การจำลองการไหลของอากาศในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอากาศไหลเวียนโดยธรรมชาติ

Simulation of Air Flow in the Natural Convection Solar Dryer

ปรเมนทร์ มาลีหวล* และ อดุลย์ จรรยาเลิศอดุลย์
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี 34190 โทร 0-4535-3381 โทรสาร 0-4535-3380 E-mail: chay5371@hotmail.com

Poramen Maleehuan* Adun Janyalertadun
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ubon Ratchatani University
Ubon Ratchatani 34190 Thailand Tel: 0-4535-3381 Fax: 0-4535-3380 E-mail: chay5371@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะการไหลของอากาศ และการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบรับรังสีโดยตรงที่มีการไหลเวียนของอากาศโดยธรรมชาติ โดยใช้เทคนิคการคำนวณพลศาสตร์ของไหล และนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง โดยสร้างชุดทดลองตู้อบแห้งที่มีขนาดกว้าง 0.75 m ยาว 0.75 m สูง 0.6 m และ 0.8 m มีมุมรับรังสีอาทิตย์ 15 องศากับแนวระดับ ทางเข้าและทางออกกว้าง 0.05 m ตลอดทั้งความกว้างของตู้อบแห้ง โดยใช้แหล่งจำลองความร้อนที่มีปริมาณ ฟลักซ์ความร้อนเท่ากับ 400, 500, 600, 700 และ 800 W/m^2 จากผลการจำลองพบว่า ลักษณะการไหลของอากาศและการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในตู้อบ ที่ค่าฟลักซ์ความร้อนต่าง ๆ มีแนวโน้มค่าใกล้เคียงกับผลการทดลอง

Abstract

This research aims to study flowing characteristic for the air and temperature distribution in solar dryer within natural convection by using Computational Fluid Dynamics (CFD) technique. The results from CFD to compared with the experiment. The solar dryer have the wide is 0.75 m length 0.75 m 0.6 and 0.8 m for the height and the angle for the radioactivity sun is 15 degree with the horizontal. The entrance and exit of air is 0.05 m wide and along to the length of the solar dryer for the both. The heat fluxes from the source are 400, 500, 600, 700 and 800 W/m^2. The results from the CFD similar to with the experiment for the flowing characteristic and temperature distribute.

1. บทนำ

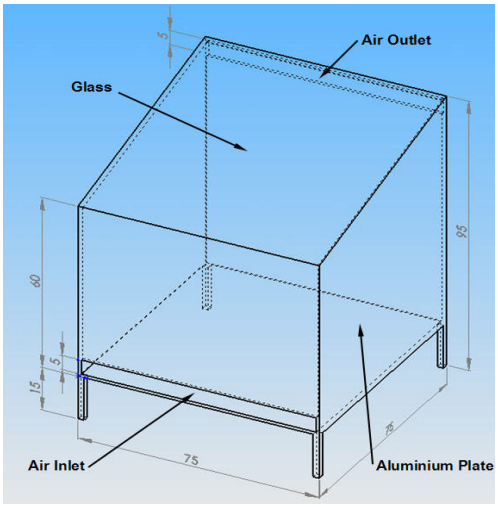
ในปัจจุบันวิธีการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรและผลิตภัณฑ์อาหาร มีอยู่หลายวิธีด้วยกัน แต่วิธีหนึ่งที่มีความประหยัดในด้านพลังงาน คือการอบแห้งโดยการนำพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติมาใช้ เพื่อเป็นการลดต้นทุนทางด้านการผลิต ทำให้เกษตรกรและผู้ประกอบการทางด้านการผลิตอาหารประเภทอบแห้งสามารถต่อสู้กับสภาวะเศรษฐกิจในปัจจุบันนี้ได้ ซึ่งตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการใช้งานกันอยู่ทั่ว ๆ ไป สามารถจำแนกได้หลายแบบ [1] ต้นทุนในการสร้างตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบรับรังสีโดยตรงที่มีการไหลเวียนของอากาศโดยธรรมชาติ มีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ชนิดอื่น

ซึ่งในขณะนี้การจำลองการไหลเชิงพลศาสตร์ (Computational Fluid Dynamic, CFD) เป็นเครื่องมือทางเลือกใหม่เพื่อใช้ศึกษาและวิเคราะห์การไหลของอากาศเกี่ยวกับทางด้านเกษตรกรรม [2] จากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า ได้มีการนำ CFD มาใช้ในการทำนายความเร็วของอากาศภายในเครื่องอบแห้ง [3] มาทำนายการกระจายตัวของความเร็วและอุณหภูมิภายในโรงเรือนเพาะปลูก [4,5,6] และได้มีการนำเอาโปรแกรม Fluent V6.1.22 มาใช้ในการทำนายการพาความร้อนและมวลออกจากวัตถุที่มีความชื้น [7] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาแบบจำลองการไหลเชิงพลศาสตร์ของอากาศของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบรับรังสีโดยตรงที่มีการไหลเวียนของอากาศโดยธรรมชาติ โดยนำ CFD มาใช้ในการทำนายผลและเปรียบเทียบผลกับการทดลอง

2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

2.1 อุปกรณ์การทดลอง

ในการศึกษาผลการทดลอง ได้สร้างตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบรับรังสีโดยตรงที่มีการไหลเวียนของอากาศโดยธรรมชาติ โดยมีขนาดดังแสดงในรูปที่ 1 โดยตู้อบแห้งที่มีขนาดกว้าง 0.75 เมตร ยาว 0.75 เมตร ด้านหน้าสูง 0.6 เมตร และด้านหลังสูง 0.8 เมตร ด้านบนเป็นกระจกใสหนา 5.00 มิลลิเมตร ทำมุม 15 องศากับแนวระดับ ด้านข้างโดยรอบและพื้นด้านล่างเป็นแผ่นอะลูมิเนียมหนา 0.26 มิลลิเมตร ช่องทางเข้าของอากาศอยู่ด้านหน้ามีความกว้าง 5.00 เซนติเมตร และช่องทางออกอยู่ด้านหลังมีขนาดความกว้าง 5.00 เซนติเมตร และได้สร้างชุดจำลองแสงโดยใช้ไฟสปอตไลท์หลอดไอโอดีน พร้อมโคมสะท้อนแสงขนาด 500 วัตต์ จำนวน 9 ดวง และแต่ละดวงสามารถปรับแรงดันไฟฟ้าได้ เพื่อเป็นแหล่งกำเนิดฟลักซ์ความร้อนให้แก่ตู้อบแห้ง มีการติดตั้งเครื่องมือวัดความเร็วลมและเครื่องบันทึกอุณหภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 2

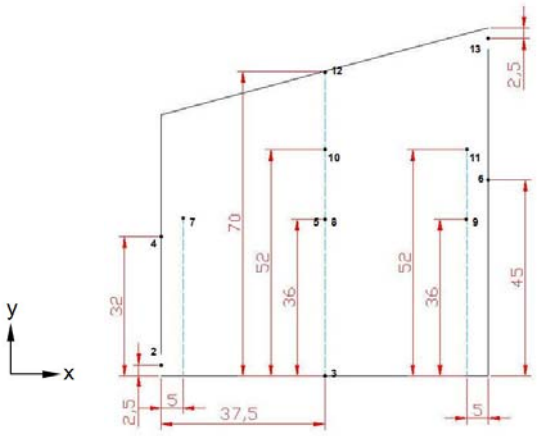


รูปที่ 1 ขนาดของตู้อบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบรับรังสีโดยตรง

รูปที่ 2 การติดตั้งชุดทดลองและการเก็บผลการทดลอง

2.2 วิธีการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองภายในห้องทดลองที่มีขนาดความกว้าง 8 เมตร ยาว 16 เมตร และมีความสูง 3 เมตร เพื่อที่จะให้อากาศภายในห้องไหลเวียนได้ดี และอากาศร้อนที่ออกมาจากตู้อบแห้งจะไม่มีผลกระทบกับความชื้นและอุณหภูมิของอากาศภายในห้องทดลอง [8] เริ่มต้นการทดลองทุกครั้งจะปิดห้องทดลองและปิดไฟทุกดวงภายในห้องทดลอง เพื่อขจัดตัวแปรทางด้านความเร็วลมภายนอกและฟลักซ์ความร้อนจากภายนอกที่จะมากระทบกับการทดลอง ตำแหน่งและระยะที่จะนำมาใช้ในการเปรียบเทียบกับผลการจำลองด้วย CFD วัดในแนวกึ่งกลางของตู้อบแห้ง (z = 37.5 cm) ตำแหน่งการวางเทอร์โมคับเปิ้ลชนิด K ได้แสดงในรูปที่ 3 และตารางที่ 1 ตำแหน่งการวัดความเร็วลมที่ทางเข้าตู้อบแห้งวัดที่ จุดที่ 2



รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งและระยะการติดตั้งเครื่องมือวัด

ตารางที่ 1 แสดงตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิ

ตำแหน่งที่	จุดที่วัด
1	อากาศภายนอกตู้อบแห้ง
2	ทางเข้าตู้อบแห้ง
3	พื้นในตู้อบแห้ง
4	ผนังด้านหน้าตู้อบแห้ง
5	ผนังด้านซ้ายตู้อบแห้ง
6	ผนังด้านหลังตู้อบแห้ง
7	ระดับลวดเส้นที่ 1 (y = 36 cm) ด้านหน้า
8	ระดับลวดเส้นที่ 1 (y = 36 cm) ตรงกลาง
9	ระดับลวดเส้นที่ 1 (y = 36 cm) ด้านหลัง
10	ระดับลวดเส้นที่ 2 (y = 52 cm) ตรงกลาง
11	ระดับลวดเส้นที่ 2 (y = 52 cm) ด้านหลัง
12	ที่ผิวกระจกด้านในตู้อบแห้ง
13	ทางออกตู้อบแห้ง

ในระหว่างการทดลองจะทำการบันทึกข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้

1. ฟลักซ์ความร้อนจากแหล่งจำลองความร้อน โดยปรับให้ที่ผิวด้านบนของกระจกมีค่าใกล้เคียง 400 , 500 , 600 , 700 และ 800 W/m^2
2. อุณหภูมิของอากาศโดยรอบ อุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง โดยใช้ data logger โดยทำการบันทึกทุก ๆ 5 นาที
3. ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายนอก ทางเข้า ทางออกและภายในตู้อบแห้ง โดยทำการบันทึกทุก ๆ 5 นาที
4. ความเร็วของอากาศภายในห้องทดลอง ตำแหน่งทางเข้าและทางออกตู้อบแห้ง

เพื่อศึกษาการไหลของอากาศที่ตำแหน่งทางเข้าและภายในตู้อบแห้ง ได้ทำการศึกษาจากลักษณะการเคลื่อนที่ของควันธูป เนื่องจากธรรมชาติของควันธูปจะมีการเคลื่อนที่ขึ้นทางด้านบน ลักษณะการไหลของอากาศภายในตู้อบแห้งได้แสดงในรูปที่ 4 และ 5

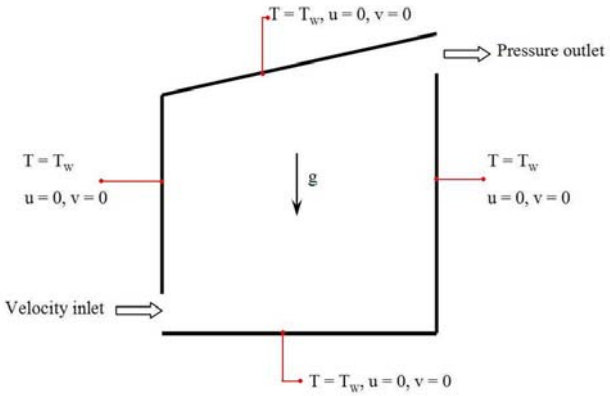
รูปที่ 4 ลักษณะการเคลื่อนที่ของควันธูปเมื่อปิดไฟ

รูปที่ 5 ลักษณะการเคลื่อนที่ของควันธูปเมื่อเปิดไฟ

3. แบบจำลองและเงื่อนไขการคำนวณ

3.1 เงื่อนไขในการคำนวณและเงื่อนไขขอบเขต

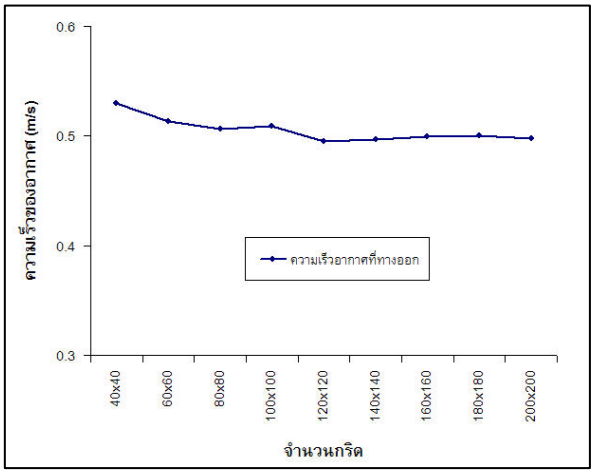
งานวิจัยนี้ได้ใช้การคำนวณพลศาสตร์ของไหล ภายใต้สภาวะคงตัว (Steady state) แบบ 2 มิติ สมการควบคุม (Governing equation) ที่ใช้จะอยู่บนพื้นฐานของการไหลแบบปั่นป่วน โดยใช้แบบจำลอง k - ε ด้วยสมมติฐาน SIMPLE algorithm ในการอธิบาย บนระเบียบวิธีไฟไนต์วอลุม (Finite volume) โดยสมการทั้งหมดประกอบด้วย สมการความต่อเนื่อง (Continuity equation) สมการโมเมนตัม (Momentum equation) และสมการพลังงาน (Energy equation) รูปที่ 6 แสดงรูปร่างและขอบเขตของปัญหาที่ใช้ในการคำนวณ โดยกำหนดขนาดให้เท่ากับตู้อบแห้งที่ทำการสร้างขึ้น



รูปที่ 6 รูปร่างและขอบเขตปัญหาที่ใช้ในการจำลอง

3.2 การกำหนดกริด

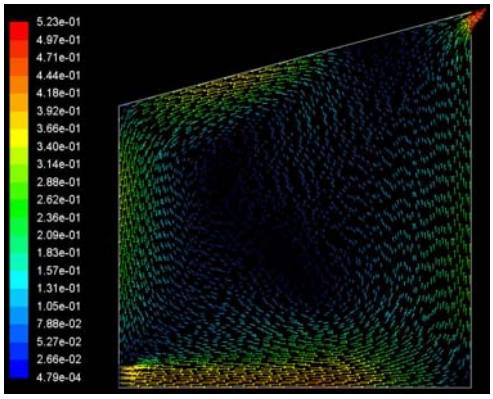
กำหนดจากกริดที่หยาบโดยเริ่มจากจำนวนกริด 40 x 40 ซึ่งเลขตัวแรกเป็นจำนวนกริดในแนวตั้ง และเลขตัวหลังเป็นจำนวนกริดในแนวนอน กำหนดกริดละเอียดขึ้น ไปจนถึง 200 x 200 ทำการจำลองการไหลของอากาศ บันทึกค่าความเร็วของอากาศที่ทางออกจากตู้อบแห้ง เมื่อนำผลที่ได้ไปพล็อตกราฟดังแสดงในรูปที่ 7 พบว่า จำนวนกริด 120 x 120 เป็นจำนวนที่เหมาะสมกับแบบจำลองนี้ จำนวนกริดที่ละเอียดขึ้นไปจากนี้ ค่าความเร็วจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปน้อยมาก



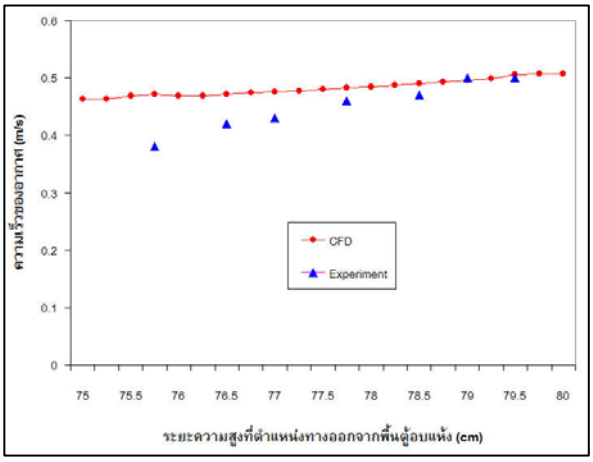
รูปที่ 7 เปรียบเทียบจำนวนกริดกับการเปลี่ยนแปลงความเร็วอากาศที่ตำแหน่งทางออกตู้อบแห้ง

4. ผลการศึกษาและวิเคราะห์

จากการทดลองเพื่อศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของอากาศภายในตู้อบแห้ง จากรูปที่ 4 เมื่อห้องทดลองถูกปิดและไม่เปิดไฟ จึงไม่มีอิทธิพลเนื่องจากความเร็วลมจากภายนอกห้องทดลอง และพบว่าลักษณะการเคลื่อนที่ของควันธูปจะลอยตัวขึ้นสู่ด้านบน ตามธรรมชาติการเคลื่อนที่ของควันธูป แต่เมื่อเริ่มทำการทดลองโดยการเปิดไฟจากแหล่งจำลองฟลักซ์ความร้อน ลักษณะการเคลื่อนที่ของควันธูปจะเริ่มเคลื่อนที่ในแนวราบขนานกับพื้นตู้อบแห้ง เนื่องจากเมื่ออากาศภายในตู้อบแห้งเมื่อได้รับความร้อนจะเกิดการลอยตัวขึ้นด้านบน ส่วนหนึ่งไหลออกทางช่องระบายอากาศออกทางด้านบน แต่อีกส่วนหนึ่งไหลวนกลับลงมาทางด้านล่างทำให้เกิดการไหลวนของอากาศขึ้นภายในตู้อบแห้ง และอากาศที่เย็นกว่าจากภายนอกตู้อบแห้งจะไหลเข้ามาแทนที่อากาศร้อนภายในตู้อบแห้ง สังเกตได้จากรูปที่ 5 ที่ตำแหน่งทางเข้าจะมีการไหลของอากาศเย็นจากภายนอกตู้อบแห้งเข้ามาในแนวขนานกับพื้น จึงทำให้ควันธูปมีลักษณะการเคลื่อนที่ในแนวขนานกับพื้นตู้อบแห้ง และอากาศบางส่วนที่ไหลวนกลับลงมาจะไม่รวมกับอากาศที่ไหลเข้าจากภายนอก จึงทำให้เกิดการพาแบบธรรมชาติเกิดขึ้นภายในตู้อบแห้ง แต่เมื่อทำการจำลองด้วย CFD ดังรูปที่ 8 เป็นเวกเตอร์ความเร็วของอากาศภายในตู้อบแห้ง จะพบว่ามีลักษณะใกล้เคียงกันกับการเคลื่อนที่ของควันธูป และเมื่อเปรียบเทียบผลของความเร็วของอากาศที่ตำแหน่งทางออก ผลที่ได้จากการทดลองและผลจาก CFD มีค่าใกล้เคียงกัน แต่ที่ตำแหน่งทางออกความสูงจากระดับพื้นตู้อบแห้ง 75 ถึง 77 เซนติเมตร ผลจากการทดลองจะน้อยกว่าอาจเนื่องจากว่าอากาศที่ไหลขึ้นมาตามผนังด้านหลัง ไหลขึ้นมาพบกับท่อนเหล็กก่อนจึงทำให้อากาศที่ไหลอ้อมผ่านเหล็กมีความเร็วที่ต่ำกว่าผลการจำลอง ดังแสดงในรูปที่ 9

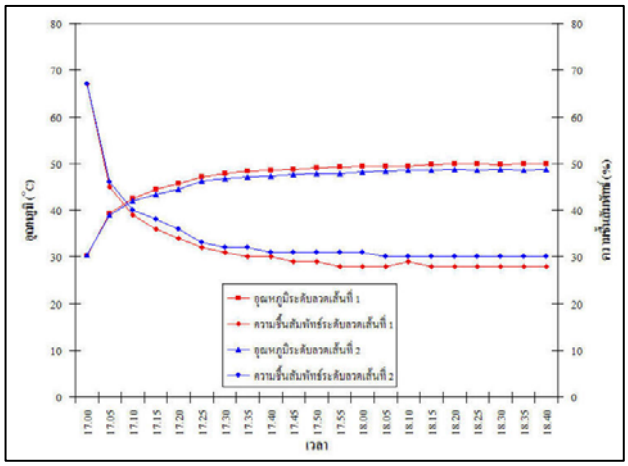


รูปที่ 8 เวกเตอร์ความเร็วของอากาศภายในตู้อบแห้งจาก CFD ที่ฟลักซ์ความร้อน 700 W/m^2



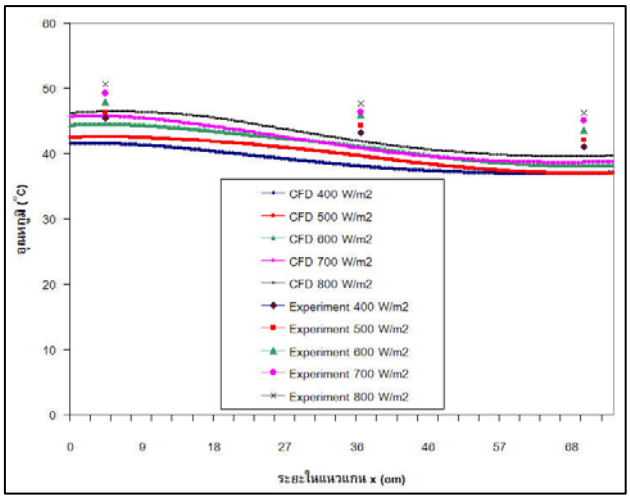
รูปที่ 9 ผลของความเร็วที่ตำแหน่งทางออกตู้อบแห้ง ที่ฟลักซ์ความร้อน 700 W/m^2

จากการทดลองเพื่อศึกษาถึงการกระจายตัวของอุณหภูมิอากาศภายในตู้อบแห้ง ได้ทำการทดลองภายในห้องทดลอง โดยการควบคุมผลกระทบจากความเร็วของอากาศและฟลักซ์ความร้อน จะพบว่าที่ฟลักซ์ความร้อนค่าต่าง ๆ เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง อุณหภูมิและความชื้นภายในตู้อบแห้งเริ่มคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 10 และได้นำค่าเฉลี่ยในช่วงคงที่มาใช้ในการจำลองผลโดย CFD

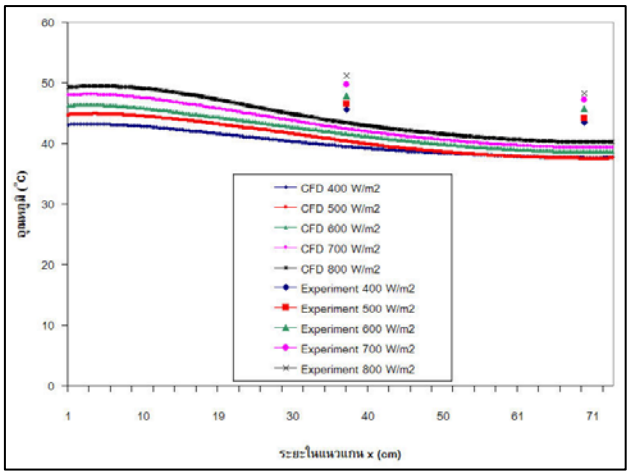


รูปที่ 10 แสดงอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้อบแห้ง

ผลการเปรียบเทียบในรูปที่ 11 และ 12 เป็นผลการเปรียบเทียบของอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งระหว่างผลการทดลองกับผลการจำลองที่ได้จาก CFD ที่ฟลักซ์ความร้อน 400 , 500 , 600 , 700 และ 800 W/m^2 ที่ระดับความสูงจากพื้นตู้อบแห้ง 36 และ 52 เซนติเมตร ตามลำดับ จากการจำลองโดยการกำหนดให้ผิวกระจกด้านล่างออกเป็น 2 กรณี คือ มีค่าฟลักซ์ความร้อนคงที่และอุณหภูมิคงที่ จากผลการจำลองจะพบว่าทั้ง 2 กรณีมีการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงได้เลือกใช้ในกรณีที่อุณหภูมิคงที่ จากผลการจำลองในกรณีที่ค่าฟลักซ์ความร้อนต่าง ๆ จะพบว่ามีแนวโน้มของเส้นกราฟอุณหภูมิที่ระดับความสูงจากพื้นตู้อบแห้งระยะ 36 และ 52 เซนติเมตร ระหว่างผลที่ได้จากการทดลองและผลที่ได้จากการจำลองมีแนวโน้มของเส้นกราฟเหมือนกัน และจากกราฟจะพบว่าผลต่างของอุณหภูมิระหว่างผลการทดลองในแต่ละจุดกับผลการจำลองที่ค่าฟลักซ์ต่าง ๆ ที่ตำแหน่ง x = 5 เซนติเมตร มีค่าประมาณ 6 ถึง 8 เปอร์เซ็นต์ ที่ตำแหน่ง x = 37.5 เซนติเมตร มีค่าประมาณ 10 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ และที่ตำแหน่ง x = 70 เซนติเมตร มีค่าประมาณ 9 ถึง 16 เปอร์เซ็นต์



รูปที่ 11 อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งที่ระดับ y = 36 cm ที่ฟลักซ์ความร้อนค่าต่าง ๆ



รูปที่ 12 อุณหภูมิภายในตู้อบแห้งที่ระดับ y = 36 cm ที่ฟลักซ์ความร้อนค่าต่าง ๆ

5. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาลักษณะการไหลของอากาศและการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งแบบรับรังสีโดยตรง ที่มีการไหลเวียนของอากาศโดยธรรมชาติ และได้ทำการศึกษาภายในห้องทดลองเพื่อควบคุมตัวแปรที่มีผลกระทบกับการทดลอง จากการศึกษาพบว่าลักษณะการไหลของอากาศภายในตู้อบแห้ง ความเร็วของอากาศร้อนที่ออกจากตู้อบแห้ง และการกระจายตัวของอุณหภูมิภายในตู้อบแห้ง ที่ได้จากการจำลองด้วย CFD มีลักษณะแนวโน้มของเส้นกราฟที่ใกล้เคียงกัน และผลต่างของอุณหภูมิที่ได้จากการทดลองและการจำลองมีค่าต่างกันอยู่ระหว่าง 6 ถึง 16 เปอร์เซนต์

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และคณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ ที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือวัด และอุปกรณ์ประกอบการทดลอง และขอขอบคุณอาจารย์ที่ปรึกษาและผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้คำแนะนำสำหรับงานวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Ekechukwu, O.V., Norton, B., “Review of Solar-Energy Drying Systems II: an Overview of Solar Drying Technology,” Energy Conservation & Mangement, Vol. 40, pp. 615-655, 1999.
2. Norton, T., Sun, D.W., Grant, J., Fallon, R., Dodd, V., “Applications of Computational Fluid Dynamics (CFD) in the Modelling and Design of Ventilation Systems in the Agricultural Industry: A Review,” Bioresource Technology, Vol. 98, pp. 2386-2414, 2007.
3. Mirade, P.S., “Prediction of the Air Velocity Field in Modern Meat Dryers Using Unsteady Computational Fluid Dynamics (CFD) Models,” Journal of Food Engineering, Vol. 60, pp.41-48, 2003.
4. Bartzanas, T., Bolard, T., Kittas, C., “Effect of Vent Arrangement on Windward Ventilation of a Tunnel Greenhouse,” Biosystems Engineering, Vol. 88, pp.479-490, 2004.
5. Kittas, C., Bartzanas, T., “Greenhouse Microclimate and Dehumidification Effectiveness Under Different Ventilator Configuration,” Building a Environment, Vol. 42, pp. 3774-3784, 2007.
6. Bartzanas, T., Kittas, C., Sapounas, A.A., Nikita-Martzopoulou, Ch., “Analysis of Airflow Through Experimental Rural Buildings: Sensitivity to Turbulence Models,”
7. Kaya, A., Aydin, O., Dincer, I., “Numerical Modeling of Heat and Mass Transfer During Forced Convection Drying of Rectangular Moist Objects,” International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 49, pp. 3094-3103, 2006.
8. Forson, F.K., Nazha, M.A.A., Rajakaruna, H., “Modelling and Experimental Studies on Mixed-Mode Natural Convection Solar Crop-Dryer,” Solar Energy, Vol. 81, pp. 346-357 , 2007.