



รายงานการวิจัย

การระบายอากาศและทำความเย็นในอาคารด้วยระบบปล่องลมที่
ขับเคลื่อนด้วยพลังงานแสงแดด

(Ventilation and Cooling in Building Using Chimney
Driven by Solar Energy)

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

รองศาสตราจารย์ ทวิช จิตรสมบูรณ์

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ร่วมวิจัย

พรสวรรค์ ทองใบ

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2548

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

4 พฤษภาคม 2553

บทคัดย่อภาษาไทย

งานวิจัยได้วิเคราะห์ศักยภาพของระบบห้องหลังคาและปล่องแดดเพื่อการระบายอากาศแบบธรรมชาติภายในอาคารจำลอง ด้วยกรรมวิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computation Fluid Dynamics, CFD) โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์การไหลสำเร็จรูป ANSYS CFX ได้ประเมินผลกระทบจากความเข้มของแสงแดด และปัจจัยโครงสร้าง (geometry parameters) ที่ส่งผลต่ออัตราการไหลของอากาศ ได้แก่ การบานออกของพื้นที่หน้าตัดช่องทางไหล, มุมเอียงของหลังคา, ความกว้างของช่องอากาศ, ความสูงและขนาดของปล่องแดด, ตำแหน่งของปล่อง และตำแหน่งของช่องเปิด นอกจากนี้ยังศึกษาเส้นทางการไหล (flow path) และรูปแบบของหลังคาที่เหมาะสม การจำลองการไหลผ่านอาคารจำลองกระทำทั้งในสองมิติและสามมิติ โดยสมมติให้เป็นการไหลแบบมีความเสียด (frictional flow) เมช (mesh) ที่ใช้ในการคำนวณเป็นระบบเมชแบบไร้โครงสร้าง (unstructured-mesh) กำหนดแหล่งกำเนิดความร้อน (heat source) ขึ้นที่บริเวณห้องใต้หลังคาของอาคารเป็นปริมาณความร้อนต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (heat source per unit volume) ยังไม่พิจารณาถึงผลกระทบเนื่องจากความร้อนที่เกิดจากอุปกรณ์เครื่องใช้ที่อยู่ในอาคาร เช่น โทรทัศน์ ตู้เย็น เครื่องจักรกล เป็นต้น ผลลัพธ์จากงานวิจัยพบว่า อัตราการไหลของอากาศแปรผันตรงกับความเข้มของแสงแดด และเป็นฟังก์ชันของปัจจัยโครงสร้าง ในส่วนของปัจจัยโครงสร้างได้ผลดังนี้คือ ห้องหลังคาที่เป็นช่องขนานให้ผลดีกว่าห้องหลังคาแบบสามเหลี่ยม, การทำให้ช่องหลังคาบานออกสามารถเพิ่มอัตราการไหล, มุมเอียงของหลังคาที่เหมาะสมคือ 30° , ความสูงของปล่องและความกว้างของช่องหลังคาที่มากขึ้นสามารถเพิ่มอัตราการไหลได้ จากผลลัพธ์ที่ได้ทั้งหมดสามารถช่วยเป็นแนวทางในการออกแบบเพื่อหาทางเพิ่มประสิทธิภาพของระบบห้องหลังคาและปล่องแดดเพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานจริงต่อไป

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ

This research analyzed the potential of roof attic and its attached solar chimney in a natural ventilation of a model house by using computational fluid dynamic (CFD) methodology. The program ANSYS CFX was used in this analysis to assess the influences of solar intensities and geometric parameters, namely: roof inclinations, sizes and heights of solar chimney, chimney positions and inlet positions. In addition, flow paths and roof shapes were also studied. The computations were conducted both in 2 and 3 dimensional configurations using unstructured mesh with a viscous flow assumption. The solar heat absorption was modeled as a uniform heat source while neglecting the secondary heat sources such as those from appliances. It was found that the air flow rate was directly proportional to solar irradiation and was also affected by structural parameters. For the effects of structural parameter, the research found that: channeled roof was better than triangular roof, diverging channel gave better results than straight channel, appropriate roof angle was 30 degrees, increase of roof height and channel width could increase flow rate. The obtained results are useful information to help guide a better design of natural ventilation in a real building.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
คำอธิบายตัวแปรและสัญลักษณ์	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 กล่าวนำ	1
1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	2
1.3 วัตถุประสงค์การวิจัย	5
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.6 คำอธิบายศัพท์	6
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 กล่าวนำ	7
2.2 การระบายอากาศ (Air Ventilation)	7
2.3 การพาโดยอิสระ (Free Convection)	9
2.3.1 กลไกทางฟิสิกส์ของการพาโดยอิสระ	10
2.3.2 การพาโดยอิสระผ่านแผ่นร้อนในแนวตั้ง	15
2.3.3 สมการของชั้นผิวบาง (The Boundary-Layer Equations)	16
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
2.4.1 งานวิจัยที่ศึกษาการระบายอากาศเมื่อติดตั้งปล่องแสงแดด กับหลังคาของอาคาร	20
2.4.2 งานวิจัยที่ศึกษาการระบายอากาศเมื่อติดตั้งปล่องแสงแดด กับผนังของอาคาร	23
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.7 การกำหนดสภาวะเริ่มต้น	52
5.8 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต	53
5.9 การกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น	53
5.10 ผลลัพธ์	53
บทที่ 6 การศึกษาปัจจัยกระทบต่ออัตราการไหลของหลังคารับแดดสองชั้น	
6.1 กล่าวนำ	55
6.2 ลักษณะทางกายภาพของหลังคาสองชั้นแบบมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดการไหล	56
6.3 ขอบเขตการศึกษา	56
6.4 สมมุติฐานในการจำลอง	57
6.5 การกำหนดเมช	57
6.6 การกำหนดสภาวะเริ่มต้น	57
6.7 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต	59
6.8 การกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น	59
6.10 ผลลัพธ์	59
6.9.1 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดการไหล	59
6.9.2 ผลกระทบจากการเปลี่ยนค่าความกว้างของช่องอากาศ	60
6.9.3 ผลกระทบจากมุมเอียงของหลังคา	61
6.9.4 ผลกระทบจากการต่อปล่องเข้ากับหลังคา	62
6.9.5 ผลกระทบของรูปทรงของหลังคาเมื่อกำหนดให้มีความสูงรวมเท่ากัน	64
บทที่ 7 การระบายอากาศภายในบ้านต้นแบบสามมิติ	
7.1 กล่าวนำ	66
7.2 ลักษณะทางกายภาพของบ้านต้นแบบ	66
7.3 ขอบเขตการศึกษา	67
7.4 สมมุติฐานในการจำลอง	67
7.5 การกำหนดเมช	67
7.6 การกำหนดสภาวะเริ่มต้น	68
7.7 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต	68

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
7.8 การกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น	68
7.9 ผลลัพธ์	68
7.9.1 ผลกระทบจากมุมเอียงของหลังคาต่ออัตราการระบายอากาศ	68
7.9.2 ผลกระทบจากความสูงปล่องต่ออัตราการระบายอากาศ	70
7.9.3 ผลกระทบจากตำแหน่งการติดตั้งปล่องบนหลังคา ต่ออัตราการระบายอากาศ	72
7.9.4 ผลกระทบจากความเข้มของแสงแดดต่ออัตราการระบายอากาศ	72
7.9.5 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการจำลองการไหลผ่าน บ้านต้นแบบใน 2 มิติ และ 3 มิติ	72
บทที่ 8 สรุปและข้อเสนอแนะ	
8.1 สรุปผล	74
8.2 ข้อเสนอแนะ	75

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.1 ผลลัพธ์จากการศึกษาหลังการรับแคคสองรูปแบบ	53
7.1 อัตราการไหลของอากาศที่ตำแหน่งของปล่องต่าง ๆ	72

คำอธิบายตัวแปรและสัญลักษณ์

Pr	ค่าเลขพริ้นเทิล
Gr	ค่าเลขกราชอฟ
Ra	ค่าเลขราเลย์
p, P	ความดัน (Pa)
T	อุณหภูมิ (K, °C)
T_{∞}	อุณหภูมิของอากาศแวดล้อม (K, °C)
V	เวกเตอร์ความเร็ว (m/s)
\bar{V}	ความเร็วเฉลี่ย (m/s)
u	ความเร็วทางแกน x (m/s)
v	ความเร็วทางแกน y (m/s)
w	ความเร็วทางแกน z (m/s)
g	ความเร่งจากแรงโน้มถ่วง (m/s^2)
k	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ($W/m^2 \cdot K$)
c_p	ค่าความร้อนจำเพาะ ($J/kg \cdot ^\circ C$)
β	สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร ($1/K$)
μ	ความหนืดพลศาสตร์ ($kg/m \cdot s$)
ν	ความหนืดจลนศาสตร์ (m^2/s)
ρ	ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)
δ	ความหนาของชั้นผิวบาง (m)
α	สัมประสิทธิ์การแพร่ความร้อน (m^2/s)

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำ

ปัจจุบัน การนำคอมพิวเตอร์มาช่วยในงานวิจัยด้านการออกแบบงานทางวิศวกรรมหรือ การศึกษางานทางวิทยาศาสตร์ด้วยวิธีการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamics, CFD) ได้เข้ามามีบทบาทและก่อให้เกิดประโยชน์เป็นอย่างมาก ซึ่งจะช่วยในการวิเคราะห์ ปัญหาการไหลเพื่อหาความเร็ว อุณหภูมิ ความดัน ตลอดจนตัวแปรทางเทอร์โมฟิสิกส์อื่น ๆ ในระบบ ที่สนใจ วิธีการคำนวณพลศาสตร์ของไหลผสมผสานกับความรู้ทางด้านระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (numerical method) โดยทำการคำนวณด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อแก้สมการเชิงอนุพันธ์ (partial differential equations) ซึ่งเป็นสมการที่ควบคุมการไหลนั้น ก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่สามารถแสดงได้ด้วย กราฟฟิกรูปแบบต่าง ๆ ทำให้นักวิจัยสามารถเข้าใจถึงปรากฏการณ์ของการไหลได้เป็นอย่างดี เป็นผล ให้สามารถปรับปรุง คัดแปลงรูปแบบของการออกแบบในคอมพิวเตอร์จนกระทั่งได้ผลลัพธ์เป็นที่น่า พอใจก่อนที่จะนำไปสร้างอุปกรณ์ต้นแบบ หรือทำการทดลองต่อไปเพื่อเพิ่มความมั่นใจ นอกจากนี้ กระบวนการออกแบบด้วยการคำนวณพลศาสตร์ของไหลดังกล่าวยังช่วยลดค่าใช้จ่ายและเวลาลง ไป เป็นอย่างมากเมื่อเทียบกับวิธีการทดลองที่เคยทำมาในอดีตแต่เพียงอย่างเดียว อีกทั้งยังช่วยในการ วิเคราะห์และลดขั้นตอนที่จำเป็นต้องใช้ในการทดลองหรือในกรณีที่ไม่สามารถทำการทดลองได้ ตลอดจนสามารถวิเคราะห์หลัง ไปในรายละเอียดของการไหลในบางบริเวณเพื่อหาผลลัพธ์และข้อมูล ที่ ต้องการความสมบูรณ์ได้

ความรู้ในวิธีการแก้ปัญหา ผสมผสานกับศักยภาพของการแก้ปัญหาด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ก่อให้เกิดโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (computer programs) ซึ่งได้ผลิตออกมาจำหน่ายในปัจจุบันหลาย โปรแกรม หน้าที่หลักของโปรแกรมเหล่านี้คือการหาผลลัพธ์ให้กับปัญหา ผู้ใช้จำเป็นต้องมีความรู้ ความเข้าใจทางด้านคณิตศาสตร์ การคำนวณ ตลอดจนพลศาสตร์ของไหลอย่างเพียงพอ จึงจะเกิด ความมั่นใจว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้โปรแกรมนั้นถูกต้อง การใช้คอมพิวเตอร์คำนวณหาผลลัพธ์การ ไหล โดยผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงในรูปของเวกเตอร์ความเร็ว หรือระดับของความดันและอุณหภูมิ เป็น ต้น งานวิจัยครั้งนี้จะทำการจำลองการไหลของอากาศผ่านอาคารต้นแบบด้วยโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ การไหล ANSYS CFX เพื่อศึกษาการระบายอากาศแบบธรรมชาติ (natural ventilation) ในอาคาร ต้นแบบ จำลองการไหลในสองมิติเพื่อหาแนวทางการออกแบบเบื้องต้น จากนั้นทำการจำลองการไหล ผ่านอาคารต้นแบบในสามมิติ ศึกษาปัจจัยกระทบต่าง ๆ เพื่อหาแนวทางการออกแบบระบบระบาย อากาศที่เหมาะสม

1.2 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การระบายอากาศและการทำความเย็นในอาคารนับเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำรงชีวิตอย่างมีคุณภาพของมนุษย์ สัตว์ และ พืช สำหรับมนุษย์นั้นจะส่งผลให้อยู่อาศัยได้อย่างเป็นสุขและทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ส่วนสัตว์นั้น (เช่น ไก่ หมู ที่เลี้ยงในโรงเรือน) จะทำให้สุขภาพดีมีการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว สำหรับพืช (เช่น การปลูกเห็ดในโรงเรือน) ก็ต้องการการระบายอากาศที่ดีตลอดจนอุณหภูมิและความชื้นที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตได้อย่างรวดเร็ว แต่การระบายอากาศและทำความเย็นนั้นโดยทั่วไปแล้วจำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์ราคาแพง ซึ่งบางครั้งต้องนำเข้าจากต่างประเทศ ทำให้เสียประโยชน์หลายต่อ เช่น เสียบุคลากรกับต่างประเทศ เสียพลังงานในการเดินอุปกรณ์เหล่านั้น และทำให้เกิดมลพิษมากขึ้นจากการผลิตพลังงาน อีกทั้งต้องเสียเงินและเวลาในการซ่อมแซมบำรุงรักษาอุปกรณ์อีกด้วย แนวทางหนึ่งในการระบายอากาศแบบธรรมชาติคือการใช้พลังงานแสงแดดเพื่อทำให้เกิดการไหลแบบการพาความร้อนอิสระ ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมกับประเทศไทยเพราะเป็นประเทศในเขตร้อนที่มีพลังงานแสงแดดมาก หากทำการศึกษาอย่างละเอียดและถูกต้องก็จะสามารถหาทางออกแบบระบบระบายอากาศที่ดี และคุ้มแก่การลงทุน เพื่อนำไปใช้ได้จริงต่อไป

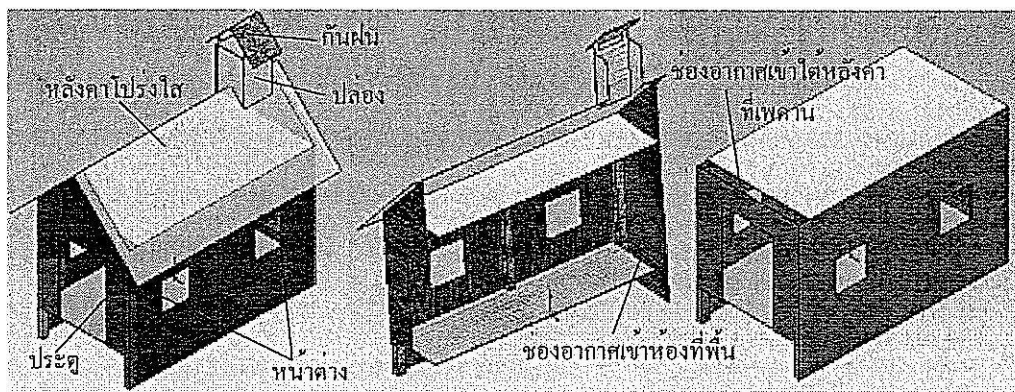
งานวิจัยเกี่ยวกับการระบายอากาศแบบธรรมชาติภายในอาคารหรือที่พักอาศัยควรได้รับการศึกษาวิจัยถึงประสิทธิภาพของการระบายอากาศแบบธรรมชาตินี้อย่างจริงจัง เพราะหากผลลัพธ์จากงานวิจัยเป็นที่น่าพอใจ ระบบการระบายอากาศแบบนี้จะเป็นทางเลือกหนึ่งในการเพิ่มความอยู่สบายให้กับผู้พักอาศัยที่สามารถประหยัดทั้งพลังงานและค่าใช้จ่ายของประเทศได้ นอกจากนี้ยังเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อมเนื่องจากทำให้ลดการใช้พลังงาน เพราะการผลิตพลังงานส่วนใหญ่ต้องมีการเผาไหม้เชื้อเพลิง ซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดมลภาวะในอากาศ ระบบระบายอากาศแบบนี้ยังเหมาะสมต่อการประยุกต์ใช้ในโรงบ่มเพาะเห็ด โรงปลูกพืชแบบไฮโดรโปนิคส์ (ไม่ใช้ดิน) และโรงเลี้ยงสัตว์ จะทำให้พืชและสัตว์มีสุขภาพดี และโตเร็วอีกด้วย จากการศึกษาวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่างานวิจัยโดยส่วนใหญ่ยังไม่มีการนำเอาปล่องแดดแบบเต็มรูปมาใช้ รวมทั้งยังไม่มีการใช้ประโยชน์ห้องหลังคาอย่างเต็มที่ ปล่องลมแดด (solar chimney) ที่ใช้นั้นเป็นเพียงช่องเปิดแคบ ๆ ที่เป็นส่วนหนึ่งของหลังคาหรือเป็นส่วนหนึ่งของผนังบ้าน จึงทำให้ช่วยในการระบายอากาศได้เพียงในระดับหนึ่งเท่านั้น จากงานวิจัยของ Chitsomboon (2001) และ ทวิช และ พรสวรรค์ (1998) โดยการวิเคราะห์เชิงทฤษฎีและการวิเคราะห์เชิงตัวเลขพบว่า ปล่องแดดที่มีความสูงในระดับหนึ่งสามารถสร้างอัตราการไหลได้เป็นอย่างดี จึงได้นำแนวคิดนี้มาประยุกต์ใช้เพื่อจำลองการระบายอากาศและทำความเย็นในอาคาร (ทวิช, 2004) พบว่าปล่องแดดที่นำมาติดตั้งบนหลังคาบ้านนั้นหากทำให้สูงขึ้นเพียงเล็กน้อยและมุมเอียงของหลังคาที่มากขึ้นมีส่วนช่วยเพิ่มอัตราการไหลได้มากถึง 50% แต่ในงานวิจัยชิ้นนี้เป็นการคำนวณเชิงตัวเลข โดยสมมุติฐานการไหลสองมิติเท่านั้น (two dimensional flow) (เพื่อประหยัดเวลาในการหาคำตอบโดยคอมพิวเตอร์) จึงยังไม่สมบูรณ์พอที่จะสรุปเป็นข้อมูลในการ

ออกแบบได้ เพียงแต่แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มและศักยภาพของการใช้ปล่องแคดและการปรับมุมเอียง หลังคาเท่านั้น ส่วนการวิจัยที่เสนอในโครงการนี้จะเป็นการคำนวณเชิงตัวเลข (Computational Fluid Dynamics, CFD) ในลักษณะของการไหลแบบสามมิติ ซึ่งจะช่วยให้สามารถนำข้อมูลไปใช้ในการออกแบบจริงได้โดยตรงและอย่างมั่นใจ ทั้งนี้เนื่องจากตัวบ้านจริงและอาคารโรงเรียนทั้งหลายนั้น ล้วนแต่เป็นแบบสามมิติทั้งสิ้น การนำระบบการคำนวณเชิงตัวเลขมาช่วยในงานวิจัยในลักษณะที่ เสนอในโครงการวิจัยนี้นั้น นับวันจะได้รับความนิยมและทวีความสำคัญขึ้นทุกขณะ เพราะสามารถ ช่วยให้นักวิศวกรสามารถออกแบบทางวิศวกรรมได้อย่างรวดเร็วและมีความแม่นยำในผลลัพธ์พอสมควร ทำให้ร่นเวลาในการออกแบบหรือการทำวิจัยได้เป็นอย่างมาก ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณของไหล เชิงตัวเลขช่วยยืนยันแนวคิดทางทฤษฎีก่อนที่จะทำการสร้างต้นแบบหรือทำการทดลองเพื่อยืนยัน ผลลัพธ์อีกครั้ง นอกเหนือจากความสะดวก รวดเร็วในการทำวิจัยแล้ว ยังสามารถใช้จำลองปัญหาบาง ปัญหาที่ไม่สามารถทำการทดลองได้ หรืออาจต้องใช้งบลงทุนค่อนข้างสูงในการทำการทดลองนั้น ๆ

เพื่อลดเวลาในการคำนวณของโปรแกรม การออกแบบอาคารต้นแบบในเบื้องต้นได้ออกแบบ ให้เป็นบ้านที่มีเพียงหนึ่งห้อง โดยยกพื้นสูงจากระดับพื้นดิน 1 m ผนังของใต้ถุนถูกปิดสามด้าน ผนัง อีกหนึ่งด้านที่เหลือจะเปิดเพื่อให้อากาศจากด้านนอกไหลผ่านเข้าสู่ตัวบ้านผ่านช่องเปิดที่เตรียมไว้ที่ พื้นบ้าน ช่องเปิดนี้จะอยู่ด้านตรงข้ามกับช่องเปิดที่ผนังเพื่อให้เกิดการดูดอากาศได้อย่างเต็มที่ จากนั้น อากาศจะไหลเข้าสู่ห้องใต้หลังคาผ่านช่องเปิดที่เพดาน ซึ่งอยู่ด้านตรงข้ามกับช่องเปิดที่พื้นบ้าน (ด้วย เหตุเดียวกันดังได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้) และไหลเข้าสู่ปล่องแคดที่อยู่ด้านบนของหลังคา องค์ประกอบ ของบ้านต้นแบบแสดงไว้ในรูปที่ 1.1 ขั้นตอนของการจำลองการไหลด้วยโปรแกรมวิเคราะห์การไหล ANSYS CFX จะสมมุติว่าอาคารไม่มีหน้าต่าง (เสมือนว่าหน้าต่างถูกปิดทั้งหมด) ทำการศึกษา ผลกระทบจากปัจจัยโครงสร้าง (geometric parameters) ต่อค่าอัตราการไหลที่เกิดขึ้นจากการใช้ระบบ ห้องหลังคาและปล่องแคด เช่น ความสูงของปล่องแคด ความเอียงของหลังคา ขนาดของช่องเปิด เป็นต้น ผลลัพธ์ที่ได้ทำให้เห็นแนวโน้มของอัตราการระบายอากาศเมื่อปรับเปลี่ยนขนาดของปัจจัย โครงสร้างที่เกี่ยวข้อง ทำให้ได้แนวทางการออกแบบที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับอาคารหลายชั้น หรือหลายห้องเพื่อที่มีความสมจริงต่อไป อย่างไรก็ตามก่อนที่จะจำลองการไหลใน 3 มิติ ได้ทดสอบ แนวคิดเบื้องต้นเกี่ยวกับการจัดการกับปัจจัยโครงสร้างเพื่อหาทางเพิ่มอัตราการระบายอากาศในระบบ 2 มิติ เพราะสามารถประหยัดเวลาได้มาก เมื่อแนวคิดถูกยืนยันด้วยผลลัพธ์ใน 2 มิติแล้ว จึงขยายผล การศึกษากับอาคาร 3 มิติ ผ่านอาคารต้นแบบที่ได้ออกแบบไว้ดังอธิบายข้างต้น เพื่อแสดงผลลัพธ์ที่ เสมือนจริงมากยิ่งขึ้นต่อไป

หลักการการทำงานของการระบายอากาศในอาคาร โดยระบบการพาความร้อนอิสระผ่านห้อง หลังคารับแคดที่เสนอในโครงการนี้ คือ แสงแดดตกกระทบและทะลุผ่านหลังคาโปร่งใสทำให้อากาศ ภายในห้องหลังคาร้อนขึ้น ส่งผลให้ความหนาแน่นของอากาศลดลง จึงก่อให้เกิดการยกตัวสูงขึ้นของ

อากาศร้อนเนื่องจากแรงลอยตัว อากาศจากภายนอกซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าจะไหลเข้ามาแทนที่ผ่านช่องเปิดที่ผนังของห้องได้อุณหภูมิหนึ่งด้านที่ถูกเปิดไว้ ไหลเข้าสู่อาคารผ่านช่องเปิดที่พื้น ผ่านช่องเปิดที่เพดาน เข้าสู่ห้องหลังคา และปล่อง ก่อนจะไหลออกสู่บรรยากาศ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1.1 อาคารต้นแบบสามมิติ

อากาศจากภายนอกที่ไหลเข้าสู่อาคารจะช่วยระบายความร้อนจากร่างกายมนุษย์และจากอุปกรณ์เครื่องใช้ที่คายความร้อนทั้งหลายที่อยู่ภายในอาคาร รวมถึงความร้อนที่ผ่านมาจากผนังของอาคาร โดยกระบวนการการพาความร้อนอิสระ ทำให้ผู้อยู่อาศัยรู้สึกเย็นสบายด้วยลมตามธรรมชาติ (โดยอาจไม่จำเป็นต้องใช้พัดลม หรือเครื่องปรับอากาศ) กรรมวิธีการระบายอากาศและทำความเย็นแบบนี้ถือเป็นการ “หนาวนอกเอาหนาวบ่ง” กล่าวคือ หากแสงแดดมีความเข้มข้นมากยิ่งเกิดการระบายอากาศและความเย็นในอาคารได้มาก งานวิจัยนี้ ศึกษาการไหลด้วยกรรมวิธีการคำนวณของไหลเชิงตัวเลข โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์ปัญหาการไหลสำเร็จรูป ANSYS CFX จำลองปัญหาการไหลแบบการพาความร้อนอิสระเพื่อศึกษาการกระจายตัวของเวกเตอร์ความเร็วของอากาศ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในอาคาร ตลอดจนการกระจายตัวของอุณหภูมิ ความดัน และความหนาแน่น ความเร็วของอากาศภายในอาคารสามารถนำไปคำนวณหาอัตราการไหลผ่านอาคารเพื่อประเมินอัตราการระบายอากาศได้ จำลองความร้อนจากแสงแดดที่ถ่ายเทให้กับอากาศใต้หลังคาด้วยการกำหนดแหล่งกำเนิดความร้อนให้กับอากาศใต้หลังคาของอาคาร โดยแหล่งความร้อนที่ใส่เข้าไปใน โปรแกรมเป็นปริมาณความร้อนต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร และไม่พิจารณาความร้อนที่เกิดจากอุปกรณ์เครื่องใช้ที่อยู่ภายในอาคาร เช่น โทรทัศน์ ตู้เย็น เครื่องจักรกล เป็นต้น ตลอดจนยังไม่พิจารณาการไหลเนื่องจากลม (wind-driven flow)

1.3 วัตถุประสงค์การวิจัย

1) เพื่อศึกษาผลกระทบต่อการระบายอากาศโดยการไหลแบบการพาอิสระในสามมิติผ่านห้องหลังคารับแดดภายในอาคารจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยโครงสร้างที่เกี่ยวกับอาคาร ได้แก่ มุมเอียงของหลังคา ความสูงของปล่องลมแดด ตำแหน่งของปล่อง และตำแหน่งของช่องเปิด ตลอดจนการศึกษาเส้นทางการไหล

2) เพื่อวิเคราะห์หาแนวทางให้เกิดการระบายอากาศและการทำความเย็นในอาคารให้ได้ดีที่สุด เพื่อใช้เป็นแนวทางในการสร้างอาคารต้นแบบต่อไป

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การจำลองปัญหาการไหลผ่านอาคารจะกระทำภายใต้ขอบเขตดังต่อไปนี้

1. จำลองปัญหาการไหลทั้งแบบสองมิติและสามมิติ
2. เป็นการไหลแบบมีความฝืด (frictional flow)
3. เมช (mesh) ที่ใช้ในการคำนวณเป็นระบบเมชแบบไร้โครงสร้าง (unstructured-mesh)
4. กำหนดแหล่งกำเนิดความร้อนให้กับอากาศใต้หลังคาของอาคาร โดยแหล่งความร้อนที่ใส่เข้าไปในโปรแกรมจะเป็นปริมาณความร้อนต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร (heat source per unit volume) ซึ่งเห็นว่าเป็นสมมุติฐานที่มีความถูกต้องเพียงพอ โดยไม่จำเป็นต้องสร้างแบบจำลองของการแผ่รังสีให้ยุ่งยากเกินความจำเป็น
5. ยังไม่พิจารณาถึงผลกระทบเนื่องจากความร้อนที่เกิดจากอุปกรณ์เครื่องใช้ที่อยู่ภายในอาคาร เช่น โทรทัศน์ ตู้เย็น เครื่องจักรกล เป็นต้น
6. พิจารณาการไหลเนื่องจากแรงลอยตัว (buoyancy-driven flow) เท่านั้น โดยยังไม่พิจารณาการไหลเนื่องจากลม (wind-driven flow)

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้คือ

1. เป็นประโยชน์ต่อประชาชนในกลุ่มเป้าหมาย (เช่น ประชาชนทั่วไป พนักงานในอาคารเกษตรกรที่เพาะเห็ด หรือเลี้ยงสัตว์เศรษฐกิจในอาคาร)
2. เพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต (เพราะทำให้พนักงาน พืช สัตว์ มีสุขภาพดี และมีความสุขในการดำรงชีวิต หรือ ทำงาน)

3. นำไปสู่การผลิตเชิงพาณิชย์ (สามารถผลิตอุปกรณ์หรือแนวคิดในรูปแบบสิทธิบัตรได้ทั้งในและต่างประเทศ)
4. เป็นองค์ความรู้ในการดำเนินการวิจัยต่อไป (จะใช้เป็นข้อมูลในการสร้างอาคารต้นแบบต่อไป)
5. ช่วยลดการขาดดุลการค้ากับต่างประเทศ ลดการใช้พลังงานของประเทศ ลดมลภาวะที่เกิดจากการใช้พลังงาน ลดมลภาวะจากเสียงของเครื่องจักร (เนื่องจากอุปกรณ์นี้ไม่มีเครื่องจักร)

หน่วยงานที่น่าผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ ได้แก่

1. บ้านเรือน อาคารที่พักอาศัย และอาคารสำนักงานทั่วไป
2. อาคารที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม เช่น โรงเครื่องมือกล เป็นต้น
3. อุตสาหกรรมการเกษตร เช่น โรงบ่มเพาะเห็ด โรงเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น

1.6 คำอธิบายศัพท์

Thermal comfort = ความรู้สึกสบายเชิงความร้อน

Air exchange rate = อัตราการแลกเปลี่ยนอากาศ

Wind-driven flow = การไหลเนื่องจากลม

Buoyant-driven flow = การไหลเนื่องจากแรงลอยตัว

Solar chimney = ปล่องแดด

Stack effect = ผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากการใช้ปล่องเพื่อให้เกิดการไหลตัวของของไหลภายในปล่องด้วยแรงลอยตัว

บทที่ 2

ปรีทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

กระบวนการในการเกิดการระบายอากาศแบบธรรมชาติใช้หลักของการแลกเปลี่ยนอากาศระหว่างอากาศที่อยู่ภายในกับภายนอกอาคาร โดยถือว่าอากาศจากภายนอกเป็นอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า และมีความบริสุทธิ์กว่าอากาศภายในอาคาร การเคลื่อนที่ของอากาศในกระบวนการนี้เป็นผลพวงจากแรงลอยตัว (buoyancy force) ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างอากาศที่อยู่ภายในกับภายนอกอาคาร โดยอากาศที่อยู่ภายในอาคารจะร้อนขึ้นเพราะได้รับความร้อนจากแสงแดดที่ผ่านทางหลังคาหรือผนัง ทำให้ความหนาแน่นลดลง อากาศร้อนจึงลอยตัวสูงขึ้นด้วยหลักการของการพาอิสระ (free convection) อากาศที่อยู่ภายนอกอาคารจะไหลเข้ามาแทนที่และไหลออกผ่านช่องเปิดด้านบน โดยอากาศเย็นที่ไหลเข้ามานี้จะทำหน้าที่นำความร้อนออกไปจากตัวอาคารตามหลักการของการพาความร้อน หากอาคารยังได้รับความร้อนจากแสงแดดก็จะเกิดกระบวนการอย่างต่อเนื่อง

2.2 การระบายอากาศ (Air Ventilation)

สภาวะอากาศที่ทำให้มนุษย์รู้สึกสบายคือที่อุณหภูมิประมาณ $23^{\circ}\text{C} - 24^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 55% โดยทั้งอุณหภูมิและความชื้นเป็นเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกัน หากพิจารณาห้องที่มีปริมาณความชื้นในอากาศอยู่จำนวนหนึ่ง ถ้าห้องนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้นความชื้นสัมพัทธ์จะลดลง หรือถ้าห้องนั้นมีอุณหภูมิลดลงความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากค่าความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับปริมาณไอน้ำในอากาศหารด้วยปริมาณไอน้ำอิ่มตัว ดังนั้นในการกำหนดสภาวะอากาศจึงต้องระบุทั้งอุณหภูมิและความชื้นควบคู่ไปด้วยกันเสมอ และเป็นที่น่าสังเกตว่า หากลดความชื้นให้ต่ำลง เช่น จากปกติ 55% เป็น 50% หรือ 45% ถึงแม้อุณหภูมิจะสูงขึ้นเป็น 25°C หรือ 27°C คนก็ยังสามารถรู้สึกสบายได้ เพราะนอกจากสภาวะอากาศจะขึ้นกับอุณหภูมิและความชื้นเป็นอย่างมากแล้ว ส่วนหนึ่งยังขึ้นกับความเร็วลมที่มาปะทะร่างกายด้วย ซึ่งเป็นเหตุผลว่าเหตุใดเวลาเย็นอยู่กลางแจ้งอุณหภูมิ $35^{\circ}\text{C} - 40^{\circ}\text{C}$ ความชื้นสัมพัทธ์ 80% แต่มีลมพัดโกรกก็ยังคงรู้สึกเย็นสบายได้ และหากอยู่ได้ร่มไม้ก็ยิ่งสบายเพราะไม่ต้องรับแสงแดดโดยตรง เทคนิคในการระบายอากาศให้ได้ผลและทำให้สบายได้จึงอาศัยหลักการระบายอากาศให้มีปริมาณเพียงพอที่จะทำให้เกิดกระแสลมนั่นเอง การกำหนดค่าปริมาณการระบายอากาศในทางวิศวกรรมจะกำหนดด้วยค่าอัตรา

การแลกเปลี่ยนอากาศ หรือเรียกว่า “Air Change per Hour, ACH” ซึ่งนิยามว่าเท่ากับปริมาตรการไหลที่เกิดขึ้นคิดเป็นที่เท่าของปริมาตรห้องภายในเวลาหนึ่งชั่วโมง หรือบางที่อาจเรียกว่า “air exchange rate” ในปัจจุบัน เทศบัญญัติระบุให้อาคารจอครดได้ดินต้องมีการระบายอากาศไม่น้อยกว่า 4 เท่าของปริมาตรห้องต่อชั่วโมง ซึ่งก็คือ 4 ACH อย่างไรก็ตาม ผู้ออกแบบมักจะออกแบบที่ประมาณ 6 ACH เนื่องจากพฤติกรรมการใช้รถที่ไม่เหมาะสม เช่น การติดเครื่องยนต์ ติดแอร์รถยนต์ ทิ้งไว้ เป็นต้น

โดยทั่วไปมักจะกำหนดให้การระบายอากาศเป็นดังนี้

ห้องใช้งานทั่วไป	15 ACH
ห้องเก็บของ	10 ACH
ห้องน้ำ	20 – 30 ACH
ห้องเครื่อง/โรงงาน/ห้องครัว	30 – 40 ACH (เกชา ธีระโกเมน, www, 2000)

การออกแบบอาคารที่ดีเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานจะต้องออกแบบให้มีพื้นที่ที่ต้องการการปรับอากาศจริง ๆ ให้น้อยที่สุด และพยายามใช้การระบายอากาศเข้ามาช่วยในพื้นที่ส่วนที่เหลือ การระบายอากาศก็ควรจะพยายามใช้วิธีแบบธรรมชาติให้มากที่สุด ที่เหลือจึงจะใช้การระบายอากาศทางกล เพราะการระบายอากาศทางกลจำเป็นต้องใช้พลังงานไฟฟ้า ตัวอย่างการระบายอากาศแบบธรรมชาติที่ได้ผลมากอีกวิธีหนึ่งคือ การใช้หลักการของอากาศร้อนที่ลอยตัวขึ้น และอากาศที่เย็นกว่าจะเข้ามาแทนที่ หรือเรียกว่า “stack effect” หลักการนี้จะเห็นได้จากโบสถ์คริสต์ ซึ่งจะมีการเจาะให้ช่องลมด้านล่างของผนังโดยรอบ และมีช่องระบายอากาศออกในส่วนสูง จะทำให้มีกระแสลมได้มากพอที่จะใช้ประโยชน์ได้ แต่หากมีคนมาก ๆ อาจจะไม่เพียงพอ สาเหตุส่วนหนึ่งเนื่องมาจากหลังคาภายในไม่มีฉนวนกันความร้อน ทำให้หลังคาอมความร้อนและแผ่รังสีกลับลงมา ซึ่งการแผ่รังสีความร้อนอยู่ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จึงไม่สามารถถูกกำจัดโดยกระแสลมได้ การใช้ stack effect ให้ได้ผล จะต้องพยายามให้มีความสูงระหว่างช่องลมเข้าด้านล่าง และช่องระบายอากาศออกด้านบนที่เพียงพอ และต้องให้กระแสลมผ่านห้องตามแนวกระแสลมที่ต้องการ นอกจากการระบายอากาศจะช่วยให้ห้องมีสภาวะอากาศที่เหมาะสมแล้ว การระบายอากาศยังมีหน้าที่ในการนำอากาศเสียไปทิ้งด้วย ดังนั้น การระบายอากาศจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับห้องที่มีกลิ่น ควัน ไอเสีย ต่าง ๆ เช่น ห้องประชุม ห้องอาหาร บริเวณสุขุบหรือ ห้องน้ำ ที่จอครด ห้องเครื่อง ห้องครัว ห้องขยะ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการระบายอากาศจากห้องที่มีอากาศเสีย เช่น ห้องครัวและห้องขยะ จะต้องระบายทิ้งที่ระดับสูง เพื่อป้องกันไม่ให้กลิ่นตกค้างอยู่รอบบริเวณอาคาร การระบายอากาศเสียให้ได้ผล จะต้องพยายามดูดอากาศเสียออกที่จุดต้นกำเนิด เช่น จุดที่มีอากาศร้อน เตาไฟ ต้นกำเนิดของกลิ่น หากปล่อยให้ความร้อน กลิ่น ควัน ไอน้ำกระจายออกไป การที่จะดูดทิ้งให้ได้ผลก็จะทำได้ยาก

การระบายอากาศยังมีความสำคัญในการช่วยควบคุมความดันอากาศภายในห้องอย่างที่ได้กล่าวแล้วว่า ห้องปรับอากาศมักจะออกแบบให้มีความดันอากาศภายในห้องสูงกว่าภายนอก โดยอาศัยการนำอากาศบริสุทธิ์เข้ามาแทนที่เพื่อป้องกันฝุ่นและความชื้นที่จะแทรกตัวเข้าไป ห้องที่ควรจะมีความดันอากาศต่ำคือ ห้องที่มีกลิ่นไม่พึงประสงค์ เช่น ห้องน้ำ ห้องอาหาร ห้องครัว พวกนี้จะอาศัยการระบายอากาศทิ้งไปบางส่วนทำให้ความดันต่ำกว่าบริเวณอื่น ในอาคารประเภทโรงพยาบาลหรือโรงงานอิเล็กทรอนิกส์ การกำหนดค่าความดันอากาศของห้องต่าง ๆ จะมีความสำคัญมาก โดยการกำหนดจะกำหนดเป็นลำดับชั้น เช่น ห้องผ่าตัดจะต้องมีความดันสูงกว่าบริเวณหน้าห้องผ่าตัด และบริเวณหน้าห้องผ่าตัดจะต้องมีความดันสูงกว่าบริเวณภายนอก เป็นต้น

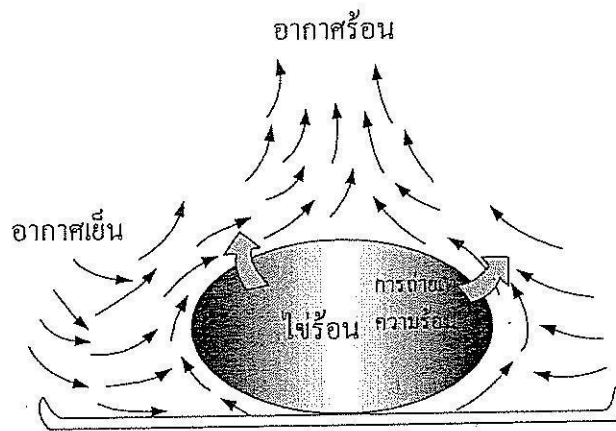
2.3 การพาแบบอิสระ (Free Convection)

ความแตกต่างของการพาแบบอิสระ (หรือ การพาแบบธรรมชาติ (natural convective)) กับการพาแบบบังคับ (forced convective) คือ การเคลื่อนที่ของของไหลในการพาแบบอิสระเกิดจากแรงลอยตัว (buoyancy) ในขณะที่การเคลื่อนที่ของของไหลในการพาแบบบังคับเกิดจากแรงกระทำจากภายนอก เช่น ป้อน หรือพัดลม เป็นต้น ตัวแปรสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการพาความร้อน คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (convection heat transfer coefficient, h) มีหน่วยเป็น $W/(m^2 \cdot K)$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความเร็วการไหลที่ไหลผ่านวัตถุเป็นสำคัญ กล่าวคือ หากของไหลไหลด้วยความเร็วสูง ย่อมหมายถึงว่ามีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่สูงด้วย (เกิดการถ่ายเทความร้อนระหว่างวัตถุกับของไหลได้มากกว่า) แต่ความเร็วที่เกิดขึ้นของของไหลในการพาแบบอิสระมีค่าค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับการพาแบบบังคับ (โดยส่วนใหญ่แล้วมีค่าน้อยกว่า 1 m/s) จึงส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของการพาแบบอิสระส่วนใหญ่มีค่าน้อยกว่าการพาโดยบังคับ อุปกรณ์หลายอย่างมีการออกแบบให้มีการระบายความร้อนโดยการพาแบบอิสระ เพราะในการพาแบบอิสระไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์หรือเครื่องมือใด ๆ ในการทำให้เกิดการไหลของของไหล จึงง่ายและประหยัดกว่าการพาแบบบังคับ การระบายความร้อนด้วยการพาแบบอิสระเป็นกลไกพื้นฐาน (primary mechanism) ที่เกิดขึ้นของกระบวนการการระบายความร้อนที่พบเห็นได้ทั่วไป ตัวอย่างเช่น การทำความเย็นของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ได้แก่ power transistors, TVs และ VCRs, การระบายความร้อนจาก electric baseboard heaters หรือ steam radiators, การระบายความร้อนจาก refrigeration coils และ power transmission lines รวมถึงการระบายความร้อนออกจากร่างกายของมนุษย์และสัตว์ ก่อนที่จะดำเนินการวิจัย ควรศึกษาเกี่ยวกับกลไกทางฟิสิกส์ (physical mechanism) ของการพาแบบอิสระ ตลอดจน

ตัวแปรไร้มิติ (dimensionless variable) ที่สำคัญของการพาแบบอิสระ นั้นคือ ค่าเลข กราชอฟ (Grashof number) ดังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

2.3.1 กลไกทางฟิสิกส์ของการพาแบบอิสระ

พิจารณาไข่ม้วนร้อน ๆ ที่วางบนแผ่นราบดังรูปที่ 2.1 ไข่ม้วนจะถูกทำให้เย็นด้วยอากาศที่ล้อมรอบซึ่งมีอุณหภูมิต่ำ การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นประกอบด้วย การพาความร้อนจากไข่ม้วนสู่อากาศ และการแผ่รังสีความร้อนจากไข่ม้วนพื้นผิวอื่น ๆ ที่อยู่โดยรอบ หากไม่พิจารณาการถ่ายเทที่เกิดจากการแผ่รังสีแล้ว สามารถอธิบายกลไกทางฟิสิกส์ที่ทำให้ไข่ม้วนเย็นลง (หรือวัตถุร้อนอื่น ๆ) ด้วยอากาศที่แวดล้อมซึ่งเย็นกว่าได้ดังนี้

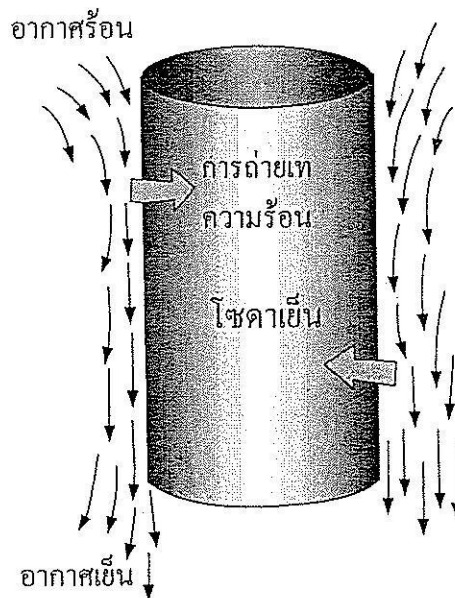


รูปที่ 2.1 การเกิดการพาแบบอิสระของไข่ม้วนที่วางอยู่บนแผ่นราบ

อุณหภูมิของผิวด้านนอกของไข่ม้วนที่วางในบรรยากาศจะต่ำลง ส่วนอุณหภูมิของอากาศบริเวณใกล้ผิวของ ไข่ม้วนจะสูงขึ้น ปรากฏการณ์นี้เกิดขึ้นเนื่องจากการนำความร้อนจากเปลือกไข่ม้วนสู่อากาศ ดังนั้น ไข่ม้วนจึงถูกล้อมรอบด้วยชั้นบาง ๆ ของอากาศที่ร้อนขึ้นนี้ กระบวนการทำความเย็นนี้เป็นไปอย่างช้า ๆ เพราะไข่ม้วนถูกล้อมรอบด้วยชั้นของอากาศร้อนอยู่เสมอ โดยไม่มีโอกาสสัมผัสกับอากาศเย็นที่อยู่ชั้นที่ไกลออกไป อุณหภูมิของอากาศที่ล้อมรอบเปลือกไข่ม้วนที่ร้อนขึ้น ทำให้ความหนาแน่นมีค่าลดลง (หากพิจารณาที่ความดันคงที่ ความหนาแน่นของแก๊สจะแปรผกผันกับอุณหภูมิ) และถูกล้อมรอบด้วยชั้นของอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ซึ่งมีความหนาแน่นมากกว่า ความแตกต่างของความหนาแน่นทำให้เกิดความแตกต่างของแรงดันสถิต (hydrostatic pressure) ซึ่งเป็นแรงขับเคลื่อนให้อากาศร้อนที่ชั้นชิดผิวลอยตัวสูงขึ้น และอากาศ

ซึ่งเย็นกว่าด้านนอกออกไปก็จะไหลเข้ามาแทนที่ ทำให้เกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อน การลอยตัวขึ้นของอากาศร้อนและการไหลของอากาศเย็นเข้ามาแทนที่จะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งอุณหภูมิของไขเท่ากับอุณหภูมิของอากาศที่แวดล้อม เรียกการเคลื่อนที่ของอากาศที่เกิดจากการแทนที่อากาศร้อนด้วยอากาศเย็นบริเวณใกล้เคียงซึ่งเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องนี้ว่า “กระแสการพาแบบธรรมชาติ (natural convection current)” และเรียกการถ่ายเทความร้อนซึ่งเกิดจากการพาแบบธรรมชาตินี้ว่า “การถ่ายเทความร้อนโดยการพาแบบธรรมชาติ (natural convection heat transfer)”

การกล่าวที่ผ่านมาเป็น การพาแบบอิสระที่เกิดขึ้นในกระบวนการทำความเย็น ในทางกลับกัน การพาแบบอิสระสามารถเกิดในกระบวนการให้ความร้อนสู่วัตถุที่มีอุณหภูมิเย็นกว่าได้ เช่น นำกระป๋องน้ำอัดลมที่เย็นจัดมาวางที่อุณหภูมิห้องซึ่งสูงกว่า อากาศที่ล้อมรอบจะถ่ายเทความร้อนให้กับกระป๋องน้ำอัดลม ในกรณีนี้ การเคลื่อนที่ของอากาศด้านนอกจะเกิดในทิศทางตรงกันข้ามกับกรณีแรก นั่นคืออากาศจะเคลื่อนตัวลง ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การเกิดการพาแบบอิสระของวัตถุเย็น

พิจารณาสนามแรงโน้มถ่วง จะเกิดแรงลัพธ์สุทธิที่ดันของไหลที่มีความหนาแน่นต่ำให้ลอยตัวขึ้น เพื่อให้ของไหลที่มีความหนาแน่นสูงกว่าเข้ามาแทนที่ แรงที่กระทำต่อวัตถุที่จมอยู่ในของไหลทั้งหมดหรือเพียงบางส่วนในทิศทางนี้ เรียกว่า “แรงลอยตัว” ซึ่งมีค่าเท่ากับน้ำหนักของของไหลที่ถูกแทนที่โดยวัตถุ นั่นคือ

$$F_{\text{buoyancy}} = \rho_{\text{fluid}} g V_{\text{body}} \quad (2.1)$$

เมื่อ ρ_{fluid} คือ ความหนาแน่นเฉลี่ยของของไหล, g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (gravitational acceleration) และ V_{body} คือ ปริมาตรของวัตถุส่วนที่จมอยู่ในของไหล (ถ้าวัตถุจมอยู่ในของไหลทั้งหมด เทอมนี้จะมีค่าเท่ากับปริมาตรทั้งหมดของวัตถุนั้น)

หากยังไม่พิจารณาถึงแรงอื่น ๆ ที่กระทำต่อวัตถุแล้ว แรงสุทธิที่กระทำต่อวัตถุในแนวดิ่งมีค่าเท่ากับส่วนต่างระหว่างน้ำหนักของวัตถุและแรงลอยตัว ดังสมการ

$$\begin{aligned} F_{\text{net}} &= W - F_{\text{buoyancy}} \\ &= \rho_{\text{body}} g V_{\text{body}} - \rho_{\text{fluid}} g V_{\text{body}} \\ &= (\rho_{\text{body}} - \rho_{\text{fluid}}) g V_{\text{body}} \end{aligned} \quad (2.2)$$

โดยต้องพึงระลึกไว้เสมอว่าแรงนี้แปรผันตรงกับผลต่างระหว่างความหนาแน่นของของไหลกับวัตถุที่จมอยู่ในของไหลนั้น ๆ ดังนั้นน้ำหนักที่หายไปของวัตถุที่จม (weight loss) จะมีค่าเท่ากับน้ำหนักของของไหลที่ถูกวัตถุแทนที่ตามหลักการของอาร์คิมิดีส (Archimedes' principle)

ตัวแปรหลักที่สำคัญสำหรับการศึกษาการถ่ายเทความร้อน คือ อุณหภูมิ จากสมการของแรงลอยตัวซึ่งเป็นฟังก์ชันของผลต่างของความหนาแน่นระหว่างของไหลบริเวณใกล้กับผิววัตถุและของไหลบริเวณไกลออกไปนั้น สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของอุณหภูมิได้ โดยใช้สมการของสัมประสิทธิ์การขยายตัวตามความร้อนเชิงปริมาตร (volumetric thermal expansion coefficient, β) เมื่อ

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \quad (1/K) \quad (2.3)$$

และสามารถประมาณให้เทอมของพาเซิลดิฟเฟอเรนเชียลให้เป็นเทอมผลต่างได้ดังนี้

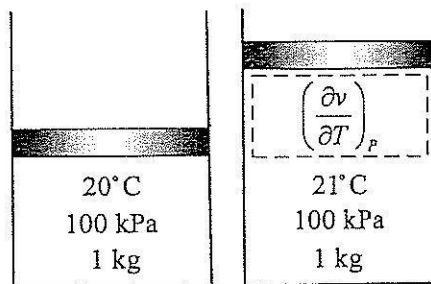
$$\beta \approx -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\Delta \rho}{\Delta T} \right) \rightarrow \Delta \rho \approx -\rho \beta \Delta T \quad (\text{พิจารณาที่ความดันคงที่}) \quad (2.4)$$

หากพิจารณาให้ของไหลเป็นแก๊สในอุดมคติ (Ideal gas) ซึ่งมีความสัมพันธ์ตามสมการ $P = \rho RT$ สามารถหาค่า β ได้จากความสัมพันธ์

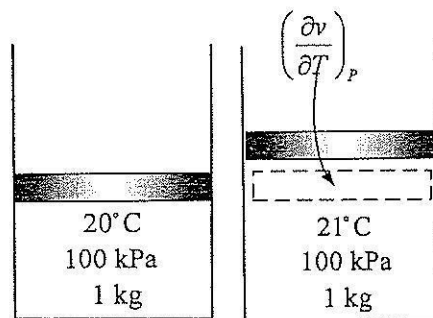
$$\beta_{\text{ideal gas}} = \frac{1}{T} \quad (1/K) \quad (2.5)$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (absolute temperature)

ขนาดของ β แสดงถึงขนาดของการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป หาก β มีค่ามาก แสดงว่าความหนาแน่นมีการเปลี่ยนแปลงสูงเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป ดังแสดงด้วยแผนภาพดังรูปที่ 2.3 ส่วนทอม $\beta \Delta T$ แสดงถึงสัดส่วนของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของของไหลซึ่งสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเมื่อพิจารณาให้ความดันคงที่ได้กล่าวไว้ก่อนหน้านี้แล้วว่าแรงลอยตัวแปรผันตรงกับผลต่างของความหนาแน่น นั่นคือแปรผันตรงกับผลต่างของอุณหภูมิด้วย ดังนั้นหากผลต่างอุณหภูมิระหว่างของไหลบริเวณใกล้กับวัตถุกับของไหลระยะไกลมีค่ามากก็จะเกิดแรงลอยตัวสูง ทำให้เกิดการกระจายการพาแบบอิสระมากขึ้นเป็นสัดส่วนกัน และทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นด้วย



(a) สำหรับของไหลที่มีค่า β มาก



(b) สำหรับของไหลที่มีค่า β น้อย

รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของแก๊สเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป (ความดันคงที่) ซึ่งสัมพันธ์กับค่า β

ปริมาณการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาแบบอิสระระหว่างพื้นผิววัตถุใด ๆ กับของไหลจะมีความสัมพันธ์กันโดยตรงกับอัตราการไหลเชิงมวล (mass flow rate) ของของไหล หากอัตราการไหลโดยมวลมีค่าสูงก็จะเกิดอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงตามไปด้วย การถ่ายเทความร้อนแบบนี้จะไม่มีการใช้เครื่องเป่าลม (blower) ดังนั้น จึงไม่สามารถควบคุมปริมาณอัตราการไหลได้โดยตรง อัตราการไหลที่เกิดขึ้นจะถูกกำหนดโดยการสมดุลพลวัต (dynamic balance) ของแรงลอยตัวและแรงเสียดทาน

แรงลอยตัวเกิดจากผลต่างของความหนาแน่นระหว่างของไหลที่ร้อน (หรือเย็น) บริเวณใกล้กับพื้นผิวของวัตถุกับของไหลที่แวดล้อมวัตถุนั้น ๆ ซึ่งแรงลอยตัวจะแปรผันตรงกับผลต่างของความหนาแน่นนี้ และปริมาตรที่ของไหลร้อนบรรจุอยู่ เป็นที่ทราบกันดีว่า เมื่อมีวัตถุสองชนิดสัมผัสกัน (ของแข็ง-ของแข็ง ของแข็ง-ของไหล หรือ ของไหล-ของไหล) โดยมีการเคลื่อนที่ร่วมด้วย จะก่อให้เกิดแรงเสียดทานขึ้นที่ผิวสัมผัสนั้น ๆ ในทิศทางตรงกันข้ามกับการเคลื่อนที่ ส่งผลให้การเคลื่อนที่ของของไหลช้าลง และอัตราการไหลของของไหลลดลง (หากพิจารณาภายใต้สภาวะคงตัว (steady state)) โดยแรงเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นหากพื้นที่ผิวของวัตถุมากขึ้นทำให้ส่งผลกระทบต่ออัตราการไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อน ความเข้มของแรงลอยตัวที่เกิดขึ้นจะสังเกตได้จากค่าเลขไร้มิติที่เรียกว่า “ค่าเลขกราชอฟ” ดังจะได้กล่าวต่อไปนี้

ค่าเลขกราชอฟ (The Grashof Number)

เป็นค่าเลขไร้มิติที่ควบคุมขอบเขตการไหลของการพาแบบอิสระซึ่งนิยามโดยสัดส่วนของแรงลอยตัวต่อแรงเนื่องจากความหนืด (viscous force) ที่กระทำต่อของไหล ดังนี้

$$\text{Gr} = \frac{\text{buoyancy force}}{\text{viscous force}} = \frac{g\Delta\rho V}{\rho\nu^2} = \frac{g\beta\Delta TV}{\nu^2} \quad (2.6)$$

(การพาแบบบังคับ จะใช้ค่าเลขเรย์โนลด์ในการควบคุมขอบเขตของการไหล ซึ่งนิยามโดยสัดส่วนของแรงเฉื่อย (inertia force) ต่อแรงเนื่องจากความหนืด)

สามารถเขียนในรูปที่เหมาะสมได้ดังนี้

$$\text{Gr} = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)x^3}{\nu^2} \quad (2.7)$$

- เมื่อ g = ความเร่งสู่ศูนย์กลางโลก, m/s^2
 β = สัมประสิทธิ์การขยายตัวตามความร้อนเชิงปริมาตร, $1/K$
 (สำหรับแก๊สในอุดมคติมีค่าเท่ากับ $1/T$)
 T_s = อุณหภูมิของพื้นผิว, K
 T_∞ = อุณหภูมิของของไหลระยะไกล, K
 x = ความยาวคุณลักษณะของโครงสร้าง, m
 v = ความหนืดจลนศาสตร์ของของไหล, m^2/s

สามารถพิจารณาว่าการไหลเป็นการไหลในช่วงราบเรียบหรือช่วงปั่นป่วนโดยพิจารณาที่ค่าเลขกราชอฟ สำหรับการไหลโดยการพาแบบอิสระผ่านแผ่นร้อนในแนวตั้งนั้น ค่าเลขกราชอฟต้องไม่มากกว่า 1×10^9 จึงจะเป็นการไหลในช่วงราบเรียบ หากมากกว่านี้จะเป็นการไหลในช่วงปั่นป่วน

อัตราการถ่ายเทความร้อนจากพื้นผิวของของแข็งสู่ของไหลที่อยู่โดยรอบในการไหลแบบการพาอิสระสามารถคำนวณได้จากกฎการถ่ายโอนความร้อนของนิวตัน (Newton's law of cooling) ดังสมการ

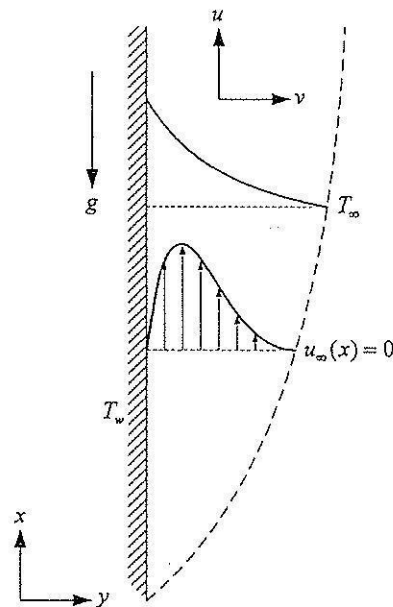
$$\dot{Q}_{\text{conv}} = hA(T_s - T_\infty) \quad (2.8)$$

เมื่อ A คือ พื้นที่ผิวที่เกิดการถ่ายเท และ h คือ ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวนั้น ๆ ซึ่งสามารถทำนายค่าของ h ได้เป็นฟังก์ชันของเลขกราชอฟ

2.3. 2 การพาอิสระผ่านแผ่นร้อนในแนวตั้ง

การระบายอากาศแบบธรรมชาติอาศัยกลไกการถ่ายเทความร้อนโดยการพาแบบอิสระ การศึกษาถึงทฤษฎีตลอดจนกลไกทางฟิสิกส์ของการไหลแบบการพาอิสระจึงเป็นสิ่งจำเป็น เพื่อความเข้าใจที่ถูกต้องที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์พฤติกรรมกรไหลของปัญหาการระบายอากาศภายในอาคารที่สนใจต่อไป ในที่นี้จะกล่าวถึงปัญหาการไหลพื้นฐานของการพาแบบอิสระ นั่นคือ การไหลแบบการพาอิสระผ่านแผ่นร้อนแนวตั้งที่มีอุณหภูมิของแผ่นร้อนคงที่ รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะการเกิดชั้นผิวบาง (boundary layer) ของการไหลลักษณะนี้ โดยจะเริ่มเกิดที่ตำแหน่งของขอบนำ (leading edge) ของแผ่นร้อน อากาศโดยรอบของแผ่นร้อนเป็นอากาศนิ่ง (ความเร็วเท่ากับศูนย์) และมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิของอากาศระยะไกล (free stream (T_∞)) พื้นผิวของผนังมีเงื่อนไขการไหลเป็นแบบไม่ลื่นไหล (no-slip

condition) ดังนั้น ความเร็วของอากาศบริเวณมีค่าเท่ากับศูนย์ (พิจารณาให้แผ่นร้อนหยุดนิ่ง) ความแตกต่างของความหนาแน่นเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างแผ่นร้อนกับอากาศระยะไกลทำให้เกิดแรงลอยตัว ส่งผลให้อากาศร้อนลอยตัวสูงขึ้น ความเร็วสูงสุดของอากาศร้อนเกิดในช่วงของชั้นผิวบาง และเข้าสู่ศูนย์อีกครั้งที่ความหนาของชั้นผิวบาง (boundary layer thickness) พอดี ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ส่วนอุณหภูมิของอากาศจะมีค่าสูงสุดเท่ากับอุณหภูมิที่ผิวของแผ่นร้อน (T_s) และลดลงจนกระทั่งเท่ากับอุณหภูมิของอากาศระยะไกลที่ความหนาของชั้นผิวบาง การเกิดชั้นผิวบางนี้ในช่วงแรกจะเป็นแบบราบเรียบ และหากความยาวของแผ่นร้อนมีค่ามากพอก็อาจจะก่อให้เกิดชั้นผิวบางในช่วง transition และ turbulent ได้ ขึ้นอยู่กับค่าเลขกราสฮอฟของการไหล



รูปที่ 2.4 การไหลโดยการพาอิสระผ่านแผ่นร้อนในแนวตั้ง

2.3.3 สมการของชั้นผิวบาง (The Boundary-Layer Equations)

สมการการไหลของปัญหาการไหลแบบการพาอิสระผ่านแผ่นร้อนในแนวตั้งนี้มีรูปแบบเช่นเดียวกับสมการแม่ทอของการไหลในชั้นผิวบาง (the governing boundary-layer equations) ของแผ่นในแนวระดับ แต่จะมีเทอมของแรงลอยตัวเพิ่มเข้ามาในสมการอนุพันธ์โมเมนตัม หากพิจารณาให้ของไหลเป็นของไหลที่ไม่อัดตัวใน 2 มิติ จะได้สมการอนุพันธ์โมเมนตัมในแนวแกน x (ทิศทางเดียวกันกับความยาวของแผ่นร้อน) ดังนี้

$$\rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x} - \rho g + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (2.9)$$

เทอม ρg เป็นแรงเนื่องจากน้ำหนัก (body force, X) ของของไหล

สมการ (2.9) พิจารณาให้ของไหลเป็นของไหลที่ไม่มีการอัดตัว ในความเป็นจริงของไหลที่ไม่อัดตัวคือของไหลที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น นั่นหมายถึงไม่มีแรงลอยตัวเกิดขึ้น อย่างไรก็ตามโดยอาศัยฟังก์ชันการประมาณการ Boussinesq approximation ซึ่งประมาณให้ความหนาแน่นของของไหลในทุก ๆ เทอมของสมการเป็นค่าคงที่ ยกเว้นในเทอมของแรงเนื่องจากน้ำหนักของของไหล ซึ่งการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นเพียงเล็กน้อยนี้ก่อให้เกิดแรงลอยตัวขนาดใหญ่

กรณีการไหลผ่านแผ่นร้อนในชั้นผิวบางนี้ สามารถประมาณให้เกรเดียนต์ของความดันในแนวตั้งฉากกับการไหลมีค่าประมาณศูนย์ นั่นคือ

$$\frac{\partial p}{\partial y} = 0 \quad (2.10)$$

ผลพวงจาก (2.10) ทำให้ความดันภายในช่วงของชั้นผิวบางจะเหมือนกับความดันของของไหลหนึ่งที่อยู่ห่างออกไปจากชั้นผิวบาง ซึ่งยังผลให้

$$\left. \frac{\partial p}{\partial x} \right|_{\text{boundary layer}} = \left. \frac{\partial p}{\partial x} \right|_{\text{outer}} = -\rho_{\infty} g \quad (2.11)$$

จากสมการอนุรักษ์โมเมนตัมภายในชั้นผิวบางจะได้ว่า

$$\rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} = g(\rho_{\infty} - \rho) + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (2.12)$$

หากหารตลอดสมการด้วยค่าความหนาแน่นที่สมมติให้เป็นค่าคงที่ (ยกเว้นที่เทอมของน้ำหนักของของไหล) จะได้ว่า

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{g}{\rho} (\rho_\infty - \rho) + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (2.13)$$

สามารถเขียนเทอมผลต่างความหนาแน่นให้อยู่ในรูปผลต่างอุณหภูมิได้ โดยอาศัยสัมประสิทธิ์การขยายตัวตามความร้อนเชิงปริมาตร (volumetric thermal expansion coefficient, β) นิยามโดย

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p \quad (2.14)$$

จากนิยาม β เป็นค่าที่แสดงถึงปริมาณการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่นต่ออุณหภูมิที่เปลี่ยนไป เมื่อพิจารณาที่ความดันคงที่ โดยปกติแล้วสำหรับการไหลแบบการพาความร้อนมีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นเพียงเล็กน้อย ซึ่งสามารถประมาณหาค่า β ได้โดยใช้ Boussinesq approximation ดังนี้

$$\beta \approx -\frac{1}{\rho} \frac{\rho_\infty - \rho}{T_\infty - T} \quad (2.15)$$

แทนความสัมพันธ์นี้ลงในสมการโมเมนตัม จะได้ว่า

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = g\beta(T - T_\infty) + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (2.16)$$

จากสมการจะเห็นว่าแรงลอยตัวที่เกิดขึ้นจะปรากฏเป็นฟังก์ชันของ β (ซึ่งเป็นคุณสมบัติของของไหล) และผลต่างของอุณหภูมิระหว่างผนังและของไหลที่ล้อมรอบ จึงสะดวกต่อการวิเคราะห์มากขึ้น

หากพิจารณาให้ของไหลที่ล้อมรอบเป็นก๊าซในอุดมคติจะสามารถหาค่า β ได้โดยแทนสมการสถานะ ($\rho = p/RT$) ลงในสมการ (2.14) จะได้ว่า

$$\beta = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_p = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial T} \left(\frac{p}{RT} \right)_p = \frac{1}{\rho} \frac{p}{RT^2} = \frac{RT}{p} \frac{p}{RT^2} = \frac{1}{T} \quad (2.17)$$

โดยที่อุณหภูมิที่แทนค่าต้องเป็นอุณหภูมิสัมบูรณ์ซึ่งมีหน่วยเป็นเคลวิน (K)

เทอมของแรงลอยตัวจะปรากฏในสมการ โมเมนตัมเท่านั้น ส่วนสมการอนุรักษ์มวล และสมการอนุรักษ์พลังงานมีรูปเหมือนกันกับสมการของการไหลในชั้นผิวบางผ่านแผ่นแนวนอน (forced boundary layer flow over a flat plate) ดังนั้นสามารถสรุปสมการแม่บทที่อธิบายถึงการไหลแบบการพาอิสระผ่านแผ่นร้อนในแนวตั้งได้ดังชุดของสมการด้านล่างดังนี้

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2.18)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = g\beta(T - T_\infty) + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (2.19)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (2.20)$$

โดยปกติความเร็วของการไหลที่เกิดขึ้นสำหรับการไหลเนื่องจากแรงลอยตัวมีค่าต่ำมาก ดังนั้นจึงสามารถตัดเทอมของ viscous-dissipation ออกจากสมการอนุรักษ์พลังงาน (2.20) ได้

จากสมการแม่บทของการไหลแบบการพาอิสระผ่านแผ่นร้อนในแนวตั้งจะเห็นว่าสมการอนุรักษ์โมเมนตัมเกี่ยวข้องกับสมการอนุรักษ์พลังงาน (ด้วยตัวแปรอุณหภูมิ) นอกจากนี้สมการอนุรักษ์พลังงานยังเกี่ยวข้องกับสมการอนุรักษ์โมเมนตัมและสมการอนุรักษ์มวลด้วยตัวแปรของความเร็ว u และ v ที่ปรากฏใน convection term ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแก้สมการทั้งหมดร่วมกัน ไม่สามารถแยกพิจารณาได้

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การอยู่อาศัยภายในอาคารของมนุษย์ต้องการอุณหภูมิ ความชื้น และความสะอาดของอากาศที่เหมาะสม ปัจจัยต่าง ๆ ที่เหมาะสมเหล่านี้รวมเรียกว่า สภาพความสบายเชิงความร้อน (thermal comfort) ซึ่งค่าของปัจจัยจะแตกต่างกันตามสภาวะแวดล้อมและความเคยชินของผู้อยู่อาศัย สภาพความไม่สบายเชิงความร้อน (thermal discomfort) ของผู้ที่อาศัยในเขตสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ส่วนใหญ่เกิดจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่เข้าสู่ภายในตัวอาคาร ผ่านหลังคา ผืนผนัง หรือหน้าต่างของอาคารทั้งโดยตรงและโดยอ้อม ดังนั้นเพื่อความสบายในการอยู่อาศัย มนุษย์จึงใช้พัดลม หรือเครื่องปรับอากาศ เพื่อปรับ

สภาวะของอากาศภายในอาคารให้มีความเหมาะสมต่อความสบายของตนเอง ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าทั้งยังก่อให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม

แนวทางหนึ่งที่สามารถลดปริมาณความร้อนที่อาคารได้รับจากแสงอาทิตย์โดยหลีกเลี่ยงการใช้พลังงานไฟฟ้าคือการใช้ระบบระบายความร้อนแบบพาสซีฟ (passive cooling) เช่น การใช้ระบบหล่อเย็นด้วยอ่างน้ำบนหลังคา (pond roof) หรือการใช้ปล่องแสงอาทิตย์ (solar chimney) ซึ่งเป็นการระบายอากาศธรรมชาติ หรือการประยุกต์ใช้หลักการของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ (flat plate solar collector) โดยปกติจะประยุกต์เข้ากับผนังหรือหลังคาของอาคาร ซึ่งบางครั้งก็ถูกเรียกว่าปล่องแสงอาทิตย์เนื่องจากมีหลักการทำงานคล้ายคลึงกัน

สำหรับบทนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศและทำความเย็นแบบธรรมชาติ ซึ่งอาศัยหลักการของการพาอิสระ เนื่องจากโดยส่วนใหญ่แล้วเป็นการประยุกต์ตัวเก็บแผ่นราบเพียงแต่อาจจะมีการเรียกชื่อแตกต่างกันออกไป จึงแบ่งงานวิจัยออกเป็นสองส่วน หนึ่งคือการติดตั้งปล่องแสงแดดเข้ากับผนังของอาคาร และสองคือการติดตั้งปล่องแสงแดดเข้ากับหลังคาของอาคาร ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.4.1 งานวิจัยที่ศึกษาการระบายอากาศเมื่อติดตั้งปล่องแสงแดดกับหลังคาของอาคาร

Bunnag (1995) ศึกษาประสิทธิภาพของการระบายอากาศด้วยหลังคาแบบแดด เมื่อใช้วัสดุทำหลังคาที่ใช้ในท้องถิ่นแบบต่าง ๆ กัน โดยที่หลังคาแบบแดดประกอบด้วย กระจเบื้องมุงหลังคาด้านบน ช่องว่างอากาศ และแผ่นฝ้าเพดานด้านล่างวางตัวในแนวเดียวกัน ผลการทดลองพบว่ารูปแบบของวัสดุที่เหมาะสมในการสร้างหลังคาคือ มุงหลังคาด้านบนด้วยกระเบื้องซีแพค โมเนียร์สีเข้ม โดยใช้แผ่นปิดเพดานล่างเป็นแผ่นยิปซัม นอกจากนี้ยังพบว่ามุมเอียงของหลังคามีผลต่ออัตราการระบายอากาศ โดยมุมเอียงที่ดีที่สุดคือ 15° แต่ในความเป็นจริงหากใช้มุมนี้จะได้บ้านที่มีหลังคาทรงป้านใหญ่ และมีมุมจั่วบนกว้างมาก ซึ่งไม่สวยงาม ผู้วิจัยแนะนำให้ใช้มุมเอียงของหลังคา $25-30^\circ$ ซึ่งแม้จะมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนต่ำกว่าที่มุมเอียง 15° แต่เมื่อพิจารณาถึงหลาย ๆ องค์ประกอบแล้วที่มุมเอียง 30° มีความเหมาะสมที่สุด และจากผลการทดลองยังบ่งชี้ว่า ขนาดของช่องว่างอากาศที่เหมาะสมคือ 8-15 cm ซึ่งจะได้อัตราการระบายอากาศประมาณ $0.19-0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ (Khedari et al. (1996, 1997 b))

Hirunlabh et al. (1997) พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการคำนวณและออกแบบหลังคาแบบแดด โดยใช้หลังคาแบบที่เหมาะสมที่สุดจากผลงานวิจัยของ Bunnag (1995) นั่นคือ มุงหลังคาด้วยกระเบื้องซีแพค โมเนียร์ และใช้แผ่นยิปซัมแผ่นฝ้าเพดาน โดยใช้หลักการถ่ายเทความร้อนในหนึ่งมิติที่สภาวะคงที่ (One Dimensional Steady Heat Transfer) จากการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง

ๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่เหมาะสมของระบบ ทำให้ได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สามารถทำนายพฤติกรรมของหลังคารับแดดที่มีความใกล้เคียงกับผลการทดลองที่ได้ใน Bunnag (1995)

ในขณะเดียวกัน Wachirapuwadon et al. (1997) ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหลังคารับแดด และศึกษาถึงอิทธิพลของค่าความจุความร้อนของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างชนิดต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นกระเบื้องซีเมนต์ โพลีเมอร์หรือแผ่นอิฐฉนวน พบว่าอิทธิพลของค่าความจุความร้อนของวัสดุมีผลน้อยมาก ดังนั้นในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหลังคารับแดดอาจไม่จำเป็นต้องพิจารณาผลของค่าความจุความร้อนของวัสดุก็ได้ นอกจากนี้ยังพบว่ามุมเอียงของหลังคาควรอยู่ระหว่าง $20-60^{\circ}$ ความยาวที่เหมาะสมควรอยู่ระหว่าง 100-200 cm แต่งานวิจัยที่กล่าวถึงเหล่านี้ยังไม่มีการศึกษาถึงประสิทธิภาพเชิงความร้อนอย่างจริงจัง จนกระทั่ง Chaima (1997) ได้ทำการหาประสิทธิภาพเชิงความร้อนของหลังคารับแดดที่มีลักษณะเดียวกันนี้ โดยแบ่งหลังคาออกเป็น 2 ชุด ชุดแรกมีขนาดช่องว่างอากาศ 8 cm และชุดที่ 2 มีขนาดช่องว่างอากาศ 14 cm มุมเอียงของหลังคาทั้งสองชุดมีขนาดเท่ากันคือ 25° จากการทดลองพบว่าหลังคาที่มีขนาดช่องว่างอากาศ 14 cm จะได้อัตราการระบายอากาศมากกว่าหลังคาที่มีขนาดช่องว่างอากาศ 8 cm นอกจากนี้ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้หลักการถ่ายเทความร้อนในหนึ่งมิติที่สถานะไม่สม่ำเสมอ แก้ปัญหาของการถ่ายเทความร้อนนี้ด้วยกรรมวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ แบบเอ็กซ์พลิซิที (The Explicit Method of Finite Difference) ผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้ค่าใกล้เคียงกับผลการทดลอง บทสรุปของงานวิจัยนี้คือ ควรสร้างหลังคาเอียง $20-45^{\circ}$ ความยาว 100-130 cm และช่องว่างอากาศขนาด 10-14 cm (Khedari et al. (1997 a))

Wachirapuwadon (1996) และ Hirunlabh et al. (2000) ทำการศึกษาลักษณะการติดตั้งหลังคาในลักษณะต่าง ๆ 4 รูปแบบ แบบที่ 1 หลังคาเป็นแผ่นเรียบแผ่นเดียววางเป็นมุมเอียง 30° แบบที่ 2 แบ่งหลังคาเป็นสองส่วนวางซ้อนเหลื่อมกันให้มีช่องว่างอากาศ วางเป็นมุมเอียง 30° ทั้งสองช่วง แบบที่ 3 แบ่งหลังคาเป็นสองส่วน วางซ้อนเหลื่อมกันให้มีช่องว่างอากาศ ส่วนล่างวางเป็นมุมเอียง 30° ส่วนบนวางเป็นมุมเอียง 60° แบบที่ 4 แบ่งหลังคาเป็นสามส่วนวางซ้อนเหลื่อมกันให้มีช่องว่างอากาศ วางเป็นมุม 30° , 45° และ 60° จากล่างขึ้นบนตามลำดับ ซึ่งแบบที่ 4 นี้จะมีลักษณะของหลังคาล้ายกับหลังคาของบ้านทรงไทย และเมื่อใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาไว้ในงานวิจัยก่อนหน้านี้ประมาณอัตราการระบายอากาศ พบว่าหลังคาแบบที่ 4 ให้อัตราการระบายอากาศสูงสุด

Khedari et al. (2000b) สร้างแบบจำลองบ้านจริง ขนาด กว้าง 3.35 m ยาว 3.45 m สูง 2 m เพื่อศึกษาภายใต้สภาวะจริง โดยในการศึกษานี้มุ่งศึกษาอิทธิพลของช่องเปิดที่ส่งผลต่ออัตราการระบาย

อากาศ พบว่า ช่องเปิดที่มีขนาดเป็นครึ่งหนึ่งของพื้นที่หน้าตัดของตัวรับแสงแดดจะให้อัตราการระบายอากาศสูงที่สุด

Waewsak et al. (2000) ศึกษาและออกแบบหลังคาบรยากาศชีวภาพ โดยมุ่งเน้นการออกแบบหลังคาที่มีความเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย โดยศึกษาลักษณะภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย (Khedari et al. (2001a)) และแบ่งโซนภูมิอากาศของประเทศไทยออกเป็นโซนต่าง ๆ ที่มีลักษณะคล้ายกัน โดยใช้ข้อมูลอุตุนิยมวิทยา วัตถุประสงค์ของการออกแบบหลังคาบรยากาศชีวภาพเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนสู่อาคาร เหนียวน้ำให้เกิดการระบายอากาศในอัตราที่สูง และให้ความสว่างโดยใช้แสงธรรมชาติ หลังคาบรยากาศชีวภาพประกอบด้วยส่วนของกระเบื้องมุงหลังคา ช่องว่างอากาศ และฝ้าเพดาน หลังคาบรยากาศชีวภาพมุงด้วยแผ่นกระเบื้องซีแพคโมเนียร์ร่วมกับแผ่นกระเบื้องมุงหลังคาแบบใส ส่วนของฝ้าเพดานใช้แผ่นยิปซัมชนิดบุฟอยด์ร่วมกับแผ่นกรองแสง หลังคาบรยากาศชีวภาพมีหน้าที่สำคัญ 2 ประการคือ ในเวลากลางวันจะทำหน้าที่เป็นปล่องแสงแดด เหนียวน้ำให้เกิดการระบายอากาศแบบธรรมชาติ ซึ่งจะช่วยลดค่าความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคาร การใช้กระเบื้องมุงหลังคาแบบใสนอกจากจะให้ความสว่างที่เพียงพอต่อความต้องการสำหรับบ้านพักอาศัยแล้วยังช่วยเพิ่มอัตราการระบายอากาศอีกด้วย สำหรับในเวลากลางคืนหลังคาบรยากาศชีวภาพจะทำหน้าที่เป็นหลังคาแผ่รังสีเพื่อแผ่รังสีความร้อนสู่ครึ่งทรงกลมท้องฟ้า ทำให้อุณหภูมิผิวของหลังคาลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ดังนั้นอากาศที่อยู่ในช่องว่างของหลังคาจะมุดอุณหภูมิลดลงและเคลื่อนที่ลงมาก่อนให้เกิดการทำความเย็นในเวลากลางคืน การทดสอบประสิทธิภาพของหลังคาบรยากาศชีวภาพได้ทำการทดลองเปรียบเทียบกับหลังคารับแดด โดยทำการทดลองในสภาพภูมิอากาศที่แตกต่างกัน กล่าวคือ ช่วงฤดูหนาว (ธันวาคม) และช่วงฤดูร้อน (มีนาคมถึงเมษายน) ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิห้องใต้หลังคาบรยากาศชีวภาพมีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิห้องใต้หลังคารับแดด และมีค่าใกล้เคียงกับอากาศแวดล้อม ค่าความสว่างภายในห้องมีค่าประมาณ 150 Lux ในฤดูหนาว และ 300 Lux ในฤดูร้อน อัตราการระบายอากาศที่ถูกเหนียวน้ำโดยหลังคาบรยากาศชีวภาพและการแลกเปลี่ยนอากาศซึ่งสัมพันธ์กันนั้นมีค่าประมาณ 200 m³/hr และ 8 เท่าของปริมาตรห้องในฤดูหนาว และมีค่าประมาณ 300 m³/hr และ 12 เท่าของปริมาตรห้องในฤดูร้อนตามลำดับ และพบว่าแสงสว่างจากธรรมชาติที่ผ่านหลังคาบรยากาศชีวภาพไม่ก่อให้เกิดความร้อนที่สูงจนเกินไป

2.4.2 งานวิจัยที่ศึกษาการระบายอากาศเมื่อติดตั้งปล่องแสงแดดกับผนังของอาคาร

การประยุกต์ตัวเก็บรังสีอาทิตย์เข้ากับผนังบ้านพักอาศัยนี้มีหลักการทำงานเช่นเดียวกันกับการประยุกต์เข้ากับหลังคาตั้งที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้น โดยส่วนใหญ่จะติดตั้งเข้ากับผนังทางด้านใต้ของแบบจำลองของบ้าน ดังตัวอย่างงานวิจัยต่อไปนี้

Bansal, Mathur J., Mathur S. and Jane (2005) สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าความเร็วของอากาศภายในปล่องแสงแดด ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก ด้านนอกสุดเป็นวัสดุโปร่งใส (glazing) ช่องว่างอากาศ (air gap) และด้านในสุดคือแผ่นดูดซับความร้อน (absorber) ทาด้วยสีดำ คำนวณค่าอุณหภูมิของแผ่นดูดซับความร้อน อุณหภูมิของอากาศภายในช่องว่างอากาศ และอุณหภูมิของกระบอกยื่นยื่นความถูกต้องของแบบจำลองที่สร้างขึ้นด้วยผลลัพธ์จากการทดลอง ปล่องแสงแดดที่ใช้ในการทดลองเป็นปล่องขนาดเล็ก (กว้าง \times ยาว = 1m \times 1 m) ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีความสอดคล้องกันเป็นอย่างดี และจากการทดลองยังพบว่าปล่องแสงแดดขนาดเล็กสามารถช่วยให้เกิดการระบายอากาศภายในอาคารได้

Khedari (1997) ได้ศึกษาการใช้ผนัง Metallic Solar Wall (MSW) ซึ่งประกอบด้วยกระจก ช่องว่างอากาศ แผ่นสังกะสีสีดำ และฉนวนใยแก้วปิดด้วยกระดานอัด โดยทำการศึกษาถึงผลของความสูงของผนังที่แตกต่างกัน ระหว่างที่ความสูง 1 m กับ 2 m และผลของขนาดช่องว่างอากาศตั้งแต่ 10, 11.5, 13 และ 14.5 cm จากการทดลองพบว่า ที่ความสูงของผนัง 2 m และขนาดช่องว่างอากาศ 14.5 cm ให้อัตราการระบายอากาศสูงที่สุด อยู่ในช่วง 0.01-0.02 kg/s แต่ถ้าคิดอัตราการใช้พื้นที่พบว่าการใช้ผนังที่มีความสูง 1 m สองชุดจะทำให้ให้อัตราการระบายอากาศที่สูงกว่าการใช้ผนังที่มีความสูง 2 m ชุดเดียว และได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยใช้หลักการถ่ายเทความร้อนแบบหนึ่งมิติในสถานะสมำเสมอ และทำการหาคำตอบของสมการ โดยใช้วิธีนิวตันราฟสัน (Newton-Raphson) ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกับการทดลอง (Hirunlabh et al. (1999))

Kaewruang (1997) ได้ศึกษาการนำผนัง Trombe Wall มาใช้ระบายอากาศโดยผนังนี้ประกอบด้วยกระจก ช่องว่างอากาศ และผนังก่ออิฐฉาบปูนทาด้วยสีดำหนา 8 cm และฉนวนใยแก้วปิดด้วยกระดานอัด ศึกษาตัวแปรต่าง ๆ เช่นเดียวกับกรณีผนัง MSW พบว่าผลการทดลองที่ได้มีความสอดคล้องกัน คือ ผนังที่มีความสูง 2 m และขนาดช่องว่างอากาศ 14.5 cm ให้อัตราการระบายอากาศสูงสุด โดยมีอัตราการระบายอากาศ 0.01-0.015 kg/s และจะให้อัตราการระบายอากาศมากกว่าผนังที่มีช่องว่างอากาศขนาด 10 cm ประมาณ 5-30% หลังจากสี่โมงเย็นความเข้มของแสงแดดลดลงแต่ยังมีระบายอากาศอย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เนื่องจากผนังก่ออิฐฉาบปูนสามารถเก็บความร้อนไว้ได้นาน แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นใช้หลักการถ่ายเทความร้อนแบบหนึ่งมิติ ในสถานะไม่สมำเสมอ และได้ใช้การ

แก้ปัญหาของการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีนิวตันกราฟสัน ซึ่งให้ผลที่ใกล้เคียงกับผลของการทดลอง (Khedari et al. (1999))

เจริญพร เลิศสถิตชนกร (2540) ได้ศึกษาการประยุกต์ผนังก่ออิฐฉาบปูนเพื่อการระบายอากาศโดยมีลักษณะเป็นผนัง Trombe Wall แบบปรับปรุง (Modified Trombe Wall, MTW) ประกอบด้วยผนังก่ออิฐฉาบปูนทาสีดำหนา 7 cm ช่องว่างอากาศ และแผ่นยิปซัม ซึ่งส่วนประกอบต่าง ๆ เหล่านี้เป็นวัสดุโครงสร้างที่ใช้ของบ้านทั่วไปในประเทศไทย ศึกษาผลกระทบจากตัวแปรต่าง ๆ ได้แก่ ขนาดช่องว่างอากาศ และสีที่ทาผนังก่ออิฐฉาบปูน พบว่าผนังที่มีขนาดช่องว่างอากาศ 14 cm ให้อัตราการระบายอากาศสูงกว่าผนังที่มีขนาดช่องว่างอากาศ 10 cm ประมาณ 10-15% และผนังสีโทนมืดให้อัตราการระบายอากาศมากกว่าผนังสีโทนสว่าง โดยผนังที่มีช่องว่างอากาศ 14 cm และมีสีโทนมืด จะให้อัตราการระบายอากาศ $0.006-0.023 \text{ m}^3/\text{s}$ ส่วนผนังสีโทนสว่างที่มีขนาดช่องว่างอากาศเท่ากันจะให้อัตราการระบายอากาศ $0.004-0.019 \text{ m}^3/\text{s}$ นอกจากผลของการระบายอากาศแล้ว ยังพบอีกว่าผนังสีนี้จะมีผลเสมือนฉนวนป้องกันความร้อนจากภายนอกเข้ามาสู่ภายในอาคารได้เป็นอย่างดีและได้มีการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Chaima (1997) มาประยุกต์ใช้กับผนัง MTW ผลที่ได้สามารถนำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาทำนายสภาวะการทำงานของระบบได้ (Khedari et al. (1998))

Pongsatirat (2000) ศึกษาวิธีการนำพลังงานแสงแดดและแสงสว่างธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ภายในอาคาร (Partially-Glazed Solar Chimney Wall: PGSCW) โดยมีโครงสร้างประกอบด้วยผนังก่ออิฐฉาบปูนร่วมกับวัสดุโปร่งใสเป็นผนังด้านนอก ช่องว่างอากาศ ผนังยิปซัมชนิดอคูมินัมฟอยล์ทางด้านบนของผนังยิปซั่มมีแผ่นอะครีลิกตั้งอยู่ ทำการทดลองศึกษาอิทธิพลของวัสดุโปร่งใสที่แตกต่างกัน 2 ชนิด คือ บล็อกแก้วและบล็อกกระจก 2 ชั้น พบว่าบล็อกแก้วให้อัตราการระบายอากาศและแสงสว่างสูงกว่าการใช้บล็อกกระจก 2 ชั้น โดยมีอัตราการระบายอากาศ $60-80 \text{ m}^3/\text{s}$ และ $350-550 \text{ Lux}$ ตามลำดับ ศึกษาอิทธิพลของช่องเปิด เช่น ประตู หน้าต่าง และช่องทางเข้าของปล่องแสงแดดที่มีต่ออัตราการเหนี่ยวนำให้เกิดการระบายอากาศภายในบ้านจำลอง พบว่าสามารถลดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิภายในบ้านกับอุณหภูมิอากาศแวดล้อมลงได้ประมาณ $2-4^\circ\text{C}$ และเหนี่ยวนำให้เกิดอัตราการระบายอากาศประมาณ 15 เท่าของปริมาตรบ้านต่อชั่วโมง เมื่อพิจารณาหน้าต่างเป็นช่องเปิดควรใช้ช่องทางเข้าของปล่องแสงแดดของผนังที่ระดับ 0.04 m จากพื้นบ้าน และถ้าใช้ส่วนบนของประตูเป็นช่องเปิด ควรใช้ช่องทางเข้าของปล่องแสงแดดของผนังที่ระดับ 1 m จากพื้นบ้าน และได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าอุณหภูมิของผนัง และการระบายอากาศ โดยนำอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมกับค่าความเข้มของแสงแดดมาใส่ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผลการคำนวณพบว่าแนวโน้มเป็นไปตามผลการทดลอง และสามารถใช้ในการประเมินสมรรถนะที่สภาวะสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ ได้ นอกจากนี้ได้ศึกษาผลกระทบของ

ปล่องแสงแดดต่อการลดภาระการทำความร้อนของเครื่องปรับอากาศโดย ชาญนรินทร์ เชยอักษร (2542) ปรากฏว่าการออกแบบกรอบอาคารให้มีปล่องแสงแดดสามารถลดภาระการทำความร้อนของเครื่องปรับอากาศลงได้ประมาณ 30-40% ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศแวดล้อม ต่อมา นินนาท ราชประดิษฐ์ (2543) ทำการศึกษาการใช้ผนังปล่องแสงแดดร่วมกับเครื่องปรับอากาศ ผลการทดลองชี้ชัดว่าผนังปล่องแสงแดดนอกจากจะลดภาระการทำความร้อนของเครื่องปรับอากาศแล้วยังสามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ถึง 7-15% ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศในแต่ละวัน

K.S.Ong (2003) นักวิจัยชาวมาเลเซีย สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณค่าอัตราการไหลของอากาศที่เหนียวน้ำโดยระบบปล่องแสงแดดซึ่งมีลักษณะคล้ายกับ Trombe wall โดยผนังด้านนอกสุดทำจากกระจก กันด้วยช่องว่างอากาศจากนั้นจึงเป็นผนังชั้นในซึ่งทำหน้าที่ดูดกลืนความร้อนจากแสงแดดที่ผ่านกระจกชั้นนอกเข้ามา ผนังชั้นในนี้ทำด้วยสีดำเพื่อเพิ่มค่าการดูดกลืนความร้อน แบบจำลองสร้างขึ้นโดยใช้สมการการถ่ายเทความร้อนที่สภาวะคงตัว และหาค่าคำตอบด้วยวิธีเมตริกซ์อินเวิร์ส ค่าตอบของสมการอยู่ในรูปของอุณหภูมิที่ผนัง อุณหภูมิของอากาศในช่องว่างอากาศ จากนั้นจึงนำไปหาค่าอัตราการไหลเพื่อประเมินสมรรถนะของปล่องแสงแดด ผลลัพธ์จากงานวิจัยพบว่า

Vali Kalantar (2008) ศึกษาสมรรถนะของหอคอยลม (wind tower) ในการทำความเย็นภายในบ้านพักอาศัยในประเทศอิหร่าน ซึ่งมีภูมิอากาศเป็นแบบร้อนแห้ง โดยทำการศึกษาทั้งในรูปของ Integral view และ Differential view พบว่าสามารถลดอุณหภูมิได้สูงสุดถึง 10 - 15°C และเพิ่มความชื้นสัมพัทธ์ได้สูงถึง 50% ซึ่งเหมาะสมกับความสบายของผู้อาศัย เมื่อพิจารณาสมรรถนะการทำความร้อนของหอคอยลมขนาดความสูง 10 m พื้นที่หน้าตัด 2 m², ความเร็วลม 3 m/s พบว่ามีกำลังผลิต 100 kW อัตราการใช้ไฟในการทำความเย็นด้วยการระเหยน้ำ (evaporative cooling) ประมาณ 0.025 kg/s ซึ่งค่าการทำความเย็นนี้เพียงพอกับพื้นที่ 700 m² ของเมือง Yazd ประเทศอิหร่าน จะเห็นว่าการทำความเย็นด้วยการระเหยน้ำสามารถช่วยลดอุณหภูมิของอากาศภายในอาคารได้มาก อย่างไรก็ตาม ประเทศไทยส่วนใหญ่มีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น จึงมีข้อจำกัดในการใช้ระบบการทำความเย็นด้วยการระเหยน้ำ ก่อนจะนำมาใช้ควรมีการศึกษาค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่เหมาะสมกับคนไทยจริง ๆ และอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถทำได้คือการใช้ระบบการทำความเย็นด้วยการระเหยน้ำโดยอ้อม (indirect evaporative cooling)

จิฐิพร วงศ์วัชรไพบุลย์ และคณะ (2008) ศึกษาประสิทธิภาพการระบายอากาศของปล่องแสงอาทิตย์ เมื่อได้รับความร้อนในปริมาณต่างกัน โดยสร้างห้องทดสอบขนาดกว้าง 2 m ยาว 2 m สูง 2.4 m มีปล่องกว้าง 0.2 m ยาว 2 m สูง 1.9 m ติดตั้งด้านบน ปล่องทำจากกระจก และอลูมิเนียมทาสีดำ ให้ความร้อนเทียบเคียงกับแสงแดดที่ความเข้ม 300 - 800 W/m² ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า อัตราการระบายอากาศแปรผัน

ตรงกับความเร็วของแสงแดด การระบายอากาศจากการทดลองมีค่าสูงสุดที่ $0.03 \text{ m}^3/\text{s}$ ที่ความร้อน 300 W/m^2 และ $0.11 \text{ m}^3/\text{s}$ ที่ความร้อน 800 W/m^2 การเพิ่มความร้อน 100 W/m^2 จะทำให้อัตราการระบายอากาศสูงขึ้น $0.01 \text{ m}^3/\text{s}$ ส่วนผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน แต่จะมีค่ามากกว่าค่าจากการทดลอง

Bender and Stowell (1998) ศึกษาการระบายอากาศธรรมชาติที่เกิดขึ้นภายในโรงนา โดยการสร้างปล่องไวนบนหลังคา โรงนาที่ทำการศึกษา มี 2 ชั้น ชั้นล่างของโรงนาใช้เป็นคอกของสัตว์เลี้ยง เช่น หมู วัว เป็นต้น ส่วนชั้น 2 ที่ติดกับหลังคาใช้เพื่อเก็บผลผลิตและอาหารสัตว์ เช่น หญ้า เป็นต้น ในงานวิจัยกล่าวถึงการวิเคราะห์หาจำนวนปล่องที่เหมาะสมต่อการระบายอากาศแบบธรรมชาติอย่างเพียงพอต่อขนาดของโรงนา โดยไม่ได้กล่าวถึงรายละเอียดของโครงสร้างปล่อง เช่น ความสูง และขนาดของปล่อง นอกจากนี้ยังไม่พิจารณาถึงความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านช่องเปิดในส่วนล่างของโรงนาจนกระทั่งไหลออกที่ปล่อง และไม่กล่าวถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในโรงนาแต่อย่างใด ซึ่งตัวแปรเหล่านี้ล้วนมีผลต่อการเพิ่มหรือลดจำนวนของปล่อง หรือช่องเปิดทั้งสิ้น

Afonso and Olivera (2000) สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาการใช้ปล่องแดดในการระบายอากาศธรรมชาติและปรับปรุงคุณภาพของอากาศภายในอาคาร ผลลัพธ์ที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับค่าจากการวัดที่ได้จากการทดลอง โดยได้สร้างเซลล์ทดสอบขึ้นที่เมืองปอร์โต (Porto) ประเทศโปรตุเกส แบ่งเซลล์ทดสอบเป็น 2 ห้อง แต่ละห้องทดสอบประกอบด้วยปล่องทางเข้าและปล่องทางออกของอากาศซึ่งอยู่ด้านบนของหลังคา ปล่องทางออกของแต่ละห้องทดสอบมีลักษณะเหมือนกันทุกประการ ยกเว้นที่ผนังด้านทิศใต้ของปล่องทางออกอันหนึ่งจะทำจากกระจก เรียกปล่องที่มีผนังด้านทิศใต้ทำจากกระจกนี้ว่า ปล่องแสงแดด ส่วนปล่องทางออกของห้องทดสอบที่เหลือมีลักษณะเหมือนปล่องธรรมดาทั่วไป (conventional chimney) พื้นของเซลล์ทดสอบมีขนาดเท่ากับ 12 m^2 ($4 \times 3 \text{ m}$) ผนัง เพดาน และพื้นทำจากคอนกรีต และด้านนอกหุ้มด้วยฉนวน ในการทดลองใช้ tracer gas technique เพื่อวิเคราะห์หาอัตราการใช้พลังงานที่เกิดขึ้น โดยมีหลักการคร่าว ๆ คือ ปล่อย tracer gas (ในงานวิจัยใช้ SF_6) เข้าไปในห้องทดสอบโดยควบคุมให้มีการแพร่อย่างคงที่ จากนั้นสังเกตความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นต่อความเข้มข้นของ tracer gas เพื่อนำไปคำนวณหาอัตราการใช้พลังงานของอากาศที่เกิดขึ้นต่อไป โดยพิจารณาให้การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นมีทั้งเกิดจากการพาแบบบังคับ และการพาแบบอิสระ พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองมีความสอดคล้องกันดีกับผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง โดยนักวิจัยได้สรุปไว้ว่า

1. ประสิทธิภาพของปล่องแสงอาทิตย์มีค่าอยู่ในช่วง 10-20%

2. การสร้างปล่องแสงอาทิตย์ต้องทำการหุ้มฉนวนด้านนอกทุกครั้ง ไม่เช่นนั้นแล้วจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของปล่องแสงอาทิตย์มีค่าลดลงมากกว่า 60% โดยความหนาของฉนวนที่เหมาะสมคือ 5 cm
3. ความหนาของผนังปล่องส่งผลต่ออัตราการไหล และควรเลือกใช้ให้เหมาะสม โดยในตอนกลางวันควรให้ผนังปล่องบางเพื่อลดการสะสมความร้อนในผนัง ส่วนตอนกลางคืนควรให้ผนังปล่องหนาเพื่อเพิ่มการสะสมความร้อนในผนัง และปลดปล่อยออกมา เพื่อช่วยในการเกิดการถ่ายเท ความหนาของผนังปล่องที่ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลมากนักทั้งในตอนกลางวันและตอนกลางคืนเท่ากับ 10 cm (จะเห็นว่าในความเป็นจริงการแยกใช้ผนังในตอนกลางวันและตอนกลางคืนออกจากกันกระทำได้ยาก โดยหากต้องการให้เกิดการถ่ายเทในตอนกลางคืนได้มากขึ้นก็ต้องใช้ผนังที่หนาตั้งแต่ในตอนกลางวันเพื่อทำหน้าที่เก็บสะสมความร้อนไว้เพื่อปลดปล่อยออกในตอนกลางคืน แต่ก็ส่งผลกระทบต่ออัตราการถ่ายเทในตอนกลางวันลดลง และหากใช้ผนังบางในตอนกลางวันก็จะส่งผลตรงกันข้าม)
4. ความแตกต่างระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองและการทดลองมีค่าน้อยมาก ทั้งในวันที่มีความเข้มของแสงแดดน้อยและวันที่มีความเข้มของแสงแดดมาก ดังนั้นแบบจำลองจึงมีความน่าเชื่อถือเพียงพอที่จะนำไปใช้

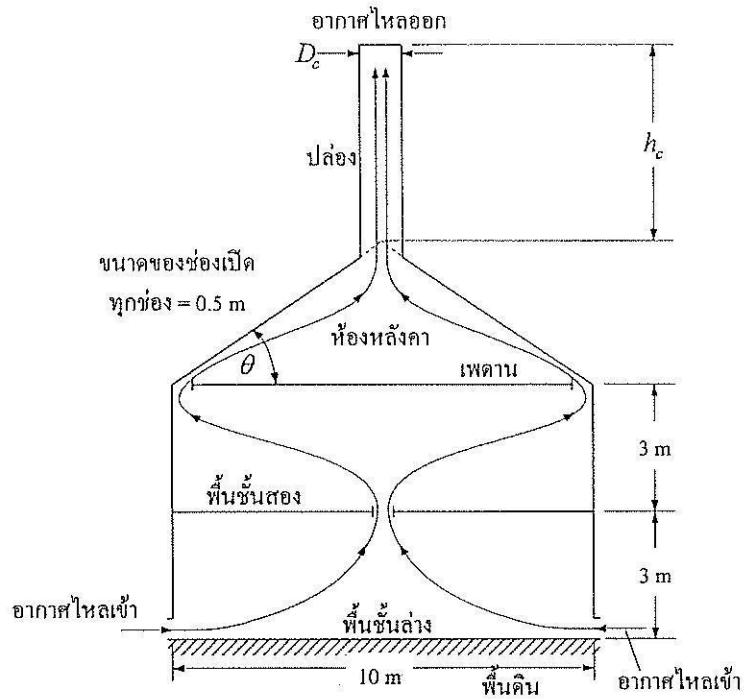
เป็นที่น่าสังเกตว่า สมการสำหรับหาค่าความดันเนื่องจากแรงลอยตัวที่เพิ่มขึ้นนี้ค่อนข้างแตกต่างจากงานวิจัยของท่านอื่น ๆ ในแง่ของการพิจารณาเทอมเกี่ยวกับการสูญเสียที่มีต่อระบบ ซึ่งโดยส่วนใหญ่แล้ว หากเป็นงานวิจัยทั่วไปการศึกษาในเมืองต้นซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในเชิงปริมาณของความสามารถของระบบ จะยังไม่พิจารณาเทอมเกี่ยวกับการสูญเสีย โดยส่วนใหญ่จะพิจารณาว่ามีค่าน้อยมาก โดยเฉพาะเมื่อค่าอัตราส่วนของความสูงของปล่องต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของปล่อง (L/D) มีค่าน้อยมากเช่นนี้ (น้อยกว่า 50) ดังนั้นสมมุติฐานในการสร้างสมการนี้ค่อนข้างล่อแหลมต่อการเกิดความผิดพลาดของผลลัพธ์ที่ได้ แต่สุดท้ายกลับกลายเป็นว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากแบบจำลองนี้มีความสอดคล้องกันดีกับค่าที่ได้จากการวัด

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยอื่น ๆ ที่ได้นำหลักการของ stack effect ไปประยุกต์ใช้เพื่อการระบายอากาศ เช่น ประยุกต์ใช้กับห้องอาหารของสนามกีฬาประเทศออสเตรเลียเพื่อใช้ในการแข่งขันกีฬาโอลิมปิกปี 2000 ที่เมืองซิดนีย์ (Lomas, Eppel, Cook and Mardaljevic, n.d.) ใช้กับคอกเลี้ยงเป็ดและไก่ (Janni and Jacobson, 1995) การศึกษาการระบายอากาศแบบธรรมชาติเมื่อพิจารณาทั้งที่เกิดจากแรงลมและแรงลอยตัวรวมกัน (Li and Delsante, 2001) การพิจารณาการเกิดความปั่นป่วนจากการระบายอากาศ

แบบธรรมชาติที่เกิดจากแรงลอยตัวภายในห้องปิด (Khalifa and Sahib, 2002) การศึกษาถึงกรรมวิธีในการทำให้เกิดการระบายอากาศรูปแบบต่าง ๆ ที่ช่วยในการประหยัดพลังงาน (Haves, n.d.)

Awbi (1996) พัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์การไหลด้วยกรรมวิธีการคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) เพื่อศึกษาการระบายแบบธรรมชาติทั้งที่เกิดจากแรงลมและแรงลอยตัว โดยพิจารณาการเคลื่อนที่ของอากาศ (ความเร็วในการไหลของอากาศ) การกระจายตัวของอุณหภูมิ และคุณภาพของอากาศภายในอาคาร (การกระจายตัวของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂)) ทำการศึกษากับอาคาร 2 แบบ คือ ห้องทำงาน (office room) และห้องโถงใหญ่ (atrium) พบว่า การไหลเนื่องจากแรงลอยตัวอย่างเดียวสามารถระบายอากาศผ่านช่องเปิดได้เพียงพอ และสามารถลดระดับปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

พรสวรรค์ ทองใบ และ ทวีช จิตรสมบูรณ์ (2004a) และ พรสวรรค์ ทองใบ และ ทวีช จิตรสมบูรณ์ (2004b) ได้ประยุกต์หลักการดังกล่าวนี้เพื่อการศึกษาการระบายอากาศ โดยศึกษาใน 2 มิติ ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์การไหลสำเร็จรูป CFX ศึกษาความเป็นไปได้ในการระบายอากาศภายในบ้าน 2 ชั้น ที่มีหลังคาเอียงซึ่งทำจากกระจก และมีปล่องวางอยู่บนยอดแหลมของหลังคาพอดี (ดังแสดงในรูปที่ 2.11) ตลอดจนศึกษาถึงผลกระทบต่อการระบายอากาศเมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความสูงของปล่อง มุมเอียงของหลังคา ขนาดของปล่อง ตลอดจนเส้นแนวการไหลของอากาศภายในอาคาร พบว่าปริมาณการระบายอากาศสูงพอที่จะสร้างความสบายให้กับผู้พักอาศัยได้ และยังพบว่ามุมเอียงของหลังคาที่ดีที่สุดอยู่ที่ประมาณ 45° หากมากกว่านี้ค่าการระบายอากาศเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ส่วนความสูงของปล่องแปรผันตรงกับค่าการระบายอากาศ นั่นคือ ปล่องยิ่งสูงค่าการระบายอากาศยิ่งมาก นอกจากนี้ความเข้มของแสงแดดยังส่งผลต่ออัตราการระบายอากาศ คือ ความเข้มของแสงแดดยิ่งมากค่าการระบายอากาศยิ่งสูง ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยเป็นที่น่าพอใจ



รูปที่ 2.11 ระบบปล่องแคบเพื่อการระบายอากาศภายในบ้านต้นแบบของ
 พรสวรรค์ ทองใบ และ ทวีช จิตรสมบูรณ์ (2004a, 2004b)

ชื่อ
 นามสกุล
 เลขที่
 ชั้นเรียน

บทที่ 3

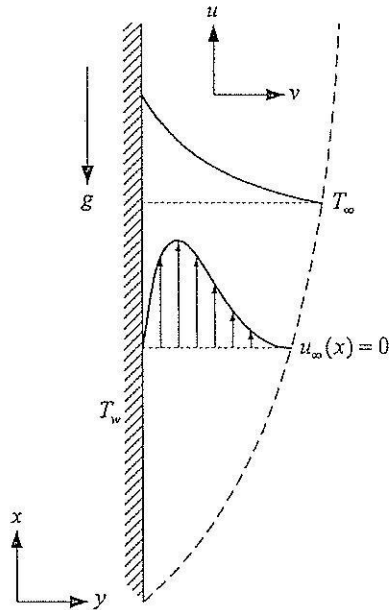
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 กล่าวนำ

ถึงแม้ว่าจุดประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือเพื่อประเมินค่าอัตราการใช้พลังงานในสามมิติ ที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของห้องหลังคาและปล่องแดด โดยใช้โปรแกรมวิเคราะห์การใช้พลังงานผ่านกระบวนการคำนวณเชิงตัวเลข หากวิเคราะห์ปัญหาเดียวกัน การคำนวณในสามมิติโปรแกรมต้องใช้เวลานานกว่าการคำนวณในสองมิติอย่างแน่นอน ดังนั้นงานในช่วงแรกของงานวิจัยนี้จึงเป็นการจำลองการใช้พลังงานในสามมิติในการพิสูจน์แนวคิดเพื่อหาแนวทางการออกแบบระบบที่เหมาะสมที่สุด ก่อนที่จะทำการศึกษาในสามมิติต่อไป ในบทนี้จะกล่าวถึงลำดับขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยโดยรวมอย่างคร่าว ๆ ส่วนรายละเอียดและผลลัพธ์ของแต่ละขั้นตอนจะอธิบายไว้ในแต่ละบทของขั้นตอนนี้ ๆ ต่อไป

3.2 การทดสอบโปรแกรม

เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาเชิงตัวเลขโดยใช้โปรแกรมช่วยวิเคราะห์การใช้พลังงาน ANSYS CFX ดังนั้นก่อนนำโปรแกรมฯ ไปจำลองการใช้พลังงานเพื่อวิเคราะห์ปัญหาจริงที่สนใจต้องทำการทดสอบความถูกต้องในการคำนวณของโปรแกรม ประโยชน์โดยอ้อมของขั้นตอนนี้ก็ถือเป็นการศึกษาวิธีการใช้งานโปรแกรมนับตั้งแต่การสร้างเมช การกำหนดค่าเบื้องต้นก่อนส่งไปคำนวณ ตลอดจนขีดจำกัดความสามารถของโปรแกรมฯ ในการวิเคราะห์ปัญหาการใช้พลังงานแบบต่าง ๆ การทดสอบโปรแกรมฯ เริ่มจาก เลือกปัญหาการใช้พลังงานที่สามารถหาค่าผลเฉลยแม่นยำได้ (ซึ่งควรพึงเข้าใจว่าผลเฉลยแม่นยำโดยส่วนใหญ่เป็นผลเฉลยของสมการประมาณการของสมการเต็มรูป จึงมีความผิดพลาดในตัวเองอยู่ระดับหนึ่ง แม้จะเรียกว่าผลเฉลยแม่นยำก็ตาม) ในงานวิจัยนี้เลือกปัญหาเพื่อทดสอบโปรแกรมเป็นปัญหาการใช้พลังงานผ่านแผ่นร้อนแนวตั้ง ซึ่งมีลักษณะทางกายภาพของปัญหาดังแสดงในรูปที่ 3.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับผลเฉลยแม่นยำควรมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีค่าผิดพลาดอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ เป็นการแสดงถึงความถูกต้องในการคำนวณของโปรแกรมฯ ก่อนที่จะนำไปจำลองการใช้พลังงานจริงต่อไป วิธีการโดยละเอียดของขั้นตอนนี้สามารถดูได้ในบทที่ 4



รูปที่ 3.1 การไหลโดยการพาอิสระผ่านแผ่นร้อนแนวตั้ง

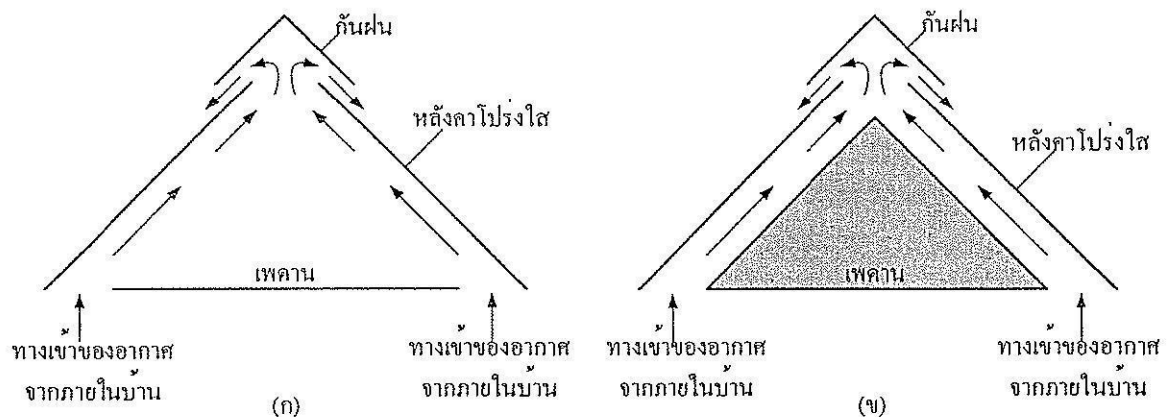
3.3 การศึกษารูปแบบของหลังที่เหมาะสม

จากการศึกษารรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการระบายอากาศแบบธรรมชาติภายในอาคาร พบว่างานวิจัยส่วนใหญ่ประยุกต์หลักการการทำงานของอุปกรณ์เก็บแสงแดด (solar collector) เพื่อการระบายอากาศ โดยออกแบบให้เข้ากับ โครงสร้างของอาคาร เช่น หลังคา หรือผนัง เป็นต้น อุปกรณ์เก็บแสงแดดมีองค์ประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ

1. วัสดุคลุมด้านนอกแบบโปร่งใส (transparent cover): อยู่ด้านนอกสุด มีคุณสมบัติยอมให้แสงแดดทะลุผ่านได้มาก และป้องกันไม่ให้ความร้อนที่ดูดกลืนไว้ทะลุผ่าน
2. ช่องอากาศ (air gap): อยู่ถัดจากวัสดุโปร่งใส เป็นช่องทางเพื่อให้อากาศร้อนไหลผ่าน
3. แผ่นดูดกลืนแสงแดด (absorber plate): เป็นองค์ประกอบด้านในสุดของอุปกรณ์เก็บแสงแดด ส่วนใหญ่ทำจากวัสดุที่มีค่าคุณสมบัติการดูดกลืนความร้อนสูง เพื่อทำหน้าที่ดูดกลืนความร้อนจากแสงแดดที่ทะลุผ่านวัสดุโปร่งใสไว้ให้มากที่สุด ก่อนที่จะถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศภายในช่องอากาศต่อไป

การออกแบบลักษณะของอุปกรณ์เก็บแสงแดดเพื่อการระบายอากาศของงานวิจัยนี้จะประยุกต์เข้ากับหลังคาของอาคาร และมีปล่องต่อเข้ากับด้านบนของหลังคาเพื่อเพิ่ม stack height (เรียกระบบนี้ว่าระบบห้องหลังคาและปล่องแดด) โดยมีกลุ่มเป้าหมายหลักคือใช้กับบ้านพักอาศัย (อย่างไรก็ตาม สามารถ

ประยุกต์ใช้กับอาคารอื่น ๆ ได้ เช่น โรงเรือนเลี้ยงสัตว์ หรือโรงบ่มเพาะเห็ด เป็นต้น) ซึ่งส่วนใหญ่หลังคาบ้านของคนไทยจะเป็นหลังคาเอียง หากเปลี่ยนวัสดุมุงหลังคาเป็นวัสดุโปร่งใสเพื่อยอมให้แสงแดดผ่านได้มาก และเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ทำเพดานเป็นวัสดุที่มีค่าการดูดกลืนความร้อนสูง เช่น แผ่นโลหะทาด้วยสีดำ เป็นต้น เพดานก็จะทำหน้าที่เป็นแผ่นดูดกลืนความร้อนจากแสงแดด และถ่ายเทให้กับอากาศที่อยู่ในห้องหลังคาต่อไป ลักษณะของหลังคาแสดงดังรูปที่ 3.2 (ก) อย่างไรก็ตาม จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบงานวิจัยใช้หลังคารับแสงแดดแบบหลังคาสองชั้น กล่าวคือ แผ่นดูดกลืนความร้อนวางตัวขนานกับหลังคาเอียง ดังแสดงในรูปที่ 3.2 (ข) ซึ่งหากพิจารณาที่ขนาดโครงสร้างของหลังคาเท่ากันแล้ว ปริมาตรของอากาศในห้องหลังคาแบบสองชั้นย่อมน้อยกว่า เพื่อศึกษาว่าหลังคาแบบใดในสองรูปแบบนี้สามารถระบายอากาศได้มากกว่า จึงจำลองการไหลผ่านหลังคาทั้งสองรูปแบบและวิเคราะห์ค่าอัตราการไหล เพื่อนำหลังคาแบบที่ดีที่สุดไปใช้เพื่อการวิจัยต่อไป ผลลัพธ์ที่ได้พบว่าหลังคาสองชั้นสามารถระบายอากาศได้ดีกว่า (รายละเอียดแสดงไว้ในบทที่ 5)



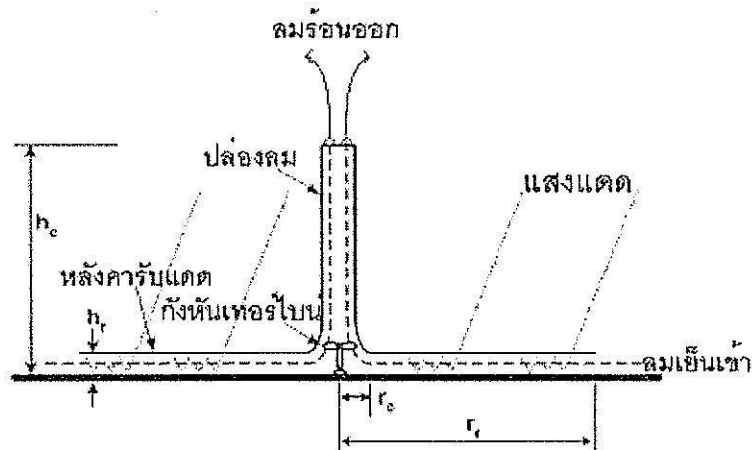
รูปที่ 3.2 รูปแบบของหลังคา (ก) หลังคาเอียงแบบดั้งเดิม และ (ข) หลังคาสองชั้น

3.4 ศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอัตราการไหล

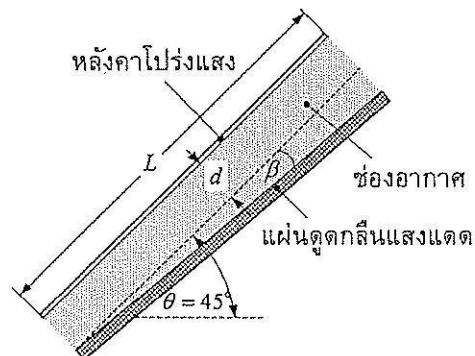
จากผลลัพธ์ของการศึกษาในหัวข้อ 3.3 ได้รูปแบบของหลังคาที่เหมาะสมต่อการระบายอากาศคือ หลังคาแบบสองชั้น เพราะเกิดอัตราการไหลมากกว่า (ผลลัพธ์แสดงไว้ในบทที่ 5) จึงเลือกใช้หลังคาแบบนี้ในการศึกษาเพื่อหาแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศด้วยการจำลองการไหลผ่านหลังคาแบบรูปนี้ในสองมิติ โดยเปลี่ยนแปลงค่าปัจจัย โครงสร้างต่าง ๆ ดังนี้ (ผลลัพธ์โดยละเอียดแสดงไว้ในบทที่ 6)

3.4.1 ผลกระทบจากการเปลี่ยนพื้นที่หน้าตัดการไหลของช่องอากาศ

จากการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับปล่องแดงของ Chitsomboon, T. (2001) ซึ่งทำนายการไหลในระบบปล่องแดงเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า (ประกอบด้วยหลังคารับแดดแบบโปร่งใส และมีปล่องแนวตั้งอยู่ตรงกลางของหลังคา ดังแสดงในรูปที่ 3.3) จากการวิเคราะห์สมการเชิงลึกพบว่า ถ้าให้ช่องทางออกใหญ่กว่าช่องทางเข้าของระบบสามารถเพิ่มอัตราการไหลได้ ซึ่งผลลัพธ์นี้ได้รับการยืนยันอีกครั้งจากงานวิจัยของ Koonsrisuk and Chitsomboon (2006) ผู้วิจัยลองใช้แนวคิดนี้กับหลังคารับแดดเพื่อการระบายอากาศ โดยการทำให้ช่องทางออกของหลังคาระบายอากาศใหญ่ขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 3.4 เพื่อศึกษาว่าสามารถเพิ่มอัตราการไหลได้หรือไม่ ซึ่งหากได้ผลเช่นเดียวกับปล่องแดงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ก็นับเป็นอีกหนึ่งแนวทางในการออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ



รูปที่ 3.3 องค์ประกอบของปล่องแดงของ Chitsomboon, T. (2001)



รูปที่ 3.4 หลังคาแบบช่องทางออกบานตัว

3.4.2 ผลกระทบจากการเปลี่ยนมุมเอียงของหลังคารับแดด

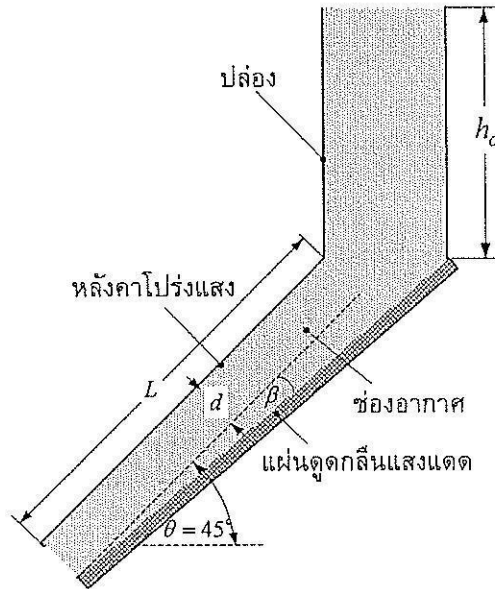
เป็นการศึกษาเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงค่ามุมเอียงของหลังคา (มุม θ ในรูปที่ 3.4) โดยกำหนดให้พื้นที่รับแดดในแนวราบของหลังคาคงที่เมื่อมุมเอียงเพิ่มขึ้น ผลจากเงื่อนไขนี้จะได้ความสูงในแนวตั้งระหว่างทางเข้าและทางออกของอากาศมากขึ้นเมื่อเพิ่มมุมเอียงในที่นี้ศึกษามุมเอียงของหลังคาที่ 15° (กรณีอ้างอิง), 30° , 45° , 60° และ 75° ตามลำดับ

3.4.3 ผลกระทบจากการเปลี่ยนความกว้างของช่องอากาศ

ความกว้างของช่องอากาศคือค่า d ในรูปที่ 3.4 เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อค่าอัตราการไหลที่นักวิจัยพยายามศึกษาหาค่าที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามค่าเชิงตัวเลขของความกว้างของช่องอากาศที่ได้รับจากแต่ละงานวิจัยยังคงมีความแตกต่างกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าปัจจัยนี้ด้วยเพื่อวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมต่อการระบายอากาศเมื่อใช้ระบบห้องหลังคาและปล่องแดด โดยลองเปลี่ยนค่าความกว้างของช่องอากาศเป็นค่าต่าง ๆ เริ่มจาก 10 cm จนกระทั่งถึง 60 cm ซึ่งพบว่าการเพิ่มความกว้างของช่องอากาศสามารถเพิ่มอัตราการไหลได้

3.4.4 ผลกระทบจากการเปลี่ยนความสูงปล่องที่ด้านบนของหลังคา

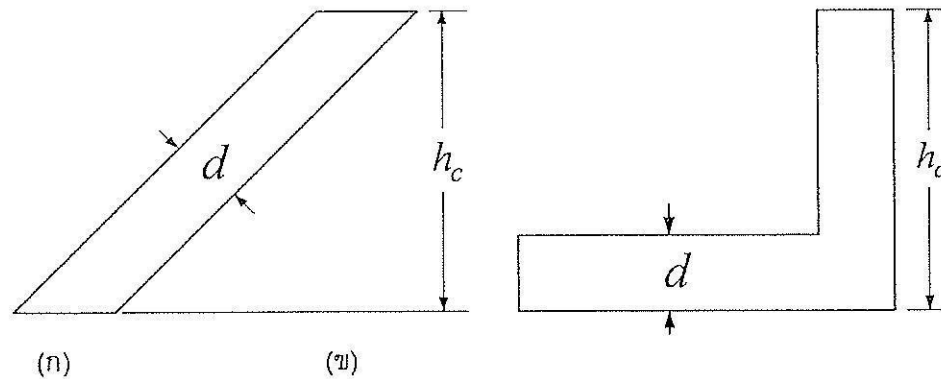
งานวิจัยในอดีตส่วนใหญ่ใช้ปล่องเพื่อการดูดซับความร้อนจากแสงแดด (เหมาะสำหรับเมืองหนาว) ซึ่งมีทั้งการใช้ปล่องแนวตั้งหรือปล่องเอียงที่ประยุกต์เข้ากับส่วนใดส่วนหนึ่งของอาคาร เช่น หลังคาหรือผนัง แต่สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ปล่องเพื่อเพิ่มอัตราการไหลโดยปล่องไม่ได้มีหน้าที่รับแสงแดด แต่ทำให้ความสูงในแนวตั้งระหว่างทางเข้าและทางออกของระบบเพิ่มขึ้น ซึ่งก็คือ stack height นั่นเอง ผลลัพธ์ที่ได้จะทำให้ทราบถึงนัยสำคัญของ stack height ที่มีต่อการระบายอากาศ เป็นการเพิ่มแนวทางในการออกแบบเพื่อการระบายอากาศที่ดีได้ การต่อปล่องเข้ากับหลังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 หลังคาสองชั้นแบบมีปล่อง

3.4.5 ผลกระทบจากรูปแบบของหลังคาเมื่อกำหนดให้ความสูงรวมของหลังคาเท่ากัน

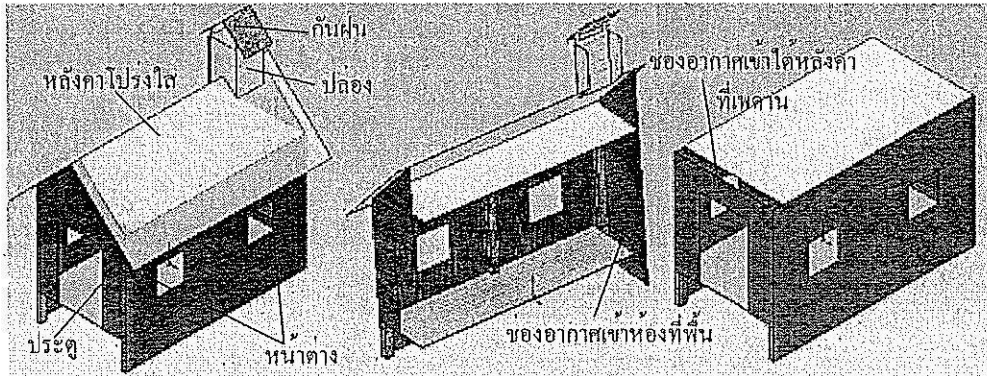
จากการศึกษาที่ผ่านมาเห็นได้ว่าอัตราการไหลเพิ่มขึ้นเมื่อมุมเอียงหลังคามากขึ้นหรือมีการต่อปล่องแดดให้สูงขึ้น จึงเกิดแนวคิดว่า การเพิ่มขึ้นของอัตราไหลนี้จะเท่ากันหรือไม่ถ้าคงพื้นที่รับแดดไว้เท่าเดิม โดยให้ความสูงรวมเท่ากัน ทั้งนี้ไม่ว่าความสูงรวมนี้จะได้มาจากการเอียงหลังคาและหรือการต่อปล่องเพิ่มในลักษณะใดก็ตาม ข้อมูลนี้จะเป็นประโยชน์ในการทำให้สามารถออกแบบหลังคาที่หลากหลายมากขึ้นได้ตามข้อจำกัดหรือความนิยมของผู้ใช้ เช่น อาจใช้หลังคาลาดเอียงต่ำผสมกับปล่องแดดแทนการใช้หลังคาที่ลาดเอียงมากแต่เพียงอย่างเดียว เพื่อการศึกษาดังกล่าวจึงเปรียบเทียบกรณีหลังคาเอียงกับกรณีหลังคาราบ (ไม่มีมุมเอียง) แต่ต่อปล่องแดดให้มีความสูงรวมเท่ากับกรณีหลังคาเอียง ซึ่งในที่นี้เลือกจำลองมุมเอียง 15, 30, 45 และ 60° (คิดเป็นความสูงแนวตั้งได้เท่ากับ 0.26, 0.56, 0.97 และ 1.67 m ตามลำดับ) ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 (ก) หลังคาแบบเอียงและ (ข) หลังคาแบบราบมีปล่อง ที่ความสูงรวมเท่ากัน

3.5 การจำลองการไหลใน 3 มิติ ผ่านอาคารต้นแบบ

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยที่กล่าวมาก่อนหน้านี้ทั้งหมดเป็นการจำลองการไหลใน 2 มิติ โดยมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางการออกแบบในเบื้องต้นก่อนที่จะจำลองการไหลใน 3 มิติ เพื่อยืนยันความถูกต้อง ตลอดจนขยายผลเพื่อศึกษาผลกระทบจากปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องต่อไป ซึ่งสามารถลดเวลาในการคำนวณได้มาก ส่วนการจำลองปัญหาการไหลใน 3 มิติ ในหัวข้อนี้เพื่อศึกษาผลกระทบ (แบบสมจริงมากขึ้น) จากปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่ออัตราการไหลของอากาศที่ผ่านอาคาร (ซึ่งแสดงถึงอัตราการระบายอากาศ) ตลอดจนสังเกตและออกแบบกระแสการไหลของอากาศเพื่อให้ผ่านบริเวณที่ต้องการการระบายอากาศและทำความเย็นมากที่สุด เช่น บริเวณห้องพักผ่อนตอนกลางวัน บริเวณห้องนอน ห้องครัว เป็นต้น อย่างไรก็ตาม สำหรับงานวิจัยนี้ได้ออกแบบบ้านต้นแบบ (กรณีอ้างอิง) อย่างง่ายขึ้นเพื่อศึกษาผลกระทบจากปัจจัยต่าง ๆ เช่น มุมเอียงของหลังคา ขนาดและความสูง ตลอดจนตำแหน่งของปล่อง ขนาดของช่องเปิดบริเวณต่าง ๆ ของอาคาร เป็นต้น และจะขยายผลการศึกษาเพื่อบ้านหรืออาคารเพื่อการอยู่อาศัยจริงต่อไป ลักษณะของบ้านต้นแบบเป็นบ้านชั้นเดียว ห้องเดียว ยกพื้นสูงจากพื้น 1 m ขนาดหน้าตัดของบ้านเท่ากับ $8 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ หลังคาบ้านเป็นแบบหลังคาหน้าจั่ว (หลังคาเอียง) ดังแสดงในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 บ้านต้นแบบสามมิติ

ศึกษาอัตราการไหลของอากาศที่ไหลผ่านบ้านต้นแบบจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ความเข้มของแสงแดด: 500, 650 และ 800 W/m²
2. มุมเอียงของหลังคา: 15, 30, 45 และ 60°
3. ความสูงของปล่อง: 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3 m
4. ตำแหน่งของปล่อง: ด้านเดียวกับช่องเปิดที่เพดาน, ด้านตรงข้ามกับช่องเปิดที่เพดาน, ตรงกลางของหลังคา

อย่างไรก็ตาม การจำลองการไหลเบื้องต้นกำหนดขนาดของช่องเปิดที่เพดานและที่พื้นมีขนาดเท่ากัน ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองและการวิจารณ์ผลแสดงไว้ในบทที่ 7

บทที่ 4

การทดสอบโปรแกรม ANSYS CFX

4.1 กล่าวนำ

ในกระบวนการการศึกษาด้วยกรรมวิธีเชิงตัวเลข ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นด้วยตัวเองหรือด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปที่มีจำหน่ายในท้องตลาด จำเป็นต้องทำการทดสอบความถูกต้องในการคำนวณของโปรแกรมฯ กับปัญหาพื้นฐานที่สามารถหาผลเฉลยแม่นยำตรง (exact solution) ได้ ก่อนที่จะนำโปรแกรมดังกล่าวไปจำลองปัญหาการไหลที่สนใจต่อไป ขั้นตอนนี้ถือว่าเป็นการฝึกฝนและเรียนรู้วิธีการใช้งาน โปรแกรมอย่างถูกต้อง ตลอดจนทราบถึงขอบเขตและข้อจำกัดในการทำงานของโปรแกรมดังกล่าว ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการทดสอบโปรแกรม ซึ่งในที่นี้ทำการทดสอบความถูกต้องในการคำนวณของโปรแกรม ANSYS CFX โดยจำลองปัญหาการไหลแบบการพาอิสระผ่านแผ่นร้อนในแนวตั้งที่มีอุณหภูมิของแผ่นร้อนคงที่และสม่ำเสมอตลอดทั้งแผ่น ซึ่งสามารถหาผลเฉลยแม่นยำตรงได้ด้วยกรรมวิธีความเสมือน (similarity method) จากนั้นเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ ขั้นตอนโดยละเอียดของการทดสอบโปรแกรมมีดังนี้

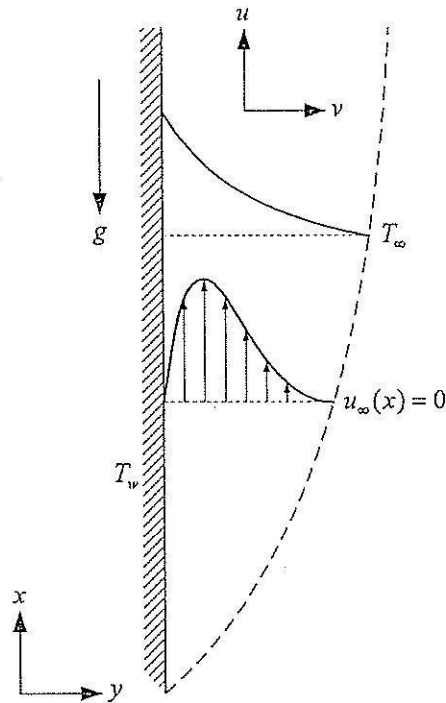
4.2 ปัญหาการไหลโดยการพาอิสระผ่านแผ่นร้อนในแนวตั้ง

4.2.1 ลักษณะทางกายภาพของปัญหา

ปัญหาการไหลโดยการพาอิสระผ่านแผ่นร้อนในแนวตั้งที่มีอุณหภูมิของแผ่นร้อนคงที่เป็นปัญหาการไหลพื้นฐานของการถ่ายเทความร้อนโดยการพาอิสระ ผลเฉลยแม่นยำตรงของปัญหานี้สามารถหาได้ด้วยกรรมวิธีความเสมือน (similarity method) ซึ่งอธิบายไว้ในภาคผนวก ก

แรงขับเคลื่อนการไหลของปัญหาการพาอิสระคือแรงลอยตัว กระบวนการไหลเริ่มต้นจากที่อากาศบริเวณใกล้กับแผ่นร้อนได้รับความร้อนจากแผ่นร้อนจึงมีอุณหภูมิสูงขึ้น ความหนาแน่นลดลง เกิดเป็นมวลอากาศเบาและลอยตัวสูงขึ้นตามหลักการของการพาความร้อนอิสระ อากาศล้อมรอบซึ่งเย็นกว่าจะไหลเข้ามาแทนที่ ปรากฏการณ์การนี้เกิดอย่างต่อเนื่องถ้าแผ่นร้อนยังคงมีอุณหภูมิสูงกว่าอากาศด้านนอก ลักษณะทางกายภาพของการไหลลักษณะนี้แสดงในรูปที่ 4.1 สมมติให้อุณหภูมิของแผ่นร้อน (T_w) คงที่และสม่ำเสมอเท่ากับ 500 K ตลอดทั้งแผ่น และอากาศที่แวดล้อมแผ่นร้อน (T_∞) มีอุณหภูมิ 300 K ความดัน 1 บรรยากาศ (101,325 Pa) กำหนดให้แกน x มีทิศเดียวกับความยาวของแผ่นร้อน แกน y มีทิศตั้งฉากกับแผ่นร้อน ลักษณะของชั้นผิวบาง (boundary layer) รูปด้านข้างของความเร็ว (velocity profile) และรูปด้านข้างของอุณหภูมิ (temperature profile) มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าความเร็วของอากาศที่ผิวของแผ่นร้อนมีค่าเท่ากับศูนย์ตามเงื่อนไขของ

การไม่ลื่นไถล (no-slip condition) จากนั้นเพิ่มขึ้นจนกระทั่งสูงสุด ตำแหน่งที่เกิดความเร็วสูงสุดนี้จะอยู่ในบริเวณของชั้นผิวบางเสมอ จากนั้นความเร็วจะลดลงจนเท่ากับศูนย์ที่ความหนาของชั้นผิวบางพอดี ส่วนอุณหภูมิจะสูงสุดเท่ากับอุณหภูมิของแผ่นร้อนที่บริเวณผิวของแผ่นร้อน และลดลงจนมีค่าเท่ากับอุณหภูมิของอากาศระยะไกล (free stream) ที่ความหนาของชั้นผิวบาง



รูปที่ 4.1 ลักษณะของชั้นผิวบาง รูปด้านข้างความเร็วและอุณหภูมิของการไหลโดยการพาอิสระผ่านแผ่นร้อนในแนวตั้ง

จำลองการไหลด้วยโปรแกรมวิเคราะห์การไหล ANSYS CFX ในสองมิติ พิจารณาให้การไหลเป็นการไหลในช่วงราบเรียบ (laminar flow) การจำลองการไหลในสองมิติ ด้วยโปรแกรม ANSYS CFX จะต้องสร้างโดเมนให้มีความหนาในแนวแกนที่ 3 เป็นค่าเล็ก ๆ เท่ากับหนึ่งความยาวเมช และต้องกำหนดให้ระนาบที่ตั้งฉากกับแกนที่ 3 นี้เป็นระนาบแบบสมมาตร (symmetry plane) แบบจำลองสำหรับการไหลด้วยแรงลอยตัวของโปรแกรม ANSYS CFX มีสองประเภท คือ Boussinesq Model และ Full Buoyancy Model โดยโปรแกรมจะเลือกใช้อัตโนมัติตามคุณลักษณะของของไหลที่ผู้ใช้กำหนด หากกำหนดให้ของไหลเป็นแบบ General Fluid ซึ่งหมายถึงของไหลที่ความหนาแน่นเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่ออุณหภูมิและความดันเปลี่ยนแปลงไป โปรแกรมจะเลือกใช้ Boussinesq Model โดยผู้ใช้งานจะต้องป้อนค่าอุณหภูมิอ้างอิง (reference temperature) ให้กับโปรแกรม ส่วนใหญ่กำหนดให้เท่ากับอุณหภูมิของของไหลระยะไกล แต่หากผู้ใช้กำหนดให้ของไหลเป็นของไหลในอุดมคติ (ideal

gas) ซึ่งหมายถึงของไหลที่ความหนาแน่นเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยเมื่ออุณหภูมิและความดันเปลี่ยนแปลงไป ลักษณะนี้โปรแกรมจะเลือกใช้ Full Buoyancy Model โดยผู้ใช้งานจะต้องกำหนดค่าความหนาแน่นอ้างอิง (reference density) ให้กับโปรแกรม

4.2.2 การกำหนดขนาดของโดเมน

กำหนดให้ความยาวของแผ่นร้อนเท่ากับ 0.1 m และให้ความหนาทางแกนที่ 3 หรือแกน z เท่ากับ 0.001 m ส่วนการกำหนดความหนาด้านแกน y ขึ้นอยู่กับค่าความหนาของชั้นผิวบาง เพราะต้องกำหนดความหนาด้านนี้ให้มีค่ามากเพียงพอที่จะมั่นใจได้ว่าความสูงดังกล่าวจะเป็นช่วงที่ไม่ได้รับผลกระทบจากชั้นผิวบาง ในที่นี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.1 m คิดเป็นประมาณ 13.5 เท่าของความหนาชั้นผิวบาง

ความหนาของชั้นผิวบางสามารถคำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์ดังนี้ (Kays and Crawford, 1993)

$$\frac{\delta}{x} = 3.93 \left(\frac{0.952 + Pr}{Pr^2} \right)^{1/4} Gr_x^{1/4} \quad (4.1)$$

เมื่อ Pr คือ ค่าเลขพรันด์เทิล (Prandtl number) เป็นค่าคุณสมบัติอย่างหนึ่งของของไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของของไหล ส่วน Gr คือ ค่าเลขกราชอฟ (Grashof number) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

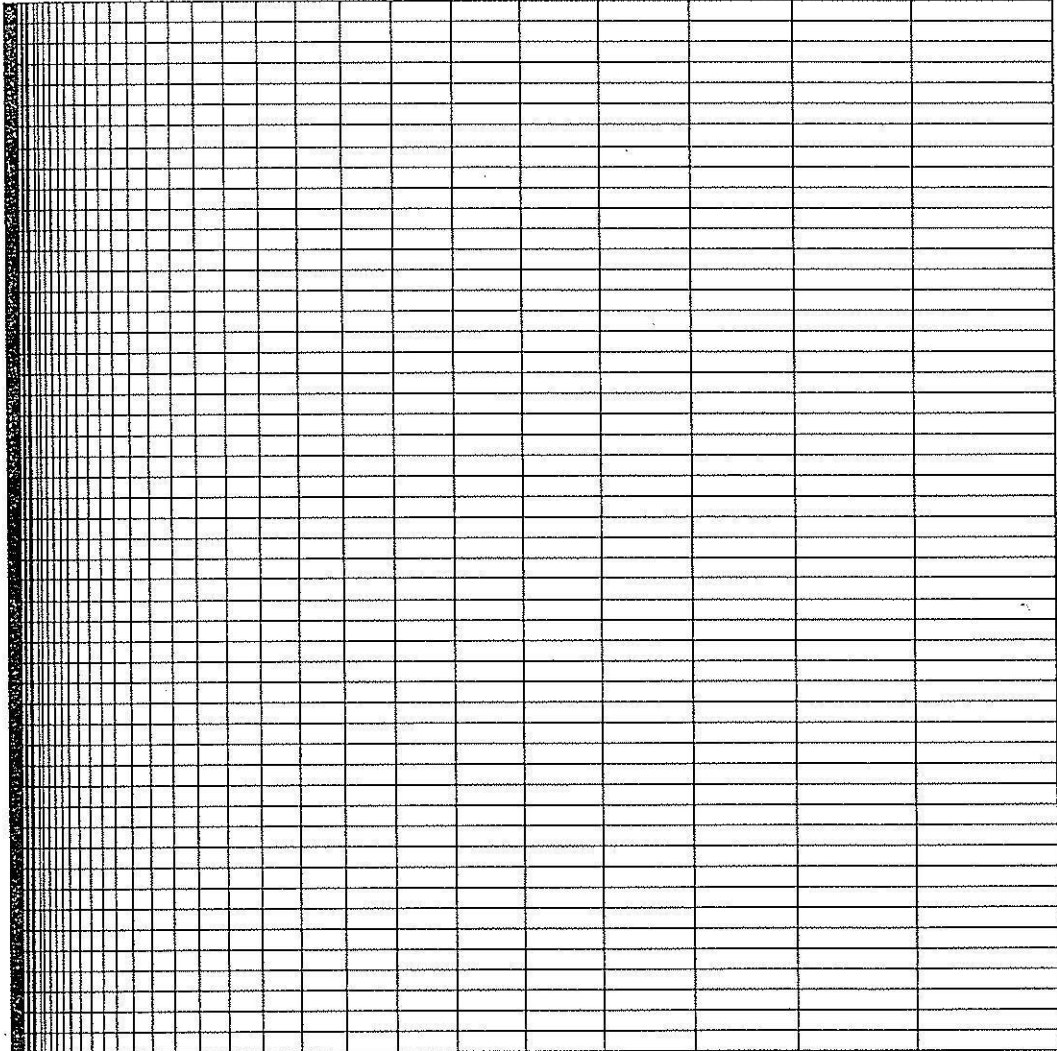
$$Gr_x = \frac{g \beta x^3 (T_w - T_\infty)}{\nu^2} \quad (4.2)$$

คำนวณหาค่าความหนาของชั้นผิวบางที่ตำแหน่งความยาวของแผ่นร้อน ($x = 0.1$ m) และใช้ค่าคุณสมบัติของอากาศที่อุณหภูมิ 300 K ความดัน 1 บรรยากาศ จะได้ความหนาของชั้นผิวบางเท่ากับ 0.0074 m หากคำนวณจากค่า 13.5 เท่าคิดเป็นประมาณ 0.1 m พอดี

4.2.3 การกำหนดเมช

กำหนดเมชในการคำนวณจากหยาบ และเพิ่มความละเอียดมากขึ้น จนกระทั่งพบว่าความคลาดเคลื่อนระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณเชิงตัวเลข โดยจำลองการไหลด้วยโปรแกรม ANSYS CFX กับผลลัพธ์จากผลเฉลยแม่นยำ ซึ่งถือเป็นผลลัพธ์ทางทฤษฎี มีค่าต่ำอยู่ในช่วงที่

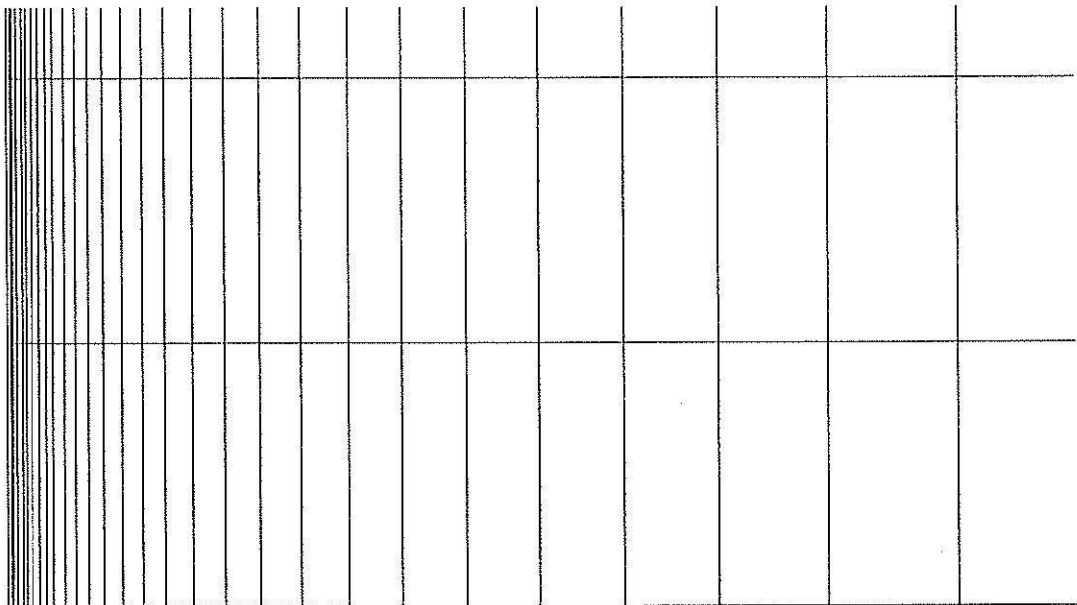
ยอมรับได้ (สำหรับขั้นตอนการคำนวณหาค่าผลเฉลยแม่นยำตรงของปัญหาการไหลแบบการพาอิสระผ่านแผ่นร้อนในแนวตั้งนี้ได้แสดงไว้โดยละเอียดในภาคผนวก ข) ตัวอย่างของลักษณะเมชที่ใช้ในการคำนวณแสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 เมชที่ใช้ในการคำนวณขนาด 50×50 เมช (เมชแบบหยาบ)

แบ่งเมชทางแกน x เท่ากันตลอด (uniform mesh) จำนวนทั้งสิ้น 50 เมช ความยาวของเมชแต่ละเมชเท่ากับ 0.002 m เมชในแนวแกนนี้กำหนดให้คงที่เท่ากับ 50 เมชเสมอ เนื่องจากได้ลองทำการคำนวณด้วยการเพิ่มจำนวนเมชในแนวแกนนี้แล้วพบว่าไม่มีผลต่อผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองแต่อย่างใด ส่วนเมชทางด้านแกน y นั้นเริ่มกำหนดเมชจากหยาบเท่ากับ 50 เมช จากนั้นเพิ่มเป็น 100 และ 200 เมชตามลำดับ โดยพบว่าความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมที่เมชจำนวน 50×200 กับผล

เฉลยแม่นยำมีค่าใกล้เคียงกันมาก เมชขนาด 50×200 จึงถือเป็นเมชที่ความเหมาะสมกับปัญหาการไหล จะเห็นว่าลักษณะของเมชทางด้านนี้ เป็นเมชที่มีการขยายตัว เพื่อให้จำนวนเมชที่ใช้ในการคำนวณ ไม่มากเกินไปจนจำเป็น เนื่องจากคุณสมบัติของของไหลมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในบริเวณชั้นผิวบางเป็นส่วนใหญ่ จึงไม่จำเป็นต้องใช้เมชด้านนอกละเอียดมาก การกำหนดให้เมชบริเวณชั้นผิวบางมีขนาดเล็กสามารถเพิ่มความถูกต้องและแม่นยำของผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม ขนาดของเมชด้านนอกสุดใหญ่กว่าเมชที่ติดกับแผ่นร้อน $1,250$ เท่า รูปที่ 4.3 แสดงรูปขยายของเมชบริเวณชั้นผิวบาง และรูปที่ 4.4 เป็นการเปรียบเทียบรูปด้านข้างของความเร็วที่ได้จากการใช้เมชหยาบกับเมชละเอียด



รูปที่ 4.3 ภาพขยายของเมชขนาด 50×50 เพื่อแสดงลักษณะของเมชบริเวณชั้นผิวบาง

4.2.4 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต

กำหนดเงื่อนไขขอบเขตให้กับปัญหาการไหล โดยการพาอิสระผ่านแผ่นร้อนในแนวตั้งตามลำดับดังนี้

4.2.4.1 พื้นผิวของแผ่นร้อน

กำหนดเงื่อนไขขอบเขตที่พื้นผิวของแผ่นร้อน เป็นผนัง (wall) ที่ไม่มีการเคลื่อนที่ไม่สิ้นไหล และมีอุณหภูมิคงที่ ในที่นี้กำหนดให้เท่ากับ 500 K ไม่มีการไหลของอากาศผ่านเข้าออกพื้นผิว และความเร็วของอากาศที่ผิวของแผ่นร้อนมีค่าเท่ากับความเร็วของแผ่นร้อนพอดี สำหรับ

ปัญหานี้กำหนดให้ไม่มีการเคลื่อนที่ของแผ่นร้อน ดังนั้น ความเร็วของอากาศที่พื้นผิวนี้จึงมีค่าเท่ากับ ศูนย์ ดังจะเห็นได้จากรูปด้านข้างของความเร็วดังแสดงในรูปที่ 4.1

4.2.4.2 พื้นผิวด้านล่างของโดเมน

กำหนดให้พื้นผิวด้านล่างของโดเมนมีเงื่อนไขขอบเขตเป็นแบบไหลเข้า (Inlet) ทิศทางการไหลเข้าตั้งฉากกับพื้นผิว อุณหภูมิเท่ากับ 300 K ค่าความดันรวม (Total pressure) สัมพันธ์เท่ากับศูนย์ (คิดเทียบกับความดันอ้างอิง (reference pressure) ของโดเมนซึ่งกำหนดให้เท่ากับความดันบรรยากาศ) อธิบายได้จากสมการ $p_{\text{total}} = p_{\text{dynamic}} + p_{\text{static}}$ เนื่องจากความเร็วที่พื้นผิวนี้มีค่าประมาณเท่ากับศูนย์ ดังนั้น ความดันจลน์ (p_{dynamic}) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ $p_{\text{dynamic}} = \frac{1}{2} \rho V^2$ จึงมีค่าเท่ากับ ศูนย์ และความดันสถิตย์ของปัญหาการไหลซึ่งประกอบด้วยความดันจากภายนอกบวกกับความดันเนื่องจากน้ำหนักของของไหล (hydrostatic pressure) สำหรับปัญหานี้การไหลเกิดจากแรงลอยตัวจึงไม่มีความดันจากภายนอกมาเกี่ยวข้อง และในขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมไม่มีการพิจารณาความดันเนื่องจากน้ำหนักของของไหลจึงทำให้ความดันรวมสัมพัทธ์ของพื้นผิวนี้มีค่าเท่ากับศูนย์

4.2.4.3 พื้นผิวด้านบนของโดเมน

กำหนดเงื่อนไขขอบเขตของพื้นผิวด้านบนของโดเมนเป็นแบบไหลออก (Outlet) ความดันสถิตย์สัมพัทธ์ (relative static pressure) เท่ากับศูนย์

4.2.4.4 พื้นผิวด้านตรงข้ามแผ่นร้อน (Free stream)

กำหนดให้พื้นผิวด้านตรงข้ามแผ่นร้อนมีเงื่อนไขขอบเขตเป็นแบบ Inlet ความดันสถิตย์สัมพัทธ์เท่ากับศูนย์ อุณหภูมิเท่ากับ 300 K (เท่ากับอุณหภูมิของอากาศระยะไกล) การกำหนดเช่นนี้สมเหตุสมผลกับพฤติกรรมของการไหลที่เกิดขึ้นภายในโดเมน โดยจะเห็นได้จากรูปด้านข้างของความเร็วจะมีขนาดโตขึ้นเรื่อย ๆ ในทิศทางที่ x เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะในบริเวณของชั้นผิวบาง ซึ่งเป็นบริเวณใกล้กับผนังของแผ่นร้อนจะได้รับผลกระทบเนื่องจากการถ่ายเทความร้อนจากแผ่นร้อน หากปริมาณของของไหลที่ไหลเข้าทางพื้นผิวด้านล่างในปริมาณเท่าเดิมแล้ว ย่อมหมายความว่าจะต้องมีของไหลไหลเข้าไปเพิ่มภายในโดเมน ซึ่งพื้นผิวที่จะสามารถยอมให้ของไหลไหลผ่านเข้ามาภายในโดเมนได้ก็คือพื้นผิวด้านตรงข้ามกับแผ่นร้อนนั่นเอง ซึ่งพบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตเช่นนี้เป็นที่น่าพอใจ ได้พิสูจน์แนวคิดนี้โดยทดลองกำหนดเงื่อนไขขอบเขตเป็นลักษณะอื่น เช่น กำหนดให้เป็นแบบ Outlet ซึ่งพบว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมมีค่าคลาดเคลื่อนจากค่าผลเฉลยแม่นยำตรงก่อนข้างมาก จากนั้นลองกำหนดให้เป็นแบบ Opening ซึ่งพบว่า ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับผลลัพธ์ที่ได้จากการกำหนดให้เป็นแบบ Inlet เนื่องจากกำหนดเช่นนี้เป็น การปล่อยให้เกิดการไหลเข้าหรือออกก็ได้ ขึ้นอยู่กับพฤติกรรมของการไหลที่เกิดขึ้นจริง ดังนั้นเมื่อกำหนดให้เป็นเช่นนี้ สิ่ง

เกิดขึ้นก็คือ มีการไหลเข้าของของไหลสู่โดเมนด้วยปริมาณที่เท่ากันกับการกำหนดให้เป็นแบบ Inlet นั่นเอง จึงสรุปได้ว่าเงื่อนไขขอบเขตที่สามารถใช้ได้และเหมาะสมสำหรับปัญหาการไหลที่บริเวณพื้นผิวนี้คือเงื่อนไขขอบเขตแบบ Inlet และ Opening ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 4.5 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบรูปด้านข้างของความเร็วที่ได้จากการใช้เงื่อนไขขอบเขตทั้ง 3 ชนิด

4.2.4.5 พื้นผิวด้านหน้าและด้านหลัง

พื้นผิวทั้งสองถูกกำหนดให้มีเงื่อนไขขอบเขตแบบ Symmetry Plane เพราะในกรณีการจำลองการไหลในสองมิตินั้นต้องทำให้ความหนาในมิติที่สามมีขนาดเท่ากับหนึ่งความยาวเมช และกำหนดให้พื้นผิวที่ตั้งฉากกับแกนมีเงื่อนไขขอบเขตเป็นแบบ Symmetry Plane ดังได้กล่าวไปแล้ว

4.2.5 การกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น

สำหรับขั้นตอนนี้หากผู้ใช้ไม่ทำการระบุ โปรแกรมจะทำการกำหนดให้เอง ซึ่งส่วนใหญ่จะไม่ส่งผลต่อคำตอบที่ได้มากนักแต่อาจจะส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการคำนวณ นั่นคือ อาจจะใช้เวลามากขึ้นในการเข้าสู่คำตอบในกรณีที่กำหนดค่าที่ไม่เหมาะสม หากผู้ใช้ทราบโดเมนของปัญหาอยู่แล้วก็สามารถกำหนดค่าเงื่อนไขเริ่มต้นได้เอง เพื่อช่วยให้การเข้าสู่คำตอบเป็นไปด้วยความรวดเร็วยิ่งขึ้น ในที่นี้ผู้วิจัยได้กำหนดค่าเริ่มต้นของตัวแปรต่าง ๆ ในการจำลองปัญหาให้กับโปรแกรมดังนี้

ความดันสถิตย์: กำหนดเป็นค่าความดันสัมพัทธ์เริ่มต้นเท่ากับศูนย์

อุณหภูมิ: กำหนดค่าเริ่มต้นเท่ากับ 300 K

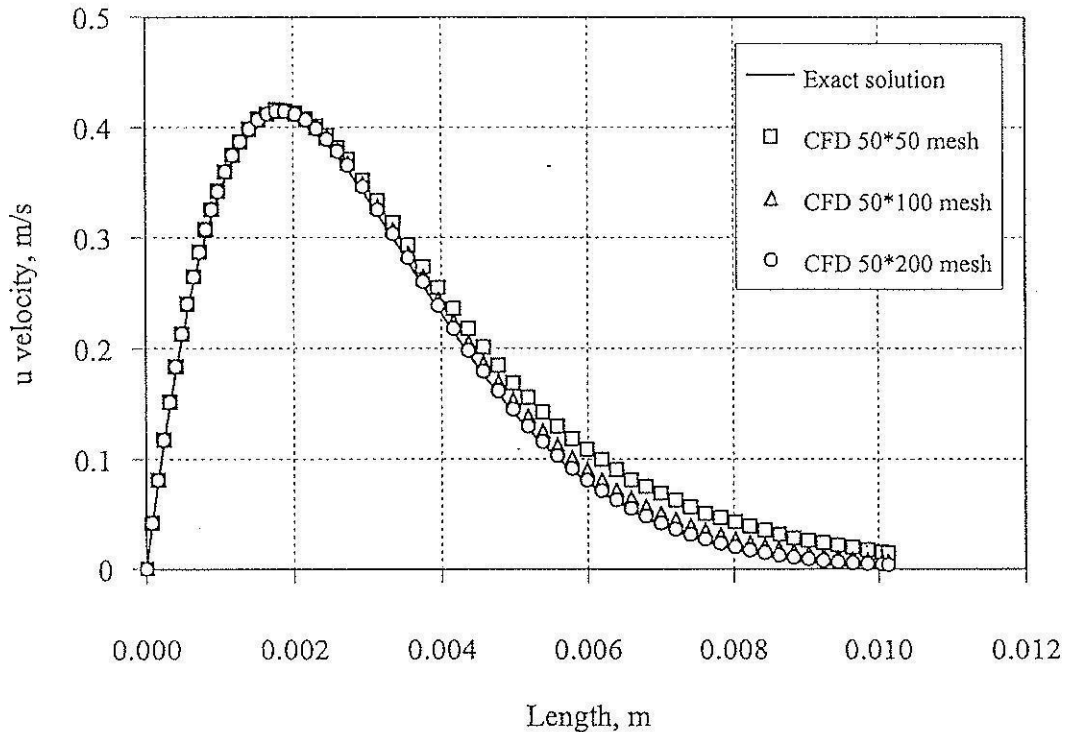
เวกเตอร์ความเร็ว (Cartesian Velocity Components): กำหนดความเร็วเริ่มต้นของ u , v และ w (ความเร็วในแนวแกน x , y และ z ตามลำดับ) เท่ากับศูนย์

ความมั่นใจในความถูกต้องจากการคำนวณของโปรแกรมสังเกตจากค่าเศษตกค้าง (residual) และค่าอัตราการไหลมวลของอากาศ ซึ่งต้องเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์มวล โดยค่าเศษตกค้างต้องได้จากค่าที่ใส่แล้ว และมีค่าค่าพอที่จะยอมรับได้ ส่วนอัตราการไหลมวลของอากาศที่ทางเข้าและทางออกของอาคารต้องมีค่าเท่ากันตามกฎการอนุรักษ์มวล

4.2.6 ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลอง

นำผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองมาแสดงผลด้วยแผนภูมิในลักษณะต่าง ๆ เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ผล แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณเมื่อใช้เมชแบบหยาบและเมชละเอียด ซึ่งอธิบายไว้ในหัวข้อ 4.2.3 และการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้เงื่อนไข

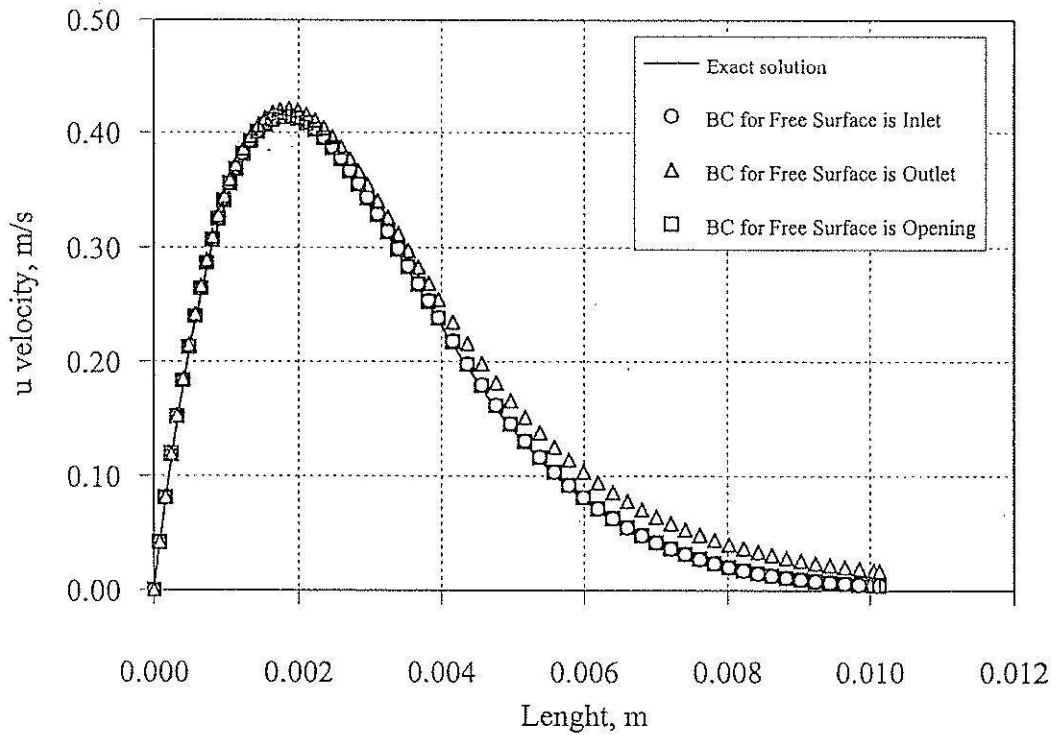
ขอบเขตที่พื้นผิวด้านตรงข้ามกับแผ่นร้อนแบบต่าง ๆ ดังได้อธิบายไว้ในหัวข้อ 4.2.4.4 ดังแผนภูมิข้างล่างต่อไปนี้



รูปที่ 4.4 รูปด้านข้างความเร็วเมื่อใช้จำนวนเมชต่างกัน ($Pr = 0.711$, $x = 0.085$ m)

รูปที่ 4.4 แสดงค่าความเร็วในแนวแกน x (มีทิศเดียวกันกับความยาวของแผ่นร้อน) ที่ได้จากผลเฉลยแม่นยำตรงเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จากการจำลองด้วยโปรแกรม ANSYS CFX เมื่อใช้จำนวนเมชไม่เท่ากัน พบว่าผลลัพธ์จากการจำลองที่จำนวน 50×200 มีค่าใกล้เคียงกับผลเฉลยแม่นยำตรงมากที่สุด จึงเลือกใช้จำนวนเมชเท่ากับ 50×200 ในการจำลองเพื่อทดสอบโปรแกรมสำหรับกรณีอื่น ๆ

รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างค่าที่ได้จากทฤษฎีและจาก CFD เมื่อใช้ค่าเงื่อนไขขอบเขตที่พื้นผิวด้านตรงข้ามกับแผ่นร้อนต่าง ๆ กัน พบว่า ผลการจำลองที่ได้จากการใช้เงื่อนไขขอบเขตแบบ Inlet และ Opening ให้ค่าที่ใกล้เคียงกับผลเฉลยแม่นยำตรงมากที่สุด สืบเกิดได้จากเส้นกราฟที่แทบจะทับเป็นเส้นเดียวกัน จึงสรุปได้ว่า เงื่อนไขขอบเขตทั้งสองแบบเหมาะสมสำหรับพื้นผิวด้านตรงข้ามกับแผ่นร้อนดังได้กล่าวไว้ข้างต้น



รูปที่ 4.5 รูปด้านข้างความเร็วกรณีเงื่อนไขขอบเขตบริเวณพื้นผิวตรงข้ามแผ่นร้อนต่างกัน (50×200 เมช, Pr = 0.711, x = 0.085 m)

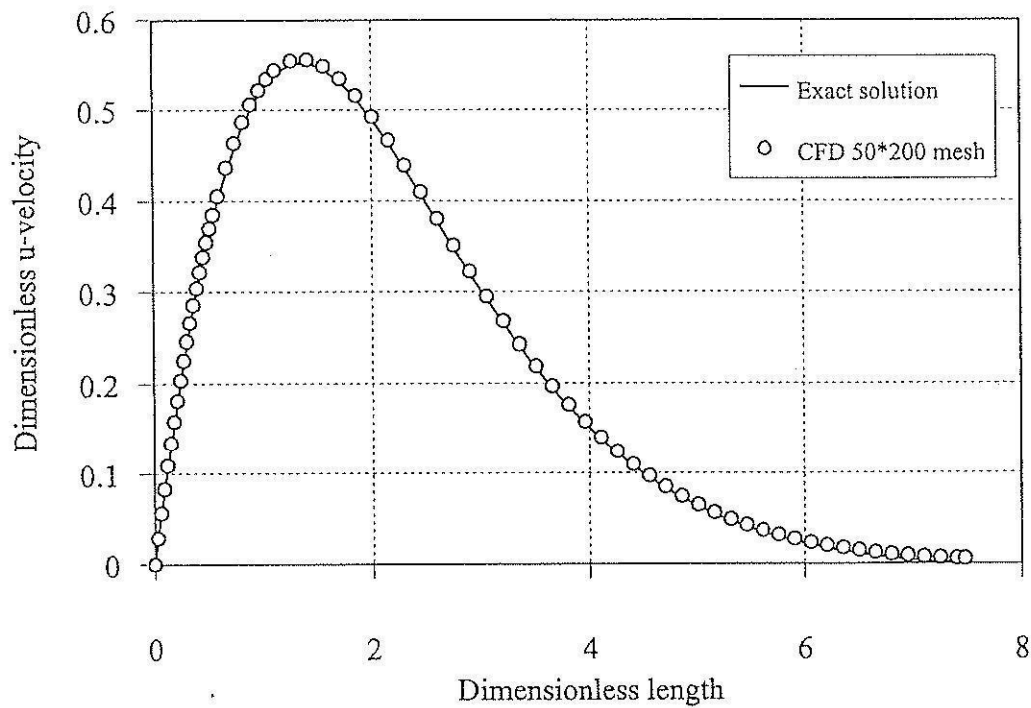
จำลองปัญหาการไหล โดยการพาอิสระผ่านแผ่นร้อนในแนวตั้ง โดยโปรแกรม ANSYS CFX โดยใช้จำนวนเมชในการคำนวณเท่ากับ 50×200 เมช และใช้เงื่อนไขขอบเขตด้านตรงข้ามแผ่นร้อนเป็น แบบ Inlet ส่วนเงื่อนไขขอบเขตด้านที่เหลือกำหนดตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.2.4 จากนั้น นำผลการจำลองที่ได้มาพล็อตเปรียบเทียบกับผลเฉลยแม่นยำตรง ดังแสดงในรูปที่ 3.6 ถึง 3.10 ตัวแปรที่ทำการ พล็อตประกอบด้วย ความเร็ว อุณหภูมิ และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน การพล็อตค่าอุณหภูมิและความเร็วนั้น ได้ทำการพล็อตทั้งในรูปแบบของตัวแปรไร้มิติ ซึ่งประกอบด้วย

$$\text{ตัวแปรไร้มิติของอุณหภูมิ, } \theta(\eta) = \frac{T - T_\infty}{T_w - T_\infty} \quad \text{และ}$$

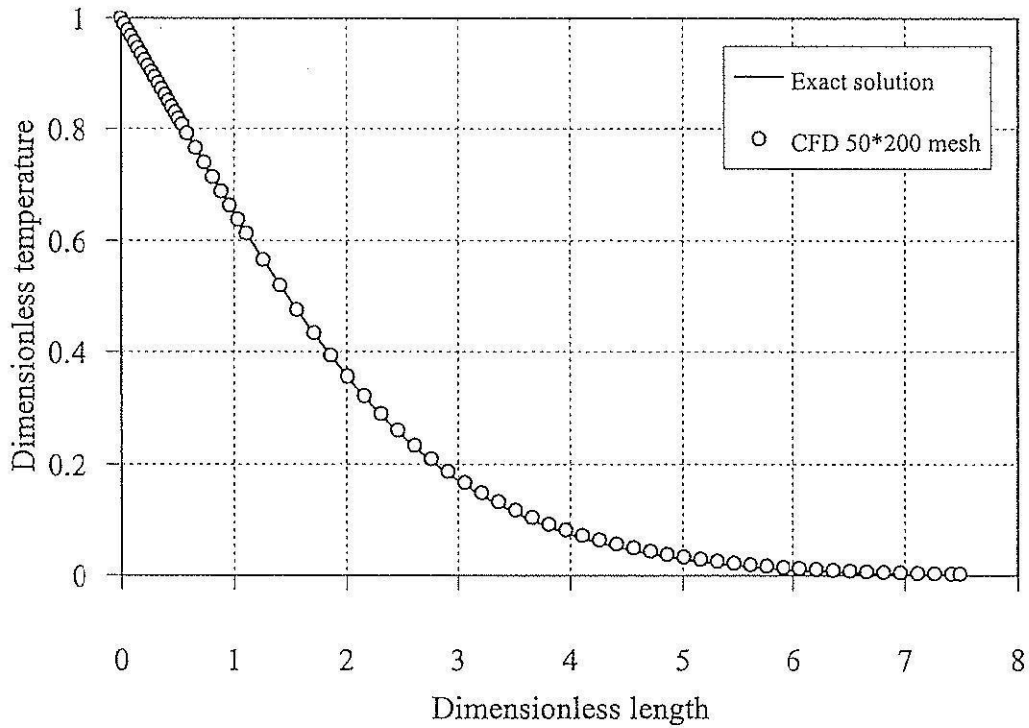
$$\text{ตัวแปรไร้มิติของความเร็วทางแกน } x, F'(\eta) = \frac{u}{\sqrt{\beta g (T_w - T_\infty) x}}$$

$$\text{เมื่อ } \eta = \frac{y}{x} Gr_x^{0.25}$$

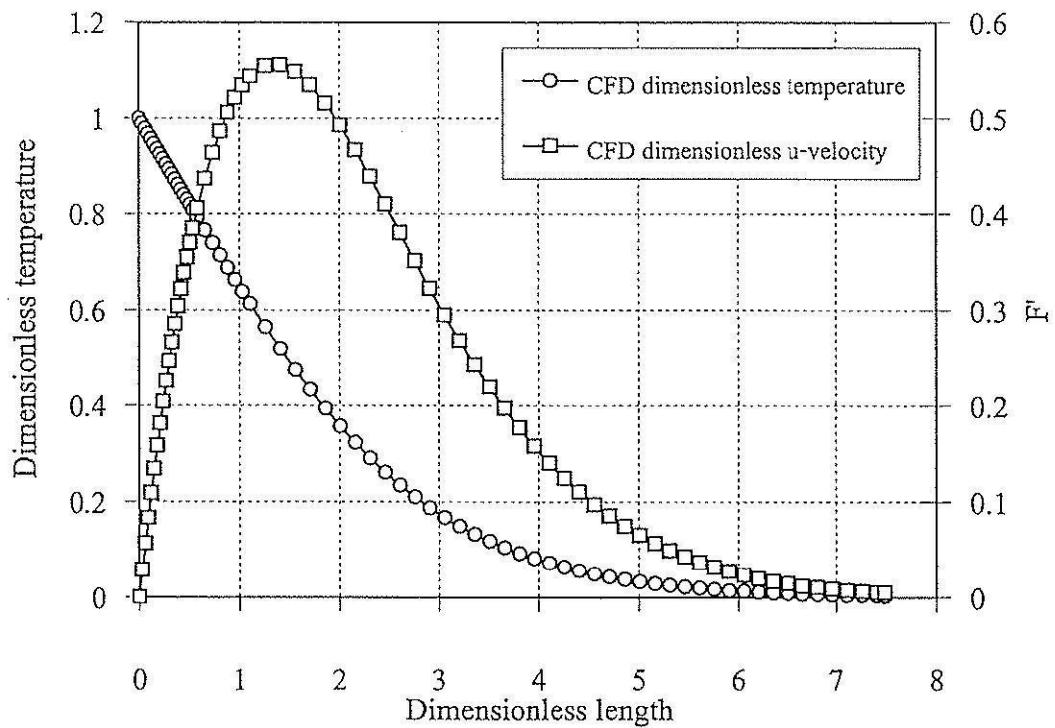
คลอจนาการพล็อตในรูปของตัวแปรแบบไม่มีมิติ คือ T และ u ดังแสดงในรูปข้างล่าง ผลลัพธ์ที่ได้มีความใกล้เคียงกับผลเฉลยแม่นยำ โดยเฉพาะความเร็วและอุณหภูมิ ส่วนสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีค่าแตกต่างจากทฤษฎีค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับสองความเร็วและอุณหภูมิ คาดว่าน่าจะเกิดจากค่าผิดพลาดบริเวณขอบ (end effect) อย่างไรก็ตาม แนวโน้มของผลลัพธ์เป็นไปในทางเดียวกับทฤษฎี จึงมั่นใจในความถูกต้องของโปรแกรมก่อนที่จะนำไปจำลองปัญหาการไหลที่ต้องการต่อไป



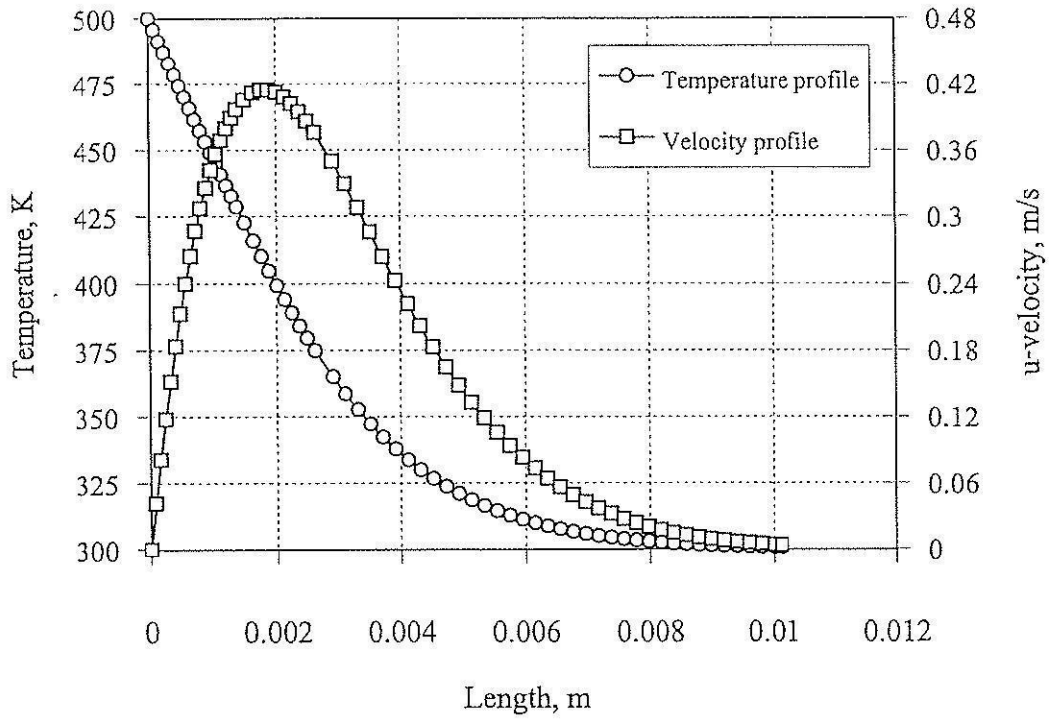
รูปที่ 4.6 รูปด้านข้างความเร็วไร้มิติ (50×200 เมช, $Pr = 0.711$, $x = 0.085$ m)



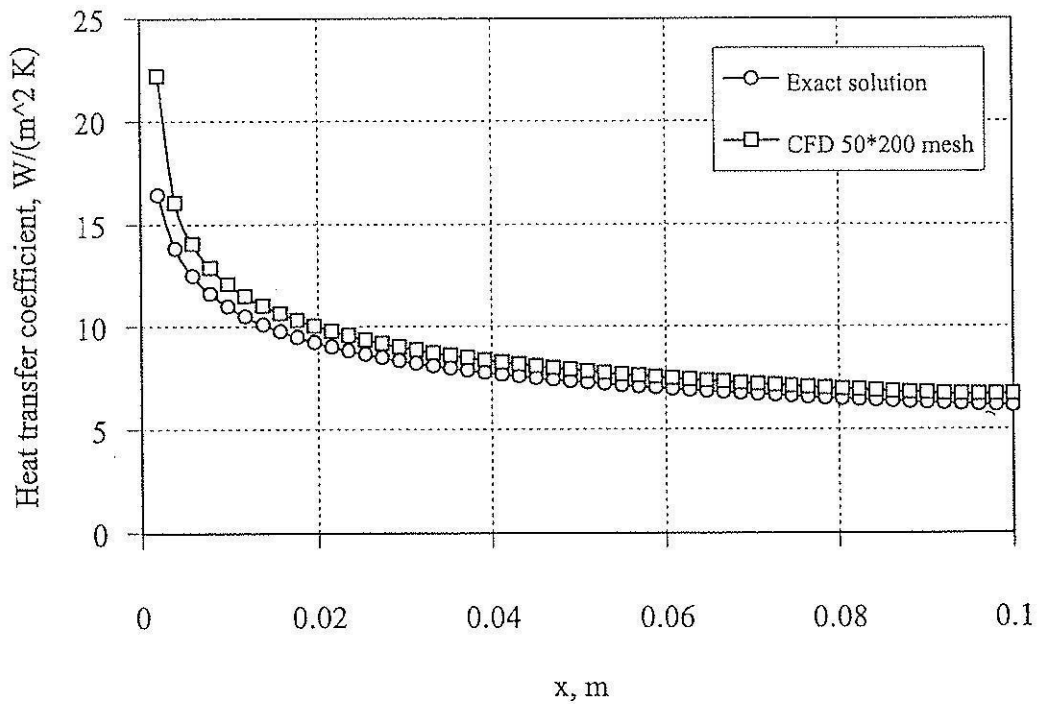
รูปที่ 4.7 รูปด้านข้างอุณหภูมิไร้มิติ (50×200 เมช, $Pr = 0.711$, $x = 0.085$ m)



รูปที่ 4.8 รูปด้านข้างความเร็วและอุณหภูมิไร้มิติ (50×200 เมช, $Pr = 0.711$, $x = 0.085$ m)



รูปที่ 4.9 รูปด้านข้างความเร็วและอุณหภูมิ (50×200 เมช, Pr = 0.711, x = 0.085 m)



รูปที่ 4.10 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (Pr = 0.711, x = 0.085 m)

บทที่ 5

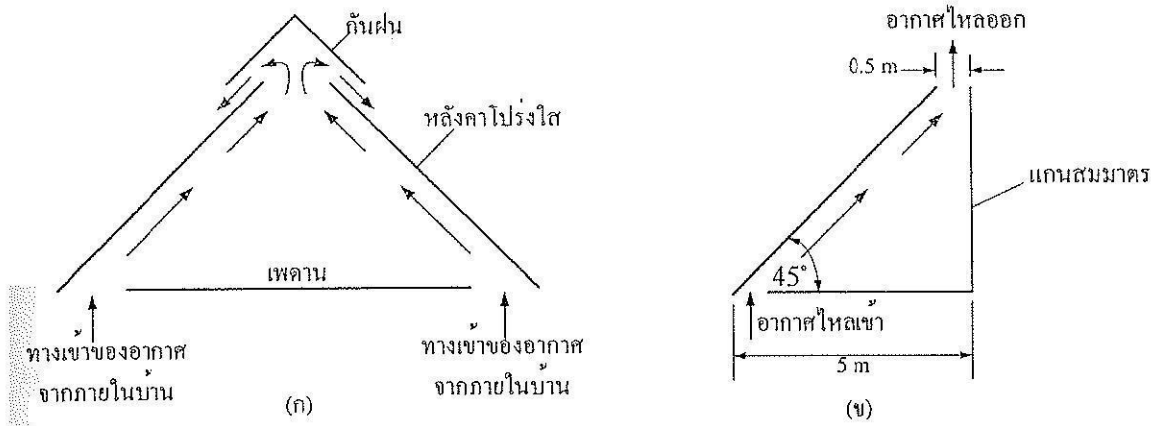
รูปแบบของหลังคาที่เหมาะสม

5.1 กล่าวนำ

จากการศึกษางานวิจัยในอดีตพบว่ารูปแบบของหลังคารับแสงแดดส่วนใหญ่มี 2 รูปแบบแรกคือ หลังคารับแสงแดดแบบที่มีแผ่นดुकกลืนแสงแดดวางตัวขนานกับหลังคาเอียง หลังคาแบบนี้จะมีช่องอากาศ (air gap) อยู่ระหว่างหลังคา กับแผ่นดुकกลืนแสง แบบที่สองคือ หลังคารับแสงแดดแบบที่มีแผ่นดुकกลืนแสงแดดวางตัวในแนวระดับ (เหมือนหลังคาบ้านทั่วไปของประเทศไทย โดยปรับเปลี่ยนให้เพดานเป็นแผ่นดुकกลืนแสงแดด) และยังไม่พบการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้หลังคาทั้งสองรูปแบบ ผู้วิจัยเห็นว่าเป็นประเด็นที่ไม่ควรมองข้าม เพราะการใช้หลังคาแบบต่างกันนี้อาจส่งผลต่ออัตราการไหลที่เกิดขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงการศึกษาการไหลผ่านหลังคาทั้งสองรูปแบบที่สภาวะเดียวกันเพื่อเปรียบเทียบว่าหลังคาแบบใดที่ก่อให้เกิดอัตราการไหลได้มากที่สุด เพื่อให้ได้แนวทางการออกแบบที่หลากหลายและมีประสิทธิภาพที่สุด

5.2 หลังคารูปแบบที่ 1

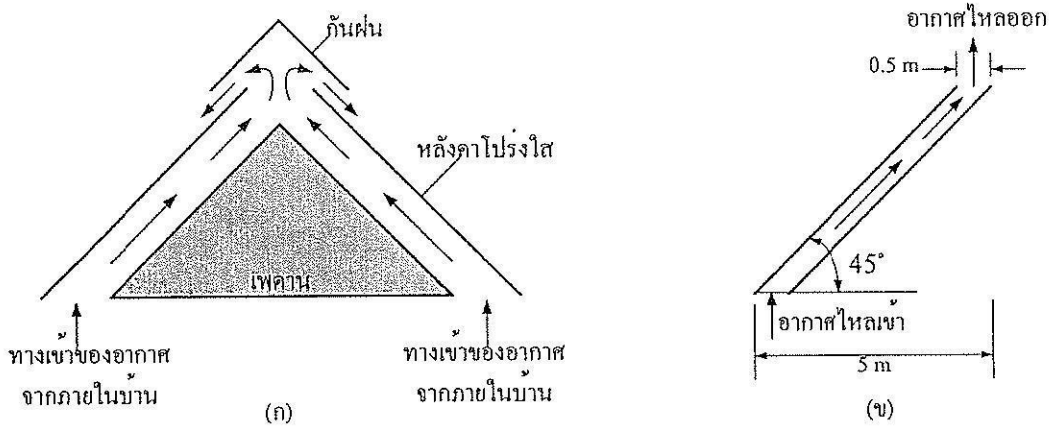
ลักษณะของหลังคารูปแบบที่ 1 จะเป็นหลังคาเอียงที่มีเพดานวางตัวในแนวระนาบ ซึ่งเป็นหลังคารูปแบบปกติทั่วไปที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เพียงแต่มุงหลังคาด้วยวัสดุโปร่งใส เช่น กระฉก เพื่อยอมให้แสงแดดผ่านเข้ามาได้มาก และดูดซับความร้อนจากแสงแดดด้วยเพดานซึ่งทำจากแผ่นโลหะทาด้วยสีดำเพื่อเพิ่มความสามารถในการดูดกลืนแสงแดด ในการประยุกต์ใช้จริงต้องทำการหุ้มฉนวนด้านล่างของเพดานนี้เพื่อป้องกันไม่ให้ความร้อนผ่านเข้าไปในตัวบ้าน รูปที่ 5.1 (ก) เป็นลักษณะโดยทั่วไปของหลังคาบ้านรูปแบบที่ 1 ในสองมิติ ส่วนรูปที่ 5.1 (ข) เป็นโครงสร้างของหลังคาที่ใช้ในการจำลองการไหลด้วยโปรแกรมวิเคราะห์การไหลสำเร็จรูป ANSYS CFX เนื่องจากระบบนี้มีความสมมาตร จึงทำการจำลองหลังคาเพียงครึ่งเดียวเท่านั้น เพื่อลดเวลาการคำนวณของโปรแกรม ดังนั้นค่าอัตราการไหลที่เกิดขึ้นในสองมิติจริงๆ นั้นต้องเป็นสองเท่าของค่าที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมนั้นเอง



รูปที่ 5.1 หลังคาแบบที่ 1 (ก) หลังคาแบบที่ 1 ในสองมิติ
(ข) หลังคาแบบที่ 1 ที่ใช้ในการจำลองการไหลด้วยโปรแกรมฯ

5.3 หลังคาแบบที่ 2

ส่วนประกอบสำคัญของหลังคาแบบนี้เหมือนรูปแบบที่ 1 ทุกประการ เพียงแต่แผ่นคูดกั้นแสงวางตัวขนานกับหลังคาเอียง อัตราการไหลของอากาศที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรมฯ จะต้องถูกคูณด้วยสองเช่นเดียวกับหลังคาแบบแรก ข้อสังเกตอย่างหนึ่งของหลังคาทั้งสองแบบคือ ภายใต้ข้อกำหนดว่าหลังคารับแดดมีค่าเท่ากันแล้วแสดงว่าปริมาตรอากาศใต้หลังคาแบบที่ 2 จะน้อยกว่าปริมาตรของอากาศใต้หลังคาแบบที่ 1



รูปที่ 5.2 หลังคาแบบที่ 2 (ก) หลังคาแบบที่ 2 ในสองมิติ
(ข) หลังคาแบบที่ 2 ที่ใช้ในการจำลองการไหลด้วยโปรแกรมฯ

5.4 การกำหนดขนาดของหลังคากรณีอ้างอิงทั้งสองรูปแบบ

กำหนดขนาดอ้างอิงของหลังคาทั้งสองรูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 5.1 (ข) และ 5.2 (ข) ตามลำดับ

5.5 สมมุติฐานในการจำลอง

5.5.1 เป็นการไหลในสองมิติ

5.5.2 พิจารณาการไหลที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงลอยตัวเท่านั้น

5.5.3 สมมุติให้หลังคาได้รับความร้อนจากแสงแดดเป็นเวลานานจนเข้าสู่สภาวะคงตัว จึงสามารถกำหนดแรงขับเคลื่อนของปัญหาเป็นความร้อนต่อหน่วยปริมาตรแบบเอกกรุป (uniform heat source) ให้กับปริมาตรอากาศที่อยู่ในห้องหลังคา ดังนั้นค่าความร้อนต่อหน่วยปริมาตรของหลังคาแบบที่ 2 จะน้อยกว่าแบบที่ 1 เพราะมีปริมาตรอากาศมากกว่า (พิจารณาที่ความเข้มของแสงแดดเท่ากัน)

5.5.4 เป็นการไหลที่มีความหนืดในช่วงราบเรียบ (laminar) เพราะเป็นการไหลที่ขับเคลื่อนโดยแรงลอยตัวในระยะทางสั้น ๆ ที่ค่าเลขการไหลต่ำ

5.5.5 กำหนดให้พื้นที่รับแดดของหลังคาทั้งสองมีขนาดเท่ากัน โดยใช้พื้นที่แนวระนาบ (projected area) เสมือนว่าเป็นการรับแดดเมื่อตะวันตรงศีรษะพอดี

5.5.6 ใช้ Buossinesq model เพื่อประมาณการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของอากาศที่ได้รับความร้อน

5.6 การกำหนดเมช

ใช้เมชแบบไร้โครงสร้าง (unstructured mesh) และเป็นเมชแบบ tetrahedral โดยกำหนดให้มีจำนวนเมชในทิศทางความหนาทางแกน z เท่ากับหนึ่งเมช (เป็นวิธีการสร้างเมชเพื่อจำลองการไหลในสองมิติของโปรแกรม ANSYS CFX) ใช้การ control mesh บริเวณช่องเปิดเพื่อให้ขนาดเมชมีความละเอียดเพียงพอ เพราะเป็นบริเวณที่มีค่าเกรเดียนต์ของค่าตัวแปรต่างๆ ของการไหลสูง อัตราการขยายตัวของเมชเท่ากับ 1.2 ลองใช้เมชจากหยาบ จนกระทั่งได้ค่าที่เหมาะสม ซึ่งมีความยาวเมชสูงสุดไม่เกิน 0.25 m

5.7 การกำหนดสภาวะเริ่มต้น

สมมติให้อากาศที่แวดล้อมระบบมีอุณหภูมิเท่ากับ 35° และกำหนดค่าความร้อนต่อหน่วยปริมาตรของแต่ละกรณีศึกษาให้กับอากาศใต้หลังคารับแดด โดยกำหนดให้พื้นที่ตั้งฉาก (projected area) ของหลังคาทั้งสองรูปแบบมีค่าเท่ากัน

5.8 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต

5.8.1 ทางเข้าของหลังคาที่กำหนดให้มีเงื่อนไขขอบเขตแบบ inlet ซึ่งยอมให้อากาศไหลเข้า
เท่านั้น

5.8.2 ทางออกของหลังคาที่กำหนดให้มีเงื่อนไขขอบเขตแบบ outlet ซึ่งยอมให้อากาศไหลออก
เท่านั้น

5.8.3 พื้นผิวด้านข้างของหลังคา (พื้นผิวที่ตั้งฉากกับแนวความลึกของหลังคา) กำหนดให้มี
เงื่อนไขขอบเขตแบบ symmetry (เป็นการจำลองใน 2 มิติ)

5.8.4 พื้นผิวที่เหลือ (ผิวด้านบนของหลังคา และผิวของแผ่นดูดกลืนความร้อน) กำหนดให้
เงื่อนไขขอบเขตแบบ no-slip adiabatic wall (ไม่มีการสูญเสียความร้อนผ่านพื้นผิว)

5.9 การกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น

5.9.1 กำหนดความเร็วเริ่มต้นในแนวแกน x และแกน y (u และ v) มีค่าเท่ากับศูนย์

5.9.2 กำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม (35°)

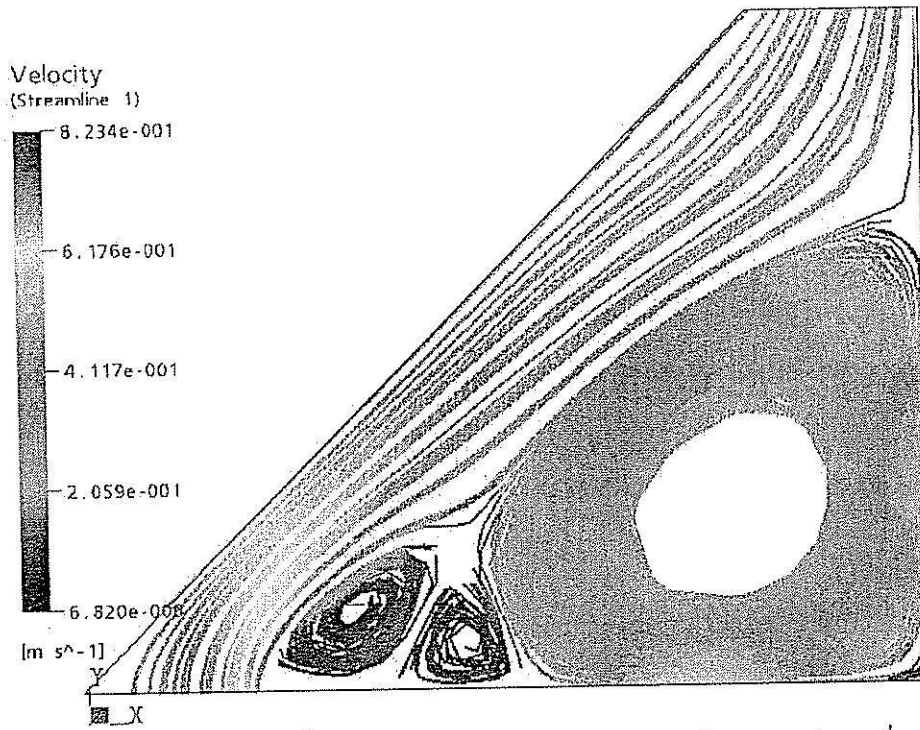
5.9.3 กำหนดความดันเริ่มต้นเท่ากับความดันบรรยากาศ ($101,325$ Pa)

5.10 ผลลัพธ์

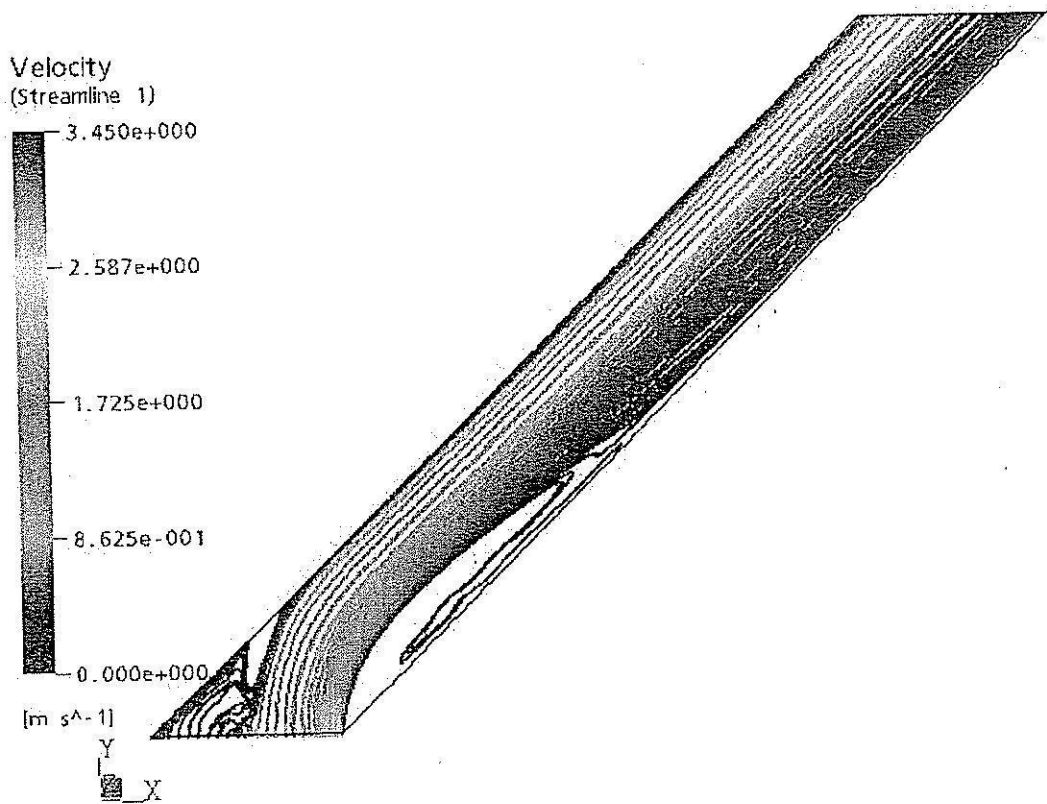
ผลลัพธ์จากการจำลองแสดงในตารางที่ 5.1 จะเห็นว่าหลังคารูปแบบที่ 2 ให้ค่าอัตราการไหลสูงกว่าหลังคารูปแบบที่ 1 ประมาณ 0.4 เท่า หรือประมาณ 40% หากพิจารณาเส้นแนวการไหล (stream line) ของอากาศได้หลังคารูปแบบที่ 1 และรูปแบบที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 5.2 และ 5.3 ตามลำดับ จะเห็นว่าเกิดการหมุนวน (separation) โดยการหมุนวนของอากาศที่เกิดขึ้นใต้หลังคารูปแบบที่ 1 นั้นมีขนาดใหญ่ 1 ก้อน และขนาดเล็กอีก 2 ก้อน ส่วนของหลังคารูปแบบที่สองเกิดการหมุนวนเพียงขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับของหลังคารูปแบบที่ 1 การหมุนวนของอากาศทำให้เกิดการเสียดสีของเนื้อของไหล ซึ่งเป็นสาเหตุของการสูญเสีย ทำให้อัตราการไหลที่เกิดของหลังคารูปแบบที่ 1 น้อยกว่าอัตราการไหลของหลังคารูปแบบที่ 2 นั้นเอง

ตารางที่ 5.1 ผลลัพธ์จากการศึกษาหลังคารับแดดสองรูปแบบ

รูปแบบของหลังคา	อัตราการไหล ($\times 10^3$ kg/s)	ความเร็วเฉลี่ยของอากาศ (m/s)	อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศ (K)
รูปแบบที่ 1	1.5	0.3	319.8
รูปแบบที่ 2	2.1	0.58	315.7



รูปที่ 5.3 เส้นแนวการไหลของอากาศใต้หลังคารูปแบบที่ 1



รูปที่ 5.4 เส้นแนวการไหลของอากาศใต้หลังคารูปแบบที่ 2

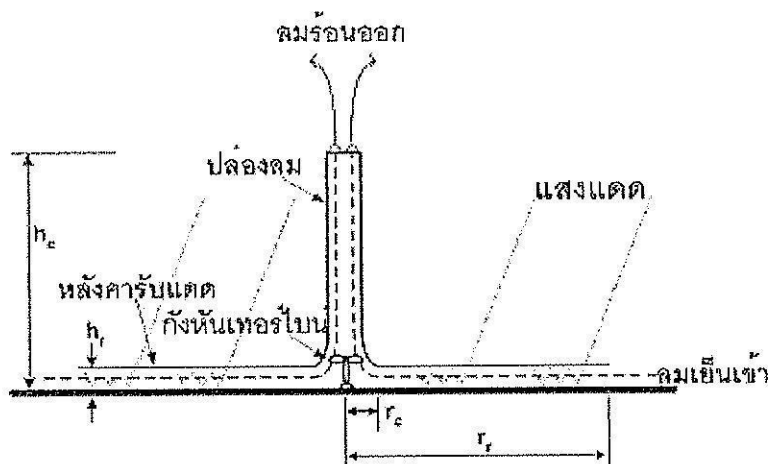
บทที่ 6

หลังคาร์บแดดสองชั้นแบบมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดของช่องทางไหล

6.1 กล่าวนำ

จากการศึกษารูปแบบของหลังคาที่เหมาะสมในบทก่อนหน้านี พบว่า หลังคาร์บแดดแบบสองชั้นที่มีช่องอากาศ (แผ่นดูดคลื่นแสงวางตัวแบบมีระยะห่างและขนานกับหลังคาเอียง) สามารถทำให้เกิดอัตราการไหลได้มากกว่าหลังคารูปแบบเดิม (แผ่นดูดคลื่นแสงวางตัวในแนวระดับ) โดยที่ สามารถเพิ่มอัตราการไหลของอากาศได้ถึง 40% เมื่อเทียบกับหลังคารูปแบบเดิม ดังนั้นจึงเลือกหลังคาร์บแดดแบบสองชั้นนี้ในการศึกษาถึงปัจจัยอื่น ๆ เพื่อหาทางเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศต่อไป จากการศึกษาทางวิจัยเกี่ยวกับปล่องลมแดดของ Chitsomboon, T. (2001) ซึ่งทำนายการไหลในระบบปล่องแดดเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า (ประกอบด้วยหลังคาร์บแดดแบบโปร่งใส และมีปล่องแนวตั้งอยู่ตรงกลางของหลังคาดังแสดงในรูปที่ 6.1) เป็นสมการคือ

$$\frac{1}{2} m V_1^2 \left[\rho_1 - 2\rho_1 A_1^2 \int_1^3 \frac{dA_r}{A^2} + \frac{2\rho_1 A_1^2 g h_c}{\gamma R T_1} \int_1^3 \frac{dA}{A^3} \right] = \frac{\rho_1 g h_c q''}{c_p T_3} \int_1^3 dA_r \quad (6.1)$$



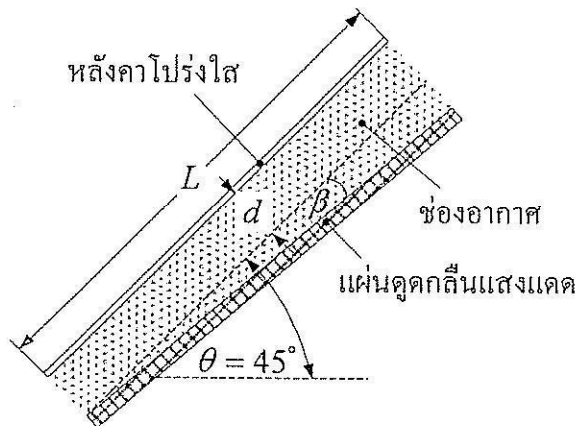
รูปที่ 6.1 ปล่องแดดเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าของ Chitsomboon, T

สมการ (6.1) ได้จากการสังเคราะห์สมการอนุกรมมวล โมเมนตัม และพลังงานเข้าด้วยกัน ผลการทำนายของสมการสอดคล้องกับการทำนายของการคำนวณเชิงตัวเลขเป็นอย่างดี จากการวิเคราะห์สมการเชิงลึกพบว่า ถ้าให้ช่องทางออกใหญ่กว่าช่องทางเข้าของระบบ ($A_3/A_1 > 1$ เมื่อ A_3 คือพื้นที่หน้าตัดการไหลที่ทางออกของปล่อง และ A_1 คือพื้นที่หน้าตัดการไหลที่ช่องทางเข้าของหลังคา

รับแดด) สามารถเพิ่มอัตราการไหลได้ ซึ่งผลลัพธ์นี้ได้รับการยืนยันอีกครั้งจากงานวิจัยของ Koonsrisuk A. and Chitsomboon T. (2006) ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้แนวคิดนี้กับหลังคารับแดดเพื่อการระบายอากาศ โดยการทำให้ช่องทางออกของหลังคาระบายอากาศใหญ่ขึ้น พบว่าสามารถเพิ่มอัตราการระบายอากาศได้ ดังจะแสดงในรายละเอียดต่อไป

6.2 ลักษณะทางกายภาพของหลังคาแบบมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดการไหล

ส่วนประกอบสำคัญของหลังคาลักษณะนี้เหมือนกับหลังคาที่มีช่องอากาศทั่วไป ยกเว้นพื้นที่หน้าตัดการไหลของช่องอากาศที่การเปลี่ยนแปลงหน้าตัดตลอดเส้นทางการไหล ด้วยการทำให้ช่องเปิดที่ทางออกของหลังคาบานตัวออกด้วยมุมเล็ก ๆ ดังแสดงในรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 หลังคาแบบมีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดการไหล

6.3 ขอบเขตการศึกษา

จำลองการไหลผ่านระบบหลังคาแบบรับแดด (ดังแสดงในรูปที่ 6.2) ใน 2 มิติ ด้วยโปรแกรมช่วยวิเคราะห์การไหล ANSYS CFX เพื่อศึกษาผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

6.3.1 มุมบาน (β): 0 - 12° เพิ่มขึ้นครั้งละ 1°

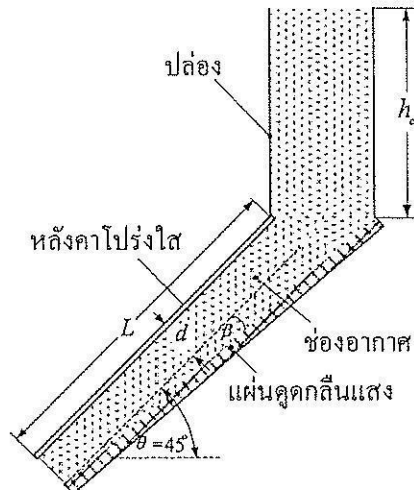
6.3.2 ความกว้างของช่องอากาศ (d): 12 – 60 cm เพิ่มขึ้นครั้งละ 2 cm จนถึง 22 cm จากนั้นเพิ่มแบบไม่คงที่

6.3.3 ความยาวของหลังคา (L): 1 - 4 m เพิ่มขึ้นครั้งละ 0.5 m

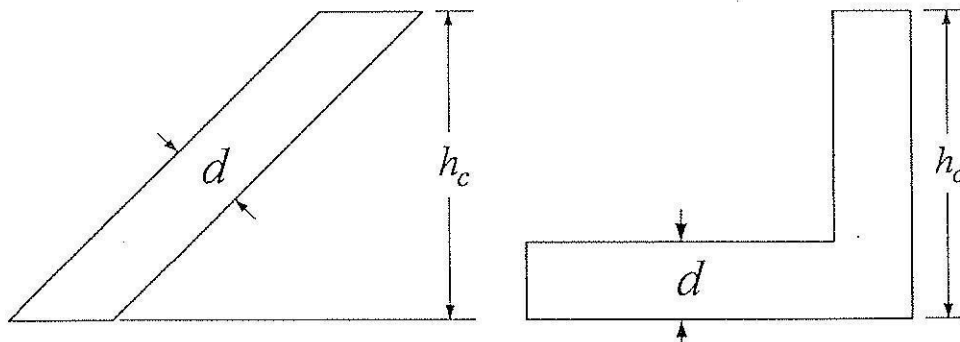
6.3.4 ความสูงของปล่องแดด (h_p): 0 – 1.25 m เพิ่มขึ้นครั้งละ 0.25 m

6.3.5 ความเข้มของแสงแดด: 500, 650, 800 และ 900 W/m²

นอกจากนี้ ยังศึกษาผลกระทบเนื่องจาก stack effect ต่อระบบที่ได้ออกแบบด้วยการต่อปล่อง ธรรมชาติเข้ากับด้านบนหลังคา ดังแสดงในรูปที่ 6.3 มีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มระยะความสูงในแนวตั้ง ระหว่างทางเข้าและทางออกของอากาศเท่านั้น โดยพิจารณาให้อากาศได้หลังคาเท่านั้นที่ได้รับความร้อนจากแสงแดด ส่วนปล่องไม่ได้รับหน้าที่รับแสงแดดแต่อย่างใด ศึกษาอัตราการไหลที่เกิดขึ้นเมื่อ เปลี่ยนแปลงค่าความสูงของปล่องครั้งละ 0.25 m จนถึง 1.25 m โดยเปรียบเทียบกับเมื่อไม่มีปล่อง และศึกษากับกรณีไม่มีมุมบานตัวของหลังคาที่กรณีหลังคาบานตัวออกเท่ากับ 4° เมื่อพิจารณาที่ ความเข้มของแสงแดดต่าง ๆ นอกจากนี้ยังทำการศึกษาผลของรูปแบบของหลังคาเมื่อกำหนดให้พื้นที่รับ แดดของหลังคาเท่ากันและที่สำคัญคือให้ความสูงรวมของหลังคาเท่ากัน โดยหลังคารูปแบบแรกให้เป็น หลังคาเอียงส่วนแบบที่สองเป็นหลังคาราบแต่มีปล่องต่อเพื่อให้ได้ความสูงเท่ากับหลังคาเอียง ดังแสดงใน รูปที่ 6.4 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



รูปที่ 6.3 หลังคาเรียบแดดเพื่อศึกษาผลกระทบของ stack effect จากปล่องแดด



รูปที่ 6.4 (ก) หลังคาแบบเอียงและ (ข) หลังคาแบบราบมีปล่อง ที่ความสูงรวมเท่ากัน

ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองทั้งหมดนำมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์จากกรณีอ้างอิง ซึ่งกำหนดให้ขนาดของหลังคาเอียงเท่ากับ 45° ไม่มีมุมบานตัวของหลังคา ($\beta = 0^{\circ}$) และความกว้างของช่องอากาศเท่ากับ 14 cm

6.4 สมมุติฐานในการจำลอง

การจำลองการไหลผ่านระบบหลังคารับแดดทั้งสองรูปแบบ (รูปที่ 6.2 และ 6.3) ด้วยโปรแกรม ANSYS CFX กระทำภายใต้สมมุติฐานดังต่อไปนี้

6.4.1 เป็นการไหลในระบบพิกัด 2 มิติ

6.4.2 อากาศภายในช่องอากาศของปล่องแดดได้รับความร้อนจากแสงแดดเป็นความร้อนต่อหน่วยปริมาตรแบบเอกรูป (uniform heat source)

6.4.3 เป็นการไหลแบบมีความหนืดในช่วงราบเรียบ (laminar) เพราะเป็นการไหลที่ขับเคลื่อนโดยแรงลอยตัวในระยะทางสั้นๆ ที่ค่าเลขกราชอฟ (Grashof number) ต่ำ

6.4.4 ใช้ Boussinesq model เพื่อประมาณการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของอากาศที่ได้รับความร้อน

6.4.5 การการไหลเนื่องจากแรงลอยตัวเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

6.4.6 เงื่อนไขขอบเขตใช้รูปแบบเดียวกับปัญหาการไหลที่ใช้ในการทดสอบโปรแกรม เนื่องจากเป็นปัญหาการไหลแบบการพาอิสระเช่นเดียวกัน

6.5 การกำหนดเมช

ใช้เมชแบบ ไร้โครงสร้างชนิด tetrahedral และเป็นเมชแบบ Extrude 2D mesh เพื่อจำลองการไหลในสองมิติ และใช้ Inflation mesh เพื่อควบคุมเมชในช่วงชั้นผิวบาง กำหนดใช้เท่ากับ 15 ชั้น โดยเมชชั้นชิดผิวมีขนาดเท่ากับ 0.01 cm อัตราการเติบโตของเมชเท่ากับ 1.2

6.6 การกำหนดสภาวะเริ่มต้น

สมมุติให้อากาศที่แวดล้อมระบบมีอุณหภูมิเท่ากับ 35° (สมมุติค่าขึ้นมา โดยคาดว่ามีความใกล้เคียงกับอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในฤดูร้อนของประเทศไทย) และกำหนดค่าความร้อนต่อหน่วยปริมาตรของแต่ละกรณีศึกษาให้กับอากาศใต้หลังคารับแดด โดยในการศึกษาผลกระทบของตัวแปรแต่ละตัวแปรจะใช้พื้นที่รับแดดของหลังคาเท่ากันเสมอ

6.7 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต

6.7.1 ทางเข้าของหลังคาที่กำหนดให้มีเงื่อนไขขอบเขตแบบ inlet ซึ่งยอมให้อากาศไหลเข้าเท่านั้น

6.7.2 ทางออกของหลังคาที่กำหนดให้มีเงื่อนไขขอบเขตแบบ outlet ซึ่งยอมให้อากาศไหลออกเท่านั้น

6.7.3 พื้นผิวด้านข้างของหลังคา (พื้นผิวที่ตั้งฉากกับแนวความลึกของหลังคา) กำหนดให้มีเงื่อนไขขอบเขตแบบ symmetry (เป็นการจำลองใน 2 มิติ)

6.7.4 พื้นผิวที่เหลือ (ผิวด้านบนของหลังคา และผิวของแผ่นคูดักความร้อน) กำหนดให้มีเงื่อนไขขอบเขตแบบ no-slip adiabatic wall (ไม่มีการสูญเสียความร้อนผ่านพื้นผิว)

6.8 การกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น

4.7.1 กำหนดความเร็วเริ่มต้นตามทิศทางแกน x และแกน y (u และ v) มีค่าเท่ากับศูนย์

4.7.2 กำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม (35°)

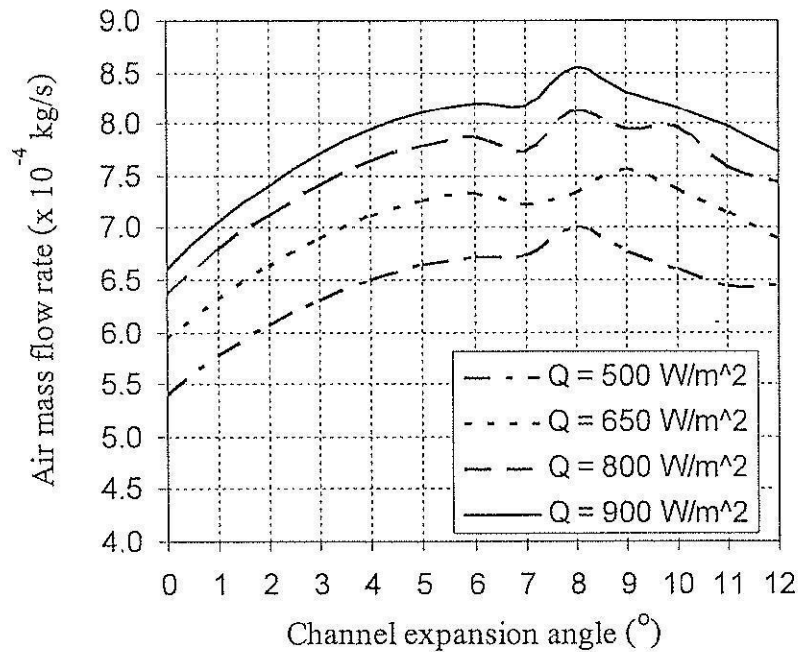
4.7.3 กำหนดความดันเริ่มต้นเท่ากับความดันบรรยากาศ ($101,325 \text{ Pa}$)

ความมั่นใจในความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมฯ พิจารณาจาก 2 ปัจจัย หนึ่งคือ ค่าเศษตกค้าง (residual) ของสมการนาเวียร์-สโตก ตรวจสอบได้จากลักษณะของเส้นกราฟที่โปรแกรมฯ แสดงผลซึ่งต้องเข้าสู่ค่าใดค่าหนึ่ง และมีค่าต่ำเพียงพอที่จะยอมรับได้ และสองคือ อัตราการไหลเชิงมวลที่แต่ละหน้าตัดต้องมีค่าเท่ากันตามกฎการอนุรักษ์มวล (conservation of mass) เนื่องจากเป็นการไหลในช่องทาง

6.9 ผลลัพธ์

6.9.1 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงพื้นที่หน้าตัดการไหล

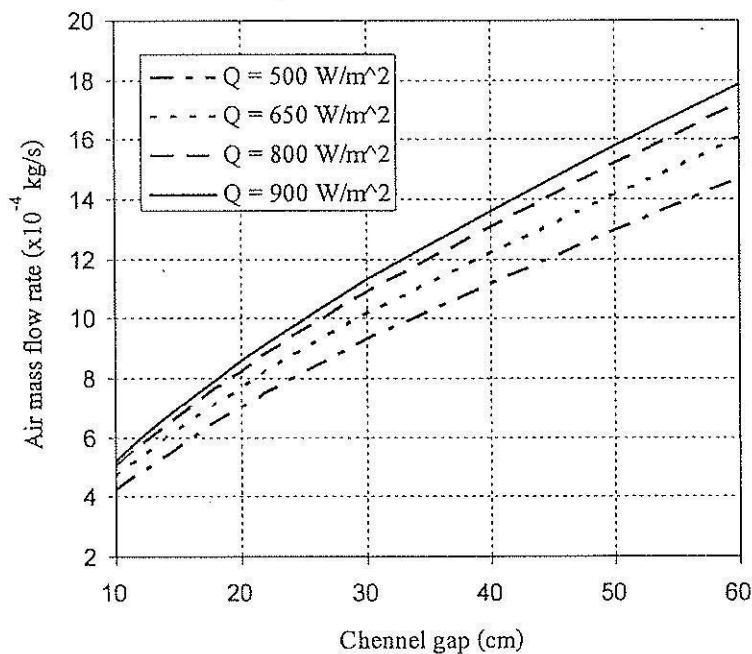
การบานออกของช่องอากาศสามารถเพิ่มอัตราการไหลได้ ดังแสดงในรูปที่ 6.5 การเพิ่มของอัตราการไหลมีค่ามากในช่วงแรก (1° - 6°) ที่มุมบาน 6° สามารถเพิ่มอัตราการไหลได้ 24% เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีอ้างอิง อย่างไรก็ตามหลังจาก 8° เป็นต้นไป อัตราการไหลเริ่มลดลง ซึ่งได้ตรวจดูผลลัพธ์แล้วไม่ปรากฏว่าเป็นเพราะการเกิดการไหลแยก (separated flow) ดังนั้นจะต้องวิเคราะห์หาสาเหตุของพฤติกรรมนี้ต่อไป



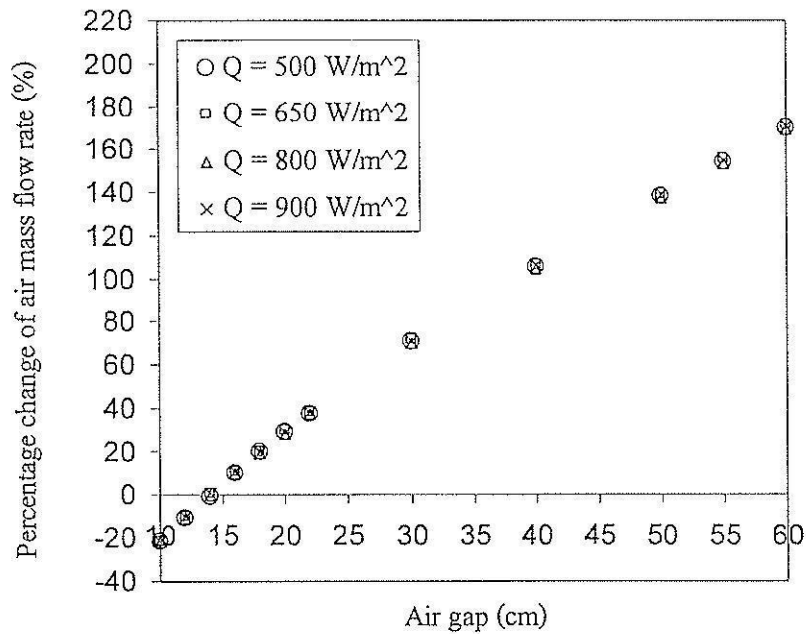
รูปที่ 6.5 อัตราการไหลของอากาศเทียบกับมุมบานตัวของหลังคาที่ความเข้มแสงต่าง ๆ

6.9.2 ผลกระทบจากการเปลี่ยนค่าความกว้างของช่องอากาศ

ผลลัพธ์จากการเปลี่ยนค่าความกว้างของช่องอากาศเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยในอดีต นั่นคือเมื่อให้ความกว้างของช่องอากาศมากขึ้น (พื้นที่หน้าตัดการไหลมากขึ้น) สามารถเพิ่มอัตราการไหลได้ ดังแสดงในรูปที่ 6.6 และ 6.7 แต่แปลกที่อัตราการไหลยังคงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเพิ่มความกว้างของช่องอากาศไปจนถึง 60 cm และดูเหมือนว่าการเพิ่มขึ้นเกือบจะเป็นเชิงเส้น



รูปที่ 6.6 อัตราการไหลของอากาศเทียบกับความกว้างของช่องอากาศที่ความเข้มแสงต่าง ๆ

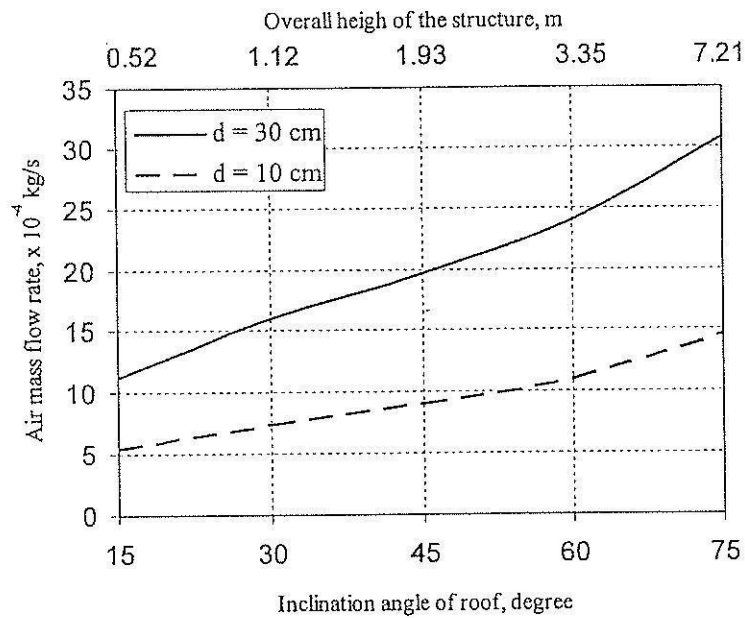


รูปที่ 6.7 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าอัตราการไหลของอากาศเทียบกับกรณีอ้างอิง ($d = 14$ cm)

ผลลัพธ์นี้แตกต่างจากผลลัพธ์ที่ Khedari et al (2001) เสนอไว้ว่าควรใช้ความกว้างของช่องอากาศ 14 - 16 cm เมื่อพิจารณาที่ความยาวของปล่อง 1 m เท่ากัน หากพิจารณาโดยหลักการ เมื่อปริมาตรของอากาศภายในช่องว่างมากขึ้นจะทำให้การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของอากาศลดลง ทำให้แรงลอยตัวลดลง และความเร็วลดลงด้วย แต่พื้นที่หน้าตัดการไหลมากขึ้น อาจเป็นไปได้ว่าการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดการไหลมีผลต่ออัตราการไหลมากกว่าการลดลงของความเร็ว

6.9.3 ผลกระทบจากมุมเอียงของหลังคา

หากเปลี่ยนมุมเอียงของหลังคาโดยให้ระยะในแนวนอนคงที่ (ให้พื้นที่รับแดดของหลังคาคงที่ เมื่อคิดว่าดวงอาทิตย์อยู่ตรงหัว) สามารถเพิ่มอัตราการไหลได้ ดังแสดงในรูปที่ 6.8 ซึ่งไม่ใช่เรื่องแปลกแต่อย่างใด เพราะวาระยะแนวตั้งระหว่างทางเข้ากับทางออก (stack height) มากขึ้น จึงทำให้เกิด stack effect มากขึ้นตามไปด้วย

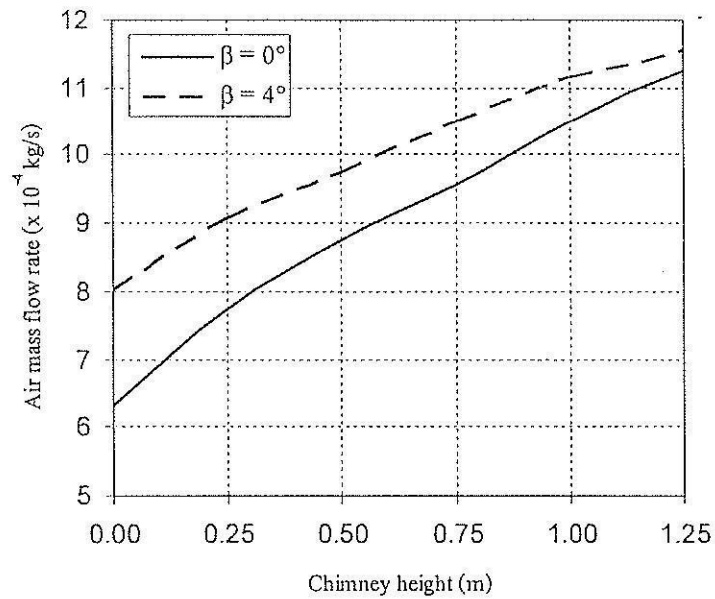


รูปที่ 6.8 อัตราการไหลของอากาศเทียบกับมุมเอียงของหลังคา

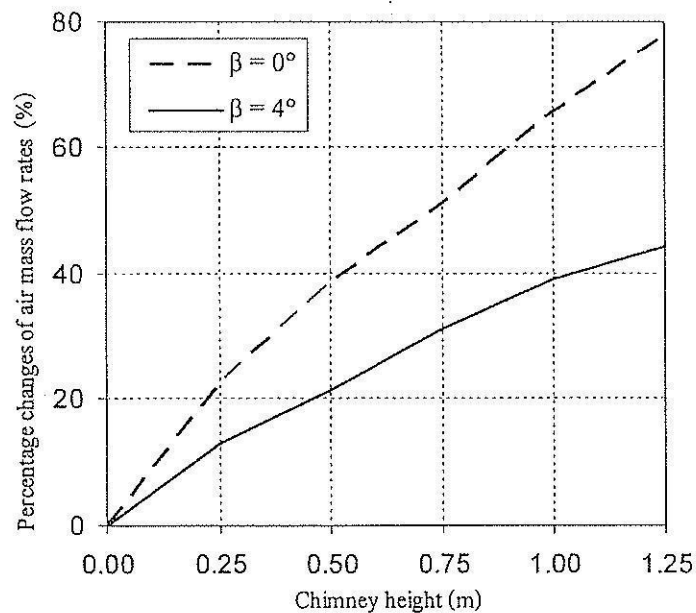
จากรูปที่ 6.8 จะเห็นว่าการเพิ่มขึ้นเกือบจะเป็นเชิงเส้น อย่างไรก็ตามมุมเอียงของหลังคาที่เหมาะสมควรคำนึงถึงปัจจัยอื่นด้วย อาทิเช่น ค่าใช้จ่าย ความสวยงาม ตลอดจนความยากง่ายในทางปฏิบัติ เป็นต้น

6.9.4 ผลกระทบจากการต่อปล่องเข้ากับหลังคา

งานวิจัยในอดีตส่วนใหญ่ใช้ปล่องเพื่อการดูดซับความร้อนจากแสงแดด (เหมาะสำหรับเมืองหนาว) ซึ่งมีทั้งการใช้ปล่องแนวตั้งหรือปล่องเอียงที่ประยุกต์เข้ากับส่วนใดส่วนหนึ่งของอาคาร เช่น หลังคาหรือผนัง แต่สำหรับงานวิจัยนี้ใช้ปล่องเพื่อเพิ่มอัตราการไหล โดยปล่องไม่ได้มีหน้าที่รับแสงแดดแต่อย่างใด ซึ่งพบว่าที่ความสูงปล่องเพียง 0.5 m สามารถเพิ่มอัตราการไหลได้มากขึ้นถึง 38% ดังแสดงในรูปที่ 6.9 และ 6.10 ซึ่งเป็นการต่อปล่องเข้ากับกรณีอ้างอิง วิธีการนี้จึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่ให้ประสิทธิผลสูงและสามารถนำไปปฏิบัติได้ไม่ยากนัก



รูปที่ 6.9 อัตราการไหลของอากาศเมื่อมีการต่อปล่อง



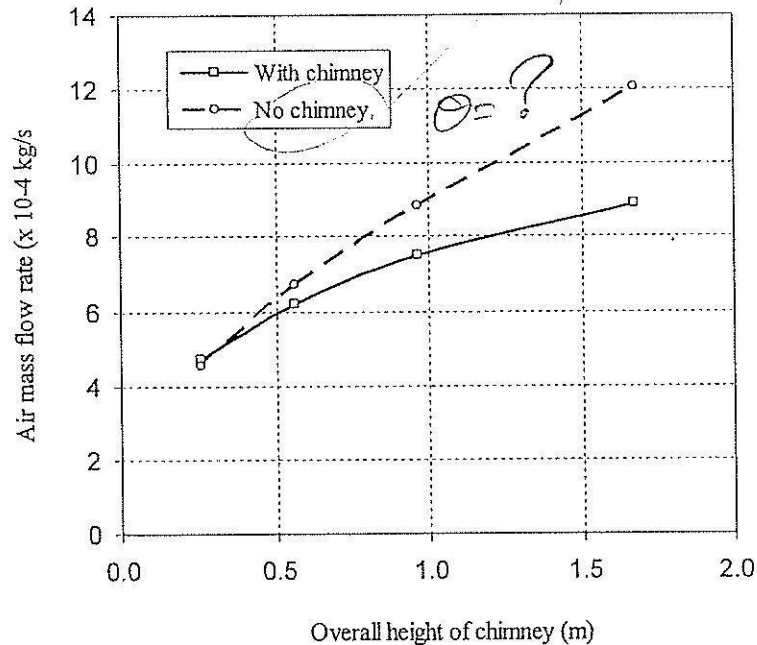
รูปที่ 6.10 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของอากาศเมื่อมีการต่อปล่อง
เทียบกับกรณีอ้างอิง (ไม่มีปล่อง)

ได้ศึกษาผลของการต่อปล่องแคบเข้ากับช่องทางออกที่มีการบานตัวเท่ากับ 4° พบว่าการเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลมีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่มีการบานตัว ดังนั้นการต่อปล่องเข้ากับช่องอากาศที่มีการบานตัวจึงอาจไม่คุ้มค่าเมื่อปล่องที่ต่อมีความสูงถึงระดับหนึ่ง

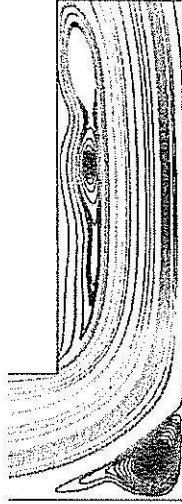
6.9.5 ผลกระทบของรูปทรงของหลังคาเมื่อกำหนดให้มีความสูงรวมเท่ากัน

จากการศึกษาที่ผ่านมาเห็นได้ว่าอัตราการไหลเพิ่มขึ้นเมื่อมุมเอียงหลังคามากขึ้นหรือมีการต่อปล่องแตกให้สูงขึ้น จึงเกิดแนวคิดว่า การเพิ่มขึ้นของอัตราไหลนี้จะเท่ากันหรือไม่ถ้าคงพื้นที่รับแตกไว้เท่าเดิม โดยให้ความสูงรวมเท่ากัน ทั้งนี้ไม่ว่าความสูงรวมนี้จะได้มาจากการเอียงหลังคาและหรือการต่อปล่องเพิ่มในลักษณะใดก็ตาม ข้อมูลนี้จะ เป็นประโยชน์ในการทำให้สามารถออกแบบหลังคาที่หลากหลายมากขึ้นได้ตามข้อจำกัดหรือความนิยมของผู้ใช้ เช่น อาจใช้หลังคาลาดเอียงต่ำผสมกับปล่องแตกแทนการใช้หลังคาที่ลาดเอียงมากแต่เพียงอย่างเดียว

เพื่อการศึกษาดังกล่าวจึงเปรียบเทียบกรณีหลังคาเอียงกับกรณีหลังคาราบ (ไม่มีมุมเอียง) แต่ต่อปล่องแตกให้มีความสูงรวมเท่ากับกรณีหลังคาเอียง ดังแสดงในรูปที่ 6.4 ซึ่งในที่นี้เลือกจำลองมุมเอียงสามค่าคือ 15, 30 และ 45° ผลการศึกษาแสดงในรูปที่ 6.11



รูปที่ 6.11 อัตราการไหลของอากาศเทียบกับความสูงรวมของปล่องของหลังคาที่มีปล่องและไม่มีปล่อง



รูปที่ 6.12 Separation bubble บริเวณรอยต่อระหว่างหลังคา กับปล่อง

พบว่ากรณีข้างอิงให้อัตราการไหลมากกว่ากรณีหลังคาราบ และความแตกต่างของอัตราการไหลยิ่งมากขึ้นที่ความสูงรวมปล่องมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากเส้นกราฟที่ฉีกตัวห่างออกจากกัน เนื่องจากการสูญเสียเกิดขึ้นเช่นเดียวกับการสูญเสียบริเวณข้อต่อของการไหลในท่อ การต่อปล่องเข้ากับหลังคาราบในที่นี้เป็นการต่อแบบมุมฉาก จึงก่อให้เกิดการสูญเสียบริเวณนี้ด้วยการเกิดก้อนหมุนวนด้านหลังของมุมฉาก ดังแสดงในรูปที่ 6.12 ดังนั้นหากมีการเข้ามุมโดยใช้การลบมุมแบบผิวโค้ง คาดว่าจะสามารถช่วยลดการสูญเสีย จนอาจมีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับหลังคาเอียงก็เป็นได้

จากผลลัพธ์ทั้งหมดจะเห็นว่า อัตราการไหลของอากาศขึ้นอยู่กับความเข้มของแสงแดด และปัจจัยโครงสร้าง เช่นเดียวกับผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษารูปแบบของหลังคา แคนออกเหนือจากนั้นพบว่า การกระจายพื้นที่หน้าตัดการไหลด้วยมุมบานตัวของหลังคาเพียงเล็กน้อยสามารถเพิ่มอัตราการไหลได้มาก นับเป็นทางเลือกใหม่เพื่อนำไปปฏิบัติจริงต่อไป และการใช้ปล่องธรรมชาติต่อเข้ากับหลังคารับแดดสามารถเพิ่มอัตราการไหลได้ โดยเพิ่มขึ้นถึง 38% ที่ความสูงปล่องเพียง 0.5 m เมื่อเทียบกับกรณีหลังคาไม่มีปล่อง อย่างไรก็ตาม หากพิจารณาที่ความสูงรวมเท่ากัน จากผลลัพธ์ที่ได้ควรเลือกใช้หลังคาเอียงแทนหลังคาราบที่มีปล่อง จนกว่าจะได้รับการพิสูจน์ถึงผลกระทบจากการต่อปล่องแบบลบมุมโค้งต่อไป

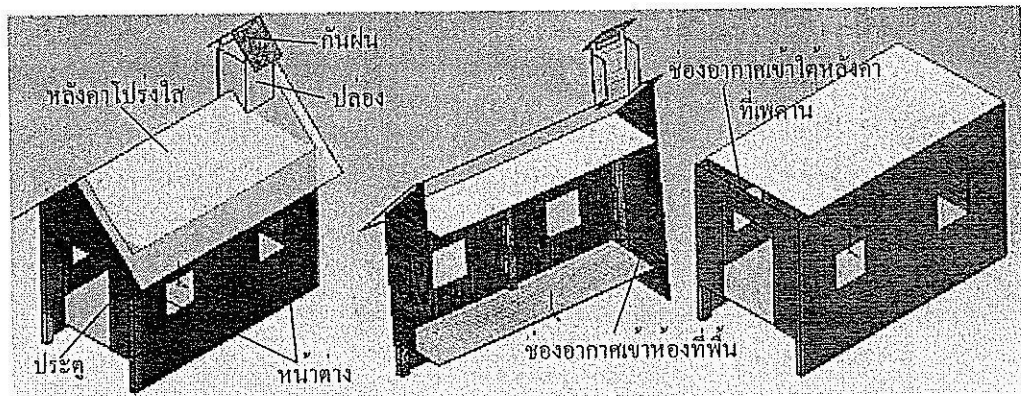
บทที่ 7

การระบายอากาศภายในบ้านต้นแบบสามมิติ

7.1 กล่าวนำ

เพื่อศึกษาอัตราการระบายอากาศที่เกิดขึ้นในสามมิติ ได้ออกแบบบ้านต้นแบบดังกล่าวไว้ ในหัวข้อ 3.5 และเพื่อความสะดวกต่อการกล่าวถึงจึงแสดงรูปบ้านต้นแบบในหัวข้อนี้อีกครั้งในรูปที่ 7.1 จากการศึกษาในสองมิติได้ข้อสรุปเป็นแนวทางว่า รูปแบบของหลังแบบสองชั้นดีกว่าหลังคา รูปทรงเดิมในแง่ของการระบายอากาศ และสามารถเพิ่มอัตราการระบายอากาศได้จากการเพิ่มมุมเอียงของหลังคา ความกว้างของช่องอากาศ ความสูงปล่อง และหากค่าความเข้มของแสงแดดยิ่งมาก อัตราการไหลที่เกิดขึ้นก็จะสูงตามไปด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าการบานตัวของช่องทางออกของหลังคาสามารถเพิ่มอัตราการระบายอากาศได้มาก ทำให้เกิดแนวทางหลากหลายในการออกแบบระบบ หลังคาระบายอากาศเพื่อใช้กับอาคาร บ้านเรือน ได้มากยิ่งขึ้น การศึกษาในหัวข้อนี้ทำขึ้นเพื่อยืนยันผลลัพธ์จากการจำลองในสองมิติ และเพื่อประเมินค่าที่ใกล้เคียงความจริงมากที่สุดหากนำไปประยุกต์ใช้กับอาคารบ้านเรือนจริงซึ่งเป็นรูปทรงในสามมิติ โดยในเบื้องต้นใช้หลังคาแบบรูปทรงเดิม (เพดานในแนวระนาบ) และเปลี่ยนแปลงค่าปัจจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ความเข้มของแสงแดดมุมเอียงของหลังคา ความสูงของปล่อง ตลอดจนตำแหน่งของปล่องบนหลังคา ผลลัพธ์ที่ได้ทำให้สามารถประเมินอัตราการระบายอากาศที่จะเกิดขึ้น ตลอดจนสรุปเป็นแนวทางการออกแบบเพื่อให้สอดคล้องกับที่อยู่อาศัยจริง และใช้ข้อมูลเพื่อหาแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพของระบบหลังคาและปล่องแดดเพื่อการระบายอากาศต่อไป

7.2 ลักษณะทางกายภาพของบ้านต้นแบบ



รูปที่ 7.1 บ้านต้นแบบสามมิติ

7.3 ขอบเขตการศึกษา

ทำการจำลองการไหลผ่านบ้านต้นแบบ (กรณีอ้างอิง) เพื่อศึกษาผลกระทบจากปัจจัยต่าง ๆ ในสามมิติ เช่น มุมเอียงของหลังคา ขนาดและความสูง ตลอดจนตำแหน่งของปล่อง ขนาดของช่องเปิด บริเวณต่าง ๆ ของอาคาร เป็นต้น ได้เปลี่ยนแปลงค่าปัจจัยต่าง ๆ เพื่อจำลองการไหลดังนี้

1. ความเข้มของแสงแดด: 500, 650 และ 800 W/m²
2. มุมเอียงของหลังคา: 15, 30, 45 และ 60°
3. ความสูงของปล่อง: 0, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5 และ 3 m
4. ตำแหน่งของปล่อง: ด้านเดียวกับช่องเปิดที่เพดาน, ด้านตรงข้ามกับช่องเปิดที่เพดาน, ตรงกลางของหลังคา

7.4 สมมุติฐานในการจำลอง

การจำลองการไหลผ่านบ้านต้นแบบด้วยโปรแกรม ANSYS CFX กระทำภายใต้สมมุติฐานดังต่อไปนี้

7.7.1 เป็นการไหลในสามมิติ

7.7.2 พิจารณาการไหลที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงลอยตัวเท่านั้น

7.7.3 สมมุติให้หลังคาได้รับความร้อนจากแสงแดดเป็นเวลานานจนเข้าสู่สภาวะคงตัว จึงสามารถกำหนดแรงขับเคลื่อนของปัญหาเป็นความร้อนต่อหน่วยปริมาตรแบบเอกกรุป (uniform heat source) ให้กับปริมาตรอากาศที่อยู่ในห้องหลังคา ดังนั้นค่าความร้อนต่อหน่วยปริมาตรของหลังคาแบบที่ 2 จะน้อยกว่าแบบที่ 1 เพราะมีปริมาตรอากาศมากกว่า (พิจารณาที่ความเข้มของแสงแดดเท่ากัน)

7.7.4 เป็นการไหลที่มีความหนืดในช่วงราบเรียบ (laminar) เพราะเป็นการไหลที่ขับเคลื่อนโดยแรงลอยตัวในระยะทางสั้น ๆ ที่ค่าเลขกราชอฟต่ำ

7.7.5 กำหนดให้พื้นที่รับแดดของหลังคาทั้งสองมีขนาดเท่ากัน โดยใช้พื้นที่แนวระนาบ (projected area) เสมือนว่าเป็นการรับแดดเมื่อตะวันตรงศีรษะพอดี

7.7.6 ใช้ Buossinesq model เพื่อประมาณการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของอากาศที่ได้รับความร้อน

7.5 การกำหนดเมช

เมชที่ใช้เป็นเมชแบบไร้โครงสร้าง ชนิด tetrahedral ความยาวมากที่สุดของเมชแต่ละเมชไม่เกิน 0.5 m ใช้ mesh control กับบริเวณช่องเปิดต่าง ๆ เพื่อให้เมชมีความละเอียดมากขึ้น จำนวนเมชในแต่ละกรณีมีประมาณ 4 แสนเมช

7.6 การกำหนดสภาวะเริ่มต้น

สมมติให้อากาศที่แวดล้อมระบบมีอุณหภูมิเท่ากับ 35° (สมมุติค่าขึ้นมา โดยคาดว่ามีความใกล้เคียงกับอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศในฤดูร้อนของประเทศไทย) และกำหนดค่าความร้อนต่อหน่วยปริมาตรของแต่ละกรณีศึกษาให้อากาศได้หลังการรับแดด

7.7 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต

7.7.1 ทางเข้าบ้านที่ได้ดูหนึ่งด้าน กำหนดให้มีเงื่อนไขขอบเขตแบบ inlet ซึ่งยอมให้อากาศไหลเข้าเท่านั้น

7.7.2 ปลายปล่อง กำหนดให้มีเงื่อนไขขอบเขตแบบ outlet ซึ่งยอมให้อากาศไหลออกเท่านั้น

7.7.3 พื้นผิวที่เหลือทั้งหมด กำหนดให้มีเงื่อนไขขอบเขตแบบผนังไม่ลื่น ไกลและมีคุณสมบัติเป็นฉนวน (no-slip adiabatic wall) นั่นคือไม่มีการสูญเสียความร้อนผ่านพื้นผิว

7.8 การกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น

7.8.1 กำหนดความเร็วเริ่มต้นตามทิศทางแกน x และแกน y (u และ v) มีค่าเท่ากับศูนย์

7.8.2 กำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม (35°)

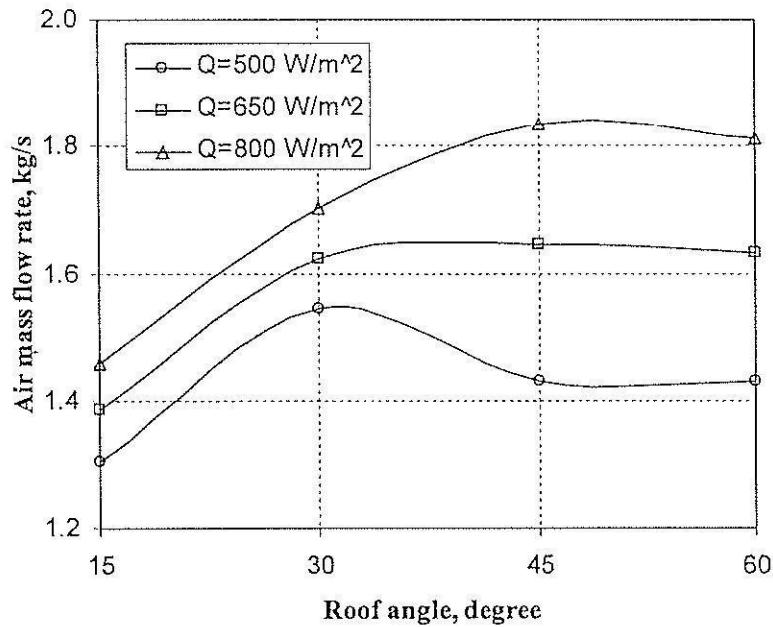
7.8.3 กำหนดความดันเริ่มต้นเท่ากับความดันบรรยากาศ ($101,325 \text{ Pa}$)

ความมั่นใจในความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมฯ พิจารณาจาก 2 ปัจจัย หนึ่งคือ ค่าเศษตกค้าง (residual) ของสมการนาเวียร์-สโตค ตรวจสอบได้จากลักษณะของเส้นกราฟที่โปรแกรมแสดงผลซึ่งต้องเข้าสู่ค่าใดค่าหนึ่ง และมีค่าต่ำเพียงพอที่จะยอมรับได้ และสองคือ อัตราการไหลเชิงมวลที่แต่ละหน้าตัดต้องมีค่าเท่ากันตามกฎการอนุรักษ์มวล (conservation of mass) เนื่องจากการไหลในช่องทาง

7.9 ผลลัพธ์

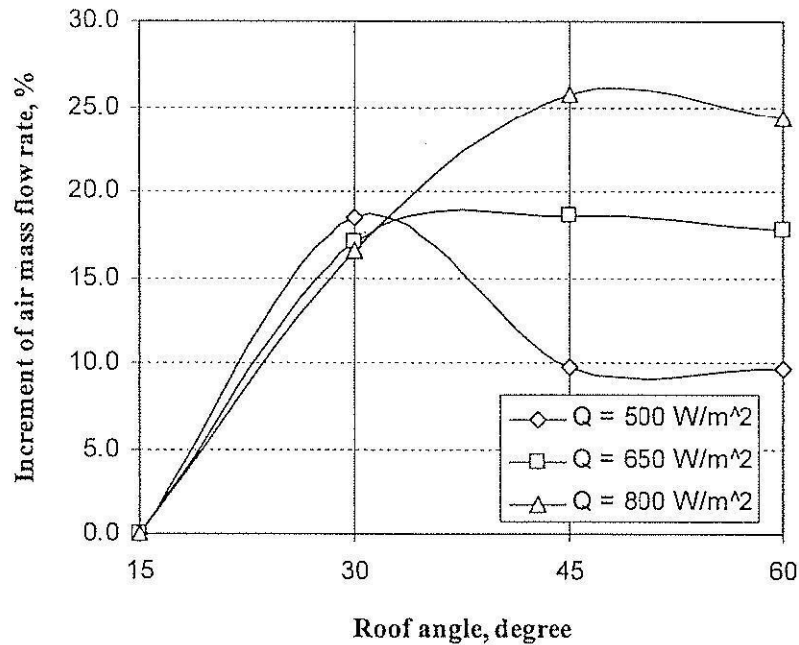
7.9.1 ผลกระทบจากมุมเอียงของหลังคาต่ออัตราการระบายอากาศ

ในการศึกษาผลกระทบจากมุมเอียงของหลังคาต่ออัตราการไหลของอากาศที่เข้าสู่อาคาร ได้จำลองการไหลผ่านบ้านต้นแบบ โดยใช้มุมเอียงของหลังคาสี่ค่าด้วยกันคือ 15° , 30° , 45° และ 60° ตามลำดับ จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้มาแสดงผลในรูปแบบของกราฟข้อมูลระหว่างอัตราการไหลของอากาศที่เกิดขึ้นเทียบกับมุมเอียงของหลังคา ที่ความเข้มของแสงแดดต่าง ๆ กัน สามค่า คือ 500 W/m^2 , 650 W/m^2 และ 800 W/m^2 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 7.2



รูปที่ 7.2 อัตราการไหลของอากาศเทียบกับมุมเอียงของหลังคาที่ความเข้มของแสงแดดต่างๆ

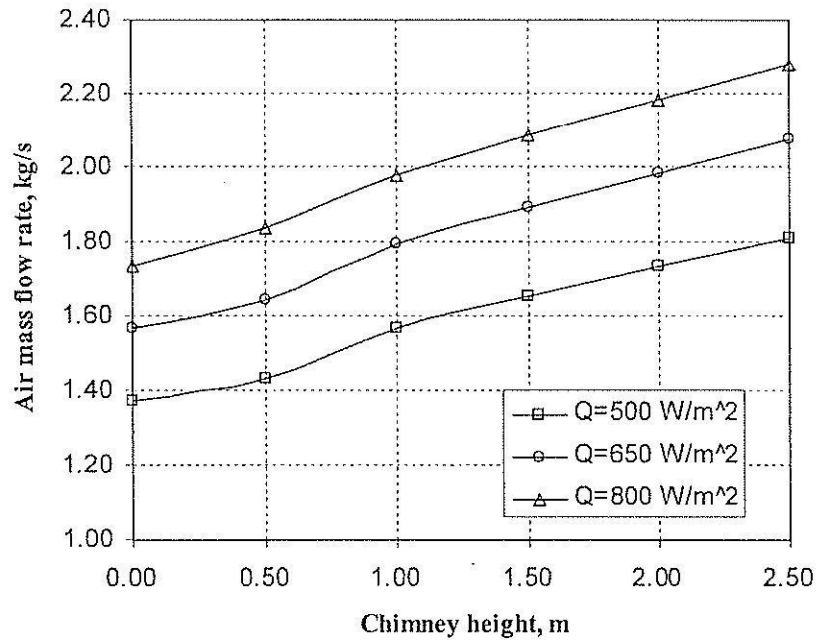
โดยจากผลลัพธ์กรณีความเข้มของแสงแดดสูง ๆ (ที่ 650 W/m^2 และ 800 W/m^2) พบว่ามุมเอียงอัตราการไหลของอากาศเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มมุมเอียงของหลังคา จนกระทั่งมีค่าสูงสุดที่มุมเอียงประมาณ 45° พอเพิ่มมุมเอียงเป็น 60° พบว่าไม่เพิ่มอัตราการไหล แต่กลับทำให้อัตราการไหลต่ำลงเล็กน้อย ส่วนที่ค่าความเข้มของแสงแดด 500 W/m^2 พบว่าอัตราการไหลสูงสุดเกิดขึ้นที่มุมเอียง 30° ที่มุมเอียง 45° ค่าอัตราการไหลของอากาศต่ำลงอย่างมากและค่อนข้างคงที่หลังจากนั้น อย่างไรก็ตามเมื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของค่าอัตราการไหลที่ค่ามุมเอียงของหลังคาต่าง ๆ เปรียบเทียบกับกรณีหลังคาเอียง 15° ดังแสดงในรูปที่ 7.3 จะเห็นว่าอัตราการไหลจากกรณีหลังคาเอียง 30° เทียบกับหลังคาเอียง 15° พบว่าเป็น 16.5% และค่าอัตราการไหลกรณีหลังคาเอียง 45° เพิ่มขึ้นประมาณ 7.9% เทียบกับกรณีหลังคาเอียง 30° ซึ่งจะเห็นว่าอัตราการเพิ่มขึ้นลดลงน้อยกว่าช่วงการเพิ่มครั้งแรก และหากพิจารณาเกี่ยวกับเรื่องเศรษฐกิจร่วมด้วยมุมเอียงของหลังคาที่ 45° ย่อมสูญเสียรายจ่ายวัสดุในการมุงหลังคามากกว่า ดังนั้นฝนการใช้งานจริงการเลือกใช้หลังคาเอียงที่ 30° น่าจะเหมาะสมที่สุด



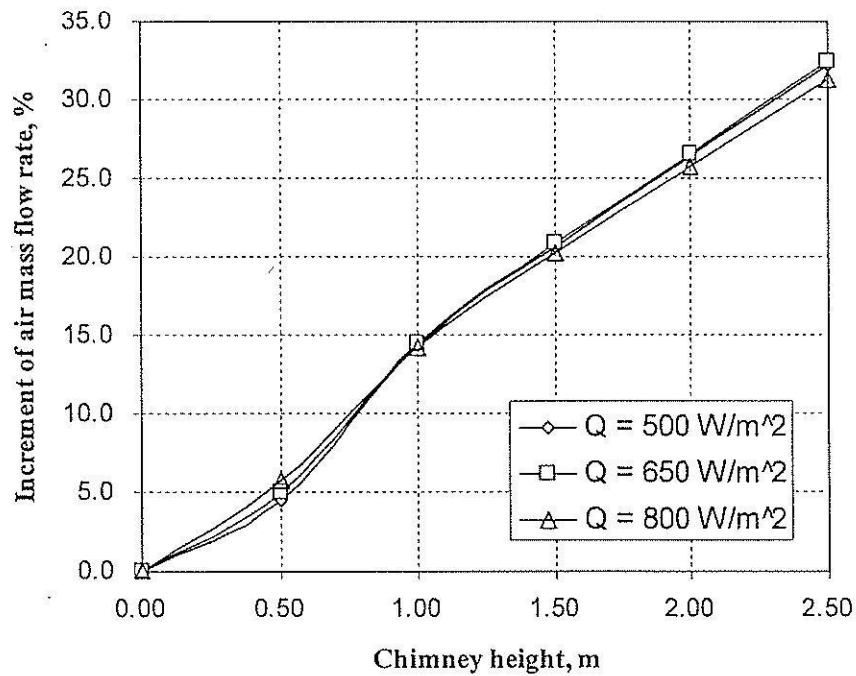
รูปที่ 7.3 เปรอ์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของอากาศเทียบกับกรณีหลังคาเอียง 15°

7.9.2 ผลกระทบจากความสูงปล่องต่ออัตราการระบายอากาศ

เพื่อศึกษาผลกระทบจากความสูงของปล่องต่ออัตราการระบายอากาศได้เปลี่ยนความสูงของปล่องของบ้านดินแบบ โดยกำหนดความสูงปล่องกรณีอ้างอิงเป็นศูนย์ (วัดจากยอดแหลมของหลังคาเอียง) จนถึง 2.5 m พบว่าการเพิ่มความสูงของปล่องสามารถเพิ่มอัตราการไหลของอากาศได้ดังแสดงในรูปที่ 7.4 โดยเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของอากาศเมื่อเทียบกับกรณีอ้างอิงพบว่าสามารถเพิ่มอัตราการไหลได้ถึงประมาณ 32% ที่ความสูงปล่อง 2.5 m ดังแสดงในรูปที่ 7.5 นอกจากนี้ยังพบความเหมือนของข้อมูลที่ความเข้มของแสงแดดต่าง ๆ ดังจะเห็นได้จากเส้นกราฟที่เกือบจะทับกันพอดี การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลเมื่อเพิ่มความสูงปล่องนี้เกือบจะเป็นเส้นตรง นั่นคือหากเพิ่มความสูงมากกว่า 2.5 m ก็คาดว่าอัตราการไหลของอากาศก็ยังคงเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามข้อจำกัดของการออกแบบก็คือ หากปล่องสูงเกินไปอาจดูไม่สวยงาม และสิ้นเปลืองมากขึ้นการนำไปใช้จริงจึงขึ้นอยู่กับปัจจัยเหล่านี้ด้วย



รูปที่ 7.4 อัตราการไหลของอากาศเทียบกับความสูงของปล่องที่ความเข้มของแสงแดดต่างๆ



รูปที่ 7.5 เปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลของอากาศเทียบกับกรณีปล่องสูงเป็นศูนย์

7.9.3 ผลกระทบจากตำแหน่งการติดตั้งปล่องบนหลังคาต่ออัตราการระบายอากาศ

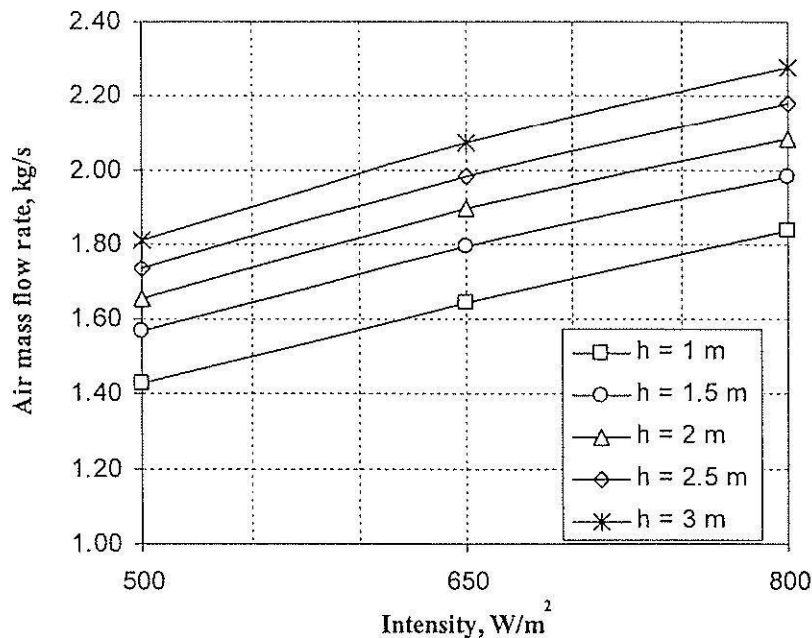
ตำแหน่งของปล่องของบ้านต้นแบบจะอยู่ด้านตรงข้ามกับช่องเปิดที่เพดานเพราะเป็นตำแหน่งที่ผู้วิจัยคาดว่าน่าจะก่อให้เกิดอัตราการไหลของอากาศได้มากที่สุด อย่างไรก็ตามเพื่อพิสูจน์แนวคิดนี้ผู้วิจัยลองเปลี่ยนตำแหน่งของปล่องสองแบบด้วยกัน หนึ่งให้ปล่องอยู่ตรงกลางของหลังคาพอดี และสองคือให้ปล่องอยู่ด้านเดียวกับช่องเปิดที่เพดาน โดยเลือกบ้านต้นแบบกรณีมีมุมเอียงของหลังคาเท่ากับ 45 องศา ความสูงของปล่อง 3 m จากนั้นเปรียบเทียบอัตราการไหลที่ได้แต่ละกรณีพบว่าตำแหน่งของปล่องที่ดีที่สุดคือให้อยู่ด้านตรงข้ามกับช่องเปิดที่เพดาน ดังข้อมูลที่แสดงไว้ในตารางที่ 7.1 อย่างไรก็ตามตำแหน่งของปล่องไม่ได้ส่งผลกระทบต่อค่าอัตราการไหลของอากาศอย่างมีนัย เพราะค่าตัวเลขไม่ต่างกันมาก เมื่อคำนวณเปอร์เซ็นต์การเพิ่มขึ้นของอัตราการไหลในกรณีปล่องอยู่ด้านตรงข้ามกับช่องเปิดที่เพดานเปรียบเทียบกับกรณีปล่องอยู่ด้านเดียวกับช่องเปิดที่เพดาน พบว่ามีค่าเพียงประมาณ 0.4% เท่านั้น ซึ่งถือว่าเป็นค่าที่น้อยมาก

ตารางที่ 7.1 อัตราการไหลของอากาศที่ตำแหน่งของปล่องต่างๆ

ตำแหน่งของปล่องบนหลังคา	ค่าอัตราการไหลของอากาศ (kg/s)
อยู่ด้านตรงข้ามกับช่องเปิดที่เพดาน	2.2786
อยู่ตรงกลาง	2.2757
อยู่ด้านเดียวกับช่องเปิดที่เพดาน	2.2703

7.9.5 ผลกระทบจากความเข้มของแสงแดดต่ออัตราการระบายอากาศ

ผลลัพธ์ในสามมิติของการศึกษาผลกระทบของค่าความเข้มของแสงแดดต่ออัตราการไหลของอากาศที่เข้าสู่อาคารให้ผลเช่นเดียวกับผลลัพธ์จากการจำลองในสองมิติ นั่นคือ เมื่อความเข้มของแสงแดดเพิ่มขึ้น อัตราการไหลของอากาศผ่านอาคารยิ่งมาก ดังแสดงในรูปที่ 7.6 ซึ่งหมายถึงอัตราการระบายอากาศที่มากขึ้นด้วย นับเป็นผลลัพธ์เชิงบวกที่ดีมากต่อประเทศไทย เพราะมีแสงแดดที่มากเกือบตลอดทั้งปี และความเข้มของแสงแดดค่อนข้างสูง นั้นหมายความว่าระบบห้องหลังคาและปล่องแดดนี้เหมาะสมเป็นอย่างยิ่งต่อการระบายอากาศอาคารที่อยู่ในประเทศไทยหรือประเทศในเขตร้อนทั้งหลาย



รูปที่ 7.6 อัตราการไหลของอากาศเทียบกับความเข้มของแสงแดด

7.9.5 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการจำลองการไหลผ่านบ้านต้นแบบใน 2 มิติ และ 3 มิติ

เพื่อศึกษาผลกระทบของ 3 มิติ ได้จำลองการไหลผ่านบ้านต้นแบบใน 3 มิติ และใน 2 มิติ เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าอัตราการไหล ผลลัพธ์จากการจำลองการไหลใน 2 มิติ พบว่าอัตราการไหลมีค่าประมาณ 0.08584 kg/s ผ่านพื้นที่ขนาด 0.125 m² และเท่ากับ 1.6955 kg/s ใน 3 มิติ ผ่านพื้นที่ขนาด 2.5 m² ซึ่งมากกว่าพื้นที่ใน 2 มิติ 20 เท่า ดังนั้นอัตราการไหลผ่านพื้นที่ขนาด 2.5 m² ควรจะมีค่าเท่ากับ 0.08584 kg/s × 20 = 1.72 kg/s นั้นแสดงว่าค่าความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองใน 3 มิติ เทียบกับจาก 2 มิติ คือ $(1.72 - 1.69) \times 100 / 1.72 = 1.74\%$ ซึ่งถือว่าเป็นค่าน้อยมาก

บทที่ 8

สรุปและข้อเสนอแนะ

ผลลัพธ์ที่ได้ทั้งหมดจากการจำลองปัญหาการไหลแบบการพาอิสระ โดยใช้ระบบห้องหลังคาและปล่องแดดด้วยโปรแกรม ANSYS CFX สามารถสรุปผลและประมวลข้อเสนอแนะในการทำงานวิจัยเพื่อขยายผลต่อไป ดังนี้

8.1 สรุปผล

จากผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองทั้งการไหลในสองมิติและสามมิติ สามารถสรุปได้ว่า

1. รูปแบบของหลังคาที่เหมาะสม คือ หลังคาสองชั้น เพราะให้ค่าอัตราการไหลของอากาศสูงกว่าหลังคาแบบทั่วไป
2. อัตราการไหลของอากาศเป็นฟังก์ชันของความเข้มของแสงแดด และปัจจัยโครงสร้างของระบบห้องหลังคาและปล่องแดด ได้แก่ มุมเอียงของหลังคา (ซึ่งหมายถึงความถึงความยาวของหลังคาด้วย) ความกว้างของช่องอากาศ ความสูงของปล่อง ตำแหน่งของปล่องบนหลังคา
3. การทำให้ช่องทางไหลของอากาศได้หลังคาบานตัวออกเพียงเล็กน้อย สามารถเพิ่มอัตราการไหลได้ค่อนข้างมาก นับเป็นทางเลือกที่น่าสนใจเพราะไม่ได้เป็นการเพิ่มต้นทุนแต่อย่างใด และสามารถทำได้โดยง่าย และจากการศึกษางานวิจัยในอดีตยังไม่พบว่ามีนักวิจัยท่านใดเคยศึกษาหรือค้นพบมาก่อน
4. จากการศึกษาพบว่าตำแหน่งของปล่องไม่มีผลต่อค่าอัตราการไหลของอากาศอย่างมีนัย ดังนั้นสามารถให้ปล่องอยู่ตรงไหนก็ได้บนหลังคา ซึ่งนับเป็นข้อดีเพราะเป็นการลดข้อจำกัดในการนำไปใช้งานจริง
5. มุมเอียงของหลังคาที่เหมาะสมที่สุดคือ 30° เมื่อพิจารณาทั้งในแง่ของการระบายอากาศที่ได้และทางเศรษฐศาสตร์
6. อัตราการระบายอากาศสูงขึ้นเมื่อเพิ่มความสูงของปล่องและความกว้างของช่องอากาศ โดยอัตราการเพิ่มขึ้นเมื่อเปลี่ยนค่าตัวแปรทั้งสองค่อนข้างเป็นเชิงเส้น นั่นคือปล่องยิ่งสูง ความกว้างของช่องอากาศยิ่งมากยิ่งระบายอากาศได้มาก พิจารณาตัวแปรความสูงของปล่อง หากปล่องสูงขึ้นย่อมหมายถึงการลงทุนด้านวัสดุที่มากตามไปด้วย อีกทั้งอาจมองว่าไม่สวยงาม ดังนั้นในการตัดสินใจว่าจะใช้ปล่องสูงเท่าไรขึ้นอยู่กับ การตัดสินใจของผู้นำไปใช้ เป็นสำคัญ

8.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการศึกษาเชิงทฤษฎี และหรือควรมีการสร้างอาคารและทำการทดลองวัดค่าตัวแปรต่าง ๆ เพื่อยืนยันผลลัพธ์ที่ได้อีกครั้ง

2. ควรทำการจำลองการไหลในสามมิติโดยใช้หลังคาแบบสองชั้น เพื่อศึกษาผลกระทบจากสามมิติต่อการไหลที่เกิดขึ้น

3. ออกแบบบ้านต้นแบบให้สมจริงมากขึ้น เช่น มีห้องนอน ห้องน้ำ ห้องครัว และจำลองการไหลเพื่อศึกษาการระบายอากาศที่เกิดขึ้นพร้อมทั้งพยายามออกแบบเพื่อให้ได้แนวกระแสอากาศที่เหมาะสมที่สุด

ปัจจุบันคณะผู้วิจัยกำลังดำเนินการทั้งสามข้อเสนอแนะ แต่ยังไม่แล้วเสร็จโดยสมบูรณ์

บรรณานุกรม

- 1) เกชา ชีระ โภเมน. (2000). ความรู้เบื้องต้นวิศวกรรมปรับอากาศ [ออนไลน์]. ได้จาก: <http://www.thaihvac.com/knowledge/fundamental/fundamental.htm>
- 2) เจริญพร เลิศสถิตชนกร. (2540). การศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ผนัง Trombe Wall แบบดัดแปลงเพื่อการระบายอากาศตามธรรมชาติภายในบ้านพักอาศัย. ปรินิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมชนบุรี, 81 หน้า.
- 3) พรสวรรค์ ทองใบ และ ทวีช จิตรสมบุญ. (2004a). การระบายอากาศในอาคารด้วยวิธีธรรมชาติแบบใหม่. การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 14 (2547)มหาวิทยาลัยเชียงใหม่หน้า 158.
- 4) พรสวรรค์ ทองใบ และ ทวีช จิตรสมบุญ. (2004b). การใช้ห้องหลังคาและปล่องช่วยในการถ่ายเทอากาศ : การวิเคราะห์เชิงตัวเลข. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 18. มหาวิทยาลัยขอนแก่น, หน้า 263-268.
- 5) Afonso, C., and Olivera, A. (2000). Solar Chimneys: simulation and experiment. *Energy and Buildings* 32(1): 71-79.
- 6) Awbi H.B. (1996). Air movement in naturally-ventilated buildings. *WREC*, pp. 241-247.
- 7) Bansal, N.K., Methur, J., Methur, S. and Jane M. (2005). Modeling of window-sized solar chimneys for ventilation. *Building and Environment*, Vol. 40, pp. 373-377.
- 8) Bender, R., and Stowell, R.R.. Chimneys: A natural ventilation alternative for two-story barns (On-line). : <http://ohioline.osu.edu/aex-fact/0115.html>
- 9) Bunnag, T. (1995). A Study of a Roof Solar Collector towards the Natural Ventilation of New habitations. Master of Engineering Thesis, Thermal Technology Program, King Mongkut's University of Technology Thonburi, 85 pages.
- 10) Chen Z.D., Li Y. and Mahoney (2000). Experimental modeling of buoyancy-driven flows in buildings using a fine-bubble technique. *Building and Environment*, Vol. 36, No. 4, pp. 447-455.
- 11) Chen Z.D. and Yuguo Li (2002). Buoyancy-driven displacement natural ventilation in a single-zone building with three-level openings. *Building and Environment*, Vol. 37, No. 3, pp. 295-303.

- 12) Chaima, S. (1997). Investigation of Performance of Roof Solar Collector. Master of Engineering Thesis, Thermal Technology Program, King Mongkut's University of Technology Thonburi, pp.48-51.
- 13) Chitsomboon, T. (2001). A Validated Analytical Model for Flow in Solar Chimney. International Journal of Renewable Energy Engineering, Vol. 3, No. 2, pp. 339-346.
- 14) Chitsomboon, T. and Tongbai P. (1998). A Mathematical Model of Solar Chimney for Electrical Energy Production. Proceedings of the 12th National Mechanical Engineering Conference, Chulalongkorn University, Nov. 11-13, pp. 14-20.
- 15) Chitsomboon, T. and Tongbai P. (1999). The Effect of Chimney-Top Convergence on Efficiency of a Solar Chimney. Proceedings of the 13th National Mechanical Engineering Conference, Pataya, Thailand, Dec. 2-3, 1999, pp. 263-268.
- 16) Chitsomboon, T. and Unthamesra, S. (1999). MOYA: A computer Program for Flow Analysis. Proceedings of the 13th National Mechanical Engineering Conference, Pataya, Thailand, Dec. 2-3, 1999, pp. 124-131.
- 17) Clito Afonso and Amando Olivera (2000). Solar Chimneys: simulation and experiment. Energy and Buildings, Vol. 32, No. 1, pp. 71-79.
- 18) Hirunlabh, J., Wachirapuwadon, S., Pratinthong, N. and Khedari, J. (1997). An Improved Design of Passive Roof Solar Collector. First Arab Mechanics Congress, Vol. 1, 1-3 June, Damascus, Syria, pp.469-474.
- 19) Hirunlabh, J., Wachirapuwadon, S., Pratinthong, N. and Khedari, J. (2000). New Configuration of a Roof Solar Collector Maximizing Natural Ventilation. Buildings and Environment, Vol. 4, pp. 1-9.
- 20) Jongjit Hirunlabh et al., (2001). New configurations of a roof solar collector maximizing natural ventilation. Building and Environment, Vol. 36, No. 3, pp. 383-391.
- 21) Kaewruang, S. (1997). Feasibility Study of Using Trombe Wall towards the Natural Ventilation of Houses under Hot and Humid Climate. Master of Engineering Thesis, Energy Technology Program, King Mongkut's Institute of Technology Thonburi, 77 pages.
- 22) Khedari, J., Hirunlabh, J. and Bunnag, T. (1996). Experimental Study of a Roof Solar Collector Toward the Natural Convection of New habitations. World Renewable Energy Congress-V, 15-21 June, Denver, USA, pp.469-474.

- 23) Khedary, J. Chaima, S. and Hirunlabh, J. (1997 a). Investigation of Performance of Roof Solar Collector. Second Asian Renewable Energy Conference, Phuket, pp.448-451.
- 24) Khedary, J. Hirunlabh, J. and Bunnag, T. (1997 b). Experimental study of a roof solar collector towards the natural ventilation of new houses. *Energy and Buildings*, Vol. 26, No. 2, pp. 159-164.
- 25) Khedari, J., Lertsatitthanakorn, C., Pratinthong, N. and Hirunlabh, J. (1998). The Modified Trombe Wall: A Simple Ventilation Means and an Efficient Insulating Materials. *The International Journal of Ambient Energy*, pp.104-110.
- 26) Khedari, J., Kaewruang, S., Pratinthong, N. and Hirunlabh, J. (1999). Natural Ventilation of Houses by a Trombe Wall under the Climatic Conditions in Thailand.
- 27) Khedari, J., Boonsri, B. and Hirunlabh, J. (2000 a). Ventilation Impact of a Solar Chimney on indoor Temperature Fluctuation and Air Change in a School Building. *Energy and Buildings*, Vol. 32, pp.89-83.
- 28) Khedari, J., Mansirisub, W., Chaima, S., Pratinthong, N. and Hirunlabh, J. (2000 b). Field Measurements of Performance of Roof Solar Collector. *Energy and Building*, Vol. 31, pp.171-178.
- 29) Hirunlabh, J., Kongduang, W., Namprakai, P. and Khedary, J. (1999). Study of Natural Ventilation of Houses by a Metallic Solar Wall under Tropical Climate. *Renewable Energy*, Vol. 18, No. 1, pp. 109-119.
- 30) Joseph Khedary et al., (2000). Field measurements of performance of roof solar collector. *Energy and Buildings*, Vol. 31, No. 3, pp. 171-178.
- 31) Joseph Khedary et al., (2001). New lightweight composite construction materials with low thermal conductivity. *Cement & Concrete Composites*, Vol. 23, No. 1, pp. 65-70.
- 32) Joseph Khedary et al., (2002). A PV system enhanced the performance of roof solar collector. *Building and Environment*, Vol. 37, No. 12, pp. 1317-1320.
- 33) Joseph Khedary et al., (2002). Experimental investigation of free convection in roof solar collector. *Building and Environment*, Vol. 37, No. 5, pp. 455-459.
- 34) Joseph Khedary et al., (2002). Feasibility study of using agriculture waste as desiccant for air conditioning system. *Renewable Energy*, Vol. 28, No. 10, pp. 1617-1628.
- 35) Kays, W.M. and Crawford M.E. (1993). *Convective Heat and Mass Transfer*. 3rd edition. McGraw-Hill Inc., Singapore.

- 36) Kevin A. Janni and Larry D. Jacobson (1995). Natural ventilation for poultry [online]. Available: <http://www.bae.umn.edu/extens/arc/natvent.pdf>.
- 37) Khalifa A.J.N. and Sahib W.K. (2002). Turbulent buoyancy driven convection on partially divided enclosures. *Energy Conversion and Management*, Vol. 43, No. 16, pp. 2115-2121.
- 38) Ong, K.S., (2003). A mathematical model of a solar chimney. *Renewable Energy*, Vol. 28, pp. 1047-1060.
- 39) Lomas K.J. et al., Ventilation and thermal performance of design options for stadium Australia [online]. Available: <http://www.ibpsa.org/proceedings/bs97/papers/P160.PDF>.
- 40) Mavriplis, D.J. (1994). A Three Dimensional Multigrid Reynolds-Averaged Navier-Stokes Solver for Unstructured Meshes. AIAA Paper 94-1878.
- 41) Philip Haves. Preliminary assessment of natural ventilation design options [online]. Available: <http://www.caed.asu.edu/msenergy/Neeraj/Haves.pdf>.
- 42) Pongsatitrat, C. (2000). Experimental Performance of a Partially-Glazed Solar Chimney Wall. Master of Engineering Thesis, Thermal Technology Program, King Mongkut's University of Technology Thonburi, 89 pages.
- 43) Roger Bender and Richard R. Stowell. Chimneys: A natural ventilation alternative for two-story barns (online): <http://ohioline.osu.edu/aex-fact/0115.html>.
- 44) Tongbai, P. and Chitsomboon, T. (2004). The Use of Attic and Chimney to Enhance Air Ventilation : A Numerical Analysis, Proceedings of the 18th National Mechanical Engineering Conference, Khonkaen, Thailand, pp. 263-268.
- 45) Wachirapuwadon, S. (1996). An Adapted Model of Passive Roof Solar Collector for New Houses with respect to Traditional Thai Style. Master of Science Thesis, Energy Technology Program, King Mongkut's Institute of Technology Thonburi, 53 pages.
- 46) Wachirapuwadon, S., Hirunlabh, J., Pratinthong, N. and Khedari, J. (1997). A New Design of Roof Solar Collector. International Thermal Energy and Environment Congress, 9-12 June, Marrakech, Morocco, pp.861-866.
- 47) Waewsak, J., Hirunlabh, J. and Khedari, J. (2000). Designing of a Thai Bio-Climatic Roof. World Renewable Energy Congress-VI, pp.1830-1833.
- 48) Yuguo Li (2000). Buoyancy-driven natural ventilation in a thermally stratified one-zone building. *Building and Environment*, Vol. 35, No. 3, pp. 207-214.

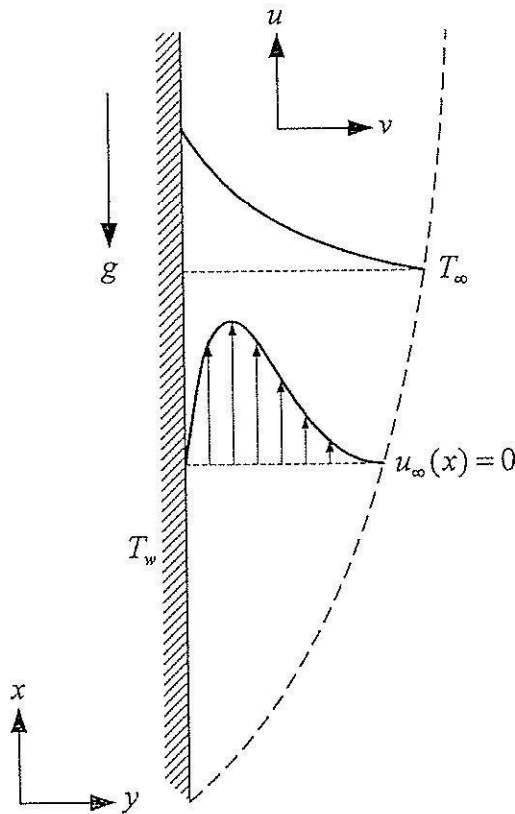
- 249) Yuguo Li and Angelo Delsante (2001). Natural ventilation induced by combined wind and thermal forces. *Building and Environment*, Vol. 36, No. 1, pp. 59-71.
- 50) Venkatakrisnan (1993). Implicit Solvers for Unstructured Meshes. *Journal of Computational*, Vol. 105, pp. 83-91.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ผลเฉลยแม่นยำของปัญหาการไหลโดยการพาอิมersionผ่านแผ่นร้อนในแนวตั้ง

แผ่นร้อนวางตัวในแนวตั้งมีอุณหภูมิคงที่ตลอดกันทั้งแผ่นเท่ากับ 500 K ความยาวของแผ่นร้อนเท่ากับ 10 cm ไม่พิจารณาความหนาทางแกน z เนื่องจากเป็นการวิเคราะห์ปัญหาใน 2 มิติ แผ่นร้อนถูกแวดล้อมด้วยอากาศที่มีอุณหภูมิ 300 K ความดัน 1 บรรยากาศ (1 atm = 101,325 Pa) วิเคราะห์ปัญหาเพื่อสังเกตรูปด้านข้างของความเร็วและอุณหภูมิ (velocity and temperature profiles) ในบริเวณชั้นซิดผิว (boundary layer) และการเปลี่ยนแปลงของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนตลอดความยาวของแผ่นร้อน เมื่อพิจารณาให้เป็นการไหลแบบราบเรียบ (laminar flow)



รูปที่ ก.1 ลักษณะทางกายภาพของปัญหาการไหลโดยการพาอิมersionผ่านแผ่นร้อนในแนวตั้ง

โดยปกติการแบ่งช่วงการไหลของปัญหาการไหลโดยการพาอิมersionจะพิจารณาจากค่าเลขราเลย์ (Rayleigh number) หากการไหลอยู่ในช่วงของการไหลแบบราบเรียบแล้วค่าเลขราเลย์จะมีค่า

ไม่เกิน 1×10^9 หากค่าเลขราเลย์มีค่าเกินกว่าค่านี้ถือว่าการไหลแบบปั่นป่วน ซึ่งค่าเลขราเลย์นี้เป็นฟังก์ชันของค่าเลขกราชอฟและค่าเลขพรันเทิล ดังความสัมพันธ์ต่อไปนี้

$$Ra = Gr \times Pr \quad (\text{ก. 1})$$

$$\text{เมื่อ } Gr = \frac{g\beta(T_w - T_\infty)x^3}{\nu^2} \quad (\text{ก. 2})$$

$$\text{และ } Pr = \frac{\rho c}{\mu} \quad (\text{ก. 3})$$

จะเห็นว่าค่าเลขพรันเทิลเป็นฟังก์ชันของคุณสมบัติของของไหล ซึ่งเป็นค่าคงที่ ณ อุณหภูมิหนึ่ง ๆ ดังนั้น จึงสามารถหาค่าเลขพรันเทิลนี้ได้จากการเปิดตารางคุณสมบัติได้โดยตรง

จากตารางคุณสมบัติสามารถหาค่าคุณสมบัติของอากาศที่อุณหภูมิ 300 K ได้ดังต่อไปนี้

$$\rho = 1.1766 \text{ kg/m}^3$$

$$c_p = 1.005 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$$

$$\mu = 1.853 \times 10^{-5} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$$

$$\nu = 1.575 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$k = 0.02614 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

$$Pr = 0.711$$

$$g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\beta = \frac{1}{T_\infty} = \frac{1}{300 \text{ K}} = 0.003333 \text{ 1/K}$$

คำนวณหาค่าเลขกราชอฟจากสมการ (ก. 2) เมื่อความยาวแผ่นร้อนเท่ากับ 10 cm หรือ เท่ากับ 0.1 m ($x = 0.1 \text{ m}$) โดยใช้ค่าคุณสมบัติที่ได้จากตาราง จะได้ค่า $Gr = 2.6364 \times 10^7$ ดังนั้น จากสมการ (ก. 1) สามารถคำนวณหาค่าเลขราเลย์ได้เท่ากับ $Ra = 1.8745 \times 10^7$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า 1×10^9 จึงสามารถสรุปได้ว่าการไหลผ่านแผ่นร้อนในครั้งนี้เป็นกรไหลที่อยู่ในช่วงของการไหลแบบราบเรียบ

กระบวนการการหาผลเฉลยจะใช้กรรมวิธีความเสมือน (Similarity Method) ซึ่งคำตอบที่ได้จะอยู่ในรูปของตัวแปรไร้มิติ (Similarity solution) ดังนี้

$$F'(\eta) = \frac{u}{\sqrt{\beta g(T_w - T_\infty)x}} \quad (\text{ก. 4})$$

และ

$$G(\eta) = \frac{T - T_\infty}{T_w - T_\infty} \quad (\text{ก. 5})$$

เมื่อ $\eta = \frac{y}{x} Gr_x^{0.25}$ (ก. 6)

สมการที่ถูกลำมาวิเคราะห์หาคำตอบเป็นสมการที่ทำการแปลงให้เป็นสมการเชิงอนุพันธ์ (simultaneous ordinary differential equations) ในรูปของตัวแปรไร้มิติ ดังนี้

$$F''' + \frac{3FF''}{4} - \frac{F'^2}{2} + G = 0 \quad (\text{ก. 7})$$

$$G'' + \frac{3}{4} Pr FG' = 0 \quad (\text{ก. 8})$$

เงื่อนไขขอบเขตถูกแปลงให้เป็นเงื่อนไขขอบเขตที่อยู่ในรูปไร้มิติ ดังนี้

$$\text{ที่ } \eta = 0: \quad F' = 0$$

$$\text{ที่ } \eta = 0: \quad F = 0$$

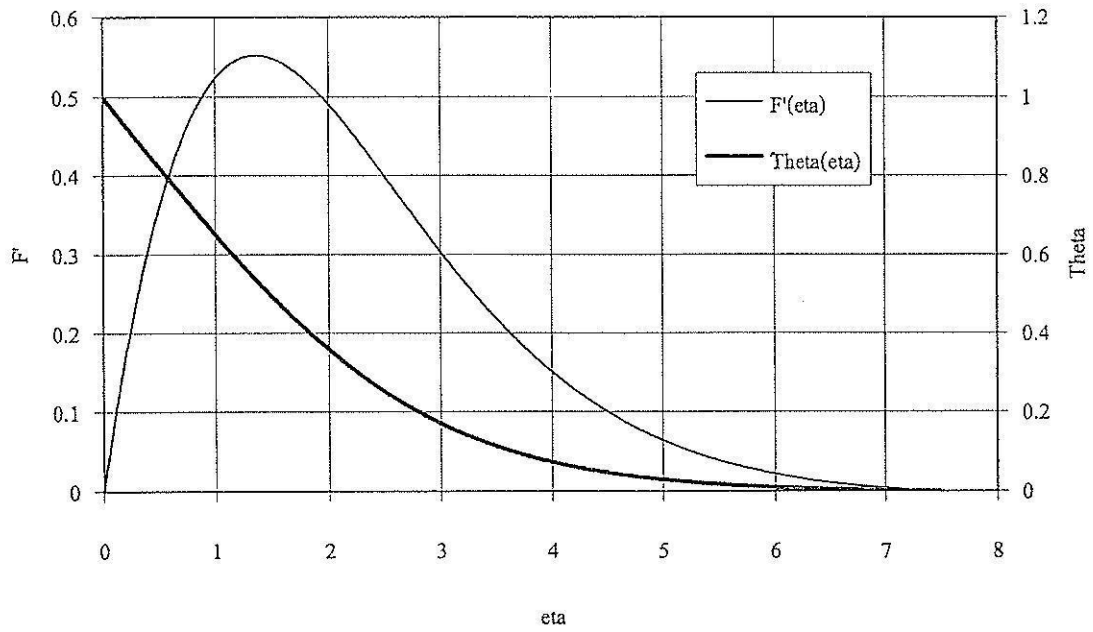
$$\text{ที่ } \eta = 0: \quad G = 1$$

$$\text{หาก } \eta \text{ มีขนาดใหญ่แล้ว} \quad F' \rightarrow 0$$

$$\text{หาก } \eta \text{ มีขนาดใหญ่แล้ว} \quad G \rightarrow 0$$

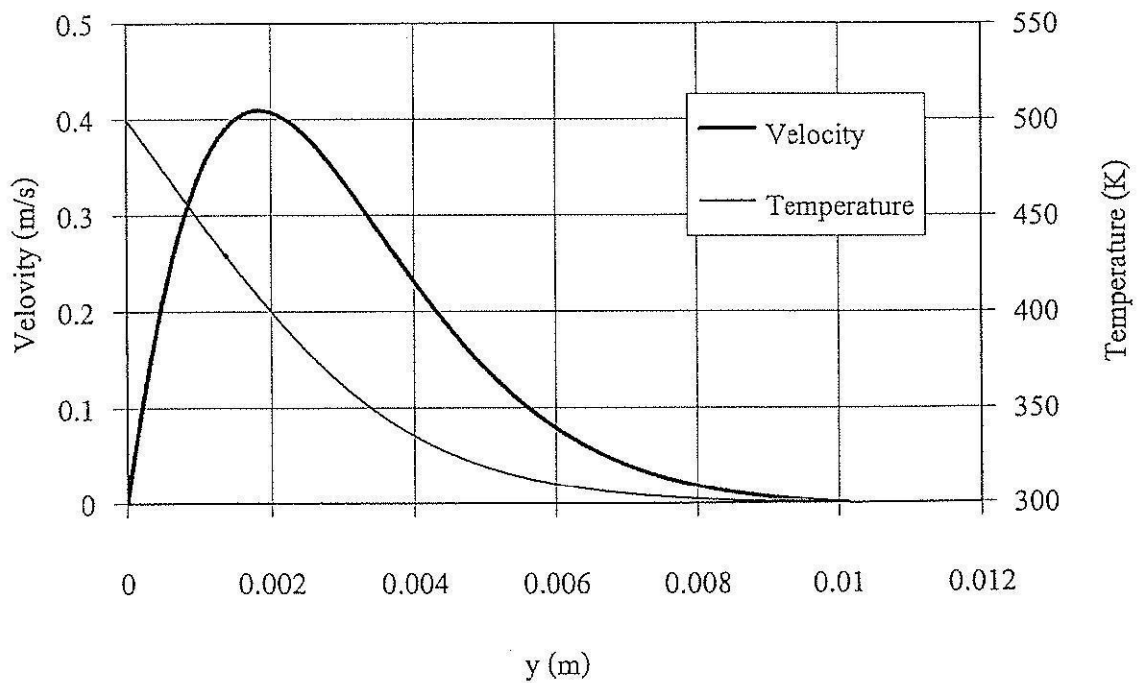
จากหาคำตอบให้กับสมการ (ก. 7) และ (ก. 8) ได้โดยง่าย ในที่นี้ผู้วิจัยใช้โปรแกรม MATLAB ในการหาคำตอบให้กับสมการ คำตอบที่ต้องการจะอยู่ในรูปของตัวแปรไร้มิติ คือ $F'(\eta)$ และ $G(\eta)$ ซึ่งหากต้องการทราบค่าที่มีมิติ ก็สามารถหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการ (ก. 4) และ (ก. 5) ก็จะได้ค่าความเร็วและอุณหภูมิตามลำดับ

Dimensionless velocity and temperature profiles in natural convective boundary layer on a vertical plate for $Pr = 0.711$



รูปที่ ก. 2 รูปด้านข้างของความเร็วไร้มิติ/ อุณหภูมิไร้มิติของผลเฉลยแม่นยำ

The variations of u and T for $Pr = 0.711$



รูปที่ ก.3 รูปด้านข้างของความเร็ว / อุณหภูมิของผลเฉลยแม่นยำ

ตัวแปรที่สำคัญอย่างยิ่งสำหรับปัญหาการไหลแบบการพาอิสระผ่านแผ่นร้อนในแนวตั้ง หรือการไหลแบบการพาโดยทั่วไปคือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (heat transfer coefficient, h) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\frac{Nu_x}{Gr_x^{0.25}} = -G'(0) \quad (\text{ก. 9})$$

ค่า G' ที่ $\eta = 0$ เป็นค่าที่ได้จากการคำนวณ ส่วนค่า Nu_x นั้นสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนได้ดังนี้

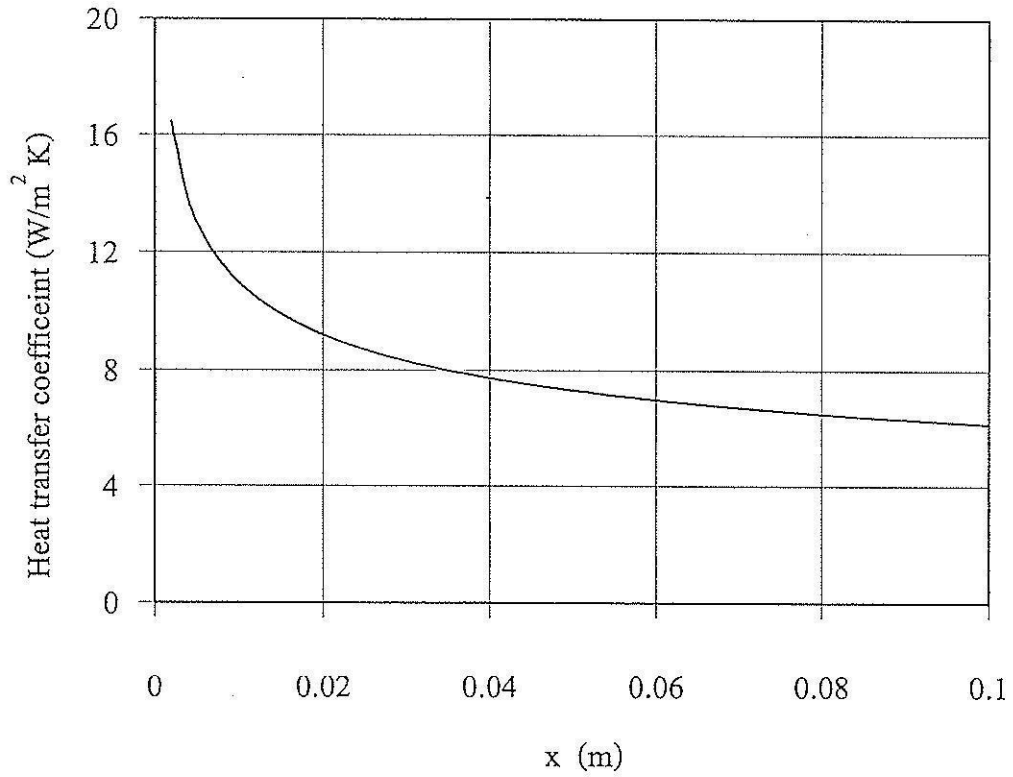
$$Nu_x = \frac{xh_x}{k} \quad (\text{ก. 10})$$

ดังนั้นจะได้ว่า

$$Nu_x = \frac{xh_x}{k} = -G'(0) \left[\frac{\beta g (T_w - T_\infty) x^3}{\nu^2} \right]^{0.25} \quad (\text{ก. 11})$$

โดยค่าที่อยู่ในวงเล็บสี่เหลี่ยมก็คือค่าของ Gr ดังแสดงไว้ในสมการ (ก. 2) จะเห็นได้จากสมการว่าค่า h_x เป็นฟังก์ชันของ x ซึ่งคือความยาวของแผ่นร้อนกับค่าคุณสมบัติของของไหล หากแทนค่าคุณสมบัติของของไหล ซึ่งในที่นี้คืออากาศที่อุณหภูมิ 300 K และแทนค่า x ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ก็จะได้หาค่า h_x ได้ รูปที่ ก.4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่คำนวณได้จากสมการ (ก. 11)

The variable of heat transfer coefficient with x



รูปที่ ก. 4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเทียบกับ x ของผลเฉลยแม่นยำ

ภาคผนวก ข

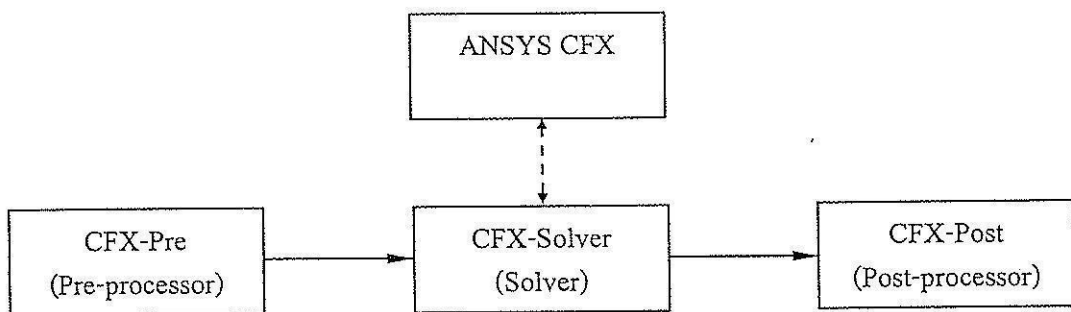
โปรแกรมช่วยวิเคราะห์การไหล ANSYS CFX

ข. 1 กล่าวนำ

โปรแกรมวิเคราะห์การไหลโดยส่วนใหญ่จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ส่วนที่หนึ่งคือเรียกว่ากระบวนการขั้นต้น ส่วนที่สองเป็นขั้นตอนการวิเคราะห์ ส่วนสุดท้ายเรียกว่ากระบวนการขั้นท้าย แต่ละส่วนมีหน้าที่แตกต่างกัน สำหรับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมช่วยวิเคราะห์การไหล ANSYS CFX สามารถแบ่งเป็น 3 ส่วนหลักเช่นเดียวกับโปรแกรมวิเคราะห์การไหลทั่วไป ซึ่งมีชื่อเรียกเฉพาะ ได้แก่ กระบวนการขั้นต้น (CFX-Pre) ขั้นตอนการวิเคราะห์ (CFX-Solver) และ กระบวนการขั้นท้าย (CFX-Post) ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อต่อไป

ข. 2 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมวิเคราะห์การไหลสำเร็จรูป ANSYS CFX

ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม ANSYS CFX แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังได้กล่าวไปแล้ว นั่นคือ กระบวนการขั้นต้น ขั้นตอนการวิเคราะห์ และกระบวนการขั้นท้าย โดยจะทำการแก้สมการของปัญหาการไหลด้วยกรรมวิธีปริมาตรสี่เหลี่ยม (finite volume method) สามารถแสดงลำดับการทำงานของโปรแกรมฯ ด้วย flow chart ดังแสดงในรูปที่ ข.1



รูปที่ ข.1 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมวิเคราะห์การไหลสำเร็จรูป ANSYS CFX

ซึ่งแต่ละซอฟต์แวร์จะมีหน้าที่คล้ายคลึงกับกระบวนการทำงานของโปรแกรมสำเร็จรูปทั่วไป โดยมีรายละเอียด ดังนี้

CFX-Pre	มีหน้าที่เช่นเดียวกับกระบวนการเริ่มต้นของ โปรแกรมสำเร็จรูปทั่วไป
CFX-Solver	มีหน้าที่ติดต่อกับผู้ใช้โดยการแสดงค่าที่ได้จาก CFX-Solver บนหน้าจอใน ขณะที่ CFX-Solver กำลังอยู่ในขั้นตอนของการคำนวณ
CFX-Post	มีหน้าที่เช่นเดียวกับกระบวนการขั้นท้ายของ โปรแกรมสำเร็จรูปทั่วไป

ความสามารถในการจำลองการไหลของ โปรแกรมฯ มีหลายรูปแบบ ดังนี้

- steady-state และ transient flows
- laminar และ turbulent flows
- subsonic, transonic และ supersonic flows
- heat transfer
- buoyancy
- non-Newtonian flows
- transport of non-reacting scalar components

ข.2. 1 CFX-Pre

เป็นขั้นตอนการกำหนดเงื่อนไขการจำลองการไหลเบื้องต้นให้กับโปรแกรมฯ ก่อนทำการคำนวณ ได้แก่ โดเมนของการไหล ของไหลทำงานและคุณสมบัติของของไหลทำงาน ประเภทของการไหล (เช่น เป็นการไหลแบบราบเรียบหรือการไหลแบบปั่นป่วน เป็นต้น) เงื่อนไขขอบเขต เงื่อนไขเริ่มต้น ตลอดจนรูปแบบการคำนวณ (scheme) ข้อมูลเหล่านี้โปรแกรมจะเก็บเป็น definition file ที่สามารถเปิดมาดูและแก้ไขได้

ข.2. 2 CFX-Solver

เป็นหน้าต่างการคำนวณของโปรแกรมฯ โดยโปรแกรมจะอ่านค่าข้อมูลจาก definition file แล้วนำมาประมวลผลเพื่อคำนวณค่าตัวแปรการไหล ผลลัพธ์ที่ได้จะถูกเก็บไว้ใน output file ซึ่งสามารถส่งไปจัดการต่อได้ด้วยโปรแกรมการพล็อตอื่นๆ (เช่น โปรแกรม Excel เป็นต้น) หรือพล็อตจากโปรแกรม ANSYS CFX ในส่วนของกระบวนการขั้นท้ายก็ได้ โดยปกติหน้าต่างการคำนวณ

LIBRARY :

MATERIAL : Air at 308K

Option = Pure Substance

PROPERTIES :

Option = General Fluid

Density = 1.1464 [kg m⁻³]Dynamic Viscosity = 1.8875E-5 [kg m⁻¹ s⁻¹]Specific Heat Capacity = 1.005E3 [J kg⁻¹ K⁻¹]Thermal Conductivity = 2.673E-2 [W m⁻¹ K⁻¹]Thermal Expansivity = 3.247E-3 [K⁻¹]

END

END

END

EXECUTION CONTROL :

PARTITIONER STEP CONTROL :

Runtime Priority = Standard

PARTITIONING TYPE :

MeTiS Type = k-way

Option = MeTiS

END

END

RUN DEFINITION :

Definition File = straightchim7m45deg_2.def

Run Mode = Full

END

SOLVER STEP CONTROL :

Runtime Priority = Standard

EXECUTABLE SELECTION :

Double Precision = Off

Use 64 Bit = Off

END

PARALLEL ENVIRONMENT :

Option = Serial

Parallel Mode = PVM

END

END

END

FLOW :

SOLUTION UNITS :

Mass Units = [kg]

Length Units = [m]

```
Time Units = [s]
Temperature Units = [K]
Angle Units = [rad]
Solid Angle Units = [sr]
END
SIMULATION TYPE :
  Option = Steady State
END
DOMAIN : straightchim7m45deg2
  Location = straightchim7m45deg2
  Coord Frame = Coord 0
  Fluids List = Air at 308K
DOMAIN MODELS :
  DOMAIN MOTION :
    Option = Stationary
  END
  BUOYANCY MODEL :
    Option = Buoyant
    Gravity X Component = 0.00 [m s^-2]
    Gravity Y Component = -9.81 [m s^-2]
    Gravity Z Component = 0.00 [m s^-2]
    Buoyancy Reference Temperature = 3.08E2 [K]
  END
  REFERENCE PRESSURE :
    Reference Pressure = 1.0133E5 [Pa]
  END
  END
  FLUID MODELS :
    TURBULENCE MODEL :
      Option = Laminar
    END
    HEAT TRANSFER MODEL :
      Option = Thermal Energy
    END
    THERMAL RADIATION MODEL :
      Option = None
    END
  END
  SUBDOMAIN : Attic
    Location = Attic
    Coord Frame = Coord 0
```

```
EQUATION SOURCE : energy
  Option = Source
  Source = 3.2323E2 [W m^-3]
END
END
END
SUBDOMAIN : Ceiling
  Location = Ceiling
  Coord Frame = Coord 0
END
SUBDOMAIN : Floor
  Location = Floor
  Coord Frame = Coord 0
END
BOUNDARY : Inlet
  Boundary Type = INLET
  Location = Inlet
  Coord Frame = Coord 0
BOUNDARY CONDITIONS :
  FLOW REGIME :
    Option = Subsonic
  END
  MASS AND MOMENTUM :
    Option = Total Pressure
    Relative Pressure = 0.00 [Pa]
  END
  FLOW DIRECTION :
    Option = Normal to Boundary Condition
  END
  HEAT TRANSFER :
    Option = Static Temperature
    Static Temperature = 3.08E2 [K]
  END
END
END
BOUNDARY : Outlet
  Boundary Type = OUTLET
  Location = Outlet
  Coord Frame = Coord 0
BOUNDARY CONDITIONS :
  FLOW REGIME :
    Option = Subsonic
```

```
END
MASS AND MOMENTUM :
  Option = Static Pressure
  Relative Pressure = 0.00 [Pa]
END
END
END
BOUNDARY : Ceiling1
  Boundary Type = WALL
  Location = Ceiling1
  Coord Frame = Coord 0
BOUNDARY CONDITIONS :
  WALL INFLUENCE ON FLOW :
    Option = No Slip
  END
  HEAT TRANSFER :
    Option = Adiabatic
  END
END
END
BOUNDARY : Ceiling2
  Boundary Type = WALL
  Location = Ceiling2
  Coord Frame = Coord 0
BOUNDARY CONDITIONS :
  WALL INFLUENCE ON FLOW :
    Option = No Slip
  END
  HEAT TRANSFER :
    Option = Adiabatic
  END
END
END
BOUNDARY : Floor1
  Boundary Type = WALL
  Location = Floor1
  Coord Frame = Coord 0
BOUNDARY CONDITIONS :
  WALL INFLUENCE ON FLOW :
    Option = No Slip
  END
  HEAT TRANSFER :
```

```
    Option = Adiabatic
END
END
END
BOUNDARY : Floor2
    Boundary Type = WALL
    Location = Floor2
    Coord Frame = Coord 0
    BOUNDARY CONDITIONS :
        WALL INFLUENCE ON FLOW :
            Option = No Slip
        END
        HEAT TRANSFER :
            Option = Adiabatic
        END
    END
END
BOUNDARY : Sym1
    Boundary Type = SYMMETRY
    Location = Sym1
    Coord Frame = Coord 0
END
BOUNDARY : Sym2
    Boundary Type = SYMMETRY
    Location = Sym2
    Coord Frame = Coord 0
END
BOUNDARY : Sym3
    Boundary Type = SYMMETRY
    Location = Sym3
    Coord Frame = Coord 0
END
BOUNDARY : Default
    Boundary Type = WALL
    Location = Default
    Coord Frame = Coord 0
    BOUNDARY CONDITIONS :
        WALL INFLUENCE ON FLOW :
            Option = No Slip
        END
        HEAT TRANSFER :
            Option = Adiabatic
```

```
END
END
END
INITIALISATION :
Option = Automatic
Coord Frame = Coord 0
INITIAL CONDITIONS :
STATIC PRESSURE :
Option = Automatic with Value
Relative Pressure = 0.00 [Pa]
END
TEMPERATURE :
Option = Automatic with Value
Temperature = 3.08E2 [K]
END
CARTESIAN VELOCITY COMPONENTS :
Option = Automatic with Value
U = 0.00 [m s^-1]
V = 0.00 [m s^-1]
W = 0.00 [m s^-1]
END
END
END
END
SOLVER CONTROL :
CONVERGENCE CONTROL :
Maximum Number of Iterations = 500
Timescale Control = Auto Timescale
END
CONVERGENCE CRITERIA :
Residual Type = RMS
Residual Target = 1.E-10
END
ADVECTION SCHEME :
Option = Upwind
END
DYNAMIC MODEL CONTROL :
Global Dynamic Model Control = Yes
END
END
OUTPUT CONTROL :
END
```

END

COMMAND FILE :

Version = 5.5.1

END

```

+-----+
|                                             |
|               Solver                       |
|                                             |
+-----+
+-----+
|                                             |
|               CFX-5 Solver 5.5.1         |
|                                             |
| Version 2002.05.29-23.00      Wed May 29 23:00:33 2002 |
|                                             |
|                                             |
| Copyright 1996-2002 AEA Technology plc.  |
+-----+
+-----+
|               Job Information             |
+-----+
Run mode:   serial run
Host computer: POLLY
Job started: Sat Dec 27 15:39:54 2003
+-----+
|               Memory Usage Information   |
+-----+
Data Type      Kwords  Words/Node  Kbytes  Bytes/Node
-----
Real           2822.8   611.65     11026.4  2446.59
Integer        827.2     179.24     3231.1   716.94
Character      872.1     188.96     851.6    188.96
Logical        10.0       2.17       39.1     8.67
Double         16.0       3.47       125.0    27.74
+-----+
|               Total Number of Nodes, Elements, and Faces |
+-----+
Domain Name : straightchim7m45deg2

Total Number of Nodes      = 4615
Total Number of Elements   = 17677
Total Number of Tetrahedrons = 17677

```



```

Total Number of Faces          = 5970
+-----+
|           Adaption Parameters           |
+-----+
Domains                        = straightchim7m45deg2
Sub-domains                    = Attic
Sub-domains                    = Ceiling
Sub-domains                    = Default
Sub-domains                    = Floor
Adaption Variables             = Pressure
Adaption Variables             = Temperature
Adaption Variables             = Velocity
Number of Adaption Steps      = 3
Number of Nodes                = MultipleofInitialMesh
Multiple of Nodes              = 2.
Adaption Criteria              = SolutionVariation
Min Edge Length                = 0.00132273
Allocation Parameter           = 0.
Number of Adaption Levels      = 3
Adapting to Geometry          = No
Save Intermediate Files        = No
Max Its. per Step              = 500
Type of Residual               = RMSNormforResiduals
Target Residual                = 9.9999997E-010
+-----+
|           Average Scale Information           |
+-----+
Domain Name : straightchim7m45deg2
Global Length                  = 2.2592E+00
Density                        = 1.1464E+00
Dynamic Viscosity              = 1.8875E-05
Velocity                       = 0.0000E+00
Thermal Conductivity           = 2.6730E-02
Specific Heat Capacity at Constant Pressure = 1.0050E+03
Thermal Expansivity            = 3.2470E-03
Prandtl Number                 = 7.0967E-01
+-----+
|           The Equations Solved in This Calculation           |
+-----+
Subsystem Name : Momentum and Mass
U-Mom
V-Mom

```

W-Mom

P-Mass

Subsystem Name : Heat Transfer

H-Energy

CFD Solver started: Sat Dec 27 15:40:08 2003

```

+-----+
|           Convergence History           |
+-----+

```

```

!           Timescale Information           !

```

```

! Equation | Type | Timescale |
+-----+-----+-----+
! U-Mom   | Auto Timescale | 9.30011E+04 |
! V-Mom   | Auto Timescale | 9.30011E+04 |
! W-Mom   | Auto Timescale | 9.30011E+04 |
! P-Mass  | Auto Timescale | 9.30011E+04 |
+-----+-----+-----+
! H-Energy | Auto Timescale | 9.30011E+04 |
+-----+-----+-----+

```

```

OUTER LOOP ITERATION = 1          CPU SECONDS = 2.01E+00

```

```

| Equation | Rate | RMS Res | Max Res | Linear Solution |
+-----+-----+-----+-----+
| U-Mom   | 0.00 | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 0.0E+00 OK |
| V-Mom   | 0.00 | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 0.0E+00 OK |
| W-Mom   | 0.00 | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 0.0E+00 OK |
| P-Mass  | 0.00 | 0.0E+00 | 0.0E+00 | 8.8 0.0E+00 OK |
+-----+-----+-----+-----+
| H-Energy | 0.00 | 9.3E-04 | 6.6E-03 | 13.6 5.7E-02 OK |
+-----+-----+-----+-----+

```

```

OUTER LOOP ITERATION = 2          CPU SECONDS = 1.07E+01

```

```

| Equation | Rate | RMS Res | Max Res | Linear Solution |
+-----+-----+-----+-----+
| U-Mom   | 0.00 | 2.3E-10 | 5.3E-09 | 1.1E+06 F |
| V-Mom   | 0.00 | 1.8E-02 | 1.3E-01 | 1.7E-02 OK |
| W-Mom   | 0.00 | 5.4E-20 | 1.6E-18 | 1.0E+15 * |
| P-Mass  | 0.00 | 6.0E-15 | 8.8E-14 | 16.6 1.6E+01 F |
+-----+-----+-----+-----+

```

```
|H-Energy      |14.10|1.3E-02|1.2E-01| 9.8 3.9E-02 OK|
```

```
-----+
      ...
      ...
      ...
      ...
      ...
      ...
      ...
      ...
      ...
      ...
```

OUTER LOOP ITERATION = 2000 (500) CPU SECONDS = 2.32E+04 (7.83E+03)

```
| Equation | Rate | RMS Res | Max Res | Linear Solution |
```

```
-----+
|U-Mom     | 1.01 | 1.9E-07 | 2.4E-06 | 5.6E-03 OK|
|V-Mom     | 1.15 | 2.9E-07 | 1.5E-05 | 6.4E-03 OK|
|W-Mom     | 0.99 | 2.2E-07 | 2.6E-06 | 2.9E-03 OK|
|P-Mass    | 0.97 | 2.8E-08 | 1.7E-07 | 8.8 1.4E-02 OK|
```

```
-----+
|H-Energy  | 0.96 | 9.3E-08 | 3.1E-06 | 5.4 9.1E-03 OK|
```

CFD Solver finished: Sat Dec 27 22:33:01 2003

Execution terminating: maximum number of time-step iterations,
or maximum time has been reached.

Boundary Flow and Total Source Term Summary

```
-----+
|              U-Mom              |
|-----+
Boundary   : Ceiling1              -1.1276E-04
Boundary   : Floor1                6.6123E-05
Boundary   : Inlet                 -3.8201E-02
Boundary   : Outlet                4.6325E-05
Boundary   : Sym1                  -7.4798E+00
Boundary   : Sym2                  4.5324E-17
Boundary   : Default               7.5182E+00
Boundary   : Ceiling2              -2.3207E-04
Boundary   : Floor2                -1.7234E-05
-----+
Global Balance :                    -3.9212E-07
```

Global Imbalance, in %: 0.0000 %

+-----+

| V-Mom |

+-----+

Boundary	: Ceiling1	2.3148E+00
Boundary	: Floor1	-2.5679E+00
Boundary	: Inlet	1.8174E-07
Boundary	: Outlet	-7.6481E-02
Boundary	: Sym1	1.2584E-07
Boundary	: Sym2	5.6096E-17
Boundary	: Default	3.0288E+00
Boundary	: Ceiling2	-4.5594E+00
Boundary	: Floor2	3.8986E-01
Domain	: straightchim7m45deg2	1.4702E+00

Global Balance : -9.5367E-07

Global Imbalance, in %: 0.0000 %

+-----+

| W-Mom |

+-----+

Boundary	: Ceiling1	-9.1970E-07
Boundary	: Floor1	-1.4256E-06
Boundary	: Inlet	-4.0460E-08
Boundary	: Outlet	2.6052E-07
Boundary	: Sym1	-1.8033E-08
Boundary	: Sym2	-8.3115E+01
Boundary	: Sym3	8.3115E+01
Boundary	: Default	-7.2367E-06
Boundary	: Ceiling2	2.1217E-07
Boundary	: Floor2	-1.6108E-07

Global Balance : 4.4377E-07

Global Imbalance, in %: 0.0000 %

+-----+

| P-Mass |

+-----+

Boundary	: Inlet	1.0469E-01
Boundary	: Outlet	-1.0469E-01

Global Balance : -2.9802E-08

Global Imbalance, in %: 0.0000 %

```

+-----+
|           H-Energy           |
+-----+

```

Boundary : Inlet 3.2406E+04

Boundary : Outlet -3.3406E+04

Sub-Domain : Attic 9.9999E+02

Global Balance : -1.6479E-02

Global Imbalance, in %: 0.0000 %

Wall Force and Moment Summary

Note: Pressure integrals exclude the reference pressure. To include it, set the expert parameter 'include pref in forces = t'.

```

+-----+
|           Pressure Force On Walls           |
+-----+

```

	X-Comp.	Y-Comp.	Z-Comp.
Ceiling1	2.6615E-07	-2.3148E+00	0.0000E+00
Floor1	-1.7963E-08	2.5678E+00	3.2820E-12
Default	-7.5178E+00	-3.0293E+00	1.6144E-10
Ceiling2	-4.8691E-07	4.5594E+00	0.0000E+00
Floor2	1.8865E-08	-3.8988E-01	-4.4343E-15

```

+-----+
|           Viscous Force On Walls           |
+-----+

```

	X-Comp.	Y-Comp.	Z-Comp.
Ceiling1	1.1249E-04	1.1258E-05	9.1970E-07
Floor1	-6.6105E-05	1.5194E-05	1.4256E-06
Default	-4.3997E-04	4.3517E-04	7.2366E-06
Ceiling2	2.3255E-04	8.3441E-06	-2.1217E-07
Floor2	1.7215E-05	1.3357E-05	1.6108E-07

```

+-----+
|           Pressure Moment On Walls           |
+-----+

```

	X-Comp.	Y-Comp.	Z-Comp.
Ceiling1	2.8928E-01	3.3264E-08	-5.5476E+00

Floor1	-3.2095E-01	-2.2652E-09	6.6573E+00
Default	3.7856E-01	-9.3965E-01	5.7618E+01
Ceiling2	-5.6981E-01	-6.0867E-08	1.0307E+01
Floor2	4.8641E-02	2.3593E-09	-1.0257E+00

```

+-----+
|          Viscous Moment On Walls          |
+-----+

```

	X-Comp.	Y-Comp.	Z-Comp.
Ceiling1	3.9981E-06	1.3108E-05	-6.4753E-04
Floor1	2.0102E-06	-1.3014E-05	1.8743E-04
Default	1.0045E-05	-7.0151E-05	2.1877E-03
Ceiling2	-2.3083E-06	3.1421E-05	-1.3497E-03
Floor2	-1.2301E-06	1.2418E-06	-5.3472E-05

```

+-----+
|          Locations of Maximum Residuals          |
+-----+

```

Equation	Node #	X	Y	Z
U-Mom	2765	5.000E+00	3.187E+00	0.000E+00
V-Mom	5	-2.296E-07	6.000E+00	2.500E-01
W-Mom	5428	4.297E+00	6.108E+00	2.239E-01
P-Mass	175	3.516E+00	6.000E+00	0.000E+00
H-Energy	5	-2.296E-07	6.000E+00	2.500E-01

```

+-----+
|          Peak Values of Residuals          |
+-----+

```

Equation	Loop #	Peak Residual	Final Residual
U-Mom	1	5.53240E-03	1.91250E-07
V-Mom	1	3.47782E-03	2.86917E-07
W-Mom	1	1.52733E-03	2.16207E-07
P-Mass	1	1.45309E-03	2.81429E-08
H-Energy	1	3.34158E-04	9.29250E-08

```

+-----+
|          False Transient Information          |
+-----+

```

Equation	Type	Elapsed Pseudo-Time
----------	------	---------------------

```

| U-Mom      | Auto      | 6.69110E+02 |
| V-Mom      | Auto      | 6.69110E+02 |
| W-Mom      | Auto      | 6.69110E+02 |
| P-Mass     | Auto      | 6.69110E+02 |
| H-Energy   | Auto      | 6.69110E+02 |

```

```

+-----+
+-----+
|           Average Scale Information           |
+-----+

```

Domain Name : straightchim7m45deg2

```

Global Length           = 2.2592E+00
Density                 = 1.1464E+00
Dynamic Viscosity       = 1.8875E-05
Velocity                = 5.1269E-01
Advection Time          = 4.4066E+00
Reynolds Number         = 7.0349E+04

```

```

+-----+
| ERROR #002100004 has occurred in subroutine Out_Scales_Flu. |
| Message: |
| The Reynolds number is outside of the range expected based on the |
| Option selected for the TURBULENCE MODEL. Check this setting, |
| the values of the properties, mesh scale, consistency of units |
| and solution values in the input file. Execution will proceed. |

```

```

+-----+
Thermal Conductivity     = 2.6730E-02
Specific Heat Capacity at Constant Pressure = 1.0050E+03
Thermal Expansivity      = 3.2470E-03
Prandtl Number           = 7.0967E-01
Temperature Range        = 1.6319E+01
Rayleigh Number          = 1.5691E+10
Buoyancy Time            = 2.7260E+00

```

```

+-----+
|           Variable Range Information           |
+-----+

```

Domain Name : straightchim7m45deg2

```

+-----+
| Variable Name      | min | max |
+-----+
| Velocity u         | -1.18E+00 | 1.12E+00 |
| Velocity v         | -4.54E-01 | 1.66E+00 |
| Velocity w         | -1.67E-01 | 1.39E-01 |
| Pressure           | -4.11E+00 | 2.77E-04 |

```

```

| Density                | 1.15E+00 | 1.15E+00 |
| Dynamic Viscosity      | 1.89E-05 | 1.89E-05 |
| Specific Heat Capacity at Constant Pressure| 1.00E+03 | 1.00E+03 |
| Thermal Conductivity   | 2.67E-02 | 2.67E-02 |
| Thermal Expansivity    | 3.25E-03 | 3.25E-03 |
| Temperature            | 3.08E+02 | 3.24E+02 |
| Static Enthalpy        | 3.10E+05 | 3.26E+05 |

```

```

+-----+
+-----+

```

```

|           CPU Requirements of Numerical Solution           |

```

```

+-----+

```

Subsystem Name	Discretization	Linear Solution
	(secs. %total)	(secs. %total)
Momentum and Mass	4.86E+03 67.3 %	7.51E+02 10.4 %
Heat Transfer	1.32E+03 18.2 %	2.93E+02 4.1 %
Summary	6.17E+03 85.5 %	1.04E+03 14.5 %

```

+-----+

```

```

|           Job Information           |

```

```

+-----+

```

Host computer: POLLY

Job finished: Sat Dec 27 22:33:15 2003

Total CPU time: 7.848E+03 seconds

or: (0: 2: 10: 48.045)

(Days: Hours: Minutes: Seconds)

End of solution stage.

This run of the CFX-5 Solver has finished.

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ (ภาษาไทย) นาย ทวิช จิตรสมบูรณ์
(ภาษาอังกฤษ) Mr. Tawit Chitsomboon
2. ตำแหน่งปัจจุบัน
รองศาสตราจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
3. หน่วยงานที่อยู่ติดต่อได้พร้อมโทรศัพท์และโทรสาร
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000
โทรศัพท์ 044-224410, 224411
โทรสาร 044-224411
4. ประวัติการศึกษา
 - ปริญญาเอก, พ.ศ. 2529, วิศวกรรมเครื่องกล, Old Dominion University, Norfolk, Virginia 23529, USA.
 - ปริญญาโท, พ.ศ. 2522, วิศวกรรมเครื่องกล, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, USA.
 - ปริญญาตรี, พ.ศ. 2520, วิศวกรรมเครื่องกลเรือ, ร.ร.นายเรือ, สมุทรปราการ (สอบไล่ได้เป็นที่ 1 ของรุ่นด้วยเกรดเฉลี่ย 3.62)
5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
กลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (Computational Fluid Dynamics)