หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

การปรับปรุงบ้านให้มีความสุขสบายเชิงความร้อนและเหมาะสมต่อการอยู่อาศัยเป็นปัญหาที่วิศวกรและสถาปนิกต้องประสบตลอดมา ทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มภาวะความสบายของอาคารที่อยู่อาศัยก็คือการใช้ประโยชน์จากเครื่องปรับอากาศ แต่จากกระแสความตื่นตัวเกี่ยวกับการอนุรักษ์ระบบนิเวศน์วิทยาของโลกอันเกิดจากวิกฤตการณ์โลกร้อนรวมถึงความตื่นตัวในเรื่องของการอนุรักษ์พลังงานทำให้บุคคลที่เกี่ยวข้องมีความคิดที่จะลดปริมาณการใช้เครื่องปรับอากาศลง ด้วยเหตุนี้โครงการต่างๆเกี่ยวกับบ้านประหยัดจึงได้ถือกำเนิดขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้ผู้อยู่อาศัยภายในมีความสุขสบายเชิงความร้อนและใช้เครื่องปรับอากาศให้น้อยที่สุด หากแต่ว่าบทสรุปของโครงการได้กล่าวเพียงรูปแบบของอาคารและแนวทางการออกแบบเท่านั้นโดยไม่มีผลการคำนวณรวมถึงค่าดัชนีความสุขสบายที่ผู้อยู่อาศัยได้รับมาประกอบผลการวิจัยหรือไม่ก็ทำการพิจารณาเพียงผิวเผินเท่านั้น ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้จะนำเสนอวิธีการประเมินภาวะสบายเชิงความร้อนในอาคารซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ในการคำนวณและมีดัชนีสบายมาอ้างอิง นอกจากนี้งานวิจัยยังทำการศึกษาผลของช่องเปิด กันสาด อุปกรณ์บังเงารวมทั้งฉนวนความร้อนที่มีต่อภาวะสบายของอาคารเพื่อเป็นแนวทางต่อการปรับปรุงอาคารให้เหมาะสมต่อการอยู่อาศัยมากขึ้น

พารามิเตอร์ที่มีผลต่อความสุขสบายเชิงความร้อนแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่พารามิเตอร์ทางสิ่งแวดล้อมกับพารามิเตอร์ของแต่ละบุคคล พารามิเตอร์ทางสิ่งแวดล้อมได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (T_a) อุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ย (T_{mrt}) ความเร็วอากาศ (v) และความชื้นสัมพัทธ์ (Rh) รูปทรงและโครงสร้างของอาคารมีผลโดยตรงต่อพารามิเตอร์เหล่านี้ หากผนังของอาคารมีค่าการนำความร้อนและค่าความจุความร้อนสูงจะทำให้อากาศภายในอาคารมีอุณหภูมิสูงและทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกร้อนอันเป็นผลมาจากการถ่ายเทความร้อนสัมผัส นอกจากนี้การที่ผนังนำความร้อนและกักเก็บความร้อนเอาไว้เป็นผลให้อุณหภูมิของผนังเพิ่มสูงขึ้น การที่อุณหภูมิของผนังเพิ่มขึ้นทำให้ความร้อนจากอาคารถ่ายเทเข้าสู่ผู้อยู่อาศัยผ่านการแผ่รังสีความร้อน ในขณะที่อุณหภูมิภายในอาคารเพิ่มขึ้น ลมสามารถทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกเย็นได้โดยระบายความร้อนออกจากร่างกายและระบายความร้อนของอาคารสู่สิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามลมอาจนำความร้อนของสิ่งแวดล้อมเข้าสู่อาคารได้เช่นกัน พารามิเตอร์ทางสิ่งแวดล้อมตัวสุดท้ายคือความชื้นสัมพัทธ์นั้นมีผลต่อความ

สุขสบายเชิงความร้อนผ่านการถ่ายเทความร้อนแฝง หากอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูงจะลดการระเหยของเหงื่อออกจากร่ายกาย ในทางกลับกันถ้าอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำแล้วเหงื่อจะระเหยออกจากร่ายกายได้ดีขึ้นและทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกเย็น อิทธิพลของอาคารที่มีต่อพารามิเตอร์ทางสิ่งแวดล้อมทั้ง 4 ตัวแสดงในรูป 1.1

จากรูป 1.1 ดวงอาทิตย์ส่งผ่านการแผ่รังสีตรง การแผ่รังสีกระจาย การแผ่รังสีสะท้อนเข้าสู่อาคาร การแผ่รังสีทั้ง 3 ชนิดซึ่งรวมเรียกว่าการแผ่รังสีอาทิตย์คลื่นสั้นสามารถเข้าสู่ห้องพักได้ทั้งทางตรงและทางอ้อมโดยผ่านการนำความร้อนผ่านผนัง นอกจากรังสีคลื่นสั้นจากดวงอาทิตย์แล้วสิ่งแวดล้อมรอบตัวอาคารยังส่งผ่านรังสีความร้อนที่เรียกว่าการแผ่รังสีคลื่นยาวเข้าสู่อาคารอีกด้วย การแผ่รังสีคลื่นยาวและคลื่นสั้นทำให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องและอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยที่คำนวณได้จากอุณหภูมิของแต่ละพื้นผิวมีค่าเปลี่ยนแปลงไป การที่อุณหภูมิทั้งสองชนิดซึ่งเป็นหนึ่งในพารามิเตอร์ทางสิ่งแวดล้อมมีค่าเปลี่ยนแปลงไปนั้นย่อมทำให้ความรู้สึกเชิงความร้อนของผู้อยู่อาศัยเปลี่ยนแปลงเช่นกัน เพราะเหตุนี้การติดตั้งกันอุปกรณ์บังเงาให้แก่อาคารซึ่งสามารถป้องกันการแผ่รังสีตรงจากดวงอาทิตย์และการติดตั้งฉนวนความร้อนซึ่งป้องกันการนำความร้อนผ่านผนังจึงมีผลต่อความสุขสบายเชิงความร้อนของผู้อยู่อาศัย ในกรณีที่อาคารมีการเจาะช่องเปิดหรือมีรอยรั่วซึมเกิดขึ้นอากาศภายนอกจะถ่ายเทเข้าสู่อาคารผ่านการระบายอากาศและลมรั่วเข้าห้อง การถ่ายเทอากาศที่เกิดขึ้นสามารถนำความร้อนและความชื้นออกจากหรือเข้าสู่ห้องและยังเป็นเหตุให้เกิดลมพัดผ่านผู้อยู่อาศัย เมื่อพิจารณารูป 1.1 จะเห็นว่าบุคคลที่อยู่ในห้องได้รับความร้อนจากอาคารผ่านการแผ่รังสีจากผนัง ความร้อนแฝงจากอากาศและการพาความร้อน การที่ลมพัดผ่านเข้าสู่ห้องจึงทำให้ผู้อยู่อาศัยสามารถถ่ายเทความร้อนเข้าสู่หรือออกจากร่างกายได้ เพราะฉะนั้นการเจาะช่องเปิดจึงมีผลต่อความสุขสบายเชิงความร้อนของผู้อยู่อาศัย ยิ่งไปกว่านั้นลมที่พัดผ่านอาคารยังช่วยระบายความร้อนออกจากอาคารและทำให้อาคารอยู่ในสมดุลความร้อน

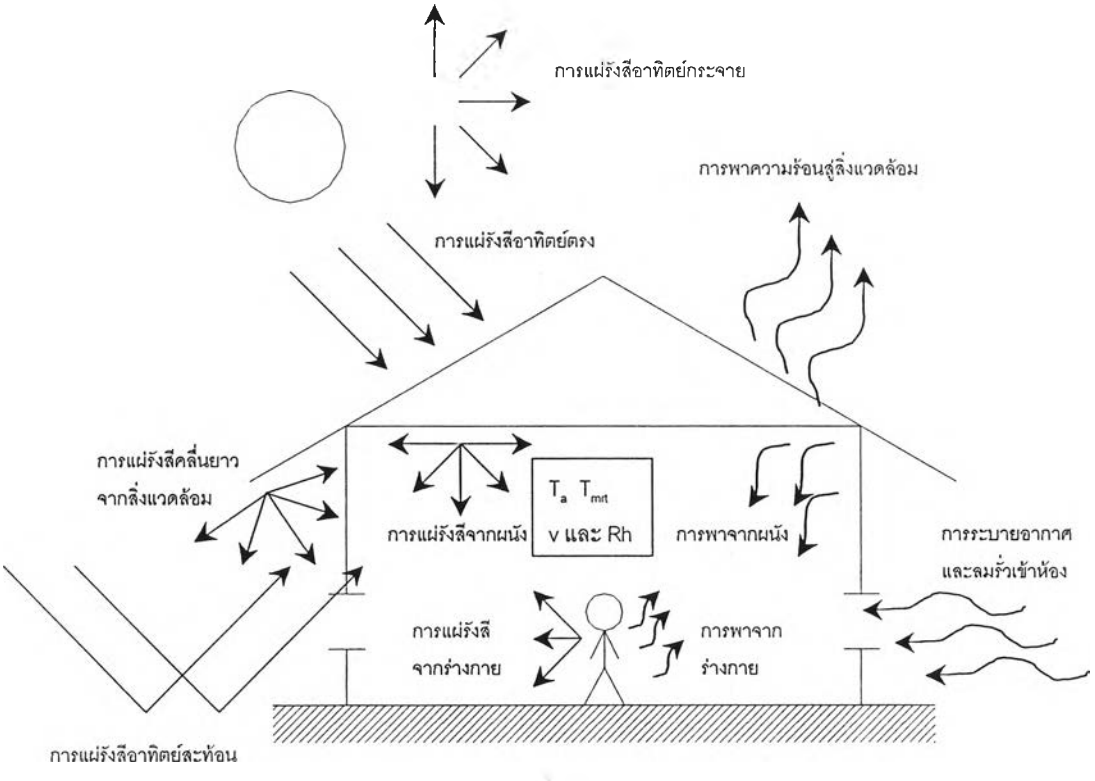
พารามิเตอร์ที่มีผลต่อภาวะสบายอีกกลุ่มนั่นคือพารามิเตอร์บุคคลอันได้แก่อัตราการเผาผลาญพลังงาน (M) งานที่ทำ (W) และความเป็นฉนวนของเสื้อผ้า (I_{cl}) ค่าอัตราการเผาผลาญพลังงานคือพลังงานที่เกิดจากการสันดาปของร่างกายในแต่ละกิจกรรม พลังงานที่เกิดขึ้นจะเปลี่ยนเป็นความร้อนและสะสมอยู่ในร่างกาย หากร่างกายไม่สามารถระบายความร้อนดังกล่าวออกไปได้จะทำให้อุณหภูมิของร่างกายเพิ่มขึ้นและรู้สึกไม่สบาย ความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าซึ่งเป็นพารามิเตอร์ของแต่ละบุคคลตัวที่สองมีอิทธิพลต่อการระบายความร้อนออกจากร่างกาย ถ้าเสื้อผ้ามีความเป็นฉนวนมากเกินไปจะทำให้ความร้อนถ่ายเทออกจากร่างกายไม่ดีจึงทำให้รู้สึกร้อน ใน

ทางกลับกันถ้าเสื้อผ้ามีความเป็นฉนวนไม่พอแล้วความร้อนจะถ่ายเทออกสู่ภายนอกมากเกินไป และทำให้รู้สึกหนาวได้ ส่วนงานที่ทำนั้นหมายถึงงานที่เกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อโดยนำพลังงานที่สันดาปได้มาใช้ แต่จากการที่ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของร่างกายมีค่าต่ำมากโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 5% ถึง 10% จึงทำให้งานที่กระทำโดยกล้ามเนื้อในกิจกรรมทั่วๆ ไปมีค่าเป็นศูนย์

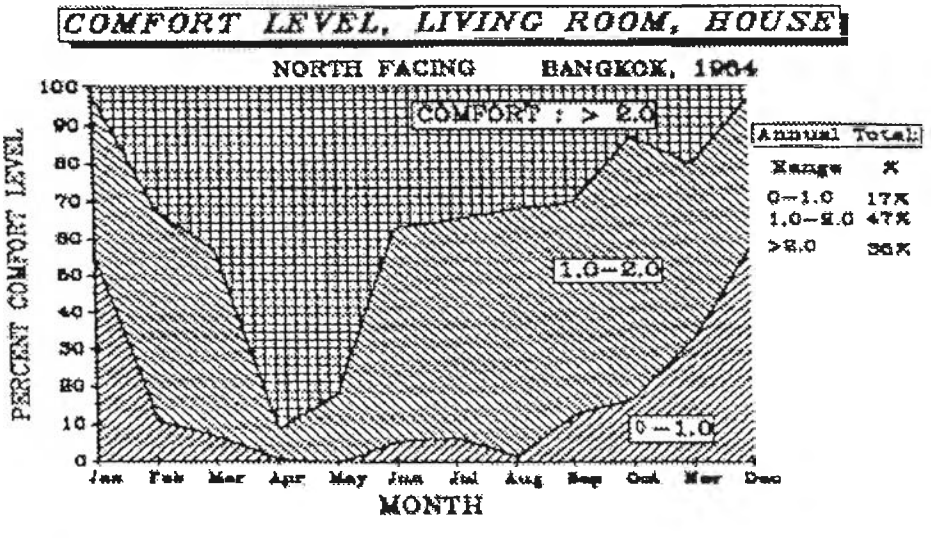
การประเมินความสุขสบายเชิงความร้อนที่ได้รับจากอาคารเริ่มต้นจากการกำหนดพารามิเตอร์ของแต่ละบุคคลเพื่อบ่งบอกถึงกิจกรรมและลักษณะการแต่งตัวของผู้อยู่อาศัยในอาคาร ส่วนพารามิเตอร์สิ่งแวดล้อมอันได้แก่อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์และความเร็วอากาศถูกคำนวณด้วยระเบียบวิธีสมดุลความร้อนโดยวิเคราะห์สมดุลความร้อนของอาคารตลอดทั้ง 24 ชั่วโมงซึ่งมีความจำเป็นต้องพิจารณาทั้งการนำความร้อนผ่านผนัง การแผ่รังสีคลื่นยาว การแผ่รังสีคลื่นสั้นและการพาความร้อน จากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีสมดุลความร้อนทำให้ทราบถึงค่าพารามิเตอร์ทางสิ่งแวดล้อมทั้ง 3 ตัวรวมทั้งอุณหภูมิที่แต่ละพื้นผิว ส่วนค่าอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยซึ่งเป็นพารามิเตอร์ตัวสุดท้ายที่ยังไม่ทราบค่าจะคำนวณได้จากค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิพื้นผิวเหล่านี้ถ่วงน้ำหนักด้วยตัวประกอบเชิงมุมระหว่างผู้อาศัยกับพื้นผิวนั้นๆ

เมื่อทราบค่าพารามิเตอร์ทางสิ่งแวดล้อมและพารามิเตอร์บุคคลแล้วจึงสามารถวิเคราะห์ถึงความสุขสบายเชิงความร้อนได้โดยใช้ดัชนีสบาย ดัชนีสบายสามารถแบ่งออกได้เป็นสองประเภทคือดัชนีสบายที่อยู่ในภาวะสถานะคงตัวกับดัชนีสบายที่คำนวณจากแบบจำลองสองจุด (2-node model, 2NM) ดัชนีสบายในภาวะสถานะคงตัวได้แก่ PMV (Predicted Mean Vote) และ PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) PMV แสดงถึงค่าผลการลงมติเฉลี่ยของประชากรต่อความรู้สึกเชิงความร้อนที่ได้รับจากสิ่งแวดล้อม สำหรับ PPD นั้นแสดงถึงค่าทำนายร้อยละของบุคคลซึ่งไม่พอใจเชิงความร้อน ณ PMV แต่ละค่า ส่วนแบบจำลอง 2NM คือแบบจำลองที่คำนวณภาวะทางกายภาพซึ่งได้รับความเครียดเชิงสรีรวิทยาจากสิ่งแวดล้อม ดัชนีสบายที่คำนวณด้วยแบบจำลอง 2NM ได้แก่ ET* (Effective Temperature), SET* (Standard Effective Temperature), DISC (Thermal Discomfort) และ TSENS (Thermal Sensation) ET* คืออุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ณ ความชื้นสัมพัทธ์ 50% ที่ทำให้บุคคลมีการถ่ายเทความร้อนเท่ากับที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อมจริง ส่วน SET* ก็คือ ET* ซึ่งคำนวณค่าอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมมาตรฐานโดยใช้บุคคลมาตรฐาน (บุคคลที่สวมเสื้อผ้ามาตรฐานภายใต้กิจกรรมที่ระบุ) ดังนั้นการพิจารณาถึงค่า SET* จะสามารถเปรียบเทียบความร้อนระหว่างสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกันได้ แต่ก็มีข้อจำกัดตรงที่ผลการคำนวณนั้นพิจารณาจากบุคคลมาตรฐาน สำหรับ DISC และ TSENS จะเป็นดัชนีที่ได้จากการทดลองโดย DISC แสดงถึงค่าทำนายผลการลงมติบนหน่วยวัดความไม่สบายเชิงความร้อน แต่

TSENS แสดงถึงค่าทำนายผลการลงมติบนหน่วยวัดความรู้สึกเชิงความร้อน ค่าเฉลี่ยของดัชนีสบายซึ่งคำนวณจากรูปทรงและโครงสร้างอาคารโดยอ้างอิงถึงข้อมูลอากาศรายชั่วโมงจริงตลอดระยะเวลา 1 ปีจะบ่งบอกถึงความสุขสบายเชิงความร้อนของผู้อยู่อาศัยส่วนใหญ่ที่มีต่ออาคารได้



รูป 1.1 อิทธิพลของอาคารที่มีต่อพารามิเตอร์ทางสิ่งแวดล้อม



รูป 1.2 ค่า PMV ในห้องนั่งเล่นที่คำนวณตลอดระยะเวลา 1 ปี

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูป 1.2 เป็นผลการคำนวณค่า PMV ภายในห้องนั่งเล่นโดยอ้างอิงจากข้อมูลอากาศของกรุงเทพมหานครในรอบ 1 ปีซึ่งคำนวณมาจากงานวิจัยเรื่อง " *Simulation of natural ventilation in three types of public buildings in Thailand* " ของ Boon-Long, P. et al. ภาควิชาเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ การคำนวณอาศัยข้อมูลอากาศในปี พ.ศ. 2527 มาเป็นข้อมูลเริ่มต้นและกำหนดเงื่อนไขต่างๆ ดังนี้

- อุณหภูมิและความชื้นภายในมีค่าเท่ากับสภาพแวดล้อมภายนอก
- ไม่พิจารณาผลของภาระความร้อน เช่น การแผ่รังสีความร้อนจากเพดาน การเก็บความร้อนที่ผนังและการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์
- ความเร็วลมในอาคารมีค่าไม่เกิน 1 m / s
- ความเป็นฉนวนของเสื้อผ้ามีค่า 0.5 clo[1]
- ระดับกิจกรรมมีค่า 1 met[2]
- คนจะอยู่ในห้องนั่งเล่นเวลา 8:00 น. ถึง 21:00 น.

การวิเคราะห์ความสุขสบายเชิงความร้อนของผู้อยู่อาศัยในงานวิจัยดังกล่าวใช้โปรแกรมสำเร็จรูปชื่อ ESPAIR โดยมิได้พิจารณาผลของภาระความร้อนของอาคาร ดังนั้นอุณหภูมิอากาศภายในห้องและอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยภายในห้องนั่งเล่นที่ใช้เป็นแบบจำลองจึงไม่ตรงกับสภาพแวดล้อมจริงภายในห้อง จึงส่งผลให้ค่าดัชนีความสุขสบาย PMV ที่ได้มีความแม่นยำในระดับหนึ่งเท่านั้น

งานวิจัยนี้พิจารณาผลของภาระความร้อนที่เกิดขึ้นกับแบบจำลองอาคารโดยใช้ข้อมูลอากาศรายชั่วโมงของกรุงเทพมหานครในปี พ.ศ. 2536 ซึ่งได้รับจากกรมอุตุนิยมวิทยา (2544) จึงทำให้ผลการคำนวณพารามิเตอร์ทางสิ่งแวดล้อมมีความถูกต้องแม่นยำ ดัชนีสบายตัวอื่นที่ใช้วิเคราะห์นอกเหนือจาก PMV ได้แก่ ET* SET* T_o TSENS และ DISC ดัชนีเหล่านี้ถูกนำมาวิเคราะห์ความสุขสบายร่วมกับค่า PMV เพื่อวิเคราะห์ความสุขสบายเชิงความร้อนที่ผู้อยู่อาศัยมีต่ออาคารได้อย่างถูกต้อง

---

[1] clo หมายถึง หน่วยวัดความเป็นฉนวนของเสื้อผ้าโดย 1 clo มีค่าเท่ากับ 0.155 m^2 K / W

[2] met หมายถึง หน่วยวัดอัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกายโดย 1 met มีค่าเท่ากับ 58.2 W / m^2

ภายในงานวิจัยมีการศึกษาอิทธิพลของส่วนประกอบในบ้านที่มีต่อความสุขสบายของผู้อยู่อาศัยโดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของดัชนีความสุขสบาย ตัวแปรที่เกี่ยวกับองค์ประกอบของบ้านซึ่งทำการศึกษา ประกอบด้วย ลักษณะของหลังคา ลักษณะของช่องเปิด ทิศทางอาคารและโครงสร้างของผนังรวมถึงระบบหน้าต่างจะถูกปรับเปลี่ยนไปในแต่ละกรณี อาคารที่ใช้ในการพิจารณาเป็นอาคารสมมุติที่มีชั้นเดียวและห้องเดียวซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงแต่ละตัวแปรที่กล่าวมาได้อย่างอิสระ ดังนั้นค่าดัชนีสบายเฉลี่ยที่ได้มาจากการวิเคราะห์อาคารจำลองดังกล่าวร่วมกับข้อมูลอากาศรายชั่วโมงจริงจะทำให้ทราบถึงอิทธิพลของส่วนประกอบต่างๆ ในอาคารที่มีต่อความสุขสบายเชิงความร้อนของผู้อยู่อาศัย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเชิงวิเคราะห์ถึงผลกระทบของส่วนประกอบของบ้านที่ไม่ใช้เครื่องปรับอากาศต่อความสุขสบายเชิงความร้อนของผู้อยู่อาศัยโดยใช้ดัชนีความสุขสบายเชิงความร้อนเป็นเกณฑ์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตและการดำเนินงานของการวิจัยสามารถสรุปเป็นข้อๆ ได้ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาทฤษฎีและองค์ประกอบต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อความสุขสบายเชิงความร้อน
2. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการคำนวณค่าพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงสภาพความสุขสบายเชิงความร้อน
3. ประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการบ่งบอกถึงความสุขสบายจากข้อมูลอากาศรายชั่วโมงตลอดปี
4. นำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้มาศึกษาเชิงวิเคราะห์เกี่ยวกับองค์ประกอบของอาคารที่อยู่อาศัยซึ่งใช้เป็นแบบจำลองอันส่งผลต่อพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงภาวะสบายเชิงความร้อน

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

เมื่อทำการวิจัยเสร็จสิ้นประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยคือ

1. ทำให้ทราบถึงผลกระทบของกันสาดและช่องเปิดในบ้านซึ่งไม่ใช้เครื่องปรับอากาศที่มีต่อความสุขสบายเชิงความร้อนของผู้อยู่อาศัย
2. สามารถใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงอาคารให้เหมาะสมสำหรับการอยู่อาศัยมากขึ้น

3. สามารถเป็นตัวอย่างการวิเคราะห์ความสุขสบายเชิงความร้อนที่มีความแม่นยำมากขึ้นแก่วิศวกรและผู้เกี่ยวข้องซึ่งทำงานอยู่ในสาขานี้

1.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.1 งานวิจัยเกี่ยวกับความสุขสบายเชิงความร้อน

Fanger, P.O. (1970) ศึกษาพารามิเตอร์ทางสิ่งแวดล้อมและพารามิเตอร์ของแต่ละบุคคลที่ก่อให้เกิดความสุขสบายเชิงความร้อนอย่างจริงจังเป็นครั้งแรกและได้ตั้งสมมุติฐานว่าความสุขสบายเชิงความร้อนของแต่ละบุคคลจะเกิดได้ก็ต่อเมื่อบุคคลนั้นอยู่ในสมดุลความร้อนกับสิ่งแวดล้อม สมมุติฐานดังกล่าวได้นำไปสู่สมการความสุขสบาย (comfort equation) นอกจากนี้งานวิจัยดังกล่าวยังได้กำหนดพารามิเตอร์ที่บ่งบอกความรู้สึกทางความร้อนของบุคคลต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งได้แก่ค่า PMV และ PPD เป็นครั้งแรกด้วย สมการความสุขสบายรวมถึงพารามิเตอร์ทางสิ่งแวดล้อมที่ Fanger กำหนดขึ้นได้นำมาใช้เป็นแบบอย่างและมาตรฐานในการวิเคราะห์ความสุขสบายเชิงความร้อนของแต่ละบุคคลในงานวิจัยอื่นต่อมา สำหรับผลการวิจัยในครั้งนี้ได้คำนวณดัชนีสบาย PMV และ PPD ตามที่ Fanger ได้แสดงไว้ทุกประการ

ASHRAE (1981) ได้ทำการกำหนดมาตรฐานทางสิ่งแวดล้อมที่ทำให้ 80% ของผู้อยู่อาศัยสามารถรับสภาพความร้อนของสิ่งแวดล้อมที่อยู่รอบข้างได้ พร้อมกันนี้ยังกำหนดช่วงอุณหภูมิที่ก่อให้เกิดความสุขสบายในฤดูร้อนและฤดูหนาวซึ่งสอดคล้องกับลักษณะการแต่งตัวของประชากรในสหรัฐอเมริกาขึ้น พารามิเตอร์สำคัญที่มาตรฐานดังกล่าวกำหนดก็คือ T_o (Operative temperature) และ ET* (Effective temperature) ค่าพารามิเตอร์ทั้งสองค่าจะใช้ในการกำหนดสภาพสิ่งแวดล้อมที่ทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกสุขสบายเชิงความร้อนควบคู่ไปกับค่า PMV และ PPD นอกจากนี้มาตรฐานดังกล่าวยังทำการวิเคราะห์ถึงสภาพสิ่งแวดล้อมที่อาจทำให้เกิดความไม่สุขสบายเฉพาะจุดขึ้นทั้งๆ ที่สภาพสิ่งแวดล้อมโดยรวมอยู่ในช่วงที่ก่อให้เกิดความสุขสบาย รวมทั้งให้คำแนะนำถึงวิธีการตรวจวัดพารามิเตอร์ทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ความสุขสบายเชิงความร้อน มาตรฐานที่ ASHRAE สร้างขึ้นถูกนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการบ่งชี้ถึงภาวะสบายของแบบจำลองอาคารที่งานวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษา

Gagge, A.P. (1986) ได้นำเสนอถึงแนวความคิดเกี่ยวกับดัชนีของอุณหภูมิและความรู้สึกทางความร้อนของผู้อยู่อาศัยที่ได้รับการพัฒนาโดยนักวิจัยต่างๆ ตลอดระยะเวลา 60 ปี คำจำกัดความและความสัมพันธ์ของค่า SET* ET* PMV และ DISC ได้ถูกนำมาอภิปรายและชี้ให้

เห็นถึงข้อดีข้อเสียของดัชนีแต่ละตัว นอกจากนี้ยังมีการนำเสนอถึงค่า PMV ที่ได้รับการปรับปรุงใหม่ซึ่งมีชื่อว่า PMV* ที่สามารถตอบสนองต่อความชื้นสัมพัทธ์และอิทธิพลของความเร็วลมได้มากกว่าค่า PMV เดิมของ Fanger ซึ่งตั้งอยู่บนพื้นฐานของสมดุลความร้อนที่ร่างกายได้รับเพียงอย่างเดียว ยิ่งไปกว่านั้นในตอนท้ายของบทความซึ่งนำเสนองานวิจัยดังกล่าวยังมีรายละเอียดของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณดัชนีทั้งหมดที่กล่าวถึงในบทความอีกด้วย

Boon-Long, P. et al. (1989) ได้ทำการศึกษาศักยภาพของการทำความเย็นเนื่องจากการระบายอากาศที่มีผลต่อความสุขสบายของผู้อยู่อาศัย งานวิจัยดังกล่าวได้ทำการวิเคราะห์ถึงความสบายของผู้อยู่อาศัยในอาคารมาตรฐานที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในประเทศไทยซึ่งได้แก่ อาคารของโรงเรียนรัฐบาล บ้านที่อยู่อาศัยและคลินิกแพทย์ที่ตั้งอยู่ใน 4 จังหวัดสำคัญคือ กรุงเทพมหานคร จ.เชียงใหม่ จ.ขอนแก่น และ จ.สงขลา โปรแกรมสำเร็จรูป ESPAIR ถูกนำมาใช้เพื่อวิเคราะห์การถ่ายเทอากาศแบบธรรมชาติโดยไม่พิจารณาถึงภาระความร้อนที่แต่ละอาคารได้รับ เพราะฉะนั้นงานวิจัยนี้จึงประมาณอุณหภูมิอากาศรวมถึงอุณหภูมิการแผ่รังสีเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในอาคารให้มีค่าเท่ากับสิ่งแวดล้อมภายนอกซึ่งได้มาจากข้อมูลอากาศในแต่ละจังหวัด การประมาณเช่นนี้ทำให้พารามิเตอร์ทางสิ่งแวดล้อมซึ่งมีผลต่อความสุขสบายเชิงความร้อนของผู้อยู่อาศัยไม่ใช่ค่าที่แท้จริงของอาคาร จึงทำให้ผลการคำนวณอาจจะไม่ใช่ความรู้สึกทางความร้อนที่ผู้อยู่อาศัยภายในห้องได้รับก็เป็นได้ อย่างไรก็ตามผลการวิจัยจะทำให้ทราบถึงผลกระทบของทิศทางอาคารซึ่งมีผลต่อความสุขสบายเชิงความร้อนอย่างคร่าวๆ ดังนั้นการวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะพัฒนาวิธีการประเมินภาวะสบายเชิงความร้อนสำหรับอาคารให้มีความแม่นยำขึ้นโดยพิจารณาภาระความร้อนจริงที่อาคารได้รับร่วมกับข้อมูลอากาศรายชั่วโมงจริง

Int-Hout, D. (1990) นำเสนอถึงโปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาเบสิคเพื่อคำนวณค่า ET* ซึ่งใช้ในมาตรฐาน Standard 55-1981 ของ ASHRAE (1981) เนื่องจากมาตรฐานดังกล่าวไม่ได้แสดงถึงโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ไว้ สมการความสัมพันธ์ที่ใช้ในการคำนวณภายในโปรแกรมจะอ้างอิงจาก ASHRAE (1989) นอกจากนี้บทความดังกล่าวได้อ้างอิงถึงงานวิจัยที่ระบุว่าค่า PMV เท่ากับศูนย์ซึ่งคำนวณโดยแบบจำลองของ Fanger นั้นไม่ได้ก่อให้เกิดภาวะความสุขสบายเชิงความร้อนสูงสุด พร้อมกันนี้ได้สร้างแบบจำลองเพื่อคำนวณค่า PMV ขึ้นใหม่โดยอาศัยสมดุลความร้อนระหว่างบุคคลกับสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามแบบจำลองที่สร้างขึ้นไม่ได้รับความนิยมเท่าที่ควรเนื่องจากขาดผลการทดลองที่สนับสนุนผลการคำนวณ แต่วิธีการคำนวณค่า ET* ที่นำเสนอในบทความนี้ได้เป็นแนวทางในการคำนวณให้แก่งานวิจัยได้

ASHRAE (1992/1995) ทำการปรับปรุงมาตรฐานซึ่งเคยเผยแพร่ไว้ในปี ค.ศ. 1981 ให้มีความทันสมัยมากขึ้น สาเหตุที่ทำให้มาตรฐานต่างๆ จำเป็นต้องได้รับการเปลี่ยนแปลงนั้นเนื่องมาจากลักษณะการแต่งกายที่เปลี่ยนแปลงไปตามสมัยนิยมและความรู้สึกพึงพอใจต่อสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป พร้อมกันนี้ยังพิจารณาสาเหตุที่ทำให้เกิดความไม่สุขสบายเชิงความร้อนเพิ่มเติมจากมาตรฐานฉบับที่แล้ว อาทิเช่น ความไม่พึงพอใจซึ่งเกิดจากความปั่นป่วนของลมเป็นต้น มาตรฐานฉบับปรับปรุงใหม่นี้เป็นมาตรฐานสากลที่ยอมรับกันทั่วไปในการวิเคราะห์ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับความสุขสบายเชิงความร้อนของผู้อยู่อาศัยภายใน ถึงแม้ว่ามาตรฐานที่ปรับปรุงใหม่จะไม่มีการศึกษาเกี่ยวกับความสุขสบายเชิงความร้อนของผู้อยู่อาศัยในภูมิประเทศแบบร้อนชื้นอย่างละเอียด แต่การวิจัยในครั้งนี้มีความจำเป็นต้องนำมาตรฐานดังกล่าวมาเป็นเกณฑ์อ้างอิงเนื่องจากไม่พบงานวิจัยที่สามารถใช้เป็นมาตรฐานในการพิจารณาความสุขสบายเชิงความร้อนของบริเวณที่มีภูมิประเทศแบบเดียวกับกรุงเทพมหานคร

1.5.2 งานวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์สมดุลความร้อน

Hittle, Douglas C. (1979) ทำการศึกษาและพัฒนาเทคนิคทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณภาระการทำความเย็นด้วยวิธีสมดุลความร้อน การศึกษามุ่งเน้นถึงการนำความร้อนที่ผ่านชั้นผนัง (multilayered slab) เป็นสำคัญ จากงานวิจัยดังกล่าวทำให้ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณฟังก์ชันการนำความร้อน (Conduction Transfer Function, CTF) ที่จำเป็นต่อการวิเคราะห์กระบวนการนำความร้อนผ่านผนังซึ่งเป็นหนึ่งในกระบวนการสำคัญของการคำนวณภาระการทำความเย็นด้วยระเบียบวิธีสมดุลความร้อน เพราะฉะนั้นงานวิจัยในครั้งนี้จึงสามารถวิเคราะห์การนำความร้อนผ่านชั้นผนังเพื่อนำมาคำนวณสมดุลความร้อนของอาคารได้

Hittle, Douglas C. (1983) ปรับปรุงวิธีค้นหารากของสมการเพื่อใช้คำนวณการไหลของความร้อนผ่านระบบผนังหลายชั้น ภายในงานวิจัยได้สรุปถึงกระบวนการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังรวมถึงระบบสมการที่ใช้ในการคำนวณ การวิเคราะห์ดังกล่าวมีความจำเป็นต้องทราบถึงคำตอบของสมการที่ได้จากการแปลงลาปลาซผกผันซึ่งอยู่ในรูปเมตริกการถ่ายโอน (transmission matrix) ประเด็นสำคัญที่ทำให้กระบวนการค้นหารากของสมการได้รับการพัฒนาขึ้นก็คือการค้นพบว่ารากของแต่ละฟังก์ชันที่ประกอบกันเป็นเมตริกการถ่ายโอนนั้นมีค่าไม่ซ้ำกัน แต่การจะหาค่าของรากใดรากหนึ่งได้มีความจำเป็นต้องหารากของทุกฟังก์ชัน จึงทำให้ Hittle นำวิธีค้นหาแบบเชิงเลขมาประยุกต์ใช้เพื่อคำนวณรากของสมการที่มีค่าใกล้กันมากและทำให้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในงานวิจัยไม่จำเป็นต้องใช้ช่วงการค้นหาที่เล็กเกินความจำเป็น

Pederson, C.O. (1997) แสดงรูปแบบของวิธีสมดุลความร้อนที่เหมาะสมต่อการคำนวณค่าภาระการทำความเย็นและสมมุติฐานต่างๆ ซึ่งใช้ร่วมกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ภายในงานวิจัยมีการอธิบายถึงภาพรวมของระเบียบวิธีสมดุลความร้อนและแสดงให้เห็นว่าสมดุลที่เกิดขึ้นในอาคารนั้นประกอบด้วยสมดุลความร้อนทั้ง 4 แห่งได้แก่สมดุลความร้อนที่ผนังด้านนอก สมดุลความร้อนที่ผนังด้านใน การนำความร้อนผ่านระบบผนังหลายชั้น และสมดุลความร้อนของอากาศภายในบริเวณควบคุม นอกจากนี้ในงานวิจัยได้ทำการสรุปข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการคำนวณรวมถึง pseudo-code ซึ่งใช้ในการวิเคราะห์สมดุลความร้อนของอาคารตัวอย่างอีกด้วย จากข้อมูลและ pseudo-code ที่ Pederson แสดงไว้ทำให้การวิจัยครั้งนี้สามารถพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวิเคราะห์ภาวะสบายเชิงความร้อนในอาคารให้สมบูรณ์แบบมากขึ้น

Liesen, R.J. (1997) ศึกษาและตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนภายในอาคารเพื่อใช้ในการคำนวณการทำความเย็นด้วยวิธีสมดุลความร้อน ภายในงานวิจัยมีการพิจารณาถึงการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการแผ่รังสีและการพาความร้อนของอากาศภายในปริมาตรควบคุม จากนั้นทำการศึกษาเชิงวิเคราะห์ถึงความถูกต้องของผลการคำนวณที่ได้จากแบบจำลองแต่ละแบบและพบว่าแบบจำลองที่เหมาะสมต่อการแผ่รังสีคลื่นยาวระหว่างพื้นผิว (longwave radiation exchange) ก็คือวิธี MRT Balance และวิธี MRT Net สำหรับการวิเคราะห์การแผ่รังสีคลื่นสั้น (shortwave radiation) ที่เกิดขึ้นภายในปริมาตรควบคุม Liesen แสดงให้เห็นว่าสมมุติฐานที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการคำนวณสมดุลความร้อนอันได้แก่ การฉายรังสีความร้อนแบบตรงไปสู่พื้นและการกระจายรังสีความร้อนคลื่นสั้นที่ได้จากแหล่งต่างๆ ไปสู่ทุกพื้นผิวอย่างสม่ำเสมอนั้นมีผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อค่าภาระความการทำความเย็นที่คำนวณได้ ด้วยเหตุนี้งานวิจัยครั้งนี้จึงนำระเบียบวิธี MRT Balance มาคำนวณการแผ่รังสีคลื่นยาวระหว่างพื้นผิวภายในโซน รวมทั้งยึดถือสมมุติฐานที่ใช้ในการคำนวณสมดุลความร้อนเป็นหลักในงานวิจัย

McClellan, T.M. (1997) ศึกษาและตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณภาระการทำความเย็นของการถ่ายเทความร้อนภายนอกอาคารซึ่งประกอบด้วยความร้อนจากการแผ่รังสีคลื่นสั้น (shortwave radiation) ความร้อนที่สูญเสียจากการพาความร้อน (convection) และความร้อนจากรังสีคลื่นยาว (longwave radiation) ที่เกิดขึ้นจากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับท้องฟ้าและพื้นดิน McClellan ได้นำเสนอถึงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์หลายแบบที่นำมาใช้งาน จากนั้นจึงศึกษาเชิงวิเคราะห์ถึงความถูกต้องของผลการคำนวณที่ได้จากแบบจำลองเหล่านั้นและพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่คำนวณจากแต่ละแบบจำลองมี

ผลกระทบเพียงเล็กน้อยต่อค่าภาระการทำความเย็นของอาคาร ในทางกลับกันอุณหภูมิพื้นผิวของอาคารที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงซึ่งมักจะไม่ได้รับการพิจารณาในขั้นตอนการคำนวณเท่าที่ควรนั้นมีผลกระทบอย่างมากต่อค่าภาระการทำความเย็น ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงหลีกเลี่ยงการวิเคราะห์ภาวะสบายของอาคารที่อยู่ใกล้กัน เนื่องจากวิธีการวิเคราะห์สมดุลความร้อนที่ใช้ในงานวิจัยไม่มีการพิจารณาถึงสภาพแวดล้อมรอบตัวอาคารในลักษณะดังกล่าว

สมบูรณ์ ติรสิทธิ์ (2543) ทำการศึกษาเชิงวิเคราะห์ถึงการถ่ายเทความร้อนผ่านระบบหลังคาที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในกรุงเทพมหานคร การวิเคราะห์จะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ภาษาฟอร์แทรนซึ่งสร้างขึ้นโดยอาศัยพื้นฐานเกี่ยวกับระเบียบวิธีสมดุลความร้อน งานวิจัยของสมบูรณ์จะมุ่งเน้นถึงพฤติกรรมและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่หลังคาซึ่งจะทำให้เข้าใจถึงกลไกที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนในบริเวณควบคุมผ่านรูปทรงหลังคาแบบต่างๆ ในกรุงเทพมหานครโดยพบว่ารูปทรงหลังคามีผลเพียงเล็กน้อยต่อการถ่ายเทความร้อน ดังนั้นงานวิจัยในครั้งนี้จึงไม่นำรูปทรงหลังคามาเป็นหนึ่งในตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณา

1.5.3 งานวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์การไหลของอากาศ

Klote, J.H. (1992) ทำการพัฒนาโปรแกรมที่มีชื่อว่า ASCOS ขึ้นเพื่อวิเคราะห์การทำงานของระบบป้องกันไฟโดยใช้พื้นฐานความคิดที่ว่าความแตกต่างของความดันระหว่างภายในกับภายนอกอาคารเป็นกลไกสำคัญที่ทำให้เกิดการถ่ายเทอากาศเข้าและออกจากตัวอาคาร สมการ Bernoulli จะนำมาใช้ในการทำนายพฤติกรรมของอากาศโดยมีค่าสัมประสิทธิ์การส่งออก (discharge coefficient) เป็นตัวแก้ไขเพื่อทำให้ผลการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับปรากฏการณ์จริงมากที่สุด ASCOS จะจำลองตัวอาคารด้วยเครือข่ายของบริเวณ (space) และ จุด (node) ซึ่งมีอุณหภูมิและความดันที่แตกต่างกัน ส่วนโถงบันไดและปล่องต่างๆ ถูกจำลองด้วยการเชื่อมต่อแบบอนุกรมในแนวดิ่ง โปรแกรมจะทำการคำนวณซ้ำไปเรื่อยๆ จนกว่าการไหลของอากาศที่แต่ละโซนจะสอดคล้องกับสมการความต่อเนื่อง (continuity equation) ต่อมาในภายหลังได้มีผู้นำโปรแกรมดังกล่าวมาใช้ในวิเคราะห์ปริมาณการไหลของอากาศผ่านตัวอาคารที่มีอยู่ทั่วไป งานวิจัยในครั้งนี้นำวิธีการวิเคราะห์การไหลของอากาศซึ่ง Klote ได้นำเสนอไว้มาประยุกต์เข้ากับการวิเคราะห์สมดุลความร้อนซึ่งจำเป็นต้องทราบค่าความเร็วอากาศภายในโซนก่อน จึงสามารถคำนวณพารามิเตอร์ทางสิ่งแวดล้อมได้โดยนำผลลัพธ์ดังกล่าวไปวิเคราะห์ภาวะสบายเชิงความร้อนของอาคารในขั้นตอนต่อไป