



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การศึกษาความเหมาะสมของการอบแห้งสำหรับพืชกัญชง  
โดยวิธีการพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณภายใต้สภาวะสุญญากาศ

A Study of Optimization Drying for Hemp

by Computational Fluid Dynamic Method Under Vacuum Conditions

ชาตรี เป้นตามวา<sup>1)</sup> อภิชาติ อัจฉนาเสียว<sup>2)\*</sup> เกียรติกร นาบุตดา<sup>3)</sup> และ สมควร แวดดี<sup>4)</sup>

Chatree Pentamwa<sup>1)</sup>, Apichart Artnaseaw<sup>2)\*</sup>, Kriengkrai Nabudda<sup>3)</sup> and Somkuan Vaodee<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมนวัตกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

123 ถนนมิตรภาพ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

<sup>2)</sup> ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

123 ถนนมิตรภาพ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002

<sup>3)</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเชียงราย

199 หมู่ 6 อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย 57000

<sup>4)</sup> ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

39 หมู่ 1 อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12110

<sup>1)</sup> Program of Innovation Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

123 Mitrapap Road, Mueang Khon Kaen District, Khon Kaen 40002

<sup>2)</sup> Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

123 Mitrapap Road, Mueang Khon Kaen District, Khon Kaen 40002

<sup>3)</sup> Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chiangrai College

199 Moo 6, Mueang Chiangrai District, Chiangrai, 57000

<sup>4)</sup> Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thunyaburi

39 Moo 1, Khlong Luang District, Pathum Thani 12110

Received: 1 March 2023

Revised: 11 May 2023

Accepted: 19 May 2023

Available online: 22 December 2023

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาสภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมของพืชกัญชงโดยใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ ในเครื่องอบแห้งสุญญากาศ วัสดุและวิธีการของการวิจัยโดยนำวิธีการสุ่มไฮเปอร์คิวบ์แบบลาติน 20 คู่อันดับ มาใช้คำนวณหาค่าความดันในช่วง 10-30 kPa และอุณหภูมิ 40-60 °C จากนั้นนำไปใช้คำนวณหาเส้นทางการไหลของอากาศในห้องอบแห้งเพื่อการกระจายตัวของอุณหภูมิในแต่ละชั้นสำหรับพืชกัญชงโดยคุณสมบัติของพืชกัญชงที่ใช้คำนวณมีดังนี้ ความหนาแน่น 611 kg/m<sup>3</sup> ค่าการนำความร้อน 140.8 W/m-K ผลลัพธ์ของความดันและอุณหภูมิที่มีการกระจายตัวของอุณหภูมิในแต่ละชั้นสำหรับพืชกัญชงอย่างสม่ำเสมอ คือ แบบจำลองที่ความดัน 12 kPa และมีอุณหภูมิ 57.4 °C บทสรุปของงานวิจัยนี้ของการใช้พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) สามารถคำนวณการทำงานของระบบเครื่องอบแห้งสุญญากาศได้โดยที่พัดลมหมุนด้วยความเร็วรอบ 158 rpm และความเร็วที่ใช้การดูดอากาศของปั๊มสุญญากาศ 1.61 m/s

**คำสำคัญ:** พืชกัญชง การอบแห้งภายใต้สภาวะสุญญากาศ พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ การสุ่มไฮเปอร์คิวบ์แบบลาติน

**Abstract**

This research aims to study the optimal drying conditions of hemp plants using a vacuum dryer's computational fluid dynamics (CFD). Material and method by Latin Hypercube Sampling (LHS) methods were used to calculate 20 pairs of pressure and temperature in the range of 10-30 kPa, 40-60 °C, and then calculate the flow of the air in the drying chamber to determine the temperature distribution in each layer for the hemp tray. The properties of the hemp plants used for the calculation were as follows: the density of 611 kg/m<sup>3</sup>, and the thermal conductivity of 140.8 W/m-K. The result there are pressure and temperature which have uniform temperature distribution for hemp were modeled with a pressure of 12 kPa and a temperature of 57.4 °C. The conclusion of research by using CFD also calculated the operation of the vacuum dryer system, where the fan rotation rate was 158 rpm and the air suction speed of the vacuum pump was 1.61 m/s.

**Keywords:** Hemp: Vacuum dryer: Computational fluid dynamics: Latin hypercube sampling

---

\*ติดต่อ: aapich@kku.ac.th, 081-266-7120

## 1. บทนำ

ปัจจุบันกัญชงเป็นพืชที่สามารถปลูกได้ถูกต้องตามกฎหมาย แต่ถ้าต้องการปลูกในเชิงพาณิชย์ต้องมีการแจ้งขออนุญาตในการปลูกกับหน่วยงานที่รับผิดชอบ กัญชงเป็นพืชล้มลุกมีอายุได้แค่เพียงปีเดียว มีลักษณะสำคัญ ดังนี้ ส่วนของรากเป็นระบบรากแก้วมีรากแขนงจำนวนมาก ส่วนของลำต้น พบว่าลำต้นตั้งตรง สีเขียว สูงประมาณ 1-3 m มีลักษณะอวบน้ำเมื่อเป็นต้นกล้า เริ่มมีการสร้างเนื้อไม้เมื่อเจริญได้ 2-3 สัปดาห์ การเจริญเติบโตของต้นจะช้าในช่วง 6 สัปดาห์แรก หลังจากนั้นจะเพิ่มความสูงอย่างรวดเร็ว จนมีความสูงเฉลี่ยคงที่ คือ ประมาณ 200 cm เนื่องจากมีการออกดอกทำให้พืชล้มลุกหยุดการเจริญเติบโต เปลือกของลำต้นสามารถลอกออกเพื่อใช้ประโยชน์จากเส้นใย โดยเปลือกนอกให้เส้นใยที่ยาว เหนียว แต่ค่อนข้างหยาบ ส่วนเปลือกในที่ดีกับเนื้อไม้ให้เส้นใยที่ละเอียดกว่าแต่สั้นกว่า ส่วนของใบเป็นใบเดี่ยว รูปฝ่ามือ ออกเรียงตรงข้าม ลักษณะของใบแตกออกเป็นแฉก ๆ ประมาณ 5-8 แฉก แต่ละแฉกเป็นรูปยาวรี ปลายและโคนสอบ ส่วนขอบใบทุกแฉกเป็นหยักแบบฟันเลื่อย มีขนาดกว้างประมาณ 0.3-1.5 cm และยาวประมาณ 6-10 cm ลักษณะของใบโดยรวมจะคล้าย ๆ กับใบละหุ่ง ใบผืน และใบมันสำปะหลัง ผิวใบด้านบนเป็นสีเขียวเข้ม ส่วนด้านล่างท้องใบมีสีเทาอ่อนเล็กน้อย มีขนต่อมกระจายทั่วผิวใบด้านบน ส่วนด้านล่างมีขนอ่อนนาบไปกับแผ่นใบ ก้านใบยาวประมาณ 4-15 เซนติเมตร ในก้านหนึ่งจะมีใบเดี่ยว 3-11 ใบ มีกลิ่นเหม็นเขียว ส่วนของดอก มี 2 ชนิด คือ ชนิดที่มีดอกเพศผู้และเพศเมียอยู่ใต้นเดียวกัน และชนิดดอกเพศผู้และเพศเมียแยกกันอยู่

คนละต้น ในประเทศไทยพบว่า กัญชงมีดอกเพศผู้และดอกเพศเมียอยู่ต่างต้นกัน ออกดอกเป็นช่อตามซอกใบและปลายยอด โดยปกติกัญชงจะมีการติดดอกและเมล็ดในช่วง 90-120 วัน ดอกเพศผู้ ช่อดอกเพศผู้เป็นแบบ Panicle ประกอบไปด้วยกลีบเลี้ยง 5 กลีบ แยกกันเป็นอิสระมีสีเขียวอมเหลือง พบเกสรเพศผู้ 5 อัน ระยะเวลาการบานประมาณ 2 เดือน ดอกเพศเมีย เกิดตามซอกใบและปลายยอด ในบริเวณช่อดอกจะอัดตัวกันแน่น ช่อดอกเป็นแบบ Spike ประกอบด้วยกลีบเลี้ยงสีเขียวเข้มห่อหุ้มรังไข่ไว้ ภายในมี Stigma 2 อัน สีน้ำตาลแดง อายุของดอกค่อนข้างสั้นประมาณ 3-4 สัปดาห์ก็จะติดผล ส่วนของเมล็ด เป็นเมล็ดเดี่ยวรูปไข่ป้อมผิวเรียบเป็นมันมีลายประดับสีน้ำตาล เมื่อแห้งมีสีเทา ขนาดประมาณ 3-4 mm มีน้ำหนักเฉลี่ย 8-24 กรัมต่อเมล็ด 1,000 เมล็ด เมล็ดจะออกประมาณ 2-3 สัปดาห์ หลังออกดอก [1]

สารสำคัญในกัญชง คือ Cannabidiol (CBD) ซึ่งการสกัด CBD มีหลายวิธีการในการสกัด เช่น การสกัดด้วยเอทานอล การสกัดด้วย CO<sub>2</sub> การสกัดด้วยน้ำ การสกัดแบบ Carrier Oil Extraction การสกัดแบบ The Rick Simpson Method และการสกัดด้วยอัลตราโซนิก แต่โดยทั่วไปวิธีการสกัดด้วย อัลตราโซนิก เอทานอล และ CO<sub>2</sub> ได้รับการยอมรับว่าเป็นการสกัดที่ดีในปัจจุบัน เพราะมีประสิทธิภาพสูงรวมทั้งมีความเข้มข้นและความบริสุทธิ์ดี [2] ซึ่งก่อนเข้ากระบวนการสกัดกัญชงต้องมีการทำแห้งก่อน ปัจจุบันการอบแห้งมี 3 รูปแบบคือ แบบลมร้อน แบบลมเย็น และแบบร่วมลมร้อนกับอินฟราเรด โดยการศึกษาของ [3] ได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของการอบแห้งโดยพบว่าการอบด้วยลมร้อนร่วมกับอินฟราเรดที่สภาวะ

แวดล้อมความดันบรรยากาศทำให้สาร CBD เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ คือ ยังมีอุณหภูมิสูงขึ้นยิ่งทำให้เปอร์เซ็นต์ของสาร CBD เพิ่มขึ้นตามแต่ต้องมีความเหมาะสมต่อการอบแห้ง การศึกษาของ [4],[5] ได้ทำการศึกษการอบแห้งภายใต้สภาวะสุญญากาศ โดยพบว่าความดันและอุณหภูมิมีผลต่อการอบแห้งซึ่งยังมีความดันลดลงยิ่งทำให้อัตราการอบแห้งได้เร็วขึ้น การวิเคราะห์การอบแห้งด้วยพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ (CFD) เปรียบเทียบกับการทดลองสำหรับมันฝรั่งพบว่ามีแนวโน้มไปในทางเดียวกันซึ่งเป็นการศึกษาของ [6] โดยความเร็วของลมร้อนที่ 2.15 m/s อุณหภูมิ 60 °C ความดันไฟฟ้า 125 V จะมีการกระจายตัวของอุณหภูมิได้ดี [7] ได้ทำการศึกษการสรางแผนการทดลองแบบละดินไฮเปอร์คิวบที่ที่เหมาะสม ผลการศึกษาพบว่าอัลกอริทึม ILS สามารถค้นหาแผนการทดลองที่เหมาะสมได้อย่างมีประสิทธิภาพสำหรับทุกมิติ การศึกษาคุณสมบัติทางความร้อนของพืชกัญชงโดยค่าความหนาแน่นเริ่มต้นอยู่ที่ 611 kg/m<sup>3</sup> ค่าการนำความร้อนเป็น 140.8 W/m-K [8] ผลจากการสืบค้นที่ผ่านมาพบว่า ยังไม่มีงานวิจัยใดทำการอบแห้งกัญชงที่อุณหภูมิต่ำ การอบแห้งในสภาวะสุญญากาศเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากมีข้อดี คือ ทำให้วัตถุดิบแห้งเร็วและใช้อุณหภูมิในการอบแห้งต่ำซึ่งจะเป็นผลดีให้สาร CBD สูญเสียน้อยตามไปด้วย [9],[10]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการสร้างแบบจำลองที่มีขนาดเท่ากับเครื่องอบแห้งสุญญากาศจริง แล้วทำการคำนวณหาอุณหภูมิและความดันที่เหมาะสมโดยใช้วิธีการ CFD เพื่อดูการกระจายตัวของอุณหภูมิอย่างทั่วถึงทุกชั้น ซึ่งจะทำการสุ่มตัวอย่าง

อุณหภูมิและความดันโดยวิธีการการสุ่มตัวอย่างใช้วิธีไฮเปอร์คิวบแบบละดินซึ่งจะได้อุณหภูมิและความดัน 20 คู่อันดับ เพื่อหาเส้นทางการไหลของอากาศในห้องอบภายใต้สภาวะสุญญากาศ

## 2. วิธีการวิจัย

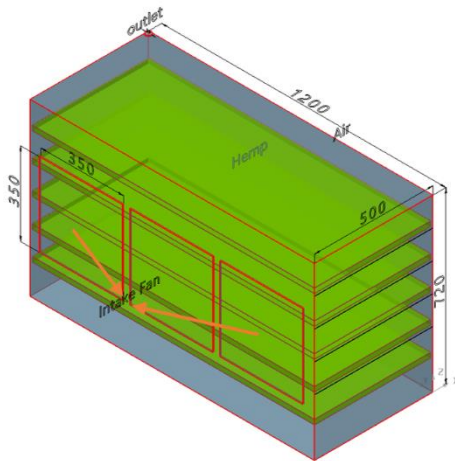
### 2.1 ขนาดของเครื่องอบสุญญากาศ

ขนาดของห้องอบแห้งสุญญากาศมีขนาดกว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 500×1200×720 mm วัสดุทำจากเหล็ก ระบบทำความร้อนเป็นแบบปั๊มความร้อน ดังแสดงใน รูปที่ 1



รูปที่ 1 เครื่องอบแห้งสุญญากาศ

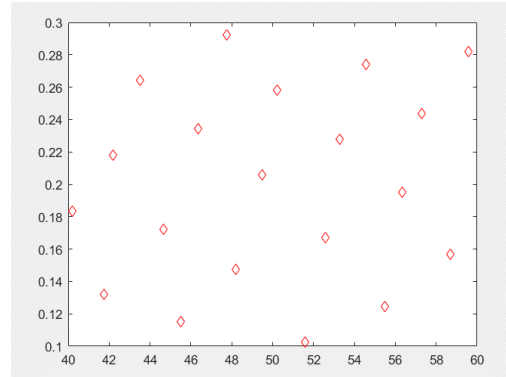
Power Shape (Autodesk Inc., San Rafael, California, USA) คือ โปรแกรมที่ใช้สร้างแบบจำลองของห้องอบแห้งโดยกำหนดให้มีจำนวนชั้นกัญชงทั้งหมด 5 ชั้น แต่ละชั้นมีความหนา 30 mm ช่องพัดลมมีขนาด 350×350 mm ท่อลมดูดอากาศจากปั๊มสุญญากาศมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 mm ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ขนาดแบบจำลองที่ใช้วิเคราะห์ใน CFD  
(หน่วยเป็น มิลลิเมตร)

## 2.2 การสูมตัวอย่างไฮเปอร์คิวบแบบลาติน

วิธีไฮเปอร์คิวบแบบละตินเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย [7] เพราะความง่ายในการใช้งานและมีประสิทธิภาพที่ยอมรับได้โดยการทดลองนี้จะเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับวิธี LHS ด้วย MATLAB (The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, USA) ซึ่งจะกำหนดช่วงย่อยของตัวแปรออกแบบแต่ละตัวเป็น 20 ค่า ช่วงความดันอยู่ที่ 10-30 kPa ความดันในช่วงดังกล่าวยังมีขีดความสามารถของการพาความร้อนในระบบได้และช่วงอุณหภูมิอยู่ที่ 40-60 °C ซึ่งเป็นช่วงของอุณหภูมิที่ heat pump สามารถทำงานได้เต็มประสิทธิภาพ โดยที่แกนตั้งจะเป็นความดันและแกนนอนจะเป็นอุณหภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงผลการสุ่มคู่อันดับใน MATLAB

## 2.3 พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณ

ระเบียบวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกนำมาใช้วิเคราะห์พลศาสตร์ของไหลเชิงคำนวณของเครื่องอบสมุนไพรโดยใช้โปรแกรม Ansys Workbench (ANSYS Inc., Canonsburg, Pennsylvania, USA) ซึ่งมีโมดูลของการวิเคราะห์การไหลของของไหลได้โดยที่โมดูลที่นำมาใช้วิเคราะห์การไหลคือ Fluent

โดยที่เงื่อนไขเริ่มต้นในการคำนวณมีดังนี้ การไหลของอากาศใช้ viscous model แบบ k-epsilon กำหนดให้ intake-fan เป็นความดันและอุณหภูมิขาเข้า ท่อดูดอากาศกำหนดเป็นความดันขาออก คุณสมบัติการถ่ายเทความร้อนของกัญชง กำหนดค่าดังนี้ ความหนาแน่นเป็น 611 kg/m<sup>3</sup> ค่าการนำความร้อนเป็น 140.8 W/m-K [11] อุณหภูมิทางออกเป็น 25 °C มีจำนวน elements 61,102 elements และมีจำนวน nodes 69,528 nodes

### 3. ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

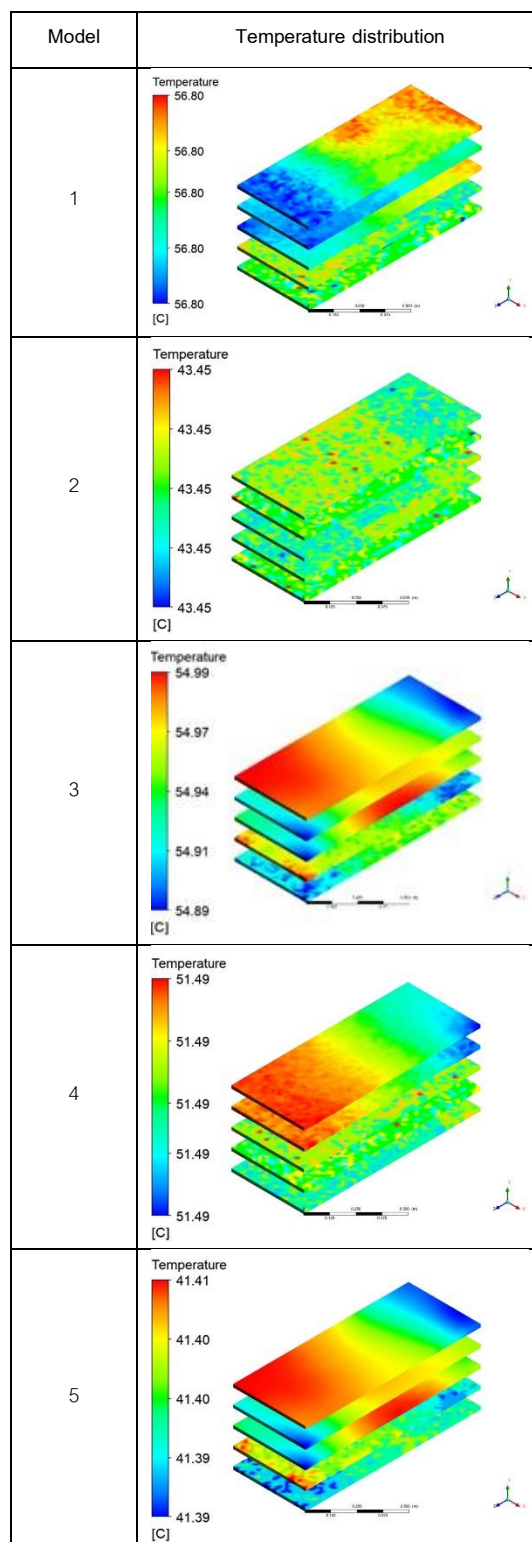
ผลการคำนวณการสัมผัสตัวอย่างของความดันและอุณหภูมิโดยวิธีไฮเปอร์คิวบแบบลาตินจะได้ 20 คู่อันดับ ดังตารางที่ 1

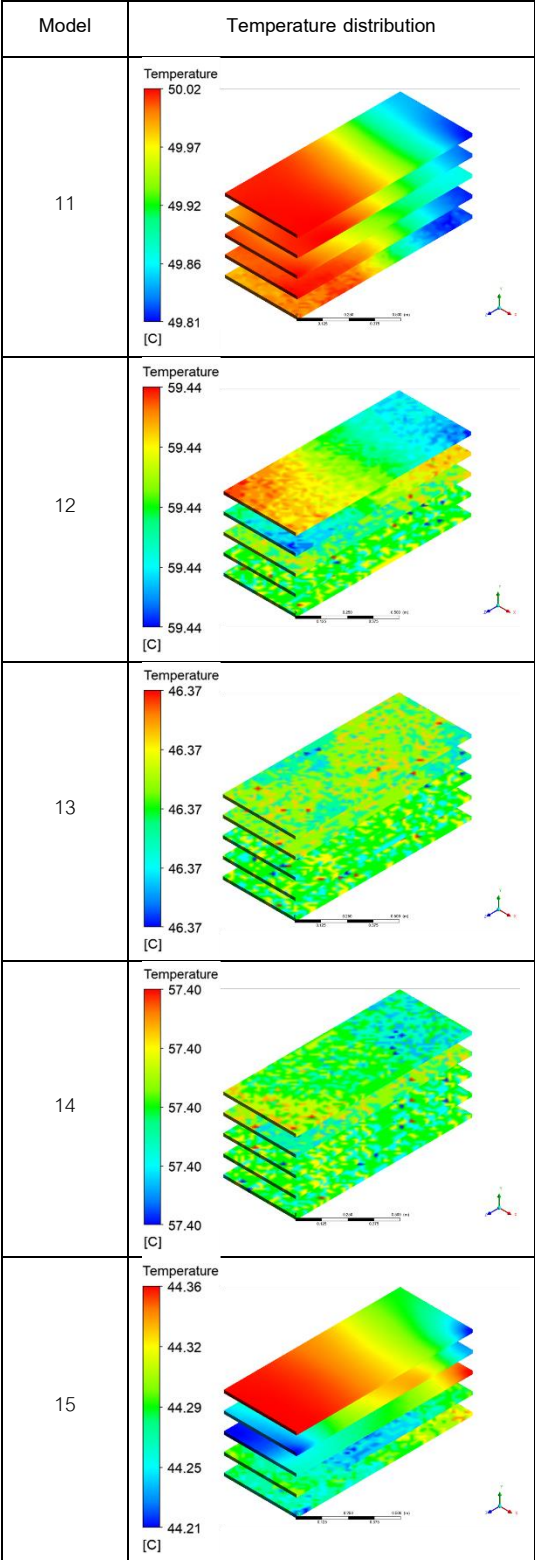
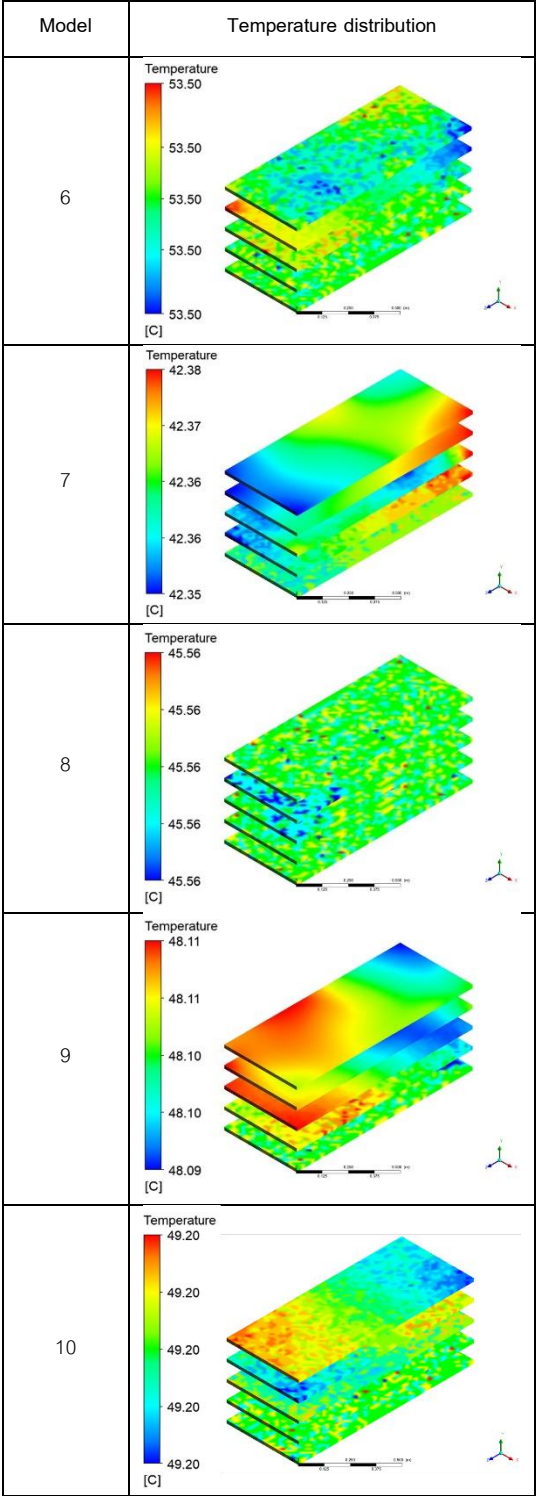
ตารางที่ 1 ผลการคำนวณ CFD ของเครื่องอบสูญญากาศ

| Latin hypercube sampling |                  |                |
|--------------------------|------------------|----------------|
| Model                    | Temperature (°C) | Pressure (kPa) |
| 1                        | 56.80            | 19             |
| 2                        | 43.45            | 23             |
| 3                        | 55.50            | 26             |
| 4                        | 51.49            | 18             |
| 5                        | 41.50            | 26             |
| 6                        | 53.50            | 22             |
| 7                        | 42.50            | 13             |
| 8                        | 45.56            | 10             |
| 9                        | 48.20            | 15             |
| 10                       | 49.20            | 24             |
| 11                       | 50.35            | 11             |
| 12                       | 59.44            | 24             |
| 13                       | 46.37            | 28             |
| 14                       | 57.40            | 12             |
| 15                       | 44.80            | 17             |
| 16                       | 47.50            | 20             |
| 17                       | 52.79            | 29             |
| 18                       | 40.74            | 19             |
| 19                       | 54.39            | 15             |
| 20                       | 58.80            | 30             |

การวิเคราะห์ CFD การไหลของอากาศในสภาวะเงื่อนไขอุณหภูมิและความดัน 20 คู่อันดับ มีการกระจายตัวของอุณหภูมิในแต่ละชั้นเป็นดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การกระจายตัวของอุณหภูมิในแต่ละชั้น





| Model | Temperature distribution |
|-------|--------------------------|
| 16    |                          |
| 17    |                          |
| 18    |                          |
| 19    |                          |
| 20    |                          |

จากตารางที่ 2 model ที่มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอของอุณหภูมิในทุกชั้นจะมี model 2, model 8, model 13, และ model 14 ทำให้พืชผักที่มีความแห้งแบบทั่วถึงสามารถควบคุมอุณหภูมิในแต่ละชั้นให้มีความสม่ำเสมอซึ่งเมื่อนำอัตราเร็วของการไหลที่ได้จากการวิเคราะห์ CFD มาใช้คำนวณความเร็วของอุปกรณ์ทางเข้าและทางออกจะได้ดังตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** ความเร็วของพัดลมและความเร็วลมดูดของปั๊ม

| Calculate system process |                    |                       |
|--------------------------|--------------------|-----------------------|
| Model                    | Fan velocity (rpm) | Velocity outlet (m/s) |
| 1                        | 40                 | 0.48                  |
| 2                        | 43                 | 0.64                  |
| 3                        | 80                 | 0.49                  |
| 4                        | 248                | 1.25                  |
| 5                        | 80                 | 0.49                  |
| 6                        | 26                 | 0.30                  |
| 7                        | 69                 | 0.17                  |
| 8                        | 43                 | 0.36                  |
| 9                        | 547                | 1.67                  |
| 10                       | 137                | 0.50                  |
| 11                       | 165                | 1.07                  |
| 12                       | 137                | 0.50                  |
| 13                       | 413                | 0.37                  |
| 14                       | 158                | 1.61                  |
| 15                       | 63                 | 0.38                  |
| 16                       | 82                 | 1.48                  |
| 17                       | 152                | 1.82                  |
| 18                       | 70                 | 0.37                  |
| 19                       | 214                | 0.79                  |
| 20                       | 100                | 0.76                  |

#### 4. สรุป

ความดันและอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการอบกัญชงคือ model 14 ซึ่งมีความดันเป็น 12 kPa และอุณหภูมิเป็น 57.40 °C โดยผลของ CFD พบว่ามีการกระจายตัวของอุณหภูมิอย่างสม่ำเสมอทุกชั้นและมีอุณหภูมิสูงที่สุดจากการศึกษาการอบแห้งกัญชงพบว่าอุณหภูมิสูงมีผลทำให้การสกัดสาร CBD สูงขึ้นด้วย [3] โดยคำนวณความเร็วของพัดลมที่ใช้กระจายความร้อนเป็น 158 rpm และปั๊มดูดอากาศเป็น 1.61 m/s ซึ่งเครื่องอบสามารถปรับความเร็วของพัดลมและปั๊มดูดอากาศมีขีดความสามารถปรับค่าตัวแปรเพื่อใช้ทดลองผลของการศึกษานี้สามารถนำผลการคำนวณไปใช้ทดลองอบกัญชงจริงได้โดยจะใช้ model 2, model 8, model 13, และ model 14 ในการทดลองเพื่อวัดสาร CBD ต่อไป

#### 5. กิตติกรรมประกาศ

ทีมผู้วิจัยขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงสำหรับภาคีวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ใช้เครื่องอบแห้งสุญญากาศในการศึกษาครั้งนี้

#### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Disthai. Cannabis (Internet). [cited 2022 April 3]. Available from: <https://www.disthai.com>.
- [2] Machinery Intelligence Unit. Carrier oil extraction (Internet). [cited 2022 April 4]. Available from: <https://miu.isit.or.th>.
- [3] Chen C, Wongso I, Putnam D, Khir R and Pan Z. Effect of hot air and infrared drying on the retention of cannabidiol and terpenes in industrial hemp (Cannabis sativa L.). Industrial Crops and Products. 2021; 172: 114051.
- [4] Ratinun L, Sirithon S, Somnuk T and Apichart A. Heat and Moisture Transfer Equations for a Vacuum Drying. KKU Research Journal. 2016; 16(2): 1-14.
- [5] Sirithon S, Ratinun L, Somnuk T and Apichart A. Drying of Carrots by Using a Vacuum Heat Pump Dryer. KKU Research Journal. 2016; 16(3): 1-11.
- [6] Benfratello S, Capitano C, Peri G, Rizzo G, Scaccianoce G and Sorrentino G. Thermal and structural properties of a hemp–lime biocomposite. Construction and Building Materials. 2013; 48: 745-54.
- [7] Tanongsak Bootwong and Jaratsri Rungrattanaubol. Construction of the optimal Latin hypercube designs using the iterated local search algorithm. Thai Journal of Operational Research. 2013; 2: 1-11.
- [8] Huang S, Jiao J and Guedes Soares C. Uncertainty analyses on the CFD–FEA co-simulations of ship wave loads and whipping responses. Marine Structures. 2022; 82: 103129.

- [9] Ni L, Chen Z, Mukhopadhyaya P, Zhang X, Wu Q, Yu Q, et al. Numerical simulation on thermal performance of vacuum insulation panels with fiber /powder porous media based on CFD method. *International Journal of Thermal Sciences*. 2022; 172: 107320.
- [10] Turgut SS, Küçüköner E, Feyissa AH and Karacabey E. A novel drying system – simultaneous use of ohmic heating with convectional air drying: System design and detailed examination using CFD. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2021; 72: 102727.
- [11] Benfratello S, Capitano C, Peri G, Rizzo G, Scaccianoce G and Sorrentino G. Thermal and structural properties of a hemp–lime biocomposite. *Construction and Building Materials*. 2013; 48: 745-54.