บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาถึงภาวะสบายเชิงความร้อนที่ได้รับจากบ้านจำลองที่ตั้งอยู่ในกรุงเทพมหานครโดยใช้ข้อมูลอากาศจริงในปี พ.ศ. 2536 ซึ่งได้รับจากกรมอุตุนิยมวิทยา (2544) และใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาฟอร์แทรนซึ่งสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการคำนวณพบว่าเมื่อบ้านจำลองกรณีพื้นฐานซึ่งวางตัวอยู่ในทิศขวางตะวันที่ไม่มีทั้งกันสาดและช่องเปิดโดยมีการใช้งานตลอดทั้ง 24 ชั่วโมงถูกนำมาติดตั้งด้วยกันสาด ช่องเปิด อุปกรณ์บังเงา ฉนวนกันความร้อนและระบบระบายความร้อนในช่องใต้หลังคาจะทำให้ความรู้สึกเชิงความร้อนที่ได้รับมีค่าเปลี่ยนแปลงไป อิทธิพลของอุปกรณ์ต่างๆ สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. ทิศทางของบ้านจำลองมีผลต่อภาวะสบายเชิงความร้อนของผู้อยู่อาศัย โดยพบว่าการวางตัวของบ้านจำลองในกรณีพื้นฐานในทิศตามตะวันหรือขวางตะวันส่งผลให้ค่า PMV และ SET* มีค่าต่างกันถึง 15.9% และ 4.6% ตามลำดับ

2. ช่วงเวลาที่อากาศมีอุณหภูมิสูงสุดไม่จำเป็นต้องมีภาวะสบายเชิงความร้อนแย่ที่สุดเนื่องจากผลการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้พบว่าช่วงระหว่างเดือนเมษายนถึงเดือนมิถุนายนเป็นช่วงเวลาที่ผู้อยู่อาศัยร้อนที่สุด โดยที่ระยะเวลาดังกล่าวไม่ตรงกับช่วงเวลาที่อากาศมีอุณหภูมิสูงที่สุดซึ่งแสดงในอุณหภูมิออกแบบสำหรับกรุงเทพมหานคร เชียงใหม่ หาดใหญ่ และอุบลราชธานี (ตุลย์ มณีวัฒนา และ อัครา กิจการเจริญสิน, 2544) ดังนั้นการวิเคราะห์ถึงความสุขสบายเชิงความร้อนต้องพิจารณาจากดัชนีความสุขสบายเป็นสำคัญ

3. อุณหภูมิการแผ่รังสีที่ไม่สมมาตรในแนวตั้งฉากเป็นหนึ่งในปัจจัยหลักที่ทำให้บ้านจำลองเกิดความไม่สุขสบายขึ้นโดยพบว่าค่าอุณหภูมิดังกล่าวสามารถมีค่าได้สูงกว่า 10 ^{o}C ในช่วงเวลากลางวันซึ่งสูงเกินกว่าระดับ 5 ^{o}C ที่กำหนดไว้ใน ASHRAE (1992/1995) มาก อย่างไรก็ตามความไม่สมมาตรของอุณหภูมิการแผ่รังสีในทิศทางดังกล่าวสามารถลดลงได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยการติดตั้งฉนวนความร้อนบนฝ้าเพดานในช่องใต้หลังคาโดยพบว่าการติดตั้งฉนวนใยแก้วหนา 3″ เข้าไปในบ้านจำลองกรณีพื้นฐานเพียงอย่างเดียวสามารถทำให้ความไม่สมมาตรดังกล่าวลดลงจาก 4.7 ^{o}C เหลือเพียง 2.56 ^{o}C หรือคิดเป็น 45.5%

4. กันสาดที่ติดตั้งเข้าไปทางด้านตะวันออกกับตะวันตกนั้นมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันโดยพบว่ากันสาดทางด้านตะวันออกมีส่วนช่วยเพิ่มภาวะสบายเชิงความร้อนตั้งแต่เวลา 7:00 น. ถึง 13:00 น. ส่วนการติดตั้งในทิศตะวันตกมีผลตั้งแต่ช่วงเวลาที่เหลือเป็นต้นไป ถึงแม้ว่ากันสาดทางทิศตะวันตกมีผลต่อภาวะสบายในช่วงเวลาที่ยาวนานกว่าแต่กลับส่งผลต่อค่าดัชนีความสุขสบายไม่มากนัก ในทางกลับกันกันสาดทางทิศตะวันออกมีผลต่อความสุขสบายมากกว่าแต่เป็นเพียงช่วงเวลาสั้นๆ โดยอาจทำให้ค่า PMV ลดลงจาก 2.32 เป็น 1.68 และ SET* มีค่าลดลง 1.56 ^{o}C หรือคิดเป็น 18.96% และ 5.27% เมื่อเทียบกับบ้านจำลองกรณีพื้นฐานในทิศทางขวางตะวัน และลดลงมากกว่าการติดตั้งกันสาดทางทิศตะวันตกซึ่ง PMV มีค่า 1.90 หรือลดลงเพียง 18.1% และ SET* ลดลง 1.57 ^{o}C หรือคิดเป็น 5.29% ดังนั้นการติดตั้งกันสาดทางทิศตะวันออกและทางทิศตะวันตกควรพิจารณาจากวัตถุประสงค์ของการใช้งานหรือเลือกติดตั้งทั้งสองทิศทางเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด นอกจากนี้ยังพบอีกว่าการเพิ่มความยาวของกันสาดทั้งสองทิศทางจากความยาว 75% มาเป็น 100% ในทิศของจั่วหลังคานั้นสามารถเพิ่มภาวะสบายเชิงความร้อนของบ้านจำลองได้อีกเล็กน้อยเพราะฉะนั้นควรเพิ่มความยาวกันสาดให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ (ในที่นี้ไม่พิจารณาถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์)

5. กันสาดทางทิศเหนือและทิศใต้มีผลต่อภาวะสบายเชิงความร้อนเพียงเล็กน้อยไม่ว่าบ้านจำลองจะวางตัวอยู่ในทิศตามตะวันหรือขวางตะวัน นอกจากนี้การเพิ่มความยาวกันสาดทั้งสองทิศทางจาก 25% เป็น 100% ไม่ทำให้ภาวะสบายเชิงความร้อนของบ้านจำลองดีขึ้น ดังนั้นกันสาดทางทิศเหนือและทิศใต้ไม่จำเป็นต้องยื่นออกมามากโดยพบว่ากันสาดทางทิศเหนือที่ความยาว 25% ตามแนวของจั่วหลังคาสามารถลดค่า PMV ลงจากบ้านกรณีพื้นฐานในทิศตามตะวันที่มีค่า 1.95 เหลือเพียง 1.89 และทำให้ SET* มีค่าลดลง 0.1 ^{o}C ซึ่งคิดเป็น 3.08% และ 0.35% ตามลำดับ ในทำนองเดียวกันการติดตั้งกันสาดทางทิศใต้สามารถทำให้ค่า PMV ลดลงจาก 1.95 เหลือ 1.72 และทำให้ SET* มีค่าลดลง 0.34 ^{o}C หรือคิดเป็น 11.79% และ 1.4% ซึ่งมากกว่ากันสาดทางทิศตรงข้าม

6. ภาวะสบายเชิงความร้อนไม่ขึ้นอยู่กับทิศทางของช่องเปิด แต่ขึ้นอยู่กับจำนวนและขนาดของช่องเปิดโดยพบว่าช่องเปิดซึ่งอยู่คนละทิศมีค่าดัชนีความสุขสบายเฉลี่ยใกล้เคียงกันแต่มีผลต่อภาวะสบายเชิงความร้อนในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน

7. การระบายอากาศเพียงด้านเดียวซึ่งศึกษาจากบ้านจำลองที่มีช่องเปิดหนึ่งช่องนั้นไม่สามารถเพิ่มความสุขสบายเชิงความร้อนให้แก่บ้านจำลองได้และอาจทำให้เกิดผล

ในทางตรงกันข้าม แต่ถ้าไม่สามารถระบายอากาศด้วยวิธีอื่นได้แล้วการเจาะช่องเปิดในทิศใต้จะมีค่า PPD เฉลี่ยที่น้อยที่สุด

8. การระบายอากาศด้วยช่องเปิดสองช่องหรือที่เรียกว่าการระบายอากาศแบบพัดผ่านเป็นวิธีการติดตั้งช่องเปิดที่ดีที่สุดในการเพิ่มความสบายให้แก่บ้านจำลองโดยพบว่าความสุขสบายเชิงความร้อนที่ได้รับนั้นไม่ได้ขึ้นอยู่กับทิศทางของช่องเปิดแต่ละคู่ ดังจะเห็นได้จากค่า PMV PPD SET* เฉลี่ยของคู่ช่องเปิดในทิศทางต่างๆ ตามตาราง 4.4 ซึ่งใกล้เคียงกันมากและมีค่าน้อยกว่ากรณีติดตั้งช่องเปิดบนกำแพงทั้งสี่ด้านโดยสามารถทำให้ค่า PMV ลดลงจากบ้านกรณีพื้นฐานที่มีค่า 2.32 เหลือเพียง 1.63 และ SET* มีค่าลดลง 1.06 ^{o}C หรือคิดเป็น 29.7% และ 3.6% ตามลำดับ

9. การขยายช่องเปิดให้มีขนาดใหญ่ขึ้นสามารถเพิ่มความสุขสบายเชิงความร้อนภายในบ้านจำลองได้ แต่ขนาดช่องเปิดที่ใหญ่ขึ้นไม่จำเป็นต้องแปรผันเชิงเส้นกับการลดลงของค่าดัชนีความสุขสบาย ดังจะเห็นได้จากการขยายขนาดของคู่ช่องเปิดซึ่งวางตัวอยู่ในแนวเหนือใต้ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น 125% (ขยายช่องเปิดจากขนาด 1 m^2 เป็น 2.25 m^2) สามารถทำให้ค่า PMV เปลี่ยนแปลงจาก 1.72 มาเป็น 1.63 โดย SET* มีค่าลดลงเพียง 0.15 ^{o}C หรือคิดเป็น 4.1% และ 0.4% ตามลำดับ

10. อุปกรณ์บังเงาซึ่งได้แก่แผงกันแดดและครีบบังแดดมีผลต่อความสุขสบายเชิงความร้อนเพียงเล็กน้อยโดยพบว่าการติดตั้งแผงกันแดดและครีบกันแดดซึ่งยื่นออกจากกำแพง 1 m ลงบนช่องเปิดขนาด 1 m^2 ทั้งสี่ด้านสามารถทำให้ PMV มีค่าลดลงจากกรณีไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์บังเงาซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.76 มาเป็น 1.74 และลดลงจาก 1.73 มาเป็น 1.69 สำหรับกรณีเจาะช่องเปิดขนาด 2.25 m^2 ในสี่ทิศทาง หรือลดลงเพียง 1.1% และ 2.3% เท่านั้น อย่างไรก็ตามจากผลการคำนวณมิได้หมายความว่าอุปกรณ์บังเงาไม่มีประโยชน์ต่อภาวะสบายเนื่องจากงานวิจัยนี้พิจารณาอยู่บนขอบเขตของภาวะสบายเชิงความร้อนโดยไม่ได้พิจารณาถึงอิทธิพลอื่นของอุปกรณ์บังเงาที่มีผลต่อความสุขสบายอาทิเช่นปัจจัยด้านการส่องสว่างหรือการป้องกันน้ำฝน

11. การติดตั้งฉนวนความร้อนทำให้ค่าดัชนีความสุขสบายกระจายตัวอยู่ในช่วงที่แคบลงรวมทั้งเลื่อนเวลาที่ทำให้รู้สึกร้อนมากที่สุดออกไป โดยพบว่าการติดฉนวนใยแก้วความหนา 3″ บนฝ้าเพดานสามารถทำให้ค่า PMV ลดลงจากบ้านกรณีพื้นฐานซึ่งมีค่าเท่ากับ 2.32 เหลือเพียง 1.78 และทำให้ SET* มีค่าลดลง 1.59 ^{o}C หรือคิดเป็น 23.2% และ 5.4% ตามลำดับ นอกจากนี้ยังสามารถหน่วงเวลาที่ PMV มีค่าสูงสุดออกไปได้ 1 ชั่วโมง

12. การเพิ่มความหนาของฉนวนบนฝ้าเพดานทำให้ความสุขสบายเชิงความร้อนดีขึ้นในอัตราที่ลดลง โดยพบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่า PMV และ SET* ซึ่งเกิดจากการติดตั้งฉนวนความหนา 3″ แทนความหนา 2″ มีค่าน้อยกว่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อเปลี่ยนความหนาของฉนวนความร้อนจาก 1″ เป็น 2″

13. การติดตั้งระบบระบายความร้อนในห้องใต้หลังคามีผลต่อความสุขสบายเชิงความร้อนไม่มากนัก การระบายอากาศมีผลต่อความสุขสบายเชิงความร้อนมากขึ้นเมื่อระบายอากาศออกจากหลังคาด้วยอัตราสูงขึ้นโดยพบว่าหากระบายอากาศออกจากระบบหลังคาด้วยอัตรา 30 ACH จะทำให้ PMV ลดลงเหลือ 2.09 โดยที่ SET* มีค่าลดลง 0.18 ^{o}C หรือลดลง 10% และ 1.3% เมื่อเทียบกับกรณีพื้นฐาน นอกจากนี้ยังทำให้ความไม่สมมาตรของอุณหภูมิการแผ่รังสีในแนวตั้งฉากยังลดลงจาก 4.7 เหลือ 3.95 ซึ่งคิดเป็น 15.9 %

14. เมื่อติดตั้งกันสาด ช่องเปิด อุปกรณ์บังเงา และฉนวนความร้อนเข้าไปในบ้านจำลองกรณีพื้นฐานจะทำให้ความสุขสบายเชิงความร้อนดีขึ้นอย่างมากโดยพบว่าบ้านจำลองสามารถทำให้ผู้อยู่อาศัยมีความสุขสบายเชิงความร้อนในช่วงเวลากลางคืนแต่อาจรู้สึกหนาวบ้างเป็นบางครั้งในช่วงตั้งแต่เวลา 3:00 น. ถึง 7:00 น. สำหรับในกรณีที่นำบ้านจำลองดังกล่าวมาใช้งานช่วงเวลากลางวันแล้วความรู้สึกเชิงความร้อนที่ได้รับจะเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาลดังจะเห็นได้จากผลการคำนวณซึ่งทำให้ทราบว่าผู้อยู่อาศัยยังคงมีความสุขสบายตลอดฤดูหนาว ซึ่งก็คือช่วงระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนกุมภาพันธ์ แต่ในช่วงเวลาที่เหลือโดยเฉพาะช่วงระหว่างเดือนมีนาคมถึงเดือนกรกฎาคมแล้วผู้อยู่อาศัยจะไม่สุขสบายเป็นส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตามบ้านจำลองที่ติดตั้งครบทุกอุปกรณ์สามารถทำให้ค่า PMV ลดลงจาก 2.32 เหลือเพียง 1.35 โดยที่ SET* มีค่าลดลง 1.61 ^{o}C หรือคิดเป็น 41.8% และ 5.4% เมื่อเทียบกับบ้านกรณีพื้นฐานทั้งๆ ที่ใช้งานอยู่ในช่วงเวลากลางวันเพียงอย่างเดียว ยิ่งไปกว่านั้นค่า PMV อาจลดลงจากกรณีพื้นฐานเหลือ 0.4 และ SET* ลดลงถึง 3.35 ^{o}C ซึ่งคิดเป็น 82.8% และ 11.4% หากใช้งานเฉพาะช่วงเวลากลางคืน

15. การนำบ้านจำลองกรณีติดตั้งครบทุกอุปกรณ์ไปใช้เพื่อการอยู่อาศัยในเวลากลางคืนควรจัดให้บ้านวางตัวอยู่ในทิศตามตะวันโดยพบว่าการวางบ้านจำลองดังกล่าวตามแนวขวางตะวันทำให้ค่า PMV เปลี่ยนแปลงไปจาก 0.4 มาเป็น 0.79 และ SET* เพิ่มขึ้น 1.03 ^{o}C ซึ่งคิดเป็น 97.5% และ 3.9% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามหากนำบ้านจำลองหลังนี้มาใช้เฉพาะช่วงเวลากลางวันแล้วสามารถกำหนดบ้านให้ตั้งอยู่ในทิศใดก็ได้แต่แนะนำว่าควรอยู่ในทิศตามตะวัน

เนื่องจากค่า PMV อาจเพิ่มขึ้นจาก 1.35 มาเป็น 1.79 โดย SET* เพิ่มขึ้น 0.51 ^{o}C หรือคิดเป็น 1.78% และ 1.8% หากบ้านจำลองมีทิศขวางตะวัน

ข้อเสนอแนะ

จากสมมุติฐานของการคำนวณสมดุลความร้อนของอากาศที่พิจารณาว่าอากาศภายในโซนควบคุมมีอุณหภูมิสม่ำเสมอและอยู่ในสภาวะเกือบคงที่ทำให้ค่าอุณหภูมิอากาศที่บริเวณใกล้เคียงกับหลังคาและที่กึ่งกลางห้องมีค่าเท่ากันซึ่งไม่สอดคล้องกับความเป็นจริงเท่าไรนัก เมื่อโซนควบคุมได้รับความร้อนจากแหล่งความร้อน อากาศภายในโซนควบคุมที่อยู่ใกล้กับแหล่งพลังงานจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นและลอยตัวขึ้นสู่เบื้องบนจึงทำให้เกิดชั้นของอากาศ หากโซนควบคุมมีการจัดการกับรอยรั่วซึมที่ตำแหน่งต่างๆ อย่างดีแล้วอากาศที่แบ่งออกเป็นสองชั้นอันเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของอุณหภูมิสามารถผสมกันเป็นเนื้อเดียวได้ใหม่ แต่ในความเป็นจริงแล้วรอยรั่วซึมปรากฏอยู่ทั่วไปในโซนควบคุมไม่ว่าจะเป็น 1.บริเวณรอยต่อของกระเบื้องมุงหลังคา 2.รอยรั่วซึมตามประตูหน้าต่าง 3.ช่องโหว่บนฝ้าเพดานหรือ 4.บริเวณรอยต่อของกำแพงสำเร็จรูปต่างๆ จึงทำให้อากาศภายในโนควบคุมไม่ได้รวมกันเป็นเนื้อเดียวอย่างสมบูรณ์เนื่องจากชั้นของอากาศที่มีอุณหภูมิสูงสามารถถ่ายเทออกสู่สิ่งแวดล้อมก่อนที่อากาศภายในโซนจะผสมกันอย่างสมบูรณ์ ดังนั้นการพิจารณาว่าอากาศในบริเวณควบคุมมีอุณหภูมิสม่ำเสมอ (กล่าวคืออากาศภายในโซนเกิดการผสมกันอย่างสมบูรณ์ก่อนถ่ายเทออกสู่สิ่งแวดล้อม) จะทำให้การวิเคราะห์เกิดความผิดพลาดขึ้นได้โดยเฉพาะอย่างยิ่งการพิจารณาบ้านจำลองที่มีมุมหลังคาสูงๆ อาทิเช่น บ้านทรงไทยหรืออุโบสถ

เพื่อให้ผลการวิเคราะห์มีความถูกต้องแม่นยำขึ้นกระบวนการทาง CFD (Computational Fluid Dynamic) อาจนำมาประยุกต์ใช้ซึ่งทำให้ทราบถึงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนตัวของอากาศภายในบริเวณควบคุม อย่างไรก็ตามการคำนวณด้วยวิธีการทาง CFD ยังถูกจำกัดด้วยเงื่อนไขของหน่วยความจำและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ ทั้งนี้เนื่องจากการวิเคราะห์สมดุลความร้อนมีความจำเป็นต้องพิจารณาถึงการถ่ายเทความร้อนตลอดทั้ง 24 ชั่วโมงพร้อมกัน จึงทำให้การวิเคราะห์โดยวิธี CFD ซึ่งพิจารณาถึงรายละเอียดในแต่ละชั่วขณะเวลาเป็นไปด้วยความยากลำบาก เพราะฉะนั้นควรมีการวิจัยเพื่อหาระเบียบวิธีใหม่ที่สามารถวิเคราะห์ถึงการเคลื่อนตัวของอากาศตลอดทั้ง 24 ชั่วโมงโดยไม่จำเป็นต้องพิจารณาถึงรายละเอียดในแต่ละเสี้ยววินาทีเพื่อมาสนับสนุนการคำนวณด้วยวิธีสมดุลความร้อนให้จงได้

อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้วิเคราะห์ถึงความสุขสบายเชิงความร้อนที่เปลี่ยนแปลงไปอันเกิดจากกันสาด ช่องเปิด รวมถึงอุปกรณ์กันความร้อนต่างๆ ที่ติดตั้งเข้าไปในบ้านจำลองกรณีพื้นฐานโดยไม่ทำการพิจารณาถึงผลกระทบจากรูปทรงของระบบหลังคาที่แปรเปลี่ยนไป จึงทำให้ผลการวิจัยสามารถแสดงถึงแนวโน้มของภาวะสบายเชิงความร้อนของผู้อยู่อาศัยภายในบ้านจำลองกรณีต่างๆได้อย่างถูกต้องและเป็นแนวทางในการปรับปรุงภาวะเชิงความร้อนของอาคารให้แก่วิศวกร สถาปนิก รวมถึงบุคคลที่เกี่ยวข้องตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยได้เป็นอย่างดี