



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

อิทธิพลของรูปแบบหลังคาโรงเรือนที่มีผลต่อการไหลเวียนของอากาศภายในโรงเรือน เปิดดอกเห็ดหลินจือโดยใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

Influence of Greenhouse Roof Type Affecting the Air Ventilation in Lingzhi Mushroom House by CFD

พลเทพ เวงสูงเนิน¹, ทยาวิร์ หนูบุญ¹, จาริณี จงปลื้มปิติ¹, สนั่น จันทร์พรหม² และ ณัฐดนัย พรพรรณเจริญวงษ์³

Ponthep Vengsungnle¹, Thayawee Nuboon¹, Jarinee Jongpluempiti¹, Sanan Janprom²

and Nattadon Pannucharoenwong³

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร ²สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

¹Agricultural Machinery Engineering, ²Computer Engineering,

Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan

³ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์พัทยา

³Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Thammasat University, Pattaya Campus.

Received: 12/05/62

Received: 26/11/62

Accepted: 11/12/62

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษารูปแบบของหลังคาโรงเรือนที่มีผลต่อการไหลเวียนของอากาศภายในโรงเรือนเปิดดอกเห็ดหลินจือ โดยใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณในการวิเคราะห์การไหลในสถานะคงตัวของ การกระจายอุณหภูมิและความเร็วของอากาศภายในโรงเรือนจำนวน 5 ชนิดได้แก่ หลังคาแบน หลังคาเพิงหมาแหงน หลังคาแบบผีเสื้อ หลังคาแบบหน้าจั่ว และหลังคาแบบหน้าจั่วสองชั้น ซึ่งในโรงเรือนบรรจุก้อนเชื้อเห็ดได้ 520 ก้อน ผลของการศึกษาแสดงให้เห็นว่าโรงเรือนที่มีหลังคาแบบหลังคาแบน หลังคาเพิงหมาแหงน หลังคาแบบผีเสื้อ หลังคาแบบหน้าจั่ว และหลังคาแบบหน้าจั่วสองชั้น มีความเร็วของอากาศที่ไหลภายในโรงเรือนเฉลี่ย

เท่ากับ 4.39×10^{-9} m/s 5.28×10^{-11} m/s 9.95×10^{-8} m/s 3.75×10^{-10} m/s และ 3.66×10^{-9} m/s ตามลำดับ และมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 302.363 K 302.337 K 302.209 K 302.517 K และ 302.015 K ตามลำดับ

คำหลัก: พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ, โรงเรือนเห็ด, เห็ดหลินจือ, การระบายอากาศ

Abstract

This paper aims to study the roof type of mushroom house that affects the ventilation of house of *Ganoderma lucidum* using the Computational Fluid Dynamics to analyze the steady-state flow of temperature distribution and air velocity in 5 types of the house: flat roof, shed roof, butterfly roof, gable roof, and double gable roof. A mushroom house contains 520 bags. The results showed the house with a flat roof, shed roof, butterfly roof, gable roof, and double gable roof, that have average air flow velocity in the house of 4.39×10^{-9} m/s 5.28×10^{-11} m/s 9.95×10^{-8} m/s 3.75×10^{-10} m/s and 3.66×10^{-9} m/s, respectively. The average temperatures are 302.363 K 302.337 K 302.209 K 302.517 K and 302.015 K, respectively.

Keywords: Computational Fluid Dynamics, mushroom house, Lingzhi, Ventilation

*ติดต่อ: ponthep.ve@rmuti.ac.th, เบอร์โทรศัพท์ 086653917

1. บทนำ

การเพาะเห็ดหลินจือเริ่มจากการผสมก้อนเชื้อ จากนั้นบ่มก้อนเชื้อให้ได้ระยะเวลาตามที่ต้องการจึงนำเอาก้อนเชื้อเห็ดไปเปิดดอกในโรงเรือน ซึ่งโรงเรือนที่เปิดดอกเห็ดจำเป็นต้องมีการควบคุมตัวแปรที่สำคัญ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ และการไหลเวียนของอากาศ [1, 2] ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จะมีผลต่อความสมบูรณ์ของดอกเห็ด [3, 4, 5] อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงในโรงเรือนมีแหล่งความร้อนจากการหายใจของพืชและการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์หากไม่มีการทำให้เกิดการไหลเวียนของอากาศจากภายในสู่ภายนอกจะทำให้พืชเติบโตไม่ดี และความชื้นเป็นปัจจัยพื้นฐานของพืชแต่หากภายในโรงเรือนมีความชื้นที่สูงก็จะนำมาซึ่งโรคพืชได้ ดังนั้นการออกแบบและสร้างโรงเรือนที่มีการระบายอากาศที่ดีจึงเป็นสิ่งที่สำคัญเนื่องจากการทำให้สามารถควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมาได้ง่าย

ปี 1997 A. Mistriotis และคณะ [6, 7] ได้นำเอาพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณมาใช้ในการวิเคราะห์อากาศที่ไหลแบบบังคับผ่านโรงเรือนที่มีการออกแบบที่แตกต่างกัน ซึ่งผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการนำเอาสมการ $k-\epsilon$ มาใช้ในการวิเคราะห์สมการการปั่นป่วนของอากาศมีผลการวิเคราะห์ใกล้เคียงกับการทดสอบ ในปีเดียวกันยังได้นำเสนอการวิเคราะห์อากาศที่ไหลแบบอิสระในโรงเรือนด้วยเช่นกัน ซึ่งการไหลเวียนแบบนี้เกิดจากความแตกต่างของความดันหรือความแตกต่างของอุณหภูมิ โดยที่รูปทรงของโรงเรือน จำนวนหน้าต่างและประตูมีผลอย่างยิ่งต่อการไหลเวียนของอากาศทั้งสิ้น [8]

ในปี 2006 มีการศึกษาในลักษณะที่คล้ายๆ กัน คือนำเอาพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณมาใช้วิเคราะห์

ประสิทธิภาพการไหลเวียนของอากาศของโรงเรือนที่มีการเปิดช่องใต้หลังคาในแบบต่างๆ กันแบบ 2 มิติ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการออกแบบหลังคาที่แตกต่างกันจะส่งผลให้ความแตกต่างของความเร็วในจุดที่สนใจมีค่าตั้งแต่ 0.1 ถึง 0.5 m/s และมีอุณหภูมิแตกต่างกันระหว่าง 2 ถึง 6 °C นั้นหมายถึงการเลือกใช้ชนิดของหลังคาของโรงเรือนเป็นตัวแปรที่สำคัญอย่างยิ่งต่อการไหลเวียนของอากาศภายในโรงเรือน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tomás Norton และคณะ ได้สรุปถึงการใช้อนุศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณในการวิเคราะห์อากาศภายในโรงเรือน และปัจจัยที่ผลต่อการไหลเวียนของอากาศภายในโรงเรือน [9]

ดังนั้นการศึกษาในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่อิทธิพลของรูปแบบหลังคาโรงเรือนที่มีผลต่อการไหลเวียนของอากาศภายในโรงเรือนเปิดดอกเห็ดหลินจือโดยใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง และวิธีดำเนินการวิจัย

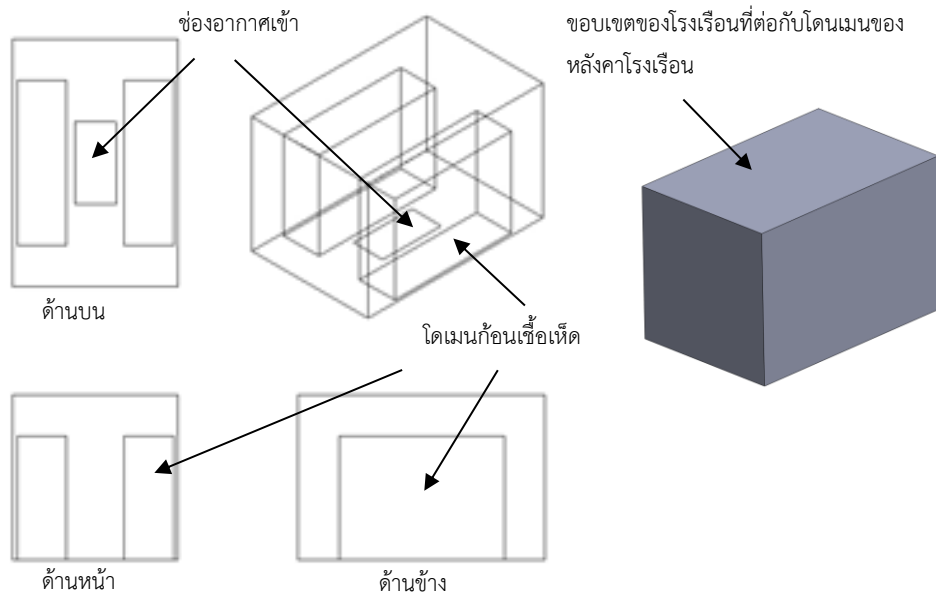
2.1 การเปิดดอกเห็ดหลินจือ

การเพาะเห็ดมีกระบวนการเบื้องต้นได้แก่ การเตรียมวัสดุทางการเกษตรและทำการฆ่าเชื้อโดยการนึ่ง จากนั้นนำเอาเชื้อเห็ดมาหยอดใส่ถุงที่บรรจุวัสดุทางการเกษตร นำเอาถุงที่บรรจุไปบ่มเพื่อให้เชื้อเห็ดมีการเติบโต จากนั้นจึงนำมาเปิดดอกและเก็บผลผลิต [10, 11, 12, 13, 14] ซึ่งเห็ดหลินจือก็มีกระบวนการผลิตตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น โดยในบทความนี้เป็นการศึกษาเพียงแค่การไหลเวียนของอากาศภายในโรงเรือนเปิดดอกเห็ดเท่านั้น

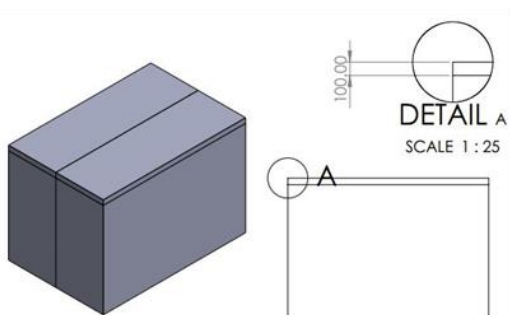
2.2 รูปแบบของหลังคาโรงเรือน

โรงเรียนที่นำมาใช้ในการศึกษาเป็นโรงเรียนเปิด
ดอกที่มีขนาดเท่ากับ $2\text{ m} \times 3\text{ m} \times 2\text{ m}$ ดังรูปที่ 1 พื้น
โรงเรียนกำหนดให้มีช่องขนาด $0.5\text{ m} \times 1.0\text{ m}$ ภายใน
โรงเรียนมีโดเมนขนาด $0.6\text{ m} \times 2.0\text{ m} \times 1.5\text{ m}$ จำนวน
2 โดเมน ซึ่งถูกกำหนดไว้บริเวณสองข้างของโรงเรียน
แทนก้อนเชื้อเห็ดจำนวน 520 ก้อน ในแต่ละก้อนคาย
ความร้อนด้วยอัตรา 0.036 W/m^3 เนื่องจากอัตราการ
หายใจของเห็ด แผนภาพของโรงเรียนสามารถแสดงได้
ดังรูปที่ 1

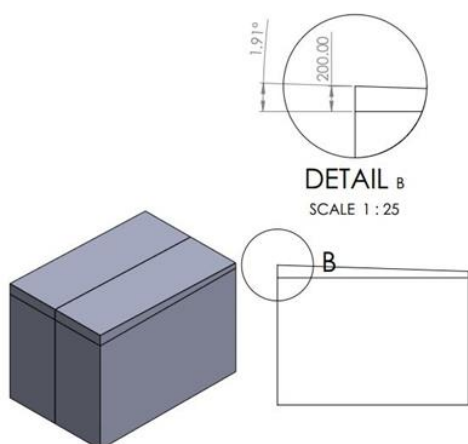
ในการวิเคราะห์จะแตกต่างกันที่รูปแบบของการมุง
หลังคา ซึ่งรูปแบบของหลังคาโรงเรียนที่ถูกนำมาใช้
ในการวิเคราะห์ในบทความนี้ประกอบไปด้วย 5 รูปแบบ
ได้แก่ หลังคาเรียบ (flat roof) หลังคาเพิงหมาแหงน
(shed roof) หลังคาปีกผีเสื้อ (butterfly roof) หลังคา
จั่ว (gable roof) และหลังคาจั่วสองชั้น (double
gable roof) ดังรูปที่ ถึงรูปที่ ตามลำดับ



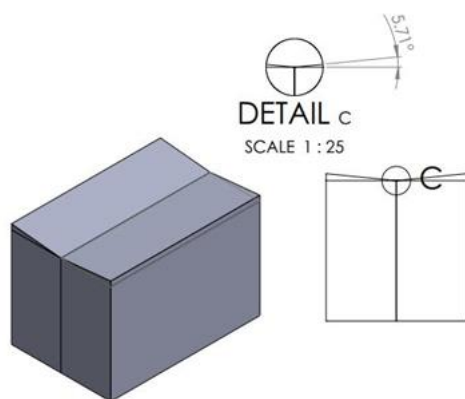
รูปที่ 1 ขนาดของโรงเรียนที่ใช้ในการวิเคราะห์



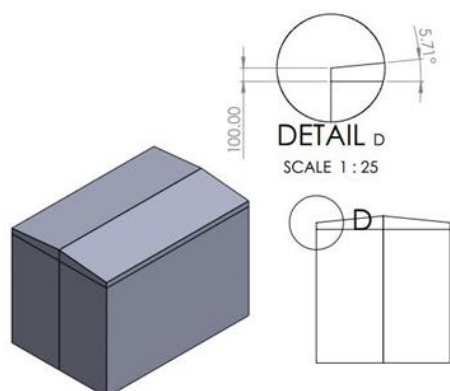
รูปที่ 2 โดเมนของเห็ดภายในโรงเรียนแบบหลังคาเรียบ (flat)



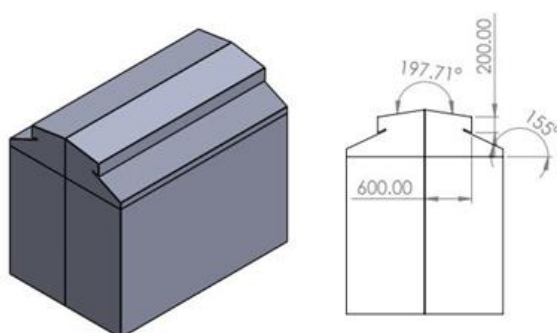
รูปที่ 3 โดเมนของไหลภายในโรงเรือนแบบหลังเพิงหมาแหงน (shed)



รูปที่ 4 โดเมนของไหลภายในโรงเรือนแบบหลังคาปีกผีเสื้อ (butterfly)



รูปที่ 5 โดเมนของไหลภายในโรงเรือนแบบหลังจั่ว (gable)



รูปที่ 6 โดเมนของไหลภายในโรงเรือนแบบหลังคาจั่วสองชั้น (double gable)

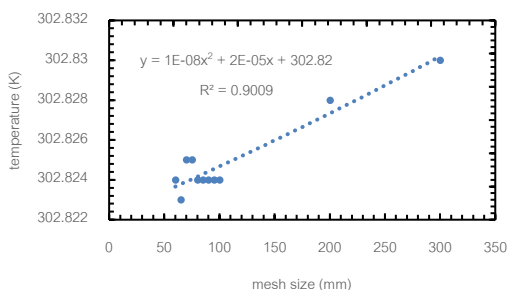
2.3. พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

การวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณในการศึกษานี้กำหนดให้เป็นการวิเคราะห์แบบสภาวะคงตัว (steady state) สมการที่ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์เป็นไปตามกฎการอนุรักษ์กฎการอนุรักษ์มวล (conservation of mass) กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม (conservation of momentum) และกฎการอนุรักษ์พลังงาน (conservation of energy) [15, 16, 17, 18, 19] ซึ่งสามารถนำเสนอได้ในรูปแบบของสมการที่ (1)

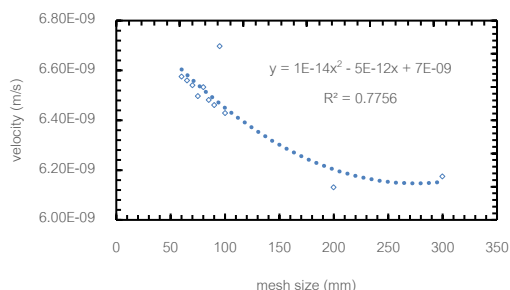
$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot \phi \vec{v} = \vec{\nabla} \cdot (\Gamma_{\phi} \vec{\nabla} \phi) + S_{\phi} \quad (1)$$

กำหนดให้ภายในโรงเรือนมีชั้นวางเห็ดจำนวนสองชั้น ชุดที่มีขนาดเท่ากับ 0.6 m x 2.0 m x 1.5 m แทนขนาดของก้อนเชื้อเห็ดทั้งหมดโดยมีการหายใจทำให้เกิดการปลดปล่อยพลังงานความร้อนที่มีค่าเท่ากับ 0.036 W/m³ โดยได้จากการวัดด้วยเครื่องวัดความร้อนโดยภาพถ่าย (thermos scan) มีอุณหภูมิบรรยากาศเท่ากับ 288 K โรงเรือนรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ที่มีอุณหภูมิเท่ากับ 303 K การไหลของอากาศที่เกิดขึ้นจากการพาความร้อนอิสระ (free convection) [20] โดเมนของโรงเรือนที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ถูกกำหนดให้มีขนาดเท่ากับ 2 m x 3 m x 2 m โดยจะเชื่อมต่อกับโดเมนของหลังคาโรงเรือนทั้ง 5 รูปแบบได้แก่ หลังคาเรียบ (flat roof) หลังคาเพิง

หมาแหงน (shed roof) หลังคาปีกผีเสื้อ (butterfly roof) หลังคาจั่ว (gable roof) และหลังคาจั่วสองชั้น (double gable roof) เงื่อนไขในการวิเคราะห์การวิเคราะห์เป็นแบบสภาวะคงตัว (Steady State) ใช้คุณสมบัติของอากาศในการวิเคราะห์วิเคราะห์เป็นแบบ 3 มิติวิเคราะห์โดยคิดรวมแรงโน้มถ่วงของโลก มีการวิเคราะห์สมการอนุรักษ์พลังงาน ในการคำนวณกำหนดให้เงื่อนไขที่จะทำให้เข้าสู่ค่าตอบซึ่งกำหนดให้ค่า residual RMS error เท่ากับ 10^{-6} และค่า imbalance ต้องมีค่าน้อยกว่า 1% การวิเคราะห์เริ่มจากการทำกระบวนการ mesh independency เพื่อหาเอลิเมนต์ที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้ในการศึกษา [21] โดยใช้แบบจำลองหลังคาเรียบศึกษา ผลการทดสอบเบื้องต้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 7 และรูปที่



รูปที่ 7 อิทธิพลของขนาดเอลิเมนต์ที่มีผลต่ออุณหภูมิภายในโรงเรือนเฉลี่ย



รูปที่ 8 อิทธิพลของขนาดเอลิเมนต์ที่มีผลต่อความเร็วเฉลี่ยภายในโรงเรือนเฉลี่ย

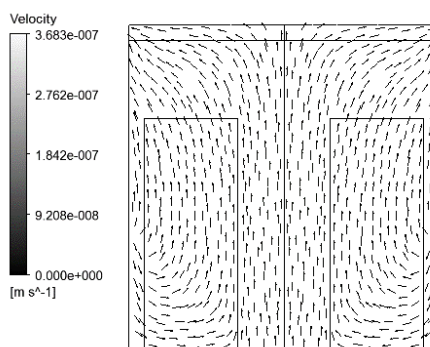
จากรูปที่ 7 และรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่าขนาดของเอลิเมนต์ที่ทำให้ผลเฉลี่ยของอุณหภูมิและความเร็วเฉลี่ยมีความเสถียรคือขนาดเท่ากับ 95 mm แบ่งเอลิเมนต์พิจารณาจากค่าของความฉากของเอลิเมนต์ (orthogonal quality) ซึ่งเอลิเมนต์จะมีคุณภาพดีเมื่อมีค่าความฉากสูง [21] หรือมีค่าเข้าใกล้ 1 และคุณภาพต่ำเมื่อมีค่าเข้าใกล้ 0 [22] คุณภาพเอลิเมนต์ของแบบจำลองโรงเรือนที่มีหลังคาที่แตกต่างกันทั้ง 5 รูปแบบสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 คุณภาพเอลิเมนต์ของแบบจำลอง

รูปแบบ	Orthogonal Quality
หลังคาเรียบ (flat)	0.853 ± 0.089
หลังคาเพิงหมาแหงน (shed)	0.853 ± 0.089
หลังคาปีกผีเสื้อ (butterfly)	0.854 ± 0.089
หลังคาจั่ว (gable)	0.854 ± 0.089
หลังคาจั่วสองชั้น (double gable)	0.855 ± 0.087

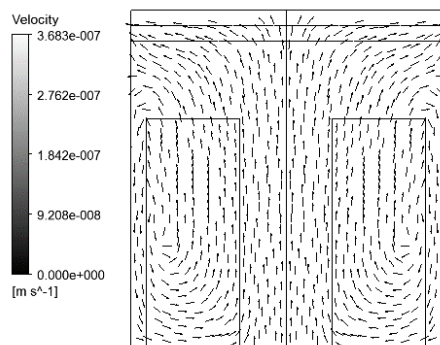
3. ผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์การไหลเวียนของอากาศภายในโรงเรือนเปิดดอกเห็ดหลินจือด้วยระเบียบวิธีการพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณแล้วผลของการวิเคราะห์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 28 ถึงรูปที่ 29



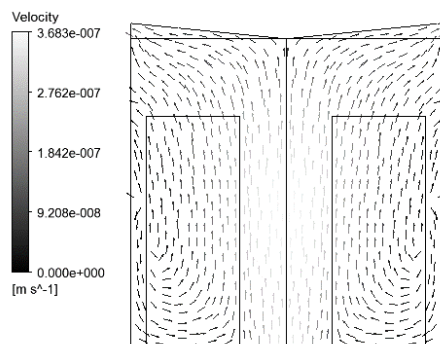
รูปที่ 9 เวกเตอร์การไหลของอากาศภายในโรงเรือนหลังคาเรียบ

ระนาบกึ่งกลางในทิศทาง Z



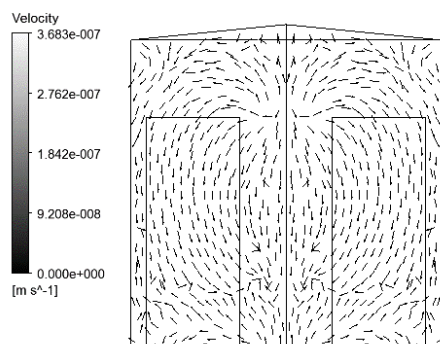
รูปที่ 10 เวกเตอร์การไหลของอากาศภายในโรงเรือนหลังคาเพิง

หมาแหงนระนาบกึ่งกลางในทิศทาง Z



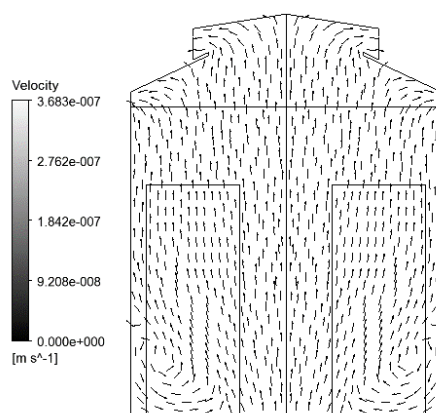
รูปที่ 11 เวกเตอร์การไหลของอากาศภายในโรงเรือนหลังคาปีก

ผีเสื้อระนาบกึ่งกลางในทิศทาง Z



รูปที่ 12 เวกเตอร์การไหลของอากาศภายในโรงเรือนหลังคาจั่ว

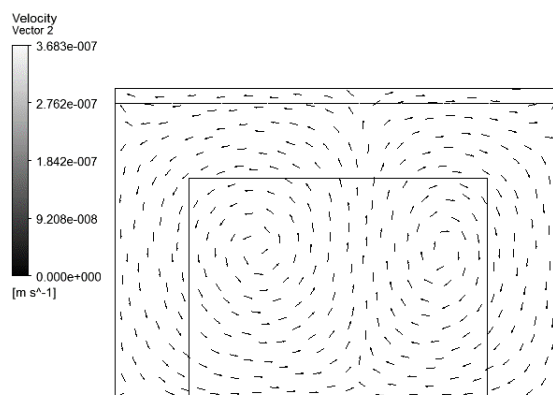
ระนาบกึ่งกลางในทิศทาง Z



รูปที่ 13 เวกเตอร์การไหลของอากาศภายในโรงเรือนหลังคาจั่วสอง

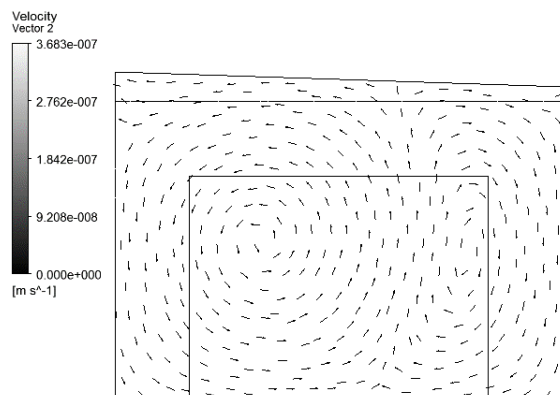
ชั้นระนาบกึ่งกลางในทิศทาง Z

รูปที่ 9 ถึงรูปที่ 13 แสดงให้เห็นการไหลเวียนของอากาศภายในโรงเรือนโดยเวกเตอร์ความเร็วแสดงให้เห็นทราบว่ารูปแบบที่ทำให้มีความเร็วของอากาศสูงสุดเท่ากับ 2.74×10^{-7} m/s และมีความเร็วเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 9.95×10^{-8} m/s คือหลังคาปีกผีเสื้อซึ่งทิศทางของอากาศจะไหลวนด้านข้างของโรงเรือน

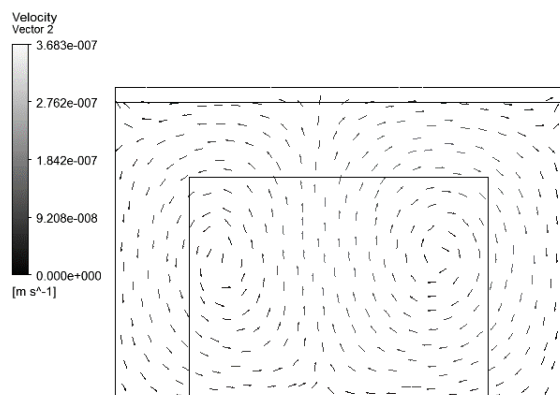


รูปที่ 14 เวกเตอร์การไหลของอากาศภายในโรงเรือนหลังคาเรียบ

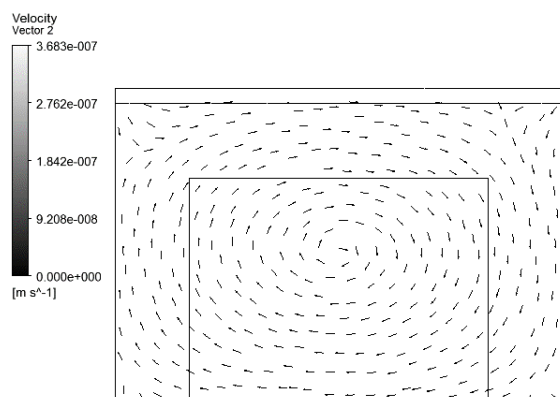
ระนาบกึ่งกลางในทิศทาง X



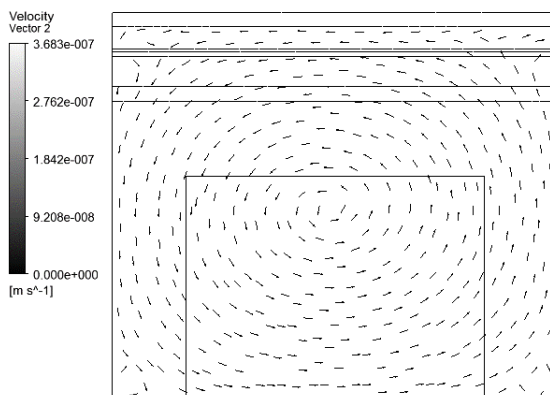
รูปที่ 15 เวกเตอร์การไหลของอากาศภายในโรงเรือนหลังคาเพิง
หมาแหงนระนาบกึ่งกลางในทิศทาง X



รูปที่ 16 เวกเตอร์การไหลของอากาศภายในโรงเรือนหลังคาปีกผี
เสื้อเรียบระนาบกึ่งกลางในทิศทาง X

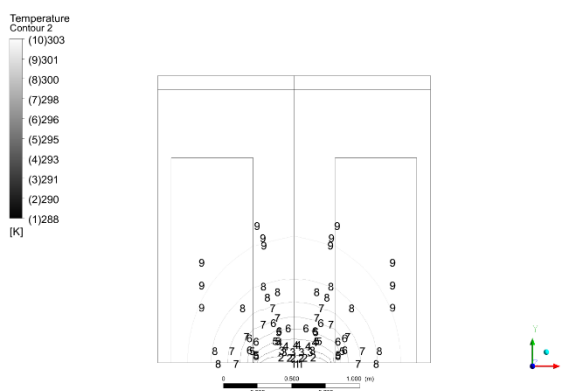


รูปที่ 17 เวกเตอร์การไหลของอากาศภายในโรงเรือนหลังคาจั่ว
เรียบระนาบกึ่งกลางในทิศทาง X

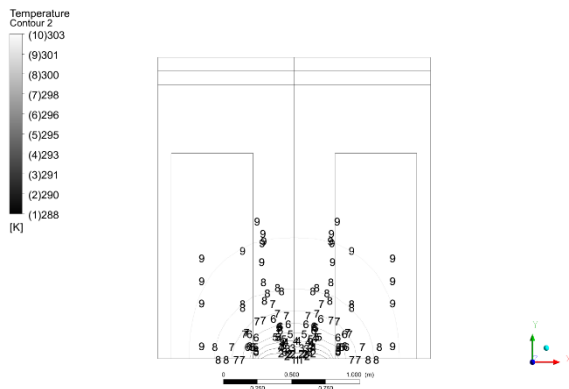


รูปที่ 18 เวกเตอร์การไหลของอากาศภายในโรงเรือนหลังคาจั่ว
สองชั้นเรียบระนาบกึ่งกลางในทิศทาง X

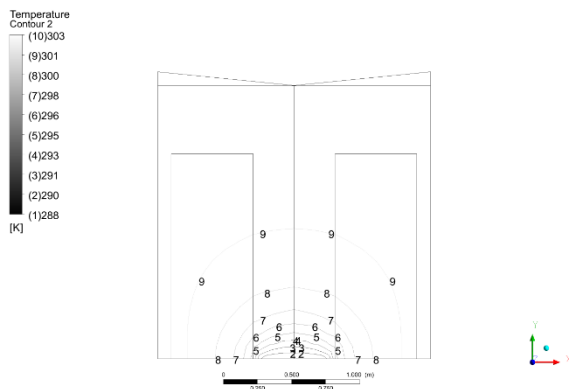
รูปที่ 14 ถึงรูปที่ 18 เวกเตอร์การไหลของอากาศภายในโรงเรือนที่มุงหลังคาทั้ง 5 รูปแบบที่ระนาบกึ่งกลางในทิศทาง X ผลการวิเคราะห์ที่ได้คือทิศทางการไหลของอากาศของโรงเรือนหลังคาเรียบ เพิงหมาแหงน และแบบผีเสื้อมีการไหลแบบสมมาตรในระนาบ XY ซึ่งจะทำให้ความชื้นมีแนวโน้มที่จะกระจายออกด้านข้าง ส่วนแบบหลังคาจั่ว และจั่วสองชั้นทิศทางของอากาศจะมีลักษณะไหลวนในระนาบ XY ซึ่งจะทำให้ความชื้นมีแนวโน้มที่จะกระจายทั่วโรงเรือน โดยมีศูนย์กลางอยู่บริเวณกึ่งกลางของโรงเรือน



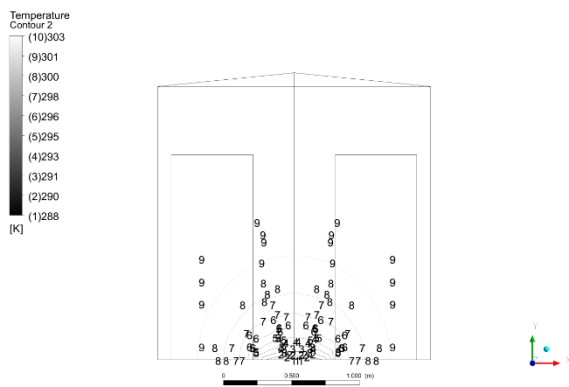
รูปที่ 19 เคนส์แสดงอุณหภูมิภายในโรงเรือนหลังคาเรียบระนาบกึ่งกลางในทิศทาง Z



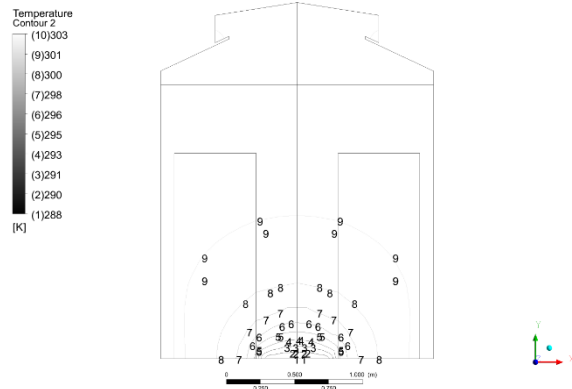
รูปที่ 20 เคนส์แสดงอุณหภูมิภายในโรงเรือนหลังคาเพิงหมาแหงน
ระนาบกึ่งกลางในทิศทาง Z



รูปที่ 21 เคนส์แสดงอุณหภูมิภายในโรงเรือนหลังคาปีกผีเสื้อระนาบ
กึ่งกลางในทิศทาง Z

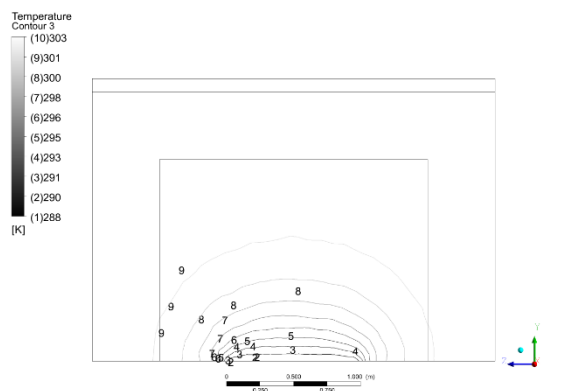


รูปที่ 22 เคนส์แสดงอุณหภูมิภายในโรงเรือนหลังคาจั่วระนาบ
กึ่งกลางในทิศทาง Z

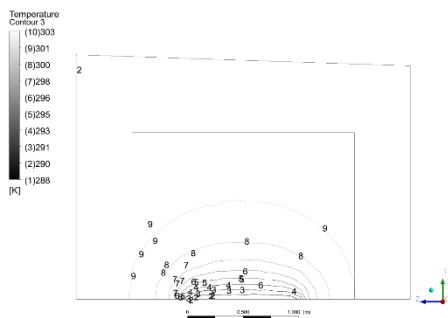


รูปที่ 23 เคนส์แสดงอุณหภูมิภายในโรงเรือนหลังคาจั่วสองชั้น
ระนาบกึ่งกลางในทิศทาง Z

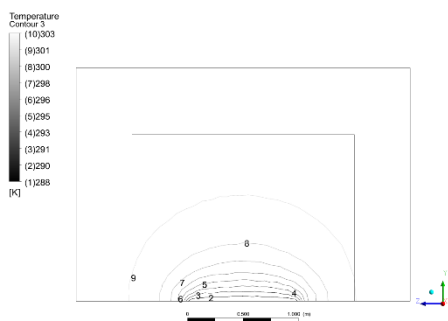
การกระจายอุณหภูมิของโรงเรือนเปิดดอกเห็ด
หลังจื่อที่มุงหลังคาทั้ง 5 รูปแบบถึงแสดงเป็นเคนส์ ซึ่งรูป
ที่ 19 ถึงรูปที่ 23 แสดงเคนส์แสดงอุณหภูมิภายในโรงเรือน
หลังคาจั่วสองชั้นระนาบกึ่งกลางในทิศทาง Z ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโรงเรือนที่มุงด้วยหลังคาแบบหน้าจั่วสองชั้นมี
อุณหภูมิต่ำสุดที่ 302.57 K และมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ
302.02 K เมื่อเปรียบเทียบกันทั้ง 5 รูปแบบแล้วจะมีค่าต่ำ
ที่สุด



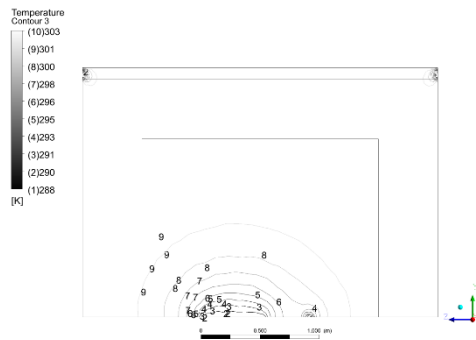
รูปที่ 24 เคนส์แสดงอุณหภูมิภายในโรงเรือนหลังคาเรียบระนาบ
กึ่งกลางในทิศทาง X



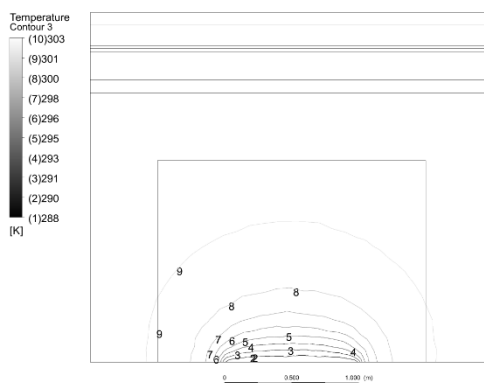
รูปที่ 25 เคนส์แสดงอุณหภูมิภายในโรงเรือนหลังคาเพิงหมาแหงน
ระนาบกึ่งกลางในทิศทาง X



รูปที่ 26 เคนส์แสดงอุณหภูมิภายในโรงเรือนหลังคาปีกผีเสื้อระนาบ
กึ่งกลางในทิศทาง X

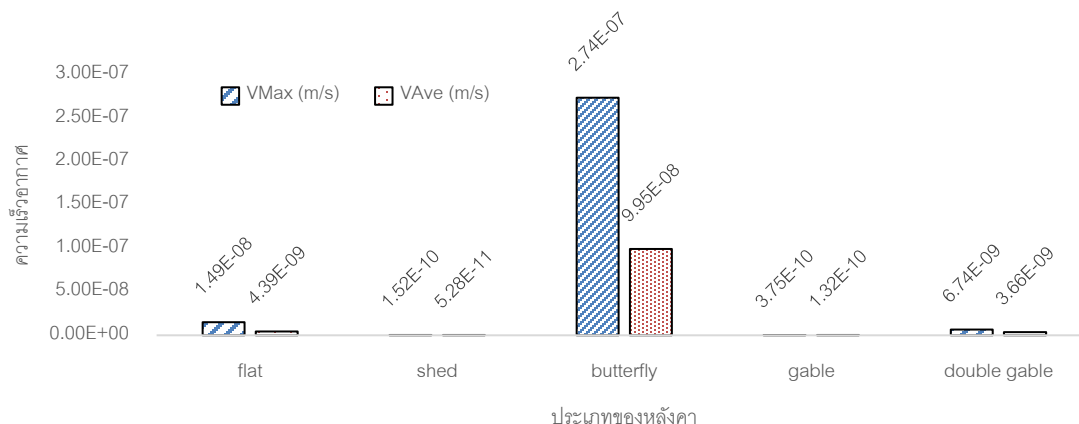


รูปที่ 27 เคนส์แสดงอุณหภูมิภายในโรงเรือนหลังคาจั่วระนาบ
กึ่งกลางในทิศทาง X

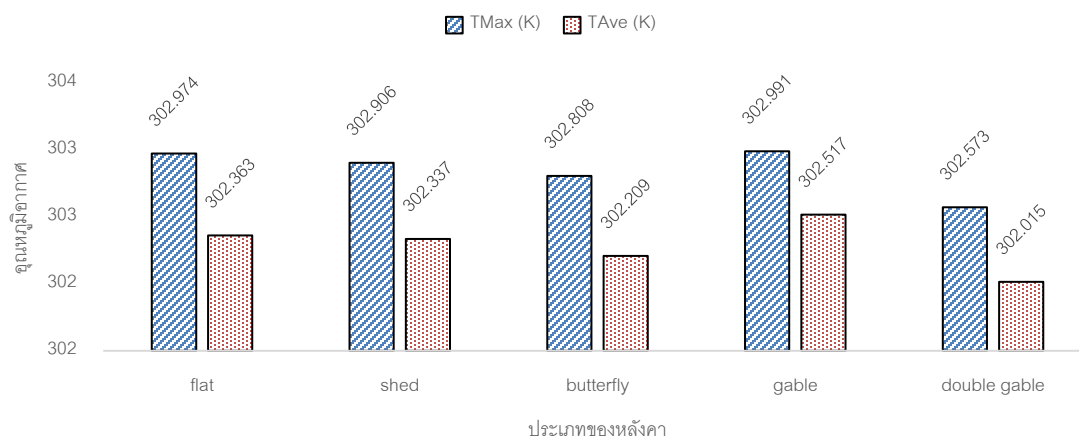


รูปที่ 28 เคนส์แสดงอุณหภูมิภายในโรงเรือนหลังคาจั่วสองชั้น
ระนาบกึ่งกลางในทิศทาง X

หากพิจารณาถึงอุณหภูมิภายในโรงเรือนหลังคาจั่วสองชั้นระนาบกึ่งกลางในทิศทาง X ดังรูปที่ 24 ถึงรูปที่ 28 แล้วจะเห็นว่าหลังคาแบบจั่วสองชั้นจะมีการกระจายอุณหภูมิที่ครอบคลุมพื้นที่ส่วนที่เปิดดอกเห็นมากกว่ารูปแบบอื่นซึ่งผลของการวิเคราะห์สามารถแสดงเป็นกราฟความเร็ว และอุณหภูมิได้ดังError! Reference source not found. และรูปที่ 30 ตามลำดับ



รูปที่ 29 ความเร็วของอากาศภายในโรงเรือนที่มีการมุงหลังคาในแต่ละรูปแบบ



รูปที่ 30 อุณหภูมิของอากาศภายในโรงเรือนที่มีการมุงหลังคาในแต่ละรูปแบบ

4. สรุปและอภิปรายผล

บทความนี้แสดงถึงการศึกษาชนิดของหลังคาโรงเรือนที่มีผลต่อการไหลเวียนของอากาศภายในโรงเรือนเปิด ดอกเห็ดหลินจือด้วยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ โดยโรงเรือนมีขนาดเท่ากับ $2 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ โดยจะเชื่อมต่อกับโดเมนของไหลของหลังคาโรงเรือนทั้ง 5 รูปแบบได้แก่ หลังคาเรียบ (flat roof) หลังคาเพิงหมาแหงน (shed roof) หลังคาปีกผีเสื้อ (butterfly roof) หลังคาจั่ว (gable roof) และหลังคาจั่วสองชั้น (double gable roof) หากพิจารณาการไหลเวียนของอากาศภายในโรงเรือนระนาบกึ่งกลาง

ในทิศทาง Z เวกเตอร์ความเร็วแสดงให้เห็นว่ารูปแบบที่ทำให้มีความเร็วของอากาศสูงสุดเท่ากับ $2.74 \times 10^{-7} \text{ m/s}$ และมีความเร็วเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ $9.95 \times 10^{-8} \text{ m/s}$ คือหลังคาปีกผีเสื้อซึ่งทิศทางของอากาศจะไหลวนด้านข้างของโรงเรือนซึ่งอาจจะนำเอาความชื้นบริเวณพื้นขึ้นไปหาชุดเพาะเห็ดได้ เวกเตอร์การไหลที่ระนาบกึ่งกลางในทิศทาง X แสดงให้เห็นว่าทิศทางการไหลของอากาศของโรงเรือนหลังคาเรียบ เพิงหมาแหงนและแบบผีเสื้อมีการไหลแบบสมมาตรในระนาบ XY ส่วนแบบหลังคาจั่ว และจั่วสองชั้นทิศทางของอากาศจะมีลักษณะไหลวนใน

ระนาบ XY นั้นหมายถึงหากมีความชื้นที่พื้นก็อาจจะถูกพาไปโดยอากาศได้ดี

เมื่อพิจารณาเจดสีอุณหภูมิภายในโรงเรือนที่ระนาบกึ่งกลางในทิศทาง Z แสดงให้เห็นว่าโรงเรือนที่มุงด้วยหลังคาแบบหน้าจั่วสองชั้นมีอุณหภูมิต่ำสุดที่ 302.57 K และมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 302.02 K เมื่อเปรียบเทียบกับทั้ง 5 รูปแบบแล้วจะมีค่าต่ำที่สุด และเจดสียังแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิภายในโรงเรือนหลังคาจั่วสองชั้นระนาบกึ่งกลางในทิศทาง X มีการกระจายอุณหภูมิที่ครอบคลุมพื้นที่ส่วนที่เปิดดอกเห็ดมากกว่ารูปแบบอื่น ซึ่งจะช่วยให้เห็ดได้รับความชื้นได้ดี จากผลการศึกษานี้จะถูกนำไปใช้ในการออกแบบโรงเรือนเปิดดอกเห็ดหลินจือเพื่อเพิ่มการไหลเวียนของอากาศ ลดอุณหภูมิและป้องกันการเกิดโรคต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ตามสัญญาเลขที่ NKR25561REV044 ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ที่กรุณาเอื้อเฟื้อเครื่องมือทดสอบและสถานที่ที่ใช้ในการศึกษา ขอขอบพระคุณหน่วยวิจัยด้านการออกแบบเชิงกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่อนุเคราะห์ผลการวิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Wikipedia. Fungiculture [Internet]. [cited 2017 March]. Available from: <https://en.wikipedia.org/wiki/Fungiculture>.
- [2] Hopper E. The Basics of Greenhouse Ventilation [Internet], Garden & Greenhouse. [cited 2012 June 5]. Available from: <http://www.gardenandgreenhouse.net/articles/july-august-2012/the-basics-of-greenhouse-ventilation/>.
- [3] Briones GL, et al. Storage of common mushroom under controlled atmospheres. International Journal of Food Science & Technology 1992; 27(5): 493-505.
- [4] Lambert EB. Effect of Excess Carbon Dioxide on Growing Mushrooms. Journal of Agricultural Research 1993 47(8): 599-608.
- [5] Lee HY, et al. Effects of Aeration of Sawdust Cultivation Bags on Hyphal Growth of *Lentinula edodes*. Mycobiology 2012; 40(3): 164-7.
- [6] Mistriotis A, et al. Analysis of the efficiency of greenhouse ventilation using computational fluid dynamics. Agricultural and Forest Meteorology 1997; 85(3-4): 217-28.
- [7] Curvetto N, Delmatro S, Figlas D, Mockel G, Gonzalez MR. Mushroom Grower Handbook 1: Oyster Mushroom Cultivation. Korea: MushWorld-Heineart Inc; 2004.
- [8] Mistriotis A , et al. Computational analysis of ventilation in greenhouses at zero- and low-wind-speeds. Agricultural and Forest Meteorology 1997; 88(1-4): 121-35.

- [9] Norton T , et al. Applications of computational fluid dynamics (CFD) in the modelling and design of ventilation systems in the agricultural industry: A review. *Bioresource Technology* 2007; 98(12): 2386-414.
- [10] The Pennsylvania State University, College of Agriculture, Extension Service, University Park, Pennsylvania [Internet], Growing mushroom. [cited 2016 November] Available from: <http://www.mushroominfo.com/growing-mushrooms/six-steps-to-mushroom-farming/>.
- [11] Harris B. *Growing Wild Mushrooms: A Complete Guide to Cultivating Edible and Hallucinogenic Mushrooms*. Oakland: Ronin Publishing Inc; 2003.
- [12] Coriander E. *How to Grow Mushrooms: Grow Your Own Mushrooms Garden Guide* [Internet]. Available from <https://sites.google.com/site/sites/system/errors/SiteDisabledOwnerAccount>.
- [13] Oei P. *Small-scale Mushroom Cultivation*. Netherlands: Agromisa Foundation and CTA; 2005.
- [14] Russell S. *The Essential Guide to Cultivating Mushrooms: Simple and Advanced Techniques for Growing Shiitake, Oyster, Lion's Mane, and Maitake Mushrooms at Home*. North Adams: Storey Publishing; 2014.
- [15] Versteeg HK, Malalasekera W. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics*. England: Pearson Education Limited; 2007.
- [16] Petrilă T, Trif D, Brezinski C. *Basics of Fluid Mechanics and Introduction to Computational Fluid Dynamics*. Boston: Springer Science + Business Media Inc; 2005.
- [17] Wendt JF. *Computational Fluid Dynamics An Introduction*. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg; 2009.
- [18] Lomax H, Pulliam TH, Zingg DW. *Fundamentals of Computational Fluid Dynamics*. California: NASA Ames Research Center; 1999.
- [19] Pozrikidis C. *Introduction to Theoretical and Computational Fluid Dynamics*. New York: Oxford University Press Inc; 2011.
- [20] Yeoh GH, Yuen KK. *Computational Fluid Dynamics in Fire Engineering*. Burlington: Elsevier Inc; 2009.
- [21] Boz Z, Erdogan F, Tutar M. Effects of mesh refinement, time step size and numerical scheme on the computational modeling of temperature evolution during natural-convection heating. *Journal of Food Engineering* 2014; 123: 8–16.
- [22] Zhang Y, Jia Y, Wang SS. An improved nearly-orthogonal structured mesh generation system with smoothness control functions.

Journal of Computational Physics 2012;
231(16): 5289-305.

- [23] Accuracy, Convergence and Mesh Quality
[Internet]. (cited 2012 June). Available from:
[http://www.pointwise.com/theconnector/May-
2012/Mesh-Quality.shtml](http://www.pointwise.com/theconnector/May-2012/Mesh-Quality.shtml).