

บทที่ 2
งานวิจัยที่ผ่านมา

การศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาได้แบ่งลักษณะของงานวิจัยที่ศึกษาออกเป็น 3 กลุ่มคือ

1. กลุ่มที่ศึกษาพฤติกรรมการไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อนในขอบเขตจำกัดที่ปราศจากสิ่งกีดขวาง
2. กลุ่มที่ศึกษาพฤติกรรมการไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อนในขอบเขตจำกัดโดยมีสิ่งกีดขวาง
3. กลุ่มที่ศึกษาพฤติกรรมการไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อนในขอบเขตจำกัดที่มีแหล่งให้ความร้อนอยู่ในขอบเขตนั้น

ซึ่งในงานวิจัยเหล่านี้มีทั้งการวิจัยโดยการทำการทดลองประกอบกับการคำนวณเชิงตัวเลข (Numerical method) และการศึกษาเฉพาะในส่วนทฤษฎี ดังที่จะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

การศึกษาพฤติกรรมการไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อนในขอบเขตจำกัดที่ปราศจากสิ่งกีดขวาง

V. S. Prataap และ D. B. Spalding [1976] ได้แสดงวิธีการคำนวณสถานการณ์การไหลของของไหลในท่อแบบสามมิติ โดยกำหนดให้ลักษณะการไหลเป็นแบบกึ่งพาราโบลิก (Partial-Parabolic) กล่าวคือเป็นลักษณะการไหลที่อยู่กึ่งกลางระหว่างการไหลแบบพาราโบลิก (Parabolic) และอีลิปติก (Elliptics) ซึ่งมีลักษณะสำคัญคือ

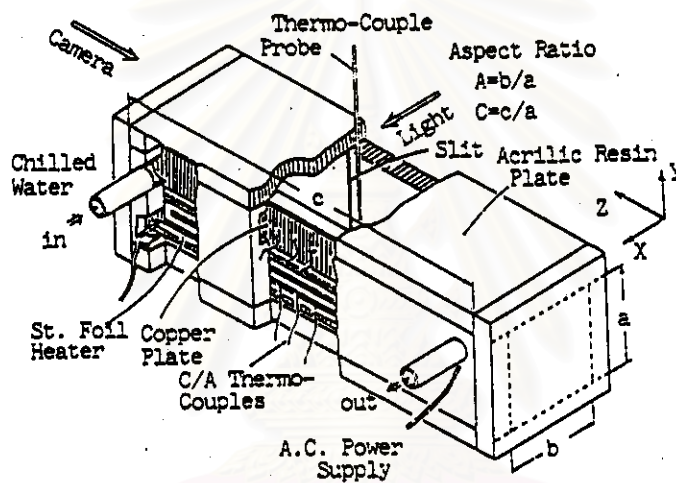
1. ปราศจากการไหลวนกลับ (Recirculation), ดังนั้นกลไกการพา (Convection) จึงมีอิทธิพลในทิศทางเดียวกับทิศทางการไหล (Downstream) เท่านั้น
2. มีค่าเลขเรย์โนลด์สูง, ดังนั้นกลไกการนำ (Conduction) ซึ่งเป็นปฏิกริยาระหว่างโมเลกุลจึงมีนัยสำคัญเฉพาะในทิศทางการไหลของของไหล
3. มีบริเวณขอบเขตที่โค้งมาก, ทำให้การส่งผ่านความดันมีผลในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางการไหลของของไหล (Upstream)

ลำดับขั้นตอนการแก้ปัญหา (Algorithm) ที่ใช้เป็นแบบ SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure-Link Equation) เช่นเดียวกับที่ใช้ในการไหลแบบพาราโบลิก แต่ต่างกันที่การเก็บค่าความดันที่ใช้ในสมการโมเมนตัมไว้ที่บริเวณ (Array) สามมิติ ในขณะที่ตัวแปรอื่นจะเก็บที่บริเวณสองมิติ

จากการเปรียบเทียบผลการคำนวณโดยวิธีการดังกล่าวข้างต้นกับการคำนวณโดยกำหนดให้ลักษณะการไหลเป็นแบบพาราโบลิกพบว่า การคำนวณโดยให้ลักษณะการไหลเป็นแบบกึ่ง

K. Kitamura, K. Komiyama และ T. Saito [1984] ได้ร่วมกันศึกษาถึงการเคลื่อนที่หมุนวนของการพาแบบอิสระ (Free convection) ในปริมาตรจำกัดรูปทรงสี่เหลี่ยม โดยทำการศึกษาทั้งในส่วนของทดลองและทฤษฎี

การทดลองดำเนินไปภายในเครื่องมือรูปทรงสี่เหลี่ยมที่ผนังด้านบนถูกหล่อเย็นด้วยน้ำ และให้ความร้อนกับผนังด้านล่างด้วยกระแสไฟฟ้าผ่านเครื่องทำความร้อนฟอยล์สแตนเลส ของไหลที่ใช้เป็นตัวกลางในการทดลองได้แก่อากาศและน้ำ ทำการวัดอุณหภูมิของพื้นผิวและของไหลด้วยเทอร์โมคัปเปิลแบบโครเมล-อลูเมล และใช้เครื่องถ่ายภาพการไหล (Flow visualization) เพื่อแสดงผลการทดลอง โดยในกรณีของอากาศจะมีการพ่นควันหรือเข้าไป ส่วนกรณีของน้ำจะใช้ผงอลูมิเนียมแขวนลอยไว้ เพื่อช่วยให้สามารถถ่ายภาพลักษณะการไหลได้ชัดเจนขึ้น ลักษณะของการติดตั้งเครื่องมือต่างๆ ในอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองดังแสดงในรูปที่ 2-3 ต่อไปนี้



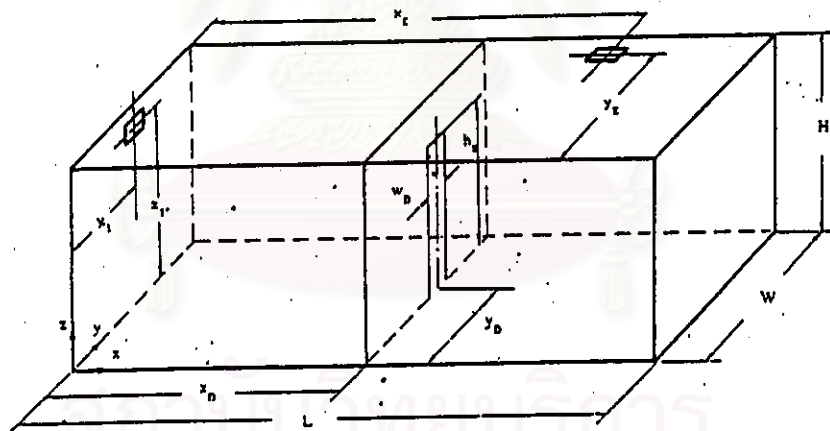
รูปที่ 2-3 ลักษณะเครื่องมือที่ทำการทดลอง

นอกจากการทดลองแล้วยังได้ทำการวิเคราะห์เชิงตัวเลขอีกด้วย โดยเลือกใช้เทคนิคการคำนวณสำหรับการไหลแบบลามินาและการพาแบบธรรมชาติในสองมิติ ข้อกำหนดในการคำนวณที่ใช้กันคือ เป็นการไหลภายในขอบเขตจำกัดแบบสองมิติ, มีการไหลแบบลามินา, และเป็นของไหลที่ไม่สามารถอัดได้, คุณสมบัติทางกายภาพของของไหลเป็นค่าคงที่ยกเว้นเทอมของแรงโน้มถ่วงและสามารถใช้การประมาณ Boussinesq ปกติได้

การทดลองและการคำนวณให้ผลที่สอดคล้องกันซึ่งสรุปได้ว่า สามารถแบ่งรูปแบบการไหลในปริมาตรจำกัดออกได้เป็นสามรูปแบบคือการไหลแบบคงที่, การไหลหมุนวนเป็นระยะๆ, และการไหลหมุนวนแบบผิดปกติหรือแบบปั่นป่วน (Turbulence), การวิเคราะห์การไหลแบบลามินาสองมิติสามารถทำนายการไหลแบบคงที่และการไหลแบบหมุนวนเป็นระยะๆ ได้ดี, ความถี่ไรน์ฮอยของการหมุนวนถูกกำหนดโดยตัวเลขเรย์โอล์ก (Rayleigh) ของอากาศและน้ำ และการถ่ายเทความร้อนที่พื้นผิวร้อนและเย็นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ด้วยวิธีการไหลแบบหมุนวน

C. Balaji และ S.P. Venkateshan [1992] ศึกษาถึงผลของการแผ่รังสี (Radiation) จากพื้นผิวต่อการพาแบบอิสระในโพรงสี่เหลี่ยม โดยแสดงการคำนวณในกรณีของการพาเพียงอย่างเดียวเพื่อการเปรียบเทียบกับ ลักษณะของแบบจำลองที่ศึกษาเป็นโพรงสี่เหลี่ยมที่ผนังด้านข้างมีอุณหภูมิต่างกัน ส่วนผนังด้านบนและด้านล่างมีการบุด้วยฉนวนและให้สามารถใช้การประมาณ Boussinesq ได้ สมการที่ใช้เป็นฟังก์ชันกระแส-การหมุนวน (Stream-vorticity) ในการแก้ปัญหา จะใช้หลักการ Finite volume ของ Gosman โดยการสร้างกริดที่ไม่สม่ำเสมอด้วยฟังก์ชันโคไซน์ ซึ่งจะทำให้ได้กริดที่ละเอียดในบริเวณใกล้ๆ ผนัง และกริดที่หยาบขึ้นในบริเวณแกนกลาง ส่วนกรณีที่มีการแผ่รังสีร่วมกับการพานั้นได้มีการปรับปรุงสภาวะขอบเขตที่ผนังด้านบนและด้านล่างด้วย รวมทั้งมีการเพิ่มสมการการแผ่รังสีเข้าไป ซึ่งก็พบว่าผลการคำนวณโดยเพิ่มส่วนของกริดแผ่รังสีเข้าไปนั้นจะให้ผลที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากกว่า

F. Haghghat, Z. Jiang, J. C. Y. Wang และ F. Allard [1992] ได้อธิบายถึงการพัฒนารูปแบบเชิงตัวเลขเพื่อจำลองสถานการณ์การพาความร้อนและการส่งผ่านมวลสารระหว่างส่วนที่ถูกแบ่งออกจากกันโดยการไหลแบบปั่นป่วนในสามมิติ ในการพาแบบธรรมชาติ (Natural convection), การพาแบบบังคับ (Force convection) และแบบผสมภายในห้องที่ถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน ดังรูปที่ 2-4



รูปที่ 2-4 แสดงห้องที่ใช้ในการจำลองสถานการณ์การพาความร้อนและการส่งผ่านมวลสาร

โครงสร้างเชิงตัวเลขที่ใช้เป็นแบบ K-e สองสมการของการไหลแบบปั่นป่วน ในส่วนของบริเวณใกล้พื้นผิวผนังซึ่งไม่สามารถใช้สมการ K-e ได้ใช้วิธีการของฟังก์ชันผนัง (Wall function) เพื่อปรับปรุงเทอมแหล่งกำเนิด (Source term) ในสมการอนุพันธ์ โดยการใช้ฟลักซ์ (Flux) ของโมเมนตัมเนื่องจากความเค้นเฉือนและฟลักซ์ของความร้อนที่ผิวของแข็ง

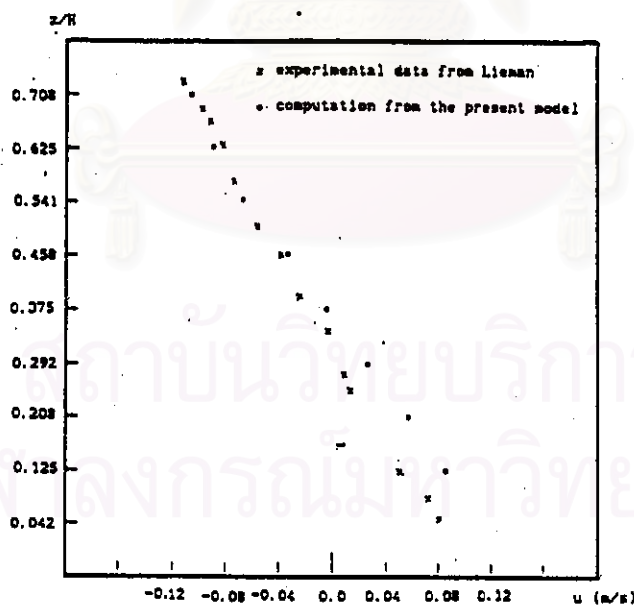
ลำดับขั้นตอนที่ใช้ในการแก้ปัญหาเป็นแบบ SIMPLE โดยใช้วิธี ADI (Alternating Directional Implicit) และขั้นเวลาที่ไม่ถูกต้อง (False time step) ภายใต้รีแลกเซชันในขั้นตอน

การแทนที่ในสมการ (Iteration) นอกจากนี้ยังได้มีการทดสอบหาจำนวนกริดที่เหมาะสมโดยการคำนวณองค์ประกอบความเร็วสามทิศทางในขณะที่เพิ่มจำนวนกริดขึ้นเรื่อยๆ ดังผลที่แสดงในตาราง 2-1 ซึ่งพบว่า การแบ่งกริด $10 \times 10 \times 16$ ในห้องขนาด กว้าง \times ยาว \times สูง = 4 เมตร \times 10 เมตร \times 3 เมตร จะเพียงพอสำหรับการพาแบบธรรมชาติ

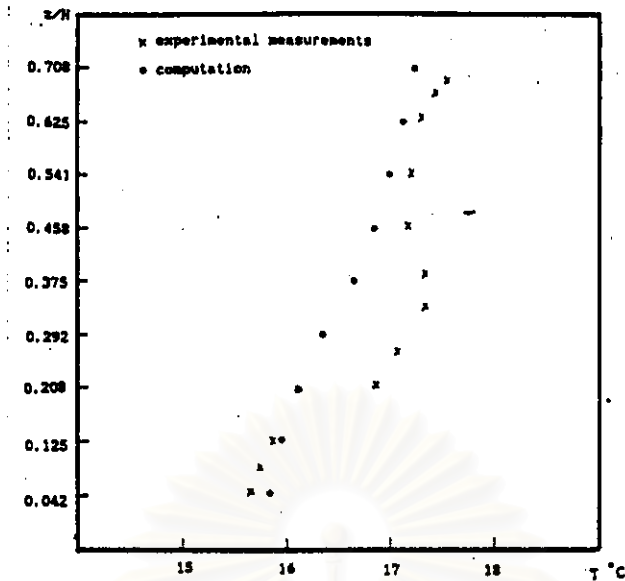
ตารางที่ 2-1

การแบ่งกริด	8 x 8 x 14	10 x 10 x 16	12 x 12 x 18	14 x 14 x 20	24 x 24 x 36
u	1.55 E-2	1.62 E-2	1.66 E-2	1.69 E-2	1.72 E-2
% ต่างต่าง	4.5	2.5	1.8	1.7	

จากการเปรียบเทียบผลการคำนวณเชิงตัวเลขกับผลการทดลองพบว่า ลักษณะการกระจายตัวของความเร็วที่ศูนย์กลางของประตูที่เปิดจะสอดคล้องกัน ในขณะที่การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ศูนย์กลางของประตูที่เปิดจะแตกต่างกันที่บริเวณกึ่งกลางของความสูงของประตู โดยผลการคำนวณจะต่ำกว่าผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 2-5 และ 2-6

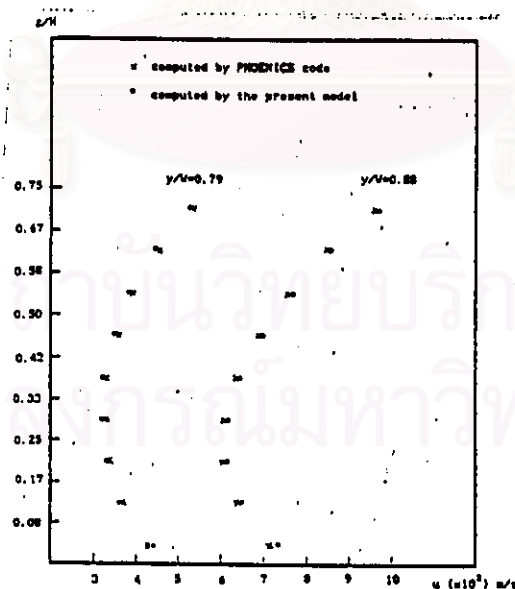


รูปที่ 2-5 กราฟเปรียบเทียบผลการกระจายตัวของความเร็วที่ศูนย์กลางของประตูที่เปิด ระหว่างการคำนวณและการทดลอง



รูปที่ 2-6 กราฟเปรียบเทียบผลการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ศูนย์กลางของประตูที่เปิด
ระหว่างการคำนวณและการทดลอง

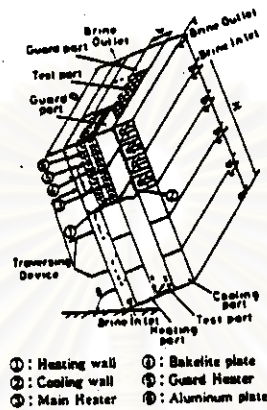
นอกจากนี้ยังได้มีการนำโปรแกรม PHOENICS มาใช้ในการจำลองสถานการณ์การไหล
ของอากาศดังกล่าวข้างต้น ซึ่งก็พบว่าให้ผลที่สอดคล้องกับรูปแบบการคำนวณเชิงตัวเลขดังแสดง
ในรูปที่ 2-7



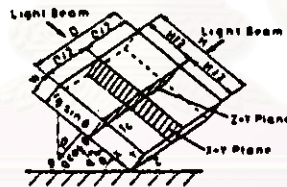
รูปที่ 2-7 กราฟเปรียบเทียบผลการกระจายตัวของความเร็วที่ศูนย์กลางของประตูที่เปิด
ระหว่างการคำนวณเชิงตัวเลขและการใช้โปรแกรม PHOENICS

พาราโบลิกจะให้ลักษณะของรูปแบบการไหลตามที่คาดไว้และแตกต่างออกไปจากการไหลแบบพาราโบลิก

H. Inaba และ K. Kanayama [1984] ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนโดยการพาอย่างอิสระในโพรงสี่เหลี่ยมที่เอียงเป็นมุมต่างๆ โดยได้บรรจุอากาศไว้เต็มโพรงสี่เหลี่ยมซึ่งมีผนังตรงข้ามที่มีอุณหภูมิต่างกัน และผนังแต่ละด้านถูกควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ และตั้งเอียงอยู่โดยทำมุมตั้งแต่ 0° ถึง 180° ดังรูปที่ 2-1 และ 2-2



รูปที่ 2-1 แผนผังแสดงเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 2-2 แสดงระนาบ X-Y และ Z-Y สำหรับการสังเกตด้วยตาเปล่า

จากผลการทดลองพบว่ารูปแบบการไหลแบ่งออกได้เป็นสามแบบคือที่มุมเอียง 0° ถึง 30° มีลักษณะการไหลส่วนใหญ่เป็นแบบ Multi-cellular, ที่มุมเอียง 30° ถึง 60° มีลักษณะการไหลแบบเป็นเกลียว (Spiral flow) และที่มุมเอียง 60° ถึง 150° มีลักษณะการไหลส่วนใหญ่เป็นแบบชั้นขอบเขต นอกจากนั้นอัตราส่วนระหว่างความสูงของโพรงสี่เหลี่ยมต่อระยะห่างของผนังที่มีอุณหภูมิต่างกันทั้งสองจะมีความสำคัญต่อการถ่ายเทความร้อนโดยการพาในบริเวณที่มีการไหลแบบลามินาที่มุมเอียงมากๆ และสำหรับค่าอัตราส่วนระหว่างความสูงของโพรงสี่เหลี่ยมต่อระยะห่างของผนังที่มีอุณหภูมิต่างกันทั้งสองต่ำๆ (10-29) ตัวเลขนัสเซลท์จะมีค่าสูงสุดที่มุมเอียงประมาณ 15° , ลดลงอย่างรวดเร็วที่มุมเอียงระหว่าง 15° - 75° , มีค่าต่ำที่มุมเอียงระหว่าง 75° - 120° และลดลงอีกที่มุมเอียง $> 120^\circ$

ผลจากการศึกษานี้ทำให้เห็นได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพของอากาศภายในอาคารได้แก่ ตำแหน่งของการดูดอากาศเข้ามาในอาคาร, ตำแหน่งของการปล่อยอากาศออกสู่ภายนอกและการเปิดปิดประตู

การศึกษาพฤติกรรมการไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อนในขอบเขตจำกัดที่มีสิ่งกีดขวาง

Z. F. Dong, M. A. Ebadian และ E. Bigzadeh [1993] ร่วมกันศึกษาการคำนวณเชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนร่วมระหว่างการพาและการแผ่รังสี (Radiation) ของการไหลแบบลามินาในท่อสี่เหลี่ยมที่มีแกนกลางเป็นท่อทรงกระบอก โดยสนใจที่บริเวณทางเข้าของท่อซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดการถ่ายเทความร้อนแบบผสมกันระหว่างการพา-การแผ่รังสี และได้กำหนดให้บริเวณพื้นผิวของท่อและของแกนกลางมีลักษณะสม่ำเสมอและเท่ากันทั้งในแนวแกนและแนวตั้งฉาก ส่วนของการแผ่รังสีจะใช้วิธีการคำนวณแบบ Moment แล้วแก้สมการโมเมนต์, สมการพลังงานแบบสามมิติ และสมการการแผ่รังสีสองมิติด้วยวิธีการแก้สมการเชิงตัวเลขไฟไนต์-ดิฟเฟอเรนซ์ในปริมาตรควบคุม โดยใช้ระบบโคออร์ดิเนตที่สอดคล้องกับรูปร่าง

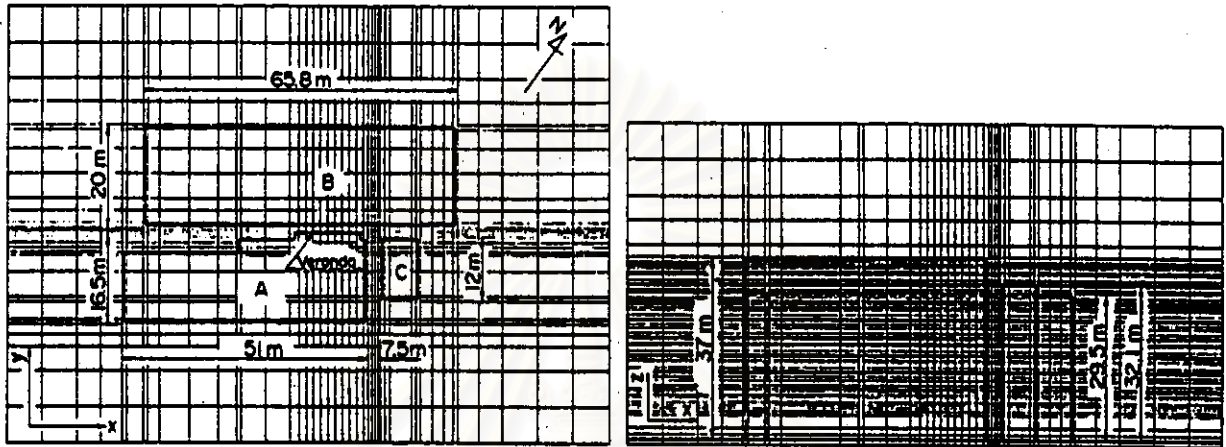
จากการศึกษาพบว่าตัวเลขนัสเซลท์ (Nusselt) ทั้งหมด จะลดลงจากค่าสูงที่ทางเข้าท่อสี่เหลี่ยมไปเป็นค่าต่ำสุดที่ตำแหน่งถัดออกไปตำแหน่งหนึ่งแล้วจึงเพิ่มขึ้น แสดงว่าที่บริเวณทางเข้าการถ่ายเทความร้อนจะได้รับอิทธิพลจากการพา ส่วนบริเวณภายในการถ่ายเทความร้อนจะได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสี และตัวเลขนัสเซลท์ของกรณีการพาพร้อมกับแผ่รังสีจะมากกว่ากรณีของการพาแต่เพียงอย่างเดียว พารามิเตอร์หลักที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนด้วยการแผ่รังสีคือ พารามิเตอร์การแผ่รังสี-การนำ, ความหนาของฟิล์ม, และการเปล่งรังสีของผนัง การเพิ่มค่าพารามิเตอร์เหล่านี้จะส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น ส่วนพารามิเตอร์รูปร่างจะส่งผลเฉพาะการถ่ายเทความร้อนร่วมระหว่างการพา-การแผ่รังสี นอกจากนั้นตัวเลขนัสเซลท์สำหรับท่อสี่เหลี่ยมที่มีทรงกระบอกอยู่ที่แกนกลางจะมากกว่าในท่อสี่เหลี่ยมที่ไม่มีทรงกระบอกอยู่ที่แกนกลางทั้งในกรณีการพาพร้อมกับแผ่รังสีและการพาอย่างเดียว

S. Kotoh, G. Yamanaka และ T. Katayama [1993] ได้ศึกษาถึงปรากฏการณ์การเคลื่อนที่ของอากาศที่ถูกปล่อยออกมาจากพัดลมระบายความร้อนของเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งอยู่ภายนอกอาคาร ซึ่งมักจะถูกพาโดยลมที่เกิดขึ้นเนื่องจากอาคารสูงหรืออาคารที่อยู่ติดกันเข้าไปยังส่วนดูดอากาศเข้าของเครื่องปรับอากาศอื่น หรือที่เรียกกันว่า "ปรากฏการณ์ลีดวงจร"

ในการศึกษานี้ได้มีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขแบบสามมิติของการไหลของอากาศแบบปั่นป่วน โดยใช้โครงสร้างสมการแบบ K- ϵ และลำดับขั้นตอนการแก้ปัญหาแบบ QUICK-1D

(Quadratic Upstream Interpolation for Convective Kinetics) ซึ่งสอดคล้องกับวิธีการปรับค่าความดันของ Patankar และแก้สมการดิฟเฟอเรนเชียลด้วยวิธี ADI

ต้นแบบของการศึกษาเป็นอาคาร A สูง 10 ชั้น ตั้งอยู่ห่างจากอาคาร B สูง 8 ชั้นเป็นระยะทาง 1.8 เมตร และอาคาร C สูง 9 ชั้นอยู่ห่างจากอาคาร A 3.4 เมตร ดังแผนผังในรูปที่ 2-8



รูปที่ 2-8 แสดงแผนผังกลุ่มอาคารที่ใช้ในการศึกษา

สภาวะขอบเขตที่ใช้ได้แก่ ฟังก์ชันผนังสำหรับความเร็ว, K และ ϵ ส่วนสภาวะขอบเขตด้านความร้อนเป็นสภาวะที่บริเวณขอบเขตบ่งชี้ความเร็วนั้น ความเร็วลม v ที่ความสูงใดๆ z แสดงดังสมการ

$$v = v_R (z/z_R)^{1/n}$$

โดยที่ v_R คือความเร็วลมที่ความสูง z_R และ n ในที่นี้คือ 4

ส่วน K และ ϵ แสดงได้ดังสมการ

$$K = (x^2 v_R^2) / (n^2 C_D^{1/2})$$

$$\epsilon = (x^2 v_R^3) / (n^3 z)$$

โดยที่ x คือค่าคงที่ของ Karman หรือในที่นี้เท่ากับ 0.41 และ C_D คือค่าคงที่ซึ่งในที่นี้เท่ากับ 0.09

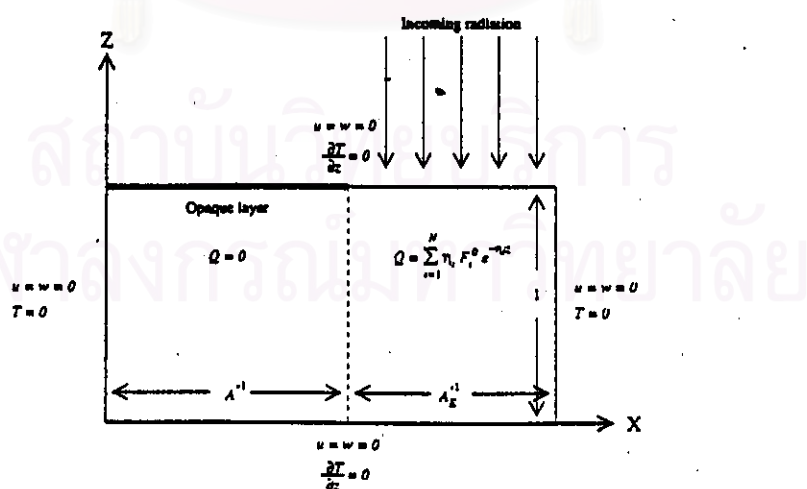
การวิเคราะห์เชิงตัวเลขในการศึกษานี้ได้เลือกใช้สภาวะของทิศทางและความเร็วลมที่มีแนวโน้มจะก่อให้เกิดปรากฏการณ์ลดลงจรมากที่สุดคือเมื่อทิศทางการของลมเป็น SSE (พัดจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ไปตะวันตกเฉียงเหนือ) และ NNW (พัดจากทิศตะวันตกเฉียงเหนือไปตะวันออกเฉียงใต้) และเมื่อ $z_R = 38.4$ เมตร และ v_R คือ 0.63 เมตร/วินาที (กรณีลมพัดเอื่อย) และ 3.76 เมตร/วินาที (กรณีลมพัดจัด) ตามลำดับ อุณหภูมิของอากาศในทุกกรณีเป็น 32 องศาเซลเซียส

ในกรณีที่ลมพัดจัดสภาวะของการไหลของอากาศระหว่างอาคาร A และ B จะขึ้นอยู่กับทิศทางพัดของลม และอุณหภูมิของอากาศที่ถูกดูดเข้าสู่เครื่องปรับอากาศอื่นก็จะขึ้นอยู่กับทิศทางพัดของลมเช่นกัน ส่วนกรณีที่ลมพัดเอื่อยการกระจายตัวของอุณหภูมิจะค่อนข้างใกล้เคียงกันไม่ว่าทิศทางพัดของลมจะเป็นอย่างไร

จากการทดลองพบว่าทิศทางพัดและความเร็วของลมมีผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิ ซึ่งจะต่างจากผลการคำนวณที่สมมติให้ทิศทางพัดและความเร็วลมคงที่ตลอดเวลาถึงอย่างไรก็ยังเชื่อว่าการกระจายตัวของอุณหภูมิของอากาศที่ถูกดูดเข้าไปโดยเครื่องปรับอากาศจะมีการกระจายตัวอยู่ในช่วงที่สามารถวัดได้ที่อุณหภูมิของอากาศที่ถูกดูดเข้าไปต่างๆ ซึ่งสามารถทำนายได้โดยการวิเคราะห์เชิงตัวเลขที่ใช้สภาวะของทิศทางพัดและความเร็วลมแตกต่างกัน

การศึกษาพฤติกรรมการไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อนในขอบเขตจำกัดที่มีแหล่งให้ความร้อนอยู่ภายในขอบเขตนั้น

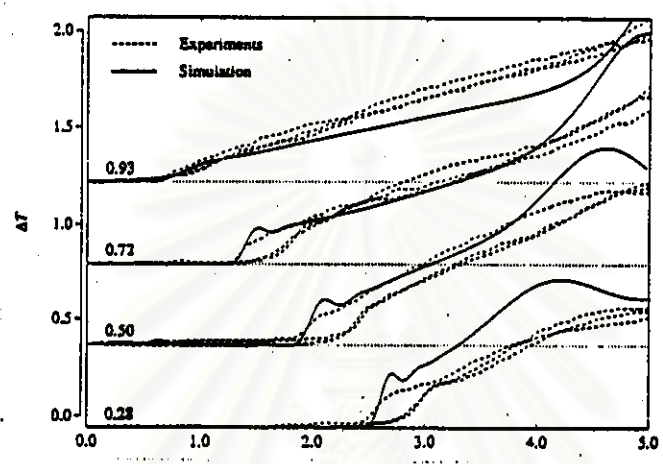
M.J. Coats และ J.C. Patterson [1994] ได้ทำการจำลองแบบเชิงตัวเลขของการพาแบบธรรมชาติในปริมาตรปิดที่มีแหล่งกำเนิดภายในที่ไม่สม่ำเสมอ โดยพิจารณาโพรงสี่เหลี่ยมที่พื้นผิวด้านบนส่วนหนึ่งทึบแสง อีกส่วนหนึ่งโปร่งแสง กำหนดให้ผนังส่วนที่เหลือมีอุณหภูมิคงที่ ขอบเขตด้านบนและด้านล่างบุนนวน ซึ่งทำให้การถ่ายเทความร้อนที่ผิวโดยการนำและการแผ่รังสีคลื่นยาวมีผลน้อย ทำให้ความร้อนเข้าสู่โพรงสี่เหลี่ยมผ่านพื้นผิวส่วนใหญ่มาจากการแผ่รังสีของสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 2-9



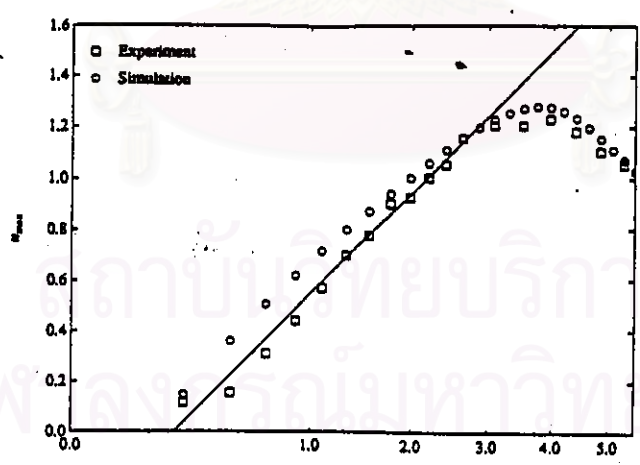
รูปที่ 2-9 แสดงสภาวะขอบเขตของโพรงสี่เหลี่ยมโดยมีสภาวะเริ่มต้นที่ $U = W = 0$ และ $T = 0$

ในการคำนวณเชิงตัวเลขจะใช้ลำดับขั้นตอนการแก้ปัญหาแบบ SIMPLE แต่กำหนดบนกริดที่ไม่สม่ำเสมอ โดยให้มีกริดที่ละเอียดบริเวณผนัง, บริเวณขอบเขตสว่าง-มืด และพื้นผิวด้านบน เนื่องจากการไหลได้รับอิทธิพลจากการดูดกลืนรังสีที่ส่วนบนของโพรงสี่เหลี่ยมและปฏิกิริยากับผนังโดยจะไม่เกี่ยวข้องกับพื้นผิวด้านล่าง

นอกจากนั้นยังได้ทำการประเมินผลการคำนวณเชิงตัวเลขโดยการเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ซึ่งก็ให้ผลที่สอดคล้องกัน ดังแสดงในรูปที่ 2-10 และ 2-11



รูปที่ 2-10 แสดงผลการเปรียบเทียบการเพิ่มอุณหภูมิใน 4 ตำแหน่ง ระหว่างการคำนวณเชิงตัวเลขและการทดลอง



รูปที่ 2-11 แสดงผลการเปรียบเทียบความเร็วของการเคลื่อนที่ของของไหลตามแนวตั้ง ในขอบเขตสว่าง-มืด ระหว่างการคำนวณเชิงตัวเลขและการทดลอง