



การศึกษาเชิงตัวเลขเพื่อทำนายอิทธิพลของความชื้นต่อสมรรถนะ  
ผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์

โดย

นายชัชวรินทร์ ชินสรนันท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม  
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
ปีการศึกษา 2557  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การศึกษาเชิงตัวเลขเพื่อทำนายอิทธิพลของความชื้นต่อสมรรถนะ  
ผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์

โดย

นายชัชวรินทร์ ชินสรนันท์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ปีการศึกษา 2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์



NUMERICAL PREDICTION OF THE EFFECT OF HUMIDITY ON THE  
PERFORMANCE OF SOLAR CHIMNEY

BY

MR. CHATCHAWIN CHINSORRANANT



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS  
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ARCHITECTURE

ARCHITECTURE

FACULTY OF ARCHITECTURE AND PLANNING

THAMMASAT UNIVERSITY

ACADEMIC YEAR 2014

COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง

วิทยานิพนธ์

ของ

นายชัชวรินทร์ ชินสรนันท์


เรื่อง

การศึกษาเชิงตัวเลขเพื่อทำนายอิทธิพลของความชื้นต่อสมรรถนะผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์

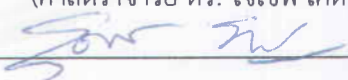
ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ วันที่ 10 สิงหาคม พ.ศ. 2558


ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
\_\_\_\_\_  
(ศาสตราจารย์ ดร. โจเซฟ เคดารี)


กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

  
\_\_\_\_\_  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุดาภรณ์ สุตประเสริฐ)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

  
\_\_\_\_\_  
(ศาสตราจารย์ ดร. ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
\_\_\_\_\_  
(อาจารย์ ดร. ดารณี สาริมิตร)

คณบดี

  
\_\_\_\_\_  
(รองศาสตราจารย์ เฉลิมวัฒน์ ตันตสวัสดิ์)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาเชิงตัวเลขเพื่อทำนายอิทธิพลของความชื้นต่อสมรรถนะผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์
ชื่อผู้เขียน	นายชัชวินท์ ชินสรนันท์
ชื่อปริญญา	สถาปัตยกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมและการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุดาภรณ์ สุตประเสริฐ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	ศาสตราจารย์ ดร. ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช
ปีการศึกษา	2557

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของความชื้นที่มีต่อสมรรถนะผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ โดยการจำลองการไหลของอากาศสองมิติด้วยโปรแกรมการคำนวณพลศาสตร์ของไหล ANSYS fluent 14.0 โดยอ้างอิงอัตราส่วนความสูงต่อความกว้างของปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่ให้อัตราการระบายอากาศสูงสุด จากงานวิจัยก่อนหน้า ซึ่งงานวิจัยนี้ได้มีการสอบเทียบผลการทดลอง (validation) กับงานวิจัยอื่นมาแล้วพบว่า โปรแกรมสามารถวิเคราะห์ผลได้ตรงกับผลการทดลองจริง การจำลองวิเคราะห์เปรียบเทียบผลของอากาศที่กำหนดคุณสมบัติแตกต่างกัน 2 แบบคือ การกำหนดอากาศให้เป็นอากาศแห้ง (dry air) ที่ใช้คุณสมบัติของก๊าซในอุดมคติ และการกำหนดอากาศให้เป็นอากาศที่มีความชื้น (moist air) ที่มีคุณสมบัติเป็นของผสม (air-vapor mixture) โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหลสามารถวิเคราะห์อากาศที่มีความชื้นได้โดยใช้โหมด species transport โดยการกำหนดให้สปีชีส์ที่ 1 เป็นไอน้ำ (vapor) และสปีชีส์ที่ 2 เป็นอากาศ (air) ที่มีอัตราส่วนมวลแต่ละสปีชีส์ที่ทางเข้าปล่องตามอัตราส่วนความชื้นในอากาศ

งานวิจัยนี้กำหนดความสูงของผนังเท่ากับ 3.00 เมตรทุกกรณี ค่าความชื้นกำหนดจากค่าสัดส่วนมวล (mass fraction) ในโปรแกรม ANSYS fluent 14.0 โดยงานวิจัยนี้จะกำหนดขอบเขตการศึกษากการวิเคราะห์อากาศชื้นที่มีความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) ระหว่าง 30%-80% ในโหมด species transport ผลการจำลองเมื่อปล่องรังสีดวงอาทิตย์อยู่ในสภาวะคงที่พบว่าความเร็วอากาศและอุณหภูมิภายในช่องอากาศระหว่างผนังไม่แตกต่างกันที่ค่าความชื้นดังกล่าว อย่างไรก็ตาม

เมื่อเปรียบเทียบอากาศแห้ง กับอากาศที่มีความชื้น พบว่าความเร็วอากาศและทิศทางของการไหลมีความแตกต่างกัน อากาศแห้งจะมีความเร็วอากาศเฉลี่ยภายในปล่องสูงกว่าอากาศชื้นคิดเป็นร้อยละเท่ากับ 15.6 ที่ช่องทางออกอากาศ และร้อยละ 26.3 ที่ช่องทางเข้า อากาศชื้นมีความเร็วอากาศที่น้อยกว่าอากาศแห้งทำให้มีการระบายอากาศร้อนได้น้อยกว่าอากาศแห้ง ปล่องอากาศชื้นจึงมีการสะสมความร้อนภายในซึ่งส่งผลต่ออุณหภูมิโดยรวมภายในปล่องที่สูงกว่าอากาศแห้งประมาณ  $0.5^{\circ}\text{C}$  ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงขนาดช่องอากาศระหว่างผนัง 3 ขนาดคือ 0.10 เมตร 0.20 เมตร และ 0.30 เมตร พบว่าไม่ส่งผลต่อทิศทางและการระบายอากาศหรืออุณหภูมิในปล่องในกรณีที่อากาศแห้ง แต่จะพบการวนกลับของอากาศชื้นในช่วงกลางปล่องลงมาที่ช่องเปิดทางเข้าเมื่อช่องอากาศมีขนาดแคบหรือกว้างจนเกินไป ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงขนาดช่องเปิดอากาศเข้าและออก 3 ขนาดคือ 0.05 เมตร 0.10 เมตร และ 0.15 เมตร พบอากาศไหลวนกลับที่กลางปล่องและการไหลย้อนกลับที่ช่องทางออกเมื่อช่องเปิดมีขนาดมากกว่า 0.05 m อัตราส่วนของความสูงต่อความกว้างของปล่องที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 13.8 : 1 หรือมีค่าเท่ากับความสูงผนัง 3.00 เมตร ช่องอากาศระหว่างผนัง 0.20 เมตร ซึ่งตรงการทดลองจริงในงานวิจัยก่อนหน้าในประเทศไทย ขนาดช่องเปิดทางเข้าและออกอากาศควรจำกัดให้มีขนาดไม่เกิน 0.05 เมตร เพื่อประสิทธิภาพการระบายอากาศสูงสุด

**คำสำคัญ:** ผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์, การพาความร้อนแบบอิสระ, แรงลอยตัว

Thesis Title	NUMERICAL PREDICTION OF THE EFFECT OF HUMIDITY ON THE PERFORMANCE OF SOLAR CHIMNEY
Author	Mr. Chatchawin Chinsorranant
Degree	Master of Architecture
Major Field/Faculty/University	Architecture Architecture and Planning Thammasat University
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Sudaporn Sudparsert
Thesis Co-Advisor	Prof. Dr. Phadungsak Ratanadecho
Academic Years	2014

### Abstract

The research studies effect of humidity on thermal performance of a vertical solar chimney. The two-dimensional simulation model conducted in ANSYS fluent 14.0 was based on the aspect ratio of the solar chimney that generated maximum ventilation rate in previous researches. After conducting research validation with previous researches, it found that the program gave simulation results that agreed with the previous experimental results. The analysis covers heat transfer and airflow specified in two different physical properties: the dry air with ideal gas properties and the moist air with air-vapor mixture properties. The computational model analyzed moist air by using the species transport mode, where the first species was set as water vapor and the second species was set as air. The mass ratio of each species at the inlet of the solar chimney was specified from the humidity ratio of air. For the solar chimney height of 3.0 m in this study, the scope of relative humidity analysis was between 30-80% in species transport mode. The steady state were found around 100 seconds after starting time. In the dry air simulation, air velocity and temperature in the air gap were similar for all humidity

values. However, by comparing dry air and moist air results, maximum air velocity and flow direction were different. The dry air had higher average air velocity than that of moist air by 15.6% at the outlet and by 26.3% at the inlet. Moist air in chimney also showed lower air velocity flowing up than that of the dry air, leading to less heat rejection from the chimney. Therefore, solar chimney with moist air accumulated heat and the overall temperature in the chimney increased. Air temperature in the solar chimney with moist air was approximately  $0.5^{\circ}\text{C}$  higher than that of the dry air. The simulation results of three air gap widths of 0.10 m, 0.20 m and 0.30 m, showed no impact on airflow direction or air temperature for dry air. In contrast, the moist air was found returning from the middle of the chimney height back to the inlet if the vent was too narrow or wide. The simulation results of three inlet and outlet heights of 0.05 m, 0.10 m and 0.15 m, showed air recirculation at the middle of the chimney and at the openings when the inlet and outlet was larger than 0.05 m. The proper aspect ratio of the chimney was at 13.8 : 1 or 3.0 m wall height and air gap width of 0.20 m. This corresponds to the field experiment in the previous researches. In Thailand, the heights of inlet and outlet openings should be limited to less than 0.05 m for maximum ventilation.

**Keywords:** Solar Chimney, free convection, buoyancy force



## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความกรุณาช่วยเหลือแนะนำอย่างดี จาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุดาภรณ์ สุดประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย และกรรมการสอบ ศาสตราจารย์ ดร. โจเซฟ เคตารี ศาสตราจารย์ ดร. ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช และอาจารย์ ดร. ดารณี จารีมิตร ที่ได้ให้คำปรึกษาและให้ความคิดเห็นต่าง ๆ ในงานวิจัยเล่มนี้ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ มาโดยตลอด ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณน้อยหน้า ปาน และเกล้าที่ให้คำปรึกษาเรื่องการใช้โปรแกรม ANSYS fluent 14.0 ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จได้ตามเวลาที่กำหนด

ขอขอบคุณส้มโอ ที่ช่วยตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหา และให้คำปรึกษาแนะนำในเรื่องต่าง ๆ

ผู้วิจัยขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ภายใต้ “ทุนวิจัยทั่วไป” ตามสัญญาเลขที่ ทน 55/2558

และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัวชินสรนันท์ ที่เป็นกำลังใจและเป็นแรงผลักดันที่ทำให้ประสบความสำเร็จอีกก้าวหนึ่งในชีวิตขอบคุณครับ

นายชัชวินท์ ชินสรนันท์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(5)
สารบัญตาราง	(10)
สารบัญภาพ	(11)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1. ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2. วัตถุประสงค์งานวิจัย	2
1.3. ตัวแปร	2
1.4. ขอบเขตงานวิจัย	2
1.5. สมมติฐานงานวิจัย	3
1.6. ระเบียบวิธีวิจัย	3
1.7. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.8. นิยามศัพท์	5
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1. ภูมิอากาศของประเทศไทย	6
2.1.1. อุณหภูมิของอากาศ (ambient temperature)	6
2.1.2. ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)	7
2.2. การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร	8

2.2.1. การถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อน	9
2.3. ผนังทึบและผนังทึบบนแบบปรับปรุง	10
2.3.1. หลักการของผนังทึบ	11
2.3.2. ระบบการทำงานของผนังทึบบนแบบปรับปรุงหรือปล่องรังสีดวงอาทิตย์	12
2.3.3. ปัจจัยที่มีผลต่อการระบายอากาศของปล่องรังสีดวงอาทิตย์	14
2.4. การระบายอากาศด้วยปล่องรังสีดวงอาทิตย์	16
2.4.1. ปล่องรังสีดวงอาทิตย์กับความชื้น	17
2.5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการจำลองด้วยโปรแกรม ANSYS fluent	19
2.5.1. งานวิจัยที่ศึกษา พลศาสตร์ของไหลด้วยโปรแกรม ANSYS fluent ด้วยก๊าซอุดมคติ	19
2.5.2. งานวิจัยที่ศึกษา พลศาสตร์ของไหลด้วยโปรแกรม ANSYS fluent ด้วยอากาศที่มีความชื้น	21
บทที่ 3 ทฤษฎีและการคำนวณ	25
3.1. ทฤษฎีพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์	25
3.2. การพัฒนาแบบจำลองที่ศึกษา	29
3.2.1. แบบจำลองอากาศแห้ง	29
3.2.2. แบบจำลองอากาศชื้น	32
บทที่ 4 วิธีการวิจัย	37
4.1. ประเภทของงานวิจัย	37
4.2. การดำเนินงานวิจัย	40
4.3. วิธีการศึกษาและขั้นตอนการทดลอง	41

บทที่ 5 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	50
5.1. ผลจากการศึกษาโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง	50
5.1.1. การทดสอบเครื่องมือพลศาสตร์ของไหล	50
5.1.1.1. การวิเคราะห์ความไวต่อขนาด mesh ในแบบจำลอง	51
5.1.1.2. ตรวจสอบความแม่นยำของการคำนวณโปรแกรม	58
5.2. ผลการศึกษาอิทธิพลของความชื้นที่มีต่อสมรรถนะปล่องรังสีดวงอาทิตย์	63
5.2.1. ผลการศึกษาจากแบบจำลองที่ 1 ด้วยอากาศแบบก๊าซอุดมคติ	64
5.2.2. ผลการศึกษาจากแบบจำลองที่ 1 ด้วยอากาศที่มีความชื้น	66
5.2.3. สรุปผลการศึกษาจากแบบจำลองที่ 1	69
5.3. ผลการศึกษาอิทธิพลของความชื้นและขนาดช่องอากาศระหว่างผนังที่มีต่อสมรรถนะปล่องรั้วสีดวงอาทิตย์	82
5.3.1. ผลการศึกษาจากแบบจำลองที่ 2 ด้วยอากาศแบบก๊าซอุดมคติ	82
5.3.2. ผลการศึกษาจากแบบจำลองที่ 1 ด้วยอากาศที่มีความชื้น	91
5.4. ผลการศึกษาอิทธิพลของความชื้นและขนาดทางเข้าออกอากาศที่มีต่อสมรรถนะปล่องรั้วสีดวงอาทิตย์	100
5.4.1. ผลการศึกษาจากแบบจำลองที่ 3 ด้วยอากาศแบบก๊าซอุดมคติ	100
5.4.2. ผลการศึกษาจากแบบจำลองที่ 3 ด้วยอากาศที่มีความชื้น	109
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	119
6.1 สรุปผลการทดลอง	119
6.1.1. ศึกษาการจำลอง และวิเคราะห์ผลอากาศผสมไอน้ำ ในระบบผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ ด้วยโปรแกรม ANSYS fluent 14.0	119
6.1.2. ศึกษาวิเคราะห์ผลของไอน้ำในอากาศที่มีต่อ อุณหภูมิในปล่องและความเร็วอากาศในระบบผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์	121
6.1.3. เสนอแนวทางการประยุกต์ และพัฒนาลักษณะทางกายภาพของปล่องรังสีดวงอาทิตย์ ในพื้นที่ที่มีอากาศชื้น	124

6.1.3.1	อิทธิพลของความชื้นและขนาดช่องอากาศระหว่างผนังที่มีต่อ สมรรถนะปล่องรังสีดวงอาทิตย์	124
6.1.3.2	อิทธิพลของความชื้นและขนาดช่องทางเข้าออกอากาศที่มีต่อ สมรรถนะปล่องรังสีดวงอาทิตย์	127
6.2	การจำลองเพิ่มเติม	132
6.3	ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัย	141
	รายการอ้างอิง	142
	ประวัติผู้เขียน	145



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1. กรอบความคิดงานวิจัย	4
2.1. สถิติความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (%) ของประเทศไทย	7
3.1. ค่าตั้งต้น (initial condition) ในกรณีอากาศแห้ง (dry air)	31
3.2. ค่าตั้งต้น (initial condition) ในกรณีอากาศชื้น (moist air)	36
4.1. ตารางการทดลองที่ 1	43
4.2. ตารางการทดลองที่ 2	44
4.3. ตารางการทดลองที่ 3	45
4.4. การกำหนดข้อมูลและค่าคุณสมบัติต่างๆของอากาศและระบบในกรณีพื้นฐาน	39
4.5. การกำหนดข้อมูลและค่าคุณสมบัติต่างๆของอากาศและระบบในกรณีศึกษา	41
5.1. จำนวน mesh และการตั้งค่าในโปรแกรม	51
5.2. การกำหนดค่า mass fraction ตามค่าความชื้นในอากาศ	63
5.3. อัตราการระบายอากาศของอากาศที่มีความชื้น	66
5.4. เปรียบเทียบอัตราการระบายอากาศของอากาศที่เป็นก๊าซอุดมคติปละอากาศชื้น	69
6.1. การกำหนดค่า mass fraction ตามค่าความชื้นในอากาศ	121

## สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1. รูปแบบการถ่ายเทความร้อน	9
2.2. กระบวนการพาความร้อนแบบอิสระ	9
2.3. ลักษณะของความเร็วและอุณหภูมิอากาศ ที่เกิดจากการพาความร้อนจากแผ่นเรียบแนวตั้ง	10
2.4. หลักการทำงานของผนังทროมบ์ผิวกระจก	11
2.5. หลักการทำงานของผนังทროมบ์	12
2.6. หลักการทำงานของผนังทროมบ์แบบปรับปรุงหรือปล่องรังสีดวงอาทิตย์	13
2.7. ภาพการทดลองการออกแบบผนังทროมบ์	15
2.8. ภาพจำลองการทดลองการออกแบบผนังทროมบ์ที่ใช้คอนกรีตบล็อก	16
2.9. ภาพลักษณะการระบายอากาศแบบ stack ventilation ที่เกิดขึ้นภายในอาคาร	17
2.10. ภาพการศึกษาผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์วัสดุไม้	18
2.11. ภาพการศึกษาผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์วัสดุไม้ที่มีแหล่งน้ำอยู่ด้านล่าง	18
2.12. ลักษณะทางกายภาพของผนัง	21
2.13. เงื่อนไขที่ขอบของช่องอากาศ ในปล่องรังสีดวงอาทิตย์	22
2.14. รูปด้านในของ Korsør Svømmehal	28
2.15. เงื่อนไขที่ขอบในงานวิจัย สระว่ายน้ำในอาคาร	30
2.16. การหาค่าสัดส่วนมวลไอน้ำในอากาศจากแผนภูมิ Psychrometric chart	30
3.1. ลักษณะทางกายภาพของปล่องรังสีดวงอาทิตย์	28
3.2. เงื่อนไขที่ขอบของช่องอากาศในปล่องรังสีดวงอาทิตย์ กรณีอากาศแห้ง	30
3.3. เงื่อนไขที่ขอบของช่องอากาศในปล่องรังสีดวงอาทิตย์ กรณีอากาศชื้น	34
4.1. ลักษณะปล่องรังสีดวงอาทิตย์ในกรณีแบบจำลองพื้นฐาน	38
4.2. ลักษณะปล่องรังสีดวงอาทิตย์ในกรณีศึกษา	39
4.3. ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย	40
4.4. ผลการทดลองจริงจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับ Trombe's wall	41
4.4. โชนภูมิอากาศประเทศไทย	42
5.1. ผลของความเร็วและอุณหภูมิที่ขนาด mesh 5-25	52
5.2. ผลของความเร็วและอุณหภูมิที่ขนาด mesh 5-20	53

5.3. ผลของความเร็วและอุณหภูมิที่ขนาด mesh 5-15	54
5.4. ผลของความเร็วและอุณหภูมิที่ขนาด mesh 5-10	55
5.5. ผลของอุณหภูมิที่ขนาด mesh 10-25 mm	56
5.6. ผลของความเร็วที่ขนาด mesh 10-25 mm	57
5.7. การเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองพลศาสตร์ของไหล กับผลการวัดค่าอุณหภูมิจริง	58
5.8. ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองเครื่องมือพลศาสตร์ของไหลของอัตราการระบาย อากาศแต่ละช่วงเวลา ของการทดลองจริงและโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล	59
5.9. ผลการเปรียบเทียบอัตราการระบายอากาศของการจำลองในโปรแกรมพลศาสตร์ ของไหลในช่วงเวลา 1). 14.15น. 2). 15.15น. และ 3). 16.30น.	60
5.10. กราฟอุณหภูมิภายในช่องอากาศระหว่างผนัง ,เจริญพร เลิศสถิตธนกร (2540)	61
5.11. การเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิภายในช่องอากาศ ระหว่างการจำลองด้วยโปรแกรม กับการทดลองจริง	61
5.12. การใส่ค่าอัตราส่วน mass fraction ในแบบจำลอง	62
5.13. ทิศทางและความเร็วลมของอากาศภายในช่องอากาศ (ideal gas)	64
5.14. การกระจายค่าอุณหภูมิของอากาศในช่องอากาศ (ideal gas)	65
5.15. ค่าอุณหภูมิในช่องอากาศ (ideal gas) ณ กึ่งกลางปล่องตามแกน y	65
5.16. ทิศทางและความเร็วลมของอากาศภายในช่องอากาศ (air-vapor mixture)	67
5.17. การกระจายค่าอุณหภูมิของอากาศในช่องอากาศ (air-vapor mixture)	67
5.18. ค่าอุณหภูมิในช่องอากาศ (air-vapor mixture) ณ กึ่งกลางปล่องตามแกน y	68
5.19. เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศที่มี ความชื้นในวินาทีที่ 0	70
5.20. เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศที่มี ความชื้นในวินาทีที่ 1	70
5.21. เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศที่มี ความชื้นในวินาทีที่ 2	71
5.22. เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศที่มี ความชื้นในวินาทีที่ 3	71
5.23. เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศที่มี ความชื้นในวินาทีที่ 4	72











5.84. เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นอากาศชั้น ในแบบจำลองที่มี ขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 15	111
5.85. เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นอากาศชั้น ในแบบจำลองที่มี ขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 20	112
5.86. เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นอากาศชั้น ในแบบจำลองที่มี ขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 60	112
5.87. เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นอากาศชั้น ในแบบจำลองที่มี ขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 100	113
5.88. เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นอากาศชั้น ในแบบจำลองที่มีขนาดช่อง ทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 0	115
5.89. เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นอากาศชั้น ในแบบจำลองที่มีขนาดช่อง ทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 4	115
5.90. เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นอากาศชั้น ในแบบจำลองที่มีขนาดช่อง ทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 10	116
5.91. เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นอากาศชั้น ในแบบจำลองที่มีขนาดช่อง ทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 15	116
5.92. เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นอากาศชั้น ในแบบจำลองที่มีขนาดช่อง ทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 20	117
5.93. เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นอากาศชั้น ในแบบจำลองที่มีขนาดช่อง ทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 60	117
5.94. เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นอากาศชั้น ในแบบจำลองที่มีขนาดช่อง ทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 100	118
6.1. การกำหนดค่าอัตราส่วน mass fraction ในแบบจำลองของผสม	120
6.2. เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศ ที่มีความชื้นในสภาวะคงที่	122
6.3. เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศที่มีความชื้น ในสภาวะคงที่	123
6.4. เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มี ขนาดช่องทางอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในสภาวะคงที่	125

6.5. เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่อง อากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในสภาวะคงที่	125
6.6. เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นอากาศชั้น ในแบบจำลองที่มีขนาด ช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน สภาวะคงที่	126
6.7. เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นอากาศชั้น ในแบบจำลองที่มีขนาดช่อง อากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในสภาวะคงที่	127
6.8. เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มี ขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกัน ในสภาวะคงที่	128
6.9. เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มี ขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกัน ในสภาวะคงที่	129
6.10. เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นอากาศชั้น ในแบบจำลองที่มี ขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกัน ในสภาวะคงที่	130
6.11. เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นอากาศชั้น ในแบบจำลองที่มี ขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกัน ในสภาวะคงที่	130
6.12. การศึกษาอิทธิพลของความชื้น และขนาดช่องอากาศที่มีต่อสมรรถนะผนังปล่อง รังสีดวงอาทิตย์	131
6.13. การศึกษาอิทธิพลของความชื้น และขนาดช่องทางเข้าออกอากาศที่มีต่อสมรรถนะ ผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์	132
6.14. การศึกษาอิทธิพลความร้อนของผนัง ต่อทิศทางและความเร็วอากาศในกรณี อากาศชั้น	133
6.15. การศึกษาอิทธิพลความร้อนของผนัง ต่อการกระจายค่าอุณหภูมิในกรณีอากาศชั้น	134
6.16. ลักษณะทางกายภาพของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้งานร่วมกับห้องพัก	135
6.17. ทิศทางการเคลื่อนอากาศภายในผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้งานร่วมกับห้องพัก ในกรณีอากาศชั้น วินาทีที่ 4	136
6.18. ทิศทางการเคลื่อนอากาศภายในผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้งานร่วมกับห้องพัก ในกรณีอากาศชั้น วินาทีที่ 20	137
6.19. ทิศทางการเคลื่อนอากาศภายในผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้งานร่วมกับห้องพัก ในกรณีอากาศชั้น วินาทีที่ 60	137
6.20. ทิศทางการเคลื่อนอากาศภายในผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้งานร่วมกับห้องพัก ในกรณีอากาศชั้น วินาทีที่ 100	138

- 6.21. การกระจายค่าอุณหภูมิภายในผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้งานร่วมกับห้องพัก 139  
ในกรณีอากาศชั้น วินาทีที่ 4
- 6.22. การกระจายค่าอุณหภูมิภายในผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้งานร่วมกับห้องพัก 139  
ในกรณีอากาศชั้น วินาทีที่ 20
- 6.23. การกระจายค่าอุณหภูมิภายในผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้งานร่วมกับห้องพัก 140  
ในกรณีอากาศชั้น วินาทีที่ 60
- 6.24. การกระจายค่าอุณหภูมิภายในผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้งานร่วมกับห้องพัก 140  
ในกรณีอากาศชั้น วินาทีที่ 100







# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

อาคารในเขตภูมิอากาศแบบร้อนชื้นจะมีการสะสมความร้อนภายในตัวอาคาร ที่ผลต่อความรู้สึกสบายกับผู้ใช้งาน อาคารส่วนใหญ่จึงมีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศเพื่อแก้ไขปัญหาลดและสร้างความรู้สึกสบายแก่ผู้ใช้งาน ในขณะที่เดียวกันกลับกลายเป็นภาระค่าไฟฟ้า และพลังงานโดยรวมที่ใช้ไปมีแนวโน้มที่สูงมากขึ้นทุก ๆ ปี ซึ่งปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้ามาคิดเป็น 60 เปอร์เซ็นต์ของภาระการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศ สถาปัตยกรรมหรืออาคารที่สอดคล้องกับการอนุรักษ์พลังงาน จึงเข้ามามีบทบาทในการออกแบบอาคารเพื่อแก้ไขปัญหาลดการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้น การประยุกต์ใช้ผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ (solar chimney) เป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยป้องกันความร้อนให้กับพื้นที่ภายในอาคาร โดยงานวิจัยนี้จะศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนของผนังชนิดนี้ในสภาวะภูมิอากาศของประเทศไทย

งานวิจัยนี้ศึกษาพฤติกรรมการไหลของอากาศภายในช่องอากาศของผนัง 2 ชั้นที่เรียกว่า ผนังทอมบ์แบบปรับปรุง หรือผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ โดยจะศึกษา ความเร็วอากาศและอุณหภูมิภายในปล่อง ที่มีแรงลอยตัวของอากาศร้อน (buoyancy force) ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อสมรรถนะการทำงานของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ จากการศึกษาของงานวิจัยที่เกี่ยวกับผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านมา จากทดลองจริงและการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่านักวิจัยได้สมมติให้อากาศที่ไหลผ่านปล่องอยู่ในสภาพก๊าซในอุดมคติ (ideal gas) ทว่าสภาพอากาศจริงในประเทศไทยมีความชื้นในอากาศสูง ความชื้นในอากาศจะส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของปล่องรังสีดวงอาทิตย์ ในการทดลองหนึ่งภายใต้สภาพอากาศจริงพบว่า ความชื้นในอากาศมีผลต่ออุณหภูมิผิวผนัง อุณหภูมิอากาศและอัตราการระบายอากาศภายในช่องอากาศของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์อย่างมีนัยสำคัญ (กนก นพวงศ์, 2557)

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาวิธีการจำลองและการวิเคราะห์ผลของความชื้นในอากาศด้วยโปรแกรม ANSYS Fluent 14.0 โดยที่จะใช้แบบจำลองอากาศผสมไอน้ำ (air-vapor mixture) ซึ่งเป็นการศึกษาเชิงลึกเพื่อให้เข้าใจพฤติกรรมของความชื้นที่มีผลต่ออุณหภูมิ และความเร็วอากาศภายในช่องอากาศ ที่มีผลกระทบกับประสิทธิภาพการทำงานของปล่องรังสีดวงอาทิตย์ให้กับห้องพักอาศัย ผลการศึกษาจะทำให้เข้าใจถึงพฤติกรรม ทิศทางการไหลของอากาศ และสามารถนำผลการวิจัยไปพัฒนาต่อในการเปลี่ยนลักษณะทางกายภาพของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ให้มีความเหมาะสม เพื่อเพิ่มสมรรถนะของผนังชนิดนี้ให้ดีขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาการจำลอง และการวิเคราะห์ผล อากาศผสมไอน้ำ (air - vapor mixture) ในระบบผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ ด้วยโปรแกรม ANSYS Fluent 14.0

1.2.2 ศึกษาวิเคราะห์ผลของไอน้ำในอากาศที่มีต่อ อุณหภูมิอากาศในปล่อง และ ความเร็วอากาศในระบบผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์

1.2.3 เสนอแนวทางการประยุกต์ และพัฒนาลักษณะทางกายภาพของผนังปล่อง รังสีดวงอาทิตย์ ในพื้นที่ที่มีอากาศชื้น

## 1.3 ตัวแปร

- |                 |     |  |
|-----------------|-----|--|
| 1) ตัวแปรต้น    | คือ | อัตราส่วนความชื้นในอากาศ (humidity ratio, $kgH_2O/kg_{dryair}$ ) |
|                 |     | ขนาดช่องทางเข้าออกของอากาศ ( $m$ )                               |
|                 |     | แบบจำลองการไหลของอากาศ   |
| 2) ตัวแปรตาม    | คือ | อุณหภูมิระหว่างช่องอากาศ ( $K$ )                                 |
|                 |     | ความเร็วอากาศภายในช่องอากาศ ( $m/s$ )                            |
| 3) ตัวแปรควบคุม | คือ | ลักษณะทางกายภาพของผนัง ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม                     |
|                 |     | อุณหภูมิผนัง ช่องทางเข้าอากาศ และออกของช่องอากาศ                 |

## 1.4 ขอบเขตงานวิจัย

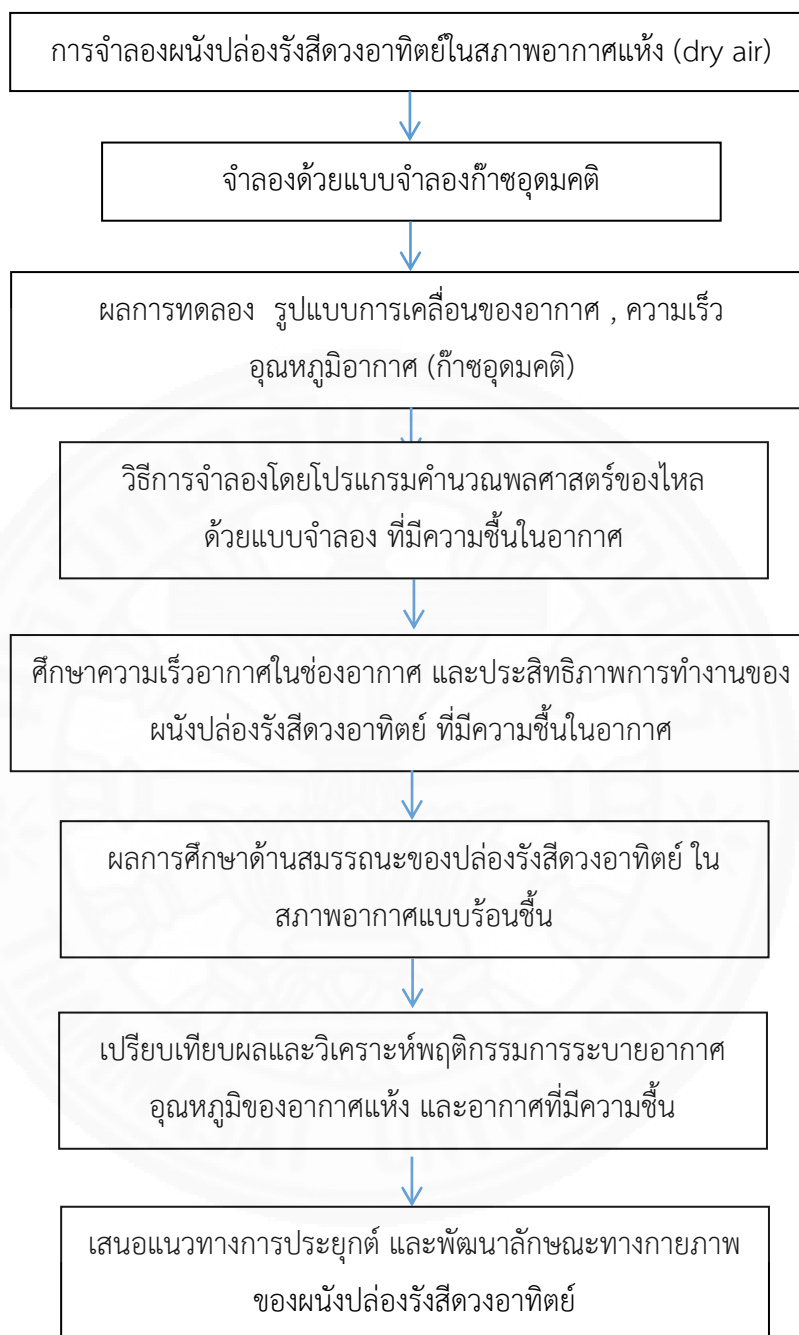
งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการจำลองการวิเคราะห์ผลของอากาศผสมไอน้ำ และ พฤติกรรมการไหลของอากาศแห่งเปรียบเทียบผลกับอากาศผสมไอน้ำในระบบผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ ด้วยการสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขและคำนวณด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล ANSYS Fluent 14.0

### 1.5 สมมติฐานงานวิจัย

ความชื้นในอากาศ มีผลต่อพฤติกรรมการไหลของอากาศ ความเร็วอากาศ และ อุณหภูมิภายในช่องอากาศของปล่องรังสีดวงอาทิตย์

### 1.6 ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาวิธีการจำลองวิเคราะห์ผลของอากาศชื้น ที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ ในสภาพอากาศแบบร้อนชื้นด้วยการสร้างแบบจำลองในโปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamic, CFD) ชื่อ ANSYS Fluent 14.0



ภาพที่ 1.1 กรอบความคิดงานวิจัย

## 1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการจำลองวิเคราะห์ผลของอากาศขึ้นด้วยโปรแกรม ANSYS fluent 14.0 และแนวทางการประยุกต์ใช้งานผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ในประเทศไทยและในเขตสภาพอากาศแบบร้อนชื้น

## 1.8 นิยามศัพท์

1.8.1 ผนังทรอมบ์ (Trombe wall) เป็นระบบผนังที่สามารถป้องกันความร้อนด้วยการเคลื่อนที่ของอากาศ เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในช่องอากาศระหว่างผนัง โดยผนังทรอมบ์มีองค์ประกอบหลัก คือ ผนังกระจก ช่องว่างอากาศ และผนังคอนกรีต โดยมีหลักการทำงานคือ เมื่อผนังกระจกได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ จะทำให้อากาศภายในช่องอากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น ความหนาแน่นอากาศน้อยลงและลอยตัวสูงขึ้นเนื่องจากแรงลอยตัว ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศภายในช่องว่างเพื่อการป้องกันความร้อนและการใช้ความร้อนนั้นสร้างความอบอุ่นให้กับพื้นที่ภายใน

1.8.2 ผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ (solar chimney) หรือผนังทรอมบ์แบบปรับปรุง (Modified Trombe Wall) คือ ผนังทรอมบ์ที่มีการเปลี่ยนวัสดุภายนอกจากกระจกเป็นผนังทึบเพื่อป้องกันรังสีความร้อนที่จะเข้าสู่อาคารสูงเกินไป

1.8.3 แรงลอยตัว (buoyancy force) คือ แรงเคลื่อนที่ของอากาศธรรมชาติ ที่เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นอากาศที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิ

1.8.4 การพาความร้อนแบบอิสระ (free convection) เกิดขึ้นในกรณีที่ของไหลพาความร้อนไหลผ่านผิวของของแข็งด้วยแรงลอยตัวที่เกิดขึ้น จากความแตกต่างของความหนาแน่นในของไหล เพราะอุณหภูมิที่แตกต่างกัน

## บทที่ 2

### วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้ระบบผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ และประสิทธิภาพการทำงานของผนังชนิดนี้ในเขตอากาศร้อนชื้น ซึ่งมีทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

- 2.1 ภูมิอากาศของประเทศไทย
- 2.2 การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคาร
- 2.3 ผนังทอมป์ และผนังทอมป์แบบปรับปรุง
- 2.4 การระบายอากาศทางด้วยปล่องรังสีดวงอาทิตย์
- 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการจำลองด้วยโปรแกรม ANSYS fluent

#### 2.1 ภูมิอากาศของประเทศไทย

ประเทศไทยมีที่ตั้งอยู่ในซีกโลกเหนือทางด้านตะวันออกเฉียงใต้ของภาคพื้นทวีปยูเรเชีย โดยที่ทางเหนือของประเทศประกอบด้วยภาคพื้นดินกว้างใหญ่ส่วนทางตอนใต้ และทางตะวันออกของประเทศจะเป็นภาคพื้นน้ำที่กว้างใหญ่ จากการที่ประเทศไทยมีที่ตั้งอยู่ระหว่างพื้นดินและ พื้นน้ำที่กว้างขวาง จึงทำให้ประเทศไทยอยู่ใต้อิทธิพลของลมมรสุมฤดูร้อนที่พัดจากน้ำเข้าสู่ภาคพื้นทวีป และลมมรสุมฤดูหนาวที่พัดจากภาคพื้นทวีปลงสู่ทะเล อันเป็นผลให้ในช่วงฤดูร้อนประเทศไทยจะมีสภาพอากาศชุ่มชื้นและมีฝนตกชุกติดต่อกันโดยเฉลี่ยประมาณ 6 เดือน ส่วนในช่วงฤดูหนาวจะได้รับอิทธิพลจากลมมรสุม ฤดูหนาว จึงทำให้มีสภาพอากาศที่แห้งแล้งและหนาวเย็น ระยะเวลา 3 เดือนเท่านั้น (กรมอุตุนิยมวิทยา, 2544)

##### 2.1.1. อุณหภูมิของอากาศ (ambient temperature , $T_a$ )

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตอากาศร้อน ส่งผลให้มีสภาพอากาศร้อนและมีความชื้นสูงเกือบตลอดทั้งปี อุณหภูมิเฉลี่ยของประเทศไทยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 27 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิอากาศที่พื้นผิวจะแตกต่างกันไปในแต่ละพื้นที่และฤดูกาลที่เปลี่ยนแปลงไป โดยในพื้นที่บริเวณตั้งแต่ภาคกลาง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคเหนือ จะมีอุณหภูมิระหว่างวันที่แตกต่างกันมาก โดยในช่วงฤดูร้อนอุณหภูมิจะสูงสุดในช่วงบ่าย ซึ่งจะมีอุณหภูมิสูงเกือบ 40 องศาเซลเซียส และอาจจะมากกว่านั้น

ในช่วงเดือนมีนาคม เมษายน และพฤษภาคม โดยเฉพาะในช่วงเดือนเมษายนจะเป็นเดือนที่มีอุณหภูมิอากาศสูงที่สุด และในเดือนธันวาคมถึงมกราคมจะเป็นช่วงที่มีอากาศต่ำมากที่สุดในรอบปี

### 2.1.2. ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, RH)

อัตราส่วนระหว่าง ปริมาณความชื้น (ไอน้ำ) ที่มีอยู่จริงในอากาศ กับปริมาณความชื้น (ไอน้ำ) ที่อากาศขณะนั้นจะรองรับได้เต็มที่ ณ อุณหภูมิเดียวกัน หากปริมาณความชื้นมีมากกว่าก็จะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ หน่วยของความชื้นสัมพัทธ์ จะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์

ประเทศไทยตั้งอยู่อยู่ในเขตร้อนใกล้เส้นศูนย์สูตร จึงมีอากาศร้อนชื้นปกคลุมเกือบตลอดทั้งปี แต่บริเวณที่อยู่ลึกเข้าไปในแผ่นดิน ในพื้นที่ภาคกลางขึ้นไประดับความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงในช่วงฤดูหนาวและช่วงฤดูร้อน โดยเฉพาะในฤดูร้อนจะมีความชื้นสัมพัทธ์ลดลงต่ำที่สุดในพื้นที่ดังกล่าวจะมีระดับความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยตลอดทั้งปี 73-75 เปอร์เซ็นต์ และระดับความชื้นสัมพัทธ์จะลดลงเหลือ 64-69 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในช่วงฤดูร้อนในบริเวณที่อยู่ติดกับชายฝั่งทะเล ได้แก่ ภาคตะวันออกและภาคใต้จะมีความชื้นสัมพัทธ์สูงกว่าบริเวณอื่น ๆ ในพื้นที่ประเทศไทย โดยเฉพาะภาคใต้ที่ติดทะเล 2 ด้านจึงทำให้มีความชื้นสัมพัทธ์สูงสุดเฉลี่ยตลอดปี 79-80 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1

สถิติความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย ( % ) ของประเทศไทยในช่วงฤดูกาลต่าง ๆ

ภาค	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ตลอดทั้งปี
เหนือ	73	62	81	74
ตะวันออกเฉียงเหนือ	69	65	80	72
กลาง	71	69	79	73
ตะวันออก	71	74	81	76
ใต้ฝั่งตะวันออก	81	77	78	79
ใต้ฝั่งตะวันตก	77	76	84	80

หมายเหตุ จาก กรมอุตุนิยมวิทยา, 2544

## 2.2 การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

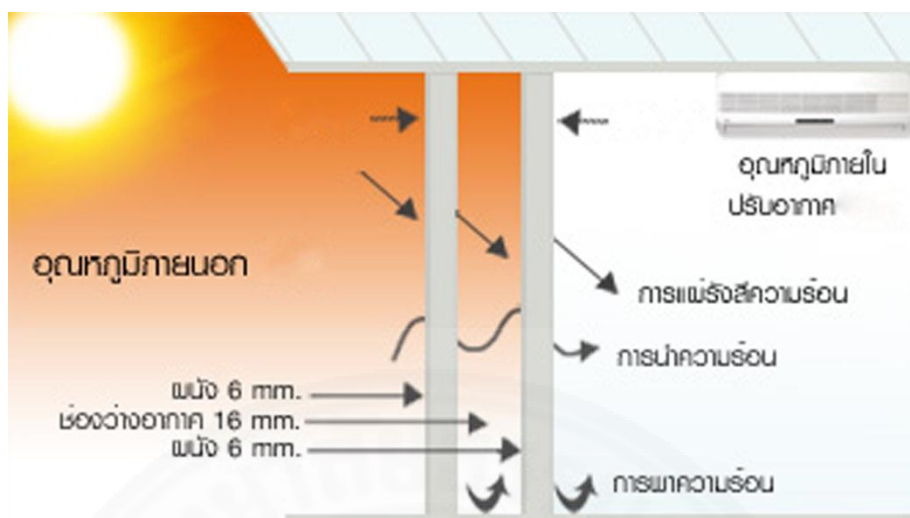
การถ่ายเทความร้อน คือ การที่ความร้อนเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ สามารถเกิดขึ้นได้ 3 วิธีด้วยกัน คือ การนำความร้อน (conduction) การพาความร้อน (convection) และการแผ่รังสีความร้อน (radiation) การเคลื่อนที่ของความร้อนทั้ง 3 วิธีนี้จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิขึ้น ดังรูปที่ 2.1 (นักสิทธิ์ คุวัฒนาชัย, 2533)

1) การนำความร้อน (conduction) คือปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนถ่ายเทภายในวัตถุหนึ่ง ๆ หรือระหว่างวัตถุสองชิ้นที่สัมผัสกัน โดยที่ทิศทางของการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณ ที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

2) การพาความร้อน (convection) คือเป็นกระบวนการถ่ายเทพลังงานความร้อนที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของมวลของของไหล เช่น อากาศ เมื่อของไหลสัมผัสกับพื้นผิวของวัตถุใด ๆ ที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนขึ้น ในสภาพธรรมชาติเมื่อของไหลถูกทำให้ร้อนจะสามารถเคลื่อนที่จากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่งได้ทำให้เกิดการไหลเวียนของความร้อน โมเลกุลที่เย็นกว่าและหนักจะตกลงข้างล่าง ส่วนที่ร้อนกว่าจะเบาและลอยขึ้นด้านบน การพาความร้อนเกิดได้ 2 ลักษณะคือ การพาความร้อนโดยธรรมชาติ และการพาความร้อนโดยการบังคับ

3) การแผ่รังสีความร้อน (radiation) การแผ่รังสีความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนผ่านช่องว่างใด ๆ ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จากพื้นผิวที่มีอุณหภูมิสูงไปยังพื้นผิวที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าในทิศทางทุกทิศทางในช่วงเวลากลางคืนเมื่ออุณหภูมิภายนอกลดต่ำลง ผืนที่บจะจะมีการแผ่รังสีความร้อนจากตัวผนังสู่สิ่งแวดล้อม การถ่ายเทความร้อนเหล่านี้ขึ้นกับปัจจัยหลายประการ เช่น อุณหภูมิผืนผนัง อุณหภูมิอากาศภายนอก ค่าสมบัติสภาพนำความร้อน (conductivity) สัมประสิทธิ์การแผ่รังสี (emissivity) ของวัสดุ ฯลฯ



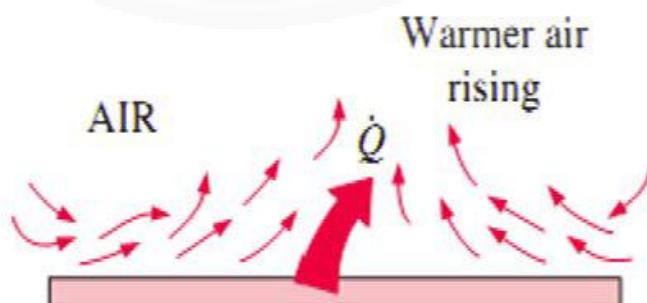


ภาพที่ 2.1 รูปแบบการถ่ายเทความร้อน จาก GREATWALL, 1988 .CO.,LTD. Copyright, 2011

### 2.2.1 การถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อน

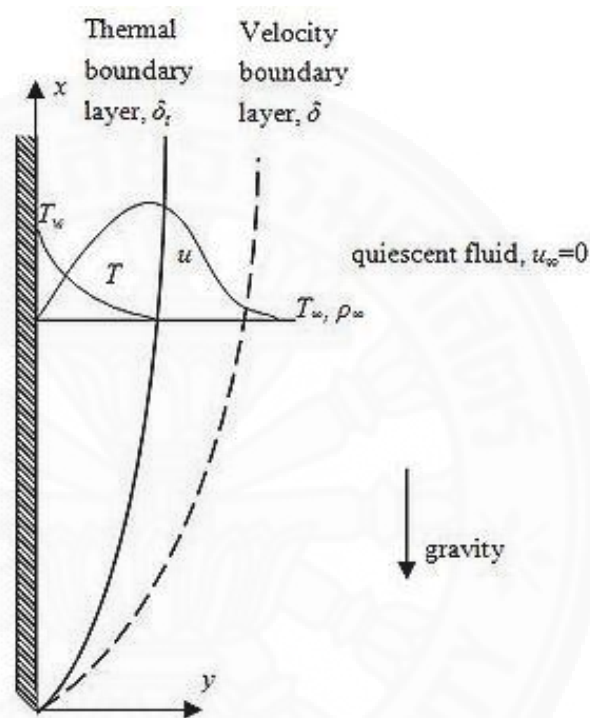
การพาความร้อน คือการถ่ายโอนพลังงานความร้อนระหว่างพื้นผิวของก๊าซและของไหล (fluid) เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิประกอบด้วย 2 กลไกคือ การพาความร้อนแบบอิสระ (free convection) และการพาความร้อนแบบบังคับ (forced convection)

การพาความร้อนแบบอิสระ (free convection) คือการเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างพื้นผิวของแข็งและของไหลโดยใช้กลไกทางธรรมชาติทำให้ของไหลเคลื่อนที่ ของไหลที่อยู่ใกล้กับผิวของของแข็งสามารถเคลื่อนที่ได้โดยแรงลอยตัว ที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิในชั้นของของไหลขึ้น ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 กระบวนการพาความร้อนแบบอิสระ จาก Cengel, 2004

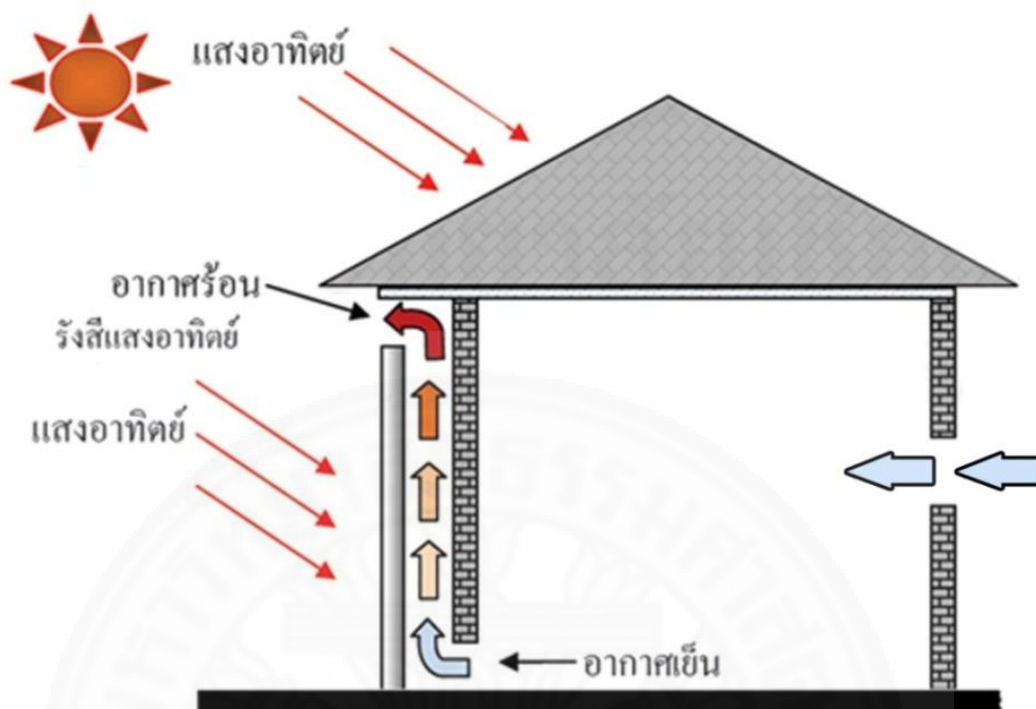
แต่ในงานวิจัยนี้จะศึกษารูปแบบการระบายความร้อนของผนังทროมบ์การไหลของอากาศภายในช่องอากาศอาศัยแรงลอยตัว (buoyancy force) เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิและความหนาแน่นของอากาศ ซึ่งอากาศที่มีอุณหภูมิสูงมีความหนาแน่นน้อยจะลอยตัวสูงอยู่เหนืออากาศที่มีอุณหภูมิต่ำมีความหนาแน่นมาก ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอากาศซึ่งเป็นกรณีการพาความร้อนบนแผ่นผิวเรียบแนวตั้ง ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ลักษณะของความเร็วและอุณหภูมิอากาศ ที่เกิดจากการพาความร้อนจากแผ่นเรียบแนวตั้ง จาก Cengel, 2003

### 2.3 ผนังทროมบ์ (Trombe's wall) และผนังทროมบ์แบบปรับปรุง (Modified Trombe Wall)

ผนังทროมบ์ คือ ผนังที่ถูกออกแบบเพื่อป้องกันความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ ประกอบด้วยผนัง 2 ชั้น ชั้นนอกเป็นกระจกและชั้นในเป็นผนังทึบ ช่องอากาศระหว่างชั้นนอกและชั้นในจะระบายอากาศออกไปทางช่องเปิดด้านบนโดยอาศัยปรากฏการณ์ชั้นความร้อน (stack effect) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่อากาศร้อนจะลอยตัวสูงขึ้นเนื่องจากความหนาแน่นของอากาศลดลงและระบายออกทางช่องเปิดด้านบนดังรูปภาพที่ 2.4

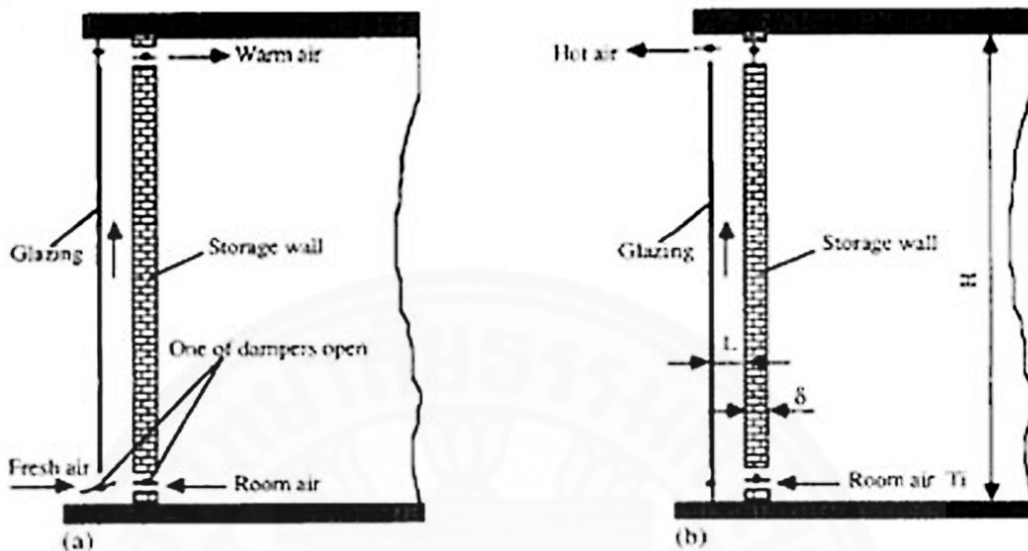


ภาพที่ 2.4 หลักการทำงานผนังทროมบ์ผิวกระจก จาก อัครศิภัทร์ ลีระเศรษฐากร, 2552

### 2.3.1 หลักการทำงานของผนังทროมบ์

เมื่ออากาศภายในปล่องหรือช่องอากาศระหว่างผนัง 2 ชั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้นจากสาเหตุต่าง ๆ เช่น การได้รับรังสีความร้อนจากแสงอาทิตย์ การได้รับความร้อนจากผู้อยู่อาศัย การได้รับความร้อนจากเครื่องใช้ไฟฟ้า จะมีผลทำให้อุณหภูมิจากบริเวณช่องอากาศระหว่างผนัง 2 ชั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้นเมื่อเทียบกับอากาศโดยรอบในส่วนของช่องเปิดทั้งด้านบน และด้านล่าง โดยความแตกต่างของความหนาแน่นของอุณหภูมิและความหนาแน่นดังกล่าว ส่งผลทำให้เกิดปรากฏการณ์ตามธรรมชาติ คือ มีการเคลื่อนที่ของกระแสอากาศไหลขึ้นตามปล่อง โดยอากาศร้อนจะลอยตัวสูงขึ้น และอากาศที่เย็นจะไหลเข้าแทนที่ ทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศขึ้นในพื้นที่ภายในห้อง เป็นการระบายอากาศร้อนออกไปโดยไม่ต้องใช้พลังงานไฟฟ้า หรือพลังงานอื่นๆ จากนอกระบบ ดังภาพที่ 2.5

### 2.3.2 ระบบการทำงานของผนังทროมบ์



ก) ระบบผนังทროมบ์ในฤดูหนาว

ข) ระบบผนังทროมบ์ในฤดูร้อน

ภาพที่ 2.5 หลักการทำงานของผนังทროมบ์ จาก Gan, 1998

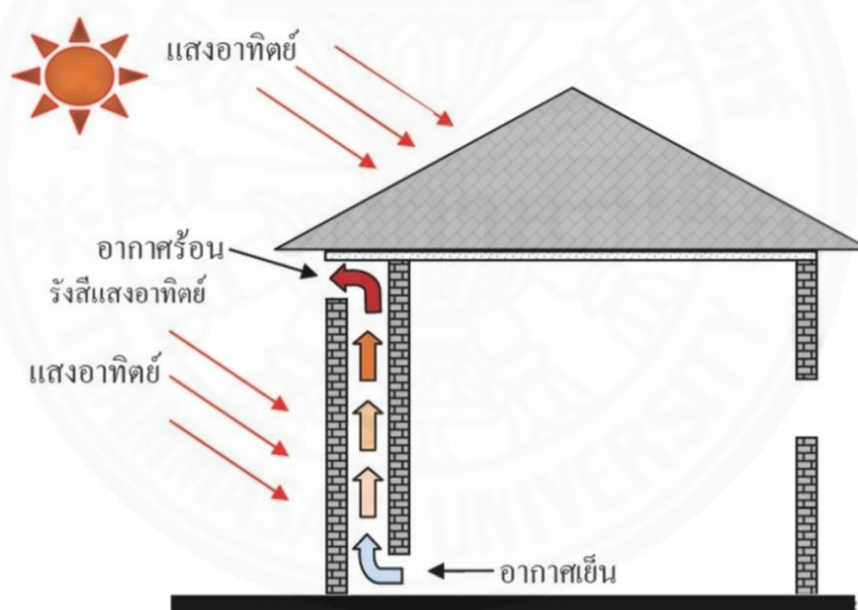
จากการศึกษาพบว่า ประเทศที่มีอากาศหนาวจะใช้ระบบการทำงานของผนังทროมบ์ เพื่อสร้างความอบอุ่นให้กับพื้นที่ใช้สอยภายใน โดยการใช้ความร้อนที่สะสมจากพลังงานแสงอาทิตย์ ในช่องอากาศมาทำความร้อนให้กับพื้นที่ภายใน ดังภาพที่ 2.5ก ส่วนในฤดูร้อนที่มีอุณหภูมิภายนอกสูงกว่าภายใน ระบบผนังทროมบ์ในฤดูหนาวนำอากาศร้อนเข้าสู่พื้นที่ภายใน ทำให้ผู้ใช้สอยเกิดสภาวะไม่สบายในพื้นที่ใช้สอย การเปิดช่องเปิดในผนังกระจกด้านนอกและปิดช่องผนังด้านในจะเป็นการระบายอากาศผ่านช่องอากาศแนวตั้งระหว่างผนัง ที่ดึงอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าเข้ามาใช้ในพื้นที่ใช้สอยได้ดังภาพที่ 2.5ข

### 2.3.2 ระบบการทำงานของผนังทროมบ์แบบปรับปรุงหรือปล่องรังสีดวงอาทิตย์

ผนังทროมบ์แบบปรับปรุง มีหลักการทำงานที่เหมือนกับผนังทროมบ์ คือเป็นผนัง 2 ชั้น ที่ใช้หลักการระบายอากาศผ่านช่องว่างอากาศ โดยการเคลื่อนที่ของอากาศจะเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิของทางช่องทางเข้าและทางออกอากาศ แต่วัสดุภายนอกของผนังทროมบ์แบบปรับปรุง

จะเปลี่ยนเป็นผนังทึบแทนวัสดุกระจก เพื่อป้องกันพลังงานความร้อนที่จะถ่ายเทเข้าสู่อาคารมากเกินไปและ ยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพความเป็นฉนวนของผนัง ดังภาพที่ 2.6 แต่รูปแบบของผนังทึบแบบปรับปรุงได้มีการนำมาใช้ในเขตร้อนชื้นจะถูกเรียกว่าอีกชื่อหนึ่งว่า ผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ (solar chimney)

ดังนั้นในการศึกษา สมรรถนะการทำงานจึงทำการศึกษาระบบผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ (solar chimney) เนื่องจาก มีความเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นมากกว่า ผนังทึบธรรมดา โดยปัญหาที่พบในการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา ยังขาดการศึกษาเชิงลึกด้านประสิทธิภาพการทำงานของระบบปล่องรังสีดวงอาทิตย์ (solar chimney) ในสภาพอากาศที่มีความชื้น ซึ่งจากการศึกษาพบว่าความชื้นมีผลต่อประสิทธิภาพการระบายอากาศและการป้องกันความร้อนของผนังชนิดนี้



ภาพที่ 2.6 หลักการทำงานผนังทึบแบบปรับปรุงหรือปล่องรังสีดวงอาทิตย์ จาก อัครศิภัทร์ ลีระเศรษฐากร, 2552 (ดัดแปลง)

### 2.3.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการระบายอากาศของปล่องรังสีดวงอาทิตย์

ปัจจัยที่มีผลต่อการระบายอากาศของปล่องรังสีดวงอาทิตย์มีทั้งหมด 5 ปัจจัยคือ

1) ความกว้างช่องอากาศ (air gap) แรงต้านทานการไหลของอากาศโดยมากจะเกิดจากความสูงของช่องทางเข้าออก ของช่องอากาศ และแรงต้านอีกส่วนหนึ่งเกิดจากความกว้างของช่องอากาศ ซึ่งเมื่อทำการเปรียบเทียบกันแล้ว แรงต้านทานนี้จะน้อยลงเมื่อเพิ่มความกว้างช่องอากาศ แต่ก็ยังเป็นส่วนน้อยเมื่อเทียบกับแรงต้านทานที่เกิดจากความสูงของช่องทางเข้าออก ของช่องอากาศ ซึ่งจากการศึกษาวิจัยพบว่า อัตราส่วนของความกว้างของช่องผนังต่อความสูงมีผลต่อการป้องกันความร้อนและการระบายอากาศ ในการใช้ผนังทროมบ์แบบปรับปรุงเพื่อลดอุณหภูมิในอาคารและลดภาระการปรับอากาศ พบว่า อัตราส่วนของความกว้างของช่องผนังต่อความสูงเท่ากับ 0.105 จะทำให้เกิดการระบายอากาศที่ดีที่สุดในกรณีเปิดเครื่องปรับอากาศ (วีรวัฒน์ เทศเกตุ, 2549) ในการนำผนังทროมบ์ผิวกระจกมาใช้ในการก่อสร้างที่พักอาศัย อัคริภัสร์ สิริเศรษฐากร (2552) พบว่า อัตราส่วน 0.053 จะให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนที่ดีที่สุดในฤดูหนาว และอัตราส่วน 0.070 จะให้ประสิทธิภาพการระบายความร้อนที่ดีที่สุดในฤดูร้อน ดังรูปที่ 2.7 ผนังทროมบ์ที่มีความสูง 2 เมตร และระยะห่างระหว่างผนังกับกระจกที่ 14.5 เซนติเมตร หรือมีอัตราส่วนเท่ากับ 0.072 พบว่ามีภาระระบายอากาศแบบธรรมชาติได้สูงที่สุดสำหรับบ้านพักอาศัยในเขตร้อนชื้น (สิริศักดิ์ แก้วเรือง, 2540) ในการศึกษาวิจัยด้วยโปรแกรม CFD และตั้งค่าอากาศเป็น Ideal Gas โดย (Gan, 2006) พบว่าความกว้างของช่องอากาศที่เพิ่มขึ้นในระยะตั้งแต่ 0.4 – 1.0 เมตร ส่งผลต่ออัตราการระบายอากาศที่เพิ่มมากขึ้น



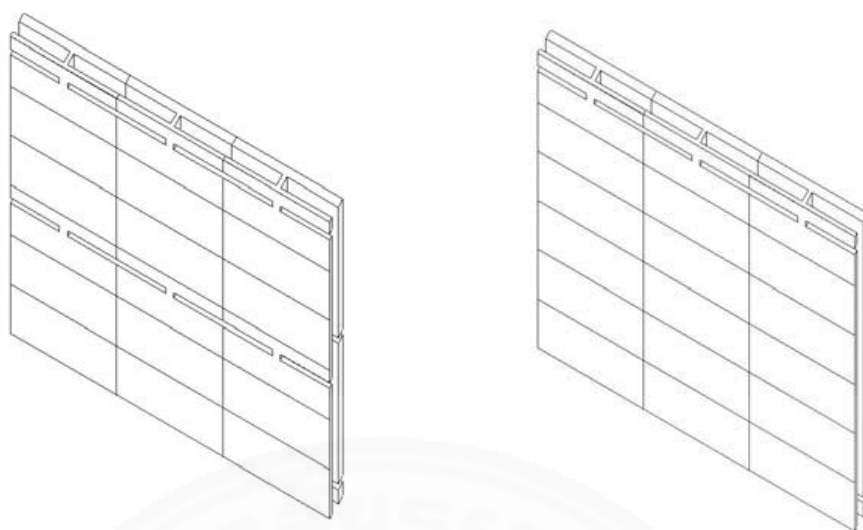
ภาพที่ 2.7 ภาพการทดลองการออกแบบผนังทროมบ์ จาก อัครศิภัสร์ ลีระเศรษฐากร, 2552

2) ความร้อนของผนัง (wall heat gain) ผนังที่ได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์มาก หรือได้รับความร้อนมาก ทำให้อากาศในช่องอากาศมีอุณหภูมิสูงขึ้น และเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิในช่องทางเข้าออกมากขึ้น ส่งผลให้อัตราการระบายอากาศของช่องอากาศมีอัตราการระบายอากาศที่เพิ่มมากขึ้น

3) ความสูงของผนัง (wall height) เกี่ยวข้องกับแรงลอยตัวของอากาศ (buoyancy force) ที่ส่งผลต่ออัตราการระบายอากาศ และการเพิ่มความสูงของผนัง 1/4 เทียบเท่ากับการเพิ่มขึ้นของความร้อนที่ได้รับ 3/4 ส่วน

4) การป้องกันความร้อนของผนัง (thermal insulation) เนื่องจากความหนาผนังจะมีผลต่อความจุความร้อนที่แตกต่างกัน ผนังที่มีความหนาจะส่งผลให้มีการจุความร้อนได้มากขึ้น ซึ่งมีผลต่อการปล่อยความร้อนเข้าสู่ช่องอากาศ โดยความหนาที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิผนัง และอัตราการระบายอากาศที่เพิ่มมากขึ้น

5) ตำแหน่งช่องเปิด (opening position) ตำแหน่งช่องอากาศเข้า-ออก สามารถอยู่ตำแหน่งใด ๆ ในส่วนผนัง ซึ่งตำแหน่งช่องเข้า-ออก จะสัมพันธ์กับรูปแบบการระบายอากาศที่เกิดขึ้น จากการศึกษาวิจัยพบว่า ความสูงของช่องเปิดมีผลต่อประสิทธิภาพการระบายอากาศและการป้องกันความร้อน ทศนีย์ สุนทรธรรม, 2551 พบว่า อัตราการระบายอากาศของผนังมีประสิทธิภาพมากที่สุด ในกรณีที่มีความสูงของช่องระบายอากาศ 50 เซนติเมตรจากพื้น ดังรูปภาพที่ 2.8



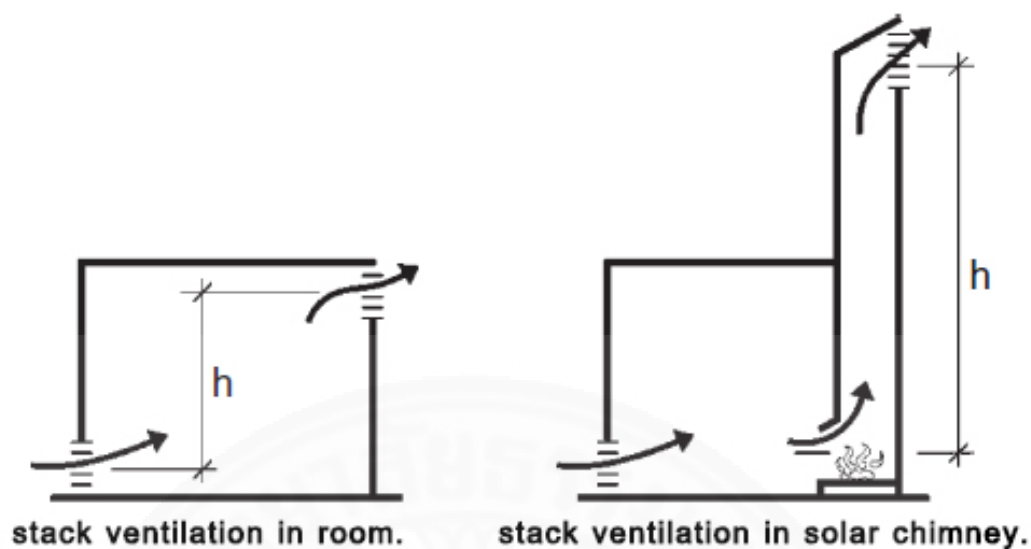
ก) ความสูงช่องเปิดที่ 50 เซนติเมตรจากพื้น    ข) ความสูงช่องเปิดที่ 110 เซนติเมตรจากพื้น

ภาพที่ 2.8 ภาพจำลองการทดลองการออกแบบผนังทროมบ์ที่ใช้คอนกรีตบล็อก จาก ทศนีย์ สุนทรธรรม, 2551

#### 2.4 การระบายอากาศด้วยปล่องรังสีดวงอาทิตย์

หลักการพื้นฐานของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ได้อธิบายไว้แล้วในกรณีผนังทროมบ์แบบปรับปรุง ประสิทธิภาพของผนังชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลและความเร็วของอากาศภายในช่องอากาศระหว่างผนัง ซึ่งจะส่งผลต่อการระบายอากาศผ่านช่องอากาศ ที่มีผลกับอุณหภูมิโดยรวมภายในปล่องระบายอากาศ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานได้แก่ อุณหภูมิภายนอก ความสูงช่องอากาศ ขนาดความกว้างปล่อง และทิศทางช่องทางออก (outlet) ที่ต้องอยู่ในทิศทางที่อับลม ในกรณีที่ต้องการเพิ่มการระบายเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ (stack effect) ให้มากขึ้นนั้น ต้องออกแบบปล่องรังสีดวงอาทิตย์ (solar chimney) ภายในอาคารให้ด้านใดด้านหนึ่งของปล่องสัมผัสกับรังสีจากดวงอาทิตย์โดยตรง เพื่อให้มีการแผ่รังสีความร้อนเข้าสู่ปล่อง ทำให้เกิดความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอกมากขึ้น จนทำให้สามารถเพิ่มการไหลของอากาศภายในปล่องได้ (Szokolay, 2004, p.16) ดังรูปที่ 2.9





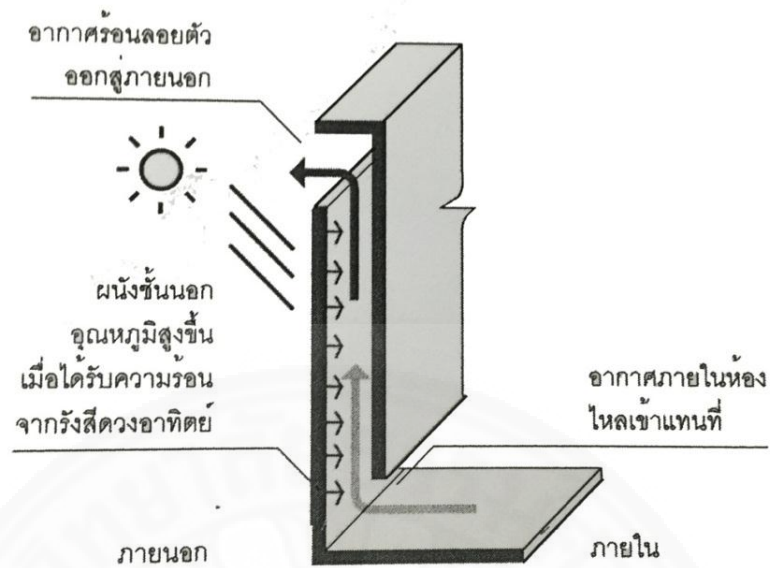
ภาพที่ 2.9 ภาพลักษณะการระบายอากาศแบบ stack ventilation ที่เกิดขึ้นภายในอาคาร  
,Szokolay จาก 2004

#### 2.4.1 ปล่องรังสีดวงอาทิตย์กับความชื้น

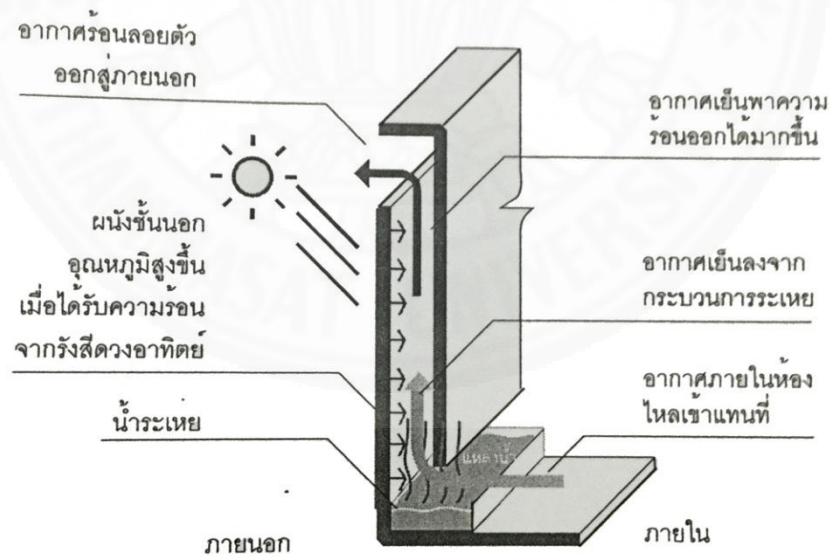
จากการศึกษางานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับปล่องรังสีดวงอาทิตย์กับความชื้น พบว่า (กนก นพวงศ์, 2557) ได้ทำการวิจัยศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของปล่องรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับการระเหยน้ำเพื่อลดความร้อนเข้าสู่อาคาร วิธีการศึกษาจะแบ่งการทดลองเป็น 2 กรณี

กรณีที่ 1 ศึกษาผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ไม่ธรรมชาติโดยไม่มีอิทธิพลการระเหยน้ำ  
ดังรูปที่ 2.10

กรณีที่ 2 ศึกษาผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ไม่ธรรมชาติโดยได้รับอิทธิพลการระเหยน้ำ  
ดังรูปที่ 2.11



ภาพที่ 2.10 ภาพการศึกษาผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์วัสดุไม้ จาก กนก นพวงศ์, 2557



ภาพที่ 2.11 ภาพการศึกษาผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์วัสดุไม้ที่มีแหล่งน้ำอยู่ด้านล่าง จาก กนก นพวงศ์, 2557

กล่องทดลองในงานวิจัยดังกล่าวมีขนาดความกว้าง 0.70 เมตร ความยาว 1.00 เมตร และสูง 2.20 เมตร โครงสร้างเป็นโครงคร่าวไม้ มีขนาดช่องว่างอากาศ 0.20 เมตร ช่องเปิดอากาศเข้าและออกมีขนาด 0.10 เมตร \* 1.00 เมตร ผลการศึกษาพบว่า ผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์วัสดุไม้สามารถลดความร้อนเข้าสู่อาคารได้ อุณหภูมิผิวผนังชั้นในมีอุณหภูมิต่ำกว่าผิวผนังชั้นนอก 9 องศาเซลเซียสเมื่อไม่มีแหล่งน้ำ และต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียสเมื่อมีแหล่งน้ำ เนื่องจากอากาศบริเวณทางเข้าของช่องอากาศสัมผัสกับแหล่งน้ำทำให้อากาศบริเวณนั้นมีอุณหภูมิต่ำ และมีความชื้นสูงจึงสามารถระบายความร้อนด้วยการพาความร้อนได้มากขึ้น โดยมีผลต่ออัตราการระบายอากาศ โดยในกรณีที่ไม่มีแหล่งน้ำมีความเร็วลมในปล่อง 0.2– 0.5 เมตรต่อวินาที ส่วนในกรณีที่มีแหล่งน้ำความเร็วลมในปล่องมีค่า 0.0 – 0.6 วินาที

## 2.5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการจำลองด้วยโปรแกรม ANSYS fluent

งานวิจัยนี้ศึกษาวิเคราะห์ผลสมรรถนะปล่องรังสีดวงอาทิตย์ โดยใช้โปรแกรม ANSYS Fluent 14.0 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้วิเคราะห์ปัญหาด้านวิศวกรรม สามารถวิเคราะห์ได้ทุกศาสตร์ด้านวิศวกรรม ทั้งกลศาสตร์ของแข็ง (solid mechanics) พลศาสตร์ของไหล (fluid dynamics) อุณหพลศาสตร์ (thermodynamics) ฯลฯ โปรแกรมดังกล่าวมีความสามารถในการวิเคราะห์ผล และตอบโจทย์ในงานวิจัยนี้ได้ ผู้วิจัยจึงศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ พลศาสตร์ของไหล โดยจะแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 รูปแบบ

### 2.5.1 งานวิจัยที่ศึกษา พลศาสตร์ของไหลด้วยโปรแกรม ANSYS fluent ด้วยก๊าซอุดมคติ (Ideal gas) โดยศึกษาขั้นตอนในการจำลองการไหลของอากาศ

1) จิรนนท์ เรืองศุภนิมิต. (2553). ศึกษาการออกแบบระบบปรับอากาศในห้องสะอาดและประยุกต์ใช้การคำนวณเชิงตัวเลขทางพลศาสตร์ของไหล งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาขั้นตอนวิธีการออกแบบระบบปรับอากาศภายในห้องสะอาด มาประยุกต์ใช้ผ่านแบบจำลองการไหลของอากาศเพื่อทำนายพฤติกรรมการไหลของอากาศซึ่งจะนำไปสู่การออกแบบที่เหมาะสม

ขั้นตอนการจำลองการไหลของอากาศ เริ่มจากการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ โดยกำหนดขนาดห้องกว้าง 4.45 เมตร สูง 2.70 เมตรและยาว 16.40 เมตร มีหัวจ่ายลมจำนวน 5 หัวจ่าย ช่องรับลมกลับ 2 ช่อง รูปแบบกริดที่ใช้เป็นสี่เหลี่ยม (Hexahedral cells) เนื่องจากรูปทรงทั้งหมดเป็นสี่เหลี่ยมไม่ซับซ้อน ขั้นตอนการคำนวณในการจำลองการไหลได้เลือกใช้โปรแกรมสำหรับช่วยวิเคราะห์การ

ไหลของอากาศ ที่คำนวณบนพื้นฐานของวิธีการคำนวณแบบปริมาตรจำกัด (Finite volume method) มาทำนายพฤติกรรมการไหลของอากาศภายในห้อง โดยเริ่มจากการสร้างขอบเขตของห้องที่จะทำการศึกษาอากาศถูกสมมติให้เป็นก๊าซในอุดมคติและไม่มีอุปกรณ์ใด ๆ ภายในห้องที่สามารถแผ่หรือดูดซับไอน้ำได้ คุณสมบัติเป็นไปกฎก๊าซในอุดมคติ อากาศมีค่าคงที่ความหนืด (Viscosity constant) เท่ากับ  $1.7894 * 10^{-5} \text{ kg/m.s}$  และอากาศมีค่าคงที่ความหนาแน่น (Density constant) เท่ากับ  $1.225 \text{ kg/m}^3$  การไหลกำหนดให้เป็นการไหลแบบปั่นป่วน  $k - \epsilon$  แบบมาตรฐาน (Standard  $k - \epsilon$  model) แบบ 2 สมการ ในการจำลองการไหลคิดผลกระทบจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่  $9.81 \text{ m/s}^2$  การคำนวณผลระหว่างความเร็วและความดันใช้การแก้ปัญหาด้วย Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations (SIMPLE algorithm) และพจน์ที่คำนวณการพาความร้อน (Momentum , turbulent kinetic energy , turbulent dissipation rate) ถูกแปลงด้วยกระบวนการ (second order upwind)

2) ภัทรวรรณ เอ็มกมล. (2557). ศึกษาการออกแบบผ้าเปดานเพิ่มการระบายอากาศแบบบังคับเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนในพื้นที่ชั้นบนของพื้นที่อาศัย

ขั้นตอนการจำลองการไหลของอากาศ เริ่มจากการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ ตามขนาดที่ได้กำหนดไว้ โดยการสร้างแบบ 3 มิติจากโปรแกรม Rhinoceros แล้วแปลงสกุลไฟล์เป็น .stp เพื่อทำการ import เข้าโปรแกรม ANSYS fluent 14.0 อากาศถูกสมมติให้เป็นก๊าซในอุดมคติและไม่มีอุปกรณ์ใด ๆ ภายในห้องที่สามารถแผ่หรือดูดซับไอน้ำได้ คุณสมบัติของอากาศเป็นไปตามกฎก๊าซอุดมคติ คุณสมบัติของอากาศกำหนดให้เป็น Boussinesq's model โดยค่าคงที่จะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิของอากาศนั้น ๆ การไหลจะคิดเป็นการไหลแบบปั่นป่วนในระบบพิกัดฉาก 3 มิติ โดยกำหนดให้เลือกใช้แบบจำลองความปั่นป่วน  $k - \epsilon$  แบบมาตรฐาน (Standard  $k - \epsilon$  model) แบบ 2 สมการ , สมการชั้นของไหลใกล้ผนัง (Enhance wall Treatment) และกำหนดให้คิดอิทธิพลของแรงโน้มถ่วง (option Full Buoyancy Effect) การกำหนดค่าที่ขอบของโมเดล (Boundary) ตั้งเป็นค่าอุณหภูมิคงที่ (constant temperature) ในการจำลองการไหลคิดผลกระทบจากแรงโน้มถ่วงของโลกที่  $9.81 \text{ m/s}^2$  การคำนวณผลระหว่างความเร็วและความดันใช้การแก้ปัญหาด้วย Semi-Implicit Method for Pressure-Linked Equations (SIMPLE algorithm) และพจน์ที่คำนวณการพาความร้อน (Momentum , turbulent kinetic energy , turbulent dissipation rate) ถูกแปลงด้วยกระบวนการ (second order upwind)

## 2.5.2 งานวิจัยที่ศึกษา พลศาสตร์ของไหลด้วยโปรแกรม ANSYS fluent ด้วยอากาศที่มีความชื้น (air-vapor mixture) โดยศึกษาขั้นตอนในการจำลองการไหลของอากาศ

1) Zhigang Li และ Per Heiselberg (2005) ศึกษาหาความสัมพันธ์ของการระเหยของน้ำ และการเคลื่อนที่ของอากาศด้วยโปรแกรม CFD เพื่อทำนายอัตราการไหลของมวลการระเหยของน้ำ ภายในสระว่ายน้ำ Korsør Svømmehal ประเทศเดนมาร์กดังภาพที่ 2.12



ภาพที่ 2.12 รูปด้านในของ Korsør Svømmehal จาก Li and Heiselberg, 2005

การจำลองของ Li and Heiselberg (2005) ศึกษาพฤติกรรมการไหลของอากาศขึ้น การกระจายอุณหภูมิของของผสมระหว่างอากาศกับไอน้ำภายในอาคารว่ายน้ำสระน้ำ การไหลเวียนของอากาศจะพิจารณาให้เป็นการไหลแบบปั่นป่วนและคงที่ด้วยสมการ Standard  $k - \epsilon$  model

Standard  $k - \varepsilon$  model

$$\frac{D}{Dt}(\rho k) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k - \rho \varepsilon \quad (\text{สมการที่ 1})$$

$$\frac{D}{Dt}(\rho \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} G_k - \rho C_{\varepsilon 2} \rho \varepsilon \quad (\text{สมการที่ 2})$$

โดยที่

- $k$  = turbulent kinetic energy [J/kg]
- $\varepsilon$  = rate of dissipation of turbulent kinetic energy [J/kg s]
- $\mu_t$  = turbulent viscosity [kg/m.s]
- $G_k$  = buoyancy term

Constant:  $C_{\varepsilon 1} = 1.44$ ,  $C_{\varepsilon 2} = 1.92$ ,  $\sigma_k = 1.0$ ,  $\sigma_\varepsilon = 1.3$

ANSYS FLUENT สามารถสร้างการจำลองและการแก้สมการแบบของผสมได้ โดยใช้การคำนวณในสมการการขนส่งมวล (Species transport model) การแก้สมการจะอธิบายการพาความร้อนและการกระจายตัวของผสม ซึ่งสามารถทำนายตำแหน่งการเคลื่อนที่ของมวลของผสมด้วยสมการต่อไปนี้

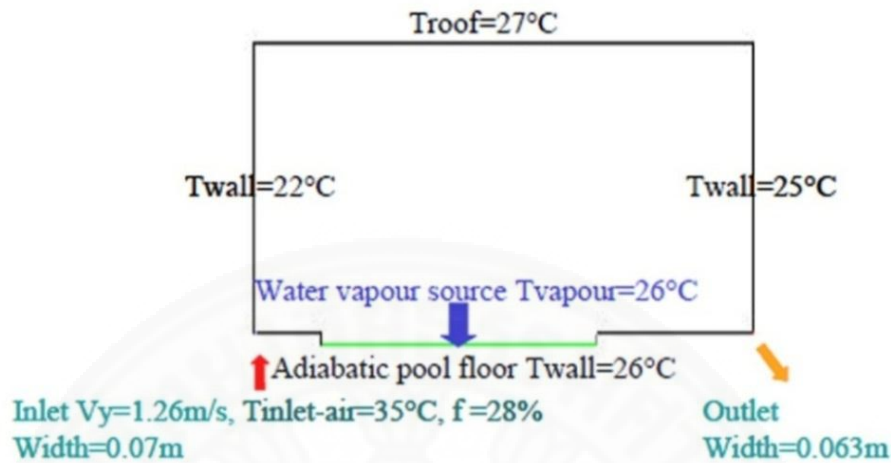
Species transport model

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho Y_i) + \nabla \cdot (\rho v Y_i) = -\nabla \cdot J_i + S_i \quad (\text{สมการที่ 3})$$

โดยที่

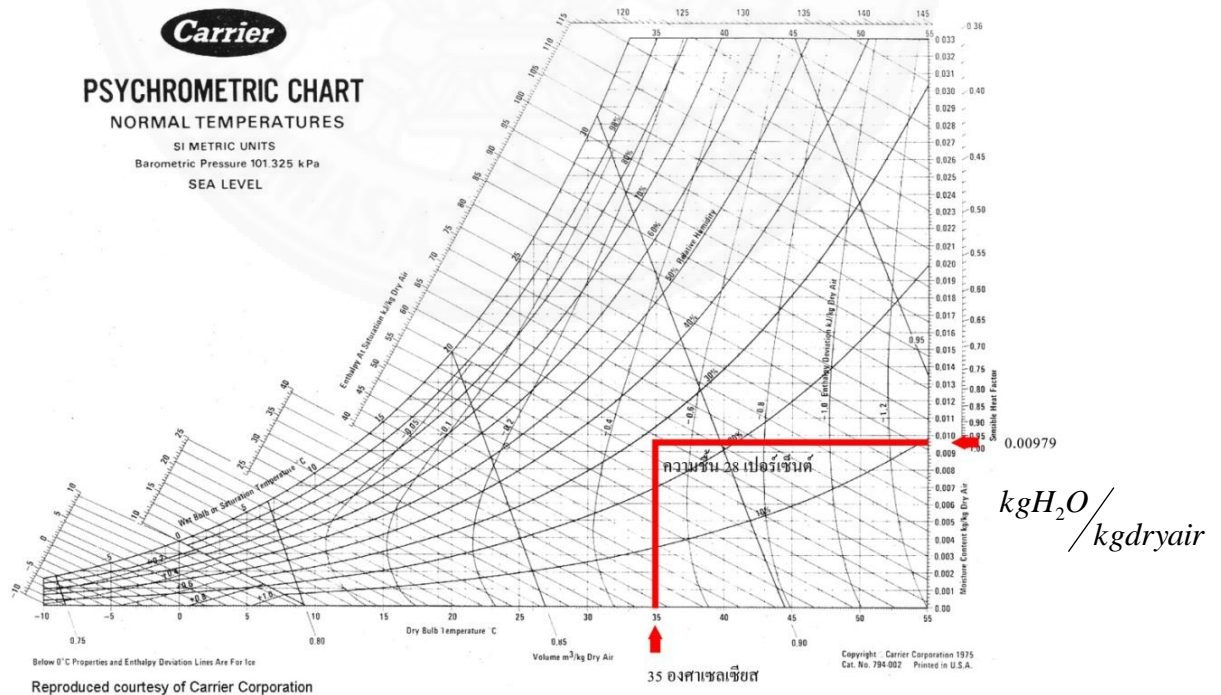
- $Y_i$  = through the solution of a convection-diffusion equation for the  $i^{\text{th}}$  species
- $S_i$  = the rate of creation by addition from the dispersed phase plus any user-defined sources
- $J_i$  = is the diffusion flux of species  $i$

การกำหนดเงื่อนไขที่ขอบ (boundary condition) ได้แก่ อุณหภูมิที่ขอบคงที่ตั้ง (constant temperature) จากการวัดค่าในอาคารแล้วทำการจดบันทึก ดังภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.13 เงื่อนไขที่ขอบในงานวิจัย สระวายน้ในอาคาร จาก Li and Heiselberg (2005)

การกำหนดค่าความชื้นในระบบในช่องทางเข้ากำหนดให้ มีอุณหภูมิเท่ากับ 35 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 28 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพที่ 2.13 ดังนั้นสัดส่วนมวล (mass fraction) ของไอน้ำที่ทางเข้าอากาศจะคำนวณได้เท่ากับ  $0.00979 \text{ kgH}_2\text{O}/\text{kgdryair}$  ดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 การหาค่าสัดส่วนมวลไอน้ำในอากาศจากแผนภูมิ Psychrometric chart

จากการวิเคราะห์งานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาในข้างต้น ทั้งด้านการทดลองจริง และการทดสอบด้วยโปรแกรม CFD ยังขาดการศึกษาเชิงลึกด้านการระบายอากาศในสภาพอากาศจริง กล่าวคือ การศึกษาวิจัยที่ผ่านมา รวมถึงสมการการคิดอัตราการระบายอากาศของปล่องรังสีดวงอาทิตย์ ถูกกำหนดให้อากาศเป็นอากาศแห้ง (ideal gas) ยังไม่ได้คำนึงถึงปัจจัยเกี่ยวกับความชื้นในอากาศที่มีผลกระทบต่ออัตราการระบายอากาศของผนังและอุณหภูมิของผนังโดยตรง งานวิจัยนี้จึงมีความจำเป็นที่จะต้องศึกษาการทำงานของผนังชนิดนี้ในอากาศแบบร้อนชื้น





### บทที่ 3

## ทฤษฎีและการคำนวณ

### 3.1. ทฤษฎีพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์

งานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมคำนวณพลศาสตร์ของไหล (Computational Fluid Dynamic (CFD) ANSYS Fluent 14.0 สำหรับการสร้างแบบจำลอง (simulation) คำนวณอุณหภูมิและความเร็วการไหลของอากาศ พฤติกรรมของอากาศภายในช่องอากาศแนวตั้งของปล่องรังสีดวงอาทิตย์ (solar chimney) จะสังเกตจากเวกเตอร์ความเร็ว และการกระจายค่าอุณหภูมิของของไหล เหตุผลที่เลือกใช้โปรแกรมดังกล่าวเนื่องจากเป็นโปรแกรมที่สามารถวิเคราะห์ผลที่สามารถเชื่อถือได้ และเป็นโปรแกรมที่นิยมใช้ในปัจจุบัน โปรแกรมดังกล่าวจะจำลองขอบเขตที่พิจารณาและสภาพแวดล้อมที่ขอบ ผลการคำนวณจะคาดการณ์ถึงพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของของไหล การถ่ายเทความร้อน การถ่ายโอนมวล ปฏิกิริยาเคมี รวมถึงปรากฏการณ์ต่าง ๆ ในกระบวนการ (ถ้ามี) โดยการใช้การประมวลผลและวิเคราะห์จากสมการทางคณิตศาสตร์ที่กำหนดค่าตัวแปรที่มีความเกี่ยวข้องสู่โปรแกรมในสถานะคงที่ (steady state) และการวิเคราะห์แบบช่วงเวลา (transient) วิธีการทำงานของโปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ผลและการแก้สมการของไหลในโปรแกรมด้วยระบบเปิดหรือปริมาตรควบคุม (control volumes) ตัวแปรและสมการที่วิเคราะห์ และเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการไหลของไหล ได้แสดงไว้ในสมการที่ 4 ถึง 6

สมการความต่อเนื่องของของไหล

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho U_i) = 0 \quad (\text{สมการที่ 4})$$

เมื่อ

- $\rho$  = ความหนาแน่นของของไหล ( $kg/m^3$ )  
 $U_i$  = ความเร็วที่สอดคล้องกับทิศทาง  $i$  ( $m/s$ )  
 $x_i$  = ทิศทางของความเร็ว  $i$  ( $m$ )  
 $t$  = เวลา ( $s$ )

สมการการอนุรักษ์โมเมนตัม

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho U_i) + \rho U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \mu \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \overline{\rho u'_i u'_j} \right) + \rho g_i \quad (\text{สมการที่ 5})$$

เมื่อ

- $P$  = ความดัน ( $Pa$ )  
 $\mu$  = ความหนืด ( $kg/ms$ )  
 $u'_i$  = ความเร็วที่สอดคล้องกับทิศทาง  $i$  ( $m/s$ )  
 $g_i$  = แรงโน้มถ่วงทิศทางของ  $i$  ( $m/s^2$ )

สมการคงตัวของพลังงาน

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho T) + \rho U_j \frac{\partial T}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \gamma \frac{\partial T}{\partial x_j} - \overline{\rho u'_j T'} \right) \quad (\text{สมการที่ 6})$$

เมื่อ

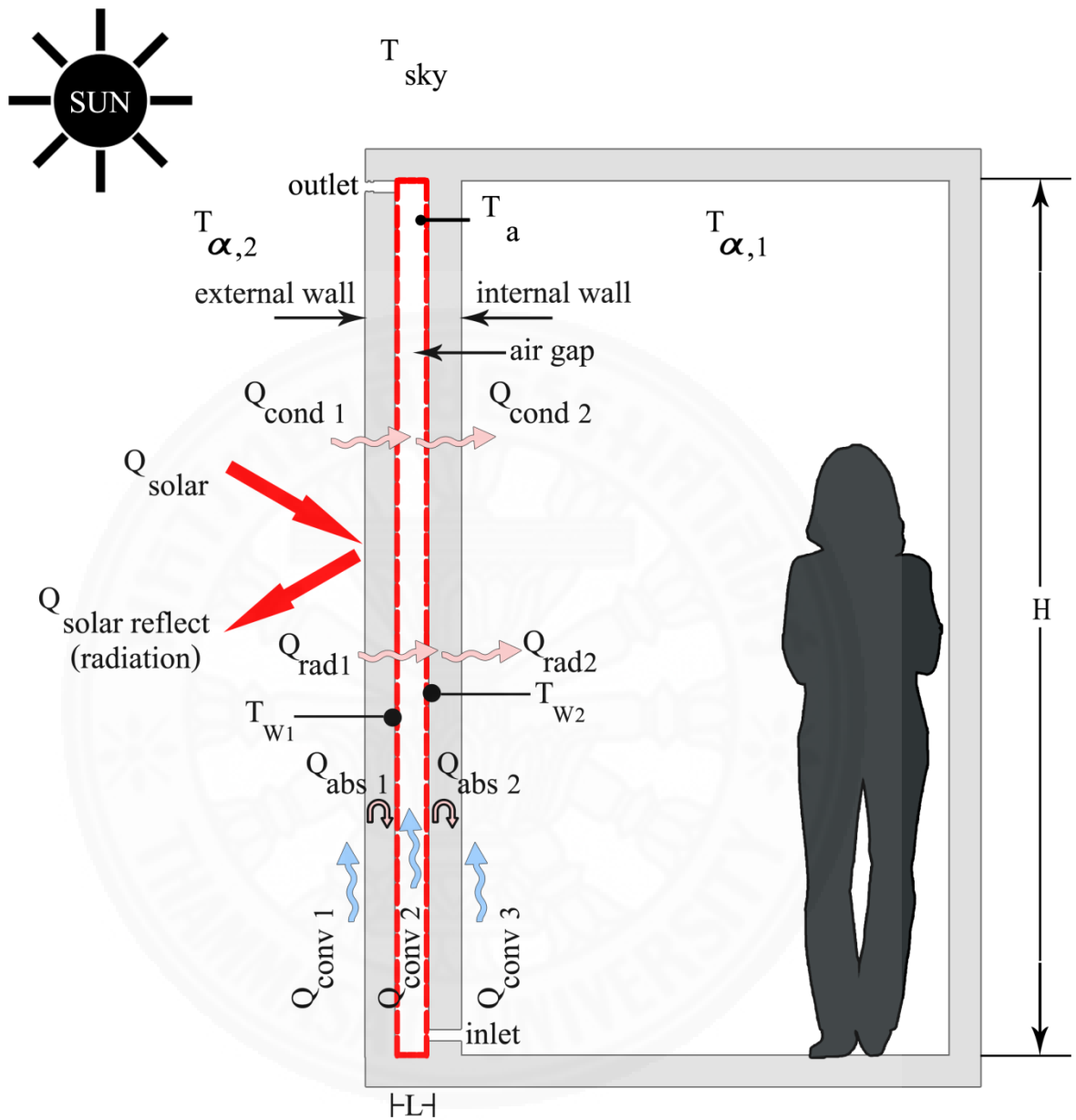
- $T$  = อุณหภูมิเฉลี่ยของของไหล ( $C$ )  
 $\gamma$  = สัมประสิทธิ์การแพร่  
 $T'$  = อุณหภูมิผันผวน ( $C$ )

การลอยตัวของอากาศร้อนในช่องอากาศกรณีก๊าซในอุดมคติ คำนวณด้วยสมการ บุสสิเนส (Boussinesq's approximation) ในพจน์เพิ่มเติมในปริมาตรควบคุม

Boussinesq' s approximation

$$(\rho - \rho_0)g = -\rho_0\beta(T - T_0)g \quad (\text{สมการที่ 7})$$

ลักษณะทางกายของแบบจำลองผนัง (Physical model) ที่ต้องการศึกษาเป็นผนัง 2 ชั้นที่ประกอบด้วยผนัง 2 ด้าน ช่องอากาศระหว่างผนัง และช่องทางเข้าออกอากาศ ผนังด้านนอก (external wall) ได้รับอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมภายนอกได้แก่ รังสีดวงอาทิตย์ ( $Q_{solar}$ ) การพาความร้อนที่ผิวภายนอก ( $Q_{convl,\alpha 1}$ ) ผนังดูดกลืนความร้อนไว้ ( $Q_{abs,\alpha 1}$ ) ความร้อนจะถ่ายเทผ่านผนัง ด้านนอกเข้าไปสู่ผิวผนังด้านที่ติดกับปล่องด้วยกระบวนการนำความร้อน ( $Q_{cond}$ ) ความร้อนที่ผนัง ด้านนอกที่มีผิวติดกับช่องอากาศด้านในจะถ่ายเทความร้อนสู่ช่องอากาศด้วยกระบวนการ การพาความร้อน ( $Q_{convl,\alpha 1}$ ) การแผ่รังสีความร้อน ( $Q_{rad}$ ) และการนำความร้อนที่ผิวอากาศในปล่องที่ติดกับ ผนังผิวผนังด้านนอก ( $Q_{cond}$ ) ทำให้ช่องอากาศมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นและเกิดการลอยตัวของอากาศ ภายในช่องอากาศทำให้เกิดการระบายอากาศผ่านผนัง 2 ชั้น โดยอากาศจะเหนี่ยวนำอากาศที่เย็น จากภายในห้องเข้ามาทางช่องทางเข้าด้านล่าง (inlet) และระบายอากาศออกในทางช่องอากาศออก ด้านบน (outlet) งานวิจัยนี้จะศึกษาพฤติกรรมของอากาศที่เคลื่อนที่ภายในช่องอากาศ โดยกำหนด ขอบเขตการศึกษาและการจำลองจะศึกษาเฉพาะผิวผนังด้านในที่ติดกับช่องอากาศทั้ง 2 ด้านและช่อง อากาศ ดังเส้นประในภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ลักษณะทางกายภาพของผนัง

### 3.2. การพัฒนาแบบจำลองที่ศึกษา

ในงานวิจัยนี้จะการศึกษาจะกำหนดค่าคุณสมบัติอากาศในการศึกษาวิเคราะห์เป็น 2 ลักษณะ คืออากาศที่เป็นอากาศแห้ง (dry air) ที่ใช้คุณสมบัติของก๊าซในอุดมคติ (ideal gas) เปรียบเทียบกับอากาศที่มีความชื้น (moist air) ที่มีคุณสมบัติของของผสม (air-vapor mixture) โดยใช้แบบจำลองผนัง (Physical model) เดียวกันดังภาพที่ 3.1

#### 3.2.1. แบบจำลองอากาศแห้ง (dry air)

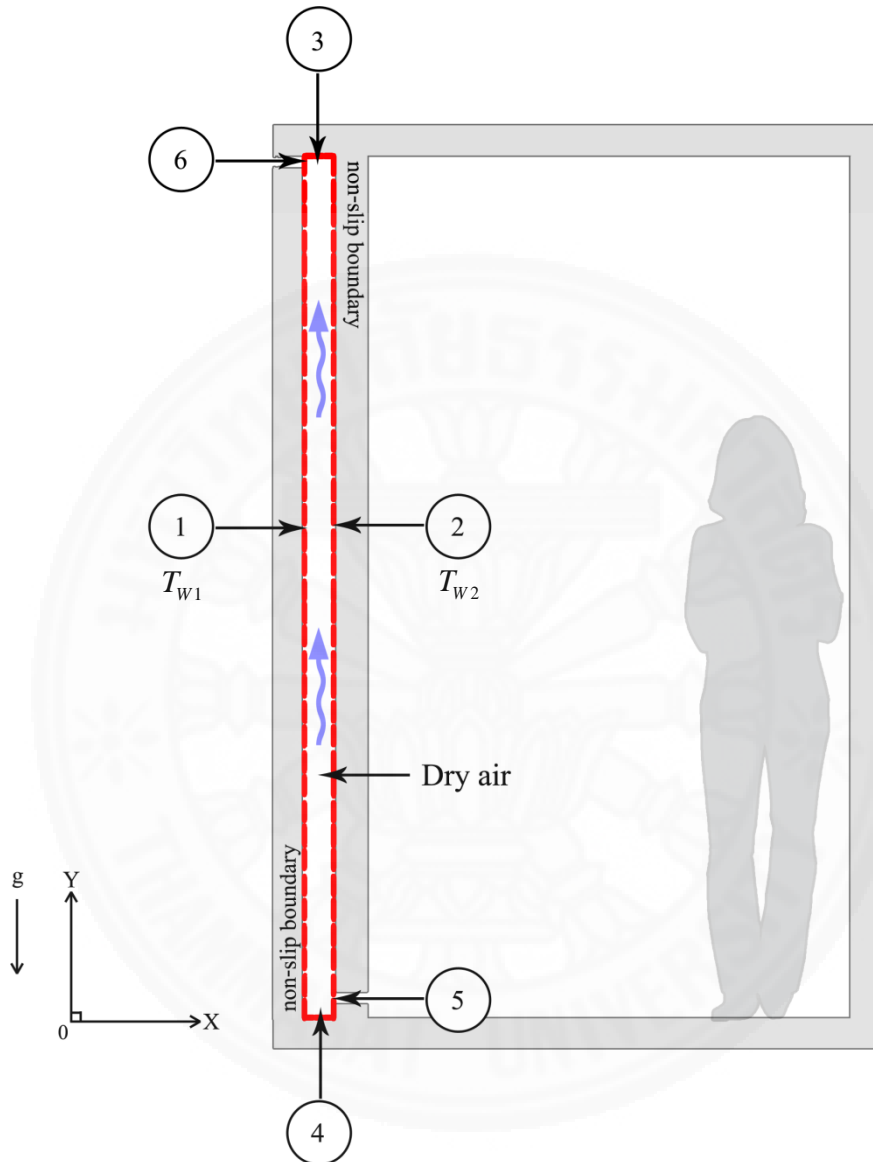
การกำหนดค่าพื้นฐานในแบบจำลอง

- 1) ผนังตลอดช่วงคิดเป็นอุณหภูมิคงที่ (constant temperature) เท่ากับ 33 องศาเซลเซียส
- 2) การวิเคราะห์และการจำลองโปรแกรมคิดเป็นสภาวะที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (transient) และพิจารณาผลเมื่อแบบจำลองมีสภาวะคงที่ ที่เวลาประมาณ 100 วินาที
- 3) อากาศในระบบถูกคิดให้เป็นอากาศแห้ง (dry air) ไหลสถานะเดียว (single phase)
- 4) ช่องทางเข้า (inlet) และช่องทางออก (outlet) กำหนดให้มีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ  $P_0 = 0 \text{ Pa}$
- 5) ไม่มีแหล่งกำเนิดความร้อนภายใน
- 6) การไหลของอากาศในช่องถูกกำหนดเป็น standard k-epsilon model

การวิเคราะห์แก่สมการของไหลภายในปริมาตรควบคุม (control volumes) ในแบบจำลองสมการและตัวแปรต่างๆ ที่วิเคราะห์และเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของไหลได้แสดงไว้ในสมการที่ 4 ถึง 6 ในสมการโมเมนตัม จะถูกจำลองโดยใช้สมการ Boussinesq' s model ในสมการที่ 7 ที่คำนวณความหนาแน่นของของไหลที่เป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิ

เงื่อนไขที่ขอบ (boundary condition) พิจารณาจากสภาพที่ขอบสามารถสร้างสมการสมดุลพลังงานแต่ละส่วนของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์เฉพาะในส่วนที่กับขอบของช่องอากาศ การแก่สมการการถ่ายเทความร้อนและสมการโมเมนตัมในแต่ละส่วนจำเป็นต้องกำหนดเงื่อนไขที่ขอบ

เพื่อช่วยในการคำนวณดังภาพที่ 3.2 สมดุลพลังงานที่ขอบแสดงไว้ในสมการที่ 8-11 และเงื่อนไขสำหรับคำนวณการไหล ได้แก่ ขอบไม่ลื่นไหล (non-slip boundary) แสดงในสมการที่ 12-13



ภาพที่ 3.2 เงื่อนไขที่ขอบของช่องอากาศ ในปล่องรังสีดวงอาทิตย์กรณีอากาศแห้ง (dry air), ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ 2558

เงื่อนไขที่ขอบในการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน

ตำแหน่งหมายเลข 1

$$T = T_{W1} \text{ (constant temperature)}$$

(สมการที่ 8)

## ตำแหน่งหมายเลข 2

$$T = T_{w2} \text{ (constant temperature)} \quad (\text{สมการที่ 9})$$

## ตำแหน่งหมายเลข 3

$$\left. \frac{\partial T_{w3}}{\partial y} \right|_{y=H} = 0 \quad (\text{สมการที่ 10})$$

## ตำแหน่งหมายเลข 4

$$\left. \frac{\partial T_{w4}}{\partial y} \right|_{y=0} = 0 \quad (\text{สมการที่ 11})$$

## เงื่อนไขที่ขอบในการวิเคราะห์การไหล

## ตำแหน่งหมายเลข 5

$$P_{inlet} = P_0 = 0 \text{ Pa} \quad (\text{สมการที่ 12})$$

## ตำแหน่งหมายเลข 6

$$P_{outlet} = P_0 = 0 \text{ Pa} \quad (\text{สมการที่ 13})$$

## ตารางที่ 3.1

ค่าตั้งต้น (initial condition) ในกรณีอากาศแห้ง (dry air)

ตำแหน่งหมายเลข 5 (inlet)	ตำแหน่งหมายเลข 6 (outlet)
Gauge Pressure (pascal) = 0	Gauge Pressure (pascal) = 0
X Velocity (m/s) , Y Velocity (m/s) = 0	X Velocity (m/s) , Y Velocity (m/s) = 0
Temperature (องศาเซลเซียส) = 26 °C	Temperature (องศาเซลเซียส) = 32 °C

จากการกำหนดเงื่อนไขที่ขอบในส่วนต่าง ๆ ของขอบช่องอากาศผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ ที่กล่าวมาข้างต้นเพื่อช่วยในการคำนวณ

เมื่อ

$L$	= ความกว้างของช่องอากาศ 0.20 (M)
$H$	= ความสูงของช่องอากาศ 3.00 เมตร (M)
$\sigma$	= ค่าคงตัวสเตฟาน โบลต์ซมันน์ ( $W.m^{-4}.K^{-4}$ )
$T_{w1}$	= อุณหภูมิขอบของผนังชั้นนอกที่ติดกับช่องอากาศ (K)
$T_{w2}$	= อุณหภูมิขอบของผนังชั้นในที่ติดกับช่องอากาศ (K)
$P$	= ความดัน (Pa)
$T_{room}$	= อุณหภูมิห้อง (K)
$T_{out}$	= อุณหภูมิภายนอก (K)

### 3.2.2. แบบจำลองอากาศชื้น (moist air)

การกำหนดค่าพื้นฐานในแบบจำลอง

- 1) ผนังตลอดช่วงคิดเป็นอุณหภูมิคงที่ (constant temperature) เท่ากับ 33 องศาเซลเซียส
- 2) การวิเคราะห์และการจำลองโปรแกรมคิดเป็นสถานะที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (transient) และพิจารณาผลเมื่อแบบจำลองมีสถานะคงที่ ที่เวลาประมาณ 100 วินาที
- 3) อากาศในระบบมีคุณสมบัติเป็นของผสม (air-vapor mixture) ที่ผสมไอน้ำและก๊าซในระดับโมเลกุล
- 4) ช่องทางเข้า (inlet) และช่องทางออก (outlet) กำหนดให้มีความดันเท่ากับความดันบรรยากาศ  $P_0 = 0 \text{ Pa}$



- 5) ไม่มีแหล่งกำเนิดความร้อนภายใน
- 6) การไหลของอากาศในช่องถูกกำหนดเป็น standard k epsilon model

การวิเคราะห์แก๊สการของไหลภายในปริมาตรควบคุม (control volumes) ในแบบจำลองสมการและตัวแปรต่างๆ ที่วิเคราะห์และเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของไหลได้แสดงไว้ในสมการที่ 4 ถึง 6 แต่การคำนวณในโปรแกรมจะใช้ properties ของ mixture ที่กำหนดไว้ในตอนแรกมาคำนวณแทน และสมการ Species transport ของแต่ละ Species เป็นจำนวน N-1 (N คือจำนวน Species ทั้งหมด) แสดงในสมการที่ 14 ความเร็วอากาศที่ได้จากการคำนวณสมการ โมเมนตัม (สมการที่ 5) คือความเร็วของของผสม (mixture) ในตำแหน่งเมช (mesh) นั้น ๆ และอุณหภูมิที่ได้จากการคำนวณสมการพลังงาน (สมการที่ 6) คืออุณหภูมิของผสม (mixture) ในตำแหน่งเมช (mesh) นั้น ๆ แบบจำลองอากาศซึ่งจะคิดให้อากาศเป็นของผสม ในโหมดของผสม (Species) โดยโปรแกรม ANSYS fluent 14.0 จะทำนายตำแหน่งของค่าสัดส่วนมวล (mass fraction) ในแต่ละ species ของของผสม

งานวิจัยนี้ในส่วนนี้จะจำลองของผสมเป็น 2 species คือ ไอน้ำและอากาศ โดยกำหนดให้ไอน้ำ (vapor) เป็น species ที่ 1 และอากาศ (air) เป็น species ที่ 2 จากนั้น ANSYS fluent 14.0 จะจำลองกระจายตัวของมวลไอน้ำและอากาศให้เป็นของผสมในระดับโมเลกุลให้เป็นของผสมสถานะเดียว จากนั้นคำนวณด้วยแบบจำลองแบบปั่นป่วนสมการที่ 1 และสมการที่ 2 และแบบจำลองของผสม (species transport) ในการแก๊สการอนุรักษ์ของของผสม โปรแกรม ANSYS Fluent จะพยากรณ์ค่าสัดส่วนมวล (mass fraction) ของแต่ละสปีชีส์ ( $Y_i$ ) ที่ตำแหน่ง mesh ใด ๆ ของสปีชีส์ลำดับที่  $i$ th แสดงไว้ในสมการที่ 14

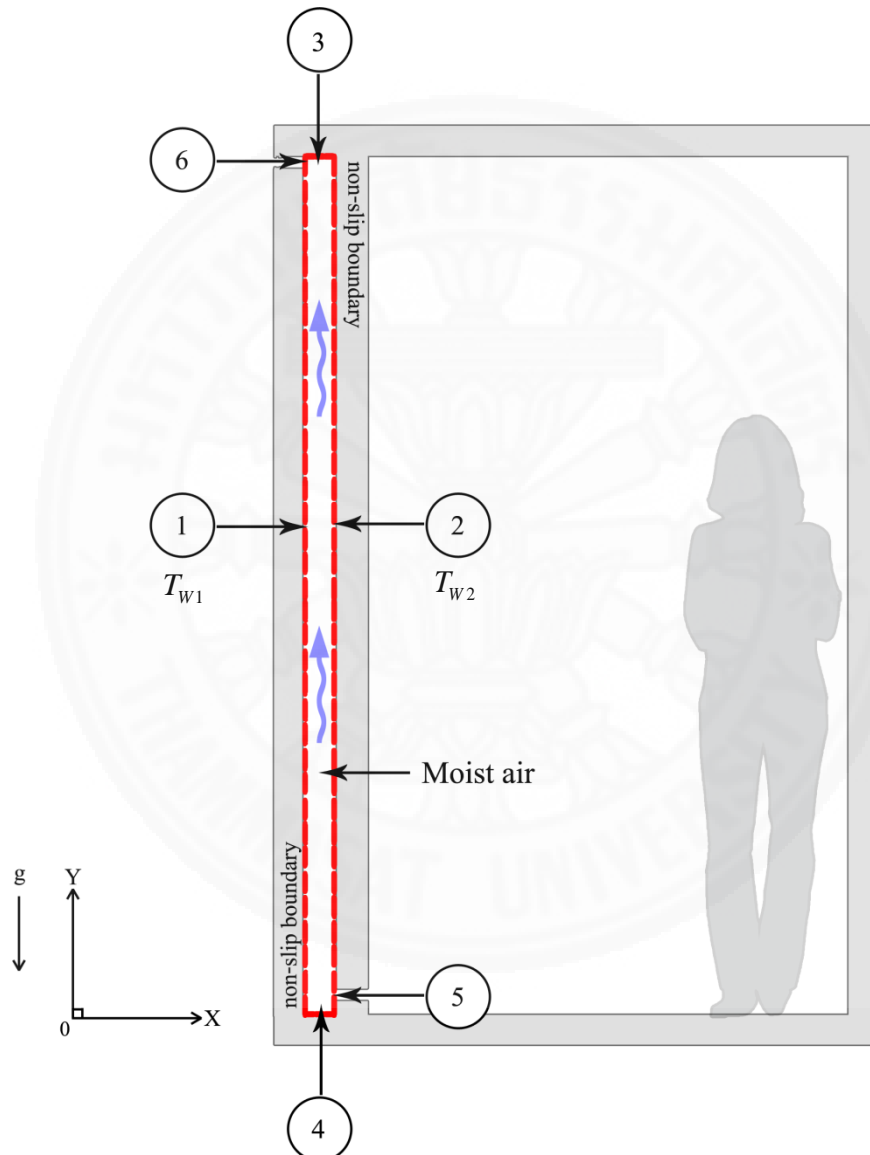
Species transport model

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_i) + \nabla \cdot (\rho v Y_i) = -\nabla \cdot J_i \quad (\text{สมการที่ 14})$$

โดยที่

- $Y_i$  = ค่าสัดส่วนมวล (mass fraction) ของแต่ละสปีชีส์
- $J_i$  = ฟลักซ์การแพร่

เงื่อนไขที่ขอบ (boundary condition) พิจารณาจากสภาพที่ขอบสามารถสร้างสมการสมดุลพลังงานแต่ละส่วนของของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์เฉพาะในส่วนที่ติดกับขอบของช่องอากาศ การแก้สมการการถ่ายเทความร้อนและสมการโมเมนตัมในแต่ละส่วนจำเป็นต้องกำหนดเงื่อนไขที่ขอบเพื่อช่วยในการคำนวณดังภาพที่ 3.3 เงื่อนไขที่ขอบแสดงไว้ในสมการที่ 15-18 และเงื่อนไขสำหรับคำนวณการไหล ได้แก่ ขอบไม่ลื่นไถล (non-slip boundary) แสดงในสมการที่ 19-20



ภาพที่ 3.3 เงื่อนไขที่ขอบของช่องอากาศ ในปล่องรังสีดวงอาทิตย์กรณีอากาศชื้น (air-vapor mixture), ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์ 2558

เงื่อนไขที่ขอบในการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน

ตำแหน่งหมายเลข 1

$$T = T_{w1} \text{ (constant temperature)} \quad (\text{สมการที่ 15})$$

ตำแหน่งหมายเลข 2

$$T = T_{w2} \text{ (constant temperature)} \quad (\text{สมการที่ 16})$$

ตำแหน่งหมายเลข 3

$$\left. \frac{\partial T_{w3}}{\partial y} \right|_{y=H} = 0 \quad (\text{สมการที่ 17})$$

ตำแหน่งหมายเลข 4

$$\left. \frac{\partial T_{w4}}{\partial y} \right|_{y=0} = 0 \quad (\text{สมการที่ 18})$$

เงื่อนไขที่ขอบในการวิเคราะห์การไหล

ตำแหน่งหมายเลข 5

$$P_{inlet} = P_0 = 0 \text{ Pa} \quad (\text{สมการที่ 19})$$

ตำแหน่งหมายเลข 6

$$P_{outlet} = P_0 = 0 \text{ Pa} \quad (\text{สมการที่ 20})$$

## ตารางที่ 3.2

ค่าตั้งต้น (initial condition) ในกรณีอากาศชื้น (moist air)

ตำแหน่งหมายเลข 5 (inlet)	ตำแหน่งหมายเลข 6 (outlet)
Gauge Pressure (pascal) = 0	Gauge Pressure (pascal) = 0
X Velocity (m/s) , Y Velocity (m/s) = 0	X Velocity (m/s) , Y Velocity (m/s) = 0
Temperature (องศาเซลเซียส) = 26 °C	Temperature (องศาเซลเซียส) = 32 °C
Mass fraction (H <sub>2</sub> O) = 0.013	Mass fraction (H <sub>2</sub> O) = 0
Mass fraction (O <sub>2</sub> ) = 0.987	Mass fraction (O <sub>2</sub> ) = 0

จากการกำหนดเงื่อนไขที่ขอบในส่วนต่าง ๆ ของขอบช่องอากาศผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ ที่กล่าวมาข้างต้นเพื่อช่วยในการคำนวณ

เมื่อ

$L$  = ความกว้างของช่องอากาศ 0.20 (  $M$  )

$H$  = ความสูงของช่องอากาศ 3.00 เมตร (  $M$  )

$\sigma$  = ค่าคงตัวสเตฟาน โบลต์ซมันน์ (  $W.m^{-4}.K^{-4}$  )

$T_{w1}$  = อุณหภูมิขอบของผนังชั้นนอกที่ติดกับช่องอากาศ (  $K$  )

$T_{w2}$  = อุณหภูมิขอบของผนังชั้นในที่ติดกับช่องอากาศ (  $K$  )

$P$  = ความดัน (  $Pa$  )

$T_{room}$  = อุณหภูมิห้อง (  $K$  )

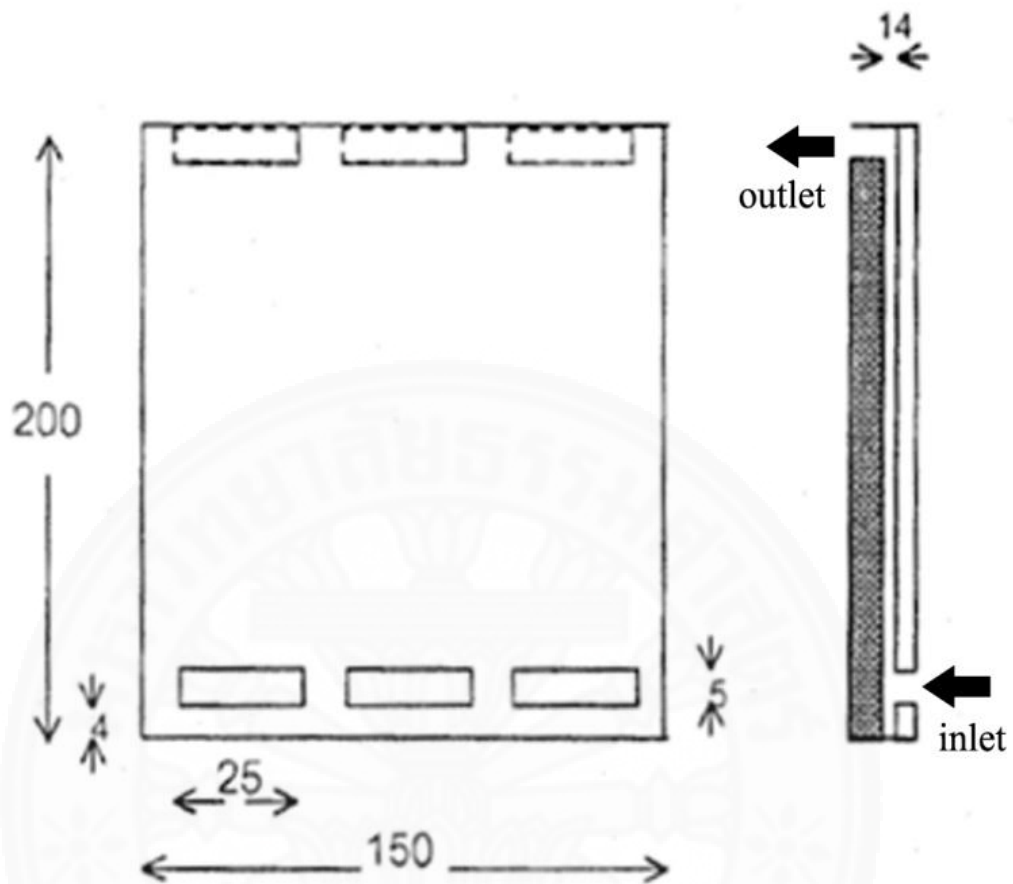
$T_{out}$  = อุณหภูมิภายนอก (  $K$  )

## บทที่ 4 วิธีการวิจัย

### 4.1 ประเภทของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาวิเคราะห์ผลของตัวแปรความชื้นต่อสมรรถนะปล่องรังสีดวงอาทิตย์ (solar chimney) จากโปรแกรมคำนวณทางวิศวกรรมศาสตร์ ANSYS Fluent 14.0 วิธีการศึกษาจะนำผลที่ได้จากการจำลองผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่อากาศภายในปล่องมีความชื้นแตกต่างกัน มาเปรียบเทียบกับด้าน อุณหภูมิอากาศ และความเร็วอากาศภายในปล่อง ผลการศึกษาจะนำไปสู่แนวทางการประยุกต์ใช้ผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ในเขตอากาศร้อนชื้น งานวิจัยนี้จะกำหนดลักษณะทางกายภาพของปล่องรังสีดวงอาทิตย์ให้เป็นตัวแปรควบคุม การศึกษาการประยุกต์ใช้ปล่องรังสีดวงอาทิตย์กับผนังของบ้าน จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า สิริศักดิ์ แก้วเรือง (2540) ได้ศึกษาการนำผนัง Trombe Wall มาใช้ระบายอากาศ พบว่า ผนังที่มีความสูง 2 เมตรและขนาดช่องว่างอากาศที่ 14.5 เซนติเมตรจะให้อัตราการระบายอากาศได้สูงสุด เจริญพร เลิศสถิตธนกร (2540) ได้ศึกษาการประยุกต์ผนังก่ออิฐฉาบปูนเพื่อการระบายอากาศโดยมีลักษณะเป็นผนัง Trombe Wall แบบปรับปรุงหรือผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ พบว่าขนาดช่องอากาศ 14 เซนติเมตร จะให้อัตราการระบายอากาศได้สูงสุด ซึ่งผลการทดลองทั้งสองการทดลองมีความสอดคล้องกัน และนินนาท ราชประดิษฐ์ (2543) ได้ศึกษาสมรรถนะของปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ในการใช้งานร่วมกับระบบปรับอากาศ พบว่าปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์มีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับอาคารและบ้านพักอาศัย ทั้งที่มีการใช้และไม่ได้ใช้เครื่องปรับอากาศ

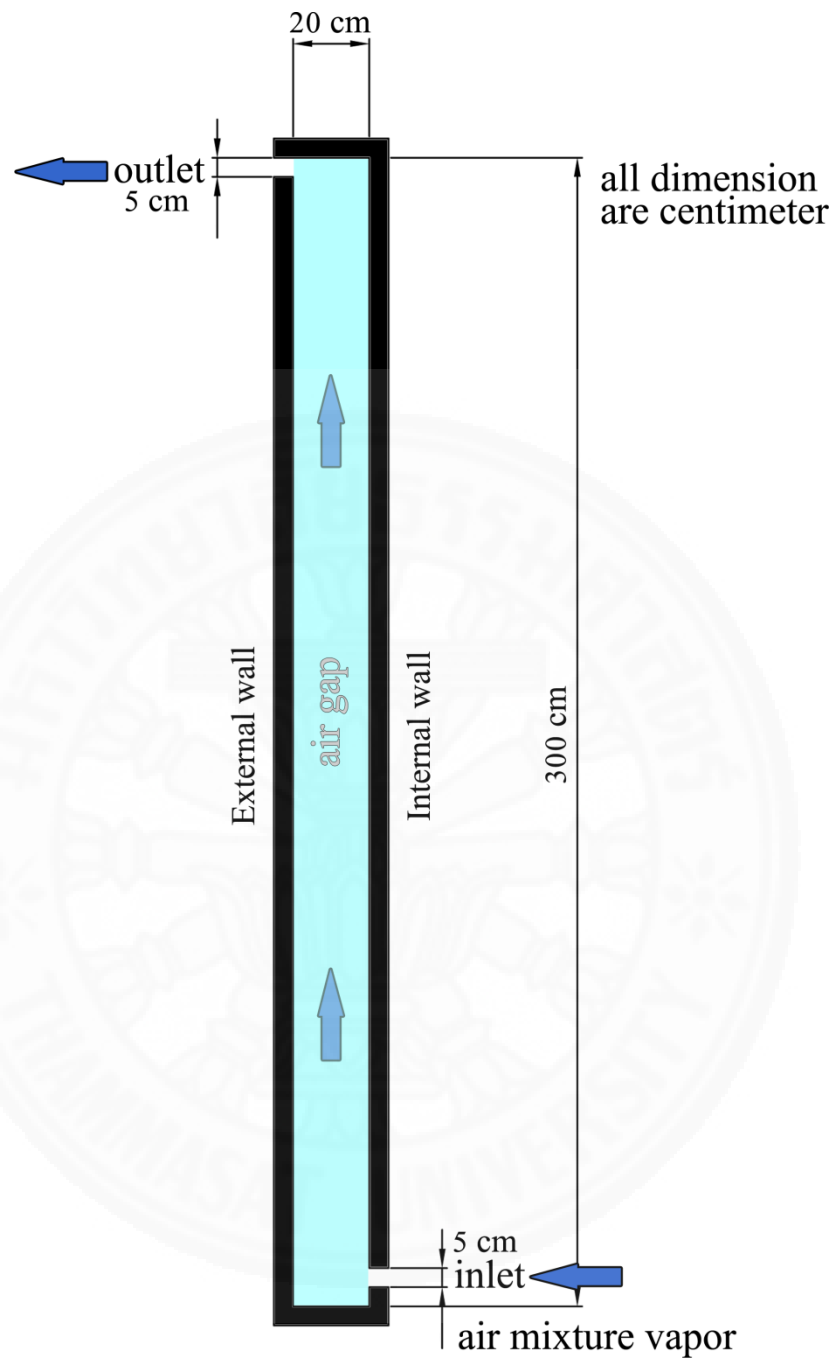
จากผลการทดลองดังกล่าวผู้วิจัยจึงนำมากำหนดเป็นกรณีพื้นฐาน (base case) ดังภาพที่ 4.1 แต่เนื่องด้วยขนาดของผนังที่ใช้ทดลองดังกล่าวเป็นขนาดที่ไม่ได้มาตรฐานสำหรับการออกแบบ ผู้วิจัยจึงกำหนดผนังใหม่โดยยังคงอัตราส่วนความกว้างของช่องอากาศต่อความสูงผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ โดยอัตราส่วนมีค่าเท่ากับ 13.8 : 1 เพื่อใช้ออกแบบผนังกรณีศึกษา (studied case) ลักษณะทางกายภาพของกรณีศึกษาจะมีความสูงผนังสูง 3.0 เมตร ช่องอากาศระหว่างผนังกว้าง 0.2 เมตร และช่องทางเข้าออกอากาศขนาด 0.05 เมตร โดยในช่องทางเข้าอากาศจะยกสูงจากพื้น 0.05 เซนติเมตร และจะทำการศึกษาผนังกรณีศึกษาเป็น 2 มิติดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.1 ลักษณะปล่องรังสีดวงอาทิตย์ในกรณีแบบจำลองพื้นฐาน, นินนาท ราชประดิษฐ์, 2543

p.12

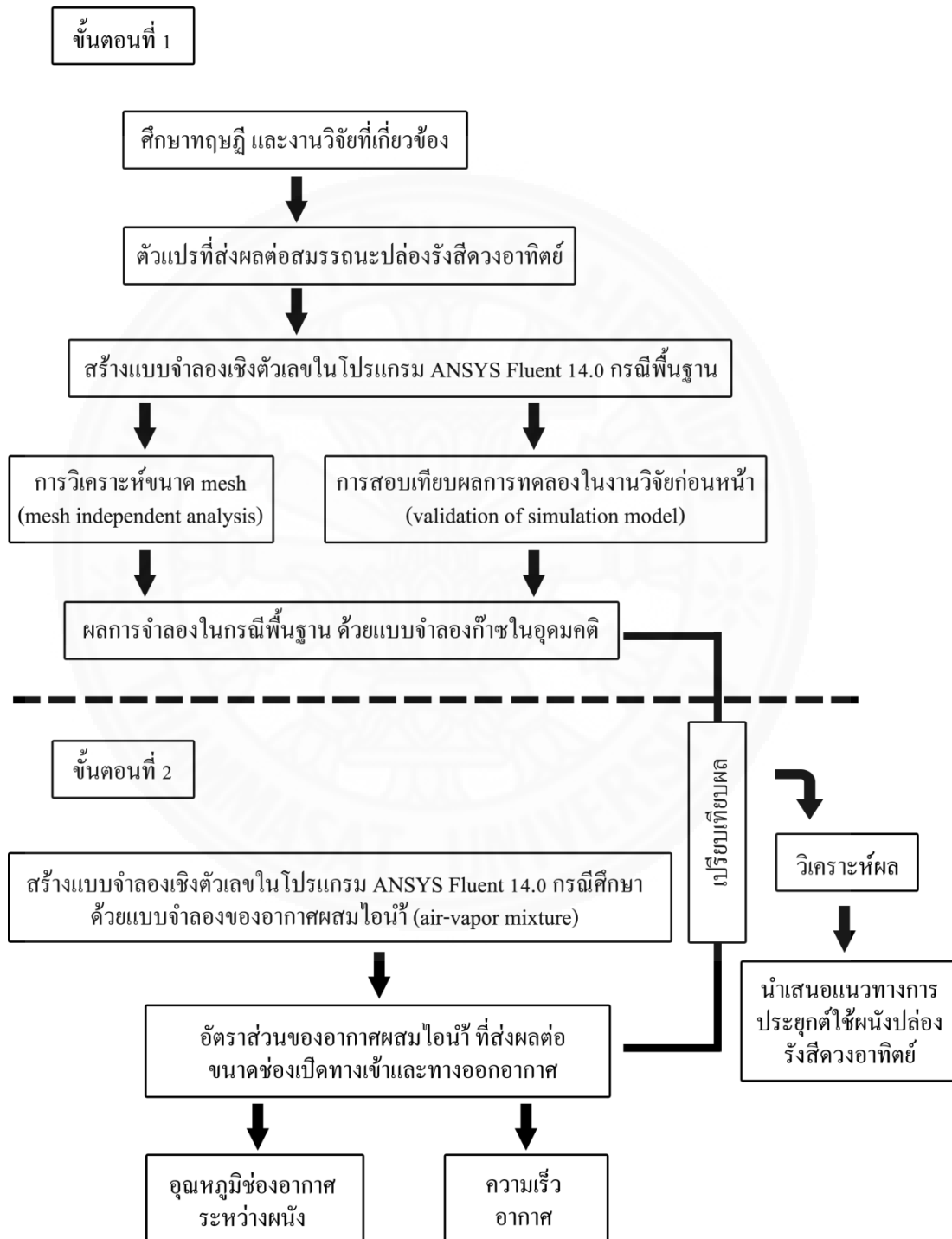
ช่องอากาศในกรณีศึกษาจะมีขนาดใหญ่กว่ากรณีพื้นฐานแต่มีขนาดอัตราส่วนของความกว้างต่อความสูงเดียวกัน ดังภาพที่ 4.2 แบบจำลองอากาศผสมไอน้ำ (air-vapor mixture) จะใช้ศึกษาต่อในเรื่องขนาดของช่องอากาศ และช่องเปิดของผนังทั้งทางเข้าอากาศ (inlet) และช่องทางออกอากาศ (outlet) โดยคำนึงถึงอัตราส่วนของไอน้ำในอากาศ รูปแบบการวิเคราะห์ข้อมูลจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลแบบช่วงเวลา (transient) จะเก็บผลทุก ๆ 1 วินาทีเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของความเร็วอากาศ และอุณหภูมิอากาศในช่องอากาศระหว่างผนัง โดยจะใช้ผล 100 วินาทีแรกเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสุดท้ายก่อนที่จะเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state)



ภาพที่ 4.2 ลักษณะปล่องรังสีดวงอาทิตย์ในกรณีศึกษา, ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์, 2558

## 4.2 การดำเนินงานวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้มีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังภาพที่ 4.3

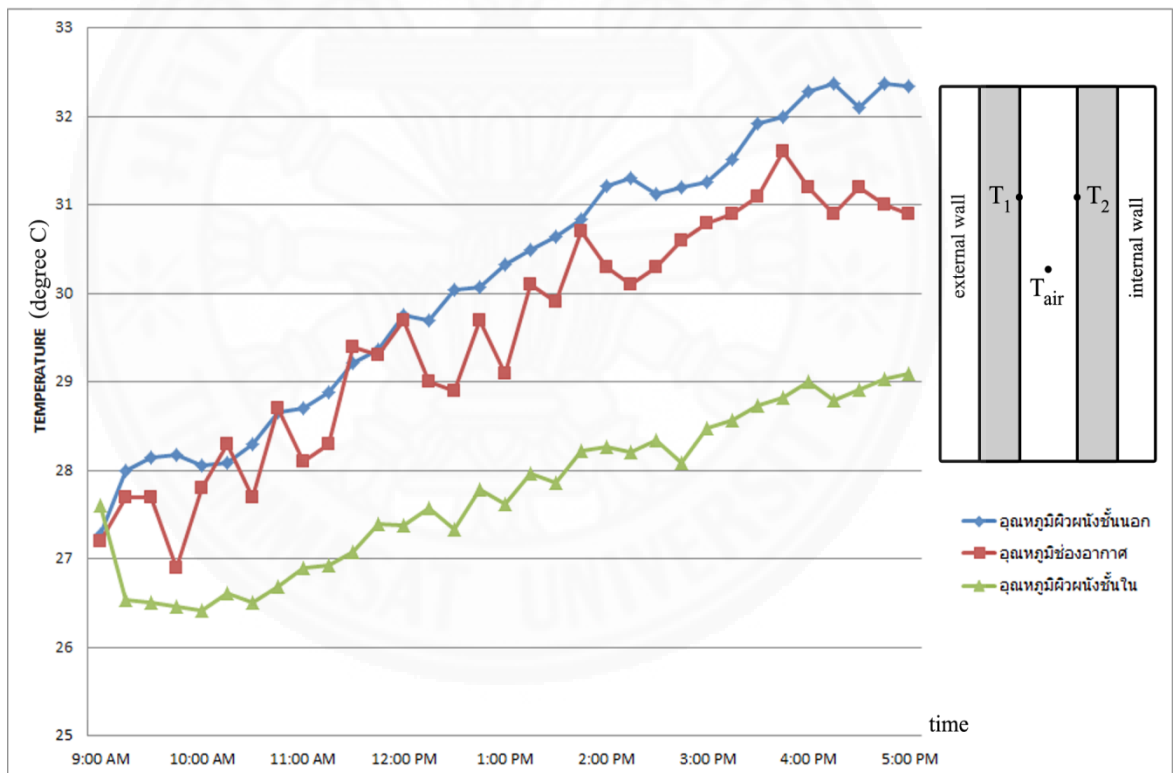


ภาพที่ 4.3 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย, ผู้จัดทำวิทยานิพนธ์, 2558



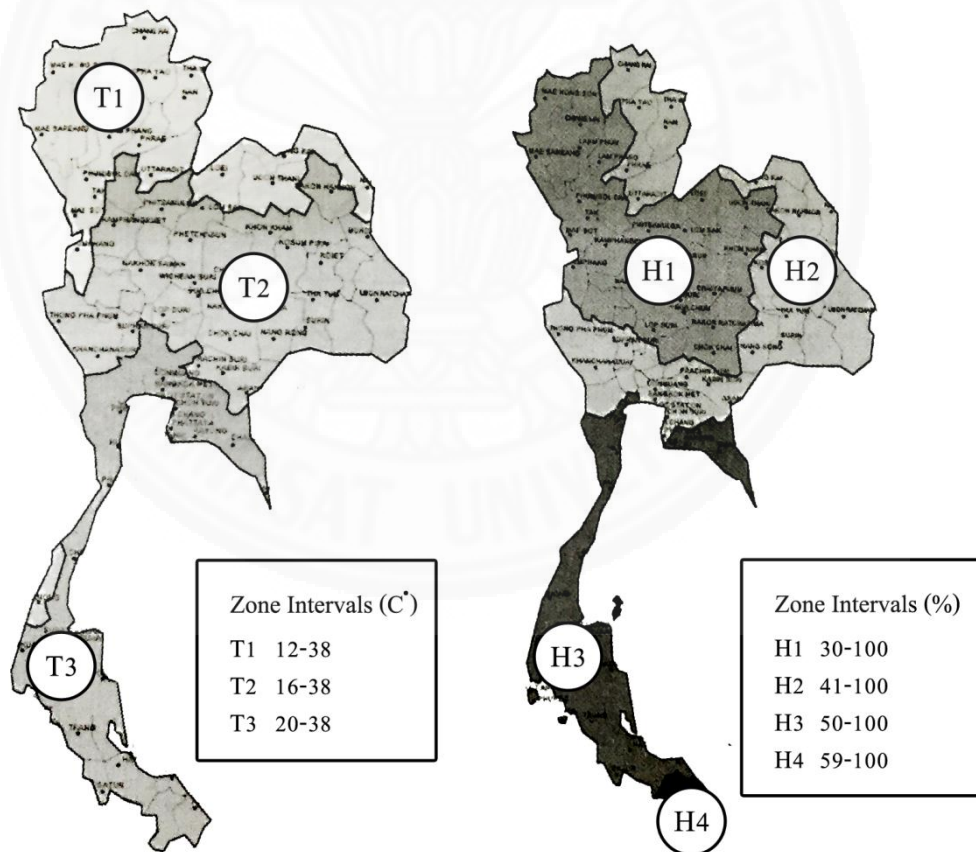
#### 4.3 วิธีการศึกษาและขั้นตอนการทดลอง

ก่อนจะเริ่มดำเนินงานวิจัยจำเป็นต้องทำการพิสูจน์ความน่าเชื่อถือของโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล ANSYS fluent 14.0 ได้แก่ ขั้นตอนการทดสอบเครื่องมือพลศาสตร์ของไหล (verification) และขั้นตอนการวิเคราะห์ผลความไวของเมช (mesh sensitive analysis) ในแบบจำลอง ซึ่งขั้นตอน verification นั้นจะใช้ผลจากงานวิจัยก่อนหน้าที่มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับ Trombe's wall (นินนาท ราชประดิษฐ์, 2540) ด้วยการทดลองจริงซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดให้เป็นแบบจำลองพื้นฐานด้วย ideal gas แล้วนำผลจากการทดลองจริงในภาพที่ 4.4 มาเปรียบเทียบกับ การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล



ภาพที่ 4.4 ผลการทดลองจริงจากการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับ Trombe's wall, ผู้จัดทำ  
วิทยานิพนธ์, 2558

การศึกษาภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทยเพื่อกำหนดระดับความชื้นสัมพัทธ์ในการทดลอง จากการศึกษาลักษณะภูมิอากาศแบบร้อนชื้นของประเทศไทย โดย Khedari et al.,2001 ได้ทำการแบ่งโซนภูมิอากาศออกเป็นโซนต่าง ๆ (Climatic Zone) ที่มีลักษณะคล้าย ๆ กัน โดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิมิถุนายน อุณหภูมิอากาศแวดล้อมและความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งผลของโซนภูมิอากาศดังกล่าวที่ 4.6 พบว่า ค่าความชื้นสัมพัทธ์ในประเทศไทยมีค่าอยู่ที่ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ - 100 เปอร์เซ็นต์ งานวิจัยนี้จึงได้กำหนดค่าความชื้นที่แตกต่างกันสำหรับแบบจำลองกรณีศึกษาคือ ค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ 0 , 30 , 50 , 70 และ 80 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จากนั้นจึงเริ่มการจำลองในกรณีศึกษาเพื่อหาอิทธิพลของความชื้นที่มีผลต่อสมรรถนะของปล่องรังสีดวงอาทิตย์โดยแบ่งการจำลองออกเป็น 2 การทดสอบคือ การทดสอบแบบจำลองอากาศชื้นเปรียบเทียบกับแบบจำลองอากาศแห้ง และแบบจำลองความชื้นที่มีผลกับขนาดช่องเปิดต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.5 โซนภูมิอากาศประเทศไทย, Khedari et al, 2001 (ดัดแปลง)

1) การทดลองที่ 1 ศึกษาอิทธิพลของความชื้นที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของปล่องรังสีดวงอาทิตย์ และทำการเลือกช่วงเวลา จากการทดลองจริงมาเป็นตัวแปรควบคุมงานวิจัยนี้ เลือกผนังด้านทิศตะวันตกมาทำการศึกษา โดยเลือกช่วงเวลาเย็น (16.00 น.) เนื่องจากในเวลาเย็นผนังด้านนี้ได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์จึงทำให้เห็นผลและให้ประสิทธิภาพได้สูงสุด รวมทั้งให้ผลความคาดเคลื่อนต่ำที่สุด จากการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองจริงและผลจากโปรแกรม (ผลการจากเปรียบในบทที่ 5)

ตัวแปรต้น	คือ	อัตราส่วนความชื้นในอากาศ (humidity ratio, $kgH_2O/kg_{dryair}$ )
ตัวแปรตาม	คือ	อุณหภูมิอากาศในปล่อง (K) ความเร็วในปล่อง (m/s)
ตัวแปรควบคุม	คือ	ลักษณะทางกายภาพของผนัง ขนาดช่องอากาศ 0.20 เมตร สูง 3.00 เมตร และช่องทางเข้าออก 0.05 เมตร ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม อุณหภูมิช่องทางเข้า ทางออกอากาศ และอุณหภูมิผนัง

ตารางที่ 4.1

ตารางการทดลองที่ 1

เวลา	อุณหภูมิที่ขอบ (องศาเซลเซียส)	ระดับความชื้นสัมพัทธ์ (%)
16.00	Wall 1 = 33.00 Wall 2 = 29.00 Inlet = 27.00 Outlet = 32.00	RH = 0 (ideal gas) , 30 , 50 70 และ 80

2) การทดลองที่ 2 ศึกษาอิทธิพลของความชื้นที่มีผลต่อขนาดช่องอากาศระหว่างผนัง โดยทำการศึกษาต่อจากการทดลองที่ 1 โดยเลือกช่วงเวลาเย็นเนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่มีผนังได้รับความร้อนมากที่สุดส่งผลให้ประสิทธิภาพการระบายของผนังมีค่าสูงสุด และผลจากการทดลองจริงให้ค่าที่ชัดเจนละมีความเป็นไปได้ แล้วทำการเปลี่ยนขนาดช่องอากาศระหว่างผนังที่สัมพันธ์กับระดับความชื้นที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาอิทธิพลของความชื้นที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของปล่องรังสีดวงอาทิตย์

ตัวแปรต้น	คือ	แบบจำลองของไหลในช่องอากาศ (ideal gas , air-vapor mixture) ขนาดช่องอากาศระหว่างผนัง ( $m$ )
ตัวแปรตาม	คือ	อุณหภูมิอากาศในปล่อง ( $K$ ) ความเร็วในปล่อง ( $m/s$ )
ตัวแปรควบคุม	คือ	ลักษณะทางกายภาพของผนัง ความสูง 3.00 เมตร และช่องทางเข้าออก 0.05 เมตร ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม อุณหภูมิช่องทางเข้า ทางออกอากาศ และอุณหภูมิผนัง

ตารางที่ 4.2

ตารางการทดลองที่ 2

เวลา	อุณหภูมิที่ขอบ (องศาเซลเซียส)	แบบจำลองของไหลในช่อง อากาศ	ขนาดช่องอากาศ ระหว่างผนัง
16.00	Wall 1 = 33.00	- ideal gas - air-vapor mixture	0.10 m
	Wall 2 = 29.00		0.20 m
	Inlet = 27.00		0.30 m
	Outlet = 32.00		

3) การทดลองที่ 3 ศึกษาอิทธิพลของความชื้นที่มีผลต่อขนาดของช่องเปิด โดยทำการศึกษาต่อจากการทดลองที่ 2 แล้วทำการเปลี่ยนขนาดช่องเปิดของผนัง เพื่อศึกษาขนาดของช่องเปิด ที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของปล่องรังสีดวงอาทิตย์

ตัวแปรต้น	คือ	แบบจำลองของไหลในช่องอากาศ (ideal gas , air-vapor mixture)
		ขนาดช่องเปิดผนัง ( $m$ )
ตัวแปรตาม	คือ	อุณหภูมิอากาศในปล่อง ( $K$ )
		ความเร็วในปล่อง ( $m/s$ )
ตัวแปรควบคุม	คือ	ลักษณะทางกายภาพของผนัง ขนาดช่องอากาศ 0.20 เมตร สูง 3.00 เมตร
		ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม
		อุณหภูมิช่องทางเข้า ทางออกอากาศ และอุณหภูมิผนัง

ตารางที่ 4.3

ตารางการทดลองที่ 3

เวลา	อุณหภูมิที่ขอบ (องศาเซลเซียส)	แบบจำลองของไหลในช่องอากาศ	ขนาดช่องเปิดผนัง
16.00	Wall 1 = 33.00	- ideal gas - air-vapor mixture	0.05 m
	Wall 2 = 29.00		0.10 m
	Inlet = 27.00		0.15 m
	Outlet = 32.00		

การกำหนดค่าในโปรแกรม ANSYS fluent 14.0 ตามการทดลองข้างต้นจะแบ่งการจำลองเป็น 2 รูปแบบคือ การจำลองอากาศเป็นอากาศแห้ง (dry air) โดยใช้คุณสมบัติก๊าซในอุดมคติ (ideal gas) ในกรณีพื้นฐาน และการจำลองอากาศเป็นอากาศชื้น (moist air) โดยใช้คุณสมบัติของของผสมระหว่างอากาศกับไอน้ำ (air-vapor mixture) ในกรณีศึกษา ดังตารางที่ 4.3 และ 4.4

#### ตารางที่ 4.4

การกำหนดข้อมูลและค่าคุณสมบัติต่างๆ ของอากาศและระบบ ในกรณีพื้นฐาน

<b><u>Operating Conditions</u></b>	
Gravity (enable)	-9.81 m/s <sup>2</sup>
Temperature	30.5 องศาเซลเซียส / 303.5 เคลวิน (อุณหภูมิเฉลี่ยระบบ)
<b><u>Boundary Conditions</u></b>	
Hot wall	Constant temperature
Cold wall	Constant temperature
Pressure inlet	Guage total pressure = 0 Constant temperature
Pressure outlet	Guage total pressure = 0 Constant temperature
<b><u>Solution Method</u></b>	
SIMPLE pressure-velocity coupling	
Spatial Discretization	
Gradient Least Square Cell Base	
PRESTO! Pressure interpolation scheme	
2nd Oder Upwind for momentum	
2nd Oder Upwind for Turbulent Kinetic Energy	
2nd Oder Upwind for Turbulent Dissipation Rate	

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

การกำหนดข้อมูลและค่าคุณสมบัติต่างๆ ของอากาศและระบบ ในกรณีพื้นฐาน

<b>Physical properties</b>	
Density (Boussinesq's)	1.164 kg/m <sup>3</sup>
Thermal Expansion Coefficient	0.0033 K <sup>-1</sup>
Specific Heat	1007 J/kg-K
Thermal Conductivity	0.02588 W/m-k
Viscosity	1.872 * 10 <sup>-5</sup> kg/m-s
<b>Model</b>	
k-epsilon	
Random number generator (RNG)	

หมายเหตุ : ค่าอุณหภูมิ (Constant temperature) เป็นไปตามค่าการทดลองจริงของ นายนิพนธ์ ราชประดิษฐ์ ,2540

## ตารางที่ 4.5

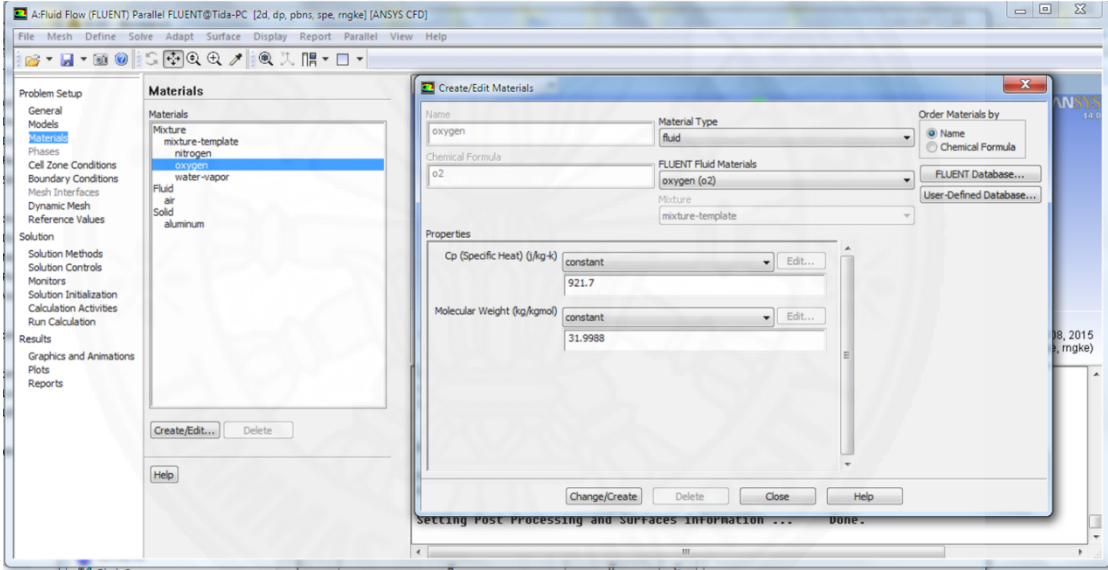
การกำหนดข้อมูลและค่าคุณสมบัติต่างๆ ของอากาศและระบบ ในกรณีศึกษา

<b><u>Operating Conditions</u></b>	
Gravity (enable)	-9.81 m/s <sup>2</sup>
Temperature	31 องศาเซลเซียส / 304 เคลวิน (อุณหภูมิเฉลี่ยระบบ)
<b><u>Boundary Conditions</u></b>	
Hot wall	33 องศาเซลเซียส
Cold wall	29 องศาเซลเซียส
Pressure inlet	Guage total pressure = 0 27 องศาเซลเซียส
Pressure outlet	Guage total pressure = 0 32 องศาเซลเซียส
<b><u>Solution Method</u></b>	
SIMPLE pressure-velocity coupling	
<b><u>Spatial Discretization</u></b>	
Gradient Least Square Cell Base	
PRESTO! Pressure interpolation scheme	
2nd Oder Upwind for momentum	
2nd Oder Upwind for Turbulent Kinetic Energy	
2nd Oder Upwind for Turbulent Dissipation Rate	
<b><u>Model</u></b>	
k-epsilon	
Random number generator (RNG)	



ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

การกำหนดข้อมูลและค่าคุณสมบัติต่างๆ ของอากาศและระบบ ในกรณีพื้นศึกษา

<b>Species Transport</b>	
เลือก template (ของผสม) => $H_2O, O_2, N_2$	
Option : Diffusion Energy Source	
$\nabla \cdot \left( \sum_j h_j \bar{J}_j \right)$	
includes the effect of enthalpy transport due to species diffusion in the energy equation	
	
<b>Physical properties (Specific Heat)</b>	
Nitrogen = 1042 J/kg-K	
Oxygen = 921.7 J/kg-K	
Water – vapor = 1875 J/kg-K	
<b>Radiation</b>	
Surface to Surface	

## บทที่ 5

### ผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของความชื้นที่มีผลต่อสมรรถนะของปล่องรังสีดวงอาทิตย์ (solar chimney) ช่องอากาศระหว่างผนังและขนาดช่องเปิดของผนัง มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาระบบการทำงานของปล่องรังสีดวงอาทิตย์ในสภาพอากาศที่มีความชื้นแตกต่างกัน โดยแบ่งผลการศึกษาแบบจำลองออกเป็น 3 ส่วน ผลการศึกษาจำลองด้วยโปรแกรม เปรียบเทียบการสอบเทียบผลการทดลอง (validation) ผลจากแบบจำลองที่ 1 การศึกษาอิทธิพลของความชื้นที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของปล่องรังสีดวงอาทิตย์ ผลจากแบบจำลองที่ 2 การศึกษาผลของขนาดช่องอากาศระหว่างผนังที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ และผลจากแบบจำลองที่ 3 การศึกษาผลของขนาดช่องอากาศระหว่างผนังที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 5.1 ผลจากการศึกษาโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเพื่อเปรียบเทียบการสอบเทียบผลการทดลอง (Validation)

##### 5.1.1 การทดสอบเครื่องมือพลศาสตร์ของไหล

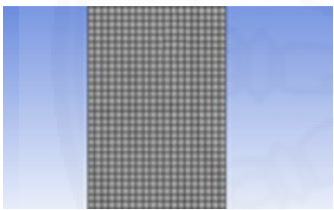
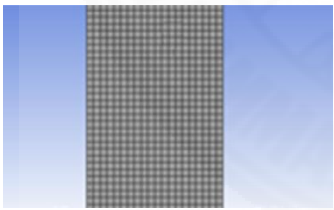
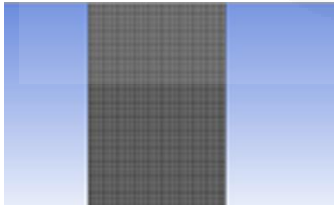
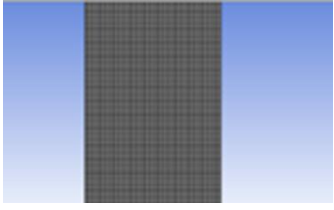
การทดสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล ANSYS fluent 14.0 โดยการจำลองงานวิจัยของ นายนิพนธ์ ราชประดิษฐ์ (2543) เป็นงานวิจัยเชิงทดลองจริงเกี่ยวกับสมรรถนะของปล่องรังสีดวงอาทิตย์ การทดสอบเครื่องมือจะกำหนดมิติในการจำลองเป็น 2 มิติ ให้มีขนาดเท่ากับการทดลองจริง ซึ่งผนังมีสูง 2.00 เมตร ช่องอากาศระหว่างผนังมีขนาด 0.14 เมตร และช่องทางเข้าออกอากาศมีขนาด 0.05 เมตร ดังภาพที่ 4.1 โดยการคำนวณการไหลของอากาศจะกำหนดให้คำนวณเป็นแบบปั่นป่วน (turbulent flow) ในสภาวะคงที่ (steady state) ในกรณีการพาความร้อนแบบธรรมชาติที่มีความแตกต่างกันระหว่างอุณหภูมิของผนัง ใช้สมการคำนวณพลังงาน (energy equation) และการลอยตัวของอากาศในปริมาตรควบคุมด้วยสมการของบุสซิเนส (Boussinesq's approximation) ใช้วิธีการแก้สมการการไหลของอากาศแบบ standard and RNG  $k - \epsilon$  (R) และสมการชั้นของไหลใกล้ enhanced wall treatment มีการตั้งค่าในโปรแกรมตามตารางที่ 4.4 และกำหนดให้อากาศในแบบจำลองปล่องรังสีดวงอาทิตย์เป็นก๊าซในอุดมคติ (ideal gas)

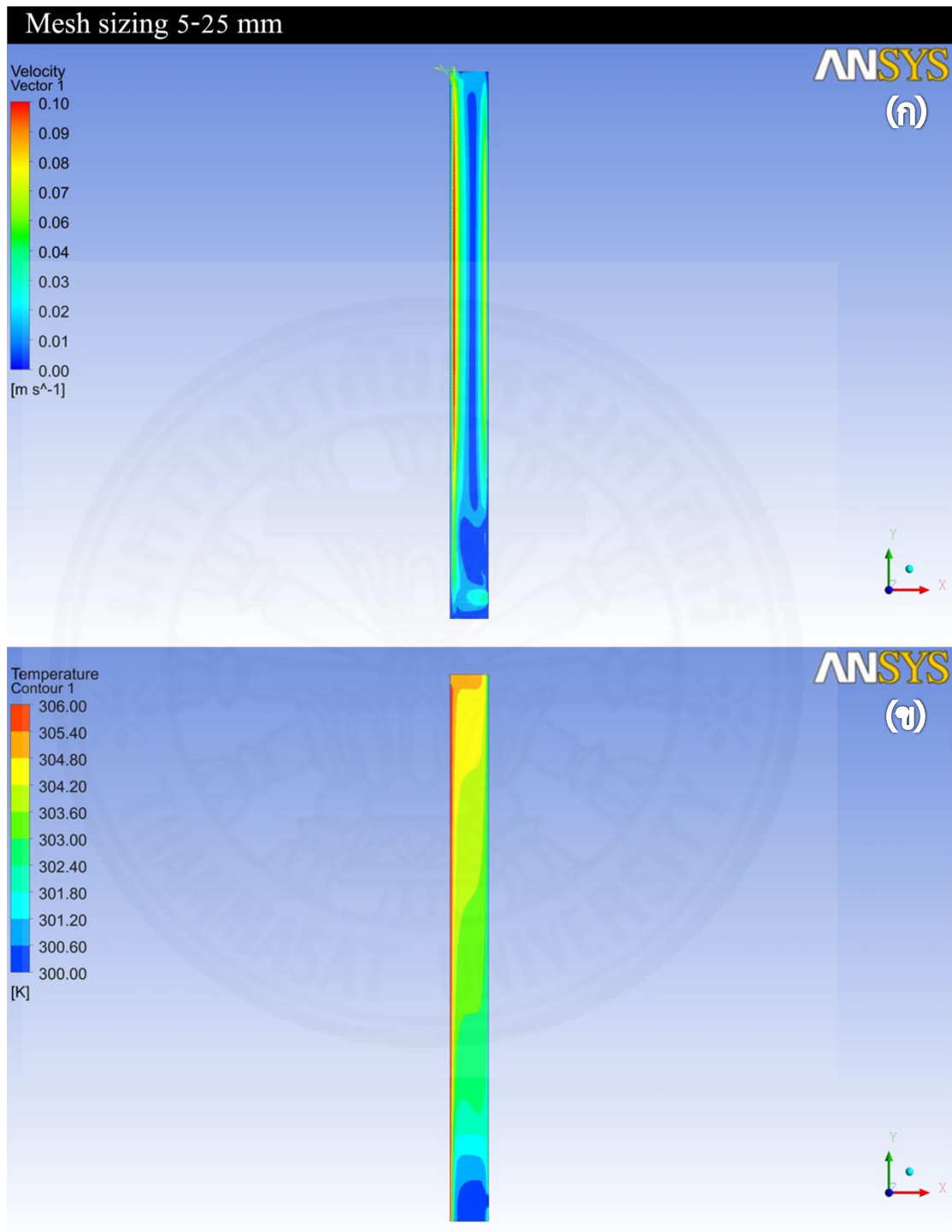
### 5.1.1.1. การวิเคราะห์ความไวต่อขนาด mesh ในแบบจำลอง

ขั้นตอนนี้คือขั้นตอนการวิเคราะห์ผลความไวต่อขนาดเมช (mesh) ในแบบจำลองของโปรแกรมเพื่อเลือกใช้จำนวนเมช (mesh) ที่น้อยที่สุดในการวิเคราะห์และแสดงผลการศึกษาจากแบบจำลองที่ถูกต้อง โดยการเปรียบเทียบค่าความละเอียดในการแสดงผล ทั้งความเร็วและอุณหภูมิภายในช่องอากาศโดยขนาดเมช (mesh) ที่ทำการทดลองจะมีค่าตามตารางที่ 5.1

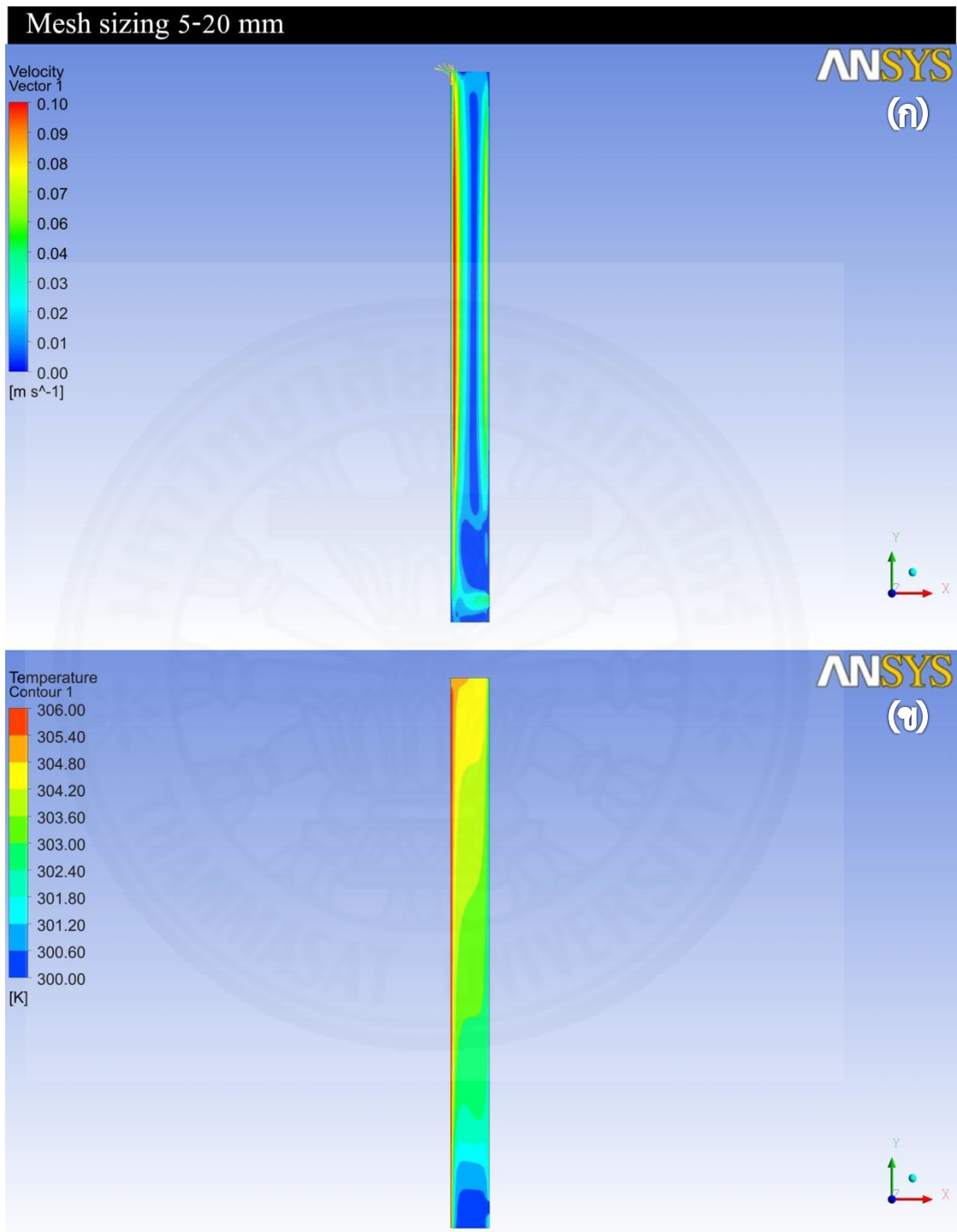
ตารางที่ 5.1

จำนวน mesh และการตั้งค่าในโปรแกรม

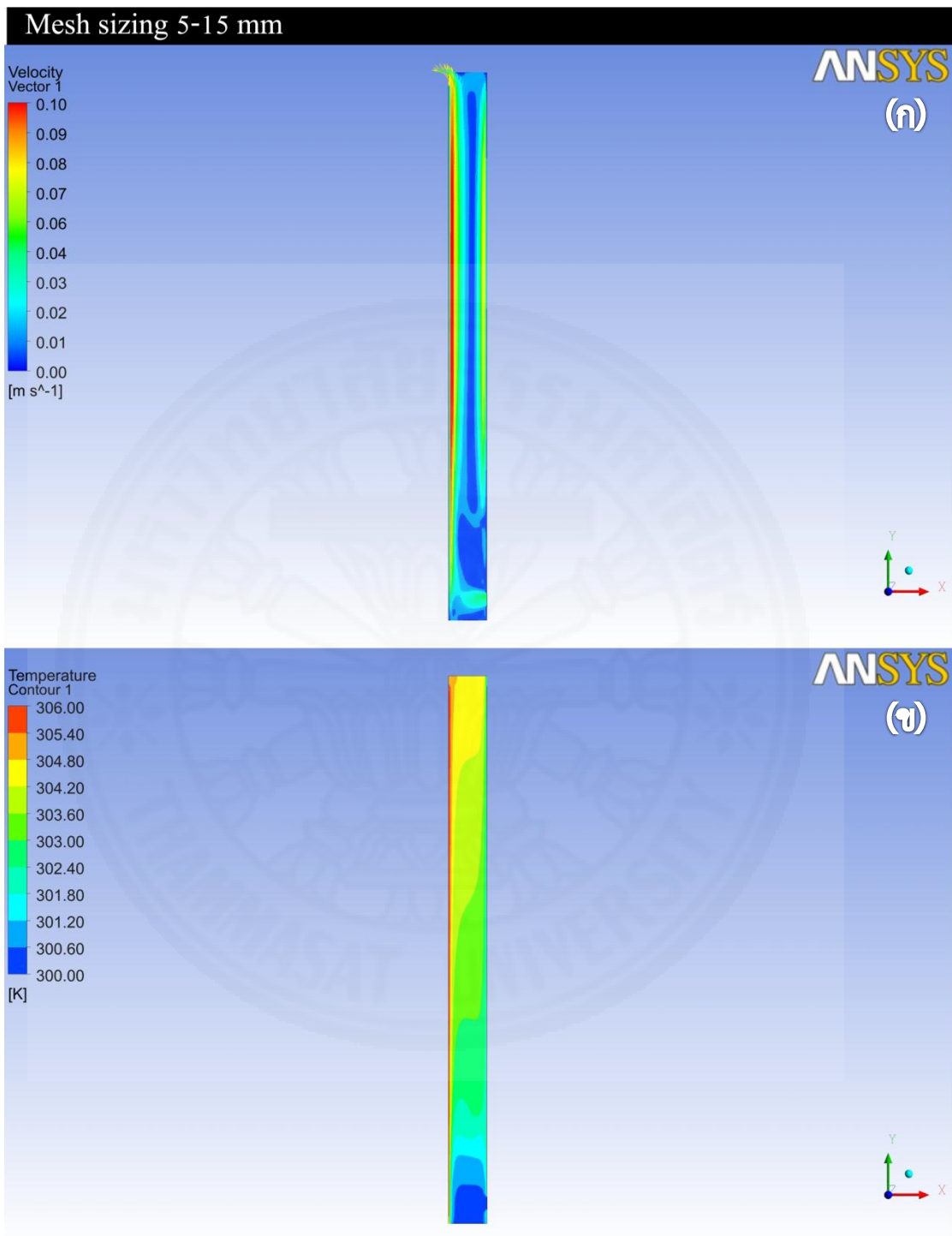
Model	จำนวน Node	การตั้งค่าในแบบจำลอง			
		mesh		Method	Growth rate
		Min size	Max size		
	4,097	5 mm	25 mm	Quadrilateral Dominant	1.2
	6,334	5 mm	20 mm	Quadrilateral Dominant	1.2
	11,242	5 mm	15 mm	Quadrilateral Dominant	1.2
	24,706	5 mm	10 mm	Quadrilateral Dominant	1.2



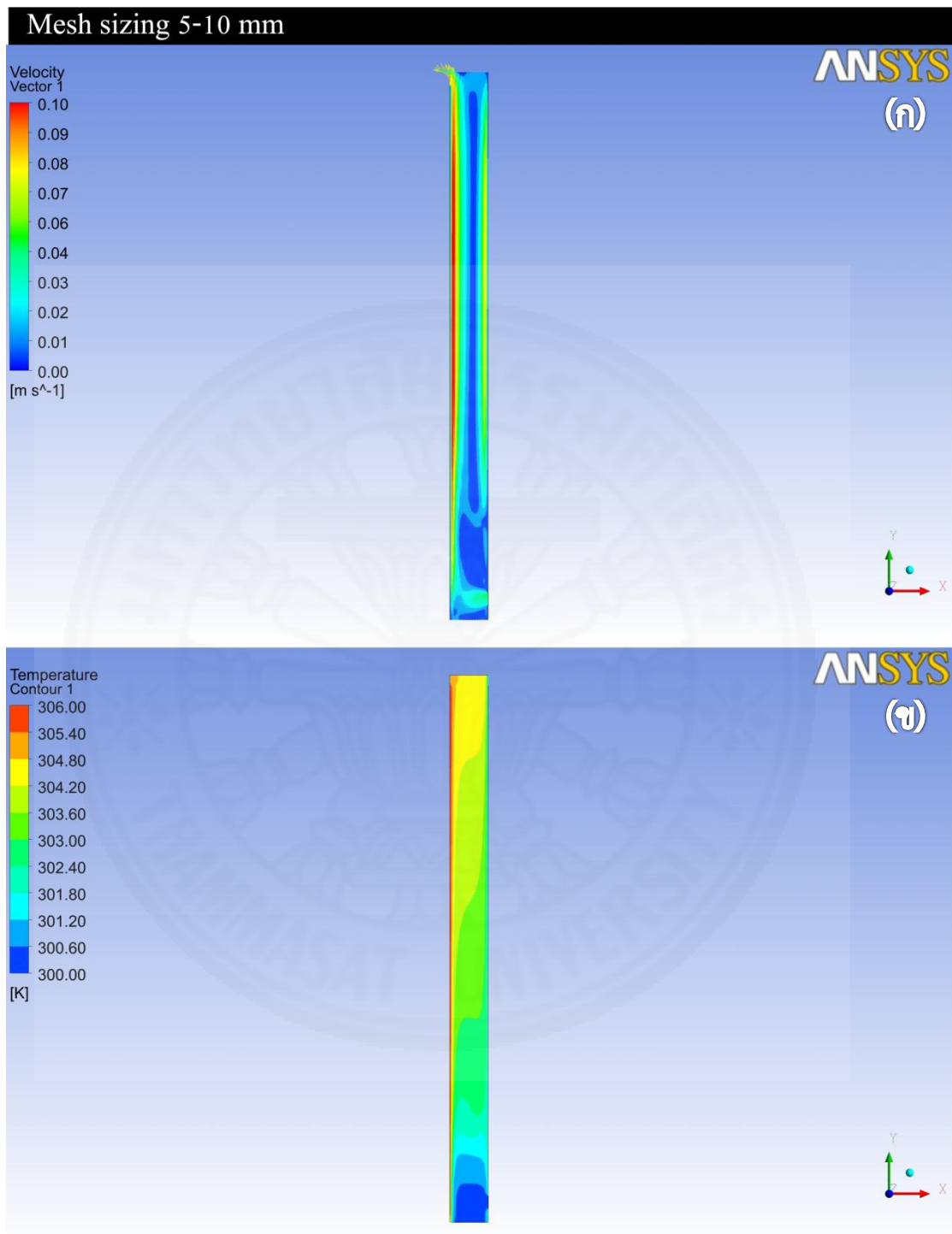
ภาพที่ 5.1 ผลของความเร็ว (ก) และอุณหภูมิ (ข) ที่ขนาด mesh 5-25



ภาพที่ 5.2 ผลของความเร็ว (ก) และอุณหภูมิ (ข) ที่ขนาด mesh 5-20

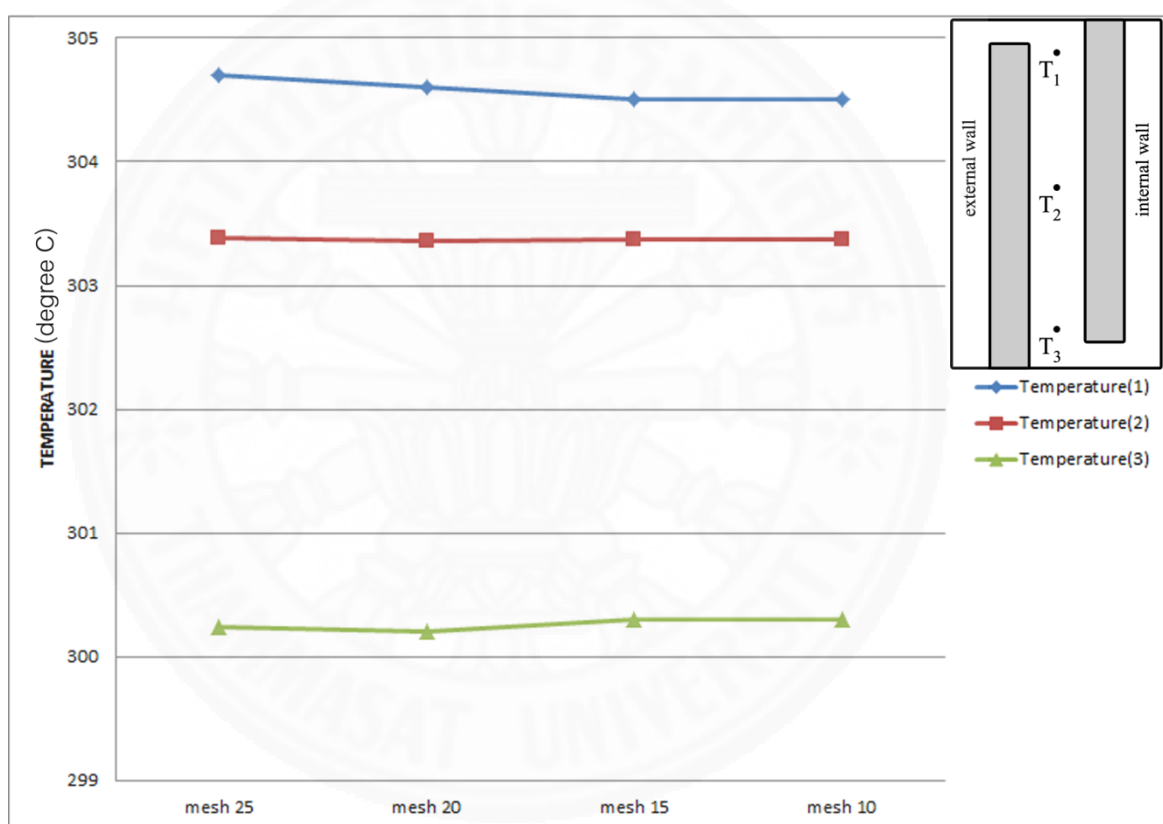


ภาพที่ 5.3 ผลของความเร็ว (ก) และอุณหภูมิ (ข) ที่ขนาด mesh 5-15



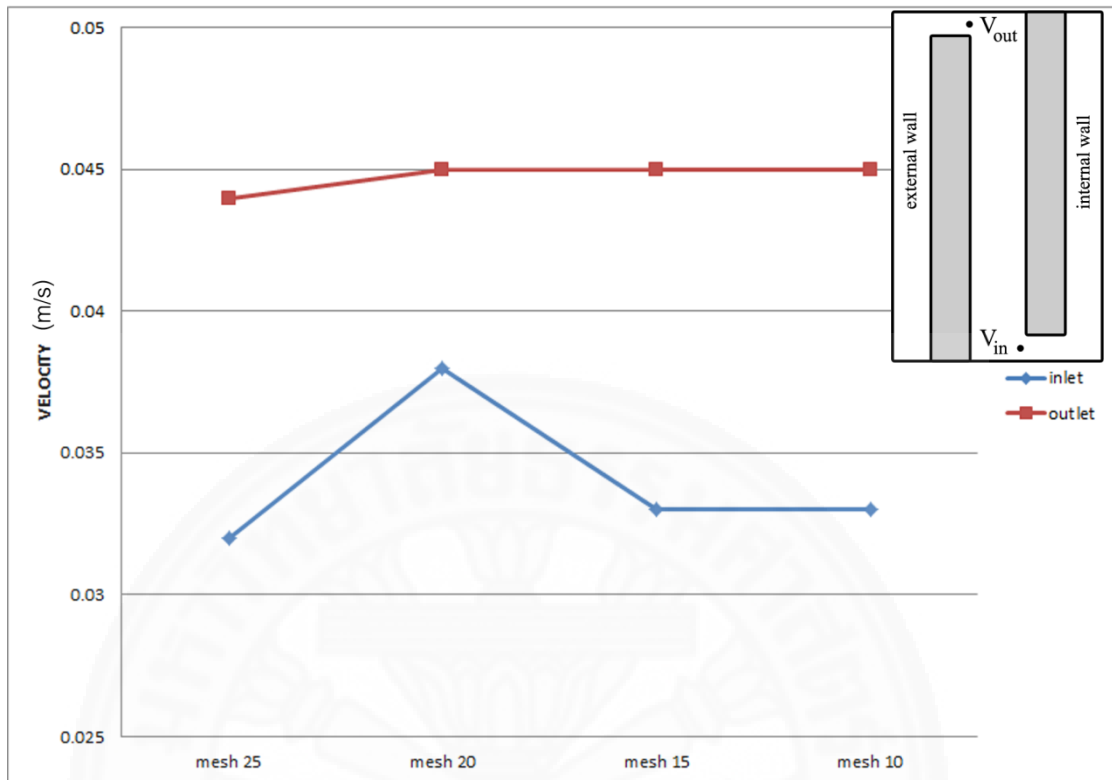
ภาพที่ 5.4 ผลของความเร็ว (ก) และอุณหภูมิ (ข) ที่ขนาด mesh 5-10

จากการเปรียบเทียบผลจากการจำลองพบว่า การแสดงผลของแบบจำลองที่มีความละเอียดที่ขนาดเมช (mesh) 5-10 mm และ 5-15 mm นั้นมีการแสดงผลการกระจายค่าความเร็วลมและค่าอุณหภูมิที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน โดยสังเกตจากเส้นเวกเตอร์ทิศทางของความเร็วอากาศและแถบสีของอุณหภูมิอากาศ ดังภาพที่ 5.1 - 5.4 ขนาดของเมช (mesh) ที่หยาบที่สุดในการแสดงผลข้อมูลคือเมช (mesh) ที่มีขนาด 5-15 mm และมีจำนวน node เท่ากับ 11,242 ซึ่งเป็นจำนวน node ที่น้อยที่สุดที่สามารถแสดงผลความเร็วและอุณหภูมิที่ไม่เปลี่ยนแปลง ดังภาพที่ 5.5 - 5.6 ผลการจำลองนี้สามารถนำไปใช้อ้างอิงเป็นกรณีศึกษาเพื่อเปรียบเทียบผลในการทดลองต่อไป



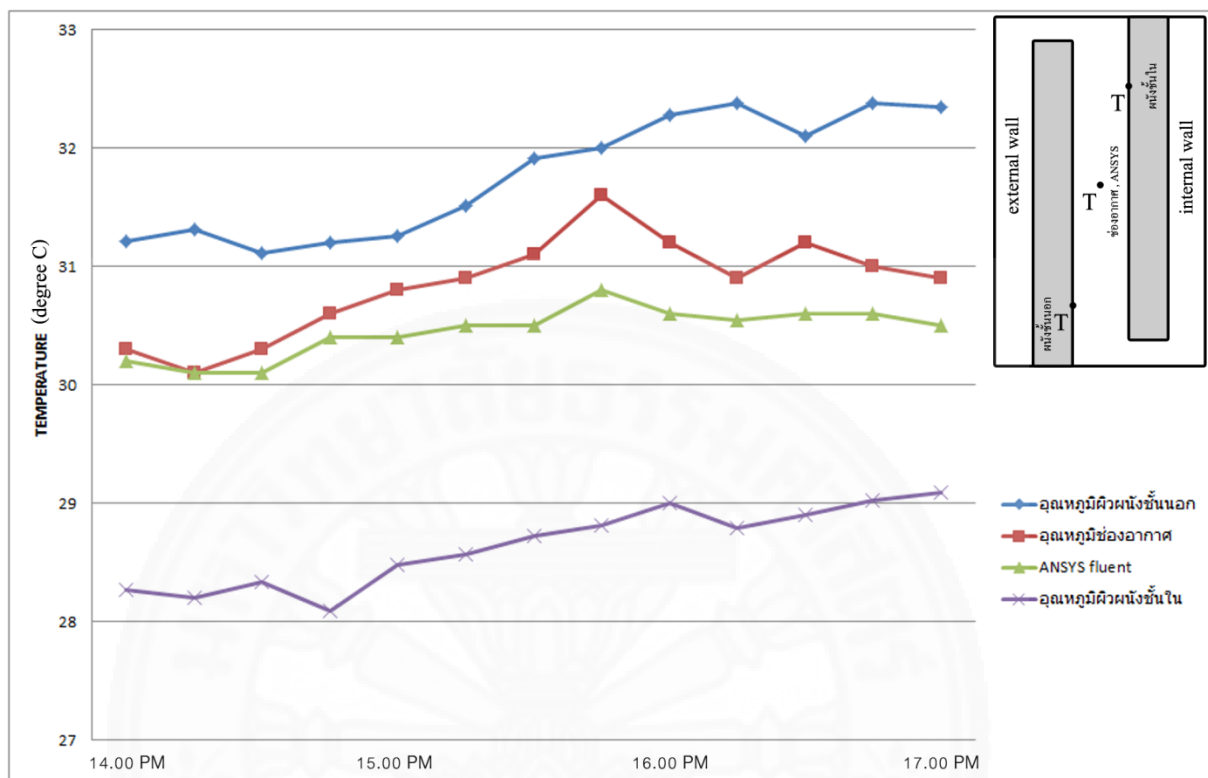
ภาพที่ 5.5 ผลของอุณหภูมิที่ขนาด mesh 10-25 mm โดยวัดอุณหภูมิ 3 ตำแหน่งคือ ด้านบนปล่อง (T1) กลางปล่อง (T2) และล่างปล่อง (T3)





ภาพที่ 5.6 ผลของความเร็วจนขนาด mesh 10-25 mm โดยวัดความเร็วของอากาศ 2 ตำแหน่งคือ ช่องทางเข้าอากาศ (inlet) และช่องทางออกอากาศ (outlet)

### 5.1.1.2 ตรวจสอบความแม่นยำของการคำนวณโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล

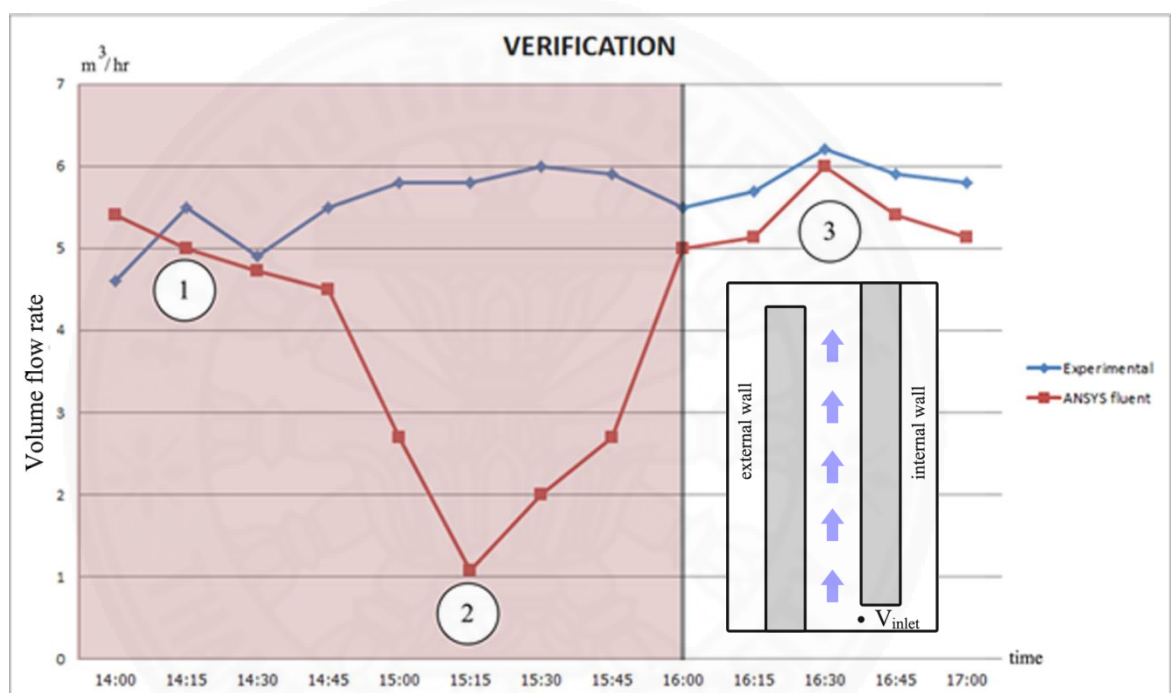


ภาพที่ 5.7 การเปรียบเทียบผลจากแบบจำลองพลศาสตร์ของไหล กับผลการวัดค่าอุณหภูมิจากการทดลองจริงช่วง 14.00น.-17.00น.

1) ผลการเปรียบเทียบจากการทดลองจริงของ นายนิพนธ์ ราชประดิษฐ์ (2543) จากภาพที่ 5.7 แสดงให้เห็นถึงเส้นของกราฟผลของอุณหภูมิของการทดลองจริงกับผลจากแบบจำลองด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล พบว่า เส้นกราฟของอุณหภูมิมีความใกล้เคียงกัน ดังนั้นการตั้งค่าในส่วนของการใช้งานแบบจำลองจึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานและกำหนดค่าต่าง ๆ ในโปรแกรมสำหรับแบบจำลองต่อไป

จากภาพที่ 5.8 แสดงให้เห็นถึงเส้นของกราฟผลของอัตราการระบายอากาศของการทดลองจริงเปรียบเทียบกับผลการจำลองด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล โดยการวิเคราะห์จากโปรแกรมผลที่ได้จะเป็นความเร็วอากาศ ณ ช่องทางเข้า เพราะมิติในการจำลองเป็น 2 มิติ ผู้วิจัยจึงทำการเปลี่ยนค่าความเร็วอากาศให้เป็นค่าอัตราการระบายอากาศ โดยคำนวณจากพื้นที่หน้าตัดช่องทางเข้า (inlet) ด้านผนังทิศตะวันตกตามการทดลองจริง เพื่อให้ผลสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ พบว่า กราฟผลอัตราการระบายอากาศในช่วงแรกได้ผลไม่ตรงกัน เนื่องจากการจำลองด้วยโปรแกรมมี

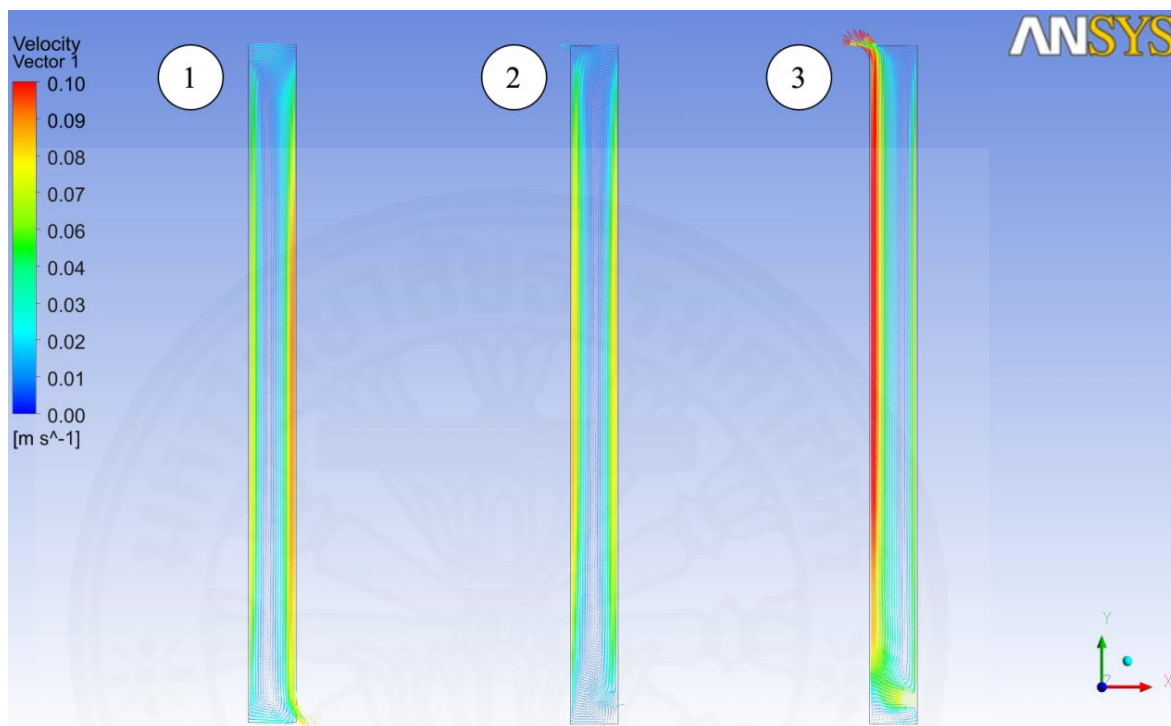
การจำลองผลจากผนังด้านตะวันตกเพียงด้านเดียว แต่การทดลองจริงมีจำลองบ้านทั้งหลังจึงทำให้ผลในช่วงแรกมีการคลาดเคลื่อน เนื่องจากได้รับผลกระทบจากการระบายอากาศภายในบ้าน จากผนังทิศอื่น แต่ในช่วงเวลาหลัง 16.00 น. กราฟของผลไปในทิศทางเดียวกัน เพราะเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเวลาที่มีผนังด้านทิศตะวันตกได้รับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยตรง และการจำลองผนังในโปรแกรมได้เลือกผนังด้านทิศตะวันตกมาทำการเปรียบเทียบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดที่จะใช้ค่าอุณหภูมิ และอัตราการระบายในเวลาช่วงเย็นเป็นตัวแปรที่จะนำไปศึกษาต่อไป



ภาพที่ 5.8 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองเครื่องมือพลศาสตร์ของไหลของอัตราการระบายอากาศแต่ละช่วงเวลา ของการทดลองจริงและโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล

ผลของการศึกษาอัตราการระบายอากาศด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล ดังภาพที่ 5.8 พบว่า รูปแบบการระบายอากาศของปล่องรังสีดวงอาทิตย์สามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบ โดยกราฟช่วงที่ 1 มีอัตราการระบายอากาศที่ใกล้เคียงกับการทดลองจริงแต่ทิศทางการไหลของอากาศมีทิศทางอากาศที่ไหลออกทางช่องทางเข้า (inlet) ช่วงที่ 2 มีอัตราการระบายอากาศที่ลดลงเนื่องอากาศภายในช่องอากาศมีการไหลวนภายในช่องอากาศทำให้อัตราการระบายในช่วงนี้มีค่าลดลง และช่วงที่ 3 มีอัตราการระบายอากาศใกล้เคียงกับช่วงที่ 1 แต่มีทิศทางตรงกันข้ามกันโดยอากาศมีการ

ไหลระบายออกทางช่องทางออก (outlet) ดังภาพที่ 5.9 อากาศที่มีทิศทางการไหลแตกต่างกัน เนื่องจาก อุณหภูมิของผนังที่แตกต่างกันที่ส่งผลต่อแรงลอยตัวของอากาศภายในช่องอากาศ ผนัง อุณหภูมิสูงมากทำให้อากาศร้อนขึ้นและมีแรงลอยตัวที่มากขึ้น

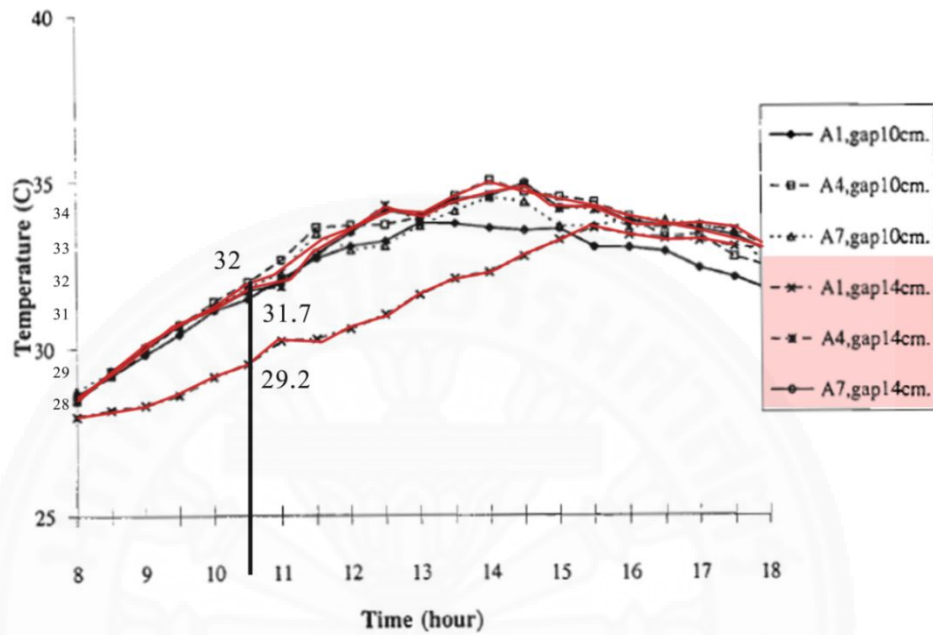


ภาพที่ 5.9 ผลการเปรียบเทียบอัตราการระบายอากาศของการจำลองในโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล ในช่วงเวลา (1). 14.15 น. (2). 15.17 น. และ (3). 16.30 น.

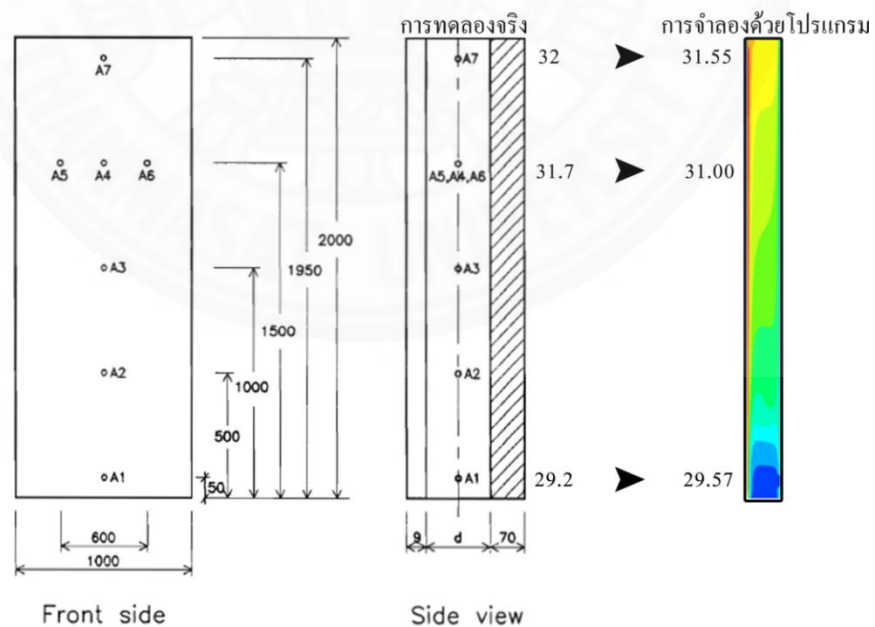
2) ผลการเปรียบเทียบจากการทดลองจริงของ นายเจริญพร เลิศสถิตธนกร (2540) พบว่า งานวิจัยนี้มีการแบ่งการวัดค่าอุณหภูมิในตำแหน่งที่ความสูงที่แตกต่างกันทั้งหมด 3 จุดของผนัง โดยผู้วิจัยจะทำการเปรียบเทียบค่าผลของอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งดังกล่าวระหว่างการจำลองด้วยโปรแกรมกับ ผลการทดลองจริง

จากการวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิผนังจากการทดลองจริงที่มีค่าเท่ากับ 33 องศาเซลเซียส เพื่อให้ตรงกับการตั้งค่าอุณหภูมิผนังในโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล พบว่า การทดลองจริง ผลของอุณหภูมิมิวด้านในที่ติดกับช่องอากาศระหว่างผนังที่มีค่าเท่ากับ 33 องศาเซลเซียส อยู่ในช่วงเวลาในการทดลองจริงที่ 10.30 น. โดย ณ เวลาดังกล่าวจะมีค่าอุณหภูมิของการทดลองจริงในช่อง

อากาศระหว่างผนัง (14 เซนติเมตร) ดังภาพที่ 5.10 และการเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิระหว่างผลการทดลองจริงกับผลการจำลองทั้ง 3 ตำแหน่ง คือ A1 , A4 , A7 พบว่าการกระจายค่าของอุณหภูมิมี่ความใกล้เคียงกันดังภาพที่ 5.11



ภาพที่ 5.10 กราฟอุณหภูมิภายในช่องอากาศระหว่างผนัง ,เจริญพร เลิศสถิตธนกร (2540)

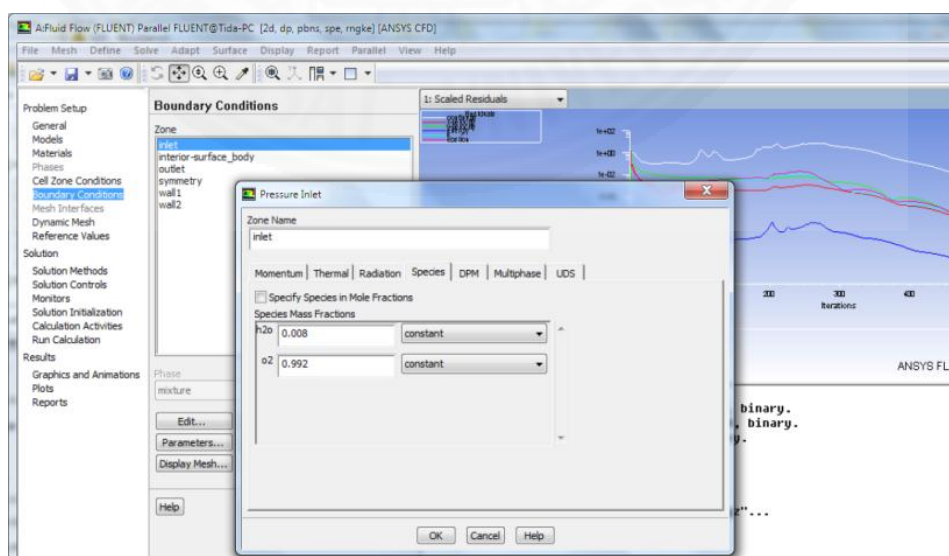


ภาพที่ 5.11 การเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิภายในช่องอากาศระหว่างการจำลองด้วยโปรแกรมกับการทดลองจริง

ผลของการทดสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล (validation) ด้วยการเปรียบเทียบผลของการทดลองจริงของ นายนายนิพนธ์ ราชประดิษฐ์, 2543 และนายเจริญพร เลิศสถิตกร, 2540 กับการจำลองด้วยโปรแกรม พบว่า โปรแกรม ANSYS fluent 14.0 สามารถอธิบาย และทำนายผลของอุณหภูมิ และความเร็วเฉลี่ยภายในปล่องที่ให้ผลสามารถเชื่อถือได้

การศึกษาวิจัยในส่วนที่ 2 ในแบบจำลองที่ 1 แบบจำลองที่ 2 และแบบจำลองที่ 3 มีการศึกษาอิทธิพลของความชื้นในอากาศที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ จาก การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจำลองความชื้นในโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล ANSYS fluent 14.0 สามารถจำลองและวิเคราะห์ผลของความชื้นในอากาศได้ โดยในแบบจำลองที่ 1 แบบจำลองที่ 2 และแบบจำลองที่ 3 ของกรณีศึกษา มีการกำหนดค่าพื้นฐานในโปรแกรมตามตารางที่ 4.5 และขนาดของโมเดลที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลเป็นโมเดล 2 มิติมีขนาดความสูง 3.00 เมตรและขนาดช่องอากาศระหว่างผนัง 0.20 เมตรตามภาพที่ 4.2

การกำหนดค่าความชื้นสำหรับการวิเคราะห์ผลในโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล จะต้องโหมด Species transport เพื่อกำหนดแบบของผสม (template) สำหรับการกำหนดของผสม โดยงานวิจัยนี้ใช้ template  $H_2O, O_2, N_2$  แทนอากาศชื้นดังตารางที่ 4.5 และกำหนดค่าสัดส่วนมวล (mass fraction) โดยสามารถคำนวณและหาได้จาก Psychrometric chart เป็นค่าของอัตราส่วนของมวลไอน้ำต่ออากาศแห้ง ซึ่งผู้วิจัยได้กำหนดค่าสัดส่วนมวล ตามความชื้นในอากาศดังตารางที่ 5.2 โดยค่าอุณหภูมิของทางเข้าอากาศมีค่า 27 องศาเซลเซียส การใส่ค่าความชื้นในโปรแกรมจะใส่ที่ ช่องทางเข้าอากาศ (inlet) ของโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล ดังภาพที่ 5.12



ภาพที่ 5.12 การใส่ค่าอัตราส่วนค่าสัดส่วนมวล (mass fraction) ในแบบจำลอง

## ตารางที่ 5.2

การกำหนดค่าสัดส่วนมวล (mass fraction) ตามค่าความชื้นในอากาศ

ระดับความชื้นสัมพัทธ์	ค่าสัดส่วนมวล (mass fraction)	
	$H_2O$	$O_2$
0 %	อากาศแห้ง (dry air)	
30 %	0.008	0.992
50 %	0.013	0.987
70 %	0.019	0.981
80 %	0.023	0.977

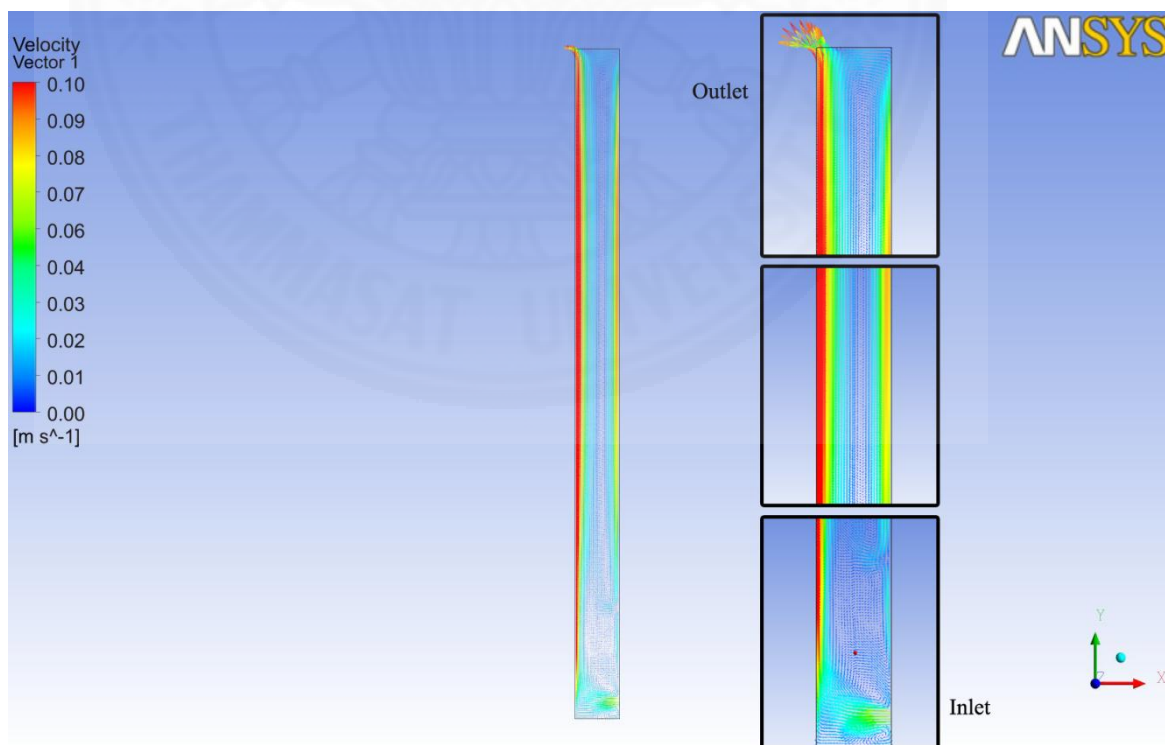
## 5.2 ผลจากการศึกษาอิทธิพลของความชื้นที่มีต่อสมรรถนะปล่องรังสีดวงอาทิตย์

ผลการวิจัยในส่วนนี้ศึกษาอิทธิพลของความชื้นที่มีผลต่อสมรรถนะผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ โดยจะใช้โมเดลกรณีศึกษา และทำการเปลี่ยนค่าคุณสมบัติอากาศในโปรแกรมเพื่อทำนายอิทธิพลของความชื้นที่มีผลต่อประสิทธิภาพของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ จะทำการศึกษาเปรียบเทียบจาก อัตราการระบายอากาศ อุณหภูมิภายในช่องอากาศ และพฤติกรรมการไหลของอากาศ โดยจะแบ่งการศึกษาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเป็น 2 รูปแบบคือ การวิเคราะห์อากาศเป็นก๊าซในอุดมคติ (ideal gas) และการวิเคราะห์อากาศให้เป็นของผสม (air-vapor mixture) ในโหมดการคำนวณของผสม (Species Transport) ที่จะกำหนดให้อากาศเป็นอากาศที่มีความชื้นที่แตกต่างกัน

## 5.2.1 ผลการศึกษาจากแบบจำลองที่ 1 โดยการกำหนดอากาศเป็นก๊าซอุดมคติ (ideal gas)

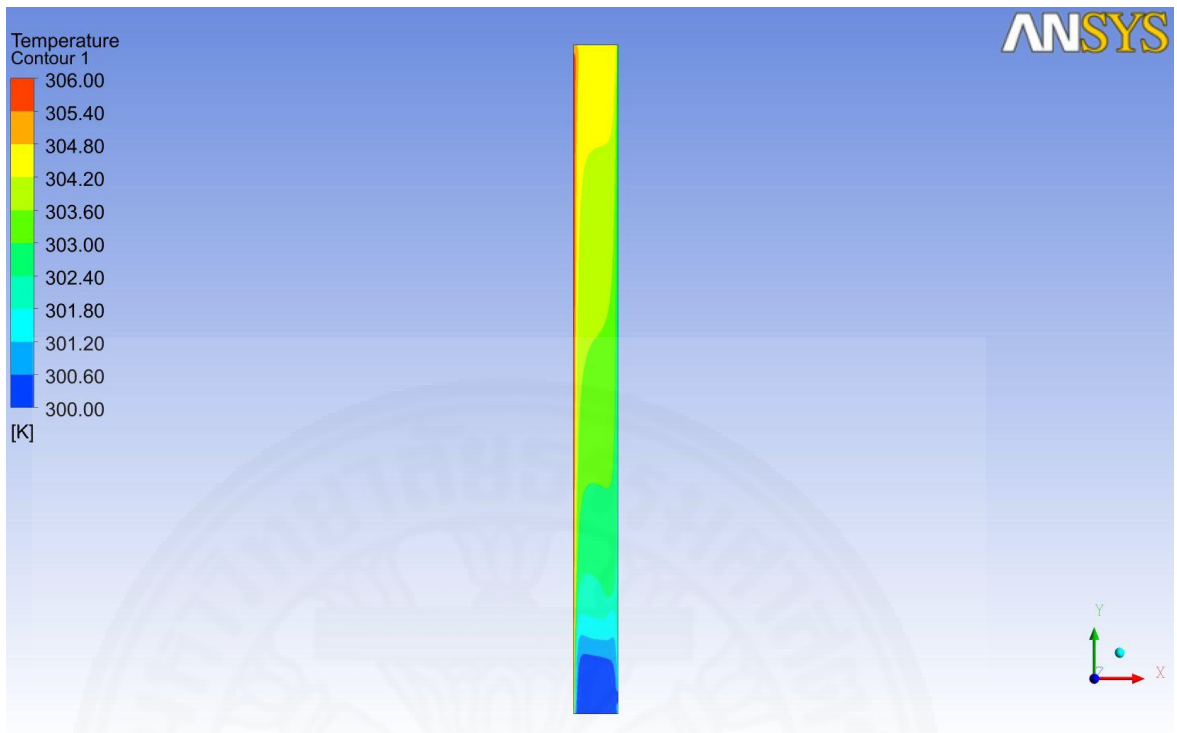
1). ผลจากการจำลองเพื่อวิเคราะห์ทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศ (ideal gas) ที่เคลื่อนที่ภายในช่องอากาศของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในช่องอากาศ พบว่า อากาศที่จำลองด้วยก๊าซในอุดมคติมีทิศทางการเคลื่อนที่ขึ้นสู่ด้านบน และไหลออกทางช่องเปิดด้านบน ดังภาพที่ 5.13 โดยทำการวัดความเร็วลม ณ ช่องทางเข้า (inlet) และทางออก (outlet) มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.05 เมตรต่อวินาที และ 0.06 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ

2). ผลจากการจำลองเพื่อวิเคราะห์อุณหภูมิของอากาศ (ideal gas) ภายในช่องอากาศของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ พบว่า อุณหภูมิภายในช่องอากาศจะมีการแบ่งค่าของอุณหภูมิออกเป็นชั้น ๆ โดยที่ค่าของอุณหภูมิต่ำจะอยู่ด้านล่าง ค่าอุณหภูมิสูงจะอยู่ด้านบน ดังภาพที่ 5.14 ค่าอุณหภูมิที่กลางปล่องจะเฉลี่ยอยู่ที่ 303.46 K หรือ 30.46 องศาเซลเซียส และค่าอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งความสูงจะสามารถแบ่งได้ตามภาพที่ 5.15

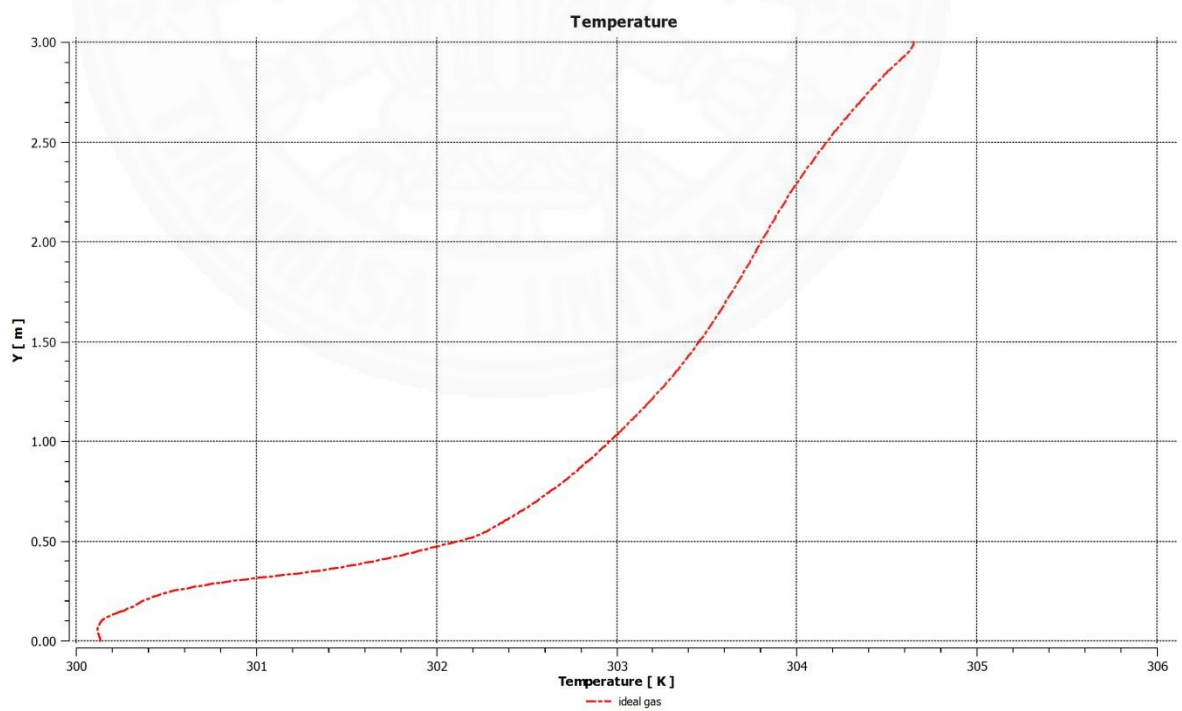


ภาพที่ 5.13 ทิศทางและความเร็วลมของอากาศภายในช่องอากาศ (ideal gas)





ภาพที่ 5.14 การกระจายค่าอุณหภูมิของอากาศในช่องอากาศ (ideal gas)



ภาพที่ 5.15 ค่าอุณหภูมิในช่องอากาศ (ideal gas) ณ กึ่งกลางปล่องตามแกน y

## 5.2.2 ผลการศึกษาจากแบบจำลองที่ 1 โดยการกำหนดอากาศเป็นของผสม (air-vapor mixture) ด้วยโหมด Species Transport

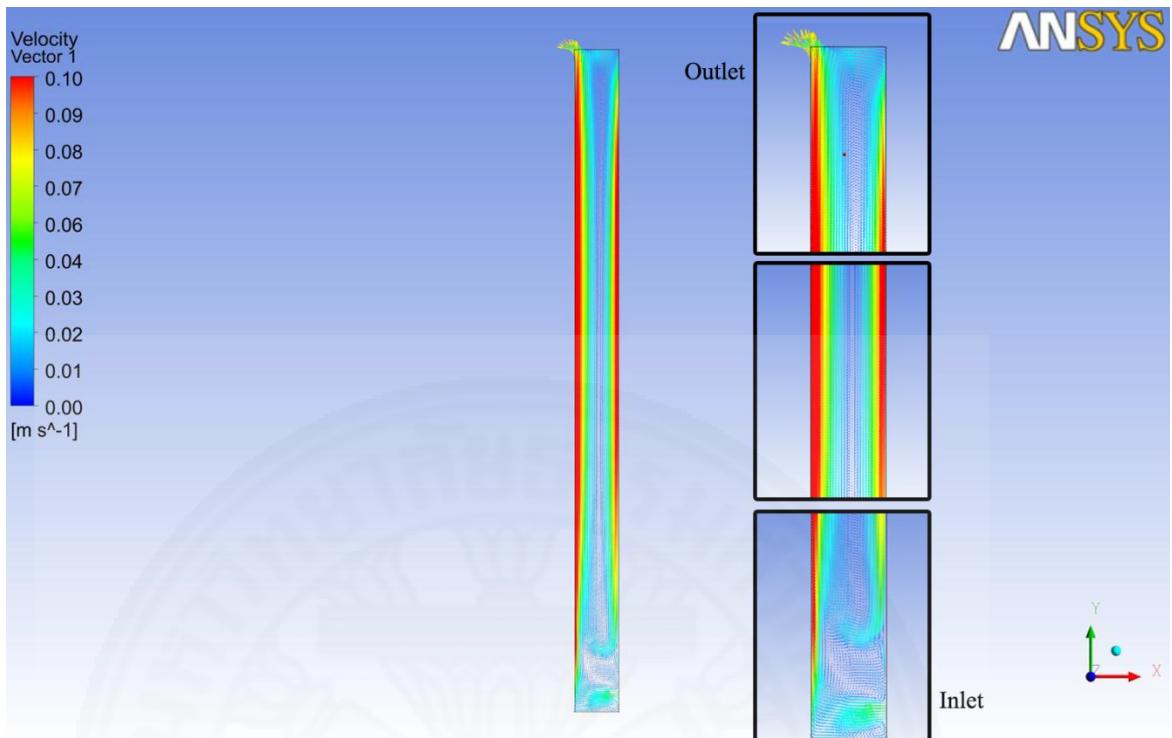
1). ผลจากการจำลองเพื่อวิเคราะห์ทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นของผสม (air-vapor mixture) ที่เคลื่อนที่ภายในช่องอากาศของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในช่องอากาศ พบว่า อากาศที่จำลองเป็นอากาศชื้นที่เป็นของผสมเพื่อทำนายอิทธิพลของความชื้นที่แตกต่างกัน อากาศมีการเคลื่อนที่ของอากาศขึ้นสู่ด้านบน และไหลออกทางช่องเปิดด้านบนเหมือนกัน ดังภาพที่ 5.15 แต่อัตราการระบายอากาศของช่องอากาศ ทั้งช่องทางเข้าอากาศ (inlet) และช่องทางออกอากาศ (outlet) จะมีความเร็วที่ลดลงที่แปรผกผันกับระดับความชื้น กล่าวคือ ถ้าอากาศมีความชื้นมากก็จะให้ความเร็วอากาศที่ลดลงดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3

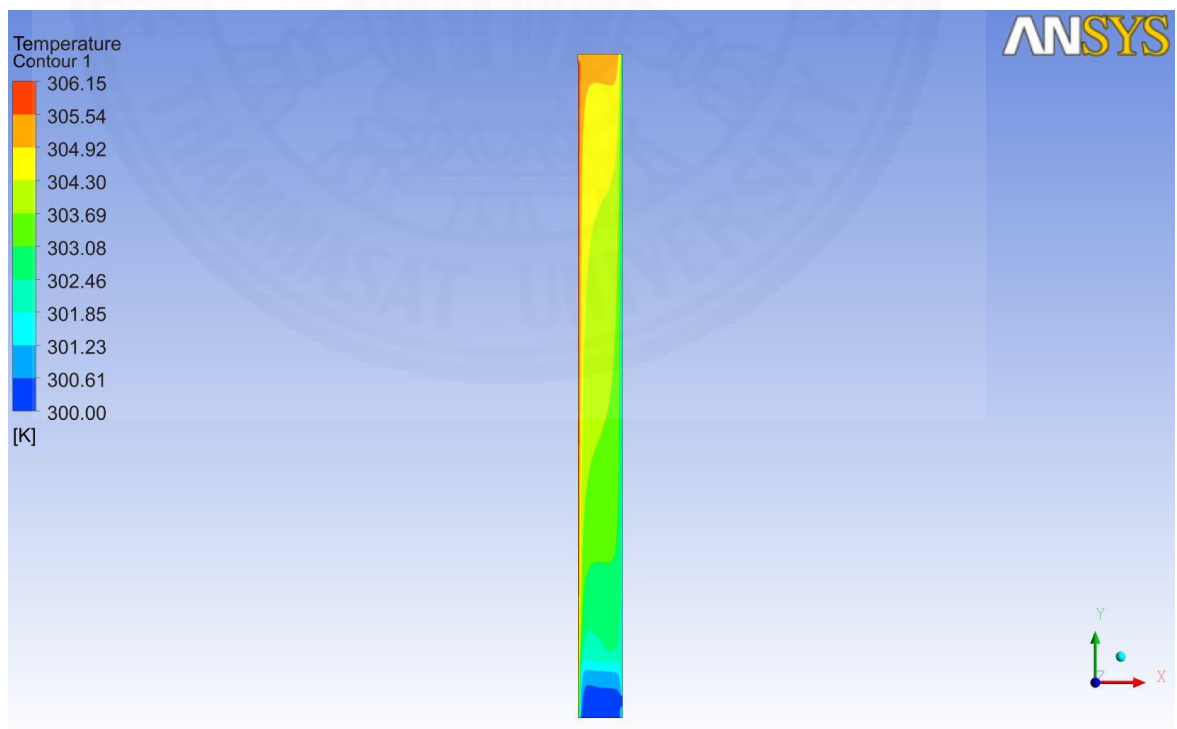
อัตราการระบายอากาศของอากาศที่มีความชื้นในอากาศ (air-vapor mixture)

ระดับความชื้นสัมพัทธ์ (RH)	ความเร็วเฉลี่ย ( $m/s$ )	
	ทางเข้า (inlet)	ทางออก (outlet)
30 %	0.0408	0.0586
50 %	0.0407	0.0586
70 %	0.0407	0.0585
80 %	0.0406	0.0585

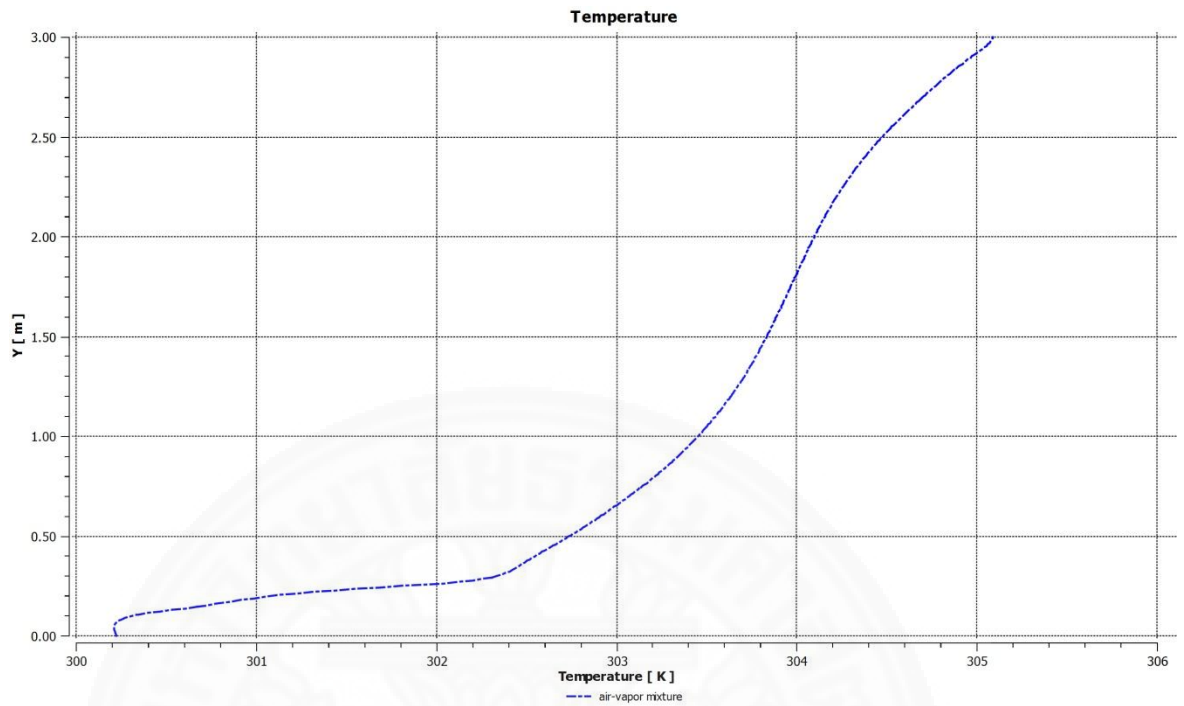
2). ผลจากการจำลองเพื่อวิเคราะห์อุณหภูมิของอากาศ (air-vapor mixture) ภายในช่องอากาศของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ พบว่า อุณหภูมิภายในช่องอากาศจะมีการแบ่งค่าของอุณหภูมิออกเป็นชั้น ๆ เหมือนกันทั้ง 4 กรณีความชื้นสัมพัทธ์ที่แตกต่างกัน โดยที่ค่าของอุณหภูมิต่ำจะอยู่ด้านล่าง และค่าอุณหภูมิสูงจะอยู่ด้านบน ดังภาพที่ 5.16 ค่าอุณหภูมิที่กลางปล่องจะเฉลี่ยอยู่ที่ 303.96 K หรือ 30.96 องศาเซลเซียสและค่าอุณหภูมิในแต่ละตำแหน่งความสูงจะสามารถแบ่งได้ตามภาพที่ 5.18



ภาพที่ 5.16 ทิศทางและความเร็วลมของอากาศภายในช่องอากาศ (air-vapor mixture)



ภาพที่ 5.17 การกระจายค่าอุณหภูมิของอากาศในช่องอากาศ (air-vapor mixture)



ภาพที่ 5.18 ค่าอุณหภูมิในช่องอากาศ (air-vapor mixture) ณ กึ่งกลางปล่องตามแกน  $y$

### 5.2.3 สรุปผลการศึกษาจากแบบจำลองที่ 1

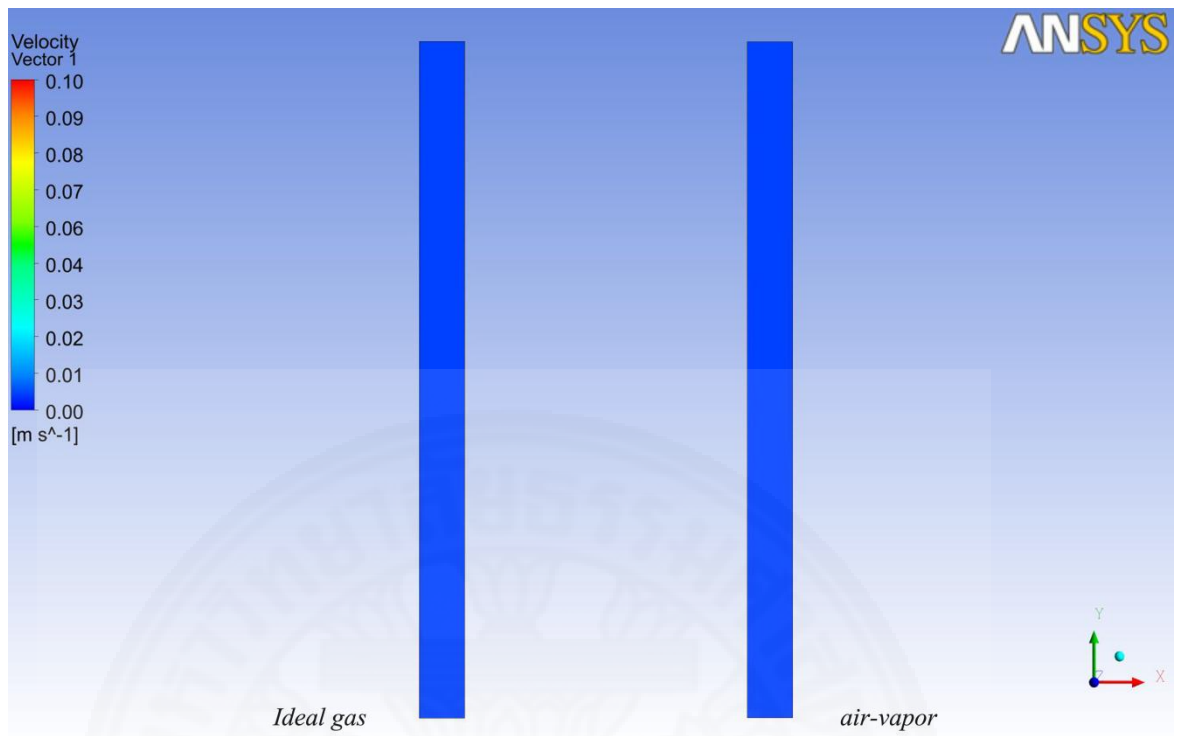
1). ผลจากการจำลองเพื่อวิเคราะห์ความเร็วของอากาศ (ideal gas) เปรียบเทียบกับการเคลื่อนที่ของอากาศที่มีความชื้น (air-vapor mixture) ที่เคลื่อนที่ภายในช่องอากาศของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในช่องอากาศ พบว่า อากาศที่จำลองด้วยก๊าซในอุดมคติมีทิศทางการเคลื่อนที่และความเร็วอากาศในปล่องรังสีดวงอาทิตย์ดีกว่าอากาศที่มีความชื้นทั้งช่องทางเข้าอากาศ (inlet) และทางออกอากาศ (outlet) ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4

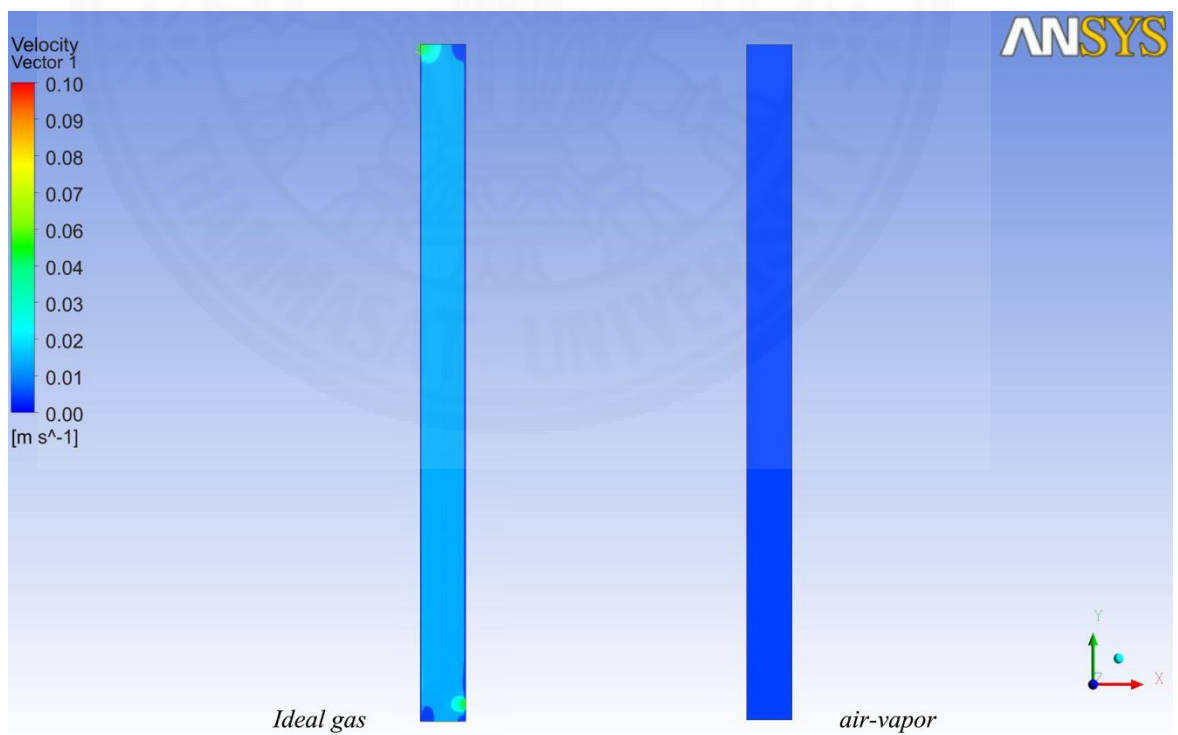
เปรียบเทียบอัตราการระบายอากาศของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศที่มีความชื้น

ระดับความชื้นสัมพัทธ์ (RH)	ความเร็วเฉลี่ย ( $m/s$ )	
	ช่องทางเข้า (inlet)	ช่องทางออก (outlet)
อากาศแห้ง (RH=0 %)	0.0550	0.0693
30 %	0.0408	0.0586
50 %	0.0407	0.0586
70 %	0.0407	0.0585
80 %	0.0406	0.0585

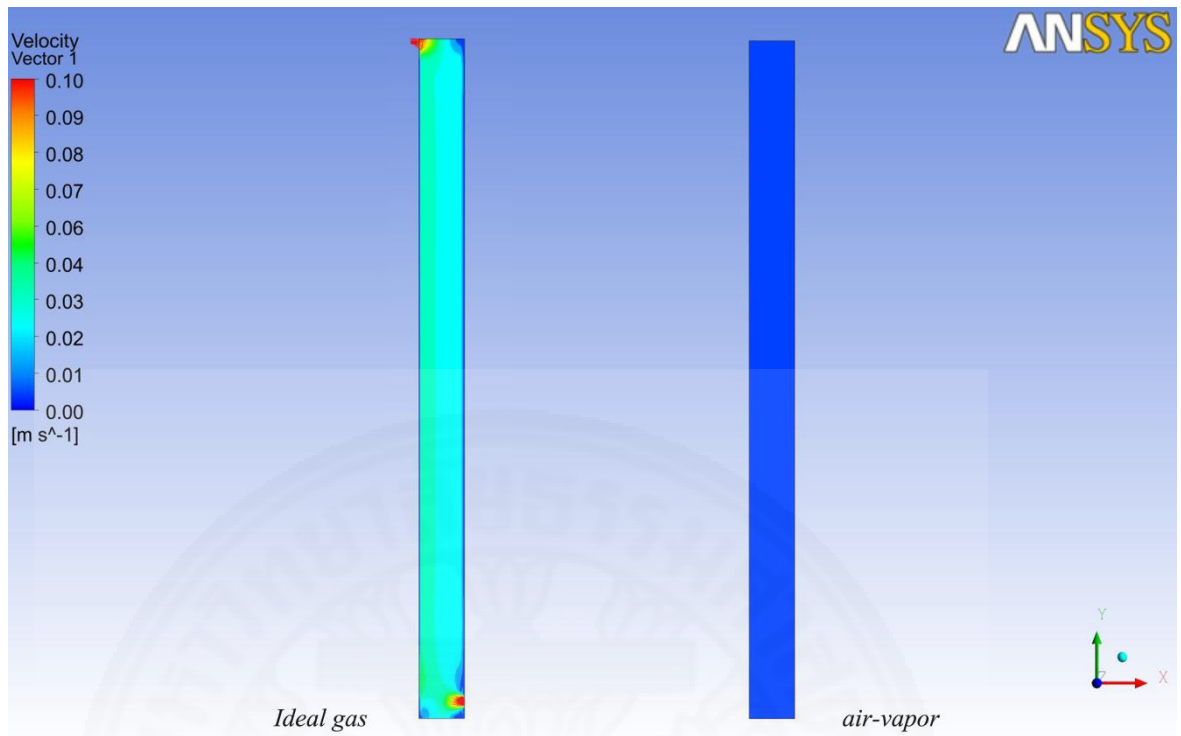
2). การวิเคราะห์ทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศแห้ง (dry air) เปรียบเทียบกับการเคลื่อนที่ของอากาศที่มีความชื้น (moist air) ที่เคลื่อนที่ภายในช่องอากาศของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ หากพิจารณาจากเวกเตอร์และทิศการเคลื่อนที่ของอากาศตามช่วงเวลา (transient) ที่แตกต่างกัน พบว่าอากาศแห้ง (dry air) มีการเคลื่อนที่ของอากาศเร็วกว่าอากาศชื้น (moist air) มีค่าเท่ากับ 15.6 เปอร์เซ็นต์ที่ช่องทางออกอากาศและ 26.3 เปอร์เซ็นต์ที่ช่องทางเข้าอากาศ ส่งผลให้เกิดการระบายอากาศได้ดีกว่าดังภาพที่ 5.19-5.27



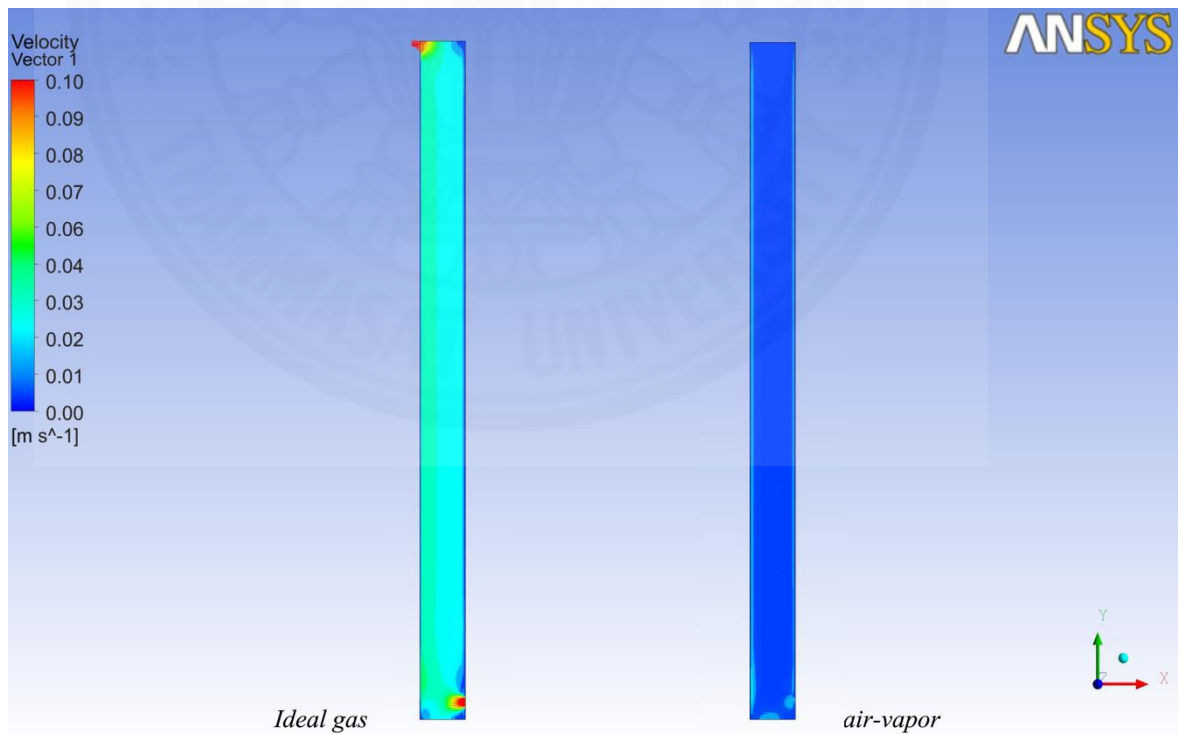
ภาพที่ 5.19 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศที่มีความชื้นในวินาทีที่ 0



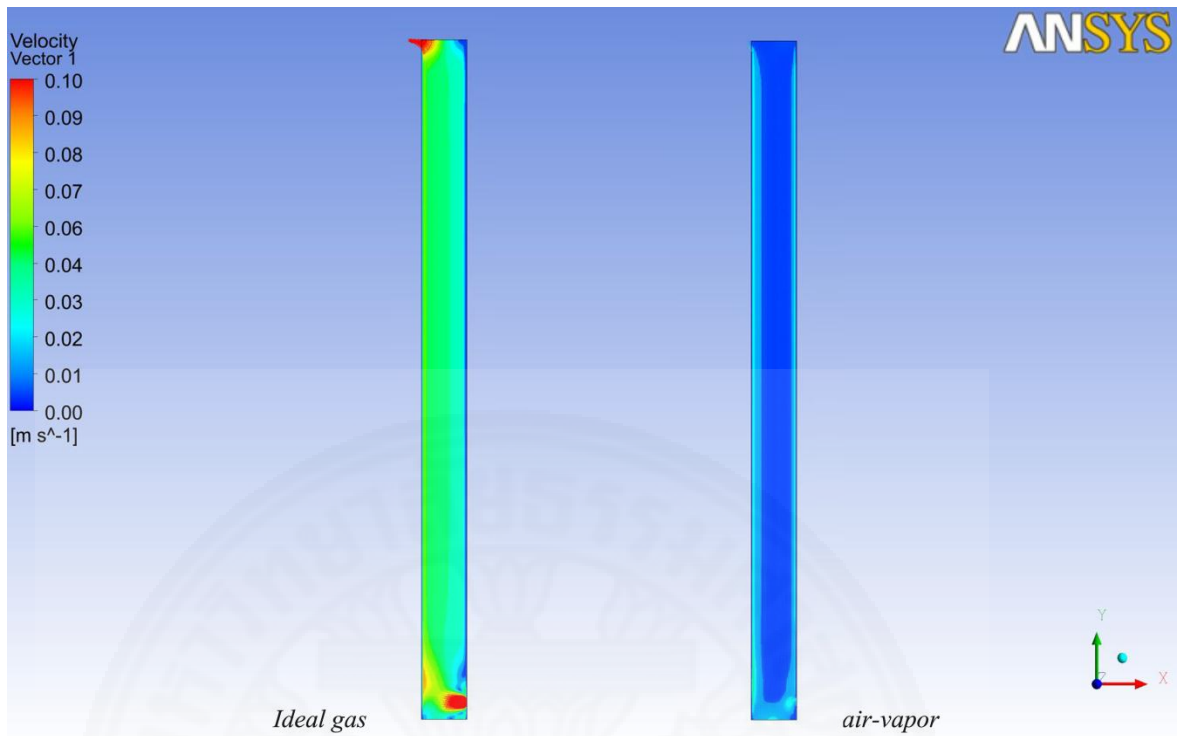
ภาพที่ 5.20 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศที่มีความชื้นในวินาทีที่ 1



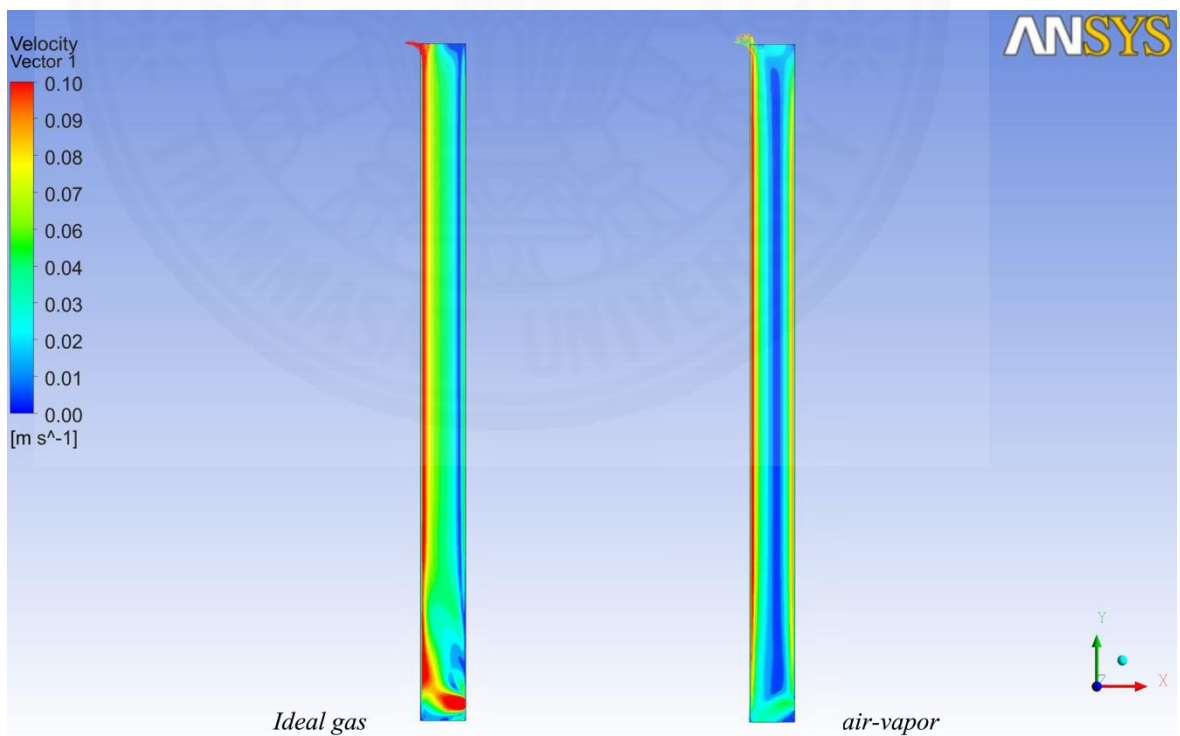
ภาพที่ 5.21 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศที่มีความชื้นในวินาทีที่ 2



ภาพที่ 5.22 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศที่มีความชื้นในวินาทีที่ 3

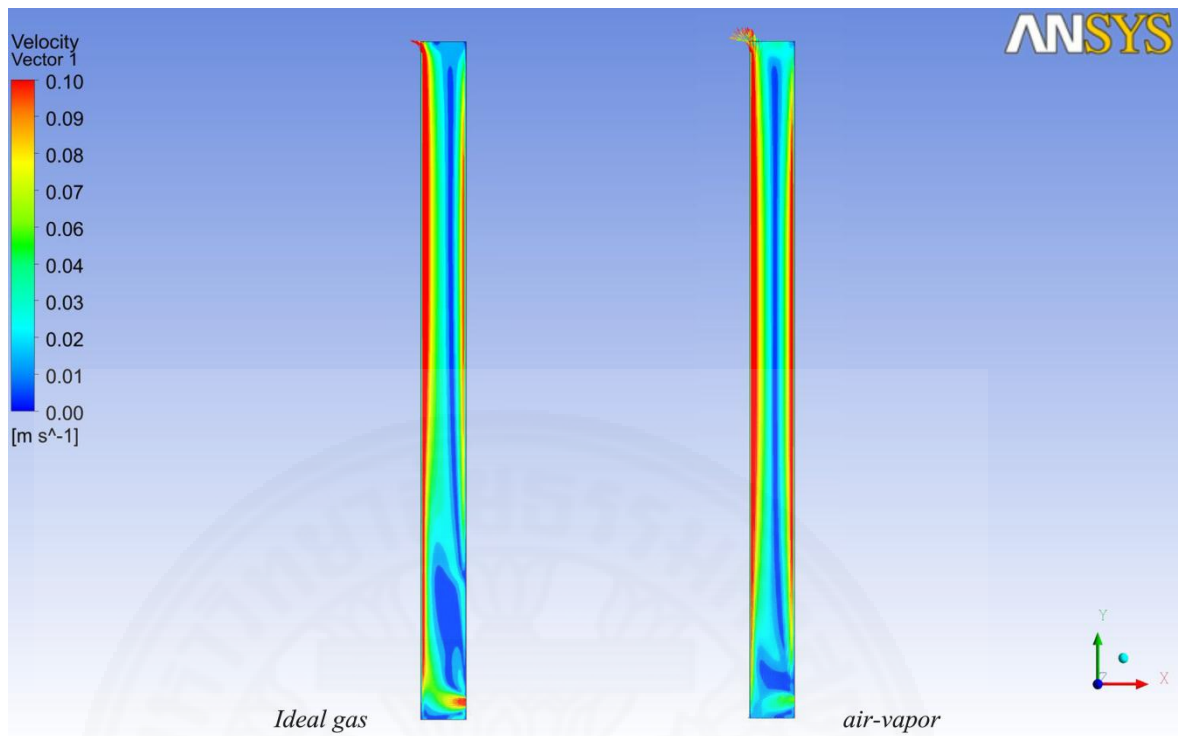


ภาพที่ 5.23 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศที่มีความชื้น  
ในวินาทีที่ 4

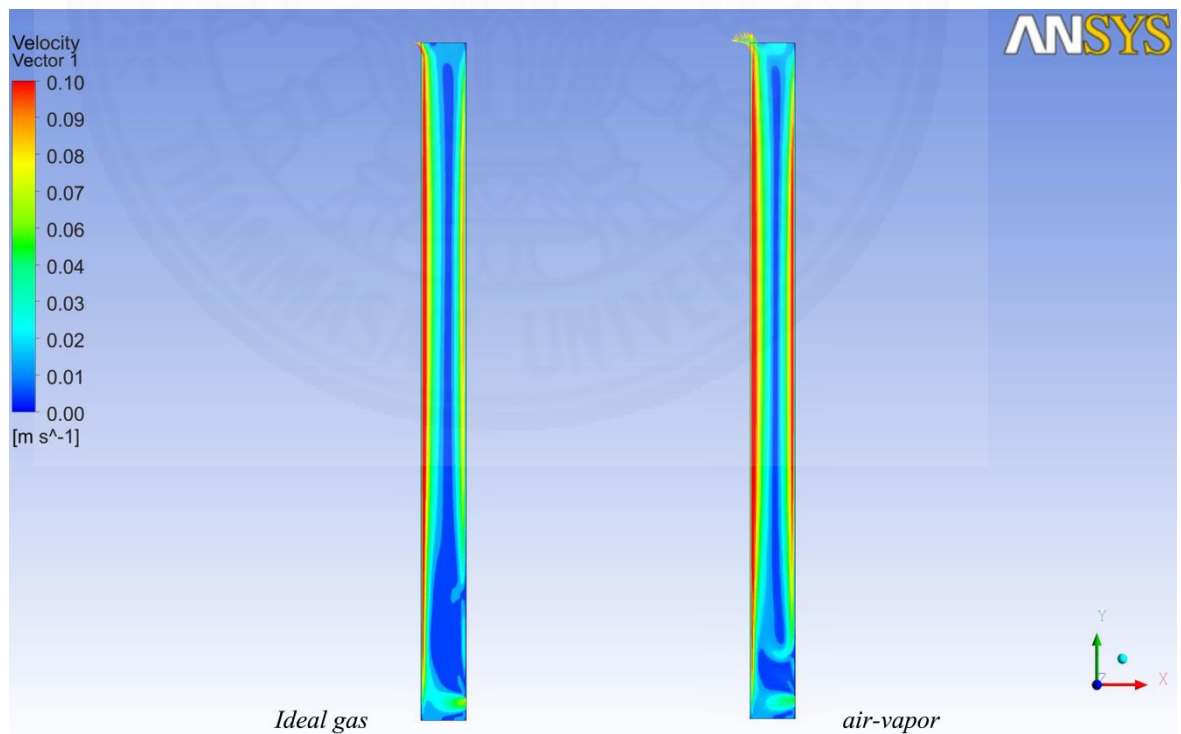


ภาพที่ 5.24 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศที่มีความชื้น  
ในวินาทีที่ 10

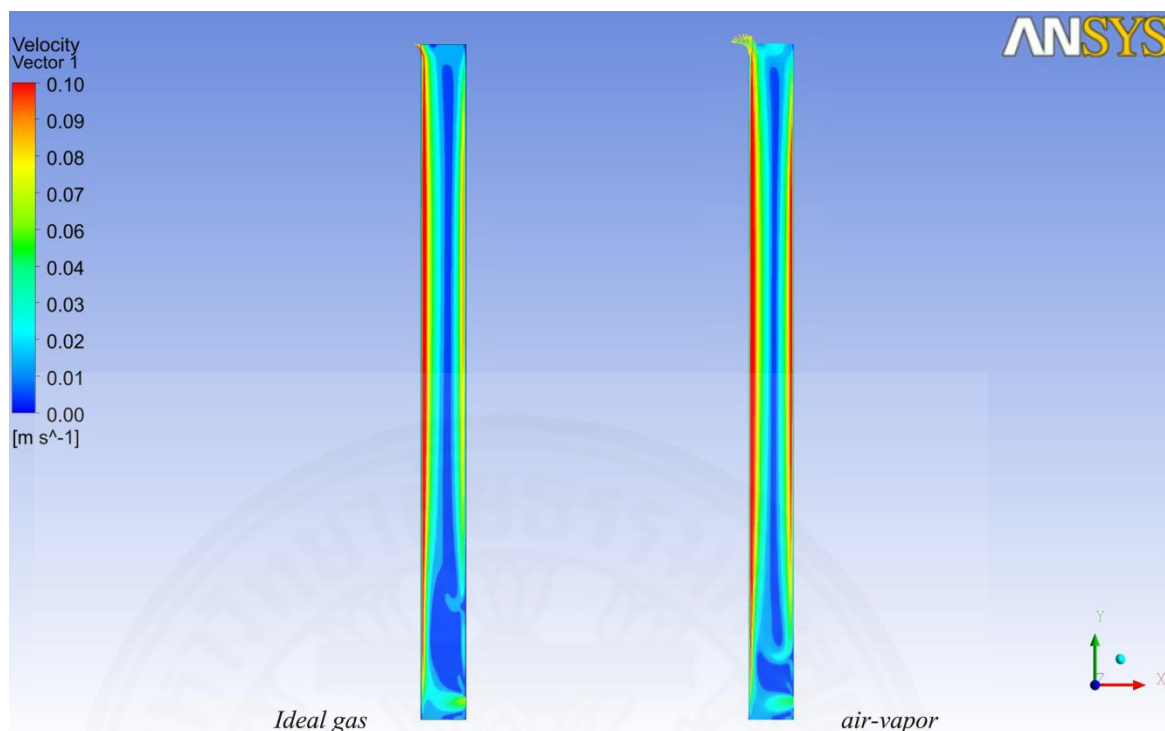




ภาพที่ 5.25 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศที่มีความชื้น  
ในวินาทีที่ 20

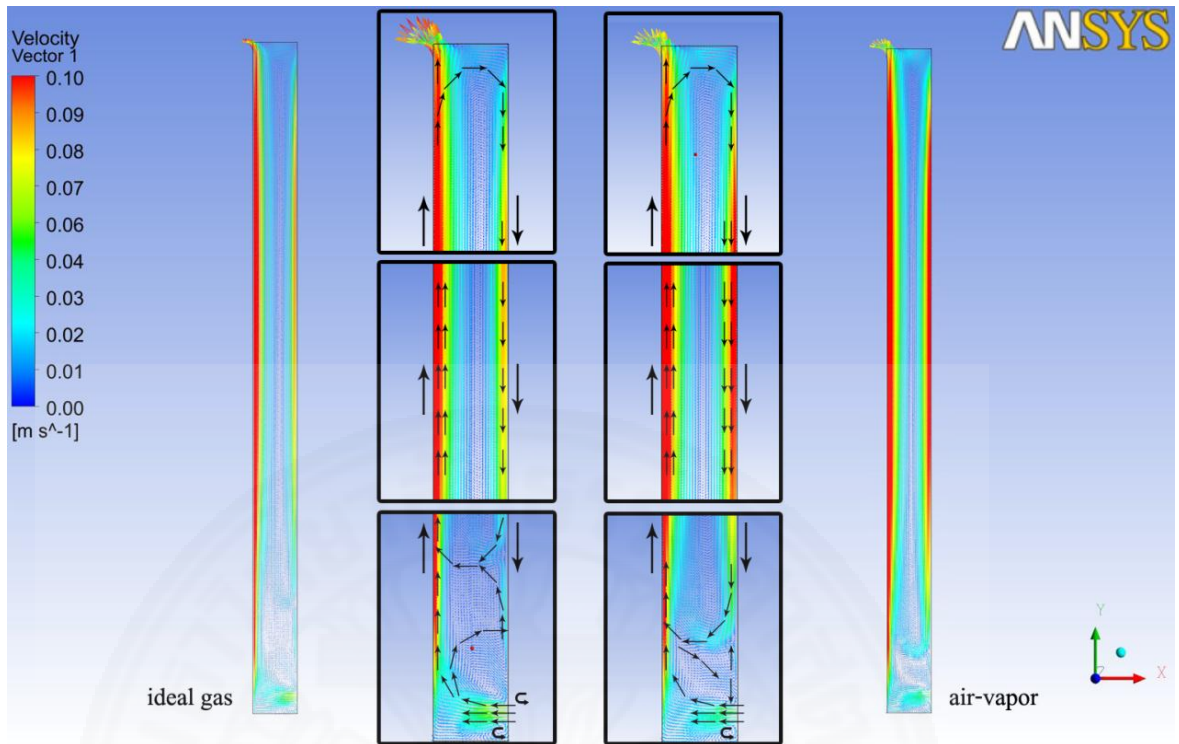


ภาพที่ 5.26 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศที่มีความชื้น  
ในวินาทีที่ 60



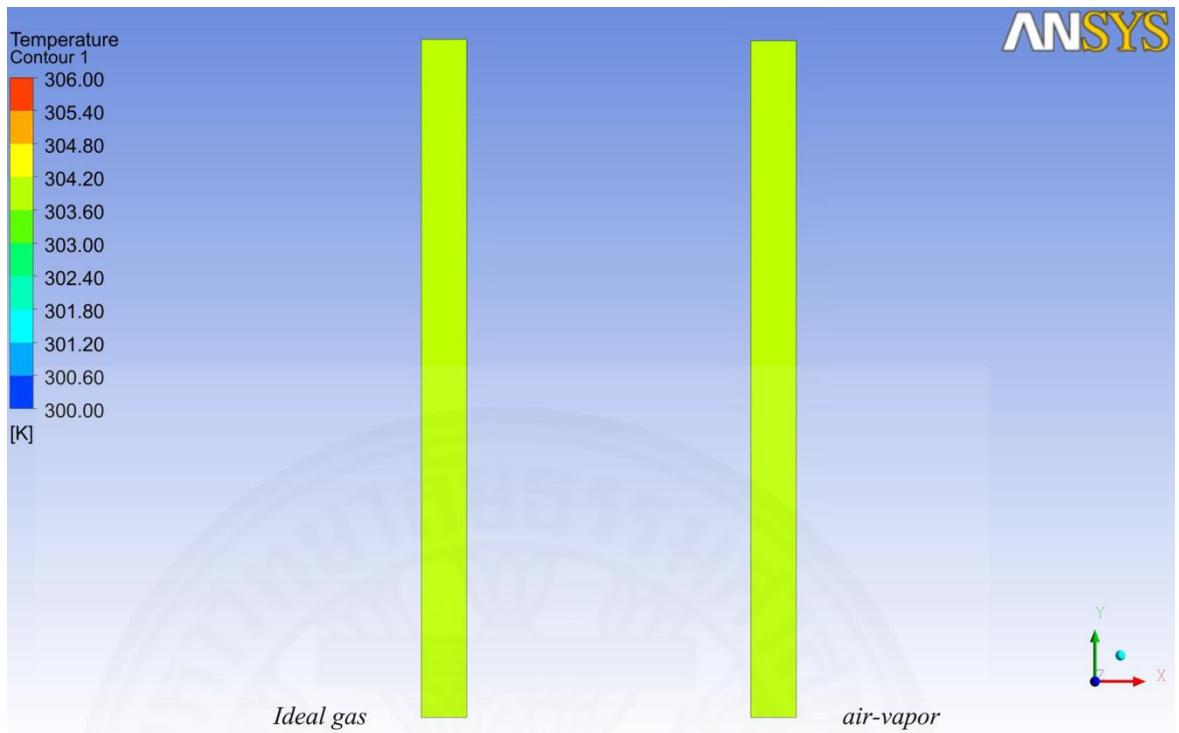
ภาพที่ 5.27 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศที่มีความชื้นในวินาทีที่ 100

ผลจากการจำลองทิศทางการเคลื่อนที่ และความเร็วอากาศตามช่วงเวลา พบว่าในช่วงวินาทีที่ 1-2 อากาศแห้งเริ่มมีการเคลื่อนที่ของอากาศมากกว่าอากาศชื้นดังภาพที่ 5.20-5.21 และเมื่อถึงช่วงวินาทีที่ 3 อากาศชื้นเพิ่งเริ่มมีการเคลื่อนที่ของอากาศ และความเร็วอากาศจะเริ่มเพิ่มขึ้นตามเวลาจนกระทั่งที่วินาทีที่ 100 โดยลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศแห้ง และอากาศชื้น มีความใกล้เคียงกันในช่องทางออกอากาศ (outlet) ส่วนกลางของปล่องมีทิศทางการเคลื่อนที่ที่เหมือนกันแต่ในส่วนความเร็วของอากาศมีความแตกต่างกันโดยอากาศที่มีความชื้นจะมีความเร็วของอากาศที่ไหลลงมากกว่า และบริเวณช่องทางเข้า (inlet) ในกรณีที่คิดอากาศเป็นอากาศที่มีความชื้นจะมีความแปรปรวนของอากาศมากกว่าอากาศที่คิดเป็นก๊าซในอุดมคติ เนื่องจากอากาศในส่วนกลางปล่องอากาศที่ไหลตกลงมีความเร็วของอากาศที่มากกว่า เพราะอากาศชื้นเป็นอากาศที่มีไอน้ำผสมอยู่ อากาศชื้นจึงมีน้ำหนักที่มากกว่าอากาศแห้งอากาศทำให้อากาศตกลงมาเร็วและมากกว่า ส่งผลให้อากาศนั้นไหลลงมาต่ำกว่ามาผสมกับช่องทางเข้า (inlet) ดังภาพที่ 5.28

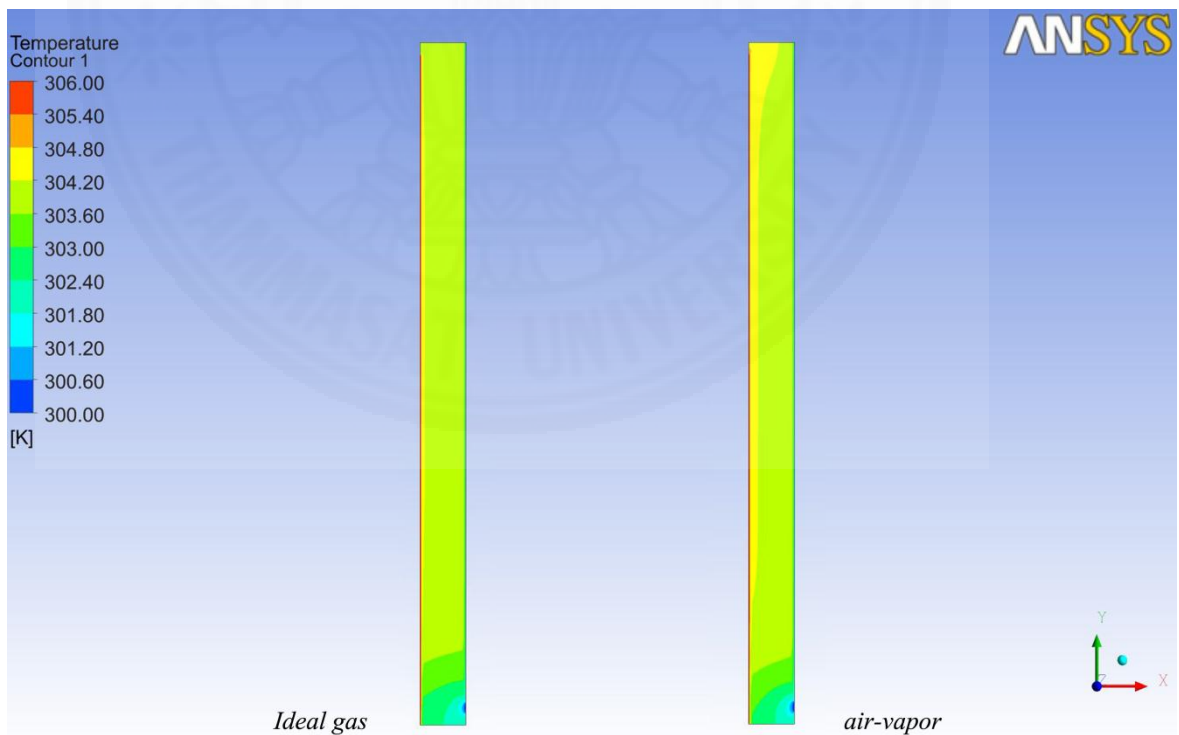


ภาพที่ 5.28 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศที่มีความชื้นในสถานะคงที่

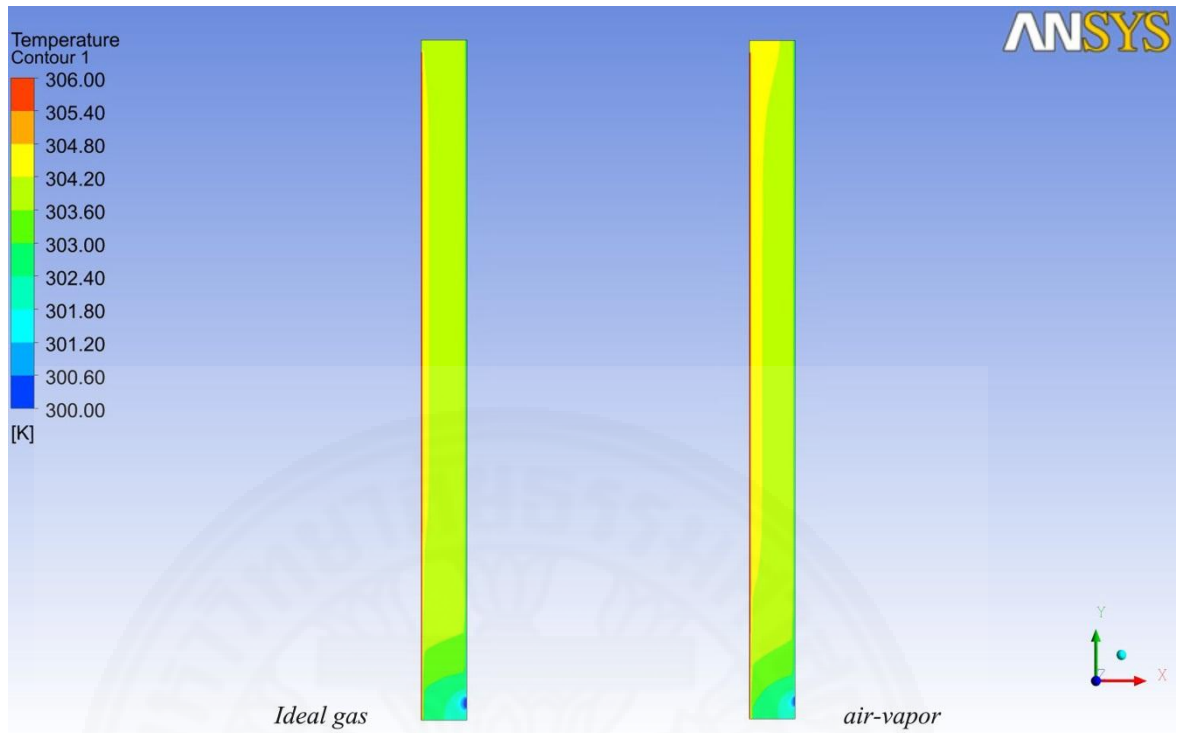
3). ผลจากการจำลองเพื่อวิเคราะห์อุณหภูมิของอากาศแห้ง (dry air) เปรียบเทียบกับอุณหภูมิของอากาศที่มีความชื้น (moist air) ภายในช่องอากาศของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ หากพิจารณาจากแท็บสีของอุณหภูมิอากาศตามช่วงเวลาที่แตกต่างกันดังภาพที่ 5.29-5.36 พบว่าอากาศแห้ง (dry air) จะให้ผลทางอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอากาศชื้น (moist air) เนื่องจากผลของความเร็วมวลอากาศภายในช่องอากาศระหว่างผนังที่ดีกว่า และทิศทางการไหลของอากาศที่ไม่แปรปรวน ดังภาพที่ 5.28



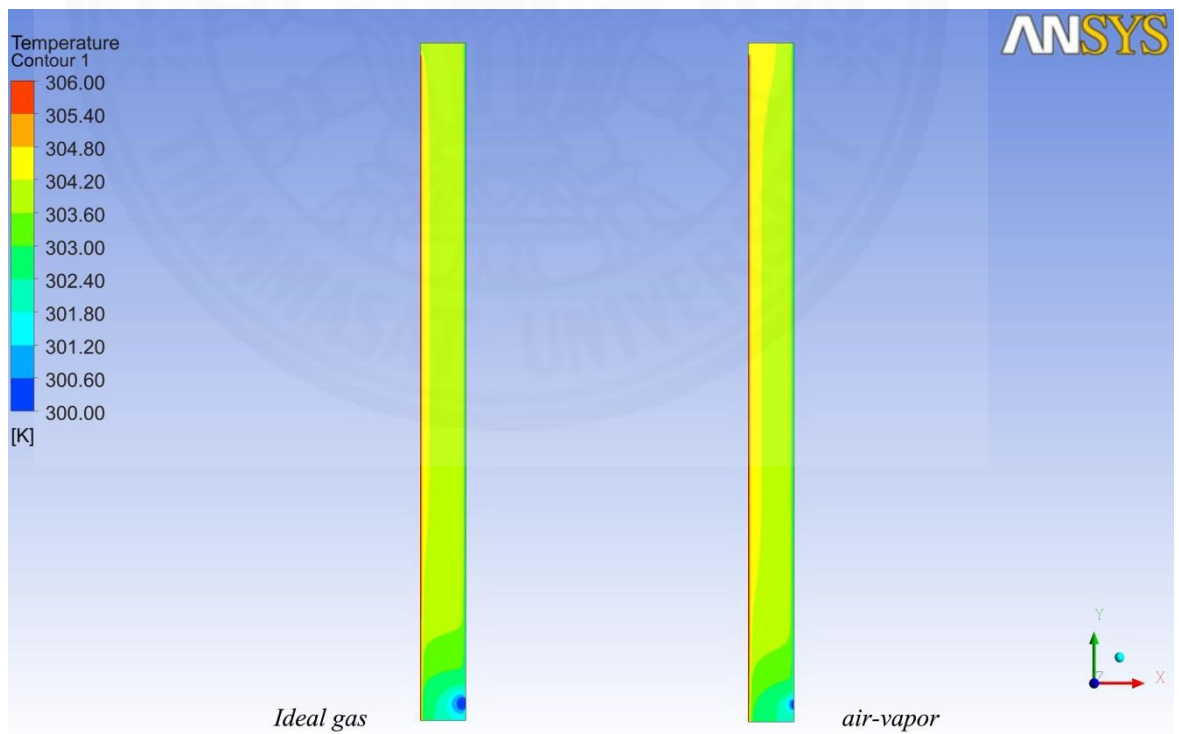
ภาพที่ 5.29 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศที่มีความชื้นในวินาทีที่ 0



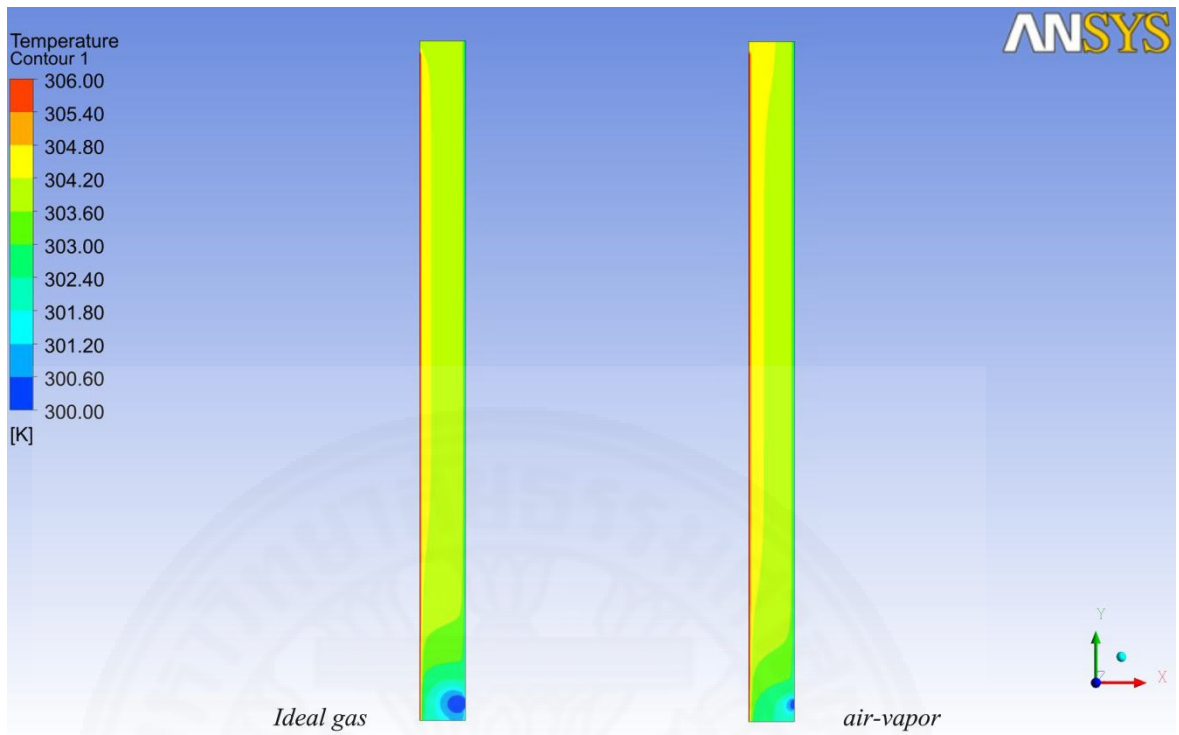
ภาพที่ 5.30 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศที่มีความชื้นในวินาทีที่ 1



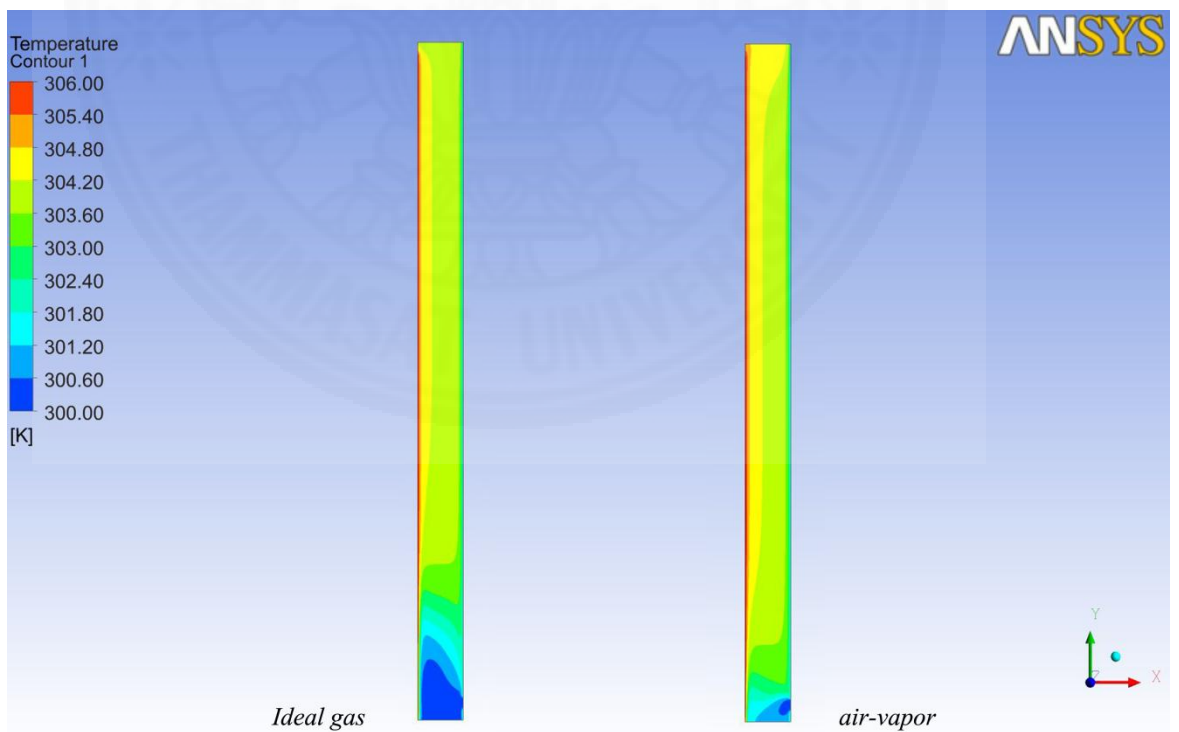
ภาพที่ 5.31 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศที่มีความชื้นในวินาทีที่ 2



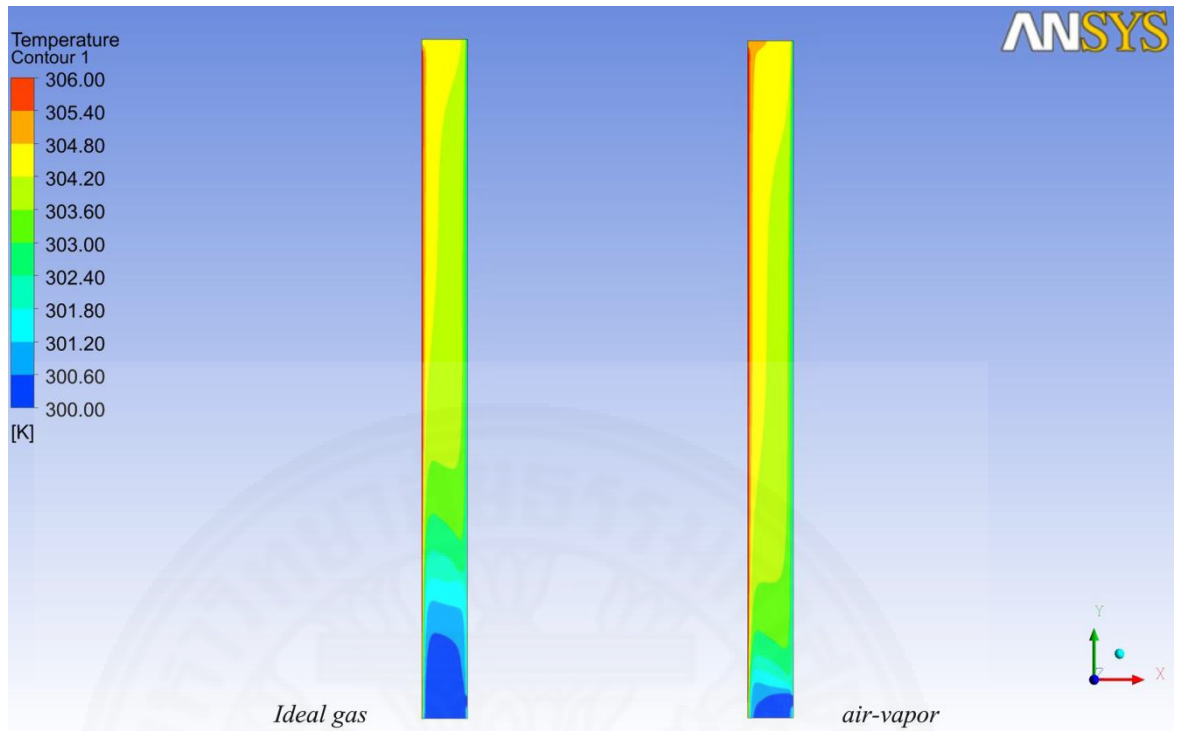
ภาพที่ 5.32 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศที่มีความชื้นในวินาทีที่ 3



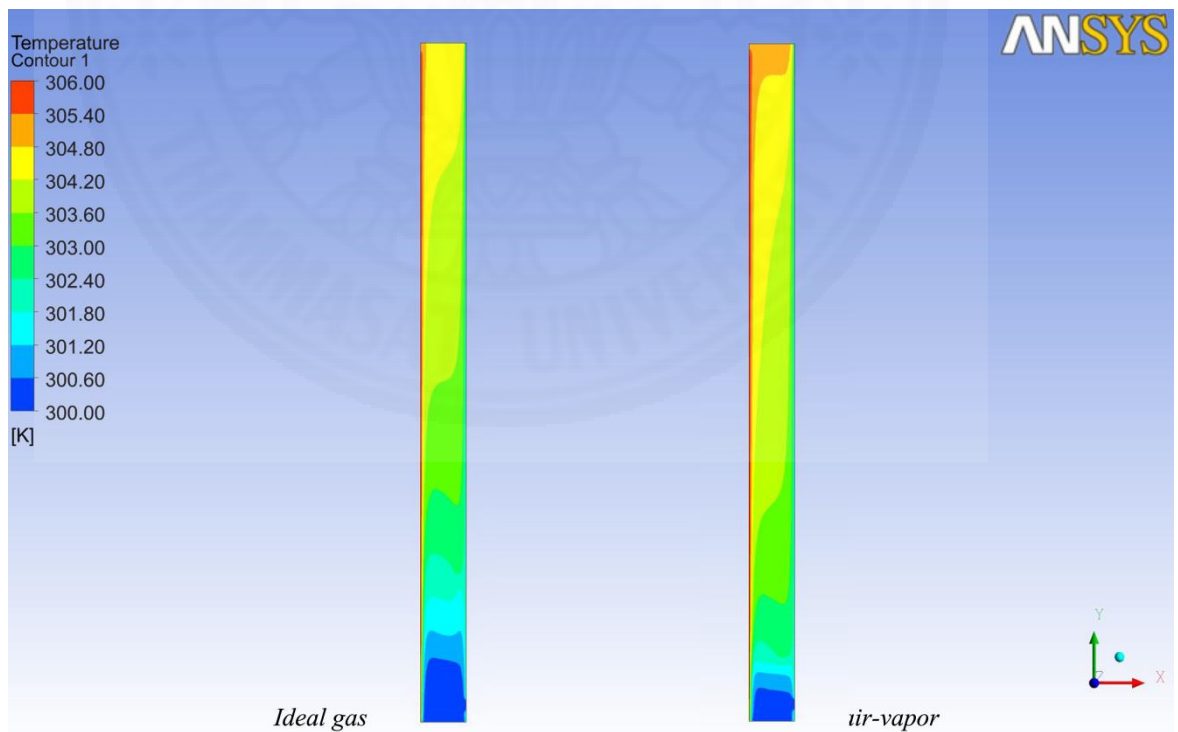
ภาพที่ 5.33 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศที่มีความชื้นในวินาทีที่ 4



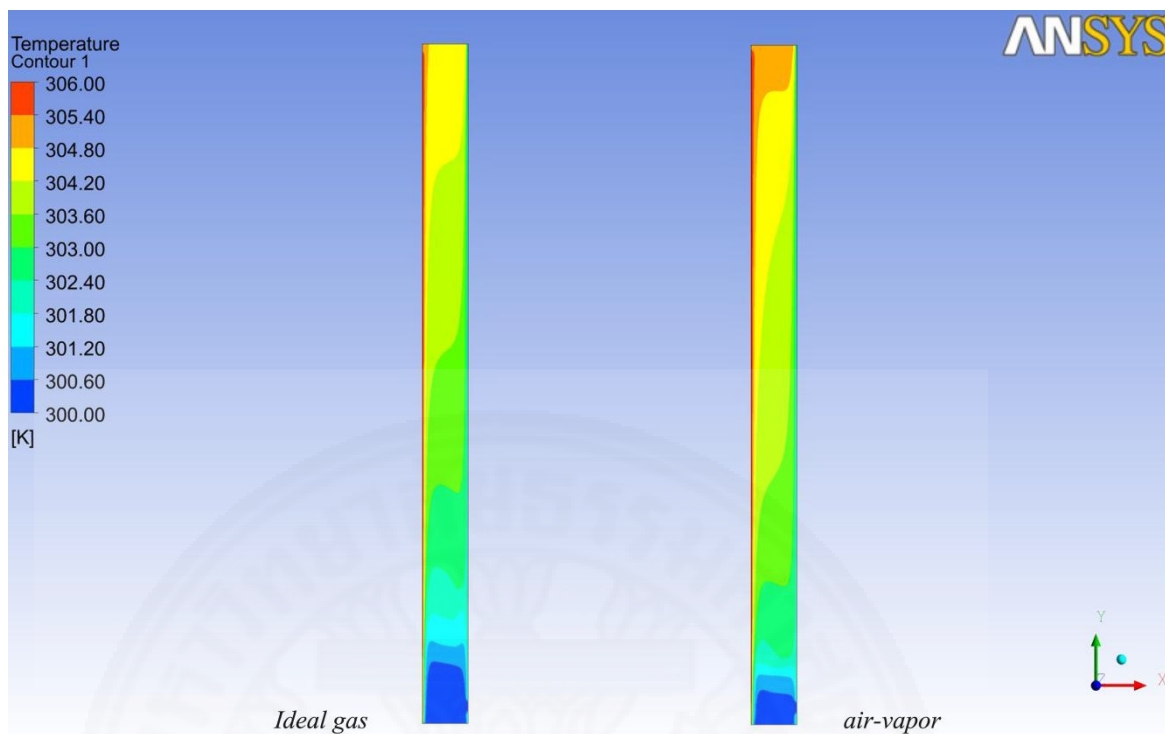
ภาพที่ 5.34 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศที่มีความชื้นในวินาทีที่ 10



ภาพที่ 5.35 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศที่มีความชื้นในวินาทีที่ 20



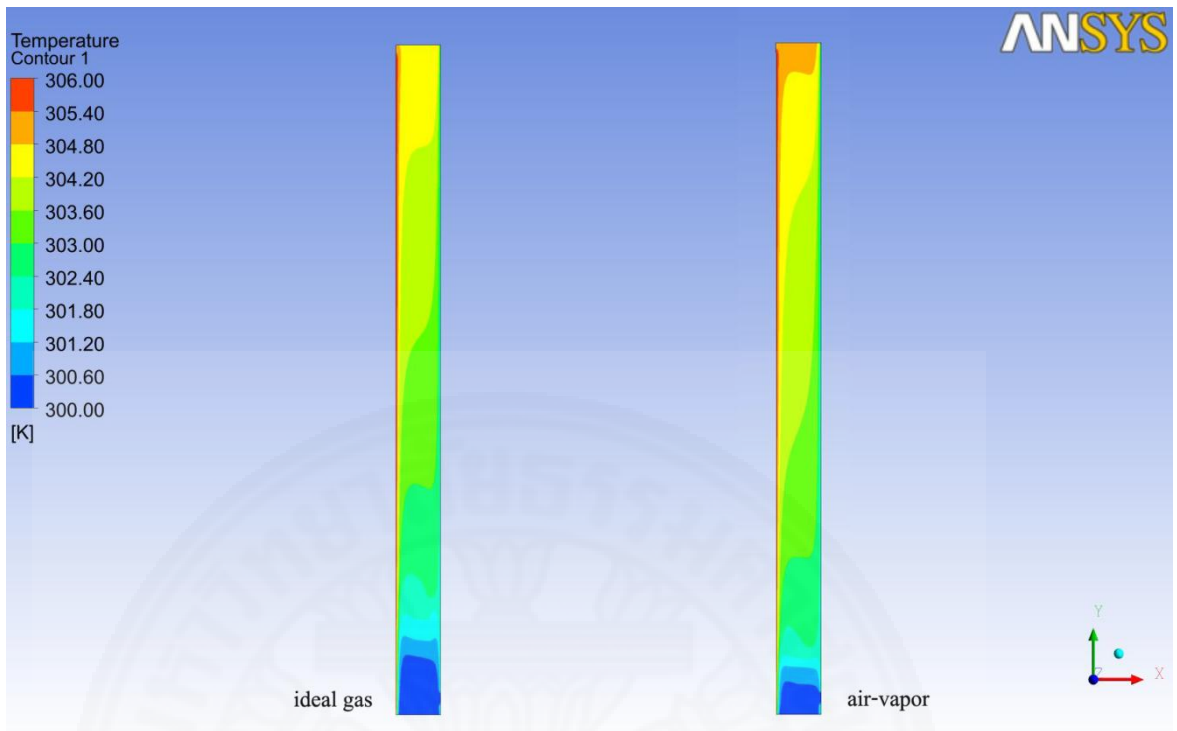
ภาพที่ 5.36 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศที่มีความชื้นในวินาทีที่ 60



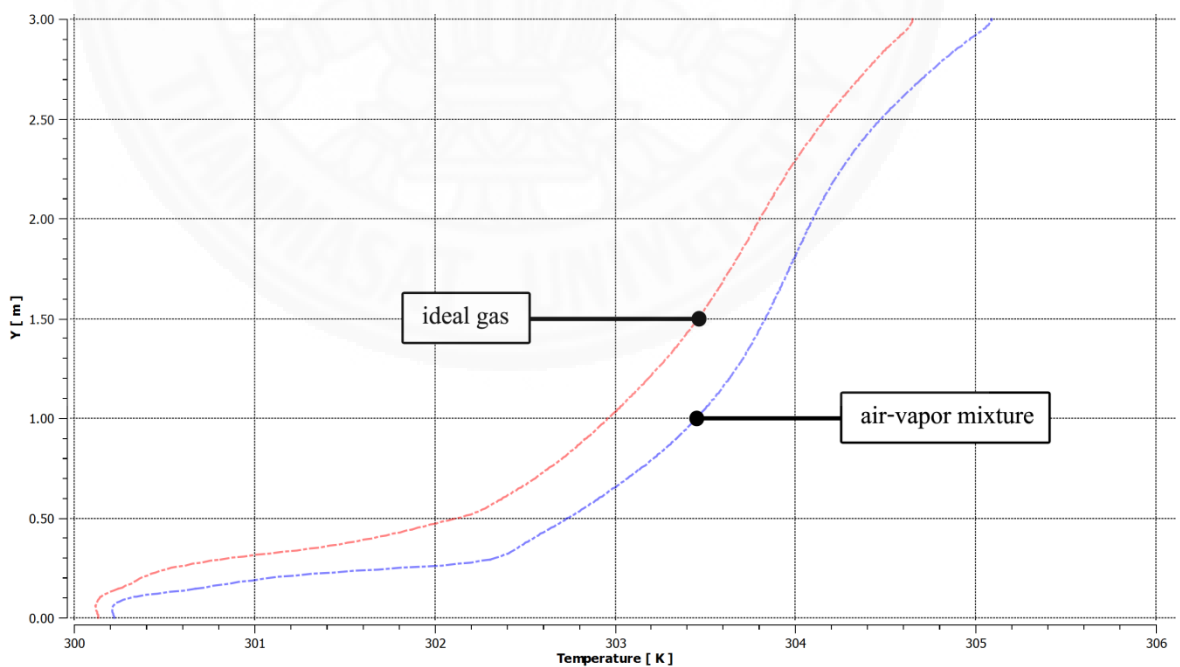
ภาพที่ 5.37 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศที่มีความชื้นในวินาทีที่ 100

ผลจากการจำลองเพื่อวิเคราะห์อุณหภูมิของอากาศแห้ง (dry air) เปรียบเทียบกับอุณหภูมิของอากาศที่มีความชื้น (moist air) ภายในช่องอากาศของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ พบว่าค่าของอุณหภูมิเฉลี่ยภายในช่องอากาศมีความใกล้เคียงกันทั้ง 2 กรณีโดยการสังเกตจากแทบสีของอุณหภูมิ ดังภาพที่ 5.29-5.37 แต่ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศที่มีความชื้นจะสูงกว่าอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติเล็กน้อย เพราะเกิดจากลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศภายในปล่อง ดังภาพที่ 5.28 ในช่วงวินาทีที่ 1-60 จะให้ว่าอุณหภูมิที่ผนังด้านนอกของอากาศแห้ง มีการแผ่ความร้อนเข้ามาได้น้อยกว่าอากาศชื้น เนื่องจากอากาศแห้งมีการเคลื่อนที่ที่อากาศและความเร็วอากาศทางโดยรวมที่มากกว่าส่งผลให้อุณหภูมิมีความแตกต่างกัน เพราะการเคลื่อนที่ของอากาศที่เร็วกว่าจะช่วยระบายอากาศร้อนออกจากระบบได้ดีกว่า ทำให้ไม่มีการสะสมความร้อนภายในช่องอากาศ อุณหภูมิเฉลี่ยกลางปล่องรังสีดวงอาทิตย์ทั้ง 2 กรณีมีค่าอุณหภูมิอยู่ที่ 303.46 – 303.96 K หรือ 30.46 – 30.96 องศาเซลเซียสต่างกันประมาณ 0.5 องศาเซลเซียสดังภาพที่ 3.5





ภาพที่ 5.37 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศที่มีความชื้นในสถานะคงที่



ภาพที่ 5.38 กราฟเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศที่มีความชื้น ณ กึ่งกลางปล่องตามแกน  $y$

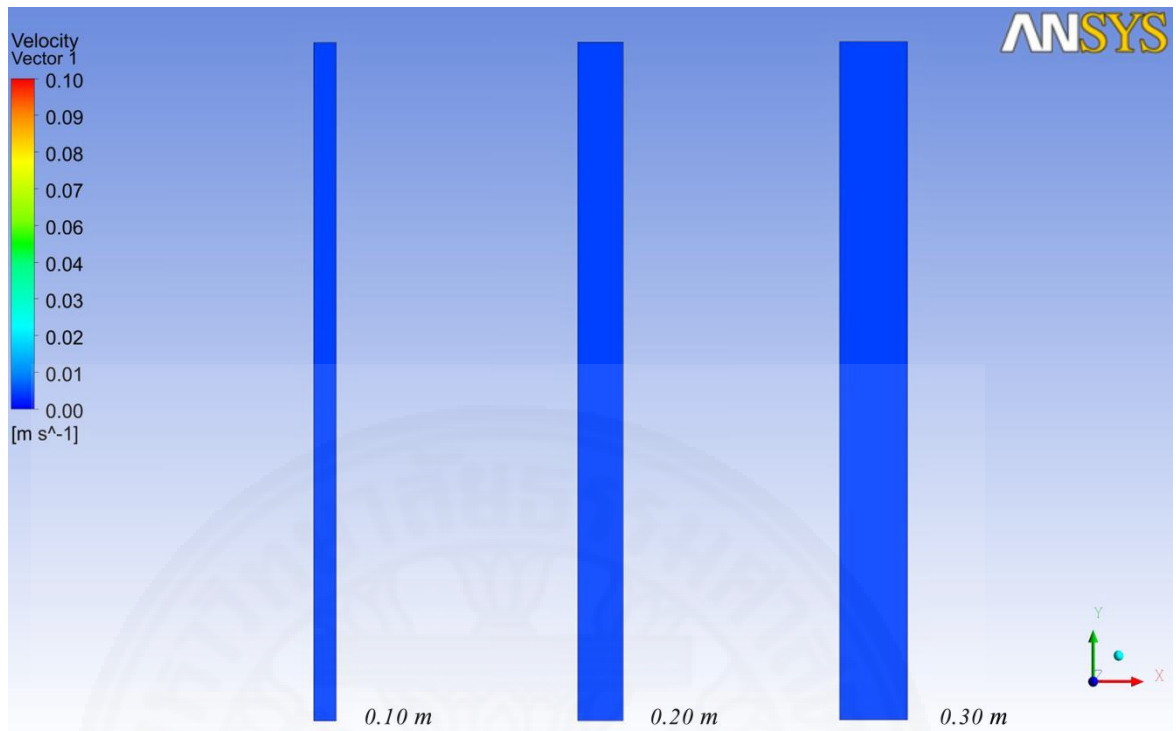
เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 5.38 อุณหภูมิภายในปล่องรังสีดวงอาทิตย์ พบว่าการกำหนดอากาศให้เป็นอากาศชื้น (air vapor mixture) จะให้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยที่สูงกว่าอากาศที่คิดเป็นก๊าซในอุดมคติ (ideal gas) เพราะ อากาศที่มีความชื้นมีทิศทางการไหลของอากาศที่แปรปรวนมากกว่า โดยเฉพาะในส่วนช่องทางเข้าอากาศ (inlet) ดังภาพที่ 5.28 พบว่า การไหลของอากาศชื้นมีการไหลที่ย้อนกลับมาทางช่องทางเข้าอากาศทำให้มีการผสมของอากาศที่ร้อนกับอากาศที่เข้าใหม่ จึงส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศทั้งระบบมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอากาศที่คิดเป็นก๊าซในอุดมคติ

### 5.3 ผลจากการศึกษาอิทธิพลของความชื้นและขนาดช่องอากาศระหว่างผนังที่มีต่อสมรรถนะทางความร้อนของปล่องรังสีดวงอาทิตย์

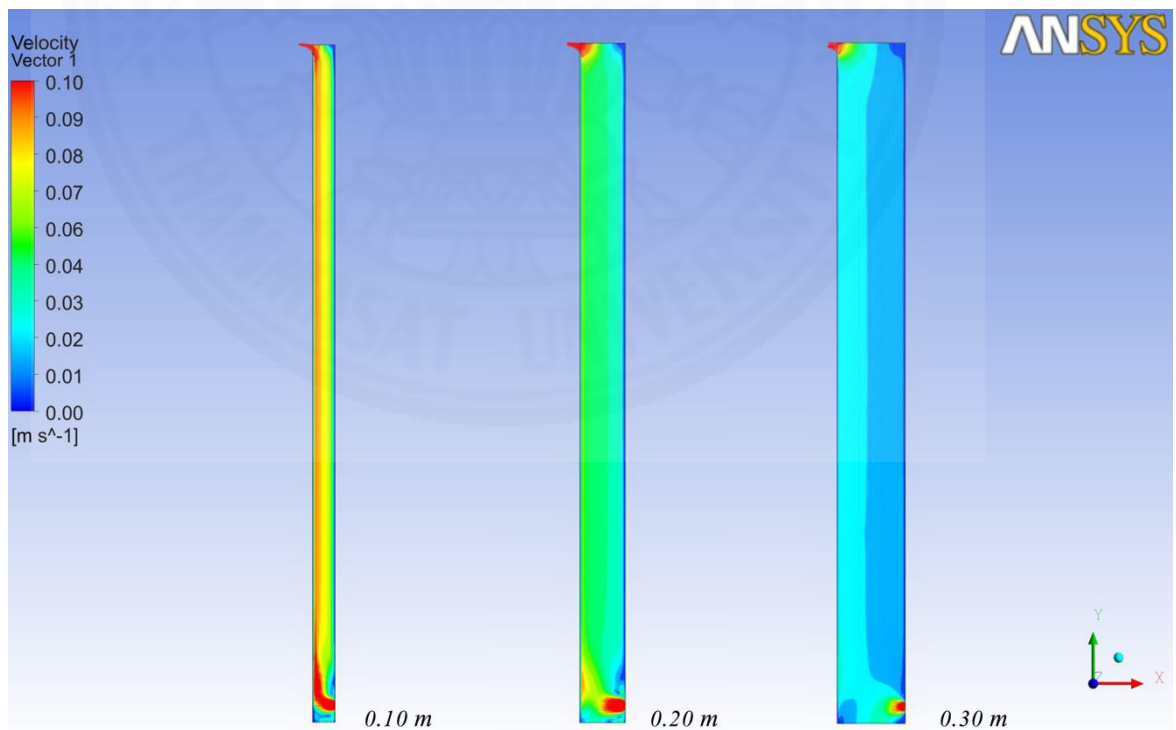
ผลการวิจัยในส่วนนี้ศึกษาอิทธิพลของช่องอากาศระหว่างผนังที่มีผลต่อสมรรถนะปล่องรังสีดวงอาทิตย์ โดยจะทำการศึกษาต่อจากการทดลองที่ 1 โดยใช้โมเดลกรณีศึกษา โดยจะแบ่งการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเป็น 2 รูปแบบคือ การวิเคราะห์อากาศเป็นก๊าซในอุดมคติ (ideal gas) และการวิเคราะห์อากาศให้เป็นของผสม (air-vapor mixture) ในโหมดการคำนวณ Species Transport และทำการเปลี่ยนขนาดช่องอากาศระหว่างผนังดังตารางที่ 4.2 โดยผลการศึกษาจะวิเคราะห์ผลแบบช่วงเวลา (transient)

#### 5.3.1 ผลการศึกษาจากแบบจำลองที่ 2 โดยการกำหนดอากาศเป็นก๊าซอุดมคติ (ideal gas)

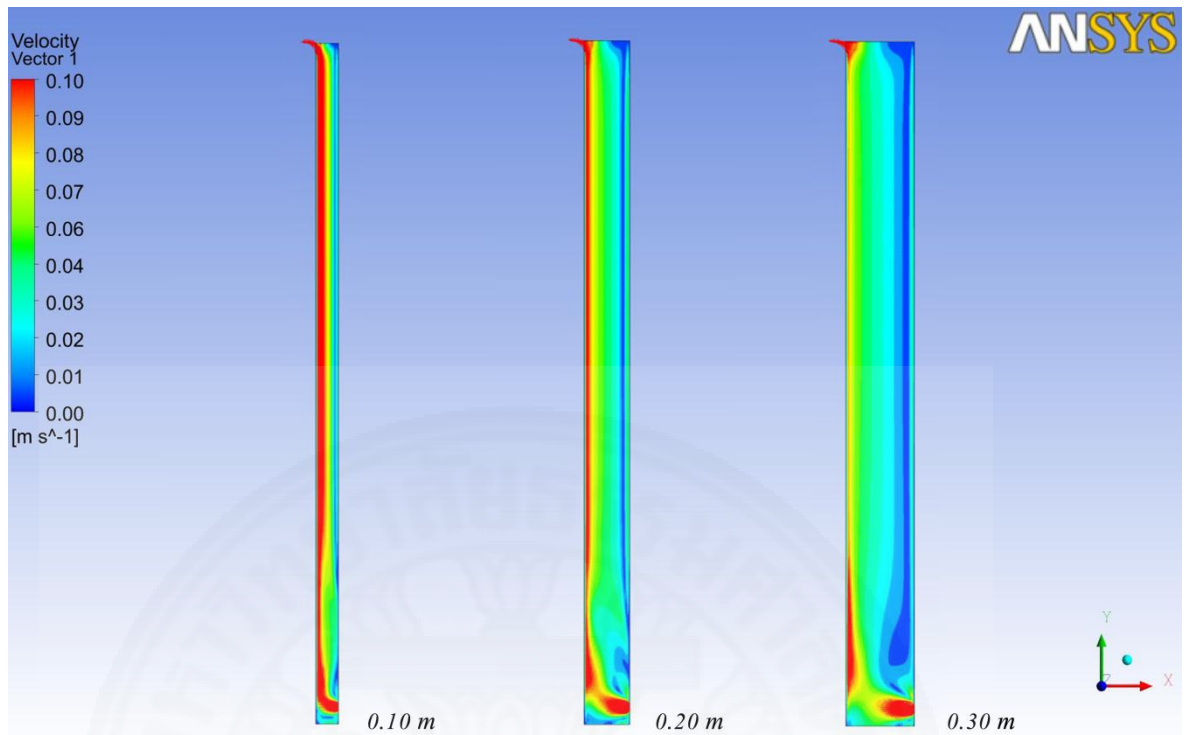
1). ผลจากการจำลองเพื่อวิเคราะห์ทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศ (ideal gas) ที่เคลื่อนที่ภายในช่องอากาศของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังที่แตกต่างกัน 3 ขนาดคือ ช่องอากาศกว้าง 0.10 เมตร ช่องอากาศกว้าง 0.20 เมตร และช่องอากาศกว้าง 0.30 เมตรดังตารางที่ 4.2 พบว่า ผลของการจำลองและการศึกษาวิเคราะห์ผลแบบช่วงเวลา จะให้ผลที่แตกต่างกันในช่วง 100 วินาทีแรก โดยอากาศที่จำลองด้วยก๊าซในอุดมคติมีพฤติกรรมการไหลของอากาศชื้นสู่ด้านบน เริ่มจากอากาศเข้าทางช่องทางเข้า (inlet) และออกทางช่องทางออก (outlet) โดยมีการไหลของอากาศที่ย้อนกลับเล็กน้อยบริเวณเหนือทางเข้า ตั้งแต่วินาทีที่ 10 เป็นต้นไป ดังภาพที่ 5.39-5.45



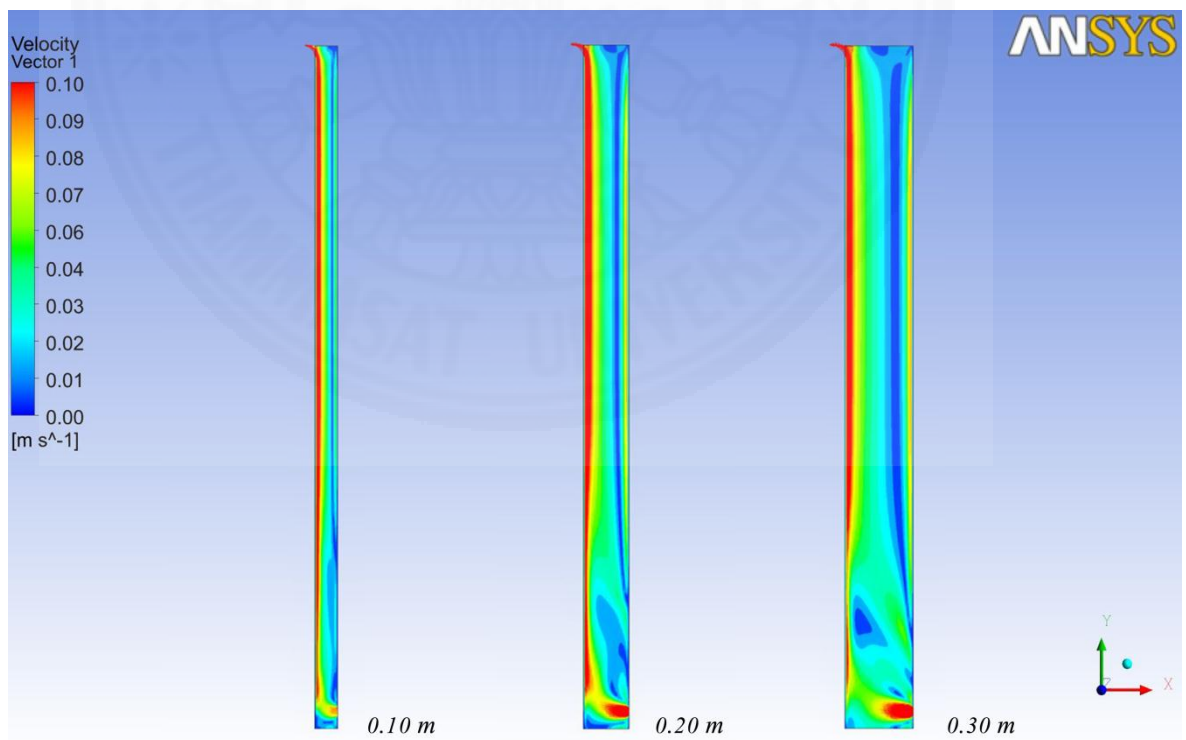
ภาพที่ 5.39 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 0



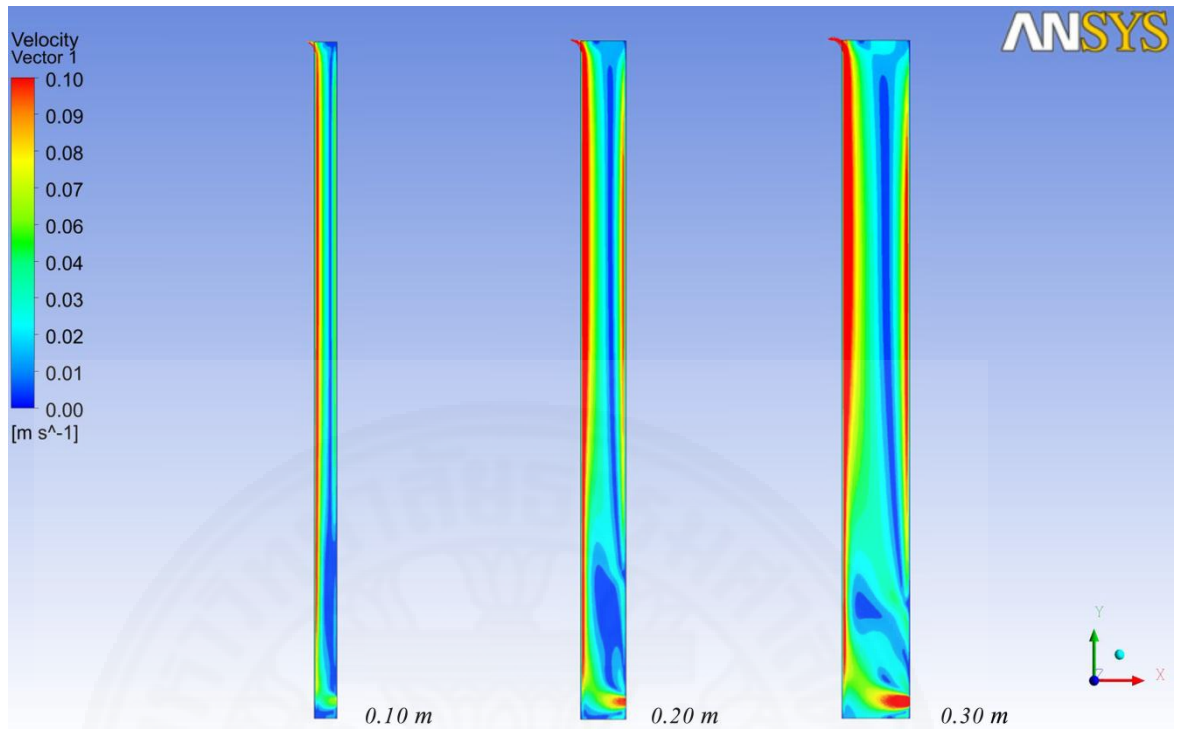
ภาพที่ 5.40 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 4



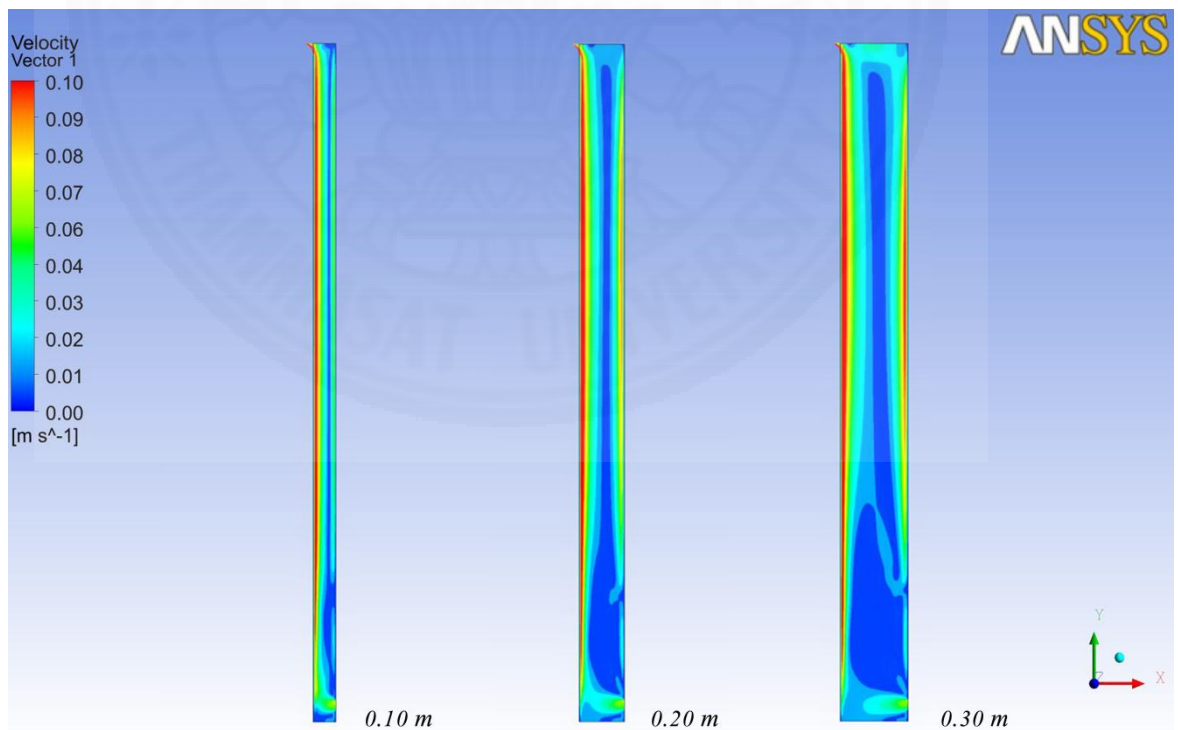
ภาพที่ 5.41 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 10



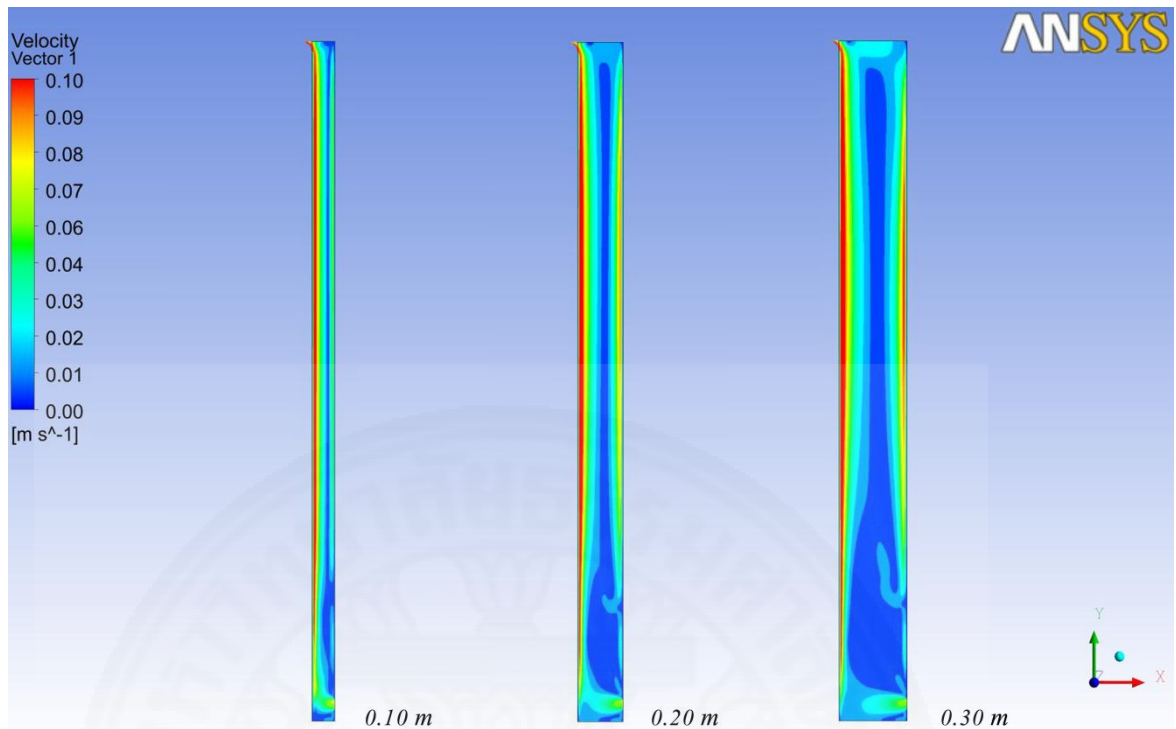
ภาพที่ 5.42 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 15



ภาพที่ 5.43 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 20



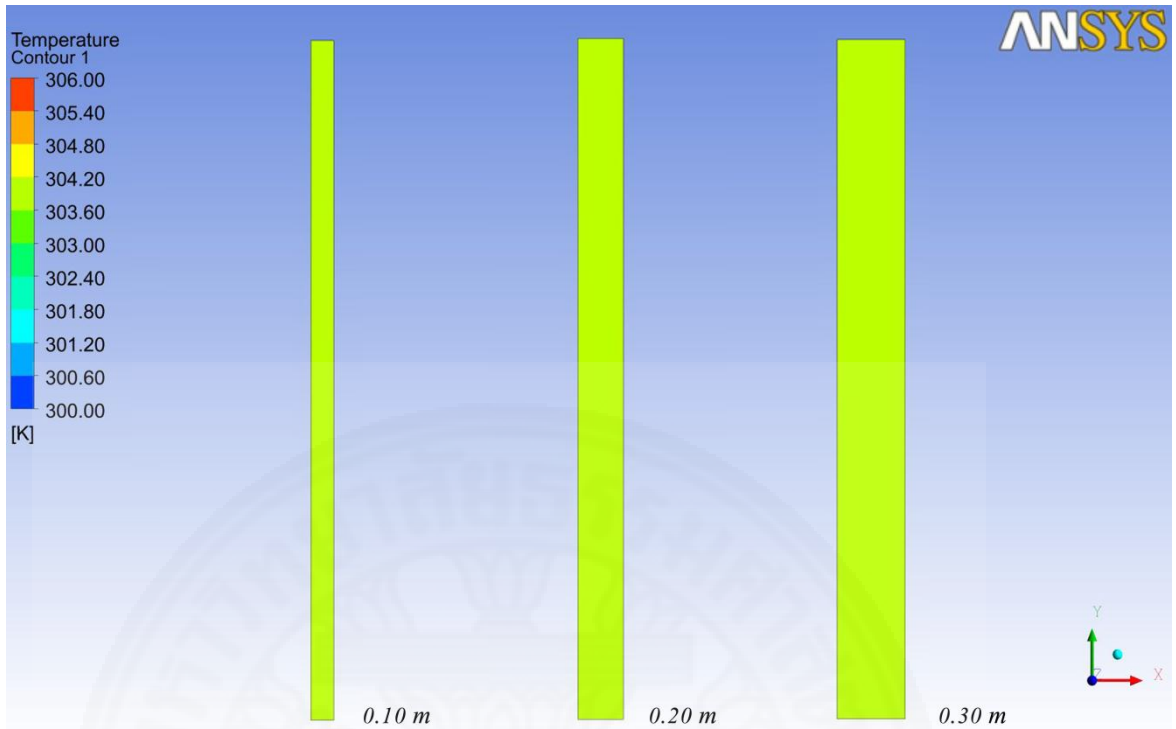
ภาพที่ 5.44 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 60



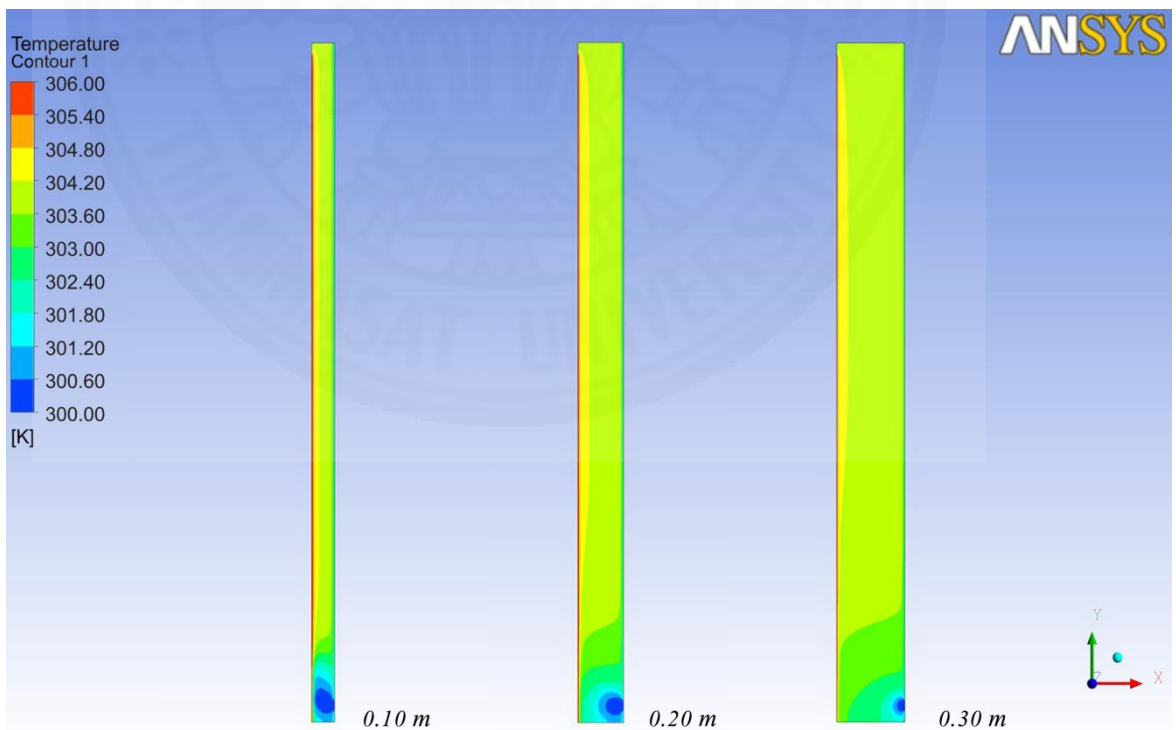
ภาพที่ 5.45 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 100

ผลจากการจำลองทิศทางการเคลื่อนที่ และความเร็วอากาศตามช่วงเวลา พบว่า ทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศในกรณีกำหนดอากาศให้เป็นก๊าซในอุดมคติ มีการไหลของอากาศที่ใกล้เคียงกัน จากการจำลองพบว่า ในช่วงวินาทีที่ 4-15 ช่องอากาศที่มีขนาด 0.10 เมตรจะความเร็วอากาศได้สูงที่สุด โดยสังเกตจากสีของเวกเตอร์ภายในช่องอากาศดังภาพที่ 5.40-5.42 และเมื่อพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงสุดท้ายของการเคลื่อนที่ของอากาศ ดังภาพที่ 5.45 พบว่าลักษณะทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศมีความใกล้เคียงกัน ในกรณีก๊าซในอุดมคติช่องอากาศที่มีขนาดเล็กจะมีความเร็วอากาศ และทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่สูงกว่าช่องอากาศที่มีขนาดใหญ่

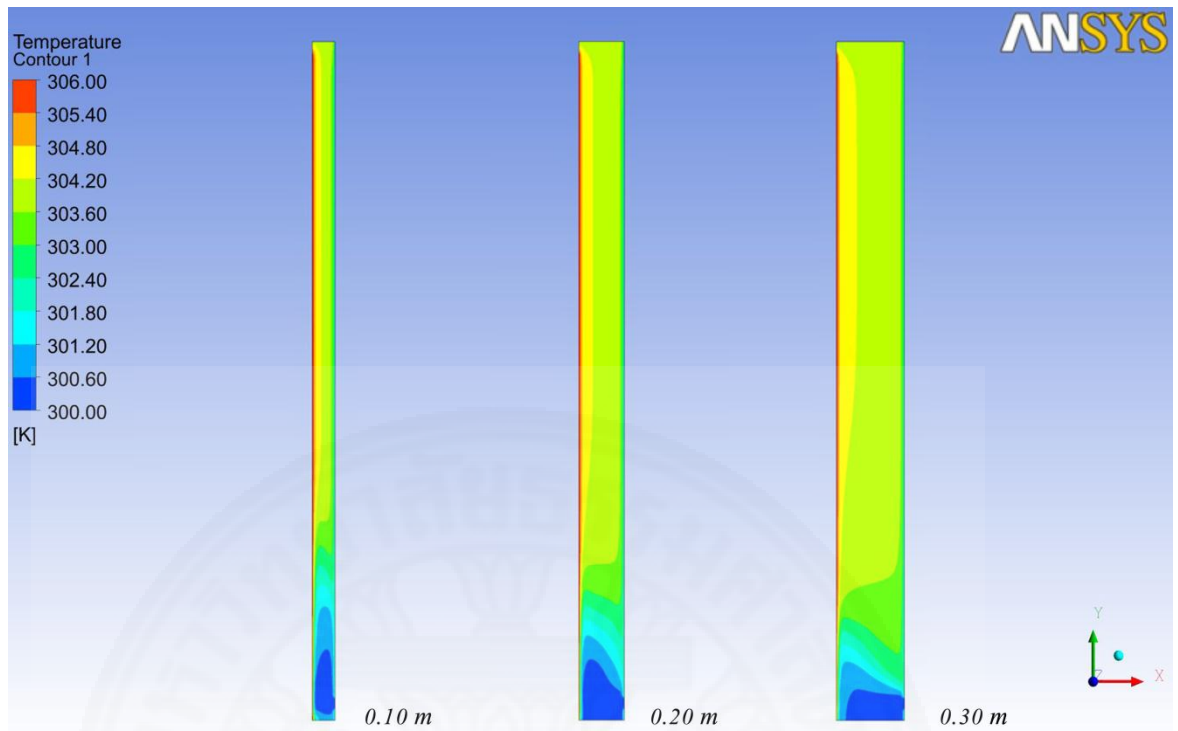
2). ผลจากการจำลองเพื่อวิเคราะห์อุณหภูมิของอากาศ (ideal gas) ภายในช่องอากาศของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังที่แตกต่างกัน 3 ขนาดคือ ช่องอากาศกว้าง 0.10 เมตร ช่องอากาศกว้าง 0.20 เมตร และช่องอากาศกว้าง 0.30 พบว่า อุณหภูมิภายในช่องอากาศจะมีการแบ่งค่าของอุณหภูมิออกเป็นชั้น ๆ โดยที่ค่าของอุณหภูมิต่ำจะอยู่ด้านล่าง ค่าอุณหภูมิสูงจะอยู่ด้านบน พบว่าผลของการจำลองและการศึกษาวิเคราะห์ผลแบบช่วงเวลา จะให้ผลที่แตกต่างกันในช่วง 100 วินาทีแรก โดยมีผลของอุณหภูมิดังภาพที่ 5.46-5.52



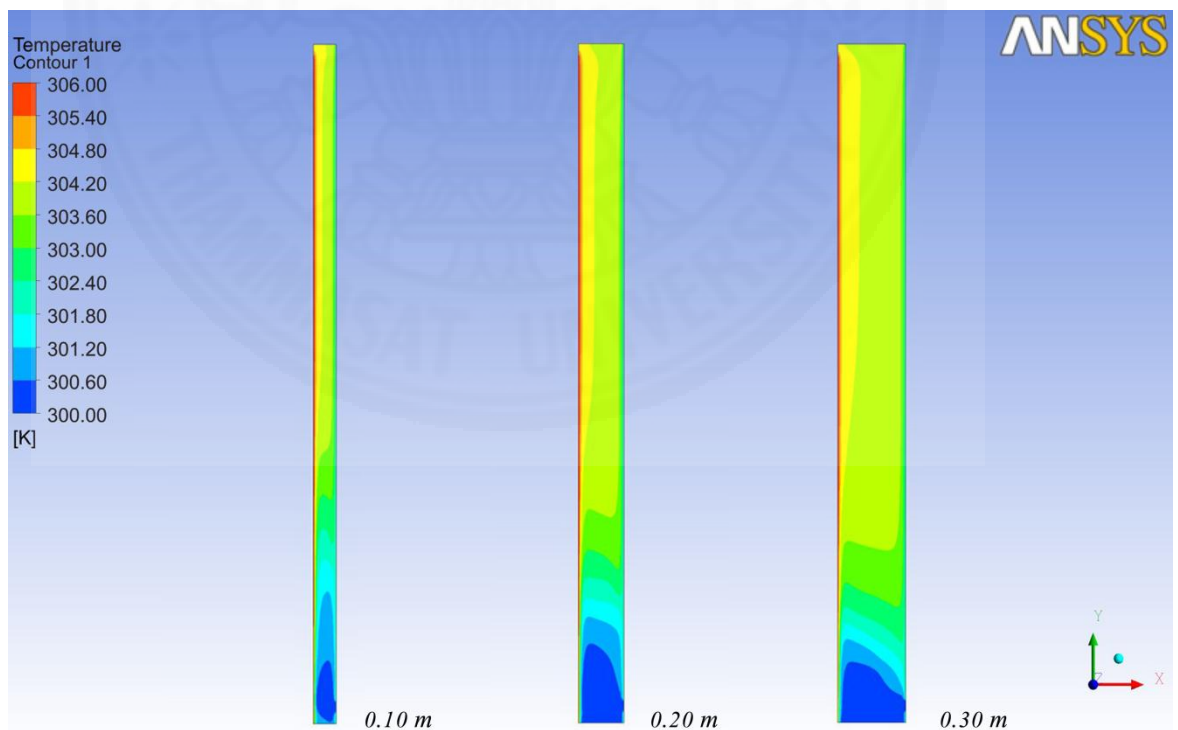
ภาพที่ 5.46 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 0



ภาพที่ 5.47 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 4

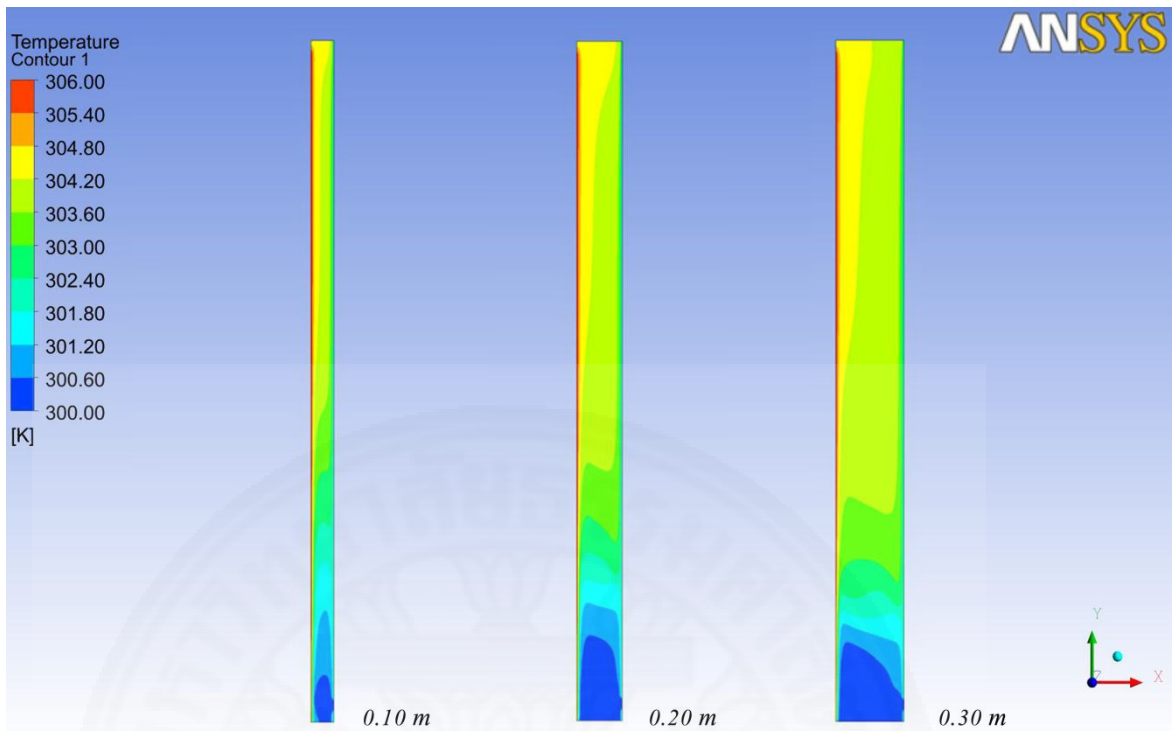


ภาพที่ 5.48 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 10

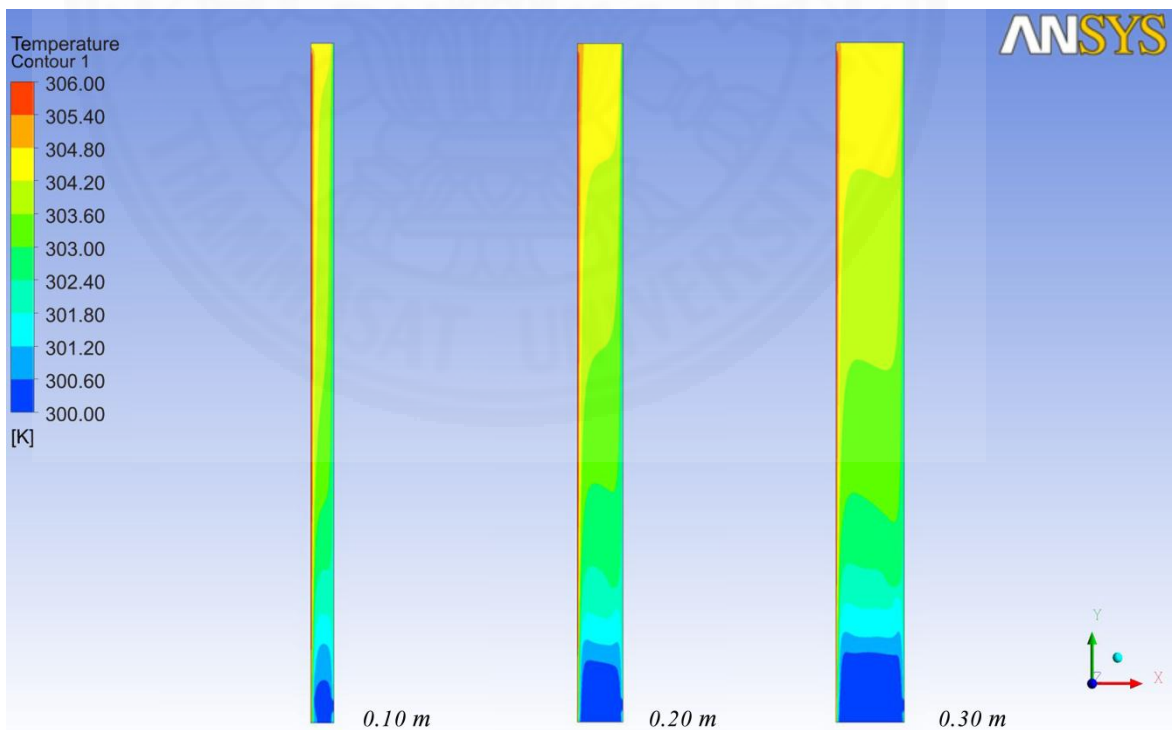


ภาพที่ 5.49 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 15

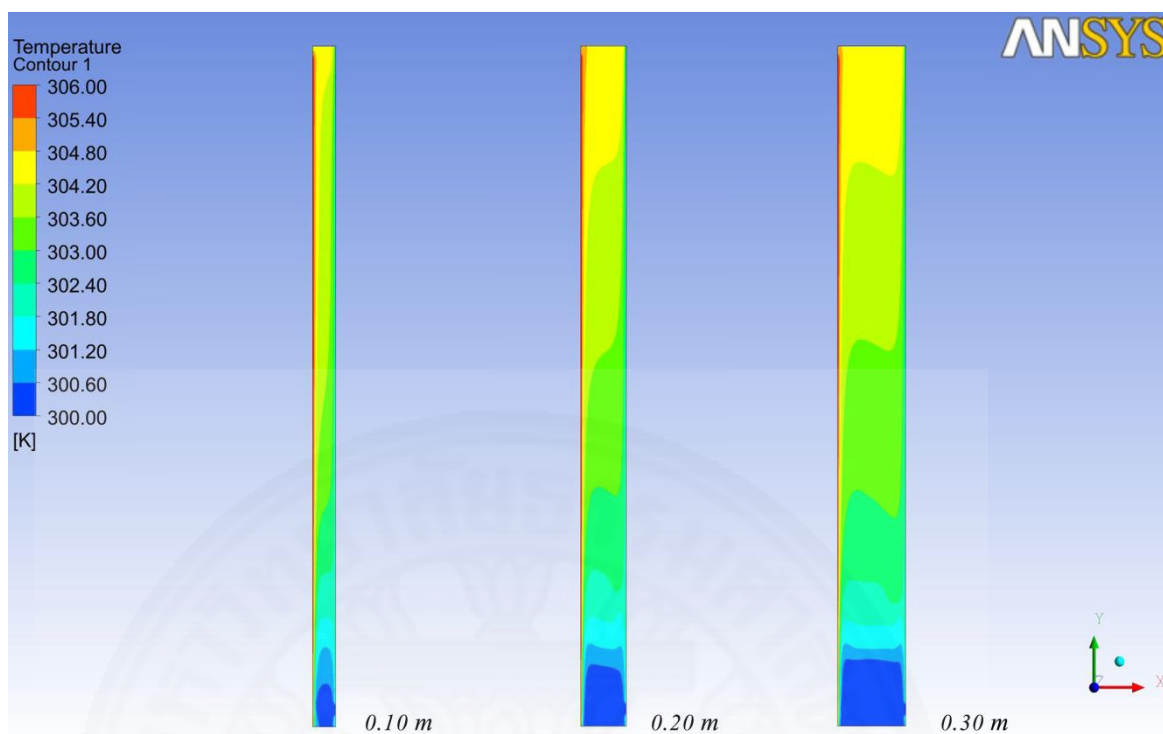




ภาพที่ 5.50 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 20



ภาพที่ 5.51 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 60

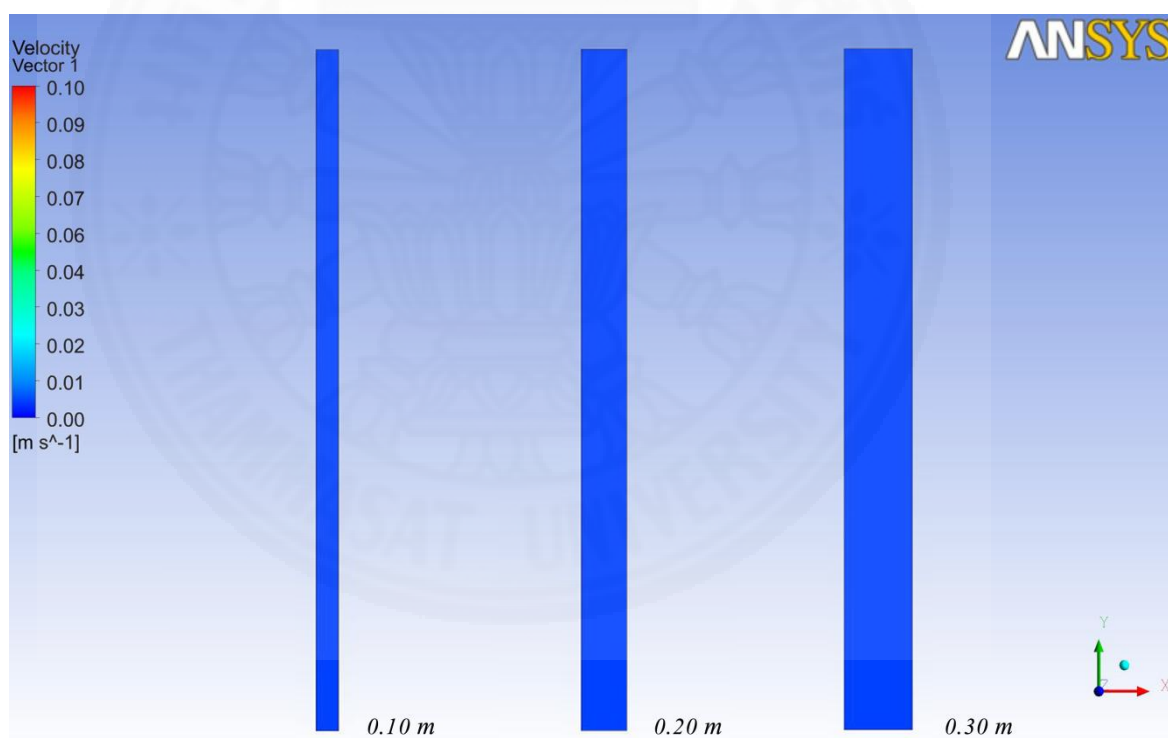


ภาพที่ 5.52 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 100

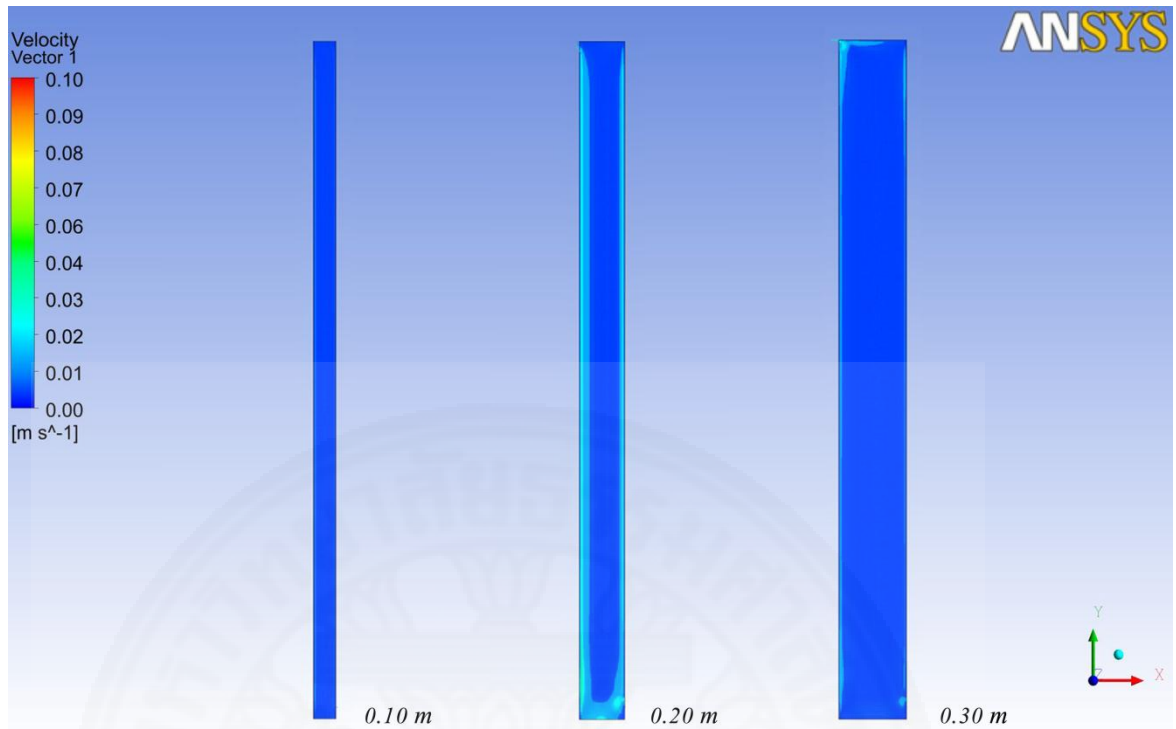
ผลจากการจำลองเพื่อวิเคราะห์อุณหภูมิของอากาศในช่องอากาศระหว่างผนัง ตามช่วงเวลา พบว่าอุณหภูมิในกรณีกำหนดอากาศให้เป็นก๊าซในอุดมคติ (ideal gas) ให้ค่าอุณหภูมิของอากาศที่ใกล้เคียงกัน จากการจำลองพบว่าค่าอุณหภูมิจะมีความสัมพันธ์กับความเร็วอากาศภายในช่องอากาศ โดยในช่วงวินาทีที่ 4-15 ในช่องอากาศที่มีขนาด 0.10 เมตรจะให้แถบสีของอุณหภูมิบริเวณช่องทางเข้าที่ต่ำกว่าขนาดช่องอากาศที่ใหญ่ เนื่องจากช่วงเวลานี้มีความเร็วเฉลี่ยภายในปล่องที่มากกว่า และเมื่อพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงสุดท้ายของอุณหภูมิ ดังภาพที่ 5.52 พบว่าลักษณะแถบสีอุณหภูมิของอากาศมีความใกล้เคียงกัน ในกรณีก๊าซในอุดมคติช่องอากาศที่มีขนาดใหญ่จะให้ประสิทธิภาพการกระจายอุณหภูมิภายในปล่องที่ดีกว่าช่องอากาศที่มีขนาดเล็ก เพราะช่องอากาศใหญ่มีความเป็นฉนวนทางความร้อนมากกว่า

### 5.3.2 ผลการศึกษาจากแบบจำลองที่ 2 โดยการกำหนดอากาศเป็นของผสม (air-vapor mixture) ด้วยโหมด Species Transport

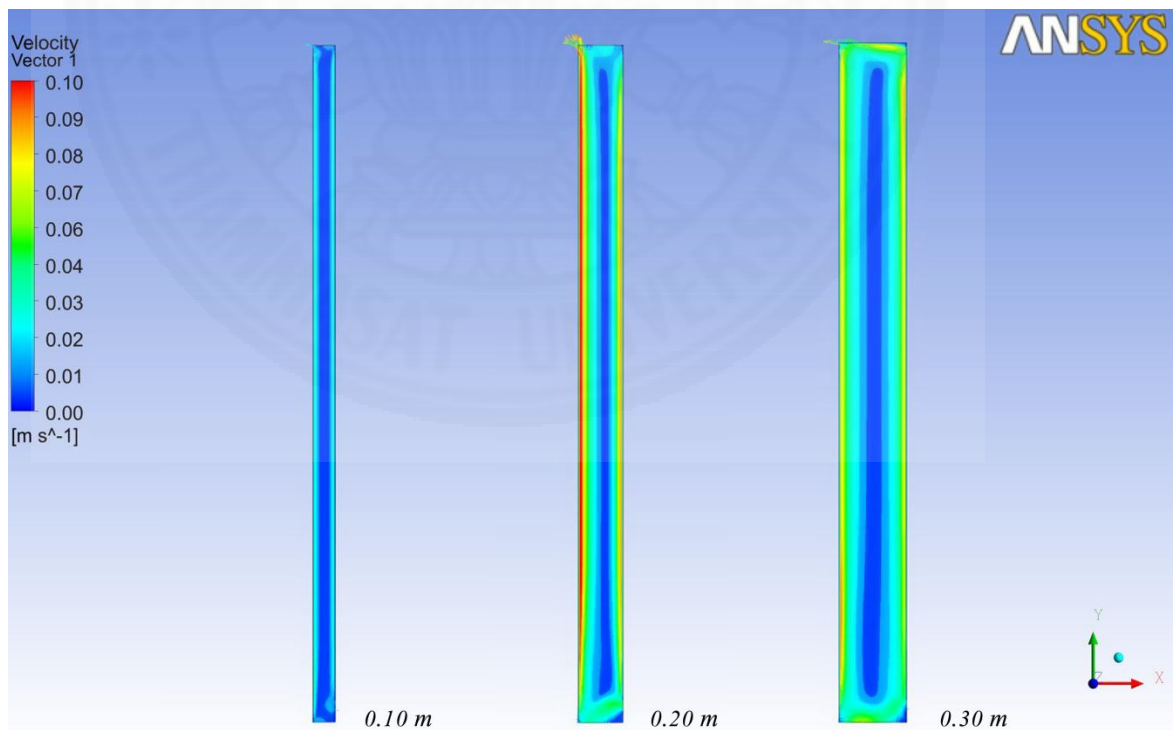
1). ผลจากการจำลองเพื่อวิเคราะห์ทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศชั้นที่เป็นของผสม (air-vapor mixture) ที่เคลื่อนที่ภายในช่องอากาศของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังที่แตกต่างกัน 3 ขนาดคือ ช่องอากาศกว้าง 0.10 เมตร ช่องอากาศกว้าง 0.20 เมตร และช่องอากาศกว้าง 0.30 เมตร ดังตารางที่ 4.2 พบว่า ผลของการจำลองและการศึกษาวิเคราะห์ผลแบบช่วงเวลา จะให้ผลที่แตกต่างกันในช่วง 100 วินาทีแรกโดย อากาศที่จำลองเป็นอากาศที่มีความชื้นจะมีพฤติกรรมไหลที่แปรปรวนมาก โดยขนาดช่องอากาศระหว่างผนังมีผลกระทบต่อทิศทางการไหลและความเร็วอากาศภายในช่องอากาศของปล่องรังสีดวงอาทิตย์ ดังภาพที่ 5.53-5.59



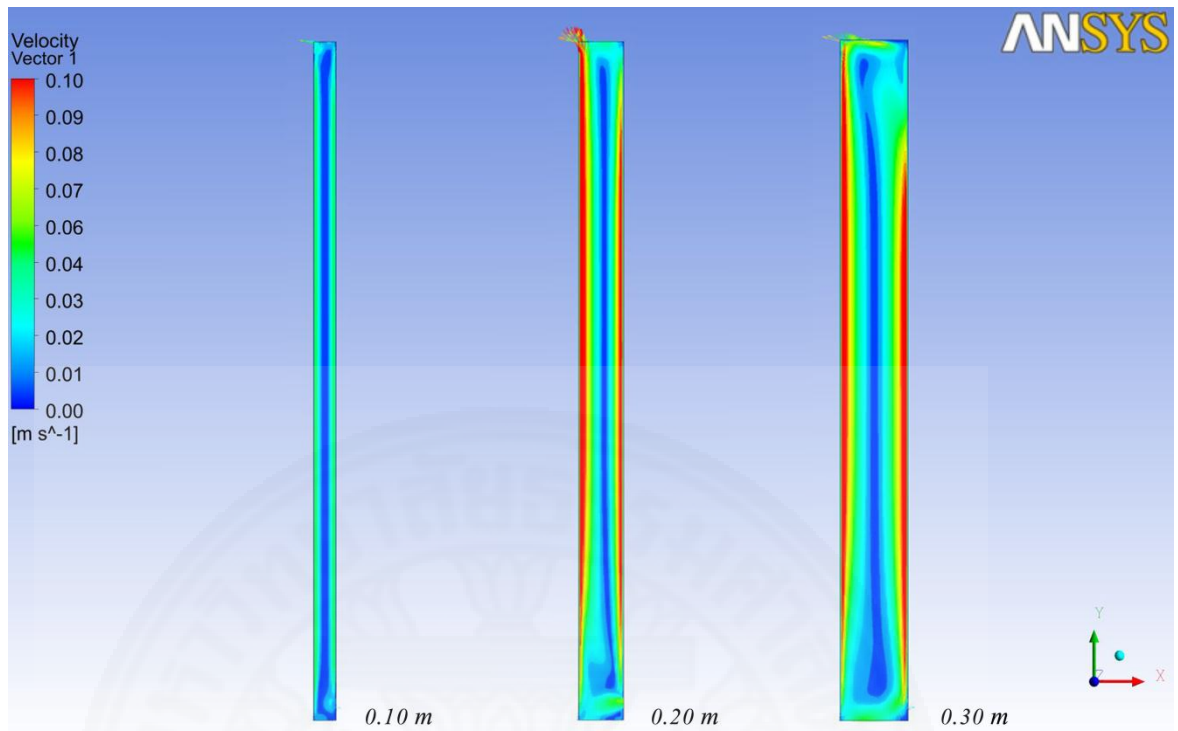
ภาพที่ 5.53 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 0



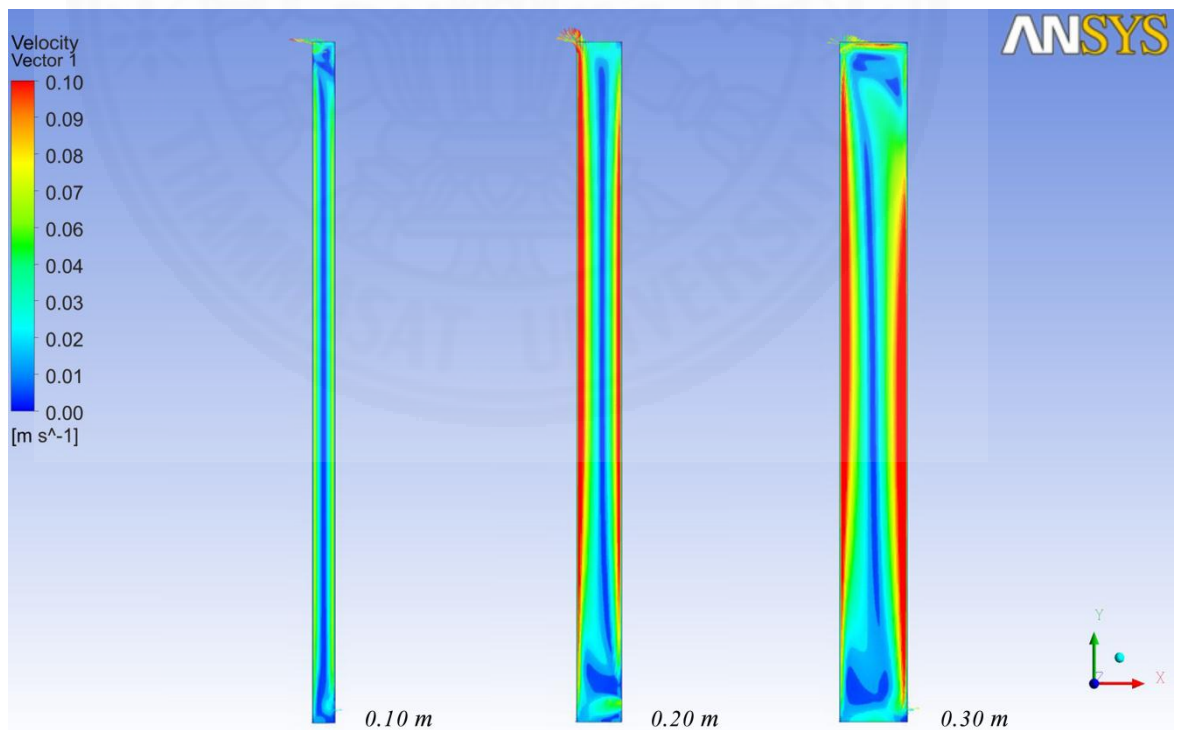
ภาพที่ 5.54 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 4



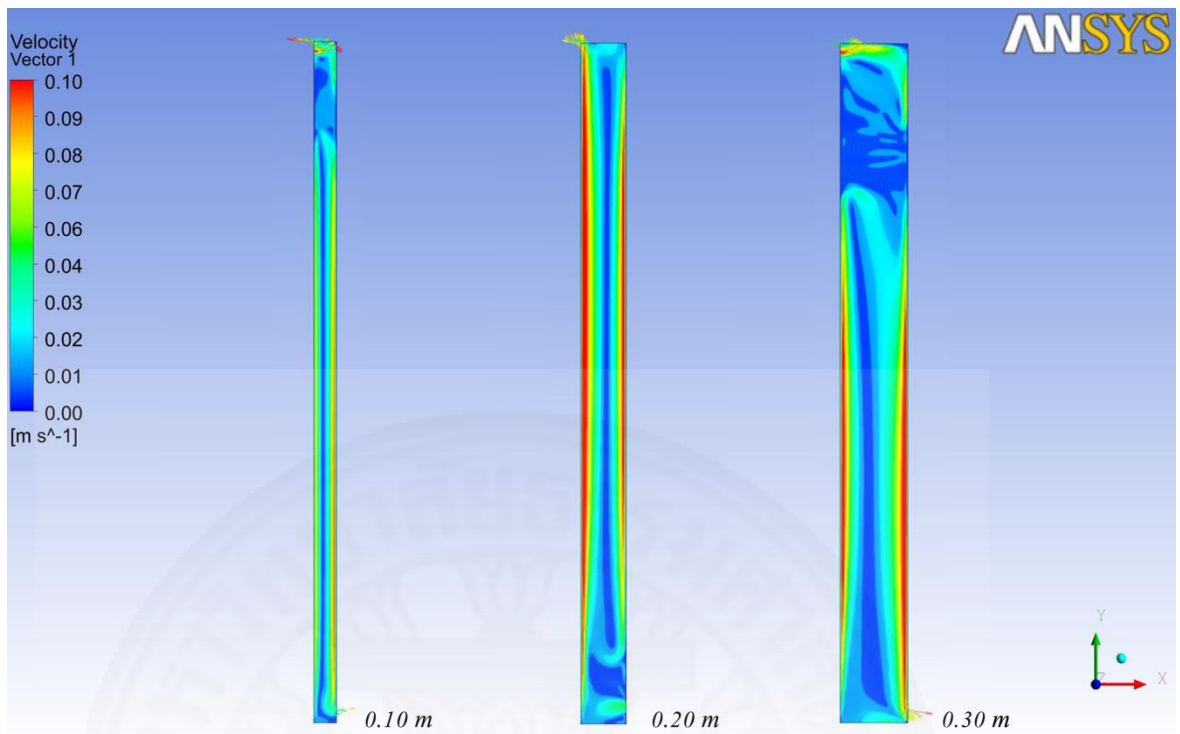
ภาพที่ 5.55 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 10



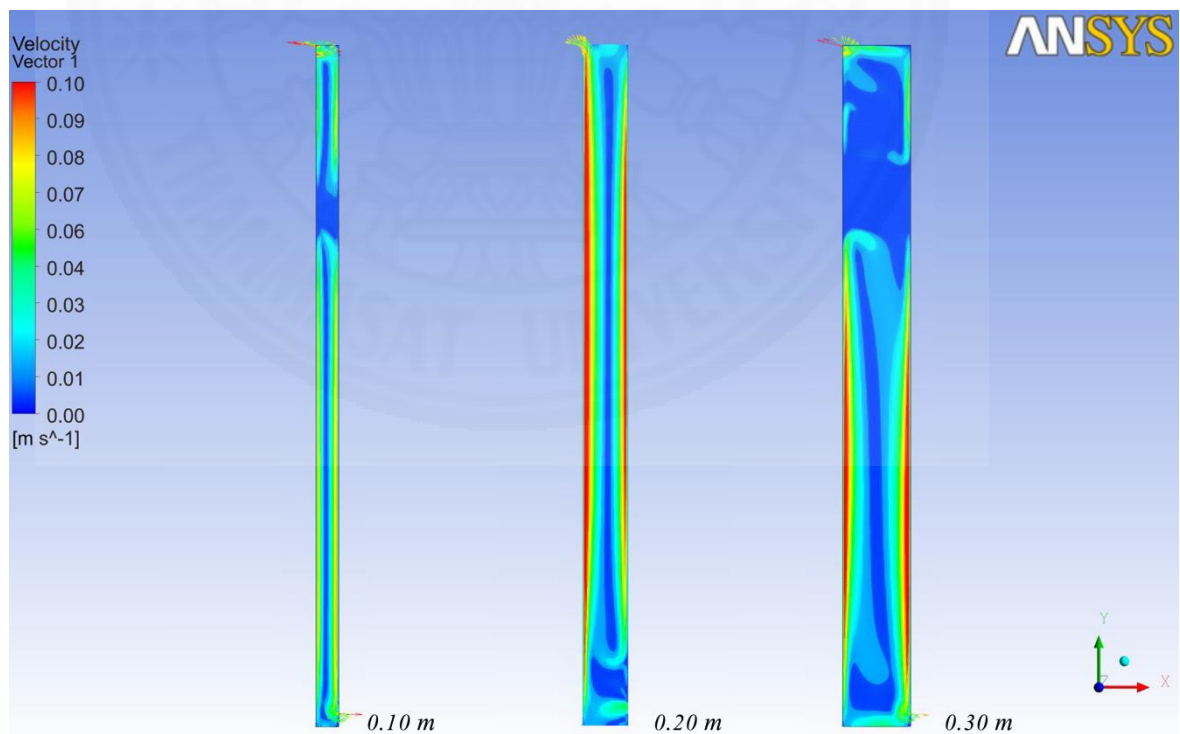
ภาพที่ 5.56 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 15



ภาพที่ 5.57 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 20



ภาพที่ 5.58 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 60



ภาพที่ 5.59 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 100

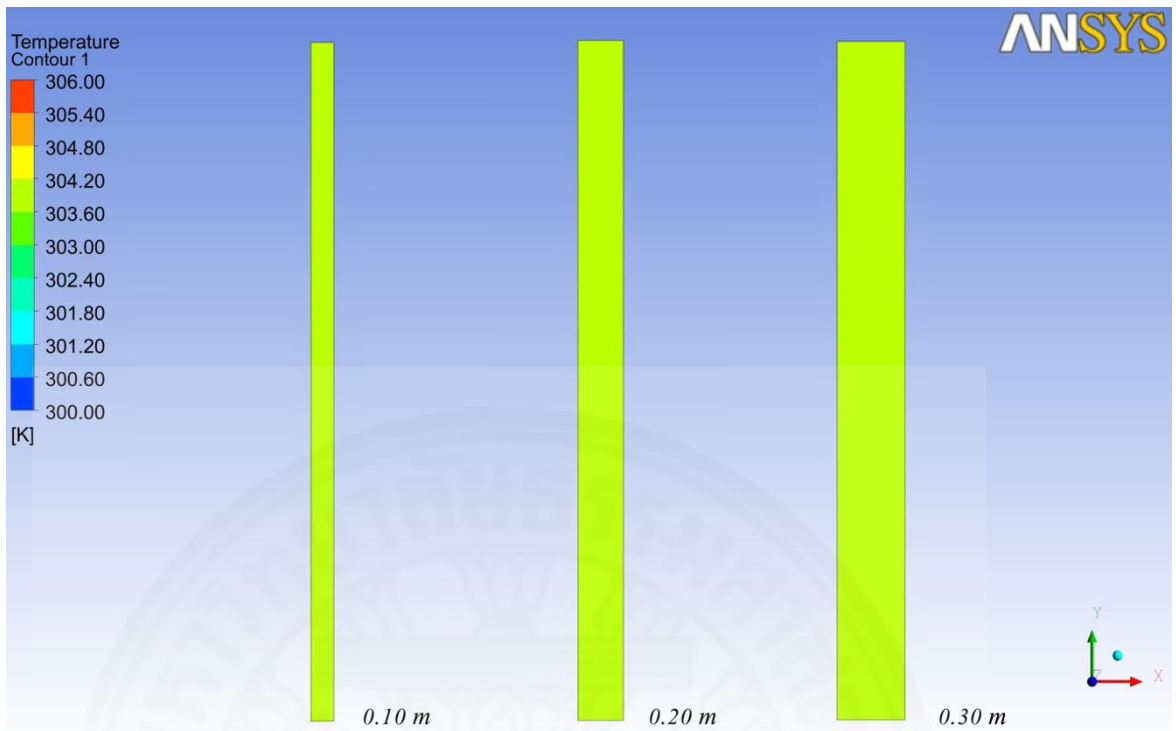
ผลจากการจำลองทิศทางการเคลื่อนที่ และความเร็วของอากาศตามช่วงเวลา พบว่า ทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศในกรณีกำหนดอากาศให้เป็นอากาศที่มีความชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลอง ช่วงวินาทีที่ 4 อากาศชื้นเริ่มมีการเคลื่อนที่โดยสังเกตจากสีของเวกเตอร์ภายในช่องอากาศดังภาพที่ 5.54 โดยขนาดช่องอากาศระหว่างผนังมีผลต่อการเคลื่อนที่ของอากาศ ขนาดช่องอากาศเล็ก (0.10 เมตร) จะส่งผลให้มีการเคลื่อนที่ของอากาศที่น้อยที่สุดและเมื่อพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาเริ่มจากวินาทีที่ 4 พบว่า

วินาทีที่ 10 การเคลื่อนที่ของอากาศในช่องอากาศระหว่างผนังทั้ง 3 ขนาดพบว่าการเคลื่อนที่ของอากาศในช่องอากาศที่มีขนาด 0.10 เมตรมีการเคลื่อนที่ของอากาศน้อยที่สุด โดยขนาดของช่องอากาศ 0.20 เมตร และ 0.30 เมตร มีการเคลื่อนที่ของอากาศที่ใกล้เคียงแต่ ช่องอากาศที่มีขนาด 0.30 เมตรจะมีอากาศที่ไหลย้อนกลับมาจากด้านบนที่มากกว่าดังภาพที่ 5.55

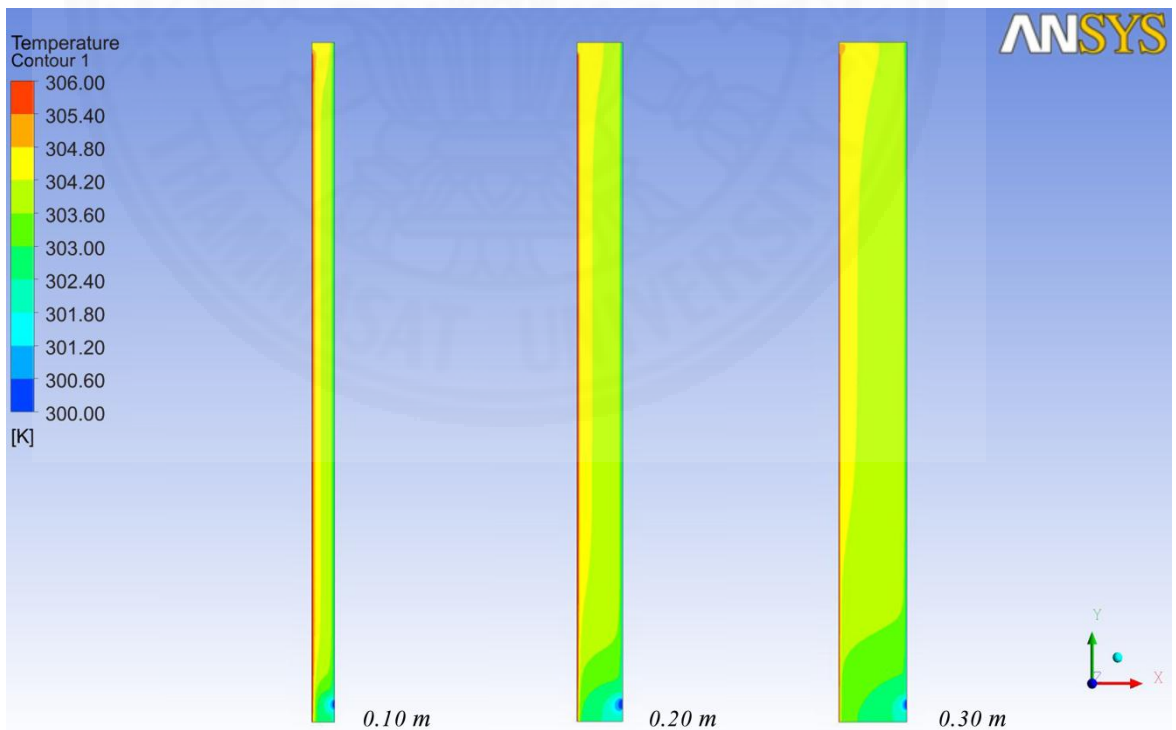
วินาทีที่ 20 การเคลื่อนที่ของอากาศจะมีความแปรปรวนมากในช่องอากาศที่มีขนาด 0.10 เมตรและ 0.30 เมตร ช่องอากาศขนาด 0.10 เมตรเป็นขนาดที่ให้ผลของการเคลื่อนที่ของอากาศน้อยที่สุด ทำให้อากาศจากช่องทางเข้าอากาศ (inlet) มีความเร็วที่น้อย ส่วนการระบายอากาศออกทางช่องทางออก (outlet) พบว่า อากาศไม่สามารถลอยตัวออกจากช่องอากาศได้ทำให้มีการไหลวนของอากาศภายในช่องปล่องรังสีดวงอาทิตย์ ช่องอากาศขนาด 0.30 เมตร เป็นขนาดที่ให้ผลของการเคลื่อนที่ของอากาศใกล้เคียงกับช่องอากาศขนาด 0.20 เมตร แต่ช่องอากาศขนาดใหญ่มีอากาศที่ไหลย้อนกลับมาจากด้านบนที่มากกว่า ส่งผลให้อากาศที่ไหลย้อนกลับมามีการผสม และมีทิศทางการไหลสวนทางกับอากาศใหม่ที่เข้ามาทางช่องทางเข้าอากาศ (inlet) ทำให้สูญเสียความเร็วและมีการไหลย้อนออกทางช่องทางเข้าดังภาพที่ 5.58

เมื่อพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงสุดท้ายของการเคลื่อนที่ของอากาศ ดังภาพที่ 5.59 พบว่า ขนาดช่องอากาศที่มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการระบายอากาศผ่านช่องอากาศระหว่างผนังคือ ขนาดช่องอากาศระหว่างผนังเท่ากับ 0.20 เมตร

2). ผลจากการจำลองเพื่อวิเคราะห์อุณหภูมิของอากาศชื้น (air-vapor mixture) ภายในช่องอากาศของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่ มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังที่แตกต่างกัน 3 ขนาดคือ ช่องอากาศกว้าง 0.10 เมตร ช่องอากาศกว้าง 0.20 เมตร และช่องอากาศกว้าง 0.30 พบว่า อุณหภูมิภายในช่องอากาศจะมีการแบ่งค่าของอุณหภูมิออกเป็นชั้น ๆ โดยที่ค่าของอุณหภูมิต่ำจะอยู่ด้านล่าง ค่าอุณหภูมิสูงจะอยู่ด้านบน ผลของการจำลองและการศึกษาวิเคราะห์ผลแบบช่วงเวลา (transient) จะให้ผลที่แตกต่างกันในช่วง 100 วินาทีแรก โดยมีผลของอุณหภูมิดังภาพที่ 5.60-5.66

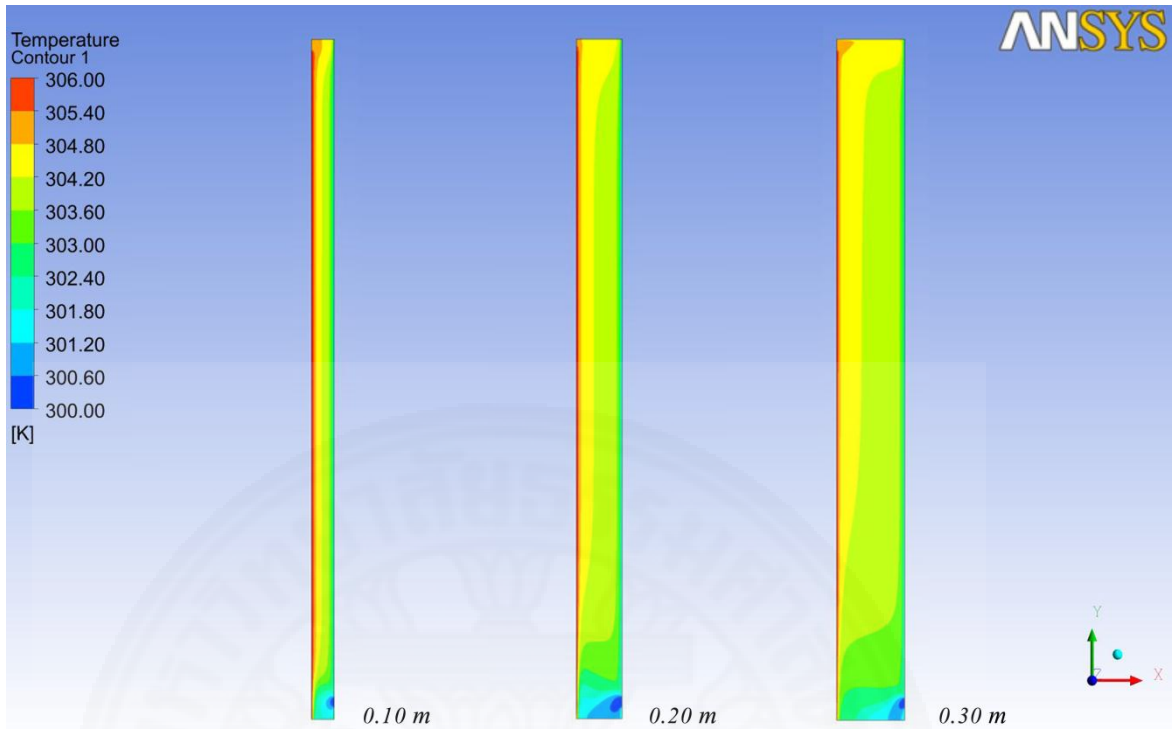


ภาพที่ 5.60 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 0

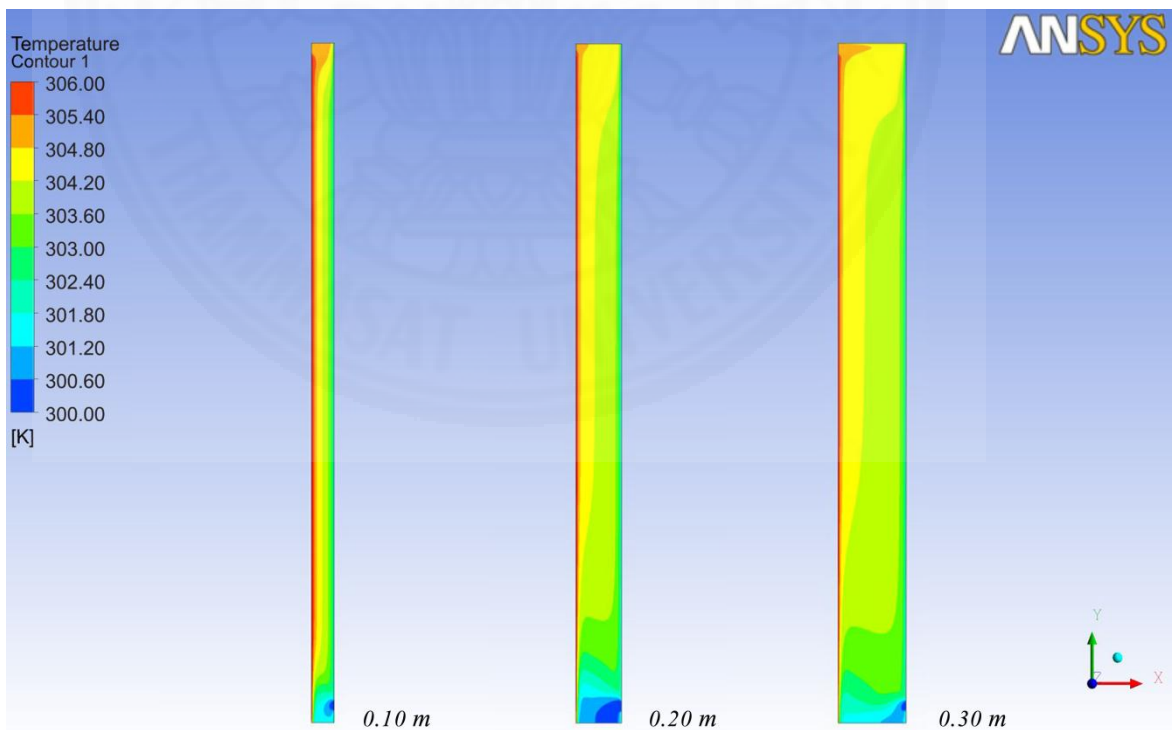


ภาพที่ 5.61 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 4

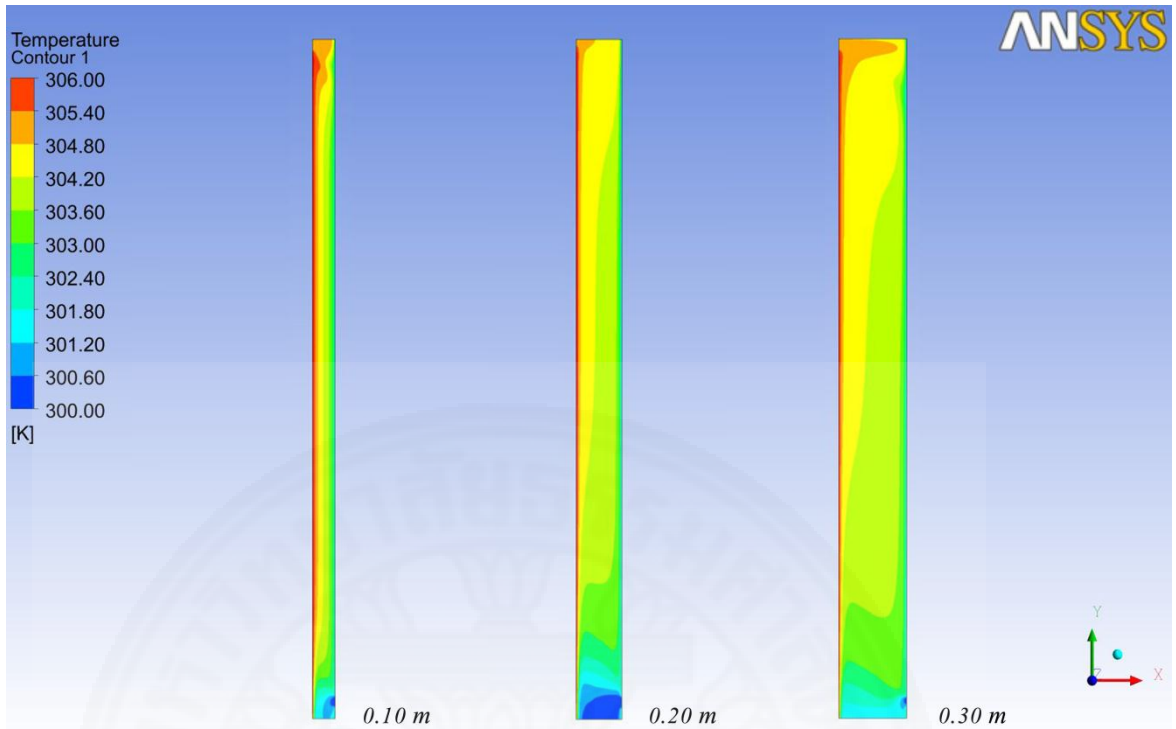




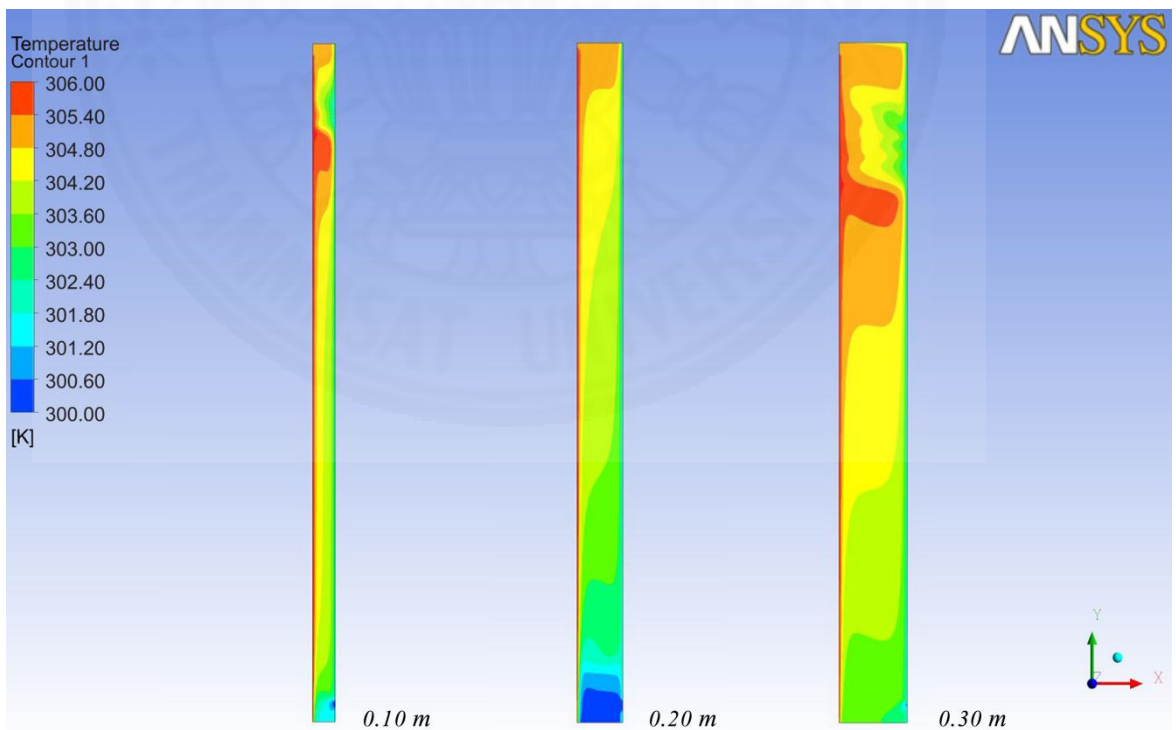
ภาพที่ 5.62 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลอง ที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 10



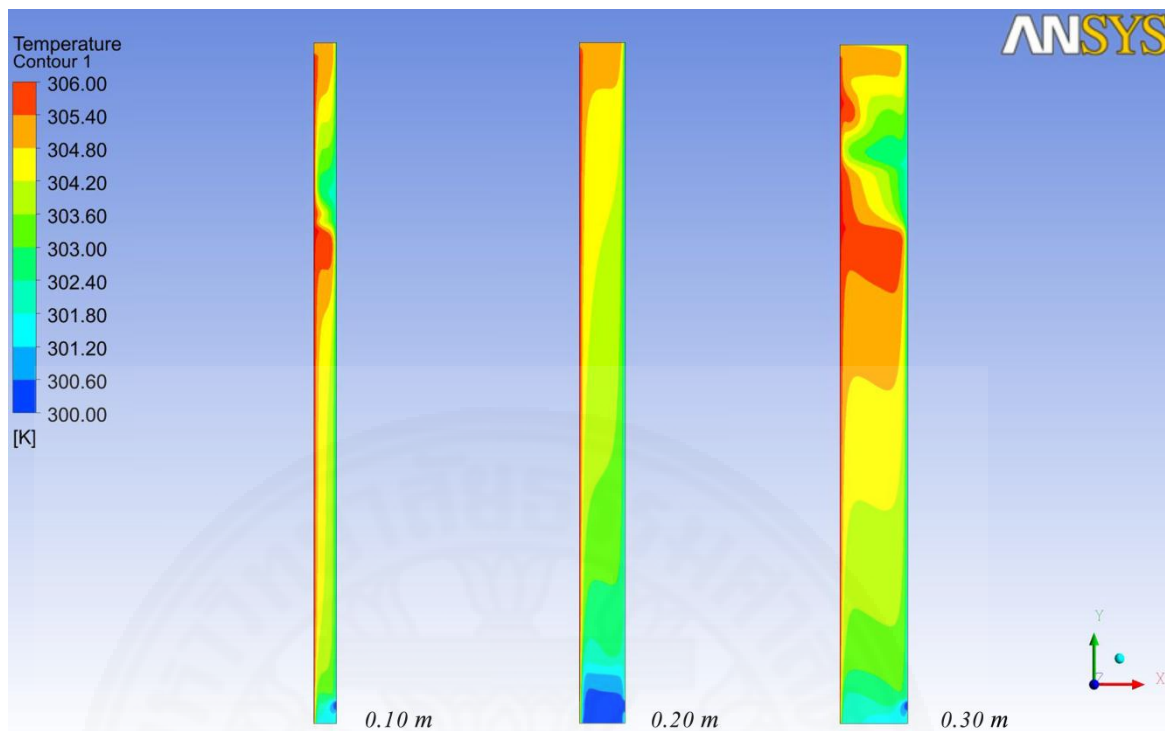
ภาพที่ 5.63 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลอง ที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 15



ภาพที่ 5.64 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลอง ที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 20



ภาพที่ 5.65 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลอง ที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 60



ภาพที่ 5.66 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลอง ที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 100

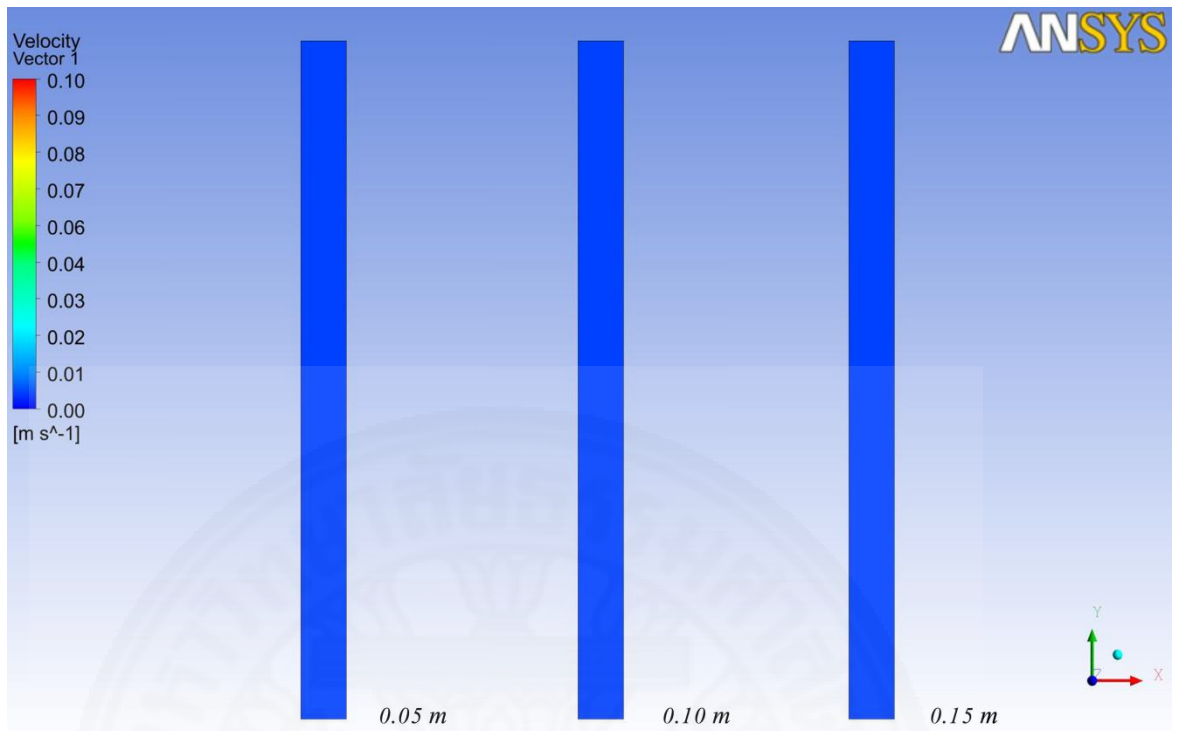
ผลจากการจำลองเพื่อวิเคราะห์อุณหภูมิของอากาศในช่องอากาศระหว่างผนัง ตามช่วงเวลา พบว่า อุณหภูมิในกรณีกำหนดอากาศให้เป็นอากาศที่มีความชื้น (air-vapor mixture) ให้ค่าอุณหภูมิของอากาศภายในปล่องที่แตกต่างกัน เนื่องจากขนาดช่องอากาศระหว่างผนังที่แตกต่างกัน จากการจำลอง พบว่า ค่าอุณหภูมิจะมีความสัมพันธ์กับความเร็วและทิศทางอากาศภายในช่องอากาศ หากพิจารณาตามการความเร็วอากาศดังภาพที่ 5.59 ช่องอากาศขนาด 0.20 เมตร ให้ผลความเร็วอากาศและการเคลื่อนที่ของอากาศได้ดีที่สุด ส่งผลถึงชั้นแทบสีของอุณหภูมิที่ไม่มีการสะสมความร้อนระหว่างช่องอากาศของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ เนื่องจากการไหลวนของอากาศภายใน และการเคลื่อนที่ของอากาศ ดังภาพที่ 5.66 แถบสีของอุณหภูมิด้านล่างบริเวณช่องทางเข้า (inlet) พบว่า ช่องอากาศขนาด 0.20 เมตร มีการเคลื่อนที่ของอากาศจากภายนอกเข้ามาด้านในทำให้อุณหภูมิบริเวณนี้ต่ำ แต่ช่องอากาศ ขนาด 0.10 เมตรและ 0.30 เมตรมีการเคลื่อนที่ของอากาศน้อยและยังมีการผสมอากาศที่ไหลย้อนกลับมาจากด้านบนส่งผลให้การเคลื่อนที่ของอากาศจากภายนอกเข้ามาด้านในช่องอากาศระหว่างผนังมีปริมาณน้อยลง

## 5.4 ผลจากการศึกษาอิทธิพลของความชื้นและขนาดช่องทางเข้าออกอากาศที่มีต่อสมรรถนะทางความร้อนของปล่องรังสีดวงอาทิตย์

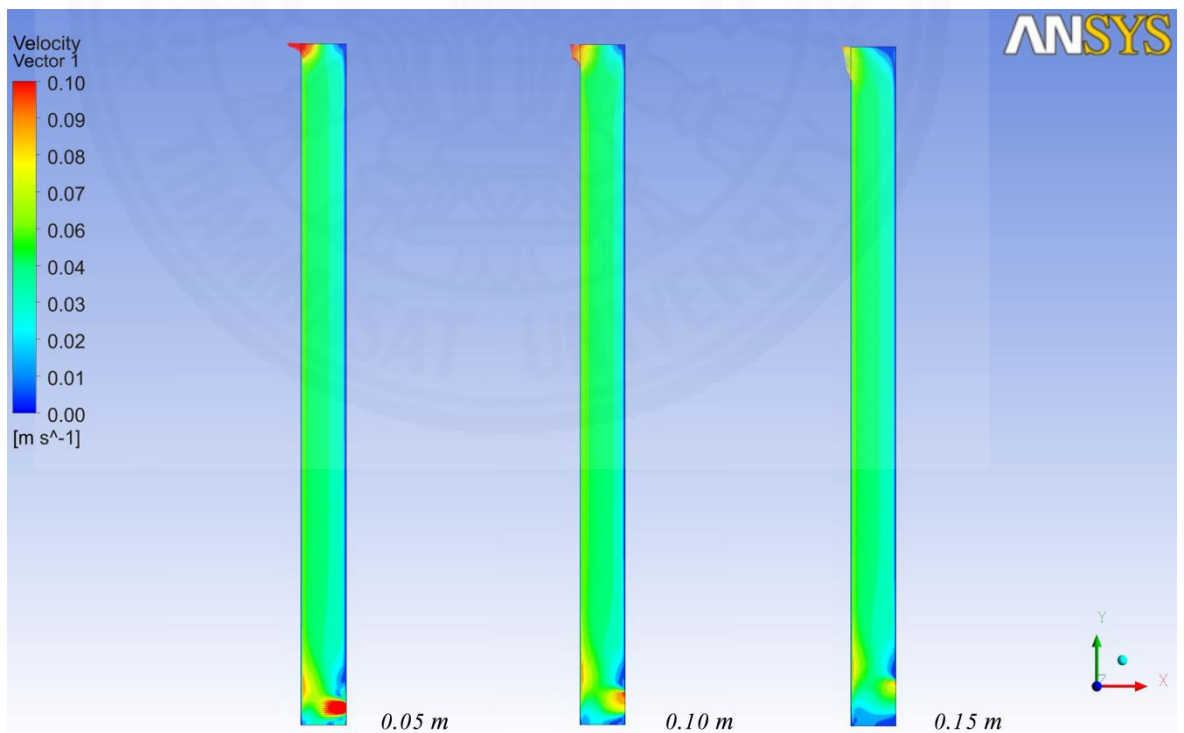
ผลการวิจัยในส่วนนี้ศึกษาอิทธิพลของขนาดช่องทางเข้าออกอากาศที่มีผลต่อสมรรถนะผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ โดยจะทำการศึกษาต่อจากการทดลองที่ 2 โดยใช้โมเดลกรณีศึกษาที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังขนาด 0.20 เมตร และสูง 3.00 เมตร โดยจะแบ่งการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเป็น 2 รูปแบบคือ การวิเคราะห์อากาศเป็นก๊าซในอุดมคติ (ideal gas) และการวิเคราะห์อากาศให้เป็นของผสม (air-vapor mixture) ในโหมดการคำนวณ Species Transport และทำการเปลี่ยนขนาดช่องทางเข้าออกอากาศดังตารางที่ 4.3 โดยผลการศึกษาจะวิเคราะห์ผลแบบช่วงเวลา (transient)

### 5.4.1 ผลการศึกษาจากแบบจำลองที่ 3 โดยการกำหนดอากาศเป็นก๊าซอุดมคติ (ideal gas)

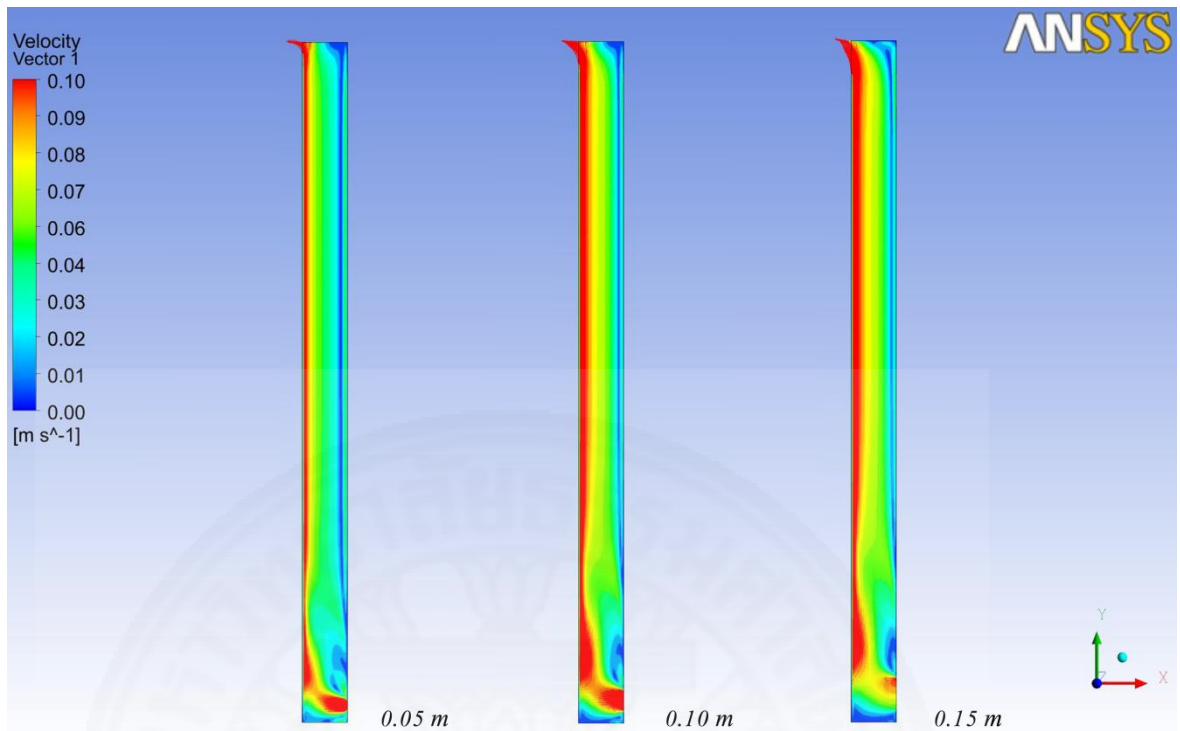
1). ผลจากการจำลองเพื่อวิเคราะห์ทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศ (ideal gas) ที่เคลื่อนที่ภายในช่องอากาศของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนัง 0.20 เมตร และมีช่องทางเข้าออกอากาศที่แตกต่างกัน 3 ขนาดคือ ช่องทางเข้าออกอากาศขนาด 0.05 เมตร ช่องทางเข้าออกอากาศขนาด 0.10 เมตร และช่องทางเข้าออกอากาศขนาด 0.15 เมตรดังตารางที่ 4.3 พบว่า ผลของการจำลองและการศึกษาวิเคราะห์ผลแบบช่วงเวลา จะให้ผลที่แตกต่างกันในช่วง 100 วินาทีแรกดังภาพที่ 5.67-5.73 โดยอากาศที่จำลองด้วยก๊าซในอุดมคติมีพฤติกรรมการไหลของอากาศขึ้นสู่ด้านบน เริ่มจากอากาศเข้าทางช่องทางเข้า (inlet) และออกทางช่องทางออก (outlet) โดยการเปิดช่องเข้าออกอากาศที่มีขนาดใหญ่ส่งผลต่อทิศทางการไหลและความเร็วของอากาศในช่องทางเข้าและออกทางช่องทางออกอากาศตั้งแต่วินาทีที่ 15 เป็นต้นไปดังภาพที่ 5.70-5.73



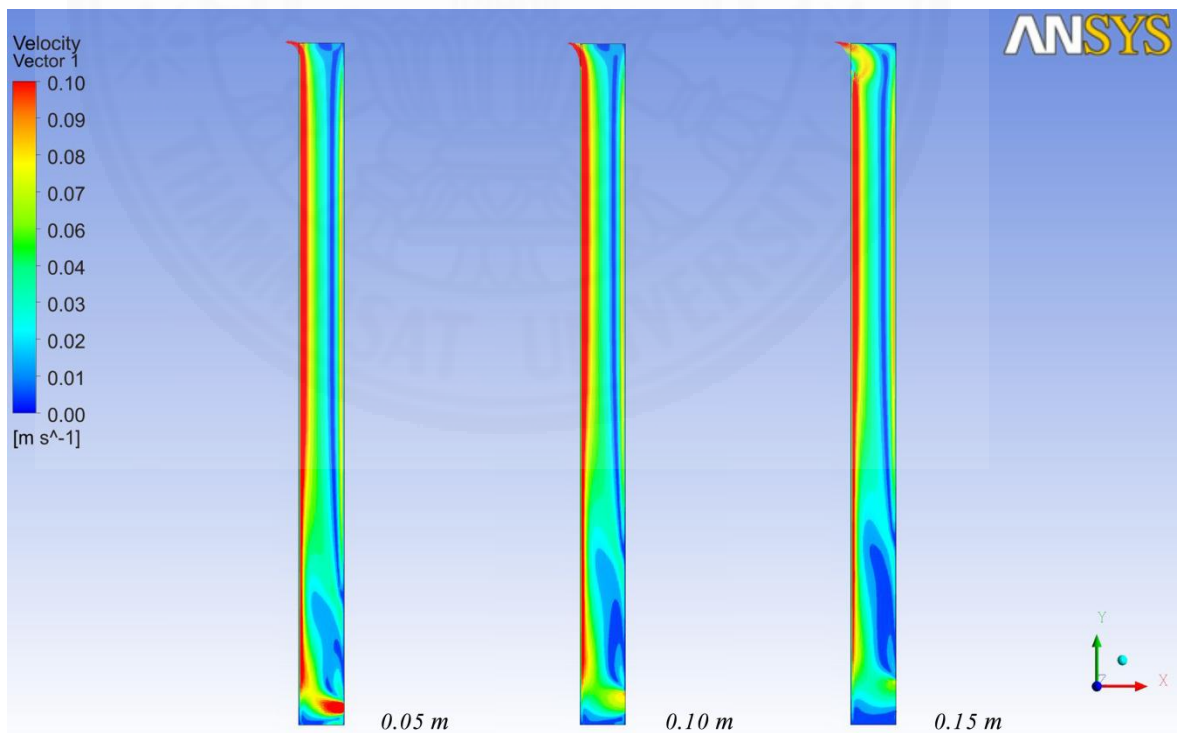
ภาพที่ 5.67 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 0



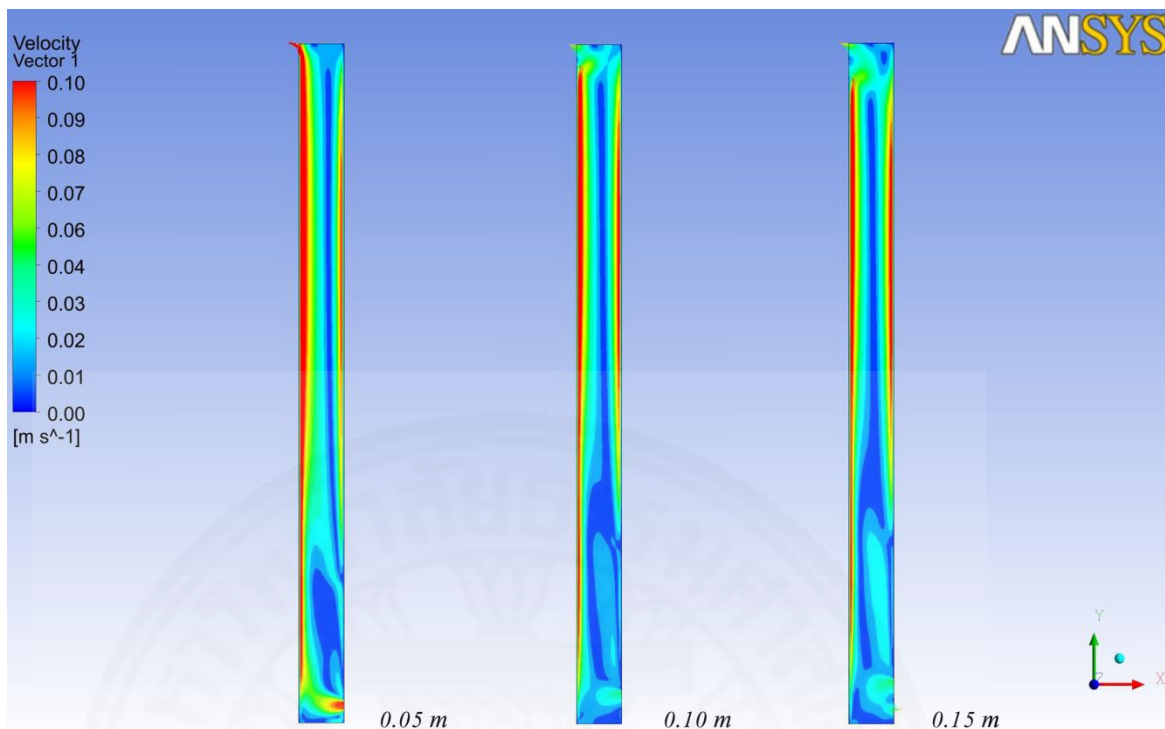
ภาพที่ 5.68 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 4



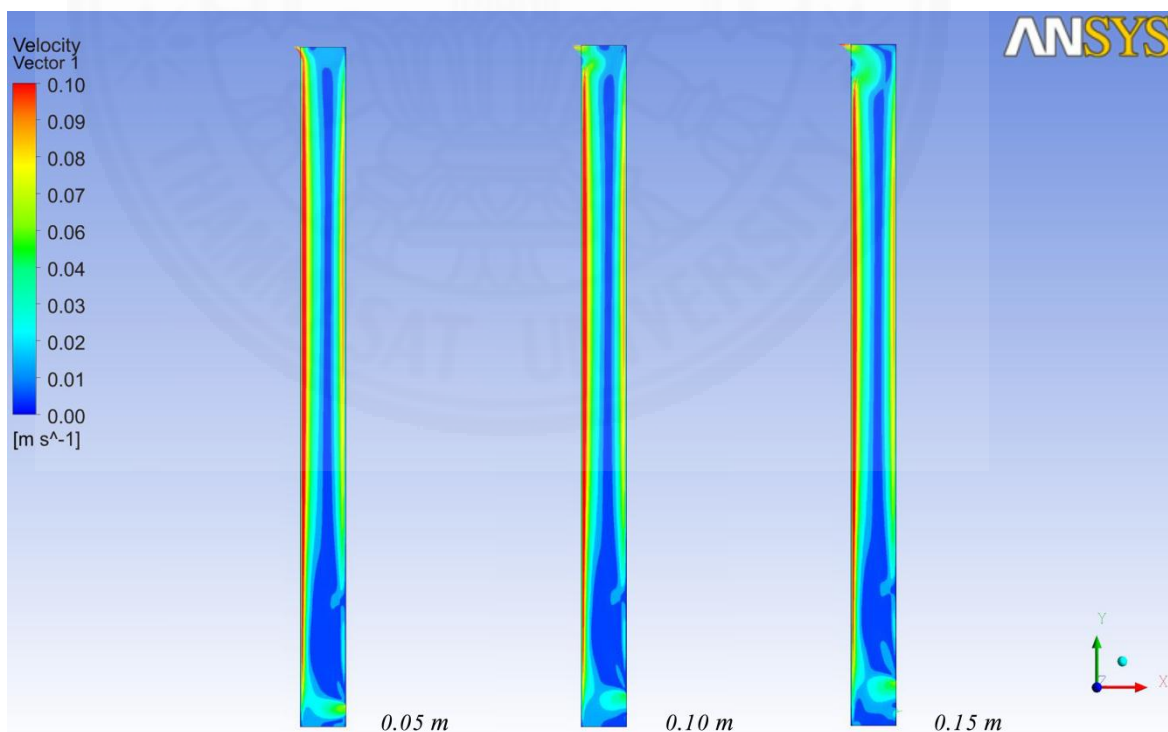
ภาพที่ 5.69 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 10



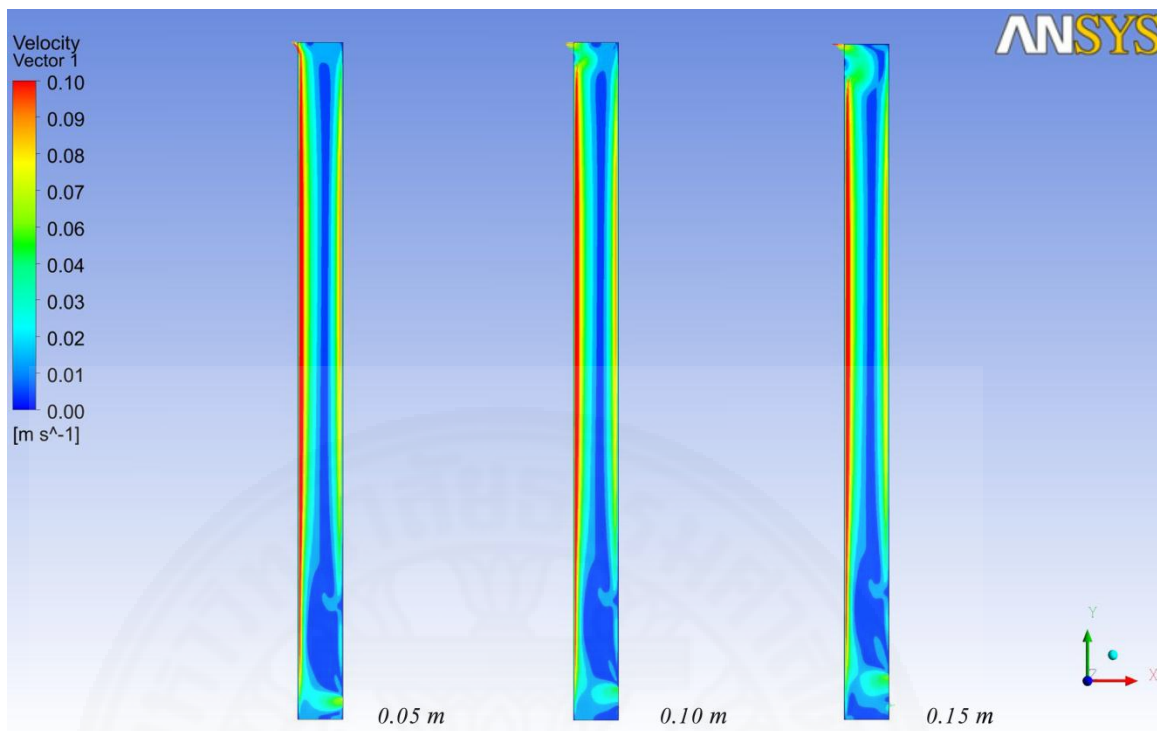
ภาพที่ 5.70 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 15



ภาพที่ 5.71 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 20



ภาพที่ 5.72 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 60

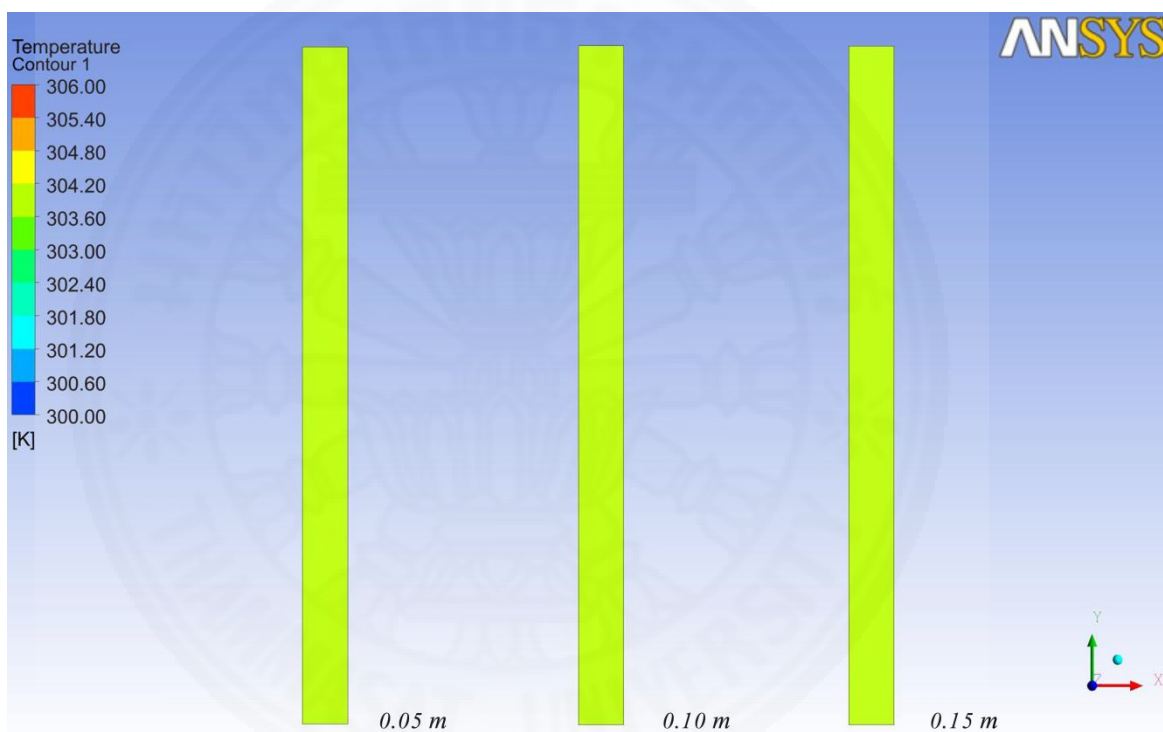


ภาพที่ 5.73 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกัน ในวินาทีที่ 100

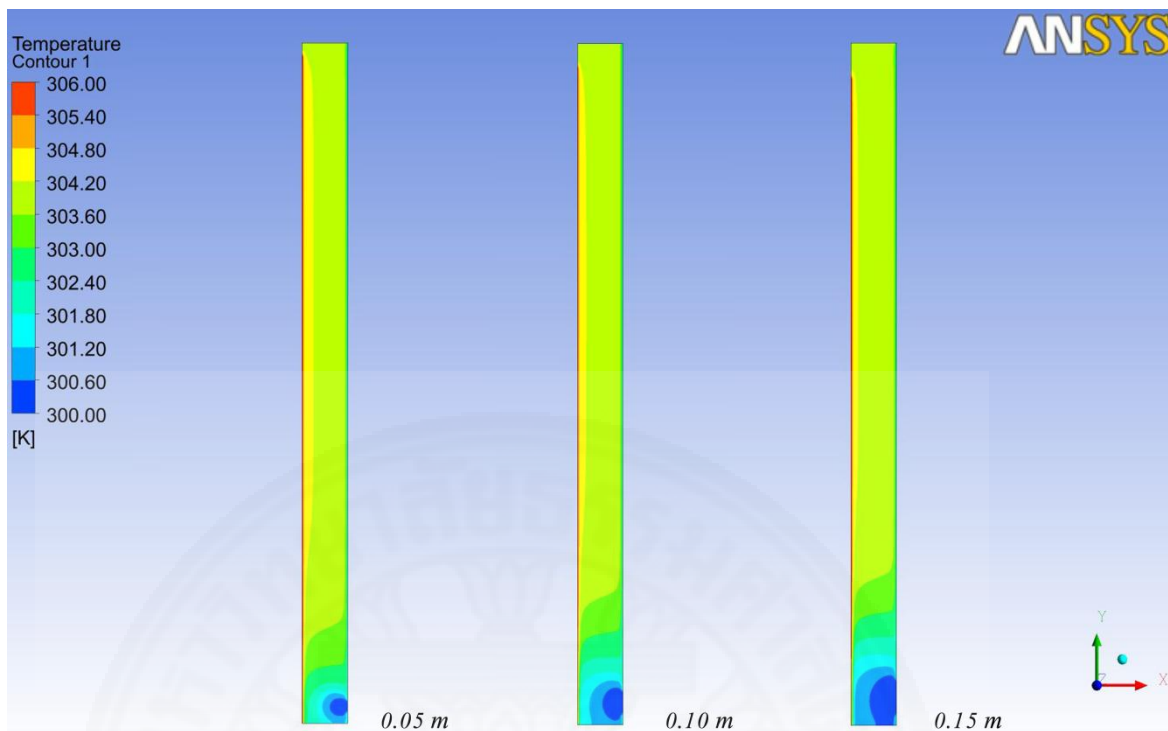
ผลจากการจำลองทิศทางการเคลื่อนที่ และความเร็วอากาศตามช่วงเวลา พบว่า ทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศในกรณีกำหนดอากาศให้เป็นก๊าซในอุดมคติ มีการไหลของอากาศที่ใกล้เคียงกัน จากการจำลอง พบว่า ในช่วงวินาทีที่ 4-20 ช่องทางเข้าออกอากาศที่มีขนาด 0.05 เมตร จะมีความเร็วอากาศได้สูงที่สุดในช่องทางเข้าอากาศ โดยสังเกตจากสีของเวกเตอร์ภายในช่องอากาศดังภาพที่ 5.67-5.71 และเมื่อพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงสุดท้ายของการเคลื่อนที่ของอากาศ ดังภาพที่ 5.73 พบว่าลักษณะทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศมีความใกล้เคียงกัน ในกรณีก๊าซในอุดมคติช่องทางเข้าออกอากาศที่มีขนาดเล็กจะมีความเร็วอากาศบริเวณทางเข้าและออกอากาศ และทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่สูงกว่าช่องทางอากาศที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งในจำลองครั้งพบว่าขนาดช่อง 0.05 เมตร และ 0.10 เมตรให้ค่าความเร็วทิศทางของอากาศที่ใกล้เคียงกัน แต่ขนาดช่อง 0.15 เมตรที่เป็นขนาดช่องทางเข้าออกอากาศที่ใหญ่ที่สุด จะส่งผลต่อทิศทางของการไหลอากาศบริเวณทางเข้าและออก โดยอากาศจะมีการไหลเข้าและออกพร้อม ๆ กันในช่วงเวลาเดียวกันโดยเริ่มตั้งแต่วินาทีที่ 15 เป็นต้นไป



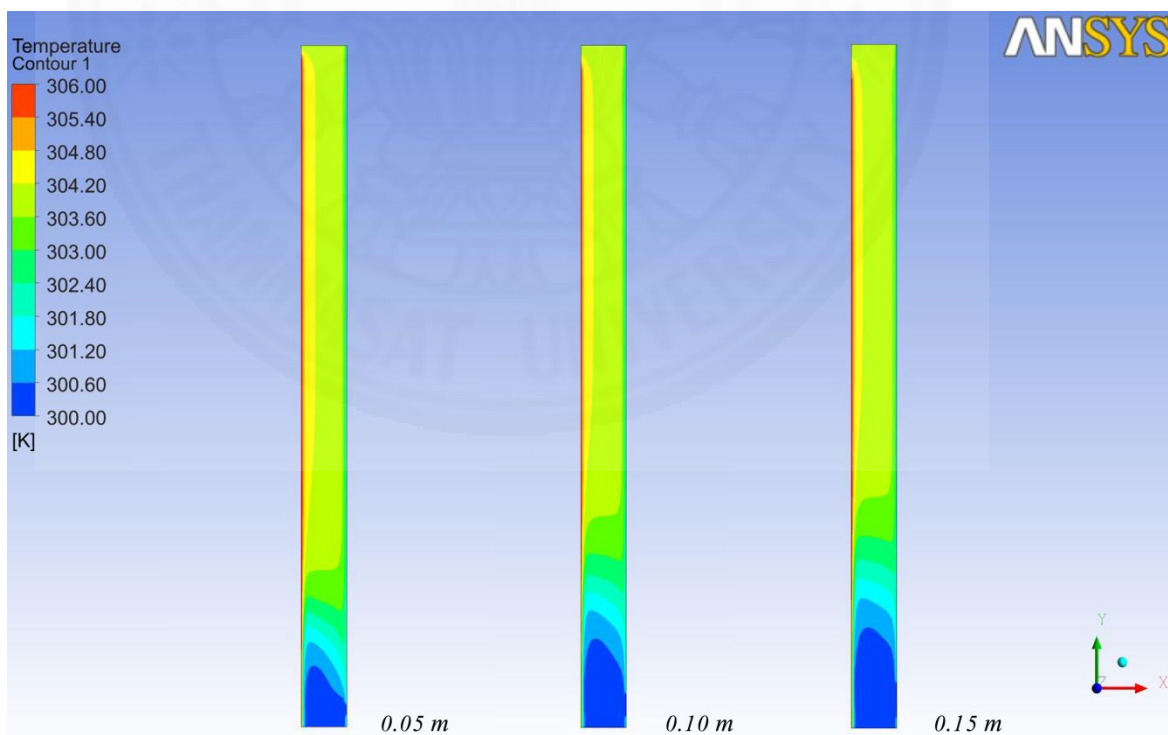
2). ผลจากการจำลองเพื่อวิเคราะห์อุณหภูมิของอากาศ (ideal gas) ภายในช่องอากาศของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังขนาด 0.20 เมตรและขนาดช่องเข้าออกอากาศที่แตกต่างกัน 3 ขนาดคือ ช่องทางเข้าออกอากาศขนาด 0.05 เมตร ช่องทางเข้าออกอากาศขนาด 0.10 เมตร และช่องทางเข้าออกอากาศขนาด 0.15 เมตรพบว่า อุณหภูมิภายในช่องอากาศจะมีการแบ่งค่าของอุณหภูมิต่างกันเป็นชั้น ๆ โดยที่ค่าของอุณหภูมิต่ำจะอยู่ด้านล่าง ค่าอุณหภูมิสูงจะอยู่ด้านบน พบว่าผลของการจำลองและการศึกษาวิเคราะห์ผลแบบช่วงเวลา จะให้ผลที่แตกต่างกันในช่วง 100 วินาทีแรก โดยมีผลของอุณหภูมิดังภาพที่ 5.74



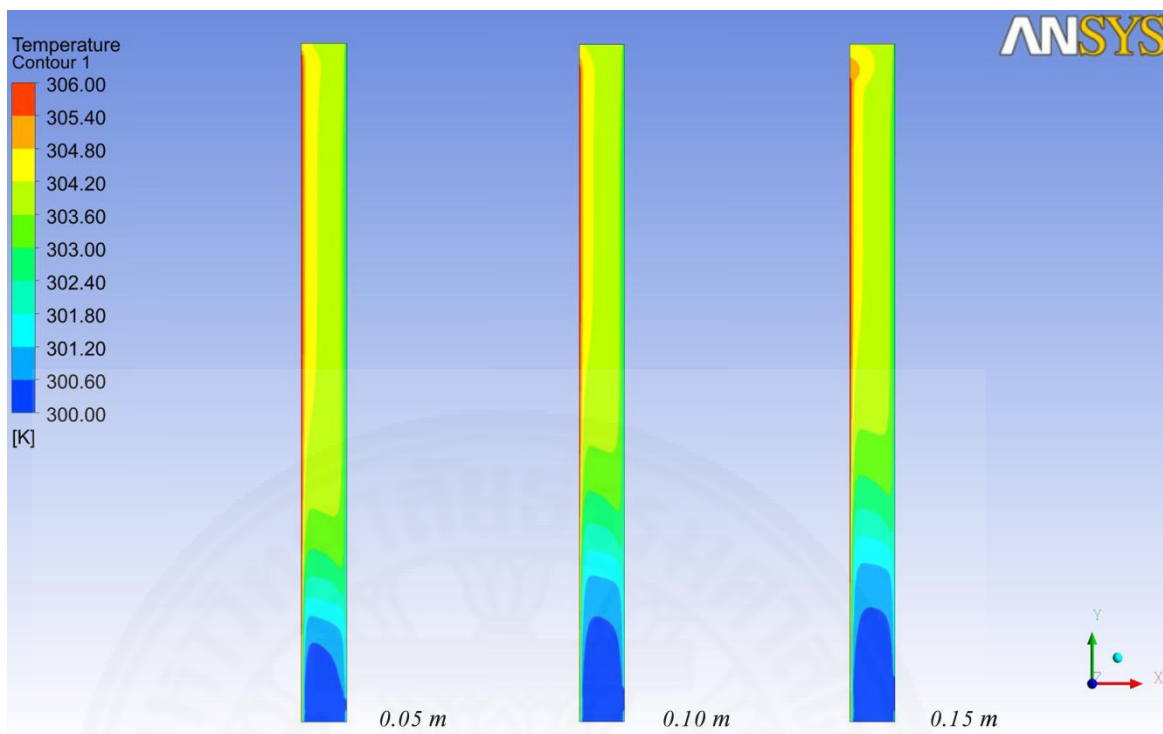
ภาพที่ 5.74 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 0



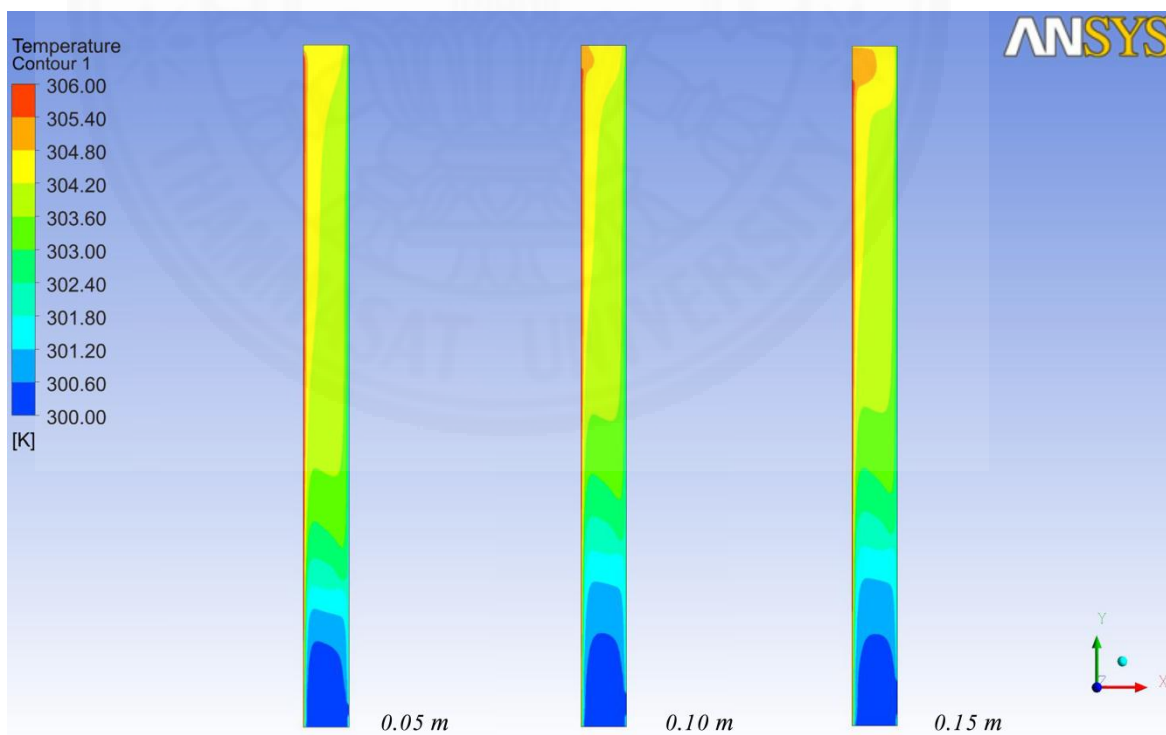
ภาพที่ 5.75 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 4



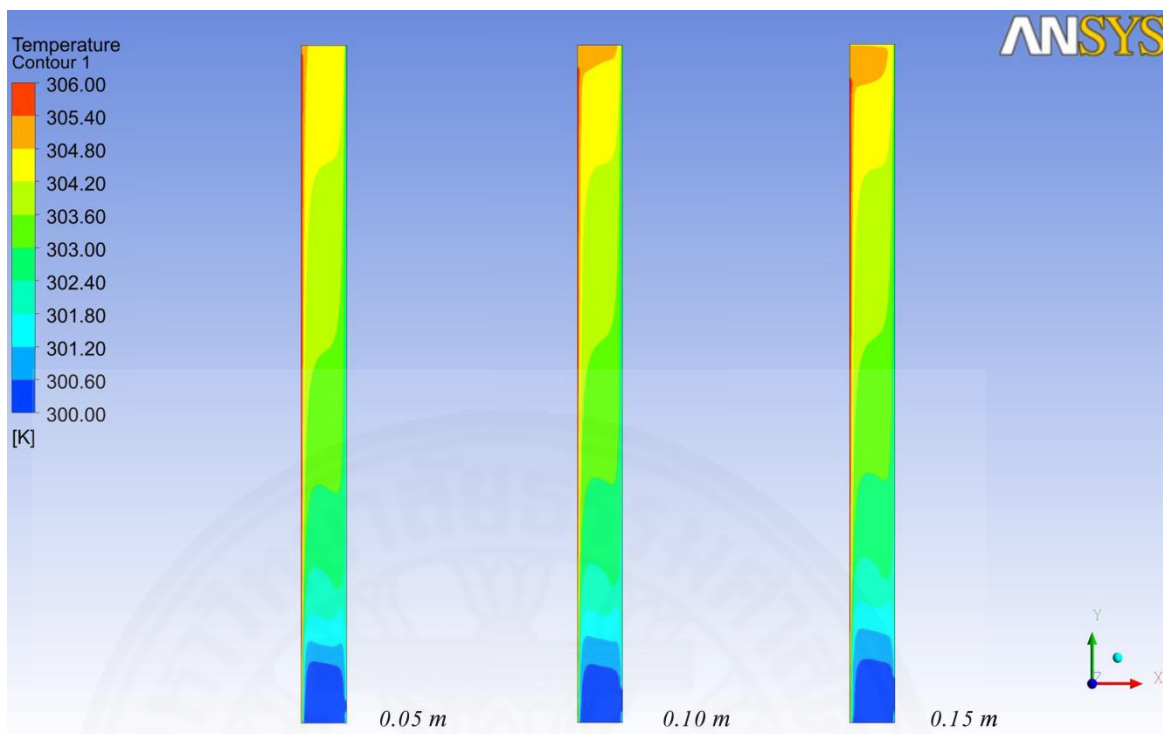
ภาพที่ 5.76 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 10



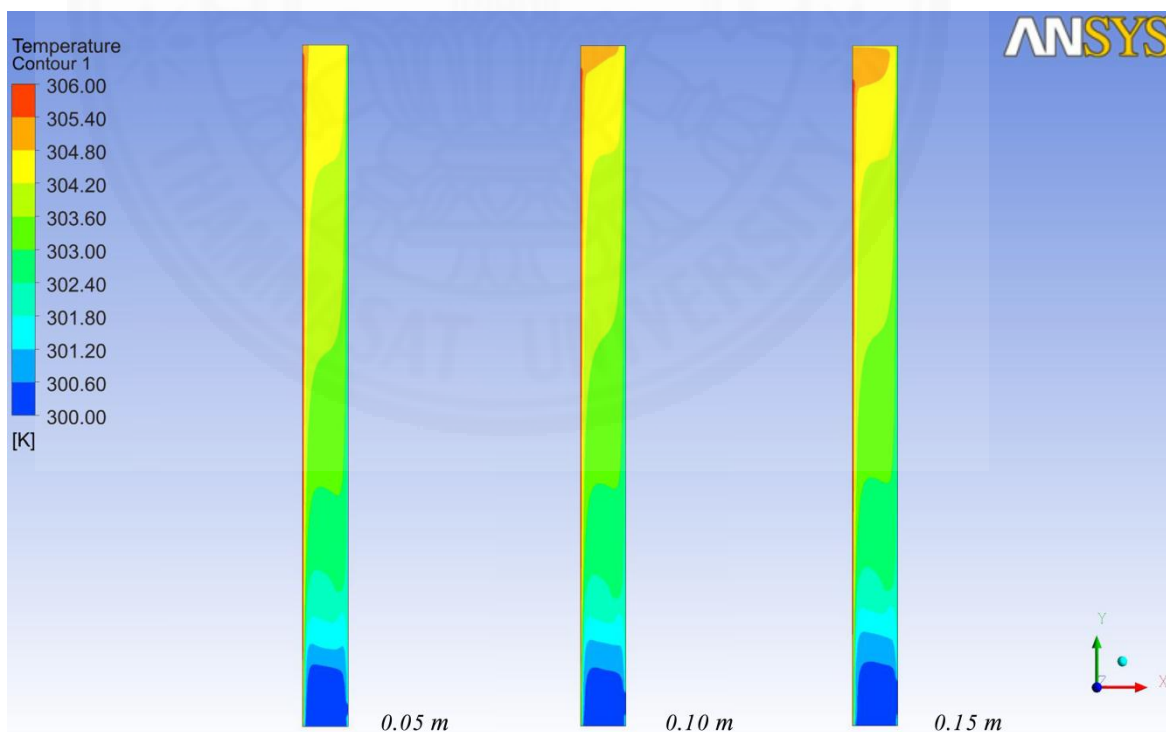
ภาพที่ 5.77 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 15



ภาพที่ 5.78 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 20



ภาพที่ 5.79 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 60

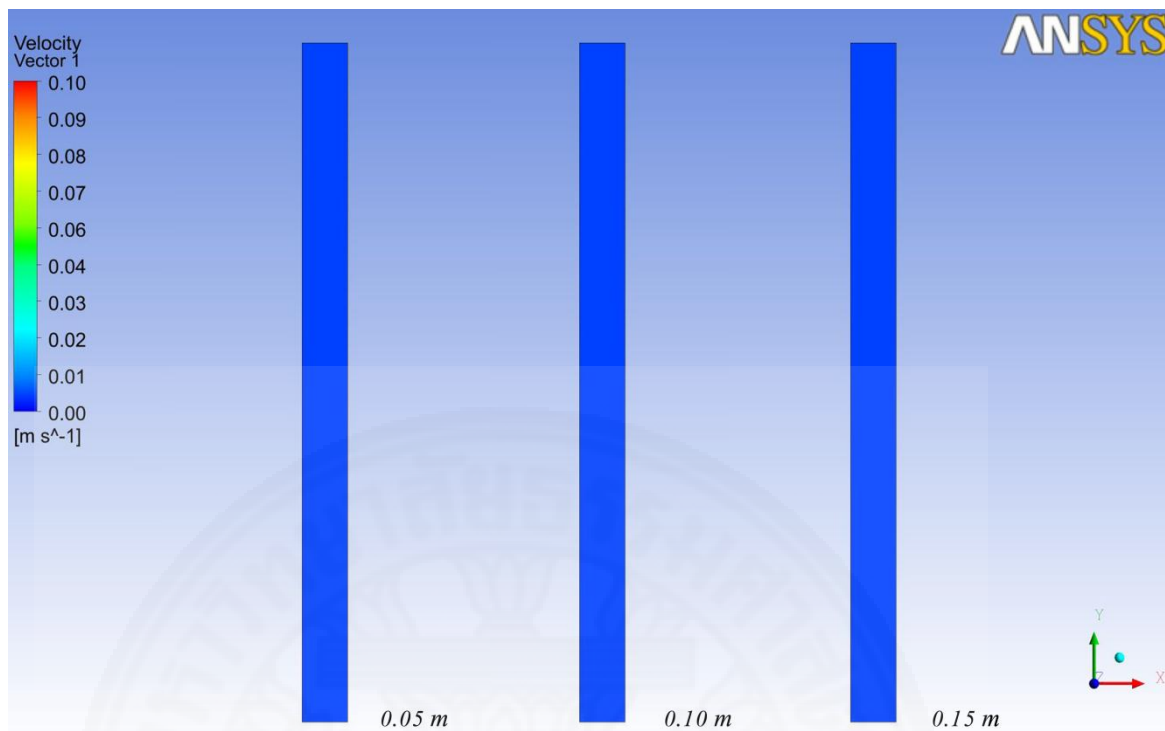


ภาพที่ 5.80 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 100

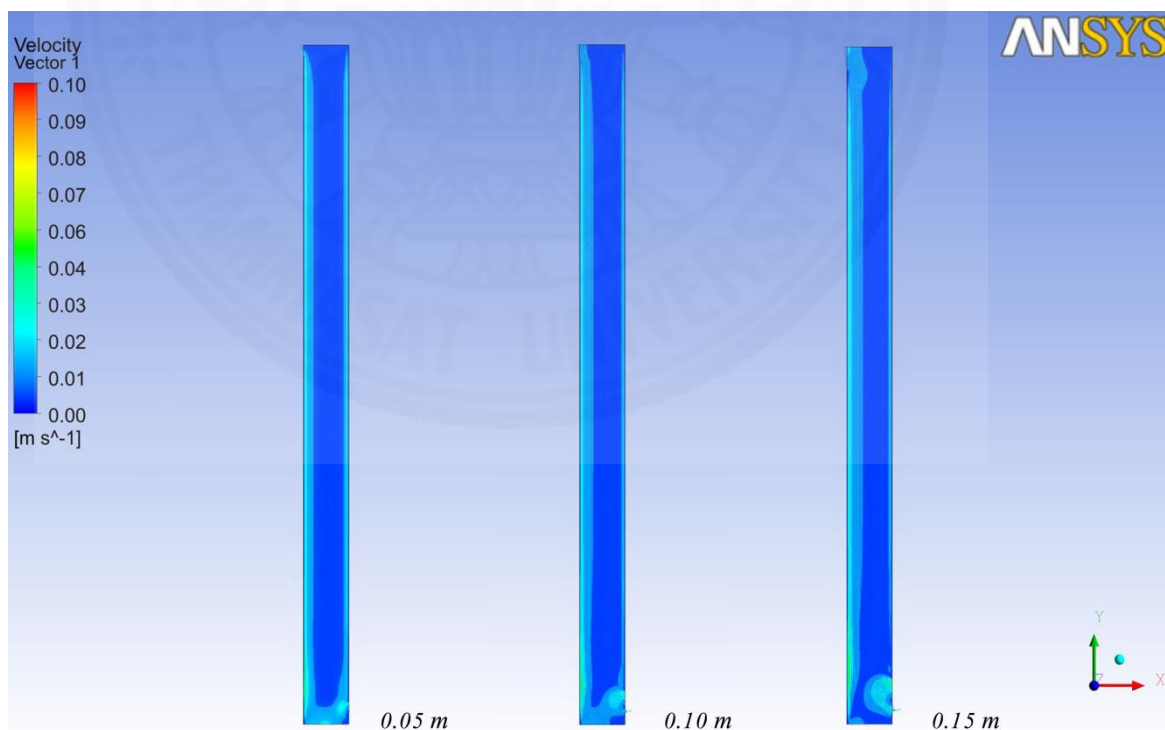
ผลจากการจำลองเพื่อวิเคราะห์อุณหภูมิจากอากาศในช่องอากาศระหว่างผนัง ตามช่วงเวลา พบว่า อุณหภูมิในกรณีกำหนดอากาศให้เป็นก๊าซในอุดมคติ (ideal gas) ให้ค่าอุณหภูมิของอากาศที่ใกล้เคียงกัน จากการจำลองพบว่าค่าอุณหภูมิจากการคำนวณมีความสัมพันธ์กับความเร็วอากาศภายในช่องอากาศ โดยในช่วงวินาทีที่ 15-100 ในช่องอากาศที่มีขนาดช่องเข้าออกอากาศ 0.15 เมตรจะให้แถบสีของอุณหภูมิจากการคำนวณที่กว้างกว่าขนาดช่องเข้าออกอากาศที่เล็ก เนื่องจากช่วงเวลานี้มีความเร็วเฉลี่ยภายในบริเวณนี้มีทิศทางการไหลของอากาศ 2 รูปแบบภายในช่องทางออกและทางเข้า กล่าวคือ บริเวณช่องทางเข้าและทางออกมีการไหลเข้าและออก ส่งผลให้ด้านบนปล่องมีการสะสมความร้อนที่มากกว่าเพราะอากาศจากด้านบนมีการไหลย้อนกลับเข้ามาในปล่องดังภาพที่ 5.73 และเมื่อพิจารณาจากการเปลี่ยนสุดท้ายของอุณหภูมิดังภาพที่ 5.80 พบว่า แถบสีของอุณหภูมิจากการคำนวณในปล่องมีความใกล้เคียงกัน ในกรณีก๊าซในอุดมคติขนาดช่องทางเข้าออกอากาศขนาด 0.05 เมตรให้ประสิทธิภาพทางความเร็วอากาศดีกว่าช่องทางเข้าออกอากาศที่มีขนาดใหญ่

#### 5.4.2 ผลการศึกษาจากแบบจำลองที่ 3 โดยการกำหนดอากาศเป็นของผสม (air-vapor mixture) ด้วยโหมดของผสม (Species Transport)

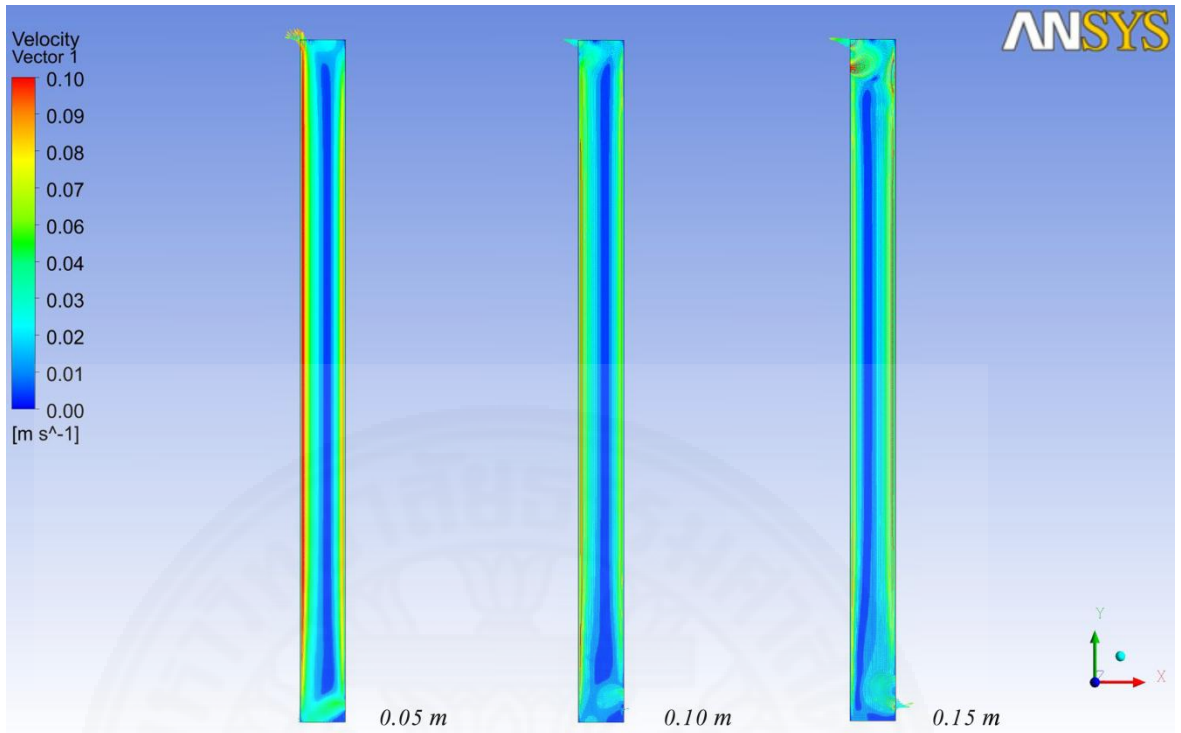
1). ผลจากการจำลองเพื่อวิเคราะห์ทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศชั้นที่เป็นของผสม (air-vapor mixture) ที่เคลื่อนที่ภายในช่องอากาศของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศที่แตกต่างกัน 3 ขนาดคือ ช่องทางเข้าออกอากาศขนาด 0.05 เมตร ช่องทางเข้าออกอากาศขนาด 0.10 เมตร และช่องทางเข้าออกอากาศขนาด 0.15 เมตรดังตารางที่ 4.3 พบว่า ผลของการจำลองและการศึกษาวิเคราะห์ผลแบบช่วงเวลา จะให้ผลที่แตกต่างกันในช่วง 100 วินาทีแรกโดย อากาศที่จำลองเป็นอากาศที่มีความชื้นจะมีพฤติกรรมการไหลที่แปรปรวนมาก โดยขนาดช่องเข้าออกอากาศมีผลกระทบต่อทิศทางการไหลและความเร็วอากาศภายในช่องอากาศของปล่องรังสีดวงอาทิตย์ ดังภาพที่ 5.81-5.87



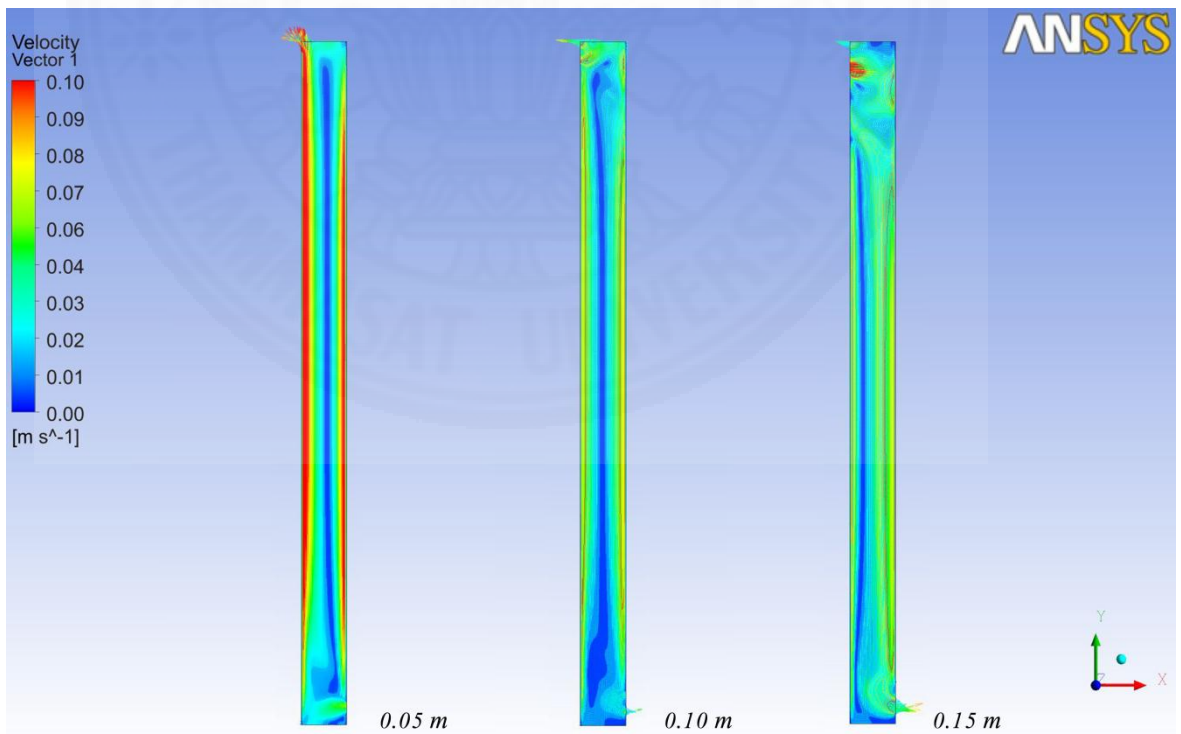
ภาพที่ 5.81 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 0



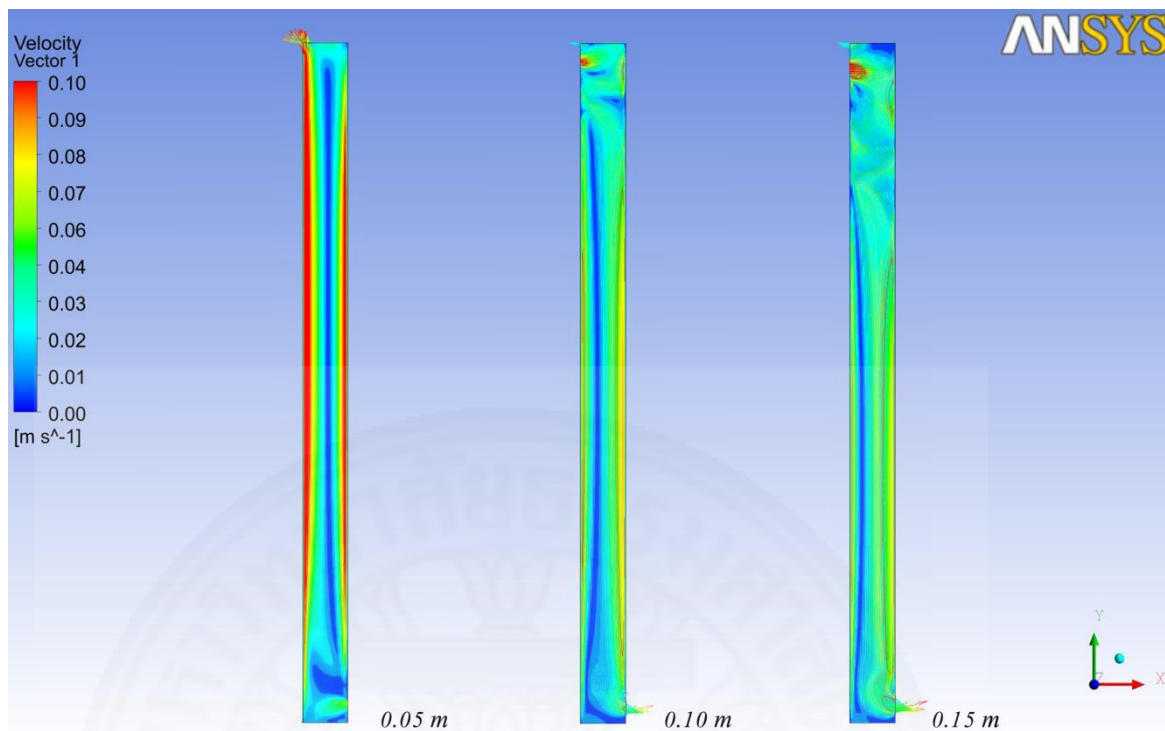
ภาพที่ 5.82 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 4



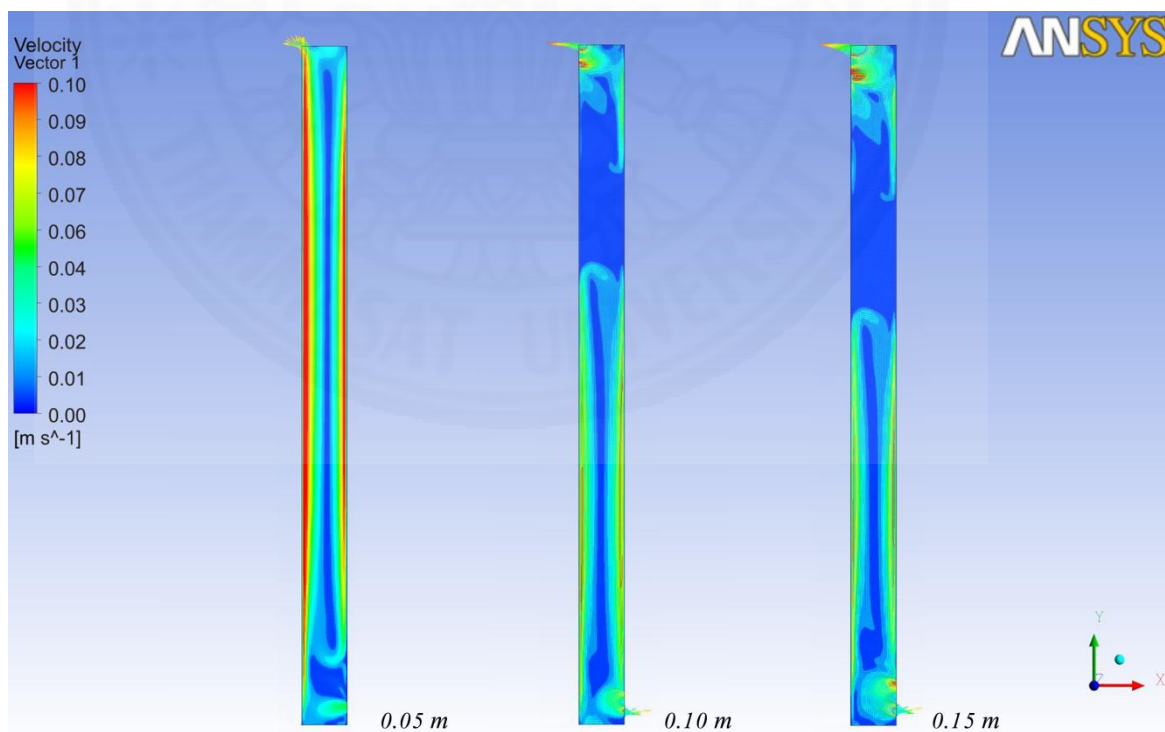
ภาพที่ 5.83 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 10



ภาพที่ 5.84 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 15

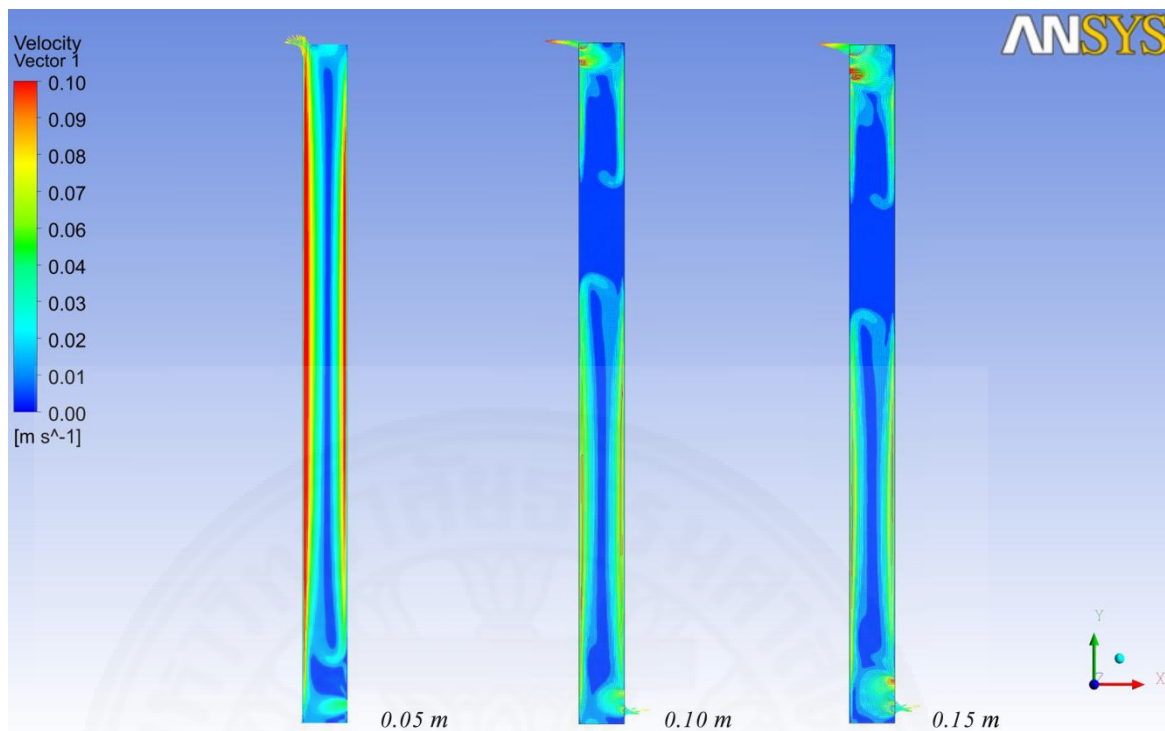


ภาพที่ 5.85 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 20



ภาพที่ 5.86 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 60





ภาพที่ 5.87 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 100

ผลจากการจำลองทิศทางการเคลื่อนที่ และความเร็วของอากาศตามช่วงเวลา พบว่าทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศในกรณีกำหนดอากาศให้เป็นอากาศที่มีความชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลอง ช่วงวินาทีที่ 4 อากาศชื้นเริ่มมีการเคลื่อนที่โดยสังเกตจากสีของเวกเตอร์ภายในช่องอากาศดังภาพที่ 5.82 โดยขนาดช่องทางเข้าออกอากาศมีผลต่อการเคลื่อนที่ของอากาศ ขนาดช่องทางเข้าออกอากาศเล็ก (0.05 เมตร) จะส่งผลให้มีการเคลื่อนที่ของอากาศได้ดีที่สุด เพราะ ขนาดช่องทางเข้าออกอากาศที่มีขนาด 0.10 เมตรและ 0.15 เมตรอากาศที่ไหลเข้ามาในช่องทางเข้า (inlet) มีทั้งอากาศไหลเข้าและไหลออก

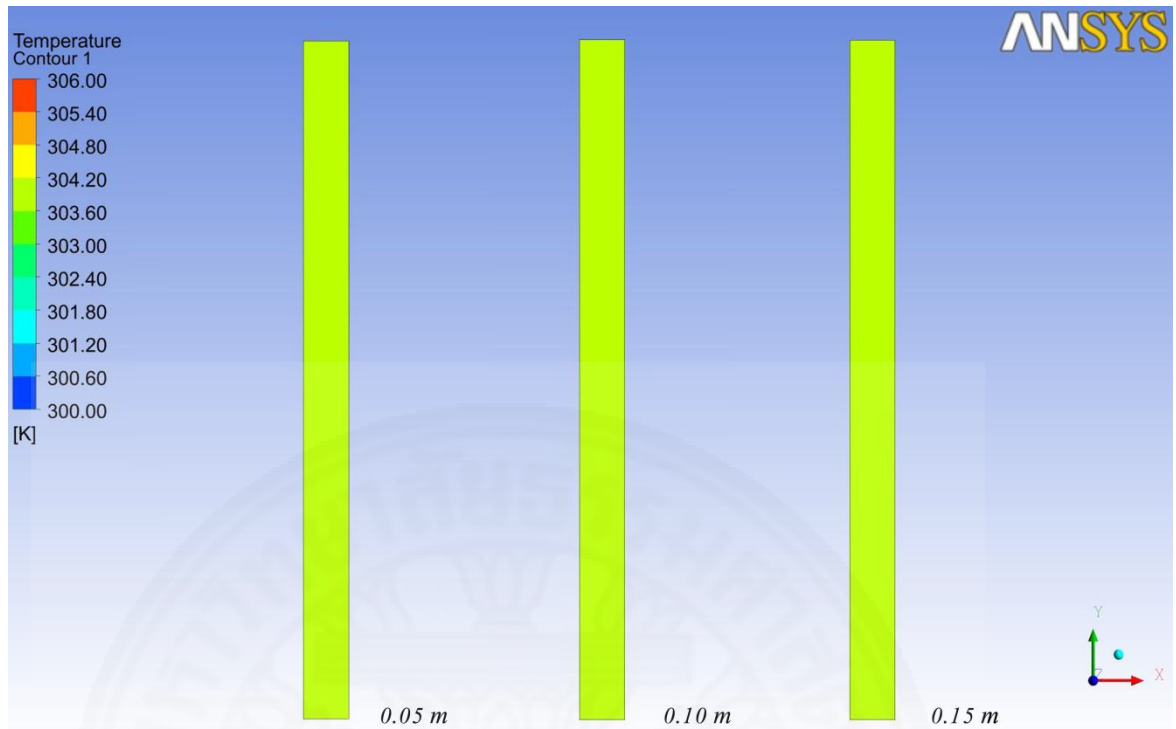
และเมื่อพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาเริ่มจากวินาทีที่ 4 พบว่า

วินาทีที่ 10 การเคลื่อนที่ของอากาศในปล่องที่มีช่องอากาศขนาด 0.20 เมตร และมีช่องทางเข้าออกแตกต่างกันทั้ง 3 ขนาดพบว่า การเคลื่อนที่ของอากาศในช่องทางเข้าออกอากาศที่มีขนาด 0.05 เมตรมีการเคลื่อนที่ของอากาศที่ดีที่สุด โดยช่องอากาศที่มีขนาดใหญ่จะให้ความเร็วอากาศน้อยที่สุด เพราะสูญเสียความเร็วอากาศบริเวณทางเข้า (inlet) ที่อากาศมีการสวนทางกัน

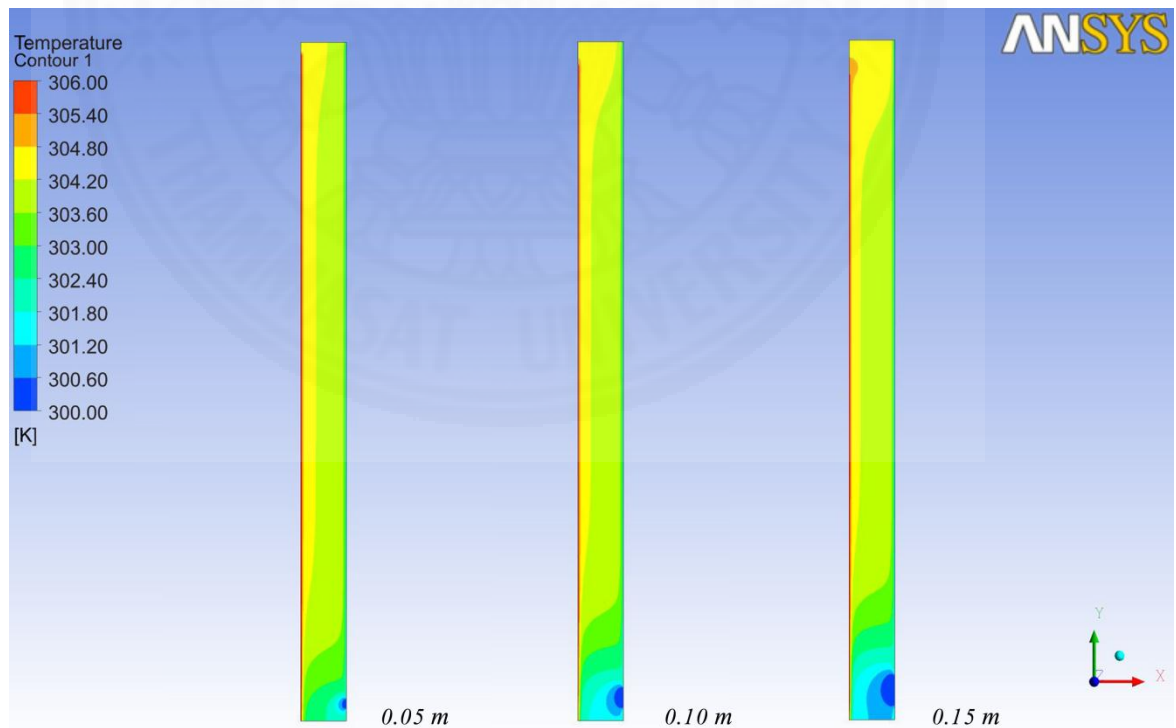
วินาทีที่ 20 การเคลื่อนที่ของอากาศจะมีความแปรปรวนมากในช่องเข้าออกอากาศที่มีขนาด 0.10 เมตรและ 0.15 เมตร เนื่องจากขนาดช่องทางเข้าออกดังกล่าวเกิดการสวนทางของอากาศ ณ ช่องทางเข้า (inlet) ทำให้ความเร็วอากาศบริเวณนี้ลดลง อากาศจึงไม่สามารถลอยตัวขึ้นไปและระบายออกทางช่องทางออก (outlet) ได้ส่งผลให้อากาศมีการไหลวนในช่องกลางปล่องและตกลงมาบริเวณช่องทางเข้า อากาศบางส่วนที่ตกลงมาจึงไหลออกในทางช่องทางเข้าอากาศ โดยจากการจำลองพบว่า ช่องทางเข้าออกอากาศที่มีขนาดใหญ่จะทำให้เกิดการไหลย้อนกลับของอากาศที่มากขึ้น ดังภาพที่ 5.85 ทั้งทางเข้าและทางออกอากาศ

เมื่อพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงสุดท้ายของการเคลื่อนที่ของอากาศ ดังภาพที่ 5.87 พบว่า ขนาดช่องทางเข้าออกอากาศที่มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการระบายอากาศผ่านช่องอากาศระหว่างผนัง 0.20 เมตร คือ ขนาดช่องเข้าออกอากาศเท่ากับ 0.05 เมตร

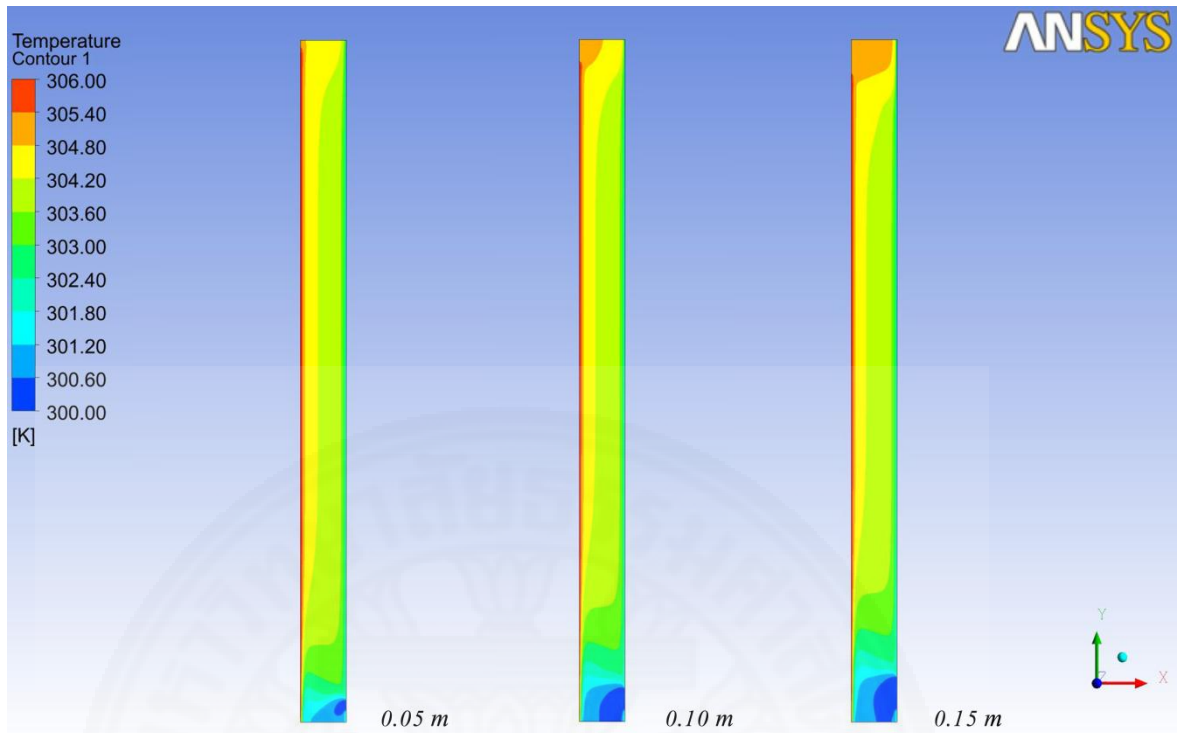
2). ผลจากการจำลองเพื่อวิเคราะห์อุณหภูมิของอากาศขึ้น (air-vapor mixture) ภายในช่องอากาศของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศที่แตกต่างกัน 3 ขนาด คือ ช่องทางเข้าออกอากาศขนาด 0.05 เมตร ช่องทางเข้าออกอากาศขนาด 0.10 เมตร และช่องทางเข้าออกอากาศขนาด 0.15 เมตร พบว่า อุณหภูมิภายในช่องอากาศจะมีการแบ่งค่าของอุณหภูมิออกเป็นชั้น ๆ โดยที่ค่าของอุณหภูมิต่ำจะอยู่ด้านล่างค่าอุณหภูมิสูงจะอยู่ด้านบน ผลของการจำลองและการศึกษาวิเคราะห์ผลแบบช่วงเวลา (transient) จะให้ผลที่แตกต่างกันในช่วง 100 วินาทีแรก โดยมีผลของอุณหภูมิดังภาพที่ 5.88-5.94



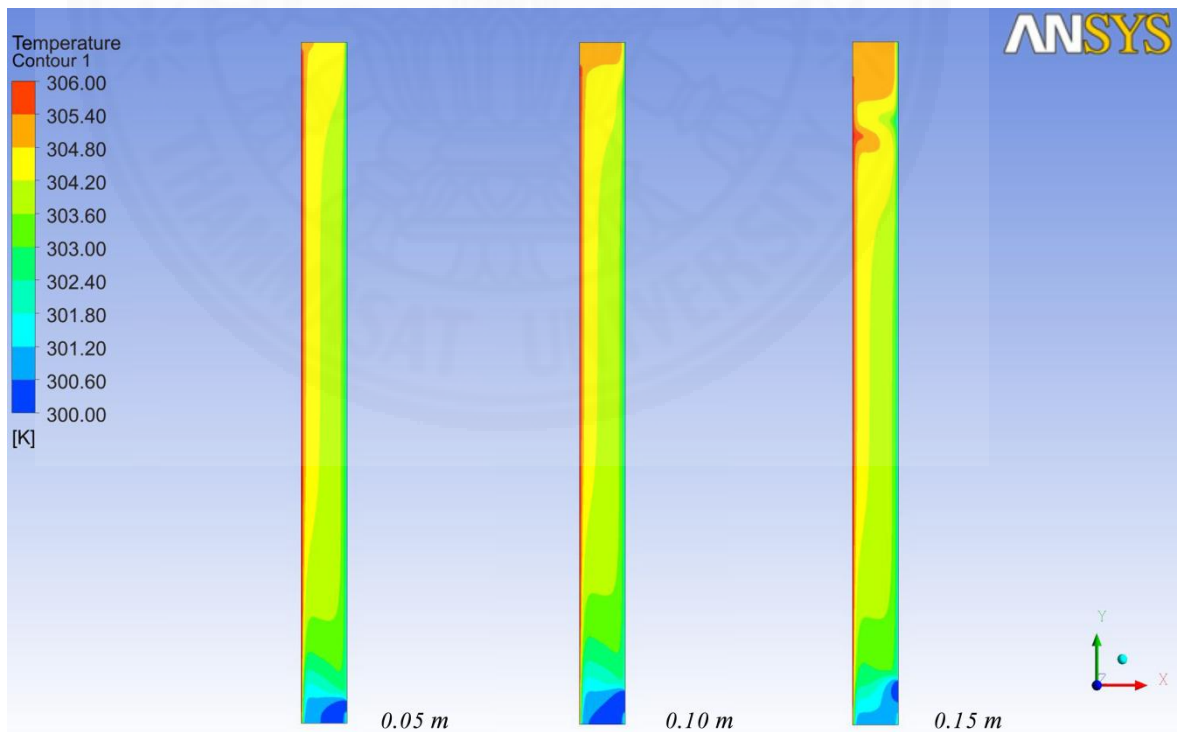
ภาพที่ 5.88 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 0



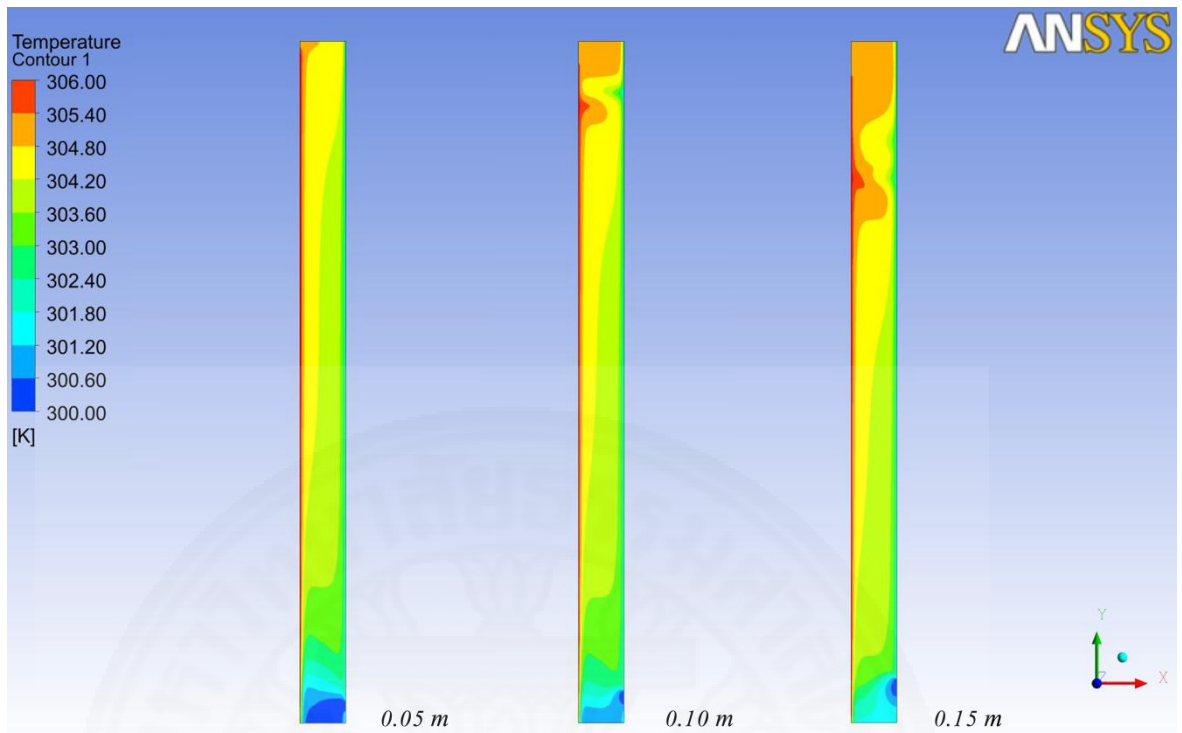
ภาพที่ 5.89 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 4



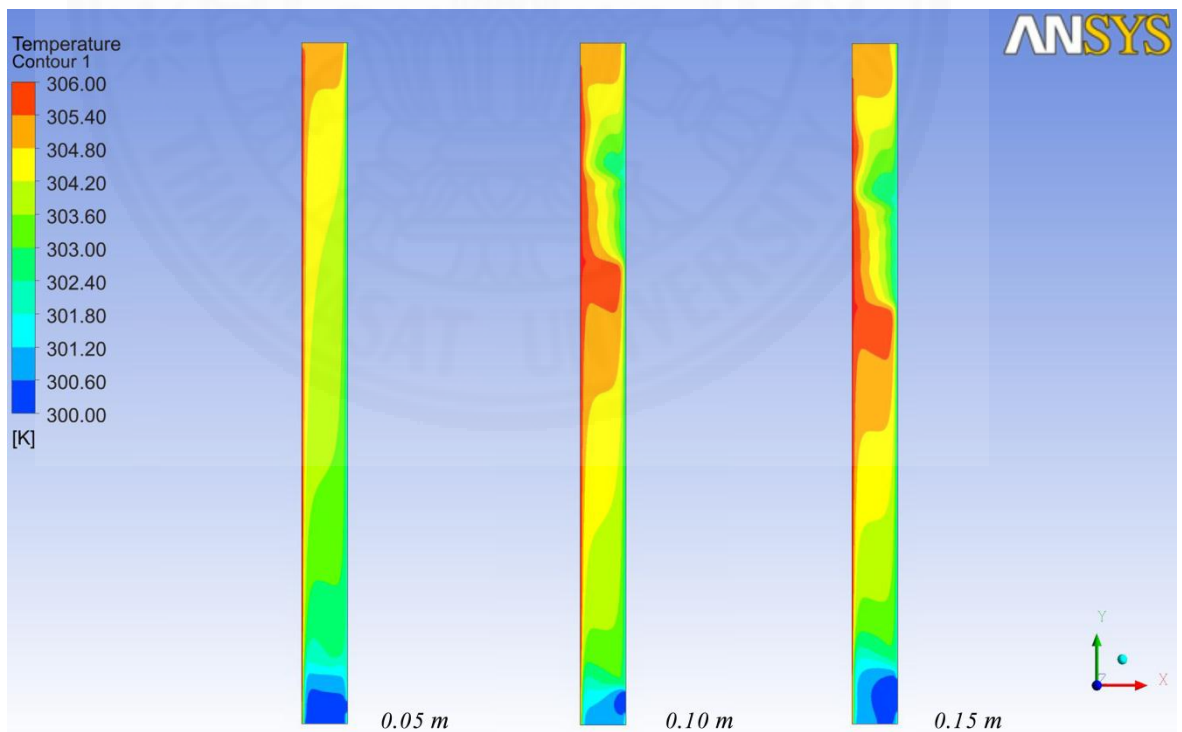
ภาพที่ 5.90 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 10



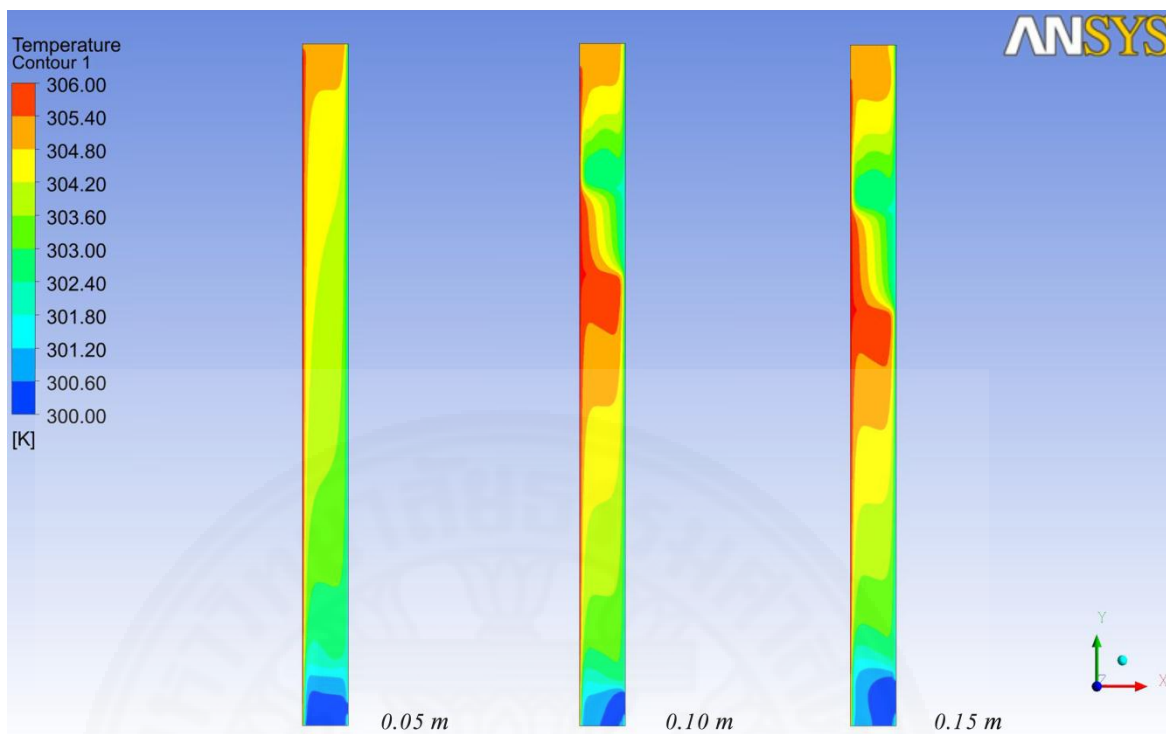
ภาพที่ 5.91 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 15



ภาพที่ 5.92 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 20



ภาพที่ 5.93 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 60



ภาพที่ 5.94 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลอง ที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกันในวินาทีที่ 100

ผลจากการจำลองเพื่อวิเคราะห์อุณหภูมิของอากาศในช่องอากาศระหว่างผนังขนาด 0.20 เมตร ที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกัน 3 ขนาดตามช่วงเวลา พบว่า อุณหภูมิในกรณี กำหนดอากาศให้เป็นอากาศที่มีความชื้น (air-vapor mixture) ให้ค่าอุณหภูมิของอากาศภายในปล่อง ที่แตกต่างกัน เนื่องมาจากขนาดช่องทางเข้าออกอากาศที่ต่างกัน จากการจำลองพบว่า ค่าอุณหภูมิ จะมีความสัมพันธ์กับความเร็วและทิศทางอากาศภายในช่องอากาศ หากพิจารณาตามการความเร็ว อากาศดังภาพที่ 5.87 ขนาดช่องทางเข้าออกอากาศขนาด 0.05 เมตร ให้ผลความเร็วอากาศและทิศทาง การเคลื่อนที่ของอากาศได้ดีที่สุด ส่งผลถึงชั้นแทบสีของอุณหภูมิที่ไม่มีการสะสมความร้อน ระหว่างช่องอากาศของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ เนื่องจากการไหลวนของอากาศภายในและการ เคลื่อนที่ของอากาศ ดังภาพที่ 5.94 แถบสีของอุณหภูมิด้านล่างบริเวณช่องทางเข้า (inlet) พบว่า ขนาดช่องทางออกอากาศ 0.05 เมตรให้แถบสีที่มีอุณหภูมิต่ำสุดเนื่องมาจาก ขนาดช่องทางเข้าออก ดังกล่าวเป็นขนาดช่องทางที่เหมาะสมสำหรับการเคลื่อนที่ของอากาศ โดยอากาศจากภายนอก สามารถเคลื่อนที่เข้ามาและระบายออกทางช่องทางออกด้านบนได้ และไม่อากาศไหลย้อนกลับทางใน ช่องทางเข้า (inlet)

## บทที่ 6

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการป้องกันความร้อนผ่านผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ โดยใช้การระบายอากาศผ่านช่องอากาศระหว่างผนัง โดยทำการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ANSYS fluent 14.0 และคำนวณการกระจายค่าของอุณหภูมิ ความเร็ว และทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศภายในช่องอากาศระหว่างผนัง สามารถสรุปผลการวิจัยได้ตามวัตถุประสงค์การวิจัยได้ดังนี้

1 ศึกษาการจำลอง และการวิเคราะห์ผลอากาศผสมไอน้ำ (air - vapor mixture) ในระบบผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ ด้วยโปรแกรม ANSYS Fluent 14.0

2 ศึกษาวิเคราะห์ผลของไอน้ำในอากาศที่มีต่อ อุณหภูมิอากาศในปล่อง และความเร็วอากาศในระบบผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์

3 เสนอแนวทางการประยุกต์ และพัฒนาลักษณะทางกายภาพของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ ในพื้นที่ที่มีอากาศชื้น

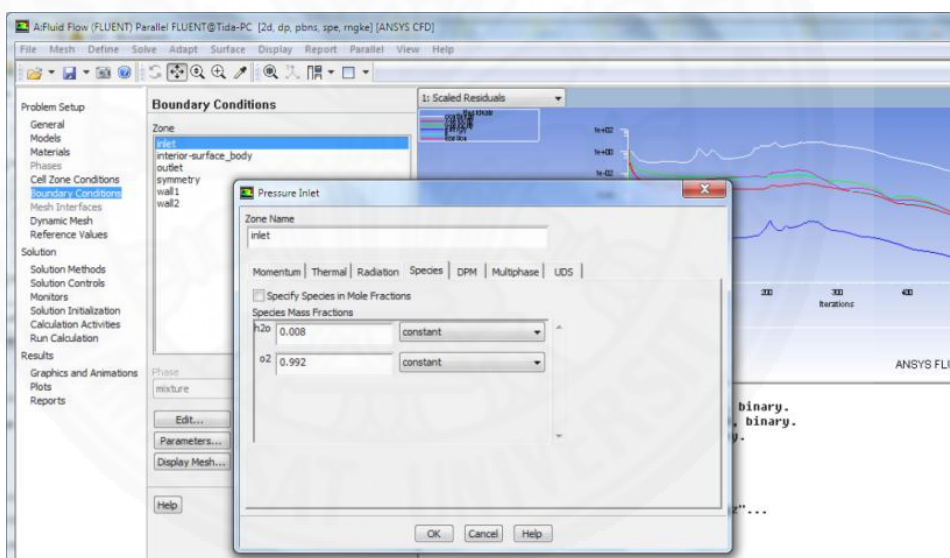
#### 6.1 สรุปผลการจำลอง

##### 6.1.1 ศึกษาการจำลอง และการวิเคราะห์ผลอากาศผสมไอน้ำ (air-vapor mixture) ในระบบผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ ด้วยโปรแกรม ANSYS fluent 14.0

จากการศึกษางานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านมา จากทดลองจริง และการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่า การทดลองจริงนักวิจัยยังไม่สามารถอธิบายถึงรูปแบบและทิศทางการไหลของอากาศภายในปล่องรังสีดวงอาทิตย์ รวมถึงการถ่ายเทความร้อนของผนังได้อย่างชัดเจน การจำลองด้วยโปรแกรมนักวิจัยได้สมมติให้อากาศที่ไหลผ่านปล่องอยู่ในสภาพก๊าซในอุดมคติ (ideal gas) ทว่าสภาพอากาศจริงในประเทศไทยมีความชื้นในอากาศสูง ความชื้นในอากาศจะส่งผลต่อสมรรถนะของปล่องรังสีดวงอาทิตย์ งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาวิธีการจำลองและการวิเคราะห์ผลของความชื้นในอากาศ ด้วยโปรแกรม ANSYS Fluent 14.0 โดยจะใช้แบบจำลองอากาศผสมไอน้ำ (air-vapor mixture) ซึ่งเป็นการศึกษาเชิงลึกเพื่อให้เข้าใจ

พฤติกรรมของความชื้นที่มีผลต่ออุณหภูมิ และความเร็วอากาศภายในช่องอากาศ ที่มีผลกระทบกับสมรรถนะทางความร้อนของปล่องรังสีดวงอาทิตย์

โปรแกรม ANSYS fluent 14.0 มีความสามารถในการวิเคราะห์ผล และตอบโจทย์ในงานวิจัยนี้ได้ โปรแกรมนี้สามารถคำนวณการไหลของอากาศชื้นและอากาศแห้งได้ โดยโปรแกรมจะกำหนดอากาศชื้น ให้เป็นของผสมระหว่างอากาศแห้งกับไอน้ำ และใช้การแก้สมการแบบของผสมด้วย Species transport model การแก้สมการจะอธิบายการพาความร้อน และการกระจายตัวของอุณหภูมิของของผสม ซึ่งการคำนวณของผสมในโปรแกรมจะใช้ properties ของ mixture ที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ในตอนแรก โดยสัดส่วนของของผสมสามารถกำหนดได้จากค่า mass fraction ดังภาพที่ 6.1 ค่า mass fraction สำหรับงานวิจัยนี้จะกำหนดไว้ในช่องทางเข้าอากาศ (inlet) และจะจำลองของผสมเป็น 2 species คือ ไอน้ำและอากาศ โดยกำหนดให้ไอน้ำ (vapor) เป็น species ที่ 1 และอากาศ (air) เป็น species ที่ 2



ภาพที่ 6.1 การกำหนดค่าอัตราส่วนมวล (mass fraction) ในแบบจำลองของผสม



### 6.1.2 ศึกษาวิเคราะห์ผลของไอน้ำในอากาศที่มีต่อ อุณหภูมิอากาศในปล่องและ ความเร็วอากาศในระบบผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์

จากการศึกษาการวิเคราะห์ผลของไอน้ำในอากาศที่มีผลต่อสมรรถนะของปล่องรังสีดวงอาทิตย์ โดยผู้วิจัยจะแบ่งการวิเคราะห์ผลการไหลด้วยโปรแกรมเป็น 2 รูปแบบคือ การวิเคราะห์อากาศเป็นก๊าซในอุดมคติ (ideal gas) และการวิเคราะห์อากาศให้เป็นของผสม (air-vapor mixture) ซึ่งการวิเคราะห์ผลของอากาศที่เป็นของผสม ผู้วิจัยจะกำหนดให้เป็นอากาศชื้นที่มีสัดส่วนมวล (mass fraction) ที่แตกต่างกัน โดยกำหนดให้อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ตั้งแต่ 30%-80% สามารถกำหนดค่า mass fraction ได้ตามตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1

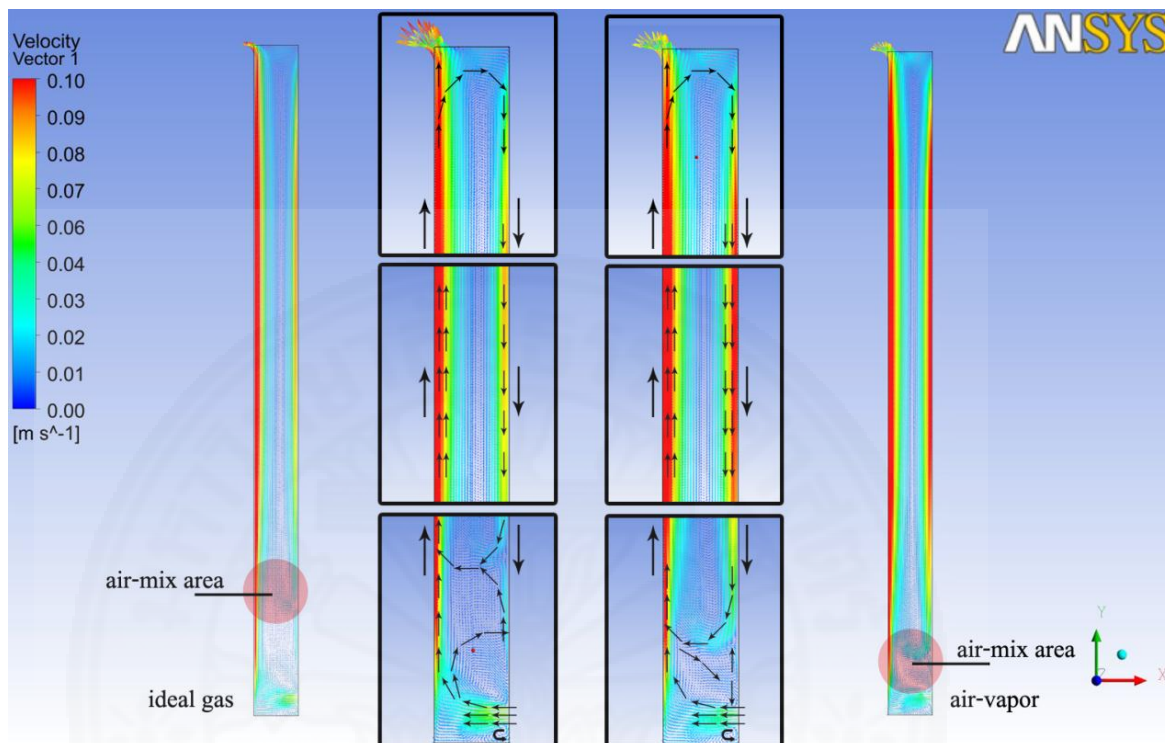
การกำหนดค่า mass fraction ตามค่าความชื้นในอากาศ

ระดับความชื้นสัมพัทธ์ (RH)	ค่าสัดส่วนมวล (mass fraction)	
	น้ำ (H <sub>2</sub> O)	อากาศ (O <sub>2</sub> )
0 % (ideal gas)	อากาศแห้ง (dry air)	
30 %	0.008	0.992
50 %	0.013	0.987
70 %	0.019	0.981
80 %	0.023	0.977

ผลจากการทดลองพบว่า อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ที่ 30%-80% มีทิศทางการไหล และค่าอุณหภูมิของอากาศภายในปล่องรังสีดวงอาทิตย์ใกล้เคียงกัน เนื่องจากค่าความชื้นดังกล่าวให้ค่าสัดส่วนมวล (mass fraction) ที่แตกต่างกันน้อยมาก จึงทำให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบพิจารณาผลระหว่างอากาศชื้นกับอากาศแห้ง (ideal gas) พบว่าให้ผลทิศทางการไหล และค่าอุณหภูมิของอากาศภายในปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

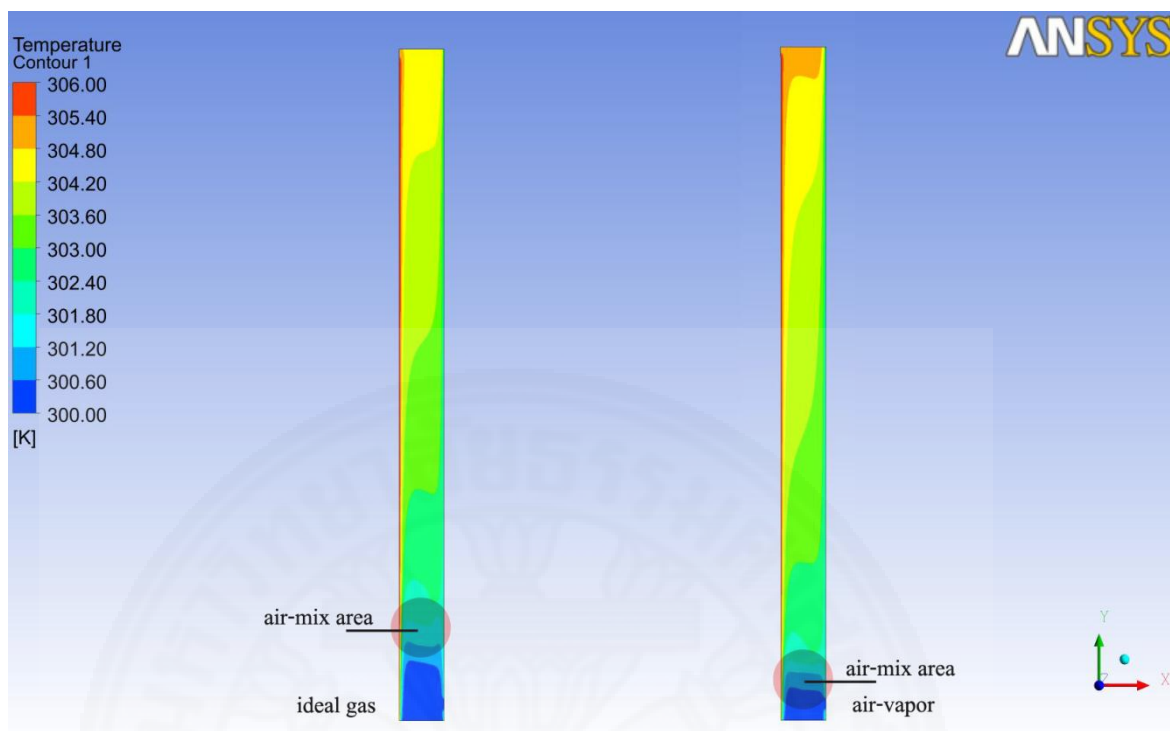
อากาศแห้งที่จำลองด้วยสมบัติของก๊าซในอุดมคติ (ideal gas) มีทิศทางการเคลื่อนที่และความเร็วอากาศในปล่องรังสีดวงอาทิตย์ดีกว่าอากาศที่มีความชื้นทั้งช่องทางเข้าอากาศ (inlet)

และทางออกอากาศ (outlet) ซึ่งการเคลื่อนที่และความเร็วอากาศที่ดีกว่าส่งผลต่อการเคลื่อนที่มวลอากาศภายในช่องอากาศที่ช่วยระบายอากาศร้อนออกจากปล่องรังสีดวงอาทิตย์



ภาพที่ 6.2 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศที่มีความชื้นในสภาวะคงที่

จากภาพที่ 6.2 เป็นการเปรียบเทียบผลของการทิศทางการไหลของอากาศระหว่างอากาศแห้ง (dry air) และอากาศที่มีความชื้น (moist air) พบว่าทิศทางการไหลและความเร็วในการเคลื่อนที่ของอากาศมีความแตกต่างกัน โดยอากาศแห้งจะให้ผลทางความเร็วและทิศทางการไหลที่ดีกว่า อากาศชื้น เพราะอากาศชื้นมีความเร็วภายในปล่องของอากาศที่ต่ำกว่า และมีการไหลย้อนกลับของอากาศที่มากกว่าและผสมกับอากาศใหม่ทางช่องทางเข้าที่เข้ามาใหม่บริเวณ air-mix area เนื่องจากน้ำหนักของอากาศชื้นมีน้ำหนักที่มากกว่าทำให้อากาศตกลงมามาก และการเคลื่อนที่ช้ากว่าทำให้การระบายอากาศทำได้น้อย ซึ่งการไหลของอากาศส่งผลถึงการกระจายค่าอุณหภูมิในปล่อง โดยอากาศชื้นจะให้ค่าอุณหภูมิที่สูงกว่าอากาศแห้ง (dry air) ดังภาพที่ 6.3



ภาพที่ 6.3 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศที่มีความชื้นในสภาวะคงที่

จากภาพที่ 6.3 เป็นการเปรียบเทียบผลของการกระจายค่าอุณหภูมิภายในผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ระหว่างอากาศแห้ง (dry air) และอากาศที่มีความชื้น พบว่าแถบสีของอุณหภูมิของอากาศชื้นจะให้ค่าอุณหภูมิที่สูงกว่าอากาศแห้ง เพราะหากพิจารณาจากการไหลของอากาศ อากาศชื้นจะมีการผสมของอากาศ (air-mix area) ที่ต่ำกว่าอากาศแห้ง เนื่องจากอากาศชื้นอากาศจะไหลย้อนกลับมามีปริมาณมากและเร็วกว่าเพราะมีปริมาณน้ำในอากาศที่มากกว่า ทำให้เกิดการผสมของอากาศใหม่และอากาศเก่า เกิดการสะสมความร้อนของระบบจากด้านล่างทำให้อุณหภูมิทั้งระบบของอากาศชื้นมีอุณหภูมิสูงกว่า

### 6.1.3 เสนอแนวทางการประยุกต์ และพัฒนาลักษณะทางกายภาพของผนังปล่อง รังสีดวงอาทิตย์ ในพื้นที่ที่มีอากาศชื้น

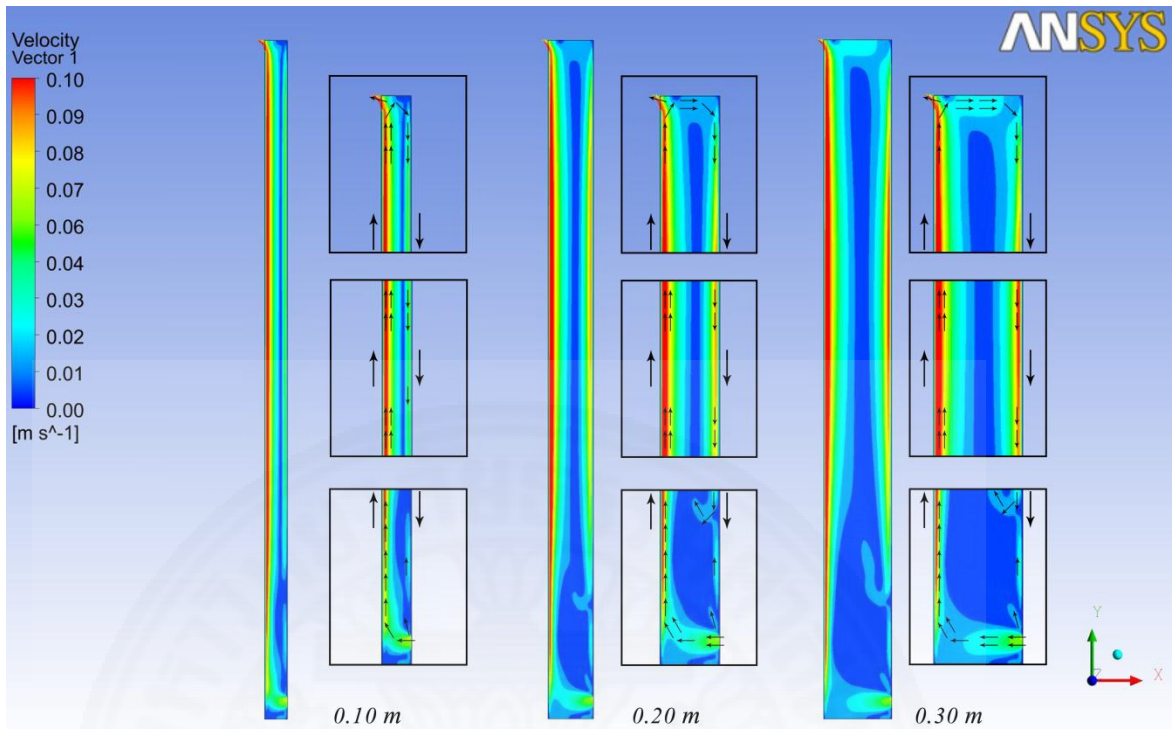
การศึกษาในส่วนนี้ผู้วิจัยได้เสนอแนวทางการประยุกต์ และพัฒนาลักษณะทางกายภาพเป็น 2 รูปแบบ คือ อิทธิพลของขนาดช่องอากาศระหว่างผนัง และอิทธิพลของขนาดช่องทางเข้าออกอากาศ

#### 6.1.3.1 อิทธิพลของความชื้นและขนาดช่องอากาศระหว่างผนังที่มีต่อ สมรรถนะทางความร้อนของปล่องรังสีดวงอาทิตย์

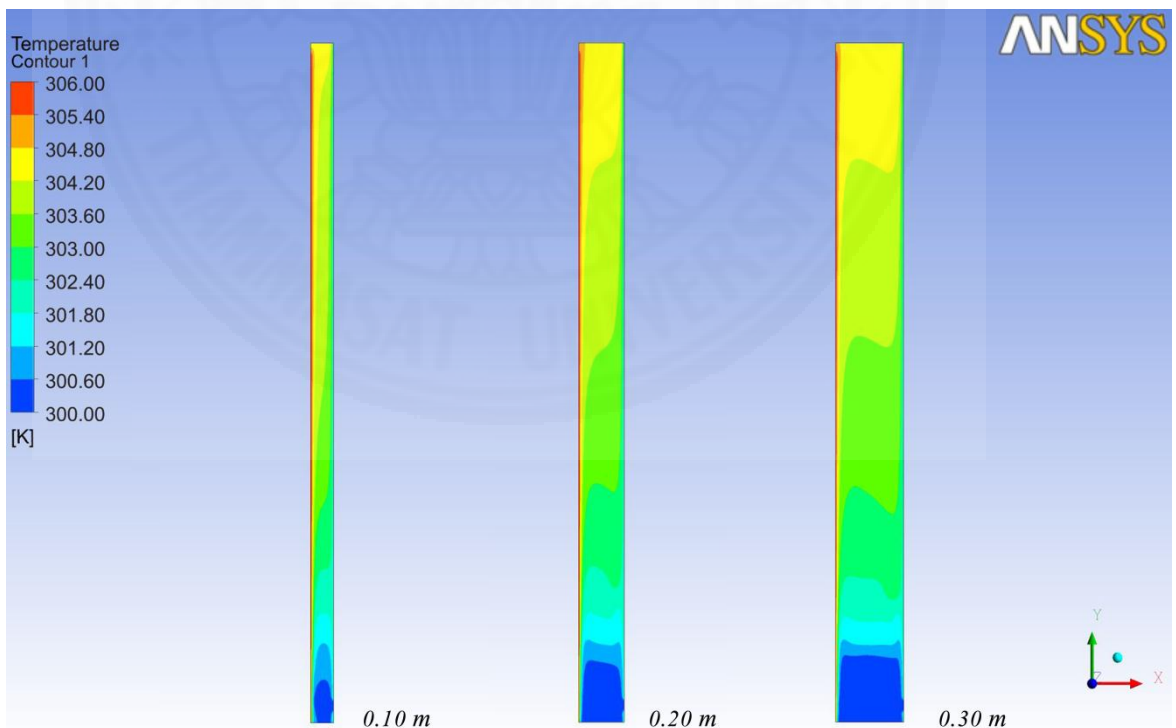
ผลการศึกษาวิจัยในส่วนนี้ ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของขนาดช่องอากาศระหว่างผนัง 3 ขนาดคือ 0.10 เมตร 0.20 เมตรและ 0.30 เมตร โดยกำหนดขนาดความสูง และขนาดช่องทางเข้าออกอากาศเป็นตัวแปรควบคุมมีขนาด 3.00 เมตร และ 0.05 เมตร ตามลำดับ ซึ่งการวิเคราะห์ผลจะแบ่งออกการวิเคราะห์ออกเป็น 2 รูปแบบคือ การวิเคราะห์อากาศเป็นก๊าซในอุดมคติ (ideal gas) และการวิเคราะห์อากาศให้เป็นของผสม (air-vapor mixture) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

##### 1) การวิเคราะห์อากาศเป็นก๊าซในอุดมคติ (ideal gas)

หากการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสุดท้ายของอากาศในปล่องรังสีดวงอาทิตย์ ทั้งทิศทางกรไหลและความเร็วดังภาพที่ 6.4 พบว่า ทิศทางการเคลื่อนของอากาศภายในปล่องรังสีดวงอาทิตย์ มีความใกล้เคียงกันมาก แตกต่างกันที่การไหลย้อนกลับของอากาศภายในปล่องด้านบน โดยปล่องที่มีขนาดใหญ่จะมีการไหลย้อนกลับของอากาศที่มากกว่าปล่องที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากช่องทางเข้าออกอากาศที่มีขนาดเล็กจึงทำให้อากาศไหลออกจากปล่องได้ไม่หมด ทำให้อากาศบางส่วนมีการไหลย้อนกลับ โดยขนาดปล่องที่มีขนาดใหญ่มีพื้นที่ภายในปล่องที่มากกว่าทำให้อากาศภายในมีการไหลสามารถไหลย้อนกลับมากได้มากกว่า แต่หากพิจารณาการกระจายค่าของอุณหภูมิโดยสังเกตจากแถบสี พบว่า ปล่องที่มีขนาดใหญ่จะให้การกระจายค่าอุณหภูมิที่ดีกว่า เพราะปล่องที่มีขนาดใหญ่มีช่องอากาศที่มีใหญ่กว่าจึงเป็นฉนวนให้กับผนังชั้นในได้ดีกว่าดังภาพที่ 6.5



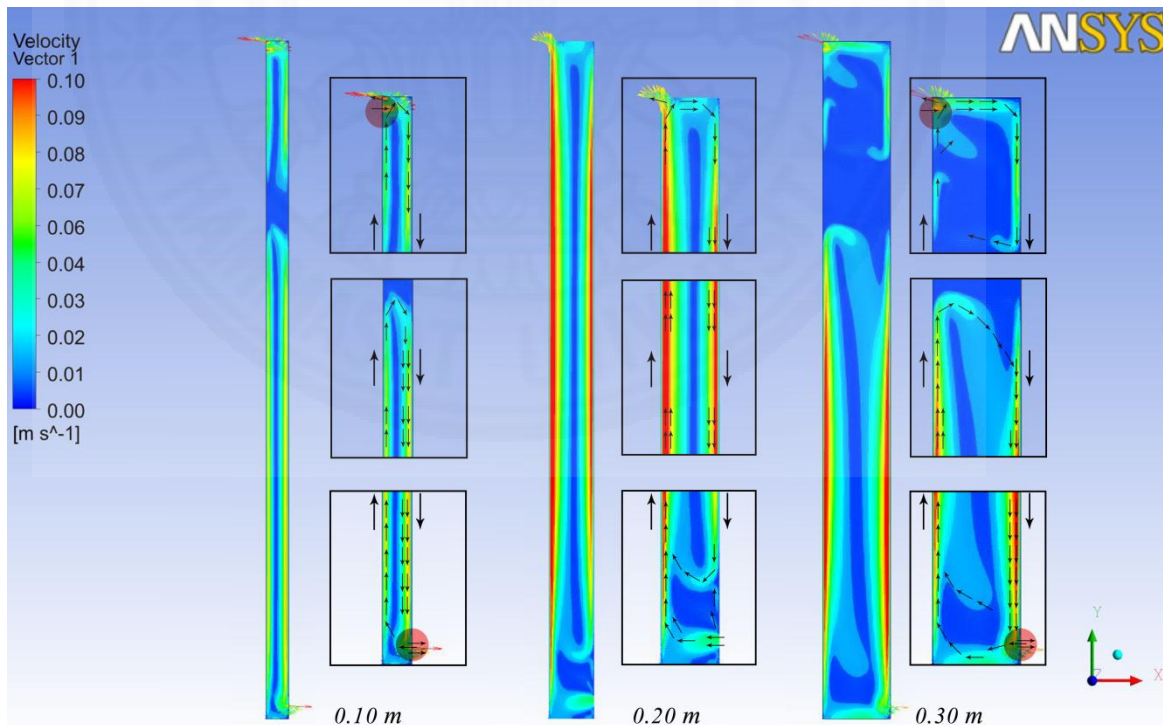
ภาพที่ 6.4 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุโมงค์ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในสถานะคงที่



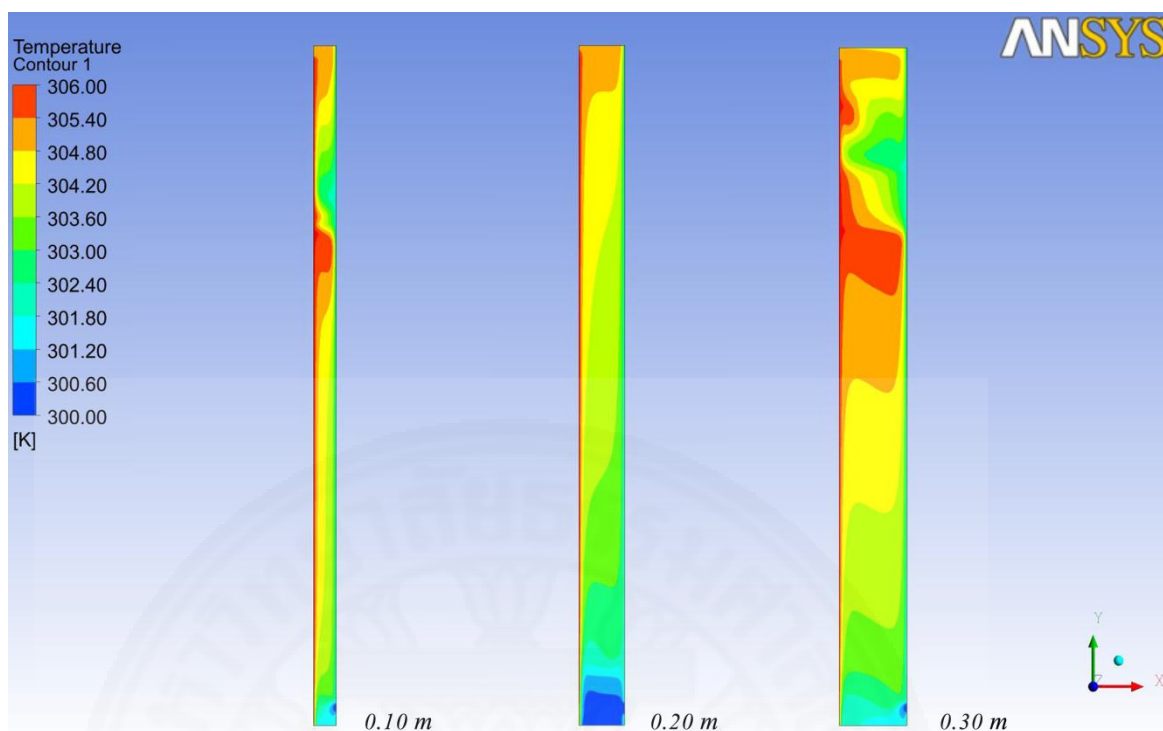
ภาพที่ 6.5 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นก๊าซในอุโมงค์ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในสถานะคงที่

## 2) การวิเคราะห์อากาศให้เป็นของผสม (air-vapor mixture)

หากการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสุดท้ายของอากาศในปล่องรังสีดวงอาทิตย์ ทั้งทิศทางไหลและความเร็วดังภาพที่ 6.6 พบว่า ทิศทางการเคลื่อนของอากาศภายในปล่องรังสีดวงอาทิตย์ มีความแตกต่างกันโดยขนาดช่องอากาศระหว่างผนังที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือขนาดช่องอากาศ 0.20 เมตร โดยขนาดช่องอากาศระหว่างผนังขนาด 0.10 เมตรและ 0.30 เมตรให้ประสิทธิภาพของการไหลของอากาศภายในได้ไม่ดี เพราะขนาดช่องอากาศ 0.10 เมตรเป็นช่องอากาศขนาดเล็กที่ทำให้อากาศไม่สามารถลอยตัวขึ้นไปถึงช่องทางออกได้ อากาศจึงลอยได้ถึงบริเวณกลางปล่องแล้วตกลงมาในช่องทางเข้า ส่งผลให้อากาศไหลย้อนกลับทางช่องทางเข้า และขนาด 0.30 เมตรเป็นช่องอากาศขนาดใหญ่หากพิจารณาตามเวลาจะพบว่า มีทิศทางไหลที่ใกล้เคียงกับขนาดช่องอากาศ 0.20 เมตร แต่มีการไหลย้อนกลับของอากาศที่มากกว่า และตกลงมาเร็วและแรงกว่าทำให้อากาศที่ย้อนกลับมาช่องทางเข้า ทำให้สูญเสียความเร็วต้นในช่องทางเข้า ในการพาความร้อนออกจากปล่อง อากาศที่เข้ามาใหม่จึงไม่มีพลังงานพอที่อากาศจะลอยออกจากปล่องทางช่องด้านบนได้ แต่หากพิจารณาการกระจายค่าของอุณหภูมิโดยสังเกตจากแถบสี พบว่าปล่องที่มีขนาด 0.20 เมตรมีการกระจายค่าอุณหภูมิที่ดีที่สุดดังภาพที่ 6.7 เนื่องจากไม่มีการสะสมความร้อนภายใน



ภาพที่ 6.6 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน สภาวะคงที่



ภาพที่ 6.7 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องอากาศระหว่างผนังแตกต่างกัน ในสภาวะคงที่

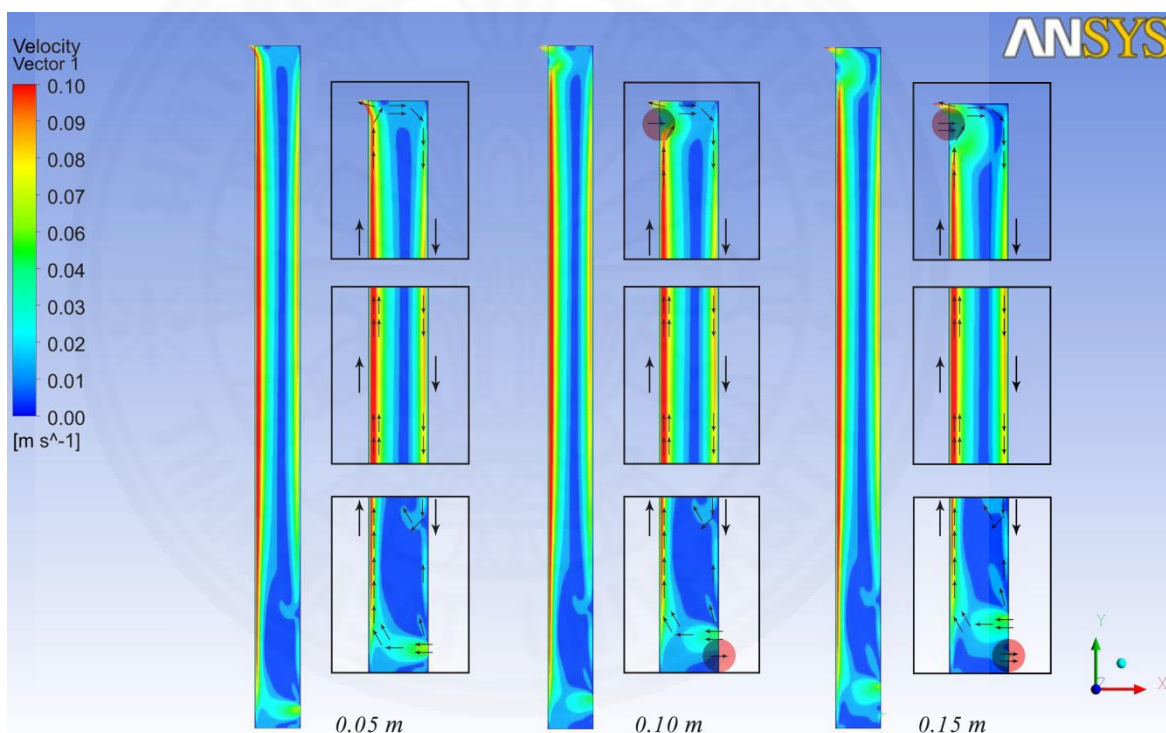
### 6.1.3.2 อิทธิพลของความชื้นและขนาดช่องทางเข้าออกอากาศที่มีต่อ

#### สมรรถนะทางความร้อนของปล่องรังสีดวงอาทิตย์

ผลการศึกษาวิจัยในส่วนนี้ ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของขนาดช่องทางเข้าออกอากาศ 3 ขนาดคือ 0.05 เมตร 0.10 เมตรและ 0.15 เมตร โดยกำหนดขนาดความสูง และขนาดช่องอากาศระหว่างผนังเป็นตัวแปรควบคุมมีขนาด 3.00 เมตร และ 0.20 เมตร ตามลำดับ ซึ่งการวิเคราะห์ผลจะแบ่งออกการวิเคราะห์ออกเป็น 2 รูปแบบคือ การวิเคราะห์อากาศเป็นก๊าซในอุดมคติ (ideal gas) และการวิเคราะห์อากาศให้เป็นของผสม (air-vapor mixture) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

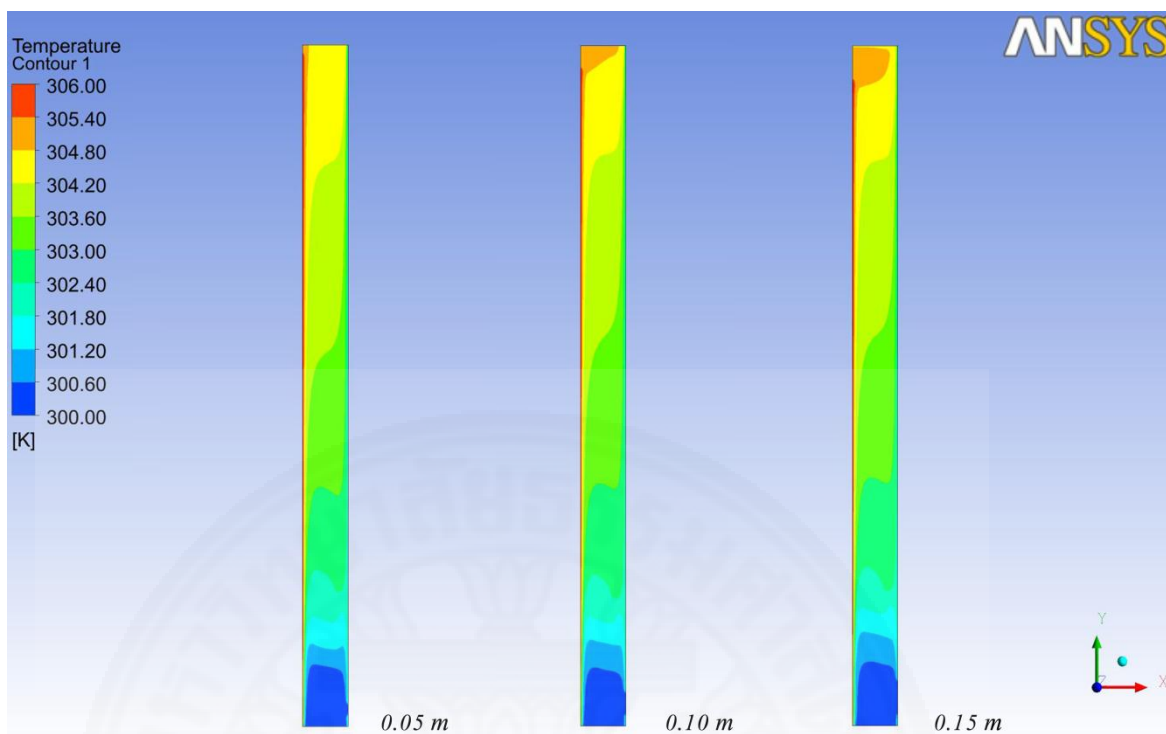
### 1) การวิเคราะห์อากาศเป็นก๊าซในอุดมคติ (ideal gas)

หากการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสุดท้ายของอากาศในปล่องรังสีดวงอาทิตย์ ทั้งทิศทางไหลและความเร็วดังภาพที่ 6.8 พบว่า ทิศทางการเคลื่อนของอากาศภายในปล่องรังสีดวงอาทิตย์ มีความใกล้เคียงกันมาก แตกต่างกันในบริเวณช่องทางเข้าออกด้านบนและด้านล่าง กล่าวคือ ช่องทางเข้าออกอากาศที่มีขนาด 0.10 เมตร และ 0.30 เมตร จะมีการไหลย้อนกลับของอากาศที่มากกว่า ทางเข้าออกอากาศยิ่งมากมีการไหลย้อนกลับที่มากกว่า (วงกลมสีแดง) แต่หากพิจารณาการกระจายค่าของอุณหภูมิโดยสังเกตจากแถบสี พบว่า การกระจายค่าอุณหภูมิมีความใกล้เคียงกันมาก แตกต่างกันเพียงอุณหภูมิด้านบนที่ช่องทางเข้าอากาศใหญ่จะสูงกว่าเพราะมีอากาศจากภายนอกไหลย้อนกลับมามากกว่าดังภาพที่ 6.9



ภาพที่ 6.8 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกัน ในสภาวะคงที่

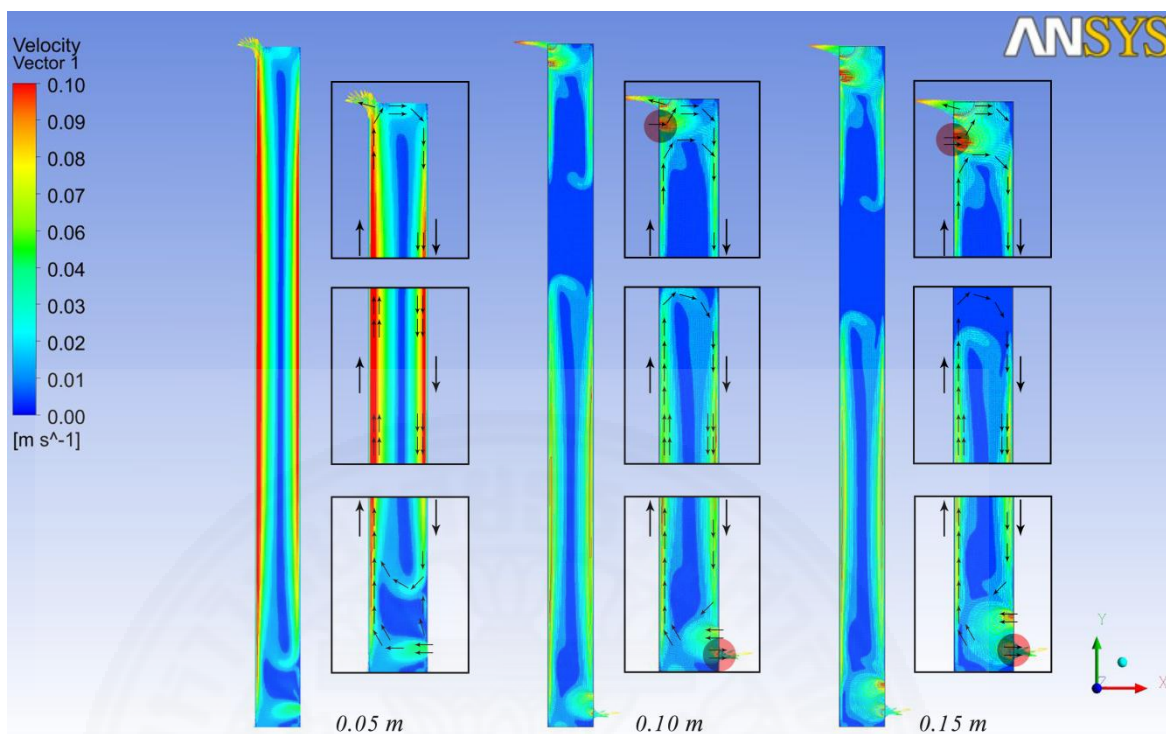




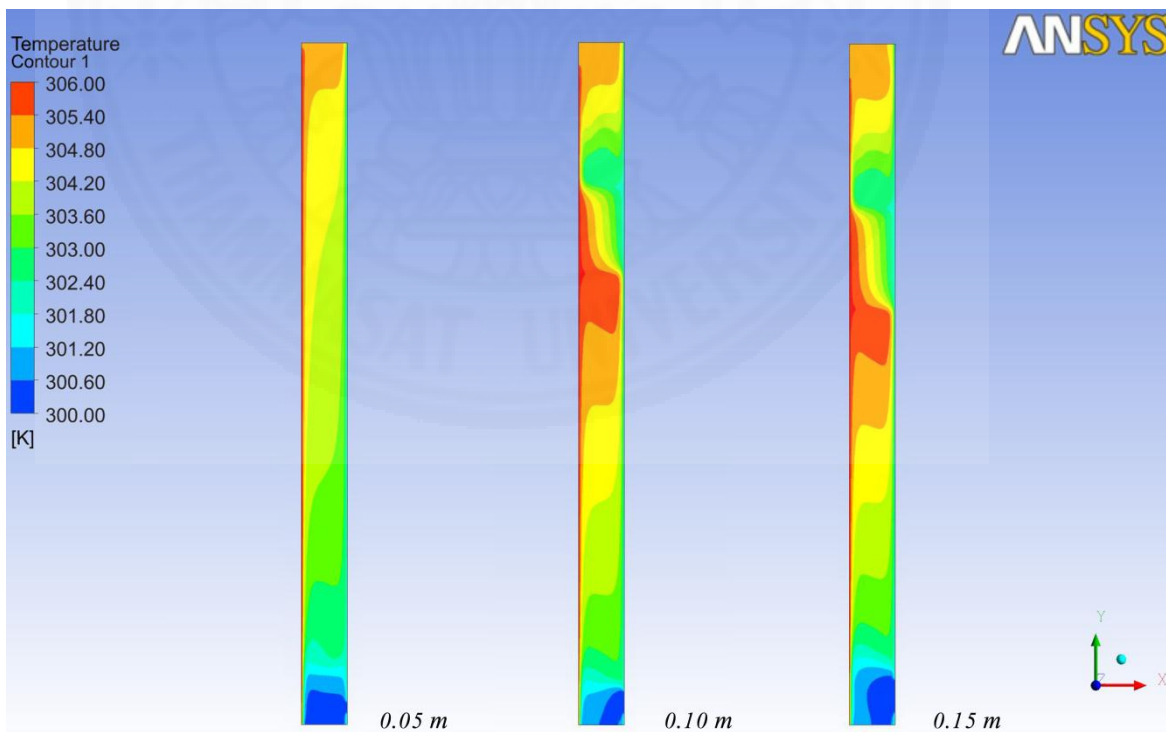
ภาพที่ 6.9 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกัน ในสถานะคงที่

## 2) การวิเคราะห์อากาศให้เป็นของผสม (air-vapor mixture)

หากการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสุดท้ายของอากาศในปล่องรังสีดวงอาทิตย์ ทั้งทิศทางกรไหลและความเร็วดังภาพที่ 6.10 พบว่าทิศทางเคลื่อนของอากาศภายในปล่องรังสีดวงอาทิตย์ มีความแตกต่างมากโดยขนาดช่องทางเข้าออกอากาศที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดมีขนาดช่องเท่ากับ 0.05 เมตร โดยขนาดช่องทางเข้าออกอากาศขนาด 0.10 เมตรและ 0.15 เมตรให้ประสิทธิภาพของการไหลของอากาศภายในได้ไม่ดี เพราะช่องทางเข้าออกอากาศขนาดใหญ่จะทำให้อากาศมีการไหลย้อนกลับทางเดิมที่มากขึ้น (วงกลมสีแดง) ทำให้สูญเสียความเร็วต้นจากช่องทางเข้า ในการพาความร้อนให้ลอยตัวออกจากปล่อง โดยช่องที่มีขนาดใหญ่มากอากาศจะลอยตัวได้ต่ำ แต่หากพิจารณาการกระจายค่าของอุณหภูมิโดยสังเกตจากแถบสี พบว่าช่องทางเข้าออกอากาศขนาด 0.05 เมตรมีการกระจายค่าอุณหภูมิที่ดีที่สุดดังภาพที่ 6.11 เนื่องจากไม่มีการสะสมความร้อนภายใน

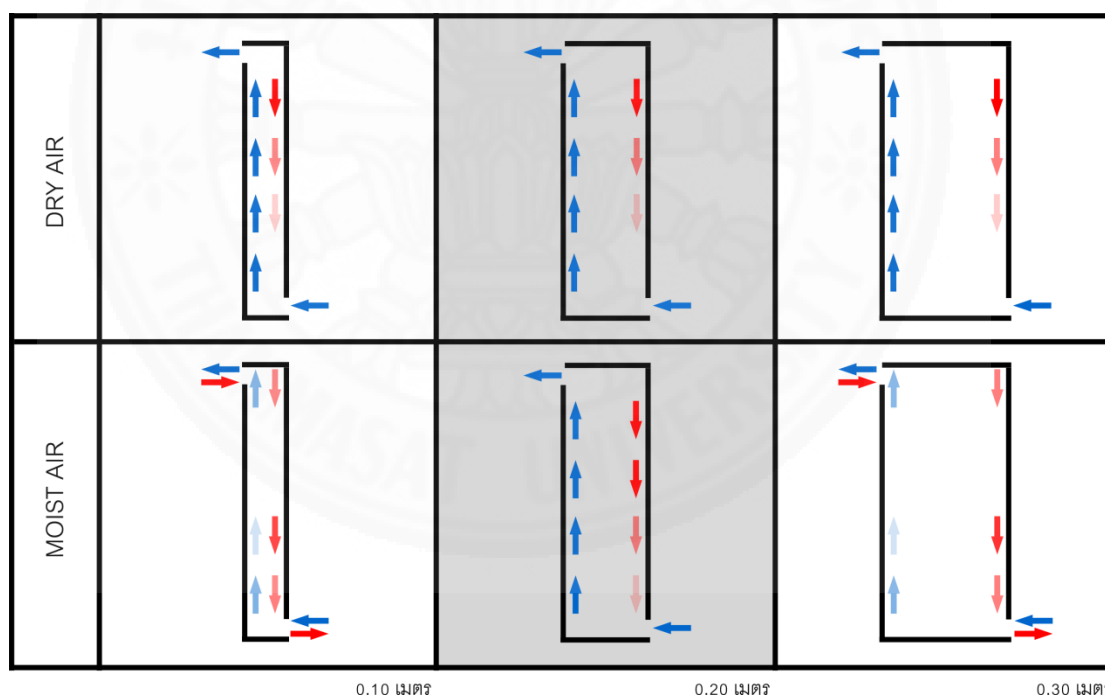


ภาพที่ 6.10 เปรียบเทียบทิศทางการเคลื่อนที่ของอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกัน ในสภาวะคงที่

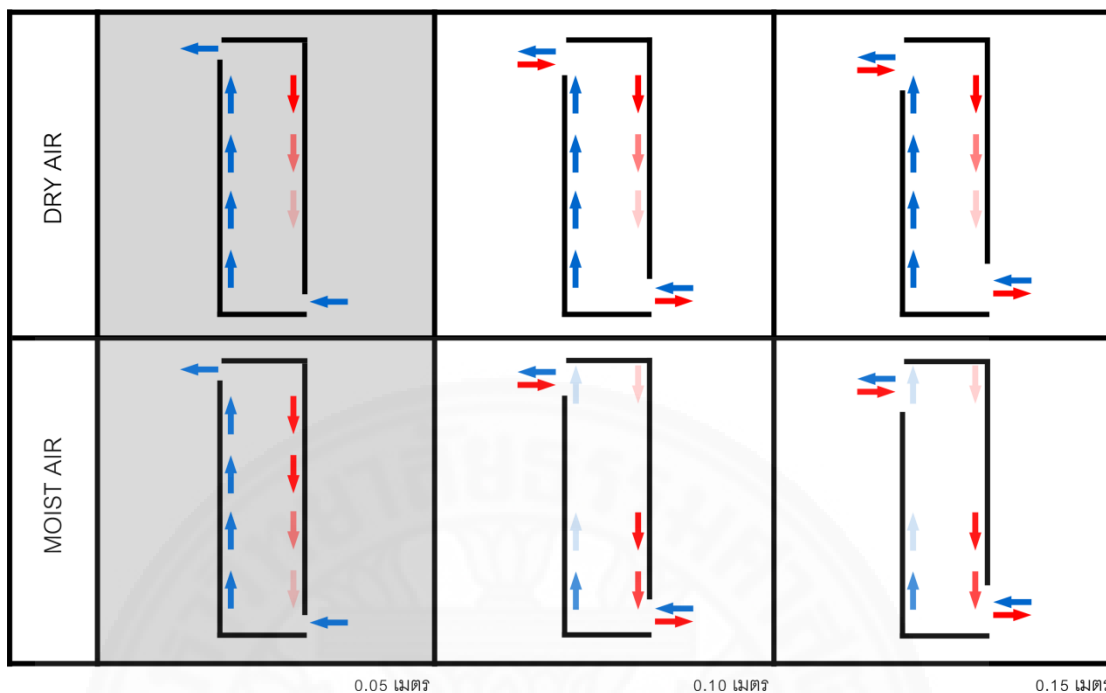


ภาพที่ 6.11 เปรียบเทียบอุณหภูมิในช่องอากาศที่เป็นอากาศชื้น (air-vapor mixture) ในแบบจำลองที่มีขนาดช่องทางเข้าออกอากาศแตกต่างกัน ในสภาวะคงที่

จากการจำลองผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของผนังกับรังสีดวงอาทิตย์กับความชื้น ด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหล พบว่าโปรแกรม ANSYS fluent 14.0 สามารถวิเคราะห์ผลของความชื้นในระบบผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ได้ โดยการกำหนดลักษณะทางกายภาพของผนังได้ กำหนดให้ผนังมีความสูง 3.00 เมตรทุกกรณี หรืออาจจะเทียบเท่ากับบ้านหนึ่งชั้น ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการเปลี่ยนความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของช่องอากาศระหว่างผนังกับความสูงผนังมีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของผนัง โดยอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุด คือ 13.8 : 1 หรือมีขนาดช่องอากาศเท่ากับ 0.20 เมตร ซึ่งตรงกับผลการทดลองจริงจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมา และขนาดช่องทางเข้าออกอากาศก็มีผลต่อสมรรถนะผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ โดยช่องทางเข้าออกอากาศที่มีขนาดใหญ่ ส่งผลถึงความเร็วและทิศทางการไหลของอากาศ ทำให้สมรรถนะของผนังลดลง ดังภาพที่ 6.12 และภาพที่ 6.13 พบว่าการเปลี่ยนลักษณะทางกายภาพของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ จะไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการระบายอากาศหรือการป้องกันความร้อนของผนัง หากอากาศให้เป็นอากาศแห้ง (dry air) ทิศทางการไหลของอากาศยังคงมีทิศทางและความเร็วที่ใกล้เคียงกัน



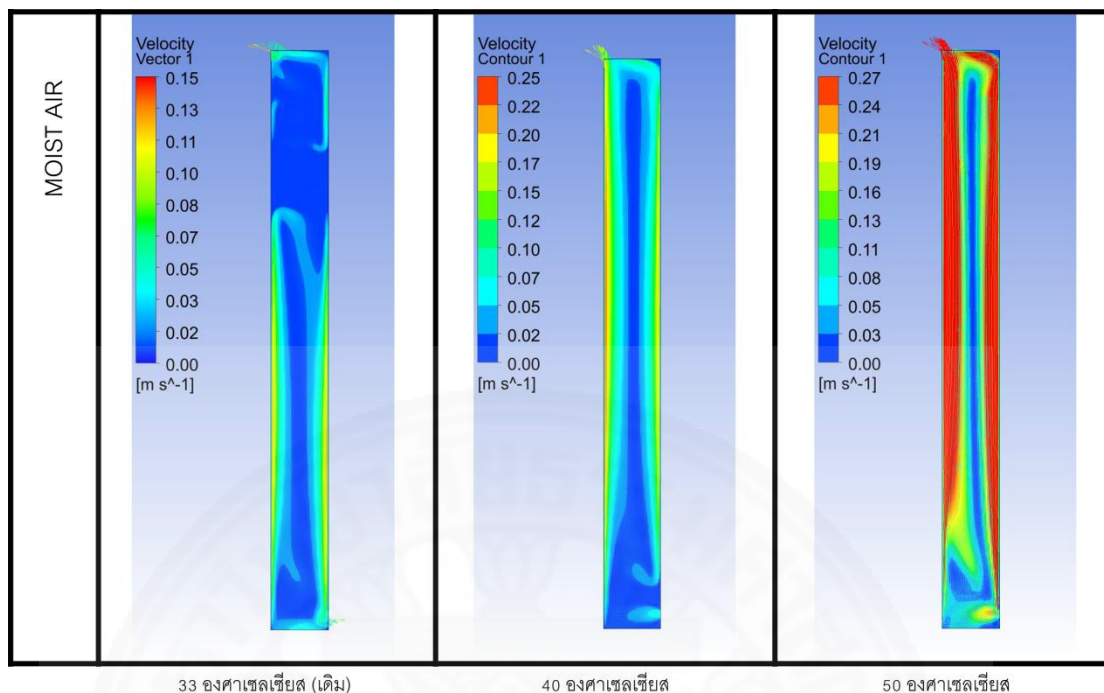
ภาพที่ 6.12 การศึกษาอิทธิพลของความชื้น และขนาดช่องอากาศที่มีต่อสมรรถนะผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์



ภาพที่ 6.13 การศึกษาอิทธิพลของความชื้น และขนาดช่องทางเข้าออกอากาศที่มีต่อสมรรถนะผนัง  
ปล่องรังสีดวงอาทิตย์

## 6.2 การจำลองเพิ่มเติม

จากการศึกษาข้างต้นที่ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะทางกายภาพและผลของอากาศที่มีความชื้นต่อสมรรถนะผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ พบว่า ความชื้นในอากาศมีผลต่อความเร็วและการกระจายค่าอุณหภูมิภายในช่องอากาศระหว่างผนัง จากการศึกษาระบบจำลอง 2 ที่ศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของความชื้นและขนาดช่องอากาศระหว่างผนังที่มีต่อสมรรถนะของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ พบว่า ช่องอากาศที่มีขนาด 0.30 เมตร ให้ผลความเร็วอากาศ และการกระจายค่าอุณหภูมิใกล้เคียงกับ 0.20 เมตร ซึ่งเป็นขนาดที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในช่วง 15 วินาทีแรก แต่หลังจากนั้นทิศทางและความเร็วอากาศเกิดการเปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากพลังงานความร้อนที่ให้กับระบบผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่น้อยเกินไป กล่าวคือ งานวิจัยในส่วนนี้ได้ทำการกำหนดค่าตั้งต้นของอุณหภูมิที่ผนังด้านนอกไว้ 33 องศาเซลเซียส แต่ทำการเพิ่มขนาดแบบจำลองเพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของขนาดแบบจำลองที่เปลี่ยนไป พบว่า แบบจำลองที่มีขนาดใหญ่ขึ้นต้องใช้พลังงานความร้อนที่เพิ่มมากขึ้นสำหรับการระบายอากาศผ่านช่องอากาศ ดังภาพที่ 6.14



ภาพที่ 6.14 การศึกษาอิทธิพลความร้อนของผนัง ต่อทิศทางและความเร็วอากาศในกรณีอากาศชื้น

จากภาพที่ 6.14 เป็นการจำลองเพิ่มเติม เพื่อศึกษาอิทธิพลความร้อนของผนัง ต่อทิศทางและความเร็วอากาศในสถานะอากาศชื้น โดยทำการเปลี่ยนค่าอุณหภูมิผิวผนังชั้นนอกทั้ง 3 ค่า อุณหภูมิ คือ 33 องศาเซลเซียส 40 องศาเซลเซียส และ 50 องศาเซลเซียส ตามลำดับ และได้ทำการวิเคราะห์แสดงผลในวินาทีที่ 100 พบว่า

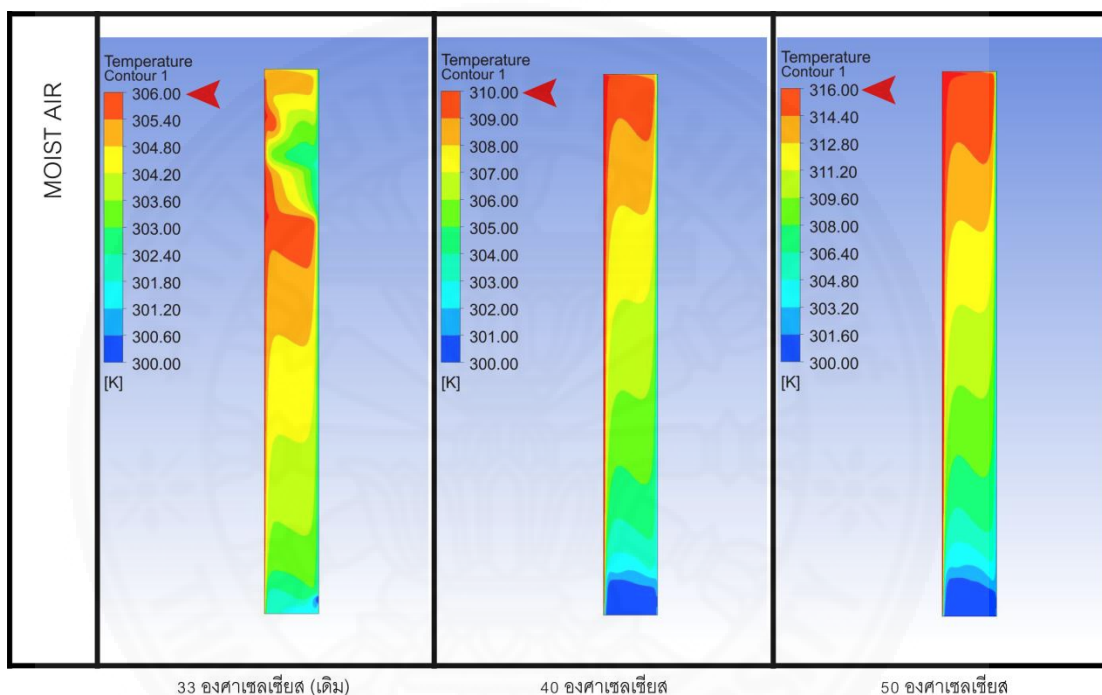
กรณีค่าอุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส ในวินาทีที่ 100 อากาศมีความเร็วและทิศการเคลื่อนที่อากาศในสถานะคงที่ โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสุดท้าย พบว่า อากาศไม่สามารถที่จะเคลื่อนที่ออกจากช่องอากาศได้ ทำให้อากาศมีการไหลย้อนกลับมาทางช่องทางเข้า (inlet)

กรณีค่าอุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในวินาทีที่ 100 อากาศมีความเร็วและทิศการเคลื่อนที่อากาศในสถานะคงที่ โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสุดท้าย พบว่า อากาศสามารถที่จะเคลื่อนที่ออกจากช่องอากาศได้ ทางช่องทางอากาศออก (outlet) และไม่มีอากาศไหลย้อนกลับมาทางช่องทางเข้า (inlet)

กรณีค่าอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ในวินาทีที่ 100 อากาศมีความเร็วและทิศการเคลื่อนที่อากาศในสถานะคงที่ โดยพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสุดท้าย พบว่า อากาศสามารถที่จะ

เคลื่อนที่ออกจากช่องอากาศได้และมีความเร็วอากาศมากที่สุดทางช่องอากาศออก (outlet) และไม่มีอากาศไหลย้อนกลับมาทางช่องทางเข้า (inlet)

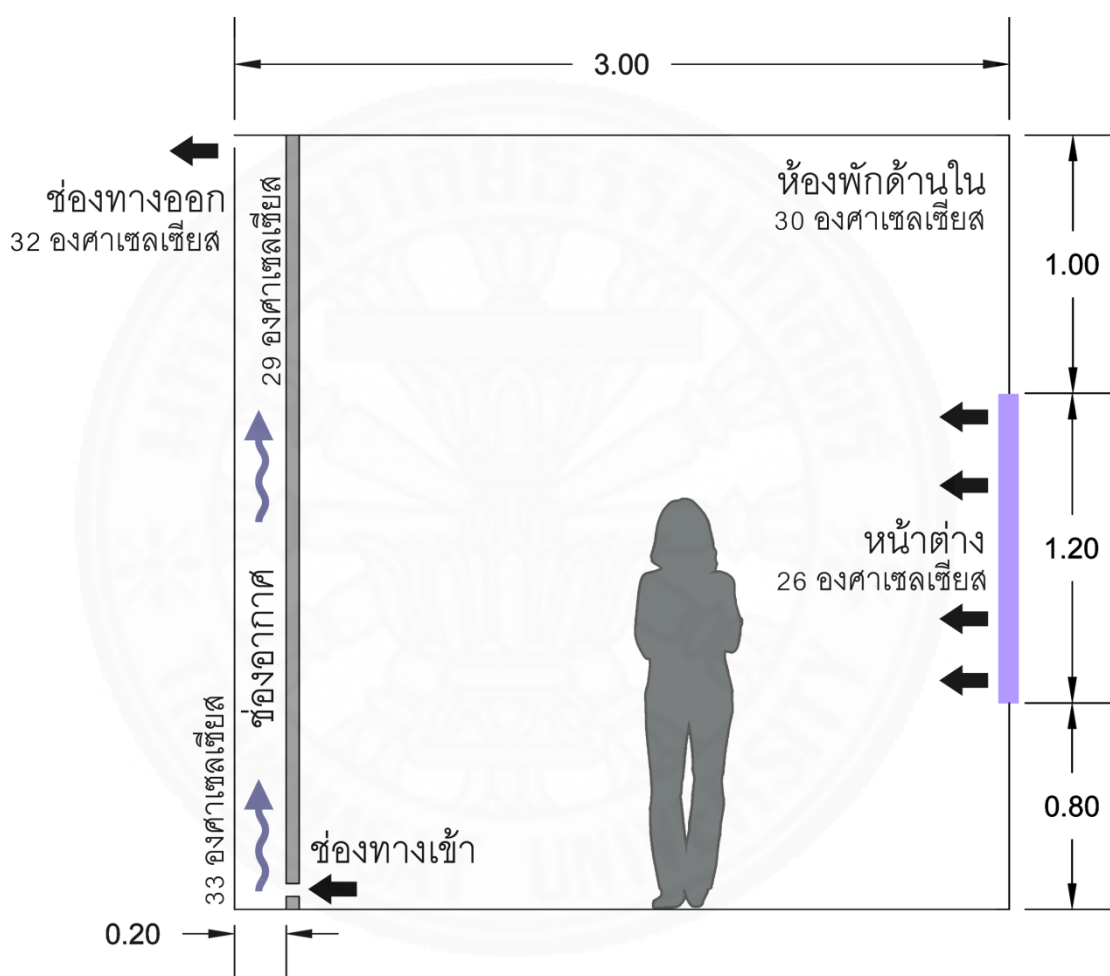
จากการศึกษาเพิ่มเติมสามารถอธิบายเรื่องทิศทางและความเร็วอากาศที่เคลื่อนที่ภายในช่องอากาศได้ โดยการเคลื่อนที่ของอากาศจะเคลื่อนที่ได้เนื่องจากแรงลอยตัวของอากาศร้อนซึ่งได้จากพลังงานความร้อนจากผนัง ที่ถ่ายเทเข้ามาในช่องอากาศระหว่างผนัง ความร้อนของผนังมากขึ้นทำให้ความเร็วอากาศมากขึ้นด้วย ดังภาพที่ 6.14



ภาพที่ 6.15 การศึกษาอิทธิพลความร้อนของผนัง ต่อการกระจายค่าอุณหภูมิในกรณีอากาศขึ้น

จากภาพที่ 6.15 การเพิ่มพลังงานความร้อนผนังอาจจะเป็นการเพิ่มสมรรถนะทางความเร็วอากาศที่ช่วยในการระบายอากาศ แต่ในทางกลับกันยังเป็นการเพิ่มความร้อนให้กับช่องอากาศ ซึ่งจะส่งผลต่ออุณหภูมิในห้องพักอาศัยด้านใน โดยการศึกษาเพิ่มเติมนี้ยังเป็นการทดลองเพื่อยืนยันผลการทดลองว่า อัตราส่วนระหว่างความสูงผนังกับช่องอากาศ ที่มีค่าเท่ากับ 13.8 : 1 เป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุดเนื่องจากเป็นอัตราส่วนที่คงประสิทธิภาพของความเร็วอากาศ ทิศทาง และอุณหภูมิที่ยังทำให้ระบบผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์คงประสิทธิภาพการทำงานอยู่ได้โดยใช้พลังงานน้อยที่สุด

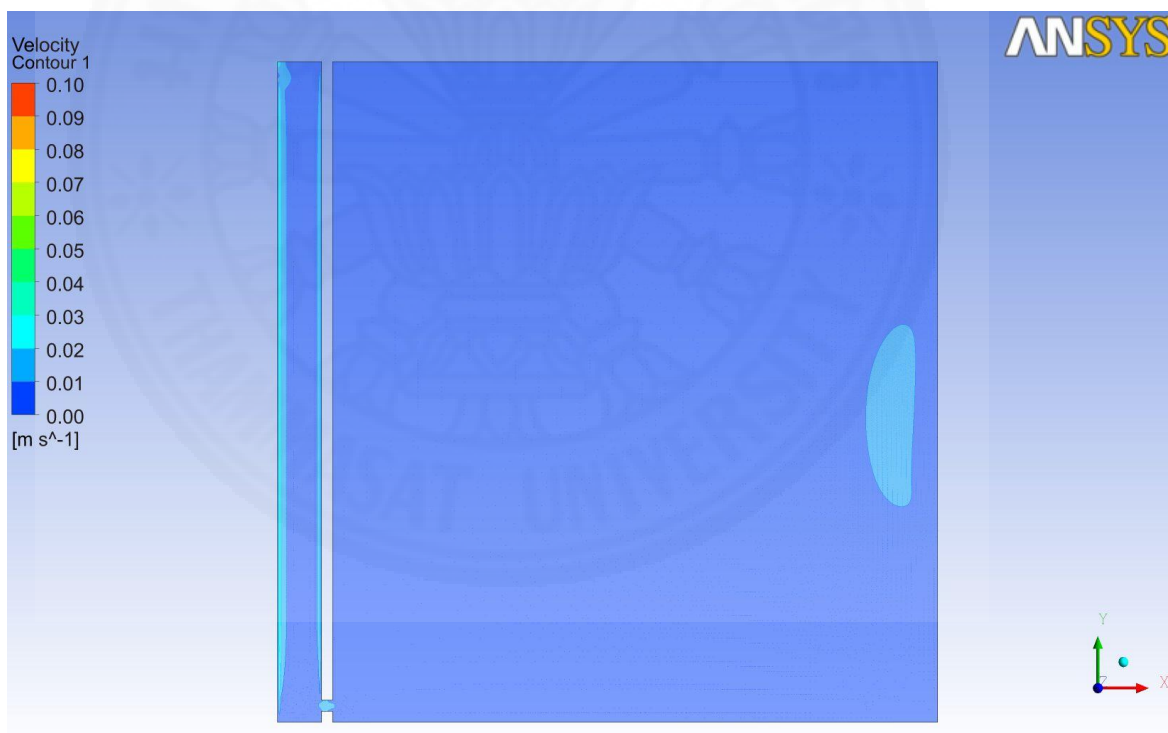
จากการวิเคราะห์อัตราส่วนที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับการออกแบบใช้ผนังปล่อง  
 ริงส์ตีวงอาทิตย์ที่มีความสูง 3.00 เมตรดังที่กล่าวไว้ในข้างต้น งานวิจัยนี้จึงทำการจำลองวิเคราะห์ผล  
 เพิ่มเติม ว่าผนังปล่องริงส์ตีวงอาทิตย์สามารถใช้งานร่วมกับห้องพักภายในได้จริง โดยออกแบบให้ผนัง  
 สูง 3.00 เมตร ช่องอากาศ 0.20 เมตร และช่องทางเข้าออก 0.05 เมตร ตามลำดับ โดยใช้งานกับห้อง  
 ที่มีขนาดสูง 3.00 เมตร กว้าง 2.80 เมตร และมีหน้าต่างสูง 1.20 เมตร ดังภาพที่ 6.16



ภาพที่ 6.16 ลักษณะทางกายภาพของผนังปล่องริงส์ตีวงอาทิตย์ที่ใช้งานร่วมกับห้องพัก

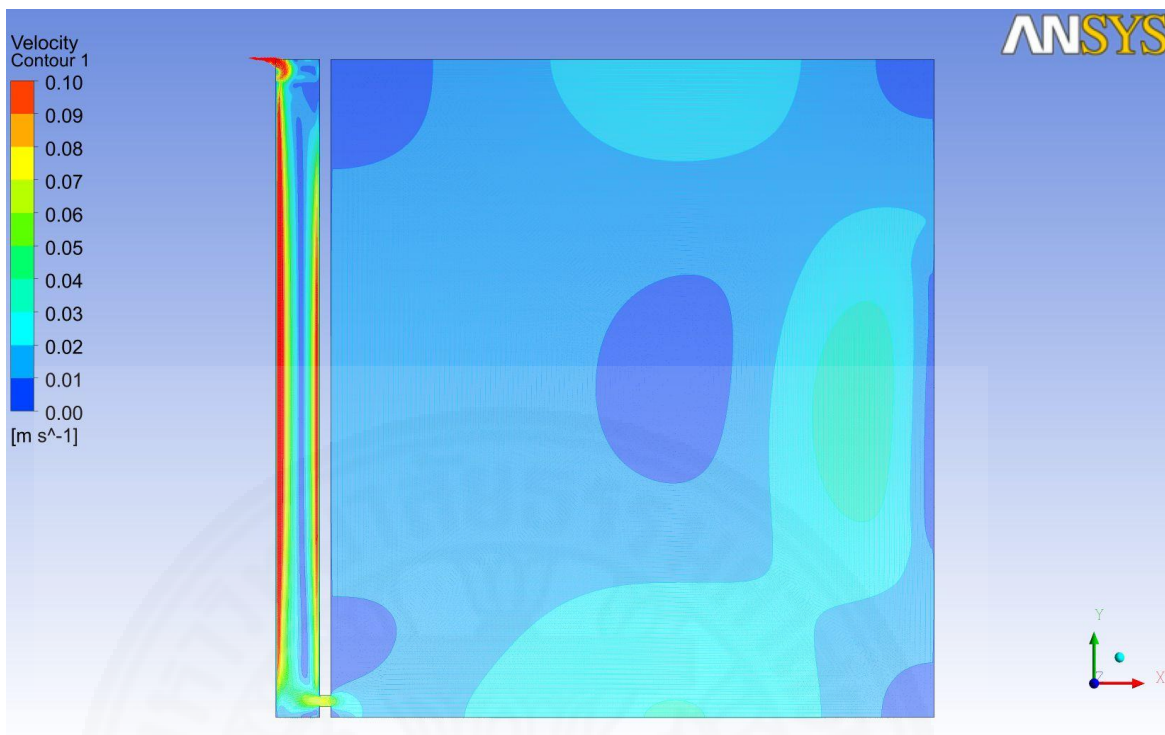
การวิเคราะห์ผลในส่วนนี้จะวิเคราะห์เฉพาะกรณีอากาศขึ้นเท่านั้น โดยมีการ  
 กำหนดค่าตั้งต้นของการวิเคราะห์เหมือน โดยกำหนดให้ผิวผนังชั้นนอกที่ติดกับช่องอากาศมีอุณหภูมิ  
 33 องศาเซลเซียส ผิวผนังด้านในมีอุณหภูมิ 29 องศาเซลเซียส ช่องทางออกอากาศ (outlet)  
 อุณหภูมิ 32 องศาเซลเซียส แต่มีการเปลี่ยนการตั้งค่าช่องทางเข้าอากาศในโปรแกรม (inlet) มาเป็น

กำหนดให้เป็นช่องหน้าต่างต่างแทนมีค่าอุณหภูมิเท่ากับ 27 องศาเซลเซียส โดยตั้งค่าอุณหภูมิทั้งระบบ (operating condition) เป็น 30 องศาเซลเซียส การวิเคราะห์และการเก็บข้อมูล จะวิเคราะห์ตามช่วงเวลา (transient) 100 วินาทีแรก เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงสุดท้ายที่ระบบจะเข้าสู่สภาวะคงที่ (steady state) ซึ่งทำการเก็บข้อมูลในวินาทีที่ 4 20 60 และ 100 วินาทีที่ ดังภาพที่ 6.17 – 6.20 พบว่า ในช่วงวินาทีที่ 4 อากาศเริ่มมีการเคลื่อนที่ของอากาศบริเวณช่องอากาศระหว่างผนัง ทำให้มีการเหนี่ยวอากาศจากด้านนอกบริเวณหน้าต่างเข้ามาด้านในห้องด้านใน ในวินาทีที่ 20 และวินาทีที่ 60 อากาศในช่องอากาศมีความเร็วมากขึ้นและระบายออกทางช่องทางออกด้านบน ทำให้มีการเหนี่ยวอากาศจากด้านนอกเข้ามาได้มากขึ้น โดยอากาศที่เข้ามาใหม่จะไหลลงสู่พื้นด้านล่าง เนื่องจากน้ำหนักของอากาศขึ้นและมีอากาศถูกดึงเข้าไปในช่องอากาศระหว่างผนัง และมีบางส่วนไหลวนอยู่ภายในห้อง เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสุดท้ายในวินาทีที่ 100 อากาศที่ระบายออกทางช่องทางออก (outlet) ที่มากจะส่งผลต่อการดึงอากาศเข้ามาในห้องที่มากขึ้น

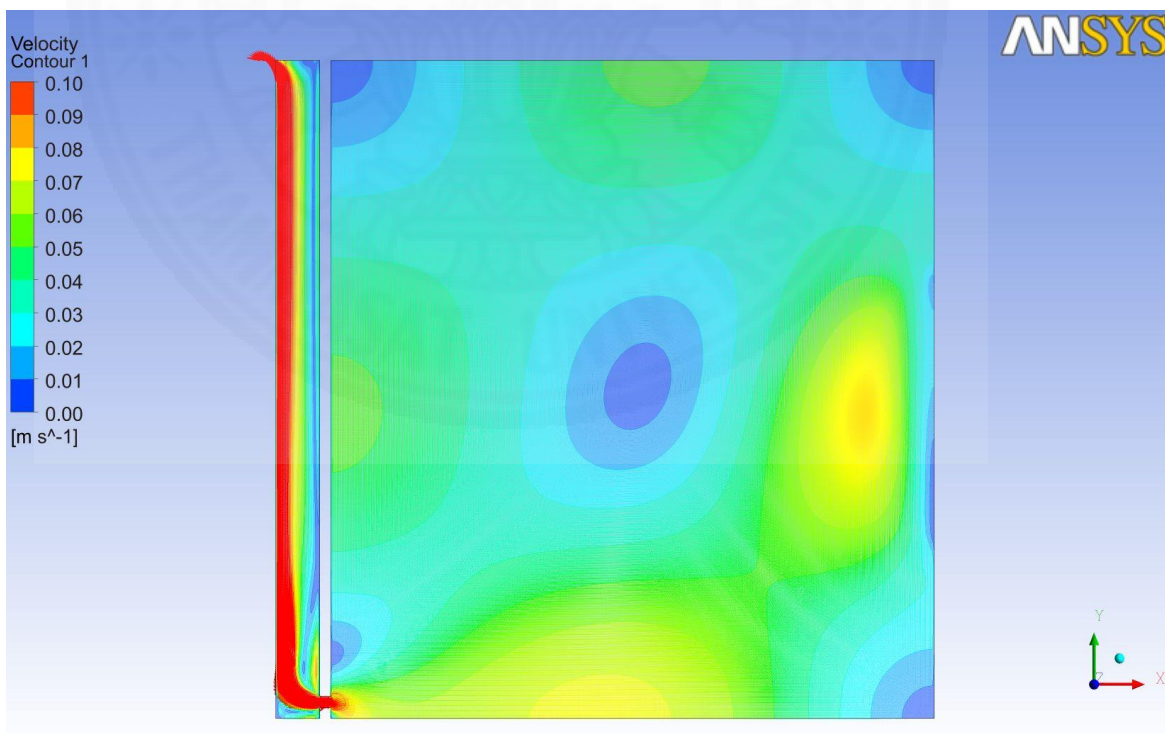


ภาพที่ 6.17 ทิศทางการเคลื่อนอากาศภายในผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้งานร่วมกับห้องพักในกรณีอากาศขึ้น วินาทีที่ 4

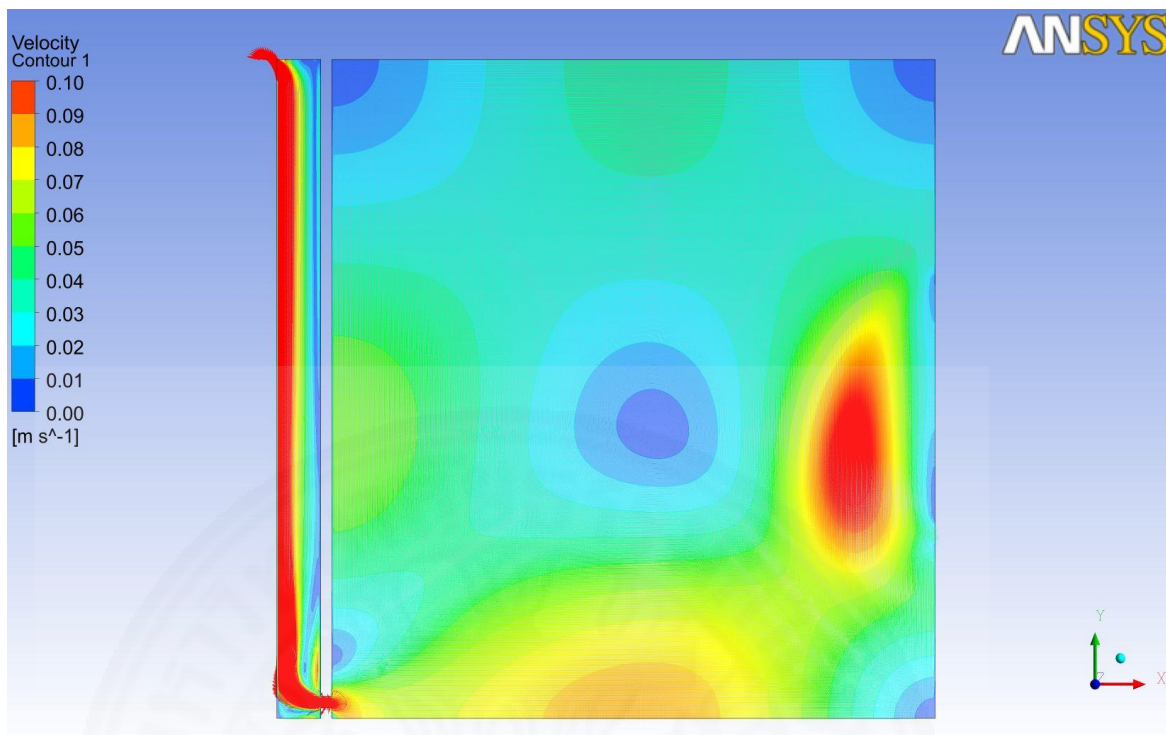




ภาพที่ 6.18 ทิศทางการเคลื่อนอากาศภายในผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้งานร่วมกับห้องพักในกรณี  
อากาศชั้น วินาทีที่ 20

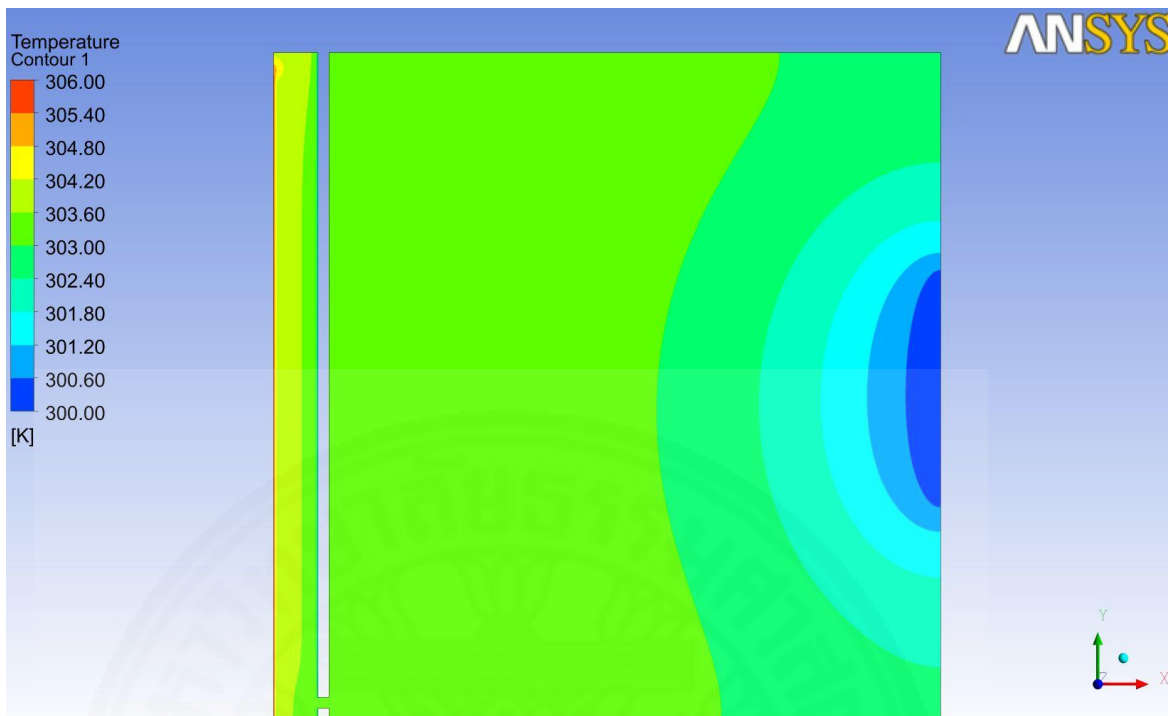


ภาพที่ 6.19 ทิศทางการเคลื่อนอากาศภายในผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้งานร่วมกับห้องพักในกรณี  
อากาศชั้น วินาทีที่ 60

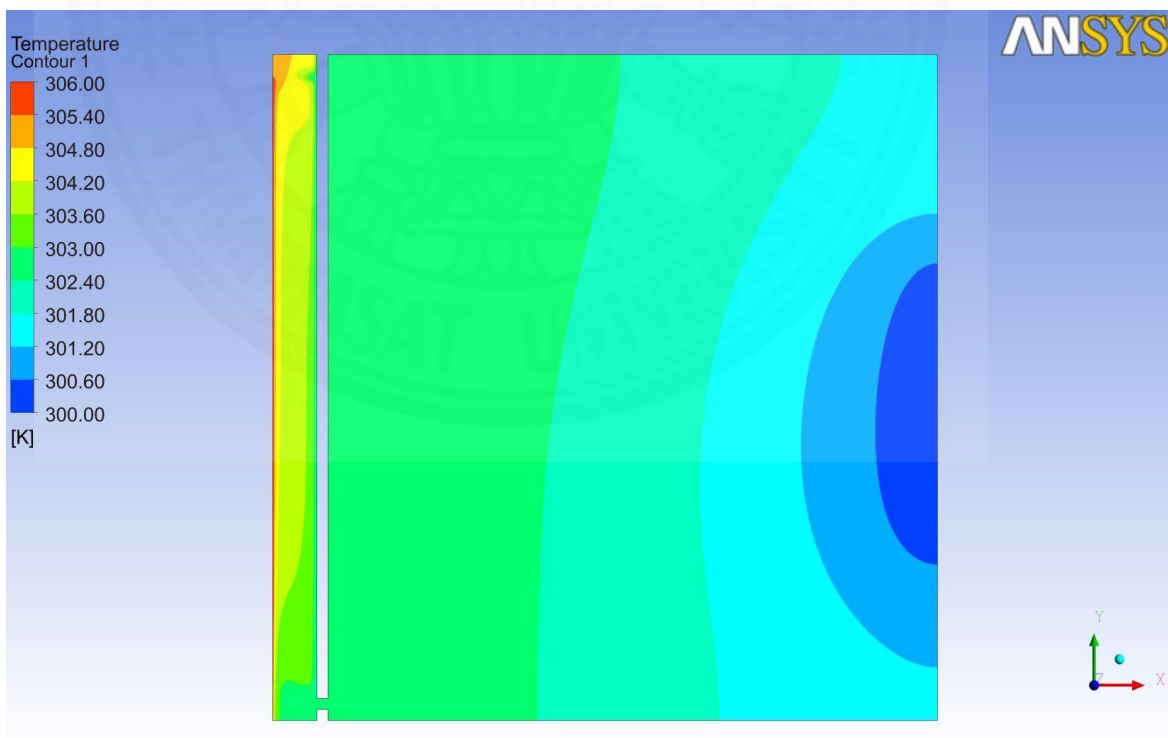


ภาพที่ 6.20 ทิศทางการเคลื่อนอากาศภายในผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้งานร่วมกับห้องพักในกรณีอากาศชั้น วินาทีที่ 100

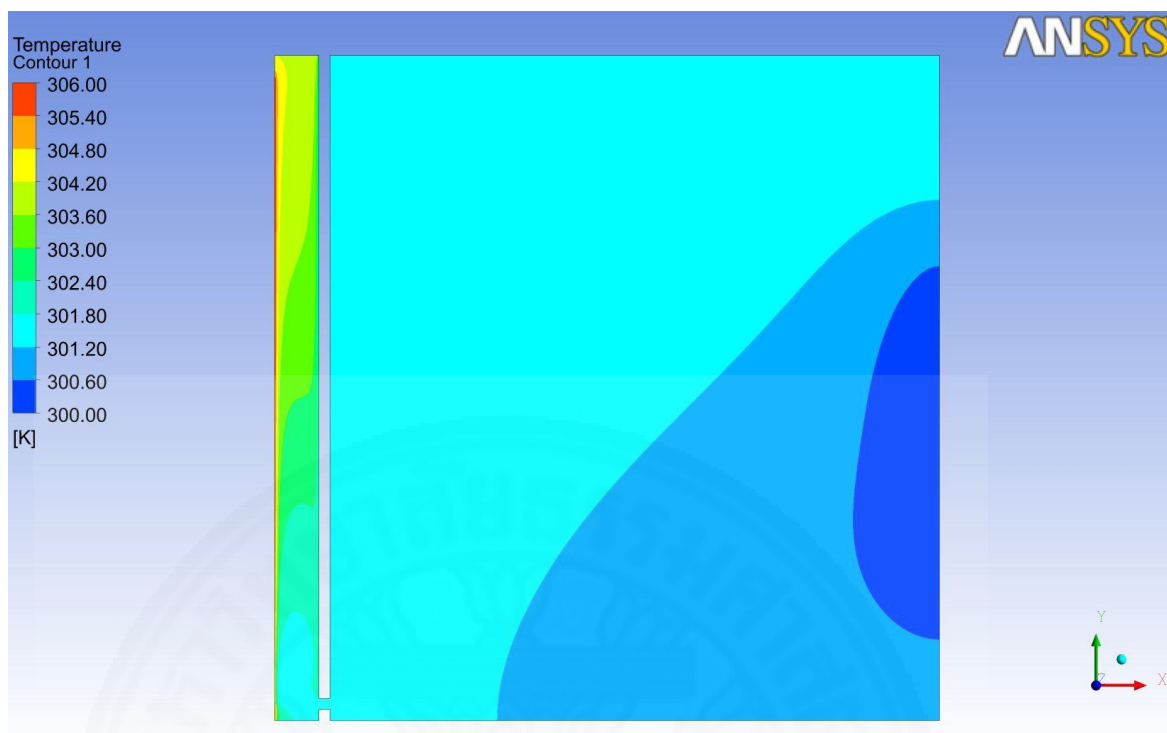
การวิเคราะห์ผลการกระจายค่าของอุณหภูมิจะมีความสัมพันธ์กับทิศทางเป็นการเคลื่อนที่ของอากาศ ในช่วงวินาทีที่ 4 พบว่า อุณหภูมิเริ่มมีการเปลี่ยนโดยในช่องอากาศระหว่างอากาศเริ่มมีอุณหภูมิสูงมากขึ้น เนื่องจากพลังงานความร้อนมีการถ่ายเทเข้ามาในช่องอากาศ และในบริเวณหน้าต่างเริ่มมีอุณหภูมิต่ำเคลื่อนที่เข้ามาแทนที่อากาศด้านใน ซึ่งอุณหภูมิต่ำที่เคลื่อนที่ผ่านเข้ามาจากช่องหน้าต่าง จะเริ่มเคลื่อนที่เข้ามาพร้อม ๆ กับการระบายความร้อนผ่านช่องอากาศระหว่างผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสุดท้ายของการกระจายค่าอุณหภูมิในวินาทีที่ 100 พบว่า อากาศมีการแบ่งชั้นของความร้อนทั้งในห้องพักและภายในช่องอากาศ โดยมีอุณหภูมิร้อนจะอยู่ด้านบนอุณหภูมิต่ำอยู่ด้านล่าง เพราะอากาศเย็นมีความหนาแน่นมากกว่าและมีน้ำหนักที่มากกว่าอากาศร้อน



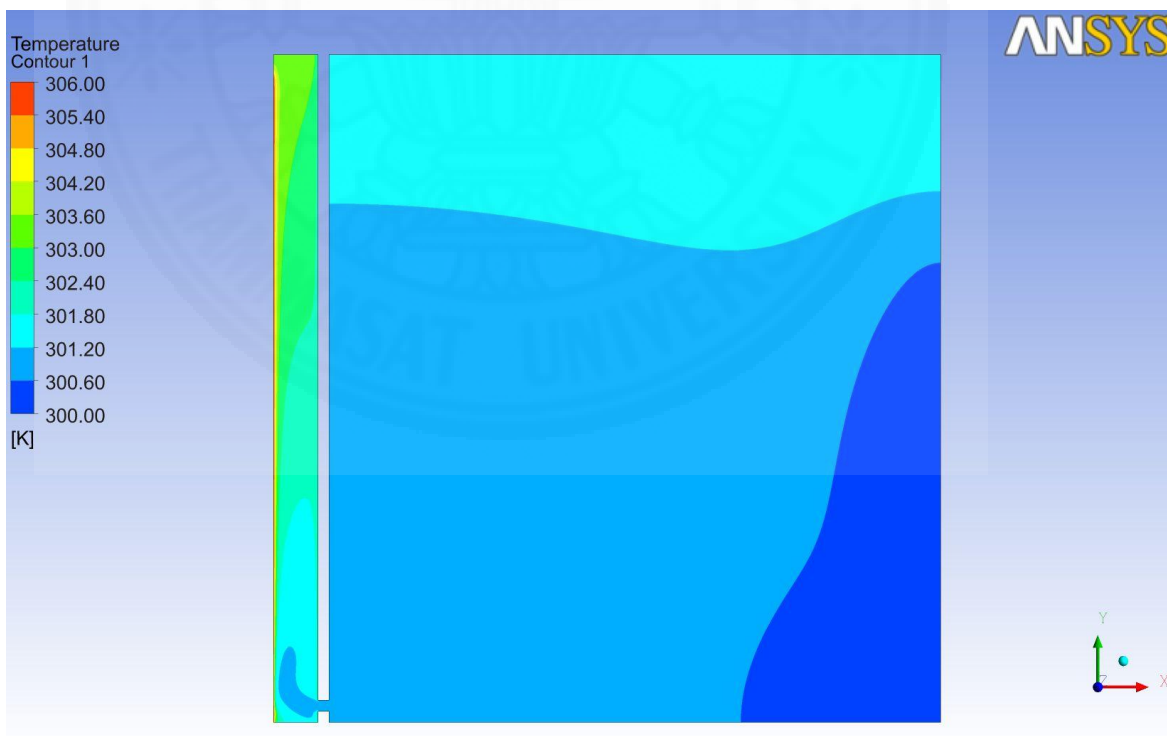
ภาพที่ 6.21 การกระจายค่าอุณหภูมิภายในผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้งานร่วมกับห้องพักในกรณี  
อากาศชั้น วินาทีที่ 4



ภาพที่ 6.22 การกระจายค่าอุณหภูมิภายในผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้งานร่วมกับห้องพักในกรณี  
อากาศชั้น วินาทีที่ 20



ภาพที่ 6.23 การกระจายค่าอุณหภูมิภายในผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้งานร่วมกับห้องพักในกรณี  
อากาศชั้น วินาทีที่ 60



ภาพที่ 6.24 การกระจายค่าอุณหภูมิภายในผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่ใช้งานร่วมกับห้องพักในกรณี  
อากาศชั้น วินาทีที่ 100

### 6.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัย

1. งานวิจัยนี้เป็นลักษณะเชิงจำลอง ที่จำลองด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลเพียง 2 มิติ แต่การใช้ลักษณะการทำงานจริงของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์เป็น 3 มิติโดยมีผลกระทบความกว้างของผนังเข้ามาเกี่ยวข้อง อาจจะทำให้การสร้างแบบจำลองแบบ 3 มิติเพื่อความถูกต้องและแม่นยำที่มากยิ่งขึ้น

2. การกำหนดค่าอุณหภูมิผนังในงานวิจัยเป็นการกำหนดค่าอุณหภูมิคงที่ (constant temperature) แต่ในสภาพอากาศจริงในการได้รับความร้อนจากดวงอาทิตย์จะเป็นพลังงานที่ไม่คงที่ การกำหนดค่าต้องเปลี่ยนเป็น heat flux เพื่อให้แบบจำลองมีความใกล้เคียงกับสภาพอากาศจริง

3. การจำลองผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ในงานวิจัยนี้ พิจารณาเพียงผนังด้านเดียวซึ่งหากมีการสร้างผนังขึ้นมามากกว่า 1 ด้าน จะมีผลกระทบต่อผนังด้านอื่นๆ

4. การจำลองจากงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์เฉพาะผนังหนึ่งด้าน การทำให้ผลของงานวิจัยนี้สมบูรณ์มากขึ้น อาจจะต้องทำการสร้างแบบจำลองที่รวมถึงพื้นที่ใช้งานด้านใน เพื่อจะศึกษาสมรรถนะการทำงานของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ ที่ใช้งานร่วมกับพื้นที่ด้านใน ว่าผนังชนิดนี้มีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใด

## รายการอ้างอิง

### หนังสือและบทความในหนังสือ

- กรมอุตุนิยมวิทยา. (2544). ภูมิอากาศของประเทศไทย. กรมอุตุนิยมวิทยา กรุงเทพฯ
- จงจิตร หิรัญลาภ. (2520). *กระบวนการพลังงานรังสีอาทิตย์ในรูปแบบความร้อน*. บริษัทสำนักพิมพ์ดวงกมลจำกัด. กรุงเทพฯ 10210.
- นักสิทธิ์ คุ้มพัฒนาชัย. (2533). การถ่ายเทความร้อน. ปรับปรุงและพิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ. โครงการตำราเรียนสำนักพิมพ์ฟิสิกส์เซ็นเตอร์
- Matthias Haase, Dr. Alex Amato. (2006). Ventilated façade design in hot and humid climate : Department of Architecture Faculty of Architecture The Hong Kong University Pokfulam Road, HK, China

### บทความวารสาร

- Cengel, Yunus A. (2003). Heat transfer : a pravtical approach. New York
- Gan, G.A. (1998) parametric study of trombe walls for passive cooling of buildings energy and building
- Joseph Khedari. (2554). A Study of thermal performance of roof solar chimney in hot and humid climate : วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 21 ฉบับที่ 3
- Szokolay, s.v. (2004). Introduction to Architecture Science : The Basis of sustainable Design. Oxford : Architectural Press

### วิทยานิพนธ์

- กนก นพวงศ์. (2557). *การศึกษาเชิงทดลองสมรรถนะทางความร้อนของปล่องรังสีดวงอาทิตย์ไม้ธรรมชาติร่วมกับการระเหยน้ำ*. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, สาขาสถาปัตยกรรม

- จิรนนท์ เรืองศุภนิมิต. (2553). *การออกแบบระบบปรับอากาศภายในห้องสะอาดและการประยุกต์ใช้ การคำนวณเชิงตัวเลขทางพลศาสตร์ของไหล*. ปรินญาวิศวกรรมมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัย ศรีนครินทรวิโรฒ, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
- เจริญพร เลิศสถิตธนกร. (2540). *การศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ผนัง Trombe wall แบบ ดัดแปลงเพื่อการระบายอากาศตามธรรมชาติภายในบ้านพักอาศัย*. ปรินญาวิศวกรรม มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, คณะพลังงานและวัสดุ, สาขาวิชา เทคโนโลยีการจัดการพลังงาน
- นินนาท ราชประดิษฐ์. (2543). *สมรรถนะของปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ในการใช้งานร่วมกับ เครื่องปรับอากาศภายในอาคาร*. ปรินญาวิศวกรรมมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระ จอมเกล้าธนบุรี, คณะพลังงานและวัสดุ, สาขาวิชาเทคโนโลยีอุณหภาพ
- ทัศนีย์ สุนทรธรรม. (2551). *การออกแบบผนังทროมบ์โดยใช้คอนกรีตบล็อก*. ปรินญาวิศวกรรม มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน
- ภัทรวรรณ เอมกมล. (2557). *การออกแบบฝ้าเพดานเพิ่มการระบายอากาศแบบบังคับเพื่อลดการ ถ่ายเทความร้อนในพื้นที่ชั้นบนของพื้นที่อาศัย*. วิทยานิพนธ์ปรินญา มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, สาขาสถาปัตยกรรม วิศวกรรม
- วีรวัฒน์ เทศเกตู, เดช ดำรงค์ดี และณัฐ วรยศ. (2549). *การใช้ผนังทროมบ์แบบปรับปรุงเพื่อลด อุณหภูมิในอาคารและลดภาระการปรับอากาศ*. ปรินญาวิศวกรรมมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน
- สิริศักดิ์ แก้วเรือง. (2540). *การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ Trombe wall เพื่อการระบายอากาศ แบบธรรมชาติสำหรับบ้านพักอาศัยเขตร้อนชื้น*. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี สาขาเทคโนโลยีพลังงาน
- อัศศิภัทร์ สิริเศรษฐากร. (2552). *การทดสอบสมรรถนะของผนังทროมบ์ผิวกระจกที่ติดตั้งกับบ้าน ปรับอากาศ*. ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ คณะ วิศวกรรมศาสตร์, สาขาวิชาวิศวกรรมพลังงาน
- Gan,G. (2006). *Simulation of buoyancy-induced flow in open cavities for natural ventilation*. Institute of Building Technology. Energy and Building, 38, 410-420
- Guohui Gan. (2011). *General expressions for the calculation of air flow and heat transfer rates in tall ventilation cavities*. Department of Architecture and Built Environment, University of Nottingham, University Park, Nottingham

Zhigang Li , Per Heiselberg , Per Kvols. (2005). *CFD Simulations for Water Evaporation and Airflow Movement in Swimming Baths*. Aalborg Universitet, Instituttet for Bygningsteknik

### สื่ออิเล็กทรอนิกส์

GREATWALL GROUP. (1988). รูปแบบการถ่ายเทความร้อน (*heat transfer*). Copyright, 2011  
สืบค้นเมื่อวันที่ 4 ธันวาคม 2557,  
from <http://www.greatwall1988.com/th/insulation.php>





## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นาย ชัชวินท์ ชินสรนันท์
วันเดือนปีเกิด	5 พฤศจิกายน 2532
ตำแหน่ง	วิทยาศาสตร์บัณฑิต (สถาปัตยกรรม) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ประสบการณ์ทำงาน	พ.ศ. 2557 นักศึกษาฝึกงาน Airbase Architects

