

# การทบทวนวิธีการควบคุมการลดความชื้นข้าวเปลือกใน เครื่องอบแห้งแบบต่างๆ

## A Review of Control Methods for Paddy Drying in Various Dryers

สุรชัย เหมหิรัญ และ ประชา บุญยวานิชกุล

**Surachai Hemhirun and Pracha Bunyawanicakul**

ศูนย์วิจัยวิศวกรรมเกษตรและออกแบบผลิตภัณฑ์ 63 หมู่ที่ 6 ถนนรังสิต-นครนายก คลอง 16 อำเภอองครักษ์

จังหวัดนครนายก 26120

Research Center of Agricultural Engineering and Product Design, 63 Ransit-Nakhon Nayok Road,  
Ongkharak District, Nakhon Nayok, 26120

Srinakharinwirot University, 26120, Thailand

E-mail: me\_03@hotmail.com, Mobile: +668-9959-9932, Fax: +662-2870-9600

### บทคัดย่อ

บทความวิชาการนี้นำเสนอการทบทวนวิธีการควบคุมการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งแบบต่างๆ โดยเริ่มจากสภาพปัญหาที่พบในการอบแห้ง จากนั้นนำเสนอวิธีการควบคุมที่พบสามารถแบ่งได้ 4 แบบ คือ การควบคุมแบบป้อนกลับ การควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้า การควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ และการควบคุมแบบโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งวิธีการควบคุมดังกล่าวได้มีการวิจัยและนำไปประยุกต์ใช้กับการควบคุมการลดความชื้นในเครื่องอบแห้งแบบต่างๆ อาทิ เครื่องอบแห้งแบบสายพาน เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด และเครื่องอบแห้งแบบหมุน จากการศึกษาพบว่าการประยุกต์ใช้วิธีการควบคุมการทำงานในเครื่องอบแห้งแบบต่างๆ นั้นสามารถแก้ปัญหาการอบแห้งเรื่อง การควบคุมความชื้นสุดท้ายของวัสดุให้อยู่ในช่วงที่กำหนดหรือต้องการ การลดการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง หรือการชดเชยระบบ เมื่อความชื้นของวัสดุมีการเปลี่ยนแปลง

### ABSTRACT

This academic article presents a review of the control methods for paddy drying in various dryers, we start from the encountered problems in drying then to present the control methods which can be classified into 4 types: feedback control, the feed forward control, fuzzy logic control and a neural network. These methods of control have been researched and applied to control various kinds in dryers, such as Conveyors-Belt dryers, Fluidized bed paddy dryers and Rotary dryers. The results showed that the control methods for paddy drying in various dryers can be applied to solve drying problems as follows: They are able to maintain moisture as needed. They can reduce energy consumption or compensation system when the moisture content of the material has changed.

#### 1. บทนำ

การอบแห้งเป็นวิธีการแปรรูปและการยืดอายุการเก็บรักษาของเมล็ดธัญพืช อาหารและอื่นๆ ที่ต้องการลด

ปริมาณความชื้นของวัสดุให้ได้ความชื้นตามที่ต้องการ ยกตัวอย่างเช่น ข้าว ถือเป็นอาหารหลักของประชากรในภูมิภาคเอเชีย โดยทั่วไปข้าวเปลือก (Paddy) ที่เก็บเกี่ยว

สดๆ มักมีความชื้นค่อนข้างสูง (ความชื้นเริ่มต้น) ประมาณ 20 ถึง 25% (ฐานเปียก) ดังนั้นหลังจากเก็บเกี่ยวจึงต้องรีบดำเนินการลดความชื้นโดยเร็วที่สุด เพื่อลดอัตราการหายใจของเมล็ด ลดการเจริญเติบโตของเชื้อราซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพเร็วยิ่งขึ้น โดยการลดความชื้นข้าวเปลือกให้เหลือ 12 ถึง 14% [1] ในขั้นตอนนี้ส่วนใหญ่จะใช้เครื่องอบแห้งแบบต่างๆ ช่วยในการลดความชื้นจากพัฒนาการของการลดความชื้นข้าวเปลือกในทางอุตสาหกรรม [2] มาอย่างต่อเนื่อง สามารถสรุปรูปแบบการลดความชื้นข้าวเปลือกรวมทั้งปัญหาที่พบในการลดความชื้นข้าวเปลือกได้ดังนี้

### 1.1 รูปแบบการลดความชื้นข้าวเปลือก

รูปแบบการลดความชื้นข้าวเปลือกใช้หลักการ การลดความชื้นของเมล็ดพืช [3] โดยใช้อากาศร้อนเคลื่อนที่ผ่านชั้นของเมล็ดข้าวเปลือกทำให้เกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลชื้นพร้อมๆ กันความร้อนจากอากาศร้อนจะถ่ายเทไปยังเมล็ดข้าวเปลือก และทำให้น้ำที่บริเวณผิวของเมล็ดข้าวเปลือกระเหยออกมาสู่อากาศ เป็นผลให้อากาศมีอุณหภูมิลดลง และมีความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น ทั้งนี้เครื่องอบแห้งส่วนใหญ่เลือกใช้อากาศร้อนที่มีอุณหภูมิสูงเป็นตัวกลางในการลดความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก โดยรักษาระดับคุณภาพของเมล็ดข้าวเปลือกให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ [4]

### 1.2 ปัญหาที่พบในการลดความชื้นข้าวเปลือก

จากการวิจัยเพื่อลดความชื้นข้าวเปลือกของเครื่องอบแห้งแบบต่างๆ ที่ผ่านมามีในอดีตนั้นเป็นการศึกษาถึงการลดความชื้น และคุณภาพที่ได้จากเครื่องอบแห้ง โดยมีการกำหนดเงื่อนไขในแต่ละกรณี เพื่อหาจุดที่เหมาะสมหรืออิทธิพลของการอบแห้งของเครื่องนั้นๆ [5-8] เช่น การกำหนดความชื้นเริ่มต้น (Initial moisture content) ความเร็วของกระแสอากาศร้อน อุณหภูมิการอบแห้ง อัตราการป้อนวัสดุ และคุณสมบัติของอากาศ เข้า-ออก อีกทั้งมีการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรเหล่านี้ต่อค่าความชื้นสุดท้าย (Final moisture content) ของวัสดุ โดยในทางปฏิบัติ นั้นความชื้นเริ่มต้นของวัสดุที่ป้อนเข้าเครื่องอบแห้งมีการ

เปลี่ยนแปลงในแต่ละรอบเวลา (Cycle time) ของการผลิต รวมทั้งมีการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของอากาศในแต่ละช่วงเวลาการทดลองทำให้ไม่สามารถควบคุมเงื่อนไขเริ่มต้นให้คงเดิม

ดังนั้นในบทความวิชาการฉบับนี้จึงแสดงวิธีการควบคุมสามารถแบ่งออกเป็น 4 แบบ คือ การควบคุมแบบป้อนกลับ การควบคุมแบบป้อนไปด้านหน้า การควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ และการควบคุมแบบโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งที่ผ่านมามีการนำมาใช้กับการควบคุมเครื่องอบแห้งแบบต่างๆ อาทิ เครื่องอบแห้งแบบสายพาน เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบด และเครื่องอบแห้งแบบหมุน เพื่อแก้ปัญหาต่างๆ ในกระบวนการอบแห้ง ดังนี้

1. การควบคุมความชื้นสุดท้ายของวัสดุให้อยู่ในช่วงที่กำหนด หรือต้องการ
2. การลดการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง
3. การลดระยะเวลา โดยสามารถปรับตั้งการทำงานของเครื่องอบแห้งได้ (ในกรณีที่ความชื้นของวัสดุไม่สม่ำเสมอ)

## 2. วิธีในการควบคุม

จากการตรวจสอบเอกสารงานวิจัยที่ผ่านมาในช่วงปี พ.ศ.2548-2555 พบว่ามีการใช้ระบบการควบคุมดังต่อไปนี้ในการควบคุมกระบวนการลดความชื้นของเครื่องอบแห้งได้แก่ การควบคุมแบบป้อนกลับ การควบคุมแบบป้อนไปด้านหน้า แบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ และแบบโครงข่ายประสาทเทียม โดยมีหลักการ และรายละเอียด ดังนี้

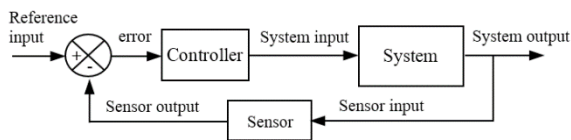
### 2.1 การควบคุมแบบป้อนกลับ

การควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control systems) [9] เป็นพื้นฐานการควบคุมเบื้องต้น จากรูปที่ 1 เป็นการป้อนกลับแบบลบ (Negative feedback) เนื่องจากสัญญาณจากเซนเซอร์ได้ถูกนำไปหักล้างออกจากสัญญาณอ้างอิง (Reference input,  $r(t)$ ) เพื่อนำไปสร้างสัญญาณความคลาดเคลื่อน (Error,  $e(t)$ ) คือผลต่าง

ระหว่างค่าที่ผู้ออกแบบต้องการกับสัญญาณที่ออกจากตัวตรวจจับ (Sensor output,  $y(t)$ ) ดังแสดงสมการที่ (1)

$$e(t) = r(t) - y(t) \quad (1)$$

ซึ่งสามารถนำไปป้อนสู่ตัวควบคุม (Controller) จากนั้นตัวควบคุมจะสร้างสัญญาณควบคุม (System input หรือ Control signal) ป้อนเข้าสู่ระบบพลวัต (Plant, Dynamic systems) และได้ผลตอบสนองของระบบที่ทางออก (System output,  $u(t)$ ) โดยสัญญาณนี้จะถูกอ่านค่าด้วยตัวตรวจจับ เพื่อป้อนสัญญาณกลับต่อไปและดำเนินการเป็นวงรอบ



รูปที่ 1 การควบคุมแบบป้อนกลับ

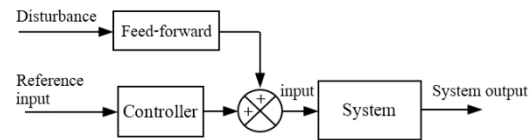
ทั้งนี้ในการควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control systems) จะมีกล่องการควบคุม (Controller) ซึ่งภายในจะมีตัวควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional), ปริพันธ์ (Integral) และอนุพันธ์ (Derivative) หรือที่เรียกการควบคุมทั้ง 3 นี้ว่าการควบคุมแบบพีไอดี (PID controller) เพื่อทำให้ได้ผลตอบสนองของระบบที่ทางออก (System output,  $u(t)$ ) มีเสถียรภาพที่ดีขึ้น ดังแสดงสมการ (2)

$$u(t) = K_p e + K_I \int_0^t e dt + K_D \frac{de}{dt} \quad (2)$$

เมื่อ  $K_p, K_I, K_D$  คือค่าคงที่พีไอและดีตามลำดับ  $\int_0^t e dt$  คือการอินทิเกรตค่าความคลาดเคลื่อนในช่วงคาบเวลา  $\frac{de}{dt}$  คืออัตราการเปลี่ยนแปลงของความคลาดเคลื่อนเทียบกับเวลา และ  $e$  คือค่าความคลาดเคลื่อนของสัญญาณ

## 2.2 การควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้า

การควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้า (Feed-forward Control) [10] เป็นการควบคุมที่ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมปกติในสถานะที่มีการรบกวน (Disturbance) ดังรูปที่ 2 โดยระบบรับสัญญาณอ้างอิง (Reference input,  $r(t)$ ) ผ่านกล่องการควบคุม (Controller) และรวมสัญญาณกับสัญญาณการรบกวนผ่านกล่องป้อนไปข้างหน้า (Feed-forward) เพื่อคาดการณ์ผลกระทบที่เกิดจากการรบกวนแล้วทำการปรับแต่งหรือเพิ่มพารามิเตอร์ก่อนที่จะส่งไปที่จุดรวมสัญญาณ (Comparator) ทำให้สัญญาณที่ได้เป็นสัญญาณควบคุม (System input หรือ Control signal) ป้อนเข้าสู่ระบบพลวัต (Plant, Dynamic systems) และได้ผลตอบสนองของระบบที่ทางออก (System output)

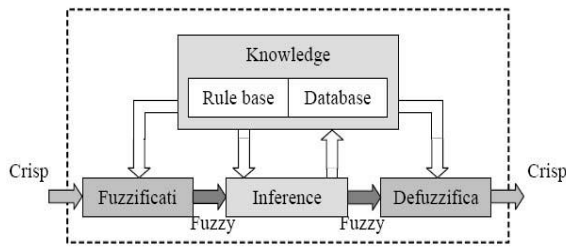


รูปที่ 2 การควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้า

## 2.3 การควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ

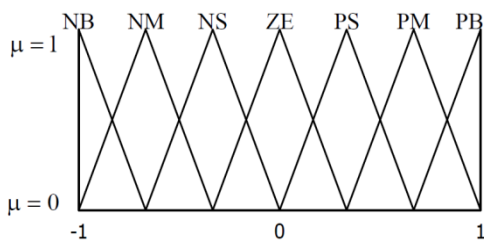
การควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy logic controller) [11] เป็นตัวควบคุมแบบใช้ฐานความรู้ (Knowledge Base) หรือประสบการณ์จากผู้เชี่ยวชาญ เรียกในนามว่า “ตัวควบคุมฟัซซี่แบบฐานความรู้” (Fuzzy Knowledge Base Controller : FKBC) โครงสร้างของตัวควบคุมฟัซซี่แบบฐานความรู้ประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน ได้แก่

1. ฟัซซี่ซิเคชัน โมดูล (Fuzzification module)
2. ฐานความรู้ (Knowledge base) ซึ่งเป็นส่วนที่จัดเก็บรวบรวมข้อมูลในการควบคุมประกอบ 2 ส่วนคือ ฐานกฎ (Rule base) และฐานข้อมูล (Database)
3. กลไกการอนุมาน (Interface Engine)
4. ดีฟัซซี่ฟิเคชัน โมดูล (Defuzzification module)



รูปที่ 3 โครงสร้างพื้นฐานของการประมวลผลแบบฟัซซี

- ดิฟฟัซซิฟิเคชัน (Defuzzification) มีหน้าที่แปลงค่าความเป็นสมาชิกแบบสามเหลี่ยม ดังรูปที่ 4 ในการหาค่าความผิดพลาด (e) และการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด (de) โดยเข้ากฎการอนุมาน ดังแสดงในตารางที่ 1 เพื่อหาสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมจากนั้นจึงแปลงสัญญาณฟัซซีกลับเข้าสู่ระบบเป็นสัญญาณควบคุมจริง



Positive Big (PB), Positive Medium (PM), Positive Small (PS), Zero (ZE), Negative Small (NS), Negative Medium (NM), Negative Big (NB)

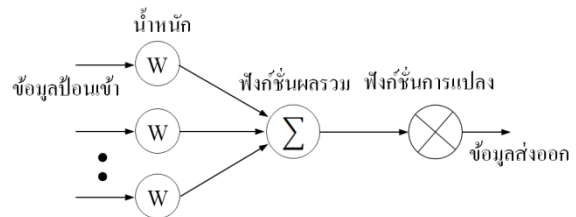
รูปที่ 4 รูปร่างสมาชิกฟัซซีแบบสามเหลี่ยม

ตารางที่ 1 กฎการอนุมาน

de \ e	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PB	PM	PM	PS	ZE
NM	PB	PB	PM	PM	PS	ZE	NS
NS	PB	PM	PS	PS	ZE	NS	NM
ZE	PB	PM	PS	ZE	NS	NM	NB
PS	PM	PS	ZE	NS	NS	NM	NB
PM	PS	ZE	NS	NM	NM	NB	NB
PB	ZE	NS	NM	NM	NB	NB	NB

### 2.4 การควบคุมแบบโครงข่ายประสาทเทียม

การควบคุมแบบโครงข่ายประสาทเทียม (Neural networks controller) โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial neural network: ANN) [12] มีคุณลักษณะคล้ายกับการส่งผ่านสัญญาณประสาทในสมองของมนุษย์ กล่าวคือ มีความสามารถในการรวบรวมความรู้ (Knowledge) โดยผ่านกระบวนการเรียนรู้ (Learning process) และความรู้เหล่านี้จะจัดเก็บอยู่ในโครงข่ายในรูปแบบค่าน้ำหนัก (Weight) ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้เมื่อเกิดการเรียนรู้ในสิ่งใหม่ๆ ดังนั้นการทำงานของระบบควบคุมแบบโครงข่ายประสาทเทียม ซึ่งเปรียบเสมือนกระบวนการทำงานในเซลล์ ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 โครงสร้างการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม

โครงข่ายประสาทเทียมประกอบด้วย 5 องค์ประกอบ ดังนี้

1. ข้อมูลป้อนเข้า (Input) เป็นข้อมูลที่เป็นตัวเลข หากเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ จะถูกแปลงให้อยู่ในรูปเชิงปริมาณที่โครงข่ายประสาทเทียมรับได้
2. ข้อมูลส่งออก (Output) คือผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริง (actual output) จากกระบวนการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม
3. ค่าน้ำหนัก (Weights) คือสิ่งที่ได้จากการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ค่าความรู้ (knowledge) ค่านี้จะถูกเก็บเป็นทักษะเพื่อใช้ในการจดจำข้อมูลอื่นๆ ที่อยู่ในรูปแบบเดียวกัน
4. ฟังก์ชันผลรวม (Summation function: S) เป็นผลรวมของข้อมูลป้อนเข้า ( $a_i$ ) และค่าน้ำหนัก ( $w_i$ )

$$S = \sum_{i=1}^n a_i w_i \quad (3)$$

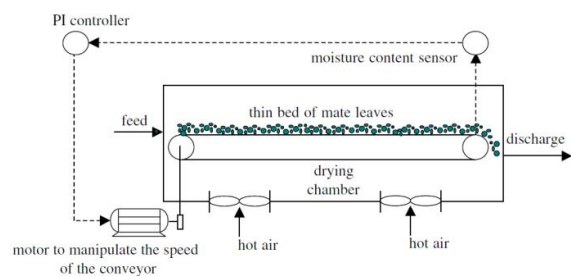
5. ฟังก์ชันการแปลง (Transfer function) เป็นการคำนวณการจำลองการทำงานของโครงข่ายประสาทเทียม เช่น ซิกมอยด์ ฟังก์ชัน (Sigmoid function) ฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ (Hyperbolic tangent function) เป็นต้น ทั้งนี้จากคุณลักษณะ โครงสร้างการทำงาน และองค์ประกอบของโครงข่ายประสาทเทียมสามารถนำไปประยุกต์ใช้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบการควบคุมเครื่องอบแห้งได้

### 3. งานวิจัยที่ใช้วิธีการควบคุมการอบแห้ง

วิธีในการควบคุมทั้ง 4 แบบ คือการควบคุมแบบป้อนกลับ การควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้า การควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ และการควบคุมแบบโครงข่ายประสาทเทียม มีผู้วิจัยนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการควบคุมกระบวนการลดความชื้นในเครื่องอบแห้งแบบต่าง ๆ เช่น เครื่องอบแห้งแบบสายพาน เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดซ์เบด และเครื่องอบแห้งแบบหมุน ดังรายละเอียดต่อไปนี้

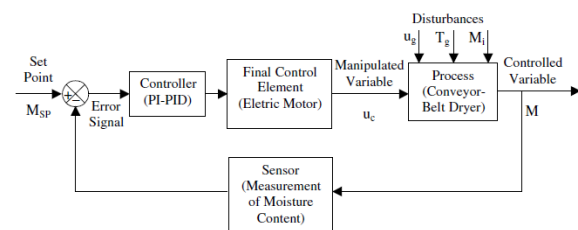
#### 3.1 เครื่องอบแห้งแบบสายพานลำเลียง (Conveyors-belt dryers)

ในปี พ.ศ. 2551 Zanoelo, E.F., Abitante, A., & Meleiro, L.A.C. [13] ได้ศึกษาแบบจำลองทางพลศาสตร์และการควบคุมแบบป้อนกลับสำหรับสายพานลำเลียงการอบแห้งของใบชา โดยในงานวิจัยใช้การสร้างแบบจำลองกึ่งการทดลองเพื่อจำลองจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งในเครื่องอบแห้งใบชาแบบสายพานลำเลียง ดังแสดงในผังการทำงานดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผังการทำงานของโรงอบแห้งใบชา

แบบจำลองการอบแห้งที่สร้างมีความน่าเชื่อถือเนื่องจากใช้การเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลองกับผลลัพธ์จากการคำนวณด้วยแบบจำลองที่สร้างขึ้น จากนั้นใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขหาค่าสัมประสิทธิ์ของประสิทธิภาพการถ่ายเทมวลในกระบวนการอบแห้ง และเทียบค่าคงที่กับแบบจำลองการอบแห้งเอมพิริคัลของแบบจำลองลิวอิส (Lewis model) ด้านการควบคุม ใช้การควบคุมแบบป้อนกลับซึ่งใช้การควบคุมแบบพีไอดี (PID Controller) เปรียบเทียบกับการควบคุมแบบพีไอ (PI Controller) ในการควบคุมความชื้นของใบชาให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้คืออยู่ระหว่าง 2.4 ถึง 3.4% (ฐานแห้ง) โดยในการควบคุมความชื้นของใบชาในเบื้องต้นใช้การวัดความชื้นด้วยตัวตรวจสอบความชื้น (Moisture content sensor) จากนั้นส่งสัญญาณเข้าตัวควบคุม (Controller) เพื่อนำมาปรับความเร็วของสายพานลำเลียงเป็นการเพิ่มหรือลดเวลาเฉลี่ยที่ใบชาอยู่ในห้องอบแห้ง (Mean residence time) ทำให้สามารถควบคุมความชื้นในใบชาได้ตามที่ต้องการ ดังรูปที่ 7 ผลการเปรียบเทียบการควบคุมแบบดี (D Controller) ไม่มีความจำเป็นในการทำให้ระบบควบคุมความชื้นอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ เนื่องจากการควบคุมการอบแห้งในเครื่องอบแห้งใบชา มีการเปลี่ยนแปลงความชื้นของใบชาที่ป้อนเข้า หรือการรบกวนระบบไม่มากทำให้การควบคุมแบบพีไอ เพียงพอต่อระบบ



รูปที่ 7 การควบคุมแบบปิดของกระบวนการอบแห้ง

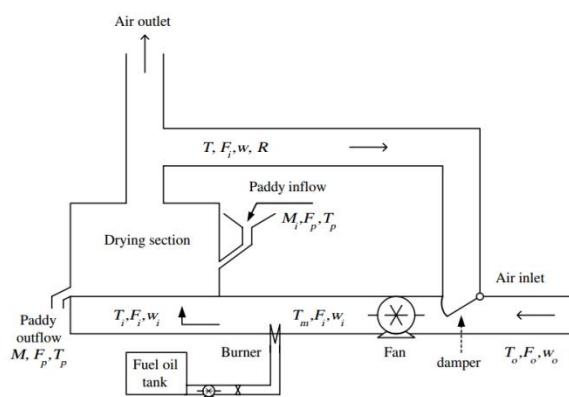
งานวิจัยนี้จะมีการชดเชยระบบในกรณีค่าต่าง ๆ เหล่านี้เกิดการเปลี่ยนแปลงได้แก่

1. ความชื้นของใบชาที่ป้อนเข้า ( $M_1$ )
2. อุณหภูมิอากาศเฉลี่ย ( $T_2$ )
3. ความเร็วของอากาศ ( $u_2$ )

ซึ่งหากมีการเปลี่ยนแปลงของค่าเหล่านี้ในระบบก็จะสามารถควบคุมให้ค่าความชื้นด้านทางออก (M) มีค่าอยู่ในช่วงที่เหมาะสมตลอดเวลา

### 3.2 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized bed dryers)

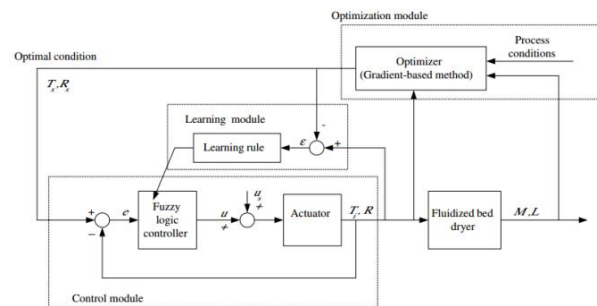
ในปี พ.ศ. 2549 Atthajariyakul S. and Leep-hakpreeda T. [14] ได้ศึกษาการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดในการอบแห้งข้าวเปลือก โดยควบคุมสภาวะการอบแห้งให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมผ่านการควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy logic controller) ที่สามารถปรับกฎการอนุมานค่าได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอระบบที่กำหนดสภาวะที่เหมาะสมสำหรับเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดและปรับการควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือตามสภาวะการทำงาน และใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพคืออยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้เชิงการค้า ซึ่งจะทำได้ความชื้นของข้าวเปลือก (M) และระดับการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ (L) ในการอบแห้งเพื่อให้ได้อัตราการผลิตสูงสุด และที่ระดับความชื้นของข้าวเปลือกตามที่ต้องการ โดยไม่ทำให้คุณภาพของข้าวเปลี่ยนแปลง ดังแสดงในผังการทำงาน ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แผนผังของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด

การทำงานระบบควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือเริ่มจากการป้อนข้าวเปลือกเข้าสู่เครื่องอบแห้ง กำหนดความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก ( $M_i$ ) อัตราการป้อน ( $F_p$ ) และอุณหภูมิของข้าวเปลือก ( $T_p$ ) และกำหนดสภาวะ

อากาศ ณ เวลานั้น เพื่อใช้เป็นตัวแปรที่สำคัญในการควบคุมและกำหนดค่าระดับอุณหภูมิสำหรับการอบแห้งที่เหมาะสม ( $T_i$ ) และเปอร์เซ็นต์ของอากาศป้อนกลับที่ต้องถูกนำมาใช้ใหม่ ( $R$ ) ด้านการควบคุม การปรับปรุงใช้การควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือสำหรับเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด เริ่มจากใช้การควบคุมแบบแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือเป็นพื้นฐาน เรียกแบบจำลองการควบคุม (Control module) และเพิ่มส่วนของการเรียนรู้ (Learning rule) รวมทั้งส่วนของการทำให้เหมาะสมที่สุด (Optimizer module) เพื่อช่วยในการปรับปรุง กฎและสมาชิกของการควบคุมฟัซซี่ลอจิก แสดงผังแผนผังการเพิ่มประสิทธิภาพ ดังรูปที่ 9



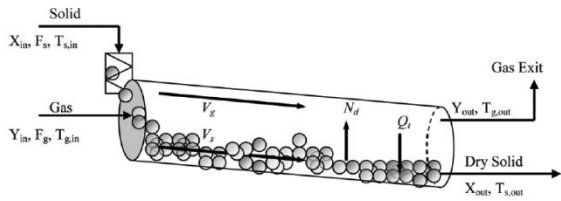
รูปที่ 9 แผนผังการเพิ่มประสิทธิภาพแบบ real-time

ผลการศึกษพบว่าวิธีการปรับปรุงการควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในการกำหนดสภาวะแบบ real-time เนื่องจากผลการเสริมส่วนของการทำให้เหมาะสมที่สุด (Optimizer module) ที่ได้ จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่มีความแม่นยำทำให้สามารถทำนายพารามิเตอร์ที่นำใช้ในการปรับปรุงระบบ คืออุณหภูมิสำหรับการอบแห้งที่เหมาะสม ( $T_i$ ) และเปอร์เซ็นต์ของอากาศป้อนกลับที่ต้องถูกนำมาใช้ใหม่ ( $R$ ) ทั้งสองเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญส่งผลให้วัสดุที่ผ่านการอบแห้งมีคุณภาพ โดยไม่สิ้นเปลืองพลังงาน การเปรียบเทียบผลการควบคุมภายใต้เงื่อนไขการทดลองเดียวกัน แต่อัตราการป้อนต่างกัน ( $F_p$ ) จาก 8 เป็น 10 ตันต่อชั่วโมง ทำให้เปอร์เซ็นต์ของอากาศป้อนกลับ ( $R$ ) มีค่าลดลง 8.7% และอุณหภูมิการอบแห้ง ( $T_i$ ) มีค่าเพิ่มขึ้น 6.3% เนื่องจาก

ความต้องการอากาศร้อนในการถ่ายโอนพลังงานความร้อนและมวลภายในกระบวนการอบแห้ง

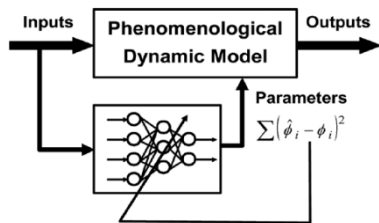
### 3.3 เครื่องอบแห้งแบบหมุน (Rotary Dryer)

ในปี พ.ศ. 2554 Francisco A. Cubillos, Eduardo Vyhmeister, Gonzalo Acuna, and Pedro I. Alvarez [15] ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้แบบจำลองประสาทรูปแบบกล่องเทา (Grey-Box Neural Model: GNM) ในแบบจำลองที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear Model Predictive Control: NMPC) เพื่อใช้ในการทำนายและควบคุมเครื่องอบแห้งแบบหมุนโดยตรง ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 รูปแบบเครื่องอบแห้งแบบหมุน

ซึ่งแบบจำลองประสาทรูปแบบกล่องเทานี้อาศัยหลักพื้นฐานของปรากฏการณ์ของการเปลี่ยนแปลงของวัสดุด้านการควบคุม แบบจำลองการควบคุมโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network: ANN) ที่ได้รับการพัฒนาได้ตรวจสอบความเหมาะสมในการใช้งานโดยใช้ข้อมูลการทดลองการอบแห้งแบบหมุนของเนื้อปลาแบบจำลองที่สร้างซึ่งเป็นการผสมผสานระหว่างแบบจำลองที่ได้จากการสมดุลมวลและความร้อนกับการป้อนสัญญาณไปด้านหน้าของแบบจำลองโครงข่ายประสาท (Feed Forward Neural Network: FFNN) ดังแสดงโครงสร้างดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 โครงสร้างของ GNM

แบบจำลอง GNM เป็นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรควบคุม (ความชื้นของวัสดุ) และตัวแปรตาม (อุณหภูมิสถานะก๊าซทางเข้า) ที่ใช้ในการคาดการณ์กลยุทธิ์ในการควบคุม โดยใช้กลยุทธิ์การควบคุมแบบ NMPC ที่มีกำหนดขอบเขตในการทำนายเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับแบบจำลองกระบวนการอุตสาหกรรมของการอบแห้งเนื้อปลา

ผลการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเครื่องอบแห้งแบบหมุนที่ใช้วิธีการควบคุมรูปแบบ GNM เป็นตัวแทนมีความถูกต้อง เนื่องจากความสามารถในการเป็นตัวแทนของแบบจำลอง GNM แสดงการควบคุมที่ดีในควบคุมความชื้นของผลิตภัณฑ์เมื่อเกิดมีการเปลี่ยนแปลงความชื้นของวัสดุที่ป้อนเข้า

### 4. สรุปวิธีในการควบคุมการอบแห้ง

การศึกษาทฤษฎีและประยุกต์ใช้หลักทฤษฎีเหล่านั้นในการควบคุมการลดความชื้นในเครื่องอบแห้งแบบต่างๆ อาทิ เครื่องอบแห้งแบบสายพานลำเลียง เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด และเครื่องอบแห้งแบบหมุน โดยมีวิธีเลือกการควบคุม เพื่อควบคุมการลดความชื้นในเครื่องอบแห้ง ดังนี้ คือตรวจสอบระบบหรือเครื่องอบแห้งที่ต้องการควบคุมว่ามีความซับซ้อนเพียงใดมีพฤติกรรมเป็นเชิงเส้นหรือไม่เป็นเชิงเส้น (Linear or Non-linear behavior) ถ้าระบบไม่ซับซ้อนมีความพฤติกรรมเป็นเชิงเส้น เช่น เครื่องอบแห้งแบบสายพานลำเลียง สามารถใช้การควบคุมแบบป้อนกลับที่มีตัวควบคุมแบบ พีไอ (PI Controller) หรือตัวควบคุมแบบ พีไอดี (PID Controller) ก็เพียงพอแล้ว เนื่องจากต้องการควบคุมความเร็วของสายพานลำเลียงโยธาในกระบวนการอบแห้งเท่านั้น หรือเพิ่มการควบคุมแบบป้อนกลับเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบ ส่วนระบบที่มีความซับซ้อนมีความพฤติกรรมไม่เป็นเชิงเส้นสูง เช่น เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบด และเครื่องอบแห้งแบบหมุน สามารถใช้การควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ และการควบคุมแบบโครงข่ายประสาทเทียม ทั้งสองการควบคุมมีความยืดหยุ่นในการกำหนดกฎที่ใช้ในการควบคุม หรือใช้

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบใช้ทำนายผลการควบคุมเพื่อปรับแก้กฎการควบคุมได้ตลอดเวลา จากการเลือกวิธีในการควบคุมที่เหมาะสมทำให้แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการอบแห้งเรื่อง การควบคุมความชื้นสุดท้ายของวัสดุให้อยู่ในช่วงที่กำหนดหรือต้องการ การลดการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้ง หรือการชดเชยระบบ เมื่อความชื้นของวัสดุมีการเปลี่ยนแปลง

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยวิศวกรรมการเกษตรและ ออกแบบผลิตภัณฑ์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในการ ให้อุปกรณ์เรื่องการลดความชื้นของข้าวเปลือก

## เอกสารอ้างอิง

- [1] กิตติยา กิจควรดี (2547). คุณภาพและการตรวจสอบข้าวหอมมะลิไทย, สำนักงานสินค้าการเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงการเกษตรและสหกรณ์, ISBN 974-436-343-6, หน้า 1-15.
- [2] พิรสิทธิ์ ทวยนาค, มณฑล ชูโซนนาค, มุสตาฟา ะภา และประชา บุญวานิชกุล (2557). การทบทวนพัฒนาการของการลดความชื้นข้าวเปลือกในทางอุตสาหกรรม, วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, ปีที่ 9 ฉบับที่ 1, มกราคม - มิถุนายน 2557, หน้า 68-74.
- [3] สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์ (2535). การอบแห้งเมล็ดพืชอาหาร, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพมหานคร.
- [4] Donald, B. Brooker., Feed, W. Bakker-Arkema., & Carl, W. Hall. (1992). Drying and Storage of Grains and Oilseeds, AVI Book Publishing, New York.
- [5] วิทยา แก้วสวัสดิ์, และมณฑล ชูโซนนาค (2557). การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้ เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบท่อ, การประชุมวิชาการการถ่ายทอดผลงานความรู้และมวล, ครั้งที่ 13, 13-14 มีนาคม 2557, หน้า 12-17.
- [6] ฉัตรชัย นิยมม (2553). ศึกษาการอบแห้งวัสดุทางการเกษตรด้วยเจตสปาเต็ดเบดเป็นจังหวะ, วารสารวิชาการ พระจอมเกล้าพระนครเหนือ, ปีที่ 20 ฉบับที่ 3, กันยายน-ธันวาคม 2553, หน้า 443-456.
- [7] ธนรัชต์ วิจิตรนสาร วิโรจน์ ฤทธิ์ทอง และ กิตติ สลากคพรประสาธน์ (2554). การลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบกระแสน้ำทำงานร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 25, 19-21 ตุลาคม 2554, หน้า TSE 63.
- [8] พิรสิทธิ์ ทวยนาค, มณฑล ชูโซนนาค, มุสตาฟา ะภา และประชา บุญวานิชกุล (2557). ผลกระทบของกระแสความเร็วของอากาศต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกในเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบมัสท์โฟล, วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, ปีที่ 9 ฉบับที่ 1, มกราคม-มิถุนายน 2557, หน้า 28-35.
- [9] สุวัฒน์ กุลธนปรีดา (2554). วิศวกรรมการควบคุมอัตโนมัติ (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- [10] กอบเดช วงศ์คินี, บัญชา ป้อมสุวรรณ, และวันจักรี เล่นวาริ (2555). การออกแบบตัวควบคุมแบบป้อนไปข้างหน้า สำหรับระบบควบคุมอุณหภูมิของเครื่องทำน้ำอุ่น, วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น, ปีที่ 17 ฉบับที่ 3, พฤษภาคม - มิถุนายน 2555, หน้า 459-468.
- [11] พยุง มีสัจ (2551). ระบบพีซีและโครงข่ายประสาทเทียม รหัสวิชา 721410. คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. กรุงเทพฯ.



- [12] ธนาวุฒิ ประกอบผล (2552). โครงข่ายประสาทเทียม Artificial Neural Networks. *วารสาร มจร.วิชาการ*, ปีที่ 12 ฉบับที่ 24, มกราคม-มิถุนายน 2552, หน้า 73-87.
- [13] Zanoelo, E. F., Abitante, A., & Meleiro, L. A. C. (2008). Dynamic modeling and feedback control for conveyors-belt dryers of mate leaves, *Journal of Food Engineering*, 84, pp. 458 – 468.
- [14] Atthajariyakul, S., & Leephakpreeda, T., (2006). Fluidized bed paddy drying in optimal conditions via adaptive fuzzy logic control, *Journal of Food Engineering*, 75, pp. 104 – 114.
- [15] Francisco, A. C., Eduardo, V., Gonzalo A., & Pedro I. A. (2011). Rotary Dryer Control Using a Grey-Box Neural Model Scheme, *Drying Technology*, 29, pp. 1820 – 1827.