



## รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การศึกษาวิธีการอบแห้งมันสำปะหลังหั่นเต๋าด้วยเครื่องอบแห้ง  
แบบฟลูอิดไดซ์เบดในระดับอุตสาหกรรม  
Study on industrial scale fluidize bed drying of diced tapioca

อาภรณ์ สาแก้ว

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา การศึกษาวิธีการอบแห้งมันสำปะหลังหั่นเต๋าด้วยเครื่องอบแห้ง  
แบบฟลูอิดไดซ์เบตในระดับอุตสาหกรรม

ชื่อ-สกุล นักศึกษา อภรณ์ साแก้ว

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ผศ.ดร.จิราพร ศรีภิญโญวณิชย์ จงยิ่งเจริญ

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน เจริญ ดาขุนทด

สถานประกอบการ บริษัท สิงห์ยิ้มอุตสาหกรรมเกษตร จำกัด

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการลดความชื้นมันสำปะหลังหั่นเต๋าด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบต 2 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนการทำความร้อนเบื้องต้นและขั้นตอนการทำแห้งระยะที่ 1 โดยกระบวนการอบแห้งที่บริษัทดำเนินการอยู่เดิมทำให้มันสำปะหลังหั่นเต๋าก่อเกิดเจลาปัญหากระบวนการอาจเนื่องมาจากอุณหภูมิมอบแห้งที่ใช้สูงกว่าอุณหภูมิเกิดเจลา แนวทางการศึกษาจึงเป็นการทดลองปรับอุณหภูมิให้ต่ำกว่าอุณหภูมิเกิดเจลา โดยทำการปรับอัตราการป้อนและเวลาในการอบแห้งด้วย จากการทดลองสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการอบแห้งมันสำปะหลังหั่นเต๋าดังกล่าวด้วยวิธีการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบต 2 ขั้นตอน คือ อัตราการป้อน 0.7 ตัน/ชั่วโมง โดยขั้นตอนการทำความร้อนเบื้องต้น (Pre-heat) ใช้สภาวะอุณหภูมิมร้อน T1 และ T2 คือ 60 °C และ 63 °C ตามลำดับ เวลาในการอบแห้งคือ 21 นาที และขั้นตอนการทำแห้งระยะที่ 1 (Drying 1) ใช้สภาวะอุณหภูมิมร้อน T3 และ T4 คือ 64°C และ 63°C ตามลำดับ เวลาในการอบแห้ง คือ 24 นาที มันสำปะหลังหั่นเต๋าที่ได้ออกมาจะมีลักษณะแห้งหมาดไม่เกิดเจลาขึ้น และมีความชื้นตรงตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ คือ มีความชื้นต่ำกว่า 30%w.b. เมื่อออกจากขั้นตอนการทำแห้งระยะที่ 1

คำสำคัญ : มันสำปะหลัง, ฟลูอิดไดซ์เบต, การอบแห้ง, เจลาตินไซเซชัน

**Cooperative Title:** Study on industrial scale fluidized bed drying of diced tapioca

**Student intern name:** Arporn Sakaew

**Faculty:** Engineering **Department:** Agricultural Engineering

**Advisor name:** Asst. Prof. Dr. Jiraporn Sripinyowanich Jongyingcharoen

**Mentor name:** Jaroen Dakhunthod

**Company:** Singhyim Industrial Agricultural Co.,Ltd

## ABSTRACT

This research aims to determine the suitable temperature for drying diced tapioca using the 2-step fluidized bed dryers: step 1 pre-heating and step 2 first stage drying. The original drying process of the company could not be achieved as the diced tapioca was gelatinized. The problem was because of higher drying temperature than the gelatinization temperature of tapioca. This study therefore conducted the experiments to determine the suitable drying temperature to prevent gelatinization of diced tapioca. Feed rate and drying time were also determined. The most suitable condition for the 2-step fluidized bed drying of diced tapioca was the feed rate of 0.7 tons/h, the drying temperature of 60 °C and 63 °C at the T1 and T2 air inlet of the pre-heating step for 21 min, and the drying temperature of 64 °C and 63 °C at the T3 and T4 air inlet of the first stage drying for 24 min. The dried diced tapioca was not gelatinized and met the criterion of outlet moisture content from the first stage drying of lower than 30% w.b.

**Keywords :** Tapioca, Fluidized bed, Drying, Gelatinization

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือ และความอนุเคราะห์จากหลายภาคส่วน ซึ่งผู้มีพระคุณท่านแรกคือ ผศ.ดร. จิราพร ศรีภิญโญวณิชย์ จงยิ่งเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำปริญญาานิพนธ์ อีกทั้งยังช่วยแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานอีกด้วย

ขอขอบคุณนาย เจริญ ดาขุนทด พนักงานที่ปรึกษาแผนกผู้จัดการฝ่ายผลิตบริษัท สิงห์ยิ้ม อุตสาหกรรมเกษตร จำกัด ที่คอยให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำในการปฏิบัติงาน ณ บริษัท สิงห์ยิ้ม อุตสาหกรรมเกษตร จำกัด เสมอมา

ขอขอบคุณบริษัท สิงห์ยิ้มอุตสาหกรรมเกษตร จำกัด ที่คอยสนับสนุนช่วยเหลือในการจัดสรรวัสดุอุปกรณ์ในการทำทดลองจนเสร็จสิ้น

ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัวที่คอยให้คำปรึกษา และกำลังใจที่ติดตลอดมา

สุดท้ายขอขอบพระคุณภาควิชาวิศวกรรมเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้การช่วยเหลือทางด้านสถานที่ในการปฏิบัติงานมาโดยตลอด

นางสาวอาภรณ์ สาแก้ว

## สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IIIIV
สารบัญตาราง.....	III
สารบัญรูป .....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ .....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย .....	1
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย .....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	5
2.1 มันทำปะหลัง .....	5
2.1.1 ความเป็นมาของมันทำปะหลัง .....	5
2.1.2 พันธุ์มันทำปะหลัง.....	6
2.2 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด .....	10
2.2.1 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบทั่วไป .....	10
2.2.2 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดในโรงงานอุตสาหกรรม.....	11
2.3 การเกิดเจลาตินไนซ์เซชันของแป้ง.....	13
2.4 ปัจจัยที่ทำให้เกิดเจล.....	14
2.5 ความชื้นในวัสดุ.....	15

2.6	การอบแห้งวัสดุ .....	16
2.7	กราฟอัตราการอบแห้งวัสดุ.....	17
2.8	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	18
<b>บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย .....</b>		<b>20</b>
3.1	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง .....	20
3.2	ตัวอย่างมันสำปะหลังและการเตรียมมันสำปะหลังหั่นเต๋า .....	20
3.3	กระบวนการอบแห้งมันสำปะหลังหั่นเต๋าของบริษัท สิ่งที่ยืมอุตสาหกรรมการเกษตร จำกัด .....	21
3.4	การทดลองอบแห้งมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด 2 ชั้นตอน .....	23
3.4.1	การศึกษาปัญหาวิจัยเริ่มต้น.....	23
3.4.2	การศึกษาการอบแห้งมันสำปะหลังหั่นเต๋าโดยการปรับอุณหภูมิและเพิ่มเวลาในการอบแห้ง.....	25
3.4.3	การศึกษาการอบแห้งมันสำปะหลังหั่นเต๋าโดยการปรับอุณหภูมิและปรับเพิ่มอัตราการป้อน.....	26
3.4.4	การศึกษาการอบแห้งมันสำปะหลังหั่นเต๋อในสภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งมันสำปะหลังหั่นเต๋อด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด .....	27
3.4.5	การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์แป้งและปริมาณความชื้นของมันสำปะหลังหั่นเต๋อในระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด 2 ชั้นตอน .....	29
3.5	การวิเคราะห์คุณสมบัติของมันสำปะหลัง .....	30
3.5.1	เปอร์เซ็นต์แป้ง .....	30
3.5.2	การหาความชื้นของมันสำปะหลังหั่นเต๋อจากกระบวนการอบแห้ง .....	31
3.5.3	อัตราการอบแห้ง .....	32
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัย .....</b>		<b>34</b>
4.1	ผลการทดลองศึกษาปัญหาเริ่มต้น .....	34
4.2	ผลการทดลองการปรับอุณหภูมิและเพิ่มเวลาในการอบแห้ง .....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการทดลองการปรับอุณหภูมิในการอบแห้งและเพิ่มอัตราการป้อน .....	38
4.4 ผลการทดลองการศึกษาอุณหภูมิและสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งมันสำปะหลังหั่นเต๋าด้วย เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด.....	40
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์แป้งและค่าความชื้นของมันสำปะหลังในกระบวนการอบแห้ง เครื่องฟลูอิดไดซ์เบดแบบ 2 ชั้นตอน .....	44
<b>บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ.....</b>	<b>46</b>
5.1 สรุปผลการดำเนินการ.....	46
5.2 ข้อเสนอแนะ .....	47
เอกสารอ้างอิง .....	48
ภาคผนวก ก วิธีการหาค่าความชื้นมันสำปะหลังหั่นเต๋าด้วยตูบลมร้อน .....	49
ภาคผนวก ข ผลค่าความชื้นสภาวะที่ทำการทดลองสำหรับเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด 2 ชั้นตอน.....	53

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 อุณหภูมิการเกิดเจลลาตินไนซ์เซชันของแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธีมาตรฐาน DSC.....	14
ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลเปอร์เซ็นต์แป้งและค่าความชื้นจากแนวทางการทดลอง.....	45
ตาราง ข1 ผลค่าความชื้นสภาวะที่ทำการทดลองสำหรับเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด 2 ชั้นตอน สำหรับปัญหาเริ่มต้นที่บริษัทดำเนินการอยู่เดิม.....	54
ตาราง ข2 ผลค่าความชื้นสภาวะที่ทำการทดลองสำหรับเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด 2 ชั้นตอน สำหรับการปรับอุณหภูมิเริ่มต้นต่ำกว่าอุณหภูมิเกิดเจลและเพิ่มเวลาในการอบแห้ง .....	54
ตาราง ข3 ผลค่าความชื้นสภาวะที่ทำการทดลองสำหรับเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด 2 ชั้นตอน สำหรับการปรับเพิ่มอุณหภูมิเริ่มต้นต่ำกว่าอุณหภูมิเกิดเจลและเพิ่มอัตราการป้อน.....	55
ตาราง ข4 ผลค่าความชื้นสภาวะที่ทำการทดลองสำหรับเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด 2 ชั้นตอน สำหรับการศึกษาการอบแห้งมันสำปะหลังหั่นเต๋าในสภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งมัน สำปะหลัง.....	56

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปภาพที่ 2.1 มันทำปะหลังพันธุระยอง 11 .....	6
รูปภาพที่ 2.2 มันทำปะหลังพันธุระยอง 86-13 .....	7
รูปภาพที่ 2.3 มันทำปะหลังพันธุระยอง 90 .....	7
รูปภาพที่ 2.4 มันทำปะหลังพันธุระยอง 7 .....	8
รูปภาพที่ 2.5 มันทำปะหลังพันธุระยอง 9 .....	8
รูปภาพที่ 2.6 มันทำปะหลังพันธุเกษตรศาสตร์ 50 .....	9
รูปภาพที่ 2.7 มันทำปะหลังพันธุห้วยบง 90 .....	9
รูปภาพที่ 2.8 มันทำปะหลังพันธุพิรุณ 1 .....	10
รูปภาพที่ 2.9 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด .....	11
รูปภาพที่ 2.10 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดของบริษัท สิ่งย้อมอุตสาหกรรมการเกษตร จำกัด .....	12
รูปภาพที่ 2.11 ใบปรับปริมาณลมร้อนเข้าสู่ห้องอบแห้งให้เกิดการเคลื่อนไหวแบบของไหล .....	12
รูปภาพที่ 2.12 การเกิดเจลในอาหารด้วยการทำให้แห้ง.....	13
รูปภาพที่ 2.13 อุณหภูมิการเกิดเจลาตินซ์เซชันของแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธีโครมาโทกราฟีแก๊ส.....	14
รูปภาพที่ 2.14 ปัจจัยการเกิดเจล.....	15
รูปภาพที่ 2.15 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนของวัสดุในกระบวนการอบแห้ง.....	17
รูปภาพที่ 2.16 กราฟอัตราการทำแห้ง.....	18
รูปภาพที่ 3.1 เครื่องหั่นเต้ามันสำปะหลัง.....	21
รูปภาพที่ 3.2 ตัวอย่างมันสำปะหลังหั่นเต่าที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง .....	21
รูปภาพที่ 3.3 กระบวนการอบแห้งของบริษัท สิ่งย้อมอุตสาหกรรมการเกษตร จำกัด .....	23
รูปภาพที่ 3.4 แสดงสภาวะของปัญหาวิจัยเริ่มต้น.....	24
รูปภาพที่ 3.5 แสดงสภาวะของการปรับอุณหภูมิและเพิ่มเวลา.....	25

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปภาพที่ 3.6 แสดงสภาวะของการปรับอุณหภูมิและเพิ่มอัตราการป้อน.....	27
รูปภาพที่ 3.7 แสดงสภาวะการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งมันสำปะหลังหั่นเต๋าด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด.....	28
รูปภาพที่ 3.8 ควบคุมและตรวจเช็คสภาพการเคลื่อนไหวของมันเป็นสำปะหลังหั่นเต๋า.....	29
รูปภาพที่ 3.9 ตู้ไฟควบคุมสภาวะอุณหภูมิ อัตราการป้อน และเวลาของเครื่องฟลูอิดไดซ์เบด.....	29
รูปภาพที่ 3.10 การนำมันสำปะหลังใส่เครื่องวัดเปอร์เซ็นต์แป้ง.....	30
รูปภาพที่ 3.11 การวัดค่าเปอร์เซ็นต์แป้งด้วยเครื่อง Genix GX3000_ECOF.....	31
รูปภาพที่ 3.12 ตัวอย่างมันเต๋าทอบแห้งสับละเอียด.....	32
รูปภาพที่ 3.13 โถดูดความชื้น.....	32
รูปภาพที่ 4.1 สภาวะการอบแห้งและความชื้นของมันสำปะหลังหั่นเต๋าทาจากกระบวนการดั้งเดิมของบริษัท.....	35
รูปภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในกระบวนการอบแห้งดั้งเดิมของบริษัท.....	35
รูปภาพที่ 4.3 ลักษณะมันสำปะหลังหั่นเต๋าทอบแห้งที่ได้จากกระบวนการอบแห้งดั้งเดิมของบริษัท.....	35
รูปภาพที่ 4.4 สภาวะการอบแห้งและความชื้นของมันสำปะหลังหั่นเต๋าทาจากการปรับอุณหภูมิและเพิ่มเวลาในการอบแห้ง.....	37
รูปภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการปรับอุณหภูมิและเพิ่มเวลาในการอบแห้ง....	37
รูปภาพที่ 4.6 ลักษณะมันสำปะหลังหั่นเต๋าทอบแห้งขั้นตอน Pre-heat ของการปรับอุณหภูมิและเพิ่มเวลาในการอบแห้ง.....	37
รูปภาพที่ 4.7 ลักษณะมันสำปะหลังหั่นเต๋าทอบแห้งขั้นตอน Drying 1 ของการปรับอุณหภูมิและเพิ่มเวลาในการอบแห้ง.....	38
รูปภาพที่ 4.8 สภาวะการอบแห้งของมันสำปะหลังหั่นเต๋าทาจากการปรับอุณหภูมิและเพิ่มอัตราการป้อน.....	39
รูปภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการปรับอุณหภูมิและเพิ่มอัตราการป้อน.....	39

รูปภาพที่ 4.10 ลักษณะมันสำปะหลังหั่นเตาอบแห้งขั้นตอน Pre-heat ของการปรับอุณหภูมิและเพิ่มอัตราการบิน .....	40
รูปภาพที่ 4.11 ลักษณะมันสำปะหลังหั่นเตาอบแห้งขั้นตอน Drying 1 ของการปรับอุณหภูมิและเพิ่มอัตราการบิน .....	40
รูปภาพที่ 4.12 สภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งของมันสำปะหลังหั่นเตาด้วยเครื่องฟลูอิดไดซ์เบด .....	42
รูปภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในสภาวะที่เหมาะสมกับเครื่องฟลูอิดไดซ์เบด .....	42
รูปภาพที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการบินกับเวลาในกระบวนการอบแห้งที่เหมาะสมกับเครื่องฟลูอิดไดซ์เบด .....	43
รูปภาพที่ 4.15 ลักษณะมันสำปะหลังหั่นเตาอบแห้งขั้นตอน Pre-heat ของการใช้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับเครื่องฟลูอิดไดซ์เบด .....	43
รูปภาพที่ 4.16 ลักษณะมันสำปะหลังหั่นเตาอบแห้งขั้นตอน Drying 1 ของการใช้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับเครื่องฟลูอิดไดซ์เบด .....	44
รูปภาพที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์แบ่งกับค่าความชื้นของมันสำปะหลังในกระบวนการอบแห้ง .....	45

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

บริษัท สิงห์อิมมูตสาหกรรมเกษตร จำกัด เป็นโรงงานอุตสาหกรรมที่ทำการแปรรูปมันสำปะหลังหันเตาอบแห้ง ซึ่งได้ริเริ่มแนวคิดจากการปลุกมันสำปะหลังโดยใช้ปุ๋ยตราสิงห์อิมที่สามารถได้ผลผลิตที่ค่อนข้างดีมีเปอร์เซ็นต์แป้งที่สูงและสามารถช่วยเหลือกลุ่มเกษตรกรทั่วไปมันสำปะหลังโดยทั่วไปแล้ว เมื่อเก็บและขูดมันสำปะหลังออกจากดินจะมีอายุเพียง 2-3 วัน หลังจากนั้น หัวมันสำปะหลังก็จะเกิดการเน่าเสีย ทำให้ไม่สามารถนำไปขายต่อได้ ดังนั้นทางบริษัท สิงห์อิมมูตสาหกรรมเกษตร จำกัด จึงมีแนวคิดริเริ่มทำมันสำปะหลังหันเตาอบแห้งเพื่อให้สามารถรักษาสภาพมันเตาได้นานและได้ช่วยเหลือเกษตรกรให้สามารถปลุกมันสำปะหลังได้ตลอดทั้งปีและขายได้ตลอดทั้งปี จากการศึกษากระบวนการผลิตการอบแห้งมันสำปะหลังหันเตาของเครื่องจักรในบริษัท สิงห์อิมมูตสาหกรรมเกษตร จำกัด ซึ่งมีเป้าหมายการผลิตมันสำปะหลังหันเตา 5 ตัน/ชั่วโมง มีขั้นตอนกระบวนการอบแห้งที่กำหนดไว้ ดังนี้ 1. การทำความร้อนเบื้องต้น (Pre-heat) ด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด 2. การอบแห้งระยะที่ 1 (Drying 1) ด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด และ 3. การอบแห้งระยะที่ 2 (Drying 2) ด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน ซึ่งความชื้นที่ได้จากกระบวนการอบแห้งมีค่าเท่ากับ 14%w.b. อย่างไรก็ตามบริษัทยังประสบปัญหาว่าไม่สามารถลดความชื้นมันสำปะหลังหันเตาได้ เนื่องมาจากการเกิดเจล (Gelatinization) ขึ้นในมันสำปะหลังหันเตา

ดังนั้น โครงการวิจัยนี้จึงมีจุดมุ่งหมายศึกษาการลดความชื้นมันสำปะหลังหันเตา โดยมุ่งเน้นศึกษากระบวนการลดความชื้นมันสำปะหลังหันเตาในช่วงการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบ 2 ขั้นตอน ด้วยเป้าหมายเพื่อให้มันสำปะหลังหันเตามีความชื้นลดลงแต่ไม่เกิดเจล

### 1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการลดความชื้นของมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด 2 ขั้นตอน

### 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ทำการศึกษาเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดของบริษัทที่มีกำลังการผลิต 6-7 ตัน/ชั่วโมง

## 1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

### 1.4.1 ขั้ววางแผน

- (1) กำหนดโจทย์ปัญหาในการวิจัย
- (2) ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด การศึกษาหลักการการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด การคำนวณหาค่าความชื้น และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น การศึกษาอุณหภูมิเริ่มต้นที่ทำให้เกิดเจลขึ้นในแป้งมันสำปะหลัง
- (3) กำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขตการวิจัย วิธีการศึกษา และ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

### 1.4.2 ขั้นตอนดำเนินการ

- (1) ทำการเก็บตัวอย่างมันสำปะหลังหั่นเต๋าก่อนเข้ากระบวนการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดและหลังออกจากกระบวนการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด 2 ขั้นตอน เพื่อนำมาคำนวณหาค่าความชื้น พร้อมทั้งบันทึกผล กำลังการป้อน เวลา และ อุณหภูมิลมร้อนที่ได้ โดยจะทำการเก็บข้อมูลของกระบวนการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด 2 ขั้นตอน
- (2) ออกแบบวิธีการทดลองในกระบวนการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด 2 ขั้นตอน เช่น การกำหนดค่าอุณหภูมิลมร้อนให้มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิเจลตไนซ์เซชัน (Gelatinization Temperature) , ระยะเวลา และปริมาณการป้อน เป็นต้น
- (3) ทำการสุ่มเก็บตัวอย่างมันสำปะหลังหั่นเต๋่า เพื่อนำมาคำนวณหาค่าความชื้นที่ได้จากกระบวนการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด 2 ขั้นตอน พร้อมทั้งบันทึกผลค่าความชื้น, อุณหภูมิลมร้อน, เวลา และปริมาณการป้อน

### 1.4.3 ขั้นตอนสรุป และประเมินผลโครงการ

- (1) วิเคราะห์ผลข้อมูลค่าความชื้น และ วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นกับอุณหภูมิลมร้อน
- (2) สรุปผลการทดลองการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งมันสำปะหลังหั่นเต๋่าด้วยเครื่องฟลูอิดไดซ์เบด 2 ขั้นตอน และ เขียนรายงาน

1.4.4 แผนการดำเนินงานตลอดการสหกิจศึกษา

รายการ		สิงหาคม	กันยายน	ตุลาคม	พฤศจิกายน
<b>1. ศึกษาทฤษฎีและรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงการ</b>					
1.1 ศึกษาหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด	Plan	■			
	Actual	■			
1.2 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับกระบวนการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด	Plan	■			
	Actual	■			
1.3 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับการเกิดเจลาตินซ์ และ อุณหภูมิเจลาตินซ์ของแป้งมัน	Plan		■		
	Actual		■		
1.4 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวกับการอบแห้งมันสำปะหลัง	Plan		■		
	Actual		■		
<b>2. การทดลองอบแห้งมันสำปะหลังด้วยเครื่องฟลูอิดไดซ์เบด</b>					
2.1 การทดลองเพื่อศึกษาปัญหาเริ่มต้น	Plan		■		
	Actual		■		
2.2 การทดลองปรับอุณหภูมิและเวลา	Plan		■		
	Actual		■		
2.3 การทดลองปรับอุณหภูมิและอัตราการป้อน	Plan			■	
	Actual			■	
<b>3. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง</b>					
3.1 วิเคราะห์ผลค่าความชื้นที่ได้จากการออกแบบวิธีการอบแห้งมันสำปะหลัง	Plan			■	
	Actual			■	
3.2 วิเคราะห์ผลความสัมพันธ์ของความชื้นและอุณหภูมิลมร้อนที่ได้จากการออกแบบ	Plan			■	
	Actual			■	■
3.3 สรุปผลการทดลอง และ นำเสนอ	Plan				■
	Actual				■

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 สามารถทราบสถานะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการอบแห้งมันสำปะหลังหั่นเต๋าด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด 2 ชั้นตอน
- 1.5.2 สามารถลดความชื้นมันสำปะหลังหั่นเต๋าดได้ตรงตามเกณฑ์ที่บริษัทกำหนดไว้
- 1.5.3 สามารถลดปัญหาการเกิดเจลขึ้นในมันสำปะหลังหั่นเต๋าด



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 มັນสำปะหลัง

##### 2.1.1 ความเป็นมาของมັນสำปะหลัง

มັນสำปะหลังเป็นพืชหัว ชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Manihot esculenta* (L.) Cants และชื่อสามัญมักจะเรียกตามถิ่นที่อยู่เช่น ภาษาอังกฤษ เรียกว่า Cassava หรือ Tapioca และในแถบแอฟริกา เรียกว่า Manioc เป็นต้น ลักษณะทางกายภาพของมັນสำปะหลังจะเป็นไม้พุ่มยืนต้น มีช่วงอายุยืน ส่วนใหญ่การปลูกมັນสำปะหลังจะเป็นการนำส่วนลำต้นมาตัดเป็นท่อนแล้วปักลงในดินเมื่อมັນสำปะหลังมีอายุ 2 เดือน ตรงบริเวณรอยตัดที่ปักอยู่ในดินจะแตกราก ฝอยออกมา และส่วนรากนี้จะทำการสะสมแป้งไปเรื่อยๆ จนมีขนาดโตขึ้นเรียกส่วนนี้ว่า หัวมັນสำปะหลัง หลังจากนั้นจะทำการเก็บเกี่ยวมັນสำปะหลังหลังจากที่มีอายุ 6 เดือนเป็นต้นไปและจะสามารถยืดอายุมັນสำปะหลังไปได้จนถึง 16 เดือน จากนั้นส่วนตาที่อยู่ด้านข้างท่อนจะเจริญเติบโตออกมาเป็นลำต้นต่อไป ทั้งนี้มันสำปะหลังมีถิ่นกำเนิดมาจากแถบอเมริกากลาง และ อเมริกาใต้ จากนั้นแพร่หลายมาสู่ทวีปแอฟริกาเรื่อยมาจนถึงทวีปเอเชีย แต่อย่างไรก็ตามสำหรับประเทศไทยนี้ยังไม่มีหลักฐานข้อมูลชี้ชัดว่าเริ่มมีการนำมันสำปะหลังเข้ามาปลูกเมื่อใด อย่างไรก็ตามมันสำปะหลังที่ปลูกในแหล่งปลูกจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิดด้วยกันดังนี้

1. ชนิดหวาน (Sweet type) เป็นมันสำปะหลังที่มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิกต่ำ ไม่มีรสขม นิยมใช้เพื่อการบริโภคทั้งของคนและสัตว์ มีทั้งชนิดร่วนนุ่มและเนื้อเหนียวแน่น ไม่มีการปลูกในพื้นที่ขนาดใหญ่เนื่องจากความต้องการในตลาดมีจำกัด จึงทำให้มีจำนวนมันสำปะหลังชนิดหวานที่น้อย เช่น สายพันธุ์ มันทวน มันท่านาที่ และพันธุ์ระยอง 2 เป็นต้น

2. ชนิดขม (Bitter type) เป็นมันสำปะหลังที่มีปริมาณกรดไฮโดรไซยานิกสูง มีความเป็นพิษและมีรสขม จะไม่นิยมใช้บริโภคในของคนและสัตว์เพราะมีปริมาณแป้งที่สูง แต่มักจะนิยมใช้ทางอุตสาหกรรมการแปรรูป เช่น มันเส้น มันอัดเม็ด , แป้งมัน และแอลกอฮอล์ เป็นต้น นอกจากนี้อาจจะนำมาตากแดดหรือให้ความร้อนเช่น เผา , ต้ม เพื่อนำไปแปรรูปเป็นอาหาร เพราะว่าการให้ความร้อนจะช่วยสลายกรดไฮโดรไซยานิกแตกตัวหมดไป ช่วยให้สามารถรสขม

หายหมดไปอีกด้วย มันสำปะหลังชนิดขมนี้เช่น สายพันธุ์ระยอง 72 , ระยอง 90 , เกษตรศาสตร์ 50 และ ห้วยบง 60 เป็นต้น

### 2.1.2 พันธุ์มันสำปะหลัง

พันธุ์มันสำปะหลังที่มีเปอร์เซ็นต์แป้งสูงในประเทศไทย ได้แก่

#### (1) พันธุ์ระยอง 11

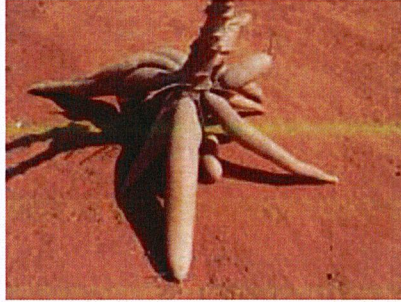
ลักษณะพันธุ์ ลำต้นมีสีน้ำตาลอ่อนตรงยอดอ่อนเป็นสีน้ำตาลอมเขียว ก้านใบมีสีเขียวปนแดง และแผ่นใบจะเป็นใบแหลมแบบใบหอก หัวมันสำปะหลังสดมีลักษณะอ้วนสั้น มีลักษณะเด่นคือ มีเปอร์เซ็นต์แป้งที่สูง ถ้าเก็บเกี่ยวในฤดูฝนจะมีเปอร์เซ็นต์แป้ง 25.8% ถ้าเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้งจะมีเปอร์เซ็นต์แป้ง 29-32% และให้ผลผลิตหัวมันสด 4.77 ตัน/ไร่ สามารถทนความแห้งแล้งได้ดี แต่ควรเก็บเกี่ยวเมื่ออายุประมาณ 1 ปี (12เดือน) ถ้าเก็บเกี่ยวเร็วจะให้ผลผลิตหัวมันสำปะหลังสดต่ำ



รูปภาพที่ 2.1 มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 11

#### (2) พันธุ์ระยอง 86-13

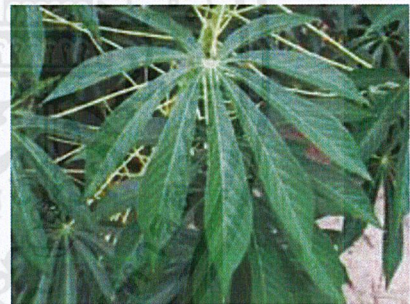
ลักษณะพันธุ์ ลำต้นมีสีเขียวเงินตรงยอดอ่อนเป็นสีม่วงอมน้ำตาล ก้านใบมีสีเขียวปนแดง และแผ่นใบจะเป็นใบหอกกลับ หัวมันสำปะหลังสดมีลักษณะเรียวยาว ลักษณะเด่นคือ มีเปอร์เซ็นต์แป้งสูง ถ้าเก็บเกี่ยวในฤดูฝนจะมีเปอร์เซ็นต์แป้ง 26.3% ถ้าเก็บเกี่ยวในฤดูแล้งจะมีเปอร์เซ็นต์แป้ง 29-33% และให้ผลผลิตหัวมันสด 4.51 ตัน/ไร่ แต่จะไม่เหมาะกับการเก็บเกี่ยวที่อายุน้อยกว่า 1ปี(12เดือน) เพราะจะอ่อนแอต่อโรคใบไหม้



รูปภาพที่ 2.2 มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 86-13

(3) พันธุ์ระยอง 90

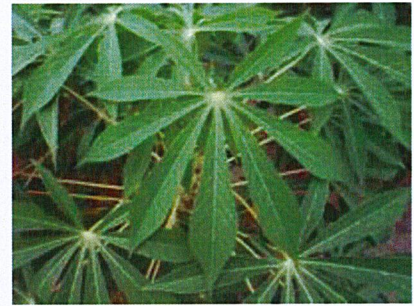
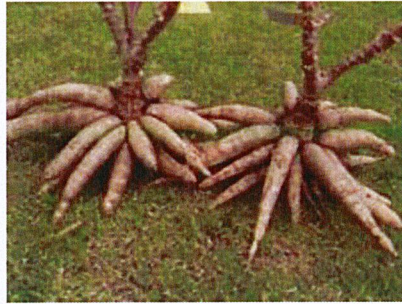
ลักษณะพันธุ์ ลำต้นมีสีน้ำตาลอมส้มตรงยอดอ่อนและก้านใบเป็นสีเขียวอ่อน และแผ่นใบจะเป็นแบบใบหอก หัวมันสำปะหลังสดมีลักษณะอวบเรียวยาว ลักษณะเด่นคือ มีเปอร์เซ็นต์แป้งสูง ถ้าเก็บเกี่ยวในฤดูฝนจะมีเปอร์เซ็นต์แป้ง 24% ถ้าเก็บเกี่ยวในฤดูแล้งจะมีเปอร์เซ็นต์แป้ง 27-29% และให้ผลผลิตหัวมันสด 3.8 ตัน/ไร่ แต่จะไม่ทนแล้ง ดังนั้นจึงไม่เหมาะกับการปลูกปลายฤดูฝน



รูปภาพที่ 2.3 มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 90

(4) พันธุ์ระยอง 7

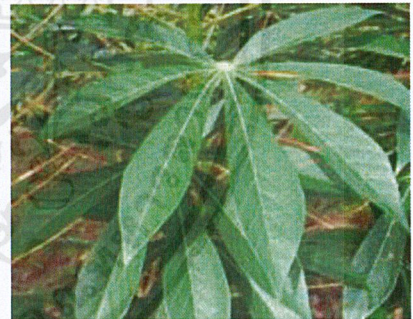
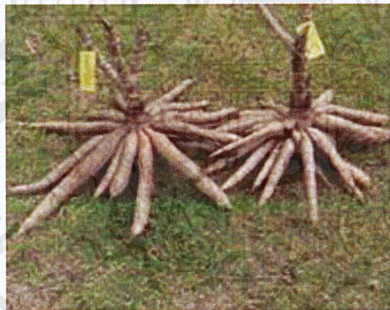
ลักษณะพันธุ์ ลำต้นมีสีน้ำตาลอ่อนตรงยอดอ่อนและก้านใบมีสีเขียวอ่อน และแผ่นใบจะเป็นแฉกใบกลางเป็นรูปใบหอก หัวมันสำปะหลังสดมีลักษณะเรียวยาว ลักษณะเด่นคือ มีเปอร์เซ็นต์แป้งสูง ถ้าเก็บเกี่ยวในฤดูฝนจะมีเปอร์เซ็นต์แป้ง 23% ถ้าเก็บเกี่ยวในฤดูแล้งจะมีเปอร์เซ็นต์แป้ง 27-29% และให้ผลผลิตหัวมันสด 6.1 ตัน/ไร่ แต่จะไม่ต้านทานโรคใบไหม้และไรแดง



รูปภาพที่ 2.4 มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 7

(5) พันธุ์ระยอง 9

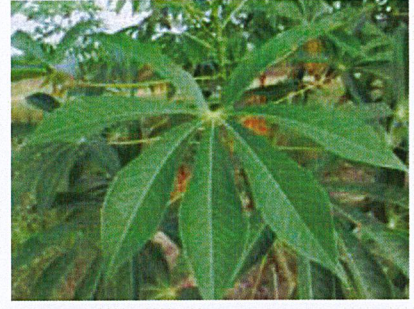
ลักษณะพันธุ์ ลำต้นมีสีน้ำตาลอมเหลืองตรงยอดอ่อนมีสีเขียวอ่อน ก้านใบมีสีเขียวอ่อนอมชมพู และแผ่นใบจะเป็นแฉกใบกลางเป็นรูปใบหอก หัวมันสำปะหลังสดมีลักษณะเรียวยาว ลักษณะเด่นคือ มีเปอร์เซ็นต์แป้งสูง ถ้าเก็บเกี่ยวในฤดูฝนจะมีเปอร์เซ็นต์แป้ง 24% ถ้าเก็บเกี่ยวในช่วงฤดูแล้งจะมีเปอร์เซ็นต์แป้ง 28-31% และให้ผลผลิตหัวมันสด 4.9 ตัน/ไร่ แต่จะไม่ต้านทานต่อโรแดง และไม่เหมาะสมสำหรับดินร่วนเหนียว, ดินร่วนปนลูกรัง และไม่เหมาะสมกับการเก็บเกี่ยวต่ำกว่า 1ปี(12เดือน)



รูปภาพที่ 2.5 มันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 9

(6) พันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

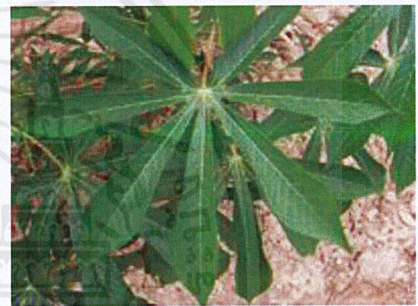
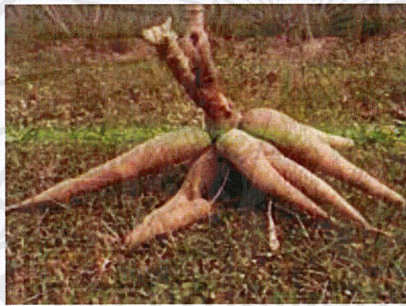
ลักษณะพันธุ์ ลำต้นมีสีเขียวเงินตรงยอดอ่อนมีสีม่วงไม่มีขน ก้านใบมีสีเขียวอมม่วง และแผ่นใบเป็นแบบใบหอก หัวมันสำปะหลังสดมีขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอ ลักษณะเด่นคือมีเปอร์เซ็นต์แป้งสูง ถ้าเก็บเกี่ยวในฤดูฝนจะมีเปอร์เซ็นต์แป้ง 23% ถ้าเก็บเกี่ยวในฤดูแล้งจะมีเปอร์เซ็นต์แป้ง 28% และให้ผลผลิตหัวมันสด 4.4 ตัน/ไร่ แต่การปลูกในบางพื้นที่จะแตกกิ่ง ทำให้ไม่สะดวกในการปฏิบัติดูแลรักษา



รูปภาพที่ 2.6 มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

(7) พันธุ์ห้วยบง 90

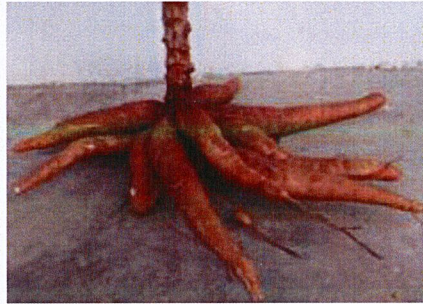
ลักษณะพันธุ์ ลำต้นมีสีเขียวเงินตรงยอดอ่อนมีสีเขียว ก้านใบมีสีเขียวอมแดง และแผ่นใบเป็นแบบใบหอก หัวมันสำปะหลังสดมีลักษณะเป็นทรงกรวย ลักษณะเด่นคือ มีเปอร์เซ็นต์แป้งสูงคือ 27-30% และให้ผลผลิตหัวมันสด 4.9 ตัน/ไร่



รูปภาพที่ 2.7 มันสำปะหลังพันธุ์ห้วยบง 90

(8) พันธุ์พิรุณ 1

ลักษณะพันธุ์ ลำต้นมีสีเขียวเงินตรงยอดอ่อนมีสีม่วงอมเขียว ก้านใบมีสีเขียวอมแดง และแผ่นใบเป็นแบบใบหอก หัวมันสำปะหลังสดมีลักษณะคล้ายทรงกระบอก ลักษณะเด่นคือมีเปอร์เซ็นต์แป้งสูงคือ 22-28.7% เหมาะสำหรับปลูกในดินเหนียวสีแดง และร่วนปนเหนียว แต่จะไม่เหมาะกับดินเหนียวสีดำ

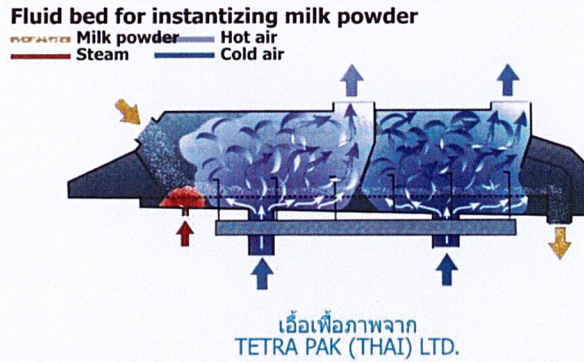


รูปภาพที่ 2.8 มันสำปะหลังพันธุ์พิจิตร 1

## 2.2 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

### 2.2.1 หลักการทำงานเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบทั่วไป

หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดมีดังนี้คือ เป็นวิธีการใช้ Blower เป่าลมร้อนผ่านชั้นล่างของวัตถุดิบที่วางอยู่บนแผ่นตะแกรง ทำให้วัตถุดิบลอยตัวขึ้นและเคลื่อนไหวเหมือนเป็นของไหล และทำให้วัตถุดิบนั้นเกิดการคลุกเคล้าและสัมผัสกับลมร้อนอย่างสม่ำเสมอจึงเป็นผลให้วัตถุดิบมีอัตราการถ่ายเทความร้อนและมวลสูง ทำให้สามารถลดความชื้นของวัตถุดิบได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดนี้จึงเหมาะสมกับวัตถุดิบที่ต้องการใช้เวลานานในการอบ หรือวัตถุดิบที่มีอัตราการความชื้นต่ำ อีกทั้งจำพวกวัตถุดิบที่เป็นเม็ดเล็กที่มีรูปร่างและขนาดสม่ำเสมอ เช่น เมล็ดธัญพืช (cereal grain) ถั่ว (legume) เป็นต้น และยังสามารถใช้ได้กับของเหลวแบบข้นหนืด (paste) เนื้อผลไม้ (pulp) อีกด้วย และข้อเสียของการอบแห้งโดยเครื่องฟลูอิดไดซ์เบดคือจะไม่เหมาะสมกับวัตถุดิบที่มีความชื้นสูงหรือมีการเกาะตัว/รวมตัวสูง เพราะจะทำให้เกิดสภาพ fluidized ได้ยาก และอนุภาคจะกระเด็นออกมาพร้อมกับก๊าซได้ง่าย



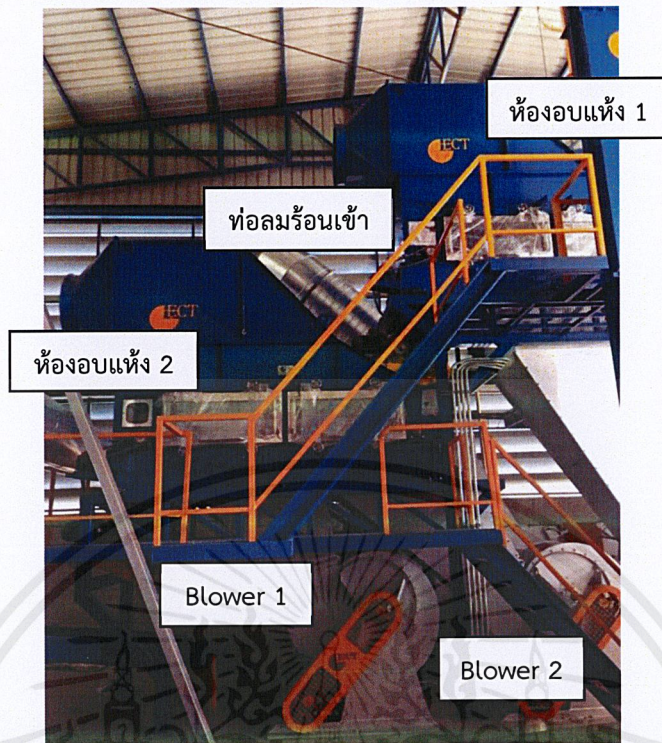
รูปภาพที่ 2.9 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบด  
ที่มา: ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร (2553)

## 2.2.2 หลักการทำงานเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบดในโรงงานอุตสาหกรรม

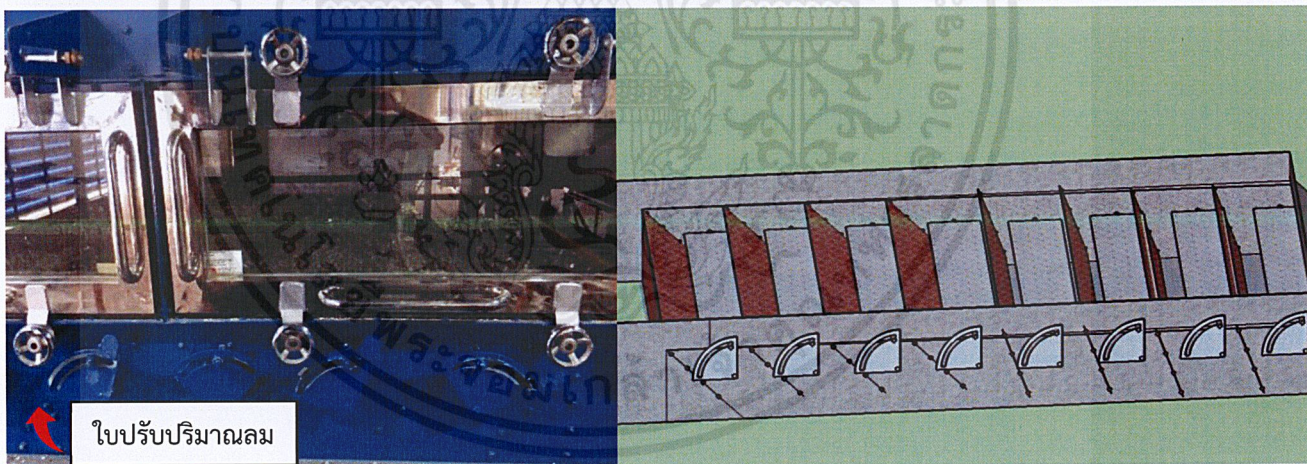
เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบด มีส่วนประกอบหลัก 4 ส่วน ได้แก่ ส่วนของท่อลมร้อน ซึ่งเป็นส่วนให้ความร้อนด้วยลมร้อนจากเตาเผาที่กำลัง 300 MW ติดตั้งอยู่บริเวณด้านหลังของโรงงาน ส่วนของ Blower เป่าลมร้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบด ซึ่งเครื่องอบแห้งฟลูอิดไคซ์เบด 1 เครื่อง จะมี Blower เป่าลมร้อน 2 ตัวเข้าสู่ห้องอบแห้ง ส่วนห้องอบแห้งของเครื่องฟลูอิดไคซ์เบด ส่วนของใบปรับปริมาณลมร้อนเพื่อทำให้วัสดุนั้นมีการเคลื่อนไหวเสมือนเป็นของไหล โดยหลักการทำงานในกระบวนการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบดของบริษัท สิงห์ยัมอุตสาหกรรมการเกษตร จำกัด มีจำนวน 2 เครื่อง โดยจะแบ่งการทำงานดังนี้

1. การทำความร้อนระยะเบื้องต้น (Pre-heat) ด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบด เป็นขั้นตอนการลดความชื้นเริ่มต้นซึ่งจะเป็นการอุ่นตัวมันสำปะหลังนั้นทำให้เกิดการค่อยๆคายความชื้นโดยอาศัยลมร้อนจากการเป่าของ Blower 2 ตัวเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบด

2. การอบแห้งระยะที่ 1 (Drying 1) ด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบด เป็นขั้นตอนการลดความชื้นขั้นที่ 2 ของบริษัท โดยจะเป็นการลดความชื้นที่ให้น้ำระเหยออกสู่ผิวหน้าไปได้อย่างสม่ำเสมอ ดังทฤษฎีกราฟเส้นโค้งการทำแห้งที่กล่าวในหัวข้อ (2.7) เพื่อให้สามารถลดความชื้นได้อย่างสม่ำเสมอ



รูปภาพที่ 2.10 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดของบริษัท สิงห์ยิ้มอุตสาหกรรมเกษตร จำกัด



รูปภาพที่ 2.11 ใบปรับปริมาณลมร้อนเข้าสู่ห้องอบแห้งให้เกิดการเคลื่อนไหลแบบของไหล

### 2.3 การเกิดเจลาตินไนซ์เซชันของแป้ง

เจลาตินไนซ์เซชัน (Gelatinization) หรือเจล เป็นกระบวนการที่เกิดการเปลี่ยนแปลงโมเลกุลภายในของเม็ดแป้ง มาจากการที่น้ำแป้งได้รับความร้อนจนมีอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิของการเกิดเจลาตินไนซ์เซชัน (Gelatinization Temperature) ของแป้ง เนื่องจากว่าความร้อนที่เม็ดแป้งได้รับนี้จะไปทำลายพันธะไฮโดรเจนภายในโมเลกุลของสตาร์ชในเม็ดแป้ง รวมถึงสายพอลิเมอร์อะไมโลส และ อะไมโลสเพกทิน ส่งผลให้เม็ดแป้งสูญเสียโครงสร้างภายในโมเลกุลไปจึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะที่ปรากฏคือ การเกิดเจลขึ้นภายในอาหารที่มีแป้งเป็นส่วนประกอบ เช่น การที่ทำให้แป้งสุกด้วยการให้ความร้อนในชีวิตประจำวันคือ การทำให้อาหารสุกด้วยวิธีต่างๆ เช่น การนึ่งข้าวให้สุก การอบอาหารด้วยไมโครเวฟ การทอดไก่ การอบขนม เป็นต้น (พิมพ์เพ็ญ และนิธิยา, 2553)

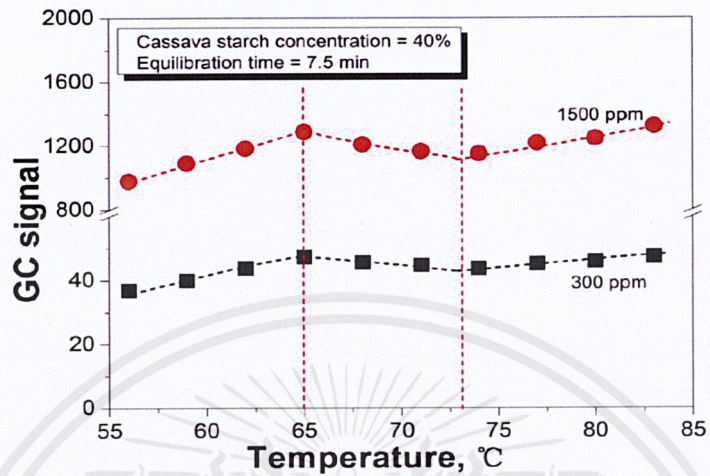


รูปภาพที่ 2.12 การเกิดเจลในอาหารด้วยการทำให้แป้งสุก

ศึกษาผลของการให้ความร้อนและการทำให้เย็นที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างและการย่อยของแป้ง ได้อธิบายว่า ช่วงอุณหภูมิที่แป้งดิบของแป้งมันสำปะหลังเริ่มเกิดการเจลาตินไนซ์เซชัน (Gelatinization) อยู่ที่ช่วงอุณหภูมิ 65-70 °C (ธนากร รติธรรมธร, 2559)

การศึกษาหาอุณหภูมิเจลาตินไนซ์เซชันของแป้งด้วยวิธีโครมาโทกราฟีแก๊สแบบติดตั้งโปรแกรมอัตโนมัติ ได้อธิบายว่า ช่วงอุณหภูมิที่แป้งมันสำปะหลังเกิดการเจลาตินไนซ์เซชันด้วยวิธีการวัดแบบโครมาโทกราฟีแก๊สอยู่ในช่วง 65-73 °C ดังรูปที่ 2.15 และยังมีการนำไปทดสอบด้วยวิธีมาตรฐานคือวัดโดยใช้

DSC พบว่าช่วงอุณหภูมิเริ่มต้นที่ทำให้มันสำปะหลังเกิดเจลลาตินไนซ์เซชันคือ 67.7 °C โดยจะอยู่ในช่วง 67.7-76.2 °C ดังตารางที่ 2.1 (Dai et al., 2019)



รูปภาพที่ 2.13 อุณหภูมิการเกิดเจลลาตินไนซ์เซชันของแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธีโครมาโทกราฟีแก๊ส

ตารางที่ 2.1 อุณหภูมิการเกิดเจลลาตินไนซ์เซชันของแป้งมันสำปะหลังด้วยวิธีมาตรฐาน DSC

Starch Type	Gelatinization Temperature °C	
	DSC Method (n=3)	
Cassava	$T_o$	$T_e$
	67.7	76.2

## 2.4 ปัจจัยที่ทำให้เกิดเจล

การเกิดเจลขึ้นในเนื้อวัสดุนั้นจะมาจากปัจจัยหลักสองปัจจัยคือ อุณหภูมิ และความชื้น ซึ่งอุณหภูมิที่เป็นปัจจัยการเกิดเจลนี้มาจากอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลของวัสดุนั้นๆ ส่วนความชื้นที่เป็นปัจจัยการเกิดเจลคือ ความชื้นเริ่มต้นของวัสดุที่มีค่าสูงมาก เช่น มันสำปะหลังของบริษัท สิงห์ยิ้ม อุตสาหกรรมการเกษตร จำกัด มีค่าความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยของมันสำปะหลังที่ 60%w.b ซึ่งเป็นค่าความชื้นเริ่มต้นที่มีค่าค่อนข้างสูง เป็นต้น เมื่ออุณหภูมิที่สูงกว่าการเกิดเจลมาเจอกับความชื้นเริ่มต้นที่มีค่าสูงปัจจัย

ทั้งสองข้างต้นนี้จึงเป็นตัวส่งเสริมให้เกิดเจลขึ้นในเนื้อวัสดุ ซึ่งจะส่งผลให้วัสดุไม่สามารถลดความชื้นได้ (นรินาม, 2561a)



รูปภาพที่ 2.14 ปัจจัยการเกิดเจล

การศึกษากระบวนการผลิตข้าวกล้องผสมหุงสุกไว โดยศึกษาเกี่ยวกับผลของอุณหภูมิและเวลาในการแช่ข้าวพบว่า การแช่ข้าวในน้ำเพื่อให้มีความชื้น 30% นั้นเป็นปริมาณความชื้นที่เพียงพอต่อการที่จะทำให้เม็ดแป้งในข้าวกล้องผสมนั้นเกิดการเจลลิตไนซ์เซชันขึ้นในการให้อุณหภูมิที่สูงหรือการทำให้สุกที่อุณหภูมิสูงโดยใช้ความร้อนจากหม้อหนึ่งความดันไอ (กาญจนา คุลิกา และ ดวงตา, 2555)

การศึกษาผลของความชื้นที่มีอย่างจำกัดและอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการรีโทรเกรเดชันของแป้งข้าวเจ้า ได้อธิบายว่าเม็ดแป้งในข้าวเจ้านี้ถูกทำให้เกิดเจลลิตไนซ์เซชันขึ้นในความชื้นที่อยู่ในช่วง 30-42% จากงานวิจัยนี้พบว่าความชื้นที่จะทำให้แป้ง (Starch) เกิดเจลได้นั้นคืออยู่ที่ช่วงความชื้น 30% ขึ้นไป (Li Ding et al., 2019)

## 2.5 ความชื้นในวัสดุ

ค่าความชื้นในวัสดุเป็นการนำเอาวัสดุที่ต้องการหาค่าความชื้นมาชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกค่าไว้เป็นน้ำหนักของตัวอย่างเริ่มต้น จากนั้นจึงนำมาอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 105°C จนกระทั่งน้ำหนักไม่เปลี่ยนแปลงจากนั้นบันทึกค่าไว้เป็นน้ำหนักของตัวอย่างแห้งแล้ว โดยแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ (นรินาม, 2560b)

ความชื้นมาตรฐานเปียก (wet basis) ค่าความชื้นมาตรฐานเปียกนิยมใช้ในทางการค้า เป็นค่าที่ใช้บ่งชี้ความชื้นโดยทั่วไปในชีวิตประจำวัน สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\% \text{ความชื้นฐานเปียก} = \frac{\text{ปริมาณน้ำ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น}} \times 100 \quad (2.1)$$

ความชื้นมาตรฐานแห้ง (dry basis) ค่าความชื้นมาตรฐานแห้งจะใช้ในการวิจัยทางวิศวกรรม วิทยาศาสตร์และใช้วิเคราะห์กระบวนการอบแห้ง เพราะช่วยให้คำนวณได้สะดวก เนื่องจากน้ำหนักแห้งของตัวอย่างจะคงที่ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\% \text{ความชื้นฐานแห้ง} = \frac{\text{ปริมาณน้ำ}}{\text{น้ำหนักตัวอย่างแห้ง}} \times 100 \quad (2.2)$$

เมื่อ ปริมาณน้ำ = น้ำหนักตัวอย่างเริ่มต้น - น้ำหนักตัวอย่างแห้ง

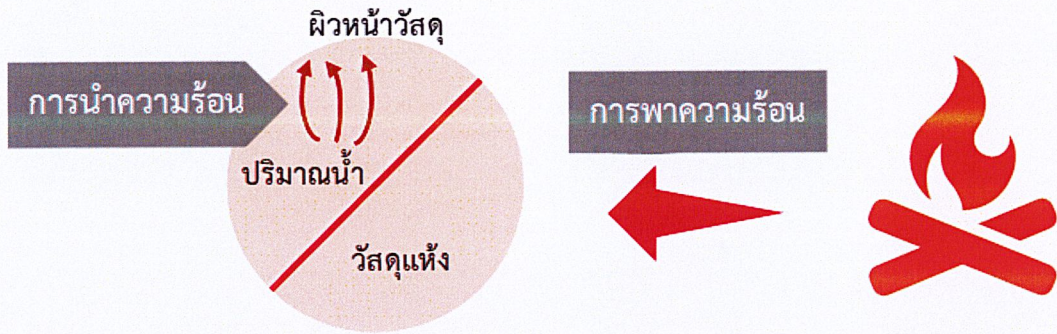
## 2.6 การอบแห้งวัสดุ

การอบแห้งวัสดุ คือ การเอาปริมาณน้ำออกจากเนื้อวัสดุที่ต้องการโดยมีจุดประสงค์ที่จะช่วยรักษาสภาพวัสดุไว้ให้นานขึ้นโดยไม่เกิดการเสียหายเนื่องมาจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์หรือแมลง ก่อนที่จะนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป การอบแห้งมีความสำคัญมากต่อวัสดุหลังการอบแห้ง ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของกลิ่น สีและรสชาติ โดยในกระบวนการอบแห้งจะมีการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้น คือ การถ่ายเทความร้อนจากอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมภายนอกไปยังผิวหน้าของวัสดุ และการถ่ายเทมวลน้ำวัสดุจากข้างในไปยังผิวของวัสดุเนื่องมาจากการถ่ายเทความร้อนสู่สิ่งแวดล้อม พลังงานถ่ายเทวัสดุอบแห้ง คือ (ภิญโญ ชุมณี และคณะ, 2554)

1. การพาความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนที่มาจากการระเหยเมื่อได้รับสภาวะอากาศร้อนที่ไหลผ่านวัสดุ

2. การนำความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนเมื่อวัสดุสัมผัสกับผิวร้อนโดยการส่งผ่านความร้อนภายในวัสดุเกิดขึ้นโดยการนำความร้อนจากภายในเนื้อวัสดุให้ระเหยไปสู่ผิวหน้าของวัสดุ ดังรูป

2.13

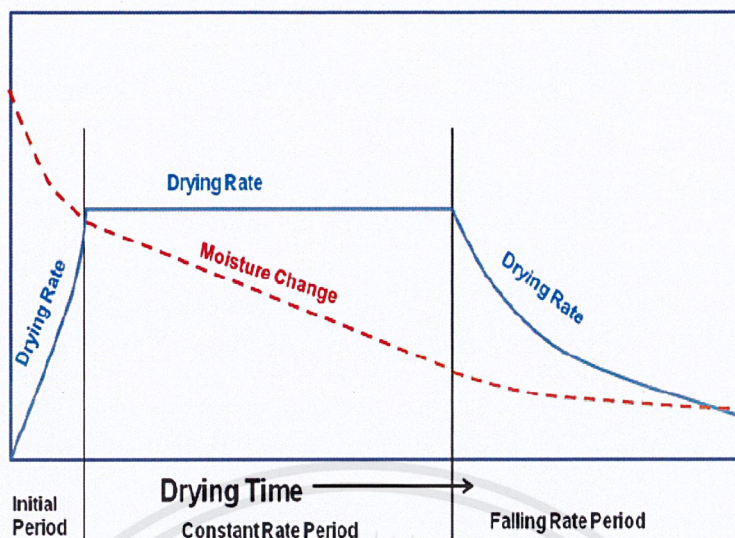


รูปภาพที่ 2.15 ลักษณะการถ่ายเทความร้อนของวัสดุในกระบวนการอบแห้ง

## 2.7 กราฟอัตราการอบแห้งวัสดุ

อัตราการอบแห้งวัสดุเป็นอัตราที่น้ำระเหยออกจากวัสดุต่อพื้นที่ที่เกิดการระเหยต่อหน่วยเวลา การทำแห้ง (dehydration) จะสามารถแบ่งได้เป็น 3 ช่วง ดังนี้คือ

1. ช่วงให้ความร้อนเบื้องต้น (Initial period) เป็นช่วงเริ่มต้นของการอบแห้ง โดยความชื้นเริ่มต้นของวัสดุจะมีค่าสูง ซึ่งช่วงนี้จะเป็นการถ่ายเทความร้อนระหว่างตัวกลางกับวัสดุ ทำให้อุณหภูมิพื้นผิวของวัสดุสูงขึ้น จะเป็นการถ่ายเทปริมาณน้ำที่ผิวหน้าของวัสดุไปกับอุณหภูมิความร้อนที่ผิวหน้าสัมผัส ทำให้ลักษณะของอัตราการอบแห้งค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงช่วงอัตราการทำแห้งที่คงที่
2. ช่วงอัตราการอบแห้งที่คงที่ (Constant rate period) เป็นการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลระหว่างวัสดุกับอากาศ จะเป็นช่วงที่น้ำภายในเนื้อวัสดุจะเริ่มระเหยออกสู่ผิวหน้าของวัสดุด้วยพลังงานความร้อนอย่างต่อเนื่อง ซึ่งในช่วงนี้ความร้อนจากลมร้อนจะถูกใช้เพื่อระเหยน้ำที่ผิวหน้าและปริมาณน้ำของน้ำที่ระเหยออกไปจะเป็นปริมาณที่คงที่ นอกจากนี้อุณหภูมิของวัสดุก็จะคงที่เช่นกัน
3. ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง (Falling rate period) เป็นช่วงที่ความชื้นภายในวัสดุเหลือน้อยลงหรือการเคลื่อนที่ของน้ำภายในเนื้อวัสดุช้ากว่าการที่พาความร้อนจากผิววัสดุไปยังอากาศ ทำให้การแพร่ไปยังที่ผิวไม่ต่อเนื่องทำให้อัตราการอบแห้งลดลงและอุณหภูมิของวัสดุก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ



รูปภาพที่ 2.16 กราฟอัตราการแห้ง

ที่มา: Manoj Mohanty (2012)

## 2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Odetunmibi et al (2017) การศึกษาการทดลองอบแห้งจลนพลศาสตร์ของแป้งมันสำปะหลังในระดับอุตสาหกรรม จากงานวิจัยนี้พบว่าแป้งมันสำปะหลังที่มีความชื้นเริ่มต้นสูงจะทำให้เวลาที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งนานขึ้นและในทางกลับกันถ้าแป้งมันสำปะหลังที่มีความชื้นเริ่มต้นที่ต่ำจะทำให้เวลาที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งน้อยกว่าแป้งมันสำปะหลังที่มีค่าความชื้นเริ่มต้นสูง นอกจากนี้ยังรวมถึงความเร็วลมที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งเช่นกัน กล่าวคือเมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นอัตราการอบแห้งก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน

Toure & Kibangou-Nkembo (2000) ศึกษาหาแบบจำลองเชิงตัวเลขและการศึกษาเชิงทดลองการอบแห้งด้วยพลังงานจากแสงอาทิตย์ตามธรรมชาติ จากมันสำปะหลังในอาบิตจาน (โกตดิวัวร์) จากงานวิจัยนี้พบว่าเป็นการทดสอบโดยการนำมันสำปะหลังไปตากแดดให้ลดความชื้นโดยวิธีธรรมชาติคือการใช้แสงอาทิตย์ พบว่าค่าความชื้นของมันสำปะหลังเริ่มต้นอยู่ที่ 141.1% d.b. และเมื่อถึงจุดที่น้ำสามารถระเหยไปสู่ผิวหน้าเป็นปริมาณเท่ากับที่น้ำที่ผิวระเหยไปเมื่อสัมผัสกับอากาศร้อนพบว่ามีความชื้นเหลือ 98.20% d.b. และเมื่อเวลาผ่านไป 16.50 ชั่วโมง พบว่ามีความชื้นสุดท้ายเหลือเพียง 10.71% d.b. โดยการเปลี่ยนแปลงนี้จะนำไปศึกษาตัวแปรที่สำคัญเพื่อให้ได้พารามิเตอร์ที่ใช้เป็นแบบจำลองเชิงตัวเลขในการอบแห้งมันสำปะหลังในอาบิตจาน

Chirife & Gachero (1970) ศึกษาเส้นลักษณะเฉพาะของการอบแห้งมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบไหลผ่าน จากงานวิจัยนี้พบว่าตัวแปรที่มีผลต่อการอบมันสำปะหลังคือ อุณหภูมิ เวลา และความเร็วลม ซึ่งจะพบว่า ถ้าให้อุณหภูมิร้อนที่สูงเกิน 84 °C ทำให้มันสำปะหลังเกิดความเสียหายทางรูปลักษณะ ส่วนเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจะใช้เวลาที่นานขึ้นถ้าค่าความชื้นของวัสดุมีค่ามาก

วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล (2534) ศึกษาการประหยัดพลังงานและเวลาการอบแห้งมันสำปะหลังโดยใช้เทคนิคระเบิดฟู จากงานวิจัยนี้พบว่าการใช้กระแสลมร้อนในการอบแห้งมันสำปะหลังพบว่าการทดลองใช้สภาวะอุณหภูมิที่ 70 °C ทำให้ผิวมันสำปะหลังเกิดการแข็งตัวจนทำให้น้ำภายในผิวมันสำปะหลังไม่สามารถระเหยออกไปได้ทันจนเกิดลักษณะที่เรียกว่าการเกิดเจลขึ้น แต่เมื่อใช้อุณหภูมิร้อนที่ 60 °C เป็นสภาวะที่ดีที่สุดที่เหมาะสมในการอบแห้งมันสำปะหลังได้โดยไม่เกิดเจล ดังนั้นในเทคนิคระเบิดฟูจึงเลือกใช้อุณหภูมิที่ 60 °C ในการทดสอบค่าการประหยัดพลังงาน

เทวรัตน์ ตรีอำนาจ และคณะ (2554) ศึกษาต้นแบบการลดความชื้นจากมันสำปะหลังโดยใช้ระบบอบแห้งแบบโรตารี จากงานวิจัยนี้พบว่า มันสำปะหลังที่นำมาศึกษามีความชื้นเริ่มต้นที่ 81.10%w.b. เมื่อนำมาอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบโรตารีพบว่าสามารถลดความชื้นจนเหลือเพียง 13.8%w.b. โดยใช้เวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที จากเดิมที่นำจากมันสำปะหลังไปตากแห้งจะต้องใช้เวลา 12 วัน จึงจะสามารถลดความชื้นเหลือ 11.82%w.b. ดังนั้นการอบแห้งจากมันสำปะหลังด้วยระบบโรตารีจึงช่วยคืนทุนให้กับโรงงานอุตสาหกรรมได้

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

#### 3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดในอุตสาหกรรมการค้าจำนวน 2 เครื่อง (Fluidize-bed, ECT Co.,Ltd, Thailand)
2. เครื่องหั่นเต่าผักและผลไม้ (CD-1500, Zhaoqing Fengxiang, China)
3. เครื่องวัดเปอร์เซ็นต์แป้ง (Genix GX3000\_ECOF, Genius&Design Engineer, Thailand)
4. ตู้อบลมร้อน (ULM 500, Memmert, Germany)
5. เครื่องชั่งไฟฟ้า (AUY220, Shimadzu, Thailand)

#### 3.2 ตัวอย่างมันสำปะหลังและการเตรียมมันสำปะหลังหั่นเต่า

ตัวอย่างมันสำปะหลังที่บริษัทใช้ในการทดลองส่วนใหญ่แล้วจะเป็นมันสำปะหลังที่มีเปอร์เซ็นต์แป้งที่สูงที่บริษัทกำหนดไว้คือ 25% ซึ่งพันธุ์มันสำปะหลังที่ส่วนใหญ่บริษัทรับเข้ามาจากเกษตรกรได้แก่ พันธุ์ระยอง 11 พันธุ์ระยอง 90 พันธุ์ระยอง 7 เกษตรศาสตร์ 50 และห้วยบง 60 เป็นต้น โดยจะใช้มันสำปะหลังสดที่มีอายุตั้งแต่ 7-8 เดือนขึ้นไป เพราะจะได้ปริมาณแป้งที่สูง โดยบริษัทจะมีการคัดเลือกตัวอย่างมันสำปะหลังที่จะใช้ในกระบวนการผลิตคือ เจ้าหน้าที่ฝ่ายสรรหาวัตถุดิบจะทำการนำมันสำปะหลังที่มีสายพันธุ์ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นหรือในหัวข้อ (2.1.2) จากไร่ของเกษตรกรมาเพื่อวัดหาเปอร์เซ็นต์แป้งทั้งสิ้นประมาณ 5 กิโลกรัมต่อจำนวนครั้งในการวัดหาเปอร์เซ็นต์แป้ง เมื่อได้ทำการวัดจากไร่ของเกษตรกรโดยตรงแล้วจะนำค่าเปอร์เซ็นต์แป้งที่ได้มาตรวจสอบว่ามีได้ค่าตรงตามที่บริษัทกำหนดไว้หรือไม่ ถ้าตรงกับความต้องการของบริษัทแล้วจะทำการให้เกษตรกรเก็บเกี่ยวผลผลิตเพื่อนำมาเข้าสู่กระบวนการผลิตของโรงงาน ทั้งนี้เมื่อเก็บส่งให้บริษัทแล้วบริษัทจะทำการวัดเปอร์เซ็นต์แป้งอีกครั้ง โดยจะสุ่มหยิบตัวอย่างจากกองมันสำปะหลัง 3 ส่วน ด้วยกันคือ ส่วนท้าย ส่วนกลาง และส่วนหน้าของกองมันสำปะหลัง ทำการวัดซ้ำ 3 ครั้ง คือ 5 กิโลกรัมต่อจำนวนครั้งการวัด โดยรายละเอียดในส่วนของการวัดเปอร์เซ็นต์แป้งของมันสำปะหลัง จะถูกกล่าวในหัวข้อ (3.5.1) เมื่อทำการคัดเลือกตัวอย่างมันสำปะหลังเรียบร้อยแล้วจากนั้นจะทำการนำมันสำปะหลังเข้าสู่เครื่องล้างเพื่อชำระล้างเศษหิน เศษดินที่ปนมาในมันสำปะหลัง แล้วนำมาหั่นห้ำมันสำปะหลังออก เพื่อนำไปเข้าสู่ขั้นตอนการเตรียมมัน

สําปะหลังหั่นเต๋า สำหรับเครื่องหั่นเต๋านี้บริษัทใช้เครื่องหั่นเต๋า จำนวน 2 เครื่อง แสดงดังรูปที่ 3.1 ซึ่งเครื่องหั่นเต๋ามีกำลังการผลิตเครื่องละ 2.5 ตัน/ชั่วโมง โดยขนาดของมันสําปะหลังหั่นเต๋าวที่บริษัทกำหนดเป็นทรงลูกบาศก์ที่มีขนาดแต่ละด้าน 10 mm ซึ่งจะแสดงดังรูปที่ 3.2



รูปภาพที่ 3.1 เครื่องหั่นเต๋ามันสําปะหลัง



รูปภาพที่ 3.2 ตัวอย่างมันสําปะหลังหั่นเต๋าวที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง

### 3.3 กระบวนการอบแห้งมันสําปะหลังหั่นเต๋าวของบริษัท สิ่งที่ยืมอุตสาหกรรมเกษตร จำกัด

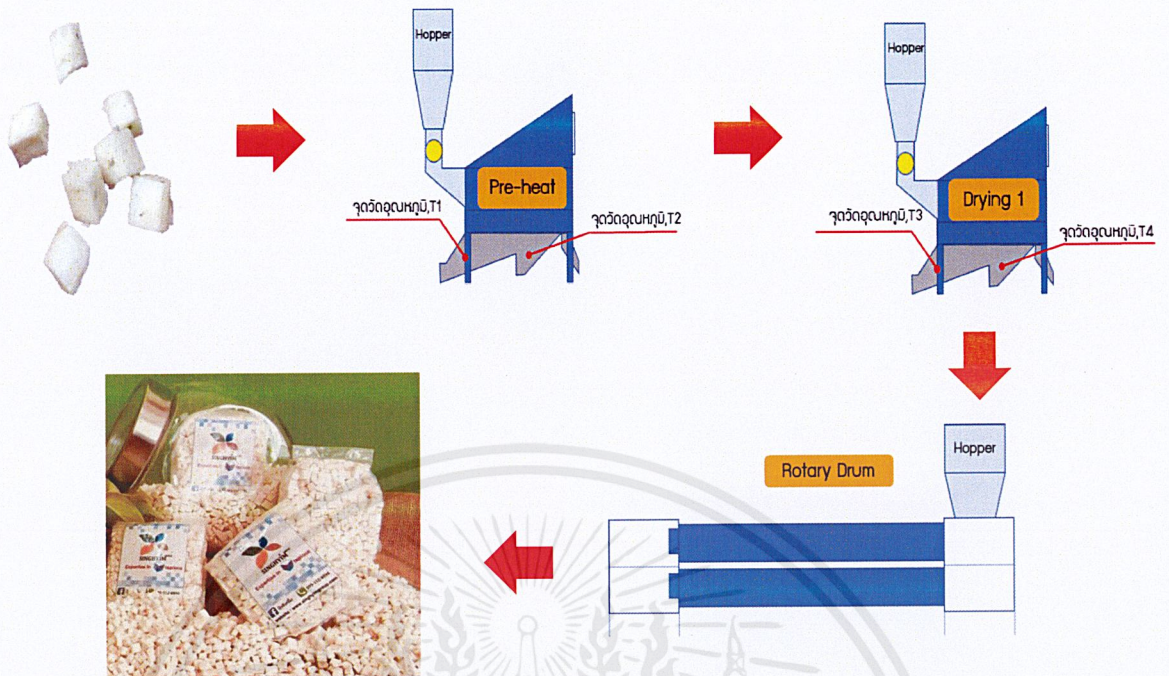
ในขั้นตอน กระบวนการอบแห้งของบริษัทมีดังนี้ 1. ขั้นตอนการทำความร้อนเบื้องต้น (Pre-heat) 2. ขั้นตอนการอบแห้งระยะที่ 1 (Drying 1) และ 3. ขั้นตอนการอบแห้งระยะที่ 2 (Drying 2) ดังแสดงในรูปที่ 3.3 เป็นลำดับในการอบแห้งมันสําปะหลังหั่นเต๋าวซึ่งได้โครงการนี้จะทำการศึกษาเฉพาะเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบต 2 ขั้นตอน โดยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบตของบริษัทถูกออกแบบให้มี

กำลังการผลิตที่ 6-7 ตัน/ชั่วโมง และในส่วนของเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุนลูกออกแบบให้มีกำลังการผลิตที่ 6-7 ตัน/ชั่วโมง ซึ่งกระบวนการอบแห้งของบริษัทจะมีการทำงานดังนี้

1. การทำความร้อนเบื้องต้น (Pre-heat) ด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด เป็นขั้นตอนอุ่นตัวมันสำปะหลังแห้งทำให้เกิดการค่อยๆคายความชื้น
2. การทำแห้งระยะที่ 1 (Drying 1) ด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด เป็นขั้นตอนที่ให้น้ำสามารถระเหยไปสู่ผิวหน้าได้อย่างสม่ำเสมอ และสามารถลดความชื้นได้อย่างสม่ำเสมอ
3. การทำแห้งระยะที่ 2 (Drying 2) ด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน เป็นขั้นตอนที่เพิ่มอุณหภูมิผิวให้สูงขึ้น และทำให้ความชื้นของมันสำปะหลังที่ออกจากขั้นตอน Drying 2 มีค่าเป็น 14 %w.b.

โดยงานวิจัยนี้สนใจศึกษาเฉพาะขั้นตอนการทำความร้อนเบื้องต้น (Pre-heat) และ ขั้นตอนการทำแห้งระยะที่ 1 (Drying 1) ซึ่งสิ่งที่เราสามารถควบคุมได้ในเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด 2 ขั้นตอน ได้แก่ อัตราการป้อน (ตัน/ชั่วโมง) อุณหภูมิลมร้อน ( $^{\circ}\text{C}$ ) และเวลา (นาที) ดังนั้นจึงได้ออกแบบแนวทางการทดลองออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่

1. ส่วนที่ 1 เป็นขั้นตอนการให้ความร้อนเบื้องต้น (Pre-heat) ด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดตัวที่ 1 คือ ควบคุมให้อุณหภูมิลมร้อนเริ่มต้นให้ต่ำกว่าอุณหภูมิของการเกิดเจลลาคีโนสซิสของแป้งมันสำปะหลังที่ได้กล่าวไปในหัวข้อ (2.7) และควบคุมให้ภายในเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดมีลักษณะการเคลื่อนไหวยมันสำปะหลังแห้งหน้าตาเหมือนเป็นของไหล จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างมันสำปะหลังแห้งในขั้นตอนการให้ความร้อนเบื้องต้น (Pre-heat) ไว้สำหรับการหาค่าความชื้น
2. ส่วนที่ 2 เป็นขั้นตอนการอบแห้งระยะที่ 1 (Drying 1) ด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดตัวที่ 2 คือ ควบคุมให้อุณหภูมิลมร้อนต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลลาคีโนสซิสของแป้งมันสำปะหลัง และควบคุมให้ภายในเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดมีลักษณะการเคลื่อนไหวยมันสำปะหลังแห้งหน้าตาเหมือนเป็นของไหล จากการออกแบบให้สภาวะของขั้นตอนการอบแห้งระยะที่ 1 (Drying 1) มีสภาวะใกล้เคียงกับขั้นตอนการให้ความร้อนเบื้องต้น (Pre-heat) นั้นเพื่อให้มันสำปะหลังแห้งหน้าตาสามารถคายความชื้นออกมาได้มากขึ้นและควบคุมการเกิดเจลลาคีโนสซิสในมันสำปะหลังให้ได้มากที่สุด ซึ่งความชื้นที่กำหนดไว้เมื่อมันสำปะหลังแห้งหน้าตาออกจากขั้นตอนการอบแห้งระยะที่ 1 (Drying 1) ต้องมีความชื้นที่ต่ำกว่า 30%w.b. จึงจะไม่ทำให้มันสำปะหลังแห้งหน้าตาที่ออกมาเกิดเจลลาคีโนสซิสและสามารถนำไปอบแห้งต่อเพื่อให้ได้ความชื้นผลิตภัณฑ์สุดท้ายออกมาตรงตามที่บริษัทกำหนดไว้



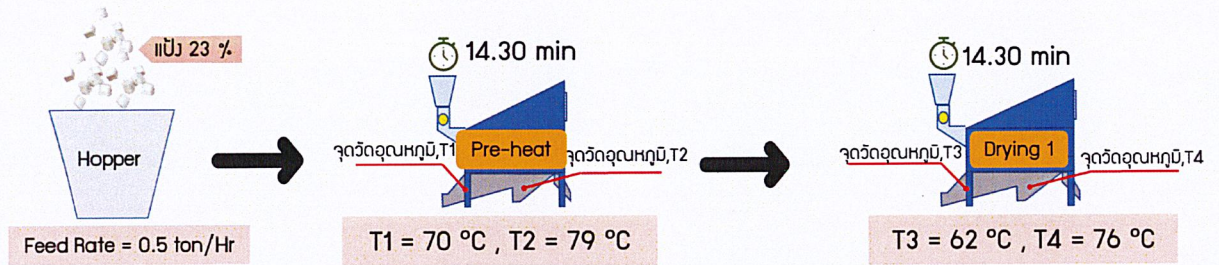
รูปภาพที่ 3.3 กระบวนการอบแห้งของบริษัท สิงห์ยิ้มอุตสาหกรรมการเกษตร จำกัด

### 3.4 การทดลองอบแห้งมันสำปะหลังด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด 2 ขั้นตอน

#### 3.4.1 การศึกษาปัญหาวิจัยเริ่มต้น

ทำการศึกษาการอบแห้งมันสำปะหลังหั่นเต๋าตามกระบวนการเดิมที่บริษัทดำเนินการอยู่เดิมโดยเริ่มจากการนำมันสำปะหลังหั่นเต๋าจำนวน 2 ตัน ที่ทำการวัดเปอร์เซ็นต์แป้งเรียบร้อยแล้ว โดยการทดลองนี้ใช้มันสำปะหลังที่มีเปอร์เซ็นต์แป้ง 23% บ้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้อัตราการบ้อน 0.5 ตัน/ชั่วโมง โดยสภาวะที่ใช้แบ่งได้ดังนี้

1. ขั้นตอนการให้ความร้อนเบื้องต้น (Pre-heat) จากรูปภาพที่ (3.4) จะแสดงจุดวัดอุณหภูมิลมร้อนที่เข้าสู่ตัวเครื่อง โดยขั้นตอนนี้จะใช้สัญลักษณ์อุณหภูมิลมร้อนเป็น T1 และ T2 ดังนั้นสภาวะที่ใช้กับขั้นตอน Pre-heat คือ  $T1 = 70^{\circ}\text{C}$  และ  $T2 = 79^{\circ}\text{C}$  ใช้เวลา 14.30 นาที
  2. ขั้นตอนการอบแห้งระยะที่ 1 (Drying 1) จากรูปภาพที่ (3.3) จะแสดงจุดวัดอุณหภูมิลมร้อนที่เข้าสู่ตัวเครื่อง โดยขั้นตอนนี้จะใช้สัญลักษณ์อุณหภูมิลมร้อนเป็น T3 และ T4 ดังนั้นสภาวะที่ใช้กับขั้นตอน Drying 1 คือ  $T3 = 62^{\circ}\text{C}$  และ  $T2 = 76^{\circ}\text{C}$  ใช้เวลา 14.30 นาที
- โดยทั้ง 2 ขั้นตอนนี้จะแสดงดังรูปภาพที่ 3.4



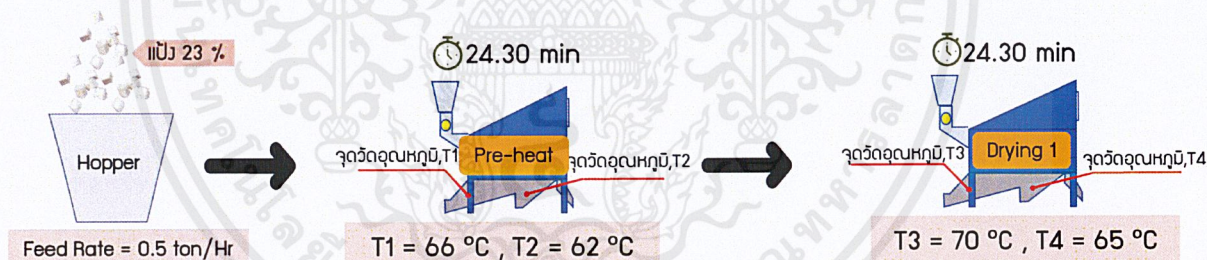
รูปภาพที่ 3.4 แสดงสถานะของปัญหาวิจัยเริ่มต้น

จากรูปข้างต้นจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่บริษัทดำเนินการอยู่เดิมที่ขั้นตอน Pre-heat และขั้นตอน Drying 1 เป็นการใช้สถานะอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลลาตินในซีเซชันของแป้งมันสำปะหลัง โดยความชื้นเริ่มต้นของมันสำปะหลังหั่นเต๋านี้มีค่าความชื้นเริ่มต้นที่สูงกว่าความชื้นที่จะทำให้เกิดเจลอย่างแน่นอน และการที่ให้ขั้นตอนเริ่มต้นของกระบวนการอบแห้ง คือขั้นตอน Pre-heat มีสถานะอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลลาตินในซีเซชันของแป้งมันสำปะหลังจึงเป็นปัจจัยที่ช่วยส่งเสริมทำให้เกิดเจลขึ้นตามปัจจัยการเกิดเจลที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.4 จึงจะส่งผลให้มันสำปะหลังหั่นเต๋าที่ออกจากขั้นตอน Pre-heat เกิดเจลขึ้นได้รวมไปถึงการใช้ อุณหภูมิสูงมากนี้อาจจะทำให้ผิวของมันสำปะหลังหั่นเต๋าเกิดลักษณะที่เปลือกแข็งในขณะที่เนื้อภายในมันสำปะหลังหั่นเต๋ายังมีความชื้นหรือมีน้ำภายในเนื้อวัสดุเยอะ เมื่อผิวที่เปลือกแข็งแล้วก็ยากต่อการที่จะพยายามทำให้น้ำภายในเนื้ออาหารระเหยออกมามากขึ้น ซึ่งจากสถานะอุณหภูมิที่สูงจากขั้นตอน Pre-heat แล้วนำมาอบแห้งต่อที่ขั้นตอน Drying 1 แบบต่อเนื่องในสถานะอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลลาตินในซีเซชันของแป้งมันสำปะหลังเช่นกันกับขั้นตอน Pre-heat แบบทันที และในขั้นตอน Drying 1 มันสำปะหลังหั่นเต๋ามีความชื้นเริ่มต้นที่สูงกว่าความชื้นที่จะทำให้เกิดเจลอย่างแน่นอนเช่นเดียวกันกับขั้นตอน Pre-heat ดังนั้นสิ่งนี้จึงยังเป็นตัวส่งเสริมให้เกิดเจลลาตินในซีเซชันขึ้นในชั้นมันสำปะหลังมากยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงได้ทำแนวการออกแบบ การทดลองเพื่อปรับปรุงให้สามารถควบคุมอุณหภูมิและเวลาให้ได้ตรงตามแนวทางที่ออกแบบไว้ สำหรับการลดปัญหาการเกิดเจลขึ้นในกระบวนการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด 2 ขั้นตอน ทั้งนี้ขั้นตอนการทำการทดลองจะต้องคอยตรวจเช็คสถานะการเคลื่อนไหวของมันสำปะหลังหั่นเต๋าภายในเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด เพื่อคงสถานะให้เคลื่อนไหวเสมือนเป็นของไหล จากนั้นทำการเก็บบันทึกข้อมูลสถานะที่ทดลอง พร้อมทั้งสุ่มเก็บตัวอย่างจากทั้ง 2 ขั้นตอนเพื่อนำไปคำนวณหาค่าความชื้นเพื่อใช้เป็นแนวทางสำหรับการทดลองครั้งถัดไป

### 3.4.2 การศึกษาการอบแห้งมันสำปะหลังหั่นเต๋าโดยการปรับอุณหภูมิและเพิ่มเวลาในการอบแห้ง

เนื่องมาจากปัญหาการเกิดเจลขึ้นในกระบวนการอบแห้งที่ได้ศึกษาจากปัญหาวิจัยเริ่มต้นที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น จึงได้ทำการทดลองแนวทางที่ได้ออกแบบไว้ โดยเริ่มจากการนำมันสำปะหลังหั่นเต๋าที่ทำการวัดเปอร์เซ็นต์แป้งเรียบร้อยแล้ว โดยการทดลองนี้ใช้มันสำปะหลังที่มีเปอร์เซ็นต์แป้ง 23% ป้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้อัตราการป้อน 0.5 ตัน/ชั่วโมง โดยสถานะที่ใช้แบ่งได้ดังนี้

1. ขั้นตอนการให้ความร้อนเบื้องต้น (Pre-heat) จากรูปภาพที่ (3.5) จะแสดงจุดวัดอุณหภูมิร้อนที่เข้าสู่ตัวเครื่อง โดยขั้นตอนนี้จะใช้สัญลักษณ์อุณหภูมิร้อนเป็น T1 และ T2 ดังนั้นสถานะที่ใช้กับขั้นตอน Pre-heat คือ T1 = 66 °C และ T2 = 62 °C ใช้เวลา 24.30 นาที
2. ขั้นตอนการอบแห้งระยะที่ 1 (Drying 1) จากรูปภาพที่ (3.5) จะแสดงจุดวัดอุณหภูมิร้อนที่เข้าสู่ตัวเครื่อง โดยขั้นตอนนี้จะใช้สัญลักษณ์อุณหภูมิร้อนเป็น T3 และ T4 ดังนั้นสถานะที่ใช้กับขั้นตอน Drying 1 คือ T3 = 70 °C และ T4 = 65 °C ใช้เวลา 24.30 นาที โดยทั้ง 2 ขั้นตอนนี้จะแสดงดังรูปภาพที่ 3.5



รูปภาพที่ 3.5 แสดงสถานะของการปรับอุณหภูมิและเพิ่มเวลา

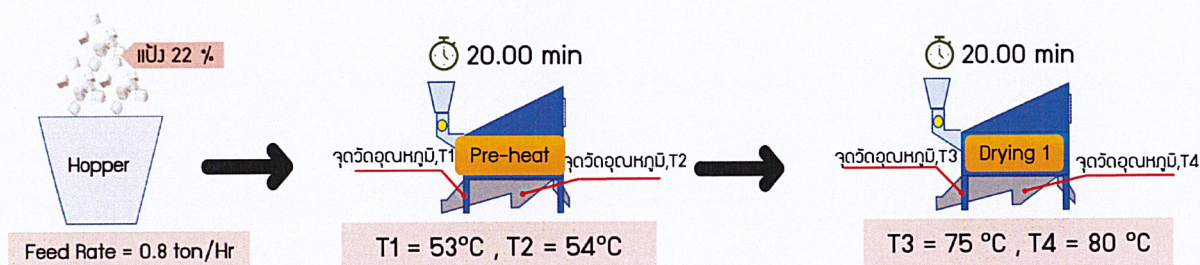
จากรูปข้างต้นจะเห็นได้ว่าที่สถานะขั้นตอน Pre-heat สามารถควบคุมให้อุณหภูมิให้มีอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลลาตินไนซ์เซชันของแป้งมันสำปะหลังได้ แต่ที่สถานะขั้นตอน Drying 1 ยังไม่สามารถควบคุมให้อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลลาตินไนซ์เซชันของแป้งมันสำปะหลังซึ่งอาจทำให้ลักษณะมันสำปะหลังหั่นเต๋าที่ออกจากขั้นตอน Drying 1 เกิดเจลขึ้นในมันสำปะหลังหั่นเต๋าได้ และในการแนวทางการทดลองนี้ได้คำนึงถึงการใช้เวลาในห้องอบแห้ง เนื่องมาจากระยะเวลาเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดมีระยะที่สั้นจึงอาจจะทำให้การลดความชื้นที่

ขั้นตอน Pre-heat นั้นยังไม่เพียงพอที่จะสามารถทำให้คายความชื้นออกไปให้ได้มากที่สุด จึงทำการปรับเวลาให้อยู่ในห้องอบแห้งเครื่องฟลูอิดไดซ์เบดทั้ง 2 ขั้นตอนนี้เป็นเวลาที่นานขึ้นจากเดิม อีกทั้งตลอดการทำแนวทางการทดลองนี้ต้องคอยตรวจเช็คสถานะการเคลื่อนไหวของมันเป็น สำปะหลังหันเต้าภายในเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด เพื่อคงสถานะให้เคลื่อนไหวเสมือนเป็นของไหล จากนั้นทำการบันทึกค่าสถานะต่างๆ รวมไปถึงอัตราการป้อนที่ทำการทดลอง จากนั้น สุ่มเก็บตัวอย่างของมันเป็นสำปะหลังหันเต้าที่ออกจากทั้ง 2 ขั้นตอน เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความชื้น เพื่อนำมาปรับใช้เป็นแนวทางสำหรับการทดลองครั้งถัดไป

### 3.4.3 การศึกษาการอบแห้งมันเป็นสำปะหลังหันเต้าโดยการปรับอุณหภูมิและปรับเพิ่มอัตราการป้อน

จากการทดลองปรับหัวข้อข้างต้นที่ได้กล่าวไปพบว่าความต้องการของบริษัทแรกเริ่มแล้ว ต้องการที่ 5 ตัน/ชั่วโมง ซึ่งในแผนการทดลองนี้ทดสอบที่ 0.5 ตัน/ชั่วโมง ซึ่งไม่ตรงกับความต้องการของบริษัทจึงได้ออกแบบแนวทางการทดลองปรับเพิ่มอัตราการป้อนจากเดิมเป็น 0.8 ตัน/ชั่วโมง โดยเริ่มจากการนำมันเป็นสำปะหลังหันเต้าที่ทำการวัดเปอร์เซ็นต์แบ่งเรียบร้อยแล้วโดยการทดลองนี้ใช้มันเป็นสำปะหลังที่มีเปอร์เซ็นต์แบ่ง 22% ป้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด โดยใช้อัตราการป้อน 0.8 ตัน/ชั่วโมง โดยสถานะที่ใช้แบ่งได้ดังนี้

1. ขั้นตอนการให้ความร้อนเบื้องต้น (Pre-heat) จากรูปภาพที่ (3.6) จะแสดงจุดวัดอุณหภูมิความร้อนที่เข้าสู่ตัวเครื่อง โดยขั้นตอนนี้จะใช้สัญลักษณ์อุณหภูมิความร้อนเป็น T1 และ T2 ดังนั้นสถานะที่ใช้กับขั้นตอน Pre-heat คือ  $T1 = 53\text{ }^{\circ}\text{C}$  และ  $T2 = 54\text{ }^{\circ}\text{C}$  ใช้เวลา 20.00 นาที
2. ขั้นตอนการอบแห้งระยะที่ 1 (Drying 1) จากรูปภาพที่ (3.6) จะแสดงจุดวัดอุณหภูมิความร้อนที่เข้าสู่ตัวเครื่อง โดยขั้นตอนนี้จะใช้สัญลักษณ์อุณหภูมิความร้อนเป็น T3 และ T4 ดังนั้นสถานะที่ใช้กับขั้นตอน Drying 1 คือ  $T3 = 75\text{ }^{\circ}\text{C}$  และ  $T2 = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$  ใช้เวลา 20.00 นาที โดยทั้ง 2 ขั้นตอนนี้จะแสดงดังรูปภาพที่ 3.6



รูปภาพที่ 3.6 แสดงสถานะของการปรับอุณหภูมิและเพิ่มอัตราการป้อน

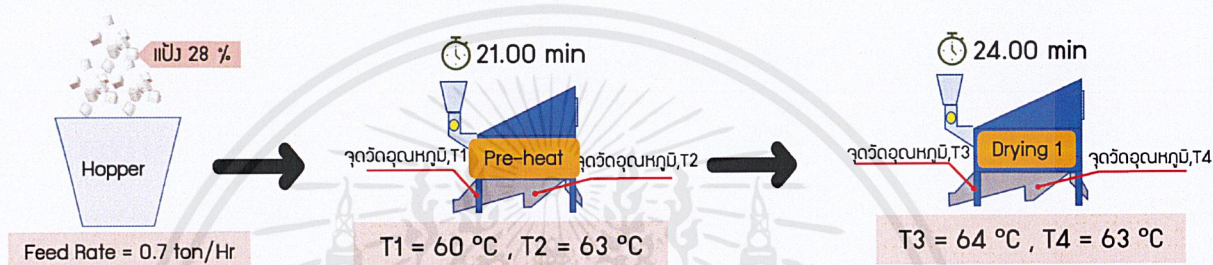
จากรูปข้างต้นจะเห็นได้ว่าที่สถานะขั้นตอน Pre-heat สามารถควบคุมให้อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของการเกิดเจลลิตไนซ์เซชันของแป้งมันสำปะหลังได้ แต่ที่สถานะขั้นตอน Drying 1 ยังไม่สามารถควบคุมให้อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลลิตไนซ์เซชันของแป้งมันสำปะหลังได้ และมีค่าสูงมากซึ่งสถานะเช่นนี้อาจจะส่งผลให้ลักษณะมันสำปะหลังหั่นเต๋าที่ได้จากขั้นตอน Drying เกิดเจลลิตขึ้นในมันสำปะหลังหั่นเต๋าได้ โดยแนวการทดลองนี้ต้องการที่จะปรับเพิ่มค่ากำลังการผลิตให้สูงขึ้นเพื่อให้ได้ตรงตามเป้าหมายที่บริษัทได้กำหนดไว้ ซึ่งตลอดการทำแนวทางการทดลองนี้จะคอยตรวจเช็คสถานะการเคลื่อนไหวของมันสำปะหลังหั่นเต๋ภายในเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด เพื่อคงสถานะให้เคลื่อนไหวเสมือนเป็นของไหล รวมทั้งการจดบันทึกค่าสถานะ ลักษณะมันสำปะหลังหั่นเต๋ที่สู่ออกมาดู อีกทั้งทำการสุ่มเก็บตัวอย่างที่ออกจากกระบวนการอบแห้ง 2 ขั้นตอนนี้เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความชื้น เพื่อใช้เป็นแนวทางการศึกษาสำหรับครั้งถัดไป

#### 3.4.4 การศึกษาการอบแห้งมันสำปะหลังหั่นเต๋ในสถานะอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งมันสำปะหลังหั่นเต๋ด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

จากการทำแนวทางการทดลองข้างต้นเพื่อปรับเพิ่มอัตราการป้อนให้ได้ตรงตามความต้องการของบริษัท พบว่ายังมีปัญหาในเรื่องของการควบคุมอุณหภูมิและอัตราการป้อนจึงได้ออกแบบแนวทางการทดลองโดยทำการทดลองลดค่าอัตราการป้อนจากเดิม 0.8 ตัน/ชั่วโมง ลดลงเหลือ 0.7 ตัน/ชั่วโมง จากนั้นจะทำการทดสอบนำมันสำปะหลังหั่นเต๋ที่วัดเปอร์เซ็นต์แป้งเรียบร้อยแล้ว ซึ่งในการทดลองนี้ใช้มันสำปะหลังที่มีเปอร์เซ็นต์แป้ง 28% ป้อนเข้าสู่เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดโดยใช้อัตราการป้อน 0.7 ตัน/ชั่วโมง โดยสถานะที่ใช้แบ่งได้ดังนี้

1. ขั้นตอนการให้ความร้อนเบื้องต้น (Pre-heat) จากรูปภาพที่ (3.7) จะแสดงจุดวัดอุณหภูมิความร้อนที่เข้าสู่ตัวเครื่อง โดยขั้นตอนนี้จะใช้สัญลักษณ์อุณหภูมิร้อนเป็น T1 และ T2 ดังนั้นสถานะที่ใช้กับขั้นตอน Pre-heat คือ T1 = 60 °C และ T2 = 63 °C ใช้เวลา 20.00 นาที

2. ขั้นตอนการอบแห้งระยะที่ 1 (Drying 1) จากรูปภาพที่ (3.7) จะแสดงจุดวัดอุณหภูมิร้อนที่เข้าสู่ตัวเครื่อง โดยขั้นตอนนี้จะใช้สัญลักษณ์อุณหภูมิร้อนเป็น T3 และ T4 ดังนั้นสถานะที่ใช้กับขั้นตอน Drying 1 คือ T3 = 63 °C และ T4 = 64 °C ใช้เวลา 20.00 นาที โดยทั้ง 2 ขั้นตอนนี้จะแสดงดังรูปภาพที่ 3.7



รูปภาพที่ 3.7 แสดงสถานะอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งมันสำปะหลังหั่นเต๋าด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

จากการทำแนวทางการทดลองข้างต้นเพื่อลดอัตราการป้อนจาก 0.8 ตัน/ชั่วโมง เป็น 0.7 ตัน/ชั่วโมง จะเห็นได้ว่าที่สถานะทั้ง 2 ขั้นตอนนี้สามารถควบคุมอุณหภูมิไม่ให้สูงกว่าอุณหภูมิของการเกิดเจลาติไนซ์เซชันของแป้งได้ ซึ่งจะส่งผลดีต่อลักษณะมันสำปะหลังหั่นเต๋าคั่วที่ได้ ออกมา และไม่ทำให้เกิดเจลขึ้นในมันสำปะหลังหั่นเต๋าคั่วอีกด้วย โดยการทำแนวทางการทดลองนี้จะต้องคอยตรวจเช็คมันสำปะหลังหั่นเต๋าคั่วที่อยู่ในเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด เพื่อควบคุมให้มันสำปะหลังหั่นเต๋าคั่วมีการเคลื่อนไหวเสมือนเป็นของไหล ดังแสดงในรูปภาพที่ 3.8 และแสดงในรูปภาพที่ 3.9 รวมทั้งการจดบันทึกค่าสถานะ ลักษณะมันสำปะหลังหั่นเต๋าคั่วที่สุ่มออกมาดู อีกทั้งทำการสุ่มเก็บตัวอย่างที่ออกจากกระบวนการอบแห้ง 2 ขั้นตอนนี้เพื่อนำไปคำนวณหาค่าความชื้น เพื่อนำมาวิเคราะห์ผลการทดลองที่ได้ออกแบบไว้



รูปภาพที่ 3.8 ควบคุมและตรวจเช็คสภาพการเคลื่อนไหวของมันสำปะหลังหันเต้า



รูปภาพที่ 3.9 ตู้ไฟควบคุมสถานะอุณหภูมิ อัตราการป้อน และเวลาของเครื่องฟลูอิดไดซ์เบด

### 3.4.5 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์แป้งและปริมาณความชื้นของมันสำปะหลังหันเต้าในระหว่างกระบวนการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด 2 ขั้นตอน

ในระหว่างกระบวนการอบแห้งมันสำปะหลังหันเต้าในขั้นตอนการทำความร้อนเบื้องต้น (Pre-heat) และขั้นตอนการทำแห้งระยะที่ 1 (Drying 1) ได้ทำการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์แป้งและปริมาณความชื้นของมันสำปะหลังหันเต้า เพราะค่าเปอร์เซ็นต์แป้งนี้มีผลอย่างมากต่อค่าความชื้น โดยจะทำการศึกษาจากการวัดค่าเปอร์เซ็นต์แป้งแต่ละผลการ

ทดลอง เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าความชื้นมันสำปะหลังหั่นเต๋าที่ได้จากระหว่างขั้นตอนการทำ ความร้อนเบื้องต้น (Pre-heat) และ ขั้นตอนการทำแห้งระยะที่ 1 (Drying 1)

### 3.5 การวิเคราะห์คุณสมบัติของมันสำปะหลัง

#### 3.5.1 เปอร์เซนต์แป้ง

ก่อนทำการทดลองเข้าสู่กระบวนการอบแห้งของบริษัท จะต้องทำการวัดค่าเปอร์เซนต์ แป้งของมันสำปะหลังที่รับเข้ามาจากเกษตรกร เพราะค่าเปอร์เซนต์มีผลอย่างมากต่อค่าความชื้น ในกระบวนการอบแห้ง โดยจะทำการวัดค่าเปอร์เซนต์แป้งของตัวอย่างมันสำปะหลังทั้งสิ้น 3 ครั้ง และจำนวนน้ำหนักของมันสำปะหลังที่ใช้วัดค่าเปอร์เซนต์แป้งทั้ง 3 ครั้งนี้ อยู่ในช่วง 5.000 - 5.050 กิโลกรัม โดยตัวอย่างที่นำมาวัดเปอร์เซนต์แป้งจะต้องตัดส่วนหางมันสำปะหลังออก และ หัวมันสำปะหลังก็ต้องแบ่งโดยการตัดเป็นส่วนๆตามความเหมาะสม ซึ่งสิ่งที่ควรระวังในการวัด เปอร์เซนต์แป้งคือ พื้นที่ที่ตั้งเครื่องต้องตั้งแบบสมดุลไมเอนหรือเอียงไปฝั่งใดฝั่งหนึ่งเพราะจะมี ผลต่อการวัดค่าเปอร์เซนต์แป้งอย่างมาก



รูปภาพที่ 3.10 การนำมันสำปะหลังใส่เครื่องวัดเปอร์เซนต์แป้ง



รูปภาพที่ 3.11 การวัดค่าเปอร์เซ็นต์แป้งด้วยเครื่อง Genix GX3000\_ECOF

### 3.5.2 การหาความชื้นของแป้งสาลีหลังจากกระบวนการอบแห้ง

แป้งสาลีหลังจากอบแห้งที่ออกจากกระบวนการอบแห้งโดยเครื่องฟลูอิดไดซ์เบดบางส่วนถูกนำมาทำการวัดค่าความชื้นที่ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยนำแป้งสาลีหลังจากอบแห้งมาทำการสับละเอียดเพื่อให้เป็นชิ้นเล็กๆให้ความร้อนสามารถแพร่เข้าไปทางผิวหน้าได้ทุกส่วนอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นนำใส่ลงในกระป๋องอลูมิเนียมที่ใช้เป็นภาชนะในการอบ (Moisture Can) จากนั้นนำเข้าตู้อบลมร้อน (ULM 500, Memmert, Germany) ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาตามกำหนดนำมาพักไว้ให้เย็นในโถดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที แล้วชั่งน้ำหนักซึ่งสามารถคำนวณหาปริมาณความชื้นฐานแห้ง (%) และ คำนวณหาปริมาณความชื้นฐานเปียก (%) จากสมการที่ 2.1 และ สมการที่ 2.2



รูปภาพที่ 3.12 ตัวอย่างมันเต้าอบแห้งสับละเอียด



รูปภาพที่ 3.13 โถดูดความชื้น

### 3.5.3 อัตราการอบแห้ง

ในการวิเคราะห์อัตราการอบแห้งของมันเป็นค่าหลังจากหั่นเต้าอบแห้งจะทำได้โดยการบันทึกค่าความชื้นของมันสำปะหลังหั่นเต้าและเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งจะนำไปคำนวณหาอัตรา การอบแห้งจากสูตร

$$DR = (M_{t-dt} - M_t) / d_t \quad (3.1)$$

เมื่อ DR คือ อัตราการอบแห้ง ( $g_{\text{water}}/g_{\text{dry matter}} \cdot \text{min}$ )

$M_{t-dt}$  คือ ความชื้นที่เวลาก่อนหน้า ( $g_{\text{water}}/g_{\text{dry matter}}$ )

$M_t$  คือ ความชื้นที่เวลาใดๆ ( $g_{\text{water}}/g_{\text{dry matter}}$ )  
 $d_t$  คือ ผลต่างเวลาที่อบแห้ง(min)

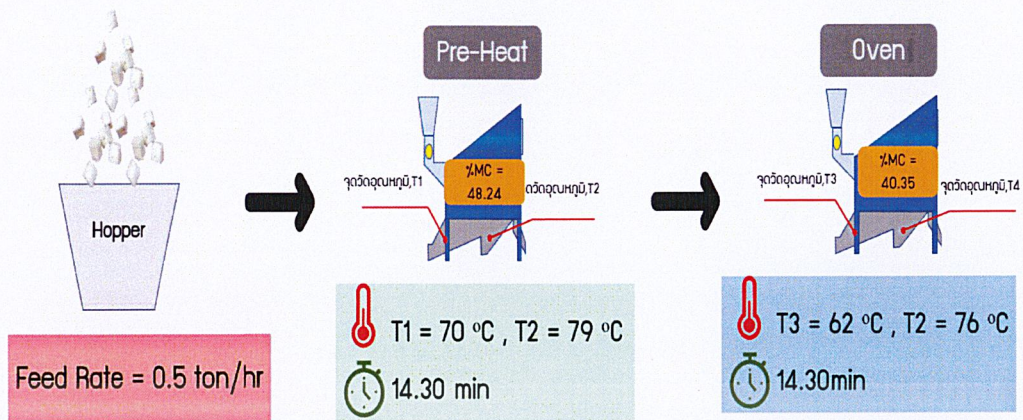


## บทที่ 4

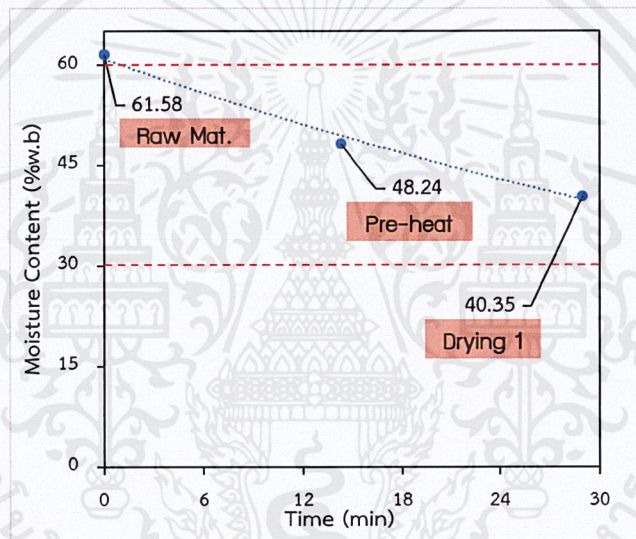
### ผลการวิจัย

#### 4.1 ผลการทดลองศึกษาปัญหาเริ่มต้น

ผลการทดลองของปัญหาเริ่มต้นที่บริษัทดำเนินการอยู่เดิม โดยเป็นการทดลองที่มีค่าเปอร์เซ็นต์แห้งคือ 23% ซึ่งจากรูปภาพที่ (4.1) จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิทั้ง 2 ขั้นตอนในกระบวนการอบแห้ง มีค่าอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจลาตินไนซ์เซชันของแป้งมัน อีกทั้งระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งนี้ยังไม่นานพอที่จะช่วยให้คายความชื้นออกมาสู่ผิวของมันสำปะหลังแห้งเตาได้ โดยเมื่อวิเคราะห์ค่าความชื้นออกมาแล้ว พบว่าค่าความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยมันสำปะหลังของบริษัท สิ่งยี่มอุตสาหกรรม การเกษตร จำกัด มีค่าที่สูงมากคือ ช่วง 60%w.b. ดังนั้นจึงเป็นตัวส่งเสริมที่ทำให้เกิดเจลาตินไนซ์ที่ต่ำกว่าที่ได้อีก (2.4) ดังนั้นปัจจัยดังกล่าวจึงเป็นตัวส่งเสริมที่ทำให้ลักษณะของมันสำปะหลังที่ได้ผ่านออกมาจากกระบวนการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอนแล้วนั้น พบว่ามันสำปะหลังแห้งเตาที่ได้นั้นมีการเกิดเจลาตินภายในเนื้อมันสำปะหลังแห้งเตาเมื่อผ่าออกดู ผิวเปลือกข้างนอกมีลักษณะที่แข็ง หมาด และแห้ง เมื่อพิจารณาจากกราฟรูปภาพที่ (4.2) จะพบว่าความชื้นเริ่มต้นก่อนเข้าสู่กระบวนการอบแห้งนั้นมีค่าที่สูงมากคือ 61.58%w.b. ซึ่งความชื้นที่สูงนี้นั้นมาเจอกับสภาวะอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลาตินจึงทำให้ทั้งสองปัจจัยนี้เป็นตัวส่งเสริมปัจจัยในการเกิดเจลาติน และเมื่อพิจารณาจากกราฟแล้วจะพบว่าเมื่อผ่านขั้นตอนการให้ความร้อนเบื้องต้น (Pre-heat) สามารถลดความชื้นเหลือเพียง 48.24%w.b. ซึ่งยังเป็นค่าความชื้นที่มีปริมาณน้ำในเนื้อวัสดุที่ยังสูงอยู่ ดังนั้นเมื่อมาเจอกับสภาวะอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลาตินจึงส่งผลให้ การระเหยความชื้นจากภายในเนื้อวัสดุไปสู่ผิวหน้าไม่ทัน จึงส่งผลทำให้เกิดการที่ผิวข้างนอกมีเปลือกที่แข็ง โดยที่เนื้อข้างในวัสดุยังมีปริมาณน้ำอยู่มาก ดังนั้นจากกราฟจะเห็นได้ว่าที่สภาวะขั้นตอนการอบแห้งระยะที่ 1 (Drying 1) มีความชื้นคือ 40.35%w.b. ซึ่งเป็นความชื้นที่สูงกว่าความชื้นที่ไม่ทำให้แป้งนั้นเกิดเจลาตินคือ สูงกว่า 30%w.b. จากกราฟที่ได้จะได้ผลลัพธ์ของมันสำปะหลังแห้งเตาที่แสดงในรูปภาพที่ (4.3)



รูปภาพที่ 4.1 สภาวะการอบแห้งและความชื้นของมันเป็นค่าหลังจากกระบวนการดั้งเดิมของบริษัท



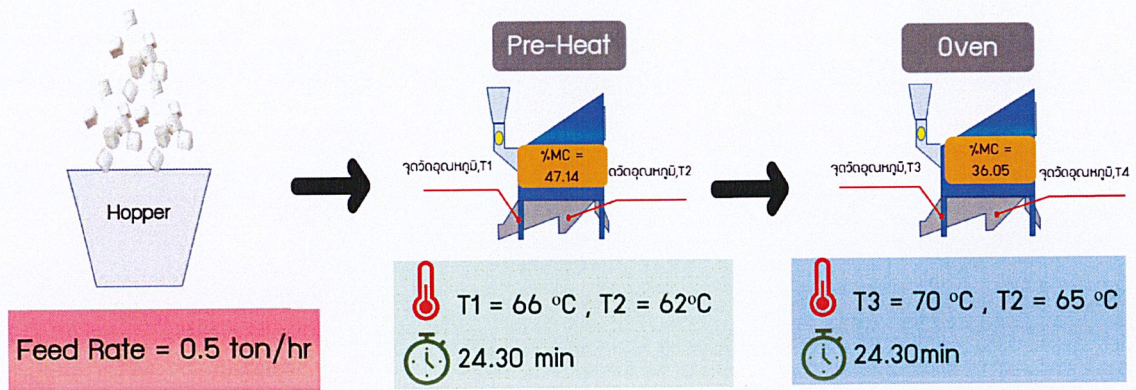
รูปภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในกระบวนการอบแห้งดั้งเดิมของบริษัท



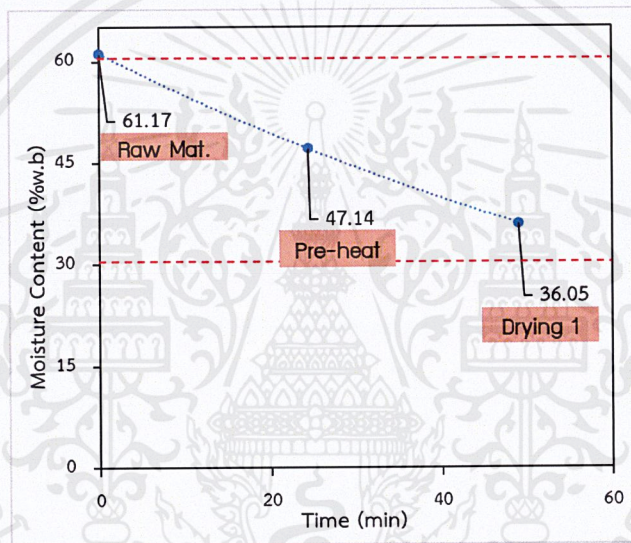
รูปภาพที่ 4.3 ลักษณะมันเป็นค่าหลังจากที่ได้อบแห้งที่ได้จากกระบวนการอบแห้งดั้งเดิมของบริษัท

## 4.2 ผลการทดลองการปรับอุณหภูมิและเพิ่มเวลาในการอบแห้ง

ผลการทดลองของการปรับอุณหภูมิและเวลา โดยเป็นการทดลองที่มีค่าเปอร์เซ็นต์แป้งคือ 23% ซึ่งจากรูปภาพที่ (4.4) จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิในขั้นตอนการให้ความร้อนระยะเริ่มต้น (Pre-heat) มีค่าที่ควบคุมให้อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลลิตไนซ์เซชันของแป้งมันสำปะหลัง แต่ในขั้นตอนการอบแห้งระยะที่ 1 (Drying 1) พบว่ามีค่าอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจลลิตไนซ์เซชันของแป้งมันสำปะหลัง โดยผลการทดลองนี้ได้ทำการปรับเวลาในการอบแห้งให้นานขึ้นเพื่อที่จะทำให้สามารถคายความชื้นได้มากที่สุด และสามารถลดปัญหาการเกิดเจลลิตไนซ์ในมันสำปะหลังหั่นเต๋า เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าความชื้นออกมาแล้ว พบว่าค่าความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยมันสำปะหลังของบริษัทมีค่าที่สูงมากคือ อยู่ในช่วง 60%w.b. ดังนั้นปัจจัยดังกล่าวจึงอาจจะเป็นตัวส่งเสริมที่ทำให้ลักษณะของมันสำปะหลังที่ได้ผ่านออกมาจากกระบวนการอบแห้งนั้นอาจเกิดเจลลิตไนซ์ได้ในขั้นตอนการอบแห้งระยะที่ 1 (Drying 1) อย่างไรก็ตามเมื่อสุ่มตัวอย่างออกมาดูลักษณะที่เกิดขึ้นพบว่ามันสำปะหลังหั่นเต๋านั้นยังไม่มีเกิดเจลลิตไนซ์ภายในเนื้อมันสำปะหลังหั่นเต๋าเมื่อผ่าออกดู ผิวเปลือกข้างนอกมีลักษณะที่แห้งหมาด บางชิ้นส่วนยังมีลักษณะเปียกชื้น เมื่อพิจารณาจากรูปภาพที่ (4.5) จะพบว่าความชื้นเริ่มต้นก่อนเข้าสู่กระบวนการอบแห้งนั้นมีค่าที่สูงมากคือ 61.17%w.b. ซึ่งความชื้นที่สูงนั้นมาเจอกับสภาวะอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลลิตไนซ์ในขั้นตอน Pre-heat ก็ยังไม่ทำให้ลักษณะที่ออกจากขั้นตอนนี้เกิดเจลลิตไนซ์ และเมื่อผ่านขั้นตอนการให้ความร้อนเบื้องต้น (Pre-heat) สามารถลดความชื้นเหลือเพียง 47.14%w.b. ซึ่งยังเป็นค่าความชื้นที่มีปริมาณน้ำในเนื้อวัสดุที่ยังสูงอยู่ หลังจากนั้นจะมาเข้าสู่ขั้นตอน Drying 1 ที่สภาวะอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลลิตไนซ์ส่งผลให้มีปริมาณความชื้นจากรูป คือ 36.05%w.b. ซึ่งเป็นความชื้นที่สูงกว่าความชื้นที่จะไม่ทำให้แป้งนั้นเกิดเจลลิตไนซ์สูงกว่า 30%w.b. อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองนี้เริ่มมีแนวโน้มที่ดีที่เข้าไปใกล้ค่าความชื้นที่จะไม่ทำให้แป้งเกิดเจลลิตไนซ์ ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ควบคุมอุณหภูมิเริ่มต้นไม่ให้สูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลลิตไนซ์เซชันของแป้งมันสำปะหลัง และเวลาที่ใช้ในการอบแห้งที่นานขึ้นเพื่อให้มันสำปะหลังหั่นเต๋าดังกล่าวได้ระเหยน้ำจากภายในเนื้อวัสดุสู่ผิวหน้าให้ได้มากที่สุด และจากรูปภาพจะได้ผลลัพธ์ของมันสำปะหลังหั่นเต๋าดังแสดงในรูปภาพที่ (4.6 และ 4.7)



รูปภาพที่ 4.4 สภาวะการอบแห้งและความชื้นของมันสำปะหลังที่แห้งหลังจากการปรับอุณหภูมิและเพิ่มเวลาในการอบแห้ง



รูปภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการปรับอุณหภูมิและเพิ่มเวลาในการอบแห้ง



รูปภาพที่ 4.6 ลักษณะมันสำปะหลังที่แห้งอบแห้งขั้นตอน Pre-heat ของการปรับอุณหภูมิและเพิ่มเวลาในการอบแห้ง

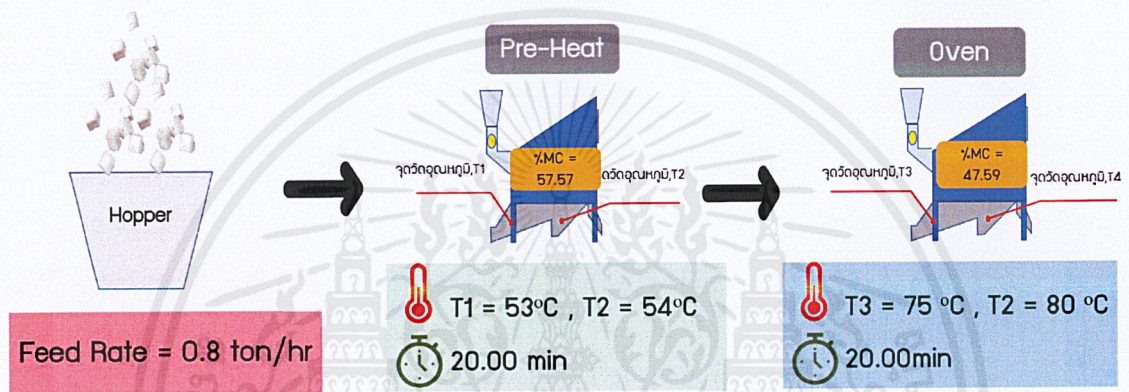


รูปภาพที่ 4.7 ลักษณะมันสำปะหลังหั่นเต๋าทอแห้งขั้นตอน Drying 1 ของการปรับอุณหภูมิและเพิ่มเวลาในการอบแห้ง

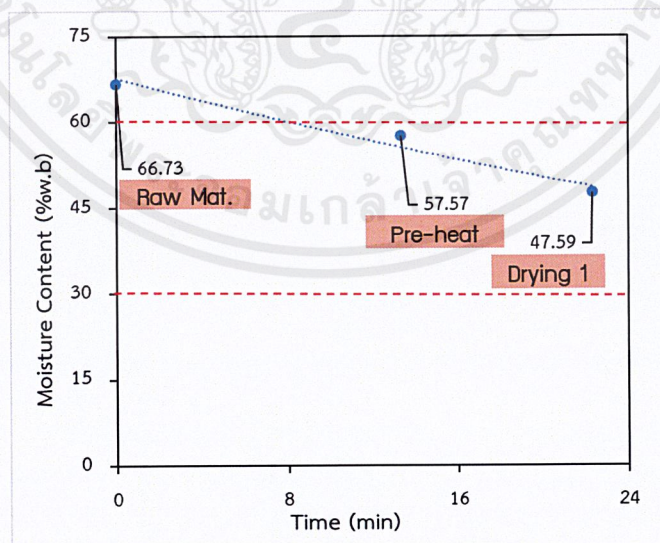
#### 4.3 ผลการทดลองการปรับอุณหภูมิในการอบแห้งและเพิ่มอัตราการป้อน

ผลการทดลองของการปรับอุณหภูมิและเพิ่มอัตราการป้อน เนื่องจากกว่าบริษัทมีความต้องการที่จะเพิ่มกำลังการผลิตดังนั้นจึงได้ทำการปรับเพิ่มอัตราการป้อนจาก 0.5 ตัน/ชั่วโมง เป็น 0.8 ตัน/ชั่วโมง ในการทดลองนี้มีค่าเปอร์เซ็นต์แ餅คือ 22% ซึ่งจากรูปภาพที่ (4.8) จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิในขั้นตอนการให้ความร้อนระยะเริ่มต้น (Pre-heat) มีค่าที่ควบคุมให้อุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลาคีโนซิสเซชันของแ餅มันสำปะหลัง แต่ในขั้นตอนการอบแห้งระยะที่ 1 (Drying 1) พบว่ามีค่าอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิที่ทำให้เกิดเจลาคีโนซิสเซชันของแ餅มันสำปะหลัง โดยผลการทดลองนี้ได้ทำการปรับเวลาในการอบแห้งให้เร็วขึ้นจากผลการทดลองข้างต้นเพื่อที่จะคงสภาวะการเคลื่อนไหวของมันสำปะหลังหั่นเต๋าให้สามารถเคลื่อนไหวเหมือนเป็นของไหลภายในเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด เพื่อที่จะช่วยลดปัญหาการเกิดเจลขึ้นในมันสำปะหลังหั่นเต๋า เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าความชื้นออกมาแล้ว พบว่าค่าความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยมันสำปะหลังของบริษัทมีค่าที่สูงมากคือ อยู่ในช่วง 60%w.b. ดังนั้นปัจจัยดังกล่าวจึงอาจจะเป็นตัวส่งเสริมที่ทำให้ลักษณะของมันสำปะหลังที่ได้ผ่านออกมาจากระบบการอบแห้งแบบในขั้นตอนการอบแห้งระยะที่ 1 (Drying 1) เกิดเจลขึ้นได้เนื่องจากสภาวะอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจล เมื่อสุ่มตัวอย่างออกมาดูลักษณะที่เกิดขึ้นพบว่ามันสำปะหลังหั่นเต๋าที่ได้นั้นมีเกิดการเกิดเจลขึ้นภายในเนื้อมันสำปะหลังหั่นเต๋าเมื่อผ่าออกดู ผิวเปลือกข้างนอกมีลักษณะที่แห้งหมาด บางชิ้นส่วนยังมีลักษณะเปียกชื้นเมื่อบีบดูแล้ว บางส่วนมีน้ำออกมา บางส่วนที่เนื้อภายในเป็นสีเหลืองเข้มบีบแล้วไม่มีน้ำออกมา เมื่อพิจารณาจากรูปภาพที่ (4.9) จะพบว่าความชื้นเริ่มต้นก่อนเข้าสู่กระบวนการอบแห้งนั้นมีค่าที่สูงมากคือ 66.73%w.b.

ซึ่งความชื้นที่สูงนี้นั้นมาเจอกับสภาวะอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลในขั้นตอน Pre-heat ก็ยังไม่ทำให้ลักษณะที่ออกจากขั้นตอนนี้เกิดเจลขึ้น และเมื่อผ่านขั้นตอนการให้ความร้อนเบื้องต้น (Pre-heat) สามารถลดความชื้นเหลือเพียง 57.57%w.b. ซึ่งยังเป็นค่าความชื้นที่มีปริมาณน้ำในเนื้อวัสดุที่ยังสูงอยู่ หลังจากนั้นจะเข้าสู่ขั้นตอน Drying 1 ที่สภาวะอุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลจึงส่งผลให้มีปริมาณความชื้นจากกราฟ คือ 47.59 %w.b. ซึ่งเป็นความชื้นที่สูงกว่าความชื้นที่ไม่ทำให้เกิดเจลคือ สูงกว่า 30%w.b. และจากกราฟจะได้ผลลัพธ์ของมวลสำปะหลังแห้งเต๋าดังแสดงในรูปภาพที่ (4.10 และ 4.11)



รูปภาพที่ 4.8 สภาวะการอบแห้งและความชื้นของมวลสำปะหลังแห้งเต๋าดังจากการปรับอุณหภูมิและเพิ่มอัตราการป้อน



รูปภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในการปรับอุณหภูมิและเพิ่มอัตราการป้อน



รูปภาพที่ 4.10 ลักษณะมันสำปะหลังหั่นเต๋ออบแห้งขั้นตอน Pre-heat ของการปรับอุณหภูมิและอัตราการป้อน



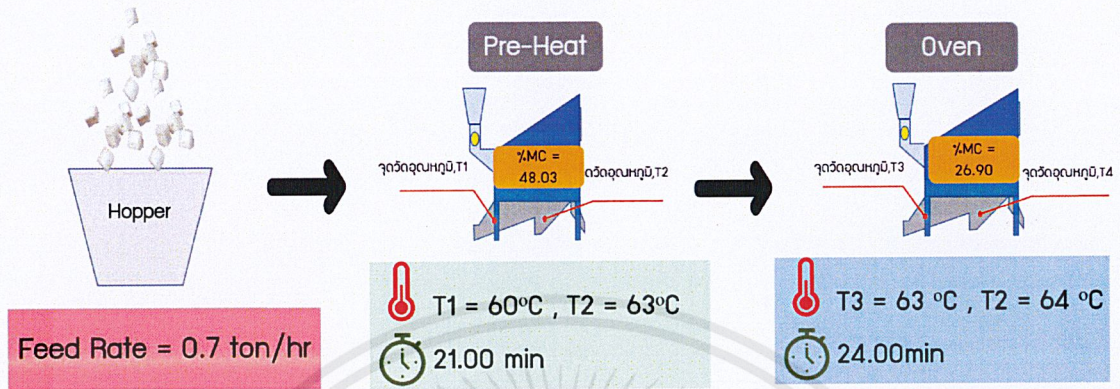
รูปภาพที่ 4.11 ลักษณะมันสำปะหลังหั่นเต๋ออบแห้งขั้นตอน Drying 1 ของการปรับอุณหภูมิและเพิ่มอัตราการป้อน

#### 4.4 ผลการทดลองการศึกษาอุณหภูมิและสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งมันสำปะหลังหั่นเต๋อด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

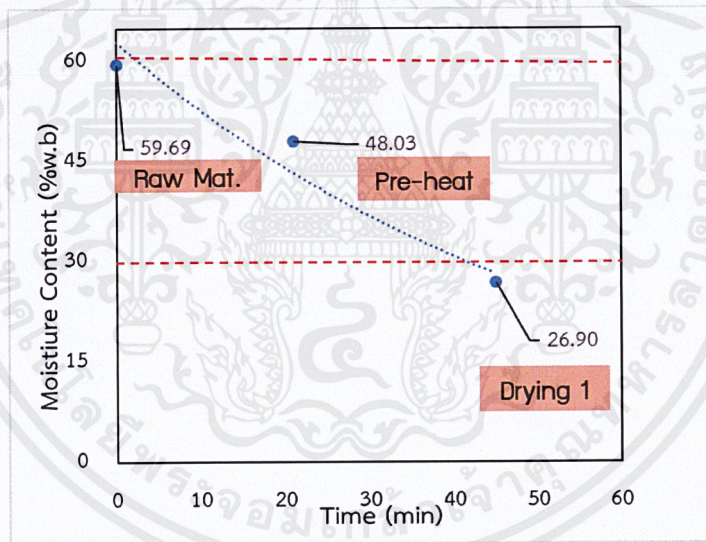
ผลการทดลองของอุณหภูมิและสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งมันสำปะหลังหั่นเต๋อ พบว่าจากผลการทดลองข้างต้นได้ทำการปรับลดอัตราการป้อนจากเดิม 0.8 ตัน/ชั่วโมง เป็น 0.7 ตัน/ชั่วโมง ซึ่งในการทดลองสภาวะที่เหมาะสมนี้มีค่าเปอร์เซ็นต์แแบ่งคือ 28% ซึ่งจากรูปภาพที่ (4.12) จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิในขั้นตอนการให้ความร้อนระยะเริ่มต้น (Pre-heat) และในขั้นตอนการอบแห้งระยะที่ 1 (Drying 1) มีการควบคุมอุณหภูมิทั้งสองขั้นตอนนี้ได้ต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลาคติไนซ์เซชันของแป้งมันสำปะหลังได้

ซึ่งแน่นอนว่าจะไม่ส่งผลให้ลักษณะมันสำปะหลังหั่นเต๋าที่ออกจากกระบวนการอบแห้งนี้เกิดเจลขึ้น โดยผลการทดลองนี้ได้ทำการปรับเวลาในการอบแห้งให้นานขึ้นจากผลการทดลองข้างต้นเพื่อที่จะทำให้สามารถคายความชื้นในมันสำปะหลังหั่นเต๋าได้มากที่สุด และช่วยคงสภาวะการเคลื่อนไหวของมันสำปะหลังหั่นเต๋าให้สามารถเคลื่อนไหวเสมือนเป็นของไหลภายในเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด เพื่อที่จะช่วยลดปัญหาการเกิดเจลขึ้นในมันสำปะหลังหั่นเต๋า เมื่อทำการวิเคราะห์ค่าความชื้นออกมาแล้วพบว่าค่าความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยมันสำปะหลังของบริษัทมีค่าที่สูงมากคือ อยู่ในช่วง 60%w.b. ดังนั้นปัจจัยดังกล่าวจึงอาจจะเป็นตัวส่งเสริมที่ทำให้ลักษณะของมันสำปะหลังที่ได้ผ่านออกมาจากกระบวนการอบแห้งแบบในขั้นตอนการอบแห้งระยะที่ 1 (Drying 1) ไม่เกิดเจลขึ้นแต่อาจจะส่งผลทำให้มันสำปะหลังลดความชื้นได้ไม่ตรงตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ อย่างไรก็ตามเมื่อสุ่มตัวอย่างออกมาดูลักษณะที่เกิดขึ้นพบว่ามันสำปะหลังหั่นเต๋าที่ได้นั้นไม่มีการเกิดเจลขึ้นภายในเนื้อมันสำปะหลังหั่นเต๋าเมื่อผ่าออกดู ผิวเปลือกข้างนอกมีลักษณะที่แห้งหมาด และเนื้อผิวข้างในของมันสำปะหลังหั่นเต๋ามีลักษณะที่แห้งหมาดไม่ชื้น ไม่มีการแบ่งแยกชั้นของเจลขึ้น เมื่อพิจารณาจากกราฟรูปภาพที่ (4.13) จะพบว่าความชื้นเริ่มต้นก่อนเข้าสู่กระบวนการอบแห้งนี้มีค่าค่อนข้างที่จะสูงมากคือ 59.69%w.b. ซึ่งความชื้นที่สูงนั้นมาเจอกับสภาวะอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลในขั้นตอน Pre-heat ก็ยังไม่ทำให้ลักษณะที่ออกจากขั้นตอนนี้เกิดเจลขึ้น และเมื่อผ่านขั้นตอนการให้ความร้อนเบื้องต้น (Pre-heat) สามารถลดความชื้นเหลือเพียง 48.03%w.b. ซึ่งยังเป็นค่าความชื้นที่มีปริมาณน้ำในเนื้อวัสดุที่ยังค่อนข้างสูงอยู่ หลังจากนั้นจะมาเข้าสู่ขั้นตอน Drying 1 ที่สภาวะอุณหภูมิที่ต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลเช่นกัน จึงส่งผลให้มีปริมาณความชื้นจากกราฟ คือ 26.90%w.b. และจากกราฟรูปภาพที่ (4.14) เป็นกราฟอัตราการทำให้แห้งซึ่งอธิบายได้ว่าในช่วงอัตราการทำให้แห้งที่ 2.65 และ 2.32 %d.b/min มีค่าที่ค่อนข้างใกล้เคียงกันซึ่งแสดงให้เห็นว่าในกระบวนการอบแห้งที่ทำการทดลองนี้ค่อนข้างรักษาอัตราการอบแห้งได้อย่างสม่ำเสมอในระหว่างขั้นตอน Pre-heat และ ขั้นตอน Drying 1 ซึ่งอัตราการอบแห้งที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ นั้นแสดงว่ามีการนำความชื้นออกจากมันสำปะหลังได้อย่างต่อเนื่องโดยจะไปสอดคล้องกับทฤษฎีกราฟอัตราการอบแห้งของวัสดุที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ดังนั้นความชื้นที่ได้จากกราฟมีค่าปริมาณที่ต่ำกว่าความชื้นที่จะไม่ทำให้แป้งนั้นเกิดเจลคือ 30%w.b. และจากกราฟจะได้ผลลัพธ์ของมันสำปะหลังหั่นเต๋าดังแสดงในรูปภาพที่ (4.15 และ 4.16) ดังนั้นจะเห็นได้ชัดว่าที่สภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสม และอัตราการป้อนที่เหมาะสมนี้ส่งผลให้สามารถลดความชื้นได้ตรงตามเกณฑ์ที่บริษัทต้องการ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มอัตราการผลิตจากเดิมที่ 0.5 ตัน/ชั่วโมง เป็น 0.8 ตัน/ชั่วโมง ซึ่งการที่สามารถลดความชื้นได้ต่ำกว่าความชื้นที่จะทำให้เกิดเจลแล้วนั้นเมื่อนำไปเข้าสู่

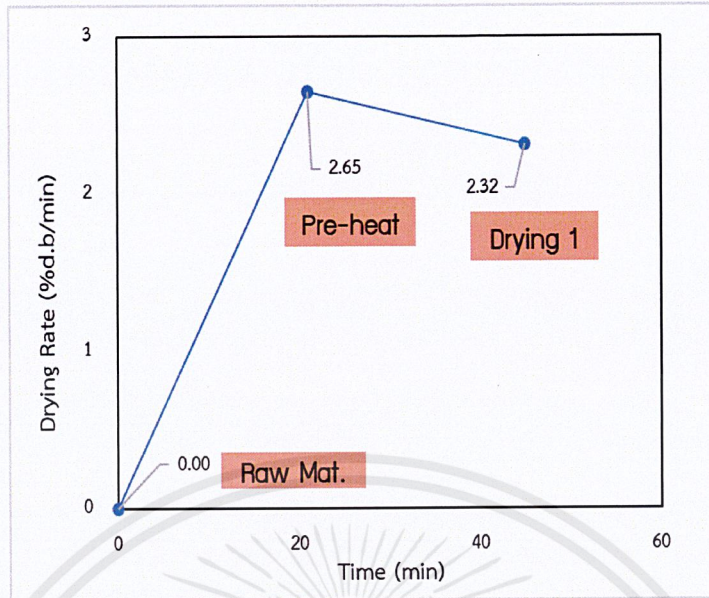
กระบวนการอบแห้งที่เป็นขั้นตอนการอบแห้งระยะที่ 2 (Drying 2) ด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน จะสามารถใช้อุณหภูมิที่สูงกว่าอุณหภูมิการเกิดเจลได้โดยไม่ทำให้มันสำปะหลังหั่นเต๋าเกิดเจลได้อีกด้วย



รูปภาพที่ 4.12 สภาวะการอบแห้งและความชื้นที่เหมาะสมในการอบแห้งของมันสำปะหลังหั่นเต๋า ด้วยเครื่องฟลูอิดไดซ์เบด



รูปภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาในสภาวะที่เหมาะสมกับเครื่องฟลูอิดไดซ์เบด



รูปภาพที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับเวลาในกระบวนการอบแห้งที่เหมาะสมกับเครื่องฟลูอิดไดซ์เบด



รูปภาพที่ 4.15 ลักษณะมันสำปะหลังหั่นเต๋อบแห้งขั้นตอน Pre-heat ของการใช้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับเครื่องฟลูอิดไดซ์เบด



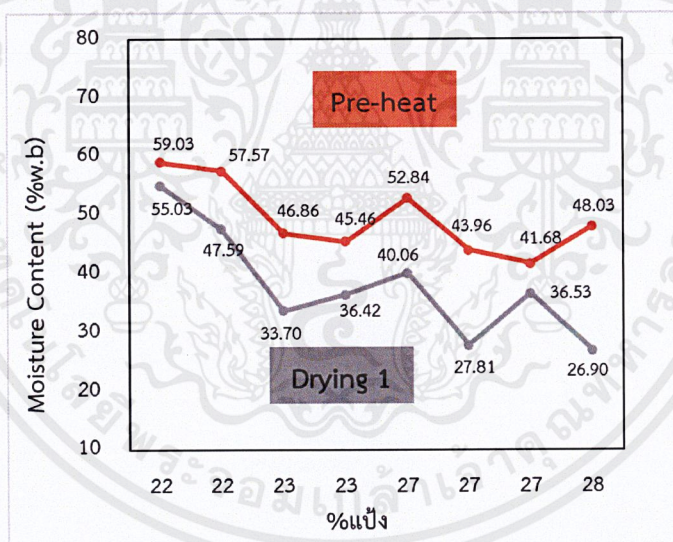
รูปภาพที่ 4.16 ลักษณะมันสำปะหลังแห้งชั้นตอน Drying 1 ของการใช้สภาวะที่เหมาะสมสำหรับเครื่องฟลูอิดไดซ์เบด

#### 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์แบริ่งและค่าความชื้นของมันสำปะหลังในกระบวนการอบแห้งเครื่องฟลูอิดไดซ์เบดแบบ 2 ชั้นตอน

จากการวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์แบริ่งกับค่าความชื้นของมันสำปะหลังจะพบว่าจากรูปภาพที่ 4.17 นั้นจะเห็นได้ว่าที่เปอร์เซ็นต์แบริ่งมันสำปะหลังสูงจะมีค่าความชื้นที่ได้จากกระบวนการอบแห้งนั้นต่ำกว่ามันสำปะหลังที่มีเปอร์เซ็นต์แบริ่งต่ำ โดยแนวโน้มของค่าเปอร์เซ็นต์แบริ่งและความชื้นเป็นไปในทางแปรผกผันกับความชื้นของมันสำปะหลังแห้ง ซึ่งจะสามารถศึกษาได้จากข้อมูลตารางที่ 4.1 และจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์แบริ่งและความชื้นที่มันสำปะหลังแบริ่งต่ำนี้บริษัทอาจจะสามารถแก้ไขได้ดังนี้ บริษัทจะต้องคำนึงถึงค่าเปอร์เซ็นต์แบริ่งของมันสำปะหลังมากขึ้น เช่น เมื่อเข้าสู่ช่วงฤดูฝนอาจจะต้องคัดเลือกสายพันธุ์ที่มีเปอร์เซ็นต์แบริ่งเยอะในหน้าฝนเช่น สายพันธุ์ระยอง 86-13 ดังหัวข้อ 2.1.2 ซึ่งอาจจะทำให้ทางบริษัทต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายในการหาปริมาณมันสำปะหลัง และสายพันธุ์เพิ่มมากขึ้นเพื่อให้สามารถผลิตมันสำปะหลังแห้งได้โดยที่มีค่าความชื้นเป็นไปตามแนวทางที่ได้กำหนดไว้คือ 30 %w.b. หรือทางบริษัทอาจจะต้องยอมสูญเสียในส่วนของเวลาการผลิตโดยการที่นำมันสำปะหลังแห้งไปตากแดดเป็นเวลา 1 วัน เป็นการให้มันสำปะหลังแห้งคายความชื้นเริ่มต้นก่อนจะนำเข้าสู่ขั้นตอนการทำความร้อนเบื้องต้น (Pre-heat) ด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด เพื่อที่จะสามารถช่วยให้ความชื้นเริ่มต้นก่อนเข้าสู่กระบวนการมีค่าที่ต่ำลงและยังกำจัดปัจจัยการเกิดเจลได้อีกด้วย

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลเปอร์เซ็นต์แป้งและค่าความชื้นจากแนวทางการทดลอง

% แป้ง	Pre-heat	Drying 1
22	59.03	55.03
	57.57	47.59
23	46.86	33.70
	45.46	36.42
27	52.84	40.06
	43.96	27.81
	41.68	36.53
28	48.03	26.90



รูปภาพที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์แป้งกับค่าความชื้นของมันสำปะหลังในกระบวนการอบแห้ง

## บทที่ 5

### สรุปผล และ ข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินการ

การศึกษาวิธีการอบแห้งมันสำปะหลังหั่นเต๋าด้วยเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบตในระดับอุตสาหกรรมโดยได้สภาวะการอบแห้งที่เหมาะสมของเครื่องฟลูอิดไดซ์เบต ดังนี้คือ

1. อัตราการป้อนที่เหมาะสมคือ 0.7 ตัน/ชั่วโมง
2. เครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบต1 สำหรับขั้นตอนการให้ความร้อนเบื้องต้น
  - 2.1 อุณหภูมิลมร้อนตัวที่ 1 คือ 60 °C
  - 2.2 อุณหภูมิลมร้อนตัวที่ 2 คือ 63 °C
  - 2.3 เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง คือ 21.00 min
3. เครื่องอบแห้งฟลูอิดไดซ์เบต2 สำหรับขั้นตอนการอบแห้งระยะที่ 1
  - 3.1 อุณหภูมิลมร้อนตัวที่ 1 คือ 63 °C
  - 3.2 อุณหภูมิลมร้อนตัวที่ 2 คือ 64 °C
  - 3.3 เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง คือ 24.00 min

เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบตมากที่สุดที่จะช่วยลดความชื้นให้ได้ตรงตามเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้คือต่ำกว่า 30%w.b. ซึ่งจะสามารถนำไปอบแห้งต่อได้ในขั้นตอนการอบแห้งถัดไปคือขั้นตอนการอบแห้งระยะที่ 2 (Drying 2) ด้วยเครื่องอบแห้งแบบลูกกลิ้งหมุน ที่อุณหภูมิสูงได้โดยไม่ทำให้มันสำปะหลังหั่นเต๋ากัดเจล

เปอร์เซ็นต์แ่งมีผลต่อการลดความชื้นในมันสำปะหลังหั่นเต๋า ยังมีเปอร์เซ็นต์แ่งที่สูงค่าความชื้นในระหว่างกระบวนการให้ความร้อนเบื้องต้น (Pre-heat) กับการทำแห้งระยะที่1(Drying 1) จะมีค่าความชื้นของมันสำปะหลังหั่นเต๋ที่ต่ำกว่ามันสำปะหลังที่มีค่าเปอร์เซ็นต์แ่งต่ำ

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1. หากอุณหภูมิของกระบวนการอบแห้งสูงเกินกว่าอุณหภูมิเกิดเจลก็จะทำให้มันสำปะหลังอบแห้งนั้นเกิดเจลขึ้นเนื่องจากมันสดมีความชื้นสูง ดังนั้นจึงจะต้องควบคุมอุณหภูมิให้คงที่มากที่สุดซึ่งจะต้องคอยตรวจเช็คที่หน้าตู้ควบคุมตลอดเพื่อคงสภาวะที่คงที่ตลอดการอบแห้ง

2. เวลาที่ใช้ในการอบแห้งใช้ได้ต่ำสุดคือ 24.30 นาที ซึ่งถ้าใช้เวลานานกว่านี้มีแนวโน้มที่ดีที่อาจจะหมดและแห้งขึ้นได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์แบ่งของมันสำปะหลังด้วยถ้าหากมีเปอร์เซ็นต์แบ่งที่ต่ำก็จะทำให้ค่าความชื้นนั้นเพิ่มมากขึ้นด้วย



## เอกสารอ้างอิง

กาญจนา มัทธนวนทวิ, คุณิกา จันทรศรี, ดวงตา สว่างภพ. (2555). ข้าวกล้องผสมหุงสุกไว.

*วารสารเทคโนโลยีการอาหาร มหาวิทยาลัยสยาม*, 8(1), 35-46.

กรมวิชาการเกษตร. (2560). *จำแนกพันธุ์มันสำปะหลัง*. สืบค้น 18 ธันวาคม 2562, จาก

<https://www.tapiocathai.org/C.html>

ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.นิธิยา รัตนูปนนท์. (2553).

*การเกิดเจลาตินไนซ์ (Gelatinization)*. สืบค้น 18 ธันวาคม 2562, จาก

<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0350/gelatinization-การเจลาตินไนซ์.html>

ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร.นิธิยา รัตนูปนนท์. (2553).

*เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized bed drier)*. สืบค้น 18 ธันวาคม 2562, จาก

<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0860/fluidized-bed-drier-เครื่องทำแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด.html>

มูลนิธิสถาบันพัฒนามันสำปะหลังแห่งประเทศไทย ในพระราชูปถัมภ์สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ

สยามบรมราชกุมารี. (2551). *ความเป็นมามันสำปะหลังในไทย*. สืบค้น 18 ธันวาคม 2562, จาก

<https://www.tapiocathai.org/C.html>

Li Ding, Bin Zhang, Chin Ping Tan, Xiong Fu, Qiang Huang. (2019). Effects of limited

moisture content and storing temperature on retrogradation of rice starch.

*Biological Macromolecules*, 137, 1068-1075.

Oluwole A., Oluyemisi A., Pelumi E., Hilary I., Adebowale O., Esivue A. (2017). Drying

kinetic of industrial cassava flour: Experimental data in view. *Data in Brief*, 15,

501-510.

Siaka Touré & Serge Kibangu-Nkembo. (2003). Comparative study of natural solar drying

of cassava, banana and mango. *Renewable Energy*, 29(6), 975-990.

Yi Dai, Zhen-Hua Yu, Jian-Bo Zhan, Bao-Shan Yue, Jiao Xie, Hao Wang, Xin-Sheng Chai.

(2019). Determination of starch gelatinization temperatures by an automated

headspace gas chromatography. *Chromatography A*, 1602, 419-424



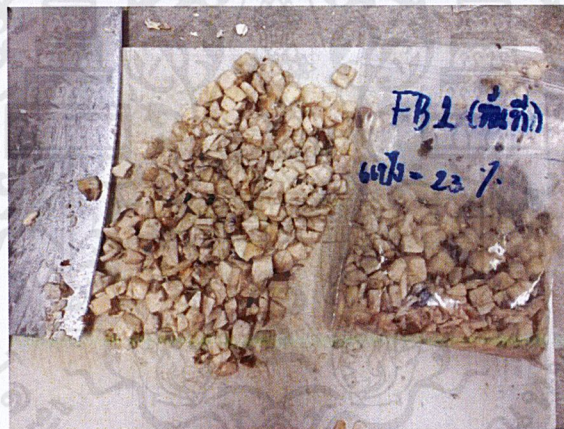
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ขั้นตอนการวัดค่าความชื้นมันสำปะหลังหั่นเต๋าด้วยตู้อบลมร้อน Memmert UF160

1. เก็บตัวอย่างมันสำปะหลังหั่นเต๋าในกระบวนการอบแห้งของบริษัท สิ่งที่ยืมอุตสาหกรรมการเกษตร จำกัด



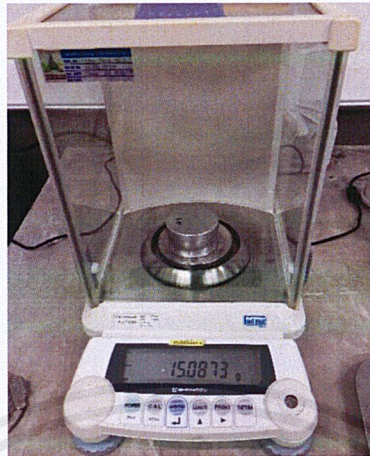
2. นำตัวอย่างมันสำปะหลังในกระบวนการอบแห้งมาสับละเอียด



3. นำตัวอย่างมันเต๋าที่สับละเอียดใส่ลงใน moisture can



4. นำมาชั่งด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้าแล้วบันทึกผลจะได้เป็นน้ำหนักเปียก



5. ตั้งค่าอุณหภูมิความร้อนของตู้อบลมร้อน Memmert UF160 ไว้ที่ 105 °C



6. นำตัวอย่างมันเต่าที่บดละเอียดเข้าตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 105 °C และอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. นำ moisture can ปิดไว้ที่โถดูดความชื้นเป็นเวลา 30 นาที



8. นำมาชั่งเพื่อบันทึกค่าน้ำหนักแห้งแล้วนำไปคำนวณหาค่าความชื้น





ภาคผนวก ข  
ผลค่าความชื้นสถานะที่ทำการทดลองสำหรับเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด 2 ชั้นตอน

ตาราง ข1 ผลค่าความชื้นสถานะที่ทำการทดลองสำหรับเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด 2 ชั้นตอน สำหรับปัญหาเริ่มต้นที่บริษัทดำเนินการอยู่เดิม

ตัวอย่าง	ค่าความชื้น (%w.b.)		
	เริ่มต้น	Pre-heat	Drying 1
1	61.68	48.55	40.29
2	61.76	48.45	40.19
3	61.30	47.73	40.57
เฉลี่ย	61.58	48.24	40.35
S.D ของ %w.b.	1.65	1.65	0.56

ตาราง ข2 ผลค่าความชื้นสถานะที่ทำการทดลองสำหรับเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด 2 ชั้นตอน สำหรับการปรับอุณหภูมิเริ่มต้นต่ำกว่าอุณหภูมิเกิดเจลและเพิ่มเวลาในการอบแห้ง

ตัวอย่าง	ค่าความชื้น (%w.b.)		
	เริ่มต้น	Pre-heat	Drying 1
1	60.98	48.45	39.28
2	62.17	48.07	37.60
3	61.46	47.40	38.32
4	60.68	46.50	38.34
5	61.74	46.57	37.54
6	61.26	46.19	34.32
7	61.01	47.59	34.02
8	61.36	46.40	33.78
9	60.11	46.80	33.42
10	60.94	47.38	33.90
เฉลี่ย	61.17	47.14	36.05
S.D ของ %w.b.	0.57	0.76	2.34

ตาราง ข3 ผลค่าความชื้นสถานะที่ทำการทดลองสำหรับเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด 2 ชั้นตอน สำหรับการปรับเพิ่มอุณหภูมิเริ่มต้นต่ำกว่าอุณหภูมิเกิดเจลและเพิ่มอัตราการป้อน

ตัวอย่าง	ค่าความชื้น (%w.b.)		
	เริ่มต้น	Pre-heat	Drying 1
1	66.57	57.45	48.50
2	67.19	57.21	48.92
3	67.04	58.17	48.40
4	66.99	57.73	48.62
5	65.87	57.49	47.20
6	66.72	57.93	47.48
7	66.57	57.91	46.92
8	66.89	57.10	47.16
9	66.30	57.62	44.82
10	66.22	57.11	47.87
เฉลี่ย	66.64	57.57	47.59
S.D ของ %w.b.	0.41	0.37	1.20

ตาราง ข4 ผลค่าความชื้นสถานะที่ทำการทดลองสำหรับเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด 2 ชั้นตอน  
 สำหรับการศึกษาการอบแห้งมันสำปะหลังหั่นเต๋าในสภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งมัน  
 สำปะหลัง

ตัวอย่าง	ค่าความชื้น (%w.b.)		
	เริ่มต้น	Pre-heat	Drying 1
1	59.51	48.34	27.24
2	59.67	48.47	24.00
3	60.22	48.26	27.01
4	59.19	48.36	26.98
5	59.84	47.86	27.15
6	-	47.73	27.33
7	-	48.02	27.53
8	-	47.35	27.03
9	-	47.72	27.33
10	-	48.17	27.45
เฉลี่ย	59.69	48.03	26.90
S.D ของ %w.b.	0.39	0.36	1.04