Ground cover)

เป็นพืชที่มีลำต้นเตี้ย แผ่ราบเป็นแนวระนาบ ลักษณะการเจริญเติบโตจะขยายวงเป็นแนวนอนเลื้อยปกคลุมดิน เช่น หญ้า เฟิร์น ผักเป็ด เป็นต้น

5. ไม้ล้มลุก (Herbs)

เป็นพืชที่ไม่มีเนื้อไม้ เป็นเนื้อไม้อ่อน ลำต้นไม่แข็งแรง มักมีอายุสั้นโดยมีอายุประมาณไม่เกิน 1 ปี นับตั้งแต่วันที่เมล็ดเริ่มงอกลำต้นจะเริ่มเติบโต และออกดอกติดกับเมล็ดจนตาย เช่น ดาวเรือง ดอกบานไม่รู้โรย ดาวกระจาย เป็นต้น

โดยการทำการวิจัยครั้งนี้ จะเลือกใช้กลุ่มตัวอย่างที่เป็นต้นไม้ยืนต้น (Tree) เพราะด้วยศักยภาพทางรูปทรงที่เหมาะกับงานสถาปัตยกรรม ต้นไม้ยืนต้นมีความสามารถในการลดรังสีความร้อนที่มาจากดวงอาทิตย์ พร้อมการแผ่กิ่งก้านปกคลุมเพื่อให้พื้นที่ร่มเงาเป็นบริเวณกว้างได้ จึงมีความสามารถที่จะลดอุณหภูมิอากาศเป็นบริเวณกว้างได้มากกว่าต้นไม้ชนิดพรรณอื่นๆ



ภาพที่ 2.21 แสดงพืชพรรณประเภทต่างๆ ตามลักษณะรูปทรงทางกายภาพ

2.4.2 ขนาด (Size)

จากลักษณะรูปทรงของพืชพรรณแต่ละประเภท สามารถแบ่งออกตามขนาดความสูงได้ดังนี้

	ไม้ยืนต้น	ไม้พุ่ม	ไม้คลุมดิน
1. ขนาดสูงใหญ่ (large)	< 25 เมตร	2.8 เมตร	< 2 เมตร
2. ขนาดกลาง (intermediate)	10-25 เมตร	0.5-2 เมตร	0.10-2 เมตร
3. ขนาดเล็ก (small)	8-10 เมตร	< 5 เมตร	< 0.10 เมตร

2.4.3 ช่วงเวลาที่มีใบปกคลุม (Periodicity)

ถ้าพิจารณาจำนวนความหนาแน่นของใบในรอบปี ไม้ต้นยืนจะแบ่งออกตามความเปลี่ยนแปลงหลักๆ ได้เป็น 2 ประเภท คือ ไม้ผลัดใบ และไม้ไม่ผลัดใบ

1. ไม้ผลัดใบ (Deciduous Plants)

ไม้พวกจะทิ้งใบให้ร่วงในเวลาสภาพอากาศที่ไม่เหมาะสมกับการอยู่อาศัย เพราะในรอบปีแต่ละพื้นที่จะมีสภาพอากาศที่แตกต่างกันออกไปตามช่วงเวลา เช่น ฤดูหนาว และฤดูร้อน อาจทำให้ต้นไม้ไม่สามารถดำรงในสภาพสมบูรณ์โดยปกติได้ การทิ้งใบของต้นไม้ก็จะเกิดในเวลาที่มีอากาศหนาว หรือร้อนมากเกินไป ทั้งนี้มาจากเหตุผลที่ว่าในฤดูร้อนที่มีอากาศร้อนมากเกินไป การคายน้ำของต้นไม้ก็จะเกิดขึ้นมากตาม ทำให้ต้นไม้ไม่สามารถดูดน้ำมาเลี้ยงใบได้ทัน การผลัดใบเลยกลายเป็นอีกวิธีหนึ่ง ที่สามารถลดปริมาณการคายน้ำของต้นไม้ลง เพื่อให้ดำรงอยู่ในบริบทแวดล้อมนั้นได้

2.ไม้ไม่ผลัดใบ (Evergreen Plants)

เป็นไม้ที่มีลักษณะเขียวตลอดทั้งปี ไม้พวกนี้สามารถทนอยู่ในสภาพอากาศที่มีลักษณะร้อนหรือหนาวจนเกินไปได้ดีกว่าไม้ผลัดใบ แต่ก็ไม้บางชนิดที่ทนไม่ได้กับสภาพอากาศ การหยุดการเจริญเติบโตจึงเป็นอีกหนทางหนึ่งในการดำรงอยู่รอด แต่จะไม่มีการทิ้งใบ

2.4.4 รูปแบบทางกายภาพที่สำคัญต่าง ๆ

ในการแบ่งแยกคุณสมบัติขององค์ประกอบต้นไม้ สามารถแบ่งแยกได้เป็นหลายองค์ประกอบ ทั้งรูปร่างลักษณะขอใบ ลำต้น ผิวไม้ ฯลฯ จากการศึกษาโดยรวม องค์ประกอบที่มีผลต่อการคายน้ำมากที่สุด คือ ใบ เพราะสัดส่วนการคายน้ำส่วนใหญ่จะเกิดจากปากใบมากกว่าลำต้นและกิ่งก้าน

ก. คุณสมบัติของใบ (Leaf Characteristics)

ความแตกต่างของคุณลักษณะของใบที่มีผลต่อความสามารถในการเก็บกักปริมาณน้ำไว้ในใบได้มากน้อยต่างกัน ซึ่งส่งผลต่อการคายน้ำ ทางผู้วิจัยได้ทำการจัดแบ่งคุณลักษณะของใบออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. ใบที่มีลักษณะแข็ง หนาและหยาบ เช่น ลีลาวดี กระทิง และขนุน
2. ใบที่มีลักษณะอ่อน บางและละเอียด เช่น พิกุล สัตตบรรณ ศรีมหาโพธิ์

ข. รูปทรงของพุ่มใบ (Form)

ลักษณะทางรูปทรงพุ่มใบนี้ สามารถวัดได้ในขณะที่ต้นไม้มีการเจริญเติบโตในสภาพแดล้อมปกติอย่างเต็มที่แล้ว โดยไม่มีสิ่งกีดขวางการขยายตัวของทรงพุ่ม จะลักษณะการเจริญเติบโตของทรงพุ่มจะขยายรัศมีออกจากลำต้นอย่างละเท่าๆกัน สามารถแบ่งออกได้ ดังนี้

1.รูปทรงพุ่มกลม (Globular, Round & Busy) แกนทางตั้งและทางนอนเท่ากันเปรียบเหมือนรัศมีของวงกลม เช่น นนทรี ขี้เหล็ก มะม่วง พิกุล เป็นต้น

2.รูปยาวหรือไข่ (Oblong or Oval) รูปร่างของลำต้นจะมีลักษณะที่สูงมากว่าทางกว้าง เช่น ขนุน แปรงล้างขวด กระท้อน ลำดวน ตะแบก เป็นต้น

3.รูปทรงแผ่กว้างหรือทรงร่ม (Spreading or Umbrella shape) เป็นรูปร่างของทรงพุ่มมีลักษณะแผ่ขยายออกจนมีรูปร่างคล้ายร่ม เช่น ชัยพฤกษ์ หางนกยูงฝรั่ง จามจุรี เป็นต้น

4.รูปทรงกระบอก (Cylinder or Columnar) ลักษณะลำต้นสูงขึ้นในแนวตั้งมากกว่าขยายออกทางแนวนอน เช่น เสลา บุนนาค เป็นต้น บางชนิดมีลักษณะคล้ายเสา เช่น บุหงาส่าหรี และแคแสด

5.รูปทรงปิรามิด (Pyramid or Conical) มีลักษณะการเจริญเติบโตทางสูง เป็นลักษณะคล้ายปิรามิด เช่น จำปา จำปี สนทะเล เป็นต้น และบางชนิดมีลักษณะผอมสูง (Spike) เช่น อโศกอินเดีย สนดินสอ

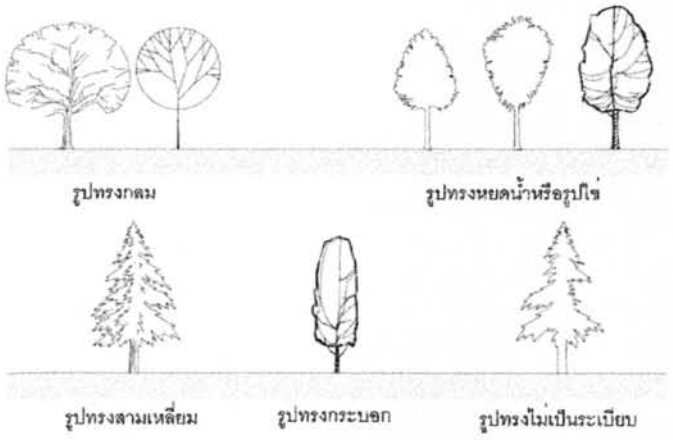
6.รูปทรงแผ่เป็นชั้น (Spreading in Layers) มีลักษณะเรือนยอดแยกเป็นชิ้นๆเกิดช่องว่างระหว่างชั้น เช่น หูกวาง นุ่น ชมพูพันธุ์ทิพย์ เป็นต้น

7.รูปทรงแผ่กิ่งก้าน (Open Headed) ลักษณะกิ่งก้านสามารถมองเห็นได้ชัดเจน เช่น ลั่นทม สาเก แคฝรั่ง เป็นต้น

8.รูปทรงห้อยลง (Weeping with dropping twinges) ลักษณะกิ่งก้านจะห้อยลงสู่พื้น กิ่งก้านมักจะมีความยาวและอ่อนช้อย เช่นหลิว แปรงล้างขวด เป็นต้น

9.รูปทรงคล้ายปาล์ม (Palm-like) มีลำต้นตรงสูง โดยมีพุ่มใบเจริญอยู่ตรงปลายยอด เช่น กล้วยพัด ตาล มะพร้าว ปาล์มชนิดต่างๆ เป็นต้น

10.รูปทรงแตกกอ (Clump) มีรูปทรงสูง ใช้ลักษณะการเจริญเติบโตแบบแตกหน่อเป็นหลายต้นในกลุ่มเดียว เช่น หมากเขียว หมากเหลือง ไผ่ เต่ารั้ง เป็นต้น



ภาพที่ 2.22 แสดงรูปทรงของพุ่มใบในลักษณะต่างๆ ของไม้ยืนต้น

ค. ความแผ่กว้างของพุ่มใบ (Spread)

ความกว้างของพุ่มใบ (Crown) ลักษณะความยาวจะเป็นสิ่งบ่งบอกถึงพื้นที่ร่มเงาที่มากกว่า โดยส่วนมากไม้ยืนต้นจะแผ่กิ่งก้านออกไปได้มาก เพราะมีเนื้อไม้มากและแข็ง ฉะนั้นไม้ยืนต้นที่มีความแผ่กว้างของพุ่มใบที่มาก ก็จะส่งผลถึงปริมาณการคายน้ำที่มีมากตามไปด้วย ยิ่งรัศมีทรงพุ่มกว้างมากแค่ไหน ก็จะยิ่งทำให้ความสามารถในการลดอุณหภูมิอากาศขยายวงกว้างได้มากขึ้น ความแผ่กว้างของพุ่มใบแบ่งออกได้เป็น

1.พุ่มใบแผ่กว้างมาก มีความกว้างประมาณ 22 เมตร หรือมากกว่านั้น เช่นหูกวาง หางนกยูง จามจุรี โพธิ์ ไทร กร่าง กระถินณรงค์ ต้นไม้จำพวกนี้สามารถให้ร่มเงาแก่บริเวณโคนต้นได้

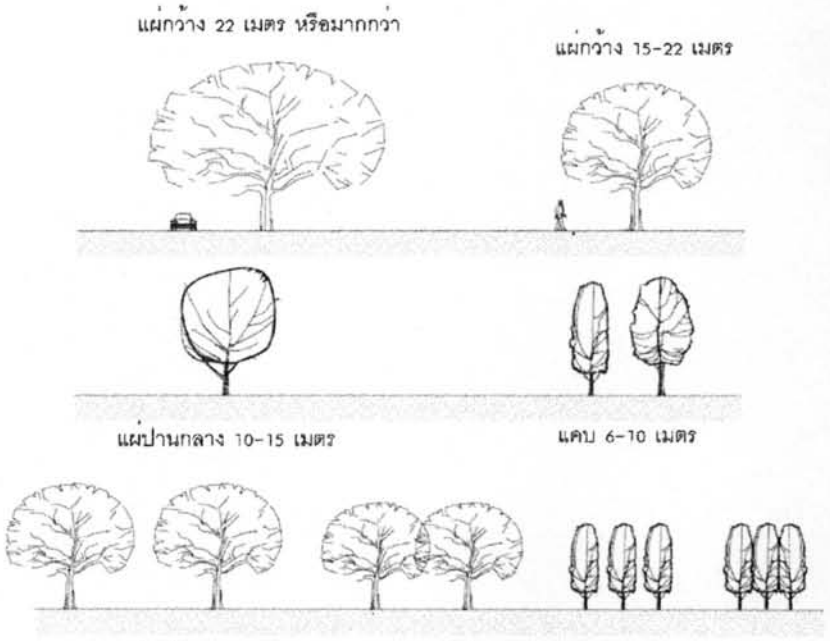
2.พุ่มใบแผ่กว้าง โดยมีความกว้างประมาณ 15-22 เมตร เช่น ลั่นทม ประดู่

3.พุ่มใบแผ่กว้างปานกลาง มีความกว้างประมาณ 10-15 เมตร

4.พุ่มใบแผ่กว้างน้อย มีความกว้าง 6-10 เมตร หรือต่ำกว่า เช่น สนทะเล อโศกอินเดีย

ง. ความหนาแน่นของพุ่มใบ กิ่งก้าน (Mass)

การแบ่งประเภทของพืชพันธุ์โดยใช้เกณฑ์ทางด้านรูปทรงแล้ว สิ่งที่เกี่ยวข้องกันอย่างอย่างคือ ความหนาแน่นของพุ่มใบ (Mass) การรวมกลุ่มกันของกิ่งก้านและกลุ่มใบของพืชพันธุ์ การแบ่งแยกความหนาแน่นอาจดูได้จากอัตราความทึบและความโปร่งแสง ความทึบหมายถึง ส่วนที่เป็นใบ กิ่งก้าน และส่วนประกอบอื่นๆ ของพุ่มใบ ส่วนความโปร่ง หมายถึง พื้นที่ระหว่างใบและกิ่งก้านที่สามารถมองผ่านไปเห็นท้องฟ้าหรือพื้นที่ด้านหลังได้



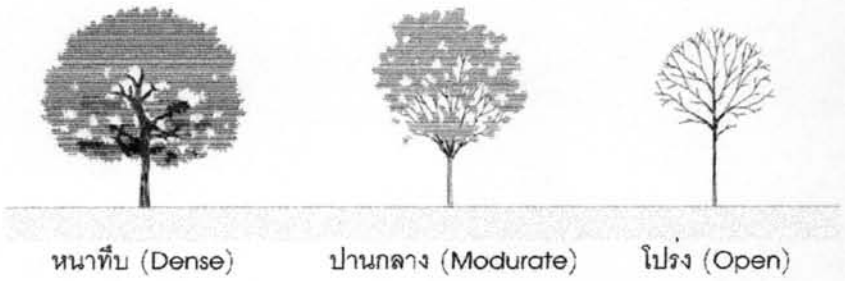
ภาพที่ 2.23 แสดงความแผ่กว้างของทรงพุ่มใบไม้ยืนต้น

ความหนาแน่น หมายถึง การรวมกลุ่มกันของใบและกิ่งก้าน จนเกิดการซ้อนชั้นกันของใบ ทั้งนี้ อาจเป็นผลทำให้ใบทุกใบได้รับปริมาณแสงที่ไม่เท่ากันส่งผลต่อปริมาณการคายน้ำที่ไม่เท่ากันได้ ความหนาแน่นอาจดูได้จากอัตราของความทึบและความโปร่งแสง ว่าเป็นสัดส่วนร้อยละเท่าไหร่ ความหนาแน่นของพุ่มใบนี้ แบ่งออกได้ 3 พวกคือ

1. หนาทึบ (Dense) มีใบและกิ่งก้านซ้อนทับกัน จนไม่สามารถมองทะลุไปได้ เช่น ขนุน

2. หนาทึบปานกลาง (Modurate) มีลักษณะใบและกิ่งก้านซ้อนกันทึบ แต่สามารถมองเห็นทะลุไปได้บ้าง จะจำกัดความโปร่งแสงที่ประมาณ 2:1 หรือ 1:1 เช่น สัตตบรรณ

3. โปร่ง (Open) กิ่งก้านจะแผ่กระจายออก โดยมีสัดส่วนของใบในปริมาณที่น้อย สามารถมองเห็นทะลุไปได้โดยง่าย และมีพื้นที่ความสว่างมากกว่าพื้นที่ร่มเงา เช่น ลีลาวดี



ภาพที่ 2.24 แสดงความแตกต่างความหนาแน่นของทรงพุ่ม

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมโดยการใช้ต้นไม้ มีอยู่หลายงายวิจัยจากการศึกษา ต้นไม้สามารถช่วยสร้างสรรค์ธรรมชาติให้น่าอยู่และเหมาะสมกับสภาวะน่าสบายของมนุษย์ จึงมีการคิดค้นการใช้ประโยชน์จากธรรมชาติ

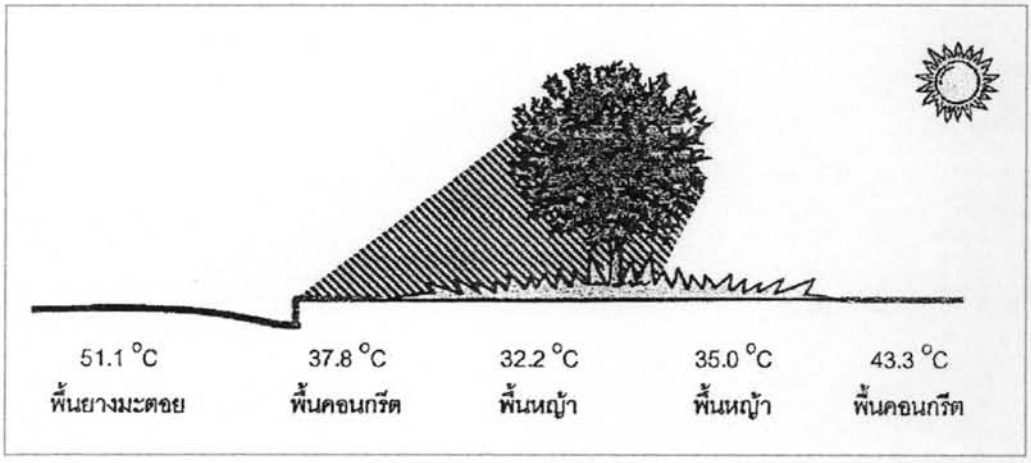
2.5.1 ความร้อนจากแสงอาทิตย์และร่มเงา (Sun and Shading)

การเปรียบเทียบพื้นคอนกรีตที่โดนแดดและไม่โดนแดด

"จากการทดสอบการนำความร้อนที่มหาวิทยาลัยอินเดีย พบว่าขณะที่อุณหภูมิอากาศ 28.9 °C พื้นคอนกรีตที่โดนแดดจะมีอุณหภูมิสูงถึง 42.2 °C ขณะที่พื้นคอนกรีตใต้ร่มเงาต้นเมเปิ้ลจะมีอุณหภูมิเพียง 31.1 °C " (Federal Energy Administration [FEA], 1975: 3 cited in Hastings and Crenshaw, 1977: 1-9) ดังนั้น การถ่ายเทความร้อนผ่านร่มเงาของต้นไม้จะช่วยลดการแผ่รังสีความร้อนจากพื้นดินและสามารถทำให้อุณหภูมิอากาศเย็นลง

การเปรียบเทียบพื้นผิวต่างๆที่โดนแดดและไม่โดนแดด

"ข้อมูลจากรัฐอริโซน่า สหรัฐอเมริกา แสดงถึงความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น เมื่ออุณหภูมิอากาศ 42.2 °C อุณหภูมิของพื้นดินมีความแตกต่างจะขึ้นอยู่กับพื้นผิวและการอยู่ภายใต้ร่มเงาของต้นไม้หรือไม่ ด้วยเหตุนี้ พบว่าอุณหภูมิจากดวงอาทิตย์ภายใต้พื้นคอนกรีตสูง 43.3 °C , บนพื้นยางมะตอยสูง 51.1 °C ,บนพื้นหญ้า 35 °C , ขณะที่อุณหภูมิภายใต้ร่มเงาบนพื้นคอนกรีตเหลือเพียง 37.8 °C และภายใต้ร่มเงาบนพื้นหญ้าเหลือเพียง 32.2 °C ทั้งนี้จะสามารถบ่งบอกให้เห็นว่าการคายน้ำบนพื้นผิวหญ้าสามารถช่วยทำให้อุณหภูมิอากาศลดลงได้"



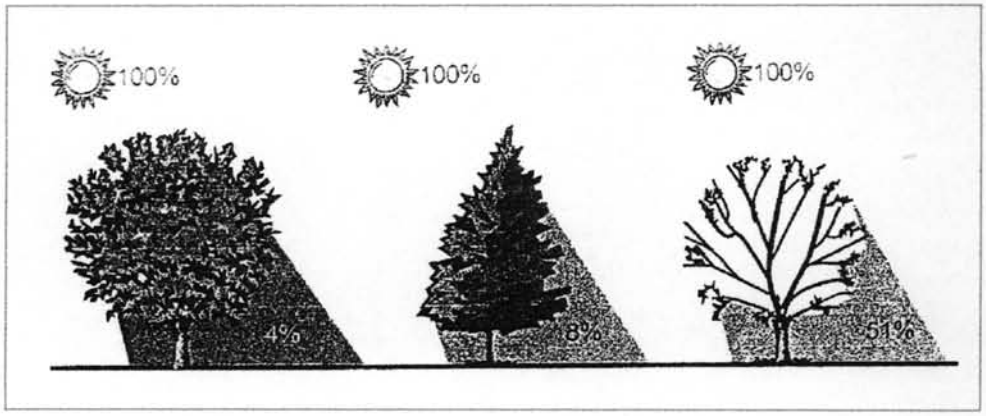
ภาพที่ 2.25 แสดงความแตกต่างของอุณหภูมิพื้นผิวระหว่างโดนแดดและใต้ร่มเงา

(Laurie, 1986: 196)

การวัดอัตราส่วนแสง-เงา ของพืชพรรณ

Robinette (1983) พบว่า การวัดอัตราส่วนของแสง-เงาของพืชพรรณ เพื่อเป็นเครื่องมือในการปรับปรุงสภาพภูมิอากาศ ดังนี้

- อัตราการดูดกลืนความร้อนจากดวงอาทิตย์ (Degree of Sun Absorption) ร่มเงาที่เกิดจากต้นไม้สามารถป้องกันความร้อนจากดวงอาทิตย์ได้มากกว่า 70% ก่อนที่จะถูกดูดกลืนจากพื้นดิน
- ผลกระทบกับอุณหภูมิอากาศ (Effect on Air Temperature) อุณหภูมิอากาศภายใต้ร่มเงาของต้นไม้ สามารถเย็นลงประมาณ 5-10 °C เมื่ออุณหภูมิอากาศอยู่ที่ 32.2 °C และสามารถเย็นลงประมาณ 3-5 °C เมื่ออุณภูมิอากาศอยู่ที่ 21.1 °C
- ผลกระทบกับอุณหภูมิบนพื้นดิน (Effect on Ground Temperature) ป่าไม้ที่มีความหนาแน่นสูง จะสามารถสกัดกั้นความร้อนจากดวงอาทิตย์ได้ถึง 80% ด้วยความหนาแน่นของพุ่มใบ ดังนั้นจะเหลือเพียง 5% เท่านั้นที่ตกลงบนพื้นตลอดทั้งวัน (Geiger, 1957: 317 cited in Robinette, 1983: 23)
- การสร้างความรู้สึกเย็น (Cooling Effect) ในช่วงเวลากลางวันเมื่อพระอาทิตย์ขึ้น พืชพรรณจะสร้างความรู้สึกเย็น จากความเย็นใต้ต้นไม้ที่ทำให้เกิดชั้นบรรยากาศเย็นบริเวณพื้นดินประมาณ 3 ชั่วโมง จนกระทั่งเวลาเที่ยง พื้นดินยังคงรักษาความเย็นไว้ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ จนกว่าแสงอาทิตย์จะสามารถส่องผ่านพุ่มใบได้



ภาพที่ 2.26 แสดงอัตราการดูดกลืนความร้อนผ่านความหนาแน่นของพุ่มใบในลักษณะต่างๆ (Robinette, 1983: 25)

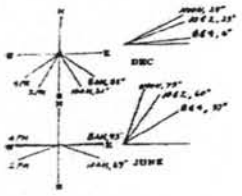
การควบคุมทิศทางดวงอาทิตย์โดยใช้พืชพรรณ

Foster (1994) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงทิศทางและมุมของดวงอาทิตย์ตลอดปี เพื่อทำการควบคุมโดยใช้พืชพรรณ ดังตัวอย่าง ณ เมืองบอสตัน สหรัฐอเมริกา โดยทำการเปรียบเทียบเดือน

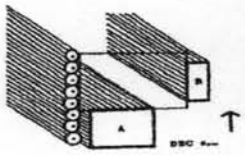
กรกฎาคมและเดือนมกราคม เลือกพิจารณาในช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในด้านความร้อนระหว่าเวลา 9.00-15.00 น.

การจัดวางตำแหน่งและทิศทางกับรูปแบบของร่มเงา

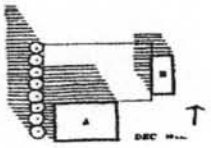
Laurie (1986) ศึกษาว่า เมื่อดวงอาทิตย์เสมือนมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา ดังนั้นพื้นที่ของร่มเงาที่เกิดขึ้นย่อยมีการเปลี่ยนแปลงทั้งตำแหน่งและพื้นที่ของร่มเงา ขนาดความกว้างยาวที่เกิดขึ้นสามารถคำนวณและเขียนรูปแบบของเงาที่เกิดขึ้น โดยมีการเปรียบเทียบรูปแบบของเงาบนผังบริเวณ (Plan) ในเวลา 8.00 น., 10.00 น., 12.00 น., 14.00 น. และ 16.00 น. ของวันเดียวกัน รวมทั้งสามารถเปรียบเทียบดูความแตกต่างของเดือนที่เป็นตัวแทนของฤดูกาล ดังแสดงในรูปภาพที่ 2.27



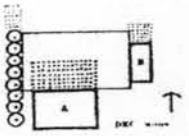
รูปภาพ 2-6 (ก)
มุมระนาบ เดือนตุลาคม และมิถุนายน



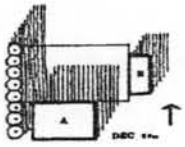
รูปภาพ 2-6 (ข)
เดือนตุลาคม เวลา 8.00 น.



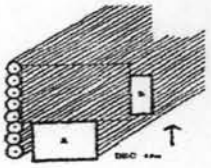
รูปภาพ 2-6 (ค)
เดือนตุลาคม เวลา 10.00 น.



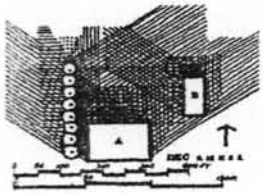
รูปภาพ 2-6 (ง)
เดือนตุลาคม เวลา 12.00 น.



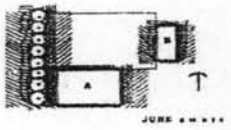
รูปภาพ 2-6 (จ)
เดือนตุลาคม เวลา 14.00 น.



รูปภาพ 2-6 (ฉ)
เดือนตุลาคม เวลา 16.00 น.



รูปภาพ 2-6 (ช)
รูปแบบเงารวม เดือนตุลาคม

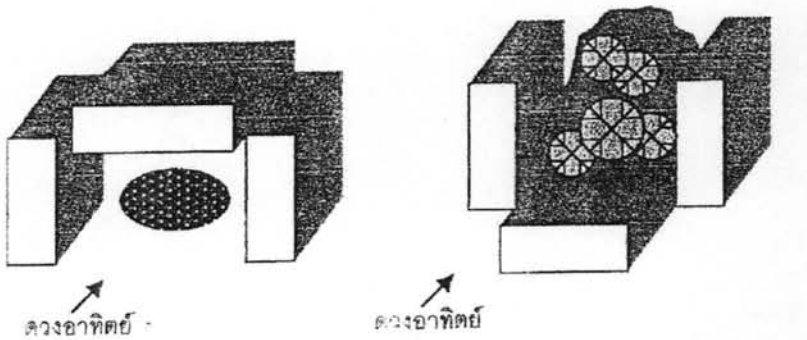


รูปภาพ 2-6 (ญ)
รูปแบบเงารวม เดือนมิถุนายน.

ภาพที่ 2.27 แสดงรูปแบบของแสงเงาในวัน, เวลาเดือนที่ต่างกัน (Laurie, 1986: 197-198)

Beer (1998: 74) กล่าวว่า *"ร่มเงา เป็นเครื่องมือที่รู้จักดีสำหรับการใช้ประโยชน์ในการควบคุมสภาพภูมิอากาศขนาดเล็ก ... ซึ่งมีความสำคัญที่ควรมีร่มเงาที่เหมาะสมแก่สภาพแวดล้อมในท้องถิ่น การคำนวณตำแหน่งของพื้นที่ใต้ร่มเงาบนสถานที่ตั้ง เป็นเรื่องที่น่ากระทำ ทั้งก่อนและเริ่มต้นปรับปรุง เมื่อมุมของศาของดวงอาทิตย์มีความแตกต่างกันตามเส้นรุ้งและเวลาในรอบปี ถ้าสถานที่ตั้งอยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรมากเท่าใด ยิ่งไม่มีความสำคัญเท่าใดที่จะเขียนทุกช่วงฤดู ... ในการพิจารณาขั้นพื้นฐานของการใช้ร่มเงา ควรพิจารณาความแตกต่างของร่มเงาในแต่ละฤดูกาล รวมทั้งระหว่างเวลาเช้า เวลาเที่ยงวันและเวลาบ่าย"*

Beer (1998: 78) พบว่า *"การสร้างแอ่งเล็กๆที่สามารถมีอุณหภูมิอากาศแตกต่างจากบริเวณโดยรอบ โดยอาศัยร่มเงาจากอาคารและพื้นที่โล่งหรือจากการจัดตำแหน่งต้นไม้อย่างรอบคอบและอาคารอื่นๆร่วมกัน ให้ร่มเงาเป็นเครื่องมือสำคัญในการพยายามเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในท้องถิ่นของเมืองร้อน"* การวางผังอาคารและพืชพรรณสามารถเป็นตัวเก็บกักความร้อน หรือสร้างพื้นที่ร่มเงาในการเก็บกักความเย็นให้กับบริเวณโดยรอบอาคารได้



ภาพที่ 2.28 แสดงการเปรียบเทียบการวางกลุ่มอาคาร
ที่ส่งผลถึงการเก็บกักความร้อน-เย็น ที่ต่างกัน Beer (1998: 78-79)

Olgyay (1992) ศึกษารูปแบบของร่มเงาที่เกิดจากพืชพรรณต่างๆ โดยพิจารณารูปทรงและลักษณะพืชพรรณต้นไม้ในช่วงฤดูหนาวและฤดูร้อน รวมทั้งรูปแบบของเงาสำหรับการกันแดดด้วยวิธีทางธรรมชาติ หลังจากนั้นจึงพิจารณาสภาพภูมิอากาศในบริเวณที่ตั้งตลอดทั้งปี เพื่อพิจารณาช่วงเวลาที่ร่มเงามีความจำเป็น เนื่องจากอุณหภูมิอยู่นอกเขตสภาวะน่าสบาย ซึ่งสามารถจัดแสดงช่วงเวบที่ร้อนเกินไปลงบนแผ่นตาราง โดยแบ่งเวลากลางวันเป็น 12 ชั่วโมง และปีเป็น 12 เดือน การใช้ประโยชน์จากร่มเงาของต้นไม้ควรครอบคลุมในช่วงเวลาที่ร้อนมากที่สุดในรอบปี ส่วนการเคลื่อนตำแหน่งของดวงอาทิตย์ จะพิจารณาตั้งแต่เวลาพระอาทิตย์ขึ้นจนถึงเวลาพระอาทิตย์ตก โดยทำการจำลองสภาพให้เห็นแสงเงา 3 มิติ ทุกๆชั่วโมง

2.5.2 ความแตกต่างของผิววัสดุ (Difference Surface Material)

การเปรียบเทียบผิววัสดุต่าง ๆ กับอุณหภูมิ

ความร้อนจะถูกดูดกลืนไม่เท่ากันในวัสดุที่ต่างชนิดกัน ดังนั้น วัสดุต่างๆ จึงมีผลกระทบอย่างมากต่อการดูดกลืนความร้อนและการแผ่รังสี

วัสดุปูพื้นเมื่อโดนแสงแดดจะมีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นดินและพืชคลุมดิน เนื่องจากมีการสะสมความร้อนที่มากกว่า ในสภาวะอุณหภูมิอากาศที่ 28.9 °C วัสดุปูพื้นต่างๆ จะมีค่าอุณหภูมิผิว ดังนี้

เมื่ออุณหภูมิอากาศที่ 28.9 °C

ยางมะตอยสีเข้ม	อุณหภูมิผิว 51.1 °C	ความต่างของอุณหภูมิ 22.2 °C
ยางมะตอยสีอ่อน	อุณหภูมิผิว 44.4 °C	ความต่างของอุณหภูมิ 15.5 °C
คอนกรีต	อุณหภูมิผิว 42.2 °C	ความต่างของอุณหภูมิ 13.3 °C
หญ้าทรงต่ำ	อุณหภูมิผิว 40.0 °C	ความต่างของอุณหภูมิ 11.1 °C
หญ้าทรงสูง	อุณหภูมิผิว 35.6 °C	ความต่างของอุณหภูมิ 6.7 °C
ดินโล่ง	อุณหภูมิผิว 37.8 °C	ความต่างของอุณหภูมิ 8.9 °C

ที่มา : FEA, 1977: 4 cited in Hastings and Crenshaw, 1977: 1-16

จากการศึกษาของ Kusuda (1976: 97 cited in Hastings and Crenshaw, 1977) ซึ่งทำการวัดอุณภูมิผิวของพื้นที่ที่แตกต่างกัน 5 ชนิด คือ ดินโล่ง, พื้นผิวสีเข้ม, หญ้าทรงสูง, หญ้าทรงต่ำ และสีขาวที่ทาบนพื้นสีเข้ม เป็นเวลาสองปี พื้นผิวสีเข้ม (ผิวยางมะตอย) มีอุณหภูมิผิวเฉลี่ยต่อปีสูงกว่าผิวหญ้า ประมาณ 4 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิผิวสูงสุดต่อวันของพื้นยางมะตอยอยู่ที่ 60°C ขณะที่ดินโล่งมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 37.8 °C อีกทั้งการทาสีขาวบนพื้นยางมะตอยให้ค่าอุณหภูมิผิวสูงสุดที่ 40.6 °C

Foster ยังกล่าวว่าใยเขตร้อนจึงมีพื้นถนนอยู่ในโทนสีปานกลาง (Medium Colored) เนื่องจากพื้นผิวสีดำจะดูดกลืนและสะสมความร้อนไว้สูง ขณะที่พื้นสีขาวจะมีค่าการสะท้อนแสงที่สูงและส่งผลกระทบค่าการสะท้อนแสงและความร้อนเข้าสู่ภายใน-ภายนอกอาคารได้ ทั้งยังกระทบถึงการสัญจรบนพื้นถนนอีกด้วย

จากการทดลองเพื่อศึกษาอุณหภูมิผิวบนถนนและผิวดินแห้งของ สุนทร บุญญาธิการและบัณฑิต เอื้ออาภรณ์ (2539 อ้างถึง สุนทร บุญญาธิการ, 2542: 77) พบว่า ***"อุณหภูมิผิวถนนโดยเฉลี่ยมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศเกือบตลอดทั้งวัน โดยผิวถนนมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 42°C และผิวดินแห้งมีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 47 °C แสดงว่าบนพื้นผิวถนนมีการสะสมความร้อนไว้มากจึงมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศตลอดทั้งวัน"*** เนื่องจากวัสดุที่มีมวลสารมากจะ

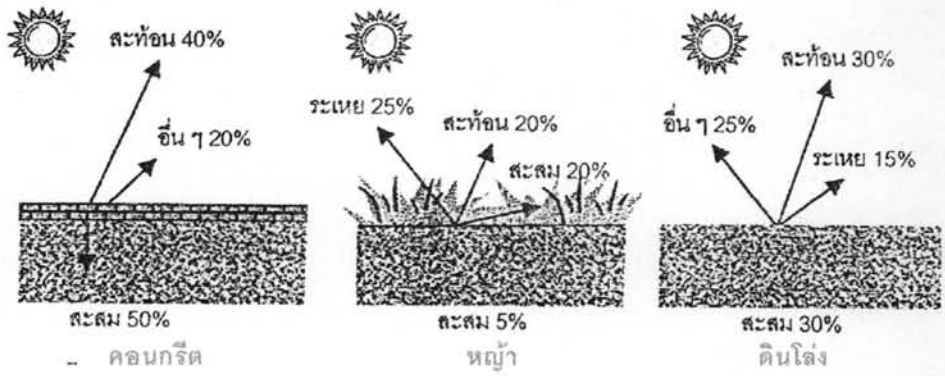
มีค่าการสะสมความร้อนไว้ได้มากกว่า เมื่อโดนแสงแดดในเวลากลางวันจึงดูดซับความร้อนเอาไว้ได้มากทำให้สภาพแวดล้อมในบริเวณที่ตั้งโดยรอบ ร้อนขึ้นทั้งกลางวันและกลางคืน

การเปรียบเทียบผิววัสดุต่าง ๆ กับการสะท้อนแสงของผิววัสดุ

Robinette (1983) กล่าวว่า การสะท้อนแสงของวัสดุ คือ การที่วัสดุสะท้อนการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์มากกว่าดูดกลืนเอาไว้ ปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อการแผ่รังสีความร้อน ได้แก่ ชนิดของวัสดุที่การแผ่รังสีความร้อนตกกระทบ ประกอบด้วยคุณสมบัติของแสงจากดวงอาทิตย์ (Sunshine) และคุณสมบัติของการสะท้อนแสงของวัสดุชนิดต่างๆ (Aledo)

จากการศึกษาของ Robinette (1972 cited in Beer 1998: 72-73) ซึ่งได้รวบรวมข้อมูลของอัตราการสะท้อนแสงต่างๆ พบว่า *"ทรายสีอ่อนมีอัตราการสะท้อนแสง 30-60%, ทุ่งหญ้า 12-30%, พื้นที่อาคารก่อสร้างที่ขึ้นอย่างหนาแน่น 1.5-2.5%, ป่าไม้ 5-20%, และดินสีเข้ม 7-10% ... ความแตกต่างของการสะท้อนแสงของวัตถุมีความสำคัญ เมื่อวัตถุบางชนิดสามารถเก็บกักความร้อนไว้ได้นานกว่าชนิดอื่นๆ ... พื้นผิวที่สะท้อนความร้อนจากดวงอาทิตย์สามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อช่วยในการรักษาความเย็น"*

หญ้าจะเย็นกว่าวัสดุปูพื้นหรือแม้แต่ดินโล่ง สาเหตุมาจากการที่หญ้าเปลี่ยนแสงให้เป็นพลังงานความร้อนเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการสังเคราะห์แสง ฉะนั้นพลังงานความร้อนที่มาจากแสงอาทิตย์บางส่วนก็ถูกเปลี่ยนสถานะไปและหญ้ายังมีกระบวนการคายน้ำ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนสถานะของน้ำที่ได้มาจากการเผาผลาญพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ให้กลายเป็นไออีกด้วย



ภาพที่ 2.29 แสดงการเปรียบเทียบความแตกต่างของผิววัสดุกับการดูดกลืนความร้อน (Foster, 1994: 10)

2.5.3 **พืชพรรณและสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น** (Plant and Man-made Feature)

การเปรียบเทียบความรู้สึกเย็น จากพืชพรรณและสิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้น

Bowen (1979: 4) ศึกษาเปรียบเทียบสาเหตุหลักไว้ว่า *"สิ่งที่มนุษย์สร้างขึ้นมาจากวัสดุที่ไม่มีชีวิต เช่น คอนกรีตหรือวัสดุที่มีชีวิตแต่ตายแล้ว เช่น แผ่นไม้ ทำให้ประสิทธิภาพการทำความเย็นถูกจำกัดโดยคุณสมบัติทางด้านความร้อนของวัสดุนั้นๆ ขณะที่พืชพรรณซึ่งเป็นองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิตแม้จะมีตำแหน่งที่แน่นอน แต่สามารถปรับหมุนใบเพื่อให้ได้รับประโยชน์สูงสุดจากรังสีดวงอาทิตย์ ด้วยสาเหตุนี้จึงทำให้เกิดความเย็นได้สูงสุด"*