

# ผนังสีเขียว

## The Biofacade

รศ.พาลีณี สุนากร<sup>1</sup>

ผศ.ดร.พูนพิภพ เกษมทรัพย์<sup>2</sup>

อ.ชนิกานต์ ยิ้มประยูร<sup>1</sup>

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

### บทคัดย่อ

การเพิ่มพื้นที่สีเขียวในเมืองเพื่อแก้ปัญหาโลกร้อนและภาวะเกาะความร้อน เป็นนโยบายที่ปฏิบัติได้ยาก และมีความเป็นไปได้น้อยลงทุกทีเนื่องจากความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นของเมือง การปลูกต้นไม้บนอาคารเพื่อทดแทนพื้นที่สีเขียวที่สูญเสียไปนั้นอาจทำได้หลายวิธี การปลูกต้นไม้ในแนวตั้งเป็นวิธีหนึ่งที่ประหยัด ใช้พื้นที่น้อย และนอกจากจะช่วยลดความร้อนให้แก่อาคารภายนอกอาคารแล้วยังช่วยลดความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคาร ทำให้เกิดการประหยัดพลังงาน ช่วยดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ สร้างความหลากหลายทางชีวภาพ ให้สุนทรียภาพ และยิ่งกว่านั้นพืชบางชนิดอาจสามารถนำไปเป็นอาหารได้อีกด้วย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการใช้ไม้เลื้อยเป็นแผงกันแดดในแนวตั้งให้กับอาคารที่ระบายนอกแบบธรรมชาติในประเทศไทย เพื่อระบุคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนจากดวงอาทิตย์อันทำให้อุณหภูมิภายในอาคารลดลงและคุณสมบัติในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์อันทำให้คุณภาพอากาศดีขึ้น ในการทดลองได้ทำการเปรียบเทียบอาคารที่ใช้แผงกันแดดไม้เลื้อยกับอาคารที่ไม่ใช่ โดยการติดตั้งเข้ากับอาคารจริงและทดลองในกล่องทดลอง ผลของการทดลองสามารถระบุคุณสมบัติเชิงปริมาณซึ่งพิสูจน์ว่าแผงกันแดดไม้เลื้อยหรือ “ผนังสีเขียว” ได้สร้างสภาพแวดล้อมที่ดีให้แก่การอยู่อาศัยของมนุษย์ ช่วยให้ประหยัดพลังงาน และลดคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ อันนำไปสู่การช่วยแก้ปัญหาภาวะโลกร้อนอันเป็นวิกฤตของโลกร้อนในยุคปัจจุบัน

### คำสำคัญ

โลกร้อน เกาะความร้อน พื้นที่สีเขียว ไม้เลื้อย แผงกันแดด การถ่ายเทความร้อน การตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ การใช้ต้นไม้ประกอบอาคาร

### บทนำ

วิกฤตสภาพแวดล้อมเป็นปัญหาที่ทั่วโลกต้องร่วมมือกันแก้ไข ความหนาแน่นของอาคารในเมืองใหญ่สร้างภาวะเกาะความร้อน (urban heat island) มลภาวะ (pollution) จากไอเสียและก๊าซพิษจากโรงงานอุตสาหกรรมสร้างปัญหาโลกร้อน (global warming) ทำให้คุณภาพชีวิตในเมืองต่ำลง แม้ว่าภายในอาคารจะ

<sup>1</sup> สาขาวิชาเทคโนโลยีทางอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 ถนนพหลโยธิน จตุจักร กทม 10900 โทร.02-942-8960 ต่อ 321 E-Mail address: [arcpsn@ku.ac.th](mailto:arcpsn@ku.ac.th) , [arccks@ku.ac.th](mailto:arccks@ku.ac.th)

<sup>2</sup> ภาควิชาพืชสวน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 ถนนพหลโยธิน จตุจักร กทม 10900 E-Mail address: [agrppk@ku.ac.th](mailto:agrppk@ku.ac.th)

สามารถปรับอุณหภูมิให้อยู่ในภาวะสบายได้โดยติดตั้งเครื่องปรับอากาศและเครื่องกรองอากาศ หากแต่เป็นการเพิ่มภาระให้แก่สภาพแวดล้อมโดยบริโภคพลังงานจำนวนมาก และปลดปล่อยความร้อนสู่บรรยากาศ

การเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้กับสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารเป็นแนวทางแก้ปัญหาที่เป็นข้อเสนอแนะของเมืองใหญ่ทุกเมือง เพื่อที่จะลดภาวะเกาะความร้อนและดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อันเป็นสาเหตุของภาวะโลกร้อน หากแต่ความหนาแน่นของเมืองไม่อนุญาตให้มีพื้นที่สีเขียวในปริมาณมากเท่าที่ต้องการ การปลูกต้นไม้ประกอบอาคารเป็นส่วนหนึ่งของผนังหรือหลังคาสามารถเพิ่มพื้นที่สีเขียวให้กับเมืองได้โดยไม่ต้องใช้พื้นที่โล่งมากนัก ทั้งยังสามารถลดการถ่ายเทความร้อนและปรับปรุงคุณภาพอากาศได้เช่นเดียวกัน ได้มีการสังเกตเห็นความสำคัญและมีนักวิจัยศึกษาคุณสมบัติของแนวคิดนี้มาเป็นเวลากว่า 20 ปี แต่ในการนำมาใช้นั้นมักติดข้อจำกัดในการดูแลรักษา ปัจจุบันการปลูกต้นไม้ประกอบเป็นส่วนหนึ่งของอาคารอาจช่วยลดความต้องการพื้นที่สีเขียวของเมืองได้ และเป็นข้อเสนอแนะที่กลับมาเป็นที่นิยมและปฏิบัติกันอย่างแพร่หลายในประเทศที่พัฒนาแล้ว เช่น สหรัฐอเมริกา แคนาดา และญี่ปุ่น เนื่องจากการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ ๆ ของการปลูกต้นไม้บนอาคารให้ประหยัดพื้นที่ ลดความหนาแน่นของดิน มีการบำรุงรักษาที่เหมาะสมเพื่อให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

การปลูกต้นไม้ประกอบอาคารในลักษณะต่าง ๆ นอกจากจะช่วยลดภาระแก่สภาพแวดล้อมแล้ว ยังช่วยทำให้เกิดภาวะน่าสบายทางอุณหภูมิ (thermal comfort) แก่ผู้ใช้อาคารที่อยู่ภายในอาคาร จากการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยการป้องกันรังสีจากดวงอาทิตย์ เปรียบเสมือนแผงกันแดดที่นอกจากจะสะท้อนรังสีจากดวงอาทิตย์กลับสู่บรรยากาศนอกรังสีดวงอาทิตย์แล้วยังสามารถดูดซับรังสีดวงอาทิตย์ส่วนหนึ่งเพื่อนำไปใช้ในการสังเคราะห์แสง (photosynthesis) และการคายน้ำ (evapotranspiration) ทำให้ลดปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารได้ดี ยิ่งมีความหนาแน่นของการปกคลุมของใบมากและจำนวนชั้นของใบมาก ก็ยิ่งมีคุณสมบัติที่ดียิ่งขึ้น

การปลูกต้นไม้บนหลังคาโดยการทำสวนหลังคา (roof garden) ในปัจจุบันมีการนำไปใช้อย่างแพร่หลายและมีวิธีการปลูกแบบ extensive roof garden ซึ่งไม่ต้องใช้ดินหนามากเหมือนสวนหลังคาสมัยก่อนซึ่งต้องรองรับน้ำหนักจำนวนมากและต้องมีระบบระบายน้ำและกันน้ำที่ซับซ้อนยุ่งยาก แนวคิดนี้สามารถทดแทนพื้นที่สีเขียวซึ่งเสียไปกับการสร้างอาคารบนพื้นดินได้ และช่วยปรับปรุงคุณภาพอากาศของเมือง ลดความร้อนที่ถ่ายเทที่ระดับหลังคาเข้าสู่อาคาร และออกจากอาคารกลับสู่บรรยากาศของเมืองได้เป็นอย่างดี Wong Nyuk Hien (2007) ได้ทำการวิจัยเรื่อง Study of Thermal Performance of Extensive Rooftop Greenery Systems in the Tropical Climate พบว่า การใช้ระบบการปลูกพืชบนหลังคาแบบ extensive roof garden ในภูมิอากาศแบบร้อนชื้นในสิงคโปร์สามารถลดความร้อนที่ถ่ายเทสู่อาคารทางหลังคาได้มากถึง 60 เปอร์เซ็นต์ และยังลดการแผ่รังสีของหลังคากลับสู่อากาศเหนือหลังคาได้อีกด้วย

การปลูกต้นไม้แนวตั้งเป็นข้อเสนอแนะอีกข้อหนึ่งในเมืองซึ่งขาดพื้นที่โล่ง อันที่จริงเป็นวิธีที่ประหยัดค่าใช้จ่ายมากกว่าแต่ยังไม่เป็นที่นิยมแพร่หลายเท่ากับการปลูกบนหลังคาด้วยข้อจำกัดในการดูแลรักษาในระยะยาว Ken Yeang (2000) สถาปนิกชาวมาเลเซียได้เสนอแนวคิด bioclimatic skyscraper โดยเสนอให้มีการใช้ต้นไม้ปกคลุมผนังของอาคารสูงในลักษณะ vertical landscape ซึ่งในอาคารสูงหลังแรก ๆ ที่เขาออกแบบ เช่น Menara Mesiniga ไม่สามารถดูแลรักษาให้ออกงามได้จริง แต่สามารถพัฒนาแนวคิดนี้ในอาคารที่มีความสูงปานกลางได้

นอกจากนี้ในงาน Expo 2005 ที่ Aichi ประเทศญี่ปุ่น ได้มีการเสนอแนวคิด biolung เป็นผนังขนาดใหญ่ที่มีความสูง 20 เมตร ยาว 150 เมตร ปลูกไม้ดอกชนิดต่าง ๆ ในแนวตั้งเป็นผนังอาคาร สร้างความสดชื่นให้แก่เมือง

ลดความร้อน และสร้างคุณภาพอากาศที่ดีในระดับที่ผู้อยู่อาศัยสัมผัสได้เนื่องจากสามารถมองเห็น ทั้งยังสร้างสุนทรียภาพให้แก่อาคารและเมืองอีกด้วย

งานวิจัยนี้ มุ่งเน้นการเสนอการออกแบบวิธีการปลูกต้นไม้ประกอบอาคารเป็นแผงกันแดดในแนวตั้ง โดยคัดเลือกพันธุ์ไม้ท้องถิ่นที่เหมาะสมกับภูมิอากาศของประเทศไทย ดูแลรักษาง่ายและสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้ดี นำมาทดลองปลูกเข้ากับอาคารจริง และทำการศึกษาคุณสมบัติในการลดการถ่ายเทความร้อนสู่อาคาร โดยเปรียบเทียบกับอาคารที่ไม่ได้ปลูกต้นไม้ โดยทำการทดลองปลูกเข้ากับอาคารจริง ผลการทดลองสามารถนำไปใช้เป็นข้อเสนอแนะแก่ประชาชนเพื่อการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อการประหยัดพลังงานแก่อาคาร ปรับปรุงคุณภาพอากาศ และพื้นที่สีเขียวให้แก่สภาพแวดล้อมในเมือง

## 1. แผงกันแดดไม้เลื้อย “ผนังสีเขียว” ป้องกันความร้อนและปรับปรุงคุณภาพอากาศ

การปลูกต้นไม้บนกรอบอาคารมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อการให้ร่มเงา แต่ในขณะเดียวกันช่วยทำให้อากาศบริสุทธิ์โดยดึงคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศภายนอก รวมไปถึงภายในอาคารในกรณีที่มีการเปิดหน้าต่างเพื่อระบายอากาศแบบธรรมชาติ ในงานวิจัยนี้ “ผนังสีเขียว” ได้นำมาใช้กับอาคารพักอาศัยบนชั้นคาเฟ่ของอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เพื่อสังเกตและบันทึกคุณสมบัติในการป้องกันความร้อน ส่วนในด้านการศึกษาการดึงคาร์บอนไดออกไซด์ได้ทำการทดลอง “ผนังสีเขียว” ขนาด 1 ตารางเมตรในกรอบพลาสติกใสเพื่อเปรียบเทียบปริมาณการดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์ของไม้เลื้อย 3 ชนิดที่ทำการคัดเลือกมาใช้งาน

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ทำขึ้นเพื่อศึกษาสมรรถนะของ “ผนังสีเขียว” ในอาคารพักอาศัย และระบายอากาศแบบธรรมชาติ ติดตั้งเข้ากับหน้าต่างที่หันสู่ด้านทิศตะวันตกอันเป็นทิศที่มีแสงแดดและความร้อนปริมาณสูงสุดในภูมิภาคของประเทศไทย นอกเหนือจากการวัดปริมาณความร้อนและการดึงคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลักแล้ว ความชื้นสัมพัทธ์เป็นองค์ประกอบที่สำคัญอีกข้อหนึ่งที่ควรสังเกตติดตาม เนื่องจากประเทศไทยอยู่ในเขตร้อนชื้น และโดยทั่วไปแล้วต้นไม้จะเพิ่มความชื้นในอากาศจากการคายน้ำ ซึ่งอาจเป็นผลต่อภาวะน้ำสลายในอาคาร

## 2. การคัดเลือกพันธุ์ไม้

2.1 สุ่มคัดเลือกพันธุ์ไม้ที่นำมาใช้จากไม้เลื้อยชนิดต่าง ๆ จำนวน 5 ชนิด ที่เป็นพืชท้องถิ่น (local plant) ในเขตร้อนชื้น (tropical climate) โดย ใช้เกณฑ์เบื้องต้นในการคัดเลือก ดังนี้

1. ต้องการดูแลรักษาน้อย และอายุยืน
2. ความสูงไม่ต่ำกว่าอาคาร 1 ชั้น (3 เมตร)
3. โตเร็วและใบปกคลุมทั่วถึงในแนวตั้ง
4. ใบมีความหนาแน่นปานกลาง
5. ใบเขียวตลอดปี และใบร่วงน้อย

2.2 การคัดเลือกพันธุ์ไม้จาก 5 ชนิดเหลือ 3 ชนิด ใช้คุณสมบัติตามเกณฑ์ 5 ข้อ ประเมินโดยการสังเกตจากต้นไม้ที่ปลูกขึ้นจริง พันธุ์ไม้ 5 ชนิดได้แก่ สร้อยอินทนิล พวงชมพู ญอชุน ตำลึง และเล็บมือนาง

1. **สร้อยอินทนิล** (*Thumbergia Grandiflora*) มีคุณสมบัติตรงตามเกณฑ์มากที่สุดสามารถปกคลุมได้ดีในแนวตั้ง โดยทั้งเลื้อยขึ้นและห้อยลง ใบดกหนาแน่นปานกลาง มีดอกสีม่วงสวยงามตลอดปี แต่ก็มีข้อเสียคือ ดอกร่วงค่อนข้างมาก

2. **ตำลึง** (*Coccinia Grandis*) เป็นพืชที่ไม่ค่อยมีผู้นำมาใช้ประกอบอาหารในปัจจุบัน แม้ว่าจะเป็นรื้อบ้านไทยมาแต่โบราณ มีคุณประโยชน์นานัปการ เป็นทั้งอาหารและสมุนไพร เมื่อปลูกปกคลุมในแนวตั้งจะทำให้การแผ่กระจายของใบที่ดี มีความโปร่งพอเหมาะ มีดอกสีขาวและผลแก่สีแดง ข้อเสียคืออายุของใบสั้นใบจะไหม้ในเวลาประมาณ 3 เดือนและต้องการการตัดแต่งให้ใบแตกใหม่ หรือตัดไปปรับปรุแทน เหมาะสำหรับอาคารพักอาศัยที่มีความสูง 1-2 ชั้นซึ่งระดับความสูงอยู่ในระยะที่ตัดได้ง่าย

3. **พวงชมพู** (*Antigonon leptopus*) เป็นไม้เลื้อยมีเถาขีดยับละเอียด ใบปกคลุมปานกลาง แต่ใบอายุสั้นคล้ายตำลึง เจริญเติบโตเร็วและสามารถขึ้นเองตามธรรมชาติ มีดอกสวยงามตลอดปี ต้องการตัดแต่งคล้ายตำลึง

ส่วนอัญชันมีลักษณะคล้ายตำลึงและพวงชมพู คือใบมีอายุสั้นและมีช่วงใบไหม้เป็นสีน้ำตาล และร่วง การปกคลุมของใบไม่ทั่วถึงเท่าตำลึงและพวงชมพู เลื้อยมีอนางมีพุ่มใบหนาแน่นมาก แต่ลักษณะการปกคลุมในแนวนอนดีกว่าในแนวตั้ง โดยมักพบว่าเถาจะเลื้อยขึ้นไปสูงเพื่อหาระนาบแนวนอนและแผ่ใบปกคลุมบนหลังคา มีดอกจำนวนมากซึ่งร่วงเมื่อหมดอายุ

พันธุ์ไม้ทั้งสามที่คัดเลือกคือ สร้อยอินทนิล ตำลึงและพวงชมพู ได้นำมาทดลองปลูกในกระบะยัดบนระแนงขนาด 1 เมตร x 1 เมตร ทำด้วยเอ็นโปร่งใส เพื่อรับได้แสงเต็มที่ ทำการติดตามผลการเจริญเติบโตในระยะเวลาประมาณ 3 เดือน แล้วทำการทดสอบในช่วงที่ 2 เรื่องการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของแผงไม้เลื้อยขนาด 1 ตารางเมตร



สร้อยอินทนิล



พวงชมพู



ตำลึง

รูปที่ 1 พันธุ์ไม้ 3 ชนิดที่เลือกใช้ในการทดลอง

### 3. การทดสอบอัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของ “ผนังสีเขียว”

#### 3.1 อุปกรณ์ การทดลอง

หลังจากการปลูกบนระแนงแนวตั้งเป็นเวลา 3 เดือน ไม้เลื้อยทั้ง 3 ชนิดปกคลุมได้อย่างดีและมีใบจำนวนมาก การทดลองวัดอัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ได้ทำขึ้น 4 ครั้ง โดยใช้ครอบพลาสติกใสบนโครงพีวีซีเพื่อควบคุมอากาศที่จะทำการวัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ทำการปล่อยอากาศเข้ามาสู่ครอบพลาสติกที่ห่อหุ้ม “ผนังสีเขียว” และผ่านออกจากครอบพลาสติก วัดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ที่อากาศพาเข้าและขาออก เพื่อหาค่าคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกตรึงโดย “ผนังสีเขียว” นอกจากปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์แล้วได้ทำการวัดปริมาณความเข้มของแสง ความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิทุก 30 วินาที บน “ผนังสีเขียว” ที่ปลูกไม้เลื้อย 3 ชนิด

โดยได้ทำการทดลองพร้อมกันเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ใช้ลมเย็นเป่าเข้าไปในครอบพลาสติกเพื่อไม่ให้อากาศในครอบร้อนเกิน 40 องศาเซลเซียส

เครื่องมือที่ใช้

1. CO<sub>2</sub> Analyser
2. แผ่นพลาสติกใส โครงท้อ P.V.C
3. เครื่องเป่าลมเย็น

ในการทดลองทั้ง 4 ครั้ง จากเดือนมกราคม – พฤษภาคม 2550 การทดลองครั้งหลังสุดในเดือน พฤษภาคม 2550 สามารถบันทึกค่าได้สมบูรณ์ที่สุด ดังแสดงในตาราง



รูปที่ 2 ผนังสีเขียว 1 ตารางเมตรใช้พืช 3 ชนิดในครอบพลาสติกเพื่อวัดอัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์



รูปที่ 3 แผนภูมิเปรียบเทียบอัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ของไม้เลื้อย 3 ชนิด และความเข้มของแสง ในช่วงเวลาของการทดลอง

### 3.2 ผลการทดสอบอัตราการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์

ผลการทดลองระบุว่าพืชทั้ง 3 ชนิดเริ่มสังเคราะห์แสงและตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ตั้งแต่เวลา 7.00 น. ในตอนเช้า และหยุดสังเคราะห์แสงเวลาประมาณ 17.00 – 18.00 น. ในตอนเย็น ในพืชทั้ง 3 ชนิด สร้อยอินทนิลแสดงปริมาณการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์ที่  $0.2 \text{ umol/m}^2/\text{s}$  ที่เวลา 11.00 – 12.00 น. และตอบสนองต่อการเพิ่มความเข้มของแสงจนถึงช่วง  $1,000 \text{ nm}$  ขณะที่พืชอีก 2 ชนิดหยุดตอบสนองที่  $500 - 600 \text{ nm}$  จึงสรุปได้ว่าผนังสร้อยอินทนิล 1 ตารางเมตรมีประสิทธิภาพสูงสุดในการตรึงคาร์บอนไดออกไซด์จากพืชทั้ง 3 ชนิด และได้ทำการเลือกต้นสร้อยอินทนิลเพื่อการทดสอบขั้นต่อไป ทั้งนี้พืชทั้ง 3 ชนิดมีปริมาณใบในพื้นที่ 1 ตารางเมตร ดังนี้

สร้อยอินทนิล	จำนวน	1,068	ใบ
พวงชมพู	จำนวน	922	ใบ
คำลิง	จำนวน	910	ใบ

## 4. การทดสอบคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนของ”ผนังสีเขียว”

### 4.1 อุปกรณ์ การทดลอง

ต้นสร้อยอินทนิลได้รับการคัดเลือกเพื่อนำมาปลูกในกระบะต้นไม้หน้าหน้าต่างห้องพักชั้น 6 อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มีโครงเหล็กเชิงเอ็น โปรงใส่เพื่อให้ต้นไม้เลื้อยปกคลุมในแนวตั้ง กระบะปลูกวางห่าง 0.70 เมตร จากหน้าต่างซึ่งเปิดระบายอากาศ (ห้องพักอีกห้องหนึ่งใช้เป็นห้องเปรียบเทียบ มีลักษณะเหมือนกันทุกประการ แต่มีกันสาดเหล็กเคลือบสีสำเร็จรูปยื่น 1.50 เมตร การทดสอบนี้มีการวัดอุณหภูมิในจุดต่าง ๆ จากภายนอกห้องถึงภายในห้อง รั้งสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ และความชื้นสัมพัทธ์



รูปที่ 4 หน้าต่างห้องพักชั้น 6 อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ช่องเปิดหันด้านทิศตะวันตก

#### เครื่องมือที่ใช้

1. Pyranometer และ Photometer
2. เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิ NTC
3. เซ็นเซอร์วัดความชื้นสัมพัทธ์
4. Testo 454 – 20 Channel Data Logger และ Hobo Data Logger

#### 4.2 การพัฒนาการออกแบบติดตั้ง “ผนังสีเขียว”

ในช่วงเดือนเมษายน – พฤษภาคม 2550 หลังจากที่ดินสร้อยอินทนิลเริ่มอยู่ตัว และปกคลุมแผงเป็นปริมาณประมาณ 70 % ของพื้นที่แผงโดยจำนวนชั้นของใบ 1 – 2 ชั้นได้ติดตามผลการทดลองและปรับแต่งรูปแบบของแผงกันแดดไม้เลื้อยให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเหมาะแก่การนำไปใช้งานจริง สภาพจริงของห้องทดลองทำให้ระยะห่างของแผงกันแดดถูกกำหนดโดยขนาดของหน้าต่างที่เปิดออก ทำให้เกิดการเว้นช่องประมาณ 0.75 เมตร และมีการปิดด้านบนด้วยหลังคาโปร่งใสเพื่อกันฝนสาดและไม่ให้ต้นไม้ขาดแสง ซึ่งกลายเป็นผลให้เกิดการดูดความร้อนภายใต้หลังคาใส อันทำให้อุณหภูมิภายในห้องที่ใช้แผงกันแดดไม้เลื้อยสูงกว่าห้องที่ใช้กันสาดสำเร็จรูปในช่วงสูงสุด (peak) ประมาณ 0.5 องศาเซลเซียส ในช่วงดังกล่าวมีอัตราการปกคลุมของใบประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์

สัปดาห์ต่อมาจึงปรับเปลี่ยนหลังคา ใช้วัสดุทึบแสงซ้อนไว้ข้างใต้เพื่อกันรังสีความร้อน และใช้ผ้าขาวกันปิดด้านข้างด้วยเพื่อกันรังสีความร้อนซึ่งอาจส่องเข้ามาด้านข้าง ในช่วงนี้พบว่า อุณหภูมิภายในห้องที่มีแผงกันแดดไม้เลื้อยยังคงสูงกว่าประมาณ 0.5 - 1 องศาเซลเซียส และคายความร้อนได้ช้ากว่าห้องที่ไม่มีต้นไม้ เนื่องจากการปิดด้านข้างทำให้ระบายความร้อนได้น้อยลง โดยในช่วงดังกล่าวปริมาณปกคลุมของใบยังคงไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

สัปดาห์ที่ 3 ปรับเปลี่ยนการปิดด้านข้างเป็นแสลนทึบสีเขียว 1 ชั้น ด้านบนหลังคาเริ่มมีต้นไม้เลื้อยขึ้นไปปกคลุม พบว่าอุณหภูมิภายในห้องที่มีแผงกันแดดไม้เลื้อยลดลงต่ำกว่าห้องที่ใช้กันสาดอคูมินิยมสำเร็จรูป

#### 4.3. ผลการทดลองการป้องกันความร้อน

ตามทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนของพืช ระบุว่าใบไม้จะสะท้อนรังสีความร้อนจากแสงที่มองเห็นได้ 10 เปอร์เซ็นต์ และดูดซับไป 80 เปอร์เซ็นต์ เพื่อใช้ในการสังเคราะห์แสงและการคายน้ำ อย่างไรก็ตามยังคงเหลือรังสีความร้อน 10 เปอร์เซ็นต์ และรังสีอินฟราเรดเป็นส่วนใหญ่ไม่ดูดซับได้น้อย สะท้อนออก และส่งผ่านประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้น จึงยังคงเหลือความร้อนใต้ใบอยู่ส่วนหนึ่ง และหากมีใบไม้หลายชั้น คุณสมบัติในการลดการถ่ายเทความร้อนก็จะดีขึ้นอีกตามลำดับ (Brown and Gillespie, 1995) แต่ขณะเดียวกันใบไม้จะคายน้ำในช่วงเช้าถึงบ่ายซึ่งจะเป็นผลให้ความชื้นสัมพัทธ์บริเวณใกล้เคียงสูงขึ้น ซึ่งอาจมีผลต่อสภาวะนำสabayในเขตร้อน

การทดลองในช่วงนี้อยู่ในช่วงเดือนที่ 4 หลังจากเริ่มลงต้นไม้ ซึ่งต้นสร้อยอินทนิลมีใบปกคลุมแผงกันแดดประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ และมีใบ 1-2 ชั้นเป็นส่วนใหญ่



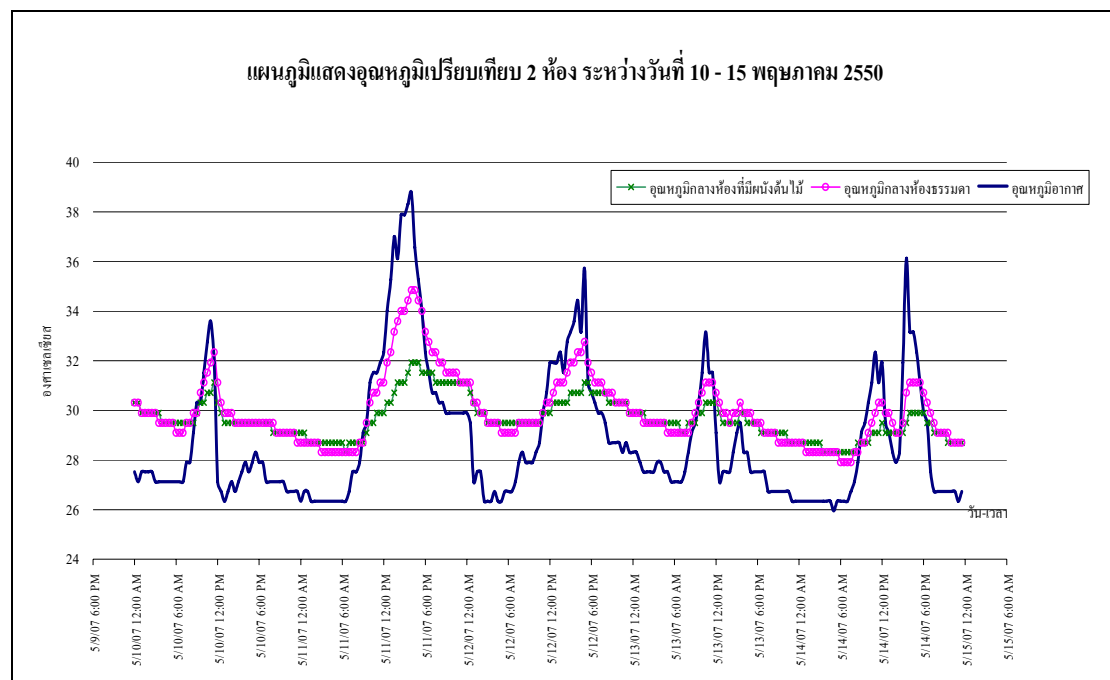
รูปที่ 5 “ผนังสีเขียว” ใช้เป็น แผงกันแดดไม้เลื้อยที่ปลูก ณ ทิศตะวันตกของอาคาร

ในช่วง 10-15 พค. 2550 มีข้อมูลสภาพอากาศทั่วไป ดังนี้

1. อุณหภูมิภายนอก
 

สูงสุด	38.77	เวลา	11/05/07	4.00 PM
ต่ำสุด	25.95	เวลา	15/05/07	3.30 AM
อุณหภูมิเฉลี่ย	28.61			
2. ความชื้นสัมพัทธ์
 

สูงสุด	94.3	เวลา	14/05/07	4.30PM
ต่ำสุด	31.3	เวลา	11/05/07	4.00 PM
ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย	76.61			
3. ค่าการแผ่รังสีความร้อนสูงสุด 748 วัตต์/ตารางเมตร เวลา 14/05/07 4.30 PM



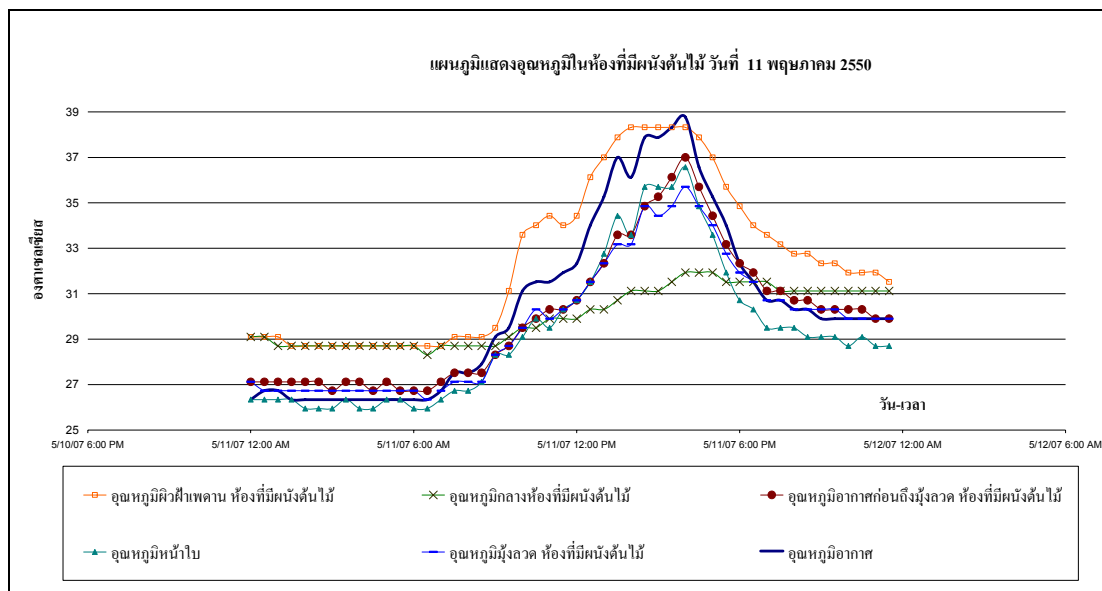
รูปที่ 6 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิกลางห้องที่มีแผงกันแดดไม้เลื้อยและห้องที่ใช้กันสาดสำเร็จรูป

กับอุณหภูมิอากาศปกติ

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบอุณหภูมิ

ข้อมูล	สูงสุด	เวลา	ต่ำสุด	เวลา	ค่าเฉลี่ยทั้งสัปดาห์
ห้องที่ใช้แผงกันแดดไม้เลื้อย	31.93	11/05/07 4.00 PM	27.91	15/05/07 6.30 AM	29.46
ห้องที่ใช้กันสาดสำเร็จรูป	34.85	11/05/07 4.00 PM	27.91	15/05/07 4.00 AM	29.74
อากาศภายนอก	38.77	11/05/07 4.00 PM	25.95	15/05/07 3.30 AM	28.61

ในช่วงที่อุณหภูมิสูงสุด ห้องที่ใช้แผงกันแดดไม้เลื้อยมีอุณหภูมิวัดที่กลางห้องต่ำกว่าห้องที่ใช้กันสาดสำเร็จรูป 2.92 องศาเซลเซียส และต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก 6.84 องศาเซลเซียส



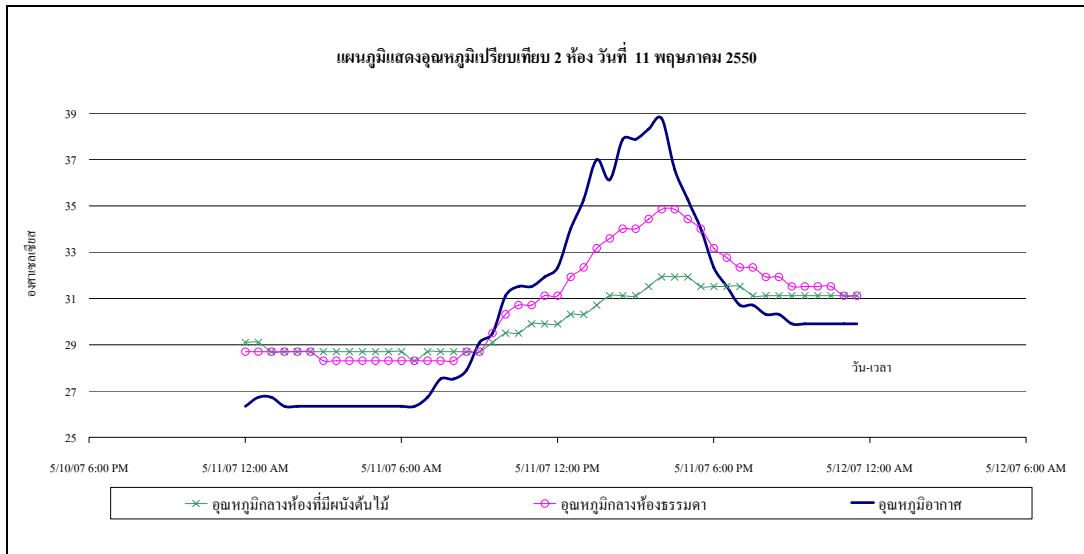
รูปที่ 7 แผนภูมิเปรียบเทียบระดับอุณหภูมิอากาศภายนอกผิวใบ อากาศหลังใบ มุ้งลวด ถึงกลางห้องที่มีแผงกันแดดไม้เลื้อยในช่วง 1 วัน

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบอุณหภูมิจากผิวใบถึงกลางห้องที่มีแผงกันแดดไม้เลื้อย ในช่วงอุณหภูมิสูงสุด

ข้อมูล	สูงสุด	เวลา
อุณหภูมิอากาศ	38.77	11/05/07 4.00PM
อุณหภูมิผิวหน้าใบ	36.57	11/05/07 4.00PM
อุณหภูมิอากาศหลังใบ	37.00	11/05/07 4.00PM
อุณหภูมิมุ้งลวด	35.70	11/05/07 4.00PM

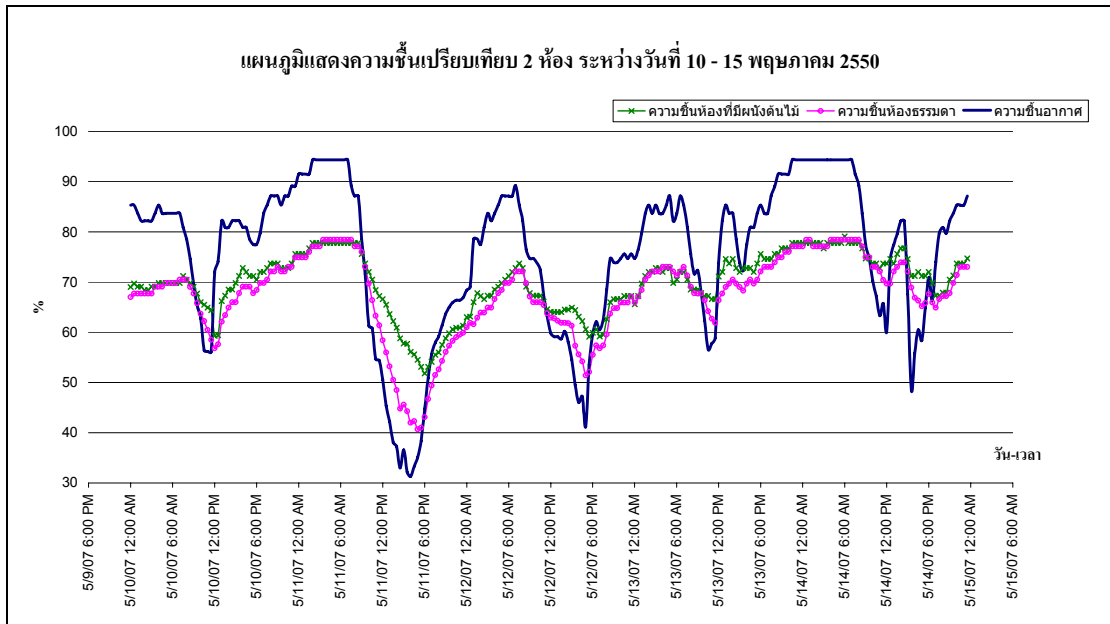
อุณหภูมิอากาศกลางห้อง	31.93	11/05/07 4.00PM
-----------------------	-------	-----------------

จากตารางจะเห็นว่าอุณหภูมิผิวใบต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ 2.2 องศาเซลเซียส



รูปที่ 8 แผนภูมิเปรียบเทียบระดับอุณหภูมิกลางห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง ในช่วง 1 วัน

#### 4.4. ผลการทดลองเปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์และความชื้นจำเพาะ



รูปที่ 9 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ภายในห้องที่มีแสงกันแดด ไม้เลื้อยและห้องที่ใช้กันแดดสำเร็จรูปกับความชื้นสัมพัทธ์อากาศ

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบความชื้นสัมพัทธ์

ข้อมูล	สูงสุด	เวลา	ต่ำสุด	เวลา	ค่าเฉลี่ยทั้ง
--------	--------	------	--------	------	---------------

					สัปดาห์
ห้องที่ใช้แฉกกันแคดไมล์เดี่ยว	79.1	14/05/07 6.00PM	51.8	11/05/07 6.00PM	70.49
ห้องที่ใช้กันสาดสำเร็จรูป	78.4	14/05/07 4.00PM	40.7	11/05/07 5.00PM	68.37
อากาศภายนอก	94.3	14/05/07 4.30PM	31.3	11/05/07 4.00 PM	76.61

ทั้งนี้ เนื่องจากความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) เป็นปริมาณที่แสดงสัดส่วนของไอน้ำในอากาศต่อปริมาณไอน้ำอิ่มตัวในแต่ละอุณหภูมิ ไม่ใช่ค่าปริมาณไอน้ำจริง เมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ค่านี้จึงแปรผันตามอุณหภูมิด้วย ดังนั้นจึงทดลองนำค่าความชื้นสัมพัทธ์ มาแปลงเป็นค่าความชื้นจำเพาะ (specific humidity) ซึ่งได้แก่ ปริมาณของไอน้ำ (โดยมวล) ต่อ ปริมาณของอากาศ (โดยมวล) ในปริมาตรหนึ่งๆ ที่อุณหภูมิหนึ่งๆ สำหรับการคำนวณในการเปลี่ยนค่าความชื้นสัมพัทธ์ เป็นค่าความชื้นจำเพาะที่ใช้ในการวิจัยนี้ได้แก่

$$x = 0.622 * \frac{\Phi}{100} * p_{sat} / (p - (\frac{\Phi}{100} * p_{sat}))$$

เมื่อ  $0.622 =$  น้ำหนักโมเลกุลน้ำหารด้วยน้ำหนักโมเลกุลอากาศ

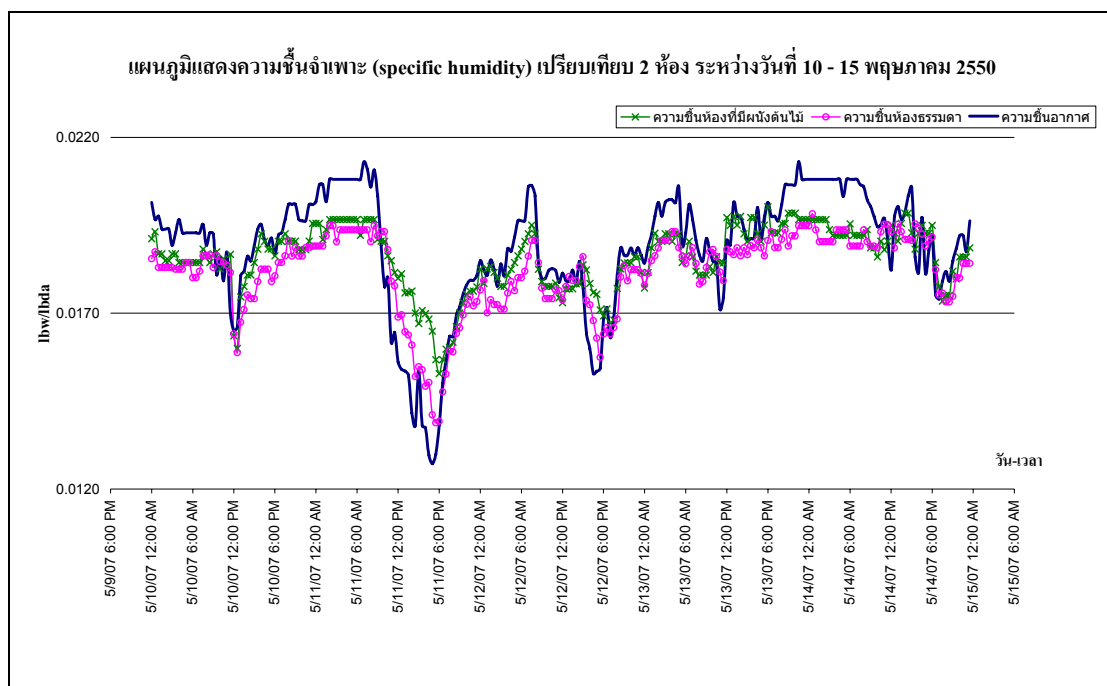
$x =$  ค่าความชื้นจำเพาะ (lbw/lbda)

$\Phi =$  ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (%)

$p =$  ความดันบรรยากาศ (psia)

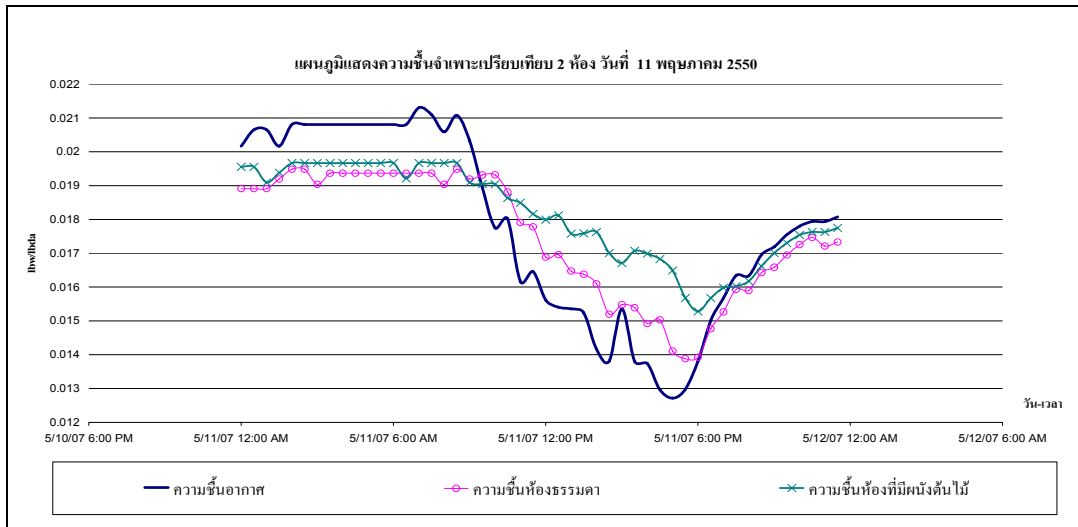
$p_{sat} =$  ความดันไอน้ำ (psia)

ผลที่ได้แสดงในรูปที่ 6 ซึ่งค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกับค่าที่เกิดจากการใช้ค่าความชื้นสัมพัทธ์

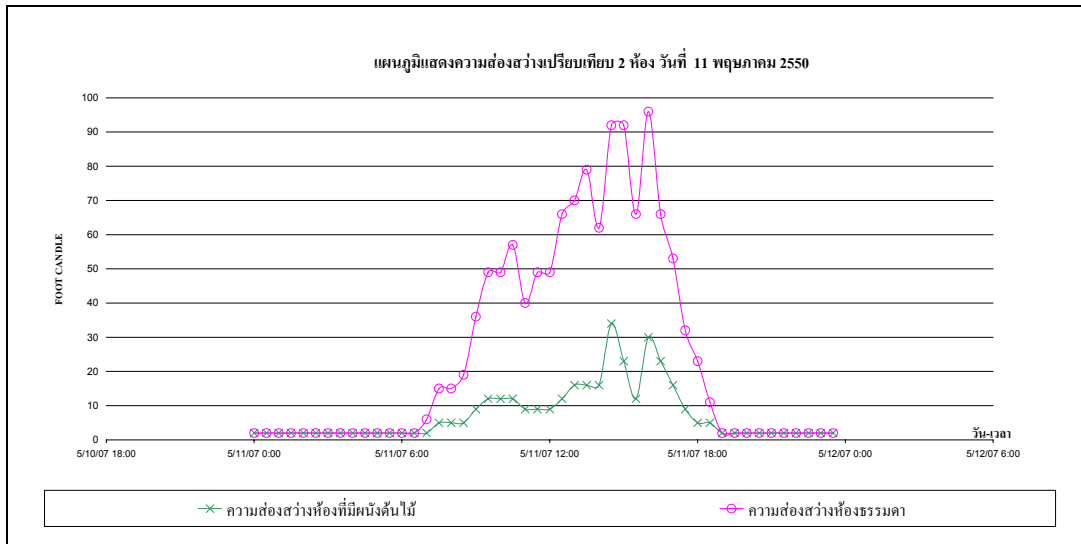


รูปที่ 10 แผนภูมิแสดงการเปรียบเทียบปริมาณความชื้นจำเพาะภายในห้องที่มีแฉกกันแคดไมล์เดี่ยวและห้องที่ใช้

กันสาดสำเร็จรูปกับความชื้นสัมพัทธ์อากาศ



รูปที่ 11 แผนภูมิเปรียบเทียบระดับความชื้นจำเพาะของอากาศภายนอกกับภายในห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง



รูปที่ 12 แผนภูมิเปรียบเทียบความส่องสว่างจากอิทธิพลของรังสีดวงอาทิตย์ภายในห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง

4.5 การวิเคราะห์ผล

1. อุณหภูมิที่ผิวของใบไม้ของห้องที่ใช้แผงกันแดดไม่เลื้อยต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก 2.2 องศาเซลเซียส แสดงถึงความสามารถในการลดความร้อนของใบไม้เป็นผลให้อุณหภูมิหลังใบไม้ไปจนถึงกลางห้องด้านล่างตามลำดับ (รูปที่ 7) ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี

2. เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิกลางห้องที่ใช้แผงกันแดดไม่เลื้อยและห้องที่ใช้กันสาดสำเร็จรูปพบว่าในช่วงเช้าถึงกลางวัน (ประมาณ เวลา 6.00 น. – 12.00 น.) ห้องที่ใช้แผงกันแดดไม่เลื้อยมีอุณหภูมิต่ำกว่าห้องที่ใช้กันสาดสำเร็จรูปสูงสุดที่ 2.92 องศาเซลเซียส และต่ำกว่าอากาศภายนอกสูงสุดที่ 6.84 องศาเซลเซียส ส่วนในช่วงบ่ายถึงกลางคืน ห้องทั้งสองมีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน และสูงกว่าอากาศภายนอกประมาณ 1.96 องศาเซลเซียส (รูปที่ 4) เนื่องจากมีความร้อนสะสมจากตอนกลางวัน มีข้อสังเกตว่าการคายความร้อนของห้องที่มีแผง

กันแดดไม่เลื้อย เป็นไปได้ช้ากว่าห้องที่ใช้แผงกันแดดสำเร็จรูป เล็กน้อย เนื่องมาจากการที่ตัวแผงกันแดดไม่เลื้อย อาจเป็นอุปสรรคในการระบายอากาศ

3. ความชื้นจำเพาะในช่วงเวลากลางวัน (ประมาณ เวลา 10.00 น. – 18.00 น.) ซึ่งความชื้นจำเพาะอากาศภายนอกอยู่ในระดับต่ำ (0.014-0.017 lbw/lbda) ห้องที่ใช้แผงกันแดดไม่เลื้อยมีระดับความชื้นจำเพาะสูงกว่าอากาศภายนอก และสูงกว่าห้องที่ใช้กันแดดสำเร็จรูปเนื่องจากต้นไม้มีการคายน้ำในเวลาดังกล่าว(รูปที่ 9) ส่วนในช่วงกลางคืน (เวลา 20.00 น. – 24.00 น.) เมื่อความชื้นจำเพาะในอากาศภายนอกอยู่ในระดับสูง (0.016-0.017 lbw/lbda) และต้นไม้ไม่มีการคายน้ำ พบว่าห้องที่ใช้แผงกันแดดไม่เลื้อยมีระดับความชื้นจำเพาะต่ำกว่าความชื้นจำเพาะของอากาศภายนอกและใกล้เคียงกับห้องที่ใช้กันแดดสำเร็จรูป อย่างไรก็ตามความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงขึ้นมากที่สุดของห้องที่ใช้แผงกันแดดไม่เลื้อย (ประมาณ ร้อยละ 11 จากรูปที่ 5) เกิดขึ้นในช่วงที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำที่สุดในตอนกลางวัน จึงมีผลต่อสภาวะน่าสบายไม่มากนัก

4. ผลการทดลองในช่วงที่เลือกมาเป็นช่วงที่แผงกันแดดไม่เลื้อยมีสมรรถนะดีที่สุดและสอดคล้องกับทฤษฎีถึงแม้ว่าจะมีใบปกคลุมเพียง 1 ชั้นเป็นพื้นที่ประมาณ ร้อยละ 70 อย่างไรก็ตาม ยังพบว่าผลการทดลองในบางช่วง อุณหภูมิภายในห้องทดลองทั้ง 2 ห้อง ไม่แตกต่างกันมากนัก และในบางช่วง ห้องที่ใช้แผงกันแดดไม่เลื้อยมีอุณหภูมิสูง กว่าเนื่องจากมีการสะสมความร้อน ในช่วงเย็นถึงกลางคืนและคายความร้อนได้ไม่ดี เพราะระบายอากาศได้น้อยกว่าห้องทดลองที่ใช้แผงกันแดดสำเร็จรูป ซึ่งระบายอากาศได้ดีและมีชายคายื่นยาวกว่า

## 5.สรุปผลและวิจารณ์

5.1 ในการลดคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศ โดยใช้“ผนังสีเขียว” ให้ผลโดยรวมต่อสภาพอากาศท้องถิ่นบริเวณภายนอกอาคาร ซึ่งต้องมีการนำมาใช้เป็นปริมาณมากจึงจะเห็นผล ในการทดลองเป็นการให้แนวทางในการนำไปใช้โดยการศึกษาสมรรถนะของ“ผนังสีเขียว” 1 ตารางเมตร สำหรับอากาศภายในอาคาร หาก“ผนังสีเขียว”นำมาใช้กับหน้าต่างชุดเดียวจะให้ผลเพียงเล็กน้อย ต้องใช้เป็นปริมาณมากหรือใช้เป็นผนังอาคารทั้งหลังจึงจะให้ผลที่มีนัยสำคัญ ทั้งนี้ เนื่องจากคาร์บอนไดออกไซด์จากลมหายใจของมนุษย์นั้นมีปริมาณสูง และการระบายอากาศออกจะช่วยให้มากกว่าโดยเฉพาะในตอนกลางวันซึ่งพืชหยุดการสังเคราะห์แสงและปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งแม้จะเป็นปริมาณน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับที่จริงไว้ในตอนกลางวัน ซึ่งทั้งนี้ ยัง ต้องการการศึกษาวิจัยต่อไป

5.2 “ผนังสีเขียว” มีความสามารถในการลดความร้อนได้ดีที่สุดในเวลากลางวัน ช่วงที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดจากการให้ร่มเงาและการคายน้ำของพืช อย่างไรก็ตามการใช้“ผนังสีเขียว”เป็นแผงกันแดดในทิศตะวันตก ตามผลการทดลอง ถึงแม้จะสามารถลดอุณหภูมิได้ดีกว่ากันแดดเหล็กเคลือบสำเร็จรูป แต่ยังไม่สามารถทำให้อุณหภูมิภายในอาคารอยู่ในภavn่าสบายได้ โดยเฉพาะในฤดูร้อนซึ่งอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงมากกว่า 35 องศาเซลเซียส ส่วนในเวลากลางคืนห้องที่ใช้“ผนังสีเขียว”จะคายความร้อนได้ช้ากว่า ดังนั้นในการนำไปใช้งานจริงจึงอาจเพิ่มประสิทธิภาพโดยเปิดหน้าต่างด้านตรงข้ามเพื่อเพิ่มอัตราการระบายอากาศ หรือใช้พัดลมดูดอากาศเข้าช่วยเพื่อให้อากาศผ่านผนังสีเขียวได้ดีขึ้น ซึ่งทั้งหมดนี้อยู่ในการทดลองขั้นต่อไป

5.3 การออกแบบ “ผนังสีเขียว” สำหรับหน้าต่างด้านอื่น อาจมีรูปแบบแตกต่างกันไปตามลักษณะและมุมของแดดในทิศทางนั้นๆ

## เอกสารอ้างอิง

- สุดสวัสดิ์ ศรีสถาปัตยกรรม. 2545. การออกแบบวัสดุพืชพันธุ์และการประหยัดพลังงาน. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ.
- Architectural Institute of Japan. 2005. Architecture for a Sustainable Future .All About the Holistic Approach in Japan. Published by Institute of Environment and Energy Conservation (IBEC), Japan .
- Brown and Gillespie.1995.Microclimatic landscape design : Creating Thermal Comfort and Energy Efficiency. John Wiley & Sons, Inc. New York, USA.
- Lam,Martha, Ip, Kenneth and Miller, Andrew 2005. University of Brighton .Bioshaders for Office Building in the United Kingdom. World Sustainable Building Conference 2005 Proceeding, Tokyo, Japan.
- National Research Council Canada 2005. Using Garden Roof Systems to Achieve Sustainable Building Envelope. Available Online at [http://irc.enc.gc.ca/pubs/ctus/65\\_p.html](http://irc.enc.gc.ca/pubs/ctus/65_p.html).accessed 1/11/2005.
- Sandifer, Steven and Givoni, Baruch. 2000.Thermal Effects of Vines on Wall Temperature Comparing Laboratory and Field Collected Data. Department of Architecture and Urban Design, UCLA,USA.
- Stec et al. 2005 Modelling the Double Skin Façade with Plants. Energy and Buildings 37, 419-427. Elsevier Publishing.
- United States Environmental Protection Agency. 2005. Heat Island Effect, Trees and Vegetation. Available Online at <http://www.epa.gov/heatisland/strategies/vegetation.html> . accessed 1/11/2005.
- Wong et al. 2007. Study of Thermal Performance of Extensive Roof Greenery Systems in the Tropical Climate. Building and Environment 42, 25-54 Elsevier Publishing.
- Yeang, Ken 2000, T.R. Hamzah. 2000. The Bioclimatic Skyscraper, Revised Edition, Ellipsis London, Limited.