Indoor Agriculture:
HVAC System Design Considerations

นายณัฐพงศ์ ประวงษ์
ตำแหน่ง Application Engineer
บริษัท แอร์โค จำกัด

ในโลกที่เปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลานั้น สิ่งมีชีวิตต้องปรับตัวให้สอดคล้องกับสภาวะแวดล้อมด้วยเช่นกัน แต่หากไม่สามารถปรับตัวได้การเจริญเติบโตหรือผลผลิตอาจถูกจำกัดตามการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมนั้นๆ การปลูกพืชในอาคารที่สร้างสภาวะเหมาะสมจึงอาจเป็นสิ่งจำเป็นในอนาคตเพื่อสามารถสร้างผลผลิตที่คงที่ได้ให้เพียงพอกับความต้องการที่ทวีคูณมากขึ้นเรื่อยๆ

ความเข้าใจสำหรับชีววิทยาของพืช

พืชเป็นเครื่องจักรทางธรรมชาติที่ซับซ้อนซึ่งต้องการสารอาหารแร่ธาตุวิตามินน้ำและก๊าซต่างๆ เช่นออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) ในการเจริญเติบโต อีกทั้งพืชยังต้องการแสงเพื่อให้พลังงานในการสังเคราะห์แสง

โดยส่วนประกอบของพืชประกอบด้วยชิ้นส่วนต่างๆ ดังนี้

ยอด (Shoot) - โครงสร้างเหนือพื้นดินที่ประกอบไปด้วยลำต้น, ใบ, ผล ซึ่งเป็นส่วนที่รับแสงและคาร์บอนไดออกไซด์ (CO2) เพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสงและผลิตอาหารจากน้ำและแร่ธาตุ โดย Shoot เป็นส่วนที่ยอดพืชจะเจริญในทิศทางตรงกันข้ามกับแรงโน้มถ่วงของโลก (Negatively Gravitropic) และเจริญในทิศทางเข้าหาแสง (Positively Phototropic)

ราก (Root) - โครงสร้างใต้พื้นดินที่ดึงน้ำและแร่ธาตุจากดินมาเปลี่ยนเป็นอาหาร โดย Root (ราก) เป็นส่วนที่ยอดพืชจะเจริญในทิศทางเดียวกันกับแรงโน้มถ่วงของโลก (Positively Gravitropic) และเจริญในทิศทางออกห่างจากแสง (Negatively Phototropic)

ใบไม้ประกอบด้วยเซลล์หลายชั้นหลายประเภท แต่ละเซลล์มีหน้าที่เฉพาะในการรวบรวมแสงและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยใบจะถูกปกคลุมด้วยเซลล์ผิวชั้นนอก (epidermal cells) ทั้งด้านบนและด้านล่างซึ่งจะเป็นส่วนที่เคลือบใบไว้เพื่อทำหน้าที่ปกป้องใบ

และป้องกันการสูญเสียน้ำของใบ ภายในใบมีพาลิเซดเมโซฟิลล์ (Palisade Mesophyll) ที่ประกอบด้วยคลอโรพลาสต์ (Chloroplasts)ซึ่งส่วนใหญ่มีหน้าที่ต่อปฏิกิริยาเคมีในการสังเคราะห์แสง และ vascular bundles ซึ่งโดยทั่วไปมักมองว่าเป็นเส้นท่อในใบไม้ ประกอบด้วยท่อลำเลียงน้ำและแร่ธาตุ (Xylem) และท่อลำเลียงอาหาร (Phloem) เพื่อลำเลียงน้ำและอาหารไปทั่วต้นพืช ส่วนสุดท้ายคือ Guard Cells ทำหน้าที่ควบคุมและป้องกันช่องเปิดบนใบที่เรียกว่าปากใบ (stomata) ซึ่งเป็นบริเวณแลกเปลี่ยนก๊าซ โดยพืชส่วนใหญ่ปากใบจะอยู่ด้านล่างของใบ

เมื่อพืชได้รับการรดน้ำและสัมผัสกับแสงอย่างเพียงพอ Guard Cells จะบวมขึ้นซึ่งจะส่งผลให้ปากใบเปิดเพื่อให้มีการแลกเปลี่ยนก๊าซระหว่างพืชและสิ่งแวดล้อมได้ สิ่งนี้ช่วยให้อากาศเข้าสู่ใบไม้ได้อย่างอิสระและมีปฏิกิริยาต่อกันกับเซลล์ ซึ่งพืชจะดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และปล่อยออกซิเจนออกทางปากใบที่เปิดอยู่ควบคู่ไปกับน้ำ โดยพืชจะดึงน้ำที่เป็นของเหลวจากรากไปยัง Shoot ผ่านท่อลำเลียงน้ำและแร่ธาตุ (Xylem) เพื่อทดแทนน้ำที่ระเหยออกไป

พืชมีการปรับสมดุลการใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และการสูญเสียน้ำที่ระเหยผ่านปากใบ ซึ่งควบคุมโดยการทำงานของ Guard Cells แต่เมื่อระดับน้ำในพืชอยู่ในระดับต่ำหรือมีแสงน้อย Guard Cells จะอ่อนแอและปากใบจะปิด

การสังเคราะห์ด้วยแสง (Photosynthesis) ประกอบด้วยปฏิกิริยาสองชุด : ปฏิกิริยาขึ้นอยู่กับแสงเพื่อสร้างโมเลกุล (ATP และ NADPH) ใช้ในภายหลังและปฏิกิริยาที่ไม่ขึ้นกับแสงในการผลิตกลูโคส

ปฏิกิริยาที่ไม่ขึ้นกับแสงทำให้เกิดพลังงานเคมีในรูปของกลูโคสจากคาร์บอนไดออกไซด์ที่พืชใช้แล้วก่อนหน้านี้ โดยพืชใช้กลูโคสเพื่อวัตถุประสงค์หลายประการ ได้แก่ การหายใจของเซลล์ การผลิตฟรุกโตสและซูโครสสำหรับผลไม้ ลำต้น รากและเมล็ด แล้วเก็บไว้ในรูปของแป้ง

Evapotranspiration

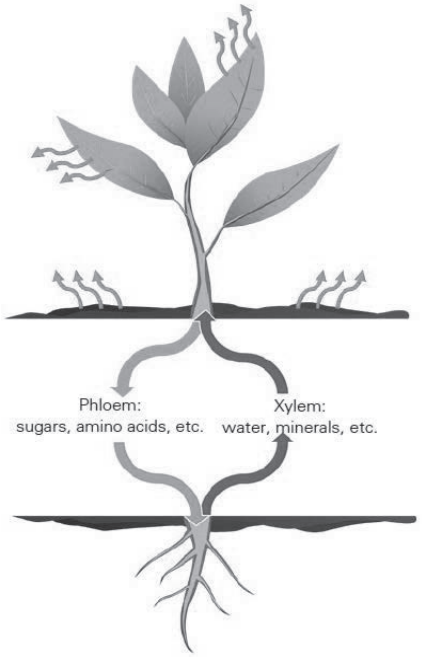
พืชใช้น้ำในการเจริญเติบโตเพื่อวัตถุประสงค์หลายประการ ประการแรกใช้น้ำเพื่อหมุนเวียนสารอาหารและวิตามินจากราก (Root) ไปสู่ยอด (Shoot) ประการที่สองพืชใช้น้ำเป็นส่วนประกอบในการสังเคราะห์ด้วยแสงโดยใช้อะตอมของไฮโดรเจนในการสร้างน้ำตาลกลูโคส ส่วนใหญ่น้ำที่ปล่อยออกมาจะเป็นการระเหยและการคายน้ำของพืช โดยน้ำที่เราเจอที่ผิวของพืชและผิวดินจะระเหยไปสู่อากาศรอบๆ

การคายน้ำ (Transpiration) คือการเคลื่อนที่ของน้ำภายในพืชเป็นผลมาจากการเปลี่ยนน้ำเป็นไอน้ำและถูกปล่อยออกจากปากใบ (stomata) บนใบไม้ พืชจะระเหยน้ำภายในใบเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของตัวถูกละลายในเซลล์เมโซฟิลล์ (Mesophyll) ความดันที่ลดลงภายในบริเวณด้านบนของท่อลำเลียงน้ำและแร่ธาตุ (Xylem) เพื่อดึงน้ำให้ขึ้นมาจากราก (Root) ไปสู่ยอด (Shoot) (ออสโมซิส)

ผลมาจากการสังเคราะห์แสงของพืชจะเพิ่ม latent load เข้าไปในพื้นที่ ทำให้การระเหยน้ำจากดินและพื้นผิวของพืชที่เกิดขึ้น และในขณะที่พืชหายใจก็มีไอน้ำถูกส่งเข้าไปยังพื้นที่ด้วย นอกจากนี้เมื่อพืชระเหยน้ำก็จะมีผลทำให้เกิด sensible cooling effect (negative sensible load)

สรุปได้ว่า พืชที่มีจำนวนมากที่อยู่ในพื้นที่เดียวกันจะกลายเป็นตัวที่มีผลอย่างมากในกระบวนการทำความเย็น (cooling)

Figure 1. Plant evapotranspiration



การปลูกพืชภายในอาคาร

ผู้ปลูกพืชสามารถจัดหาส่วนประกอบที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืชนอกเหนือจากสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติแบบดั้งเดิมได้ ตัวอย่างหนึ่งคือการแทนที่แสงแดดด้วยแสงประดิษฐ์ซึ่งมักจะเพิ่มความร้อนจำนวนมากให้กับพื้นที่

ผู้ปลูกบางรายจะเลือกย้ายต้นกล้าพืชเพื่อให้รองรับการเจริญเติบโตของมัน ผู้ปลูกจะเริ่มปลูกพืชโดยมีแสง, อุณหภูมิและสภาพความชื้นที่กำหนด จากนั้นย้ายพืชไปยังพื้นที่ที่เตรียมไว้ด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างกันเมื่อต้นกล้าพืชเติบโตเต็มที่ แต่ในทางกลับกันผู้ปลูกบางรายเลือกที่จะปลูกในพื้นที่เดียวในสภาพสิ่งแวดล้อมเดิมตลอดวงจรชีวิตของพืชที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโต

ผู้ปลูกจำนวนมากยังได้พัฒนาวิธีการสำหรับการจัดเรียงการปลูกพืช ตัวอย่างเช่นการปลูกพืชในถาดแล้วจัดเรียงเป็นแนวตั้งและยอมให้พืชเจริญเติบโตในลักษณะขึ้นจากบนพื้นขึ้นไป แต่วัสดุที่ใช้ปลูกอาจจะไม่ใช่ดินก็ได้ การปลูกลักษณะนี้ทำให้ต้นพืชมีหลายแถวหรือหลายชั้นเรียงชิดกันได้ (ดูรูปที่ 2) แทนที่จะเป็นชั้นเดียวตามที่พบในการเกษตรกลางแจ้งแบบดั้งเดิม อีกทางเลือกหนึ่งคือการปลูกในลักษณะคอลัมน์แนวตั้ง ในการจัดเรียงนี้โดยทั่วไปคอลัมน์จะถูกวางจากพื้นถึงเพดานโดยต้นพืชจะงอกออกมาจากคอลัมน์แนวตั้งไปยังแหล่งกำเนิดแสง

Figure 2. Farming types

Horizontal

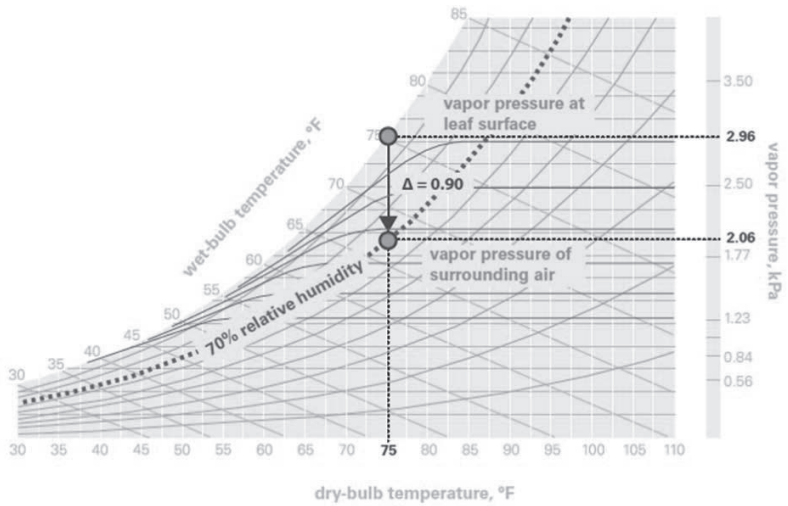
Vertical

ผู้ปลูกได้ใช้เทคนิคการให้น้ำที่ชาญฉลาดมากมายทดแทนการใช้น้ำฝนตามธรรมชาติ ซึ่งในหลายๆกรณีน้ำที่ให้กับพืชอาจมีการผสมเป็นสารอาหารเพื่อให้พืชใช้ในการเจริญเติบโตได้ดีต่อไป

ความเข้าใจกับความต้องการของผู้ปลูก

ความต้องการของผู้ปลูกพืชจะคำนึงถึงผลผลิตที่สม่ำเสมอ โตเร็วและต้นทุนที่สมเหตุสมผล และผู้ปลูกอาจกำหนดอุณหภูมิและสภาพความชื้น สำหรับอากาศในห้องรอบ ๆ ต้นพืชในช่วงการเจริญเติบโตของพืช

ผู้ปลูกอาจจะมีการคำนึงถึง "vapor pressure deficit" หรือ "vapor pressure difference" (VPD) เพื่ออธิบายสภาพการเจริญเติบโต ซึ่ง VPD โดยทั่วไปจะมีการแสดงในหน่วยกิโลปาสคาล (kPa) ซึ่ง VPD คือความแตกต่างของความดันไอของชั้นขอบเขตรอบ ๆ ของผิวใบพืชลบด้วยความดันไอของอากาศโดยรอบ ดังนั้นเมื่อผู้ปลูกระบุ VPD ที่ต้องการแสดงว่ามีความแตกต่างของแรงดันไอระหว่างใบไม้และอากาศ ซึ่งสภาพอากาศที่พื้นผิวของพืชจะถือว่าอิ่มตัวเนื่องจากการคายน้ำของพืชและการปล่อยไอน้ำ โดยผู้ปลูกอาจอ้างอิงแผนภูมิหรือตารางที่ระบุค่า VPD ที่เหมาะสมสำหรับช่วงการเจริญเติบโตของพืช ทำให้ผู้ออกแบบสามารถหาสภาพความชื้นในห้องที่เหมาะสมที่จะใช้ปลูกพืชเมื่อทราบค่า VPD ที่ต้องการรวมถึงการกำหนดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry-bulb) ตามต้องการดังตัวอย่างด้านล่าง



Perfect Grower Vapor Pressure Deficit Recommendations (kPa)

TEMPERATURE		Relative Humidity												
°C	°F	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%
15	59	1.11	1.02	0.94	0.85	0.77	0.68	0.60	0.51	0.43	0.34	0.26	0.17	0.09	0
16	61	1.18	1.09	1.00	0.91	0.82	0.73	0.64	0.55	0.45	0.36	0.27	0.18	0.09	0
17	63	1.26	1.16	1.06	0.97	0.87	0.77	0.68	0.58	0.48	0.39	0.29	0.19	0.10	0
18	64	1.34	1.24	1.13	1.03	0.93	0.83	0.72	0.62	0.52	0.41	0.31	0.21	0.10	0
19	66	1.43	1.32	1.21	1.10	0.99	0.88	0.77	0.66	0.55	0.44	0.33	0.22	0.11	0
20	68	1.52	1.40	1.29	1.17	1.05	0.93	0.82	0.70	0.58	0.47	0.35	0.23	0.12	0
21	70	1.62	1.49	1.37	1.24	1.12	0.99	0.87	0.75	0.62	0.50	0.37	0.25	0.12	0
22	72	1.72	1.59	1.45	1.32	1.19	1.06	0.92	0.79	0.66	0.53	0.40	0.26	0.13	0
23	73	1.82	1.68	1.54	1.40	1.26	1.12	0.98	0.84	0.70	0.56	0.42	0.28	0.14	0
24	75	1.94	1.79	1.64	1.49	1.34	1.19	1.04	0.89	0.75	0.60	0.45	0.30	0.15	0
25	77	2.06	1.90	1.74	1.58	1.42	1.27	1.11	0.95	0.79	0.63	0.47	0.32	0.16	0
26	79	2.18	2.02	1.85	1.68	1.51	1.34	1.18	1.01	0.84	0.67	0.50	0.34	0.17	0
27	81	2.32	2.14	1.96	1.78	1.60	1.43	1.25	1.07	0.89	0.71	0.53	0.36	0.18	0
28	82	2.46	2.27	2.08	1.89	1.70	1.51	1.32	1.13	0.94	0.76	0.57	0.38	0.19	0
29	84	2.60	2.40	2.20	2.00	1.80	1.60	1.40	1.20	1.00	0.80	0.60	0.40	0.20	0
30	86	2.76	2.54	2.33	2.12	1.91	1.70	1.48	1.27	1.06	0.85	0.64	0.42	0.21	0
31	88	2.92	2.69	2.47	2.24	2.02	1.80	1.57	1.35	1.12	0.90	0.67	0.45	0.22	0
32	90	3.09	2.85	2.61	2.38	2.14	1.90	1.66	1.43	1.19	0.95	0.71	0.48	0.24	0
33	91	3.27	3.02	2.76	2.51	2.26	2.01	1.76	1.51	1.26	1.01	0.75	0.50	0.25	0
34	93	3.46	3.19	2.92	2.66	2.39	2.13	1.86	1.59	1.33	1.06	0.80	0.53	0.27	0
35	95	3.65	3.37	3.09	2.81	2.53	2.25	1.97	1.69	1.40	1.12	0.84	0.56	0.28	0

PERFECT Grower ☐ Green - Optimal ☐ Yellow - Borderline ☐ Red - Too high / too low

VPD Chart (Vapor Pressure Deficit)

Vapor Pressure Difference (VPD)

ตัวอย่างดังต่อไปนี้สมมุติว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry-bulb) ของใบและอากาศเท่ากัน

ผู้ปลูกมีการกำหนดค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry-bulb) ในห้องที่ 75°F แล้วใช้แผนภูมิไซโครเมตริกในการคำนวนความดันไอที่ผิวของใบที่อยู่ในช่วงอิ่มตัว (75 ° F/ 100% RH) ซึ่งเท่ากับ 2.96 kPa

หากผู้ปลูกต้องการ VPD ที่ 0.90 ค่า VPD ที่ต้องการสามารถลบออกจากสภาพที่ผิวใบไม้ได้ โดยจะได้ความดันไอที่ต้องการคือ 2.06 kPa สำหรับอากาศโดยรอบ

ดังนั้นเพื่อรักษาสภาพอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry-bulb) ของพื้นที่ที่ 75 ° F และค่า VPD ที่ 0.90 พื้นที่จะต้องถูกควบคุมให้อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry-bulb) 75 ° F และความชื้นสัมพัทธ์ 70%

สิ่งนี้ไม่ใช่การทำความเย็นเพื่อความสบาย

ในธรรมชาติพืชพบกับช่วงเวลาที่มีแสงและไม่มีแสงตลอดช่วงการเจริญเติบโต พืชที่ปลูกในร่มต้องอยู่ภายใต้ช่วงเวลา “กลางวัน” ที่มีการเปิดไฟทดแทนการใช้แสงจากดวงอาทิตย์เพื่อให้เกิดการสังเคราะห์แสง และไฟจะถูกปิดเพื่อจำลองช่วงเวลา “กลางคืน” ปริมาณ, ความเข้มและสี อุณหภูมิของแสงที่ถูกส่งไปยังพืชอาจแตกต่างกันไปตามสายพันธุ์และระยะการเจริญเติบโต พืชบางชนิดมีความไวต่อแสงและขึ้นอยู่กับช่วงเวลาของแสงที่แตกต่างกันไปในแต่ละวัน โดยการเจริญเติบโตจะเทียบกับการสุก, การออกผลหรือการเพาะเมล็ด การควบคุมระยะเวลาที่พืชอยู่ภายใต้แสงทำให้ผู้ปลูกสามารถกระตุ้นการตอบสนองที่แตกต่างกันในพืชที่ไวต่อแสง เช่น การออกดอก

เนื่องจากจำเป็นต้องใช้แสงสว่างจำนวนมาก ทำให้กำลังไฟส่องสว่างและความร้อนมักจะสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเทียบกับการใช้งานกับระบบทำความเย็นที่ต้องการความสบาย

อุณหภูมิของพื้นที่อาจแตกต่างกันไปตามพันธุ์พืชและระยะการเจริญเติบโต พันธุ์ไม้บางชนิดเติบโตได้ดีในพื้นที่เย็น เช่นที่ 65 ° F ในขณะที่พันธุ์อื่นสามารถเติบโตได้ในพื้นที่อบอุ่นที่อุณหภูมิ 80 ° F ขึ้นไป ในทำนองเดียวกันพืชมักจะทนต่อระดับความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงขึ้นได้มากกว่าดังนั้นช่วงความชื้นสัมพัทธ์มักจะแตกต่างกันไปตั้งแต่ 40 ถึง 75 เปอร์เซ็นต์

ผู้ปลูกจำนวนมากจะเลือกที่จะใช้วิธีหมุนเวียนอากาศที่จ่ายเข้าพื้นที่และไม่มีการระบายอากาศในความเป็นจริงแล้วเนื่องจากพืชใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ โดยผู้ปลูกจำนวนมากจะใช้วิธีการเพิ่มก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลงในพื้นทีเพื่อเพิ่มความเข้มข้นของแร่ธาตุให้เกินกว่าสภาพอากาศภายนอกปกติ ถ้าหากมีการนำอากาศภายนอกซึ่งมีความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ค่อนข้างต่ำจะทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เกิดการเจือจางในพื้นที่ได้

มีภาระโหลดมากมายจากแสงไฟและพืชในช่วง “กลางวัน” และอาจจะมีภาระโหลดเพิ่มเติมจากอุปกรณ์เบ็ดเตล็ด เช่น ปั๊มน้ำ พัดลมส่งอากาศและอุปกรณ์อื่น ๆ การระเหยที่เกิดจากความร้อนแฝง (Latent load) ที่มาจากพืชมีขนาดเยอะมากๆเมื่อนำมาคิดรวมกับความร้อนสัมผัส (Sensible load) ค่า sensible heat ratio (SHR) จะมีค่าต่ำลงอย่างมาก ซึ่งหาได้จากความร้อนสัมผัส (Sensible load) ของพื้นที่หารด้วยผลรวมของความร้อนสัมผัส (Sensible load) และความร้อนแฝง (Latent load) เป็นเรื่องปกติที่จะเห็น SHR ที่หรือน้อยกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ที่บ่งชี้ของภาระโหลดทั้งสอง โดยอุปกรณ์ HVAC ถูกออกแบบมาเพื่อรักษาอุณหภูมิและความชื้นของพื้นที่ที่จะต้องจ่ายทั้งความร้อนสัมผัส (Sensible load) และการลดความชื้น ในช่วง "กลางคืน" ความร้อนสัมผัส (Sensible load) จำนวนมากหายไป (เช่นในช่วงปิดไฟ) แต่พืชยังคงมีการระเหยน้ำออกไป ในพืชหลายชนิดอัตราการคายน้ำจะลดลงอย่างช้าๆ แต่ไม่ได้หยุดลงอย่างสมบูรณ์พืช

ยังคงเพิ่มความชื้นให้กับพื้นที่แม้ในขณะที่ปิดไฟ เป็นผลให้ SHR ของพื้นที่สูงขึ้นอย่างมากทำให้ความชื้นลดลงโดยปราศจากความร้อนสัมผัส (Sensible load)

การพิจารณาการออกแบบ HVAC

ระบบ HVAC สำหรับการเกษตรในร่มต้องได้รับการออกแบบมาสำหรับโหลดและการทำงานที่แตกต่างกันมากเมื่อเทียบกับการทำความเย็นทั่วไป

ตัวอย่างเช่นในโหมด "กลางวัน" จะมี Sensible load จากแสง และ Latent load จากกระบวนการระเหยของพืช และผลของ sensible cooling effect จากการคายน้ำ (Transpiration) ของพืช ส่งผลให้ต้องใช้ทั้งความร้อนสัมผัส (Sensible load) และการลดความชื้น ส่วนในโหมด “กลางคืน” จะมีความร้อนสัมผัส (Sensible load) เล็กน้อย ความร้อนแฝง (Latent load) จากกระบวนการระเหยของพืชบางส่วน และผลของความร้อนสัมผัส (Sensible load effect) จากการคายน้ำ (Transpiration) ของพืชบางส่วน ส่งผลให้ต้องมีการลดความชื้น แต่ความร้อนสัมผัส (Sensible load) อาจมีเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลย

ดังที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้สภาพการเจริญเติบโตและชนิดของพืชบางชนิดจะสร้างสถานการณ์ที่มักถูกอธิบายด้วย “SHR เป็นไปในเชิงลบ” ซึ่งไม่มีความร้อนสัมผัส (Sensible load) (ปิดไฟ) แต่พืชยังคงมีการคายน้ำเกิดขึ้นและทำให้พื้นที่เย็นลงอย่างสมเหตุสมผล รูปที่ 3 แสดงการทำงานของ “เวลากลางคืน” ที่พืชเพิ่มความร้อนแฝงเข้าไปในพื้นที่ทำให้มีความจำเป็นในการที่จะต้องลดความชื้นและให้พื้นที่ต้องเย็นลงอีกด้วย แต่เนื่องจากมีกระบวนการสร้างความร้อนและการลดความชื้นที่จะเป็นอุปสรรคต่อการทำความเย็นและความชื้นของพืช

เนื่องจากชุดเงื่อนไขที่แตกต่างกันเหล่านี้ระบบ HVAC จึงต้องได้รับการออกแบบมาเพื่อจัดการกับโหมดการทำงานที่แตกต่างกันคือ การทำความเย็นและการลดความชื้นเมื่อไฟเปิดอยู่ และการลดความชื้นเป็นหลัก (โดยมีความเป็นไปได้ที่จะให้ความร้อน) เมื่อไฟดับ นอกจากนี้ยังต้องพิจารณาถึงความร้อนหากคาดว่าพืชจะเพิ่มภาระการทำความเย็นและ / หรือการสูญเสียความร้อนอย่างมีนัยสำคัญผ่านกรอบอาคาร

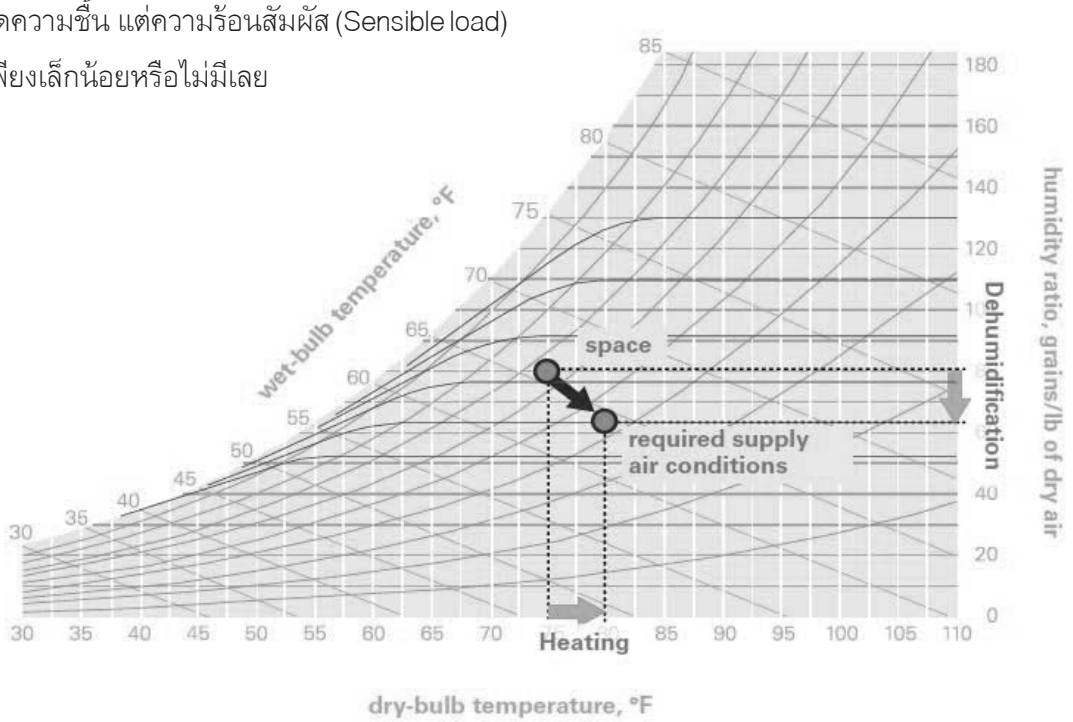


Figure 3. “Negative” space sensible heat ratio (SHR)

เนื่องจากมีการควบคุมสภาพแวดล้อมการเจริญเติบโตของพืช ระบบ HVAC ของการเกษตรในร่มจึงได้รับการออกแบบเพื่อให้สามารถทำงานได้ตลอดทั้งปี ในภูมิภาคที่มีอากาศหนาวจัดผู้ปลูกคาดหวังว่าอุปกรณ์ HVAC จะรักษาสภาพพื้นที่ที่ต้องการได้ ซึ่งอาจจะต้องมีการลดความชื้นด้วย นอกจากนี้เนื่องจากผู้ปลูกจำนวนมากเลือกที่จะหลีกเลี่ยงการนำอากาศภายนอกเข้ามาเพื่อช่วยให้ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในพื้นที่สูง ผู้ออกแบบระบบต้องเลือกอุปกรณ์ที่สามารถทำงานในสภาพแวดล้อมที่เย็นโดยไม่ต้องลดขนาด airside

ในกรณีใช้งานในระบบปรับอากาศทั่วไป แหล่งจ่ายความเย็นที่อุณหภูมิของอากาศถูกกำหนดโดยใช้การวิเคราะห์ไซโครเมตริกซึ่งมักไม่ได้คำนึงถึงระดับความชื้นมากนัก แต่ในระบบที่การลดความชื้นเป็นสิ่งสำคัญอาจต้องมีการวิเคราะห์เพิ่มเติมเพื่อคำนวณอุณหภูมิและสภาพความชื้นอากาศที่ต้องการ ตามตัวอย่างด้านล่าง

Determining Required Supply Air Conditions

กระแสลมที่จ่ายไปยังพื้นที่และสภาวะอากาศที่จ่ายจะถูกกำหนดโดยความร้อนสัมผัส (Sensible load) และความร้อนแฝง (Latent load) อยู่ภายในขอบเขตของพื้นที่ปรับอากาศ ซึ่งจะรวมถึงความร้อนที่เพิ่มขึ้นจากแสงไฟ อุปกรณ์และภาระโหลดจากกรอบอาคาร การได้รับความร้อนแฝงโดยทั่วไป ได้แก่ การระเหยของน้ำจากการเปิดระบบน้ำ คน การรั่วไหลของอากาศและกระบวนการสร้างความชื้นเพิ่มเติมต่างๆ ความร้อนสัมผัส (Sensible load) และความร้อนแฝง (Latent load) จากสิ่งที่อยู่นอกขอบเขตของพื้นที่ เช่น การระบายอากาศและความร้อนของพัดลมจะไม่รวมอยู่ในโหลดของพื้นที่ที่ใช้ในการกำหนดสภาวะการจ่ายอากาศนี้

จากตัวอย่างก่อนหน้านี้ผู้ปลูกได้แสดงความต้องการอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry-bulb) ในร่มที่ 75 ° F และ VPD เท่ากับ 0.9 ซึ่งส่งผลให้มีค่าพื้นที่ 75 ° F DB / 70%RH เงื่อนไขเหล่านี้สอดคล้องกับอัตราส่วนความชื้น 91.1 เกรน (grains) ของความชื้นต่ออากาศแห้งหนึ่งปอนด์ (gr / lb)

ผู้ออกแบบได้มีการคำนวณความร้อนสัมผัส (Sensible load) และความร้อนแฝง (Latent load) ไว้อยู่ที่ 68 และ 80 MBh ตามลำดับ และออกแบบอัตราการจ่ายอากาศ 3700 cfm ซึ่งผู้ออกแบบสามารถใช้สมการคำนวณอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry-bulb) ที่ต้องจ่ายได้ดังนี้

QSensible,space = 1.085 x cfm x (DBTspace - DBTsupply)

68,000 Btu/hr = 1.085 x 3700 cfm x (75 ° F - DBTsupply)

DBTsupply = 58.1 ° F

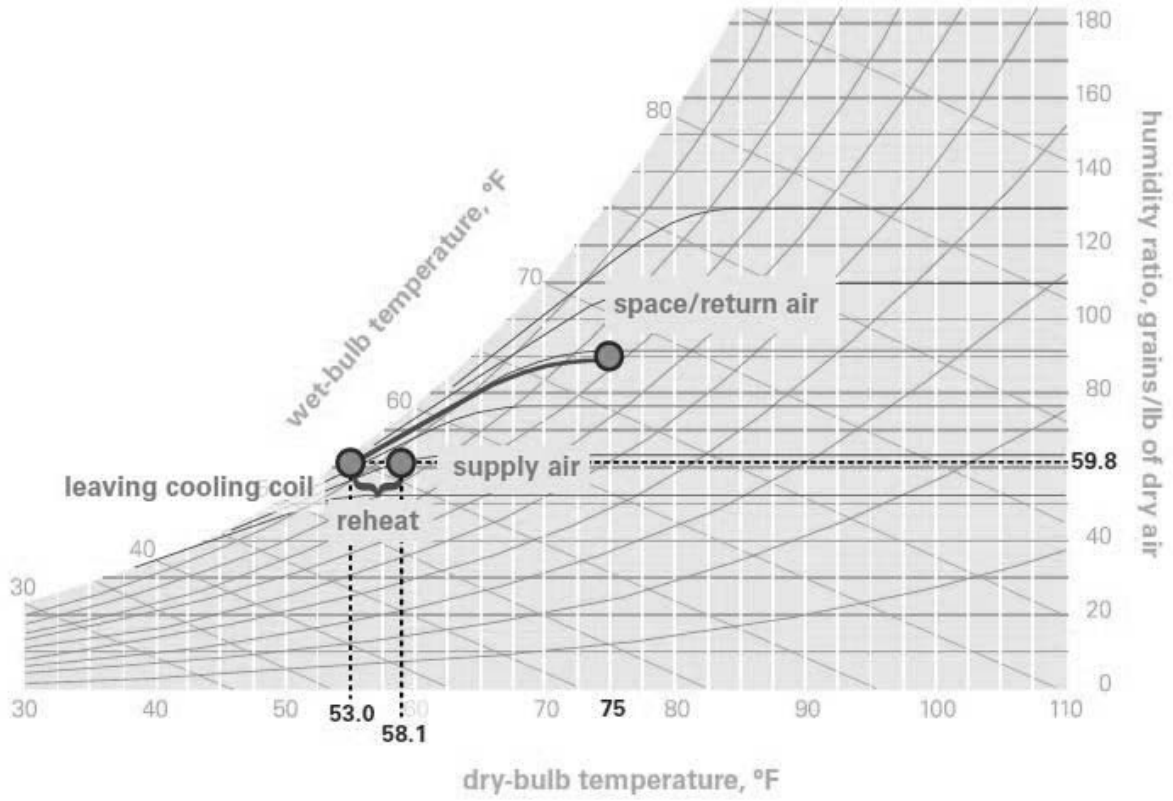
และผู้ออกแบบสามารถใช้สมการคำนวณหาสภาพความชื้นในอากาศที่ต้องจ่ายได้ดังนี้

QLatent,space = 0.69 x cfm x (Wspace - Wsupply)

80,000 Btu/hr = 0.69 x 3700 cfm x (91.1 gr/lb - Wsupply)

Wsupply = 59.8 gr/lb

สมมติว่าอากาศออกจากคอยล์เย็นใกล้อิ่มตัวโดยอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry-bulb) ของอากาศที่ออกจากคอยล์เย็นจะเท่ากับ 53.0 ° F (59.8 gr / lb และ 98% RH) ซึ่งจะต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry-bulb) ที่คำนวณไว้ก่อนหน้านี้ (DBTsupply) จากนั้นอากาศที่ลดความชื้นแล้วจะต้องถูกทำให้ร้อนขึ้น (Reheat) จาก 53.0 ° F ถึง 58.1 ° F เพื่อป้องกันไม่ให้พื้นที่เย็นเกินไป



หมายเหตุ: 1.085 และ 0.69 ในสมการข้างต้นไม่ใช่ค่าคงที่ เป็นค่าที่ความหนาแน่นและคุณสมบัติอื่น ๆ ของอากาศที่สภาวะ “อากาศมาตรฐาน” ที่ระดับน้ำทะเล คุณสมบัติเหล่านี้จะเปลี่ยนไปส่งผลให้ค่า 1.085 และ 0.69 ของอากาศที่สภาวะอื่นและระดับความสูงอื่น ๆ จะไม่สามารถใช้ค่านี้ได้

สรุป

การเกษตรในร่มเป็นการออกแบบเฉพาะสำหรับ HVAC ผู้ปลูกมีการใช้งานอาคารยี่สิบสี่ชั่วโมงต่อวัน เจ็ดวันต่อสัปดาห์สามร้อยหกสิบห้าวันต่อปี และคาดว่าจะควบคุมอุณหภูมิและความชื้นได้ตลอด เนื่องจากมีการรับภาระที่หลากหลายรูปแบบการทำความเย็นโดยทั่วไปจึงไม่สามารถใช้กับอาคารเหล่านี้ได้ ผู้ออกแบบต้องพิจารณาอุปกรณ์ที่สามารถทำความเย็น ความร้อน และลดความชื้นในพื้นที่ เพื่อรักษาอุณหภูมิและความชื้นที่ต้องการไว้ให้ได้

อ้างอิง

[1] ASHRAE.ASHRAE Handbook - HVAC Applications, Chapter 25. 2019.